

青藏高原现代生态地质环境 遥感调查与演变研究

QINGZANGGAOYUAN XIANDAI SHENGTAI DIZHI HUANJING
YAOGAN DIAOCHA YU YANBIAN YANJIU

方洪宾 赵福岳 张振德 张瑞江 等著



地质出版社



青藏高原现代生态地质环境 遥感调查与演变研究

QINGZANGGAOYUAN XIANDAI SHENGTAI DIZHI HUANJING
YAOGAN DIAOCHA YU YANBIAN YANJIU

ISBN 978-7-116-06260-3



9 787116 062603 >

定价：58.00 元

青藏高原现代生态地质环境 遥感调查与演变研究

方洪宾 赵福岳 张振德 张瑞江
姜琦刚 路云阁 姜德仁 余江宽 著
曾福年 孙延贵 张崇山 张佩民

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本专著以多期遥感影像数据为信息源,采用多种遥感影像图处理方法,通过人机交互式或计算机自动提取的解译方法,对青藏高原的现代冰川雪线、河湖湿地、土地荒漠化和地质灾害进行了现状遥感调查和现代演变遥感监测,在取得了大量调查监测数据资料的基础上,对青藏高原的生态地质环境进行了综合评价。本专著内容丰富,资料翔实,为青藏高原生态地质环境保护规划提供了依据。

本书可供遥感应用、生态环境、国土资源、地质灾害等专业的科技人员和有关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原现代生态地质环境遥感调查与演变研究/方
洪宾等著. —北京:地质出版社,2009. 8
ISBN 978-7-116-06260-3

I. 青… II. 方… III. 青藏高原—生态环境:地质环境—
遥感地面调查 IV. P942.707.4 X171.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 126236 号

责任编辑:吴宁魁 陈军中
责任校对:李 玫
出版发行:地质出版社
社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083
电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324513(编辑室)
网 址:<http://www.gph.com.cn>
电子邮箱:zbs@gph.com.cn
传 真:(010)82310759
印 刷:北京地大彩印厂
开 本:787mm×1092mm^{1/16}
印 张:17 插页:4
字 数:410 千字
印 数:1—800 册
版 次:2009 年 8 月北京第 1 版·第 1 次印刷
审 图 号:GS(2009)1003 号
定 价:58.00 元
书 号:ISBN 978-7-116-06260-3

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

青藏高原是地球上分布纬度最低、面积最大、高度最高、形成时代最新的巨型地貌单元,被称为地球的“第三极”,是研究地球岩石圈、大气圈、水圈和生物圈等各圈层相互作用过程和变化的绝佳场所,其强烈隆升所诱发的生态地质环境变化和效应一直为国内外科学家所瞩目。青藏高原生态地质环境状况和发展演变对整个西部乃至中国的生态环境、人文活动、经济格局影响深远。为此,2003年中国地质调查局给中国国土资源航空物探遥感中心下达了“青藏高原生态地质环境遥感调查”研究项目,利用20世纪70年代MSS、2000年ETM二期卫星遥感数据开展青藏高原近30年生态地质环境的调查与监测,对高原现代冰川、雪线、第四纪冰川遗迹、湖泊、河流、湿地、地质灾害(崩塌、滑坡、泥石流)、土地荒漠化、新构造等进行遥感调查与监测,经过3年的努力,在共同承担单位吉林大学、青海省地质调查院全体科技人员共同努力下,目前项目在上述专题调查和生态地质环境综合评价方面已取得了第一阶段成果。

为了使这批成果尽早为高原的生态地质环境保护,经济社会发展规划与管理提供基础资料,在总结项目前段工作成果的基础上,我们选择组成生态地质环境系统主要因子的调查成果编著了本书。

本书着重阐述了青藏高原现代冰川雪线、河湖、湿地、土地荒漠化、地质灾害(崩塌、滑坡、泥石流)的发生现状、演变趋势与演变原因,也阐述了生态地质环境综合评价结果与生态地质环境退化的防治方案;对于遥感监测中的技术方法,本书也做了叙述,如遥感监测基础图像的制作方法,主要生态地质环境因子的分类系统,分类遥感解译标志确定和综合评价方法、流程等,这都为高原生态地质环境遥感监测的持续开展积累了成功经验,也为全国开展现代生态地质环境遥感监测工作提供了参考。

本书第一章绪论由张振德编写,第二章现代冰川雪线遥感调查与演变研究由张瑞江、赵福岳、曾福年编写,第三章现代河流、湖泊、湿地遥感调查与演变研究由姜琦刚编写,第四章现代土地荒漠化遥感调查与演变研究由张振德、余江宽、张佩民编写,第五章地质灾害分布现状遥感调查由姜琦刚编写,第六章生态地质环境遥感综合评价由路云阁编写。全书汇总工作由方洪宾、赵福岳、张振德进行。

本调查研究工作中,得到了中国地质调查局、中国国土资源航空物探遥感中心领导的大力支持和帮助,吉林大学、青海省地质调查院等单位的通力协作,刘占声教授的技术指导,在此一并表示衷心的感谢。

由于青藏高原生态地质环境遥感调查工作开展不久,特别是把多个生态地质环境因子作为一个系统问题进行分析研究还不够,不少问题还有待进一步探讨,书中不妥之处恳请读者指正。

作 者

二〇〇八年十二月

目 次

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 自然地理概况	(1)
一、地形地貌	(1)
二、气候	(3)
三、河流与水系	(4)
第二节 现代生态地质环境概况与研究背景	(5)
一、青藏高原现代生态地质环境发展变化及研究概况	(5)
二、研究背景	(9)
第三节 调查研究思路与技术路线	(10)
一、调查研究思路	(10)
二、研究方法和技术路线	(10)
第四节 取得的主要成果	(11)
一、青藏高原现代冰川和雪线出现大幅度退缩,严重威胁“中华水塔”的存在	(11)
二、伴随着冰川雪线的退缩变化,高原现代湖泊与湿地出现明显的地域性扩张与退缩	(12)
三、青藏高原荒漠化总体面积变化不大,但荒漠化程度明显加重	(13)
四、高原特殊的地质构造形成了大量崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害	(14)
第二章 现代冰川雪线遥感调查与演变研究	(15)
第一节 概述	(15)
一、遥感调查内容与分类系统	(16)
二、冰川雪线遥感解译标志和方法	(17)
第二节 现代冰川雪线分布现状与演变	(22)
一、现代冰川发育的条件	(23)
二、现代冰川雪线现状	(24)
三、现代冰川雪线演变特征	(52)
四、现代冰川雪线演变因素分析与分区评价	(60)
五、青藏高原冰川演变与地质灾害分析	(78)
第三章 现代河流、湖泊、湿地遥感调查与演变研究	(106)
第一节 概述	(106)
一、遥感调查内容与分类	(106)
二、遥感图像解译标志	(109)
第二节 现代河流、湖泊、湿地分布现状与演变	(109)
一、河流、湖泊、湿地发育条件	(109)

二、河流、湖泊、湿地分布现状	(111)
三、河流、湖泊、湿地演变	(115)
四、河流、湖泊、湿地演变因素分析	(124)
第四章 现代土地荒漠化遥感调查与演变研究	(131)
第一节 概述	(131)
一、调查内容与分类系统	(131)
二、荒漠化土地类型的遥感解译标志	(133)
第二节 土地荒漠化现状遥感调查研究	(135)
一、土地荒漠化的遥感解译	(135)
二、土地荒漠化现状及分布特征	(152)
第三节 土地荒漠化的演变研究	(155)
一、土地荒漠化演变遥感监测	(155)
二、土地荒漠化的演变分析	(159)
第四节 土地荒漠化的成因分析	(169)
一、土地荒漠化形成具有综合成因的特征	(169)
二、土地荒漠化的形成具有地带性特征	(171)
第五节 土地荒漠化的分区评价	(173)
一、土地荒漠化综合分区	(173)
二、土地荒漠化程度综合分区评价	(180)
第五章 地质灾害发展现状遥感调查	(194)
第一节 概述	(194)
一、地质灾害遥感调查内容与分类	(194)
二、遥感图像解译标志	(196)
第二节 地质灾害分布现状和变迁	(197)
一、地质灾害发育条件	(197)
二、地质灾害分布现状	(198)
三、地质灾害成因分析与区划	(204)
四、地质灾害综合分区评价	(207)
第六章 青藏高原现代生态地质环境遥感综合评价	(216)
第一节 综合评价方法	(216)
一、综合评价流程	(216)
二、综合评价方法	(216)
第二节 青藏高原现代生态地质环境与演变	(224)
一、近30年来高原气候变化	(224)
二、荒漠化土地分布及变化	(228)
三、现代冰川分布及变化	(230)
四、新构造断裂分布	(230)
五、地质灾害分布	(231)
六、生态资产分布及变化	(231)

七、生态系统生产力分布及变化	(233)
八、地形地貌要素分布	(234)
第三节 青藏高原现代生态地质环境综合评价	(234)
一、分类原则与因子选择	(234)
二、类别数量的确定	(235)
三、聚类效果的实现	(235)
四、青藏高原生态地质环境等级界定	(235)
五、近三十年来青藏高原生态地质环境时空变化分析	(240)
参考文献	(260)
参考资料	(263)

第一章 绪 论

辽阔广袤、号称世界屋脊的青藏高原,西起喀喇昆仑山,东至大雪山,平均长 1500km;北自西昆仑山—阿尔金山—祁连山北麓,南抵喜马拉雅山,平均宽 1000km。经纬度坐标:东经 $73^{\circ}20'$ ~ $104^{\circ}20'$,北纬 $26^{\circ}10'$ ~ $39^{\circ}30'$ 。行政区划包括西藏自治区和青海省全部、云南西北部、四川西北部、甘肃西南部及新疆维吾尔自治区西南一隅,总面积约 258 万 km^2 ,约占我国陆地面积的 1/4。

第一节 自然地理概况

一、地形地貌

青藏高原既有气势磅礴的高山大川,又有绵延起伏的低山丘陵与宽谷盆地组成的高原台地;既有东西横亘的柴达木盆地,又有碧波荡漾的青海湖泊。其地势总体是西高东低,由北西向南东倾斜。最高海拔为 8844.43m 的珠穆朗玛峰,最低海拔为 2200m 左右的青海孟达村北的黄河谷地。全区平均海拔为 4000 ~ 4500m。

1. 山地为主的高原地形

区内主体为高原山地地形,在高原山地中夹有宽谷盆地和山间谷地。高原山地有堪称世界屋脊的喜马拉雅山山脉,也有可可西里山等中山和低山丘陵。全区由北往南主要包括 8 大山系:①昆仑山山系,②祁连山山系,③巴颜喀拉山山系,④唐古拉山山系,⑤念青唐古拉山山系,⑥冈底斯山山系,⑦喜马拉雅山山系,⑧大雪山山系。

在阿尔金山、祁连山和昆仑山之间,围限有著名的柴达木盆地,面积约 25 万 km^2 ;盆地底部海拔 2600 ~ 3100m,西北高,南东低,有沙丘、湖泊和盐漠分布。盆地周围低山丘陵、戈壁滩呈不规则环状分布,东南部戈壁多有黄土覆盖,灌溉条件好,为重要农业区,东北部有一连串小型山间盆地。

在祁连山与昆仑山山系的支脉巴颜喀拉山之间夹有青海湖盆地,属于断陷盆地;湖积平原宽广,是青海省主要草原区和农业区,也是青藏高原内水汽循环的重要通道和屏障。

昆仑山脉及其支脉包括可可西里山、巴颜喀拉山、阿尼玛卿山、唐古拉山和念青唐古拉山等,广布于青海省南部和西藏北部,海拔多在 4000 ~ 5000m 以上,多数山峰常年积雪,构成青藏高原的主体。高原夷平面完整,相对高差只有 100 ~ 500m,主要为浑圆而坡度平缓的山地丘陵和中山—低山,其间夹有规模不等的山间盆地,低处常积水成湖。

冈底斯山与喜马拉雅山之间,为藏南谷地,是雅鲁藏布江及其支流的河谷,有一连串宽窄不一的河谷平地 and 湖盆谷地,如拉萨河、年楚河、尼洋曲等河谷平地,谷宽一般 5 ~ 8km,长 70 ~ 100km。主要的湖盆洼地有札达盆地、马泉河宽谷盆地、喜马拉雅山中段北麓湖盆谷地

和羊卓雍错湖泊区等,其中以拉萨河谷最为宽广。在冈底斯山南麓和喜马拉雅山北麓前缘,还有良好的牧场。藏南谷地海拔大都在 4000m 以下,地势西高东低,地形平坦,土质肥沃、沟渠纵横,是西藏主要农业区。

藏南谷地以南直至边境,为喜马拉雅山脉,由许多近似于东西走向的平行山脉组成,其主要部分在中国与印度、尼泊尔的交界线上,全长 2400km,宽约 200 ~ 300km,平均海拔在 6000m 以上,是世界上最高的山脉。海拔 8844.43m 的世界第一高峰——珠穆朗玛峰,耸立在喜马拉雅山中段的中尼边界上,在其周围 5000 多平方千米的范围内,有 8000m 以上的高峰 4 座,由西向东分别是道拉吉里峰 8172m,希夏邦马峰 8012m,干城章嘉峰 8585m 和卓奥友峰 8201m。7000m 以上的高峰 38 座。喜马拉雅山脉西段和中段海拔高,气候干燥寒冷,顶部常年冰雪覆盖;东段气候温和,雨量充沛,森林茂密,植物繁多。

青藏高原东南隅的横断山脉向北东至大雪山山脉,为藏东—川西的高山峡谷区。大致从那曲以东,为一系列东西走向逐渐转为南北走向的高山深谷,其间夹持着怒江、澜沧江和金沙江。地势北高南低,北部海拔 5200m 左右,山顶平缓;南部海拔 4000m 左右,山势比较陡峻。南部的伯舒拉岭是横断山的北段,芒康山是唐古拉山的东延分支,山高谷深,沟壑纵横,气候垂直差异明显,山顶积雪常年不化,与山腰浓密的森林、山麓四季常青的田园构成了西藏东南部高山峡谷区的奇丽景色。由芒康山向北东至大雪山,为四川西南部的高原山地,海拔 3500m 左右。大雪山山脉中的贡嘎山顶峰,海拔 7556m,是四川省内的最高峰。

2. 千姿百态的地貌

青藏高原汇集了中国北方所有的地貌类型,可称得上是千姿百态,样样俱全。既有高寒山区特有的冰川地貌,又有碳酸盐岩地区常见的岩溶地貌;既有风力作用下形成的风成地貌,又有黄土高原广泛发育的黄土地貌。综合全区的地貌类型,主要包括以下 5 类:

(1) 冰川地貌

以山地为主体的青藏高原平均海拔高度在 4000 ~ 4500m 之间。高原内的平均雪线高度为 4400m。工作区内 8 大山系大于海拔 4400m 的高寒山区,均有大面积的积雪覆盖。积雪在融化后,经过再冻结→再融化→流动→堆积的过程,在山谷内或沟谷的出口处或在山脊两侧的低洼处形成冰盖、冰舌、冰帽、冰蚀地貌等,组成各种各样的冰川地貌,青藏高原是地球上中低纬度地区最大的现代冰川分布区。

(2) 风成地貌

高原常见的风成地貌主要有:风蚀洼地、雅丹地貌、沙漠地貌等。

风蚀洼地发育在松散岩层上,常形成一些宽线(带)状洼地,洼地长轴与盛行风向平行,规模变化较大,长者长度可达 100 ~ 120km,表面上通常没有流沙覆盖。

雅丹地貌主要是在第四纪湖积地层上,由定向风沿节理、裂隙及断层等软弱部分侵蚀形成的千姿百态的地貌,也习惯称之为风蚀喀斯特。在柴达木盆地的冷湖一带及高原东部的诺木洪一带可见完整的雅丹地貌。

沙漠地貌主要分布在柴达木盆地西南缘和共和盆地,在青海湖畔也有零星分布。其中流动沙丘常由松散的沙层组成,完全裸露,仅生长少量低矮灌丛,受风力作用移动较快;半固定沙丘形态较复杂,多呈浑圆状或长条状,植被覆盖约 15%;固定沙丘多呈冢丘状,植被覆盖率 30% 以上。

柴达木盆地内的沙漠地貌分布于大灶火河东侧,乌图美仁河中游和东台吉乃尔河中游之间,绿梁山中部南侧和东北侧等地,地貌形态以链状沙丘和新月形沙丘为主。共和盆地内的沙漠地貌集中分布在沙珠玉—三塔拉一带,沙丘形态以蜂窝状沙丘和链状沙丘为主。此外,在高原北部的阿牙克库木湖一带也有大面积的风沙地貌分布。该地带的风沙地貌主要由沙垄和平沙地、流动沙丘组成,沙丘低缓、色彩均一、特征明显。

(3) 流水地貌

地表水在流动过程中对地表产生侵蚀、搬运和堆积后形成的一种外动力地貌类型。区内常见的流水地貌有曲流型河、游荡型河流、洪积扇等。曲流型河其河流形态如蛇状弯曲。游荡型河流的河床多宽阔,流路变化多,水流常交织成瓣状。

高原内的流水地貌主要分布于黄河、长江上游、拉萨河及雅鲁藏布江等主干河流的河谷平地内。如拉萨河流经的拉萨市区南侧的山脚下,走向近东西,河流呈曲流型河地貌,形态似蛇状。位于拉萨市南部的雅鲁藏布江中游河段,河床变宽达 200m 左右,水流流路变化大,分支多,交织成瓣状。此外,在柴达木盆地南缘河流流入盆地的出山口处,常形成一些洪积扇地貌,如那仁郭勒河和格尔木河等。在较大规模的山间盆地内,多形成由高到低的缓坡地形,地貌上也构成一个撒开的冲洪积扇。

(4) 岩溶地貌

岩溶地貌系碳酸盐岩地区特有的地貌类型,区内主要见于青海省南部玉树地区和藏东及藏南的邦达高原上的石炭-二叠纪及三叠纪碳酸盐岩分布区。此外在拉萨市西北的纳木错一带也有部分出露。岩溶地貌形式有溶蚀残山、溶洞、溶沟、溶蚀洼地等。

纳木错湖畔中部、北部和南部边缘,出露有白垩纪灰岩,发育有完好的岩溶地貌。地貌类型有山岭上部的残余峰林,峰林上有穿洞和天生桥;山坡上有残余的石林式石芽(相对高度在 5~15m 之间),以及 2~3 层零星洞穴。在坡麓直到二级基座阶地上,有大型石柱(石柱是沿构造面溶蚀的灰岩又经湖水浪蚀形成的一种柱状的特殊形态),石柱中有溶洞、穿洞;坡麓基部有大量的洞穴、穿洞,洞穴上部有开天窗的竖井等。所有这些山麓基部的岩溶类型明显地受到湖水的浪蚀侵蚀而具有凹槽的痕迹。其中岩溶洞穴最深的有 10m 多长,狭长延伸,表面以一般溶结的碳酸盐结皮及相对高差数十厘米的球状乳瘤为特征。有的洞穴底部有泉华堆积,有的洞底有碳酸钙胶结的湖滨相砂砾岩沉积,称湖滩岩。

(5) 湖泊地貌

青藏高原的湖泊众多,星罗棋布,湖水总面积约 41183.74km²。其中面积超过 1000km² 湖泊有青海湖,纳木错、色林错等;超过 100km² 的湖泊有 71 个。可以说青藏高原不仅是中国最大的湖泊密集区,也是世界上湖泊海拔最高、范围最大、数量最多的高原湖区。这些规模不等、形态各异的众多湖泊,散落在高原夷平面上,形成蓝黑色湖水洼地与棕黄色一斑杂色高原背景相互映衬、错落有致的湖泊地貌遥感景观。

二、气 候

青藏高原虽地处我国中低纬度地带,但由于地势高,平均海拔高度在 4000m 以上,夏季温湿的西南季风的影响已很微弱,仅能影响到它的南部,全年主要受西风环流控制,因此气候干燥寒冷。

1. 特殊的高寒气候

青藏高原有地球的“第三极”之称,这除了它的高度,还包括它的寒冷,表现为以高原为主体呈现近乎闭合分布的等温线。这种近乎闭合分布的形式说明高原地势的作用超过了纬度的影响,具有太阳辐射强,气温低而年较差大和日较差大的特点。

高原上空气稀薄,其密度为 $719\text{g}/\text{m}^3$;气压低,仅为 54.9kPa ;氧气少,含氧量平均为 $166\text{g}/\text{m}^3$,相当于海平面的 59%;水的沸点为 84°C ;大气干燥,太阳总辐射高达 $5400 \sim 7900\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,比同纬度的低海拔地区高 50% ~ 100% 不等,居全国第一。同时,高海拔所导致的相对低温和寒冷也非常突出。高原面上最冷月平均气温低达 $-10 \sim -15^\circ\text{C}$,而在暖季,青藏高原成为我国最凉的地区,7 月平均气温比同纬度地区低 $15 \sim 20^\circ\text{C}$,只有 $10 \sim 18^\circ\text{C}$ 。除西藏东南峡谷及喜马拉雅山系南坡小部地区具有明显的海洋性气候外,其余大部分地区具有干燥寒冷、昼夜温差大,干湿季节分明,无霜期短,降水量少,蒸发量大,相对湿度小的特点。青藏高原日照时间长,年均日照时间在 $1600 \sim 3400\text{h}$ 。由于海拔高,空气稀薄,尘埃和水汽含量少,透明度高,所以辐射强烈。青藏高原因受北部和东部大陆性气候的影响,气温年较差也大,表明它与热带高山有着根本不同的温度特点。强烈的太阳直接辐射使高原地表和近地面空气白昼强烈增温,而夜间冷却迅速,一年内有较长时间出现正负温度的交替变化。因此,冰缘冻融作用及寒冻风化作用在土地荒漠化的形成过程中具有重要的意义。

青藏高原各季节的降水分配不均,干季和湿季的分界非常明显。年降水量自藏东南谷地的 5000mm ,向西逐渐递减到 50mm 。每年 10 月至翌年 4 月,降水量仅占全年的 10% ~ 20%;从 5 月至 9 月雨量则非常集中,一般占全年降水量的 90% 左右。全区年均蒸发量达 2000mm 以上,相对湿度在 50% 以下。

2. 大风日数多,沙尘暴危害频繁

由于大气环流和季风的影响,并受冷空气活动和高空风的作用,青藏高原多大风天气。大风通常指瞬时风速超过 $17.2\text{m}/\text{s}$ (相当于风力 8 级以上)的风。大风日数多,并常伴有沙尘暴侵袭是青藏高原气候特点之一。大风主要发生在高原西部的阿里地区和北部的柴达木盆地及其周围地区。高原大部分地区大风日数超过 $50\text{d}/\text{a}$ 以上,阿里地区 8 级以上大风日数在 $150\text{d}/\text{a}$ 以上,为全国所罕见。柴达木盆地及其周围地区少于 $50\text{d}/\text{a}$,祁连山地的中、西段及青海湖周围大风日数超过 $50\text{d}/\text{a}$ 。大风天气大致的分布特征是山地多,谷地少,高原面上多,盆地少。从年内季节来看,大风以冬、春季多,夏、秋季少。大风在冬、春季节,能刮走表土、幼苗,吹折农作物,吹散畜群,对农牧业生产造成严重危害。此外,秋季到春季,常出现雪灾,年均冰雹日数在 30d 以上。

受干旱气候和大风天气的影响,高原西北部特别是柴达木盆地及其周围地区,在冬、春季节时常出现沙尘暴天气。沙尘暴是指强风将地面的沙土吹起,使空气很浑浊,水平能见度小于 1000m 的天气现象。沙尘暴日数以高原西部为最多,年日数均在 12d 以上;柴达木盆地南部、青海湖北部等地在 10d 以上,其余地区在 $2 \sim 5\text{d}$ 以下。沙尘暴刮走表土,引起土地荒漠化;使沙丘移动,造成土壤干旱,质量下降,对人畜作物和土壤的影响都很大。

三、河流与水系

青藏高原不仅是长江、黄河、澜沧江的发源地,又有雅鲁藏布江、怒江、狮泉河等流出国

境的河流多条,还有如柴达木河、格尔木河、黑河、党河、疏勒河等规模较大的内流河数十条,这些大江大河上游的分支水系如蛛网状遍布整个青藏高原。

黄河发源于巴颜喀拉山北麓约古宗列山北坡,源头位于青海省玉树藏族自治州曲麻莱县城北,上游水系称卡日曲,主要支流有湟水和大通河。

长江发源于唐古拉山主峰与各拉丹冬主峰之间,源头位于青海省海西蒙古族藏族自治州境内的水晶矿村西南。上游水系称尕尔曲,汇入当曲后称通天河,玉树县以下称金沙江。

澜沧江发源于青海省玉树藏族自治州杂多县境内,源头位于杂多县城西北,上游水系称扎曲,昌都县以下称澜沧江。

雅鲁藏布江是世界上海拔最高的大河。发源于喜马拉雅山北麓仲巴县境内的杰马央宗冰川,经墨脱县城流入印度。雅鲁藏布江在西藏境内全长 2057km,流域面积超过 24 万 km^2 ,流域内平均海拔 4500m 左右。雅鲁藏布江大峡谷位于林芝地区米林县派乡和墨脱县段,大峡谷北侧为加拉白垒峰,海拔 7234m,南侧的南迦巴瓦峰海拔 7782m,两峰之间的峡谷最深处落差达 5382m,平均落差 5000m 左右,最低处海拔仅 155m,峡谷全长 496.3km,是世界上第一大峡谷。

狮泉河属印度河的上游水系,经阿里地区西部边境宁达列县流入克什米尔。怒江在工作区内由藏东大峡谷区流入云南的怒江傈僳族自治州,到保山市,经保山市南边境的光坡流入缅甸,称萨尔温江。

发源于祁连山和昆仑山山系的柴达木河、格尔木河、黑河、党河、疏勒河等,均属于内流河,这些河流分布于柴达木盆地及其周边地区,流向盆地,形成向心状水系。河流特点是流程短,水量随季节变化大,往往消失于荒漠中,常为间歇性河流。

在青海南部和西藏北部及西北部,还分布众多的内流河,如相曲、百泉河、隆桑曲、等马河、甜水河、江爱藏布、波仓藏布、扎多藏布等。这些河流几乎都是短小的山间盆地内的河流,多以高山雪水为源,下游流入湖泊或消失在荒漠中。

第二节 现代生态地质环境概况与研究背景

一、青藏高原现代生态地质环境发展变化及研究概况

本专著主要研究了冰川雪线、河湖湿地、土地荒漠化和崩塌、滑坡、泥石流地质灾害 4 个生态地质环境专题内容,有关 4 个专题的发展变化及研究概况如下。

1. 现代冰川与雪线发展变化及研究概况

19 世纪末至 20 世纪初,西方国家少数地质、地理、生物学家到中国西部山区探险考察,有涉及现代冰川的考察报道,其中有 Ward(1916,1924,1934)对藏东南和横断山系南部的冰川,以及 Heim(1936)对贡嘎山冰川的报道。

1956 年起的登山活动与中国科学院组织的对新疆等地区的综合考察,对冰川研究有所促进。如 1956 年中苏混合登山队在慕士塔格山若干冰川末端作了标记(别列茨基,1958);1957 年贡嘎山登山活动结束后,崔之久(1958)发表了第一篇报道现代冰川的论文。

1958 年,中国科学院在兰州成立高山冰雪利用研究队,组织跨学科、多部门研究人员,

对祁连山现代冰川进行了考察,1959年出版了我国第一本冰川学论著《祁连山现代冰川考察报告》(中国科学院高山冰雪利用研究队,1959)。

1960~1961年中国科学院高山冰雪利用研究队对帕米尔高原地区和其他几处小型冰川进行了考察。

1962~1978年,中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所对珠穆朗玛峰、喀喇昆仑山区、祁连山、西藏等地冰川进行了考察、研究,出版了《珠穆朗玛峰地区冰川基本特征》、《喀喇昆仑山巴托拉冰川考察与研究》、《西藏冰川》、《祁连山冰川变化极其利用》等论文或专著。

20世纪80年代中期以来,中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所的冰芯研究所对祁连山的敦德冰帽、西昆仑山的古里亚冰帽和喜马拉雅山希夏邦马峰的达索普冰川进行了冰芯研究。

自1978年以来,按照国际冰川编目规范,系统地开展全国冰川目录编制工作,到1999年底,由王宗太、刘潮海主持,已经出版《中国冰川目录》11卷23册。在这一期间,结合冰川编目、青藏高原综合考察、登山探险、发展旅游和国际合作研究等的需要,开展了新的区域冰川考察,其中有工作区内的西昆仑山、喀喇昆仑山、属于喜马拉雅山系的南迦巴瓦峰和纳木那尼峰,横断山系的贡嘎山、玉龙山、梅里雪山等,念青唐古拉山东南部,唐古拉山,属于东昆仑山系的阿尼玛卿山、年保玉则山等多处。其中对西昆仑山、贡嘎山等的考察和研究比较全面。

对工作区内的念青唐古拉山的冬克玛底冰川进行了长期能量平衡观测,对贡嘎山的海螺沟冰川有长期的冰川变化和水文气象观测。

1978年以前,对冰川多为考察和一般性研究工作,涉及范围小。由于受自然地理条件和其他客观条件的限制,一般是对单条冰川进行考察、研究,很少涉及区域性面上的工作。其间对中国冰川资源的评价也处于半定量性质,数据也不是十分确切。

1978年以后,随着科技水平的提高和对外交流的增多,对冰川的考察、研究工作更为细致、深入,研究领域也更为拓宽,研究水平大为提高。随着对冰川的考察、研究工作的深入,具备了对中国冰川资源彻底摸底的条件。1978年以来,按照国际冰川编目规范,系统地开展了全国冰川目录编制工作。工作中以20世纪60年代末期和70年代初期航摄编制的1:10万地形图上冰川的分布面积为基准,结合航摄的黑白航片和美国的Landsat5卫星相片,同时应用了大量的野外实测资料,使得数据更为系统、翔实和正确。但全国冰川目录编制数据反映的是成图当时的冰川面积、体积和雪线高度,是静态数据。

随着时间的推移,尤其是从成图的当时到现在,已经过去了30多年,在这30多年时间里,控制现代冰川发育和消融的气候条件发生了重大改变;由于气候的变化,尤其是降水的阶段性变化和气温的急剧升高,对冰川的影响很大,冰川的此消彼长现象明显;另外,自然生态环境受到人为破坏程度的加剧也导致了冰川消融速度的加快,有数据表明近几十年来青藏高原冰川明显减少,而且近年来有加速的趋势;除部分前进冰川外,绝大部分冰川处于面积、体积全方位退缩状态。数据显示近30年来高原无表碛冰川面积减少了4420.78km²,年均减少面积达147.4km²;有表碛冰川分布面积减少了3941.68km²,年均减少面积达131.4km²。因此,过去静态的数据已不能客观地反映目前冰川的现状。虽然陆续也对个别冰川进行了长期的监测,对于数以万计条冰川来说监测数量简直就是沧海一粟。尽管这些监测数据可以局部反映所处地区冰川的变化状况,但样本远远不够,缺乏整体的代表意义。

虽然很多研究机构根据一些冰川的调查数据对冰川进行变化趋势的分析,由点到面对

各山系的冰川变化进行推测,但对于动态的冰川来说,显然不能客观地反映其变化规律。为了全面地反映目前我国冰川资源的现状,有必要利用先进的和具有动态监测功能的遥感技术对冰川资源的现状和近 30 多年来的变化作一全面的调查。以客观、真实地反映冰川资源的现状和演变,为保护冰川资源,保护生态环境提供基础数据。

2. 现代湖泊与湿地发展变化及研究概况

湖泊湿地作为高原区内较为特殊的地表单元,极其重要的生态地质环境因子,与其他生态地质环境因子一样,受高原隆升而引起的环境变化影响,变化明显,其变化直接影响和决定了生态地质环境的变化趋势。高原区内的湖泊湿地变化除受区域环境乃至全球环境的变化影响外,还由于高原区内特殊的地理环境,其变化又有其特殊的规律。近期数据资料表明高原湖泊整体呈现扩张趋势,湿地面积有所减少。高原湖泊湿地变化引起的生态地质环境变化,对中国西部、三江源乃至全球环境具有明显的反馈作用。

为了了解高原区湖泊、湿地的分布与变迁,近百年来前人做了大量的科考、探险和生态地质环境调查研究工作。尤其是新中国成立以后,国家对青藏高原环境与资源的考察极为重视。自 20 世纪 50 年代起,中央和地方的科研和生产部门除在西藏和青海建立机构进行研究和调查工作以外,还多次组织对青藏高原的各种科学考察和调查研究。其中规模较大的综合科学考察有:50 年代至 60 年代对西藏中部和东部、祁连山、柴达木盆地、昆仑山、珠穆朗玛峰地区、横断山脉地区以及西藏中南部的考察;60 年代中期结合登山运动对希夏邦马峰和珠穆朗玛峰进行高海拔地区的考察,这期间的考察主要涉及区内少数特大型和大型湖泊、主要河流,如青海湖、纳木错、雅鲁藏布江等。

1973 年成立了中国科学院青藏高原综合科学考察队,随之开展了连续 20 年的科学考察研究,协作单位近百个,区域上包括西藏自治区、横断山区、南迦巴瓦峰地区、喀喇昆仑山和昆仑山地区、青海可可西里地区等,考察期间就区内河流、湖泊、沼泽进行较为系统调查和研究,最终编写完成了《西藏河流与湖泊》(1984 年)、《西藏冰川》(1986 年)、《横断山区沼泽与泥炭》(1998 年)。

中国气象局于 1972 年成立“高原气象科学研究协作组”,开展多次规模较大的集体研究,1979 年,在青藏高原进行首次大规模气象科学考察。气象、水利和地质等部门随着工作的开展布设了大量的观测网点,系统地积累了基本数据和资料;1972 年起“高原气象科学研究协作组”开展多次规模较大的集体研究,还组织了黄河和长江的河源考察。

20 世纪 80 年代中期之后,以中国科学院南京地理与湖泊研究所为代表的专业科研机构,就青藏高原乃至全国湖泊进行了系统科学的调查研究,这一时期是我国湖泊与环境演变研究进入快速发展的时期。

另外中国科学院地球化学研究所、地球环境研究所、盐湖研究所、地理科学与资源研究所等科研机构和部分高等院校科研力量,投入到这一领域之中。编写出版了《中国湖泊概论》等一系列有关湖泊的专著。

青藏高原所在的各省和自治区分别组织了有关环境和资源的考察研究工作,其中也包含了对河流湖泊的调查研究,如“西藏—江两河流域中部地区开发研究”(1989)等。

许多研究机构和最近由国家自然科学基金委员会资助的研究项目和课题都从各个方面在青藏高原上开展了涉及高原内河流、湖泊的地学、生物学以及环境和资源科学领域的考察研究工作。1995 年出版了湖泊系列研究丛书《中国湖泊环境(第一册)、(第二册)、(第三

册)》、1996年出版了《青藏高原环境与发展概论》、1998年出版了《中国湖泊志》、《青海省志:(八)青海湖志》等代表性著作。

20世纪60~70年代,中国科学院长春地理研究所承担国家各部委、中国科学院和地方政府组织的湿地综合科学考察任务,先后考察了三江平原、松嫩平原、大、小兴安岭、长白山区、青藏高原、长江中、下游平原、长江河源、黄河河源、横断山区、新疆及滨海地区沼泽,积累了宝贵的科考资料和经验。

80年代,通过对东北地区乃至全国大部分地区沼泽、泥炭和芦苇资源综合考察,基本上查明了全国沼泽面积、类型特征、形成演化规律,对沼泽的定义、分类、发育模式、形成时期及其古环境等方面提出一系列新见解,新观点。相继出版了《中国的沼泽》、《中国沼泽研究》、《横断山区沼泽与泥炭》等专著。

中国科学院长春地理研究所主持,1993年9月正式启动“中国沼泽补充调查与沼泽志编写”课题,参加各子课题的科技人员,从东北三江平原到青藏高原,赴祖国各地进行沼泽补充调查,历时3年,取得大量资料和科考成果。1996年初完成《中国沼泽志》初稿,1999年正式出版。

由于青藏高原河流、湖泊、湿地缺乏专门立项调查研究;而小型和季节性湖泊、特别是几十年来随气候和环境变化,新增加和减少(小)的湖泊、湿地的动态变化较大,对此未做过系统调查和研究。河湖、湿地动态变化规律的研究,特别是高原内长江和黄河源的水资源资料的收集和研究,对于我国水资源开发、利用和保护,具有十分重要的意义。

3. 现代土地荒漠化发展变化及研究概况

青藏高原土地荒漠化是中国土地荒漠化的一个重要组成部分。目前,高原上土地荒漠化分布不但面积大,而且荒漠化程度严重,尤以青海的柴达木盆地及其周边地区最为突出。从20世纪70年代至21世纪初,近30年来,由于高原气候转暖,导致冰川大多退缩,雪线升高,多年冻土退化,部分沼泽湿地变干,地表盐碱化加重,一些已固定的沙丘又发生复活,地表风蚀日趋严重,土壤肥力下降,加之人类不合理的经济活动破坏了植被和土壤层,使本来无荒漠化的土地及草场变成了荒漠化土地,目前荒漠化范围正在不断扩展和蔓延。数据显示高原区内重度沙漠化土地由0.8万 km^2 ,扩展到3.2万 km^2 ,增长率达317%;中度沙漠化由9.9万 km^2 ,扩展到16.1万 km^2 ,增长率达62%。重度盐碱化土地则由1.3万 km^2 ,扩展到1.7万 km^2 ,增长率达34%;中度盐碱化土地由2.7万 km^2 ,扩展到2.9万 km^2 ,增长率为6%。上述变化反映了土地荒漠化程度正在由较轻程度向较重程度发展。

素有“中华水塔”之称的三江源地区,历史上雪山连绵、冰川纵横、草原广阔、湖泊星罗棋布、野生动物众多。然而近30年来随着全球气候变暖,冰川、雪线逐年萎缩,加上人类活动频繁,超载放牧等,使得这一地区的湖泊和湿地的水源补给受到了严重影响,湖泊干涸、草地退化,水土流失日益严重,土地荒漠化面积逐年增加。

据青海玉树藏族自治州曲麻莱县气象局的监测数据表明,近年全县常年性积雪已经减少了95%,全县境内50%的河流断流,没有断流的河流流量也减少了50%。玉树、果洛两州仅中度退化的草场达1.5亿亩^①,占两州可利用草场的64%;20世纪90年代与80年代相比,长江、黄河、澜沧江的年平均流量分别减少了24%、27%和13%。玛多县境内的扎陵湖

^① 1亩=666.6 m^2 。

和鄂陵湖,被称作黄河源头最大的“姊妹湖”,由于近 10 年来的长期干旱,水量锐减,草地退化加剧。

柴达木盆地及周边地区,荒漠化土地也呈明显的增加趋势。高原荒漠化土地较为集中且增加较快的地区,还有西藏北部及“一江两河”流域,青海共和盆地、青海湖湖滨地区及四川的若尔盖草原等地。

土地荒漠化不仅成为高原发展区域经济和维持生态平衡的巨大环境压力,而且通过影响气候变化、能量交换、物质循环等,对整个高原乃至全球的生态环境产生极为重要和深远的负面影响。高原地域辽阔,各自然地域系统和社会经济地域系统差异较大,受自然环境、气候变异、人为活动等多种因素的影响,土地荒漠化正在引起生态环境的急剧退化。

生态环境退化的直接表现是土地的水土流失加剧。据有关资料(郑度等,2003)青海省由于土地荒漠化引起的水土流失面积达 6.84 万 km^2 ,主要分布在东部的黄土覆盖区,黄河龙羊峡和长江流域地区,对农林牧生产和生态环境造成严重影响。水土流失严重地区沟壑溯源侵蚀至山梁,沟壑面积达到 15%,甚至 20%~30%,严重破坏了浅山丘陵的土地资源。泥沙随洪水下泄,造成冲毁耕地、淤积水库、堵塞河道等灾害。在青海湖地区,由于草场普遍超载,草场退化面积达到 1250 km^2 ,其中 400 km^2 变为大沙丘。共和盆地有大量的弃耕地沙漠化。由土地荒漠化造成的生态环境退化,加剧了自然灾害的发生,同时也减弱了抵御自然灾害的能力。

荒漠化土地逐年增加,使高原的草地和耕地逐步减少,加上较为原始的滥肆捕猎与采挖方式,许多宝贵生物资源遭到严重损害,有些兽类的适生分布范围日趋缩小,数量剧减,个别种类还面临灭绝之灾。被誉为“天然动物园”的藏北高原无人区,因采矿、放牧、狩猎和运输等人类经济活动的干扰影响,大部分野生动物的栖息活动范围也逐渐缩小,并从原来的黑河-阿里公路一带退至北纬 33°以北的无人区。青海省的黑颈鹤、可可西里的野驴等都是因为环境的恶化和人为的猎杀而濒临灭绝。

青藏高原的土地荒漠化问题已经引起了有关部门的高度重视,20 世纪 90 年代末期,西藏、青海、云南、四川、甘肃、新疆等省区应用卫星遥感技术分别对辖区的荒漠化土地进行了调查,取得了丰富、准确的数据,为相关部门的规划决策提供了可靠依据。但省区间资料存在的一些分类差异使这些资料的综合分析受到了阻碍。

4. 地质灾害发生概况

青藏高原由于经受长期的地质演化和发展,多期多次构造活动,高原区内断裂构造十分发育,复杂多变的岩层长期遭受风化剥蚀,岩石强烈破碎。加上高山峡谷地貌,地形复杂多变,冰川融化和降雨等,造成青藏高原区内崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害频繁发生,使青藏高原成为我国地质灾害的高发区。我国极其重视对地质灾害的调查研究工作,在 2001 年完成的“省级国土资源遥感综合调查”项目中,青藏高原区域内各省(自治区)都进行了有关地质灾害的遥感调查,取得了最新的调查资料,为进一步开展高原区地质灾害调查和防治提供了宝贵资料。

二、研究背景

以上论述阐明青藏高原生态地质环境极其脆弱,受自然条件和人为活动的影响,高原地

表景观发生了十分复杂的变化,主要因子冰川雪线、河流、湖泊、湿地、荒漠化土地等均发生着响应性的演变,为了快速查清地表主要因子的分布现状和近期演变趋势,中国地质调查局设立了“青藏高原生态地质环境遥感调查”项目。项目主要利用遥感技术,开展青藏高原生态地质环境遥感调查与监测,旨在为青藏高原生态地质环境保护、经济发展规划与管理提供基础资料。

第三节 调查研究思路与技术路线

一、调查研究思路

青藏高原生态地质环境是由彼此有着成因联系的多因子组成的综合科学系统,不同的因子有着不同的研究方法,本次调查研究是在遵照各学科基本研究方法的基础上,结合遥感技术优势,快速查明高原生态地质环境现状,并结合历史遥感资料,快速查明生态地质环境主要因子的演变趋势。在地域辽阔、偏僻荒凉、气候恶劣、交通不便的青藏高原,遥感技术的应用,使调查研究目标得以实现。笔者应用遥感调查方法,对20世纪70年代至21世纪初的青藏高原冰川雪线、河湖湿地、土地荒漠化、地质灾害等生态地质环境主要因子的现状和演变进行了监测。查明了它们的现状数据和分布特征,也查明了它们的演变数据和演变趋势,基于对自然因素和人文因素在生态地质环境演变中所发挥作用的认识,分析了各因子演变的原因,并提出了遏制生态环境退化的建议。

二、研究方法和技术路线

1. 生态地质环境资料的收集与分析

调查研究初期,充分收集了高原区内已有的关于冰川雪线、河湖湿地、土地荒漠化、地质灾害以及气象水文、人文经济等生态地质环境资料,在此基础上,总结青藏高原生态地质环境各要素的发展现状和演变的自然因素、人为因素的演变强度等特征,了解生态地质环境研究概况,为进行生态地质环境主要因子现状调查和演变监测打下基础。

2. 遥感监测信息资料的选择与收集

青藏高原生态地质环境遥感监测的主要时段选择在演变最为强烈和能够较方便地获取到卫星遥感信息的21世纪初期和20世纪70年代。前者作为生态地质环境要素现状调查的信息源,后者作为30年以来,演变的对比信息源。本次21世纪初期的卫星遥感信息收集到的是以2000年为主的陆地卫星ETM图像数据,空间分辨率30m,几何精度满足1:25万专题解译的精度要求;20世纪70年代的卫星遥感信息收集到的是以1975年为主的陆地卫星MSS图像数据,空间分辨率79m,几何精度也能满足1:25万专题解译的精度要求。高原全区共使用陆地卫星ETM图像数据164景,由于在数据选择时,注重了对成像时相的选择,其中夏、秋季(6~10月)时相的有95景,占总数的56%,除少数几景冬季数据外,各要素的解译效果都很好;陆地卫星MSS图像数据使用了160景,其中夏、秋季时相的有29景,占总数的18%,由于绝大多数是冬季图像,对冰川雪线和河湖、湿地的解译影响较大,为了解决

图像时相的不足,又补充收集了以下辅助信息资料,以取得准确的演变数据。

(1)20 世纪 80 年代中期陆地卫星 TM 图像数据

在高原主要山系各选择了 1 景作为典型调查研究使用,由于选择的全是夏季图像,而且图像质量良好,对局部地段的冰川演变取得了较好的规律认识。

(2)20 世纪 90 年代陆地卫星 TM 图像数据

主要解译早期湿地分布状况,补充 MSS 图像对早期湿地显示的缺欠,为湿地演变研究提供了早期对比资料。

(3)1:10 万地形图

国家测绘局根据 20 世纪 50 年代末至 70 年代初期航摄资料编制的 1:10 万地形图上冰川和湖泊分布范围作为对比资料,为全区 30 年以来冰川和湖泊的演变研究提供了依据。

3. 遥感图像数据处理与制作

高原全区对比研究使用的陆地卫星 ETM 图像和 MSS 图像数据均以通过几何纠正的 1:25 万地形图作为参考图件,采用控制点-多项式拟合纠正方法进行校正,并通过多景数据无缝镶嵌方法制作图像。这种方法制作的遥感图像,对点几何误差小于 2 个像元,能满足 1:25 万荒漠化调查的解译精度要求,但不能满足 1:25 万冰川雪线、湖泊湿地和地质灾害等小尺度变化和在地形高差大的地区的解译精度要求。为了提高遥感图像的纠正精度,对用于冰川雪线、湖泊、湿地和地质灾害解译使用的遥感图像进行了区域网正射纠正,图像的纠正精度小于 1 个像元,满足了上述要素的解译要求。

4. 确定生态地质环境因子的分类,建立分类因子的遥感解译标志

根据相关行业标准,结合遥感解译能够达到的要求,确定了生态地质环境因子的分类,建立遥感监测的分类系统。结合野外调查,总结归纳各个分类因子的遥感影像特征,建立遥感解译的标志。然后进行解译,并通过野外验证给予必要的修正。

5. 生态地质环境的现状和演变分析

根据获得的调查研究成果,首先直接进行现状特征分析,然后通过 2000 年和 1975 年两期基准解译成果和其他辅助解译成果的对比分析,对各因子的动态变化进行研究,预测演变趋势。

第四节 取得的主要成果

本研究自 2003 年启动,至 2005 年底完成了第一阶段 1975~2000 年共 25 年期间高原生态地质环境主要因子的演变遥感监测研究,为青藏高原生态地质环境现状与演变研究积累了成功经验,为遏制高原生态地质环境退化提供了可靠资料。取得的主要成果和认识如下。

一、青藏高原现代冰川和雪线出现大幅度退缩, 严重威胁“中华水塔”的存在

25 年以来,青藏高原冰川总体呈明显减少趋势,而且近年来有加速的趋势,除部分前进冰川外,绝大部分冰川处于退缩状态。调查数据显示,高原无表碛冰川面积累计减少

4420.78km²,年均减少147.4km²,现有冰川面积46408.13km²;有表碛冰川分布面积减少了3941.68km²,年均减少131.4km²,现有面积46887.23km²。

现代冰川严重退缩的区域主要为冈底斯山脉、喜马拉雅山脉、帕米尔高原和横断山,冰川退缩变化率为15.07%~16.20%;现代冰川中度退缩区域分布在高原的北部,包括阿尔金山、祁连山、喀喇昆仑山三大山脉,冰川退缩变化率为9.40%~10.56%;冰川轻度退缩区分布在高原的北部和东部,范围包括念青唐古拉山、唐古拉山和昆仑山,冰川退缩变化率为5.68%~6.88%;冰川平衡稳定区位于高原腹地,即羌塘高原地域,冰川退缩变化率为3.95%。

调查还显示,高原冰川退缩存在明显的地域差异,高原四周冰川面积消减最为明显,面积减小率在10%以上;腹地面积基本保持相对稳定,面积减小率在7%以下;冰川在普遍消减的同时,存在一定数量的前进冰川,其中在昆仑山西段前进冰川数量较多。研究认为,在过去25年间,小面积冰川(面积小于5km²)的变化最明显,对气候变化的响应也最敏感;大面积的冰川变化相对较小。

二、伴随着冰川雪线的退缩变化,高原现代湖泊与湿地出现明显的地域性扩张与退缩

1. 湖泊面积扩张趋势明显

高原湖泊主要为构造湖、冰川湖、河成湖、堰塞湖、火山湖和人工湖6类。25年来高原区内湖泊现状和动态变化规律如下:

1)高原区内现有湖泊总面积43447.24km²。其中大于1000km²湖泊共有3个;大于500km²湖泊共有10个;大于100km²湖泊共有61个;大于10km²湖泊共有307个;大于1km²湖泊共有892个;大于0.1km²湖泊共有6065个;大于0.01km²湖泊共有38019个;其中以青海湖面积最大,现面积为4248.7km²。区内湖泊主要分布在西藏自治区和青海省境内,合计占湖泊总面积的95%左右,其余湖泊主要分布在新疆维吾尔自治区境内。在地理位置上,湖泊主要分布在昆仑山、冈底斯山脉和念青唐古拉山脉之间组成的菱形高原区即羌塘高原湖盆区内,形成密集的湖泊群;其余分布在青海省三江源区、柴达木盆地、喜马拉雅山脉极高山区。在流域上,高原湖泊主要分布在羌塘高原内流区,占全部湖泊面积的70%,其余分布在柴达木盆地、雅鲁藏布江、黄河、长江流域。

2)25年来,湖泊面积发生了较大变化,总面积增加了1985.3km²。面积大于1km²的湖泊个数增加了169个,面积大于0.1km²的湖泊个数增加了1035个,小湖泊增加更多。羌塘高原及其北部昆仑山湖泊面积和数量增加最为明显,主要集中在羌塘高原内部的那曲地区、可可西里和西藏与新疆交界附近昆仑山以南地区,而柴达木盆地、黄河流域、雅鲁藏布江流域湖泊面积和数量明显减少,主要分布在雅鲁藏布江中段的仲巴和改则县之间、柴达木盆地、昆仑山中段;长江流域湖泊面积略有增加。

2. 湿地

青藏高原湿地分为:河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地和人工湿地4大类。湿地动态变化分为扩张湿地、稳定(未变化)湿地和萎缩湿地三类。

遥感调查查明高原区内湿地现状和动态变化规律如下:

1)高原区内湿地总面积127927.3km²。湿地主要分布在青海省境内的青海湖上游北部

祁连山前、柴达木盆地格尔木市北部、沿长江源北部地区、四川省的若尔盖地区和西藏自治区羌塘高原南部和东部边缘。大部分为河流上游低洼部积水而成的河流湿地,如若尔盖湿地、长江源湿地;还有与湖泊萎缩有关的湿地,如柴达木盆地内的湿地。区内湿地面积最大的是柴达木盆地湿地,现面积达 22531.2km²,主要属盐碱湿地;其次是三江源湿地,面积达 19639.1km²,主要为草甸沼泽;若尔盖湿地,面积达 3945.1km²,主要为泥炭沼泽。

2)近 25 年来高原湿地发生了较为显著的变化,无论是湖泊湿地、沼泽湿地和其他湿地,总面积在减少。在地域分布上表现为高原周边明显减少而高原内部略有增减。

从 20 世纪 80 年代末到 21 世纪初 10 多年以来的监测显示,高原区内湿地面积明显减少,总面积减少 6937.18km²。柴达木盆地内湿地减少最为明显,减少达 6193.69km²,其次为那曲—安多之间;羌塘高原湿地增加 3256.38km²,可可西里南部内乌兰乌拉湖周围湿地增加最明显。从 20 世纪 70 年代到 90 年代直到 21 世纪初,若尔盖沼泽湿地面积持续减少,共减少 642.3km²。

三、青藏高原荒漠化总体面积变化不大,但荒漠化程度明显加重

高原荒漠化主要包括由砂砾石裸地、沙漠、重度沙漠化土地、中度沙漠化土地、轻度沙漠化土地组成的砂砾质荒漠化土地和由盐漠、重度盐碱化土地、中度盐碱化土地、轻度盐碱化土地组成的盐碱质荒漠化土地 2 种类型。

遥感调查查明,2000 年高原荒漠化土地 59 万 km²,占高原总面积的 23%。其中砂砾质荒漠化土地 51 万 km²,占总面积的 20%;盐碱质荒漠化土地 8 万 km²,占总面积的 3%。高原荒漠化分布表现有 4 个特征:

1)荒漠化土地以砂砾质成分为主。砂砾质荒漠化和盐碱质荒漠化 2 种荒漠化土地类型中以砂砾质荒漠化土地为主,总面积 51 万 km²,占全区荒漠化土地总面积的 86.5%,而盐碱质荒漠化土地近 8 万 km²,占全区荒漠化土地总面积的 13.5%。

2)砂砾质荒漠化以砂砾石裸地和沙漠分布占主导。砂砾质荒漠化土地中包括沙漠化土地和砂砾石裸地及沙漠三种类型。砂砾质荒漠化土地的分布面积中砂砾石裸地和沙漠类型略大于沙漠化土地类型,其中沙漠化土地类型 25 万 km²,砂砾石裸地和沙漠合计 26 万 km²。砂砾质荒漠化类型的分布现状反映了高原荒漠化仍然以自然因素形成为主,而人为因素导致的土地荒漠化占次要地位。

3)沙漠化土地中以中度沙漠化土地为主,重度沙漠化土地和轻度沙漠化土地分布面积较小。25 万 km²沙漠化土地中,有中度沙漠化土地 16 万 km²,占沙漠化土地的 64%;轻度沙漠化土地 6 万 km²,占 24%;重度沙漠化土地 3 万 km²,占 12%。

4)盐碱质荒漠化主要分布于高原东北部。盐碱质荒漠化土地包含盐碱化土地和盐漠 2 种类型。其中盐碱化土地类型分布面积 7.4 万 km²,盐漠 0.6 万 km²。可以看出高原盐碱质荒漠化土地以盐碱化土地类型为主,而盐漠分布面积较小。工作区内盐碱质荒漠化的另一特点是重度盐碱化土地和盐漠主要分布在青藏高原的东北部柴达木盆地内,而高原大部分地区以中度盐碱化和轻度盐碱化土地分布为主。

遥感监测还显示近 25 年来,高原荒漠化土地由 57 万 km²增长到了 59 万 km²,虽然增长的面积只有 2 万 km²,但这种增长是在其中的盐碱质荒漠化土地减少了 1.7 万 km²基础上

的增长数量,说明高原砂砾质荒漠化在不断扩展。综合分析认为高原土地荒漠化变化,包括面积变化和荒漠化程度变化两个方面,荒漠化的演变具有以下5个方面的规律:

1)土地荒漠化总面积较1975年有一定的增长,但年增长率较小。高原现有荒漠化土地59万 km^2 ,占工作区总面积的23%;1975年有荒漠化土地57万 km^2 ,占工作区总面积的21%。25年来,土地荒漠化面积增加了2万 km^2 ,年增长率仅为0.12%。

2)砂砾质荒漠化土地大幅度增长,盐碱质荒漠化土地减少。2000年砂砾质荒漠化土地达到了51万 km^2 ,比1975年净增面积3.6万 km^2 ,增长率达8%,平均年增长率为0.3%。其中增长率最大的是重度沙漠化土地和中度沙漠化土地,分别达到了317%和62%。与此相反,2000年盐碱质荒漠化土地有8万 km^2 ,比1975年减少面积1.7万 km^2 ,减少率为17%,平均年减少率为0.7%。盐碱化土地减少主要反映在轻度盐碱化土地面积大幅度的减少,由1975年的4.9万 km^2 ,减少到了2.7万 km^2 。

3)土地荒漠化演变的总趋势是程度明显加重。从1975年到2000年重度沙漠化土地由0.8万 km^2 ,发展到3.2万 km^2 ,增长率达317%;中度沙漠化由9.9万 km^2 ,发展到16.1万 km^2 ,增长率达62%。重度盐碱化土地则由1.3万 km^2 发展到1.7万 km^2 ,增长率达34%;中度盐碱化土地由2.7万 km^2 发展到2.9万 km^2 ,增长率为6%。与此同时,轻度沙漠化土地由12万 km^2 减少到了5.5万 km^2 ,减少率为54%;轻度盐碱化土地由4.9万 km^2 减少到了2.7万 km^2 ,减少率达44%。在荒漠化土地总体面积变化不大的情况下,上述变化反映了土地荒漠化程度正在由较轻程度向较重程度发展。

4)高原东北部是荒漠化程度加重的主要地区。土地荒漠化程度加重的主要地区分布在青藏高原的东北部,其中以柴达木盆地和青海南部的三江源地区最为突出。荒漠化程度加重主要表现为:①轻度沙漠化演变为中度—重度沙漠化或中度沙漠化演变为重度沙漠化;②中度沙漠化土地和重度沙漠化土地及沙漠的面积有明显的增加。

5)草地退化成荒漠化土地是土地荒漠化演变的重要特征。草地退化主要表现在草地面积呈大幅度的减少,而重度沙漠化土地、中度沙漠化土地以及沙漠和砂砾石裸地呈大面积的增加。遥感调查监测的统计结果显示,近25年来草地和林地共减少了1.4万 km^2 ;同时重度沙漠化土地、中度沙漠化土地和沙漠都有大面积的增加,而耕地和沼泽地共增加了1万 km^2 ;草地和林地的减少与耕地和沼泽地的增加相差0.4万 km^2 ,说明至少有0.4万 km^2 的草地和林地已退化成砂砾质荒漠化土地。

四、高原特殊的地质构造形成了大量崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害

1)高原全区查明有地质灾害点3259处,其中崩塌418处、滑坡663处、泥石流2178处。

2)区内地质灾害主要发生在地形复杂、坡度大、切割深的高山峡谷地段,如横断山脉和喜马拉雅山东段。地形地貌复杂、由高差引起的岩土体的重力不稳定是地质灾害发生和发展的首要原因。

3)根据灾害发育程度,对全区地质灾害进行了综合分区,全区共划分出3个危险区、6个不稳定区、6个较稳定区、3个稳定区。

第二章 现代冰川雪线遥感 调查与演变研究

第三纪末期以来,随着冈瓦纳大陆向北漂移,印度板块不断与欧亚板块碰撞,整个青藏高原强烈隆起,形成了世界上最高和最大的山地高原。它们伸入到雪线以上,发育了数量众多和规模巨大的山地冰川,从而使中国成为中低纬度地区山岳冰川最发育的国家。

青藏高原不仅占据了中国现代冰川的绝大部分,而且还是中国两大水系(长江和黄河)和众多外流水系(雅鲁藏布江、澜沧江、怒江等)的发源地,被誉为亚洲水塔。现代冰川作为青藏高原主要的地表径流补给源之一,其变化不仅对区域性气候、河流湖泊演变、荒漠化产生和发展、地质灾害的产生起重大的影响作用,而且还影响中国的气候变化和可持续发展。因此,利用遥感技术开展青藏高原现代冰川雪线分布现状与变化调查,对中国环境保护战略的实施和生态环境的建设等意义重大,同时可为冰川资源的合理利用提供基础资料。

第一节 概 述

现代冰川是本身具有经常运动性能、主要分布在陆地上、能长期存在的自然冰体。它具有一定的形态和规模,是由大气各种固态降水的积累和变化而形成的^①。

现代冰川有以下3个最基本的特征:

1)首先,冰川是沉积成因的(即由粒雪沉积而形成的)冰的自然堆积体。因而冰川是由大气产生的。这便是冰川与极地海面上的浮冰不同的地方,虽然浮冰也是多年形成的自然冰,但它是由于水冻结而成的,不属于现代冰川的范畴。

2)冰川是大陆生成物。虽然冰川也可以延伸到海洋和湖中,但它总是发源于陆地上。

3)冰川最重要的特征之一就是它具有独立的、由冰本身性质所决定的运动性能。因而,不运动的或被动运动的冰的堆积体(例如能被风或水流所搬运的水冰)都不是冰川。

冰川和非冰川之间的界线是有的,而且还很清楚,这便是从不运动过渡为运动。暂时还不运动的雪的堆积体是雪堆。当它开始运动,也就是在自己的发展过程中具有新的性质时,便已成为一条小冰川。当冰川由于退缩而停止其运动时,便成为死冰,即成为过去的冰川了。

青藏高原有两种气候类型。西藏东南部、滇西和川西山地为海洋性气候;其他地区为大陆性气候。

受上述两大气候的影响,青藏高原冰川也分两种类型。在西藏东南部、滇西和川西山

① C. B. 卡列斯尼克,冰川学概论,1982,中国科学院兰州冰川冻土研究所。

地,由于受海洋性气候影响,形成典型的海洋性冰川;在其他地区,由于受大陆性气候影响,形成典型的大陆性冰川。青藏高原冰川都属山岳冰川。山岳冰川按形态又可分为山谷冰川、悬冰川、冰斗冰川和平顶冰川。青藏高原这几类冰川都有发育。

大气固态降水的年收入等于年支出的这个面称为雪线。因而,在雪线以下,便没有永久积雪;而在雪线以上,一年降落的雪,却不能全部融完。

通常所说的雪线,是指理论雪线或气候雪线。在这条线上大气固态降水的零平衡,是根据平坦的非遮阴地面上气象条件的多年平均状况确定的。

季节性积雪是指临时性或偶然隔年存在的积雪或雪堆。

一、遥感调查内容与分类系统

1. 遥感调查研究的技术路线和内容

青藏高原现代冰川雪线分布与变化调查以 20 世纪 1965 年航摄编制的 1:10 万(局部 1:25 万)地形图上分布的现代冰川为基准数据,1975 年陆地卫星 MSS 数据和 2000 年 ETM 数据为现状调查对比数据,同时结合局部的 1987 年陆地卫星 TM 数据,通过正射卫星影像图制作、现代冰川雪线解译标志建立,采用计算机自动提取和人机交互解译相结合的方法提取专题信息,参考全国冰川编目数据,编制成果图件,查明青藏高原现代冰川雪线分布状况及动态变化,探索由此产生的生态地质环境效应(图 2-1-1)。

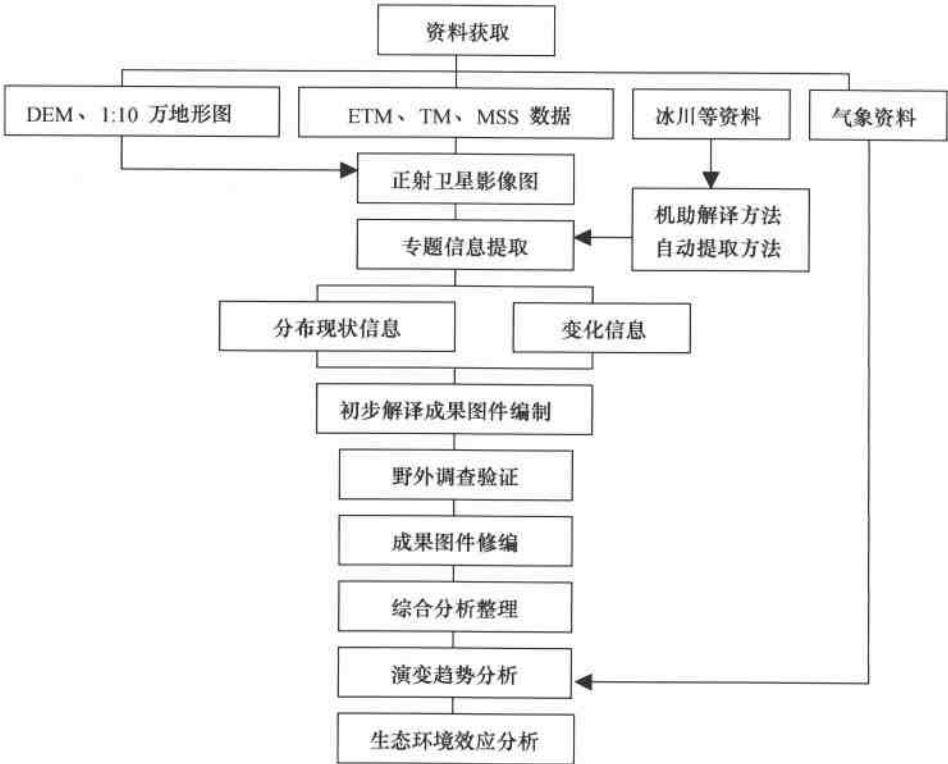


图 2-1-1 调查研究技术流程图

2. 冰川遥感调查分类系统

按照国际冰川编目规范,需要对每一条冰川按其分布的流域进行面积、长度、类型、朝向、分布位置、雪线高度等 34 项指标进行量算,然后按山脉和各级流域进行统计和分析研究。

本次调查研究是为了摸清青藏高原现代冰川的面积和 30 年来的变化状况,旨在为青藏高原生态地质环境遥感调查与监测及生态地质环境演变研究提供基础数据。因此,在实际工作中,按青藏高原内的喜马拉雅山、冈底斯山、昆仑山、喀喇昆仑山、念青唐古拉山、唐古拉山、阿尔金山、祁连山、横断山、帕米尔高原和羌塘高原十一大山系(图 2-1-2),分别进行代现冰川的面积和变化状况调查。对部分重要冰川进行长度变化状况调查。

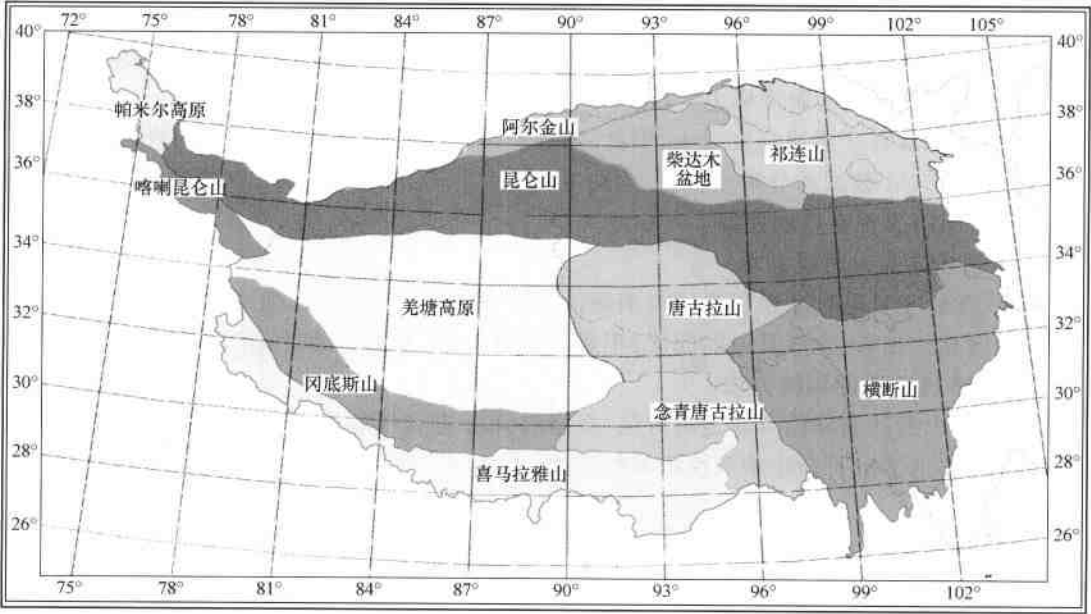


图 2-1-2 青藏高原山系划分图

二、冰川雪线遥感解译标志和方法

1. 现代冰川雪线的解译标志

(1) 现代冰川的解译标志

根据现代冰川的定义以及冰川的特征,区内的冰川具有下列解译标志:

1) 由于冰川是由雪变质而成,但仍然保留了冰雪的光谱特征,因此,冰雪的解译标志也是冰川的主要解译标志(图版 2-1-1)。

2) 中国分布的全为山岳型冰川,因此,冰舌是冰川的直接解译标志(图版 2-1-2)。

按地形的绝对高度、相对高差和切割程度,青藏高原边缘山地与其内部山地形成鲜明对照。青藏高原边缘的喜马拉雅山、喀喇昆仑山、念青唐古拉山和横断山等山脉,海拔高度

7000m 以上的山峰众多,仅 8000m 以上的山峰就有 14 座之多,它们相对高出其山麓谷地或相邻平原达 3000 ~ 6000m,受到极其强烈的切割侵蚀,坡陡谷深,是巨大的深嵌型山谷冰川的发源地。相比之下,青藏高原内部山地的海拔很少超过 7000m,相对起伏一般为 1000 ~ 2000m,地形较为平缓,保留着大面积的高原夷平面,从而有利于冰川在横向、大体水平方向上扩展,故形成了以平顶冰川或冰原(帽)为主要类型的高原冰川,冰舌短促(图版 2-1-3)。

3) 地形、面积、厚度也是冰川的解译标志。按照现代冰川的定义,冰川发育与地形关系密切,区内冰川都发育于高山地带;冰川具有一定的形态、面积和规模,多呈集群分布(图版 2-1-4)。

4) 冰川是变质后的和运动着的冰体,因此,许多变质岩的特征可作为冰川的解译标志,如褶皱、裂隙、变形构造等(图版 2-1-5)。

5) 对于表碛覆盖严重冰川的冰舌,冰川末端的界线确定非常困难,将大大影响变化面积的调查。实际工作中根据冰川的运动特性,将连续的弧形影像和斑点状冰块影像的集合体作为冰川末端界线的解译标志。

6) 冰川都发育于雪线高度以上,因此,各地的雪线高度也是冰川的重要解译标志之一。

7) 由于 ETM 数据的分辨率限制,对分布稀疏、小于分辨率单位的冰塔林无法解译,因此,这部分冰川面积有可能遗漏。

(2) 现代雪线的解译标志

现代雪线主要通过冰川积累区与消融区的影像特征差异,间接确定雪线位置。通常情况,消融区显蓝色彩,表面具微弱起伏;积累区显蛋青色,表面平滑(图版 2-1-6)。

2. 季节性积雪的剔除方法

季节性积雪的剔除没有特定的方法,根据解译标志和经验进行剔除。根据对区内冰川的解译,总结出了以下剔除季节性积雪的方法。

(1) 季节法

尽量选择夏季或干燥季节遥感图像,如 7 ~ 9 月份,可以使季节性积雪对冰川解译的影响降到最低程度。

(2) 光谱特征法

冰川与季节性积雪在光谱特征上有很大差异,冰川具有较高的亮度,而季节性积雪一般亮度值较冰川低。

(3) 相邻景不同时相图像对比剔除法

由于相邻的遥感数据时相不同,因此季节性积雪的分布不一致,可以根据这一特征,把呈异常特征分布的积雪当成季节性积雪剔除。

(4) 冰川形态法

冰川是自然界长期作用的产物,经过长年的积累消融,冰川具有了一定的形态,而季节性积雪一般没有固定的形态,分布也杂乱无章,而且厚薄不均匀。

(5) 冰舌法

由于青藏高原分布的都是山谷冰川,除内部的部分高原冰帽外,一般都发育有长短不一的冰舌,而季节性积雪则没有明显的冰舌,可以根据这一标志剔除部分季节性积雪。

对于薄的和小范围的季节性积雪可以通过上述方法予以剔除,对于大范围的和厚的季节性积雪目前仍无较好的方法予以剔除。

(6) 冲积扇法

现代冰川发育的谷内有大量的冰碛物,在冰川谷的出口处存在规模较大的冲积扇,而季节性积雪发育处一般没有冲积扇,这一特征在西昆仑山地区最为明显。因此,可利用下游的冲积扇剔除季节性积雪。

3. 现代冰川雪线解译方法

(1) 现代冰川解译方法

由于青藏高原的现代冰川都是山岳型冰川,分布于极高山地,山体切割强烈,遥感图像变形强烈。考虑到本次工作的卫星遥感数据的空间分辨率和现代冰川、雪线可能的变化程度,为了把调查误差减少到最低程度,使得调查结果与实际相符合,对应用于青藏高原冰川雪线解译的卫星数据进行正射纠正。

采用人机交互解译方法,勾绘现代冰川的边界和变化信息;采用两期影像叠加的方法,判断现代冰川的变化状况。

现代冰川变化信息的自动提取采用了计算机自动分类、人机交互解译和立体三维解译三种方法。

1) 计算机自动分类。遥感影像分类是利用计算机对影像中各类地物的光谱信息和空间结构信息等特征量进行分析,发现特征模式,用一定的分类原则将各个像元划分为互不重叠的不同子空间;然后将影像中各个单元划归到各个子空间去。遥感影像中的同类地物在相同的条件下(如同一景 TM 影像等)具有相同或相似的光谱信息和空间信息特征,即同类地物的像元特征及几何量将集群在同一特征空间区域内,不同的地物因光谱和空间信息不同,因而将集群在不同的特征空间区域内。①基于对青藏高原冰川特征的理解,采用多波段 TM 影像数据,利用 TM 影像在各个波段上反应冰川的特征变量不同,依据多变量影像的特征,计算冰川的空间集群分布。②监督分类。选择已知的冰川为样本区,建立分类模板,运用最大似然分类法(一种基于冰川样本数据的方法),根据光谱空间分布服从高斯正态分布规律的法则提取冰川的空间分布信息。③由于冰川与季节性积雪的相似性,运用监督分类法提取的冰川信息,会包含一定的季节性积雪。对第一次监督分类的结果进行二次监督分类。在已分类的冰川区域对训练区的模板进行修改,建立冰川与季节性积雪的训练样区。根据多波段遥感影像上冰川与季节性积雪的光谱特征存在的细微不同,进行二次分类,区分冰川与季节性积雪。④对分类结果后处理。通过聚类处理、过滤分析、去除分析及分类重编码后处理后,消除噪声,完成冰川在遥感影像上空间分布信息的提取。⑤对不同相的遥感影像分别进行监督分类,提取不同时相的冰川分布范围。通过分类特征统计、栅格矢量数据转换及矢量数据套合、裁切,提取冰川的变化信息。

a. 变化信息的提取方法。变化信息提取的前提是两个以上时相的遥感图像,而且彼此已完全配准。不同时相遥感数据之间几何的配准精度对于变化信息的提取至关重要,数据配准的误差会导致本无变化区域的光谱发生变异,经过正射校正后的遥感数据可基本消除上述误差,从而正确提取冰川的变化信息。

光谱特征变异法 对不同时相的遥感数据,由于变化信息在光谱特征上的不同,当两组数据融合时,变化区域的光谱特征将发生变化。为了突出变异特征信息,对图像进行线性拉伸,产生光谱特征变异图像后,可实现冰川变化信息的判读(图版 2-1-7)。

差异主成分方法 首先,将两个时相的多波段图像按对应波段相减并取绝对值,得到多波

段差值图像;然后,进行主成分变换,变换结果的第一分量将集中大部分冰川变化信息(图版 2-1-8,2-1-9)。

主成分差异法 首先,将两个时相的多波段图像分别做主成分变换;然后,根据变换结果的差值,提取冰川变化信息(图版 2-1-10)。

利用阈值法自动检测变化信息 根据两个时相遥感图像光谱信息的差异,设置变化阈值,以变化阈值为基础提取冰川的变化信息。由于本次调查确定的两期遥感数据上冰川的变化较为明显,所以,可定义较大的变化阈值,以最大限度地消除其他信息的影响。首先,确定变化阈值为 20%,输出变化结果的图像,红色区域只包含了冰川变化的单一信息,而没有其他的夹杂信息;然后,标明变化区域,这些区域就是冰川的变化信息(图版 2-1-11)。

自动分类差值法 在两期遥感图像自动分类的基础上,根据对应波段的差值,提取出冰川变化的区域(图版 2-1-12)。

b. 变化信息的解译。上述变化信息的提取方法为冰川变化信息的正确提取提供了可靠的理论依据。在自动分类的基础上,采用叠合变化信息和多时相遥感影像分析的方法,实现变化信息的解译,冰川变化信息采用人机交互解译的方法。根据工作人员对冰川特征的理解,剔除季节性积雪,消除伪变化信息对解译的影响,提取冰川变化的真正范围。

c. 变化信息的栅格矢量化。选择对冰川变化信息反映强烈的 7 波段主成分变换-变化信息图像,建立冰川变化样区,冰川未变化样区,采取监督分类的方法,制作变化与未变化区域分类专题图,最后,将分类成果转换为 ARC/INFO 格式的矢量数据(图版 2-1-13)。

2) 人机交互解译。叠合变化信息的矢量数据和多时相遥感影像,解译冰川变化的范围。在变化信息区域内,依据冰川的解译标志,采用人机交互解译方法,剔除伪信息,提取正确的冰川变化信息。

3) 三维立体解译。可视化是地理信息系统中一个重要的理论与技术问题。随着计算机图形学的发展,可视化技术已逐渐被接受和应用,它正日益、广泛地深入到人们日常工作、学习和生活中,使用复杂的计算技术,可把各种数据、符号及其他信息转变成一种可视的图像。传统的二维地理信息系统已不能满足多种多样的可视化需求,而交互的三维虚拟地理环境,借助计算机图形学、图像处理、计算机视觉、用户界面设计及信息处理等相关技术,将传统的地理信息系统和虚拟现实技术结合起来,用直观、可视的方法来描述地理环境。动态地、形象地、多视角地、多层次地描绘地球科学中的客观现象。

由于现代冰川解译成果的野外验证工作比较困难,使得绝大部分解译成果不能实地验证,这样,部分不确定的解译区域的正确性就存在一定的问题。但通过遥感图像正射处理、立体测量系统以及虚拟地理信息系统,将遥感图像、矢量、DEM 数据快速地融合在一起,建立起具有真实感的虚拟环境就可以部分地解决上述存在的问题,因此,三维虚拟地理环境对提高现代冰川解译的正确率具有重要意义。

a. 数字高程模型(DEM)的应用。数字高程模型(DEM)分为矢量形式和栅格形式,其中,矢量形式 DEM 的典型代表是不规则三角网 TIN 数据,栅格形式 DEM 的典型代表为 Grid 数据。

Grid 是一种格网数字高程模型,即采用规则的格网将空间划分为规则的格网单元,每一个格网单元都具有一个高程值。在数字高程模型中,单元所具有的值 of 格网中心点的高程值。由于格网单元是均匀分布的,因此,它不能准确地表达地表的细部和结构,也就是说

不能够表达实际地势起伏情况。但是,应用小波变换技术,对格网数据进行处理,可以通过插值法细化格网,进而表达更多的细节。

TIN 模型是根据区域内有限个点集,将区域划分为相连的三角形网络,区域中任意点落在三角面的顶点、边上或三角形内。如果点不在顶点上,该点的高程值通常可通过线性插值的方法得到。TIN 数据存储方式比格网 DEM 复杂,它不仅要存储每个点的高程,还要存储其平面坐标、节点连接的拓扑关系,三角形及邻接三角形等关系。正是它的这些优点,导致其数据量较栅格形式 DEM 成倍地增加,同时也增加了数据存储和操作的复杂性。

TIN 由连续的三角面构成,三角面的大小及形状取决于节点的位置和分布疏密程度,随着地形起伏变化的复杂性改变节点的密度和位置,也就能够更为真实清晰地反映实际情况。

总之,TIN 与 Grid 的不同之处在于:TIN 是由离散的数据点构成,比较适合复杂的地形;Grid 是由原始数据进行内插构成,适合简单、平缓变化的地形。TIN 数据格式占用巨大的存储空间,其生成的速度要比 Grid 慢。TIN 能较好地顾及地貌特征,点、线能逼真地显示复杂地形的起伏特征,并能克服地形起伏变化不大的地区产生冗余数据的问题。但由于数据量大,数据结构复杂,生成比较复杂,因此,TIN 一般只适宜于小范围、大比例尺及高精度的地形建模。TIN 比 Grid 更能表现地势的细节。Grid 结构十分简单,数据量很小,各种分析与计算非常简单、方便,因此,本次调查的 DEM 采用 Grid 结构。

本次以国家基础地理数据 1:25 万等高线为 DEM 的基础高程数据,生成 Grid 栅格数据。

b. 遥感图像的应用。为了保证三期卫星影像数据三维可视化的精度,本次对三期遥感影像全部采用导入卫星轨道星历参数方法进行正射处理。

c. 矢量数据层的应用。根据现代冰川的定义以及区内冰川的特征,在二维窗口运用自动分类方法进行冰川解译及变化信息提取,得到的冰川解译成果为矢量数据层。

建立的三维场景是为了利用其进行分析,获得该地区的地理参考信息。目前在三维领域内可利用的软件有 ENVI,ERDAS,ARCGIS 等。本次主要采用 ERDAS 和 ARCGIS 软件,系统建立三维场景,并进行地理信息的空间分析。

虚拟地理信息系统的主要功能为:①数据的动态查询和检索。不仅可以实现对数据属性的快速动态查询、检索和统计分析,还可以实现对矢量、栅格空间数据的动态查询与分析。②地理信息的空间分析。以空间数据和属性为依托,进行各种空间应用分析,可以进行通视分析:包括两点通视和一点通视;坡度和坡向测量:对任意一个点能够计算出该点的坡度和坡向。使用 DEM 生成对应的坡度图和坡向图。③剖面分析。在地形中画线段,然后可以求出该线段的剖面图。长度测量:完成对任意点之间线段的长度测量,或者根据用户输入点来进行长度测量;面积测量:对任意区域的面积测量,包括覆盖面积和投影面积。

d. 虚拟三维场景的建立和三维立体解译的方法。虚拟三维场景的建立和三维立体解译是以 DEM 数字高程模型为基础,覆盖正射遥感影像数据和解译矢量数据层,直观动态地观测冰川演变的过程。对羌塘高原普若岗日冰原进行的冰川变化信息解译如图版 2-1-14 ~ 图版 2-1-16 所示。

1975 年卫星影像在三维立体模型上显示冰川舌尖空间位置:

$X_1 = 15705347\text{m}$, $Y_1 = 3744279\text{m}$, $Z_1 = 5339\text{m}$ 。

2000 年卫星影像在三维立体模型上显示冰川舌尖空间位置:

$$X_2 = 15705083\text{m}, Y_2 = 3744351\text{m}, Z_2 = 5396\text{m}$$

对比这条冰川的空间位置的变化:

$$\Delta X = X_2 - X_1 = 15705083 - 15705347 = -264\text{m}$$

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1 = 3744651 - 3744279 = 372\text{m}$$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = 5396 - 5339 = 57\text{m}。$$

解译数据显示,该冰川(5Z213E9)在 25 年里,向东退缩了 264m(冰舌宽度减小程度),向北退缩了 372m(冰舌末端后退距离),冰川末端高度上升了 57m。

(2) 现代雪线解译方法

根据赫斯法原理,在 1:10 万地形图上确定基准雪线的高度;根据遥感图像显示出冰川积累区与消融区的过渡界线确定现代雪线高度,通过对比,确定现代雪线上升与下降的高度值。

第二节 现代冰川雪线分布现状与演变

青藏高原现代冰川雪线调查研究始于 19 世纪末至 20 世纪初,有西方国家少数地质、地理、生物学家到中国西部山区探险考察,涉及第四纪冰川与现代冰川的报道。

1956~1978 年青藏高原的现代冰川雪线以科学考察和专题调查研究为主。

1978 年以来,按照国际冰川编目规范,系统地开展全国冰川目录编制工作,到 1999 年底,由王宗太、刘潮海主持,已经出版《中国冰川目录》11 卷 23 册。在这一期间,青藏高原综合考察、登山探险、旅游和国际合作研究等,取得了比较全面的研究成果。

1978 年以前,对冰川多为考察和一般性研究工作,涉及范围小。由于受自然地理条件和其他客观条件的限制,一般是对单条冰川进行考察、研究,很少涉及区域性面上的工作。

1978 年以后,随着科技水平的提高和对外交流的增多,对冰川的考察、研究工作更为细致、深入,研究领域也更为拓宽,研究水平大为提高。全国冰川目录编制工作以 20 世纪 60 年代末期和 70 年代初期航摄编制的 1:10 万地形图上冰川的分布面积为基准,结合航摄的黑白航片和美国的 Landsat5 卫星相片,同时应用了大量的野外实测资料,使得数据更为系统、翔实和正确。但全国冰川目录编制数据反映的是成图当时的冰川面积、体积和雪线高度,是静态数据。

随着时间的推移,尤其是从成图的当时到现在,已经过去了 30 多年,在这 30 多年时间里,控制现代冰川发育和消融的气候条件发生了重大改变,由于气候的变化,尤其是降水的阶段性变化和气温的急剧升高,对冰川的影响很大,冰川的此消彼长现象明显。另外,自然环境受到人为破坏程度的加剧也导致了冰川消融速度的加快。因此,过去静态的数据不能客观地反映目前我国冰川的现状。虽然,陆续也对个别冰川进行了长期的监测,但对于数以万计条冰川来说简直就是沧海一粟。尽管这些监测数据可以局部反映所处地区冰川的变化状况,但样本远远不够,没有实际的代表意义。

虽然很多研究机构根据一些冰川的调查数据对中国的冰川进行变化趋势的分析,由点到面对各山系的冰川变化进行了推测,但对于动态的冰川数据来说,显然不能客观地反映其变化规律。既然个别冰川监测数据不能客观、全面地反映目前我国冰川资源的现状,那么有

必要利用先进的和具有动态监测功能的遥感技术对中国冰川资源的现状和近 30 多年来的变化作一全面的调查。以客观、真实地反映我国冰川资源的现状,为保护和合理开发、利用冰川资源,保护生态环境提供基础数据。

一、现代冰川发育的条件

1. 研究区山地与冰川发育

冰川发育最基本的地形条件是山脉或山峰的海拔是否伸入到雪线即平衡线高度以上,因此,山脉或山峰的绝对高度及其在雪线以上的相对高差,是决定山地冰川数量多少和其规模大小的主要地形要素。随着雪线以上山地面积的增加,冰川发育规模和数量将增大,两者具有很好的线性关系。根据这一关系,山脉海拔越高,冰川形成的积累空间就越大,同时也为冰川发育提供了更多的冷储和拦截更多的降水(刘潮海等,2000),因而在工作区内的喀喇昆仑山、昆仑山、帕米尔山、唐古拉山、念青唐古拉山、贡嘎山、羌塘高原内的众多断块山、冈底斯山和珠穆朗玛峰等高大山峰四周,放射状地分布着复式或树枝状山谷冰川和高原冰帽,从而形成了巨大的冰川作用中心,在冰川资源总量中占有重要的地位。

冰川发育及其形态类型决定于山体最高高度及其与雪线水准面的对比关系。雪线高度又取决于气候、地形与冰川的相互作用特别是降水与温度条件(刘潮海等,2000)。

山体高出其雪线的高度愈高,冰川发育的规模就愈大。冰川由悬冰川和冰斗冰川向山谷型冰川过渡。山体高出雪线 300 ~ 500m 的山地,冰川发育的规模不大,一般在其山脊两侧或山峰四周发育以悬冰川和冰斗冰川为主要类型的小冰川;而山脊或山峰高出雪线 600 ~ 700m 以上的山体,就可能发育山谷冰川,其中高差大约在 1000 m 的高山区,就有可能出现长约 10km 的山谷冰川,高峰或山脊高出雪线 2000 m 以上的高大山区,可能发育十多千米至 30 ~ 40km 的复式山谷冰川或树枝状山谷冰川(刘潮海等,2000)。

山脉走向、坡向、形态和切割程度等地形要素,通过影响降水、积雪再分配和热量条件而决定冰川形态类型、规模和活动性。坡向通过影响降水量和热量条件而使冰川规模发生变化(刘潮海等,2000)。

2. 冰川发育的气候条件

水(降水)、热(气温)及其组合是影响冰川发育的主要气候因子。降水决定冰川累积,气温决定消融。因此,降水的多少及其年内分配和年际变化,影响冰川的补给和活动性,而气温的高低影响成冰作用和冰川融水。气温和降水共同决定冰川的性质、发育、演化(刘潮海等,2000)。

降水和大气环流有密切关系。按水气来源的方向,青藏高原山地盛行西风环流和南亚季风环流。由于亚洲中部高山高原地理位置的决定,青藏高原本身所形成的高原季风气流以及山区局地环流对山地降水也有重要影响。南亚季风环流是青藏高原东南部山地冰川的哺育者(刘潮海等,2000)。

受上述环流形势的影响,青藏高原山地降水量明显多于山麓河谷或盆地,而降水量又在盆地边缘山地增多,随着远离水气补给源地,降水量自西北、西南和东南三个方向上的边缘山地向其内部山区递减,在青藏高原内部山地、西昆仑山东段和祁连山西段,气候的大陆度明显增强,气候十分干燥,是降水量最少的山区。在西藏东南部冰川雪线高度处的年降水量

大于1000mm,最多可达2000mm以上(施雅风等,1998),是工作区内季风海洋型或温冰川发育的主要地区。而位居内陆腹地的西昆仑山东段、祁连山西段和青藏高原内部山地,雪线高度处的年降水量在300~500mm左右,是典型的极大陆性或极地型冰川发育区(刘潮海等,2000)。

降水年内分配形式和最大降水的集中时间,比降落在冰川表面上的固态降水总量更能影响冰川的性质(刘潮海等,2000)。

年平均气温或夏季平均气温受各大山系和高原的明显制约。气温随着海拔升高而降低,但并非一直呈线性递减,在由非冰川区过渡到冰川表面时,气温递减梯度值增大(刘潮海等,2000)。根据前人对研究区内冰川分布山区温度的测量结果,绝大部分处于终年负温区,为冰川发育提供了所必需的低温条件。随着湿润度的降低,青藏高原内由湿润或半湿润的边缘山地过渡为内部的干旱山区,冰川雪线和末端高度上升,冰川更多地依赖于高大山脉所提供的丰富冷储而发育(刘潮海等,2000)。

二、现代冰川雪线现状

根据地质特征和地质演化史,把青藏高原划分成两部分,即北部的帕米尔-昆仑-阿尔金-祁连山地区,南部的川滇青藏地区。北部地区包括了帕米尔高原、昆仑山、喀喇昆仑山、阿尔金山和祁连山五大山系的五个冰川作用中心,南部地区包括了羌塘高原、念青唐古拉山、唐古拉山、横断山、喜马拉雅山和冈底斯山六个冰川作用中心。1965~2000年的30多年时间里,青藏高原的现代冰川面积发生了阶段性的变化(表2-2-1,图2-2-1),对青藏高原生态地质环境的演变产生了重大影响。

表 2-2-1 1965~2000 年青藏高原现代冰川面积变化状况 (单位:km²)

山 系	基准面积	1975 年面积	变化面积	2000 年面积	变化面积
阿尔金山	250.15	276.41	+26.26	249.99	-0.16
冈底斯山	1940.17	1955.38	+15.21	1641.03	-299.14
横断山	1625.35	1920.94	+295.59	1665.05	+39.70
喀喇昆仑	6958.95	7029.04	+70.09	6374.65	-584.30
昆仑山	12489.04	12658.94	+169.90	11949.17	-539.87
念青唐古拉	8976.95	9075.09	+98.14	8457.88	-519.07
唐古拉	2332.40	2389.11	+56.71	2235.58	-96.82
帕米尔	2753.42	2758.37	+4.95	2330.22	-423.20
羌塘高原	3381.31	3406.79	+25.48	3273.27	-108.04
祁连山	2040.25	2061.85	+21.60	1847.08	-193.17
喜马拉雅山	8080.92	7742.95	-337.97	6863.31	-1217.61
合计	50828.91	51274.87	+445.96	46887.23	-3941.68

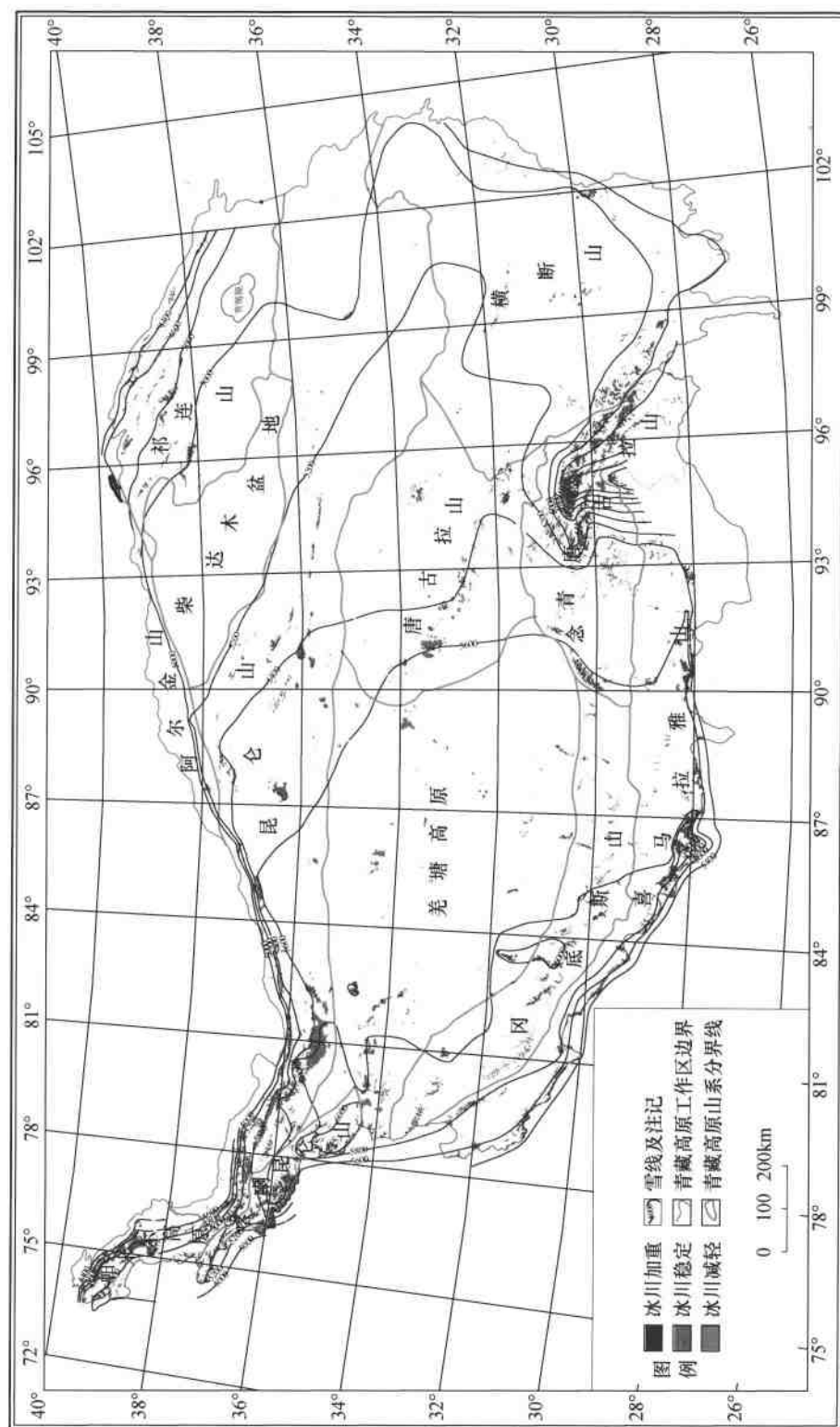


图 2-2-1 青藏高原冰川雪线分布图

（一）帕米尔山现代冰川、雪线遥感调查

青藏高原内的东帕米尔山区,位于中国天山和昆仑山之间。整个地区除河流及其边缘外,海拔一般均在 4000m 以上,自古以来素称帕米尔高原,最高峰公格尔山 7719m,次为慕士塔格山,7546m。喀什噶尔河(上游称克孜勒苏河)和叶尔羌河向东北流入塔里木盆地,消失于塔克拉玛干沙漠之中,均属塔里木内陆水系。由于新构造运动使青藏高原强烈隆升,使得该地成为高原,挡住了太平洋的东南季风及西南印度洋的潮湿气流,致使帕米尔山区降水甚少,气候极端干旱。

1. 冰川的分布特征

(1) 气候与冰川的关系

气候对冰川的发育有极重要的影响,尤其是降水。但是,本区由于地处内陆干旱区,根据周边气象台站的资料,年降水量一般不超过 100mm,因此,降水对本区冰川的发育和分布是次要的,而主要的是受纬度的控制。因为在相同地形、相同时间的情况下,纬度越高,太阳高度角越小,单位面积得到的太阳辐射能越小,温度越低,有利于冰川的发育和保存。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

由于各山体规模不等,本区冰川在各山区的发育状况是不平衡的。

1) 海拔低于 6000m 的沙里阔勒岭,由于面积大,冰川分布广,但面积较小,都为小规模冰川。

2) 昆盖山和公格尔山,由于山峰高,山体大,冰川作用规模也大,冰川面积占据了整个山系的一半以上。

(3) 冰川朝向

根据冰川的分布状况,帕米尔山区冰川主要朝向为北东方向,其次是西南方向,再次为正北方向。造成帕米尔山区这种冰川朝向的原因有以下几点:

1) 由于受区域构造线的影响,帕米尔山区的山体呈北西-南东方向展布,因而在这一山系上沿着它展布的垂直方向发育着现代冰川,所以,冰川方向首先是应该指向北东和南西。

2) 影响冰川消融的主要因素是太阳辐射平衡热,在海拔较高的帕米尔山区,这一影响更为显著。在这种情况下,北东方向因处于阴坡,因此,消融要比南西方向弱得多,以至于北东向冰川要比南西向规模大。

3) 同样由于构造、地形和辐射量的差异,造成了正北方向的冰川比除北东方向和西南方向外的其余冰川规模要大。正北向和北西向的冰川数量相当多,但主要是小冰川。

2. 冰川的类型

区内发育的冰川主要有山谷冰川和峡谷冰川两种:

1) 山谷冰川。主要分布在慕士塔格山、公格尔山和昆盖山的东北侧。其特点是冰川规模大,且有宽大的 U 形谷,没有明显的粒雪盆,主要靠冰雪崩和吹雪补给。消融极强,裸露冰面少,冰舌区大部分出现表碛丘陵、冰面河和冰面湖,冰下形态极多,有高大的侧碛,没有明显的终碛。

2) 峡谷冰川。其长度一般在 10km 以上,中上游发育在上千米的陡崖峡谷之中,粒雪盆十分狭长,冰川靠冰崩补给,冰面形态也较复杂。在峡谷内有平坦的粒雪源,峡谷附近有裂隙纵横的冰瀑布,往下是冰塔、冰蘑菇(桌)以及大片的表碛丘陵,其中冰面(下)湖、冰面

(下)河及冰洞等很多,侧碛只在峡谷外出现,终碛不是很明显。由于槽谷陡窄,山麓海拔高,冰体在谷中受压后便顺谷床冲泛于没有固定的槽谷山麓上。

由于本区气候极端干寒,冰雪补给量少,冰层薄,冰温低,塑性流动弱,因此,冰川末端不能大规模地展宽。

3. 现代冰川的调查

根据统计,在中国境内的帕米尔高原共分布着大小不等的 1289 条冰川(数字来源于全国冰川编目资料,以下同)。根据本次遥感调查结果,在 1965 年地形图上,冰川面积为 2753.42km^2 。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积减少了 423.2km^2 ,冰川面积减少率为 15.37%。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 428.15km^2 ,冰川面积减少率为 15.55%。

帕米尔高原的沙里阔勒岭冰川消减最为明显,这是由于该地区冰川规模较小所致。其次是外阿赖山一带和公格尔山,再次是昆盖山,慕士塔格山冰川消减量最小。

4. 雪线的调查

帕米尔山区总体雪线高度为 4600~5100m,自东向西雪线逐渐增高。

沙里阔勒岭东段的现代雪线为 5000m,基准雪线为 4900m,雪线上升了 100m(图版 2-2-1)。

慕士塔格山的现代雪线为 4800m,基准雪线为 4650m,雪线上升了 150m。

昆盖山的现代雪线为 4800m,基准雪线为 4500m,雪线上升了 300m。

总之,帕米尔山区雪线呈明显的上升变化状态,雪线上升约 100~300m。

5. 主要存在问题

由于帕米尔高原冰川的表碛作用强烈,遥感调查的面积可能会比实际的要小,冰川面积实际减少的数据会偏大。另外,部分地区的季节性积雪也影响了解译精度。

(二) 昆仑山现代冰川、雪线遥感调查

昆仑山西起塔什库尔干河谷,东至黄河上游大拐弯处的松潘草地,全长 2500km,横跨 30 个经度带,素有“中国的脊柱”之称。昆仑山按其位置、走向和海拔高度分为西昆仑山和东昆仑山,其中西昆仑山西起塔什库尔干河谷,东至克里雅河,介于东经 $75^{\circ}10' \sim 84^{\circ}40'$ 之间。西昆仑山主峰海拔多在 6000~6500m 间,主峰昆仑峰海拔 7167m。

大气环流是一个地区气候的重要因素,但大气流向常受地区周围及地区内部地形条件控制。由于昆仑山地区处于青藏高原北缘,南部受青藏高原阻隔,印度洋潮湿气流难以到达,因此,影响昆仑山地区的主要环流是西风气流。本区北部山前平原处于塔克拉玛干沙漠南缘,夏季干热,冬季干冷,全年干旱少雨。在 1500m 以上的河谷地带,降水明显增大,但受坡向影响,分布不均匀。在迎风坡降水明显偏大,而背风坡降水偏小,高山区降水也较稀少。

区内的高山地带,因属高寒荒漠,冷季漫长,年平均气温为负值。

1. 冰川的分布特征

昆仑山冰川分布由西向东逐渐减少,西昆仑山集中了大部分冰川,东昆仑山冰川分布数量稀少,而中段冰川的数量介于两者之间。

(1) 气候与冰川的关系

尽管昆仑山周缘的气象站资料都显示区内降水稀少,一般年降水量在 100mm 左右,对冰川发育极为不利,但事实上可能并非如此。根据康兴成的资料,在 5200m 处年降水量在 200 ~ 250mm 之间,在冰川粒雪线附近(约 6000m)年降水量在 400 ~ 450mm 之间,年平均气温为 -10.2°C 。根据塔斯洪河(皮山站)至策勒河(策勒站)的降水梯度来推算本区高山地带的年降水量,若取其递增率的平均值为 $12.2\text{mm}/100\text{m}$ 来推算,在海拔 4000 ~ 5000m 高度,年降水量可达 360 ~ 480mm 之间,在本区平均雪线 5560m 高度处,年降水量可达 540 ~ 570mm。

造成本区冰川分布区降水异常的原因有以下几点:

1) 冰川分布区由于太阳辐射作用带来的热量,导致冰川的融化,冰川融化形成的水蒸气遇气流上升后,在上空形成湿润空气,形成局部的“湿岛”效应,为降水形成提供了必要条件,所以,区内分别众多的山地对降水形成起了促进作用。

2) 原来空气层结是对流性不稳定或条件性不稳定的,风过山地的机械阻障作用,引起气流的抬升运动,空气达到凝结高度后,在上述层结条件下,能加速上升运动的继续发展,凝云致雨。

3) 当低压系统或锋面移到山地时,因地形的阻障作用,使低压系统或锋面移动滞缓,因而导致气旋雨或锋面雨雨时延长,降雨强度增大。

4) 当气流进入谷地时,由于喇叭口效应,引起气流辐合上升,加上冰川分布区上空空气潮湿,层结条件又适宜,产生降水的增多。

5) 本区为大陆性气候区,夏季由于山坡南北坡增温情况不同,或由于谷底与山坡增温比谷上空气增温快,会产生局部热力对流,形成对流雨或雷暴雨。

6) 气流经过崎岖不平的地形区域,因摩擦力的影响产生湍流上升运动,而其他条件又适宜,往往形成低层云或层积云,产生小量降水。

在东昆仑山的阿尼玛卿山、巴颜喀拉山,由于接近青藏高原的东缘,降水相对较多,一般年降水量可达 500 ~ 800mm。东昆仑山虽然降水充沛,但其地势不利于发育大规模的冰川,因此,该地区冰川分布稀少,规模也较小。

区内冰川区年平均温度很低,5600 ~ 5800m 雪线附近的年平均温度为 $-13 \sim -15^{\circ}\text{C}$,有利于冰川的发育和保存。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

由于青藏高原隆升速率的差异,昆仑山西段隆升相对快,山体绝对海拔高,因此,发育了众多的冰川,数量多,规模大。西昆仑山山体高大,山岭平缓,有利于冰川粒雪盆横向的发展,以接纳更多的积累。西昆仑山发育有冰川 6580 条,占昆仑山山系的 86%。

昆仑山山系的中段,海拔高度逐渐降低,山体之间的相对高差进一步缩小,冰川的数量和规模也逐渐变小,以发育高原冰原类型冰川和小冰川为主。

东昆仑山有利于冰川发育的条件进一步减少,只是在阿尼玛卿山一带有冰川发育。

因此,区内冰川受山势的控制十分明显。

(3) 冰川朝向

根据冰川的分布状况,昆仑山山系冰川主要朝向为北、北西、北东方向,其中又以北东向冰川的数量和规模最大,其次是南、南西、南东方向,其中以南西方向的冰川数量居多。造成昆仑山山系这种冰川朝向的原因有以下几点:

1) 由于受区域构造线的影响,昆仑山山系的山体呈北西-南东或近东西方向展布,因而在这—山系上沿着它展布的垂直方向发育着现代冰川,所以,冰川方向首先是应该指向北和南。

2) 影响冰川消融的主要因素是太阳辐射平衡热,在海拔较高的西昆仑山山区,这一影响更为显著。在这种情况下,北坡方向因处于阴坡,因此,消融要比其他方向弱得多。由于南北坡冰川作用以及规模的差异,北坡冰川的末端海拔高度要比南坡低 200 ~ 300m,再加上北坡降水多,吸收太阳辐射少,以至于南北朝向的冰川差异较大。

2. 冰川的类型

昆仑山系冰川的类型齐全,冰川的类型取决于地形。区内有冰斗冰川、冰斗-悬冰川、悬冰川、冰斗-山谷冰川、山谷冰川(图版 2-2-2)、坡面冰川和平顶冰川(图版 2-2-3)。由于昆仑山系相对高差较小,因此,冰斗冰川和悬冰川是本区冰川数量较多的冰川类型,冰川条数各占本区冰川总数的 40.5% 和 40.4%,但在冰川面积上却不占主导地位。山谷冰川虽然数量仅占 3.9%,但在冰川面积上却占主导地位。

3. 现代冰川的调查

根据统计,在昆仑山系共分布着大小不等的 7694 条冰川,在青藏高原内冰川条数最多,冰川面积最大。其中单条冰川面积超过 100km² 的就有 10 条之多。根据本次遥感调查结果,在 1965 年地形图上,冰川面积为 12489.04km²。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积减少了 539.87km²,冰川面积减少率为 4.32%。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 709.77km²,冰川面积减少率为 5.68%。

对昆仑山面积大于 100km² 的冰川进行了面积变化统计分析(表 2-2-2),单条冰川面积采用了全国冰川编目中的数据。从这 10 条大冰川的变化来看,区内冰川以退缩为主,但退缩量不大,冰川基本处于稳定状态。同时区内存在不少的前进冰川,如昆仑冰川、崇测冰川和古里雅冰川,玉龙冰川虽然总体呈退缩姿态,但其东支却出现了前进状态。

表 2-2-2 昆仑山面积大于 100km² 冰川变化状况

冰川名称	基准数据面积/km ²	ETM 数据时间	面积变化/km ²	MSS 数据时间	面积变化/km ²
多峰	251.70	2001.6.3	-4.12	1977.6.22	-2.48
玉龙	139.07	2001.6.3	-1.09	1977.6.22	-1.72
中峰	241.00	2001.6.3	-1.91	1977.6.22	-1.91
弓形	113.80	2001.6.3	-0.81	1977.6.22	-0.81
昆仑	200.02	2001.6.3	+0.32	1977.6.22	+0.88
西昆仑	131.78	2001.6.3	-1.60	1977.6.22	-1.60
西玉龙	125.86	2001.6.3	-1.09	1977.6.22	+0.72
鱼鳞川	103.53	1999.9.22	-0.60	1973.12.12	-0.60
崇测	163.06	2001.6.3	+2.58	1977.6.22	+2.58
古里雅	119.33	2001.6.3	+0.47	1977.6.22	+0.28

崇测冰川为中国最大的宽尾冰川,1977 年至 2001 年的 24 年时间里,冰川出现了明显的前进,冰舌末端不断横向扩展,冰舌面积增加了 2.58km²,冰川前进了 572.48m,平均每年

前进 23.85m(图版 2-2-4)。

在玉龙冰川东侧的 5Y641G49 冰川也呈现了前进现象,虽然前进量不大,但前进的冰舌挤压了冰川末端的冰川湖,使冰川湖的面积不断缩小。

在昆仑峰的阿拉克沙依冰川(5Y641G46),其面积小于 92.82km^2 ,但冰川的退缩面积却较大,达到了 4.33km^2 。

部分冰川在 1976 年前有过增长期,出现了面积的增加或冰舌的前进,最明显的是昆仑冰川。

阿尼玛卿山是东昆仑山最东端的冰川分布中心,也是黄河源区唯一的冰川分布区(图版 2-2-5)。

阿尼玛卿山原有冰川面积 141.97km^2 ,经过近 30 多年的变化,阿尼玛卿山现有冰川面积 126.52km^2 ,冰川面积减少了 15.62km^2 ,冰川面积减少了 11%。但哈龙冰川却呈现了明显前进的特性,冰川面积增加了 0.17km^2 。

昆仑山冰川演变存在以下规律:

- 1) 昆仑山最西端冰川消减量最大;
- 2) 靠近塔里木盆地边缘的山区冰川消减量也较大;
- 3) 昆仑山最东端冰川消减量也较大;
- 4) 昆仑峰一带和昆仑山中段的冰川变化较小,基本处于稳定状态,并且存在一定数量的前进冰川。

5) 区内前进冰川主要分布在昆仑山的北坡,南坡仅有崇测冰川一条。

4. 雪线的调查

昆仑山总体雪线高度为 4800 ~ 5800m,自北而南,由东向西逐渐增高。

西段:塔什库祖克山冰川的现代雪线高度为 5200m,基准雪线高度为 5100m,雪线上升了 100m;桑株达坂山冰川的雪线为 4800 ~ 5200m;康西瓦北山冰川的现代雪线高度为 5300m,基准雪线高度为 5250m,雪线上升了 50m;喀拉塔格山冰川的现代雪线高度为 5400m。

西昆仑山主峰的现代雪线高度为 5300 ~ 5800m。其中比林切克山南冰川的现代雪线高度为 5700m,基准雪线为 5700m,雪线保持平衡;6457 峰冰川的现代雪线高度为 5810m,基准雪线高度为 5810m,雪线保持平衡;崇测冰川的现代雪线高度为 5800m,基准雪线高度为 5900m,雪线下降了 100m(图版 2-2-6)。

乌斯腾塔格冰川现代雪线 5650m;喀什塔什山冰川现代雪线高度 4800 ~ 5500m,其中 6368 峰现代雪线高度 5500m,基准雪线高度 5400m,雪线上升 150m。

中段:塔鹤托坂日冰川的现代雪线为 5350m,基准雪线为 5250m,雪线上升了 100m;阿克塔格山冰川的现代雪线为 5550m;布喀达坂峰冰川的现代雪线为 5400m,基准雪线为 5350m,雪线上升了 50m(图版 2-2-7)。

昆仑山南麓:耸峙峰冰川的现代雪线为 5650m,基准雪线为 5775m,雪线下降了 120m;纳日山的现代雪线为 5500m;岗扎日冰川的现代雪线为 5550m,基准雪线为 5625m,雪线下降了 75m。

博卡雷克塔格山五雪峰冰川的现代雪线为 5300m;大雪峰冰川的现代雪线为 5400m;5933 高地冰川的现代雪线为 5400m;6178 高地冰川的现代雪线为 5500m;莫格岗穹冰川的

现代雪线高度为 5650m。马兰山冰帽的现代雪线为 5500m,基准雪线高度为 5250m,雪线上升了 250m(图版 2-2-8)。

东段:阿尼玛卿山的现代雪线为 5800m。

总之,昆仑山现代雪线变化自北而南由上升向下降直至稳定转化,上升与下降高度均在 50~250m 间;到南部的耸峙峰,雪线下降了 75~125m;在纳日、岗扎日和西昆仑山主峰南侧的雪线基本保持平衡。

5. 主要存在问题

在昆仑峰东侧的古里雅冰帽一带,由于受季节性积雪和少量云的影响,对部分冰川解译有一定影响。

(三) 阿尔金山现代冰川、雪线遥感调查

阿尔金山西起车尔臣河,东至党金山口。东经大约 $85^{\circ}30' \sim 94^{\circ}$,呈狭长的北东东-南西西向展布,东西长约 760km,南北宽 50~100km。

阿尔金山可分为东西两段。阿尔金山东段相对低矮,山峰高度一般介于 4000~4700m 之间,最高峰阿尔金山海拔 5700m。西段地势相对较高,为阿尔金山冰川的主要发育地,最高峰托库孜达坂山海拔 6294m。

由于阿尔金山地区处于青藏高原北缘,南部受青藏高原阻隔,印度洋潮湿气流难以到达,因此,影响阿尔金山地区的主要环流是西风气流。本区北部山前平原处于塔克拉玛干沙漠南缘,夏季干热,冬季干冷,全年干旱少雨。

1. 冰川的分布特征

阿尔金冰川分布由西向东锐减,阿尔金西段集中了大部分冰川,东段冰川分布数量稀少。

(1) 气候与冰川的关系

阿尔金山北临塔克拉玛干大沙漠,南依青藏高原,地理位置处于亚洲大陆腹地。由于常年受西风带环流控制,故降水稀少,气候干燥,而夏季西南季风和东南季风也无法惠及,全区年降水量在 50mm 左右,这样的水热条件是不利于冰川发育的。很明显,本区冰川发育得益于高大山体自身创造的冷储环境和拦截高空微量水蒸气的补给。利用茫崖站气温推算,在雪线附近,本区主要山地的夏季气温为 $-0.5 \sim -2.9^{\circ}\text{C}$,年平均气温约为 $-12 \sim -14^{\circ}\text{C}$ 。根据推算,山地雪线附近的年降水量在 210~270mm 左右,为冰川补给创造了有利条件。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

阿尔金山冰川分布在托库孜达坂山、苏拉木塔格、玉苏普阿勒克塔格、祁漫塔格山及祁漫塔格山以西的古尔嘎河流域。从冰川的分布分析,区内冰川受山势的控制十分明显。

(3) 冰川朝向

根据冰川的分布状况,阿尔金山冰川主要朝向为北、北西和北东方向,其中又以北东向冰川的数量和规模最大,东、南、南西和西方向的冰川数量很少。南东方向的冰川规模较大。造成阿尔金山山系这种冰川朝向的主要原因是山体的走向。

2. 冰川的类型

区内冰川有冰斗冰川、悬冰川、冰斗-悬冰川、山谷冰川、坡面冰川和平顶冰川。其中以冰斗冰川、悬冰川和冰斗-悬冰川数量最多,其他类型冰川数量较少。山谷冰川虽然数量较

少,但占据了区内主要的冰川面积。

3. 现代冰川的调查

根据本次遥感调查结果,在 1965 年地形图上,冰川面积为 250.15km^2 。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积减少了 0.16km^2 ,冰川面积减少率为 0.06% 。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 26.42km^2 ,冰川面积减少率为 10.56% 。

阿尔金山冰川在最近的 20 多年中,冰川面积还是出现了减少的趋势,阿尔金山冰川消减表现在面积减少和冰川变薄两种方式,靠近塔克拉玛干沙漠一带的冰川这种趋势更为明显。

4. 雪线的调查

阿尔金山现代雪线的高度总体为 $5000 \sim 5200\text{m}$,呈东低西高的现象。

东段的阿尔金山现代雪线为 5000m ,基准雪线为 4800m ,雪线上升了 200m (图版 2-2-9);西段的玉苏普阿勒克塔格 5523 高地的现代雪线为 5200m ,基准雪线为 4900m ,雪线上升了 300m ;玉苏普阿勒克塔格的现代雪线为 5050m ,基准雪线为 5050m 。

总之,阿尔金山脉冰川雪线变化以上升为主,上升高度为 $50 \sim 300\text{m}$ 。个别冰川的雪线有所前进或保持平衡。

5. 主要存在问题

阿尔金山在 $1:10$ 万地形图上可能遗漏了部分冰川,而这部分冰川在 ETM 图像上以新增冰川来处理,所以造成冰川减少面积偏小,2000 年左右的 ETM 数据与 20 世纪 70 年代末的 MSS 数据对比解译减少的冰川面积可能更能代表实际状况。

(四) 羌塘高原现代冰川、雪线遥感调查

羌塘高原是青藏高原的腹地,也称青藏高原的内陆水系。羌塘高原西与西昆仑山和喀喇昆仑山相接,北与昆仑山相接,西南与冈底斯山相接,南与喜马拉雅山相接,东与唐古拉山和念青唐古拉山相接。

青藏高原在第四纪强烈隆起,使山地伸入雪圈之中,因而发育了大面积的现代冰川。高原的隆升还改变了大气环流形势,在夏季破坏了哈德莱环流而形成强大的南亚季风环流,在冬季西风环流在高原西边阻塞分支,在东边形成背风涡流。所有这些都改变了水气来源、降水数量和季节分配,从而决定了冰川的性质和发育的规模。本区冰川发育主要是气候、地势和地形因素综合影响的结果。大气候和大地形对冰川的发育有影响,局部的气候和地形对冰川的发育也有密切关系。

1. 冰川的分布特征

(1) 气候与冰川的关系

本区位于青藏高原腹地,周围高山环绕,西风环流的季风气流,由于层层屏障作用,到达本区已经成为强弩之末。根据推算,本区年降水量在 $150 \sim 200\text{mm}$ 之间,这只能代表高原面上的降水量,高山区降水量要大于此值,高山雪线附近的年降水量在 $250 \sim 400\text{mm}$ 之间。总之,本区降水量还是比较少的,而且降水量分布有从东到西,自南而北逐渐减少的趋势,但到最西段的班公湖和阿克赛钦湖一带的高山区,年降水量又会有所增加。

利用正常大气状况下温度的递减率 $0.6^\circ\text{C}/100\text{m}$ 计算,雪线附近的年平均气温在

-10℃以下。因此在降水少的情况下,由于气温很低,导致冰川消融很微弱,使得本区发育了一定规模的现代冰川,并得以长期稳定地保存。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

区内平均海拔高度在 5000m 左右,但由于受构造运动的作用,在宽缓起伏的高原面上仍耸立着近南北向排列的 6000m 以上的高山,高山之间被断陷盆地相隔,山地形态显得较为断续。从 6000m 以上的高山分布来看,自北往南可以分出东西向分布的三排山地:①土则雪山—查多岗日—藏色岗日—色乌岗日—普若岗日;②都古尔—玛依岗日—江爱达日那;③木嘎各波—康日伯鲁—普若岗日。

这些断块山海拔都在 6000m 以上,山岭顶面平缓,有利于冰川的积累,成为区内冰川的主要发育地。

在最西段的班公湖和阿克赛钦湖一带的高山区,山体相对高差大,发育了很多山谷冰川,形成了多个冰川作用中心。

(3) 冰川朝向

在羌塘高原内部,冰川受坡向控制不明显,呈放射状分布,但冰川的朝向仍受山体走向的控制,北、北东和南西方向冰川占主导地位。

在最西段的班公湖和阿克赛钦湖一带的高山区,由于发育的全部是山谷冰川,冰川朝向严格受山体走向控制,主要方向是北、北东、北西和南东方向,其他方向少量。

2. 冰川的类型

区内分布着两种类型的冰川:羌塘高原内部分布的是平顶冰川(图版 2-2-10);在最西段的班公湖和阿克赛钦湖一带的高山区分布的是山谷冰川。

羌塘高原内部的平顶冰川又进一步可分为冰斗冰川、悬冰川、冰斗-悬冰川、冰斗-山谷冰川、山谷冰川、坡面冰川和平顶冰川。这一带的平顶冰川按其形态又可分为以下几种:①倾斜平顶冰川。它发育在一个倾斜的山顶夷平面上。②桌状平顶冰川。冰川顶部为桌状平坦雪源,周围有短小冰舌伸出。③穹状冰帽冰川。发育在穹状山顶上,一般周围有大小冰舌伸出。④复合型冰帽冰川。它是由几个冰帽冰川汇集而成,冰帽之间为宽浅的鞍部,宽大的冰流一直延伸到山麓,形成溢出山谷冰川或宽尾冰川,但没有宽而深的粒雪盆。这类冰川在区内较为普遍。

班公湖和阿克赛钦湖一带的高山区的山谷冰川也进一步可分为冰斗冰川、悬冰川、冰斗-悬冰川、冰斗-山谷冰川、山谷冰川、坡面冰川和平顶冰川。其中以悬冰川数量占主导地位,但山谷冰川在面积上占主导地位。

3. 现代冰川的调查

根据本次遥感调查结果,在 1965 年地形图上,冰川面积为 3381.31km²。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积减少了 108.04km²,冰川面积减少率为 3.20%。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 133.52km²,冰川面积减少率为 3.95%。

羌塘高原内部的平顶冰川相当稳定,面积变化不大,虽然有所消减,但属于微量,几十年来一直处于稳定状态。气候和环境的变迁对冰川的影响可能更多地体现在冰川厚度的变化上。

羌塘高原冰川虽然面积变化不大,但平顶冰川的一些冰舌却出现了明显退缩的迹象。如普若岗日冰原区,其北坡的一些冰舌出现了明显的退缩(图版 2-2-11)。

普若岗日冰帽区西北侧的一条冰川(5Z513B23),冰川面积为 29.72km^2 。MSS 图像(1976.12.19)与地形图上的面积相比减少了 1.04km^2 ,冰舌退缩了 446.3m ;ETM 图像(1999.8.28)与 MSS 图像上的面积相比又减少了 2.57km^2 ,冰舌退缩了 1580.79m 。该条冰川面积累计减少了 3.61km^2 ,冰舌退缩了 2027.09m ,每年面积平均减少 0.16km^2 ,冰舌退缩 88.13m 。该条冰川在 23 年时间里面积减少了 12.15%。

普若岗日冰帽区东南部的另一条冰川(5Z213E9),冰川面积为 28.42km^2 。MSS 图像与地形图上的面积相比减少 0.78km^2 ,冰舌退缩了 287.78m ;ETM 图像与 MSS 图像上的面积相比又减少 1.86km^2 ,冰舌退缩了 874.76m 。该条冰川面积累计减少了 2.64km^2 ,冰舌退缩了 1162.52m ,每年面积平均减少 0.11km^2 ,冰舌退缩 50.54m 。该条冰川在 23 年时间里面积减少了 9.29%。

在普若岗日冰帽区的 5Z513B5 冰川呈现了明显前进的特性,该条冰川在 23 年时间里累计前进了 101.11m 。

羌塘高原以平顶冰川为主,冰舌短促,冰舌只占冰川面积的一小部分,因此,冰舌的退缩对冰川总面积的影响甚微,这是羌塘高原冰川面积减少较小的主要原因。

4. 雪线的调查

羌塘高原是四界比较不确定的地貌单元,学者们因各有所据,划法不同。我们从冰川统计考虑,依据三个原则确定其四界:第一,主要限于青藏高原西北部的内流水系;第二,具有宽浅河谷湖盆及低缓山岗的高原地貌地形;第三,冰川类型为冰帽或称为平顶冰川。

羌塘高原总体雪线高度为 $4700 \sim 5800\text{m}$,自南东向西北逐渐增高。

藏色岗日冰川的现代雪线高度为 5650m ,基准雪线高度为 5850m ,雪线下降了 200m ;叉头沟冰川的现代雪线高度为 5800m ,基准雪线为 5850m ,雪线下降了 50m ;6440 高地冰川的现代雪线高度为 5800m ,基准雪线为 5900m ,雪线下降了 100m ;多湖南侧冰川的现代雪线高度为 5800m ,基准雪线为 5900m ,雪线下降了 100m ;熊彩岗日冰川的现代雪线高度为 5700m ,基准雪线为 5900m ,雪线下降了 200m (图版 2-2-12);他拉东加就冰川的现代雪线高度为 5800m ,基准雪线为 5950m ,雪线下降了 150m ;隆格尔山冰川的现代雪线高度为 6000m ,基准雪线为 5800m ,雪线上升了 200m (图版 2-2-13);隆玛日冰川的现代雪线高度为 5650m ;夏康坚冰川的现代雪线高度为 5650m ,基准雪线为 5900m ,雪线下降了 250m ;扎嘎尔冰川的现代雪线高度为 $5900 \sim 6000\text{m}$,与基准雪线保持平衡;冲干山西侧 6205 高地冰川的现代雪线高度与基准雪线高度保持平衡,均为 5800m 。

总之,羌塘高原雪线总体以下降趋势为主导,雪线下降约 $50 \sim 250\text{m}$,靠近高原南侧的局部冰川的雪线有退缩现象,如隆格尔山冰川雪线上升达 200m 。

5. 主要存在问题

由于班公湖和阿克赛钦湖一带新增冰川面积较大,这部分冰川可能是地形图上遗漏造成的。另外,该地区冰川的减少本身不是十分明显,致使一些规律无法体现,掩盖了冰川的真实演变性质。

(五) 念青唐古拉山现代冰川、雪线遥感调查

念青唐古拉山西起纳木错的念青唐古拉山一带,大致是东经 90° ,北以那曲河和怒江为界与唐古拉山相接,南以雅鲁藏布江为界,与喜马拉雅山相接,东在伯舒拉岭与横断山相连。

念青唐古拉山最高峰位于纳木错南侧的念青唐古拉山,海拔 7111m。

念青唐古拉山板块运动过程中处于强烈挤压区,地壳隆升强烈,高山耸立,为冰川的发育创造了有利的地势条件,该地区绝大部分受南亚季风控制,降水充沛,为冰川的物质积累提供了必要条件。因此,念青唐古拉山是中国的一大冰川作用中心之一,在青藏高原其冰川分布仅次于昆仑山,但其冰川分布的集中度是中国最高的。

念青唐古拉山以嘉黎为界,习惯上划分为东西两段。山势由嘉黎向东逐渐降低,主山脊低于 7000m,一般山峰也不会超过 6800m。念青唐古拉山东段由于接近于青藏高原腹地,接近于大陆性气候,降水相对较少。但是,由于念青唐古拉山正好面对雅鲁藏布江大拐弯西南季风暖湿气流进入高原的要道上,地形的强迫抬升使这里成为青藏高原降水量最多和最湿润的地区,因而现代冰川十分发育。念青唐古拉山东西两段发育的冰川类型也不同。

1. 冰川的分布特征

(1) 气候与冰川的关系

念青唐古拉山东段正好面对雅鲁藏布江大拐弯西南季风进入高原的要道上,由此形成了以雅鲁藏布江大峡谷为中心,向青藏高原内部延伸的湿舌,大峡谷的年降水量可达 3000 ~ 4000mm,冰川规模大而密集。南坡河谷切过主脉处降水较多,而北坡因处于雨阴区,降水量骤减。念青唐古拉山的西段由于接近大陆性气候,降水稀少,加上山体的高度影响,冰川规模较小。

受降水南(坡)多北(坡)少的强烈影响,念青唐古拉山主山脊南坡集中了 5/6 的冰川条数,而北坡冰川分布零星,冰川规模也相对较小。

波密、嘉黎、洛隆站的年平均气温为 9℃、-0.5℃ 和 5℃,这三个站的观测海拔高度是 2737m、4488m 和 3640m(根据国家气象局资料中心提供的数据),以这三个站的年平均气温为基础,利用正常大气状况下温度的递减率 0.6℃/100m 计算,雪线附近的年平均气温在 0℃ 以下。再加上该地区降水充沛,使得本区发育了大规模的现代冰川,主要集中在西南季风进入高原的要道的两侧,并得以长期稳定地保存。但由于念青唐古拉山的海拔不是很高,另外由于纬度低,年平均气温相对较高,使得该地区的冰川变化较剧烈。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

念青唐古拉山处于不同板块活动的强烈挤压部位,山体强烈隆升,区内平均海拔高度在 5000m 左右,但由于受构造运动的作用,仍然有很多海拔 6000m 以上的高山,高山切割强烈,而山岭顶面平缓,有利于冰川的积累,强烈切割的山谷成为冰川活动的通道,成为区内冰川的主要发育地。

念青唐古拉山的东段冰川除了发育的必要高度条件外,从其分布看,受山体的控制不是十分的明显,更多的是受气候控制,即湿润的西南季风能够惠及的高山区,就能够发育大量的现代冰川。念青唐古拉山的西段的冰川则主要受山体控制。

(3) 冰川朝向

念青唐古拉山冰川主要朝向是北、北西和北东方向,其中又以北东向冰川的数量最多,其次为南西和南东,东、南和西方向的冰川数量很少。南东方向的冰川面积和规模最大,这主要是因为雅鲁藏布江下游许多巨大冰川都发育于水汽通道的南东方向。

2. 冰川的类型

念青唐古拉山冰川类型有悬冰川、冰斗冰川、冰斗-悬冰川、复式山谷-冰斗冰川、冰斗-山

谷冰川、山谷冰川、复式山谷冰川、溢出山谷冰川和平顶冰川。其中以悬冰川、冰斗冰川和冰斗-悬冰川数量最多,溢出山谷冰川和平顶冰川数量最少。但冰川面积最大的是山谷冰川和溢出山谷冰川。平顶冰川仅分布在念青唐古拉山的北部。

3. 现代冰川的调查

根据本次遥感调查结果,在 1965 年地形图上,冰川面积为 8976.95km^2 。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积减少了 519.07km^2 ,冰川面积减少率为 5.78%。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 617.21km^2 ,冰川面积减少率为 6.88%。

恰青冰川(5O281B729)位于念青唐古拉山南坡,主峰高度只有 6350m,但却发育了西藏最大的山谷冰川,冰川面积为 207.7km^2 。恰青冰川发育的山地正处于西南暖湿气流沿雅鲁藏布江大拐弯北上的通道上,降水极为丰沛,雪线附近估计年降水量可达 2500~3000mm,是巨大山谷冰川发育的主导因素。恰青冰川在海拔 4000m 以上是一个宽广的盆地,由多条冰流组成庞大的积累区,积累区面积约 165km^2 ,占冰川总面积的近 80%,因此,积累了大量的冰雪。积累区以下,冰舌很快就进入了一个狭长的谷地,大量的冰体充满在狭长的通道里,流速加快,巨大的推进力将冰舌末端迫降到海拔 2900m 的亚热带木瓜、茶叶种植区。所形成的宽仅 1000m 左右而长达 17km 的狭长冰舌自上而下穿越了亚高山灌丛草甸带、山地暗针叶林带和针阔叶混交林带。根据 MSS 图像(1977 年 1 月)与 ETM 图像(2001 年 1 月)对比,冰川的冰舌前进了 895m,平均每年前进 37.3m。

与恰青冰川的变化状况类似,念青唐古拉山地区还有很多处于前进的冰川。同时又有许多冰川处于退缩状态,冰川退缩有三种直接的表现:一是最直接的,就是冰舌末端的后退;二是原来冰川覆盖区已经被植被覆盖;第三种是冰舌末端后退后为冰川湖的发育提供了空间,表现为冰川湖的扩大。

恰青冰川东侧的若果冰川(5O281B746),面积 72.8km^2 ,在 24 年时间里冰舌后退了 895m,平均每年后退 37.3m,面积减少了 3.38km^2 ,减少率为 4.64%。

恰青冰川西侧的夏曲冰川(5O281B702),面积 163.6km^2 ,在 24 年时间里冰舌后退了 2700m,平均每年后退 112.5m,面积减少了 4.19km^2 ,减少率为 2.56%。

恰青冰川北侧的炯拉冰川(5O281B575),面积 89.3km^2 ,在 24 年时间里,冰川末端的冰湖前进了 1461m,也就是说冰舌后退了 1461m,平均每年后退 60.9m,面积减少了 4.76km^2 ,减少率为 5.33%(图版 2-2-14)。

道格冰川(5O281B714),面积 78.2km^2 ,在其末端曾经发育了洞官拉错冰川湖,面积达 4.47km^2 ,但从 ETM 图像上显示来看,该湖已经溃决,在原来湖泊的位置清晰可见河流的影像(图版 2-2-15),目前,在原湖泊的上游位置又发育了一面积为 1.1km^2 的冰川湖。

念青唐古拉山西段冰川的退缩要比东段强烈,由于其冰川面积较小,因此,面积消减率比东段要大(图版 2-2-16)。

念青唐古拉山东段丰富的冰川资源在提供大量水资源的同时,也给当地带来很多由于冰川活动引发的灾害,主要有冰川湖溃决引发的洪水,冰川活动或融化引发的泥石流,冰川跃动引发的灾害三种,给当地带来很大的经济损失。由于念青唐古拉山地处亚热带,气温相对较高,冰川具有很大的活动性,冰川融化较剧烈,这类灾害发生的频率相对高,应引起重视。

4. 雪线的调查

念青唐古拉山脉的现代雪线高度为 4000 ~ 5700m, 自南东向北西方向逐渐升高。

南侧的加拉白垒峰的现代雪线高度为 4050m, 基准雪线高度为 4050m; 中部虾列浦冰川、勒甫冰川的现代雪线高度均为 4700m, 基准雪线高度均为 4700m; 西部念青唐古拉山的杏仁拉峰的现代雪线高度为 5700m, 基准雪线高度为 5700m。

由此可见, 念青唐古拉山现代雪线高度与基准雪线高度基本保持平衡状态。

5. 主要存在问题

由于念青唐古拉山地区降水丰富, 而有利于冰川解译的夏季正是其多雨季节, 云量较多, 图像质量很差, 而其干季又有很多季节性积雪, 厚度很大, 很难和冰川区分开, 因此, 该地区只进行了冰川减少部分的解译。

(六) 唐古拉山现代冰川、雪线遥感调查

唐古拉山西起赤布张湖(米提江占木错), 与羌塘高原相接; 东在他念他翁山与横断山相连; 南以那曲河和怒江为界与念青唐古拉山相接; 北与昆仑山东段相接。东西长约 700km。

唐古拉山是三江的发源地, 长江的源头位于各拉丹冬冰帽区。区内地势由东向西升高, 平均海拔 5000m 以上, 地形平缓, 保存有完好的夷平面, 有利于冰川的发育。

1. 冰川的分布特征

唐古拉山冰川主要发育于西段, 东段冰川分布星散, 规模小。唐古拉山冰川主要分布在各拉丹东、色的日等地, 其他沿唐古拉山山脊线分布。

(1) 气候与冰川的关系

唐古拉山西段气候特征与羌塘高原相类似, 接近大陆性气候, 降水稀少; 东段由于受西南季风的影响, 降水量相对要多, 弥补了山势对冰川发育不利的因素。

唐古拉山由西向东气温逐渐升高, 降水也逐渐增多。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

唐古拉山平均海拔高度在 5000m 以上, 地形平缓, 保存有完好的夷平面, 有利于冰川的发育。由于南北向断裂构造的作用, 在唐古拉山西段发育了一些隆起的山体, 为冰川发育提供了空间。

唐古拉山西段的各拉丹冬一带, 发育了几处高原冰帽, 冰川面积是唐古拉山地区最大的。其最高峰海拔 6621m, 其宽阔的夷平面及有利于冰川发育的山体高度, 使得其成为唐古拉山地区的一个冰川发育中心。

往东, 沿着唐古拉山的山脊线发育了一系列小规模冰川。唐古拉山主山体海拔大都在 6000m 以下, 最高峰唐古拉山海拔 6205m, 加上地形切割不是十分的强烈, 这就决定了该带的冰川规模和数量。该带冰川的发育主要靠丰沛的降水。

在唐古拉山东段的色的日山上发育了一处面积仅次于各拉丹冬的冰川集结中心。色的日山处于宁静山向青藏高原过渡的地段, 地形发生转折, 由于构造的作用, 使得其发生隆起, 形成一北西-南东走向的山地, 主峰海拔 5876m。色的日山能够发育大量的冰川主要靠丰沛的降水。

(3) 冰川朝向

唐古拉山冰川主要朝向是北东、北西和北方向,其中又以北东向冰川的数量最多,其次为南西和南东,东、南和西方向的冰川数量很少。南东方向的冰川面积和规模最大。

2. 冰川的类型

唐古拉山冰川类型有悬冰川、山谷冰川、冰斗冰川、冰斗-山谷冰川、冰斗-悬冰川、坡面冰川和平顶冰川。其中以悬冰川数量最多。其次是山谷冰川和冰斗冰川,坡面冰川和平顶冰川数量最少。但冰川面积最大的是山谷冰川。

3. 现代冰川的调查

根据本次遥感调查结果,唐古拉山地区在 1965 年地形图上,冰川面积为 2332.40km^2 。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积减少了 96.82km^2 ,冰川面积减少率为 4.15%。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 153.53km^2 ,冰川面积减少率为 6.58%。

各拉丹冬冰川区,原有冰川面积 634.35km^2 ,经过近 30 年的变化,冰川面积减少了 24.18km^2 ,冰川面积减少率为 3.81%。各拉丹冬冰川区的姜古迪如北侧冰川(5K451F30),原冰川面积 31.4km^2 ,经过近 30 年的变化,冰川面积减少了 1.06km^2 ,冰川面积减少率为 3.38%。冰舌退缩了 506.7m,平均每年后退 16.35m。

各拉丹冬冰川区的姜古迪如南侧冰川(5K451F33),原冰川面积 34.77km^2 ,经过近 30 年的变化,冰川面积减少了 1.03km^2 ,冰川面积减少率为 2.96%。冰舌退缩了 599.6m,平均每年后退 19.34m。

各拉丹冬地区的岗加曲巴冰川(5K444B64),原冰川面积 37.44km^2 ,经过近 30 年的变化,冰川面积减少了 5.24km^2 ,冰川面积减少率为 13.99%。冰舌退缩了 2595.7m,平均每年后退 83.73m。

各拉丹冬地区的岗加曲巴冰川(5K444B64),原冰川面积 37.44km^2 ,经过近 30 年的变化,冰川面积减少了 5.24km^2 ,冰川面积减少率为 13.99%。冰舌退缩了 2595.7m,平均每年后退 83.73m。

各拉丹冬地区南侧一条冰川(5Z221H11),原冰川面积 16.08km^2 ,经过近 30 年的变化,冰川面积减少了 3.15km^2 ,冰川面积减少率为 19.59%。冰舌退缩了 1346.4m,平均每年后退 43.43m。

各拉丹冬地区北侧一条冰川(5K444B12),原冰川面积 8.68km^2 ,经过近 30 年的变化,冰川面积增加了 0.78km^2 ,冰川面积增长率为 8.99%。冰川末端的冰舌出现了前进的现象,冰舌前进了 807.3m,平均每年前进 26m。

从各拉丹冬地区这些冰川的数据可知,其东侧和南侧的冰川退缩强烈,而西侧和北侧则基本保持稳定,甚至有个别冰川出现了前进现象。

唐古拉山冰川面积总的是在消减,但幅度不是很大,其西段靠近羌塘高原的冰川基本处于稳定状态,个别冰川出现了跃动现象;而其东段由于气候的因素,冰川的变化和消减相应要比西段大。

唐古拉山作为长江的发源地,在 1965 年,长江源头区发育的冰川面积为 1619.64km^2 ,到了 2000 年,冰川面积减少了 88.2km^2 ,面积减少率为 5.45%。2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 101.03km^2 ,面积减少率为 6.24%。

4. 雪线的调查

唐古拉山冰川的现代雪线高度为 5200 ~ 5600m, 由东向西逐渐升高。

强拉日冰川的现代雪线高度为 5300m, 基准雪线高度为 4900m, 雪线上升了 400m (图版 2-2-17)。

格龙尕纳冰川的现代雪线高度为 5300m, 基准雪线高度为 5390m, 雪线下降了 90m; 昆普玛冰川的现代雪线高度为 5400m, 基准雪线高度为 5400m; 尕恰迪如岗冰川的现代雪线高度为 5600m, 基准雪线为 5550m, 雪线上升了 50m (图版 2-2-18); 岗钦扎仲冰川的现代雪线高度为 5600m, 基准雪线为 5550m, 雪线上升了 50m (图版 2-2-19)

总之, 唐古拉山脉冰川雪线变化总体表现出上升自东而西由强(400m)到弱(50m)直至达到平衡状态。

5. 主要存在问题

唐古拉山西段由于受气候的影响, 遥感数据具有很多季节性积雪, 影响了对新增加冰川的解译。

(七) 祁连山现代冰川、雪线遥感调查

祁连山位于青海和甘肃之间, 西起党金山口, 南北是戈壁沙漠区, 向东至冷龙岭延伸出工作区。

祁连山是青藏高原的东北边缘的一个巨大山系, 由一系列北西西走向的平行的高山和谷地组成。山体高度一般海拔 4000 ~ 5200m, 最高峰——团结峰位于山系中心的疏勒南山, 海拔 5826.8m。

祁连山属于内陆地区, 降水量较少, 受气候的影响, 降水的地区和季节性分布都不均匀, 但和其他山区一样, 在冰川分布的山地降水会增多。

水热和山势条件决定了祁连山地区发育的冰川规模小, 分布分散的特点, 是青藏高原内冰川发育规模较小的几个山系之一。

1. 冰川的分布特征

祁连山冰川主要分布在西段, 东段只有零星分布。

(1) 气候与冰川的关系

祁连山气候具有青藏高原环流影响的痕迹。冬季, 单纯受蒙古高压控制, 晴冷少雨, 影响冰川发育的主要因素是低温。夏季, 受青藏高原热低压影响, 因环流形势改变, 形成若干气压系统, 其中对冰川发育影响最大的是西部疏勒河高压、张掖低压和柴达木热低压。西部疏勒河高压区降水少, 张掖低压常与青藏高原东沿的北上气流相联系, 降水多。柴达木热低压形成于盆地的热力作用, 当 500 百帕高空冷槽接近时, 冷空气自西北边注入, 将暖空气抬升并沿祁连山北上形成气旋, 在沿山一带形成降水。根据祁连山附近气象站的数据推算, 冷龙岭和走廊南山为多雨区, 冰川区的年降水量在 400 ~ 700mm 之间; 由此向西和向西南逐渐减少, 为少雨区, 如疏勒河、党河和鱼卡河流域年降水量小于 300mm。

上述降水分布特征, 使山势较低较窄的冷龙岭仍能发育冰川, 而山势和地形条件较高较宽的土尔根达坂和疏勒南山成为祁连山区冰川的发育中心。

祁连山区的气温较低, 平均 0℃ 层海拔高度位于 3100 ~ 2000m, 0℃ 层以上的低温使冰川获得了较大的冷储, 弥补了降水的不足, 使祁连山的冰川得以保存。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

祁连山山势受地质构造控制,由西南向北东逐渐降低,即西高东低,南高北低,冰川发育的规模和数量也呈现这同一规律,因此,区内冰川受山势的控制十分明显。

(3) 冰川朝向

根据冰川的分布状况,祁连山冰川主要发育在北坡,南坡占小部分。朝向主要为北、北西、北东方向,其中又以朝北向冰川的数量和规模最大,其次是南、南西、南东方向,其中以西南方向的冰川数量居多。

2. 冰川的类型

祁连山区冰川的类型有悬冰川、冰斗-悬冰川、冰斗冰川、冰斗-山谷冰川、山谷冰川、峡谷冰川、坡面冰川和平顶冰川。其中以悬冰川数量占主导地位,但山谷冰川在面积上占主导地位。

祁连山区冰川的类型与山势的关系密切,在西南部的高原地区主要发育悬冰川、冰斗-悬冰川、冰斗冰川、冰斗-山谷冰川、山谷冰川和平顶冰川,在祁连山主峰则发育悬冰川、冰斗-悬冰川、冰斗冰川、冰斗-山谷冰川、山谷冰川和峡谷冰川。

3. 现代冰川的调查

祁连山地区分布着 2815 条大小不等的冰川。根据本次遥感调查结果,在 1965 年地形图上,冰川面积为 2040.25km^2 。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积减少了 193.17km^2 ,冰川面积减少率为 9.47%。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 214.77km^2 ,冰川面积减少率为 10.53%。

位于祁连山西北部大雪山的老虎沟 12 号冰川(5YD448D12)是祁连山地区最大的山谷冰川,长 10.1km ,面积 21.91km^2 。根据本次的遥感调查结果(ETM 数据时间为 1999 年 7 月 21 日),与 1960 年时相比,该冰川面积减少了 0.19km^2 ,冰舌后退了 168.81m ,1976 年地面实测时冰舌后退了 153.85m ,因此,在这 23 年时间里该冰川仅仅后退了 14.96m ,在 1960 ~ 1999 年之间,冰川面积仅减少 0.87%。

在祁连山西南部的土尔根达坂山的敦德平顶冰川(5Y585J2),是祁连山地区最大的平顶冰川(图版 2-2-20),面积 57.07km^2 。根据本次的遥感调查结果(ETM 数据时间为 1999 年 9 月 23 日),与 1960 年时相比,该冰川面积减少了 0.81km^2 ,它的 7 条冰舌出现了不同程度的退缩,并有新的冰碛湖的出现(见图版 2-2-20),如图北部最右侧的冰湖,1960 年时为长 457.87m ,1999 年时为长 631.17m ,湖面长了 173.7m ,说明冰舌后退了 173.7m 。以该冰舌为中心,沿冰川逆时针方向测量,其他冰舌后退的长度分别是 656.73m 、 211.11m 、 144.37m 、 286.54m 、 217.08m 、 280.42m ,因此,在这 29 年时间里该冰川冰舌的后退还是比较明显的,但在 1960 ~ 1999 年之间,冰川面积仅减少 1.42%。

4. 雪线的调查

祁连山的总体雪线高度为 $4400 \sim 5100\text{m}$,自东而西雪线逐渐增高。

祁连山峰冰川的现代雪线高度为 4400m ,基准雪线高度为 4450m ,雪线下降了 50m ;班赛尔山、托来山和镜铁山等冰川的现代雪线高度为 4600m ,基准雪线为 4350m ,雪线上升了 250m ;岗格尔肖合力峰冰川的现代雪线高度为 4800m ,基准雪线高度为 4600m ,雪线上升了 200m (图版 2-2-21);哈尔达坂峰冰川的现代雪线高度为 5000m ,基准雪线高度为 4920m ,雪

线上升了 80m;柴达木山的现代雪线高度为 5100m,基准雪线高度为 5050m,雪线上升了 50m。

总之,祁连山冰川现代雪线变化总体表现为退缩趋势,雪线上升约 50 ~ 110m。个别冰川雪线呈下降状态,下降约 50m。

5. 主要存在问题

祁连山东部地段存在很多季节性积雪,对冰川面积的解译有很大的影响,冰川实际减少面积可能要比调查数据大。

(八) 横断山现代冰川、雪线遥感调查

横断山地处我国西南的藏东、川西和滇西北一带,是青藏高原的最东南端。其西部在伯舒拉岭与念青唐古拉山相接。最高峰贡嘎山海拔 7514m。横断山由于独特的地质构造位置,形成了近南北走向的山脉,是我国主要山脉一种独特的走向形式。这里山岭高大,在一些高山区发育了现代冰川,是我国现代冰川分布区最东和最南部分,基本上是海洋冰川分布区。

1. 冰川的分布特征

横断山区面积广大,造成了冰川分布分散。现代冰川主要分布在宁静山-云岭以西的各山脉,尤其是伯舒拉岭高黎贡山,它是横断山最大最集中的冰川分布区。他念他翁山—梅里雪山次之,其他山脉中冰川分布数量少,规模也小。

(1) 气候与冰川的关系

横断山主要的天气系统有高空西风环流、西南季风和东南季风。11 月至翌年 3 月,主要受高空西风环流南急流控制,降水少,天气晴朗,空气湿度低,冰川很少受到补给。4 月份南支急流减弱,湿热的太平洋西南季风和东南季风北上进入本区,雨季开始。9 月份印度洋湿热气流更强烈地侵入本区,出现了年降水的第二个高峰,此降水可延续到 10 月份。5 ~ 10 月份的降水量占全年雨量的 75% ~ 90%,冰川的补给主要在暖季,虽然这时气温高,降水基本是液态,但在高山,随着气温的递减,也会产生大量的固态降水补给冰川。即使是液态降水,在冰川上部粒雪盆中,也能渗透于雪层中,由粒雪层中的冷储使其冻结,亦能起到补给冰川的作用。因此,每年 5 ~ 10 月份为横断山冰川的主要补给季节,但同时也是冰川的消融季节,这是横断山冰川的重要特点。

由于南北向展布的横断山脉的屏障作用和幽深谷地的通道作用,使本区降水有东西多而中间少,并由南向北逐渐减少的趋势。降水的这种区域差异,对横断山雪线高度及冰川的发育和分布有重要的影响。

我国西部山地的降水量是随海拔高度升高而不断增加,到一定高度后又减少,然后从非冰川区过渡到冰川区降水量又有所增加。横断山降水梯度的变化,特别是极高山区也存在这一变化趋势,存在着两个最大降水带。由于山地所处地理位置、走向和地形等因素的影响,各山地的最大降水高度是不一致的。

根据对冰川区的研究和周边气象台站气象资料的分析,横断山冰川积累区的年降水量在 1000 ~ 2000mm 之间,因此,横断山地区冰川具有充足物质源补给。

冰川发育的另一重要条件是低温。中低纬度冰川是依赖山体高大所造成的低温条件来保存积雪和发育冰川的。冰川的补给量越少,为保证冰川发育所需要的温度就越低。横断

山地区降水充沛,冰川的补给量大,虽然本区中、低山河谷地带多为亚热带气候,对冰川发育不利,但高大的山体以其巨大的海拔高度为冰川发育创造了必须的低温条件。

如横断山南端的玉龙雪山冰川发育区,是本区发育现代冰川较低的山地。其海拔5400m处年平均气温为 -7.5°C ,全年各月的平均气温均在 0°C 以下,全为冷季。随着海拔高度的上升气温还会逐渐降低,对冰川发育更为有利。横断山其他现代冰川发育区的山势大多较玉龙雪山高大,因而为现代冰川发育所创造的低温条件就更加优越。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

横断山在地质构造和地貌上是由一系列南北纵贯、山川相间的山脉与河谷地带组成。本区的山脉与谷地由西向东主要有:伯舒拉岭(南段为高黎贡山),怒江谷地,他念他翁山(中、南段为怒山、碧罗雪山),澜沧江谷地,宁静山(又叫芒康山,南段叫云岭),金沙江谷地,沙鲁里山(北段雀儿山,南段哈巴雪山和玉龙雪山被金沙江分开),雅砻江谷地,大雪山,大渡河谷地,邛崃山,岷江谷地,岷山主峰雪宝顶。

横断山地区海拔高度由东南向西北递增,以芒康为界,可分为南北两部分。南部山岭海拔多在4000m左右,北部山岭多升至5000m以上,但山脉的最高隆起部分(即最高峰)都在南部,顶峰大多在5000m以上,有些甚至超过6000m。如大雪山中的贡嘎山,主峰7514m,为横断山最高峰。该区6000m以上的高峰有28座之多,5000m以上高度的山体占本区总面积的六分之一。从而可以看出,横断山有许多山地面积突出在海拔4800~5200m雪线以上,山地的冰川作用正差无疑为冰川发育提供了极为有利的地势条件。加之在海拔5000m左右还存在一级高夷平面,非常有利于冰雪的积累,为冰川发育提供了宽阔的积累区。另外,由于山谷相间,形成高山深谷,地势高差悬殊,特别是河床沿着深大断裂强烈下切,由北而南显著加深,岭谷高差越向南越大。山脉北段,为宽阔的浅切割山岭,高原夷平面保存完好,相对高差为500~1000m;山脉南段,分水岭比较狭窄,切割强烈,仅残存零星的高原夷平面,相对高差为2000~4000m,大者达6000m。冰川发育的规模和作用由此产生了差异。

横断山地势总趋势是由西北向东南倾斜,幽深的河谷遂成为季风湿润气流北上的通道。另外,东西两方向来的水汽,则由于水汽来源与坡向的影响,一般迎风坡因地形强迫抬升能够拦截大量的水汽,而背风坡的降水相应要少,这就影响到不同坡向冰川的发育和规模。因此,区内冰川受山势的控制也十分明显。

(3) 冰川朝向

根据冰川的分布状况,横断山冰川的朝向有北、北东、北西、南、南西、南东、东、西八个方向。其中以北、北东和北西方向为主,发育着1098条冰川,占总数的57%,南、南西和南东方向占据次席,发育着540条冰川,占总数的28%,其他方向的冰川数量相对较少,占总数的15%。北西方向上冰川的分布数量最多,这主要是由于太阳辐射的差异造成的。

2. 冰川的类型

横断山冰川的类型有悬冰川、冰斗-悬冰川、冰斗冰川、冰斗-山谷冰川、山谷冰川、峡谷冰川、坡面冰川和平顶冰川。其中以悬冰川数量占主导地位,其次为冰斗冰川和冰斗-悬冰川,三者之和占冰川总条数的87%。但冰川面积却以冰斗冰川占的比例最大,其次是山谷冰川,分别占冰川总面积的33.6%和25.6%,这有别于青藏高原其他山系的冰川。

3. 现代冰川的调查

横断山地区分布着 1929 条大小不等的冰川,根据本次遥感调查结果,在 1965 年地形图上,冰川面积为 1625.35km^2 。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积增加了 39.7km^2 ,冰川面积增加率为 2.44%。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 255.89km^2 ,冰川面积减少率为 15.74%。

位于梅里雪山的奶诺戈汝冰川(又名明永冰川)(5L222B9),面积为 12.55km^2 ,是梅里雪山的著名旅游景点。该冰川在过去的 30 多年时间里,冰舌后退了近 700m,平均每年后退 22.6m,面积减少了 0.45km^2 ,减少率为 3.59%。

位于贡嘎山的海螺沟冰川(5K612F3),面积为 25.71km^2 ,是贡嘎山的著名旅游景点。该冰川在过去的 30 多年时间里,冰舌后退了近 520m,平均每年后退 16.7m,面积减少了 0.88km^2 ,减少率为 3.42%。海螺沟冰川是一条长期地面监测的冰川,据冰川所的资料,该冰川 1930~1966 年后退了 1150m,平均每年后退 32m,而 1966~1983 年冰川后退 200m,平均每年后退速度降至 12.1m。海螺沟冰川北侧的燕子沟冰川,1930~1966 年后退了 2350m,平均每年后退 65.3m,从 1966~1983 年冰川后退 300m,平均每年后退速度降至 17.6m。遥感图像(2002 年)显示,该冰川累计后退了 3610m,因此,在近 19 年时间里它又后退了 960m,平均每年后退 50m,说明该冰川近期又在加速后退。

横断山冰川在后退的同时,也在不断的变薄,很多原来的冰川覆盖区,已经出露了基岩。另外,冰舌也在变窄,使得冰川面积缩小。

在雀儿山一带,根据已知冰川分布区的影像标志,结合雪线高度,新发现了一条冰川带,新发育的冰川规模较小,这与山体海拔高度(5550m)不足够高有关。

4. 雪线的调查

横断山脉现代雪线高度在 5800~6000m 之间。由东南向西北方向增高。

西北侧他念他翁山中段 6090 高地冰川的现代雪线为 5150m,基准雪线为 5150m;东南侧雀儿山冰川的现代雪线为 5100m,基准雪线为 5100m;贡嘎雪山冰川的现代雪线为 5050m,基准雪线为 4850m(图版 2-2-22)。

总之,横断山脉现代雪线的变化,自东南向西北方向由上升 200m 逐渐转向趋于稳定。

5. 主要存在问题

由于横断山巨大的高差,冰川表碛明显,对冰川的解译有一定的影响。横断山冰川面积增加主要是由新增加的冰川引起的,新增加的冰川是否存在需要进一步验证。

(九) 喜马拉雅山现代冰川、雪线遥感调查

喜马拉雅山发育了世界最高峰珠穆朗玛峰,海拔 8844m,在其附近又集中了 38 座 7000m 以上的高峰和 4 座 8000m 的高峰,以这些高大山峰为中心,放射状地分布着规模较大的山谷冰床,共同形成了喜马拉雅山最大的冰川作用中心。

喜马拉雅山西起国境线,东经大致为 79° ,北以雅鲁藏布江为界与冈底斯山和念青唐古拉山相连,东以雅鲁藏布江大拐弯为界与念青唐古拉山相连。

尽管喜马拉雅山有优越的发育大规模现代冰川的地形条件,但由于积累区不够宽大,加上太阳辐射的强烈,该地区没有面积超过 100km^2 的冰川,面积最大的戎布冰川也只有

85.4km²。

1. 冰川的分布特征

喜马拉雅山地区冰川主要沿喜马拉雅山脊线分布,冰川主要分布在西段和中段,而东段分布稀少,仅在南迦巴瓦峰一带发育有少量冰川。

(1) 气候与冰川的关系

喜马拉雅山在雅鲁藏布江大拐弯附近及南坡少量地方属于海洋性气候,发育海洋型冰川,其他地区都属于大陆性气候,发育大陆型冰川。

喜马拉雅山地区的气候特征接近于青藏高原内陆地区,但南北坡差异很大。南坡受西南季风的影响,降水量相对较多,而北坡由于高大的喜马拉雅山的阻挡作用,西南季风很难越过,因此北坡降水要少于南坡。冬季由于受高空西风环流控制,大多数地区晴空少雨,降雪稀少,处于干季。夏季由于受强大的南亚季风环流控制,为冰川的发育提供了丰富的降水,是冰川的主补给期。喜马拉雅山地区北坡的降水量和羌塘高原接近,冰川区的年降水量在 500~800mm 间。

尽管喜马拉雅山地区南坡的降水量要大于北坡的,但受地形和温度的控制,北坡的冰川数量要多于南坡。

我国西部山地的降水量是随海拔高度升高而不断增加,到一定高度后又减少,然后从非冰川区过渡到冰川区降水量又有所增加。喜马拉雅山地区降水梯度的变化,特别是极高山区也存在这一变化趋势,存在着两个最大降水带。由于山地所处地理位置、走向和地形等因素的影响,各山地的最大降水高度是不一致的。

冰川发育的另一重要条件是低温。中低纬度冰川是依赖山体高大所造成的低温条件来保存积雪和发育冰川的。冰川的补给量越少,为保证冰川发育所需要的温度就越低。喜马拉雅山地区地处低纬度地区,冰川发育更多地依赖高大的山体巨大的海拔高度为冰川发育创造的必须低温条件。由于南北坡的温度差异,造成了冰川发育程度的差异。利用温度递减率推算,冰川发育区常年平均温度应为负温,年平均气温为 $-6 \sim -9^{\circ}\text{C}$,对冰川的保存有利。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

喜马拉雅山习惯上分为西、中、东三部分,冰川主要分布于西段和中段,尤其是中段冰川规模较大,东段只有南迦巴瓦峰一带有少量冰川发育。

喜马拉雅山地区海拔高度中段高,东段和西段低,而西段的平均海拔又要高于东段。区内冰川的分布与山势的高度密切相关。在中段的希夏邦马峰和珠穆朗玛峰地区发育了两大冰川作用中心。

虽然喜马拉雅山地区的平均海拔在 5000m 以上,中、西段在 6000m 左右,而东段又有充沛的降水,优越的山势条件和较为有利的降水条件却没有让喜马拉雅山成为像昆仑山和念青唐古拉山一样的冰川集中中心。主要原因是喜马拉雅山比昆仑山纬度低,年平均气温比昆仑山高,对冰川保存不利,另外喜马拉雅山没有昆仑山的宽阔的高原夷平面,地形条件不如昆仑山地区。喜马拉雅山地区比念青唐古拉山的降水量要小得多,因此,冰川规模要比念青唐古拉山小,另外,地形条件也比念青唐古拉山地区差得多。

喜马拉雅山地区强烈的太阳辐射,不利于冰川的积累。喜马拉雅山地区是新构造运动抬升最强烈的地区,峰刃脊分割冰斗与粒雪盆,侵蚀地貌处于壮年期,山脊区瘦削陡峻,缺少

古高原夷平面,也没有高而宽深的纵谷,这些条件都限制了冰川在喜马拉雅山地区的发育。

(3) 冰川朝向

根据冰川的分布状况,喜马拉雅山地区冰川的朝向有北、北东、北西、南、南西、南东、东、西八个方向。其中以北、北东、北西和南东方向为主,南西方向占据次要位置,其他方向的冰川数量相对较少。区内冰川的朝向除由太阳辐射的差异造成外,更多的是受新构造运动控制,新构造运动的方向决定了冰川发育的方向和规模。

2. 冰川的类型

喜马拉雅山冰川类型有悬冰川、冰斗冰川、冰斗-悬冰川、复式山谷-冰斗冰川、冰斗-山谷冰川、山谷冰川、复式山谷冰川、溢出山谷冰川和平顶冰川。其中以悬冰川、冰斗冰川和冰斗-悬冰川数量最多,溢出山谷冰川和平顶冰川数量最少。但冰川面积最大的是山谷冰川、复式山谷冰川和溢出山谷冰川。

3. 现代冰川的调查

根据本次遥感调查结果,喜马拉雅山地区在 1965 年地形图上,冰川面积为 8080.92km^2 。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积减少了 1217.61km^2 ,冰川面积减少率为 15.07%。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 879.64km^2 ,冰川面积减少率为 10.88%。

由于极大的高差,喜马拉雅山冰川表碛十分发育,占据了冰舌长度的绝大部分(图版 2-2-23)。

喜马拉雅山地区的西段冰川消减不是很明显,冰川消减主要集中在中段的希夏邦马峰和珠穆朗玛峰地区。冰川的消减主要表现在冰川末端的后退,冰川末端后退后,冰川湖面积扩大和长度增加,冰川湖增加的长度大于或等于冰川末端后退的长度。

希夏邦马峰东南部的吉葱浦冰川(5O191B26),冰川面积为 17.04km^2 (图版 2-2-24)。MSS 图像(1976. 12. 2)与地形图上的面积相比减少 0.67km^2 ,冰舌退缩了 768.59m;ETM 图像(2001. 10. 24)与 MSS 图像上的面积相比又减少 1.94km^2 ,冰舌退缩了 1183.16m。该条冰川面积累计减少了 2.61km^2 ,冰舌退缩了 1951.75m,每年面积平均减少 0.08km^2 ,冰舌退缩 47.32m。该条冰川在 30 年时间里面积减少了 15.32%。

希夏邦马峰东南部的热强冰川(5O191C8),冰川面积为 7.43km^2 (图版 2-2-24)。MSS 图像(1976. 12. 2)与地形图上的相比没有任何减少;ETM 图像(2001. 10. 24)与 MSS 图像上的面积相比减少了 1.56km^2 ,冰舌退缩了 1690.65m。每年面积平均减少 0.06km^2 ,冰舌退缩了 67.63m。该条冰川在 30 年时间里面积减少了 21.01%。

希夏邦马峰西北部的郭骆冰川(5O195A11),冰川面积为 14.30km^2 (图版 2-2-25)。MSS 图像(1976. 12. 2)与地形图上的相比没有任何减少;ETM 图像(2001. 10. 24)与 MSS 图像上的面积相比减少了 0.74km^2 ,冰舌退缩了 717.67m。每年面积平均减少 0.03km^2 ,冰舌退缩了 28.71m。该条冰川在 30 年时间里面积减少了 5.17%。

岗彭庆峰北部的岗布冰川(5O195A22),冰川面积为 16.54km^2 (图版 2-2-26)。ETM 图像(2001. 10. 24)与 MSS(1976. 12. 2)图像上的面积相比减少了 0.59km^2 ,

冰舌退缩了 840.56m。每年面积平均减少 0.02km^2 ,冰舌退缩了 33.62m。该条冰川在 30 年时间里面积减少了 3.57%。拉曲冰川(5O195A23),冰川面积为 4.10km^2 (图版 2-2-

26)。ETM 图像(2001. 10. 24)与 MSS(1976. 12. 2)图像上的面积相比减少了 0.36km^2 , 冰舌退缩了 715.03m。每年面积平均减少 0.01km^2 , 冰舌退缩了 28.60m。该条冰川在 30 年时间里面积减少了 8.78%。

在聂拉木东北侧的查写曲登冰川(5O191D14), 冰川面积为 6.11km^2 。MSS 图像(1976. 12. 2)与地形图上的面积相比减少 0.06km^2 , 冰舌退缩了 96.95m; ETM 图像(2001. 10. 24)与 MSS 图像上的面积相比又减少 0.18km^2 , 冰舌退缩了 427.74m。该条冰川面积累计减少了 0.24km^2 , 冰舌退缩了 618.74m, 每年面积平均减少 0.008km^2 , 冰舌退缩了 20.62m。该条冰川在 30 年时间里面积减少了 3.93%, 东西两支冰川出现了明显的分枝现象。

帕曲冰川(5O191D21), 冰川面积为 5.37km^2 。MSS 图像(1976. 12. 2)与地形图上的面积相比没有明显的减少; ETM 图像(2001. 10. 24)与 MSS 图像上的面积相比减少 0.17km^2 , 冰舌退缩了 559.62m。每年面积平均减少 0.006km^2 , 冰舌退缩了 18.65m。该条冰川在 30 年时间里面积减少了 3.17%。

在卓奥友峰西北的加布拉冰川(5O194B43), 冰川面积为 65.50km^2 。MSS 图像(1976. 12. 2)与地形图上的面积相比没有明显的减少; ETM 图像(2001. 10. 24)与 MSS 图像上的面积相比减少 0.26km^2 , 冰舌退缩了 1277.02m。该条冰川面积冰舌面积减少虽然有限, 但冰舌每年退缩了 42.57m。

沙隆冰川(5O192E13), 冰川面积为 21.40km^2 。MSS 图像(1976. 12. 2)与地形图上的面积相比减少 0.04km^2 , 冰舌退缩了 92.04m; ETM 图像(2001. 10. 24)与 MSS 图像上的面积相比又减少 0.41km^2 , 冰舌退缩了 1129.97m。该条冰川面积累计减少了 0.45km^2 , 冰舌退缩了 1222.01m, 每年面积平均减少 0.02km^2 , 冰舌退缩 40.73m。

珠穆朗玛峰地区冰川的退缩现象也比较明显。戎布冰川(5O193B142)是喜马拉雅山地区最大的冰川。由于受巨大高差的影响, 冰川表碛现象十分明显, 根据影像显示, 戎布冰川在 30 年时间里仅退缩了 298.7m, 面积减少很小。但西戎布冰川和中戎布冰川有分枝的现象, 另外在中戎布冰川的中部(距冰川末端 2171m)形成了一面积 0.19km^2 的冰碛湖, 冰川湖长 760m, 宽 188m(图版 2-2-27)。根据珠穆朗玛峰测量组的口述(2005 年 5 月), 在戎布冰川的冰舌处形成了许多大小不一的冰川湖, 最大的冰川湖为长 1000m, 宽 300m, 面积约为 0.30km^2 , 冰川退缩 2000m, 也就是说戎布冰川上的冰湖在 5 年时间里扩大了 0.11km^2 。上述现象说明戎布冰川在加速退缩。

4. 雪线的调查

喜马拉雅山脉总体雪线高度为 3950 ~ 6300m, 自南而北、由东向西逐渐升高。

东端, 南迦巴瓦峰的现代雪线高度为 3950m, 基准雪线高度为 3900m, 雪线上升了 50m。

东段: 莫嘎岗拉段冰川的现代雪线高度为 5350 ~ 5400m, 基准雪线高度为 5500 ~ 5600m, 雪线下降了 150 ~ 200m; 个波拉冰川的现代雪线高度为 5650m, 基准雪线高度为 5500m, 雪线上升了 150m; 吉木共拉冰川的现代雪线高度为 5450m, 基准雪线高度为 5400m, 雪线上升了 50m; 库拉岗日峰冰川的现代雪线高度为 5700 ~ 5750m, 基准雪线高度为 5500 ~ 5650m, 雪线上升了 100 ~ 200m; 洛各隆冰川的现代雪线高度为 5500 ~ 5700m, 基准雪线高度为 5500 ~ 5600m, 雪线上升了 0 ~ 100m; 宁金抗沙峰冰川的现代雪线高度为 5600m, 基准雪线高度为 5400m, 雪线上升了 200m。

中段:希夏邦马峰一带冰川的现代雪线高度为 6100m,基准雪线高度为 5850m,雪线上升了 250m(图版 2-2-28);热德纳峰冰川的现代雪线高度为 5700~5850m,基准雪线高度为 5700~5800m,雪线上升了 0~50m(图版 2-2-29)。

绒布冰川的现代雪线高度为 5750~6300m,雪线上升了 50~100m(图版 2-2-30)。其中东绒布冰川的现代雪线高度为 6300m,基准雪线高度为 6250m,雪线上升了 50m;中绒布冰川的现代雪线高度为 5750m,基准雪线高度为 5700m,雪线上升了 50m;西绒布冰川的现代雪线高度为 5750m,基准雪线高度为 5700m,雪线上升了 50m。

卓奥友峰冰川的现代雪线高度为 5600~6100m,基准雪线高度为 5550~5850m,雪线上升了 50~250m;多卡普拉冰川的现代雪线高度为 5700~6000m,基准雪线为 5700~5950m,雪线上升了 0~50m;雅拉山口冰川的现代雪线高度为 5700m,基准雪线高度为 5700m,雪线保持平衡;康郎拉冰川的现代雪线高度为 5600m,基准雪线为 5900m,雪线下降了 300m。

西段:纳木那尼峰冰川的现代雪线高度为 5900m,基准雪线高度为 5700m,雪线上升了 200m;阿依拉山柴塔日冰川的现代雪线高度为 5700m;曼塞尔冰川的现代雪线高度为 5800m,基准雪线高度为 5750m,雪线上升了 50m;阿依拉山冰川的现代雪线高度为 5700m,基准雪线高度为 5890m,雪线下降了 150m;江拉冬布冰川的现代雪线高度为 5700m,基准雪线高度为 5800m,雪线下降了 100m。

总之,喜马拉雅山脉雪线总体呈上升状态,雪线升高约 50~250m,但西段局部冰川雪线呈下降趋势,雪线下降 50~300m。

5. 主要存在问题

由于巨大的高差,喜马拉雅山中段地区冰川的表碛现象十分明显,给冰川的解译带来一定的难度,尤其是冰川末端减少部分的面积,因此,该地区实际减少的冰川面积会大于本次的调查面积。

(十) 冈底斯山现代冰川、雪线遥感调查

冈底斯山西起班公湖一带,东经大致为 $78^{\circ}40'$,北以强拉潘日等山为界与羌塘高原相接;南以雅鲁藏布江为界与喜马拉雅山相连;东以念青唐古拉山为界与念青唐古拉山相连。

1. 冰川的分布特征

冈底斯山冰川分布星散,主要沿一些断块山分布。冰川主要集中在冈底斯山的中部,东段和西段冰川分布很少。

(1) 气候与冰川的关系

冈底斯山气候受青藏高原高空西风环流控制,降水稀少。本区降水明显受喜马拉雅山屏障的影响,印度洋季风湿润气流主要沿着雅鲁藏布江河谷地带溯源而上,因此,降水由东南向北西逐渐减少,雨季开始日期推迟,雨季缩短。但降水相当集中,6~9月份降水量占全年的90%以上。由此可见,降水季节正好是冰川强烈的消融季节,这对冰川发育是不利的。冈底斯山地区降水量和羌塘高原接近,冰川区的年降水量在 500~800mm 之间。

根据对冈底斯山周围的气象站年平均温度分析,年平均 0°C 等温线通过海拔 4500m 左右的高度,也就是说海拔 4500m 以上常年都为负温,即就是在最热的月份,雪线附近气温仍低于零度,这无疑会改变降水的方式,即以霰、冰雹、雪的形式补给冰川,从而使得本区发育了一定规模的大陆冰川。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

冈底斯山的冰川主要分布于海拔 6000m 以上的断块山。区内分布有现代冰川的山有多则布,山岭海拔高度在 6000m 以上,最高峰海拔高度 6436m;拉布琼,山岭海拔高度在 6000m 以上,最高峰波波嘎屋海拔高度 6628m;格布日,山岭海拔高度在 6000m 以上,最高峰刚落九海拔高度 6340m;格莱居,为一近南北向高山,山岭海拔高度在 6200m 以上,冈底斯山的最高峰罗波峰(7095m)就位于该山脉的中段;郭懂岗日,山岭海拔高度在 6200m 以上,最高峰海拔高度 6566m;空波岗日,山体高大,山势陡峻,山岭海拔高度在 6000m 以上,最高峰海拔高度 6350m;岗仁波齐峰,是一座四边陡峻,顶部为圆锥形的山峰,最高峰海拔高度 6638m;昂龙岗日,最高峰海拔高度 6708m,山岭海拔高度在 6000m 以上,超过 6300m 的高峰有 16 座。以上高峰是冈底斯山冰川的主要分布地。

(3) 冰川朝向

根据冰川的分布状况,冈底斯山冰川的朝向有北、北东、北西、南、南西、南东、东、西八个方向。其中以北、北东和北西方向为主,发育着 1098 条冰川,占总数的 57%,南、南西和南东方向占据次席,发育着 540 条冰川,占总数的 28%,其他方向的冰川数量相对较少,占总数的 15%。北西方向上冰川的分布数量最多,这主要是由于太阳辐射的差异造成的。

2. 冰川的类型

冈底斯山冰川的类型有悬冰川、冰斗冰川、冰斗-悬冰川、山谷冰川、冰斗-山谷冰川。其中以悬冰川、冰斗冰川、冰斗-悬冰川数量占主导地位。

3. 现代冰川的调查

根据本次遥感调查结果,冈底斯山地区在 1965 年地形图上,冰川面积为 1940.17km^2 。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积减少了 299.14km^2 ,冰川面积减少率为 15.42%。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 314.35km^2 ,冰川面积减少率为 16.20%。

冈底斯山现代冰川面积的变化具有不均匀性,一些山地冰川面积出现了增长的现象,但是绝大部分山地冰川面积呈减少的趋势。冈底斯山现代冰川的演化具有明显的阶段性,从 20 世纪 60 年代到 70 年代末期一些山地的冰川面积出现了明显增长的现象,但从 80 年代开始,冰川面积呈现了急剧的减少。

昂龙岗日是冈底斯山北面的一条支脉,发育有现代冰川。该山地的冰川末端有轻微的退缩现象,但退缩量不大。昂龙岗日总的冰川面积处于增加状态。

在格莱居一带,从 20 世纪 60 年代到 70 年代末期冰川面积出现了明显增长的现象,但从 80 年代开始,冰川面积出现了急剧的减少。

在郭懂岗日一带从 20 世纪 60 年代到 70 年代末期冰川面积出现了明显增长的现象,但从 80 年代开始,冰川面积出现了急剧的减少。

冈底斯山的空波岗日、多则布、拉布琼、格布日等地冰川的面积都有不同程度的减少。

4. 雪线的调查

冈底斯山脉现代雪线为 5700 ~ 6000m,由东向西升高。

杠宗马冰川的现代雪线高度为 5600m,基准雪线高度为 5500m,雪线上升了 50m;萨沃冰川的现代雪线高度为 5750 ~ 5900m,基准雪线高度为 5800 ~ 6050m,雪线下降了 50 ~ 150m。

康琼岗日冰川的现代雪线高度为 5800m,基准雪线高度为 5800m;罗波岗日冰川的现代雪线高度为 5800m;郭董岗日冰川的现代雪线高度为 5900 ~ 6000m,基准雪线高度为 5850 ~ 5980m,雪线上升了 50m(图版 2-2-31);空波岗日冰川的现代雪线高度为 5900m,基准雪线高度为 5850m,雪线上升了 50m;昂龙岗日冰川的现代雪线高度为 5700m,基准雪线高度为 5900m,雪线下降了 200m。

总之,冈底斯山西段除昂龙岗日冰川雪线呈下降状态外,主体呈上升变化的趋势,雪线上升约 50m;东段,雪线主体呈下降变化状态,雪线下降约 50 ~ 150m。

5. 主要存在问题

冈底斯山地形图的精度对冰川调查影响很大。

(十一) 喀喇昆仑山现代冰川、雪线遥感调查

喀喇昆仑山西起边境地区,北与帕米尔高原和昆仑山相接,南与羌塘高原相连,呈北北西向展布。

喀喇昆仑山以发育规模巨大的山地冰川而著称。海拔 8611m 的乔戈里峰为世界第二高峰,耸立于中国和巴基斯坦两国边境上,是喀喇昆仑山的主峰。

喀喇昆仑山山势巍峨峻拔,高峰林立,峡谷纵横,现代冰川分布广泛。地势自南部边缘最高的喀喇昆仑山主脉起,向北逐渐降低,最后没入塔里木盆地。优越的山势条件是本区现代冰川十分发育的有利条件之一。

1. 冰川的分布特征

喀喇昆仑山冰川覆盖度高,南段冰川集中分布,规模巨大,北段冰川规模相对较小。中国最大规模的冰川发育于喀喇昆仑山。

(1) 气候与冰川的关系

喀喇昆仑山山地外围区的气象资料显示,年降水量不足 100mm,甚至更少。根据观测,在克勒青河上游谷地海拔 4520m 处大型山谷冰川末端附近的年降水量也仅为 186mm。显然整个流域的河谷地带都是很干燥的。但是利用康西瓦站年平均气温 0.6°C 和 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 的气温垂直变化率推算,本流域冰川区平均雪线(5360m)附近的年平均气温约 -10.2°C ,这样的冷储条件有利于冰川的发育,其中,冰川区平均雪线附近的年平均气温在喀喇昆仑山区(5420m)为 -10.5°C 。

在喀喇昆仑山区存在着 2000m 和 4500m 以上两条降水带,而 4500m 以上的降水带直至 5400m 以上仍随着海拔的升高而递增,最大降水带可能在海拔 5800 ~ 7500m 之间,这与喀喇昆仑山北坡分布是一致的。根据计算,喀喇昆仑山雪线附近的年降水量在 360 ~ 640mm 之间,最大降水在塔什库尔干河源区的喀喇昆仑山西北部,最小降水在叶尔羌河河源区的东部。

因此,尽管叶尔羌河流域为高寒干旱区,但巨大的山势条件和高山冷储作用,以及高大山体截留高空水气的能力,使得高山上的降水随高度递增,为冰川发育提供了丰富的物质来源,从而使叶尔羌河成为我国目前已知冰川数量分布最多的河流。

(2) 冰川发育规模与山体的关系

叶尔羌河流域内的主要山脉首先是喀喇昆仑山主脉(北坡),包括乔戈里峰在内,海拔 8000m 以上的高峰还有布洛阿特峰(8051m)和加舒尔布鲁木山峰(8080m)等 4 座。海拔

7000m 和 6500m 以上的山峰分别超过 25 座和 40 座,主山脉高度达 6520m,成为喀喇昆仑山海拔最高的山地。区内其他山体都比它矮,而且山脉范围也小,一般海拔在 6000m 左右。区内冰川主要分布在喀喇昆仑山主脉,其他地区冰川规模较小,因此,区内冰川受山势的控制十分明显。

(3) 冰川朝向

根据冰川的分布状况,喀喇昆仑山冰川主要发育在北坡,南坡占小部分。朝向主要为北东方向,南朝向最少,北和北西朝向的冰川占据次要位置,南西、南东方向冰川数量较少,其中以南东方向的冰川数量相对多一些。东和西朝向的冰川很少且数量大致相当。冰川数量在各朝向上的分布差异及其发育规模,除与降水来源有关外,还与地形、方位、坡度和下垫面对太阳辐射的反射率的大小等因素有关,还是太阳辐射热在各方向上分布差别的反映。但对冰川朝向起主控作用的仍然是山体的走向。

2. 冰川的类型

喀喇昆仑山冰川的类型有冰斗冰川、悬冰川、冰斗-悬冰川、冰斗-山谷冰川、山谷冰川、峡谷冰川和坡面冰川。其中以冰斗冰川数量占主导地位,但山谷冰川在面积上占主导地位。因此,山谷冰川和冰斗冰川是区内冰川的主要类型。

3. 现代冰川的调查

根据本次遥感调查结果,喀喇昆仑山地区在 1965 年地形图上,冰川面积为 4989.22km²。经过 30 多年的演变,至 2000 年,冰川面积减少了 584.3km²,冰川面积减少率为 8.40%。

2000 年 ETM 数据与 1975 年 MSS 数据相比,冰川面积减少了 654.39km²,冰川面积减少率为 9.40%。

喀喇昆仑山有 5 条面积超过 100km²的冰川,其中的音苏盖提冰川是中国单条面积最大的冰川,面积为 379.97km²,其他 4 条冰川分别是木斯塔冰川,面积为 196.79km²,特拉木坎力冰川,面积为 124.53km²,尕舍罗鲁姆冰川,面积为 119.80km²,克亚吉尔冰川,面积为 105.60km²。另外还有不少面积较大的冰川。

在音苏盖提冰川西侧的 5Y654D68 冰川,面积只有 9.2km²。从遥感影像上显示,该冰川在近 30 年时间里前进了 3140m,每年平均前进 95.15m。冰川前进的末端已经与音苏盖提冰川汇合,并挤占了音苏盖提冰川的空间。由于前进的动力非常强大,但受音苏盖提冰川冰碛物的阻挡作用,冰川末端出现了弧形转弯,并在音苏盖提冰川冰碛物上形成了一道明显的终碛垄。

叶尔羌河据有文字记载的洪水泛滥最早是公元 1759 年 3 月(清乾隆 24 年),调查到的最大洪峰流量是 9140m³/s(1880 年)。此后有资料记载或有遗迹可考的洪水共有 34 次,其中三分之一是叶尔羌河上游冰川阻塞湖溃决所产生的突发性洪水,是叶尔羌河各类洪水中洪峰最高、危害最大的洪水。

从遥感图像上显示,在克勒青河上游有 5 条大的冰川,自东向西分别是克亚吉尔冰川(5Y654C116)、特拉木坎力冰川(5Y654C128)、沙克斯干冰川(5Y654C145),面积为 83.51km²、乌尔多克冰川(5Y654C157),面积为 97.56km²和尕舍罗鲁姆冰川(5Y654C163)。这 5 条冰川与克勒青河近于垂直。其中的克亚吉尔冰川,在 1979 年 4 月的 MSS 图像上显示,曾经形成了一面积为 1.030km²冰川阻塞湖,在 2002 年 10 月的 ETM 图像上该冰川阻塞

湖已经溃决(图版 2-2-32)。据资料,该冰川阻塞湖在 1985 年前溃堤,并引发了叶尔羌河突发性洪水。该冰川虽然在冰舌的宽度上有一定的减小,但其末端基本保持稳定,甚至有微小的前进迹象,因此,如果冰川物质积累突然增加的话,它随时有可能再次阻塞克勒青河,对叶尔羌河形成威胁。据最近的遥感影像显示,目前,在相同地点又形成了面积相似的冰川堰塞湖。

特拉木坎力冰川有一定的退缩,其末端的冰湖面积有所扩大,但退缩量不大,基本保持稳定。该冰川末端宽度达 4700m,把克勒青河强行推挤到山根,使它多次改道。虽然它的冰舌宽度上也有一定的减小,但其末端基本保持稳定,甚至有微小的前进迹象,因此,如果冰川物质积累突然增加的话,它随时有可能再次阻塞克勒青河,对叶尔羌河形成威胁。

沙克斯干冰川在其末端形成了长约 4250m 的半圆形冰碛物,直径 2000m,也曾经强行使克勒青河改道。虽然它的冰舌宽度上也有一定的减小,但其末端却出现了前进和扩大的趋势,在 23 年时间里,冰川末端前进了 341.2m,平均每年前进 14.8m,冰川末端面积扩大了 0.35km^2 ,平均每年扩大了 0.015km^2 (图版 2-2-33)。因此,如果冰川物质积累突然增加的话,它随时有可能阻塞克勒青河,对叶尔羌河形成威胁。

乌尔多克冰川也曾经强行使克勒青河改道。该冰川末端宽度达 2195m,把克勒青河强行推挤到山根。在 1979 年 4 月的 MSS 图像上显示,在末端南侧曾经形成了一面积为 0.785km^2 冰川阻塞湖,在 2002 年 10 月的 ETM 图像上该冰川阻塞湖已经溃堤。该冰川末端有一定的退缩,部分冰碛物已被河水冲走。虽然它的冰舌宽度上也有一定的减小,但退缩量不大,基本保持稳定。如果冰川物质积累突然增加的话,它随时有可能再次阻塞克勒青河,对叶尔羌河形成威胁。

尕舍罗鲁姆冰川也曾经强行使克勒青河改道。1979 年时冰川末端曾经一度越过克勒青河,到了河的对岸。该冰川末端宽度达 2116m,在 1979 年 4 月的 MSS 图像上形成了一面积为 0.477km^2 冰川阻塞湖,在 2002 年 10 月的 ETM 图像上该冰川阻塞湖已经溃堤。该冰川末端有一定的退缩,在 23 年时间里仅退缩了 165m,虽然它的冰舌宽度上也有一定的减小,但退缩量不大,基本保持稳定。因此,如果冰川物质积累突然增加的话,它随时有可能再次阻塞克勒青河,对叶尔羌河形成威胁。

根据影像显示,目前克勒青河已经无路可走,一旦上述冰川跃动,将势必阻塞克勒青河,形成大面积的冰川阻塞湖,对叶尔羌河下游形成威胁。

喀喇昆仑山北部的冰川规模都很小,但消减比较明显,是整个山系冰川面积消减最大的地方。

4. 雪线的调查

喀喇昆仑山总体雪线高度为 5000 ~ 6000m,自西北向东南逐渐增高。

西段:红其拉甫喀喇昆仑的克克拉去考勒峰的现代雪线高度为 5050m,基准雪线为 5000m,雪线上升了 50m(图版 2-2-34);库勒干考勒山西侧的现代雪线高度为 5050m,基准雪线为 5050m,雪线保持平衡。

中段:阿格勒达坂的现代雪线高度为 5250m,基准雪线为 5250m;阿吉里山的现代雪线高度为 5700m,基准雪线高度为 5750m;特拉木坎力峰的现代雪线高度为 5400m,基准雪线高度为 5450m(图版 2-2-35),雪线下降了 50m。

东段:扎嘎尔的现代雪线高度为 5950m,基准雪线高度为 5950m,雪线保持平衡。天岭

山、场南山的现代雪线高度为 6000m,基准雪线高度为 6000m,雪线保持平衡。

总之,喀喇昆仑山雪线变化不甚明显,处于基本平衡状态,部分冰川呈前进状态,雪线下降约 50m。

5. 主要存在问题

由于喀喇昆仑山地区山体高大,相对高差大,冰川表碛覆盖严重,根据遥感数据得出的冰川面积可能小于实际,冰川消减面积会偏大。

三、现代冰川雪线演变特征

青藏高原现代冰川的演化具有阶段性、地域性不同的特点,但总的趋势是现代冰川的面积在不断地减少。从 20 世纪 60 年代初期至 80 年代末期青藏高原现代冰川的面积有不同程度的增加,但增加的冰川面积具有局部的性质,不是所有冰川区普遍增加。从 80 年代末期开始,青藏高原现代冰川面积在急剧地减少,减少的速度也在加快,尤其是塔里木盆地的周缘和喜马拉雅山地区。从地域分布来看,青藏高原不同山系现代冰川的演化也不同。帕米尔山现代冰川面积的减少最为明显,其次是喜马拉雅山和祁连山等地。羌塘高原和昆仑山地区现代冰川的面积基本保持稳定,减少的较小。其他山系现代冰川面积的减少介于二者之间。

另外,青藏高原现代冰川的演化还具有空间特征。也就是说,虽然有的山系冰川面积的减少不是很明显,但冰川的厚度在减少,冰川的冰储量在不断地减少。所以,有的山系冰川的减少更多地体现在体积的减少上,如念青唐古拉山地区、阿尔金山地区、羌塘高原和祁连山等地区。

1. 帕米尔山现代冰川演化特征

帕米尔山是青藏高原现代冰川面积减少最多的山系之一。

从地域分析,帕米尔高原现代冰川消减最为严重的是沙里阔岭一带,其次是外阿赖山一带和公格尔山,再次是昆盖山,慕士塔格山冰川消减最小。造成这一现象的主要因素是现代冰川的规模。

从时间分析,帕米尔高原除与喀喇昆仑接壤的萨热吉勒尕西侧的冰川外,现代冰川具有单一演化的特征,即有记录以来,现代冰川面积一直处于减少状态,现代冰川面积一直在不断地减少,近期有加快的趋势。造成这一现象的主要因素是气候。

萨热吉勒尕西侧的冰川是帕米尔高原唯一在 20 世纪 80 年代前有明显增长的地方,80 年代后,冰川面积一直在不断地减少,减少的幅度比较大。

帕米尔高原由于地处塔里木盆地边缘,气候干燥、炎热,降水稀少,冰川补给不足,另外,帕米尔高原位于构造强烈挤压部位,山体规模较小。这些因素决定了帕米尔高原除公格尔山和慕士塔格山两大作用中心外,冰川规模小,而小规模冰川对气候的响应最为灵敏,气候的升温作用首先影响到小规模冰川,这些冰川只要有部分面积的缩小,其冰川变化率会很大,而同样的变化面积对规模大的冰川变化率则显得很小。

由于补给的减少和升温效应对冰川的影响,帕米尔高原冰川面积在减少的同时,体积也在不断地减小,表现在遥感图像上冰川覆盖区基岩的出露和冰川变薄的影像特征。

因此,帕米尔高原现代冰川总的演化趋势是单向式的,在过去的 30 多年时间里,冰川的

面积和体积在不断地减少,近期有加快的趋势。

2. 昆仑山现代冰川演化特征

昆仑山是青藏高原现代冰川面积分布最多的山系。由于昆仑山山系绵延数千千米,冰川发育的地形条件和气候条件有较大的差异,现代冰川的规模差异也较大,为了更好地总结规律,将昆仑山分为西、中和东三段。

昆仑山西段西起塔什库祖克山(东经约 76°),东至琼木孜塔格山(东经约 $82^{\circ}30'$),是昆仑山山系中冰川分布面积最大、冰川作用强度最大的地段,单条冰川面积超过 100km^2 的冰川集中分布在该段的昆仑峰一带。

昆仑山中段西起琼木孜塔格山(东经约 $82^{\circ}30'$),东至格尔木河(东经约 95°),冰川分布于发育有良好山顶夷平面的高山中,现代冰川分布分散,冰川作用中心规模较小。

昆仑山东段西起格尔木河(东经约 95°),东至阿尼玛卿山东端(东经约 103°),是昆仑山山系中冰川分布面积最小的地段。

昆仑山西段在 20 世纪 70 年代末以前冰川面积处于增长期,但增长量不大,相对应该处于稳定期。西部的增长量大于东部。西部以面积增长的方式为主,而东部则更多地以冰舌末端前进的方式增长。70 年代末至 80 年代末,许多冰川末端处于相对稳定或前进的状态(苏珍等,1998)。根据 2000 年的 ETM 数据和 1975 年的 MSS 数据对比,绝大部分冰川的冰舌末端处于退缩状态,但在昆仑峰一带仍有一些冰川的末端在继续前进。根据这些资料推测,昆仑山西段冰川的消减主要是从 20 世纪 90 年代开始的,从那时开始,段内绝大部分冰川处于消减状态。从面积消减的量分析,西部大于东部,东部地区相对处于稳定状态,甚至有很多前进的冰川。形成这一现象的主要因素是西部地区靠近塔里木盆地,降水稀少,气温较高,另外山体的高原夷平面规模较小,造成这些地区冰川的规模较小,对气候的响应较灵敏。而东部地区则靠近羌塘高原,加上有宽阔的山顶高原夷平面,羌塘高原一带的冰川在近几百年时间里对气候响应主要体现在体积的减少上,冰川在面积上基本处于稳定状态。另外,东部山地由于分布着大规模的冰川,形成了局地的“山地湿岛”效应,使得降水增加,为冰川提供了充足的补给。

昆仑山中段冰川分布不像昆仑山西段那样集中,而是以若干山峰为中心分散分布,冰川多以小冰帽或平顶冰川的形式出现,并向四周伸出若干冰舌。在 20 世纪 70 年代末以前冰川面积处于增长期,但增长量不大,相对应该处于稳定期。70 年代末至 80 年代末,许多冰川末端处于相对稳定或前进的状态,如木孜塔格峰的冰邻冰川,从 1971 年 11 月至 1976 年 12 月间,冰舌末端前进了 $200 \sim 250\text{m}$,1988 年 7 月实地考察时,与 1976 年比,冰川末端又前进了 220m (苏珍等,1998)。根据 1999 年 9 月的 ETM 数据和 1976 年 12 月的 MSS 数据对比,冰川的冰舌末端退缩了 110m ,因此,从 1988 年 7 月到 1999 年 9 月这 11 年时间里,该冰川的冰舌末端退缩了 330m 。根据这些资料推测,昆仑山中段冰川的消减主要是从 90 年代开始的,从那时开始,段内绝大部分冰川处于消减状态。由于地处高原腹地,段内冰川的面积消减量不是很大,可能更多地体现在冰川体积变化上。形成这一现象的主要因素是段内冰川的形态决定的,由于地处高原夷平面,地势平缓,冰川活动性差,加上经过长期的积累,冰川厚度较大,近期的升温效应还不至于影响到绝大部分冰川的面积。

在昆仑山中段的魏雪山和布喀达坂峰一带的冰川,从 1976 年 11 月(图版 2-2-36)至 1986 年 8 月(图版 2-2-37),冰川基本处于稳定状态,局部虽然有退缩,但退缩量不大,个别

冰川还处于前进状态。但到了 2002 年 8 月(图版 2-2-38),虽然仍然有一条冰川在继续前进,与 1986 年 8 月相比前进了 877m,平均每年前进 54.81m。除了这条冰川外,绝大部分冰川普遍处于退缩状态,表现在影像上是冰川消融区的范围扩大,雪线上升,基岩出露的范围和数量在扩大,冰川末端新形成了一系列的冰碛湖。

昆仑山中段的祁漫塔格山一带的冰川退缩较段内其他地区的大,说明昆仑山中段自西向东冰川的消减幅度在逐渐增加。

昆仑山东段冰川主要集中分布于阿尼玛卿山地区,这是黄河源区唯一的冰川分布区。

1981 年 6 月中德联合考察队对阿尼玛卿山地区的冰川进行了考察,王文颖根据与 1966 年 11 月的航摄资料对比,发现从 1966 年 11 月至 1981 年 6 月间,在所统计测量的 40 条冰川中,冰舌末端正处于前进状态的冰川达 16 条,前进量 50~790m,平均每年前进 3~53m;冰舌末端处于稳定状态的冰川有 22 条;而冰舌末端处于退缩状态的冰川仅有 2 条,退缩量 150~220m,平均每年退缩 10~15m(苏珍等,1998)。根据 2001 年 1 月的 ETM 数据和 1977 年 2 月的 MSS 数据对比,阿尼玛卿山地区前进的冰川只剩下 1 条,其他的都处于退缩或稳定状态,这说明,阿尼玛卿山地区自 1981 年后冰川处于急剧的消减状态,按目前的退缩速度,黄河源区唯一的冰川群在不久的将来将消融殆尽。

总的来说,昆仑山山系的现代冰川在 20 世纪 80 年代以前基本处于稳定或前进的状态,虽然局部有退缩,但量不大,与山系中巨大的冰川面积相比,显得微不足道。但自 90 年代开始,冰川的消减在加剧和加速。昆仑山东西两侧冰川面积消减最为明显,而中间地段基本处于稳定状态。

3. 阿尔金山现代冰川演化特征

阿尔金山只有 4 处现代冰川分布区。其西端的苏拉木塔格一带冰川基本处于稳定状态,在若羌玉石矿一带的冰川甚至有可能增加(由于季节性积雪的干扰,影响了判断)。

在玉苏普阿乐克塔格一带的冰川,从 1972 年 10 月至 1986 年 8 月有明显的增长,表现在面积和厚度的增长上;自 1986 年 8 月至 2001 年 7 月,冰川出现了明显的消减现象,主要也表现在面积和厚度的消减上,其中厚度的消减比面积的减少更明显(图版 2-2-39)。

在阿尔金山一带,冰川的演变与玉苏普阿乐克塔格一带基本相似,从 20 世纪 70 年代至 1986 年 7 月有明显的增长,表现在面积和厚度的增长上;自 1986 年 7 月至 1999 年 8 月,冰川出现了明显的消减现象,主要也表现在面积和厚度的消减上,其中厚度的消减比面积的减少更明显(图版 2-2-40)。

阿尔金山山系西端的冰川的消减不是很明显,而东侧的冰川消减则十分明显,主要原因是东侧离塔里木盆地较近,受温度升高影响明显。另外,近几年来,由于自然环境的恶化,沙尘暴频繁发生,大量的沙尘降落于冰川分布区,加速了冰川的消减。

4. 羌塘高原现代冰川演化特征

羌塘高原是青藏高原上现代冰川面积变化最小的地区,在过去的几百年时间里冰川面积基本保持不变,形成这一现象的主要因素是羌塘高原地处青藏高原腹地,气候的变化对其影响比较小。另外区内冰川的形态也决定了它变化状况,由于地处高原夷平面,地势平缓,冰川活动性差,加上经过长期的积累,冰川厚度较大,近期的升温效应还不至于影响到绝大部分冰川的面积。

虽然羌塘高原现代冰川的面积变化较小,近期冰川的消减主要体现在厚度的变化上,冰

川变薄是羌塘高原冰川演化的主流。

由于羌塘高原的冰川基本是以小冰帽或冰原的形式分布,冰舌短粗。发育冰舌的冰川消减还是比较明显的,尤其是从 20 世纪 80 年代末开始,冰川末端的消减在加剧和加速。

普若岗日是羌塘高原上最大的冰原,1986 年以前冰原上的冰川基本保持稳定,局部略有退缩,但退缩量不大;自 1986 年 6 月起,冰原上的冰舌末端处于明显的退缩状态(图版 2-2-41)。

羌塘高原南部与冈底斯山接壤的隆格尔山一带,在 20 世纪 80 年代以前基本保持稳定,局部地区的冰川增长明显,冰川冰舌的末端基本保持稳定;到了 1999 年 7 月,这一带的冰川普遍出现了退缩现象,冰川面积减小,面积减小幅度比较大,冰川冰舌的末端退缩也比较明显。

因此,羌塘高原冰川的演化特征是 20 世纪 60 年代末至 80 年代末,冰川处于基本稳定或略有增长的状态;自 90 年代开始,冰川的退缩速度加快,冰川消减加剧,主要表现在冰川末端冰舌的退缩和冰川厚度的减薄,冰川退缩的主要形式是冰川厚度的减小。羌塘高原南部的冰川消减面积比例较其中部和北部的大。正是由于羌塘高原冰川独特的冰川演化方式,形成了羌塘高原冰川面积基本不变的格局。

5. 念青唐古拉山现代冰川演化特征

念青唐古拉山是青藏高原上现代冰川面积分布仅次于昆仑山的山系,冰川集中度很高,这是因为除了念青唐古拉山地处东南海洋性季风的通道处外,该地区还位于两大板块的拼合部位,构造隆升强烈,再加上该地区保留完好的古高原夷平面,为现代冰川的大规模发育提供了良好的条件。

在纳木错湖以南的念青唐古拉山一带,1976 年 12 月以前,冰川基本保持稳定,仅局部地区冰川的面积在增加,局部地区有新增冰川的出现,但山体的南坡有个别冰川的冰舌末端出现了退缩的状况。到了 2001 年 2 月,这一带的冰川普遍出现了退缩,其中冰舌末端的退缩尤为明显,冰川面积的减少也很普遍。

在念青唐古拉山北部的强拉日一带,在 1977 年 8 月以前,冰川为增长的态势,主要表现在局部地区冰川的面积在增加,局部地区有新增冰川的出现,但山体的南坡有个别冰川的冰舌末端出现了退缩的状况。到了 1999 年 12 月,这一带的冰川普遍出现了退缩,其中冰川面积的减少尤为明显,冰舌末端的退缩也很普遍。

通麦和然乌湖一带是念青唐古拉山现代冰川的主分布区,念青唐古拉山的大冰川集中分布在这两个地区。在 20 世纪 80 年代以前,这两个地区冰川出现了普遍增长的现象,但以面积性的增长和厚度的增加方式为主,而北坡部分冰川的冰舌却呈现了退缩的态势。80 年代末期后,冰川开始了普遍退缩。到了 2002 年 1 月,这两个地区的绝大部分冰川出现了退缩的现象,表现在冰川冰舌末端的退缩、以前新增冰川的消失、冰川厚度的减薄,冰川冰舌末端的退缩以冰川末端湖泊的强烈扩张形式显示;冰川厚度的减薄以基岩出露范围的扩大为依据。山体南坡冰川的退缩比北坡更为显著。

炯拉冰川(50281B575),从 1977 年 1 月至 1987 年 11 月,冰川末端的冰舌后退了 540m,平均每年后退 54m;从 1987 年 11 月至 2001 年 1 月,冰川末端的冰舌后退了 1330m,平均每年后退 95m(图版 2-2-42)。从炯拉冰川的退缩规律可以看出,念青唐古拉山地区的冰川自 80 年代末开始退缩有加剧和加速的趋势。

由于念青唐古拉山横跨两个气候带,冰川的演化特征是不同的。大陆性气候区的冰川在 20 世纪 80 年代以前基本保持稳定或略有增长,80 年代以后冰川普遍呈现了退缩的态势,以冰川冰舌末端的退缩和面积性退缩方式为主;而海洋性气候区的冰川在 80 年代以前以增长方式为主,80 年代以后冰川也普遍呈现了退缩的态势,但以冰川冰舌末端的退缩和冰川厚度的减薄方式为主。

由于念青唐古拉山充沛的降水,为冰川的补给提供了丰富的物质,抵消了气候变化对冰川面积性分布的影响,气候的升温效应对冰川的影响更多地体现在对冰川冰舌末端和厚度的影响上。

因此,念青唐古拉山冰川总的演化特征是西部和北部的退缩显著,而中部和东部在面上基本保持稳定,但冰川冰舌的末端依然呈现了退缩的态势。

6. 唐古拉山现代冰川演化特征

唐古拉山是长江的发源地,正是由于唐古拉山地区冰川周而复始的积累-融化的过程,成为滚滚长江源源不断的源泉。因此,唐古拉山地区冰川的演化状况不仅关系到长江的安危,关系到长江源头的生态环境,还会对中国东部地区的气候、生态环境起到重要的影响作用。

唐古拉山地区的冰川在 20 世纪 80 年代以前基本保持稳定状态,并略有增长的趋势。但到了 2001 年,唐古拉山地区的冰川普遍出现了退缩,主要表现在冰川末端的退缩和冰川的厚度减小上。这在各拉丹冬、赛多浦岗日、冬克玛底一带尤其明显。

赛多浦岗日西北的一条冰川从 1976 年 12 月至 2001 年 10 月间冰舌末端退缩了 818.64m,平均每年退缩 32.75m。

冬克玛底冰川的冰舌从 1976 年 12 月至 2001 年 10 月间冰舌末端退缩了 428.40m,平均每年退缩 17.14m。

唐古拉山地区分布于山体南侧和东侧的冰川退缩比较明显,而北侧的冰川除个别有较大退缩外基本保持稳定状态。唐古拉山自西向东冰川的退缩在加剧,其西段的冰川以冰舌末端的退缩方式为主;而到了东段,由于主要以冰斗冰川和悬冰川等小型冰川为主,冰川的退缩以面的减少为主导方式,如色的日山一带。

唐古拉山作为长江的发源地,在 20 世纪 60 年代末,长江源头区发育的冰川面积为 1619.64km^2 ,到了 2000 年左右,冰川面积减少了 88.2km^2 ,面积减少率为 5.45%。2000 年左右 ETM 数据与 70 年代末 MSS 上的冰川面积相比,冰川面积减少了 101.03km^2 ,面积减少率为 6.245%。

因此,唐古拉山地区的冰川演化特征是 20 世纪 80 年代以前基本保持稳定或略有增长,自 80 年代后冰川以退缩为主,自西向东冰川的退缩在加剧。

7. 祁连山现代冰川演化特征

祁连山冰川融化的雪水是河西走廊的主要水源之一。千百年来,祁连山上奔腾而下的雪水养育了数以千万计的走廊人们,为人们提供了产生、生活用水,孕育了灿烂的走廊文化。

因此,祁连山冰川的演变状况对未来河西走廊的走向将会起很深远的影响作用。

在祁连山最西端的党河南山一带,在 1986 年 7 月以前,冰川保持稳定和略有增长的态势,但到了 2001 年 6 月,这一带的冰川普遍出现了退缩,冰川融化加剧,但冰川冰舌的末端却基本保持不变,甚至有很多冰川冰舌的末端在前进,这也说明这一带冰川的融化在加剧,冰川活动性增强。因此,该带的冰川自 1986 年以后以面积性减少和冰川变薄为主要演化特

征(图版 2-2-43)。

在喀克吐蒙克山和古尔班保热达陇山一带,20 世纪 80 年代以前,冰川的面积有明显的增长,但到了 1999 年 9 月冰川出现了明显的退缩。古尔班保热达陇山一带冰川以面积减少为主要特征,冰川冰舌的末端基本保持不变;喀克吐蒙克山一带的冰川面积性减少很少,主要以冰川冰舌的末端退缩为主。

在哈拉湖北侧的疏勒南山一带,20 世纪 80 年代以前,冰川的面积基本保持稳定,并略有增长,但到了 1999 年 9 月冰川出现了一定程度的退缩。除个别冰川冰舌的末端有退缩外,其他基本保持不变,个别冰川冰舌的末端甚至出现了明显的前进现象。所以,这一带的冰川以面积性减少的方式为主。

在祁连山的大雪山和其他冰川分布区,20 世纪 80 年代以前,冰川的面积基本保持稳定,并略有增长,但到了 2000 年 8 月冰川出现了一定程度的退缩。除个别冰川冰舌的末端有退缩外,其他基本保持不变,这些地区的冰川以面积性减少和冰川变薄的方式为主,说明冰川的融化在加剧。

因此,祁连山现代冰川的演化特征是 20 世纪 80 年代以前保持不变或增长,80 年代以后冰川出现了退缩。祁连山西部以冰舌的退缩为主,中部基本保持稳定或略有退缩,而东部则以面积性减少和冰川变薄的方式退缩。

祁连山地区冰川演化有别于青藏高原其他山系的特征是冰川冰舌的末端基本保持不变,冰川变薄是其主导退缩方式。

8. 横断山现代冰川演化特征

横断山虽然降水丰富,有利于冰川发育时的物质补给,但是其纬度低,山体挤压隆升强烈,山顶古夷平面不是很发育,因此,现代冰川不是很发育,而且冰川的规模也不大,冰川只是在一些极高山有发育,如贡嘎山、梅里雪山、伯舒拉岭、玉龙雪山等。

20 世纪 80 年代以前横断山的冰川都处于增长期,尤其是面积性的增长最为明显,当然有个别冰川的冰舌处于退缩状态,如海螺沟冰川等。在雀儿山一带还出现了新增冰川带。

自 80 年代后,横断山的冰川也呈现了退缩状态。冰川的退缩自西向东、由北而南有加剧的趋势,尤其是贡嘎山、梅里雪山、玉龙雪山的冰川退缩更为明显,而且冰川变薄的现象在这三个地区十分普遍。这除了气候因素外,主要是升温和降水减少对冰川退缩起推波助澜的作用,人文因素对冰川的退缩也起着越来越大的作用。由于这三个地区是旅游景区,人类活动加剧,随着越来越多机动车的进入,汽车排出的尾气对冰川消融起着推动作用。

总之,横断山的冰川也呈退缩趋势,冰川的退缩更多的是以厚度减薄的方式来体现,许多大冰川冰舌末端的退缩也很普遍。

9. 喜马拉雅山现代冰川演化特征

喜马拉雅山山体海拔高度高,是青藏高原上最有利于现代冰川发育的山系。但由于喜马拉雅山是年轻的山脉,山顶古夷平面不是很发育,加上喜马拉雅山纬度低,对冰川的保存不利。因此,喜马拉雅山地区很少发育大规模的冰川。

喜马拉雅山西段(东经 85° 以西),20 世纪 80 年代以前冰川一直处于退缩状态,但冰川冰舌末端的退缩不是很明显,基本保持稳定;到了 2002 年 12 月,除仲尼拉和阿依拉日居两个地区外,冰川普遍出现了退缩,冰川面积减小,厚度也有变薄的趋势,冰川冰舌末端的退缩则最为明显,基本呈大幅退缩的状态,表现在冰川冰舌末端的冰川湖急剧前进。仲尼拉和阿

依拉日居两个地区普遍出现了新增加的冰川,新增加的冰川一般在原冰川基础上扩展或新形成小规模的冰斗冰川和悬冰川。

喜马拉雅山中段(拉萨以西,东经 $85^{\circ}\sim 91^{\circ}$),20世纪80年代以前冰川处于稳定状态,局部地区冰川面积略有增长,但部分冰川冰舌的末端却开始了退缩;到了2002年4月,冰川普遍出现了退缩,冰川大面积减小。在珠穆朗玛峰地区冰川厚度变薄的现象十分明显,冰川冰舌末端的退缩则最为明显,大部分冰川呈大幅退缩的状态,表现在冰川冰舌末端的冰川湖急剧前进,如希夏邦马峰东南部的吉葱浦冰川冰舌退缩了1951.75m。喜马拉雅山中段冰舌末端的冰川集中分布在北坡,而南坡的冰川则以面积性减少的方式为主。

喜马拉雅山东段(拉萨以东至南迦巴瓦峰一带),除南迦巴瓦峰一带发育有规模比较大的冰川外,其他地段都为小规模冰川。20世纪80年代以前冰川处于稳定状态,局部地区冰川面积略有增长;到了2001年1月,冰川普遍出现了退缩,冰川大面积减小。冰川在面积减少的同时,冰川冰舌的末端也有一定程度的退缩,这在南迦巴瓦峰一带尤为明显,另外,冰川厚度变薄的现象也十分明显。

总之,喜马拉雅山东段自西向东冰川退缩加剧,冰川演变以面积性减少的方式为主。

10. 冈底斯山现代冰川演化特征

冈底斯山的冰川沿一些断块山分布,这些断块山是板块运动时东西向应力作用形成的,呈近南北向展布。

冈底斯山西端的昂龙岗日一带,20世纪80年代以前冰川基本保持稳定;到了2000年6月,一些小冰川呈现了面积减少的态势。虽然部分冰川冰舌的末端也出现了退缩现象,但大部分却基本保持不变,同时还出现了一些新增加的冰川。总的来说,这一带冰川基本保持稳定状态。

在冈仁波齐峰西北的埃具拉一带,20世纪80年代以前冰川以退缩为主,大部分小冰川已经基本消融殆尽,而到了1999年9月,这一带出现了很多新增加的小冰川,冰川类型主要是冰斗冰川和悬冰川。

冈仁波齐峰一带的冰川20世纪80年代以前略有退缩,但退缩量不大,冰川冰舌的末端基本保持稳定;到了2001年10月,这一带的冰川普遍出现了退缩现象,冰川面积减小,冰川冰舌的末端也呈现退缩的态势。

在空波岗日、郭懂岗日、革青拉、格莱居、康琼岗日一带,冰川20世纪80年代以前基本保持稳定,局部地区的冰川增长明显,如郭懂岗日南部的冰川面积增加较大,冰川冰舌的末端基本保持稳定;到了2002年12月,这一带的冰川普遍出现了退缩现象,冰川面积减小,面积减小幅度比较大,冰川冰舌的末端退缩也比较明显。

冈底斯山东段的当顶拉、萨沃拉、许如错、香尖山、查拉日等地的冰川在20世纪80年代以前略有退缩,但退缩量不大,冰川冰舌的末端基本保持稳定,但东端的拉布普一带冰川面积性减少和冰川冰舌末端的退缩却比较明显;到了2003年3月,除许如错一带有一些新增加冰川外,这些地区的冰川普遍出现了退缩现象,冰川面积减小,冰川冰舌的末端也呈现退缩的态势。

因此,冈底斯山的冰川在20世纪80年代以前基本保持稳定或略有增长,80年代后,冰川普遍出现了退缩现象,冰川的退缩自西向东有加剧的趋势。

11. 喀喇昆仑山现代冰川演化特征

喀喇昆仑山北部的克克拉去考勒峰、明铁盖达坂、消尔布拉克山一带在20世纪80年代

以前冰川面积有较大的增长,而且增加的幅度比较大。而 80 年代后,冰川普遍出现了退缩现象,在克克拉去考勒峰冰川退缩最为显著,冰川消减幅度比较大,冰川退缩的主要方式是面积性的减少。在其他地区冰川虽然也发生了退缩,但退缩量不大。

在喀喇昆仑山中部的乔戈里峰一带,20 世纪初至 20~30 年代,许多冰川末端处于相对稳定或前进状态;30~60 年代,冰川普遍处于退缩状态;70~80 年代,许多冰川末端处于相对稳定或前进状态,原来退缩的冰川退缩速度变得趋缓;80 年代以后,冰川普遍处于退缩状态(苏珍等,1998)。

根据遥感影像显示,20 世纪 80 年代以前许多冰川末端为相对稳定或前进状态,冰川面积出现了增长,冰舌末端也出现了前进现象,冰川以面积性的增长方式为主。80 年代以后,冰川普遍出现了退缩现象,冰川退缩的主要方式是面积性的减少。部分冰川冰舌的末端虽然也出现了退缩现象,冰舌的宽度也有一定程度的减小,但大部分冰川冰舌的末端基本保持稳定,甚至还出现了一些前进的冰川,如音苏盖提冰川西侧的 5Y654D68 冰川,在近 30 年时间里前进了 3140m。另外,克勒青河的几条大冰川也出现了前进现象。

在喀喇昆仑山南部的天河岭、石蛇岭等地的冰川,20 世纪 80 年代以前许多冰川已经开始退缩,冰川以面积性的减少方式为主,冰川末端冰舌基本保持稳定。80 年代以后,冰川退缩有加剧的趋势,冰川退缩的主要方式是面积性的减少。

总之,喀喇昆仑山冰川在 20 世纪 80 年代以前以增长为主,80 年代后转为以减少为主,冰川的增长和减少以面积性变化的方式为主。

12. 青藏高原现代冰川演化特征

根据青藏高原各山系的冰川演化特征,青藏高原在近 30 多年时间里具有以下演化特征:

1) 到目前为止,青藏高原冰川的消减十分明显,而且有加速的趋势,除部分冰川前进外,绝大部分冰川处于退缩状态,退缩的方式是全方位的(表 2-2-3);

表 2-2-3 青藏高原冰川变化状况

山 系	增加面积/km ²	减少面积/km ²	基准面积/km ²	变化面积/km ²	变化率/%
阿尔金山	23. 41	23. 57	250. 15	- 0. 16	- 0. 06
冈底斯山	159. 46	458. 60	1940. 17	- 299. 14	- 15. 42
横断山	320. 56	280. 86	1625. 35	+ 39. 70	+ 2. 44
喀喇昆仑	461. 62	1045. 92	6958. 95	- 584. 30	- 8. 40
昆仑山	100. 28	640. 15	12489. 04	- 539. 87	- 4. 32
念青唐古拉	163. 96	683. 03	8976. 95	- 519. 07	- 5. 78
唐古拉	40. 30	137. 12	2332. 40	- 96. 82	- 4. 15
帕米尔	68. 98	492. 18	2753. 42	- 423. 2	- 15. 37
羌塘高原	51. 34	159. 38	3381. 31	- 108. 04	- 3. 20
祁连山	20. 73	213. 90	2040. 25	- 193. 17	- 9. 47
喜马拉雅山	226. 26	1443. 87	8080. 92	- 1217. 61	- 15. 07
合计	1636. 90	5578. 58	50828. 91	- 3941. 68	

2) 自 20 世纪 60 年代末开始,青藏高原的现代冰川有一个普遍的增长过程,以面积性增长方式为主,冰舌末端基本保持稳定或微量前进(表 2-2-4);

表 2-2-4 青藏高原 ETM-MSS 两期数据冰川变化状况

山 系	增加面积/km ²	减少面积/km ²	基准面积/km ²	变化面积/km ²	变化率/%
阿尔金山	0	26.42	250.15	-26.42	-10.56
冈底斯山	39.56	353.91	1940.17	-314.35	-16.20
横断山	0.48	256.37	1625.35	-255.89	-15.74
喀喇昆仑	10.21	664.60	6958.95	-654.39	-9.40
昆仑山	13.44	723.21	12489.04	-709.77	-5.68
念青唐古拉	5.81	623.02	8976.95	-617.21	-6.88
唐古拉	2.71	156.24	2332.40	-153.53	-6.58
帕米尔	5.70	433.85	2753.42	-428.15	-15.55
羌塘高原	16.30	149.82	3381.31	-133.52	-3.95
祁连山	1.53	216.30	2040.25	-214.77	-10.53
喜马拉雅山	98.51	978.15	8080.92	-879.64	-10.88
合计	194.25	4581.89	50828.91	-4387.64	

3) 自 20 世纪 80 年代末开始,青藏高原绝大部分冰川转为退缩状态,冰川消减的速度在加快(表 3-2-4);

4) 青藏高原四周冰川消减量较大,内部冰川面积基本保持稳定(表 2-2-3);

5) 整个青藏高原上的冰川都存在变薄的趋势。

四、现代冰川雪线演变因素分析与分区评价

(一) 冰川雪线演变因素分析

现代冰川雪线的退缩和前进与气候、冰川类型、冰川规模、冰川所处的坡向、冰川的活动性、冰川表碛的发育程度等有关,其中气候是最主要的制约因素,即温度和降水量。

温度、降水量是诱发现代冰川雪线升降变化的主导因素。现根据从国家气象局收集的 1965~2002 年温度、降水量数据,按山系内不同气象站各时间段(1965~1974,1975~1979,1980~1989,1990~1998,1999~2002)的平均年温度和降水量,时间段的设置主要是依据气温的规律性变化时间域和卫星数据的时间域来确定的。各山系内的气象站一般分布在盆地周缘,离现代冰川发育地有一定的距离,因此,气象站资料反映的不是现代冰川区的实际气象值。根据气象的一般规律,温度和降水量随海拔高度的递增有规律地增加。温度变化的规律性比较明显,不同山系和气候类型递增值大致相同,为 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$;降水量随海拔高度的变化比较复杂,降水量的递增率受坡向、局地环流、气候类型、不同降水带影响,其递增率也不同,根据推算,青藏高原降水量的递增率在 $5\sim 20\text{mm}/100\text{m}$ 间,最大递增率值出现在海洋型气候区和局地环流发育的那曲地区、昆仑峰、喀喇昆仑山等地。因此,各山系内盆地周缘的气象站的资料可以间接地反映现代冰川发育区的气象特性。现结合现代冰川雪线升降变化遥感调查结果综合分析如下。

1. 温度变化对冰川雪线的影响

(1) 帕米尔山温度变化的基本特征

根据喀什、莎车、塔什库尔干气象站从 1965~2002 年间 38 年的年均值和区内一些野外

短期观测站的资料(表 2-2-5),从 1965 ~2002 年,帕米尔山的平均气温一直呈上升趋势,到近期,这种趋势加剧,升温幅度增加,其中处于山系边缘的喀什站平均气温升高了 2.28℃;山系内的塔什库尔干站的平均气温升高了 1.27℃。根据喀什和塔什库尔干气象站的温度变化曲线,从 20 世纪 60 年代末到 70 年代中期,帕米尔山地区有一个缓慢的温度下降过程(图 2-2-2)。根据上述 3 个站的平均气温,帕米尔山的气温在 38 年间平均上升了 1.51℃。

表 2-2-5 帕米尔山气温变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均气温/℃	海拔/m
喀什	10.67	11.76	11.82	11.69	12.95	11.91	1289
莎车	11.37	11.58	11.70	11.73	12.35	11.67	1231
塔什库尔干	3.28	3.58	3.36	3.83	4.55	3.61	3090
600 百帕等压面						-5.5	4300
500 百帕等压面						-15.95	5400
卡拉库勒						1.3	3300

注:其余单位为℃。

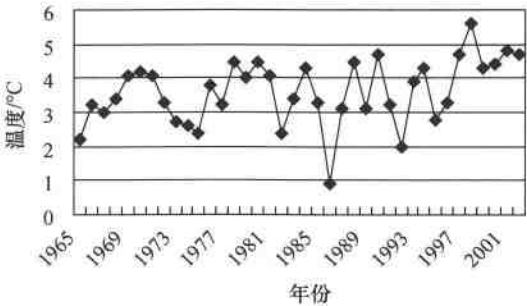


图 2-2-2 塔什库尔干站温度变化曲线图

(2) 昆仑山温度变化的基本特征

根据皮山、和田、民丰、于田、玛多、清水河和达日气象站从 1965 ~2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-6),从 20 世纪 70 年代初期至末期,西昆仑山北缘皮山、和田、民丰和于田站的气温略有上升,但幅度不大;而东昆仑山的玛多、清水河和达日气象站气温有一个下降过程。从 80 年代初期开始,昆仑山的平均气温一直呈上升趋势,到近期,这种趋势加剧,升温幅度增加,其中民丰站平均气温升高了 1.57℃。根据玛多气象站的温度变化曲线,从 60 年代末到 70 年代后半叶,有一个明显的温度下降过程(图 2-2-3)。

表 2-2-6 昆仑山气温变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均气温/℃	海拔/m
皮 山	11.85	11.88	11.92	12.2	13.15	12.09	1375
和 田	12.13	12.32	12.39	12.67	13.6	12.51	1375
民 丰	11.11	11.1	11.38	11.71	12.68	11.49	1409
于 田	11.59	11.72	11.37	11.38	12.15	11.56	1422
玛 多	-4.12	-4.58	-3.93	-3.59	-2.9	-3.88	4272
清水河	-4.86	-5.02	-4.81	-4.78	-4.15	-4.77	4415
达 日	-1.24	-1.36	-0.86	-0.93	-0.38	-0.99	3968

注:其余单位为℃。

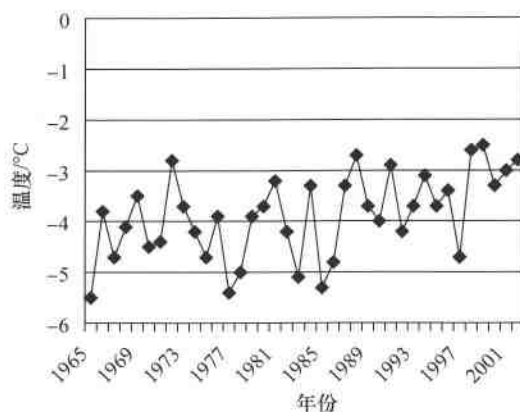


图 2-2-3 玛多站温度变化曲线图

根据玛多、清水河和达日 3 个站的平均气温,昆仑山的气温在 38 年间平均上升了 0.93°C 。

(3) 阿尔金山温度变化的基本特征

根据若羌、且末和茫崖气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-7),阿尔金山的平均气温一直呈上升趋势,到近期,这种趋势加剧,升温幅度增加,其中茫崖站平均气温升高了 2.98°C 。根据茫崖气象站的温度变化曲线,从 20 世纪 60 年代末到 70 年代中后期以及 80 年代初期,有一个明显的温度下降过程(图 2-2-4)。阿尔金山的气温在 38 年间平均上升了 1.82°C 。

表 2-2-7 阿尔金山气温变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均气温/ $^{\circ}\text{C}$	海拔/m
若羌	11.37	11.42	11.63	11.93	12.35	11.68	888
且末	9.92	10.18	10.50	10.71	11.43	10.45	1247
茫崖	1.35	1.42	1.90	3.67	4.33	2.37	3138

注:其余单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

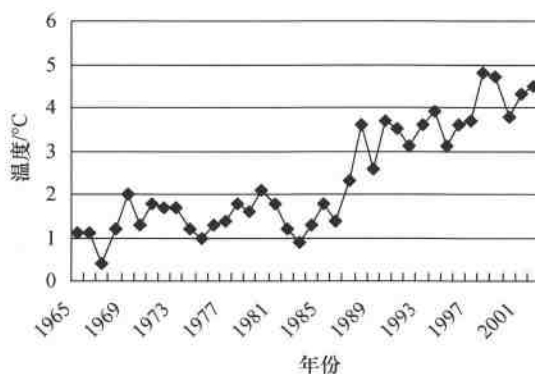


图 2-2-4 茫崖站温度变化曲线图

(4) 羌塘高原温度变化的基本特征

根据班戈和申扎气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-8),羌塘高原平均气温一直呈上升趋势,到近期,这种趋势加剧,升温幅度增加。根据上述两气象站的温度变化

曲线,从 20 世纪 70 年代中期到 80 年代中期,羌塘高原有一个明显的温度下降过程(图 2-2-5)。羌塘高原的气温在 38 年间平均上升了 0.71℃。

表 2-2-8 羌塘高原气温变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均气温/℃	海拔/m
班戈	-1.21	-1.18	-0.84	-0.63	-0.18	-0.86	4700
申扎	-0.33	-0.18	-0.02	0.016	0.05	-0.026	4670

注:其余单位为℃。

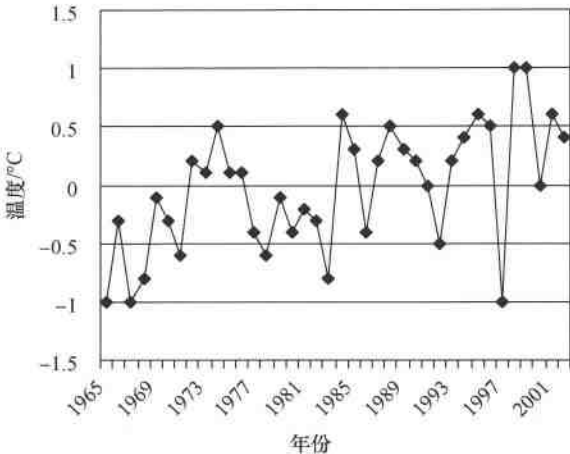


图 2-2-5 申扎站温度变化曲线图

(5)念青唐古拉山温度变化的基本特征

根据安多、那曲、当雄、拉萨、泽当、索县、丁青、囊谦、嘉黎、波密和林芝气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-9),念青唐古拉山的平均气温一直呈上升趋势,到近期,这种趋势加剧,升温幅度增加,其中那曲站平均气温升高了 1.52℃。根据丁青气象站的温度变化曲线,从 20 世纪 70 年代中期到 70 年代末,有一个明显的温度下降过程(图 2-2-6),其他各站也具有类似的特征。根据上述气象站的平均气温,念青唐古拉山的气温在 38 年间平均上升了 0.97℃。

表 2-2-9 念青唐古拉山气温变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均气温/℃	海拔/m
安多	-3.07	-2.9	-2.84	-2.86	-2.2	-2.84	4800
那曲	-1.85	-1.5	-1.24	-0.97	-0.33	-1.27	4507
当雄	1.3	1.5	1.65	1.73	2.25	1.62	4200
拉萨	7.36	7.6	7.86	8.21	8.75	7.87	3658
泽当	8.04	8.2	8.61	8.86	9.28	8.53	3552
索县	1.22	1.4	1.77	1.7	2.4	1.63	4023
丁青	3.16	3.22	3.35	3.46	3.83	3.36	3873
囊谦	3.86	3.82	4.1	4.19	4.8	4.09	3644
嘉黎	-0.35	-1.02	-0.88	-0.57	0	-0.59	4489
波密	8.45	8.38	8.72	8.73	9.1	8.72	2736
林芝	8.47	8.48	8.63	8.86	9.33	8.69	3000

注:其余单位为℃。

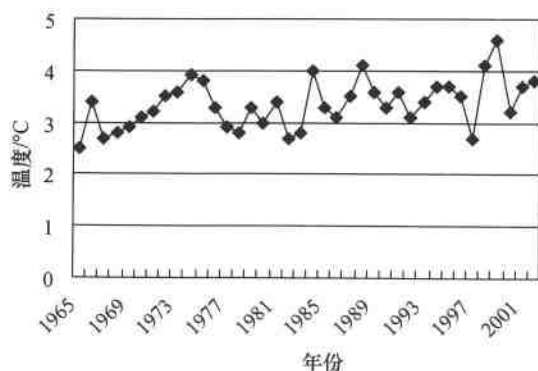


图 2-2-6 丁青站温度变化曲线图

(6) 唐古拉山温度变化的基本特征

根据五道梁、沱沱河、治多、杂多、曲麻莱和玉树气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-10),从 1965 ~ 1979 年,五道梁、杂多和曲麻莱的年均温度呈下降趋势,而沱沱河、治多和玉树的年均温度呈小幅上升。但从 20 世纪 60 年代末到 70 年代中期,唐古拉山的气温有一个明显的下降过程(图 2-2-7)。从 1980 年开始,唐古拉山的气温都呈上升趋势,到了 90 年代末,这种趋势加剧,升温幅度增加,其中玉树站的平均气温升高了 1.01℃。根据上述 6 个站的平均气温,唐古拉山的气温在 38 年间平均上升了 0.692℃。

表 2-2-10 唐古拉山气温变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均气温/℃	海拔/m
五道梁	-5.54	-5.62	-5.52	-5.29	-4.78	-5.54	4612
沱沱河	-4.24	-4.08	-4.54	-3.86	-3.78	-4.16	4533
治 多	-1.79	-1.64	-1.53			-1.63	4179
杂 多	0.28	0.18	0.43	0.58	1.25	0.48	4066
曲麻莱	-2.41	-2.56	-2.39	-1.90	-1.75	-2.23	4232
玉 树	2.87	2.90	3.23	3.30	3.88	3.18	3682

注:其余单位为℃。

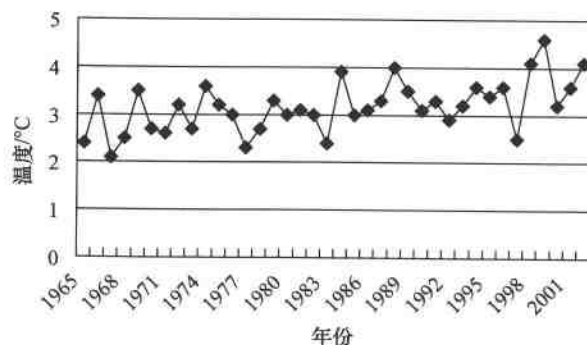


图 2-2-7 玉树站温度变化曲线图

(7) 祁连山温度变化的基本特征

根据小灶火、大柴旦、德令哈、刚察、门源和乌鞘岭气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-11),其中小灶火、大柴旦和德令哈站的平均气温一直呈上升趋势,到近期,这种趋势加剧,升温幅度增加;刚察、门源和乌鞘岭站的气温从 20 世纪 70 年代初期至末期有一个下降过程(图 2-2-8),这三个站的气温变化基本可以代表祁连山的气温状况。其中小灶火站平均气温升高了 2.49℃。根据刚察、门源和乌鞘岭 3 个站的平均气温,祁连山的气温在 38 年间平均上升了 0.96℃。

表 2-2-11 祁连山气温变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均气温/℃	海拔/m
小灶火	2.41	3.32	3.59	4.11	4.9	3.51	2767
大柴旦	1.15	1.54	1.85	2.09	2.78	1.78	3173
德令哈	3.2	3.62	3.78	4.34	4.83	3.85	2982
刚 察	-0.59	-0.66	-0.42	-0.089	0.23	-0.35	3302
门 源	0.7	0.26	0.5	0.11	1.68	0.78	2850
乌鞘岭	-0.34	-0.42	-0.28	0.37	0.73	-0.055	3045

注:其余单位为℃。

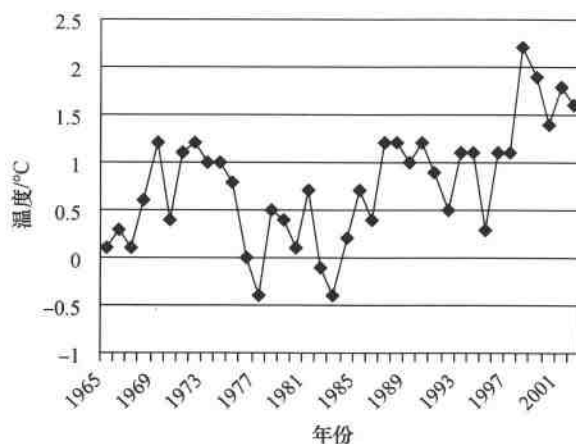


图 2-2-8 门源站温度变化曲线图

(8) 横断山温度变化的基本特征

根据昌都、德格、甘孜、色达、道孚、巴塘、新龙、德钦、香格里拉和维西气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-12),从 20 世纪 70 年代初期至末期,横断山的气温有一个明显的下降过程(图 2-2-9)。从 80 年代初期开始,横断山的平均气温一直呈上升趋势,到近期,这种趋势加剧,升温幅度增加,其中德钦站平均气温升高了 1.57℃。横断山的气温在 38 年间平均上升了 0.64℃。

表 2-2-12 横断山气温变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均气温/℃	海拔/m
昌都	7.34	7.4	7.59	7.54	7.65	7.49	3306
德格	6.5	6.44	6.71	6.56	6.93	6.61	3201
甘孜	5.53	5.36	5.73	5.57	5.98	5.62	3394
色达	-0.07	-0.16	0.24	0.42	0.75	0.20	3894
道孚	7.86	7.68	7.93	8	8.18	7.92	2957
巴塘	12.42	12.74	12.79	12.59	12.78	12.64	2589
新龙	7.43	7.36	7.54	7.43	7.63	7.47	3000
德钦	4.71	4.6	5.35	5.73	6.28	5.27	3485
香格里拉	5.3	5.48	5.82	6.08	6.63	5.78	3276
维西	11.34	11.26	11.51	11.52	11.98	11.48	2326

注:其余单位为℃。

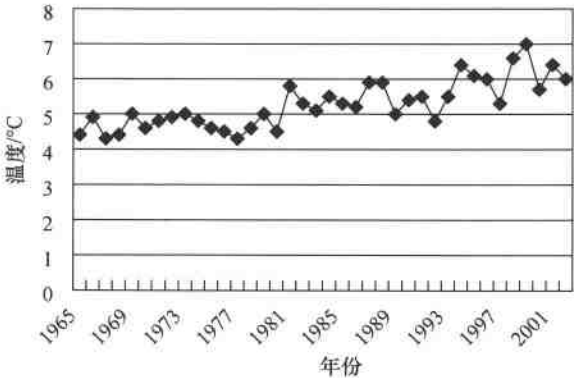


图 2-2-9 德钦站温度变化曲线图

(9)喜马拉雅山温度变化的基本特征

根据普兰、拉孜、日喀则、聂拉木、定日、江孜、错那、隆子和帕里气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-13),喜马拉雅山的平均气温总体呈上升趋势,到近期,这种趋势加剧,升温幅度增加,其中定日站平均气温升高了 2.14℃。根据定日站的年平均温度变化曲线,喜马拉雅山从 20 世纪 70 年代中期至 80 年代中期有一个小幅的降温过程(图 2-2-10)根据上述气象站的平均气温,喜马拉雅山的气温在 38 年间平均上升了 0.97℃。

表 2-2-13 喜马拉雅山气温变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均气温/℃	海拔/m
普 兰		3.1	2.97	3.34	4.15	3.27	3900
拉 孜		6.17	6.5	6.81	7.3	6.69	4000
日喀则	6.15	6.22	6.44	6.61	6.8	6.41	3836
聂拉木	3.39	3.44	3.51	3.58	4.2	3.56	2811
定 日	1.49	2.62	2.63	3.02	3.63	2.53	4300
江 孜	4.66	4.82	4.88	5.01	5.4	4.9	4040
错 那	-0.6	-0.28	-0.42	-0.23	0.4	-0.24	4280
隆 子	4.95	5.18	5.33	5.47	5.73	5.28	3860
帕 里	-0.26	0.16	0.11	0.67	0.68	0.068	4300

注:其余单位为℃。

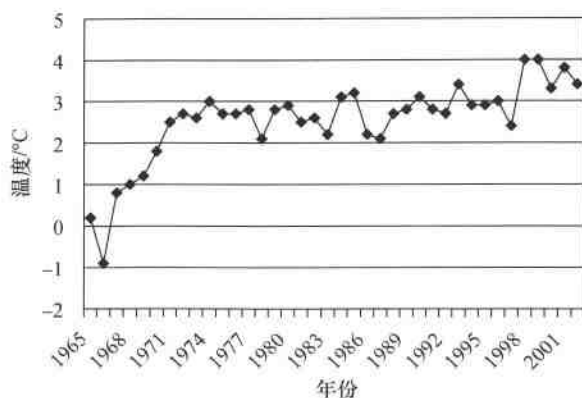


图 2-2-10 定日站温度变化曲线图

(10) 冈底斯山温度变化的基本特征

根据狮泉河和改则气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-14),冈底斯山气温总体呈上升趋势,到近期这种趋势加剧,升温幅度增加。根据狮泉河站的年平均温度变化曲线,从 20 世纪 70 年代中期至 80 年代中期,冈底斯山气温有一个下降过程(图 2-2-11)。根据狮泉河和改则 2 个站的平均气温,冈底斯山的气温在 38 年间平均上升了 1.075℃。

表 2-2-14 冈底斯山气温变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均气温/℃	海拔/m
狮泉河	-0.07	-0.32	0.21	0.88	1.73	0.38	4278
改则	0.05	-0.52	-0.31	0.21	0.4	0.0053	4415

注:其余单位为℃。

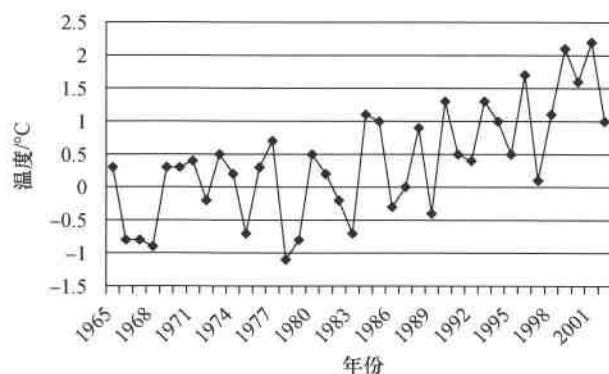


图 2-2-11 狮泉河站温度变化曲线图

(11) 喀喇昆仑山温度变化的基本特征

喀喇昆仑山由于缺少长期的气象观测站,没有系统的气象资料,根据野外观测站的数据和相似条件气象站的推算,喀喇昆仑山地区全年平均气温低于零度。其气温变化应与帕米尔地区类似。

温度是现代冰川雪线升降变化的主导因素。随着全球气温的变暖,将导致夏季季风的增强,在一定的时间延滞后,降水会增加。而夏季又是青藏高原的主要降水季节,由于冰川区常年基本为负温,因此,即使是夏季的降水,也基本呈固态,降水增加意味着积累增加、消融减弱,有利于冰川扩大。根据康尔泗(1996)对祁连山、唐古拉山和横断山典型冰川的研究,在目前的升温值下,年降水量值需达 260 ~ 340mm,相当于绝大多数冰川年降水量的 40% ~ 70%,才能维持冰川的平衡。但根据目前青藏高原降水量的增加值,远远达不到。因此,温度的变化对青藏高原冰川雪线的演化起着决定性作用。

从 1965 ~ 2002 年,青藏高原的平均气温一直呈上升趋势,到近期,这种趋势加剧,升温幅度增加。帕米尔山从 20 世纪 60 年代末到 70 年代中期有一个缓慢的温度下降过程。昆仑山从 60 年代末到 70 年代后半叶有一个明显的温度下降过程。阿尔金山从 60 年代末到 70 年代中后期以及 80 年代初期,有一个明显的温度下降过程。羌塘高原从 70 年代中期到 80 年代中期有一个明显的温度下降过程。念青唐古拉山从 70 年代中期到 70 年代末有一个明显的温度下降过程。从 60 年代末到 70 年代中期,唐古拉山的气温有一个明显的下降过程。祁连山的气温从 70 年代初期至末期有一个下降过程。从 70 年代初期至末期,横断山的气温有一个明显的下降过程。喜马拉雅山从 70 年代中期至 80 年代中期有一个小幅的降温过程。从 70 年代中期至 80 年代中期,冈底斯山气温有一个下降过程。

从表 2-2-15 所列数据不难看出,温度变化对冰川雪线演变的影响明显,主要变化规律表现为:

表 2-2-15 不同山系温度变化与冰川雪线关系

山 系	1965 ~ 2002 年温度变化/℃	冰川变化/%	雪线变化/m
帕米尔高原	1.51	-15.55	100 ~ 300
昆仑山	0.93	-5.68	50 ~ 250、-50 ~ -250
阿尔金山	1.82	-10.56	50 ~ 300
羌塘高原	0.71	-3.95	-50 ~ -250
念青唐古拉山	0.97	-6.88	0
唐古拉山	0.692	-6.58	400→0
祁连山	0.96	-10.53	50 ~ 110
横断山	0.64	-15.74	200→0
喜马拉雅山	0.97	-15.07	50 ~ 250
冈底斯山	1.075	-16.20	50 ~ 150、-50 ~ -150
喀喇昆仑山		-9.40	0

1) 温度升高,冰川消融,雪线退缩,升温幅度增加,冰川退缩、雪线上升趋势加剧,如:阿尔金山、冈底斯山、帕米尔高原等;在温度下降时间段内,冰川雪线保持平衡或冰川面积增加,雪线下降。如各山系在 70 年代中期为降温期,而这一时期青藏高原冰川面积普遍出现

了增长现象,随后冰川普遍退缩。

2)温度升降幅度不同,冰川变化速率和雪线上升高度不同。①当38年间总体温度增加变化在0.96~1.82℃范围内,冰川退缩变化率达10%~16.2%,雪线高度上升50~300m。如冈底斯山、帕米尔高原、喜马拉雅山和祁连山。②当38年间总体温度变化在0.64~0.93℃范围内变化,冰川退缩变化率6%左右,雪线由上升转为平衡,上升高度50~200m。

3)温度上升幅度小,冰川面积性减少小,雪线呈平衡或下降的趋势。如羌塘高原冰川面积减少3.95%,雪线高度下降50~250m。

2. 降水量变化对冰川雪线的影响

(1)帕米尔山降水量变化的基本特征

根据喀什、莎车、塔什库尔干气象站从1965~2002年间38年的年均值和区内一些野外短期观测站的资料,山系内的塔什库尔干降水量呈增加趋势(表2-2-16),到了20世纪90年代末,这种趋势有所加剧(图2-2-12)。

帕米尔山增加的最大降水量为14.5mm。虽然帕米尔山的降水量有所增加,但其增加量较小,抵消不了大幅升温对冰川的影响,因此,依然呈现冰川面积急剧减少和雪线上升的变化趋势。

表 2-2-16 帕米尔山降水量变化

站 名	1965~1974 年	1975~1979 年	1980~1989 年	1990~1998 年	1999~2002 年	年均降水量/mm	海拔/m
喀什	68	56.7	65.3	69.3	44.5	63.6	1289
莎车	53.3	32	54.3	68	57.7	54.7	1231
塔什库尔干	67.5	69	72.2	70.7	82	70.8	3090
克勒克						108.2	2500
亚高孜						551.3	3500
布伦口						131.5	3400
卡拉库勒						118.1	3300

注:其余单位为 mm。

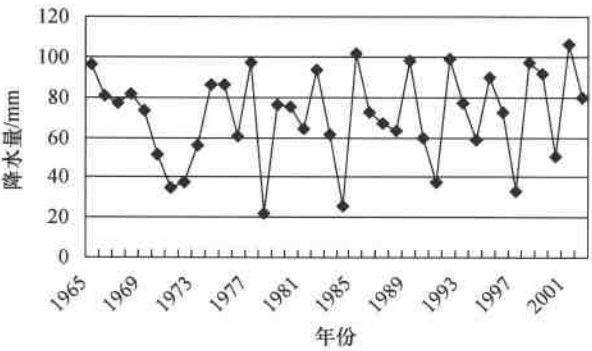


图 2-2-12 塔什库尔干站降水量变化曲线图

(2) 昆仑山降水量变化的基本特征

根据皮山、和田、民丰、于田、玛多、清水河和达日气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-17), 昆仑山的降水量呈减少趋势, 但幅度不大; 与 20 世纪 70 年代后半叶比较, 在 80 年代, 昆仑山的降水量普遍较前期有所增加(图 2-2-13)。

表 2-2-17 昆仑山降水量变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均降水量/mm	海拔/m
皮 山	58. 6	37. 1	45. 3	59. 9	47. 5	51. 4	1375
和 田	36. 5	25. 6	37. 6	40. 3	35. 3	36. 1	1375
民 丰	36. 3	20. 7	42. 4	38. 4	42. 2	37. 0	1409
于 田	49. 7	31. 5	47. 4	56. 3	53. 6	48. 7	1422
玛 多	294. 6	309. 7	320. 9	328. 5	306. 2	312. 8	4272
清水河	485. 8	497. 2	565. 9	470. 7	442. 9	500. 3	4415
达 日	539. 0	512. 3	578. 4	532. 0	514. 3	541. 6	3968

注: 其余单位为 mm。

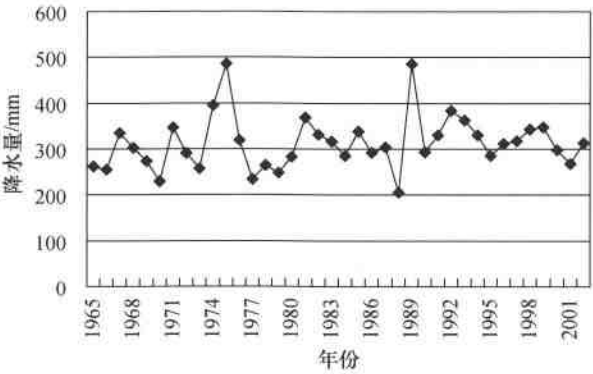


图 2-2-13 玛多站降水量变化曲线图

(3) 阿尔金山降水量变化的基本特征

根据若羌、且末和茫崖气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-18), 从 20 世纪 60 年代中期至 80 年代末期, 阿尔金山的平均降水量呈增加趋势; 从 90 年代初期开始, 降水呈减少趋势(图 2-2-14)。

表 2-2-18 阿尔金山降水量变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均降水量/mm	海拔/m
若羌	21. 4	20. 4	34. 7	29. 4	28. 3	27. 4	888
且末	28. 7	16. 0	28. 8	21. 6	27. 0	25. 2	1247
茫崖	41. 7	57. 8	58. 2	45. 7	34. 7	48. 4	3138

注: 其余单位为 mm。

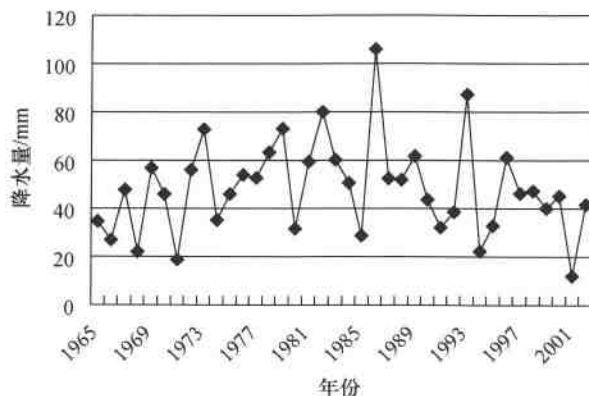


图 2-2-14 茫崖站降水量变化曲线图

(4) 羌塘高原降水量变化的基本特征

根据班戈和申扎气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-19),羌塘高原降水量基本上是一个增加的过程,其中申扎站的降水增加明显,增加量为 105.8mm。根据两站的年均降水量,从 20 世纪 80 年代中期至 90 年代中期,羌塘高原降水有一个明显的减少过程(图 2-2-15)。

表 2-2-19 羌塘高原降水量变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均降水量/mm	海拔/m
班戈	295.5	280.8	341.4	313.8	324.3	313.0	4700
申扎	276.8	280.8	299.4	294.7	382.6	298.6	4670

注:其余单位为 mm。

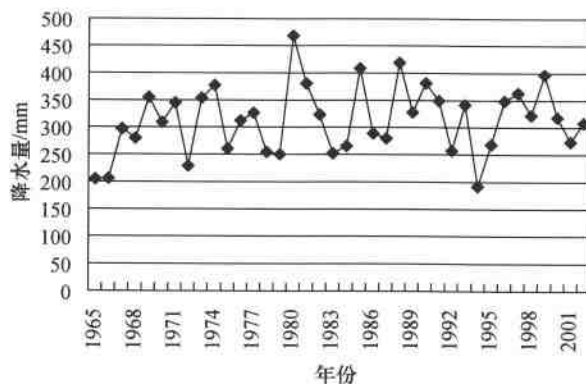


图 3-2-15 班戈站降水量变化曲线图

(5) 念青唐古拉山降水量变化的基本特征

根据安多、那曲、当雄、拉萨、泽当、索县、丁青、囊谦、嘉黎、波密和林芝气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-20),降水量基本是一个增加过程。根据丁青气象站的降

水量变化曲线,从 20 世纪 70 年代中期到 80 年代中期,有一个明显的降水量减少过程(图 2-2-16),其他站也具有类似的特征。

表 2-2-20 念青唐古拉山降水量变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均降水量/mm	海拔/m
安多	411.6	369.4	457.1	437.9	496.8	433.2	4800
那曲	388.0	396.3	450.6	433.5	504.8	428.6	4507
当雄	467.7	440.6	447.4	462.0	590.2	470.3	4200
拉萨	406.6	417.1	375.1	462.2	524.9	425.3	3658
泽当	368.4	427.1	330.5	412.6	473.5	387.7	3552
索县	569.5	512.1	618.0	541.3	619.3	573.3	4023
丁青	613.0	637.6	618.8	643.3	739.6	638.3	3873
囊谦	512.0	503.1	530.1	530.1	539.6	522.8	3644
嘉黎	675.4	683.9	709.2	739.8	772.8	710.9	4489
波密	768.1	882.7	897.6	960.7	851.2	871.6	2736
林芝	636.4	660.3	676.3	741.3	719.4	683.6	3000

注:其余单位为 mm。

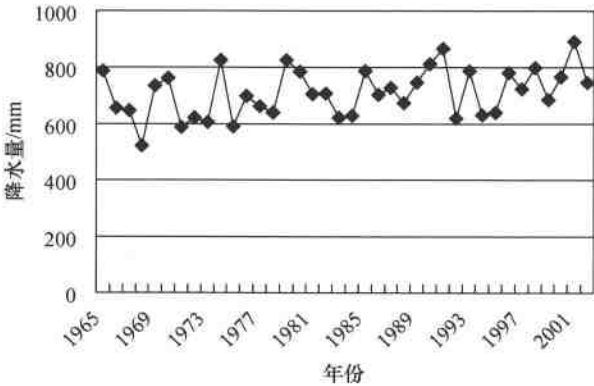


图 2-2-16 丁青站降水量变化曲线图

(6)唐古拉山降水量变化的基本特征

根据五道梁、沱沱河、治多、杂多、曲麻莱和玉树气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-21),从 1965 ~ 1979 年,各站的年均降水量呈减少趋势(图 2-2-17)。从 1980 年开始,唐古拉山的降水量除曲麻莱和玉树略有减少外,都呈增加趋势,到了 20 世纪 90 年代末,这种趋势有所加剧。

虽然唐古拉山的降水量有所增加,但其增加量抵消不了升温对冰川的影响,因此,依然呈现冰川面积减少和雪线上升的变化趋势。

表 2-2-21 唐古拉山降水量变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年平均值/mm	海拔/m
五道梁	266.9	249.9	271.3	286.9	325.7	276.8	4612
沱沱河	291.4	256.7	284.2	240.7	353.7	279.5	4533
治 多	416.5	340.1	424.3			403.6	4179
杂 多	506.1	509.4	576.3	513.8	513.3	527.6	4066
曲麻莱	394.4	390.3	444.0	372.0	377.6	399.8	4232
玉 树	471.5	475.1	508.7	470.6	456.4	478.0	3682

注:其余单位为 mm。

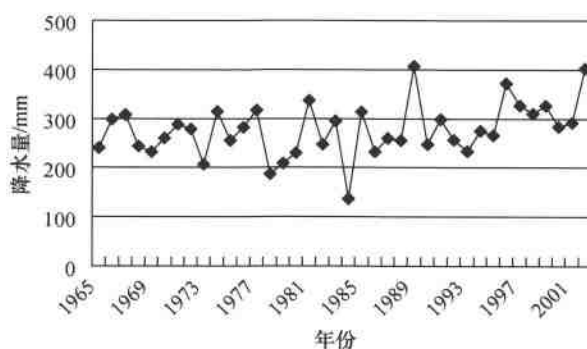


图 2-2-17 五道梁站降水量变化曲线图

(7) 祁连山降水量变化的基本特征

根据小灶火、大柴旦、德令哈、刚察、门源和乌鞘岭气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-22),降水量基本是一个增加过程。根据刚察气象站的降水量变化曲线,20 世纪 80 年代起为明显的增加过程(图 2-2-18),其他站也具有类似的特征。

表 2-2-22 祁连山降水量变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均降水量/mm	海拔/m
小灶火	27.9	25.5	29.6	29.1	16.3	27.1	2767
大柴旦	95.0	76.6	88.3	80.4	86.0	86.4	3173
德令哈	138.3	188.1	192.8	175.9	200	174.6	2982
刚 察	381.4	452.2	408.7	349.0	374.5	403.9	3302
门 源	510.2	512.0	550.9	514.8	472.9	518.3	2850
乌鞘岭	361.7	424.2	417.5	387.9	394	394.2	3045

注:其余单位为 mm。

(8) 横断山降水量变化的基本特征

根据昌都、德格、甘孜、色达、道孚、巴塘、新龙、德钦、香格里拉和维西气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-23),横断山降水量总体呈增加趋势,但近期降水呈减少趋势。根据德钦气象站的温度变化曲线,从 20 世纪 70 年代后半叶到 80 年代初期,有一个明显的降水量减少过程(图 2-2-19)。

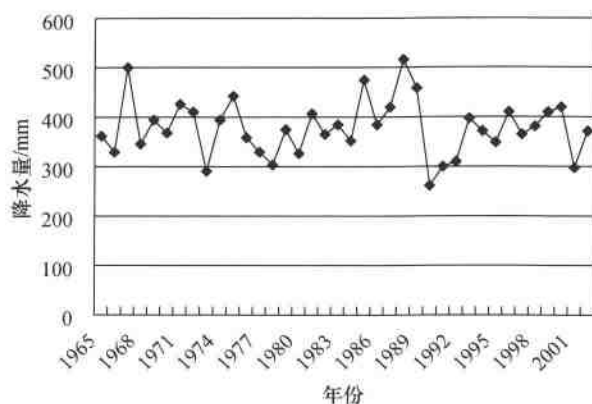


图 2-2-18 刚察站降水量变化曲线图

表 2-2-23 横断山降水量变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均降水量/mm	海拔/m
昌都	464.9	455.5	458.1	513.2	524.6	479.6	3306
德格	593.2	606.7	623.0	646.1	630.9	619.3	3201
甘孜	618.4	677.1	652.8	666.9	659.2	651.0	3394
色达	631.8	657.5	667.4	679.4	627.9	655.4	3894
道孚	574.4	585.4	615.3	634.6	668.3	610.7	2957
巴塘	480.4	389.4	470.8	512.2	532.1	478.8	2589
新龙	589.2	576.7	608.7	641.1	667.9	613.3	3000
德钦	635.6	644.9	572.9	647.9	649.7	635.2	3485
香格里拉	624.0	595.9	618.5	680.9	757.3	646.4	3276
维西	930.6	921.8	962.9	992.8	1050.9	965.3	2326

注:其余单位为 mm。

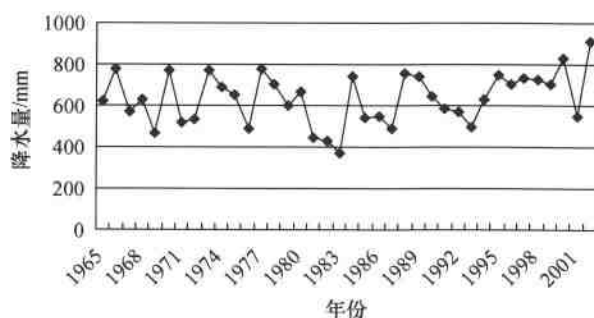


图 2-2-19 德钦站降水量变化曲线图

(9) 喜马拉雅山降水量变化的基本特征

根据普兰、拉孜、日喀则、聂拉木、定日、江孜、错那、隆子和帕里气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-24),喜马拉雅山降水量总体呈增加趋势,近期降水有加速增加的现象。

表 2-2-24 喜马拉雅山降水量变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均降水量/mm	海拔/m
普兰		165.4	175.7	134.5	145.2	156.9	3900
拉孜		316.9	273.4	350.9	417.6	327.5	4000
日喀则	427.9	421.5	394.6	436.3	529.5	443.9	3836
聂拉木	575.3	629.9	818.3	527.8	631.6	626.0	2811
定日	263.6	322.3	250.8	289.5	356.1	283.8	4300
江孜	241.4	345.5	273.0	275.6	342.1	282.1	4040
错那	379.3	376.5	407.6	429.8	389.2	400.5	4280
隆子	273.2	288.5	253.0	296.1	322.9	280.6	3860
帕里	436.7	404.8	443.8	439.9	454.2	437.0	4300

注:其余单位为 mm。

(10) 冈底斯山降水量变化的基本特征

根据狮泉河和改则气象站从 1965 ~ 2002 年间 38 年的年均值(表 2-2-25),冈底斯山在 20 世纪 70 年代中后期降水有一个明显的增加过程;从 80 年代开始至 90 年代底,降水量一直呈减少趋势,到近期降水量有大幅度增加(图 2-2-20)。

表 2-2-25 冈底斯山降水量变化

站 名	1965 ~ 1974 年	1975 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1998 年	1999 ~ 2002 年	年均降水量/mm	海拔/m
狮泉河	74.7	88.4	69.9	57.4	98.7	73.7	4278
改则	156.5	188.8	157.1	159.6	191.8	132.5	4415

注:其余单位为 mm。

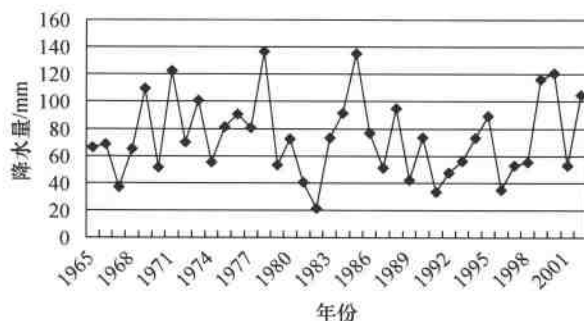


图 2-2-20 狮泉河站降水量变化曲线图

(11) 喀喇昆仑山降水量变化的基本特征

由于喀喇昆仑山地区没有气象站,根据一些野外观测站短期的资料,喀喇昆仑山地区降水量:甜水海(海拔 4900m)年降水量为 23.8mm;空喀山口(海拔 5278m)年降水量为 29.1mm;神仙湾(海拔 5380m)年降水量为 115.5mm;天文点(海拔 5500m)年降水量为 46.7mm。喀喇昆仑山地区的降水量与帕米尔高原基本相似,但考虑到其所处的地理位置和可能存在的局地环流现象,喀喇昆仑山地区的降水量应与唐古拉山地区类似。

降水量是影响冰川雪线升降变化的另一重要因素。降水量一般会随着温度的升高有所

增加,但降水与升温有一个时间滞后关系,升温不一定会马上带来降水增多,因此,目前青藏高原降水量的变化对现代冰川雪线的影响只是起辅助的作用,而不是决定性的作用。

1)降水量的增加与减少和温度变化有明显的对应关系,即温度升高,降水量增加,反之则减少,但降水量随温度的变化有一个滞后时间;

2)降水量增加,冰川补给增多,冰川面积应该增加,雪线呈下降状态。但事实上青藏高原冰川雪线没有呈现这一理论规律,这是因为降水的增加量尚不足以抵消升温带来的对冰川的消融;

3)由于局部降水异常和局地环流的存在,一些冰川会出现面积的增长和雪线的下降,冰川末端出现跃动现象。

(二) 冰川变化分区评价

1. 冰川变化分区评价因子选择与确定

区内冰川分区评价因子选择主要以不同山系冰川面积变化率作为主因子,参考雪线变化表现出的升高、下降、平衡三种变化趋势作为辅助因子,同时结合不同山系冰川雪线变化的地域差异,将青藏高原现代冰川划分为重度退缩、中度退缩、轻度退缩、平衡稳定四种变化类型。其划分标准如下:

现代冰川重度退缩区:冰川面积变化率(减少) $\geq 15\%$,雪线呈退缩趋势。雪线一般升高 100 ~ 300m。

现代冰川中度退缩区:冰川面积变化率 9% ~ 11%,雪线呈上升趋势,雪线一般升高 50 ~ 250m。

现代冰川轻度退缩区:冰川面积变化率 5% ~ 7%,雪线呈上升趋势,雪线一般升高 50 ~ 200m。

现代冰川平衡稳定区:冰川面积变化率 $\leq 4\%$,雪线变化不明显。

2. 分区与评价

按照上述现代冰川变化类型划分标准,将青藏高原现代冰川划分为重度退缩、中度退缩、轻度退缩和平衡稳定四个分区(图 2-2-21)。

(1) 现代冰川重度退缩区(I)

现代冰川重度退缩区包括冈底斯山脉、喜马拉雅山脉、帕米尔高原和横断山。

冰川退缩变化率为 15.07% ~ 16.20%,其中冈底斯山为 16.20%,横断山为 15.74%,帕米尔高原为 15.55%,喜马拉雅山脉为 15.07%,雪线呈上升趋势。

重度退缩区内 20 世纪 60 年代末现代冰川的面积为 14399.88km²,2000 年左右面积为 11957.61km²,减少了 2442.27km²。重度退缩区内不同山系冰川发育的地形、大气环流和气候条件的不同,导致冰川性质、冰川变化依山系不同而不同。

(2) 现代冰川中度退缩区(II)

现代冰川中度退缩区分布在青藏高原的北部,包括阿尔金山、祁连山及喀喇昆仑山三个山系。冰川退缩变化率为 9.40% ~ 10.56%,其中阿尔金山为 10.56%,祁连山为 10.53%,喀喇昆仑山为 9.40%。雪线呈上升趋势。

中度退缩区内冰川退缩的主要表现形式为冰川面积的减少,20 世纪 60 年代末现代冰川面积为 9204.35km²,2000 年左右面积为 8308.81km²,减少了 895.54km²。

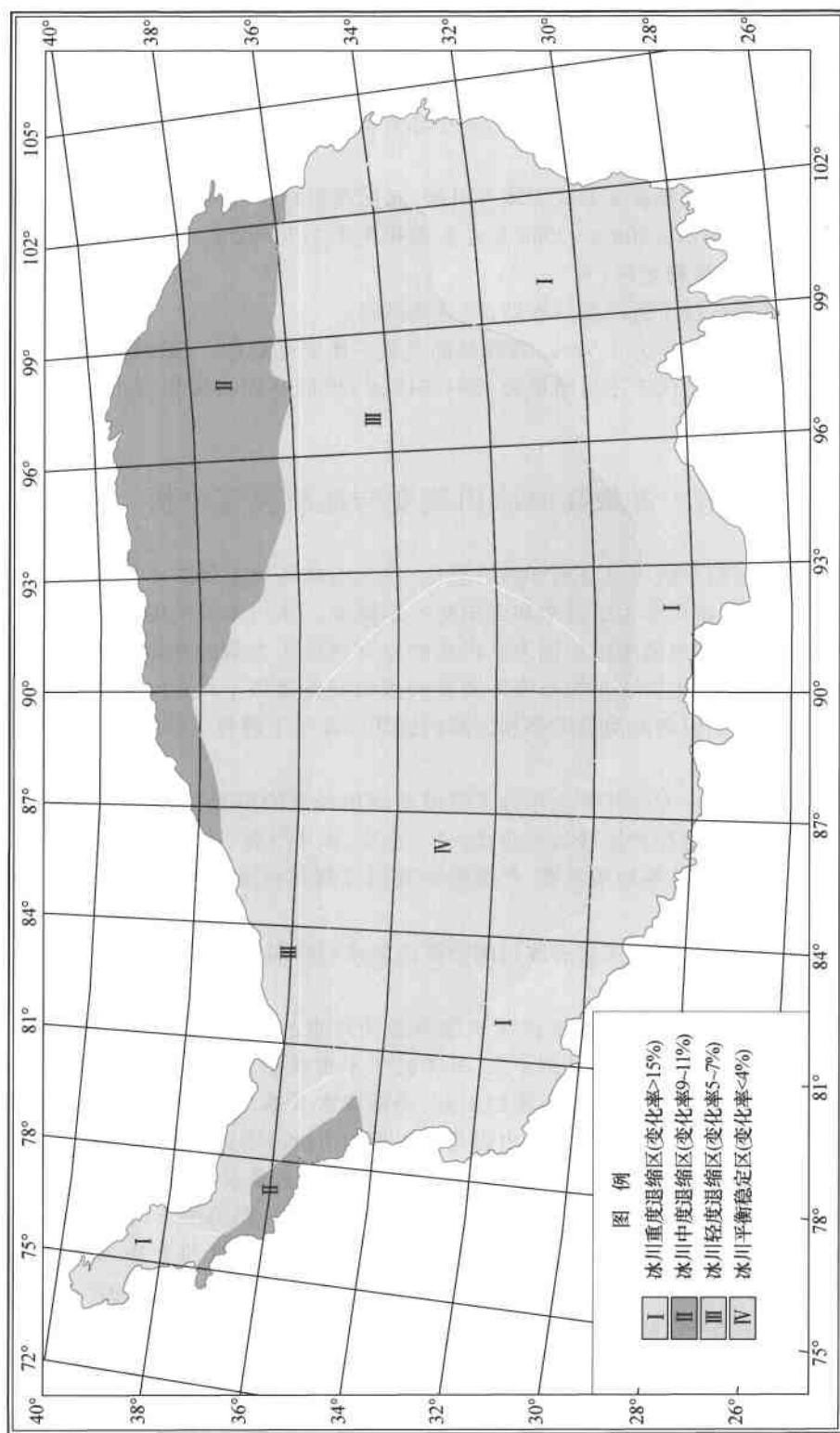


图 2-2-21 青藏高原冰川变化程度分区图

(3) 现代冰川轻度退缩区(Ⅲ)

现代冰川轻度退缩区分布在青藏高原的北部和东部,包括念青唐古拉山、唐古拉山和昆仑山三个山系。

冰川退缩变化率为 5.68%~6.88%,其中念青唐古拉山为 6.88%,唐古拉山为 6.58%,昆仑山为 5.68%。雪线呈上升趋势。

区内冰川退缩的主要表现形式为冰舌退缩、冰川面积减少和厚度变薄,20 世纪 60 年代末现代冰川面积为 23798.40km²,2000 年左右面积为 22317.89km²,减少了 1480.51m²。

(4) 现代冰川平衡稳定区(Ⅳ)

现代冰川平衡区位于青藏高原腹地,即羌塘高原。

该区冰川退缩变化率为 3.95%;雪线呈前进或平衡变化趋势,一般前进 50~250m。

该区 20 世纪 60 年代末冰川面积为 3381.31km²,2000 年左右面积为 4514.83km²,增加了 133.52km²。

五、青藏高原冰川演变与地质灾害分析

随着全球气候的变暖以及自然环境的恶化,作为地球陆地上固体水库的冰川也在急剧地演变,主要表现为冰川冰舌的退缩和面积的不断减少。冰川末端的退缩为冰川湖的发育提供了广阔的空间,冰川消融的加剧为冰川湖的发育提供了大量的水资源。冰川消融在提供大量水资源的同时,也为冰川泥石流等地质灾害的发生提供了外在动力。冰川活动的加剧诱发了由冰川跃动引起的河道阻塞和公路的毁坏以及对下游村庄的毁灭性破坏等自然灾害。

我国冰川、积雪,一方面其融水作为水资源是河川径流的重要补给来源,是我国西部干旱地区绿洲农业赖以生存和发展的生命线;另一方面,由于气候、冰川的变化,引发的冰川湖泊溃决洪水、冰川泥石流等地质灾害,严重影响我国青藏高原地区的生产、居民生命财产及沿线交通的安全。

由冰川作用引起的地质灾害有冰川湖泊溃决洪水和冰川泥石流两种类型。

1. 冰川湖泊溃决洪水

喀喇昆仑山是我国冰川湖泊溃决洪水危害最为严重的地区。该地区冰川变化总体不大,冰川末端退缩量和雪线上升量都不大,基本处于平衡状态,部分冰川末端甚至处于前进状态。另外,随着全球和青藏高原温度的上升,局部降水及冰川活动性将增加,导致冰川的跃动,从而阻塞河道。因此,喀喇昆仑山仍是冰川湖泊溃决洪水灾害的易发区。

喜马拉雅山中段,尤其是从佩枯岗日的希夏邦马峰至卓奥友峰一带,到目前为止,冰川末端的冰碛湖泊面积有不同程度的增加,有的甚至成倍增加,湖泊的不稳定性增加,湖泊溃决的可能性随水位的增加在不断增大。随着全球和青藏高原温度的上升,该地区冰川的退缩在加剧,上游补给来水在增加,湖面不断扩展,因此,这些湖泊具有潜在的溃决危险。

在青藏高原东南部(藏东南和滇西北),冰川演化特征和喜马拉雅山中段基本相似,但由于冰川末端的冰碛湖泊的发育程度不如喜马拉雅山中段,因此,其湖泊溃决的危险性不如喜马拉雅山中段,但冰碛湖泊溃决的危险性依然存在。该地区仍然是冰碛湖泊溃决的危险区,冰碛湖泊溃决洪水也是该地区的地质灾害之一。

青藏高原冰川湖主要分布于喜马拉雅山、冈底斯山和念青唐古拉山等地。但随着冰川退缩的加剧,在祁连山、羌塘高原、帕米尔高原、昆仑山、横断山、唐古拉山也发育了少量规模较小的冰川湖。按冰川湖的成因类型可分以下几种:

(1) 冰碛阻塞湖

我国山地冰川在 1850 ~ 1905 年间普遍出现前进,接近小冰期最大位置并形成规模不等的终碛。随着 20 世纪上半叶全球气候的变暖,青藏高原大部分山地冰川强烈退缩、冰舌变薄,于是在后退的冰川末端与小冰期终碛垄之间形成湖盆,由于冰碛坝(或埋藏死冰)阻塞,冰川融水被拦蓄成湖(曾群柱等,2000)。随着冰川继续退缩,冰碛阻塞湖不断扩大。这类湖泊主要分布于喜马拉雅山中段和冈底斯山部分地区。

根据国外学者对尼泊尔和不丹境内的 44 个冰川湖的调查研究,如果不对这些湖泊采取紧急措施,在未来 5 ~ 10 年内,这些湖泊将会决堤,决堤的洪水会给下游上千千米外的居民带来巨大的灾难。喜马拉雅山中段与尼泊尔和不丹的地理位置、气候、冰川类型相似,也处于冰碛阻塞湖引发突发性洪水灾害的潜在危险区。

喜马拉雅山中段的冰湖主要属于冰川终碛阻塞湖,约占这一带各类高山湖总数的 1/2 和总蓄水量的 2/3,刘潮海等(1990)确定了 34 个危险终碛阻塞湖。在过去近 30 年时间里,这些湖的面积都在不同程度地增加,水位在不断升高。近 50 年来,喜马拉雅山中段的冰碛阻塞湖至少发生过 20 次较大的溃决事件,其中 3/4 发生在我国西藏境内。冰湖溃决洪水常常诱发泥石流,并且波及下游数百千米的河谷,冲毁、淹没包括日喀则、江孜、亚东等较大的城镇在内的近百个居民点以及大量的农田及交通、水利设施,损失严重。其中 1981 年夏季聂拉木县波曲河麻章藏布沟源头的次仁玛错(冰碛阻塞湖)溃决,摧毁了近 50km 范围内的中国-尼泊尔国际公路及桥梁等设施,还波及下游尼泊尔境内的水电站,估计损失在 300 万美元左右。1982 年夏,定结县的金错(冰碛阻塞湖)溃决,造成 8 个村落和大片农田被淹,冲走了仅 1600 头牲畜(曾群柱等,2000)。喜马拉雅山中段南坡的尼泊尔和不丹境内这类灾害也频繁发生,给当地带来很大的经济损失。

念青唐古拉山的道格冰川(5O281B714),面积 78.2km^2 ,在其末端曾经发育了一冰川湖,名字为洞官拉错,面积达 4.47km^2 ,但从 ETM 图像上显示来看,该湖已经溃决,在原来湖泊的位置清晰可见河流的影像,按水深 30m 计算,水量约 1.34亿 m^3 ,其给下游带来的损失可想而知。目前,在原湖泊的上游位置又发育了一面积为 1.1km^2 的冰碛阻塞湖。

由于冰碛阻塞湖一般分布于高山地区,人迹罕至,调查困难。人们对冰碛阻塞湖有很大想象的成分,与实际情况相差甚远。卓奥友峰加不拉冰碛阻塞湖和兰巴拉冰碛阻塞湖在近 20 年湖泊面积增加明显,根据作者对这两个湖 3 年的观测,湖泊水位基本保持不变,湖面的扩展不是由水位抬升引起的。

加不拉冰碛阻塞湖从 2006 年 9 月至 2008 年 9 月,水位没有明显变化,但在每年的夏季水位可上升 0.30m,到了冬季水位又回落到正常,甚至更低。2007 年 9 月至 2007 年 10 月,1 个月时间里水位回落了 0.25m,低于正常水位 0.20m。兰巴拉冰碛阻塞湖 2008 年 9 月与 2007 年 9 月相比,水位降低了 0.25m。2008 年是这一地区降水量大、升温幅度大的年份,这两个湖泊水位还保持稳定甚至降低,这是由于终碛垄良好的透水性,使得上游来水量和下游出水量处于平衡状态造成的。构成这两个湖泊坝体的冰川终碛垄高度在 10m 以上,按目前的最大水位上升量计算,湖水要淹没坝体造成湖泊溃决的可能性几乎不存在。

根据实地观察,冰碛阻塞湖上游淤积的为泥和细沙,极易被流水带走,坡度角在 1° 左右,因此冰碛阻塞湖上游始终处于平坦的地势。当冰川退缩给湖面扩展留下空间后,湖水会迅速扩张。所以,绝大部分冰碛阻塞湖湖面呈水平扩展的方式,这就是为什么湖泊的扩张很快而水位没有多大变化的原因。

冰碛阻塞湖面积和上游冰川面积成正比关系,上游冰川面积越大,形成的冰碛阻塞湖面积也越大。面积小的小冰川,由于冰川作用力小,形成的湖泊面积小,往往只形成一条单一的终碛垄,这类湖泊具有溃决的高风险性。面积小于 0.5km^2 的冰碛阻塞湖,一旦上游冰川发生冰崩或两侧侧碛垄发生土崩,形成的涌浪有可能冲毁单一的坝体,湖泊溃决,从而引发突发性洪灾。面积大于 1km^2 的冰碛阻塞湖,虽然水储量巨大,一旦溃决,给下游造成的损失巨大,但这类湖泊溃决的可能性极小,原因为:

1)湖泊水位基本处于动态平衡状态,湖水要淹没坝体造成湖泊溃决的可能性几乎不存在;

2)湖泊面积增大是由于湖面水平扩张造成的,水位基本没有上涨,因此,对坝体的静水压力基本不变,要通过静水压力增加冲毁坝体的可能性不大;

3)由于上游冰川规模大,往往形成长达 0.5km 至数千米、大量的冰川终碛垄,即使冲毁某一个终碛垄,依然还有多个冰川终碛垄可以作为挡水坝体;

4)由于湖面大,即使上游冰川发生冰崩或两侧侧碛垄发生土崩,形成的涌浪到达对岸后的作用力已衰竭,冲毁坝体的可能性不大;

5)这类湖泊多分布于海拔 5000m 以上的高度,降水以固态为主,即使是液态降水,由于汇水盆地很小,不可能形成洪水,因此,突发性洪水淹没和冲毁坝体的可能性不存在。

从目前状况分析,有可能造成这类湖泊溃决的因素只有强地震和火山活动等强地质作用。

(2)冰川阻塞湖

有些山地冰川在经历较长时间宁静或轻度退缩后,突然启动以异常速度前进或产生巨大的水平位移,这种冰川称跃动冰川。跃动冰川迅速前进阻塞河谷形成冰川阻塞湖。这类湖一般已经溃决,只保留古湖的遗迹。由于青藏高原绝大部分冰川处于退缩状态,冰川跃动的可能性在逐渐减小。但是,念青唐古拉山和喀喇昆仑山由于降水丰沛,有不少冰川处于前进或基本稳定状态,如果出现异常降水,冰川跃动的可能性很大,会再次形成冰川阻塞湖,对下游构成威胁。其中喀喇昆仑山是冰川阻塞湖可能形成的重点地区。

新疆南部最大河流叶尔羌河,发源于喀喇昆仑山北坡,水量丰沛,平均年径流量达 63.75亿 m^3 ,是下游地区主要的水资源供给河流。叶尔羌河据有文字记载的洪水泛滥最早是公元1759年3月(清乾隆24年),调查到的最大洪峰流量是 $9140\text{m}^3/\text{s}$ (1880年)。此后有资料记载或有遗迹可考证的洪水共有34次,其中三分之一是叶尔羌河上游冰川阻塞湖溃决所产生的突发性洪水,是叶尔羌河各类洪水中洪峰最高、危害最大的洪水。下游出口处的卡群水文站(海拔 1420m)自1953年建站以来,已经观测到15次突发性洪水,其中1961年9月4日4时至9月5日3时,该站在短短的20分钟内起始流量由 $80.6\text{m}^3/\text{s}$,陡涨到 $6270\text{m}^3/\text{s}$ 的洪峰流量;其后1985年5月16日和1987年8月5日等都发生过不同程度的突发性洪水,造成下游喀什地区重大的经济损失(曾群柱等,2000)。从遥感图像上显示,在克勒青河上游有5条大的冰川,自东向西分别是克亚吉尔冰川(5Y654C116)、特拉木坎力冰川

(5Y654C128)、沙克斯干冰川(5Y654C145)、乌尔多克冰川(5Y654C157)、杂舍罗鲁姆冰川(5Y654C163),这5条冰川都有阻塞叶尔羌河上游克勒青河的自然条件。其中的克亚吉尔冰川,在1979年4月的MSS图像上显示,曾经形成了一面积为 1.030km^2 冰川阻塞湖,在2002年10月的ETM图像上该冰川阻塞湖已经溃堤。据资料,该冰川阻塞湖在1985年前溃堤,并引发了叶尔羌河突发性洪水。该冰川虽然在冰舌的宽度上有一定的减小,但其末端基本保持稳定,甚至有微小的前进迹象。根据最近的遥感影像,它再次阻塞了克勒青河,在原阻塞湖位置形成了一个面积与原来相近的湖泊,对叶尔羌河流域形成威胁。根据影像显示,目前克勒青河已被推至山根,一旦上述冰川由于跃动,将势必阻塞克勒青河,形成大面积的冰川阻塞湖,对下游叶尔羌河流域形成威胁。

2000~2006年,喀喇昆仑山是青藏高原发育前进冰川最多的山系,因此,应该是冰川阻塞湖重点防范的地区。

(3) 冰斗湖和冰蚀槽谷湖

在青藏高原的许多高山冰川作用区,由于第四纪冰川侵蚀作用,当冰川消失后在某些古冰斗及冰蚀槽谷低洼处蓄水形成许多规模小的湖泊。它们为古冰川在基岩上挖掘而成,或在出口处仅有薄层冰碛,故相对稳定,对下游威胁较小(曾群柱等,2000)。冰蚀槽谷内形成的湖规模较大,典型的是然乌湖,该湖两端处于流通状态,当水位高于出水口基岩面时,自然外排,湖泊极其稳定。

2. 冰川泥石流

青藏高原冰川泥石流主要是由冰川区冰川加速退缩和局部降水增多引起的,其主要分布区是川藏公路(藏东南和滇西北)、中尼公路(定日至聂拉木)、中巴公路(喀什至塔什库尔干)。

冰川泥石流是青藏高原现代冰川和积雪地区的一种含有大量土、沙、石块等松散固体物质的特殊洪流。其流体中的固体物质主要为现代冰川和古冰川作用形成的新、老冰碛物,而水源主要由冰川和积雪的强烈消融、冰湖溃决、冰崩和雪崩体急速融化产生的强大水流补给。

由于青藏高原现代冰川类型的不同,冰川泥石流发生的规模、频率与活动特征亦相应地存在差异。

(1) 海洋型冰川区

该区的冰川泥石流集中分布在西藏东南部山区以及西藏与四川、云南交界的横断山脉。其中尤以雅鲁藏布江下游的几条大支流——易贡藏布、帕隆藏布、东久河、尼洋曲、金珠曲和直接流出国境的丹巴曲、察隅河等河谷中的冰川泥石流分布最稠密。其中又以古乡沟、培龙沟、冬茹弄巴等近40条沟谷中的冰川泥石流爆发的规模大、频率高、危害大。如1953年9月古乡冰川泥石流,曾将 1000万 m^3 的泥、沙、石块搬至山外,瞬间形成一面积达 3km^2 的巨型冰川泥石流堆积扇,并堵断帕隆藏布江,使上游壅水,形成长 5km 、宽 $1\sim 2\text{km}$ 、深 20m 的大湖,淹没大片农田,历经50多年,在帕隆藏布江上该湖泊依然清晰可见(图版2-2-44)。古乡冰川泥石流爆发的频率近期有增高的趋势,随着气温的升高,这种趋势可能会加剧。如最近一次的爆发时间是2005年7月30日,在早晨和晚上爆发了两次,冲毁和掩埋了川藏公路的桥梁和公路(图版2-2-45,2-2-46),河水的改道一度使交通中断。易贡冰川泥石流,爆发于2000年4月,由雪崩、降水等因素引发。这次冰川泥石流强度大,造成了重大的经济损失

和环境灾害。这次冰川泥石流物质汇集区面积达 12.65km^2 ,作用长度达 10km ,泥石流直接作用面积达 12.32km^2 。泥石流还阻塞了易贡藏布河,在河道上形成了一面积为 36.56km^2 的湖泊(图版 2-2-47)。湖泊的溃决不仅冲毁了川藏公路和桥梁,对交通产生了极为不利的影响,而且还造成了下游巨大的洪水灾害。

(2) 大陆型冰川区

该类型冰川区的泥石流分布零散,而且数量比海洋型冰川区的要少,爆发周期也较长,规模相应也较小。它们主要分布于喜马拉雅山中、西段的北坡,唐古拉山东段,喀喇昆仑山,昆仑山,祁连山,帕米尔等地。在帕米尔高原东北边缘的中巴公路沿线,冰川泥石流主要集中在分布于盖孜河谷的盖孜与布伦口之间,其中又以布伦口南侧的艾尔库然沟冰川泥石流发生的频率较高,平均每年爆发 $1\sim 3$ 次,经常阻断交通。另外,冰湖的溃决也可引发大规模的泥石流。如西藏定结县吉莱普沟于 1964 年 9 月 21 日下午,由于源头冰碛阻塞湖的溃决形成大型冰川泥石流,流动距离达 30km ,并形成了巨型堆积垅(曾群柱等,2000)。

3. 青藏高原冰川地质灾害的演变趋势

在近百年来全球气温变暖的背景下,近 50 年来青藏高原及其毗邻山区升温比较突出,而降水变化比较复杂,有增有减,总体是增加,但降水的增加不足以抵消升温对冰川的影响,所以,冰川退缩规模和冰川消融强度普遍增加。这导致了以冰雪融水补给的河川径流增加,其中以塔里木盆地南部地区和河西走廊西部地区的河流尤为突出。

对冰碛阻塞湖来说,随着气温持续升高,冰川继续后退和消融增加,青藏高原内原来存在的冰碛阻塞湖规模将会相应不断扩大,但绝大部分冰碛阻塞湖仍然会处于稳定状态,只有小部分具有潜在溃决的风险。

对冰川阻塞湖来说,随着冰川的持续后退以及冰川的变薄,冰川前进的动力减弱。绝大部分山系这类湖泊形成的可能性已经很小。但是,青藏高原仍然存在为数不少的前进冰川,形成冰川阻塞湖的条件依然存在。作为冰川阻塞湖主要形成区的喀喇昆仑山地区,冰川基本保持稳定,甚至有轻微的前进现象。随着全球的升温,降水会逐渐增多,尤其是局部暴雨的灾害性天气会增多,加上喀喇昆仑山地区本身降水比较多,因此,该地区一旦出现异常降水天气,出现冰川跃动的可能性极大,再次阻塞克勒青河的可能性依然存在,对下游的威胁尚不能完全解除。

冰川消减后,使得大面积的基岩出露,为冰川泥石流的发生又提供了大量的物质来源。随着山区温度的升高,冰川活动性加剧,加上局部的灾害性降水气候,青藏高原冰川泥石流爆发的频率、规模和泥石流沟将会急剧提高和增加,另外,冰川泥石流阻塞河川的现象也会更多地发生,尤其是念青唐古拉山地区,由于丰沛的降水,有利的地形,在遥感影像上有多处冰川泥石流阻塞河流形成湖泊,而后又溃决的影像。因此,冰川泥石流将会是青藏高原的主流性地质灾害。

青藏高原除了上述两种地质灾害外,随着冰川消减时期的推移,冰川对水库水的补给量会逐渐减少,冰川消减后期引发的各类生态问题会突现,如水库水位下降,地下水水位下降,从而引发荒漠化、土地沙化和盐碱化等。



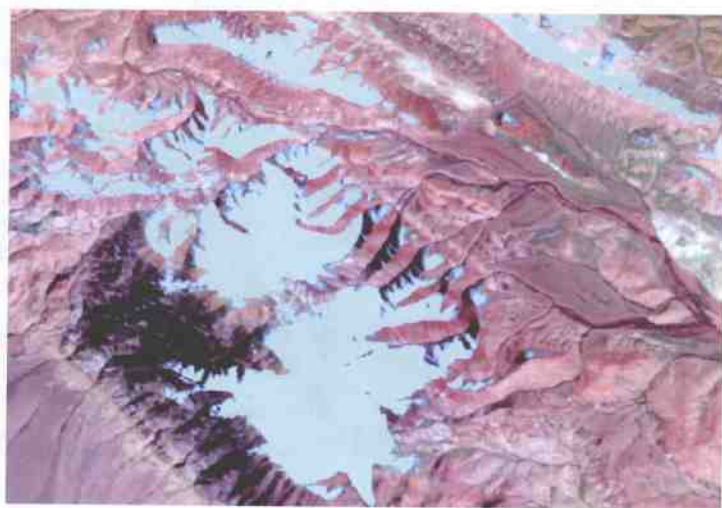
图版 2-1-1 现代冰川在 TM7、4、1 上的影像特征



图版 2-1-2 山谷冰川冰舌的影像特征



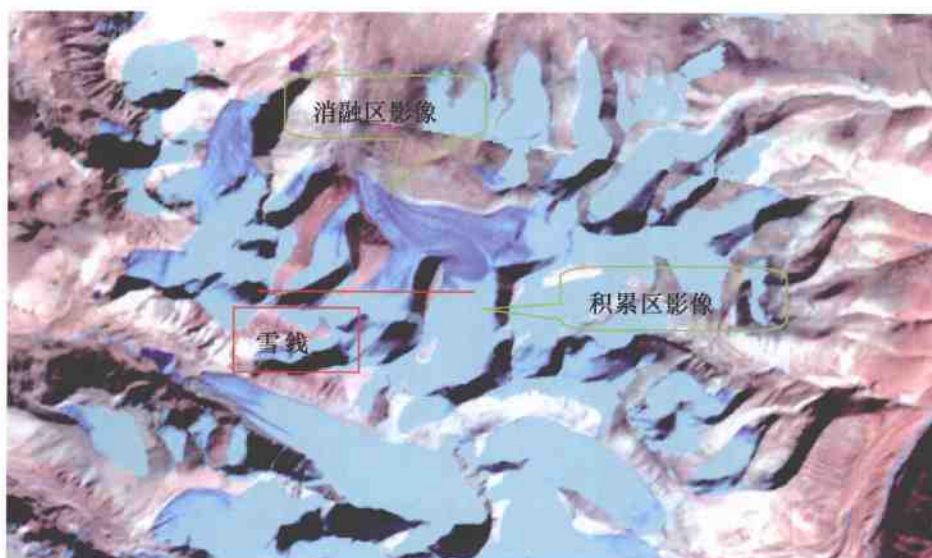
图版 2-1-3 高原冰原影像特征



图版 2-1-4 冰川集群影像特征



图版 2-1-5 冰川的变形特征



图版 2-1-6 现代冰川积累区和消融区的影像特征



1987年遥感影像



2002年遥感影像



图版 2-1-7 两时相光谱特征变异法-光谱特征变异图像



图版 2-1-8 7 波段主成分变换-变化信息图像



图版 2-1-9 4 波段主成分变换-变化信息图像



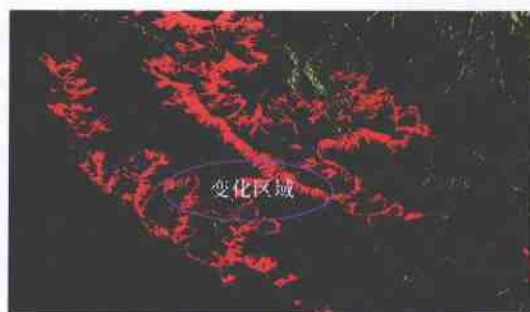
图版 2-1-10 主成分差异法-变化信息图像



变化区域(1987年遥感影像)



变化区域(2002年遥感影像)



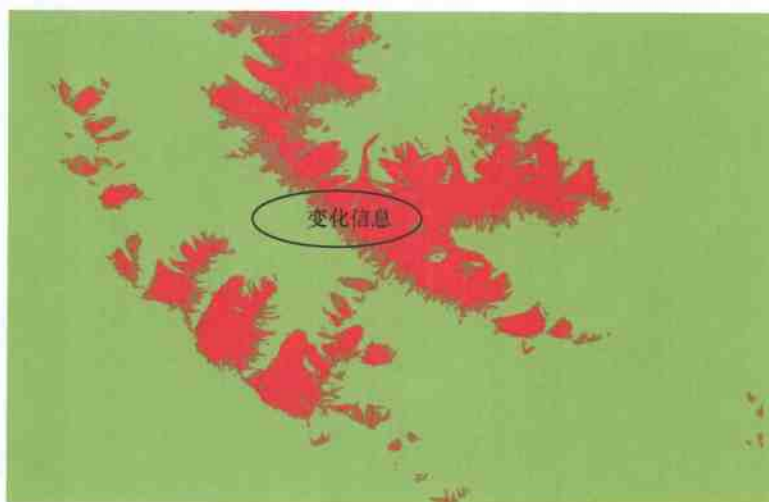
图版 2-1-11 自动检测变化信息



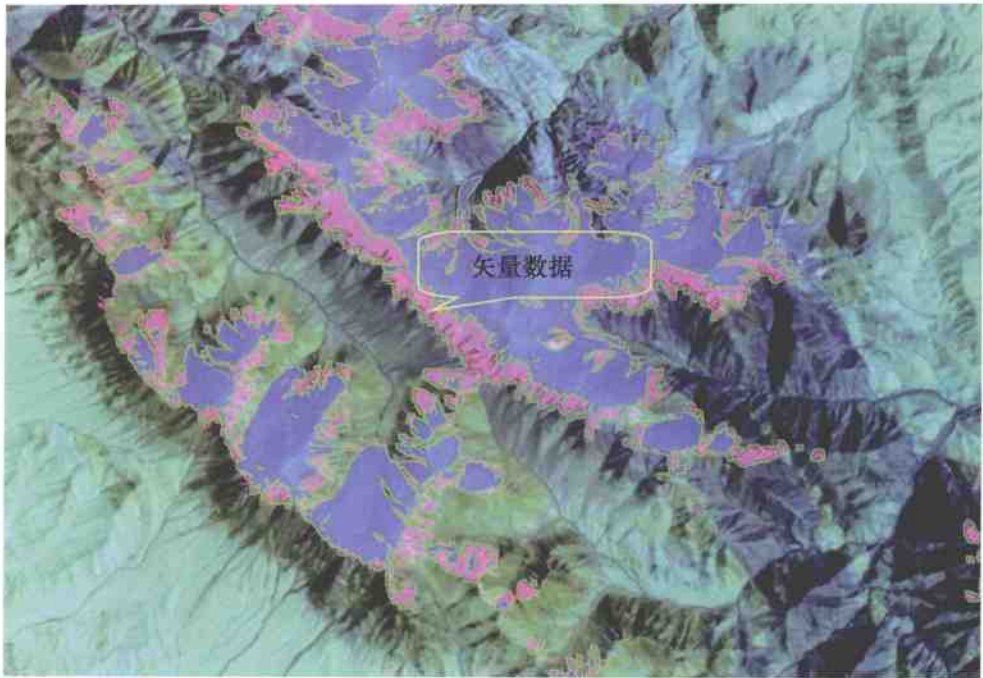
1987年冰川分类成果



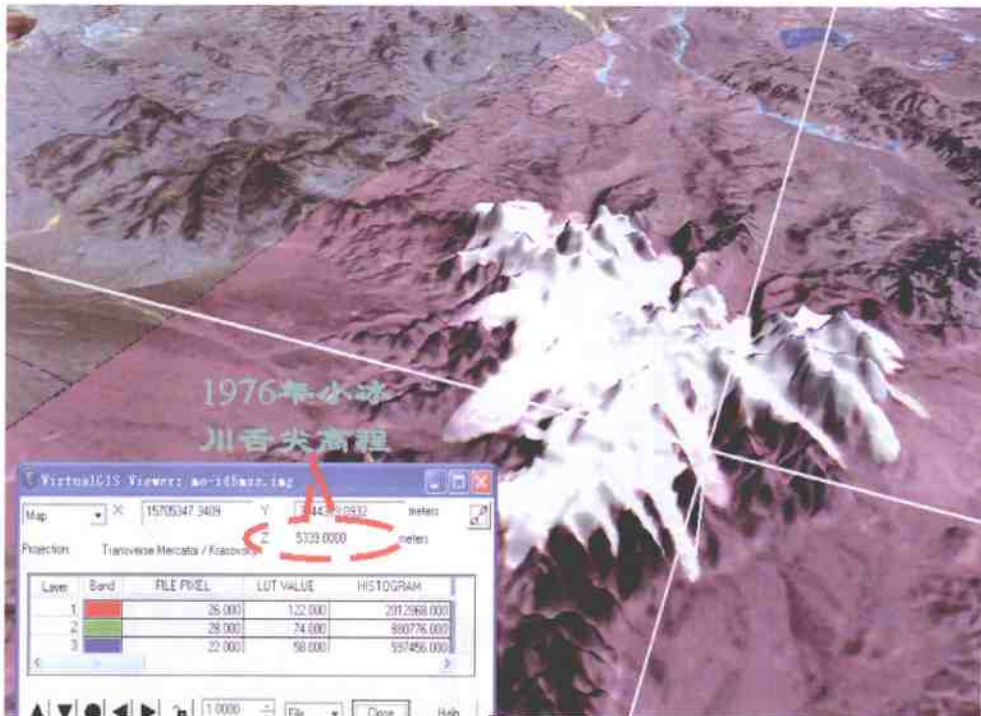
2002年冰川分类成果



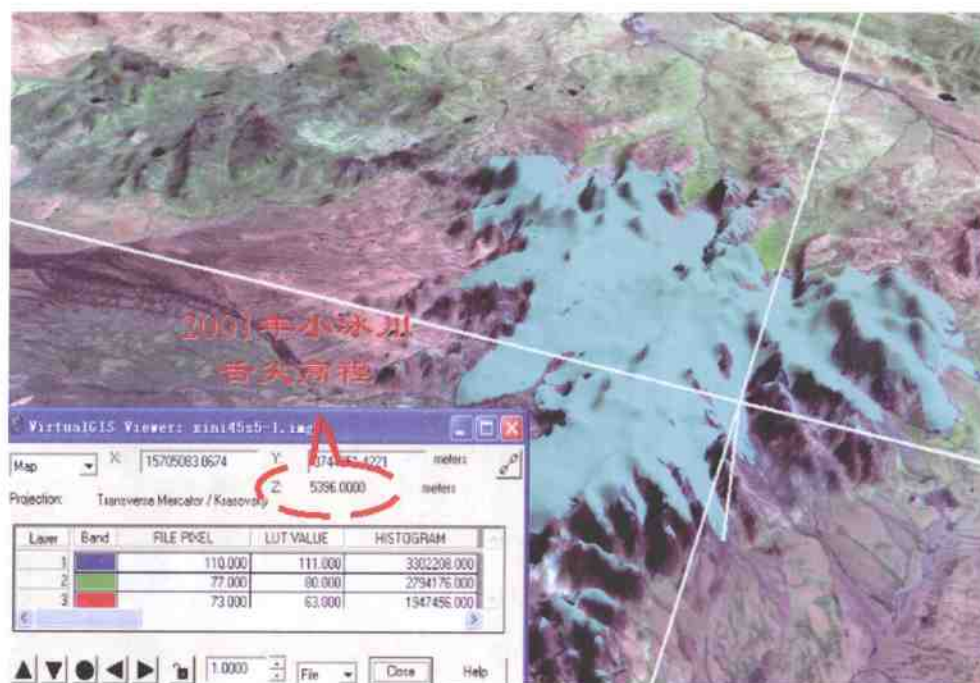
图版 2-1-12 两时相分类成果差值法比较提取变化信息



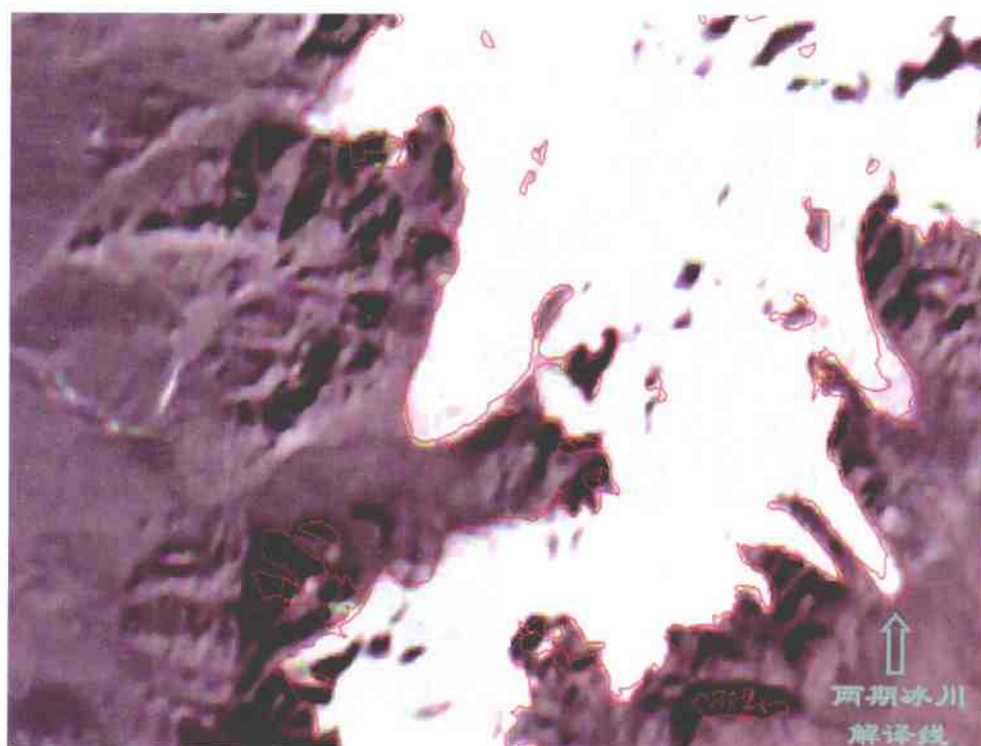
图版 2-1-13 冰川变化信息矢量化图像



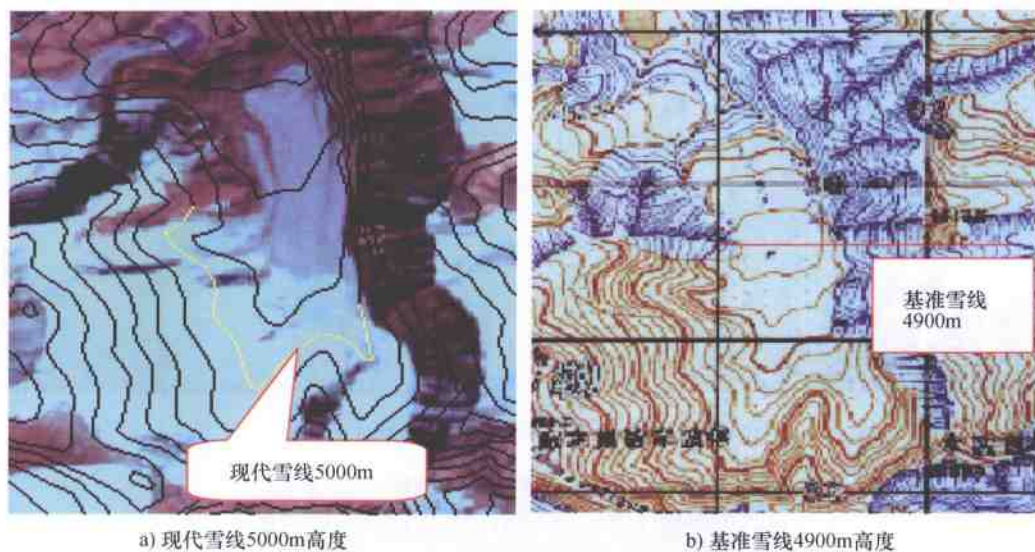
图版 2-1-14 普若岗日冰原 MSS 立体影像



图版 2-1-15 普若岗日冰原 ETM 立体影像



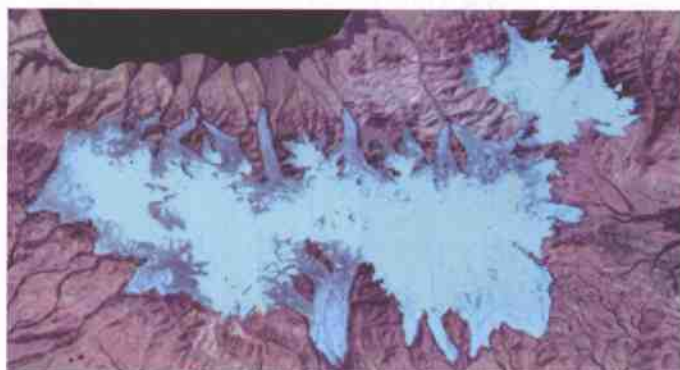
图版 2-1-16 普若岗日冰原解译结果



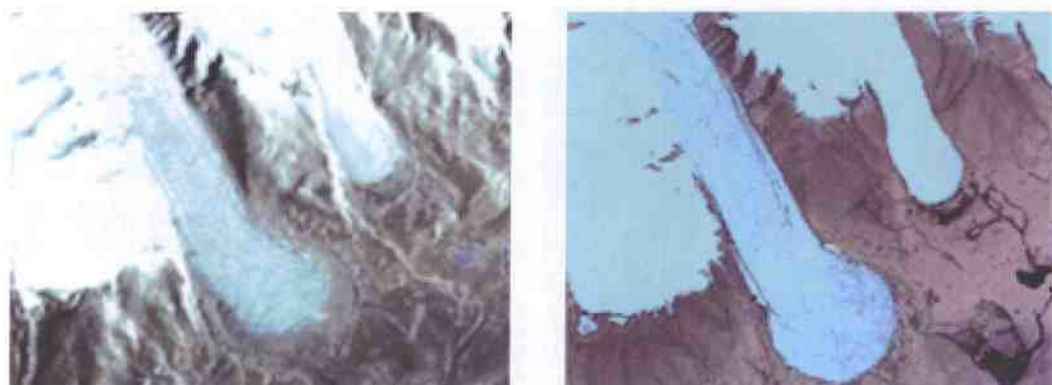
图版 2-2-1 沙里阔勒岭东段冰川两期数据雪线变化对比图



图版 2-2-2 树枝状山谷冰川影像



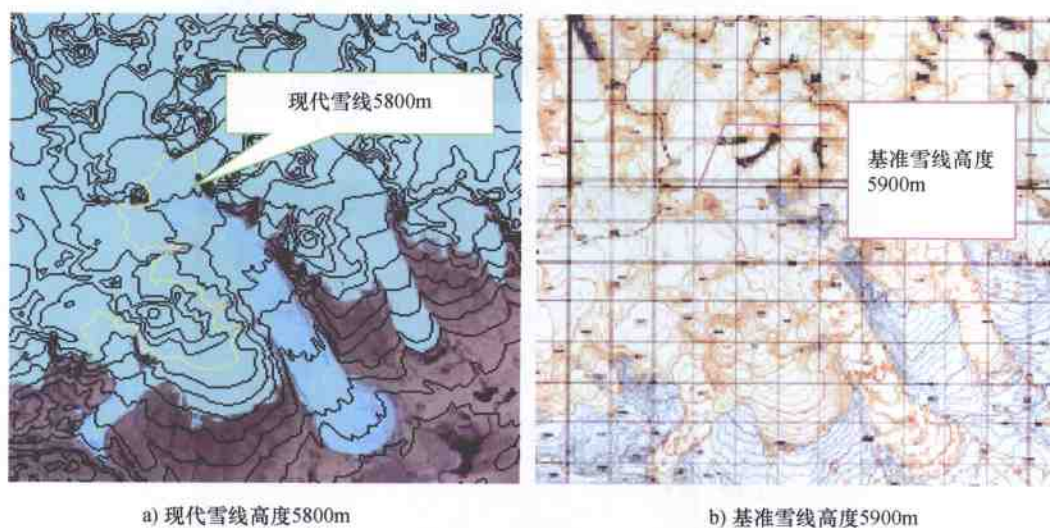
图版 2-2-3 马兰山冰帽影像



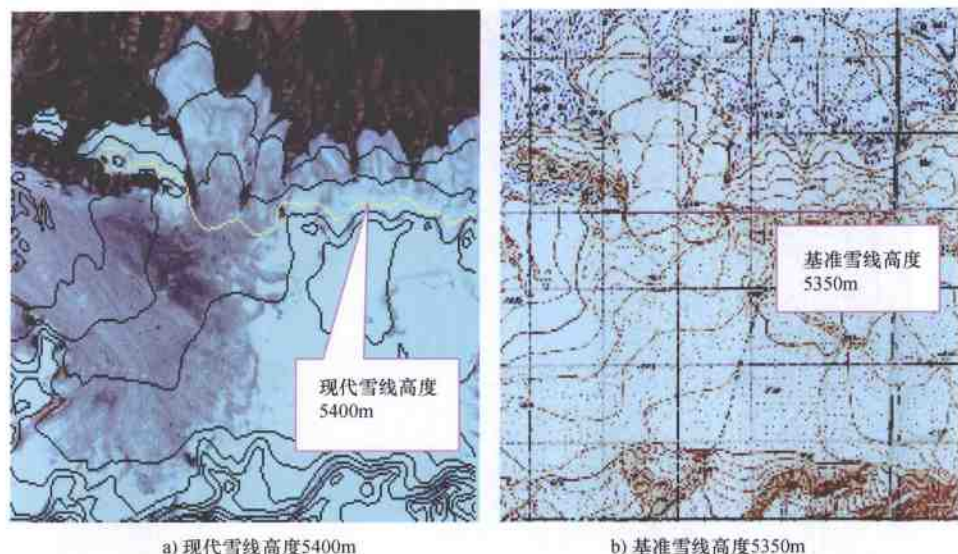
图版 2-2-4 崇测冰川的前进影像对比



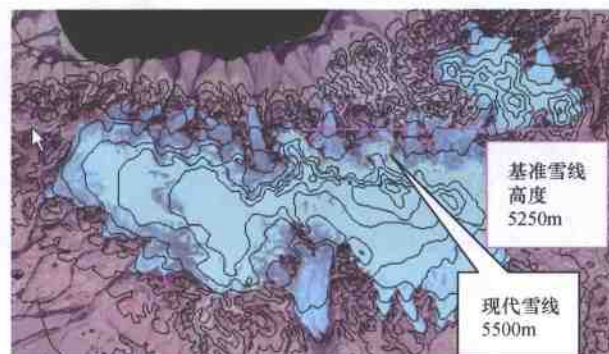
图版 2-2-5 阿尼玛卿山多时相影像



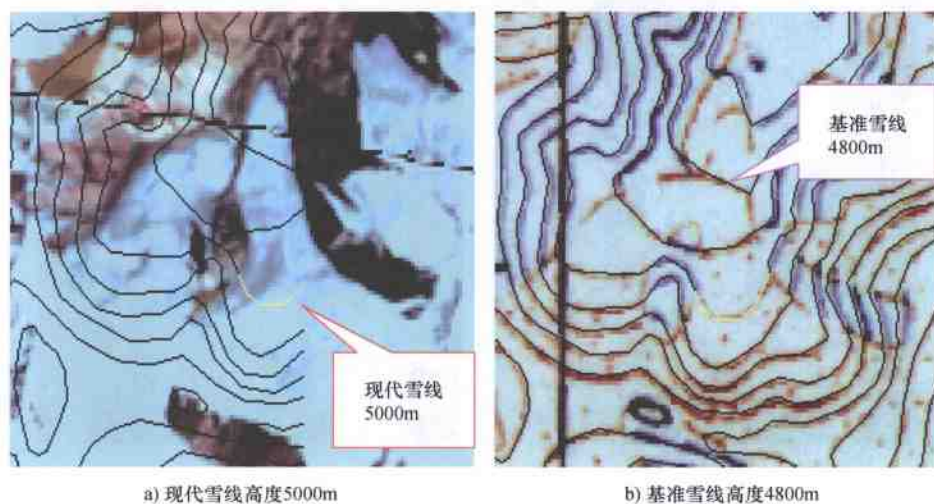
图版 2-2-6 崇测冰川两期数据雪线变化对比图



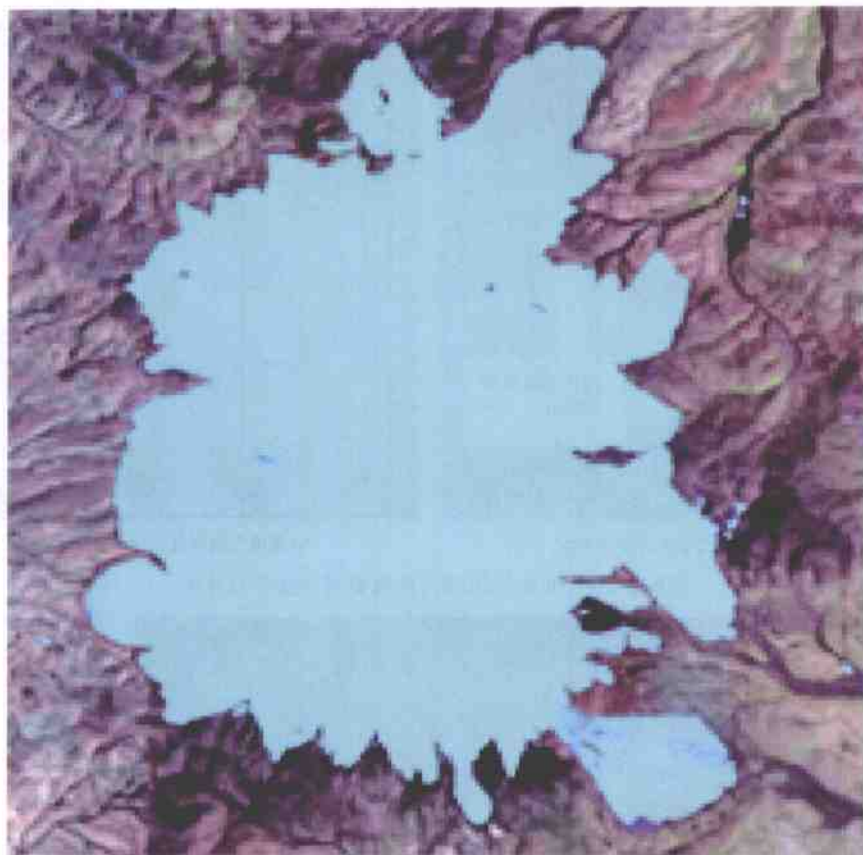
图版 2-2-7 布喀达坂峰两期数据雪线变化对比图



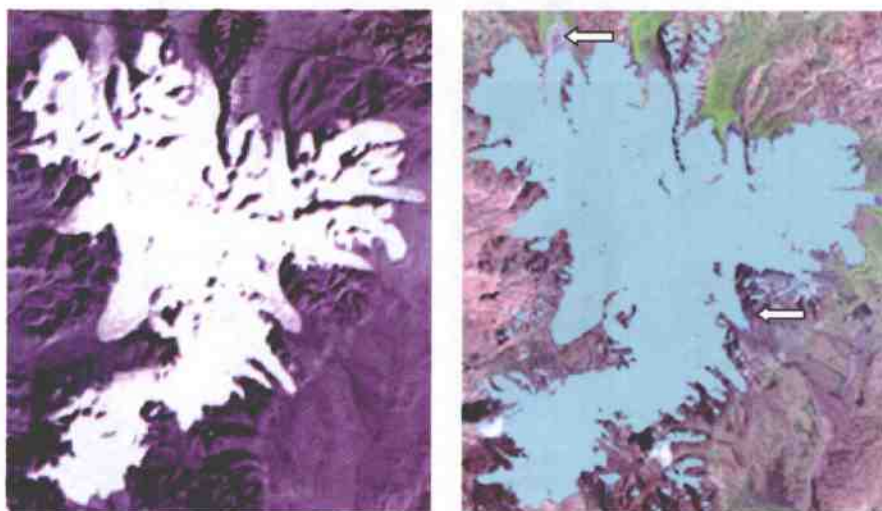
图版 2-2-8 马兰山冰帽雪线变化对比图



图版 2-2-9 玉苏普阿勒克塔格东段两期数据雪线变化对比图



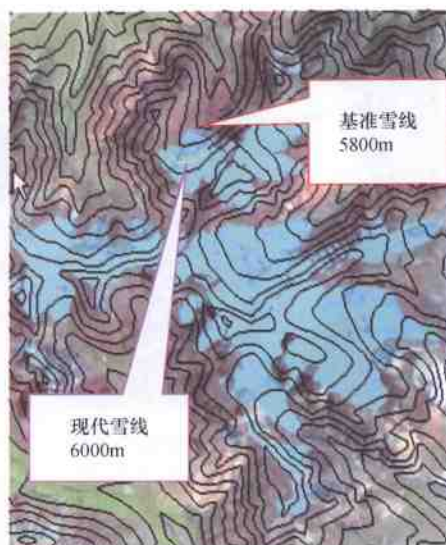
图版 2-2-10 岗扎日平顶冰川影像



图版 2-2-11 普若岗日冰川消减前后的影像对比
(箭头所指处冰川出现了明显的退缩)



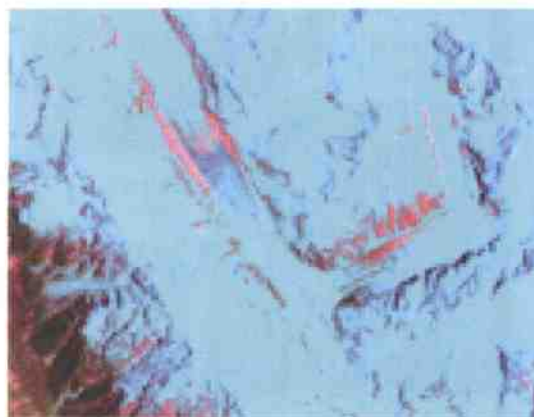
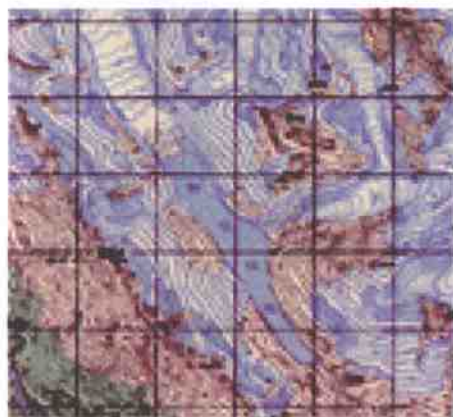
图版 2-2-12 熊彩岗日冰川雪线高度变化图



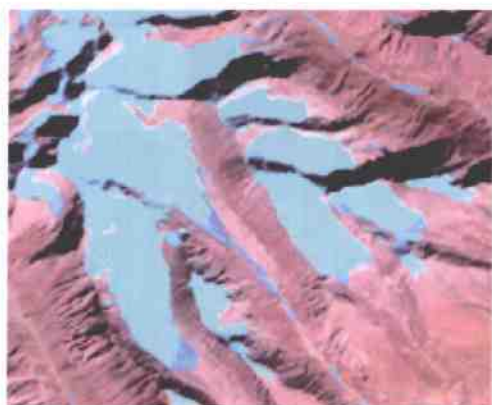
图版 2-2-13 隆格尔山冰川雪线高度变化图



图版 2-2-14 炯拉冰川消减前后影像



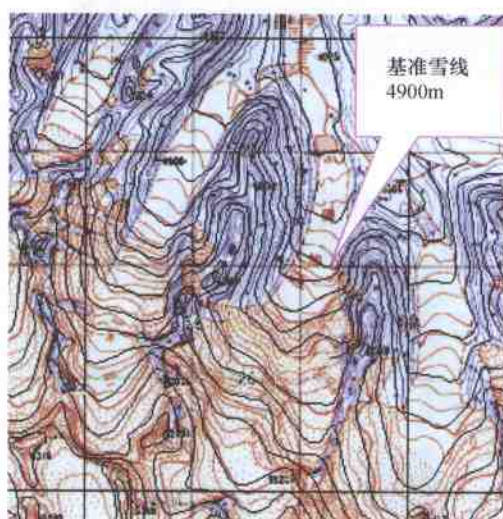
图版 2-2-15 溃决的洞官拉错影像



图版 2-2-16 念青唐古拉山西段冰川消减对比

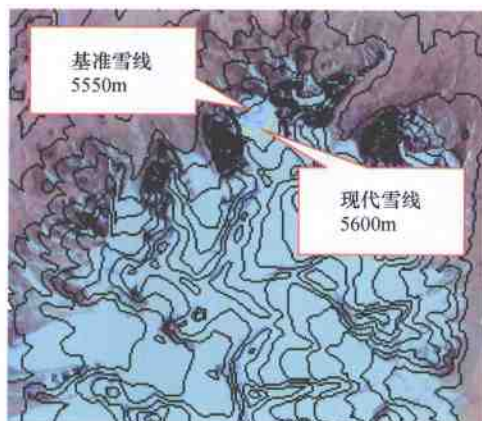


a) 现代雪线高度5300m

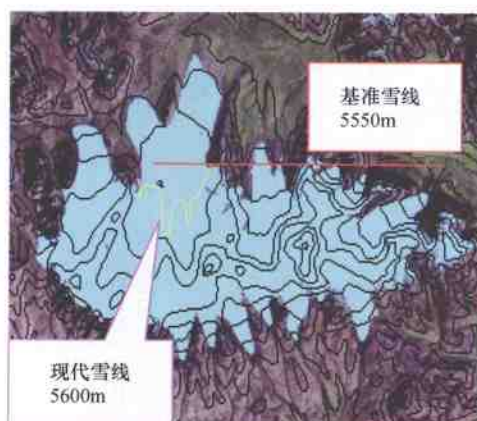


b) 基准雪线高度4900m

图版 2-2-17 强拉日两期数据雪线变化对比图



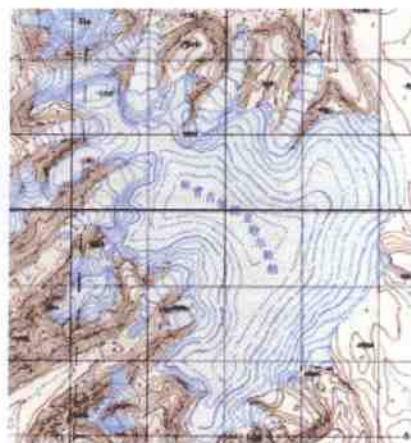
图版 2-2-18 杂恰迪如岗冰川雪线对比图像



图版 2-2-19 岗钦扎仲冰川雪线对比图像

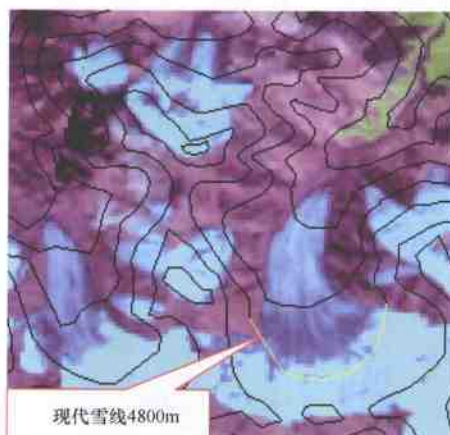


a) 敦德平顶冰川影像

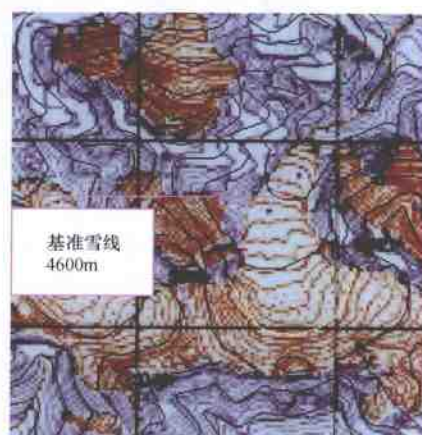


b) 敦德平顶冰川地形图

图版 2-2-20 敦德平顶冰川退缩影像

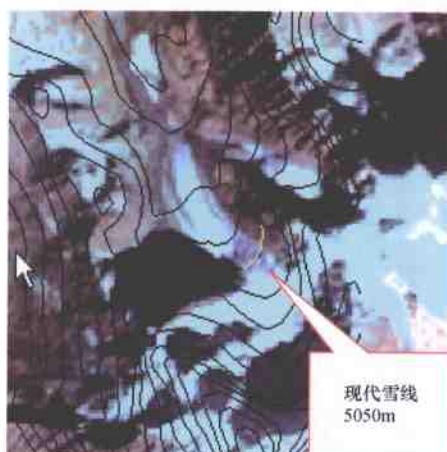


a) 现代雪线高度4800m

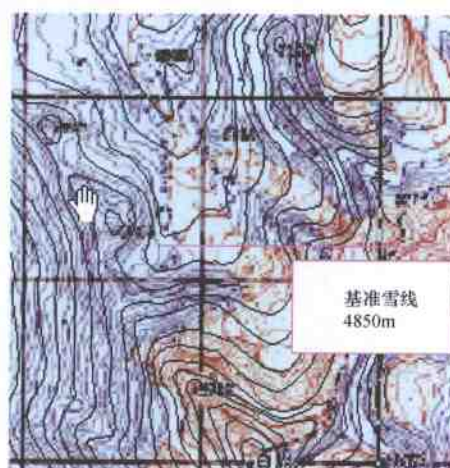


b) 基准雪线高度4720m

图版 2-2-21 岗格尔肖合力峰两期数据雪线变化对比图



a) 现代雪线高度5050m

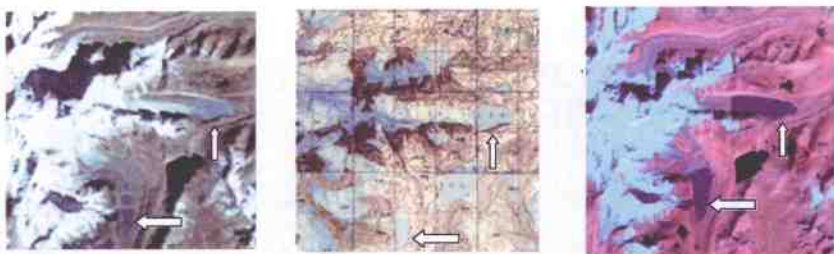


b) 基准雪线高度4850m

图版 2-2-22 贡嘎山两期数据雪线变化对比图



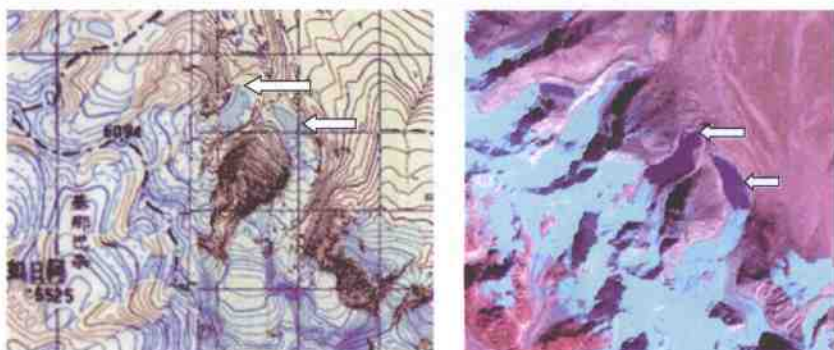
图版 2-2-23 喜马拉雅山地区发育大量表碛的冰川影像特征



图版 2-2-24 希夏邦马峰东南部冰川退缩对比
(上箭头为热强冰川;下箭头为吉葱浦冰川)



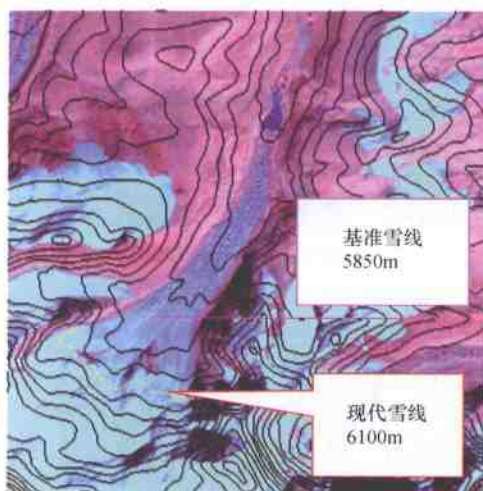
图版 2-2-25 郭骆冰川退缩对比



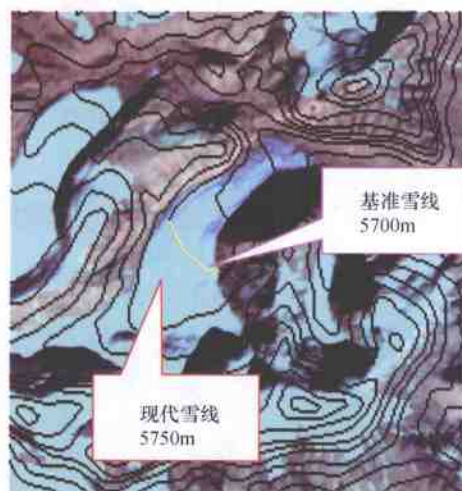
图版 2-2-26 岗彭庆峰北部冰川退缩对比
(下箭头为岗布冰川;上箭头为拉曲冰川)



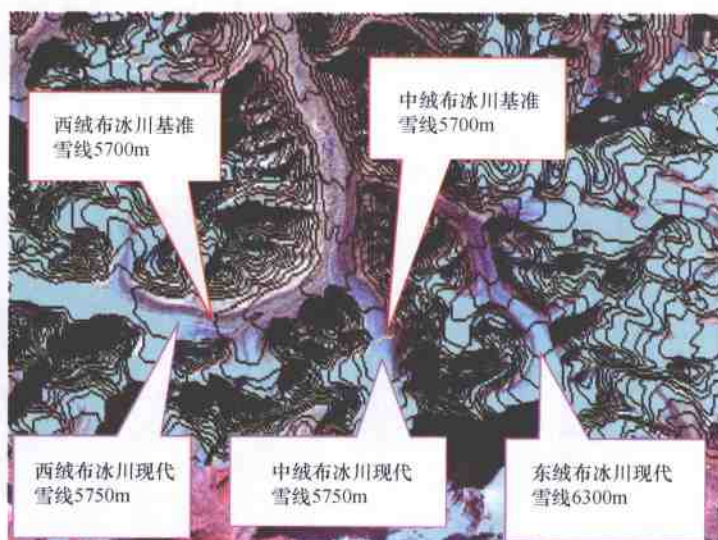
图版 2-2-27 戎布冰川退缩形成的冰碛湖



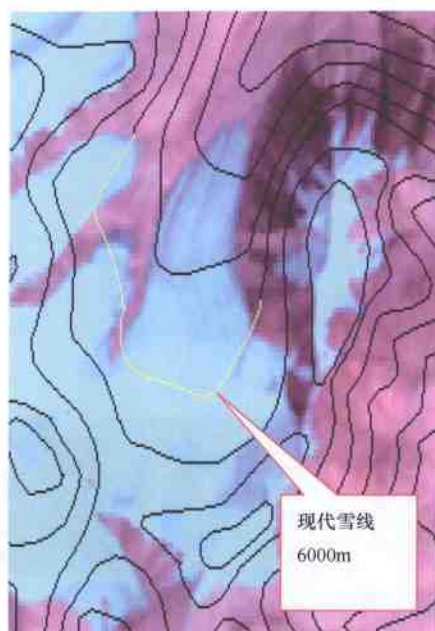
图版 2-2-28 希夏邦马峰一带冰川雪线高度对比图



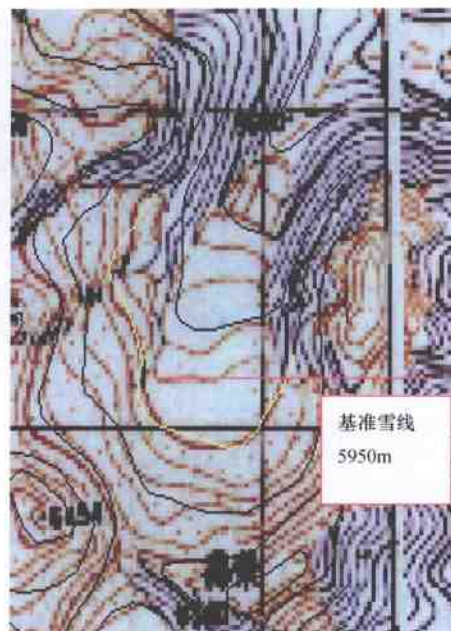
图版 2-2-29 热德纳峰冰川雪线高度对比图



图版 2-2-30 绒布冰川雪线高度对比图

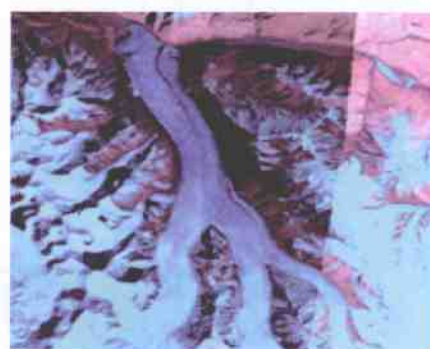
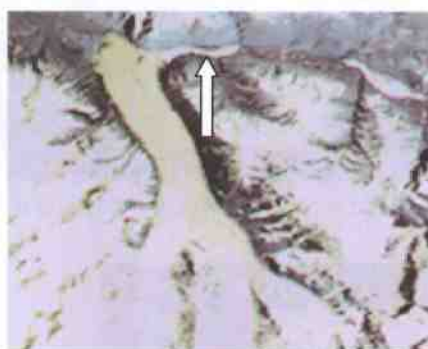


a) 现代雪线高度6000m



b) 基准雪线高度5950m

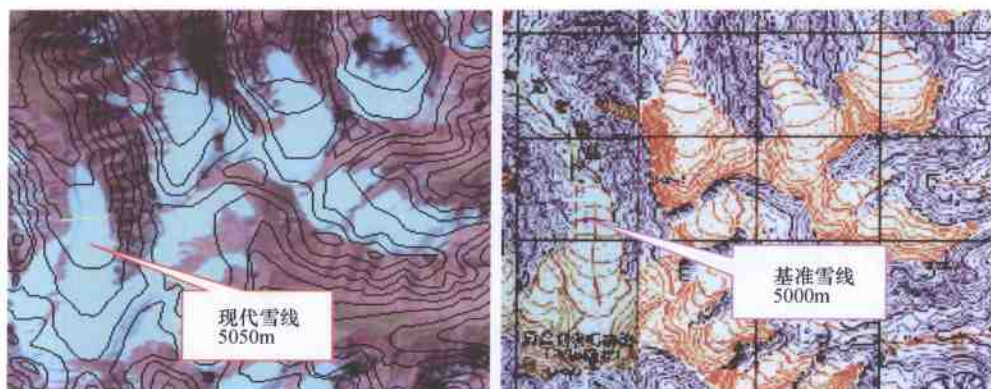
图版 2-2-31 郭董岗日冰川两期数据雪线变化对比图



图版 2-2-32 克亚吉尔冰川影像
(箭头处为冰川堰塞湖)



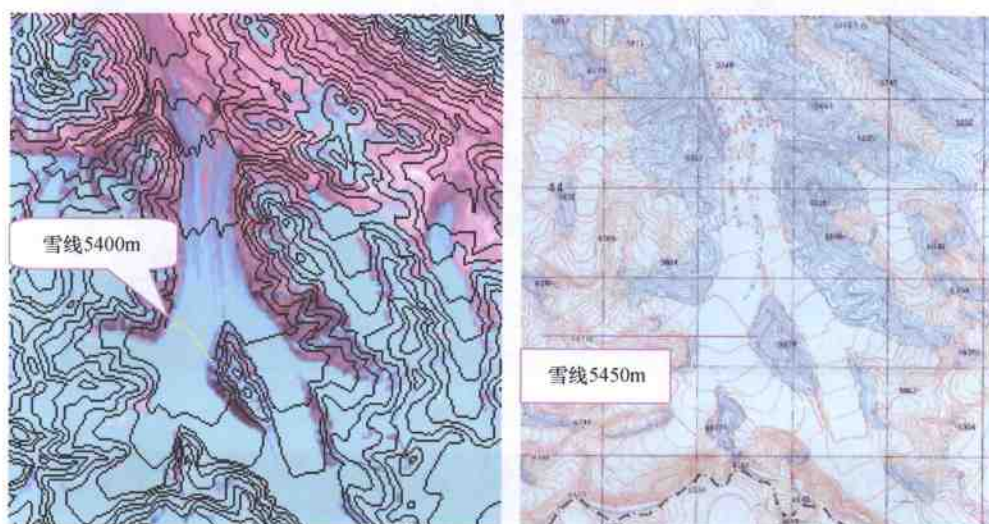
图版 2-2-33 沙克斯干冰川影像



a) 现代雪线5050m

b) 基准雪线5000m

图版 2-2-34 克克拉去考勒峰两期数据雪线变化对比图



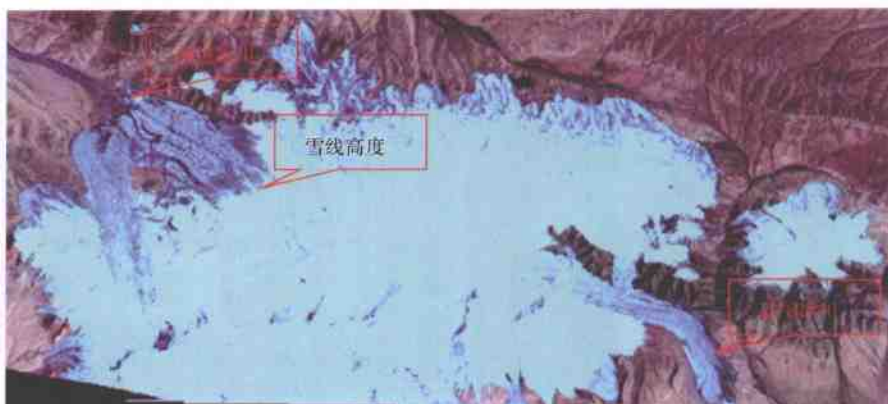
a) 现代雪线5400m

b) 基准雪线5400m

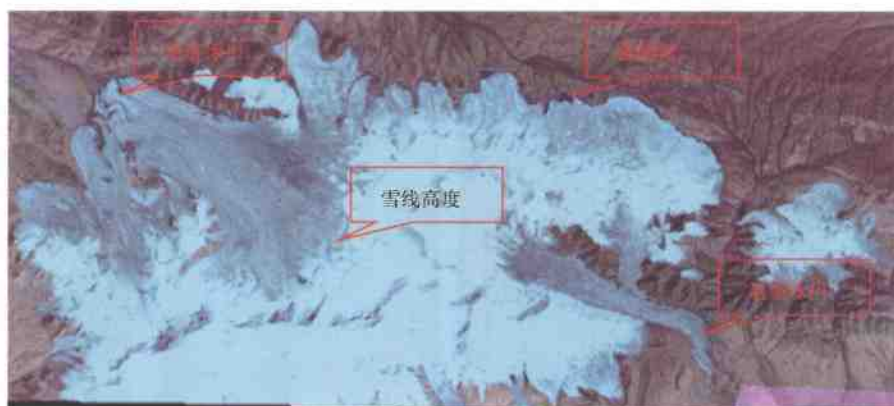
图版 2-2-35 特拉木坎力峰两期数据雪线变化对比图



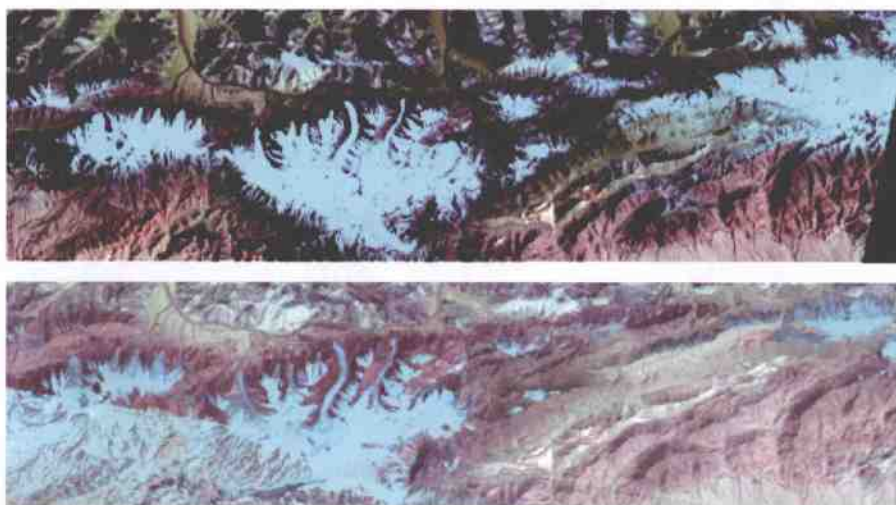
图版 2-2-36 布喀达坂峰冰川 MSS 影像



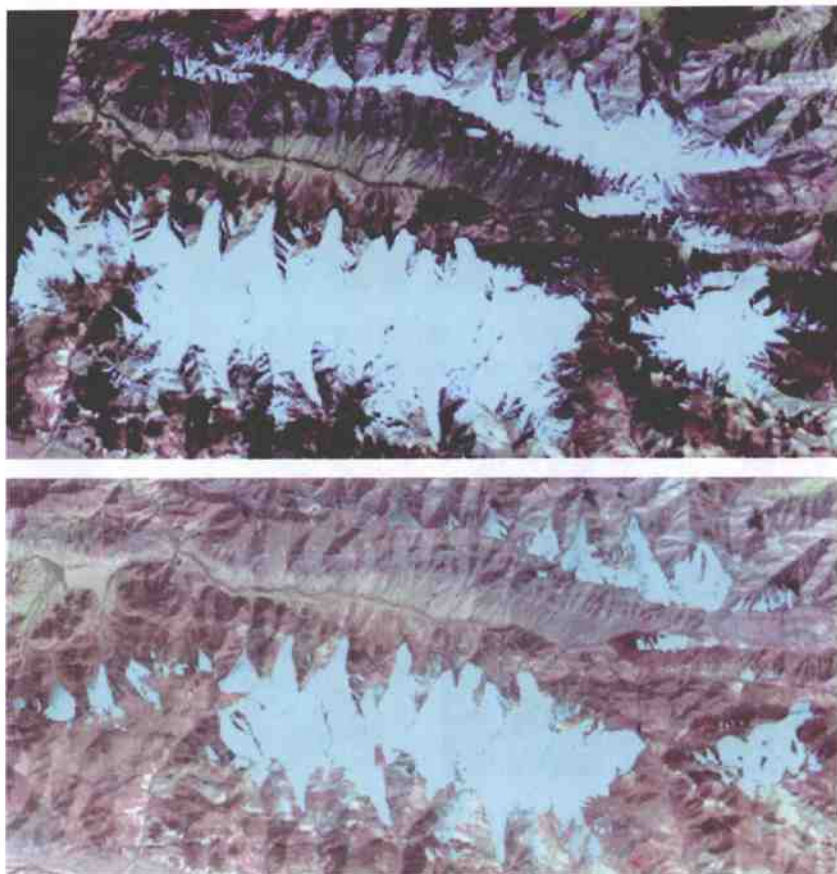
图版 2-2-37 布喀达坂峰冰川 TM 影像



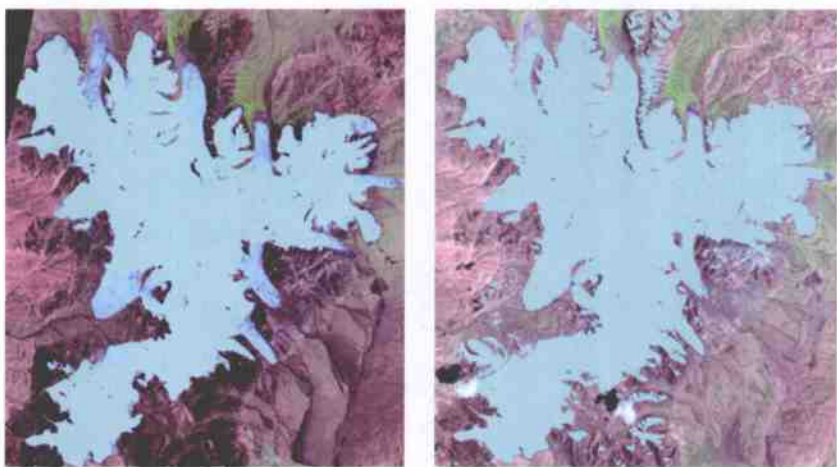
图版 2-2-38 布喀达坂峰冰川 ETM 影像



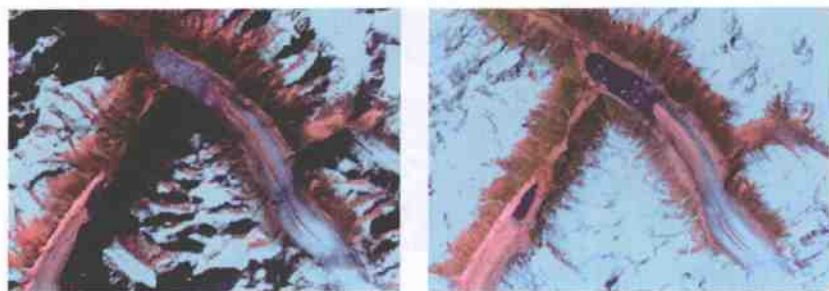
图版 2-2-39 玉苏普阿乐克塔格一带冰川的消减对比影像
(上图为 1986 年图像;下图为 2001 年图像)



图版 2-2-40 阿尔金山一带冰川的消减对比影像
(上图为 1986 年图像;下图为 1999 年图像)



图版 2-2-41 普若岗日冰原的冰舌退缩对比影像
(左图为 1986 年 8 月的 TM 影像;右图为 2002 年 8 月的 ETM 影像)



图版 2-2-42 炯拉冰川演变影像
(左图为 1987 年 TM 影像;右图为 2001 年 ETM 影像)



图版 2-2-43 党河南山一带冰川退缩影像对比
(左图为 1986 年 7 月 TM 图像;右图为 2001 年 6 月 ETM 图像)



图版 2-2-44 古乡泥石流堵塞帕隆藏布形成堰塞湖影像



图版 2-2-45 古乡泥石流毁坏川藏公路桥梁



图版 2-2-46 古乡泥石流掩埋川藏公路



图版 2-2-47 易贡地区冰川泥石流的影像

第三章 现代河流、湖泊、湿地遥感调查与演变研究

素以“中华水塔”之称的青藏高原,不仅是长江和黄河发源地,南亚著名的印度河和恒河支流布拉马普得拉河,东南亚的萨尔温江和湄公河的上游均源于青藏高原。

青藏高原是我国湖泊分布最密集的地区之一。青藏高原上湖泊总面积超过 40000km²,约占全国湖泊总面积的五分之二。全国湖泊面积超过 500km²的有 27 个,其中有 13 个就分布在青藏高原上,区内的青海湖是全国最大的湖泊。青藏高原又是我国湿地密集分布区,三江源湿地、羌塘高原湿地、若尔盖湿地等,这些湿地不仅起到调节高原气候作用,对生态环境和生物多样性起到重要保护作用。

由于青藏高原河湖湿地的重要性,国内外众多科学工作者,就青藏高原河湖、湿地进行大量调查和研究,特别是以中国科学院为首的科考队和相关研究院所,进行了较为详细调查和研究,出版了一系列相关专著和论文。这对青藏高原河湖、湿地研究起了重要作用,也为本次研究奠定了基础。

随着青藏高原隆升和全球气候变化,冰川融化和冻土消退,青藏高原河湖、湿地也发生了较大改变。本次研究以 1975 年陆地卫星 MSS 和 1990 年陆地卫星 TM 图像数据为早期对比信息源,以 2000 年陆地卫星 ETM 遥感图像数据为现状信息源,采用人机交互解译方法,进行河湖湿地信息提取。解译结果表明,青藏高原现代湖泊总面积 43447.24km²,主要分布在羌塘高原、三江源、黄河源等地区,形成密集的湖泊群。近 30 年来湖泊面积明显增加,以羌塘高原及其北部昆仑山湖泊面积和数量增加最为明显。高原内部湖泊新生和扩张,而高原周边湖泊消亡和萎缩。除了湖泊水体外,区内湿地总面积约 127927.30km²,主要分布在青海湖上游北部祁连山前、柴达木盆地格尔木市北部、长江源北部地区、四川省的若尔盖地区和西藏自治区羌塘高原南部和东部边缘。1990~2000 年的 10 年间,湿地总面积的减少 6937.18km²,以柴达木盆地内湿地减少最为明显,其次为那曲—安多之间段。青藏高原湖泊和湿地发生较为显著的变化,无论是湖泊湿地、沼泽湿地和其他湿地,总面积在减少。表现为高原周边明显减少而高原内部略有增减,但增加面积远远小于减少面积。

第一节 概 述

一、遥感调查内容与分类

本次青藏高原河流湖泊、湿地调查和研究,主要调查内容属于国际《湿地公约》所定义的湿地大类范围。

(一) 湿地定义

湿地的定义有多种,目前国际上公认的《湿地公约》把湿地定义为:“湿地是指天然或人工的、永久性或暂时性的沼泽地、泥炭地和水域,蓄有静止或流动、淡水或咸水水体,包括低潮时水深浅于6m的海水区。”按照这个定义,湿地包括沼泽、泥炭地、湿草甸、湖泊、河流、滞蓄洪区、河口三角洲、滩涂、水库、池塘、水稻田以及低潮时水深浅于6m的海域地带等。

湿地包括多种类型,珊瑚礁、滩涂、红树林、湖泊、河流、河口、沼泽、水库、池塘、水稻田等都属于湿地。它们共同的特点是其表面常年或经常覆盖着水或充满了水,是处于陆地生态系统(如森林和草地)与水生生态系统(如深水湖和海洋)之间的过渡带。换言之,湿地是陆生生态系统和水生生态系统之间的过渡带,湿地结合了陆地生态系统的属性,但又不同于二者。

(二) 湿地分类

根据中国的实际情况以及《湿地公约》分类系统,《全国湿地资源调查与监测技术规程》将全国湿地划分为近海及海岸湿地、河流湿地、湖泊湿地、沼泽和沼泽化草甸湿地、库塘5大类,进一步分为28种亚类。

根据青藏高原湿地发育特点和本次研究的目的,参照前人湿地分类,将区内湿地分为:河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地和人工湿地四大类(表3-1-1)。

表 3-1-1 青藏高原湿地分类表

湿地类型	湿地亚类	湿地类型代码
I 河流湿地	永久性河流	I 1
	季节性或间歇性河流	I 2
	泛洪平原湿地	I 3
II 湖泊湿地	永久性淡水湖	II 1
	季节性淡水湖	II 2
	永久性咸水湖	II 3
	季节性咸水湖	II 4
III 沼泽湿地	藓类沼泽	III 1
	草本沼泽	III 2
	沼泽化草甸	III 3
	灌丛沼泽	III 4
	森林沼泽	III 5
	内陆盐沼	III 6
	地热湿地	III 7
	淡水泉和绿洲	III 8
IV 人工湿地	库塘	IV 1

按照湿地公约,湖泊是湿地类型中的一种重要类型,由于其在青藏高原生态环境中的特殊作用,故作单独详细调查研究。

参照前人分类方案和研究成果,结合青藏高原湖泊发育实际情况,将区内湖泊进一步分为6类。

1. 构造湖

湖泊的成因不同程度地受到新、老地质构造的影响和控制,由于湖泊所处发育阶段的不同以及构造运动性质的差异,湖泊形态、方向的特征也就不同。青藏高原上大多数湖泊都受到高原隆升影响和控制,属于构造湖,其中包括构造运动所产生的构造断陷湖、构造拗陷湖和构造沉陷湖。

2. 冰川湖

冰川湖是由冰川挖蚀形成的洼坑和冰碛物堵塞冰川槽谷积水而成。据中科院青藏高原综合科学考察队的调查,冰川湖主要分布在高山冰川作用过的地区,其中以念青唐古拉山、喜马拉雅山区和高原东南较为普遍。它们分布地的海拔一般较高,湖体较小,多数是有出口的小湖,与高原上的构造湖形成明显对照。

3. 河成湖

这类湖泊的形成往往与河流的发育变迁有密切的关系。一种是出于河流挟沙在泛滥平原上堆积不均,造成天然堤间洼地积水而形成的湖泊;另一种是支流水系因泥沙淤塞,不能排入干流壅水形成的湖泊;还有一种是洪水泛滥时,主流侵入两岸高地间的低洼地,形成河湾,在湾口处沉积大量泥沙,洪水退后形成堰堤湖。

由于青藏高原上与河流临近的湖泊多数发育在与山脉隆升有关的构造断陷和拗陷带中,大部分河成湖已归入构造湖中。

4. 堰塞湖

由地震活动等原因引起山崩滑坡体堵塞河床而形成的湖泊。前人将火山熔岩流活动堵塞河谷形成的湖也归入堰塞湖。本次研究将后类湖泊归入火山湖。在90多年前本无藏东南波密县的易贡错,约在1900年由于地震影响,暴发特大泥石流堵塞河道而形成此湖。

5. 火山湖

火山湖系由岩浆喷发形成火山锥体,火山休眠后其火山口积水而成。包括火山口湖以及由火山熔岩流堰塞原先河道而形成的火山堰塞湖。

6. 人工湖

人类为了灌溉、生活用水和发电等,在平原或山区的河道内筑坝建闸,积水成湖或水库,统称为人工湖。如区内著名的刘家峡水库。

(三) 动态变化分类

除了调查研究区内湿地特征和分布现状外,更重要的是研究区内湿地的动态变化。受高原隆升影响,区内湖泊、沼泽发生了明显的变化,不仅原有湿地面积增加和减少,还表现为新增湖泊和湖泊消亡。动态变化分类方案应反映这一特点(表3-1-2)。

表 3-1-2 青藏高原湖泊-湿地动态变化分类表

类型变化	新生	变化代码	面积增加	变化代码	未变化	变化代码	面积减小	变化代码	消失	变化代码
湖泊	新生湖泊	ZH1	扩张湖泊	ZH2	稳定湖泊	ZH3	萎缩湖泊	ZH4	消失湖泊	ZH5
沼泽	新生沼泽	ZB1	发展中沼泽	ZB2	稳定沼泽	ZB3	萎缩沼泽	ZB4	消失沼泽	ZB5

二、遥感图像解译标志

根据以往工作经验和青藏高原实际情况,通过遥感图像初步研究,建立湿地相关的解译标志。

1. 湖泊

在 ETM/TM 遥感图像上,典型湖泊水体为深蓝色、暗黑色、蓝黑色,蓝色调,表面光滑而平整,与周围陆地边界清晰;当湖泊水体较浅或是湖水因盐度、所含有机物和杂质的不同,湖水呈现蓝、浅蓝等(图版 3-1-1,图版 3-1-2)。在夏季的 MSS 图像上,纯净水体为蓝黑色、深蓝色、黑色、灰黑色;而冬季图像上,水体呈青色、蛋青色、深蓝灰色,蓝灰色调,冬季结冰,水体(冰体)表面较粗糙且呈碎玻璃状,部分较浅的水体,完全转化为白色冰体。

2. 湖泊湿地

在 ETM/TM 遥感图像(图版 3-1-3)上,分布在大型和中型规模湖泊周围或一侧,有时与湖泊内水体、陆地界限不清晰,往往伴生有较多喜水和水生植被,大多呈绿色、草绿色、墨绿色等,随植被生长情况和水深差异而不同。水浸状、半透明状,与周围边界有时不清晰。

3. 河流湿地

在 ETM/TM 遥感图像(图版 3-1-4)上,往往发育有河床、河漫滩等。河床内大部分被河水充满,遥感图像上表现为水体特征,为深蓝色,蓝黑色,蓝色调,与水深浅有关。河流两侧漫滩、河床内漫滩、江心岛等不规则,大多呈水浸状、半透明状,与周围边界有时不清晰。

4. 湿地(泥炭沼泽)

在 ETM/TM 遥感图像(图版 3-1-5)上,湿地为墨绿色、深绿色、黑绿色,与水深浅有关,蓝色调、蓝灰色调。表面形态不规则,大多呈水浸状、半透明状,与周围边界大都不清晰,为渐变过渡,部分为锯齿状、水波状。退化了的或已经干枯的湿地,呈现粉红色、红色。在夏季的 MSS 图像(图版 3-1-6)上,为黑色、灰黑色,红、褐红色调,边界不规则,呈水浸状、半透明状和树枝状分布在山谷底部。在冬季的 MSS 图像上,褐、深褐色,与周围土壤相比颜色略深而与基岩山地相比,颜色略浅。边界不明显,表面毛绒状,反映植被干枯的痕迹。总体解译较困难。

5. 湿地(草甸沼泽)

在 ETM/TM 遥感图像(图版 3-1-7,图版 3-1-8)上,分布在山体沟谷或平原低洼处,与较丰富的水如小河流、冰川、泉水等补给有关。有时见有小湖泊,有时见不到明显的水体,草甸植被较发育而呈草绿色、深绿色等。往往因水过饱和而较周围颜色深,水浸状、斑杂状。不同季节其在遥感图像上的特征有差异。

第二节 现代河流、湖泊、湿地分布现状与演变

一、河流、湖泊、湿地发育条件

青藏高原的宏观地貌格局是边缘高山环绕、峡谷深切,内部由辽阔的高原、高耸的山脉、

棋布的湖盆、宽广的盆地等大的地貌单元排列和组合。高原面以上,纵横延展着许多高耸的巨大山系,构成了高原地貌的骨架;在高原面中间,镶嵌着众多的盆地和湖泊;而高原面之下交织着性质不同的内外流水系。

有的地理学家曾把青藏高原奇特的地貌轮廓形象地比作无脚无尾的鸵鸟:“头部在帕米尔高原,嘴部是兴都库什山,昆仑山、阿尔金山和祁连山相当于鸵鸟的脊背线,全球最高的喜马拉雅山成了它的腹部线,横断山脉仿佛是鸵鸟下垂的尾端。”高原边缘的这些高大山系连同高原内部大体相互平行的一系列巨大山系,即东昆仑山脉—巴颜喀拉山脉、喀喇昆仑山脉—唐古拉山脉、冈底斯山脉—念青唐古拉山脉等等,显示了清晰的地质构造和地貌的骨架。

在上述这些高大山系之间,除分布着若干次一级的山脉之外,主要是盆地、高原及宽谷,如北部的柴达木盆地、中部腹地的藏北—青南高原以及南部的藏南谷地。东南部的横断山地,流水切割强烈、岭谷南北定向平行并列,形成典型河流高山峡谷地貌。

青藏高原的河流可以分成两大部分:内流区和外流区。高原东部、南部和东南部河流属外流区。高原河流内流区和外流区的分界,大致西起冈底斯山支脉卓木龙日—昂龙岗日—亚龙赛龙日—线,南沿冈底斯山和念青唐古拉山至青藏公路到唐古拉山口,再随唐古拉山往西至昆仑山脉的博卡雷克塔格,绕柴达木盆地东缘及青海湖盆地,止于祁连山。内陆流域总面积大约占高原总面积的40%左右。高原内流与外流河之间,有的地方并无明显的分水岭相隔,分水线在平面上犬牙交错,这在一定程度上是晚近地质时期高原强烈隆起的结果。

青藏高原外流区较大的河流,由西往东有狮泉河、雅鲁藏布江、察隅河、怒江、澜沧江、金沙江、雅砻江、大渡河、黑河、白河和黄河。它们分别属于印度河水系、雅鲁藏布江水系、怒江水系、澜沧江水系、长江水系和黄河水系。

内流区河流中较大的有注入柴达木盆地南霍布逊湖的柴达木河,注入色林错的扎加藏布(主干长近406km),注入达则错的波仓藏布(主干长大于200km)等。高原内流区的河流多以湖泊或盆地为中心,呈向心状排列。由于深处内陆,降水稀少,河水缺少补给水源,源短流细,河网稀疏。

高原隆起带来了湖泊水系的巨变。高原诸多湖泊及黄河等数条河流的发育均与高原隆升直接相关。晚更新世以来高原湖泊呈退缩的总趋势:湖面下降,若干湖泊向盐湖演变,一些外流水系也转化成内陆水系。

青藏高原的湖泊可以分成如下4个湖区:

1. 青海柴达木湖区

介于青藏高原北部阿尔金山—祁连山和东昆仑山之间。四面环山、中间形成内陆盆地,海拔在3000m左右。由于地形闭塞,距海较远,气候干燥,湖水含盐量普遍较高。这里也是我国内外流的过渡地带,虽以内陆湖为主,但东部亦有部分湖水通过江河远泄于太平洋。

2. 羌塘湖区

位于昆仑山与冈底斯山、念青唐古拉山之间的高原腹地。5km²以上的湖泊就有307个,湖泊面积占总面积的3.54%,成为高原最主要的湖泊区,也是全国湖泊集中分布的地区,占我国湖泊总面积的四分之一以上。境内湖面海拔多在4500m左右,并有不少超过

5000m。羌塘湖区是内陆湖区,湖水含盐量较高。

3. 东部湖区

位于青海、柴达木湖区与羌塘湖区以东,属外流区。凡长江、黄河、澜沧江、怒江等流域内的湖泊都划入本区。黄河上游的湖泊,集中分布在巴颜喀拉山与阿尼玛卿山之间的黄河河源地段,湖泊与黄河水流相通,形成排水湖泊,较大的有鄂陵湖、扎陵湖等。长江、澜沧江及怒江上游是青藏高原湖泊最少的地区,高山深谷限制了湖泊的发育。

4. 藏南湖区

位于冈底斯山和念青唐古拉山以南。藏南地区有一些地势相对平缓而封闭的盆地,这就为某些湖泊的存在创造了条件。著名的玛旁雍错、佩枯错、羊卓雍错等就是点缀在这些盆地中,自成体系的内陆湖泊。此外,雅鲁藏布江流域和狮泉河流域也有一些外流湖泊,它们多分布在河流源头,如森里错是雅鲁藏布江上游真都藏布的上源。藏南湖区共有大小湖泊 38 个,总面积 2500 km²。

区内沼泽和河湖湿地主要分布在青海省境内的青海湖上游北部祁连山前、柴达木盆地格尔木市北部、澜沧江源北部地区、四川省的若尔盖地区和西藏自治区内羌塘高原南部和东部边缘。大部分为河流上游低洼部积水而成的河流湿地,如若尔盖湿地、长江源湿地;还有与湖泊萎缩有关,如柴达木盆地内的湿地。

二、河流、湖泊、湿地分布现状

(一) 湖泊分布现状

由于湖泊在青藏高原生态环境中的特殊地位,将湖泊从湿地类型中单列出来进行调查和研究。

根据已建立的湖泊遥感解译标志,将全区 138 幅 2000 年左右的 ETM 遥感图像和 1661 幅 1:10 万地形图为主要数据源,按照湖泊信息提取的工作程序,进行青藏高原全区湖泊、湿地解译。在 MapGIS 平台上进行人机交互解译时,尽可能放大图像,但放大倍数应相同,保证相同精度。用作湖泊解译用的 ETM 遥感图像地面分辨率为 15m,地形图地面分辨率为 10m。在 ETM 遥感图像上,湖泊水体面积 ≥ 4 个像素(约 1000m²)均予以圈定,地形图上所有表示的水体均予以圈定。

在室内解译基础上初步完成青藏高原全区湖泊、湿地解译图。通过野外调查基础后,对全区遥感图像进行重新检查和解译,重点区进行详细解译,以不同颜色表示不同湖泊、湿地类型,补充和完善每个湖泊、湿地属性库内容,按数据库的要求,最终分别完成青藏高原全区湖泊、湿地现状分布图。从室内到野外,又从野外到室内,认识到实践再到认识的反复过程。

青藏高原全区范围内所有面积 ≥ 4 个像素(约 1000m²)湖泊共有 124734 个,面积 ≥ 1000 m²湖泊 124719 个;面积 ≥ 100 km²湖泊共有 74 个;面积 ≥ 10 km²湖泊共有 381 个;面积 ≥ 1 km²湖泊共有 1273 个;面积 ≥ 0.1 km²湖泊共有 7338 个;面积 ≥ 0.01 km²湖泊共有 45357 个。其中以青海湖面积最大,为 4248.7km²(表 3-2-1),其次为纳木错和色林错,面积分别为 1985.4km²和 1799.2km²。

表 3-2-1 青藏高原湖泊分布现状统计表

面积范围	湖泊名称	ETM 图像		
		面积/km ²	总面积/km ²	个数
面积 ≥ 1000km ²	青海湖	4248.7	8033.26	3
	纳木错	1985.4		
	色林错	1799.2		
500km ² ≤ 面积 < 1000km ²	扎陵湖	513.1	6777.69	10
	阿牙克库木湖	640.3		
	乌兰乌拉湖	529.7		
	格仁错 + 孜桂错	563.2		
	哈拉湖	590.5		
	鄂陵湖	619.6		
	羊卓雍错	610.1		
	当惹雍错	833.6		
	米提江占木错 + 多尔索洞错	903.8		
	扎日南木错	973.8		
100km ² ≤ 面积 < 500km ²		12728.46		61
10km ² ≤ 面积 < 100km ²		10166.96		307
1/km ² ≤ 面积 < 10km ²		2665.53		892
0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²		1623.95		6065
0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²		1114.00		38019
0.001km ² ≤ 面积 < 0.01km ²		334.42		79377
面积 < 0.001km ²		2.97		4002
总 计		43447.24		128736

从湖泊分布来看,区内湖泊主要分布在西藏自治区和青海省境内,合计占湖泊总面积的95%左右,其余湖泊主要分布在新疆维吾尔自治区境内。

在地理位置上,区内湖泊主要分布在羌塘高原湖盆区内,其余分布在青海省黄河-湟水中高海拔盆地、高海拔丘陵高原、喜马拉雅山脉极高山。湖泊主要分布夹持在昆仑山、冈底斯山脉和念青唐古拉山脉之间组成的菱形高原区(图 3-2-1)。

在流域分布特征上,青藏高原湖泊主要分布在羌塘高原内流区,占全部湖泊面积的70%,形成密集的湖泊分布群。其余分布在柴达木盆地、雅鲁藏布江、黄河、长江流域等(表 3-2-2)。

表 3-2-2 青藏高原不同流域湖泊分布

水 系	羌塘高原	塔里木盆地	河西走廊	柴达木盆地	黄河	长江	澜沧江	怒江	雅鲁藏布江	森格藏布
合计面积/km ²	29705.75	190.52	605.48	6199.83	1965.83	1431.06	38.09	356.96	2899.98	53.74
合计个数	64621	2610	356	1962	16977	25063	350	2865	13611	321
面积百分比/%	68.37	0.44	1.39	14.27	4.52	3.29	0.09	0.82	6.67	0.12

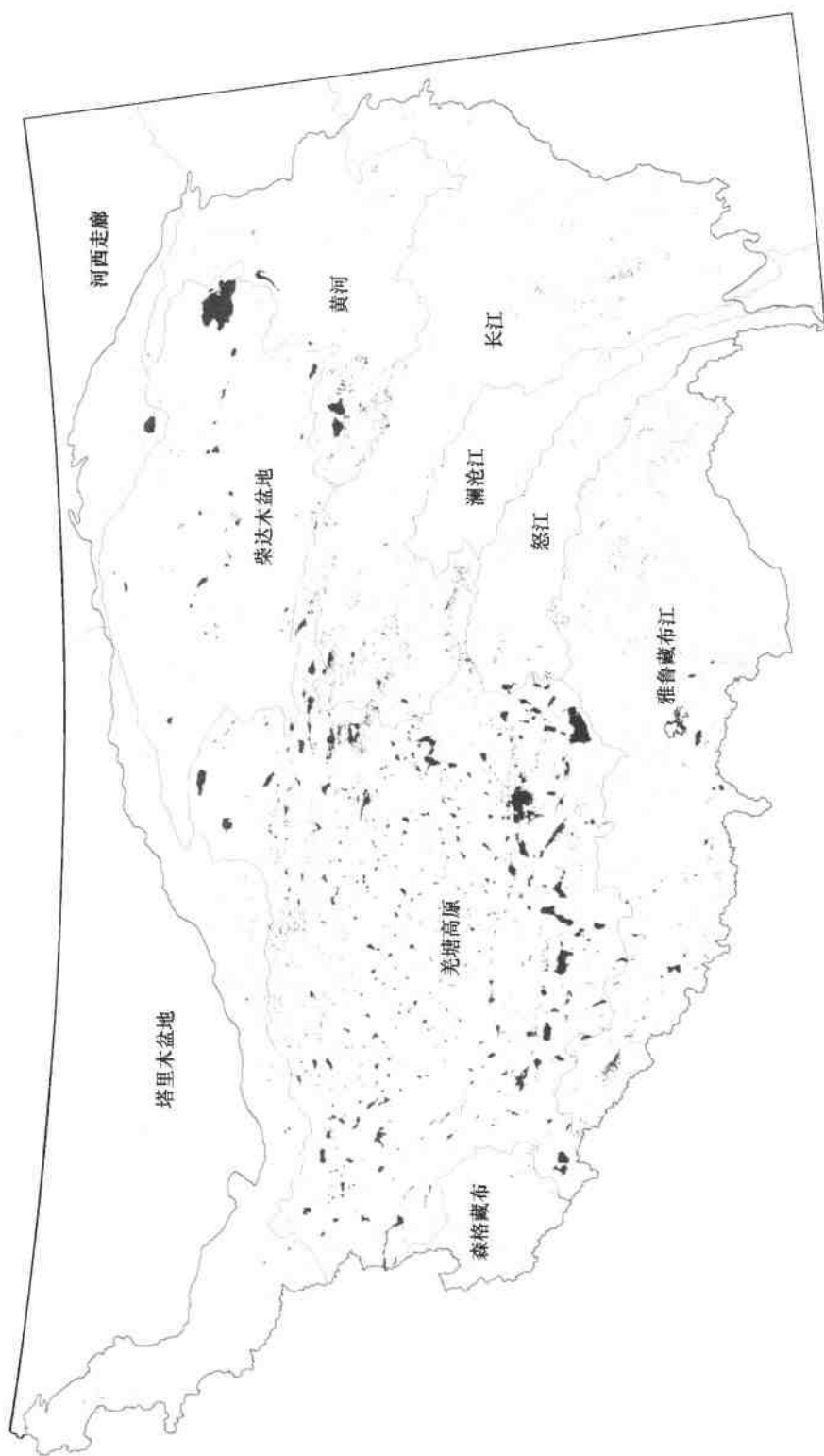
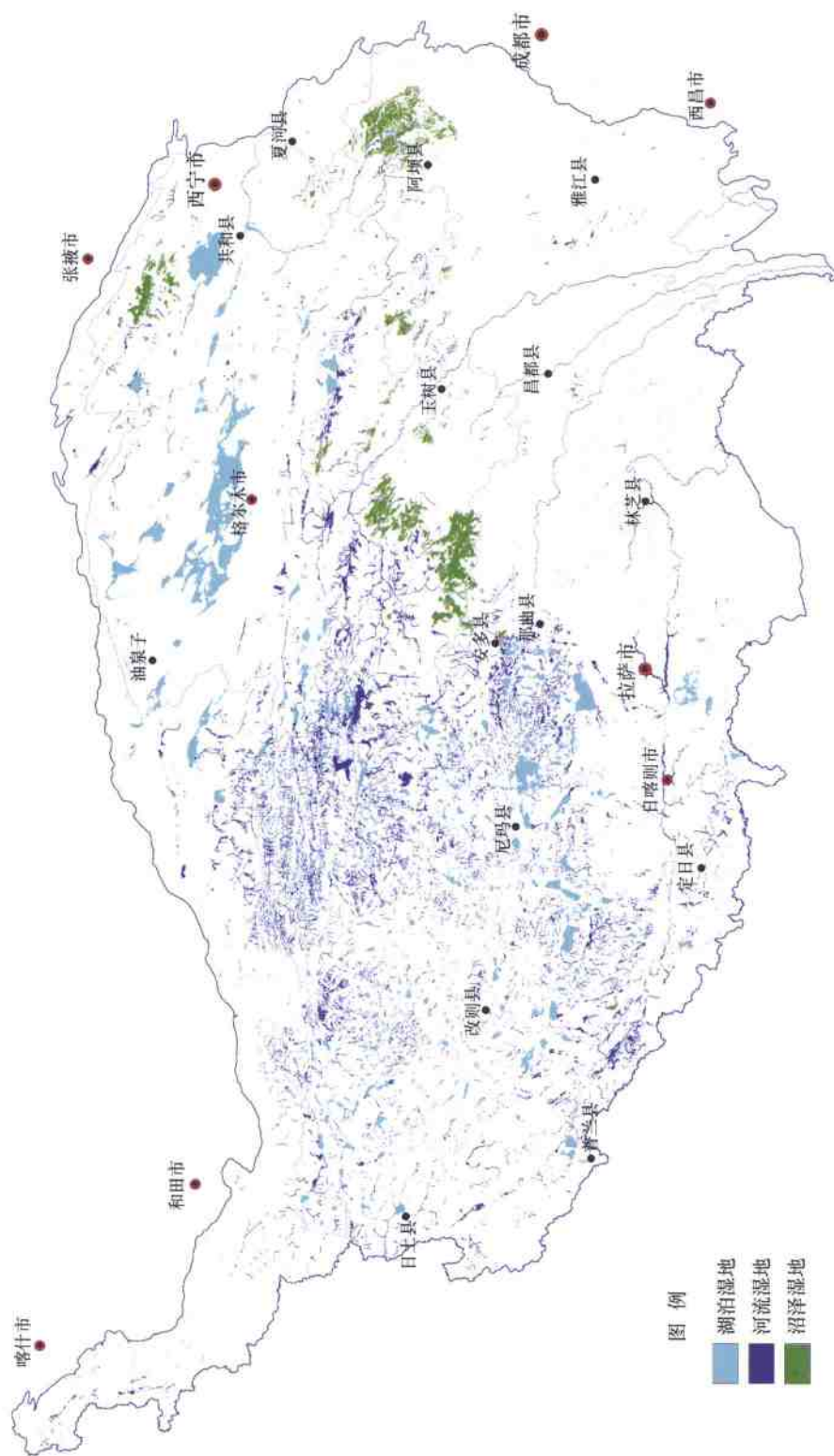


图 3-2-1 青藏高原湖泊分布图



在气候分区上,青藏湖泊主要分布在干旱区,部分分布在半干旱区。高原区内湖泊分布空间上的不均匀和相对集中分布特点。

(二)湿地分布现状

这里的湿地主要包括湖泊水体之外、湖泊水体周围、河流及两侧、冲积扇等湿地和传统意义的沼泽湿地。由于区内的 MSS 图像时相大部分为冬季,图像上的湿地和沼泽在图像上已很难判译,湿地有关信息已难以提取。选用 ETM 解译的上述湿地作为湿地现状分布图,与 TM 解译的对应湿地分布图作动态对比。

为了便于对比和适当减轻工作量,将全区 ETM 分辨率 15m 遥感图像重新采样到 30m,根据已建立的湿地遥感解译标志,进行湿地解译,完成湿地现状分布图(图 3-2-2)。

区内沼泽和河湖湿地主要分布在青海省境内的青海湖上游北部祁连山前、柴达木盆地格尔木市北部、澜沧江源北部地区、四川省的若尔盖地区和西藏自治区内羌塘高原南部和东部边缘。大部分为河流上游低洼部积水而成的河流湿地,如若尔盖湿地、长江源湿地;还有与湖泊萎缩有关,如柴达木盆地内的湿地。高原区内湿地总面积 127927.30km²。

以柴达木盆地湿地面积最大,现面积达 22531.2km²,主要属盐碱湿地;部分为开采盐碱而人工围筑的盐碱池,属于人工湿地。其次是三江源湿地,面积达 19639.1km²,主要为草甸沼泽;若尔盖湿地,面积达 3945.1km²,主要为泥炭沼泽。上述湿地特点是集中成片分布,单体(片)不规则,面积不大。而羌塘高原内部及周边的湿地,大部分为河流及两侧湿地,单片面积小,分布零星(图 3-2-2)。

三、河流、湖泊、湿地演变

(一)湖泊动态变化研究

将 20 世纪 70 年代地形图解译完成的湖泊分布图作为历史资料,与 2000 年左右 ETM 遥感图像解译完成的湖泊现状图作动态对比研究。为了保证对比的真实、有效和可信,分别将两期解译图上面积小于 0.01km²的湖泊删除,在 MapGIS 软件空间分析平台上进行动态对比研究,分类别进行面积统计、计算等。

动态对比结果表明(表 3-2-3,表 3-2-4),从 70 年代到 2000 年的近 30 年,青藏高原区内湖泊无论是面积还是个数均发生了较大变化,总体特点是湖泊面积明显增大。

表 3-2-3 青藏高原地形图 and 不同遥感数据源湖泊统计表

面积范围	1970 年地形图 上面积/km ²	数量	1975 年 MSS 数据/km ²	数量	1990 年 TM 数据/km ²	数量	2000 年 ETM 数据/km ²	数量
面积≥1000km ²	8031.0	3	7980.40	3	7943.98	3	8033.3	3
500km ² ≤面积<1000km ²	7215.2	11	5291.89	8	6704.81	10	6777.69	10
100km ² ≤面积<500km ²	12643.5	63	13831.09	63	11901.72	57	12728.46	61
10km ² ≤面积<100km ²	9369.8	271	9793.60	287	9283.85	269	10166.96	307
1km ² ≤面积<10km ²	2231.5	756	2244.75	728	2144.49	754	2665.53	892
合 计	39491.0	1104	39141.73	1089	37978.84	1093	40371.94	1273

表 3-2-4 青藏高原地形图和 2000 年 ETM 图像湖泊面积及变化统计表

面积范围	湖泊名称	地形图			ETM 图像			动态变化特点		
		面积/km ²	总面积/km ²	个数	面积/km ²	总面积/km ²	个数	面积变化/km ²	总面积/km ²	个数变化
面积 ≥ 1000km ²	青海湖	4477.3			4248.7			-228.6		
	纳木错	1934.1	8031.0	3	1985.4	8033.3	3	51.3	2.2	0
	色林错	1619.6			1799.2			179.6		
	昂拉仁错	509.5			493.7			-15.8		
500km ² ≤ 面积 < 1000km ²	鄂陵湖	526.1			513.1			-13		
	阿牙克库木湖	539.9			640.3			100.4		
	乌兰乌拉湖	541.0			529.7			-11.3		
	孜桂错 + 格仁错	544.9			563.2			18.3		
	哈拉湖	603.5	7215.2	11	590.5	7271.4	10	-13	56.3	-1
	扎陵湖	610.5			619.6			9.1		
	羊卓雍错	641.3			610.1			-31.2		
	当惹雍错	827.4			833.6			6.2		
	多尔索洞错 + 米提江占木错	876.9			903.8			26.9		
	扎日南木错	994.2			973.8			-20.4		
100km ² ≤ 面积 < 500km ²		12643.5		63	12728.5		61	85.0		-2
10km ² ≤ 面积 < 100km ²		9369.8		271	10167.0		307	797.2		36
1km ² ≤ 面积 < 10km ²		2231.5		756	2665.5		892	434.0		136
0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²		1343.7		5199	1624.0		6065	280.3		866
0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²		951.0		31451	1114.0		38019	163.0		6568
0.001km ² ≤ 面积 < 0.01km ²		167.1		32484	334.4		79377	167.3		46893
总 计		41952.8		70238	43938.1		124734	1985.3		54496

从湖泊动态分布图上(图 3-2-3、图 3-2-4)可以看出,在空间分布上,湖泊面积增加主要集中在羌塘高原内部的那曲地区、可可西里和西藏与新疆交界附近昆仑山以南部分。那曲地区以色林错和纳木错等为代表;可可西里地区以可可西里湖和卓乃湖为代表;西部昆仑山南部以郭扎错、鲁玛江冬错为代表。而湖泊面积减小主要分布在雅鲁藏布江中段的仲巴和改则县之间,以昂拉仁错、扎日南木错为代表;柴达木盆地的青海湖、哈拉湖、托素湖等为代表;昆仑山中段的鲸鱼湖、向阳湖、勒斜武担错等为代表。

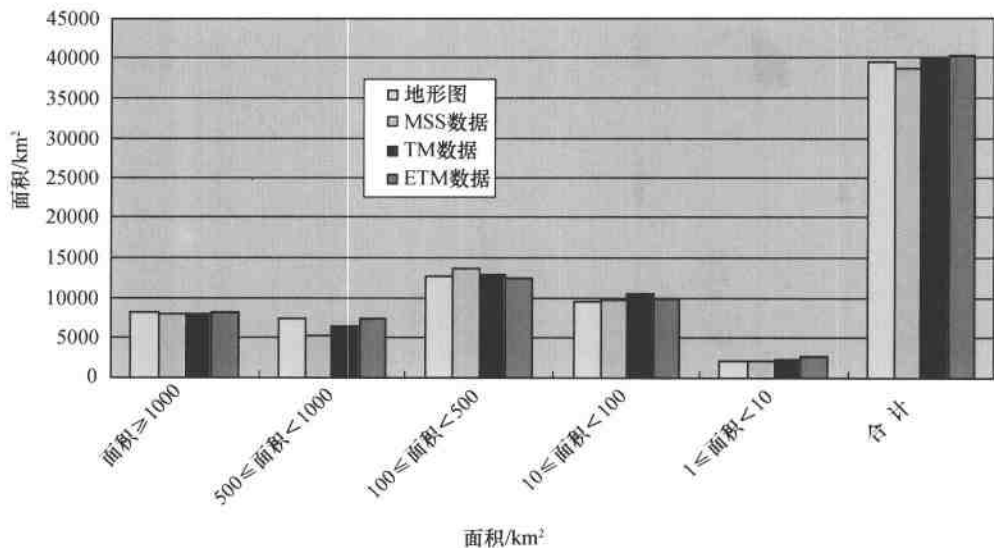


图 3-2-3 青藏高原不同时期不同规模湖泊动态变化直方图

在不同水系流域内,近 30 年来湖泊动态变化有不同特点(表 3-2-5)。羌塘高原内无论是湖泊面积还是湖泊个数均明显增加,湖泊面积增加 3545.07km²,小湖泊成千上万个增加。塔里木盆地区内湖泊面积和个数也表现为明显增加,这可能与区内湖泊水体的补给,冰川大量融化有关。河西走廊内湖泊总面积减小、个数增加,表现为大湖泊面积减小、小湖泊面积和个数均有所增加。柴达木盆地内湖泊面积减少,个数增加,表现为大湖泊面积和个数均减少而小湖泊面积和个数均增加,小于 1 万 m² 的湖泊面积和个数均增加。黄河流域无论是湖泊面积还是个数,无论是大小湖泊均明显减少。长江流域总体湖泊面积和数量增加,表现为大湖泊面积的增加,以错仁德加湖变化最为明显,其余湖泊面积和数量有所减少。澜沧江流域表现为湖泊面积微增,个数均减少。怒江流域内湖泊面积增加而数量减少,表现为大于 1km² 湖泊面积的增加而小于 1km² 湖泊面积和数量均减少。雅鲁藏布江流域湖泊面积微增,个数均减少;森格藏布流域内湖泊面积和数量明显减少。

从上述可以看出,高原周边地区总体湖泊面积和数量均减少而高原内部表现为明显增加,这可能与湖水的补给有关,高原周边主要靠雨水补给,而高原内部有大量冰川融化水。

(二) 湿地动态变化研究

用 30m 分辨率的 TM 图像,进行湿地信息提取。与 ETM 湿地现状图进行动态对比研究。

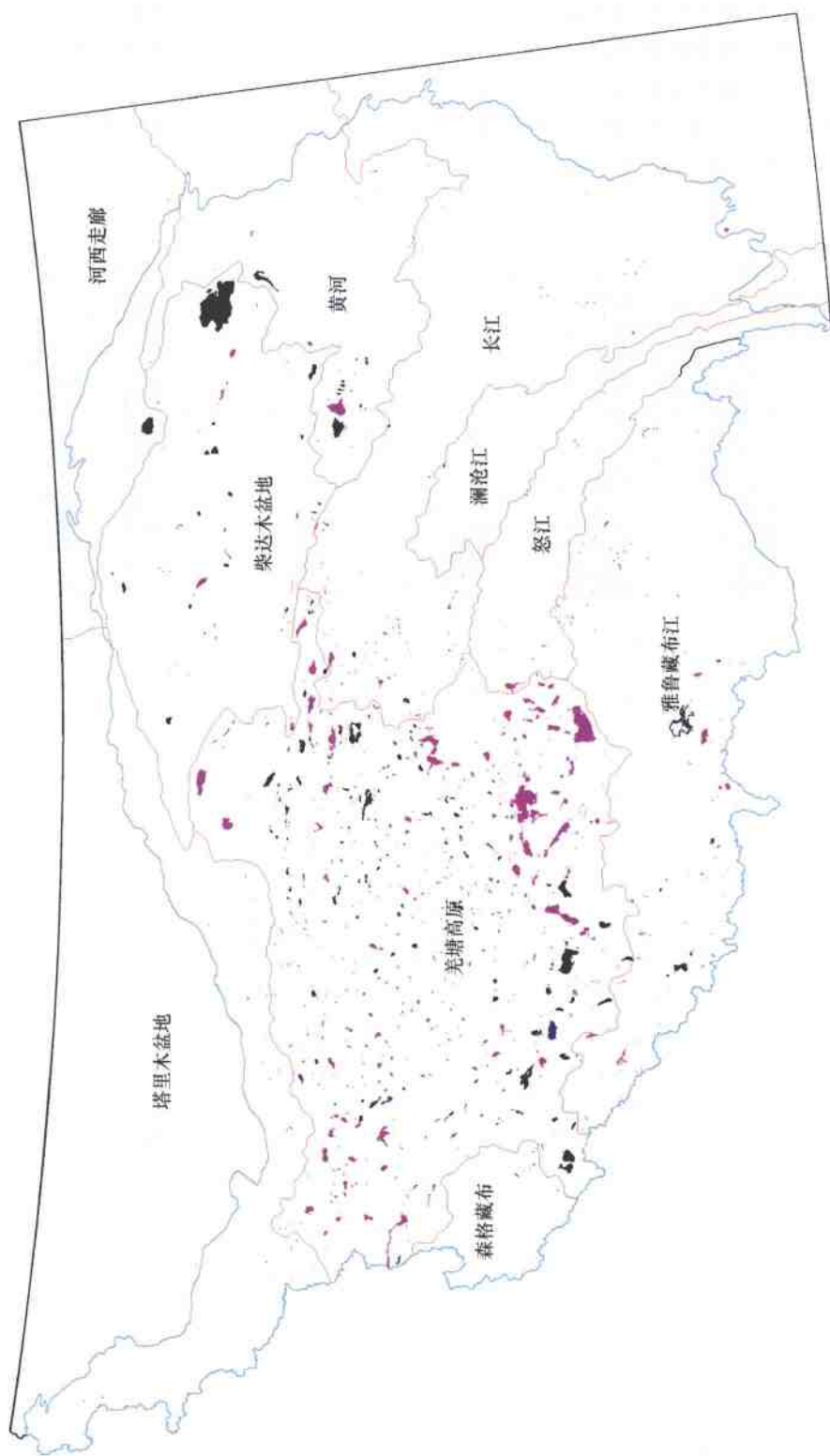


图 3-2-4 青藏高原湖泊动态变化图

(图中红色表示扩张的湖泊,蓝色表示变化不大的湖泊,黑色表示萎缩和消亡的湖泊)

表 3-2-5 青藏高原不同水系(流域)湖泊面积动态变化统计表

水 系	面积范围	地形图				ETM 图像				动态变化			
		面积/km ²	个数	合计面积 km ²	合计个数	面积/km ²	个数	合计面积 km ²	合计个数	面积/km ²	个数	面积/km ²	个数
羌塘高原	面积 ≥ 100km ²	17744.0	52			18686.9	55			942.9	3		
	10km ² ≤ 面积 < 100km ²	7831.1	213			7913.2	234			82.1	21		
	1km ² ≤ 面积 < 10km ²	1427.0	473	27905.4	13972	1678.0	519	29537.8	21412	251	46	1632.4	7440
	0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²	572.8	2066			753.9	2681			181.1	615		
	0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²	330.5	11168			505.8	17923			175.3	6755		
塔里木盆地	面积 ≥ 100km ²	0	0			0.0	0			0	0		
	10km ² ≤ 面积 < 100km ²	26.7	2			28.0	2			1.3	0		
	1km ² ≤ 面积 < 10km ²	44.9	14	101.0	296	96.0	29	182.7	898	51.1	15	81.7	602
	0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²	22.3	76			37.7	136			15.4	60		
	0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²	7.1	204			21.0	731			13.9	527		
河西走廊	面积 ≥ 100km ²	603.5	1			590.5	1			-13	0		
	10km ² ≤ 面积 < 100km ²	0	0			0.0	0			0	0		
	1km ² ≤ 面积 < 10km ²	10.2	5	617.3	60	7.2	4	604.6	133	-3	-1	-12.7	73
	0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²	2.3	8			3.3	14			1	6		
	0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²	1.3	46			3.5	114			2.2	68		
柴达木盆地	面积 ≥ 100km ²	5921.8	10			5251.2	8			-670.6	-2		
	10km ² ≤ 面积 < 100km ²	671.5	16			739.0	22			67.5	6		
	1km ² ≤ 面积 < 10km ²	91.10	28	6737.1	773	118.8	38	6195.7	966	27.7	10	-541.4	193
	0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²	35.1	115			64.3	219			29.2	104		
	0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²	17.7	605			22.4	679			4.7	74		
黄河	面积 ≥ 100km ²	1447.2	3			1436.1	3			-11.1	0		
	10km ² ≤ 面积 < 100km ²	248.9	10			239.4	10			-9.5	0		
	1km ² ≤ 面积 < 10km ²	113.2	39	2009.4	4538	111.7	37	1913.5	3155	-1.5	-2	-95.9	-1383
	0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²	89.9	359			56.7	220			-33.2	-139		
	0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²	110.3	4127			69.5	2885			-40.8	-1242		

水系	面积范围	地形图			ETM 图像			动态变化			
		面积/km ²	个数	合计面积 km ²	合计个数	面积/km ²	个数	合计面积 km ²	合计个数	面积/km ²	个数
长江	面积 ≥ 100km ²	144.6	1			208.6	1			64	0
	10km ² ≤ 面积 < 100km ²	462.3	15			404.9	14			-57.4	-1
	1km ² ≤ 面积 < 10km ²	255.0	90	1335.9	8700	233.9	98	1363.0	9759	-21.1	8
	0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²	254.8	1072			270.3	1049			15.5	-23
	0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²	219.2	7522			245.3	8597			26.1	1075
澜沧江	面积 ≥ 100km ²	0	0			0.0	0			0	0
	10km ² ≤ 面积 < 100km ²	13.7	1			20.2	1			6.5	0
	1km ² ≤ 面积 < 10km ²	9.0	2	34.2	217	7.3	2	37.4	187	-1.7	0
	0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²	6.0	26			4.8	24			-1.2	-2
	0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²	5.6	188			5.1	160			-0.5	-28
怒江	面积 ≥ 100km ²	181.9	1			186.4	1			4.5	0
	10km ² ≤ 面积 < 100km ²	15.4	1			37.1	2			21.7	1
	1km ² ≤ 面积 < 10km ²	35.4	14	311.0	1386	50.6	17	349.6	1351	15.2	3
	0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²	41.8	163			40.1	164			-1.7	1
	0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²	36.4	1207			35.4	1167			-1	-40
雅鲁藏布江	面积 ≥ 100km ²	1206.9	3			1179.6	3			-27.3	0
	10km ² ≤ 面积 < 100km ²	786.6	23			771.4	21			-15.2	-2
	1km ² ≤ 面积 < 10km ²	264.1	112	2843.9	8068	336.8	139	2872.4	7278	72.7	27
	0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²	363.9	1461			385.1	1525			21.2	64
	0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²	222.4	6469			199.4	5590			-23	-879
森格藏布	面积 ≥ 100km ²	0	0			0.0	0			0	0
	10km ² ≤ 面积 < 100km ²	15.3	1			13.7	1			-1.6	0
	1km ² ≤ 面积 < 10km ²	27.5	8	60.1	297	25.3	9	53.2	216	-2.2	1
	0.1km ² ≤ 面积 < 1km ²	9.2	36			7.7	33			-1.5	-3
	0.01km ² ≤ 面积 < 0.1km ²	8.1	252			6.5	173			-1.6	-79

20 世纪 90 年代 TM 遥感图像提取湿地总面积为 134864.48km²(表 3-2-6)。

表 3-2-6 青藏高原湿地面积变化统计

湿地类型	MSS 面积/km ²	TM 面积/km ²	ETM 面积/km ²	ETM 与 TM 面积变化/km ²
河流湿地		43265.604	41973.60	-1292.01
湖泊	39902.17	39526.052	43447.24	3921.19
湖泊湿地		33377.464	25569.38	-7808.09
沼泽湿地		14002.805	12326.43	-1676.37
泥炭湿地		4692.555	4610.65	-81.91
合计		134864.48	127927.30	-6937.18

从 20 世纪 90 年代 TM 湿地分布图与本世纪初 ETM 湿地分布图对比来看,总体表现为湿地面积的减少,总面积减少 6937.18km²。从动态变化图(图 3-2-5)上可以看出,区内柴达木盆地内湿地减少最为明显,其次为那曲—安多之间段;可可西里南部乌兰乌拉湖周围湿地增加最明显。

按不同地貌单元统计,湿地减少主要在柴达木盆地、江河源区,而阿尔金山和羌塘高原湿地面积则明显增加,但减少面积远远大于增加面积。这与湖泊动态变化特征类似,高原边缘部分湿地面积减少,而高原内部明显增加。

不同水系流域表现为高原东北部、东部、东南部湿地面积均明显减小,柴达木、长江、黄河、河西走廊等流域,高原西部和南部流域,如雅鲁藏布江、塔里木等面积增加,羌塘高原内部增加最为明显(表 3-2-7,图 3-2-6)。

表 3-2-7 青藏高原不同水系(流域)湿地面积动态变化统计表

水系分区	TM 面积/km ²	ETM 面积/km ²	动态变化/km ²
塔里木盆地	2016.39	2289.43	273.04
河西走廊	2147.94	1503.52	-644.42
柴达木	34489.52	28295.82	-6193.69
黄河	11885.52	10889.71	-995.82
羌塘高原	53689.27	56945.65	3256.38
长江	18417.34	16576.31	-1841.03
澜沧江	703.83	357.66	-346.17
森格藏布	721.26	700.09	-21.16
怒江	3082.50	1909.75	-1172.75
雅鲁藏布江	7710.91	8459.35	748.44
合计	134864.48	127927.30	-6937.18

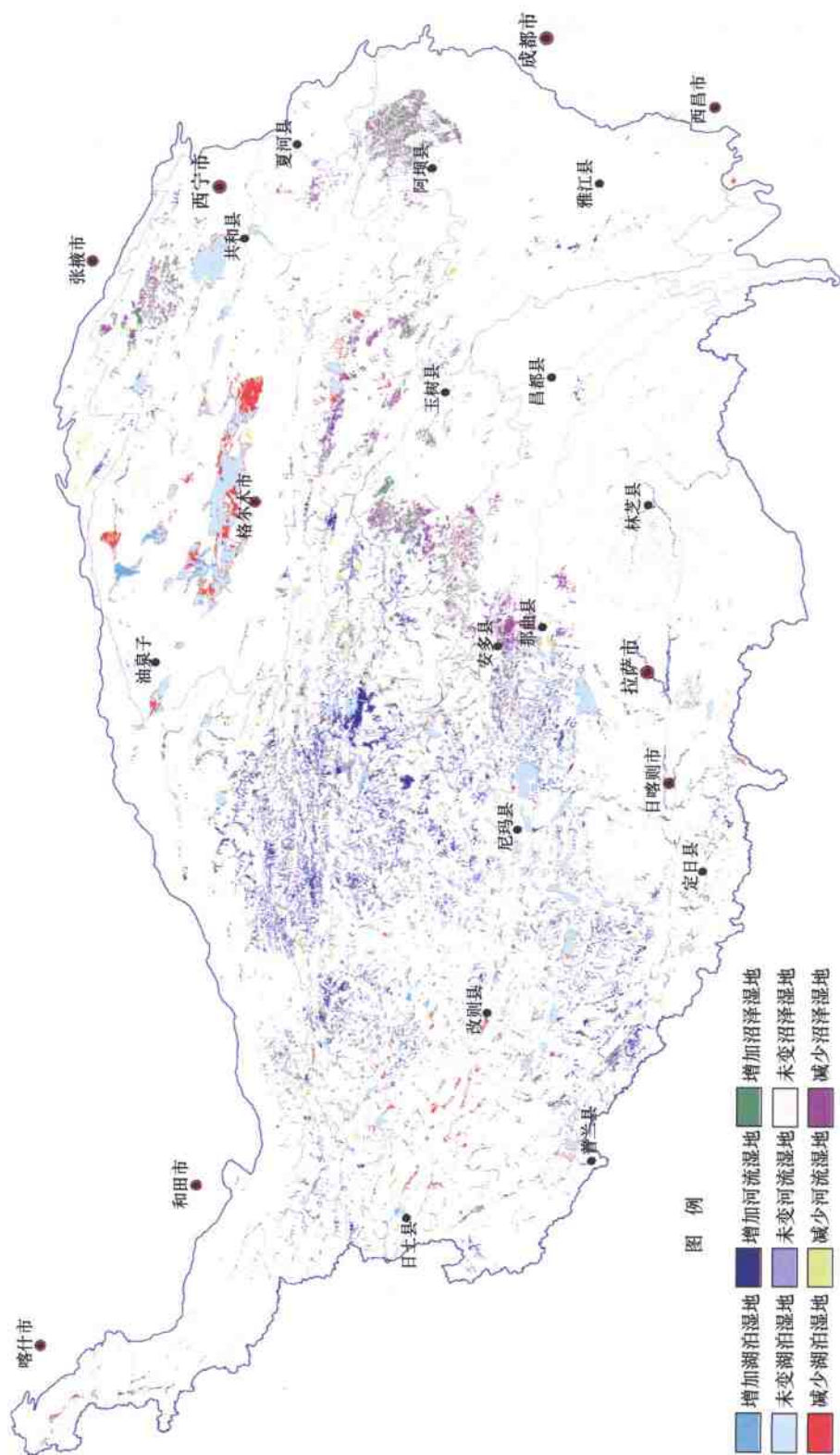


图 3-2-5 青藏高原湿地动态变化图

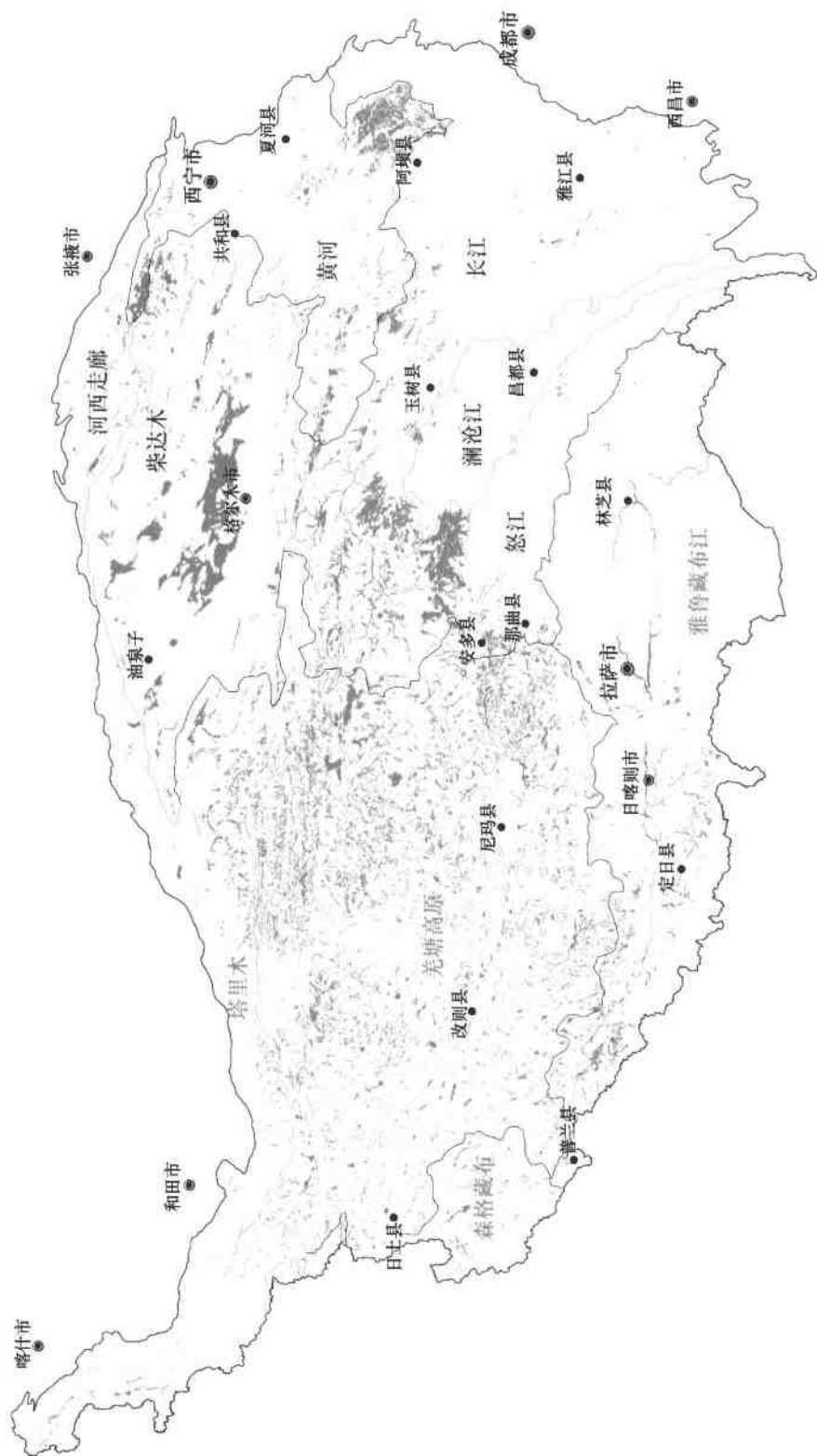


图 3-2-6 不同水系流域湿地分布与变化
(流域名称红字为增加, 蓝字为减少)

四、河流、湖泊、湿地演变因素分析

青藏高原区内是我国境内湖泊面积最大、个数最多、分布最为集中地区,又是黄河、长江源分布区,湖水面积的消长直接影响到我国西部以东地区的水资源,同时湖泊水面的变化又直接影响到青藏高原,甚至全球的气候和环境,因此高原湖泊的变化规律及其变化原因研究,具有重大理论和现实意义。

通过高原区内 1:10 万地形图、MSS、TM、ETM + 遥感图像湖泊现状和动态变化研究,高原周边湖泊面积总体在减小,湖泊个数也减少,特别是高原东部江河源区;而高原内部湖泊个数和面积均显著增加,特别是羌塘高原内部,小湖泊成千上万增加。那么是什么原因导致湖泊面积的变化?

有关青藏高原湖泊分布和面积变化的原因,前人已做了较多调查和研究。大多研究集中在气候变化方面,如降水和气温变化。气候变化可以解释单个湖泊或某些地区湖泊的变化,难以解释青藏高原全区的湖泊变化规律。从与湖泊密切相关的降水量来看,青藏高原近 30 年来降水以增加趋势为主,但湖泊面积增加最明显的羌塘高原并不是降水量增加最大的区域(图 3-2-7,图 3-2-8)。从气温变化来看,青藏高原近 30 年来气候变化总体趋势是气温呈上升趋势,气温上升导致蒸发量增加,冰川和冻土融化加快。柴达木盆地和黄河流域湖泊面积的减小可能与温度升高、蒸发量大有密切关系。从现代冰川分布与湖泊消长的关系看,如果说羌塘高原西部与新疆接壤附近的湖泊扩张与喀喇昆仑、西昆仑冰川有关,羌塘高原中东部湖泊增长与东昆仑和唐古拉山冰川有关,而念青唐古拉山、横断山脉冰川分布区湖泊并没有明显变化。

显然,高原近 30 年气候变化不足以解释湖泊全部变化,且气候与湖泊的关系是互相的,气候变化可以引起湖泊的消长,湖泊的分布及其变化也可以影响和改变局部气候。诚然,湖泊水体变化原因是复杂的,影响因素也是众多的,特别是对于地域广阔的青藏高原。

这说明控制现代湖泊动态变化可能还有更直接和重要的原因。

很显然,研究青藏高原近 30 年来湖泊变化的机理,不能一概而论,应从控制湖泊的主要因素,即湖泊的成因入手;针对不同成因类型的湖泊,分别研究变化的机理。如冰川湖与构造湖变化的影响因素肯定不同。

青藏高原内湖泊绝大部分为构造湖,控制湖泊成因主要为新构造和由新构造控制的现代地形地貌要素。依据遥感数据和 DEM 数据建立数字高程模型,正是研究青藏高原现代地形和地貌理想的方法之一。

根据青藏高原 1:25 万 DEM 数据,研究现代地形与湖泊变化关系。通过 DEM 模型进行青藏高原区水淹和反水淹试验,即水面从不同高程上升,或水面从不同高度下降,研究地形地貌空间变化规律。研究发现,从 4900m、4800m、4700m 水平高程的下降,青藏高原特别是羌塘高原内部存在众多局部的洼地(图 3-2-9),中间低四周高,即局部的“内流区”,面积扩大的湖泊绝大部分分布在这些内流区内。“内流区”范围、大小决定了区内湖泊规模和数量,“内流区”越大,特大型和大型湖泊越多,湖泊越密集。如位于 4700m 高程的“内流区”,位于安多—那曲以西,区内面积大于 1km^2 湖泊 152 个,20 世纪 70 年代地形图时期至 2000 年 ETM + 时期湖泊面积增加的有 136 个,增加湖泊占 90%,净增总面积 647.3km^2 ,几乎占整个羌塘高原湖泊增加总面积的一半(图 3-2-10)。同样,高程 4800m 和 4900m“内流区”内

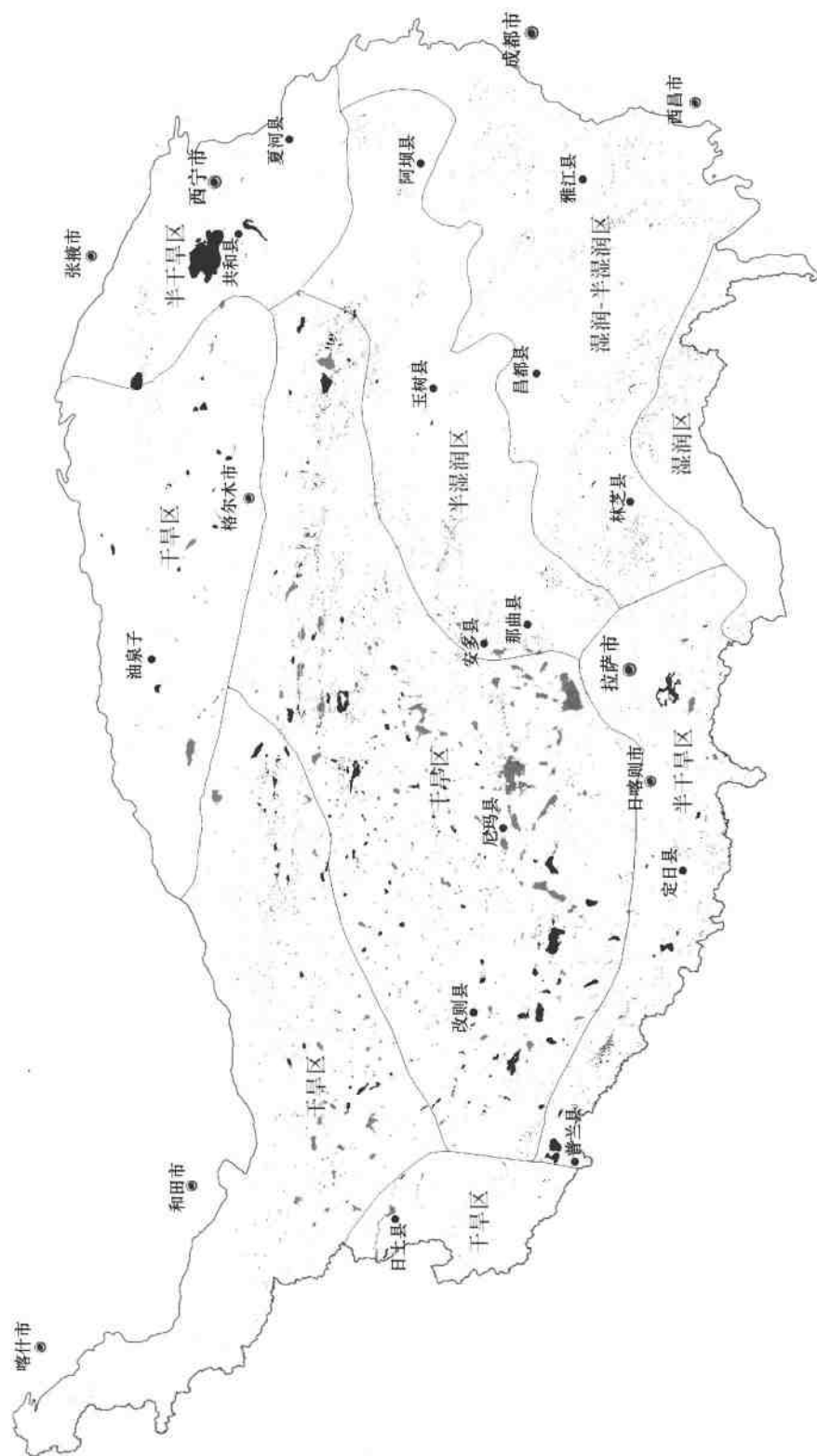


图 3-2-7 气候分区与湖泊动态变化关系

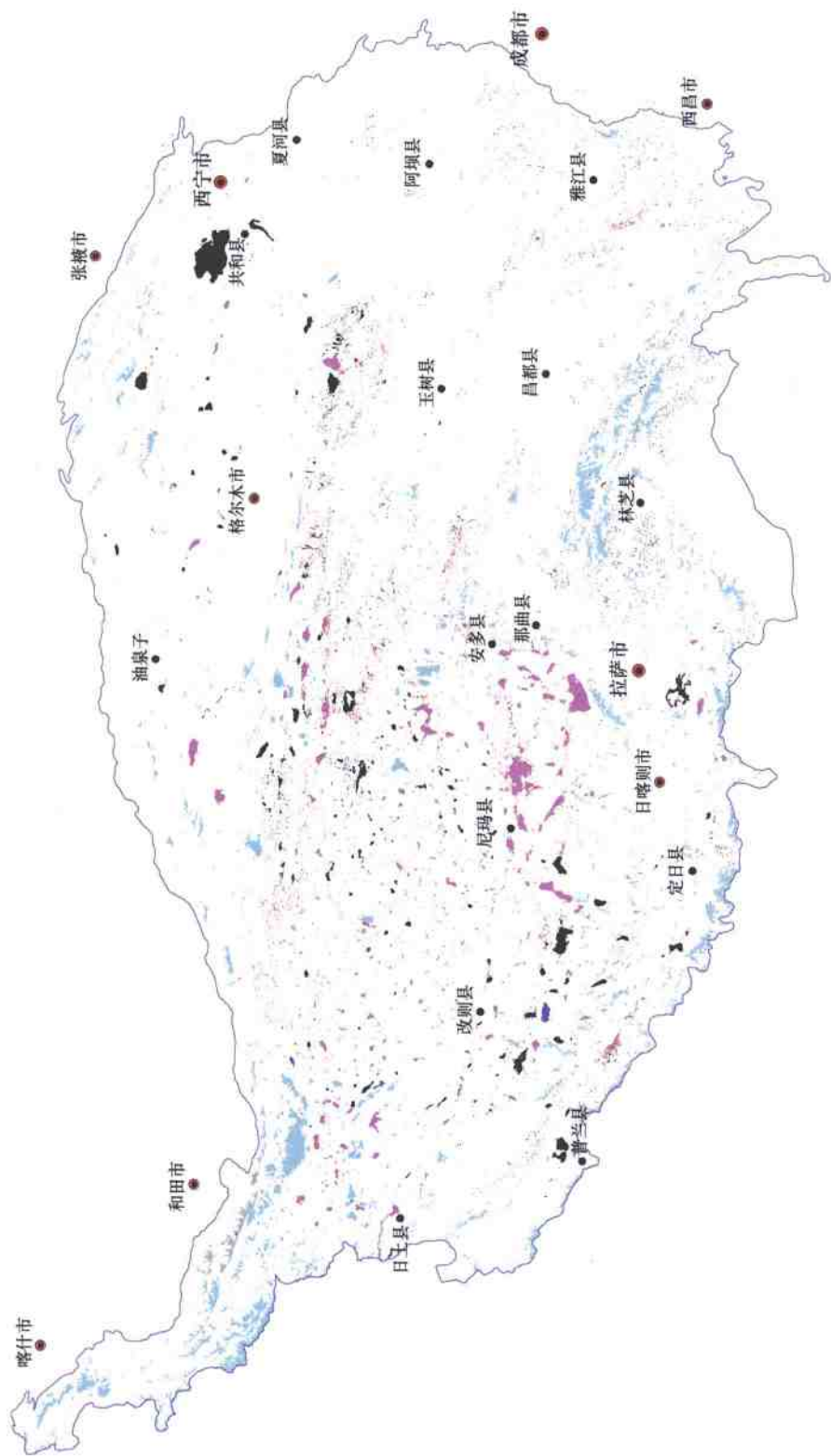


图 3-2-8 现代冰川分布与湖泊动态变化关系
(青色为现代冰川)

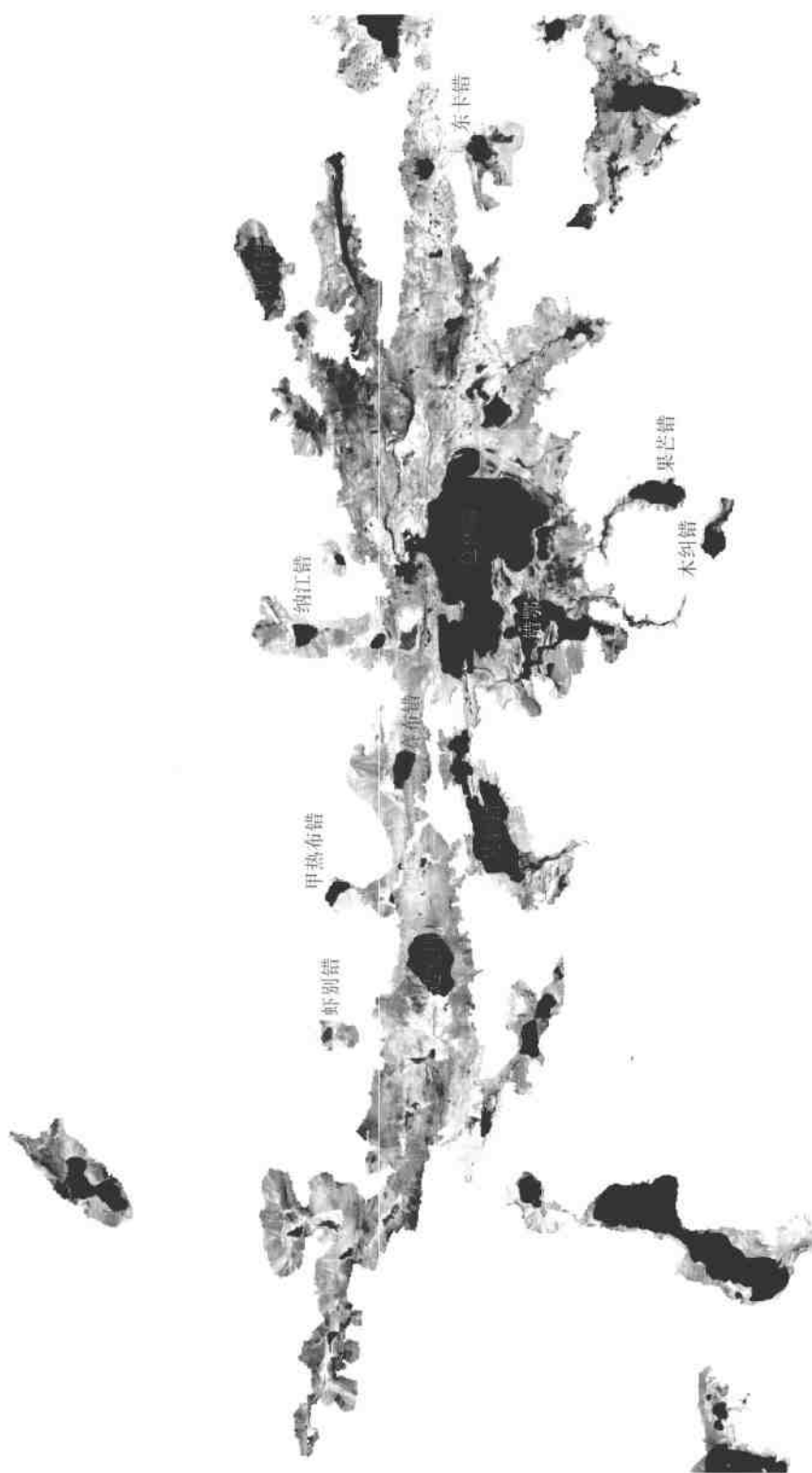


图 3-2-9 高原洼地内分布的湖泊

湖泊变化规律,也完全与之相似。因此青藏高原区内湖泊分布和消长受局部地形、地貌控制,局部分布的“内流区”面积和周围地形高程差,决定了湖泊的规模、多寡和动态变化。

青藏高原区内地形地貌是内外动力地质作用共同作用的结果。对新构造和活动构造最活跃的青藏高原,地质构造决定了现代地貌和地形,不同级别和规模的构造,控制了不同规模的地形和地貌单元。青藏高原内湖泊主要为构造湖,是断裂构造控制下形成的,断裂构造控制了地形和地貌,也就控制了湖泊的形成和演化。高原内部,特别是羌塘高原内部,地形地貌条件有利于形成这种局部的小“内流区”,而高原周边,特别是东部地区,由于地形陡、坡降大、切割深,不易形成局部的小“内流区”,因此高原内部湖泊众多,面积明显增加,而高原周边湖泊相对分布较少,面积逐渐减小,这是青藏高原湖泊形成和演化的地学原因。



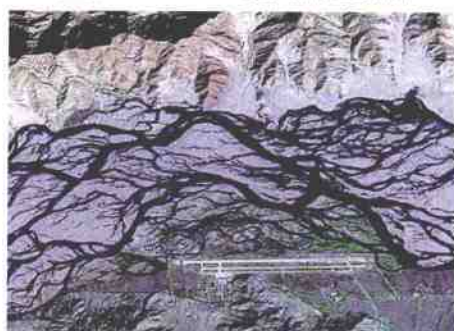
图版 3-1-1 ETM 图像上湖泊



图版 3-1-2 MSS 夏季图像上湖泊



图版 3-1-3 ETM 图像上湖泊湿地



图版 3-1-4 ETM 图像上河流湿地



图版 3-1-5 ETM 图像上湿地(沼泽)



图版 3-1-6 MSS 夏季图像上湿地(沼泽)



图版 3-1-7 ETM 图像上草甸沼泽



图版 3-1-8 ETM 图像上草甸沼泽

第四章 现代土地荒漠化遥感调查与演变研究

第一节 概 述

土地是人类赖以生存和发展的物质基础,是一切行业的载体、经济建设的基石、稳定社会的保障。我国人口众多,土地资源的人均占有量十分匮乏,随着社会经济的高速发展,高强度的人为活动日趋激烈,已有的耕地资源不断萎缩。同时,还造成了大量的可利用土地出现荒漠化,以致不能利用。特别是近 30 年来,随着全球气候变暖,进一步提供了干旱、半干旱地区土地荒漠化的气候条件,加快了土地荒漠化的进程。1994 年,联合国环境规划署在巴黎签署了《联合国关于在发生严重干旱和荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约》(简称《防治荒漠化公约》),可见,荒漠化问题已经提到了国际社会的重要议事日程。对于土地荒漠化的含义相关组织有如下规定:

1992 年,联合国环境与发展大会将荒漠化定义为“荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和具有干旱的亚湿润地区的土地退化”。

在《防治荒漠化公约》中进一步解释:土地退化是指由于使用土地或由于一种营力或数种营力致使干旱、半干旱和亚湿润地区雨浇地、水浇地、草原、牧场、耕地和林地的生产力下降或丧失,典型标志包括:①风蚀和水蚀致使土壤物质流失;②土壤的物理、化学和生物特性退化;③自然植被长期丧失。

据有关资料(张殿发等,2000),我国荒漠化涉及 18 个省、市、自治区中的 471 个县(旗、市、区),其中分布于中国西部的有 420 个县(市、旗)。中国荒漠化土地面积高达 262.2 万 km^2 ,占国土面积的 27.3%。其中荒漠化土地面积居前三位的是新疆(104.4 万 km^2)、内蒙古(65.9 万 km^2)和西藏(29.1 万 km^2)。

一、调查内容与分类系统

(一) 调查内容

研究采用 1975 年陆地卫星 MSS 数据和 2000 年陆地卫星 ETM 数据,通过 MSS7 MSS5 MSS4 合成图像和 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上荒漠化信息的提取,完成 1975 年和 2000 年两个时期的土地荒漠化遥感调查;再利用两个时期的土地荒漠化调查结果,进行工作区内 30 年来土地沙漠化和土地盐碱化程度和分布范围的演变研究,阐明荒漠化的演变规律。

(二) 荒漠化土地分类系统

本次青藏高原土地荒漠化遥感调查区主要是山前倾斜平原区、山间谷地及柴达木盆地。由于国内目前尚无统一的分类划分标准。本次研究在综合《中国荒漠化(土地退化)防治研究》课题组 1998 年 10 月对中国荒漠化土地的分类方法,并根据青藏高原荒漠化土地的实际情况,将工作区内的荒漠化土地类型划分为砂砾质荒漠化土地、盐碱质荒漠化土地和其他土地,共 3 大类型 15 个因子(表 4-1-1)。

表 4-1-1 青藏高原荒漠化土地类型及因子划分表

土地类型	因子类别				
砂砾质荒漠化土地类型	重度沙漠化土地 (Sh-3)	中度沙漠化土地 (Sh-2)	轻度沙漠化土地 (Sh-1)	沙漠 (Td-sm)	砂砾石裸地 (Td-s)
盐碱质荒漠化土地类型	重度盐碱化土地 (Yz-3)	中度盐碱化土地 (Yz-2)	轻度盐碱化土地 (Yz-1)	盐漠 (Td-ym)	
其他土地类型	耕地(Td-g)、草地(Td-c)、林地(Td-l)、沼泽地(Td-z)、地表水体(Td-st)、河流(HI)、湖泊(Hb)、水库(Sk)、基岩(Br)				

1. 砂砾质荒漠化土地类型

砂砾质荒漠化土地类型是按照风积沙、平沙地、砂砾石裸露区和植被所占面积的百分比,分为 5 种不同程度的沙漠化土地因子,即重度沙漠化土地、中度沙漠化土地、轻度沙漠化土地、砂砾石裸地、沙漠(表 4-1-2)。

表 4-1-2 砂砾质荒漠化土地类型 5 种因子划分标准表

荒漠化因子	风积沙或平沙地 所占面积/%	植被覆盖面积 /%	地表景观特征
1 重度沙漠化土地 (Sh-3)	> 30	< 10	密集的流动性沙地(丘),地表基本没有植被生长
2 中度沙漠化土地 (Sh-2)	10 ~ 30	10 ~ 30	半固定沙地(丘)或半裸露砂砾石裸地成片分布,表土多有灌丛沙包,沿山间谷地或山间盆地分布,植被稀少
3 轻度沙漠化土地 (Sh-1)	< 10	> 30	主要为固定的灌丛沙包,草地、耕地中有小面积的风沙侵蚀堆积,很少有风沙流动;但一旦失去水分或植被保护,易形成风沙地
4 砂砾石裸地(Td-s)	> 50	< 20	山前砂砾质倾斜平原为主
5 沙漠(Td-sm)	> 80	< 10	大面积分布的风积沙地,常见有沙丘链、沙垄和新月形沙丘等

2. 盐碱质荒漠化土地类型

盐碱质荒漠化土地类型是根据盐斑所覆盖的面积百分比,结合植被生长的状况,分为 4 种不同程度的盐碱化土地因子(表 4-1-3)。

表 4-1-3 盐碱质荒漠化土地类型 4 种因子划分标准表

盐碱化土地因子		盐斑所占面积/%	植被覆盖度/%	地表景观特征
1	重度盐碱化土地 (Yz-3)	> 50	< 10	地表盐斑、盐霜大片分布,没有植物生长,有时有少量的骆驼刺、梭梭等
2	中度盐碱化土地 (Yz-2)	30 ~ 50	10 ~ 30	白色盐斑、盐霜普遍,有少量植物生长
3	轻度盐碱化土地 (Yz-1)	< 30	> 30	白色盐斑较少,多为盐结壳或盐化土,有较大面积的植物生长,在耕地和草地中可有次生盐化土
4	盐漠(Td-ym)	> 60	< 5	呈大面积的白色盐斑,无植物生长;干涸湖积层也划归此类

3. 其他土地类型

- 1)耕地因子包括棉田、稻田、玉米地、豆类及谷类种植地,少量休闲地和弃耕地。
- 2)草地因子包括芦苇、芨芨草、甘草、麻黄草、罗布麻及胖姑娘等草本植物。局部混生有稀疏的柳树、灰杨及沙拐枣等乔木和红柳、梭梭柴、骆驼刺等灌木丛。
- 3)林地因子包括灰杨、榆树、柳树、沙拐枣和大面积的红柳灌丛。林地中多混生有芦苇、芨芨草、麻黄草等草本植物。
- 4)沼泽地因子包括湿地、积水洼地和与沼泽地共生的草地。湿地和积水洼地内有时生长有少量灰杨和红柳,草地中可见有芦苇等生长。

二、荒漠化土地类型的遥感解译标志

工作区内 3 种土地类型 13 个因子在 ETM7 ETM4 ETM1 和 MSS7 MSS5 MSS4 两种合成图像上的遥感影像特征,是依据 13 个因子在图像上显示的色彩特征,结构特征和形态展布特征而建立的(表 4-1-4)。

表 4-1-4 青藏高原荒漠化土地类型 13 种因子影像特征表

因子类别		ETM7 ETM4 ETM1 合成 图像(时相:1975 ~ 2000 年)	MSS7 MSS5 MSS4 合成 图像(时相:1972 ~ 1977 年)	主要分布地区	图 版 号
砂砾质荒漠化土地类型	重度沙漠 化土地 (Sh-3)	较均匀的橘黄色—土黄色色彩。在发生中度和轻度盐碱化地段,可见到盐碱化显示的白色略带粉色的大小不等的不规则斑块	浅灰黄色—土黄色色彩。在发生中度和轻度盐碱化地段,呈白色—浅灰白色斑块	东卡错以南—威色—扎巴包一带,仲巴县—穷果乡,柯柯咀—牦牛山以南,阿克萨依湖—郭扎错一带	图版 4-1-1 图版 4-1-2
	中度沙漠 化土地 (Sh-2)	灰紫色、浅蓝灰色及粉黄色色彩。在发生盐碱化地段,盐碱化呈淡粉白色色彩斑块,含水程度较高地段,呈暗棕—浅棕黑色色彩	浅土黄色。生长的农作物或低矮灌木林,呈粉红色色彩,上面覆盖有浅土黄色的流沙	格仁错—申扎县—舍勒,纳木错南至西南地带的湖滨区,佩枯错以东—帮普一带,定结县—多庆错,石花山—布仑台一带	图版 4-1-3 图版 4-1-4

续表

因子类别		ETM7 ETM4 ETM1 合成 图像(时相:1975~2000年)	MSS7 MSS5 MSS4 合成 图像(时相:1972~1977年)	主要分布地区	图版号
砂砾质荒漠化土地类型	轻度沙漠化土地 (Sh-1)	浅紫略带黄色—土黄色色彩。在有盐碱化地段盐碱化呈白色不规则斑块;在农田和林地生长地段植被呈绿色,两者差异明显	以少量的流沙或固定的沙土分布为特征,呈浅土黄色。生长的植被呈褐色,盐碱化呈白色	达则错—昂孜错—格仁错一带以南至山前地带,布尔格勒—参柯勒—桑桑一带	图版 4-1-5 图版 4-1-6
	砂砾石裸地 (Td-s)	由于构成裸地的砂砾石、中粗砂等成分不同而显示出不同的色彩。藏北高原区呈土黄色略带棕色色彩。大部分山前洪积扇组成的砂砾石裸地呈棕黑色色彩。扇状形态特征明显	受基岩山区的岩性控制,不同部位色彩分布有一定差别,以浅黑色、浅黑略带棕色、土黄色等居多,其中的扇形水系、鬃状水系及似平行状水系显示清晰	普莫雍错—哲古错以南的山前地带,野牛沟口子—哈拉湖,乌兰包木—托秦湖—草库仑一带,茶卡镇—文巴地—切扎一带,羊湖—朝阳湖—多格错仁一带的山前地带等	图版 4-1-7 图版 4-1-8
	沙漠 (Td-sm)	大片连续分布的土黄色—深黄色色彩,常见链状沙丘、垄状沙丘和新月形沙丘,沙丘低缓、色彩均一	土黄色略带灰色色彩,分布均匀,具链状、垄状、新月形等纹形图案	花海子—哈腊托别,库木库勒湖周边地区。东柴山—塔尔丁一带,一里坪—东台吉乃尔湖—河西农场八连,沙珠玉—可林宝木一带,共和县城以南一带	图版 4-1-9 图版 4-1-10
盐碱质荒漠化土地类型	重度盐碱化土地 (Yz-3)	白色—浅灰白色,斑块状图案不明显,多显示为面状分布特征,与被覆盖地物的色彩差异显著	浅灰白—灰色,有沙棘、骆驼刺等灌木生长的地段,植被呈褐红色斑点	黄瓜梁以东—宗马海湖—一里坪—东台吉乃尔湖,西金乌兰湖以东—屏湖岭以西	图版 4-1-11 图版 4-1-12
	中度盐碱化土地 (Yz-2)	灰白色,盐斑大小不等,分布面积显著减少。与盐斑周围沙漠化地、草地等色彩差异较大	灰白色色彩,盐斑边界不明显,地表常呈盐壳。与被掩盖的沙土等色彩相混杂而总体显示色彩较暗	茶卡盐湖—共和县以西,五道梁以北—架子低山以南的中间地带,布查—肯底玛一带	图版 4-1-13 图版 4-1-14
	轻度盐碱化土地 (Yz-1)	少量的盐斑呈白色,多呈盐壳或盐土,与盐斑周围的沙土、潮土等呈现的较暗色彩差异较大,色调较浅,常分布于草地或耕地中	盐斑分布很少,多呈盐壳及盐土,但面积较小。色彩比沙土及农作物和草本植物等较浅;常与植被共生	扎日南木错—它日错—当惹雍错,色林错—崩错,吴李—那勒一带	图版 4-1-15 图版 4-1-16
	盐漠 (Td-ym)	大面积的白色色彩,当分布有灌草、沙土、湖泊时,表面色彩不均匀。干涸的盐土沉积呈棕褐色	大面积的白色—浅灰白色色彩,斑块状纹形图案,形态不规则。干涸的盐土沉积呈灰褐色	达布逊湖—诺木洪一带,冷湖镇—大盐滩一带	图版 4-1-17 图版 4-1-18
其他土地利用类型 (Td)	耕地 (Td-g)	深绿色—绿色色彩,含水程度较高时农作物呈绿色,湿土或潮土呈灰黑色。田埂呈现的棋盘格状纹形图案清晰。局部地区矩形图案不规则	褐棕色—深棕色色彩,色彩均一。棋盘格状的纹形图案特征明显	黄河、雅鲁藏布江、拉萨河等大河两侧的河漫滩、河流阶地上,柴达木盆地边缘,部分山前冲积扇的前缘,以及共和盆地、青海湖周边地区	图版 4-1-19 图版 4-1-20

续表

因子类别		ETM7 ETM4 ETM1 合成 图像(时相:1975~2000年)	MSS7 MSS5 MSS4 合成 图像(时相:1972~1977年)	主要分布地区	图版号
其他 土地利用 类型 (Td)	草地 (Td-c)	浅绿—草绿色色彩,多沿河 床分布,呈弯曲的细带状— 窄带状,纹形特征不明显	较均匀的褐红色色彩	格尔木市—大格勒一带,诺木 洪—夏日果勒,哈拉湖以东— 阿泽格一带,青海湖周边地区, 玛多县—石渠县一带,海晏 县—北山牧场以西至湟水河上 游地区	图版 4-1-21 图版 4-1-22
	林地 (Td-l)	均匀的绿色色彩特征明显, 表面具麻点状影纹	较均匀的褐红色色彩,麻 点状影纹密集	高原南部阿米里—达布布克一 带	图版 4-1-23 图版 4-1-24
	沼泽地 (Td-z)	较均匀的棕黑—浅黑色色 彩,大小不等的不规则面状 形态,在有芦苇和红柳灌丛 混生地段,色彩不均匀,植被 呈浅草绿色	不均匀的蓝黑色色彩,不 规则面状形态。沼泽地中 的芦苇、麻黄草、芨芨草等 呈深褐红色色彩,不均匀 分布于蓝黑色色彩背景上	采日玛—若尔盖县以北一带, 甘森—乌图美仁一带,西达布 逊湖—东达布逊湖一带,东湖 以东—长红山以北一带,黑沙 包—诺木洪—老五站以北至托 素湖以南地区	图版 4-1-25 图版 4-1-26

第二节 土地荒漠化现状遥感调查研究

在青藏高原 257.87 万 km² 范围内,首次利用陆地卫星 ETM 和 MSS 图像,对砂砾质荒漠化土地、盐碱质荒漠化土地和其他土地类型的 15 种评价因子进行遥感解译。由于两种图像具有较高的地面分辨率,图像清晰,色彩丰富,反差适中,从而完全满足了解译工作的需要。在本次遥感解译中共使用了 164 景 ETM 数据和 160 景 MSS 数据,其中 95 景 ETM 数据为 2002 年或 1999 年 7~9 月份获取,另外 69 景 ETM 数据为 1999 年~2002 年春季或冬季获取。区内三大土地类型中,沙漠化土地类型和地表水体、植被在夏季图像上显示的效果最好,影像逼真,特征清晰,使用的 164 景 ETM 数据时相有 56% 为 7~9 月份获取,较好地满足了这次解译对夏季时相的要求,所以三大荒漠化土地类型 15 种评价因子取得了较好的解译效果。

一、土地荒漠化的遥感解译

(一) 砂砾质荒漠化土地的遥感解译

砂砾质荒漠化土地的遥感解译包括沙漠化土地类型的解译和其他砂砾质荒漠化土地的解译。

1. 沙漠化土地类型解译

区内沙漠化土地主要分布在沙漠周边、山间盆地、河流谷地,少部分分布于山半坡及山麓边缘。重度、中度和轻度 3 种沙漠化土地评价因子在 2000 年 ETM7 ETM4 ETM1 合成图

像上的区分标准主要是沙漠化的图斑面积百分比不同。由于卫星图像的制作质量较好,大多数地区能按照不同沙漠化类型的遥感解译标志较准确地进行土地沙漠化因子的解译区分。部分地区由于区内沙漠化土地中发生有不同程度的盐碱化,使得3种沙漠化土地的评价因子在图像上的色彩变浅。另一方面,在有些含水率较高的地段,如阿牙克库木湖、纳木错湖、尕斯库勒湖等湖滨区,图像上的色彩反而加深。虽然这种图斑颜色特征不同,但实际的解译类型要根据图像上反映的地貌等综合影像特征来确定。分布于现代河床的部分沙漠化土地,以全新世冲积物(Qh^{al})为主,多沿河流两侧的河漫滩或河流阶地展布,如柴达木盆地边部的皮提勒克河、那陵郭勒河、格尔木河等河谷地区,在ETM7图像上由于在沙化地中有少量植物生长,使得影像色彩不均匀,分布的形态多呈不规则的带状或条带状。沙漠化土地类型3种因子解译图斑经实地验证,正确率在96%以上,充分表明利用2000年ETM7 ETM4 ETM1和1975年MSS7 MSS5 MSS4合成图像在区内对土地沙漠化程度的划分是准确的,解译效果较好。

在青藏高原西北部的喀尔果勒—阿湖一带,重—中度沙漠化土地中又混有重度盐碱化。重—中度沙漠化地段在ETM7 ETM4 ETM1合成图像上呈浅褐色略带黄色色彩,具有蜂窝状纹形特征。重度盐碱化土地则呈土白色色彩,不规则面状形态,两者的影像特征差异显而易见(图版4-2-1),解译效果很好。

在日喀则市边部开垦有较大面积的耕地,处于雅鲁藏布江中游的河流交汇区,由于河流两侧的河流阶地含水程度较高,农作物长势较好,在ETM7 ETM4 ETM1合成图像上呈深绿色色彩,棋盘格状影纹特征清晰。耕地中由于发生轻度沙漠化,影像上表现为深绿色色彩背景上显示出不规则的浅黄—黄白色色彩斑块,且斑块面积不足10%,解译为耕地中的轻度沙漠化(图版4-2-2)。

在青藏高原北部的古尔嘎一带,山间盆地内有较大面积的重度沙漠化土地分布,地表呈风蚀劣地,吹蚀后的流沙呈近东西走向,在ETM7 ETM4 ETM1合成图像上显示为清晰的黄白色色彩,指示风向由西向东吹蚀。风蚀劣地在合成图像上显示的瘤状或不规则状影纹特征非常明显(图版4-2-3)。这种瘤状影纹是风蚀劣地的典型特征,说明这种土地荒漠化的外营力主要是自然因素。

在青藏高原的东部湟水河流域南北两侧和甘肃西部临夏等地,分布一些由全新世黄土堆积(Qh^{loc})成的重度沙化地。以均一的黄色、红黄色、基本无层理、不含砂砾、粉砂的黄土为特征,地貌上形成平坦的黄土塬或黄土峁、黄土梁。在ETM7 ETM4 ETM1合成图像上这类重度沙化地显示出均一的黄色色彩,微起伏的黄土地貌特征清晰,解译效果很好。

2. 沙漠的解译

工作区内沙漠均为全新世的风积(Qh^{eol}),岩性成分较单一,以中细沙、粉细砂为主。分布相对集中,以柴达木盆地内的沙漠面积最大,主要分布于乌图美仁西边、库木库南东、都兰西侧、花海子东侧等地。此外,在青海湖北侧、共和盆地及贵南东侧等地也有小面积的分布。在ETM7 ETM4 ETM1合成图像上沙漠大片连续分布的土黄色—深黄色色彩,常见有链状沙丘、垄状沙丘和新月形沙丘,地形低缓,色彩均一,特征明显(图版4-2-4)。

3. 砂砾石裸地的遥感解译

区内的砂砾石裸地广泛分布于山间谷地、山前倾斜平原和盆地边缘,以晚更新世的冲洪积(Qp_3^{al-pl})和洪积(Qp_3^{pl})为主,一般岩性由砾石、砂、亚砂土、亚粘土等组成,其中以藏北高

原和青海西南山地为主,在柴达木盆地周边的疏勒南山、党河南山、宗务隆山和青海南山的山前倾斜带也有大面积分布。如柴达木盆地南缘的砂砾石裸地由冲洪积砂砾石堆积而成,岩性以细砾石为主,砂、亚砂土次之,砾石成分复杂。砂砾石裸地在地貌上多处于基岩与砾质带前缘的细土带之间,为倾斜平原区砾质带的主要岩性成分,在 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,砂砾石裸地主要以山前的地貌位置、缓倾斜地形、受山区基岩岩性的控制而呈现不同的色彩以及扇状水系和鬃状水系形式为特征(图版 4-2-5),解译效果很好。

分布于唐古拉山山脉的倾斜带内的砂砾石裸地,由于山上积雪融化后,融水由地表向下入渗,直到倾斜带的前缘溢出地表,形成地下水的溢出带。在溢出带上泉水水量较大的地段,多形成规模不等的泉集河。在不冻泉一带,这种泉集河在 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上呈深青色色彩,与砂砾石裸地呈现的棕褐色色彩差异非常明显(图版 4-2-6),界线清楚。

在西昆仑山北坡山麓前缘,分布有较大面积的第三系泥质砂岩,由于表层风化破碎严重,地貌上多呈低丘缓坡,山脊浑圆,有的见有羽状水系,分布密集。在叶城县南部的山麓前缘 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,这种由第三系泥质砂岩表面风化破碎形成的砂砾石裸地,显示出较均匀的黄色色彩,密集的羽状水系,开阔的 U 型河谷及宽缓的低丘地貌,特征非常清晰(图版 4-2-7)。

(二) 盐碱质荒漠化土地遥感解译

盐碱质荒漠化土地的遥感解译包括盐碱化土地类型的解译和盐漠的遥感解译。

1. 盐碱化土地类型解译

从反射光谱曲线图 4-2-1 可以看出,两种盐土虽然都属于荒地,但两种盐土的含盐量不同,导致它们的反射率有很大的差异。在可见光—近红外波段(0.45 ~ 0.89 μm),含盐

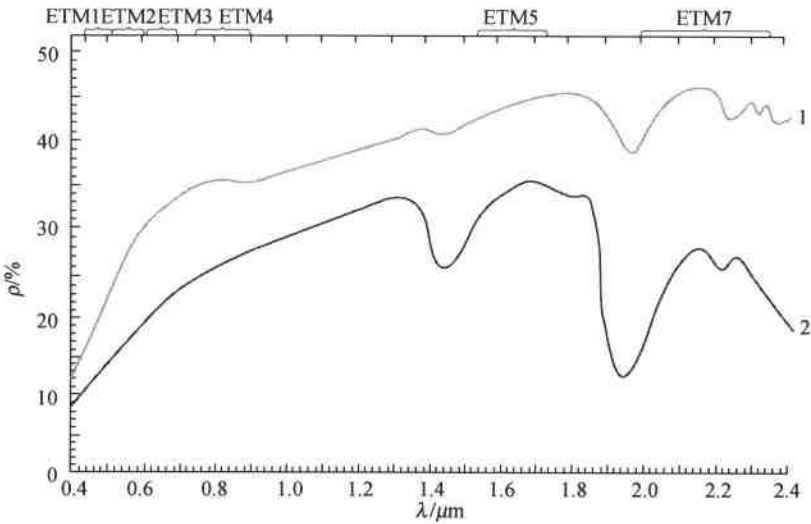


图 4-2-1 两种盐土的反射光谱曲线

(据中国科学院空间科学技术中心)

1—内陆盐土,地点沙雅县,测量日期 1981 年 8 月 17 日,荒地,土壤盐分 14.58%;2—苏打盐土,地点布尔津县,测量日期 1981 年 8 月 17 日,荒地,土壤盐分 8.243%

14.58%的内陆盐土比含盐8.24%的苏打盐土的反射率平均高出9个百分点。重度盐碱化土壤中的含盐量要比轻度盐碱化土壤的含盐量每百克土壤至少高0.7mg以上。研究结果有力地说明不同程度的盐碱化土壤在遥感图像上具有深浅不同的色彩特征。利用ETM7 ETM4 ETM1和MSS7 MSS5 MSS4合成图像对区内盐碱化土地类型的解译结果证实,3种盐碱化因子在图像上的色调深浅与它们的含盐量和反射率呈正相关关系。即重度盐碱化土地因子含盐量最高($>1.0\text{mg}/100\text{g}$),反射率也最高,图像色调最浅,呈浅青白色—白色色彩;中度盐碱化土地因子含盐量($0.3\sim1.0\text{mg}/100\text{g}$),反射率中等,图像色彩呈灰白色色彩;轻度盐碱化土地因子含盐量最低, $<0.3\text{mg}/100\text{g}$,反射率较低,图像上主体色调呈现原来耕地、草地的色调,但发生轻度盐碱化后色调变浅,可见分散的盐斑显示的不规则的斑块。

ETM7 ETM4 ETM1合成图像上盐碱化土地的色调深浅与反射率和含盐量呈正相关关系,在本次解译中得到了进一步的证实。在雅鲁藏布江中游,日喀则市以西至拉孜县城南,山间洼地中的湖泊东侧,出露较大面积的轻度沙漠化土地。沙漠化土地中有近东西向的冲沟内生长有灌草等植被。利用ETM7 ETM4 ETM1合成图像解译时发现,该地带沙漠化土地呈两种色彩,一种呈不均匀的白色夹杂浅粉白色,另一种呈不均匀的浅褐红色。经过与区域上盐碱化土地的色彩特征对比和分析,认为这种白色夹杂浅粉白色色彩是沙漠化土地又发生中度盐碱化的结果,而另一种呈不均匀的浅褐红色则是中度沙漠化土地的色彩显示(图版4-2-8)。据此,将该地带的白色夹杂浅粉白色色区解译为中度盐碱化土地,浅褐红色色区解译为中度沙漠化土地。在尼玛县至申扎县之间的山间盆地内有许多中、小湖泊分布,在湖滨地区分布有较大面积的草地和沙漠化土地。局部草地和沙漠化土地由于发生盐碱化,使得ETM7 ETM4 ETM1合成图像的色调发生了较大的变化。例如,在色林错湖边部,在中度沙漠化土地中发生有轻度盐碱化,而在草地的边部也存在有轻度盐碱化现象,图像上均呈现出白色略带粉色色彩,盐碱化明显地使光谱反射率增强,特征非常醒目(图版4-2-9)。

青藏高原内,尤其是藏北高原区,由于山间谷地及盆地内的湖泊众多,这些湖泊的湖水盐分含量普遍较高,因此在湖泊边部的沙漠化土地及灌丛草地内,盐碱化程度也普遍较高,有许多地段都达到了重度盐碱化程度。在羊湖至改则县以东一带,湖泊边部生长的草本植物由于盐碱化的影响,其绿色的饱和度已大大减弱。而在湖滨地区分布的大面积沙化地由于盐碱化严重表面都已变成了白色,但其中生长的少量植物,仍然可以看出在白色的背景上分布有淡草绿色的色彩(图版4-2-10)。在革吉县—改则县一带的山间洼地及河流边部的重度盐碱化土地,ETM7 ETM4 ETM1合成图像上的白色色彩特征非常明显(见图版4-2-10)。

综合本次对盐碱化土地3种因子的解译及野外验证结果,说明ETM7 ETM4 ETM1合成图像对盐碱化土地和盐碱化程度的识别是可靠的,特别是利用冬春季节的图像,解译效果更好。

2. 盐漠的解译效果

利用ETM图像对青藏高原盐碱质荒漠化的调查结果表明,青藏高原内不同程度的盐碱化土地类型分布面积较大,而其中的盐漠分布面积则较小。工作区内只在柴达木盆地内,由达布逊湖—格尔木河—柴达木河中上游地区和盆地西部的冷湖镇一带,有一定的分布,其他地区则很少。柴达木盆地内的盐漠绝大部分为全新世的化学堆积(Qh^{ch})和湖积—化学堆积(Qh^{lch}),主要分布于湖泊周边的湖滨地带。其成分以含粉砂质石盐、含砂、石盐壳及含砂石膏等而区别于盐碱化的土壤。盐漠在ETM7 ETM4 ETM1合成图像上的解译,主要是根

据大面积的均匀—较均匀的白色色彩,与其他地物进行区分。例如,在柴达木盆地的冷湖镇—大盐滩一带的盐漠,就呈现出均一的白色—浅青白色色彩,与绿色植物和沙漠化土地呈现的绿色和浅褐红色色彩迥然不同(见图版 4-1-17),该因子解译区分的效果很好。

(三) 其他土地类型的遥感解译

1. 植被类型解译

利用 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像对植被类型如耕地、草地、林地 3 种因子的解译,由于绿色植被在 ETM4 ($0.76 \sim 0.89\mu\text{m}$) 波段,反射率最高达到 70%,因此,在 ETM7 ETM4 ETM1 分别赋予红、绿、蓝的合成图像上,耕地、草地、林地 3 种评价因子(沼泽地与草地伴生)均表现出特有的绿色色彩。即使在分布较稀疏的山前倾斜平原区和盆地的戈壁滩上,沙漠化程度较重或冲积物占主导的区域内,其草地或林地分布面积只要达到 1 个像元 ($30 \times 30\text{m}$) 大小,图像上就能显示出鲜明的绿色色彩。例如在青藏高原北部的格尔木市以西一带,山前倾斜平原区前缘地表出露主要为第四系全新世冲洪积层 (Qh^{al-pl})。冲洪积分布区内的耕地和少量草地在 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上清晰可辨(图版 4-2-11)。

在藏西的阿里高原山地,日土—霍尔一带的山间地带,水系较发育,在多条河流的交汇区由于含水较丰富,多有灌丛草本植物生长,局部地段植物长势较好。在 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,灌丛草地呈草绿色色彩,而在积水洼地中生长的灌草丛则呈现深青色—青色色彩,与轻度沙漠化土地呈现的土黄略带粉色色彩差异非常明显(图版 4-2-12),草地的解译界线清楚,解译效果很好。

在青藏高原北部的阿牙克库木湖湖滨地区,生长有较茂密的灌草,但由于有轻度盐碱化,使草地的色彩发生了较大的变化。在 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,灌丛草地呈深绿色,发生轻度盐碱化的草地呈深绿带青色,沙漠化土地呈黄褐色色彩,水体呈黑色,特征明显,界线清晰(图版 4-2-13)。

2. 沼泽地的遥感解译

青藏高原上的沼泽地主要分布在柴达木盆地的中部和西部地区,在青海南部和西藏北部高原的湖滨地带以及山间盆地、汇水洼地等也有较多的分布。沼泽地内由于含水程度较高,多生长有灌丛植物,在 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上含水丰富的地段,多呈较深的色彩,在生长有灌草丛的地段,则呈现出草绿色色彩。例如在赤布张错—安多县一带的山间汇水洼地内,沼泽地呈较均匀的灰黑色色彩,灌草丛呈草绿色,河水则呈黑色(见图版 4-1-25)。在安多县城南,藏北高原的山间开阔地内,出露由多个积水洼地组成的沼泽地,沼泽地内积水洼地呈罗棋布,规模大小不等,浅蓝色色彩异常醒目(图版 4-2-14)。沼泽地中还生长有低矮的草本植物,ETM 图像上呈浅草绿色。在藏西的帕羊—岗久以西一带,当却藏布上游的流域内,有多条支流纵横交错,并分布着多个积水洼地,同时还生长有灌丛等植被,在 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,河流、积水洼地和灌丛等均显示的非常清晰(图版 4-2-15)。值得注意的是,该地带的沼泽地及部分河流和灌丛草地由于遭受了流沙的掩埋,使河流出现断流,积水洼地被流沙填充,图像上也显示得非常明显。

综上所述,利用 1975 年的 MSS 数据和 2000 年的 ETM 数据对区内砂砾质荒漠化、盐碱质荒漠化和其他土地类型的解译,均取得了很好的效果。2000 年 3 种土地类型的解译面积见表 4-2-1 和图 4-2-2。1975 年 3 种土地类型的解译面积见表 4-2-2 和图 4-2-3。

表 4-2-1 青藏高原 2000 年

政区名称		土地类型	工作区范围 内面积	砂 砾 质 荒					
				合 计		沙 漠 化			
						小 计		重 度 沙 漠 化 土 地 (Sh-3)	
				面 积	%				
新疆	克孜勒苏柯尔克孜自治州	25042.27	1435.94	5.73	1097.94	4.38	39.44	0.16	
	巴音郭楞蒙古自治州	138590.57	35002.78	25.25	19916.91	14.37	1972.76	1.42	
	喀什地区	41234.34	2028.87	4.92	1129.47	2.74	117.86	0.29	
	和田地区	98749.14	11447.91	11.59	5269.59	5.33	2249.31	2.28	
青海	海西蒙古族藏族自治州	328380.56	122029.17	37.16	63084.09	19.21	12769.92	3.89	
	海北藏族自治州	31303.51	2121.53	6.78	1631.03	5.21	444.58	1.42	
	西宁市	7398.44	0	0	0	0	0	0	
	海东地区	11198.85	118.50	1.06	103.35	0.92	4.45	0.04	
	海南藏族自治州	41050.46	9926.31	24.18	4043.31	9.85	714.35	1.74	
	黄南藏族自治州	18005.21	678.34	3.77	583.97	3.25	0	0	
	青海湖	4459.16	12.86	0.28	12.86	0.28	1.56	0.03	
	玉树藏族自治州	197105.29	46317.23	23.49	24336.27	12.34	261.87	0.13	
	果洛藏族自治州	76196.25	7379.64	9.68	5547.41	7.28	627.11	0.82	
	西藏	阿里地区	296049.15	72025.51	24.33	27811.91	9.40	5944.38	2.01
那曲地区		389978.57	127377.27	32.66	50869.30	13.04	2887.56	0.74	
日喀则地区		180700.91	37609.77	20.81	19694.33	10.90	2950.03	1.63	
拉萨市		29283.24	3141.01	10.73	1946.85	6.65	337.13	1.15	
山南地区		78941.61	4410.77	5.59	2101.15	2.66	119.84	0.15	
林芝地区		114560.35	1763.17	1.54	1696.63	1.48	0	0	
昌都地区		108250.78	3528.32	3.26	2288.63	2.11	75.62	0.07	
甘肃	酒泉市	22678.00	9766.70	43.06	7198.14	31.74	646.20	2.85	
	张掖市	15061.92	1245.22	8.26	55.62	0.37	0	0	
	武威市	2796.03	0	0	0	0	0	0	
	兰州市	74.44	0	0	0	0	0	0	
	甘南藏族自治州	35713.87	1747.84	4.89	1535.29	4.30	25.22	0.07	
四川	甘孜藏族自治州	146230.78	6025.21	4.1	3573.65	2.43	131.67	0.09	
	阿坝藏族羌族自治州	84454.12	2071.61	2.45	1921.45	2.27	0	0	
	成都市	2263.94	0	0	0	0	0	0	
	雅安市	853.21	0	0	0	0	0	0	
	凉山彝族自治州	18216.19	134.21	0.74	63.58	0.35	0	0	
云南	怒江傈僳族自治州	9631.11	24.98	0.26	0	0	0	0	
	迪庆藏族自治州	20486.49	361.62	1.76	325.94	1.59	0	0	
	丽江地区	3797.42	287.06	7.56	211.60	5.57	0	0	
青藏高原总计		2578736.18	510019.32	19.78	248050.26	9.62	32320.84	1.24	

土地荒漠化解译面积统计表

荒漠化土地类型									
土地类型				其他类型					
中度沙漠化土地 (Sh-2)		轻度沙漠化土地 (Sh-1)		小 计		砂砾石裸地 (Td-s)		沙漠 (Td-sm)	
面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
727.10	2.90	331.40	1.32	338.00	1.35	338.00	1.35	0	0
15221.54	10.98	2722.61	1.96	15085.87	10.89	13306.55	9.60	1779.32	1.28
845.45	2.05	166.16	0.40	899.4	2.18	899.4	2.18	0	0
2945.71	2.98	74.57	0.07	6178.32	6.25	6178.32	6.25	0	0
41937.25	12.77	8376.92	2.55	58945.08	17.95	32968.56	10.04	25976.52	7.91
293.39	0.94	893.06	2.85	490.50	1.57	490.50	1.57	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32.23	0.28	66.67	0.59	15.15	0.13	15.15	0.13	0	0
1849.34	4.51	1479.62	3.60	5883.00	14.33	3778.38	9.20	2104.62	5.13
236.86	1.132	347.11	1.93	94.37	0.52	94.37	0.52	0	0
5.05	0.11	6.25	0.14	0	0	0	0	0	0
16760.17	8.50	7314.23	3.71	21980.96	11.15	21980.96	11.15	0	0
2643.18	3.47	2277.12	2.99	1832.23	2.40	1832.23	2.40	0	0
18951.28	6.40	2916.25	0.99	44213.60	14.93	44213.60	14.93	0	0
31709.72	8.13	16272.02	4.17	76507.97	19.62	76507.97	19.62	0	0
13474.99	7.46	3269.31	1.81	17915.44	9.91	17915.44	9.91	0	0
1124.94	3.84	484.78	1.66	1194.16	4.08	1194.16	4.08	0	0
637.21	0.81	1344.10	1.70	2309.62	2.93	2309.62	2.93	0	0
656.64	0.57	1039.99	0.91	66.54	0.06	66.54	0.06	0	0
822.58	0.76	1390.43	1.28	1239.69	1.15	1239.69	1.15	0	0
6496.81	28.65	55.13	0.24	2568.56	11.32	2568.56	11.32	0	0
55.62	0.37	0	0	1189.60	7.90	1189.60	7.90	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
561.64	1.57	948.43	2.65	212.55	0.59	212.55	0.59	0	0
1707.06	1.16	1734.92	1.18	2451.56	1.67	2451.56	1.67	0	0
447.10	0.53	1474.35	1.74	150.16	0.17	150.16	0.17	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.14	0.26	15.44	0.08	70.63	0.38	70.63	0.38	0	0
0	0	0	0	24.98	0.26	24.98	0.26	0	0
183.87	0.89	142.07	0.69	35.68	0.17	35.68	0.17	0	0
128.85	3.38	82.75	2.18	75.46	1.98	75.46	0.93	0	0
160503.72	6.22	55225.70	2.11	261969.06	10.02	232108.60	8.88	29860.46	1.14

土地类型 政区名称		盐 碱 质 荒 漠 化			
		合 计		盐 碱 质	
		面积	%	小 计	
				面积	%
新疆	克孜勒苏柯尔克孜自治州	0	0	0	0
	巴音郭楞蒙古自治州	2940.12	2.12	2940.12	2.12
	喀什地区	0	0	0	0
	和田地区	1662.14	1.68	1662.14	1.68
青海	海西蒙古族藏族自治州	25221.78	7.68	18884.99	5.75
	海北藏族自治州	55.68	0.17	55.68	0.17
	西宁市	0	0	0	0
	海东地区	0	0	0	0
	海南藏族自治州	881.76	2.15	881.76	2.15
	黄南藏族自治州	0	0	0	0
	青海湖	126.01	2.82	126.01	2.82
	玉树藏族自治州	7127.88	3.62	7127.88	3.62
	果洛藏族自治州	295.88	0.39	295.88	0.39
西藏	阿里地区	16641.46	5.62	16641.46	5.62
	那曲地区	20447.33	5.24	20447.33	5.24
	日喀则地区	3430.68	1.89	3430.38	1.89
	拉萨市	120.03	0.41	120.03	0.41
	山南地区	239.84	0.31	239.84	0.31
	林芝地区	35.36	0	35.36	0.03
	昌都地区	0	0	0	0
甘肃	酒泉市	182.54	0.80	182.54	0.80
	张掖市	0	0	0	0
	武威市	0	0	0	0
	兰州市	0	0	0	0
	甘南藏族自治州	0	0	0	0
四川	甘孜藏族自治州	0	0	0	0
	阿坝藏族羌族自治州	175.23	0.20	175.23	0.20
	成都市	0	0	0	0
	雅安市	0	0	0	0
	凉山彝族自治州	39.36	0.21	39.36	0.21
云南	怒江傈僳族自治州	0	0	0	0
	迪庆藏族自治州	0	0	0	0
	丽江地区	0	0	0	0
青藏高原总计		79623.07	3.05	73286.28	2.80

续表

土 地 类 型							
土 地 类 型							
重度盐碱化土地 (Yz-3)		中度盐碱化土地 (Yz-2)		轻度盐碱化土地 (Yz-1)		盐漠 (Td-ym)	
面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
0	0	0	0	0	0	0	0
212.38	0.15	863.10	0.62	1864.64	1.34	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
532.88	0.54	893.40	0.90	235.86	0.24	0	0
6432.72	1.96	8402.15	2.56	4050.12	1.23	6336.79	1.93
44.83	0.14	10.85	0.03	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
74.13	0.18	659.40	1.61	148.23	0.36	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
67.40	1.51	58.61	1.31	0	0	0	0
1474.82	0.75	3944.99	2.00	1708.07	0.87	0	0
0	0	106.74	0.14	189.14	0.25	0	0
4517.28	1.53	4862.95	1.64	7261.23	2.45	0	0
3332.24	0.85	7632.57	1.96	9482.52	2.43	0	0
346.20	0.19	1288.93	0.71	1795.55	0.99	0	0
0	0	10.10	0.03	109.93	0.38	0	0
0	0	53.84	0.07	186.00	0.24	0	0
0	0	0	0	35.36	0.03	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
4.23	0.02	72.56	0.32	105.75	0.46	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	175.23	0.20	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1.65	0.01	37.71	0.21	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
17039.11	0.65	28861.83	1.10	27385.34	1.05	6336.79	0.24

政区名称 \ 土地类型		其 他					
		合 计		植 被			
				小 计		耕地 (Td-g)	
		面积	%	面积	%	面积	%
新疆	克孜勒苏柯尔克孜自治州	23606.33	94.27	127.30	0.51	0	0
	巴音郭楞蒙古自治州	100647.67	72.62	199.97	0.14	0	0
	喀什地区	39205.47	95.08	409.81	0.99	102.76	0.25
	和田地区	85639.09	86.72	130.90	0.13	8.68	0.00
青海	海西蒙古族藏族自治州	181129.61	55.16	7688.86	2.34	1013.73	0.31
	海北藏族自治州	29126.30	93.04	5882.42	18.8	2418.60	7.73
	西宁市	7398.44	100.0	712.83	9.64	638.98	8.64
	海东地区	11080.35	98.94	683.74	6.11	460.88	4.12
	海南藏族自治州	30242.39	73.67	4732.36	11.53	3887.98	9.47
	黄南藏族自治州	17326.87	96.23	1796.57	9.98	482.54	2.68
	青海湖	4320.29	96.89	49.60	1.12	21.67	0.49
	玉树藏族自治州	143660.18	72.88	8710.19	4.42	0	0
	果洛藏族自治州	68520.73	89.93	4083.69	5.36	10.90	0.01
西藏	阿里地区	207382.18	70.06	1857.38	0.63	0	0
	那曲地区	242153.97	62.10	8744.95	2.24	0	0
	日喀则地区	139660.46	77.30	4000.11	2.22	1534.47	0.85
	拉萨市	26022.20	88.86	280.67	0.96	102.73	0.35
	山南地区	74291.00	94.11	190.44	0.24	33.34	0.04
	林芝地区	112761.82	98.43	274.59	0.24	47.46	0.04
	昌都地区	104722.46	96.74	800.31	0.74	0	0
甘肃	酒泉市	12728.76	56.13	274.00	1.21	29.67	0.13
	张掖市	13816.70	91.73	839.45	5.57	625.69	4.15
	武威市	2796.03	100.0	9.47	0.34	9.47	0.34
	兰州市	74.44	100.0	0	0	0	0
	甘南藏族自治州	33966.03	95.11	808.54	2.26	0	0
四川	甘孜藏族自治州	140205.57	95.88	1535.27	1.05	0	0
	阿坝藏族羌族自治州	82207.28	97.34	552.60	0.65	161.26	0.19
	成都市	2263.94	100	0	0	0	0
	雅安市	853.21	100.0	0	0	0	0
	凉山彝族自治州	18042.62	99.05	0	0	0	0
云南	怒江傈僳族自治州	9606.13	99.74	0	0	0	0
	迪庆藏族自治州	20124.87	98.23	17.23	0.08	0	0
	丽江地区	3510.36	92.44	0	0	0	0
青藏高原总计		1989093.79	77.13	55393.23	2.15	11630.26	0.45

注:表中各行政区面积以 20 世纪 90 年代国家公布的数据为基础计算;“%”为工作区所涉及的政区内各个土地类型

土 地 类 型											
类 型				湿 地 类 型							
草地 (Td-c)		林地 (Td-l)		小 计		沼泽地 (Td-z)		地表水体 (Td-st)		基岩 (Br)	
面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
127.30	0.51	0	0	15.41	0.06	0	0	15.41	0.06	23463.62	93.70
199.97	0.14	0	0	1751.59	1.26	441.09	0.32	1310.50	0.95	98696.11	71.21
307.05	0.74	0	0	0	0	0	0	0	0	38795.66	94.09
122.22	0.12	0	0	394.84	0.40	0	0	394.84	0.40	85113.35	86.19
6675.13	2.03	0	0	14360.94	4.37	10615.28	3.23	3745.66	1.14	159079.81	48.44
3463.82	11.07	0	0	47.42	0.15	0	0	47.42	0.15	23196.46	74.10
73.85	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	6685.61	90.37
222.86	1.99	0	0	18.83	0.17	0	0	18.83	0.17	10377.78	92.67
844.38	2.06	0	0	363.43	0.89	0	0	363.43	0.89	25146.60	61.26
1314.03	7.30	0	0	8.51	0.05	0	0	8.51	0.05	16521.79	91.76
27.93	0.63	0	0	4269.61	95.75	18.39	0.41	4251.22	95.34	4319.21	96.86
8710.19	4.42	0	0	3163.31	1.60	317.22	0.16	2846.09	1.44	131786.68	66.86
4072.79	5.35	0	0	1781.43	2.34	129.55	0.17	1651.88	2.17	62655.61	82.23
1857.38	0.63	0	0	7121.47	2.41	547.94	0.19	6573.53	2.22	198403.33	67.02
8744.95	2.24	0	0	14906.83	3.83	1036.99	0.27	13869.84	3.56	218502.19	56.03
2465.64	1.37	0	0	3341.65	1.85	157.37	0.09	3184.28	1.76	132318.70	73.22
177.94	0.61	0	0	820.69	2.80	0	0	820.69	2.80	24920.84	85.10
157.10	0.20	0	0	1445.70	1.83	21.50	0.03	1424.20	1.80	72654.86	92.04
227.13	0.20	0	0	314.32	0.27	0	0	314.32	0.27	112172.91	97.92
800.31	0.74	0	0	68.78	0.06	0	0	68.78	0.06	103853.37	95.94
244.33	1.08	0	0	19.52	0.09	17.53	0.08	1.99	0.00	12435.24	54.83
213.76	1.42	0	0	3.57	0.02	0	0	3.57	0.02	12973.68	86.14
0	0	0	0	2.80	0.01	0	0	2.80	0.03	2783.76	99.56
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74.44	100.00
808.54	2.26	0	0	1066.16	2.99	1038.91	2.91	27.25	0.08	32091.33	89.86
1535.27	1.05	0	0	207.73	0.14	164.44	0.11	43.29	0.03	138462.57	94.69
391.34	0.46	0	0	2225.16	2.63	2187.38	2.59	37.78	0.04	79429.52	94.05
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2263.94	100.00
0	0	0	0	11.62	1.36	0	0	11.62	1.36	841.59	98.64
0	0	0	0	24.03	0.13	0	0	24.03	0.13	18018.59	98.92
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9606.13	99.74
17.23	0.08	0	0	6.68	0.03	0	0	6.68	0.03	20100.96	98.12
0	0	0	0	49.39	1.30	0	0	49.39	1.30	3460.97	91.14
43802.44	1.70	0	0	57811.44	2.24	16693.57	0.65	41117.87	1.59	1875889.12	72.74

面积与所在政区面积的百分比;面积单位为 km^2 。

表 4-2-2 青藏高原 1975 年

土地类型 政区名称		工作区范围 内面积	砂 砾 质 荒					
			合 计		沙 漠 化			
			面积	%	小 计		重度沙漠化土地 (Sh-3)	
					面积	%	面积	%
新疆	克孜勒苏柯尔克孜自治州	25042.27	1173.48	4.68	748.68	2.99	0	0
	巴音郭楞蒙古自治州	138590.57	35213.16	25.41	20491.92	14.78	165.62	0.12
	喀什地区	41234.34	1760.83	4.27	995.24	2.31	131.02	0.32
	和田地区	98749.14	11786.69	11.93	5137.93	5.20	230.17	0.23
青海	海西蒙古族藏族自治州	328380.56	116208.73	35.39	55118.12	16.78	3428.60	1.04
	海北藏族自治州	31303.51	5500.39	17.57	3288.81	10.51	299.54	0.96
	西宁市	7398.44	90.43	1.22	22.17	0.30	0	0
	海东地区	11198.85	474.80	4.24	280.22	2.50	0	0
	海南藏族自治州	41050.46	12754.02	31.07	4957.54	12.08	11.68	0.03
	黄南藏族自治州	18005.21	1621.31	9.0	1320.06	7.33	0	0
	青海湖	4459.16	106.88	2.40	103.60	2.32	65.55	1.47
	玉树藏族自治州	197105.29	35935.64	18.23	20968.69	10.64	313.85	0.16
	果洛藏族自治州	76196.25	5059.04	6.64	2783.74	3.65	66.76	0.09
	阿里地区	296049.15	67083.44	22.66	27033.38	9.13	745.23	0.25
西藏	那曲地区	389978.57	114762.76	29.43	47942.85	12.30	432.27	0.11
	日喀则地区	180700.91	32135.06	17.78	18104.90	10.02	1776.38	0.98
	拉萨市	29283.24	2219.94	7.58	1522.62	5.2	0	0
	山南地区	78941.61	3977.26	5.04	3244.66	4.11	7.29	0.01
	林芝地区	114560.35	1678.95	1.47	1631.65	1.43	0	0
	昌都地区	108250.78	3916.82	3.62	2272.74	2.1	0	0
甘肃	酒泉市	22678.00	9416.40	41.52	1675.66	7.39	62.32	0.27
	张掖市	15061.92	1476.96	9.80	145.17	0.96	0	0
	武威市	2796.03	0	0	0	0	0	0
	兰州市	74.44	0	0	0	0	0	0
	甘南藏族自治州	35713.87	1671.69	4.68	1095.02	3.06	16.09	0.05
四川	甘孜藏族自治州	146230.78	5513.93	3.77	3443.76	2.35	0	0
	阿坝藏族羌族自治州	84454.12	2132.10	2.52	2055.70	2.43	0	0
	成都市	2263.94	0	0	0	0	0	0
	雅安市	853.21	0	0	0	0	0	0
	凉山彝族自治州	18216.19	154.30	0.85	147.71	0.81	0	0
云南	怒江傈僳族自治州	9631.11	24.42	0.25	24.42	0.25	0	0
	迪庆藏族自治州	20486.49	320.79	1.56	296.76	1.45	0	0
	丽江地区	3797.42	228.58	2.83	197.25	2.44	0	0
青藏高原总计		2578736.18	474398.80	18.39	227050.97	8.80	7752.37	0.30

土地荒漠化解译面积统计表

荒漠化土地类型									
土地类型				其他类型					
中度沙漠化土地 (Sh-2)		轻度沙漠化土地 (Sh-1)		小 计		砂砾石裸地 (Td-s)		沙漠 (Td-sm)	
面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
467.01	1.86	281.67	1.12	424.80	1.69	424.80	1.69	0	0
13156.83	9.49	7169.47	5.20	14721.24	10.62	13160.61	9.49	1560.63	1.13
701.05	1.70	163.17	0.39	765.59	1.85	765.59	1.85	0	0
1689.26	1.71	3218.50	3.26	6648.76	6.73	6648.76	6.73	0	0
25690.77	7.82	25998.75	7.92	61090.61	18.60	49977.45	15.22	11113.16	3.38
72.18	0.23	2917.09	9.32	2211.58	7.06	2211.58	7.06	0	0
0	0	22.17	0.30	68.26	0.92	68.26	0.92	0	0
3.05	0.03	277.17	2.47	194.58	1.74	194.58	1.74	0	0
726.76	1.77	4219.10	10.28	7796.48	18.99	4812.92	11.72	2983.56	7.27
21.13	0.12	1298.93	7.21	301.25	1.67	301.25	1.67	0	0
7.20	0.16	30.85	0.69	3.28	0.07	3.28	0.07	0	0
6564.33	3.33	14090.51	7.15	14966.95	7.59	14966.95	7.59	0	0
620.83	0.81	2096.15	2.75	2275.30	2.99	1955.23	2.57	320.07	0.42
14442.49	4.88	11845.66	4.00	40050.06	13.53	40050.06	13.53	0	0
22453.53	5.76	25057.05	6.43	66819.91	17.13	66819.91	17.13	0	0
8147.03	4.51	8181.49	4.53	14030.16	7.76	14030.16	7.76	0	0
576.85	1.97	945.77	3.23	697.32	2.38	697.32	2.38	0	0
433.15	0.55	2804.22	3.55	732.60	0.93	732.60	0.93	0	0
213.16	0.19	1418.49	1.24	47.30	0.04	47.30	0.04	0	0
515.59	0.48	1757.15	1.62	1644.08	1.52	1644.08	1.52	0	0
954.90	4.21	658.44	2.90	7740.74	34.13	7740.74	34.13	0	0
0	0	145.17	0.96	1331.79	8.84	1331.79	8.84	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
365.38	1.02	713.55	2.00	576.67	1.61	576.67	1.61	0	0
515.12	0.35	2928.64	2.00	2070.17	1.42	2070.17	1.42	0	0
543.41	0.64	1512.29	1.79	76.40	0.09	76.40	0.09	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	147.71	0.81	6.59	0.03	6.59	0.03	0	0
0	0	24.42	0.25	0	0	0	0	0	0
28.98	0.14	267.78	1.31	24.03	0.12	24.03	0.12	0	0
10.54	0.13	186.71	2.31	31.33	0.39	31.33	0.39	0	0
98937.40	3.83	120378.07	4.67	247347.83	9.59	231370.41	8.97	15977.42	0.62

土地类型 政区名称		盐 碱 质 荒 漠 化			
		合 计		盐 碱 化	
		面积	%	小 计	
				面积	%
新疆	克孜勒苏柯尔克孜自治州	358.61	1.43	358.61	1.43
	巴音郭楞蒙古自治州	2444.76	1.76	2444.76	1.76
	喀什地区	0	0	0	0
	和田地区	1303.13	1.32	1303.81	1.32
青海	海西蒙古族藏族自治州	33640.4	10.24	26093.85	7.94
	海北藏族自治州	9.98	0.03	9.98	0.03
	西宁市	0	0	0	0
	海东地区	0	0	0	0
	海南藏族自治州	354.73	0.86	354.73	0.86
	黄南藏族自治州	0	0	0	0
	青海湖	79.64	1.79	79.64	1.79
	玉树藏族自治州	10323.90	4.38	10323.90	4.38
	果洛藏族自治州	2593.77	3.41	2593.77	3.41
	阿里地区	16214.88	5.48	16214.88	5.48
	那曲地区	23092.11	5.92	23092.11	5.92
西藏	日喀则地区	4591.33	2.54	4591.33	2.54
	拉萨市	107.43	0.37	107.43	0.37
	山南地区	229.14	0.29	229.14	0.29
	林芝地区	39.70	0.04	39.70	0.04
	昌都地区	4.04	0.00	4.04	0.00
	酒泉市	700.77	3.09	700.77	3.09
	张掖市	0	0	0	0
甘肃	武威市	0	0	0	0
	兰州市	0	0	0	0
	甘南藏族自治州	100.54	0	100.54	0.28
	甘孜藏族自治州	0	0	0	0
	阿坝藏族羌族自治州	221.51	0.26	221.51	0.26
四川	成都市	0	0	0	0
	雅安市	0	0	0	0
	凉山彝族自治州	7.41	0.04	7.41	0.04
	怒江傈僳族自治州	0	0	0	0
云南	迪庆藏族自治州	0	0	0	0
	丽江地区	0	0	0	0
	青藏高原总计	96418.46	3.74	88871.91	3.40

土 地 类 型

土 地 类 型

重度盐碱化土地 (Yz-3)		中度盐碱化土地 (Yz-2)		轻度盐碱化土地 (Yz-1)		盐漠 (Td-ym)	
面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
0	0	38.85	0.15	319.76	1.27	0	0
309.62	0.22	836.48	0.60	1298.66	0.93	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
134.13	0.13	491.94	0.50	677.74	0.68	0	0
4842.83	1.47	9790.85	2.98	11460.17	3.49	7546.55	2.30
0	0	9.98	0.03	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
132.90	0.32	16.49	0.04	205.34	0.50	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	79.64	1.79	0	0	0	0
620.20	0.31	2371.54	1.20	7332.16	3.72	0	0
0	0	523.64	0.69	2070.13	2.72	0	0
4016.52	1.36	3713.59	1.25	8484.77	2.87	0	0
2319.29	0.59	8000.70	2.05	12772.12	3.28	0	0
329.07	0.18	882.67	0.49	3379.59	1.87	0	0
0	0	0	0	107.43	0.37	0	0
0	0	14.13	0.02	215.01	0.27	0	0
0	0	31.90	0.03	7.80	0.01	0	0
0	0	4.04	0.00	0	0	0	0
26.69	0.12	351.92	1.55	322.16	1.42	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	100.54	0.28	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	45.97	0.05	175.54	0.21	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	7.41	0.04	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
12731.25	0.49	27204.33	1.05	48936.33	1.89	7546.55	0.29

政区名称 \ 土地类型		其 他					
		合 计		植 被			
				小 计		耕地 (Td-g)	
		面积	%	面积	%	面积	%
新疆	克孜勒苏柯尔克孜自治州	23510.18	93.88	0	0	0	0
	巴音郭楞蒙古自治州	100932.65	72.82	757.32	0.54	15.34	0.01
	喀什地区	39473.51	95.73	426.59	1.03	75.41	0.18
	和田地区	85659.32	86.74	19.90	0.02	8.57	0.01
青海	海西蒙古族藏族自治州	178531.46	54.38	9469.20	2.88	1307.48	0.40
	海北藏族自治州	25793.14	82.39	2511.73	8.02	823.59	2.63
	西宁市	7308.01	98.77	621.19	8.40	592.70	8.01
	海东地区	10724.05	95.76	301.11	2.68	280.32	2.50
	海南藏族自治州	27941.71	68.07	2319.05	5.65	1110.80	2.71
	黄南藏族自治州	16383.90	90.99	988.23	5.48	11.54	0.06
	青海湖	4272.64	95.82	20.28	0.45	1.39	0.03
	玉树藏族自治州	150845.75	77.96	14347.37	7.28	0.66	0.00
	果洛藏族自治州	68543.44	89.96	4188.02	5.50	0	0
	阿里地区	212750.83	71.86	3201.67	1.08	0	0
西藏	那曲地区	252123.67	64.64	14465.20	3.71	0	0
	日喀则地区	143974.52	79.66	4785.25	2.63	1282.99	0.71
	拉萨市	26955.87	92.06	1137.32	3.88	318.89	1.09
	山南地区	74735.21	94.67	524.33	0.66	86.73	0.11
	林芝地区	112841.70	98.50	263.21	0.23	108.43	0.09
	昌都地区	104329.92	96.38	300.59	0.28	0	0
	日喀则地区	143974.52	79.66	4785.25	2.63	1282.99	0.71
甘肃	酒泉市	12560.83	55.38	201.85	0.89	21.60	0.09
	张掖市	13584.96	90.19	615.92	4.09	367.84	2.44
	武威市	2796.03	100	9.66	0.34	9.66	0.34
	兰州市	74.44	98.72	0	0	29.68	0
	甘南藏族自治州	33941.64	95.04	619.88	1.73	0	0
四川	甘孜藏族自治州	140716.85	96.23	1987.37	1.34	0	0
	阿坝藏族羌族自治州	82100.51	97.21	337.87	0.40	131.62	0.15
	成都市	2263.94	100	0	0	0	0
	雅安市	853.21	100	0	0	0	0
	凉山彝族自治州	18054.48	99.11	8.93	0.05	0	0
云南	怒江傈僳族自治州	9606.69	99.75	0	0	0	0
	迪庆藏族自治州	20165.70	98.43	35.48	0.17	0	0
	丽江地区	3568.84	93.98	52.81	1.39	24.60	0.65
青藏高原总计		2007918.92	77.86	64517.33	2.50	6580.16	0.26

注：表中各行政区面积以 20 世纪 90 年代国家公布的数据为基础计算；“%”为工作区所涉及的行政区内各个土地类型

续表

土 地 类 型											
类 型				湿 地 类 型							
草地 (Td-c)		林地 (Td-l)		小 计		沼泽地 (Td-z)		地表水体 (Td-st)		基岩 (Br)	
面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
0	0	0	0	15.41	0.06	0	0	15.41	0.06	23494.77	93.82
741.98	0.53	0	0	1331.77	0.96	21.27	0.02	1310.50	0.94	98843.56	71.32
351.18	0.85	0	0	0	0	0	0	0	0	39046.92	94.69
11.33	0.01	0	0	437.71	0.44	42.87	0.04	394.84	0.40	85201.71	86.28
8161.72	2.49	0	0	9918.85	3.02	6173.19	1.88	3745.66	1.14	159143.41	48.46
1688.14	5.39	0	0	47.42	0.15	0	0	47.42	0.15	23233.99	74.22
28.49	0.38	0	0	0	0	0	0	0	0	6686.82	90.38
20.79	0.19	0	0	18.83	0.17	0	0	18.83	0.17	10404.11	92.90
1208.25	2.94	0	0	376.89	0.92	13.46	0.03	363.43	0.88	25245.77	61.50
976.69	5.42	0	0	8.51	0.05	0	0	8.51	0.05	15387.16	85.46
18.89	0.42	0	0	4251.22	95.34	0	0	4251.22	95.34	1.14	0.03
14346.71	7.28	0	0	2914.52	2.90	68.43	0.03	2846.09	1.45	133583.86	67.78
4188.02	5.50	0	0	1671.92	2.22	20.04	0.03	1651.88	2.19	62683.5	82.27
3201.67	1.08	0	0	7088.19	2.39	514.66	0.17	6573.53	2.22	202460.97	68.39
14465.20	3.71	0	0	14437.35	3.70	567.51	0.14	13869.84	3.56	223221.12	57.24
3478.16	1.92	24.10	0.01	3287.63	1.82	103.35	0.06	3184.28	1.76	135901.64	75.21
818.43	2.79	0	0	820.69	2.81	0	0	820.69	2.81	24997.86	85.36
437.60	0.55	0	0	1556.01	1.97	131.81	0.17	1424.20	1.80	72654.87	92.04
154.78	0.14	0	0	314.32	0.27	0	0	314.32	0.27	112264.17	97.99
300.59	0.28	0	0	68.78	0.06	0	0	68.78	0.06	103960.55	96.04
180.25	0.79	0	0	1.99	0.01	0	0	1.99	0.01	12356.99	54.48
248.08	1.65	0	0	3.57	0.02	0	0	3.57	0.02	12965.47	86.08
0	0	0	0	2.80	0.01	0	0	2.80	0.01	2783.57	99.55
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74.44	100
597.26	1.67	22.62	0.06	1143.34	3.20	1116.09	3.13	27.25	0.07	32178.42	90.10
1987.37	1.36	0	0	221.49	0.15	178.20	0.12	43.29	0.03	138507.99	94.72
193.01	0.23	13.24	0.02	2577.69	3.05	2539.91	3.01	37.78	0.04	79184.95	93.76
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2263.94	100
0	0	0	0	11.62	1.36	0	0	11.62	1.36	841.59	98.64
8.93	0.05	0	0	24.03	0.13	0	0	24.03	0.13	18021.52	98.93
0	0	0	0	0		0	0	0	0	9606.69	99.75
35.48	0.17	0	0	6.68	0.03	0	0	6.68	0.03	20123.54	98.23
28.21	0.74	0	0	49.39	1.30	0	0	49.39	1.30	3466.64	91.29
57877.21	2.24	59.96	0.002	52608.63	2.04	11490.80	0.44	41117.83	1.59	1890763.96	73.32

面积与所在政区面积的百分比;面积单位为 km²。

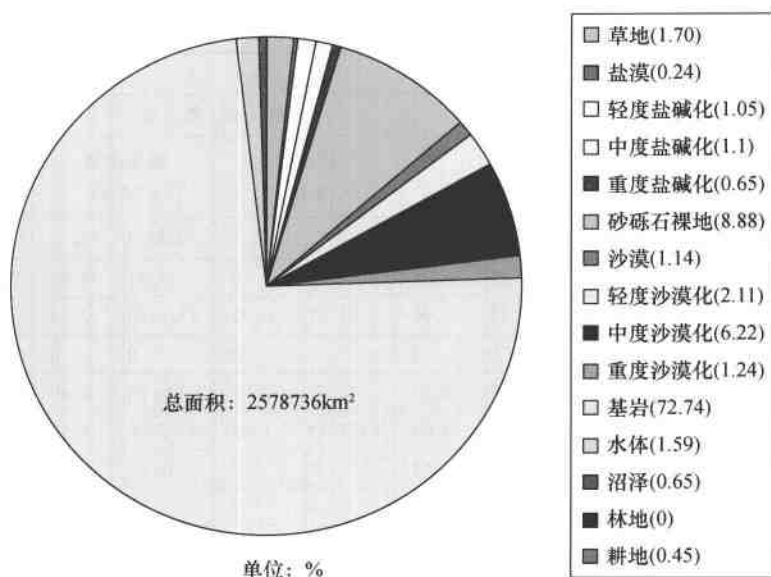


图 4-2-2 青藏高原 21 世纪初期荒漠化土地类型遥感解译分布面积分割图

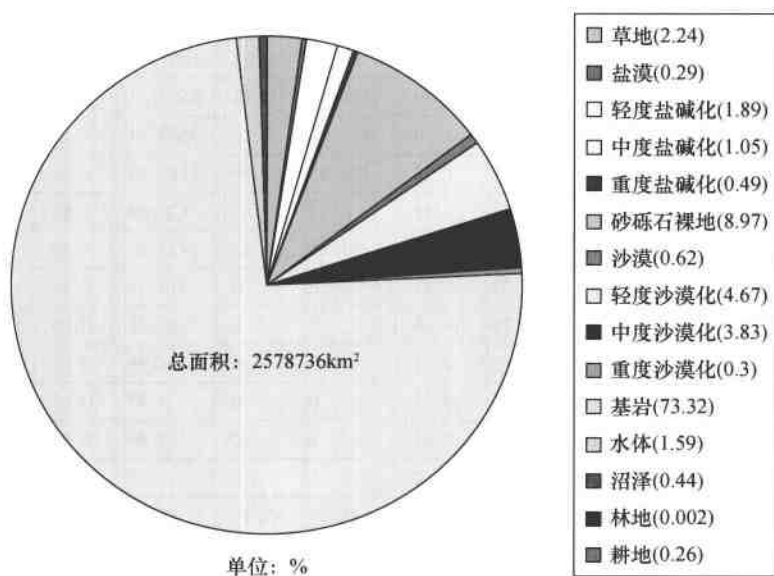


图 4-2-3 青藏高原 20 世纪 70 年代荒漠化土地类型遥感解译分布面积分割图

二、土地荒漠化现状及分布特征

(一) 土地荒漠化现状

青藏高原地域辽阔,各自然地域系统的人为活动影响因素差异较大,受自然环境、气候

变化等多种因素的影响,高原土地荒漠化区域分布差异明显。综合此次对全区荒漠化土地遥感调查的结果,将全区 2000 年荒漠化土地的分布表示如图 4-2-4。将 1975 年荒漠化土地的分布表示如图 4-2-5。在对 2000 年全区荒漠化调查数据进行对比分析的基础上,将 33 个地、州、市荒漠化土地分布面积的百分比由大到小排列于表 4-2-3。

表 4-2-3 青藏高原 33 个地、州、市荒漠化土地分布面积排序表

序号	地、州、市名称	工作区范围内面积/km ²	荒漠化土地面积/km ²	荒漠化面积所占比例/%	序号	地、州、市名称	工作区范围内面积/km ²	荒漠化土地面积/km ²	荒漠化面积所占比例/%
1	海西蒙古族藏族自治州	328380.56	147250.95	44.84	18	甘南藏族自治州	35713.87	1747.84	4.89
2	酒泉市	22678.00	9949.24	43.87	19	甘孜藏族自治州	146230.78	6025.21	4.12
3	那曲地区	389978.57	147824.60	37.90	20	黄南藏族自治州	18005.21	678.34	3.77
4	阿里地区	296049.15	88666.97	29.95	21	昌都地区	108250.78	3528.32	3.26
5	巴音郭楞蒙古自治州	138590.57	37942.90	27.38	22	青海湖	4459.16	138.87	3.10
6	玉树藏族自治州	197105.29	53445.11	27.11	23	阿坝藏族羌族自治州	84454.12	2246.84	2.66
7	海南藏族自治州	41050.46	10808.67	26.33	24	迪庆藏族自治州	20486.49	361.62	1.77
8	日喀则地区	180700.91	41040.45	22.70	25	林芝地区	114560.35	1798.53	1.54
9	和田地区	98749.14	13110.05	13.28	26	海东地区	11198.85	118.50	1.06
10	拉萨市	26283.24	3261.04	11.14	27	凉山族自治州	18216.19	173.57	0.95
11	果洛藏族自治州	76196.25	7675.52	10.07	28	怒江傈僳族自治州	9631.11	24.98	0.26
12	张掖市	15061.92	1245.22	8.27	29	兰州市	74.44	0.00	0.00
13	丽江地区	3797.42	287.06	7.56	30	西宁市	7398.44	0.00	0.00
14	海北藏族自治州	31303.51	2177.21	6.95	31	武威市	2796.03	0.00	0.00
15	山南地区	78941.61	4650.61	5.90	32	雅安市	853.21	0.00	0.00
16	克孜勒苏柯尔克孜自治州	25042.27	1435.94	5.73	33	成都市	2263.94	0.00	0.00
17	喀什地区	41234.34	2028.87	4.92					

注:工作区各行政区面积以 20 世纪 90 年代国家公布的数据为基础计算。

(二)土地荒漠化的分布特征

根据全区土地荒漠化的调查结果及表 4-2-3 的统计数据,可以初步总结出青藏高原荒

漠化土地有以下 5 个方面的分布规律:

1. 青藏高原的荒漠化土地主要分布于中部—东北部的西藏区和青海省

按工作区范围所包括的 6 个省区的荒漠化土地面积所占各自省区面积的百分比,由大到小的排列顺序是:青海省、西藏自治区、新疆维吾尔自治区、甘肃省、四川省、云南省(表 4-2-4)。

表 4-2-4 青藏高原 6 省区 3 种土地类型分布面积统计表

土地类型 省(区)	工作区范围 内总面积/ km ²	荒漠化土地类型						其他土地类型(耕地、 林地、草地、沼泽地、 地表水体、基岩)	
		面积/km ²	%	砂砾质荒漠化土地		盐碱质荒漠化土地			
				面积/km ²	%	面积/km ²	%	面积/km ²	%
青海省	715097.73	222292.57	31.09	188583.58	26.37	33708.99	4.71	492805.16	68.91
西藏自治区	1197764.62	290770.52	24.28	249855.82	20.86	40914.7	3.42	906994.09	75.72
新疆维吾尔自治区	303616.21	54517.76	17.96	49915.5	16.44	4602.26	1.52	249098.56	82.04
甘肃省	76324.26	12956.03	16.97	12773.49	16.74	182.54	0.24	63381.96	83.04
四川省	252018.34	8445.62	3.34	8231.03	3.27	214.59	0.09	243572.62	96.65
云南省	33915.02	673.66	1.99	673.66	1.99	0	0	33241.36	98.01
总计	2578736.18	589656.12	22.87	510033.08	19.78	79623.07	3.09	1989093.79	77.13

2. 荒漠化土地以砂砾质成分为主

区内砂砾质荒漠化和盐碱质荒漠化 2 种荒漠化土地类型以砂砾质荒漠化土地为主,总面积 51 万 km²,占全区荒漠化土地总面积的 86.50%,而盐碱质荒漠化土地近 8 万 km²,占全区荒漠化土地总面积的 13.50%。可见,青藏高原荒漠化治理的主要任务是砂砾质荒漠化的治理,其中主要是沙漠化土地的治理,但也不能忽视盐碱质荒漠化的综合防治。

3. 砂砾质荒漠化以砂、砾石裸地和沙漠分布占主导

青藏高原砂砾质荒漠化土地中包括沙漠化土地和砂砾石裸地及沙漠三种类型。砂砾质荒漠化土地的分布面积以砂砾石裸地和沙漠类型略大于沙漠化土地类型为特征,其中沙漠化土地类型近 24.81 万 km²,砂砾石裸地和沙漠合计 26.20 万 km²。这 2 种砂砾质荒漠化类型的分布现状反映了青藏高原荒漠化仍然以自然因素形成为主,而人为因素导致的土地荒漠化占次要地位。

4. 沙漠化土地中以中度沙漠化土地为主,重度沙漠化土地和轻度沙漠化土地分布面积较小

全区 24.81 万 km² 的沙漠化土地中,有中度沙化土地 16.05 万 km²,占沙漠化土地的 64.69%。轻度沙化地 5.52 万 km²,占 22.25%。重度沙化地 3.23 万 km²,占 13.02%。可见区内的沙漠化土地以中度沙化地为主,从而为该区沙漠化的治理确定了工作的重点。

5. 盐碱质荒漠化主要分布于东北部

盐碱质荒漠化土地含盐碱化土地类型和盐漠 2 类。其中盐碱化土地类型分布面积 7.33 万 km²,盐漠 0.63 万 km²。可以看出青藏高原盐碱质荒漠化土地以盐碱化土地类型为

主,而盐漠分布面积较小。工作区内盐碱质荒漠化的另一特点是重度盐碱化土地和盐漠主要分布在青藏高原的东北部柴达木盆地内,而高原大部分地区以中度盐碱化和轻度盐碱化土地分布为主。高原内盐碱质荒漠化土地分布的不均衡性,主要是由于高原的地形和基岩岩性中的含盐量不同所致,人为的不合理开发利用水资源也有一定的影响,但不是决定的因素。青藏高原盐碱化土地几乎绝大部分都分布于山间谷地、湖滨地区、河流阶地等地形低洼或地形平坦处。柴达木盆地内之所以盐碱化程度较重并有盐漠分布,除盆地周边的基岩岩性成分含盐量较高以外,地形上属于封闭的内陆盆地是一个非常重要的原因。

第三节 土地荒漠化的演变研究

一、土地荒漠化演变遥感监测

区内利用 1975 年的 MSS 图像和 2000 年的 ETM 图像,对 3 大土地类型 15 种评价因子的解译结果表明,3 大土地类型的 15 种因子其分布面积与 70 年代相比均发生了一定的变化。图 4-3-1 和图 4-3-2 示出了工作区 30 年来沙漠化土地和盐碱化土地变化的程度及范围。表 4-3-1 是对荒漠化土地及非荒漠化土地变化面积的统计结果。工作区土地荒漠化变化的总体趋势是,砂砾质荒漠化土地有不同程度的增加,而盐碱质荒漠化土地和其他类型土地面积有一定数量的减少。

从表 4-3-1 的统计对比可以看出,从 1975 年到 2000 年,区内沙漠化土地面积共增加了 20969.16km^2 ,增长了 9.23%,而盐碱化土地面积则减少了 15585.63km^2 ,减少了 17.54% (图 4-3-3)。其中重度荒漠化土地面积增加了 24568.47km^2 ,增长了 316.92%;中度沙漠化土地面积增加了 61580.05km^2 ,增长了 62.24%;轻度沙漠化土地减少了 65152.36km^2 ,减少率为 54.12%。盐碱化土地中的重度盐碱化土地和中度盐碱化土地均有所增加,两种合计增加的面积为 5965.34km^2 ,平均增长率为 14.94%,轻度盐碱化土地面积减少了 21550.97km^2 ,减少率为 44.04% (图 4-3-4)。由此可见,工作区近 30 年来变化最突出的问题就是土地沙漠化问题。例如:在柴达木盆地内,70 年代有沙漠化土地 5.512万 km^2 ,占盆地总面积的 16.78%。近 30 年来,由于过度的开垦和砍樵伐木,防风固沙植被遭到破坏,因而加剧了风沙活动,出现了流沙入侵和土地沙漠化程度加重的现象。目前许多地段已形成了流动沙丘和灌丛沙丘。到 21 世纪初期,沙漠化土地增加到 6.308万 km^2 ,增长了 7960km^2 ,沙漠化土地面积已占盆地总面积的 19.21%。

(一) 土地沙漠化演变的遥感图像特征

区内土地沙漠化的不断发展,主要表现在两个方面,一是沙漠化土地面积不断增加,二是沙漠化程度在加重,即沙漠化土地的范围和土地沙漠化程度两种情况都在发生变化。这两种变化在 1975 年 MSS 图像和 2000 年 ETM 图像上通过解译对比,可以准确地圈定沙漠化土地的变化范围和沙漠化程度变化的实际界线。

由表 4-3-1 可以看出,工作区 1975~2000 年无论重度沙漠化还是轻度沙漠化土地面积都有不同程度的增加,增加的沙漠化土地主要是自然绿洲和人工绿洲中一部分土地变成了

表 4-3-1 青藏高原 1975 ~ 2000 年荒漠化土地面积变化表

土地类型			1975 年		2000 年		变化情况	
			面积/km ²	占全区总面积 比例/%	面积/km ²	占全区总面积 比例/%	面积/km ²	变化率/%
砂砾质荒漠化土地	沙漠化土地	重度沙漠化土地	7752.37	0.30	32320.84	1.25	+24568.47	+316.92
		中度沙漠化土地	98937.40	3.83	160517.45	6.22	+61580.05	+62.24
		轻度沙漠化土地	120378.06	4.67	55225.70	2.14	-65152.36	-54.12
		小计	227067.83	8.80	248063.99	9.61	+20969.16	+9.23
	其他	沙漠	15977.41	0.62	29860.46	1.16	+13883.05	+86.89
		砂砾石裸地	231370.43	8.97	232108.60	9.00	+738.17	+0.32
		小计	247347.84	9.59	261969.06	10.16	+14621.22	+5.91
	合 计		474415.67	18.39	510033.05	19.77	+35617.38	+7.51
盐碱质荒漠化土地	盐碱化土地	重度盐碱化土地	12731.25	0.49	17039.11	0.66	+4307.86	+33.84
		中度盐碱化土地	27204.35	1.05	28861.83	1.12	+1657.48	+6.09
		轻度盐碱化土地	48936.31	1.90	27385.34	1.06	-21550.97	-44.04
		小计	88871.91	3.44	73286.28	2.84	-15585.63	-17.54
	其他	盐漠	7546.55	0.29	6336.79	0.25	-1209.76	-16.03
	合 计		96418.46	3.73	79623.07	3.09	-16795.39	-17.42
非荒漠化土地	植物及湿地	草地	57877.21	2.24	43802.44	1.70	-14074.77	-24.32
		耕地	6580.16	0.26	11630.26	0.45	+5050.10	+76.75
		林地	59.96	0.00	0.00	0.00	-59.96	-100.00
		沼泽	11490.80	0.45	16693.57	0.65	+5202.77	+45.28
		水体	41117.87	1.59	41117.87	1.59	0.00	0.00
		小计	117126.00	4.54	113244.14	4.39	-3881.86	-3.31
	基岩		1890763.96	73.32	1875889.12	72.74	-14874.84	-0.79
	合 计		2007918.92	77.86	1989093.79	77.13	-18825.13	-0.94
总 计			2578736.18		2578736.18			

注：“-”号表示减少；“+”号表示增长。

沙化地,另一部分是原有的沙漠化土地加重了沙漠化程度。加重沙漠化程度的地区主要分布于:①山前戈壁砾质带与沙漠之间的部分小规模绿洲区内,如格尔木市西侧绿洲;②处于风沙流动的少数冲积平原,如青海东部的共和盆地一带;③山前倾斜平原与冲积平原之间的过渡带,如祁漫塔格山与柴达木盆地之间的山前倾斜平原至沙漠的过渡带内以及北侧的沙漠北边缘地区。

藏南河谷湖盆区内的山间洼地、河谷盆地及开阔地内,有明显的草地退化现象。20 世纪 70 年代在这些低洼地带或含水率较高的湖滨地区等生长的高寒草甸植物,到 21 世纪初许多地段都已退化成了轻度沙漠化土地甚至中度沙漠化土地。例如在定结县城北扎西岗乡一哲林一带的山间洼地内,20 世纪 70 年代生长有较密集的高寒草甸植物。在 1976 年 12

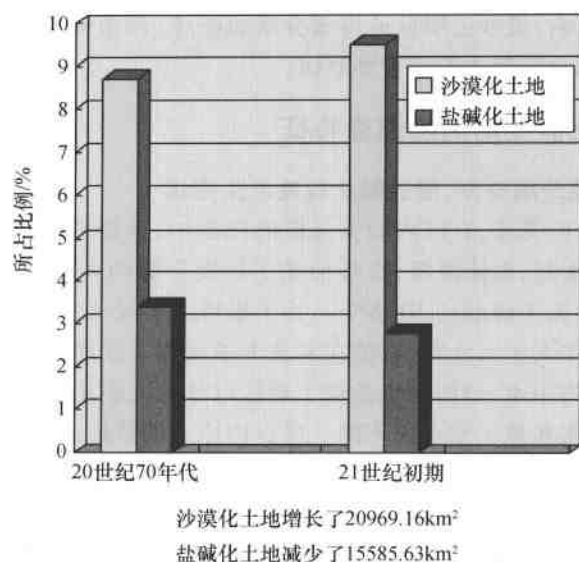


图 4-3-3 青藏高原 20 世纪 70 年代至 21 世纪初期土地荒漠化面积变化对比柱状图

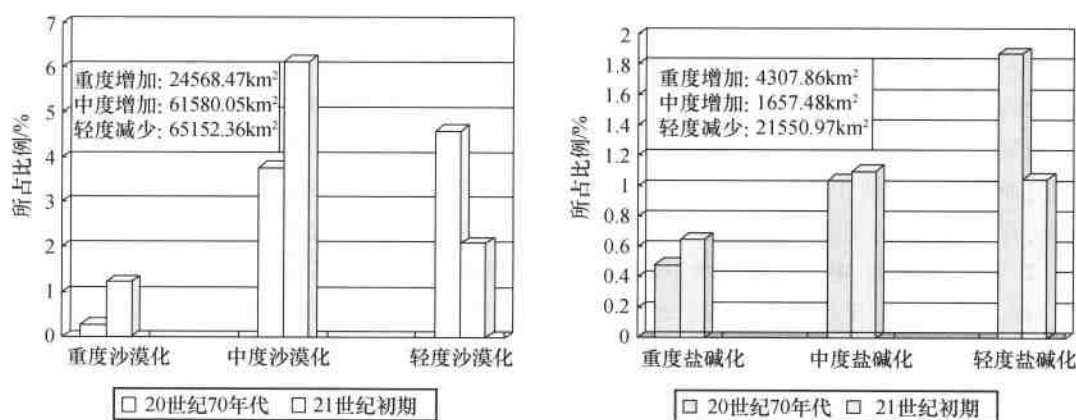


图 4-3-4 青藏高原 1975 年至 2000 年不同程度荒漠化土地面积变化比较柱状图

月 19 日接收的 MSS7 MSS5 MSS4 合成图像上,植物呈现鲜明的褐红色色彩。基岩多呈走向山或缓丘,突起的正地形地貌及蓝灰色色彩,与植物的影像特征差异非常明显(图版 4-3-1)。到 1999 年这一地带的草地大部分都退化成了轻度沙漠化土地。在 1999 年 10 月 28 日接收的 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,植物退化成轻度沙漠化土地后呈现浅棕黄色色彩,中度沙漠化土地则呈浅黄色色彩,没有退化的植物呈绿色—浅绿色色彩(图版 4-3-2),三种色彩的差异显示得非常清晰。

(二) 盐碱质荒漠化土地增加的主要地域及演变分析

阿牙克库木湖位于祁漫塔格山和阿尔格山西端夹持的库木库勒盆地内。在 1999 年 9 月 17 日接收的 141-34 景 ETM 合成图像上,可以看到湖泊东侧的草地呈现深绿色色彩,但

由于受盆地内风沙的影响,流沙已明显地将部分草地掩埋(图版 4-3-3),可见风沙是使土地发生沙漠化和土地沙漠化程度加重的重要原因。

(三) 土地盐碱化演变的遥感图像特征

1. 浅层地下水地域分配改变,使盐碱化程度发生变化

由于人们生产生活的需要,在区内较大规模的河流中、上游或出山口附近,开垦了大面积的耕地,并通过兴修水利,截流灌溉,逐步形成了规模不等的人工绿洲。到 20 世纪初,区内已形成了大小不等的人工绿洲达 10 多个。为了维持人工绿洲的用水和人畜饮水,在垦殖耕地的同时,修建了众多人工引水渠,有的在河流上游新修了水库。人工渠系和人工水库的修建,基本保证了灌区的用水,但同时也造成了灌区以外的大面积地区地下水资源的地域分配不均衡,形成干旱缺水和地下水水位下降。灌区内原来的草地或林地等被垦殖为耕地,而灌区外的大面积灌木林和草本植物则因为地下水水位下降,逐步干枯衰亡,取而代之的是不同程度的沙漠化土地,与此同时,也使得灌区与非灌区之间土壤的盐碱化程度加重,盐碱化面积扩大。

藏南定结县城东部的湖滨地区,20 世纪 70 年代生长有较密集的灌草植物,在 1976 年 12 月 19 日接收的 MSS7 MSS5 MSS4 合成图像上显示出褐色色彩,但在发生次生盐碱化的地段,则显示出褐红色夹杂有白色斑块或斑点的影像特征(图版 4-3-4)。在河流的边部有的地段也可以清晰地看到这种由轻度盐碱化引起的灰白色色彩斑块。但是到 1999 年,湖滨地区的盐碱化程度明显加重。在 1999 年 10 月 28 日接收的 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,湖滨地区的盐碱化土地呈较大面积的深青带白色色彩(图版 4-3-5),盐碱化程度已达到中度,而轻度沙漠化土地则呈浅土黄色,灌草地呈绿色,显示得均很清晰。两种图像对比的结果,有力地说明了在青藏高原部分山间盆地内的湖滨地区,盐碱化程度有明显加重的趋势。

2. 主干河流上、中游引水用水不合理,使上、中游灌区与下游灌区的盐碱化程度发生变化

近 30 年来,由于人工修建的引水枢纽工程,在河流的出山口处或上游河段,通过多条人工渠系,把上游至中游的河水引入到灌区。从而造成了输往下游的水量显著减少,其结果使得下游流域地区地下水水位下降,形成了土地盐碱化程度的两种截然不同的变化。①在河流的中、上游灌区内,地下水水位上升,经地表强烈的蒸发后,溶解在地表水或浅层地下水中的盐分留在土壤表层或浅表土层中,形成新的盐积层或盐结壳。这种新的盐积层或盐结壳中盐分含量增加,盐碱化程度加重。经过实地调查,在格尔木市一大格勒—诺木洪一带的细土带或倾斜带的边缘,普遍发生盐碱化。格尔木市东侧的细土带盐碱化已达到中度,部分地段达到重度。说明了这一地带的细土带地下水位已经上升,并引起了盐碱化程度的加重。②在河流的下游排灌区内,地下水水位下降,无新的积盐沉淀聚积,有些地段盐碱化程度有所减轻。这就形成了区内总体盐碱化土地面积近 30 年来无大的变化,但对不同地区而言,有的范围扩大,程度加重,而有的范围减少,程度减轻。例如,柴达木盆地由于局部过渡开采地下水已经引起地下水出现负均衡,导致细土带地下水水位下降。在细土带中分布的绿洲因地下水水位下降出现干旱,盐碱化程度局部出现减轻,农作物萎缩,生长的自然植物出现退化。

柴达木盆地的大灶火—大灶火西南山一带,地貌上处于细土带中的绿洲北边部,由于局部开采地下水,引起细土带中的绿洲及其边部地下水水位下降,地表的盐分积累减少,盐碱化程度明显减轻。在利用 MSS 图像解译过程中发现,于 1973 年 10 月 31 日接收的

MSS7MSS5MSS4 合成图像上该地带分布有大面积的重度盐碱化土地和中度盐碱化土地(图版 4-3-6)。但在 2000 年 5 月 2 日接收的 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,这些大面积的重度盐碱化土地和中度盐碱化土地几乎都变成了中度盐碱化地和轻度盐碱化地(图版 4-3-7),盐碱化程度明显减轻,分布的范围也明显的减小。

二、土地荒漠化的演变分析

表 4-3-2 列出了青藏高原 1975 年至 2000 年荒漠土地解译面积的变化对比。图 4-3-5 示出了两个时期荒漠化土地面积比例变化的对比结果。

表 4-3-2 青藏高原三种土地类型面积变化对比表 (面积单位:km²)

年代 \ 土地类型		工作区 总面积	荒漠化土地			其他土地类型 (耕地、草地、林地、沼泽地、地表水体、基岩)
			面积	砂砾质荒漠化土地 (沙漠化土地、砂砾石裸地、沙漠)	盐碱质荒漠 化土地(盐碱化土地、盐漠)	
1975 年	解译面积	2578736.18	570834.13	474415.67	96418.46	2007918.92
	占工作区总面积的比例/%	100.00	22.14	18.40	3.74	77.86
2000 年	解译面积	2578736.18	589656.12	510033.05	79623.07	1989093.79
	占工作区总面积的比例/%	100.00	22.87	19.78	3.09	77.13
变化的面积 及百分比	增加: +	0	+18821.99 (+3.3)	+35617.38 (+7.51)	/	/
	减少: -	0	/	/	-16795.39 (-17.42)	-18825.13 (-0.94)

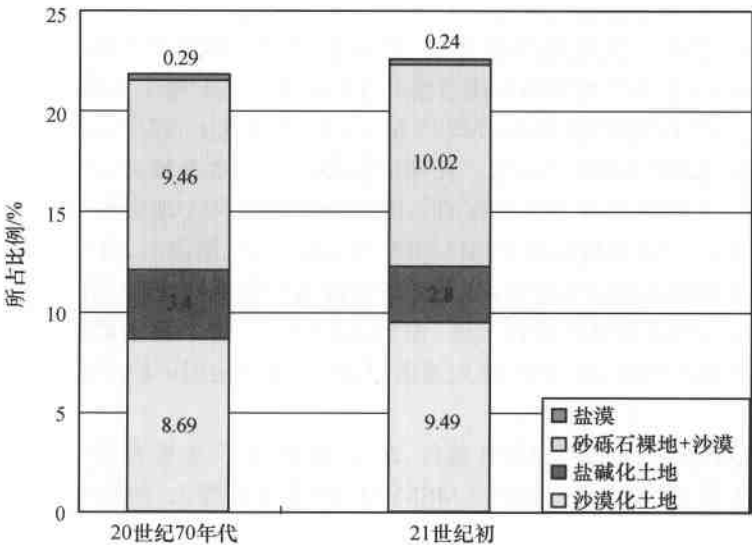


图 4-3-5 1975 ~ 2000 年青藏高原荒漠化土地面积比例变化对比柱状图

从表 4-3-2 可以看出,近 30 年来青藏高原荒漠化土地总体增长的面积不大,增长率仅为 3.3%。其中砂砾质荒漠化土地,增长了 35617.38km²,增长率为 7.51%;而盐碱质荒漠化土地减少了 16795.39km²,减少率为 17.42%。其他土地类型减少了 18825.13km²,减少率为 0.94%。

(一) 砂砾质荒漠化土地增加的主要地域及演变分析

青藏高原砂砾质荒漠化土地的增加包括了荒漠化土地面积的增加和荒漠化程度的加重两个方面。荒漠化程度的加重除土地沙漠化程度的加重以外,还包括一部分砂砾石裸地变成了不同程度的沙化地。从图 4-3-1 可以看出,区内荒漠化土地增长的地域主要有柴达木盆地、青海西南高寒山区、阿里高原、藏北高原,此外,在藏南高原的河谷湖盆区内,也有小部分沙漠化加重地区。其中柴达木盆地及其周边地区是荒漠化加重最为明显的地区。

柴达木盆地属于典型的高寒大陆性气候。寒冷、干燥、日照时间长、大风日数多是盆地气候的主要特征。年平均风速为 2~5m/s,西部风速大于东部,一年中,以春季风速最大,夏季次之,秋冬季最小。盆地 8 级以上的大风主要集中在 3~6 月,占全年大风日数的 50%~70%。更为突出的是,盆地内沙源丰富,堆积了大面积的第四纪松散的砂砾质沉积物和沙漠,大风挟带了大量的细土及沙尘,沿盆地边缘由山坡向上刮,有的地方形成沙尘暴,常年的大风及沙尘暴使原有的沙漠及沙漠化土地的范围不断扩大,沙漠化程度也不断加重,逐渐形成了风蚀和风积荒漠化景观。

藏北高原地处青藏高原的中部,约占工作区总面积的 1/4,平均海拔高度在 4500m 以上。在高原的夷平面上低山丘陵坡度平缓,山脊浑圆,中间夹有众多的宽谷盆地和山间谷地,高差多在 300~500m 之间。藏北高原的荒漠化土地主要分布在宽谷盆地和山间谷地及盆地和谷地内的湖滨地区。由于藏北高原属于干旱半干旱气候,降水量少,植被覆盖率很低,地表常年处于裸露或半裸露状态,加之冬春季节严寒、干燥、多大风,因此,地表多为风化破碎的砂砾石堆积物。特别是自 20 世纪 50 年代以来,气候干暖化趋势明显,气候变暖,蒸发量增加,加剧了荒漠化的发生和发展。另一方面,草地畜牧业经营方式又造成了草场严重超载、滥牧,缺少管护,导致草地严重退化。例如在申扎县城东北的班戈错湖东,车尖高程点—松钦村之间,分布有大面积的轻度沙漠化土地,沙漠化土地中有稀疏的高寒草甸生长,在 1976 年 12 月 19 日接收的 MSS7 MSS5 MSS4 合成图像上,轻度沙漠化土地中分布有呈灰棕带黄色色彩的斑块(图版 4-3-8)。在湖泊东部由于含水率较高,图像上呈蓝灰色色彩,特征非常清晰。到 1999 年该地区分布的大面积轻度沙漠化土地则全部变成了中度沙漠化土地,从 1999 年 9 月 19 日接收的 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,可以明显地看到 70 年代的轻度沙漠化土地的范围已经增加,分布稀疏的植物变得更加稀疏,湖泊东边,70 年代含水率较高的湿地也变成了中度沙漠化土地(图版 4-3-9)。图像上显示的大面积黄色色彩及稀疏的植被说明该地段经过 20 多年,草地显著退化,而荒漠化则由轻度变成了中度,程度明显加重。

在藏北高原色林错湖的西部湖滨地区,20 世纪 70 年代生长有较大面积的高寒草甸植物,在 1977 年 2 月 10 日接收的 MSS7 MSS5 MSS4 合成图像上,植物显示出浅褐红色色彩,由于湖边部含水率较高,轻度沙漠化土地呈浅灰黑色,不含水的轻度沙漠化土地则呈土黄色,色彩差异明显(图版 4-3-10)。而在 2000 年 3 月 4 日接收的 ETM7 ETM4 ETM1 合成图

像上,较大面积的高寒草甸植物退化严重,变成了轻度沙漠化土地,图像上显示出亮黄色色彩(图版 4-3-11)同时,轻度沙漠化土地的含水率也比 70 年代明显的降低。

申扎县城西部的昂孜错湖,其分布在宽谷盆地内,在湖滨区至围限盆地的低山山半坡之间为山前的倾斜带逐渐过渡到湖滨的开阔地,地表大部为残坡积物堆积的松散砂砾石裸地,在流入湖泊的河流边部及山脚下等处生长有稀疏的高寒草甸植物。在 1976 年 12 月 19 日接收的 MSS7 MSS5 MSS4 合成图像上砂砾石裸地呈现较大面积的浅蓝灰色色彩,高寒草甸植物则呈浅褐红色,而在湖边部的盐碱化较重的地段,图像上则呈白色略带灰色色彩。砂砾石裸地、植物和盐碱化呈现的三种色彩均显示清晰(图版 4-3-12)。到 2000 年,该地带的大面积砂砾石裸地,几乎全部变成了重度沙漠化土地,一些高寒草甸植物也有明显的退化,植物生长的更加稀疏。湖边地带在 20 世纪 70 年代分布的盐碱化地由于含水率的降低,程度也有所减轻。在 2000 年 3 月 4 日接收的 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,显示出较大面积的深黄色色彩,色彩表面细腻均匀,因此解译为重度沙漠化土地(图版 4-3-13)。

在青海湖北边部,20 世纪 70 年代垦殖有较大面积的耕地,由于湖滨地区的地下水资源丰富,耕地内含水程度较高,在 1976 年 12 月 30 日接收的 143-34 景 MSS7 MSS5 MSS4 合成图像上,耕地显示的深黑色或灰黑色色彩及棋盘格状的影纹特征非常清晰(图版 4-3-14)。但是近 30 年来,由于自然环境的条件变化和人为活动的综合影响,湖区已出现了包括青海湖水位明显下降、土地荒漠化趋势加剧、草场植被破坏严重、环湖区土地沙漠化程度加重、鸟类栖息环境恶化等一系列生态环境问题。不少耕地变成了沙漠化土地,被迫弃耕(图版 4-3-15)。

(二) 盐碱质荒漠化土地增加的主要地域及演变分析

盐碱化是土壤表面的盐类物质通过大气降水、地表水和地下水的溶解、迁移和聚集等形成的产物。盐碱化程度主要受气候干湿变化控制,这种主要由气候等自然因素变化产生的盐碱化属于自然盐碱化过程,所形成的盐碱土为原生盐碱土。而由于灌溉不合理等原因,打破了自然水盐平衡,使耕地及其附近地区土壤的盐碱化程度加重或面积扩大,这种由人为因素产生的盐碱化属于次生盐碱化过程,所形成的盐碱土为次生盐碱土。目前,青藏高原内所见到的盐碱土既有自然盐碱土,又有次生盐碱土。

青藏高原盐碱质荒漠化土地的演变包括盐碱质荒漠化土地面积的增加和盐碱化程度的加重。从图 4-3-2 可以看出,青藏高原盐碱质荒漠化土地增加和程度加重的地域主要有柴达木盆地、青南高寒山区内五道梁—不冻泉一带及沱沱河下游—雁石坪—索加一带;藏北高原区内的果尔玛茶卡—昌东—扎日南木错之间的山间盆地及湖滨地区,色林错—错那之间的山间开阔地和山间洼地的部分地区。此外,在阿里高原区内的龙木错—松西等地也有盐碱质荒漠化加重的地段。

1. 柴达木盆地盐碱质荒漠化的演变分析

柴达木盆地是青藏高原盐碱质荒漠化分布面积最大,盐碱化程度最重的地区。经过此次 MSS 和 ETM 图像的解译和重点地段的实地调查,结果表明该盆地不仅是区内唯一的盐漠存在区,而且还是重度和中度盐碱化土地的主要分布区。盆地内发育有星罗棋布的湖泊,较大的湖泊有达布逊湖、巴嘎柴达木湖、吉乃尔湖、霍鲁逊湖、托素湖等。近 30 年来,柴达木盆地总体朝着干暖化的趋势发展。造成盆地逐渐干暖化的原因主要是由于该盆地地形封

闭,第三纪沉积物和第四纪沉积物中都含有易溶盐,河流携带这些易溶盐分搬运到湖泊周围及河流冲积平原地区积聚,使土壤中的含盐量逐渐增高,盐碱化程度越来越重。受降水量和蒸发量的差异影响,盆地内盐碱化程度西部重于东部,尤其是从丁字口—索尔库里—黄瓜梁—马海一带的盐碱化程度均达到重度。

造成柴达木盆地盐碱质荒漠化不断加重,除干旱蒸发、盐源丰富的自然因素外,不合理的用水是造成土壤盐碱化加重的重要人为因素。用水不当主要表现为重灌轻排、大水漫灌、渠系渗漏。灌排不当直接引起地下水水位上升,盐分逐渐积聚地表。同时,土地承包后,由于只顾眼前和局部利益,盐碱化防治缺乏统一规划。水源充足,地势较高处的耕地等在“重灌轻排、大水漫灌”的清洗下,其盐碱得到控制,但却给地势较低处的耕地带来更大危害。此外,土地的不平整,盐分常局部富积而形成盐斑,也是使土地盐碱化不断加重的人为因素之一。

2. 藏北高原的盐碱质荒漠化的演变趋势

藏北高原地域辽阔,湖盆广布,湖泊众多。由于气候干旱,大气降水较少,蒸发强烈,形成了大面积的盐碱质荒漠化土地。据此次遥感解译的资料,藏北高原内的盐碱质荒漠化以轻度盐碱化土地为主,重度盐碱化和中度盐碱化土地均占有一定的比例,但没有盐漠分布。三种程度的盐碱化土地的分布具有以下特征:

1)轻度盐碱化土地约占藏北高原盐碱化土地总面积的 50%,主要分布于湖盆周围的滩地,局部洼地及入湖河流的岸边。如马尔盖茶卡湖西侧湖边滩地,达则错的湖边周围滩地,当惹雍错湖泊西侧和东南侧的湖边滩地等。此外,在部分山间谷地、河流阶地和山前倾斜带的前缘也有部分轻度盐碱地分布。在可可西里地区多呈连续的片状展布,而在藏北高原的中部和南部的大部分地区,多呈不规则状、环状、面状等形态分布。

2)中度盐碱化土地占藏北高原盐碱化土地总面积的 30% 以上,其主要分布于藏北高原干涸湖泊或萎缩湖泊的外围以及较宽阔的河道内。总体分布面积较小,形态多呈狭长条带状或不规则的面状。

3)重度盐碱化土地占藏北高原盐碱化土地总面积的 20% 以上,主要分布于藏北高原的干涸湖盆和萎缩湖泊的周围地带,一般分布零星,形态多呈狭长带状或斑状及不规则的面状。

藏北高原由北向南,气候由于旱到半干旱,湖泊也由盐湖和咸水湖到微咸水湖到淡水湖;湖水的盐分浓度和土壤中的含盐量均由北向南递减。可见,藏北高原的盐碱化土地几乎全部分布在冈底斯山以北的内陆湖区,且由南向北逐渐加重,随着海拔高度的增加,盐碱化程度也有加重的趋势,特别是近 30 年来,随着气候干暖化日趋明显,盐碱质荒漠化的程度进一步加重,有 17265km^2 土地的盐碱化程度已经加重;范围也有明显的增加,由 20 世纪 70 年代的 18050km^2 增加到了 20264km^2 。以申扎县城东北的松钦—车尖高程点一带为例,该地带位于班戈错的东部,山间湖泊分布众多,在 1976 年 12 月 19 日接收的 MSS7 MSS5 MSS4 合成图像上,这些山间湖泊的边部及周围滩地,分布有轻度盐碱化土地,呈不规则的灰白带土黄色色彩斑块,与蓝青色的湖水和深灰带浅黑色的沙漠化土地色彩差异非常明显(图版 4-3-16)。但是,到 1999 年,这一地带的轻度盐碱化几乎都变成了中度盐碱化,在 1999 年 9 月 19 日接收的 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上可清楚地看到盐碱化地的范围有明显的加大,色彩也显示出较均匀的白色色彩(图版 4-3-17),充分说明盐碱化的程度已经加重。

申扎县城北部的色林错湖周围滩地,20 世纪 70 年代分布有较大面积的中—轻度盐碱化地,部分地段有高寒草甸植物生长。在 1977 年 2 月 10 日接收的 MSS7 MSS5 MSS4 合成图像上,色林错湖北部湖边一带显示出较大面积的浅黄白色和棕红色色彩(图版 4-3-18),经过分析对比,认为这种色彩是轻度盐碱化的显示,而另外一种浅褐红色略带土黄色的色彩分布区,是高寒草甸植物的显示,还有一种呈深蓝—蓝青色的色彩是湖水的显示。经过 23 年,色林错湖湖滨地区的盐碱化地和植物的生长都发生了较大的变化。在 2000 年 3 月 4 日接收的 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上,20 世纪 70 年代中—轻度盐碱化分布区,几乎都变成了白色色彩,反映盐碱化程度已达到重度—中度。其中生长的植物,呈草绿色色彩,但分布零星。该地带变化更为突出的是草地的退化,20 世纪 70 年代生长的较大面积的高寒草甸植物,到 2000 年大部分都退化成了中度沙漠化土地,在 ETM7 ETM4 ETM1 合成图像上呈土黄色色彩(图版 4-3-19)。色林错湖湖滨地区盐碱化的变化和草地的退化充分说明,藏北高原的荒漠化演变不是盐碱化或者是沙漠化的单一类型的变化,而是两种类型在同时发生,对一个地域,这种变化以盐碱化为主,而对另一个地域则以沙漠化为主,而且两种荒漠化程度的变化也不是完全一致的,有的地域表现为盐碱化程度加重,而有的地域则表现为砂砾质荒漠化程度加重。

青藏高原盐碱质荒漠化土地调查的统计数据表明,2000 年与 1975 年相比,盐碱质荒漠化土地减少了 16795.37km^2 ,减少率 17.42%。虽然盐碱质荒漠化总体处于减少的态势,但影响本区盐碱质荒漠化程度的两个重要因子——重度盐碱化土地和中度盐碱化土地却处于增加的态势,尤其是重度盐碱化土地与 20 世纪 70 年代相比,增加了 4307.86km^2 ,增长率达 33.84%。另一方面,盐碱质荒漠化减少的因子主要是轻度盐碱化土地因子,与 20 世纪 70 年代相比,减少了 21550.97km^2 ,减少率 44.04%。然而,通过前后两期调查对比发现,轻度盐碱化土地一部分程度加重了,也有很大一部分转变为沙漠化土地,所以这种轻度盐碱化土地面积的减少,不能说明青藏高原荒漠化程度减轻,相反,整个青藏高原土地荒漠化仍然是处于逐年加重的态势。

(三) 土地荒漠化的演变规律

近 30 年来,青藏高原荒漠化土地由 57 万 km^2 增长到 59 万 km^2 ,增长了 3.5%。虽然增长的面积只有将近 2 万 km^2 ,但这种增长是在其中的盐碱质荒漠化减少了 1.7 万 km^2 基础上的增长,因此仍然说明青藏高原荒漠化在不断扩大,生态环境在日趋恶化。综合分析青藏高原近 30 年来土地荒漠化面积的变化和荒漠化程度的变化两种结果,荒漠化的演变具有以下 5 个方面的规律。

1. 土地荒漠化的面积较 20 世纪 70 年代有一定的增长,但年增长率较小

从表 4-3-2 可以看出,2000 年青藏高原有荒漠化土地 589656.12km^2 ,占工作区总面积的 22.87%。1975 年有荒漠化土地 570834.13km^2 ,占工作区总面积的 21.14%。30 年来,土地荒漠化面积增加了 18821.99km^2 ,比 1975 年增长了 3.3%,年增长率为 0.11%。统计数据表明,青藏高原 30 年来土地荒漠化的面积有一定的增长,但年增长率较小(图 4-3-5)。

2. 砂砾质荒漠化土地大幅度增长,盐碱质荒漠化土地面积在减少

2000 年砂砾质荒漠化土地达到了 510033.05km^2 ,占全区总面积的 19.78%,比 1975 年净增面积 35617.38km^2 ,增长率达 7.51%,平均年增长率为 0.25%。其中增长率最大的是

表 4-3-3 青藏高原土地荒漠化程度

政 区 名 称		工作区范围 内面积	土地沙漠化程度变化					
			稳 定		加 重		减 轻	
			面 积	%	面 积	%	面 积	%
新疆	克孜勒苏柯尔克孜自治州	25042.27	656.65	2.62	545.82	2.18	101.14	0.40
	巴音郭楞蒙古自治州	138590.57	11952.75	8.62	6371.30	4.60	5078.20	3.66
	喀什地区	41234.34	953.58	2.31	183.83	0.45	69.73	0.17
	和田地区	98749.14	1266.26	1.28	4568.34	4.63	1964.48	1.99
青海	海西蒙古族藏族自治州	328380.56	16465.16	5.01	45287.80	13.79	24165.74	7.36
	海北藏族自治州	31303.51	490.34	1.57	979.37	3.13	2596.02	8.29
	西宁市	7398.44	0	0	0	0	30.17	0.41
	海东地区	11198.85	94.54	0.84	61.22	0.55	221.44	1.98
	海南藏族自治州	41050.46	1112.19	2.71	3072.05	7.48	3579.34	8.72
	黄南藏族自治州	18005.21	89.61	0.50	620.65	3.45	1176.01	6.53
	青海湖	4459.16	5.79	0.13	17.42	0.39	112.96	2.53
	玉树藏族自治州	197105.29	6301.18	3.20	18022.38	9.14	9828.66	4.99
	果洛藏族自治州	76196.25	1149.62	1.51	4872.95	6.40	489.81	0.64
	阿里地区	296049.15	11730.15	3.96	18389.95	6.21	11575.84	3.91
西藏	那曲地区	389978.57	22288.85	5.72	27366.25	7.02	18129.90	4.65
	日喀则地区	180700.91	10336.11	5.72	10601.30	5.87	6489.08	3.59
	拉萨市	29283.24	614.16	2.10	1353.41	4.62	784.06	2.68
	山南地区	78941.61	1582.19	2.00	1045.71	1.32	1986.45	2.52
	林芝地区	114560.35	960.56	0.84	968.99	0.85	375.62	0.33
	昌都地区	108250.78	1108.55	1.02	1151.04	1.06	1135.47	1.05
	酒泉市	22678.00	853.6	3.76	5031.80	22.19	553.84	2.44
甘肃	张掖市	15061.92	0	0	67.05	0.45	165.89	1.10
	武威市	2796.03	0.24	0.00	0	0	0	0
	兰州市	74.44	17.24	23.16	0	0	5.79	7.78
	甘南藏族自治州	35713.87	325.17	0.91	1253.17	3.51	746.95	2.09
	甘孜藏族自治州	146230.78	949.27	0.65	2741.88	1.88	1462.71	1.00
四川	阿坝藏族羌族自治州	84454.12	1208.28	1.43	826.07	0.98	936.01	1.11
	成都市	2263.94	0	0	0	0	0	0
	雅安市	853.21	0	0	0	0	0	0
	凉山彝族自治州	18216.19	12.61	0.07	63.53	0.35	104.08	0.57
	怒江傈僳族自治州	9631.11	0	0	0	0	26.88	0.28
云南	迪庆藏族自治州	20486.49	195.81	0.96	172.51	0.84	13.26	0.06
	丽江地区	3797.42	44.32	1.17	213.03	5.61	58.33	1.54
总 计		2578736.18	92764.78	3.60	155848.8	6.04	93963.86	3.64

注:各行政区面积以 20 世纪 90 年代国家公布的数据为基础计算。

变化遥感监测数据统计表

(单位面积:km²)

土地盐碱化程度变化						合 计					
稳 定		加 重		减 轻		稳 定		加 重		减 轻	
面 积	%	面 积	%	面 积	%	面 积	%	面 积	%	面 积	%
0	0	0	0	0	0	656.65	2.62	545.82	2.18	101.14	0.40
1478.71	1.07	784.49	0.57	1228.96	0.89	13431.46	9.69	7155.79	5.16	6307.16	4.55
0	0	0	0	0	0	953.58	2.31	183.83	0.45	69.73	0.17
498.56	0.50	1003.34	1.02	666.83	0.68	1764.82	1.79	5571.68	5.64	2631.31	2.66
6105.3	1.86	9494.08	2.89	16870.65	5.14	22570.46	6.87	54781.88	16.68	41036.39	12.50
33.12	0.11	145.34	0.46	33.58	0.11	523.46	1.67	1124.71	3.59	2629.6	8.40
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.17	0.41
0	0	0	0	0	0	94.54	0.84	61.22	0.55	221.44	1.98
83.58	0.20	814.94	1.99	337.45	0.82	1195.77	2.91	3886.99	9.47	3916.79	9.54
0	0	0	0	0	0	89.61	0.50	620.65	3.45	1176.01	6.53
0	0	0	0	0	0	5.79	0.13	17.42	0.39	112.96	2.53
1699.51	0.86	5028.96	2.55	6660.13	3.38	8000.69	4.06	23051.34	11.69	16488.79	8.37
258.25	0.34	70.03	0.09	2408.21	3.16	1407.87	1.85	4942.98	6.49	2898.02	3.80
8182.62	2.76	9229.78	3.12	7302.69	2.47	19912.77	6.73	27619.73	9.33	18878.53	6.38
11657.92	2.99	8035.26	2.06	10776.37	2.76	33946.77	8.70	35401.51	9.08	28906.27	7.41
620.51	0.34	351.54	0.19	1244.54	0.69	10956.62	6.06	10952.84	6.06	7733.62	4.28
46	0.16	86.98	0.30	90.31	0.31	660.16	2.25	1440.39	4.92	874.37	2.99
88.86	0.11	196.49	0.25	206.05	0.26	1671.05	2.12	1242.20	1.57	2192.5	2.78
0	0	31.98	0.03	61.44	0.05	960.56	0.84	1000.97	0.87	437.06	0.38
0	0	0	0	0	0	1108.55	1.02	1151.04	1.06	1135.47	1.05
175.43	0.77	0	0	555.64	2.45	1029.03	4.54	5031.80	22.19	1109.48	4.89
0	0	0	0	0	0	0	0	67.05	0.45	165.89	1.10
0	0	0	0	0	0	0.24	0.00	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	17.24	23.16	0	0	5.79	7.78
0	0	30.24	0.08	125.3	0.35	325.17	0.91	1283.41	3.59	872.25	2.44
0	0	0	0	0	0	949.27	0.65	2741.88	1.88	1462.71	1.00
12.16	0.01	177.56	0.21	248.67	0.29	1220.44	1.45	1003.63	1.19	1184.68	1.40
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	55.05	0.30	16.54	0.09	12.61	0.07	118.58	0.65	120.62	0.66
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.88	0.28
0	0	0	0	0	0	195.81	0.96	172.51	0.84	13.26	0.06
0	0	0	0	0	0	44.32	1.17	213.03	5.61	58.33	1.54
30940.53	1.20	35536.06	1.38	48833.36	1.89	123705.31	4.80	191384.88	7.42	142797.22	5.53

重度沙漠化土地和中度沙漠化土地,分别达到了316.92%和62.24%。与此相反,2000年盐碱质荒漠化土地共有79623.07km²,占全区总面积的3.09%,比1975年减少面积16795.39km²,减少率为17.42%,平均年减少率为0.58%。盐碱化土地减少主要反映在轻度盐碱化土地面积大幅度的减少,由1975年的48936.31km²,减少到了27385.34km²,减少率达44.04%(图4-3-3、图4-3-4)。

3. 土地荒漠化演变的总体趋势是程度明显加重

从表4-3-2可以看出,青藏高原从1975年到2000年重度沙漠化土地由7752.37km²,发展到32320.84km²,增长了24568.47km²,增长率达316.92%;中度沙漠化由98937.40km²,发展到160517.45km²,增长了61580.05km²,增长率达62.24%。重度盐碱化土地则由12731.25km²发展到17039.11km²,增长了4307.86km²,增长率达33.84%;中度盐碱化土地由27204.35km²发展到28861.83km²,增长了1657.48km²,增长率为6.09%。与此同时,轻度沙漠化土地由120378.06km²减少到了55225.70km²,减少了24568.47km²,减少率为54.12%;轻度盐碱化土地由48936.31km²减少到了27385.34km²,减少了21550.97km²,减少率达44.04%。在荒漠化土地总体面积变化不大的情况下,上述变化反映了土地荒漠化程度正在由较轻程度向较重程度发展。

青藏高原荒漠化的变迁研究也反映出了荒漠化程度明显加重的总趋势。表4-3-3列出了青藏高原近30年来土地沙漠化程度和土地盐碱化程度的变化结果。从表中可以看出,对加重和减轻2种荒漠化程度的变化仍然是以程度加重的面积最大,为191384.88km²占全区总面积的7.42%,其次是程度减轻的面积,为142797.22km²,占全区总面积的5.53%,程度稳定的面积最小,为123705.31km²,占全区总面积的4.80%。统计的结果有力地说明,青藏高原沙漠化程度和盐碱化程度总体发展趋势是在加重,而且这种趋势还在继续发展。造成青藏高原荒漠化程度明显加重的主要原因是由于青藏高原的地理地貌和干燥寒冷的气候条件。青藏高原的荒漠化土地主要分布于不同规模的断陷盆地、山间谷地、湖滨地区、河流阶地及山前倾斜平原,大部分属于封闭—半封闭状态,且地势较低缓。受这种地形地貌的限制,荒漠化土地面积增加缓慢,而在干燥寒冷多风的气候条件下产生的砂砾物质不断补充填加到原有的荒漠化土地或未荒漠化的土地中,使得荒漠化程度越来越重,这是目前青藏高原土地荒漠化最突出的问题。

4. 青藏高原东北部是荒漠化程度加重的主要地区

土地荒漠化程度加重的主要地区分布在青藏高原的东北部,其中以柴达木盆地和青海南部的三江源地区最为突出。荒漠化程度加重主要表现为:①轻度沙漠化演变为中度—重度沙漠化或中度沙漠化演变为重度沙漠化;②中度沙漠化土地和重度沙漠化土地及沙漠的面积有明显的增加。

表4-3-4列出了工作区33个地州(市)土地荒漠化加重面积比例排序。

根据排序结果,将全区荒漠化程度加重区域划分为4个加重级别区。分别对应于荒漠化加重面积比例的4个区段,即Ⅰ区:荒漠化剧烈加重区,加重面积比例为16.68%~18.97%;Ⅱ区:荒漠化显著加重区,加重面积比例为9.08%~≤16.68%;Ⅲ区:荒漠化轻微加重区,加重面积比例为1.06%~≤9.08%;Ⅳ区:荒漠化无加重区,加重面积比例为0~≤1.06%。从表4-3-4和图4-3-6中可以明显地看出,工作区33个地州(市)荒漠化剧烈加重区正是分布在青藏高原的东北部和三江源地区,包括整个柴达木盆地和酒泉盆地。荒漠

表 4-3-4 青藏高原 33 个地州(市)土地荒漠化加重面积比例排序表

排序	地州(市)名称	荒漠化加重 面积比例/%	排序	地州(市)名称	荒漠化加重 面积比例/%
1	酒泉市	22.19	18	山南地区	1.57
2	海西蒙古族藏族自治州	16.68	19	阿坝藏族羌族自治州	1.19
3	玉树藏族自治州	11.69	20	昌都地区	1.06
4	海南藏族自治州	9.47	21	林芝地区	0.88
5	阿里地区	9.33	22	迪庆藏族自治州	0.84
6	那曲地区	9.08	23	凉山彝族自治州	0.65
7	果洛藏族自治州	6.49	24	海东地区	0.55
8	日喀则地区	6.06	25	喀什地区	0.45
9	和田地区	5.64	26	张掖市	0.45
10	丽江地区	5.61	27	青海湖	0.39
11	巴音郭楞蒙古自治州	5.16	28	武威市	0.00
12	拉萨市	4.92	29	兰州市	0.00
13	甘南藏族自治州	3.59	30	西宁市	0.00
14	海北藏族自治州	3.59	31	成都市	0.00
15	黄南藏族自治州	3.45	32	雅安市	0.00
16	克孜勒苏柯尔克孜自治州	2.18	33	怒江傈僳族自治州	0.00
17	甘孜藏族自治州	1.86			

化显著加重区主要分布在青藏高原的中部至西部,包括青海西部—青海南部的广大高寒山区及藏北高原区。荒漠化轻微加重区主要分布在青藏高原的西北部 and 南部及中东部,包括昆仑山—阿尔金山的西段,喜马拉雅山和巴颜喀拉山以南至念青唐古拉山以北的高山地区。荒漠化无加重区几乎全部分布在青藏高原的东部至东南部,包括甘南—川南—藏东南三江河谷区的高原地区。

5. 土地荒漠化演变的一个重要特征是草地退化成荒漠化土地

草地退化形式主要表现在草地面积呈大幅度的减少,而重度沙漠化土地、中度沙漠化土地以及沙漠和砂砾石裸地呈大面积的增加。据此次调查的统计结果(表 4-3-1),近 30 年来,工作区草地和林地共减少了 14134.75km²。同时重度沙漠化土地、中度沙漠化土地和沙漠都有大面积的增加,砂砾石裸地也有一定幅度的增加。从表 4-3-1 还可以看出,耕地只增加了 5020.44km²,沼泽地增加了 5202.77km²,2 种因子共增加了 10223.21km²。草地和林地的减少与耕地和沼泽地的增加相差 3911.55km²,说明至少有 3911km²的草地和林地已退化成砂砾质荒漠化土地。

6. 盐碱质荒漠化土地的减少反映了青藏高原气候干暖化的特征

经过本次调查,近 30 年来工作区内的盐碱质荒漠化土地减少了 16795.39km²,减少率为 17.42%。这种减少主要表现在轻度盐碱化土地面积的减少,经过对比分析大部分减少的轻度盐碱化土地演变成了砂砾质荒漠化土地。盐碱质荒漠化土地减少的事实也进一步说

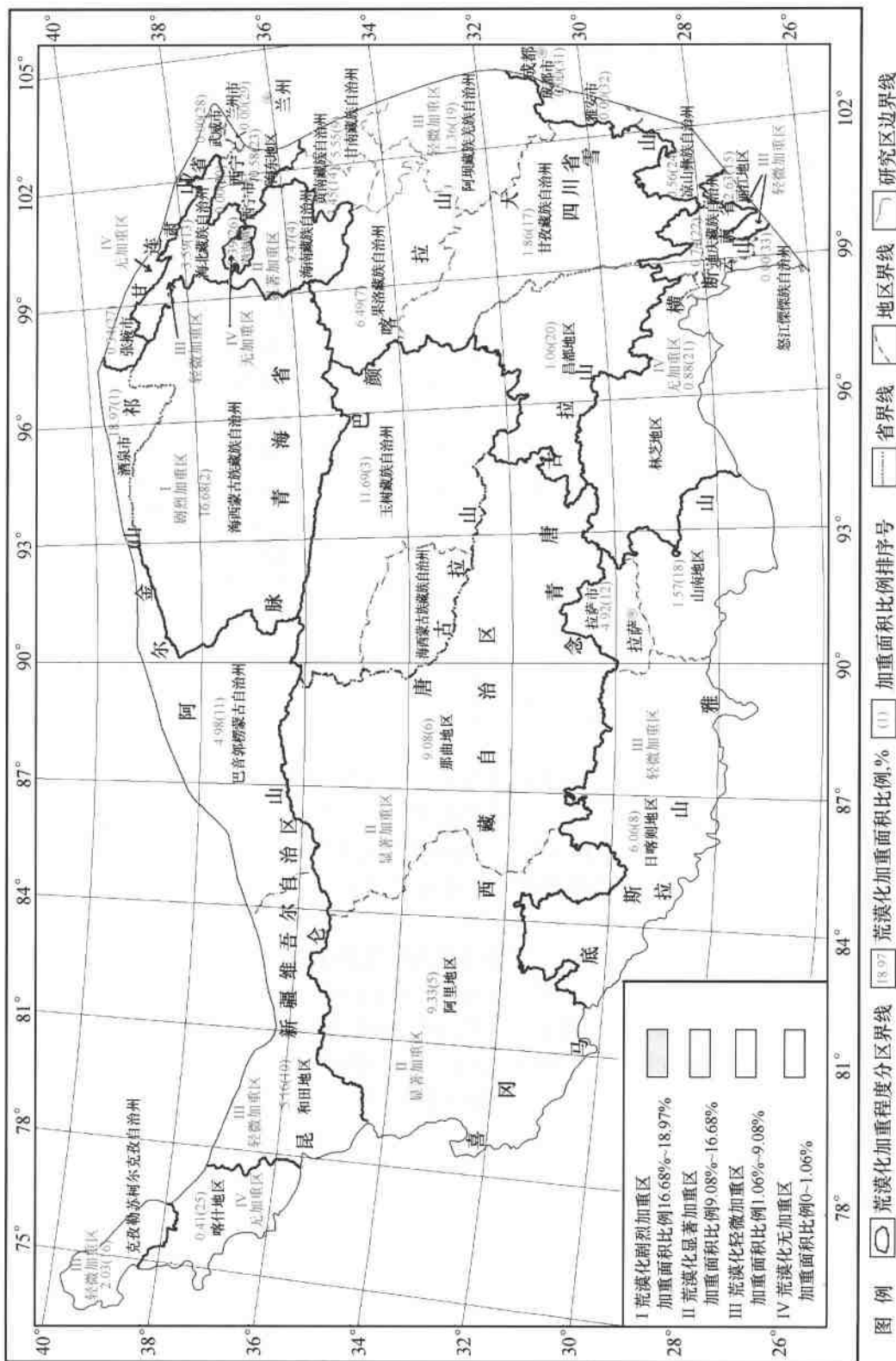


图 4-3-6 青藏高原土地荒漠化加重程度分区图

明了青藏高原近 30 年来气候日趋干暖化,地下水位呈下降趋势,促使盐碱质荒漠化向砂砾质荒漠化转变。可见盐碱质荒漠化土地的减少并不能表示该区生态环境的改善,而是土地荒漠化类型之间的相互转化。

第四节 土地荒漠化的成因分析

土地荒漠化的成因是一个颇为复杂的问题。综合目前对荒漠化成因的研究结果,概括起来主要认为土地荒漠化是以疏松多沙的土壤作为物质基础,由外界自然因素和人为活动因素双重作用导致土地荒漠化的形成。

一、土地荒漠化形成具有综合成因的特征

青藏高原土地荒漠化的形成主要受物质条件、气候条件和风力条件的影响,具有明显的综合成因的特点。

1. 沙源丰富,地形开阔是形成土地荒漠化的物质条件

青藏高原上出露的大面积的松散砂砾质壤土为荒漠化的形成提供了丰富的物质基础。据本次遥感调查研究结果,青藏高原共有松散的砂砾质壤土面积 51 万 km^2 ,占工作区面积 257.87 万 km^2 的 19.78%。大面积松散的砂砾质壤土绝大部分分布在盆地边缘的山前冲洪积倾斜平原以及湖滨地区,这种开阔平缓的地貌位置为大量的松散砂砾质壤土的搬运又提供了良好的地形条件。

2. 干燥低温是形成土地荒漠化的气候条件

青藏高原由于地势高亢,纬度较低,是全国平均温度最低的地区。除河湟谷地($4 \sim 8^\circ\text{C}$)、泽当以东的雅鲁藏布江谷地($8 \sim 10^\circ\text{C}$)和藏南地区($16 \sim 20^\circ\text{C}$)等地气温略高外,广大地区都很低。高原内的整个祁连山地,昆仑山东段,青南高原和藏北高原等地区年平均气温都在 0°C 以下。而祁连山西段、三江源区的中西部和羌塘高原北部均不足 -4°C ,成为全国年均温度最低的地区。青藏高原日平均最低温度 $\leq 0^\circ\text{C}$ 的年日数为 300d, $\leq -10^\circ\text{C}$ 的年日数为 200d, $\leq -20^\circ\text{C}$ 的年日数为 100d,可见高原上冬季漫长,夏日短暂,绝大部分地区的年平均气温都比较低。

青藏高原由于降水少且时空分布不均匀,因此整个高原总体气候干燥,属于干旱—半干旱气候区。青藏高原内约有 37% 的面积年降水量仅有 200 ~ 400mm,属于半干旱区,有 33% 的面积降水量不足 200mm,属于干旱区,柴达木盆地的年降水量不足 25mm(图 4-4-1)。这种大面积降水量少的原因,显然与喜马拉雅山作为孟加拉湾暖湿气流的巨大屏障,有力地阻止该气流北进有密切的关系。高原内大面积松散的砂砾质壤土在这种干燥低温少雨的气候条件下,很容易搬运和流动,或使原来的范围扩大,或使异地形成荒漠化。

位于青藏高原南部的念青唐古拉山、喜马拉雅山脉,东南部的横断山脉及北部的阿尔金山山脉,在近 25 年来,降水量呈逐年增加的趋势(图 4-4-2)。

这种气候环境对青藏高原南部和北部的荒漠化的形成与演变有着重要的因果关系。2000 年荒漠化现状分布图(见图 4-2-4)显示高原南部和北部均属于轻度荒漠化区和无荒漠化区。图 4-3-1 也表明高原西南部和北部属于荒漠化轻微加重区,东南部属于荒漠化无加

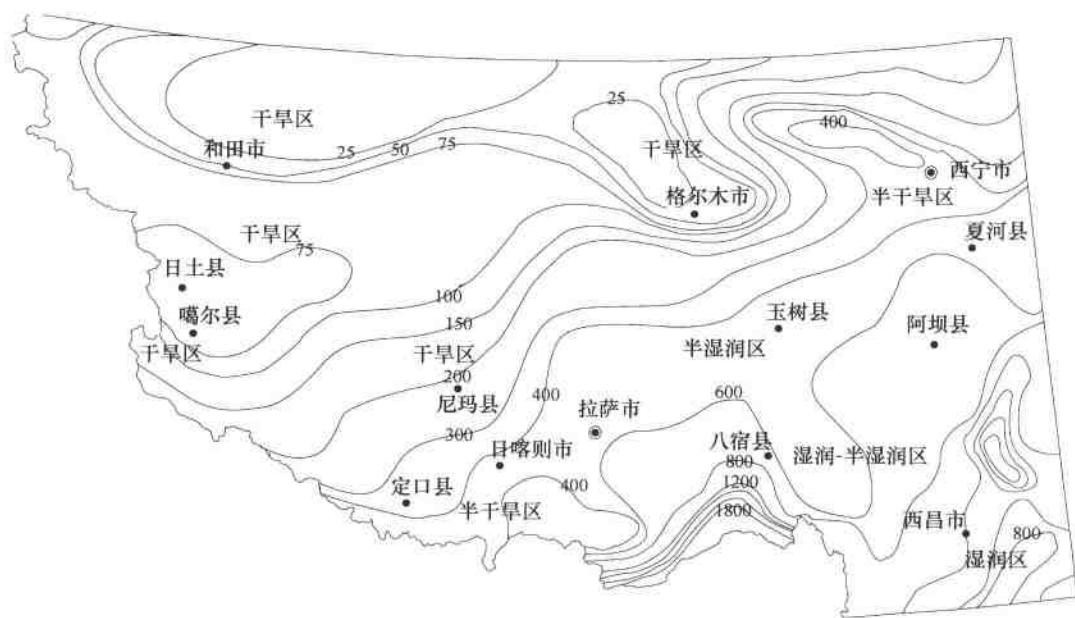


图 4-4-1 青藏高原降水量等值线图

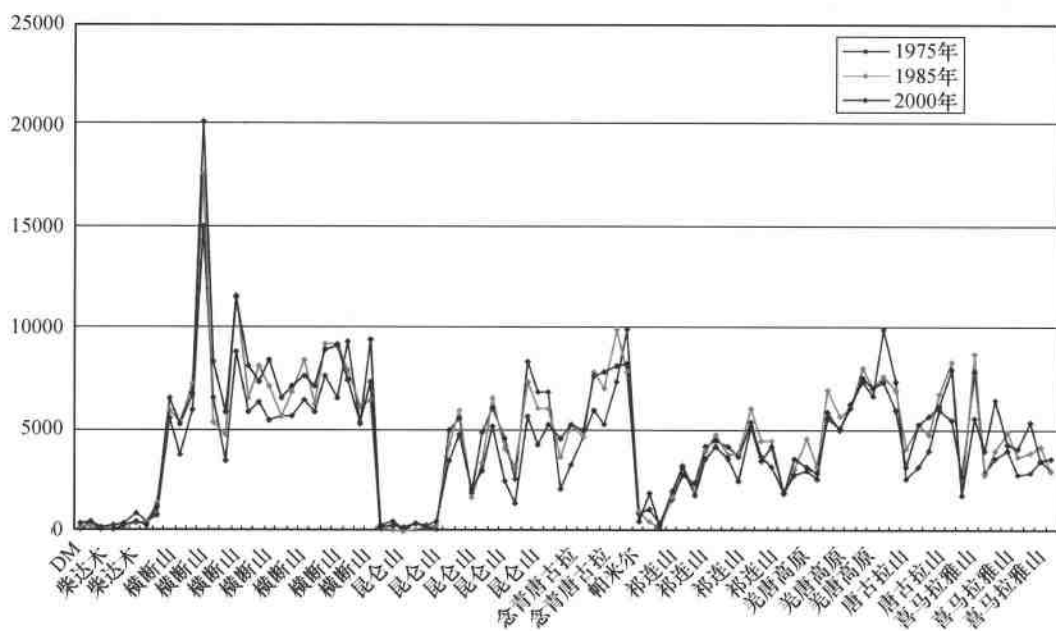


图 4-4-2 降水量对比曲线图

重区。可见降水量的增加对抑制荒漠化的发展和减轻荒漠化的程度起到了一定的调控作用。

3. 大风日数多, 风力强劲, 是形成土地荒漠化的外营力条件

大风系指瞬时风速在 17.2m/s (相当于风力 8 级) 以上的风。青藏高原平均海拔 $4000 \sim 4500\text{m}$, 地势高亢, 每年 $2 \sim 4$ 月, 北半球的西风急流在高原上空活动, 加之季节性回暖, 地面

气温回升,高原地面上造成与高空急流方向一致的偏西大风,这是高原大风的主要刮风季节。据统计,青藏高原从北到南许多地区的年大风日数都在 100d 以上,例如茫崖 109d,沱沱河 128d,改则 200d,安多 139d,定日 113d,阿里 150d。大部分地区都在 40~50d。在大风刮过的地区,遇有干燥松散的沙质壤土就会形成沙尘暴。青海西南部每年沙尘暴日数都在 12d 以上,曲麻莱县多达 16d,其次在柴达木盆地南部,青海湖南部和北部以及贵南县等地也均有 10d 以上。风力是土地荒漠化的主要外营力条件,青藏高原土地荒漠化的形成与风力的作用有着直接的成因联系。

二、土地荒漠化的形成具有地带性特征

利用 ETM 数据对青藏高原土地荒漠化 2000 年调查结果表明,区内荒漠化土地的形成(图 4-2-4)存在着明显的地带性。严重和重度荒漠化土地主要分布在柴达木盆地和藏北高原。中度荒漠化土地主要分布在青海湖盆地环湖区、青南高寒区和藏南高原河谷湖盆区。轻度荒漠化土地主要分布在青海湖盆地环湖地区和藏南高原河谷湖盆地区,此外,在藏西的阿里地区也有一定面积的分布。高原内荒漠化土地的地带性分布特征,其原因除大面积的松散沙源物质有明显的地带分布和干燥低温的气候影响以及大风的外营力作用以外,人类不合理的开发利用土地及其他经济活动,是一个非常重要的原因。如果说沙源物质和干燥气候及大风的影响是导致土地荒漠化的自然因素的话,那么人类不合理的开发利用土地则是导致土地荒漠化的人为因素,而且这种人为因素在某一时期、某一地带会对土地荒漠化的形成起着主导和决定性的作用。

1. 过度农垦是造成土地荒漠化的人为因素

近 30 年来,区内由于人口的增长加大了对土地资源利用的压力,从而造成了进一步开垦草原或非利用固定沙地等,以扩大种植面积。据本次调查的结果,20 世纪 70 年代,区内只有耕地 6609.82km²,到 21 世纪初增加到 11630.26km²,增加了 5020.44km²,增长率 75.95%。人口增长带来的新居民点的大量增加以及工程建设,如新修和改造公路、铁路挖土取沙等,而不注意工程期后的植被维护和保养,致使大面积的草场遭到破坏,加剧了土地荒漠化的形成。

2. 过度放牧加剧了土地荒漠化的形成

过度放牧主要是超载放牧。青藏高原是我国主要的牧畜养生区之一,但由于低温干旱,植物的生长期较短,自然植被的分布以高寒灌丛草甸为主,高原西部几乎没有植物生长,全部是基岩裸露高寒山区,只有东部生长寒温带针叶林和高寒草甸植物。本来可供放牧的草地资源已经有限,再加上人为的过度放牧,使有限的草地资源严重枯竭,并正在迅速蔓延。以甘南玛曲县为例,在 20 世纪 50 年代各类牲畜总量为 24 万头,60 年代为 33 万头,70 年代为 45 万头,80 年代为 64 万头,90 年代(1998 年)达到 70.53 万头。40 年内增长了 190%。但可供放牧的草场面积不但没有增长,反而却逐年减少。据该县不完全统计,80 年代(1989 年)草场的载畜量为 135 万个羊单位,90 年代(1998 年)达到 70 万个羊单位,超载 40 多万个羊单位。超载放牧导致草本植物生长量下降,覆盖度降低,表土层裸露,此后在风力的作用下,首先在植被稀疏,土质疏松的地段造成风蚀劣地,砂砾及沙土混杂堆积,并逐渐覆盖劣地周边的蒿草植被,出现衰退死亡,使土地的荒漠化程度越来越重。本次调查的结果充分证明

了这一事实。在玛曲县城北部、西部和东部地区,70年代分布有较大面积的草地,其中有轻度沙漠化发生。但到21世纪初期,草地全部退化成了中度沙漠化地,部分地段达到重度沙漠化。

3. 过度采伐直接造成了土地荒漠化

过度采伐包括乱挖甘草、滥挖发菜和过度樵采。发菜和甘草本是国家重点保护的野生固沙植物,在保护草地资源、防治荒漠化方面具有重要作用,然而却因其自身的经济价值而遭到了毁灭性的采伐。1994年甘肃省因挖甘草破坏草场 $6.7\text{万}\text{hm}^2$ 以上。柴达木盆地原有 $5.512\text{万}\text{km}^2$ 的沙漠化土地到21世纪初,因樵采已造成 $1/3$ 以上的固沙植被变成了沙化地。已有 7.960km^2 的灌丛植物都变成了沙化地,使沙化土地增加到 $6.308\text{万}\text{km}^2$,增长了 14.44% 。

4. 不合理利用水资源导致了土地荒漠化程度的不断加重

不合理的开发利用水资源不仅直接导致土地的盐碱质荒漠化,而且还会引起土地的砂砾质荒漠化。目前,青藏高原内由于水资源的不合理开发利用引发的土地荒漠化主要表现在以下3个方面:

1)河流上游蓄水量增加,引起中下游水量减少,水质恶化,湖泊干涸,天然植被由于地下水水位下降,出现衰败枯亡,造成土地荒漠化。据此次调查结果,2000年河西走廊酒泉、玉门、嘉峪关和张掖等市县地下水水位较20世纪90年代初普遍下降 30m 以上。而水资源开发利用强度较大的石羊河流域,随着下游流域的地下水水位的不断下降,泉水溢出带位置的上移,在下游地区的武威至民勤的成片防沙林枯萎死亡,沙漠每年向绿洲推进 $4\sim 6\text{m}$,荒漠化的范围正在逐步扩大。

2)在冲积平原灌区和开垦荒地上,以大水量漫灌,引起地下水水位的持续上升,造成大面积的次生盐碱化。青藏高原内的河流多为内陆河流。在内陆河流中下游冲积平原和山前溢出带前缘,因地形坡度不大,地下径流缓慢,在垦荒种植初期,地下水水位较低,随着大面积的土地开发,多采用落后的灌水技术,加上缺少排水措施,或重灌轻排,使灌区地下水水位急剧上升,造成这种漫灌地区的严重盐碱化。柴达木盆地目前基本采用大水漫灌方式,灌水量达 $15000\sim 22500\text{m}^3/\text{hm}^2$,大大超过了作物需水量 $5300\sim 7500\text{m}^3/\text{hm}^2$ 的水平。同时,耕地承包后,不少人只顾眼前和局部的利益,盐碱化防治缺乏统一规划。水源充足、地势较高的耕地在“重灌轻排、大水漫灌”的清洗下,其盐碱得到控制,但却给地势较低处的耕地带来大量盐分,使耕地的盐碱化程度日趋加重,有的只能弃耕,形成盐碱质荒漠化。本次荒漠化遥感调查结果显示,柴达木盆地是区内盐碱质荒漠化程度最重、分布面积最大的地区,恰恰说明不合理的开发利用水资源这种人为因素,在某一地区,某一时期是导致土地盐碱化的直接因素,起着决定性的作用。

3)地下水过量开采,引起局部地下水水位骤降,周边大范围的植物生长受到影响,出现土地荒漠化。在一个流域或一个盆地,在失去水土保持平衡的情况下盲目开采地下水,或在一个灌区不考虑采补平衡,集中开采地下水,往往造成盆地内或灌区内的地下水水位连续下降,而遇到干旱年份,为灌溉耕地又加大开采力度,使水井越打越深,地下水水位越降越深,不仅引起地下水矿化度升高,而且当地下水水位降至树木、植被难以生长的临界深度时,大面积的植被开始枯萎以致衰亡。

综上所述,青藏高原荒漠化的形成首先与其自身的自然地理有密切的关系。青藏高原

地势挺拔高峻,气候干旱多风,地表土壤砂砾质含量高,加之植被稀疏,生态环境十分脆弱,自身孕育着荒漠化的条件和缓慢的荒漠化过程。在人类不合理的滥垦、滥采、滥伐和滥用水资源的多重作用下,加快了土地荒漠化的进程,使本来就十分脆弱的生态环境变得更加恶劣。因此可以说,区内土地荒漠化的过程是以自然荒漠化为基础,自然与人为因素共同作用所形成的人为加速加剧过程,土地荒漠化受到自然因素和人为因素的双重驱动。但是,在不同地区不同时期其驱动因素可能会有所不同,甚至会有很大差别。也就是说,工作区内既存在以自然因素为主形成的荒漠化地区,也存在着以人为因素为主形成的荒漠化地区,区内荒漠化具有明显的综合成因的特征,其分布具有明显的地带性特征。

第五节 土地荒漠化的分区评价

对青藏高原土地荒漠化进行合理的分区和准确的评价,是在利用 20 世纪 70 年代和 21 世纪初的两期遥感图像进行详细解译及野外检查验证后进行的定性评价分析,目的是为全区荒漠化综合治理提出明确的方向和目标。

一、土地荒漠化综合分区

青藏高原土地荒漠化综合分区是通过以下 4 步来实现:

1) 采用指数评价方法,对全区 33 个地(州)市的荒漠化土地中的共 9 个因子(砂砾质荒漠化 5 个、盐碱质荒漠化 4 个)和其他土地类型中的 5 个因子,根据每个因子对荒漠化的贡献大小,按正和负两种,分别赋予不同的权重。14 个因子的权重见表 4-5-1。

表 4-5-1 青藏高原 14 个环境评价因子权重分配表

土地 类型	重度 沙漠化 土地	中度 沙漠化 土地	轻度 沙漠化 土地	砂砾石 裸地	沙漠	重度 盐碱化 土地	中度 盐碱化 土地	轻度 盐碱化 土地	盐漠	耕地	草地	林地	沼泽地	地表 水体
权重	9	7	5	7	9	9	7	5	9	-7	-7	-7	-5	-5

2) 计算荒漠化程度的综合评价指数。综合评价指数是以整个工作区所包括的 33 个地州(市)为评价单元,按下式进行计算:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i \cdot w_i)}{n}$$

式中: P 为某一地州(市)的荒漠化程度综合评价指数; s_i 为该州内某一评价因子占该州面积的比例,%; w_i 为某一评价因子的权重。 n 为该州范围内所包括的评价因子总数。青藏高原 33 个地州(市)荒漠化程度综合评价指数计算结果如表 4-5-2。

表 4-5-2 青藏高原 33 个地、州(市)荒漠化程度

行政区名称		重度沙漠化(9)		中度沙漠化(7)		轻度沙漠化(5)	
		面积/%	评价指数	面积/%	评价指数	面积/%	评价指数
新疆	克孜勒苏柯尔克孜自治州	0.16	1.44	2.90	20.3	1.32	6.60
	巴音郭楞蒙古自治州	1.42	12.78	10.98	76.86	1.96	9.80
	喀什地区	0.29	2.61	2.05	14.35	0.40	2.00
	和田地区	2.28	20.52	2.98	20.86	0.07	0.35
青海	海西蒙古族藏族自治州	3.89	35.01	12.77	89.39	2.55	12.75
	海北藏族自治州	1.42	12.78	0.94	6.58	2.85	14.25
	西宁市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	海东地区	0.04	0.36	0.28	1.96	0.59	2.95
	海南藏族自治州	1.74	15.66	4.51	31.57	3.60	18.00
	黄南藏族自治州	0.00	0.00	1.13	7.91	1.93	9.65
	青海湖	0.03	0.27	0.11	0.77	0.14	0.70
	玉树藏族自治州	0.13	1.17	8.50	59.5	3.71	18.55
	果洛藏族自治州	0.82	7.38	3.47	24.29	2.99	14.95
西藏	阿里地区	2.01	18.09	6.40	44.8	0.99	4.95
	那曲地区	0.74	6.66	8.13	56.91	4.17	20.85
	日喀则地区	1.63	14.67	7.46	52.22	1.81	9.05
	拉萨市	1.15	10.35	3.84	26.88	1.66	8.30
	山南地区	0.15	1.35	0.81	5.67	1.70	8.50
	林芝地区	0.00	0.00	0.57	3.99	0.91	4.55
	昌都地区	0.07	0.63	0.76	5.32	1.28	6.40
甘肃	酒泉市	2.85	25.65	28.65	200.55	0.24	1.20
	张掖市	0.00	0.00	0.37	2.59	0.00	0.00
	武威市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	兰州市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	甘南藏族自治州	0.07	0.63	1.57	10.99	2.66	13.30
四川	甘孜藏族自治州	0.09	0.81	1.16	8.12	1.18	5.90
	阿坝藏族羌族自治州	0.00	0.00	0.53	3.71	1.74	8.70
	成都市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	雅安市	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	凉山彝族自治州	0.00	0.00	0.26	1.82	0.08	0.40
云南	怒江傈僳族自治州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	迪庆藏族自治州	0.00	0.00	0.89	6.23	0.69	3.45
	丽江地区	0.00	0.00	3.38	23.66	2.18	10.90

综合评价指数计算结果表(荒漠化程度加重)

沙漠(9)		砂砾石裸地(7)		重度盐碱化(9)		中度盐碱化(7)	
面积/%	评价指数	面积/%	评价指数	面积/%	评价指数	面积/%	评价指数
0.00	0.00	1.35	9.45	0.00	0.00	0.00	0.00
1.28	11.52	9.60	67.20	0.15	1.35	0.62	4.34
0.00	0.00	2.18	15.26	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	6.25	43.75	0.54	4.86	0.90	6.30
7.91	71.19	10.04	70.28	1.96	17.64	2.56	17.92
0.00	0.00	1.57	10.99	0.14	1.26	0.03	0.21
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.13	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00
5.13	46.17	9.20	64.40	0.18	1.62	1.61	11.27
0.00	0.00	0.52	3.64	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	13.59	1.31	9.17
0.00	0.00	11.15	78.05	0.75	6.75	2.00	14.00
0.00	0.00	2.40	16.80	0.00	0.00	0.14	0.98
0.00	0.00	14.93	104.51	1.53	13.77	1.64	11.48
0.00	0.00	19.62	137.34	0.85	7.65	1.96	13.72
0.00	0.00	9.91	69.37	0.19	1.71	0.71	4.97
0.00	0.00	4.08	28.56	0.00	0.00	0.03	0.21
0.00	0.00	2.93	20.51	0.00	0.00	0.07	0.49
0.00	0.00	0.06	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	1.15	8.05	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	11.32	79.24	0.02	0.18	0.32	2.24
0.00	0.00	7.90	55.30	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.59	4.13	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	1.67	11.69	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.17	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.38	2.66	0.00	0.00	0.01	0.07
0.00	0.00	0.26	1.82	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.17	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	1.98	13.86	0.00	0.00	0.00	0.00

行政区名称		轻度盐碱化(5)		盐漠(9)		耕地(-7)	
		面积/%	评价指数	面积/%	评价指数	面积/%	评价指数
新疆	克孜勒苏柯尔克孜自治州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
	巴音郭楞蒙古自治州	1.34	6.70	0.00	0.00	0.00	-0.00
	喀什地区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	-1.75
	和田地区	0.24	1.20	0.00	0.00	0.00	-0.07
青海	海西蒙古族藏族自治州	1.23	6.15	1.93	17.28	0.31	-2.17
	海北藏族自治州	0.00	0.00	0.00	0.00	7.73	-54.11
	西宁市	0.00	0.00	0.00	0.00	8.64	-60.48
	海东地区	0.00	0.00	0.00	0.00	4.12	-28.84
	海南藏族自治州	0.36	1.80	0.00	0.00	9.47	-66.29
	黄南藏族自治州	0.00	0.00	0.00	0.00	2.68	-18.76
	青海湖	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	-3.43
	玉树藏族自治州	0.87	4.35	0.06	0.00	0.00	0.00
	果洛藏族自治州	0.25	1.25	0.00	0.00	0.01	0.07
西藏	阿里地区	2.45	12.25	0.00	0.00	0.00	0.00
	那曲地区	2.43	12.15	0.00	0.00	0.00	0.00
	日喀则地区	0.99	4.95	0.00	0.00	0.85	-5.95
	拉萨市	0.38	1.90	0.00	0.00	0.35	-2.45
	山南地区	0.24	1.20	0.00	0.00	0.04	-0.28
	林芝地区	0.03	0.15	0.00	0.00	0.04	-0.28
	昌都地区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
甘肃	酒泉市	0.46	2.30	0.00	0.00	0.13	-0.91
	张掖市	0.00	0.00	0.00	0.00	4.15	-29.05
	武威市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	-2.38
	兰州市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	甘南藏族自治州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
四川	甘孜藏族自治州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	阿坝藏族羌族自治州	0.20	1.00	0.00	0.00	0.19	-1.33
	成都市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	雅安市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	凉山彝族自治州	0.21	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00
云南	怒江傈僳族自治州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	迪庆藏族自治州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	丽江地区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注:荒漠化评价因子后括号内的数字为权重。

续表

草地(-7)		地表水体(-5)		沼泽地(-5)		综合评价 指数
面积/%	评价指数	面积/%	评价指数	面积/%	评价指数	
0.51	-3.57	0.06	-0.30	0.00	0.00	2.61
0.14	-0.98	0.95	-4.75	0.32	-1.60	14.09
0.74	-5.18	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10
0.12	-0.84	0.40	-2.80	0.00	0.00	7.25
2.03	-14.21	1.14	-5.70	3.23	-16.15	23.04
11.07	-77.49	0.15	-0.75	0.00	0.00	-6.64
1.00	-7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.19
1.99	-14.77	0.17	-0.85	0.00	0.00	-2.88
2.06	-13.93	0.89	-4.45	0.00	0.00	8.10
7.30	-51.10	0.05	-0.25	0.00	0.00	-3.76
0.63	-4.41	95.34	-476.70	0.41	-2.05	-35.55
4.42	-30.94	1.44	-7.20	0.16	-0.80	11.03
5.35	-37.45	2.17	-10.85	0.17	-0.85	1.26
0.63	-4.41	2.22	-11.10	0.19	-0.95	14.88
2.24	-15.68	3.56	-17.80	0.27	-1.35	16.96
1.37	-9.59	1.76	-8.80	0.09	-0.45	10.17
0.61	-4.27	2.80	-14.00	0.00	0.00	4.27
0.20	-1.40	1.80	-9.00	0.03	-0.15	2.07
0.20	-1.40	0.27	-1.35	0.00	0.00	0.47
0.74	-5.18	0.06	-0.30	0.00	0.00	1.15
1.08	-7.56	0.00	-0.00	0.08	-0.40	23.27
1.42	-9.94	0.02	-0.10	0.00	0.00	1.45
0.00	0.00	0.03	-0.15	0.00	0.00	-0.19
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.26	-15.82	0.08	-0.40	2.91	-14.55	-0.13
1.05	-7.35	0.03	-0.15	0.11	-0.55	1.42
0.46	-3.22	0.04	-0.20	2.59	-12.95	-0.24
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	1.36	-6.8	0.00	0.00	-0.52
0.00	0.00	0.13	-0.65	0.00	0.00	0.41
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
0.08	-0.56	0.03	-0.15	0.00	0.00	0.78
0.00	0.00	1.30	-6.50	0.00	0.00	3.22

3)根据综合评价指数大小,结合地形地貌特征进行荒漠化综合评价指数分区。对工作区内 33 个地州(市)的综合评价指数,按指数大小首先进行排序(表 4-5-3)。根据排序结果,结合主要山系及支脉的延伸、盆地及河流的展布方向等地形地貌特征,将 33 个综合评价指数划分为 5 个区段范围,即 1 区段:综合评价指数 19~24;2 区段 14~19;3 区段:8~14;4 区段:1~8;5 区段: -36~1。根据 5 个区段范围的分布地区,将青藏高原的荒漠化综合评价指数按 33 个地州表示如图 4-5-1。

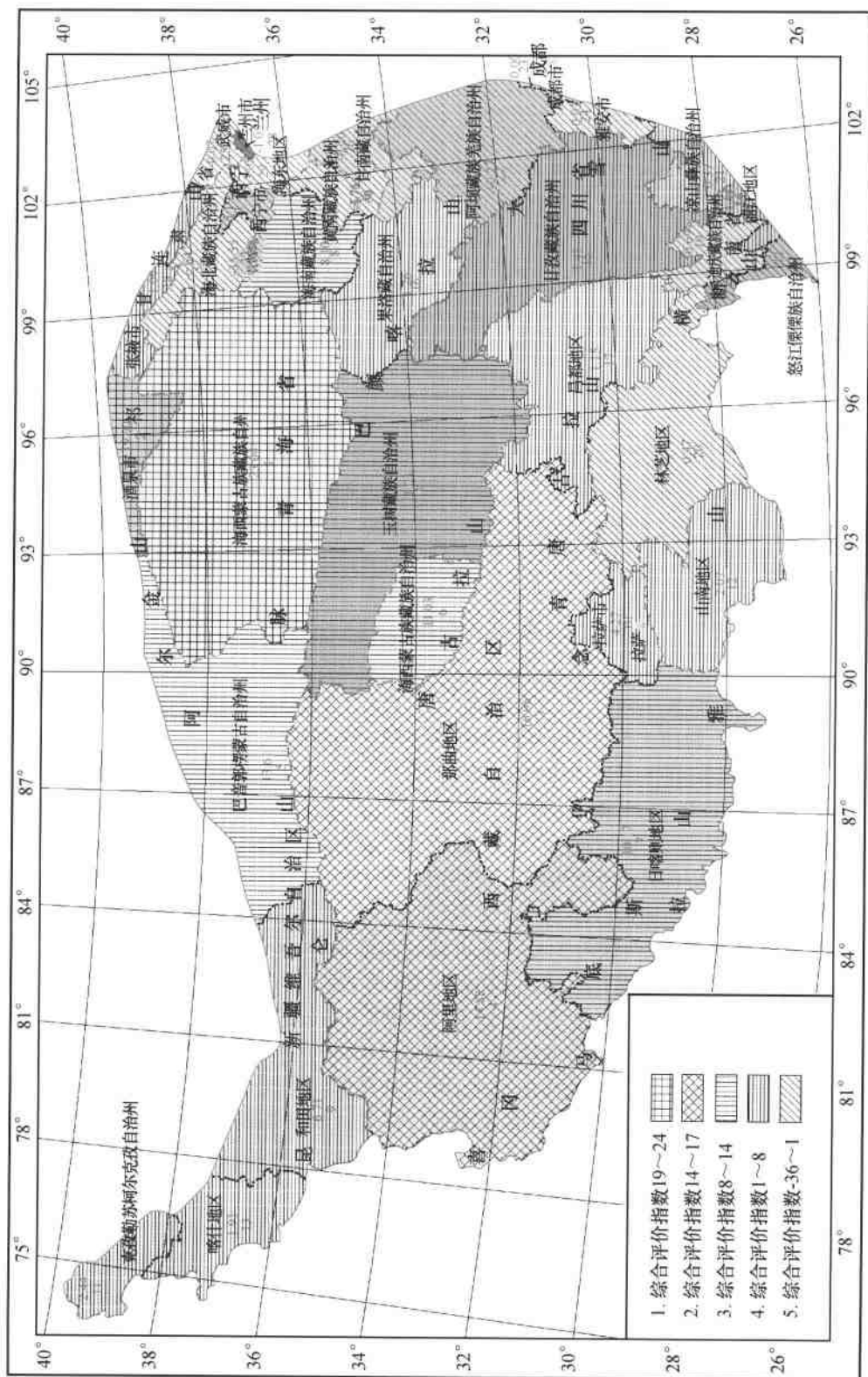
表 4-5-3 青藏高原 33 个地州(市)综合评价指数大小排序表

序号	指数	地州(市)名称	序号	指数	地州(市)名称
1	23.27	酒泉市	18	1.15	昌都地区
2	23.04	海西蒙古族藏族自治州	19	0.78	迪庆藏族自治州
3	16.96	那曲地区	20	0.47	林芝地区
4	14.88	阿里地区	21	0.41	凉山彝族自治州
5	14.09	巴音郭楞蒙古自治州	22	0.14	怒江傈僳族自治州
6	11.03	玉树藏族自治州	23	0.00	成都市
7	10.17	日喀则地区	24	0.00	兰州市
8	8.10	海南藏族自治州	25	-0.13	甘南藏族自治州
9	7.25	和田地区	26	-0.19	武威市
10	4.27	拉萨市	27	-0.24	阿坝藏族自治州
11	3.22	丽江地区	28	-2.88	海东地区
12	2.61	克孜苏柯尔克孜自治州	29	-0.52	雅安市
13	2.10	喀什地区	30	-3.76	黄南藏族自治州
14	2.07	山南地区	31	-5.19	西宁市
15	1.45	张掖市	32	-6.64	海北藏族自治州
16	1.42	甘孜藏族自治州	33	-35.55	青海湖
17	1.26	果洛藏族自治州			

4)根据综合评价指数范围确定荒漠化程度级别并进行荒漠化程度分区。荒漠化程度分级是进行荒漠化分区评价的前提。此次荒漠化程度分级主要依据工作区内 33 个地州(市)的综合评价指数,按由大到小的顺序,划分了 5 个荒漠化程度级别,即Ⅰ级:严重荒漠化级;Ⅱ级:重度荒漠化级;Ⅲ级:中度荒漠化级;Ⅳ级:轻度荒漠化级;Ⅴ级:非荒漠化级。5 个级别的荒漠化程度与综合评价指数的对应关系如表 4-5-4。

5 个荒漠化程度级别对应于工作区内 33 个综合评价指数的范围,分别是:严重荒漠化级, $19 \leq P < 24$; 重度荒漠化级, $14 \leq P < 19$; 中度荒漠化级, $8 \leq P < 14$; 轻度荒漠化级, $1 \leq P < 8$; 非荒漠化级, $-36 \leq P < 1$ 。

对青藏高原荒漠化程度进行分区,主要依据综合评价指数的大小和地形地貌特征。地形地貌特征主要是结合了区内 8 大山系的分布及山脉的走向。例如,位于日喀则地区的冈底斯山中段—东段和喜马拉雅山中段,虽然荒漠化综合评价指数为 10.17,已达到中度荒漠



图例 综合评价指标 综合评价指标排序号 省界线 地区界线 研究区边界线

图 4-5-1 青藏高原 33 个地州(市)荒漠化综合评价指数区段分布图

表 4-5-4 青藏高原荒漠化程度分级与综合评价指数对应关系表

荒漠化程度 分级	对应综合评价指数 大小排序号	对应的综合 评价指数 P	综合评价指 数段范围
严重荒漠化级	1,2	23.27、23.04、19.90	19~24
重度荒漠化级	3,4,5	16.96、14.88、14.09	14~18.99
中度荒漠化级	6,7,8,9	11.03、10.17、8.10、7.25	7~11.99
轻度荒漠化级	10,11,12,13,14,15,16,17,18	4.27、3.22、2.61、2.10、2.07、1.45、1.42、 1.26、1.15	1~4.99
非荒漠化级	19,20,21,22,23,24,25,26,27、 28,29,30,31,32,33	0.78、0.47、0.41、0.14、0.00、0.00、-0.13、 -0.19、-0.24、-0.52、-2.88、-3.76、 -5.19、-6.64、-35.55	-36~0.99

化级别,但由于两座山脉海拔大多在 6000m 以上,山峰常年积雪,山势陡峻,地形险要,大部分为基岩裸露区,只在两山脉之间的雅鲁藏布江河谷及山麓边缘有部分中度荒漠化土地分布,因此仍然将冈底斯山中段和东段及喜马拉雅山中段划为轻度荒漠化程度区。经过分析对比,将工作区内的荒漠化土地划分了 9 个分区(图 4-5-2)。

二、土地荒漠化程度综合分区评价

利用综合评价指数的大小对应于工作区内 33 个地州(市)的数量可以作出曲线分布图(图 4-5-3)。从图 4-5-1 和图 4-5-3 可以看出,在 33 个地州(市)中,综合评价指数在 14~24 之间的有 4 个地州(市);在 8~14 之间的有 4 个地州(市);在 1~8 之间的有 10 个地州(市);在 -36~-1 之间的有 15 个地州(市)。综上所述,工作区内有 15 个地州(市)的荒漠化综合评价指数在 -36~-1 之间,占全区 33 个地州(市)的 45.45%。也就是说,青藏高原内 33 个地州(市)中,有 40% 的地州(市)属于非荒漠区,但这些地州(市)由于涉及面积较小,所以总面积仅占整个青藏高原的一小部分(图 4-5-2)。

从图 4-5-2 还可以看出工作区内 5 种不同级别的荒漠化区面积分别占全区总面积的比例,由大到小依次是:①轻度荒漠化区面积 819804.55km²,占 31.79%;②中度荒漠化区面积 624944.83km²,占 24.23%;③重度荒漠化区面积 569057.64km²,占 22.07%;④非荒漠化区面积 423082.90km²,占 16.41%;⑤严重荒漠化区面积 181203.98km²,占 7.03%。

青藏高原 5 种不同级别的 9 个荒漠化分区,由于其地理位置和气候的影响以及人为活动的程度不同,使得各个分区的荒漠化分布及演变特征和演变趋势均有较大的差别。因此,对于荒漠化治理的措施也应有所不同。

1. 昆仑山-阿尔金山轻度荒漠地区(I 区)

该区位于青藏高原的西北部,行政区划主要包括克孜勒苏柯尔克孜自治州、喀什地区和田地区。地貌上主体为昆仑山脉和阿尔金山山脉。荒漠化综合评价指数为 1.91~6.71,总面积 265866.1km²。由于两山脉及其支脉基岩裸露,主要山峰大部分海拔高度均在 6000m 以上,山体陡峻,慕士塔格峰、乌孜塔格峰、琼木孜塔格峰、公格尔山峰和慕士山主峰等几乎常年积雪,因此荒漠化程度较轻。荒漠化土地主要分布在山间盆地和昆仑山、阿尔金

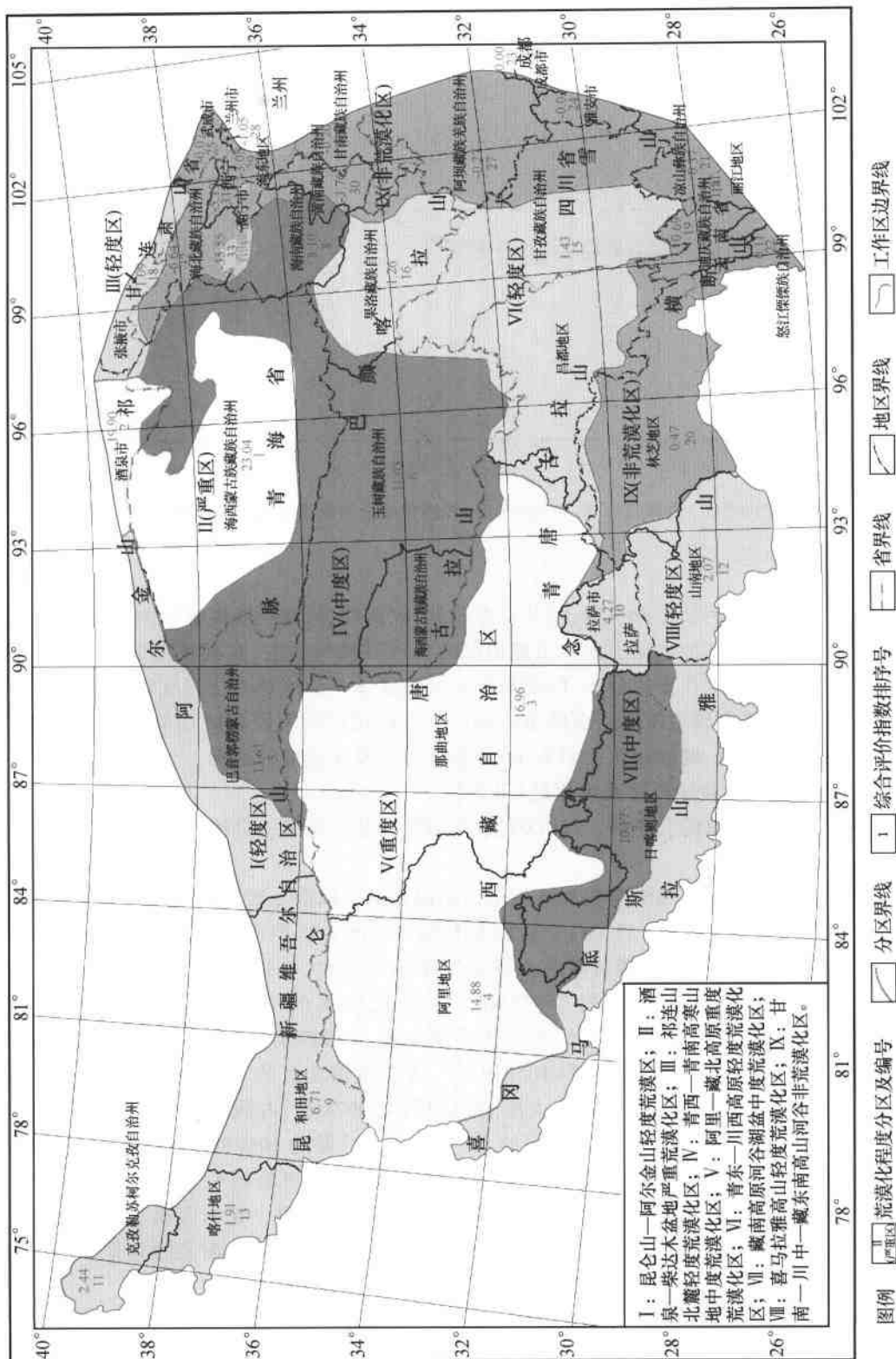


图 4-5-2 青藏高原荒漠化程度分区评价图

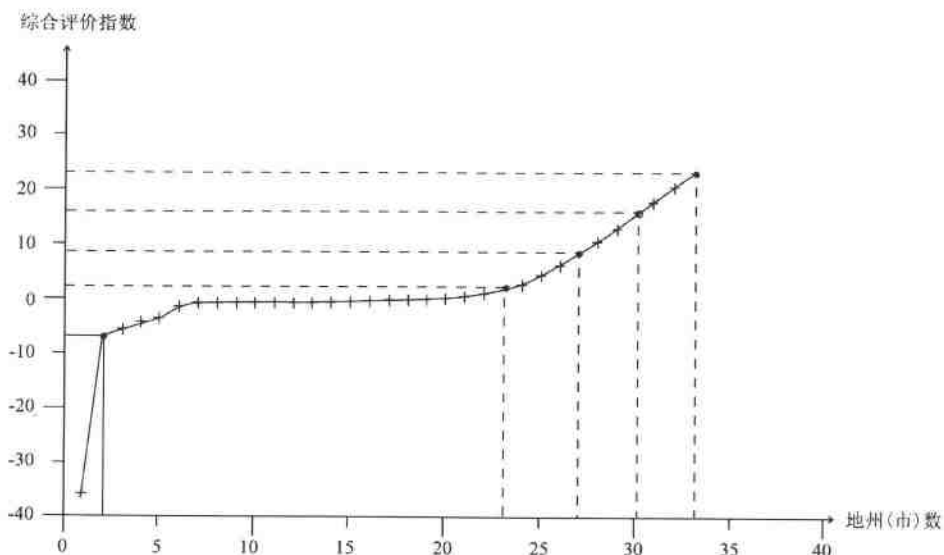


图 4-5-3 青藏高原 33 个地州(市)荒漠化综合评价指数排序曲线图

山北麓山前倾斜带及阿牙克库木湖、阿其克库勒湖、鲸鱼湖、阿克萨依湖等湖泊的周边地区。荒漠化土地类型以轻度沙漠化土地和山麓边部的砂砾石裸地为主,在湖滨地区有部分中度沙漠化土地和重度沙漠化土地分布,但面积较小。该区由于总体荒漠化程度较轻,属轻微加重区,可不作为青藏高原荒漠化治理的重点地区。目前该区的荒漠化防治应在几个湖泊的周边地区,以保护湿地、增加绿化面积为主,逐步缩小荒漠化土地的范围。

2. 酒泉—柴达木盆地严重荒漠化区(Ⅱ区)

该区位于青藏高原的北东部,行政区划主要为海西蒙古族藏族自治州,酒泉市南部的小部分。

地貌上包括柴达木盆地的全部和阿尔金山东段至酒泉以南一带的广大戈壁分布区。荒漠化综合评价指数为 19.90 ~ 23.04,总面积 181203.98km²。区内荒漠化综合评价指数为工作区内最高,达到 23.04,沙漠和盐漠的面积 of 工作区内最大,也是青藏高原内唯一的盐漠分布区。据统计,沙漠分布面积 25977km²,占该荒漠区的 14.34%。盐漠分布面积 6337km²,占该荒漠区的 3.5%。此外,包括重度沙漠化、中度沙漠化和轻度沙漠化在内的三种沙漠化土地及砂砾石裸地总面积约 105819km²,占该荒漠化区的 58.4%。重度盐碱化和中度盐碱化及轻度盐碱化 3 种盐碱化土地总面积约 19067km²,占该荒漠化区的 10.52%。可见,该区内的荒漠化土地占全区总面积的 86.82% 以上。除约 10% 的基岩山地以外,沼泽地、水体和植被的面积不足 5%。该区广泛分布的这些松散砂砾质沉积物和沙质壤土及盐碱化壤土,为区内荒漠化逐步发展到严重程度提供了丰富的沙源。在本区典型的高寒大陆性气候影响下,加之干燥、炎热、日照时间长,大风日数多,使原有的沙漠及沙化地和戈壁滩的范围不断扩大,荒漠化程度不断加重。

柴达木盆地地貌上又是一个封闭型的内陆盆地。盆地周边的基岩山区由于地层岩性中的盐分含量普遍较高,在漫长的地质构造活动和风化剥蚀过程中,经过物理化学和机械搬运

等多种内、外营力作用,盐分逐渐运移,周边的河流携带这些易溶盐分,转移到盆地内的湖泊周围、河流阶地等低洼地带甚至沙漠中,使这些地区的土壤中的含盐量逐渐增高,盐碱化程度越来越重。加之人为的灌排不当直接引起地势低洼处的地下水水位上升,盐分逐渐积聚到地表。这些多方面的自然因素和人为因素使得该区的荒漠化程度已达到严重程度,属于剧烈加重区,而且这种加重的趋势正在扩大。该区是青藏高原荒漠化治理工作首选的第一个重点地区。

3. 祁连山北麓轻度荒漠化区(Ⅲ区)

该区位于河西走廊内,行政区划全部属于甘肃省张掖市。地貌上属祁连山中段—东段的北麓山前倾斜平原,荒漠化综合评价指数为 1.09,地理位置西起高台—张掖—山丹—武威西一带至祁连山北麓的山前地带,总面积 24673.19km²。区内的荒漠化土地主要为祁连山北麓山前倾斜平原的砂砾石裸地,在祁连山地内的山间洼地也有少量的轻度沙漠化土地。由于该区主体为基岩裸露区,虽然荒漠化土地有一定的分布,而且该区由于受北部沙漠的影响,荒漠化程度有加重的趋势,但由于面积较小,程度较轻,目前属于无加重区,因此可不作为荒漠化治理的主要目标区。

4. 青西—青南高寒山地中度荒漠化区(Ⅳ区)

该区位于青藏高原的中部—北部,行政区划包括巴音郭楞蒙古自治州的东部,海西蒙古族藏族自治州的一部分及玉树藏族自治州和海南藏族自治州。地貌上属于昆仑山脉的东段和巴颜喀拉山的北段以及唐古拉山的东北部。荒漠化综合评价指数在 8.10 ~ 13.61 之间。总面积 491632.67km²。

由于区内主要为高寒山地地形,岩石地层的冻融和风化破碎严重,因此荒漠化土地类型以山前倾斜坡上的砂砾石裸地为主,少部分中度沙漠化土地和轻度沙漠化土地。盐碱化土地分布面积很少,只在部分积水洼地及湖泊的边部,如玛尔果茶卡、乌兰乌拉湖等,有部分中度盐碱化和轻度盐碱化土地分布。区内砂砾石裸地的分布面积占 40%,中度沙漠化和轻度沙漠化土地共占 15%,中度盐碱化和轻度盐碱化土地共占 5%,基岩裸露区占 25%,沼泽地、湖泊及植被等共占 15%。虽然全区荒漠化属于中等程度,但由于地处高寒山区,气候干燥寒冷,大风日数多,地表岩石的冻裂风化后,又被机械搬运,形成碎石及砂砾石和砂土,所以随着时间的推移,区内的砂砾石裸地的面积还会不断增加,荒漠化程度向重度方向发展,目前已有显著加重。区内由于自然条件较为恶劣,特别是青海南部的三江源地区,由于已经实施了生态移民工程,省政府规划在 5 年内全部完成移民工程,届时,三江源地区将成为无人区,因此,该区区域上应作为荒漠化治理的第二批第一个重点地区,尤其在交通沿线及矿区外围等还应该以防风固沙等治理内容为主,减少风沙等灾害对交通运输和矿区施工的危害。

5. 阿里-藏北高原重度荒漠化区(Ⅴ区)

该区位于青藏高原的中部—西部,地貌上处于昆仑山山脉、冈底斯山山脉、念青唐古拉山山脉和唐古拉山山脉中间的高原面上。行政区划包括阿里地区和那曲地区的几乎近全部范围,总面积 569057.64km²,是青藏高原 9 个荒漠化分区中面积最大的分区。

区内荒漠化综合评价指数那曲地区为 16.96,阿里地区为 14.88。该区地势高亢,大部为高原山地,由于寒冻风化较青海南部更强烈,气候寒冷,风力强劲,地表植被覆盖率很低,几乎全部是一派荒凉的自然景观。荒漠化土地类型以砂砾质荒漠化土地类型为绝大部分,

而盐碱质荒漠化类型则很少。砂砾质荒漠化以砂砾石裸地占主导,重度沙漠化地和中度沙漠化地也有较大面积的分布。在藏北高原和阿里高原广阔的夷平面上,分布有平缓的山地丘陵,丘陵间有众多开阔的山间盆地以及河流宽谷和山麓平原,均发育有大面积的砂砾石裸地。在星罗棋布的大小湖泊周围,主要分布有重度沙漠化和中度沙漠化土地以及小范围的流动沙丘。盐碱质荒漠化土地主要分布于面积大于 1km^2 的湖泊边部,尽管分布面积较小,但盐碱化程度较重,多为重度盐碱化和中度盐碱化土地。因此,该区是青藏高原上除柴达木盆地以外,荒漠化程度显著加重的地区,加之自然条件差,该区也是国家级贫困地区之一。但是区内以硼、芒硝、石盐、钾盐等为主导的盐类矿产十分丰富,金属矿产资源量也颇具远景,所以采取切实可行的荒漠化治理措施,已势在必行。该区是青藏高原荒漠化治理的首选第二个重点地区。

6. 青东-川西高原轻度荒漠化区(VI区)

该区位于青藏高原东部,地貌上处于巴颜喀拉山以南、唐古拉山以东、念青唐古拉山以北、大雪山以西之间的围限地带,地形主要是高山峻岭、沟壑纵横。同时江河发育,著名的澜沧江、金沙江、雅砻江等均发育在该区。行政区划包括青海省果洛藏族自治州、四川省甘孜藏族自治州和昌都地区,总面积 298523.07km^2 。

区内荒漠化综合评价指数分别为:果洛藏族自治州 1.26,甘孜藏族自治州 1.43,昌都地区 1.15。该区绝大部分为高山地貌,地势陡峻,基岩裸露。气候较青藏高原腹地湿润,在沟谷及河漫滩上多有乔灌木生长。局部的草地面积不连片,但具有一定的规模,如巴颜喀拉山口和石渠一带。总体区内荒漠化面积较小,程度也较轻。只在山间河流的两侧局部有轻度沙漠化土地,且分布零星。在唐古拉山南段的低山丘陵地区,局部有砂砾石裸地分布。所以,该区是青藏高原上面积最大的轻度荒漠区,也是荒漠化程度轻微加重区。由于该区的荒漠化对青藏高原的总体发展和经济建设没有大的影响,目前不必治理该区有限的荒漠化。

7. 藏南高原河谷湖盆中度荒漠区(VII区)

该区位于青藏高原的南部,地貌上处于冈底斯山东段—念青唐古拉山西段以北至藏北高原以南的高原台地上。行政区划属于日喀则地区的北部,总面积 133312.16km^2 。

区内荒漠化综合评价指数 10.17(日喀则地区)。荒漠化类型以中度沙漠化土地和轻度沙漠化土地为主,重度沙漠化土地则很少。在高原台地的倾斜坡和山间盆地的低洼处有部分砂砾石裸地分布。区内的盐碱质荒漠化以中度盐碱化土地为主,重度盐碱化和轻度盐碱化土地则很少。中度盐碱化土地几乎都分布在较大规模的湖泊周围,如扎布耶茶卡、扎日南木错、色林错等。由于该区主要处于高原台地,地表出露有 50% 以上为岩石裸露区,而诸如昂拉仁错、扎布耶茶卡、扎日南木错、当惹雍错、色林错等大小不等的湖泊又有 2.5% 的面积,加之在山间盆地和河漫滩上生长的植物约占 3.0% 以上,因此荒漠化土地所占的面积相对较小,且荒漠化程度属于中度,属于荒漠化轻微加重分区,所以该区可以作为荒漠化治理的第二批第二个重点地区。但是在人口较为集中的日喀则市和昂仁县、谢通门县等县城以及 219、318 国道等交通干线,要注意沙漠化(害)对居民、交通运输的影响,采取积极预防措施,避免沙害造成不必要的损失。

8. 喜马拉雅高山轻度荒漠区(VIII区)

该区位于青藏高原的南缘,地貌上处于喜马拉雅山与冈底斯山之间的近东西走向的极高山区,雅鲁藏布江河谷从该区北部穿过。行政区划包括阿里地区的西南部、日喀则地区的

南部、山南地区和拉萨市,总面积 230742.17km²。

区内荒漠化综合评价指数分别为:阿里地区 14.88,日喀则地区 10.17,拉萨市 4.27,山南地区 2.07。可见阿里地区的综合评价指数已达到重度荒漠化级别,而日喀则地区的综合评价指数也已达中度荒漠化级别。但是由于两个地区在该区内的分布面积较小,更主要的是该区所处的喜马拉雅山和冈底斯山山脉均是海拔 6000m 以上的高山峻岭,基岩裸露,山峰常年积雪,区内的大部分地区属非荒漠化区。已有的荒漠化土地主要分布于雅鲁藏布江河谷及其两侧的山麓边缘。在山间盆地和雅鲁藏布江—朗钦藏布和森格藏布等河流阶地及支流的河道内也有部分轻度荒漠化土地分布。荒漠化类型以河漫滩和山麓前缘堆积的砂砾石裸地为主,少部分重度沙漠化土地和轻度沙漠化土地。盐碱质荒漠化类型分布零星,只在岗久和噶尔藏布与森格藏布的两河交汇处有小面积的出露,程度为中度盐碱化。由于该区荒漠化分布面积较小,加重程度轻微,又处于地势险要的世界屋脊,所以在整体青藏高原荒漠化治理中可以不作为重点治理地区。

9. 甘南-川中-藏东南高山河谷非荒漠化区(IX区)

该区位于青藏高原的东边部—东南部。北起青海西宁市—甘肃玛曲—四川阿坝—理塘—云南中甸—西藏察隅—林芝县。行政区划包括甘肃武威市,青海西宁市、海东地区,黄南藏族自治州,甘肃的甘南藏族自治州,四川阿坝藏族自治州、成都市、甘孜藏族自治州、雅安市、凉山彝族自治州,云南迪庆藏族自治州、丽江地区、怒江傈僳族自治州和西藏林芝地区,共涉及 14 个地州(市),总面积 423082.90km²。

区内 14 个地州(市)的荒漠化综合评价指数在 -6.64 ~ 0.69 之间,属于非荒漠化程度级别。其中只有丽江地区的荒漠化综合评价指数为 1.51,达到轻度荒漠化程度级别,但由于丽江地区在该荒漠化大区中面积只有 8098.9km²,所以尽管荒漠化综合评价指数高于非荒漠化程度级别,但仍然将其划到非荒漠化区内。该区北起祁连山南端的冷龙岭,经四川西部的松潘草地至大雪山,向西转向云南的横断山至念青唐古拉山的南段,几乎全部是高山峡谷,峰峦叠嶂,海拔高度从冷龙岭的 4843m 到大雪山主峰贡嘎山 7556m,而横断山主峰梅里雪山 6740m,念青唐古拉山南段的南迦巴瓦峰在区内达到最大高度 7782m。本区受东南亚热带季风的影响显著,气候较为湿润,是青藏高原内唯一的半湿润高原气候区。因此,本区乔灌木生长繁茂、植被发育是区别于青藏高原内其他地区的明显特征。

区内荒漠化土地分布零星,只在青海的共和盆地和贵南县城至沙沟一带有小部分沙漠和重度沙化地分布,其他地区的荒漠化土地主要分布于河流转弯处的河漫滩、低山缓坡的山前地带,荒漠化类型以轻度沙漠化和砂砾石裸地为主,但面积多小于几平方千米,程度较轻,属于无加重区,部分加重轻微,所以该区是青藏高原内唯一的非荒漠化地区,也是生态环境质量最好的地区。



图版 4-1-1 由黄色—浅黄色细沙组成的
重度沙漠化土地沿山坡堆积



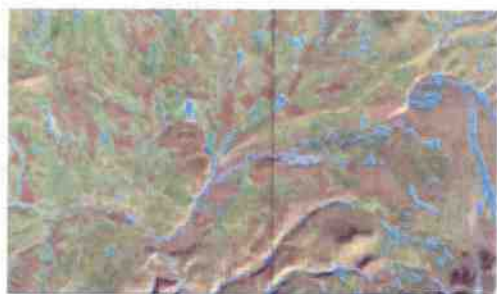
图版 4-1-2 重度沙漠化地景观(照片)



图版 4-1-3 山间洼地中的中度沙漠化
土地呈较均匀的紫灰色色彩



图版 4-1-4 中度沙漠化土地景观(照片)



图版 4-1-5 那曲一带山间低地中的草地
与轻度沙漠化土地色彩差异明显



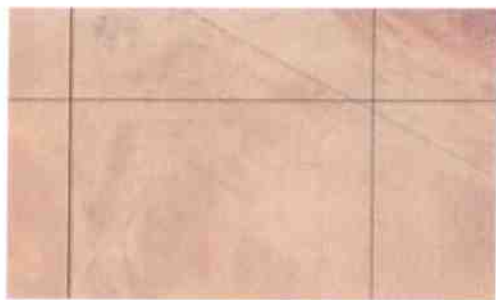
图版 4-1-6 轻度沙漠化土地景观(照片)



图版 4-1-7 山前倾斜带上的砂砾石裸
地色彩不均匀,扇状水系特征清晰



图版 4-1-8 戈壁上的砂砾石裸地景观(照片)



图版 4-1-9 由大片连续分布的流动沙丘显示的风沙地貌,沙丘低缓,色彩均一



图版 4-1-10 沙漠景观(照片)



图版 4-1-11 在革吉县至改则县一带的山间洼地及河流边部,重度盐碱化地呈白色色彩,特征明显



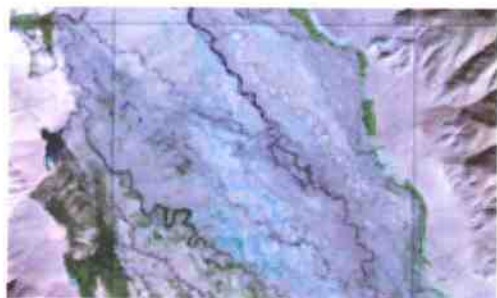
图版 4-1-12 重度盐碱化土地景观(照片)



图版 4-1-13 山间洼地内的湖泊边部及河流两侧的中度盐碱化地,植物生长稀疏



图版 4-1-14 中度盐碱化土地景观(照片)



图版 4-1-15 河流谷地内的轻度盐碱化土地,其中有植物生长



图版 4-1-16 轻度盐碱化土地景观(照片)



图版 4-1-17 柴达木盆地西部冷湖镇一大盐滩
一带的盐漠,白色色彩均一,形态不规则



图版 4-1-18 盐漠景观(照片)



图版 4-1-19 在 1999 年 8 月 1 日的 ETM7ETM4
ETM1 合成图像上,青海湖北边部的耕地呈绿
色,有的已弃耕变成沙化地,格状影纹特征明显



图版 4-1-20 耕地景观(照片)



图版 4-1-21 山间洼地中的草地呈深绿色色彩



图版 4-1-22 草地景观(照片)



图版 4-1-23 喜马拉雅山南麓倾斜带内的
林地呈草绿色,具麻点状影纹



图版 4-1-24 林地景观(照片)



图版 4-1-25 赤布张错一带的山间汇水洼地内的沼泽地呈较均匀的灰黑色色彩



图版 4-1-26 沼泽地景观(照片)



图版 4-2-1 重度沙漠化土地中局部具重度盐碱化



图版 4-2-2 流经日喀则市边部的雅鲁藏布江中游支流交汇区,耕地呈深绿色色彩,块状形态特征明显,其间有轻度沙漠化发生



图版 4-2-3 古尔嘎一带的山间风蚀地显示的重度沙漠化土地,瘤状影纹非常明显



图版 4-2-4 柴达木盆地南缘沙漠具链状沙丘,特征明显



图版 4-2-5 山间河流的出山口处由砂砾石裸地构成的洪积扇地貌,扇状水系发育



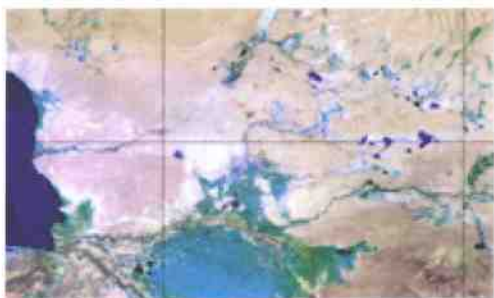
图版 4-2-6 山前倾斜平原上部的砂砾石裸地,其前缘常见有多处地下水溢出点,呈深 465 青色色彩,蝌蚪状形态特征



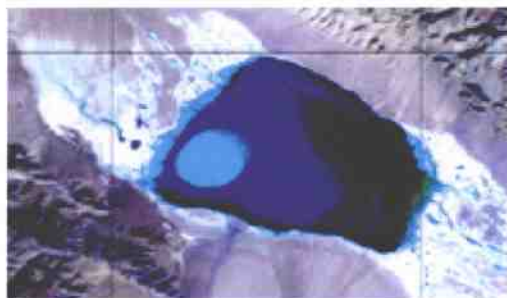
图版 4-2-7 西昆仑山北坡第三纪泥质砂岩表层的砂砾石裸地呈缓丘地貌



图版 4-2-8 拉孜县城南,山间洼地中具中度盐碱化,局部灌草长势较好



图版 4-2-9 色林错湖泊边部的轻度盐碱化土地呈白色略带浅粉红色色彩,草地边部的盐碱化地呈白色



图版 4-2-10 改则县城东山间湖泊的湖滨地区分布有重度盐碱化土地



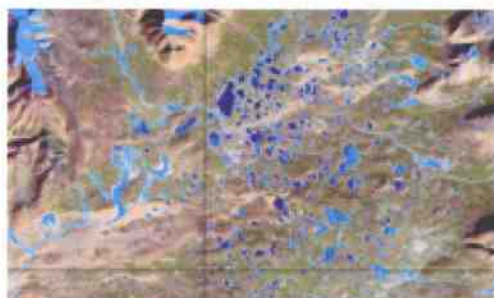
图版 4-2-11 格尔木市西山前倾斜带前缘分布的耕地,网格状影纹特征清晰



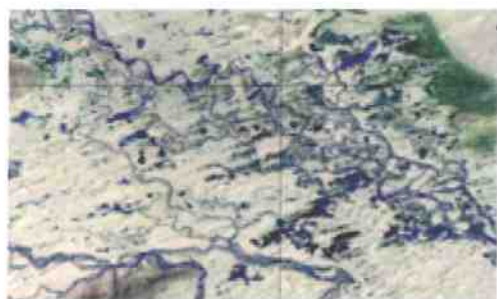
图版 4-2-12 山间多条支流交汇区具轻度沙漠化,植物生长疏密不均匀,但草绿色色彩特征清晰



图版 4-2-13 阿牙克库木湖边部分布的草地盐碱化程度已达轻度,但草地仍显示出深绿色色彩



图版 4-2-14 安多县城南由多个积水洼地组成的沼泽地



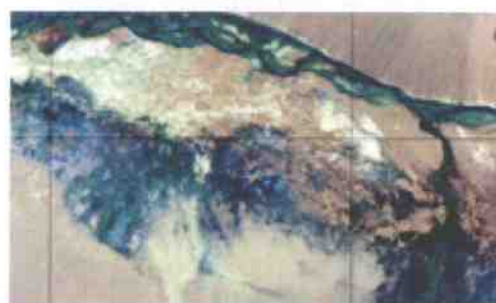
图版 4-2-15 帕羊—岗久以西一带山间洼地内的沼泽地正在被流沙掩埋



图版 4-3-1 在 1976 年 12 月 19 日的 MSS7MSS5MSS4 合成图像上,扎西岗乡—哲林一带的山间洼地内有大面积的灌草生长,呈浅褐红色色彩



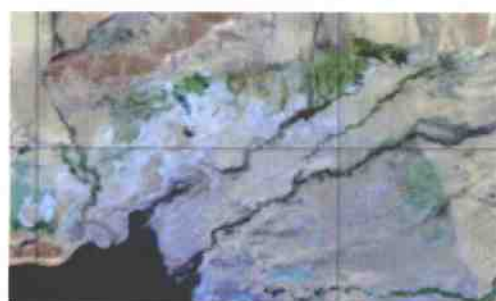
图版 4-3-2 在 1999 年 10 月 28 日的 ETM7ETM4ETM1 合成图像上,扎西岗乡—哲林一带的大面积草地变成了轻度或中度沙漠化土地



图版 4-3-3 1999 年 9 月 17 日的 ETM7 ETM4ETM1 合成图像上,阿牙克库木湖东侧的草地正在被流沙掩盖



图版 4-3-4 MSS7MSS5MSS4 合成图像上,定结县城东的湖边草地中具轻度盐碱化,呈白色斑点



图版 4-3-5 定结县城东,湖滨内的中度盐碱化土地中有少量植物生长



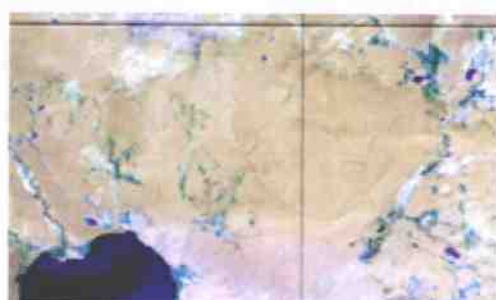
图版 4-3-6 1973 年 10 月 31 日接收的 148-34 景 MSS7MSS5MSS4 合成图像上, 柴达木盆地大灶火一带分布有较大面积的重度盐碱化土地和中度盐碱化土地



图版 4-3-7 2000 年 5 月 2 日的 137-34 景 ETM7 ETM4ETM1 合成图像上, 柴达木盆地内大灶火一带的重度盐碱化地和中度盐碱化地几乎都变成了中度盐碱化和轻度盐碱化, 范围也明显缩小



图版 4-3-8 在 MSS7MSS5MSS4 合成图像上, 申扎县东北的车尖—松钦之间的湖泊边部分布有较大面积的轻度沙漠化土地, 呈灰棕带黄色色彩的斑块



图版 4-3-9 申扎县东北的车尖—松钦之间的湖泊边部 20 世纪 70 年代分布的大面积轻度沙漠化土地变成了中度沙漠化土地, 影像上呈均匀的黄色色彩



图版 4-3-10 在 1977 年 2 月 10 日的 MSS7MSS5MSS4 合成图像上, 色林错湖西边部分布较大面积的草地, 显示出浅褐红色色彩



图版 4-3-11 在 2000 年 3 月 4 日的 ETM7 ETM4ETM1 合成图像上, 色林错湖西边部的草地大部分已经退化变成了中度沙漠化土地



图版 4-3-12 在 1976 年 12 月 19 日的 MSS7MSS5MSS4 合成图像上,昂孜错湖—格乌尔一带,在山前倾斜平原分布有较大面积的砂砾石裸地,呈较均匀的深灰色色彩,特征清晰



图版 4-3-13 在 2000 年 3 月 4 日的 ETM7ETM4ETM1 合成图像上,昂孜错湖—格乌尔一带的砂砾石裸地变成了重度沙漠化土地,影像上呈深黄色色彩



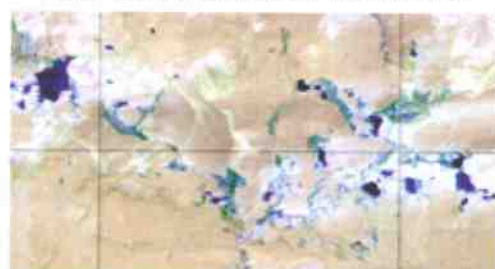
图版 4-3-14 青海湖北边部分布的耕地,在 1976 年 12 月 30 日接收的 143-34 景 MSS7MSS5MSS4 合成图像上显示清晰,棋盘格状影纹特征明显



图版 4-3-15 在 1999 年 8 月 1 日的 ETM7ETM4ETM1 合成图像上,青海湖北边部的耕地,有的已弃耕变成沙化地



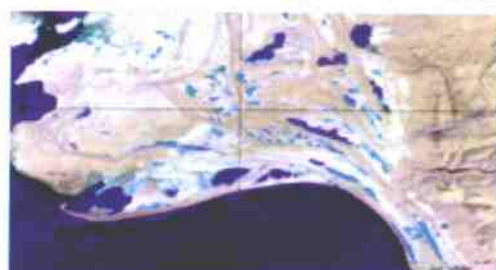
图版 4-3-16 在 1976 年 12 月 19 日的 MSS7MSS5 MSS4 合成图像上,斑戈错湖北侧分布有轻度盐碱化土地,呈不规则的灰白色斑点



图版 4-3-17 在 1999 年 9 月 19 日的 ETM7ETM4 ETM1 合成图像上,斑戈错湖北侧原来分布的轻度盐碱化土地,变成了中度盐碱化土地,呈白色色彩



图版 4-3-18 在 1977 年 2 月 10 日的 MSS7MSS5MSS4 合成图像上,色林错湖北侧分布的中—轻度盐碱化土地,呈浅褐红略带黄色色彩



图版 4-3-19 在 2000 年 3 月 4 日的 ETM7ETM4ETM1 合成图像上,色林错湖北侧原来分布的中—轻度盐碱化土地变成了中—重度盐碱化地,呈白色略带浅粉色色彩

第五章 地质灾害发展现状遥感调查

青藏高原由于经受长期演化和发展,多期多次构造活动使得高原区内断裂构造十分发育,岩性复杂多变,岩石由于长期遭受风化剥蚀等,破碎强烈。加上高山峡谷地貌,复杂多变的地形,冰川融化和降雨等,造成青藏高原区内崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害频繁发生,使青藏高原成为我国地质灾害高发区。通过遥感为主要技术手段,结合野外调查验证,对青藏高原区内地质灾害进行调查和研究,搞清地质灾害分布,研究灾害发生和发展规律,为地质灾害预防和减轻其危害,提供可靠的资料。

本次调查研究,以 2000 年的陆地卫星 ETM 图像数据为主要信息源,通过不同灾害类型解译标志建立、人机交互式解译、野外检查验证、解译成果分析研究等流程,完成全部工作。受 ETM 遥感图像空间分辨率限制,本次调查共解译地质灾害点 3259 个,其中参考前人工作解译灾害点 511 个,新解译发现灾害点 2700 个。解译结果表明,崩塌和滑坡主要分布在雅鲁藏布江中游地区、三江地区、横断山脉地区和湟水河流域;而泥石流则主要分布于祁连山、昆仑山、喀喇昆仑山、喜马拉雅山冰雪分布较多的山区。

第一节 概 述

一、地质灾害遥感调查内容与分类

本次遥感地质灾害调查研究只涉及地质灾害中的崩塌、滑坡和泥石流三类,青藏高原这三类灾害相对较发育,往往规模巨大,危害极其严重。

(一) 泥石流

1. 泥石流的定义

泥石流是松软松散土体和水的混合体在重力作用下沿自然坡面或压力坡流动的现象。这类现象多发生于山地之中,并常常给人类社会和自然环境造成危害或灾难。泥石流主要特征为:暴发突然,历时短,一次泥石流过程一般从几分钟至数小时,但破坏力强。

2. 泥石流的分类

按泥石流发生的地貌部位,将泥石流分为以下两类:

1) 沟谷型泥石流:泥石流的发生、运动和堆积过程在一条发育较为完整的沟谷进行,固体物质主要来源于河床和斜坡上的固体物质。青藏高原川藏公路 318 线路两侧大多数沟谷都属此类泥石流。

2) 坡面型泥石流:泥石流运动过程发生在山坡地面或坡上的小冲沟之中,堆积在坡脚或小冲沟出口,固体物质主要来于小沟两侧的斜坡地带。当某些地段坡面泥石流十分发育,

常常几条乃至二十多条并排发育,坡面泥石流组合坡面宽度长达数千米,这种坡面泥石流高密度发育,且有由高一级或明显的山脊线所包络的同一坡面内若干条坡面泥石流并排发育的现象,有人称之为坡面泥石流群。坡面泥石流群常对公路交通危害较严重,治理也较困难。

根据遥感调查特点、遥感图像可解译程度、实用性、简洁性和可操作性,本书将采用上述分类方案中依据地形地貌的分类方案,将泥石流分为沟谷型泥石流和坡面型泥石流(表 5-1-1)。工作区内以沟谷型泥石流占绝大多数,坡面型泥石流很少。

表 5-1-1 泥石流成因类型划分

类 型	特征说明
坡面型 泥石流	往往发育在山坡坡度较陡处和岩石破碎、残坡积层较厚的山坡体上。形成区和流通区往往连为一体,其堆积区在坡底部
沟谷型 泥石流	流域呈狭长形,能明显地分出形成区、流通区和堆积区。形成区为汇水面积较大的斗型谷,其内有大量的崩塌、滑坡等松散固体物质;流通区多为“V”形谷,沿流域两侧有不同规模的滑坡、崩塌和山坡型泥石流的产生,并汇集到流域内;堆积区多在山沟沟口处,形成圆锥状堆积体。规模和破坏力较大

3. 泥石流的灾害等级

按泥石流堆积物规模将泥石流分为:特大型、大型、中型、小型泥石流(表 5-1-2)。

表 5-1-2 滑坡、泥石流、崩塌规模级别划分标准

级 别	滑坡/万 m ³	泥石流/万 m ³	崩塌/万 m ³
巨 型	> 1000	> 50	> 1
大 型	100 ~ 1000	20 ~ 50	1 ~ 0.5
中 型	10 ~ 100	2 ~ 20	0.1 ~ 0.5
小 型	< 10	< 2	< 0.1

(二) 滑坡和崩塌

1. 滑坡的定义和分类

滑坡系指斜坡物质沿一定的滑动面,整体滑落的变形破坏形式,其产生的基本原理是斜坡的一定岩土体滑动力超过抗滑力的结果。

依据滑坡的物质组成、规模和滑坡体的厚度,对滑坡作进一步的分类,分类的结果如表 5-1-3。

2. 崩塌的定义和分类

崩塌是陡坡或陡崖上破碎的岩土体在重力作用下或地震影响下突然向下倾倒、崩落、翻滚与跳跃,而堆积于坡脚处的塌落过程及其产物。

按崩塌体的规模,将崩塌进一步分为:巨型、大型、中型和小型崩塌(表 5-1-2)。另外前人有将坡面大面积的松散堆积物,有时夹有岩石碎块顺坡流动,堆积于坡脚或公路上的现象称为碎屑流(群)。这是斜坡上的碎屑物质在重力及其他动力作用下产生的流动过程

表 5-1-3 滑坡成因类型划分表

类 型	特征说明	亚 类
松散堆积物 滑坡	滑坡体组成以第四纪(第三纪)各种不同成因类型(坡积、洪积、冲积和残积)的松散堆积物(包括半胶结的砂砾石层、黄土等)为主,泥、砂、砾大小混杂	粘性土滑坡
		碎石土滑坡
		风化壳滑坡
基岩滑坡	滑坡体组成以基岩为主,岩石类型相对较单一	顺层滑坡
		切层滑坡

与堆积,实际上也是一种特殊的崩塌现象,本书将其归入崩塌。这种碎屑流堆积物的崩塌,有的呈单体堆积,有的成群连片分布,连片分布之长者达数千米,常导致公路阻断,造成较严重的危害。大规模的活动多是因风力、雪崩作用而产生,或由高处的滑坡或崩塌转化而成;而小规模或零星的“碎落”或“散落”式的碎屑流也可由动物和热力作用引起。

二、遥感图像解译标志

(一) 泥石流解译标志

在遥感图像上明显的不规则条带状、蝌蚪状、瓢状等,其前端多呈舌状,在喇叭状沟谷出口处呈扇状和锥状,颜色和纹影与周围植被较发育处或基岩处不同。发育完整的泥石流往往有形成区、流通区和堆积区。形成区岩石破碎、物源丰富,在遥感图像上冲沟发育,植被不发育,第四季松散堆积物出露较多;流通区往往有陡坡地,形成新鲜的碎屑流;而堆积区往往为沟谷下游出口处,地形突然变得平缓,形成堆积扇,堆积物往往有较强的浮雕般凸起感,表面有流水形成的网状细沟等。遥感影像图上多见陡而平直的浅沟和坡脚蝌蚪状堆积物。有时堆积物串珠状排列于坡脚,形成泥石流群。

1. 形状

沟谷中泥石流多为明显的不规则条带状、勺状、蝌蚪状、葫芦、瓢状等。其边界多齿状、不大光滑,其前端多具舌状,后端具瓢状,在喇叭状的沟口处,河床较宽地段呈扇形或冲出锥影像(图版 5-1-1)。至于扇体具体形态,则与泥石流沟的出口形态关系密切,如喇叭状的出口往往在影像上表现为条带状扇体,扇翼角较小,如果出口处呈瓶颈,往往形成短轴状扇体,扇翼角较大,在影像上半圆形特征明显。泥石流沟无沟槽,无植被生长,其边界较为清晰,影像上质感很强(图版 5-1-2),尤其是堆积区,如浮雕般凸起,而凸起的强弱,则与泥石流混合物中固体物质的比例、性质及重复发生泥石流的多少有关,即与泥石流的堆积厚度等有关。

2. 色调及影纹结构

泥石流的色调与所在基岩区和风化堆积物的色调关系密切,故在影像上与基岩或风化物色调近乎一致,但二者在饱和度和明度上差异较大,因而也极易将泥石流识别出来。具体表现为:新生泥石流流体或沟谷上段水源的泥石流流体,因其内部水分充足,往往色调的饱和度较背景色深,亮度较低,干涸的泥石流流体则与上相反。在植被发育的地区,二者色调反差则很大,也更容易从影像上判读出来。例如:在 TM741 影像上,植被发育的地区呈鲜绿、黄绿或浅绿色,而泥石流则多呈灰、灰黑、淡紫、品红和灰红色等;在 TM432 影像上植被发育区为

鲜红色、淡红色等,而泥石流则以灰色居多。另外,泥石流内部色调多不均一,有时呈紊乱的色调,因此,泥石流的影像花纹多呈斑状、斑点状,花纹结构较为粗糙。

(二) 崩塌解译标志

顺河谷方向或河流两侧的陡崖下呈串珠或倒石锥群分布,并成群出现。在影像上,近期发生的崩塌体其崩塌面显示为浅粉红色或亮黄色,堆积物呈淡褐色锥状。崩塌壁的影像特征则与岩性有关:即硬质岩层中表现为参差不齐,斜坡地貌上陡崖呈条带状,而平面呈锯齿状,其下方有杂乱的松散堆积,结构粗糙,呈斑点状,一般植被较外围稀少,个别粗大的崩积物甚至没有植被生长。在软质岩层中发生崩塌,影像上多呈撒落状不甚明显,影纹结构较平滑细腻,呈浅色调,可明显看出由陡壁向倒石堆斜坡的地貌突变特征。

崩塌以小规模常见,并呈群出现,顺河谷方向或河流两侧的陡崖下呈串珠或倒石堆群分布。在影像上,近期发生的崩塌体其崩塌面显示为青黑色或褐黄色,堆积物呈青蓝色或淡褐色锥状。崩塌壁的影像特征则与岩性有关:即硬质岩层中表现为参差不齐,斜坡地貌上陡崖呈条带状,而平面呈锯齿状,其下方有杂乱的松散堆积,其结构粗糙,呈斑点状,一般植被较外围稀少,个别粗大的崩积物甚至没有植被生长。在软质岩层中发生崩塌,影像上多呈撒落状不甚明显,崩积物的粒度较前者细小,结构疏松,多数较老的崩塌体植被茂盛,影纹结构较平滑细腻,呈浅色调,可明显看出由陡壁向倒石堆斜坡的地貌突变特征。总体上,大多数崩塌具短轴纵向粗糙影纹(图版 5-1-3, 5-1-4)。

(三) 滑坡解译标志

影像特征与其类型密切相关,具体表现为:土质类滑坡多呈一系列不规则形态,纵向粗糙影纹。滑体和残留体一般分布在河流两侧的陡坡处。基岩类滑坡则多形成青灰或浅亮色“箕”状坡谷,形成特殊色调的孤立残留堆积体。在滑床上有一系列纵向粗糙影纹显示。有的在滑壁后缘可见明显的阴影线,沿滑壁上端分布,是滑壁后缘的拉裂缝。由于大多数滑坡在其发生、发展、稳定或复活的过程中,具有明显的变形和形态特征,因而可进一步识别出滑坡周界、滑坡体、滑坡舌。影像特征(图版 5-1-5, 5-1-6):土质类滑坡周界一般表现为圆滑的上凸弧形、马蹄形、倒梨形。后壁圆滑,侧壁为直线状或大曲率弧形;基岩类滑坡周界不甚圆滑,后壁呈直线或折线形,滑坡体往往处于较稳定的自然斜坡凸低的负地形中,其后壁与滑坡体的交接处多形成洼地,中部则有多级垂直滑动方向的台坎。由于滑坡体相对低洼而含水,因此多呈深色调,尤其是土质滑坡,因水而发育植被,其影像色调较周边要深,滑坡一般具有较强的挤压、扰动、松脱等现象,岩(土)体破碎,结构松散。影像上有明显的“舌状”。

中小型崩塌和滑坡在遥感图像上判别较困难,只能判别大型和巨型规模的崩塌和滑坡。

第二节 地质灾害分布现状和变迁

一、地质灾害发育条件

地质灾害作为一种重要的自然地质现象,与其他自然现象一样,其发生发展有必要的条

件因素。青藏高原长期、复杂的地质演化历史,多期多次地质构造活动,必然造成区内断裂构造极为发育,使岩石破碎强烈。同时复杂多变的地质历史,同时生成了各种不同岩石类型。青藏高原区内高山峡谷地貌,是以重力作用为主的地质灾害发育的首要条件,组成了地质灾害发生的内因;长期风化剥蚀形成的厚层的残坡积物、第四纪松散堆积物,冰雪融化水和不规则的降水,河流冲刷和人类开挖造成的边坡不稳定等是地质灾害发生的外因。地质灾害发生发展只有内外因配合才有可能,因此搞清地质灾害发生的条件,对于灾害预防、监测和治理,同样具有十分重要的意义。

二、地质灾害分布现状

(一) 全区地质灾害分布现状

根据已建立的地质灾害遥感解译标志,按照地质灾害信息提取的工作程序,进行青藏高原全区地质灾害解译。由于受遥感数据地面分辨率、数据时相、植被覆盖等的影响,依据现有遥感数据只能解译大部分大型和巨型的地质灾害,而部分大型及大部分中小型地质灾害无法判译和识别,为了弥补这一不足,参考和引用了前人最新的调查成果,如西安煤航、四川地勘局成都水文地质工程地质中心完成的“川藏公路南线、北线地质灾害调查”成果、青海省地质调查院完成的“青海省地质灾害遥感综合调查”成果和河南省地矿厅区域地质调查队完成的“西藏自治区地质灾害遥感综合调查及地壳区域稳定性评价”中的部分成果。这些成果,主要是通过航空相片或是地面调查而获取的,是较为真实可信的。

青藏高原全区面积 257.87 万 km^2 ,涉及 1:25 万标准图幅 260 幅、1:50 万标准图幅 61 幅,解译地质灾害点 3259 个,其中参考前人资料解译灾害点 511 个,新解译发现灾害点 2700 个(图 5-2-1、表 5-2-1)。

(二) 重点区地质灾害分布现状及动态变化研究

青藏高原面积巨大,在短短的 2 年时间和有限的经费及研究人员的条件下,完成地质灾害详细调查研究、灾害发生发展规律研究实属难事。只有由点到面,由重点到一般的科学合理安排,才能顺利完成调查任务。为此,选择重点区进行详细研究。

重点区选择在地质灾害较发育,灾害类型和规模较齐全,地形地貌特点、地质背景有一定代表性地段。根据前人资料、地质灾害遥感解译成果、地质背景分析、地形地貌特点等对比,在区内选择了林芝-波密的雅鲁藏布江中段作为重点工作区(图 5-2-2)。

1. 重点区地质灾害详细解译

依据确定的重点区范围,选择 ETM7、4、1 多光谱数据和 8 波段,采用小波函数进行融合成地面分辨率为 15m 的较高分辨率的图像,搜集了有代表性灾害点的航空相片数据等进行详细解译。解译时以遥感图像为基础,同时参考和对比区内川藏公路两侧和西藏自治区最新的调查成果逐段逐片进行。

重点区面积共 331569.54 km^2 ,共解译出灾害点 1010 个,其中崩塌 282 个、滑坡 390 个、泥石流 338 个;大型 359、巨型 313 个、小型 17 个、中型 76 个。

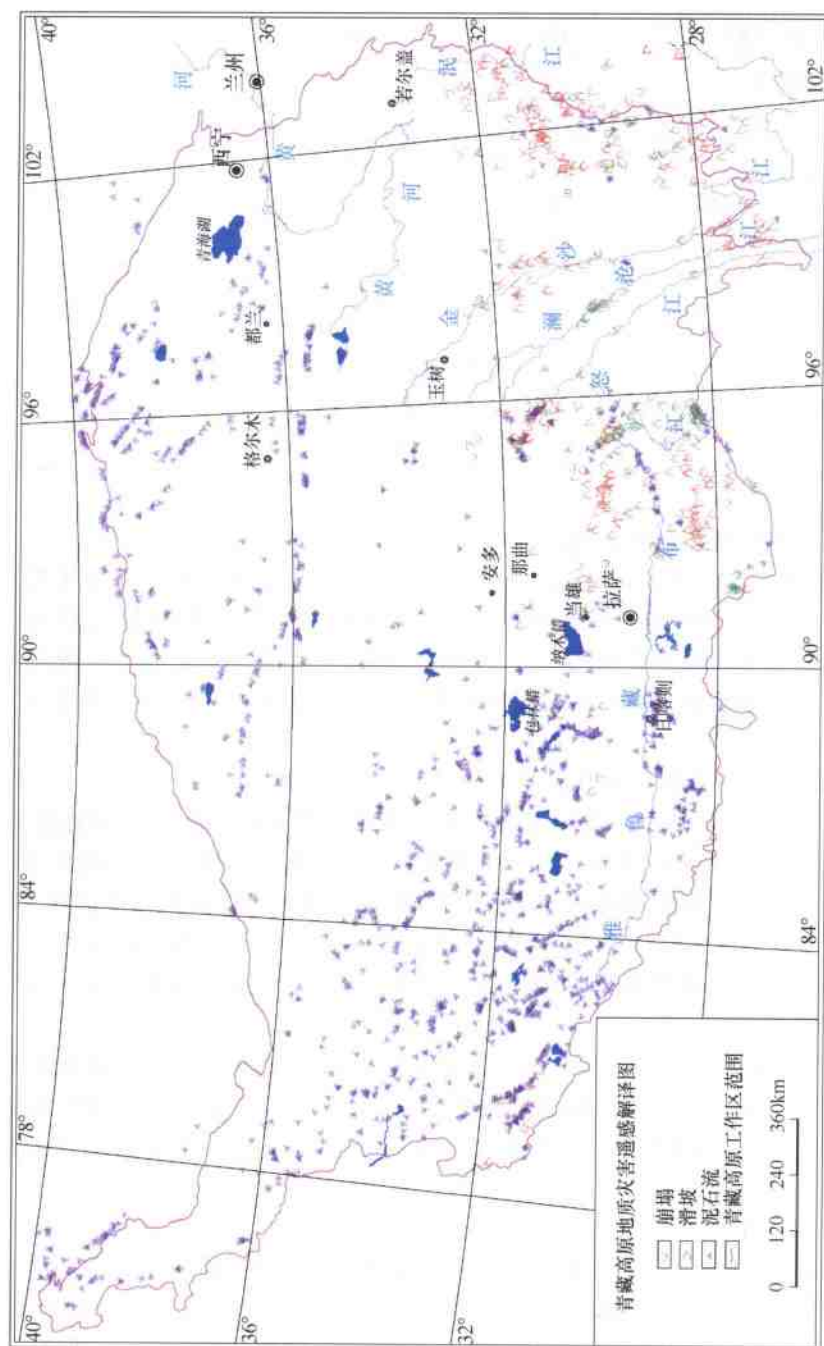


图 5-2-1 青藏高原地质灾害分布遥感解译图

表 5-2-1 全区解译地质灾害数量分类统计表

灾害类别 项目/个		崩 塌	滑 坡	泥石流	合 计
全区解译地质灾害		418	663	2178	3259
潜在地质灾害		2	7	1165	1174
灾害级别	巨 型	0	107	2001	2108
	大 型	418	428	118	964
	中 型	0	55	54	109
	小 型	0	73	5	78
野外检查		48			3259
新解译发现		2700			
参考前人资料	参考青海资料:57			511	
	参考西藏资料:226				
	参考川藏公路调查资料:228				

2. 重点区内地质灾害野外调查

野外调查路线也主要安排在重点工作区内,从拉萨开始进入重点区的林芝、波密,直至八宿县附近,全长近 1000km。野外调查时不仅调查地质灾害本身的特点,同时注意灾害发生的有关的地质、地形地貌背景、遥感影像标志、植被和人类活动关系等。依据重点区野外调查结果,对已初步建立的地质灾害遥感解译标志进行修改和完善,进一步提高了解译的正确性。

3. 重点区内地质灾害动态变化研究

调查和研究地质灾害,不仅要研究其现状,更要研究其动态变化趋势,预测其未来的变化。区内地质灾害随青藏高原的隆升,有一个长期发展和演变趋势,仅依靠时间间隔几十年的遥感数据,显得力不从心。崩塌、滑坡、泥石流地质灾害往往具有长期积累、瞬间爆发的特点,明显不同于荒漠化、水土流失等长期、连续、缓慢演变的地质灾害,因此如何研究这些灾害的动态变化,特别是用中等分辨率的遥感数据,是一个尚待探索的问题。本研究仅仅作一下尝试。

(1) 遥感数据选择

依据地质灾害崩塌、滑坡、泥石流动态对比特殊性,两期遥感数据尽可能选择时间间隔长而相同季节,能满足这一要求的遥感数据只有 Landsat 系列的 TM 和 ETM 数据。重点区内收集到的两期遥感数据如表 5-2-2,轨道分布如图 5-2-3。所用作对比的遥感图像地面分辨率均为 30m。

(2) 动态变化监测方法

以全区统一的 Lambert 投影参数为基准,将用作对比、同一轨道号的不同时期遥感图像校正到相同坐标系中,在软件 ERDAS 中用 Swipe 工具和 Photoshop 中进行对比,参考对应地区的地质灾害解译图,有灾害地段详细对比。对比时图像放大倍数、变化细节的把握等,全区尽可能统一标准。

(3) 动态变化监测结果

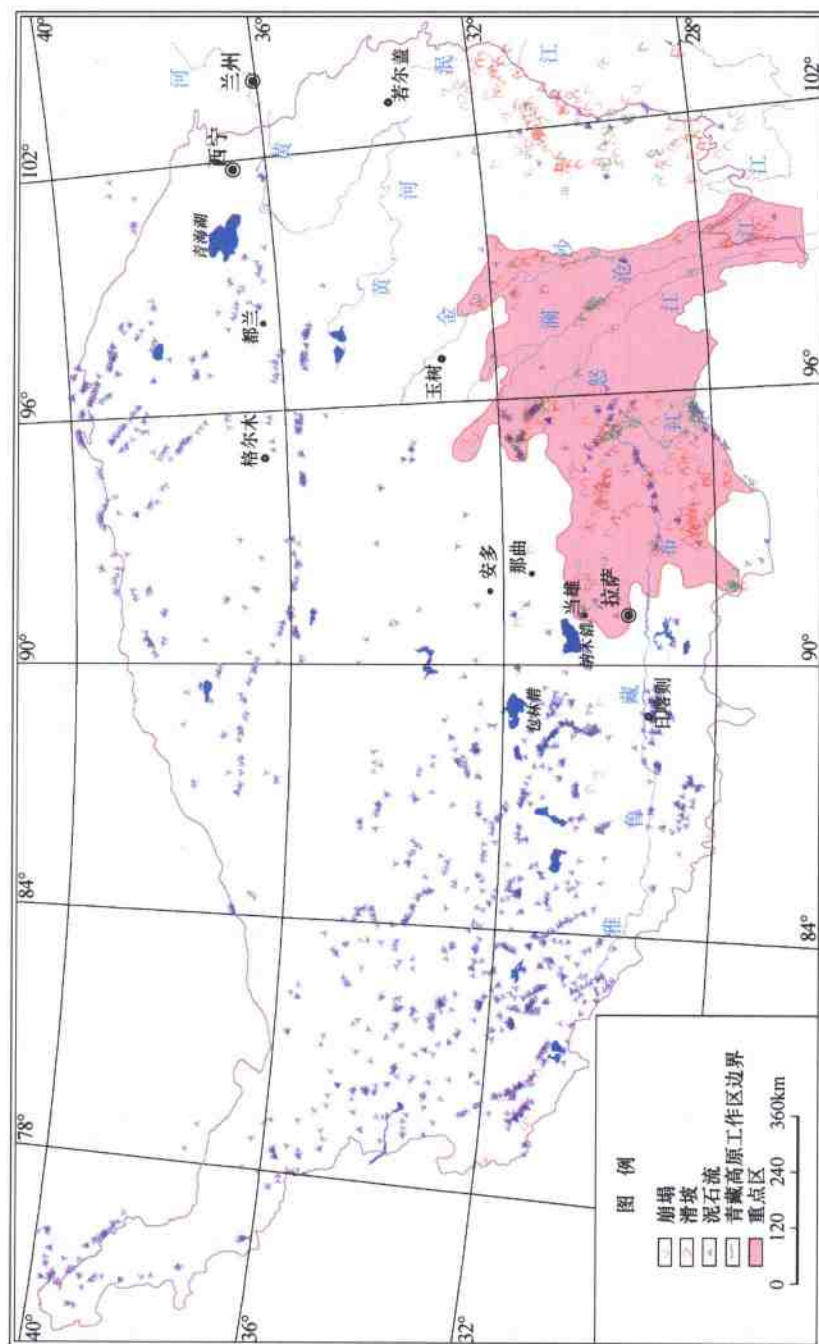


图 5-2-2 选择的重点区示意图

表 5-2-2 重点区动态对比用遥感图像轨道和时相及动态变化表

青藏高原重点区遥感图像轨道号、时相和动态变化									
131	131 - 038		时差	131 - 039	时差	131 - 040	时差	131 - 041	时差
			变化		变化		变化		变化
	ETM	00. 10. 31	6	99. 10. 29	5	02. 10. 06	13	01. 01. 19	15
TM	94. 09. 05	无	94. 09. 05	BH	89. 10. 02	B	86. 11. 02	B	
132		132 - 038	5 无	132 - 039	5 B	132 - 040	6 无		
	ETM	00. 03. 28		00. 03. 28		01. 11. 10			
	TM	95. 05. 10		95. 05. 10		95. 05. 10			
133		133 - 038	14 D	133 - 039	5 D	133 - 040	9 无		
	ETM	00. 07. 17		00. 07. 17		01. 12. 19			
	TM	86. 07. 27		95. 05. 10		92. 11. 16			
134		134 - 038	13 无	134 - 039	13 无	134 - 040	13 B		
	ETM	01. 10. 23		01. 10. 23		01. 10. 23			
	TM	88. 10. 11		88. 10. 27		88. 10. 27			
135		135 - 038	7 H	135 - 039	12 NH	135 - 040	2 B	135 - 041	2 N
	ETM	99. 09. 23		99. 09. 23		00. 05. 12		00. 05. 12	
	TM	92. 08. 10		87. 12. 03		98. 12. 17		98. 12. 17	
136		136 - 033	6 无	136 - 038	8 无	136 - 039	13 无	136 - 040	13 无
	ETM	00. 07. 14		01. 10. 17		01. 10. 21		01. 12. 24	
	TM	94. 08. 23		92. 09. 02		88. 10. 09		88. 10. 25	
137		137 - 038	13 无	137 - 039	12 无	137 - 040	3 无		
	ETM	01. 01. 29		00. 12. 28		01. 01. 14			
	TM	88. 09. 14		88. 09. 14		98. 01. 29			
138		138 - 038	7 无	138 - 039	2 无	138 - 040	3 N		
	ETM	01. 02. 05		00. 04. 07		00. 04. 07			
	TM	94. 11. 09		98. 01. 21		97. 11. 17			
		139 - 039	11 N	145 - 038	11 N				
	ETM	00. 11. 08		00. 11. 02					
	TM	89. 11. 10		89. 11. 12					

表中,时差—遥感图像时间差,a;变化—有无动态变化及动态变化灾害类型;无—无明显变化;B—崩塌;H—滑坡;N—泥石流;D—微地形变化。

从上述不同时期遥感图像对比可以看出:重点区内共 27 景遥感图像动态对比,其中有明显变化的约 12 景,接近 50%。动态变化在空间上分布不均,有的地区或地段,地质灾害明显增加。如轨道号 135-039 中的雅鲁藏布江大拐弯地段,沿江不到 20km 范围内,时间间隔 12a 中新增加(或活动性明显加大)大型和巨型崩塌和滑坡 8 处。

地质灾害动态变化泥石流变化周期最短,2~3a 就可以出现遥感图像上可以识别的变化,主要表现为泥石流洪积扇表面的变化,如面积大小、流水沟的方向、沟的深浅等。崩塌的

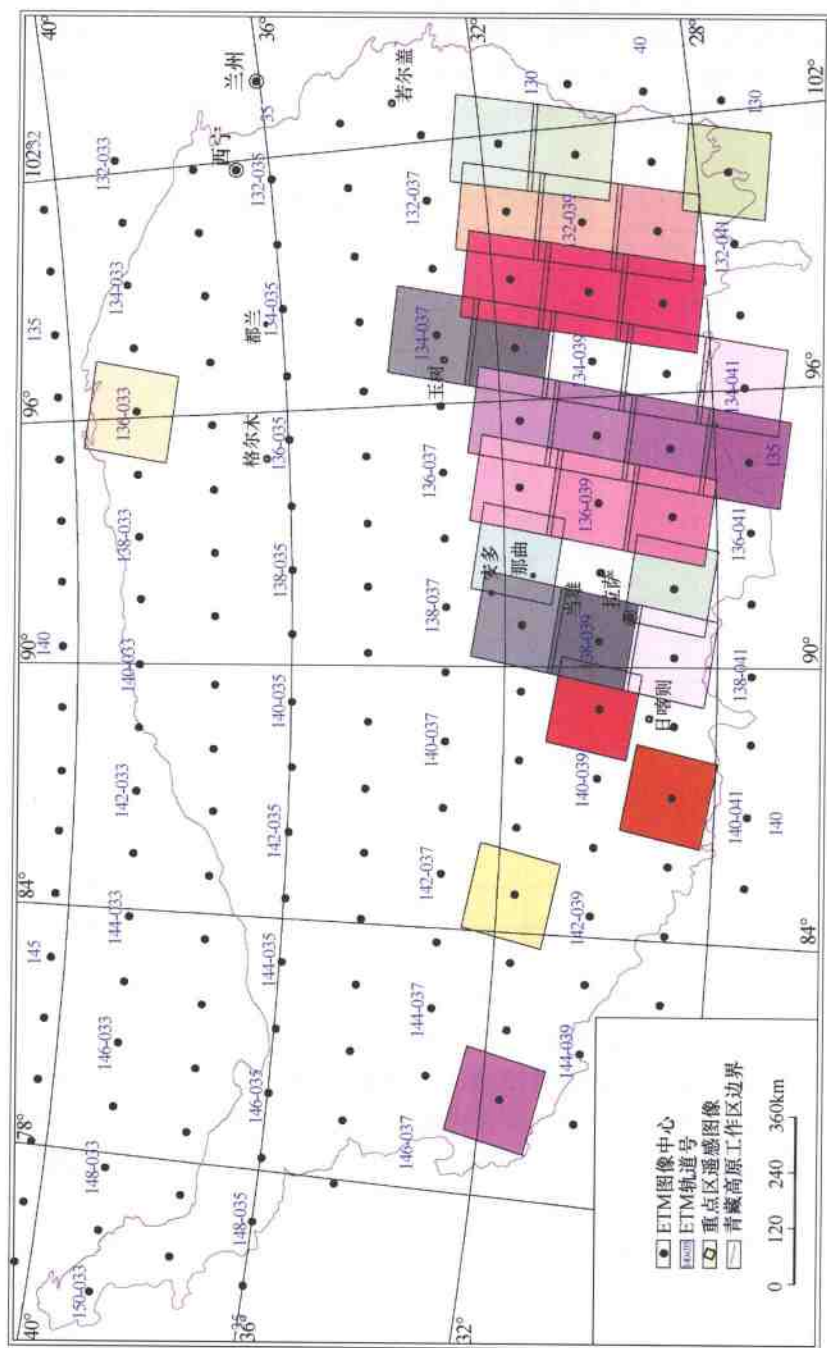


图 5-2-3 重点区动态对比遥感数据分布图

变化周期也较短,2~3a有微小的变化,表现为崩塌体表面积的变化,而5a左右则有明显变化。滑坡有微小变化需要5a以上的时间,明显的变化则需要10a以上,表现为滑坡体明显位移,有的甚至消失。局部微地貌的变化也与滑坡的变化周期相同。以上的变化规律与地质灾害的形成机理完全一致,泥石流可能表现为既有突发性又有年年月月缓慢积累性,滑坡主要表现为长年积累而突发性明显,崩塌则介于两者之间。从表5-2-3中可以看出,不同岩性地区地质灾害动态变化有差异,有些地区变化较明显,而有些不明显。

表 5-2-3 不同时代地层中地质灾害分布数量统计表

地层	崩塌/个	滑坡/个	泥石流/个	总计/个
第四系	18	32	746	796
新老第三系	9	34	225	268
白垩系	17	30	199	246
侏罗系	49	40	246	335
三叠系	112	238	230	580
二叠系	18	26	51	95
石炭系	38	57	213	308
泥盆系	6	32	8	46
志留系	7	24	26	57
奥陶系	1	6	14	21
寒武系	0	0	5	5
震旦系	103	88	91	282
中元古界	0	7	11	18
古元古界	5	4	5	14
太古宇	0	3	0	3
侵入岩	57	60	173	290

(4)重点区内地质灾害动态监测周期分析

根据重点区内地质灾害分布特点、灾害类型、灾害发生的地质背景和条件、灾害危害等,选择重点区内林芝-波密段中部雅鲁藏布江大拐弯段,地理坐标:东经94°30′~95°30′。北纬29°30′~30°15′,大约100km×78km范围进行重点监测(图5-2-4)。该区段内地形陡、河流切割深、断裂构造发育、岩性复杂,不仅发育有大型滑坡、泥石流、崩塌,而且活动性大,对318国道危害较大,动态对比结果是大型和巨型灾害增加最明显的地段。进一步调查可选择高分辨率的遥感图像,如IKONOS、QUICKBIRD或SPOT-5遥感数据进行定期监测,监测周期可选择3~5a。

三、地质灾害成因分析与区划

为了研究地质灾害分布规律和特点,将解译的单幅遥感图像重新投影,合并成一幅青



图 5-2-4 重点区内的重点监测区范围示意图

藏高原全区地质灾害分布图(见图 5-2-1)。从地质灾害分布图上可以看出地质灾害分布有如下特点。

1. 地质灾害分布地域

地质灾害主要分布于西藏自治区、青海省和四川省境内,其次为新疆维吾尔自治区、甘肃省和云南省。西藏自治区境内分布数量最多的是林芝地区。

2. 灾害类型

崩塌主要分布于藏东南和川西地区,滑坡除了上述两个地区有较多分布外,青海省东部地区也有较多分布,而泥石流则主要分布在西藏中南部、中西部、青海省中北部和新疆南部和西部。

3. 地理位置

崩塌和滑坡主要分布在雅鲁藏布江中游地区、三江地区、横断山脉地区和湟水河流域;而泥石流则主要分布于祁连山、昆仑山、喀喇昆仑山、喜马拉雅山冰雪分布较多区。

4. 地貌位置

地质灾害的形成机理决定了其分布的地貌位置,崩塌和滑坡常发生在公路两侧和河流两岸,特别是河流侵蚀岸;而泥石流大多分布于山谷与平原交界处(即坡降由陡变缓)谷口附近。在图 5-2-1 上可以看出,林芝段的雅鲁藏布江凹岸崩塌和滑坡最为发育,也可能是高原区内地质灾害分布最为密集的地段。

5. 地质灾害分布与断裂构造的关系

区内地质灾害大多位于断裂破碎带内或附近。崩塌和滑坡主要位于断裂构造密集分布且方向发生变化地段,如林芝-波密-昌都段近东西向断裂和北北西向断裂交汇处,西昌-雅江-成都段近南北向断裂和北北向断裂交汇处(图 5-2-5)。



图 5-2-5 断裂构造与灾害分布关系图
(资料来源:1:50 万数字地质图)

6. 地震活动带与地质灾害的分布

根据收集到的国家地震局公布的全国地震目录资料,截止到2003年5月,区内发生4级和4级以上的地震共1572次。将地震震中分布图与区内地质灾害分布图叠加分析得出:崩塌与滑坡密集发育集中区正位于两个地震活动中心,即林芝-波密的雅鲁藏布江中游的近南北和雅江附近南北—北北西向地震活动中心(图5-2-6)。

7. 灾害分布与水系关系

崩塌和滑坡主要分布在雅鲁藏布江水系、怒江、澜沧江和长江水系,而泥石流主要分布在柴达木内陆水系和羌塘高原内陆水系。

8. 地质灾害与大气降水关系

崩塌和滑坡分布在年降雨量大于400mm区域,主要位于400~600mm范围,而泥石流主要分布于400~100mm区域。崩塌和滑坡主要分布在湿润、半湿润区,而泥石流却主要分布于干旱区。

9. 地质灾害类型和分布与地层和岩性关系

青藏高原地质灾害主要与第四纪松散堆积物和破碎带、软弱岩组有关,与基岩类型也有密切关系。通过灾害点与不同时代地层(1:50万数字地质图)的叠加统计分析,得出各时代地层中灾害分布数(表5-2-3)。从表中可以看出,大部分灾害发生在第四纪地层中,与地表松散堆积物有关,其次与三叠系有关,即与巴颜喀拉群半坚硬—软弱的粉砂岩、泥岩、页岩、火山碎屑岩有密切关系。

四、地质灾害综合分区评价

将全区地质灾害分布图和地貌分区图、地形图、分解的地质图、地质构造图、地震分布图、年均降雨量分布图、水系图、遥感图像等套合,在GIS技术支持下,采用空间分析和综合分析,完成全区地质灾害综合分区。

(一) 综合分区原则

- 1) 地质灾害的分布。分布类型和密度,崩塌和滑坡是考虑的第一因素,泥石流次之。
- 2) 地形地貌特征。地形复杂、高差大、切割深、坡度大是灾害发生的主要地形条件。
- 3) 地质构造条件。断裂构造,特别是新构造和活动断裂,与灾害的发生具密切联系。
- 4) 工程地质岩性条件。软硬相间岩石组合、含炭岩系、泥质岩系等是灾害发生的有利工程地质岩性条件。
- 5) 地震活动、人类活动、降雨、冰雪融化等是灾害发生的诱因。

(二) 分区评价

根据区内地质灾害的类型、规模、危害程度和分布规律,结合地形地貌、地质、新构造、地震、气候资料及综合分析研究和GIS技术空间叠加分析,对全区进行地质灾害发育程度的综合分区。根据灾害发育程度,划分为危险区、不稳定区、较稳定区和稳定区,全区共划分出3个危险区、6个不稳定区、6个较稳定区和3个稳定区(表5-2-4,图5-2-7)。分区界线的勾画,尽可能沿着河流、地貌单元分界线以及地质灾害分布密度变化明显处等,尽可能圆滑和平直。

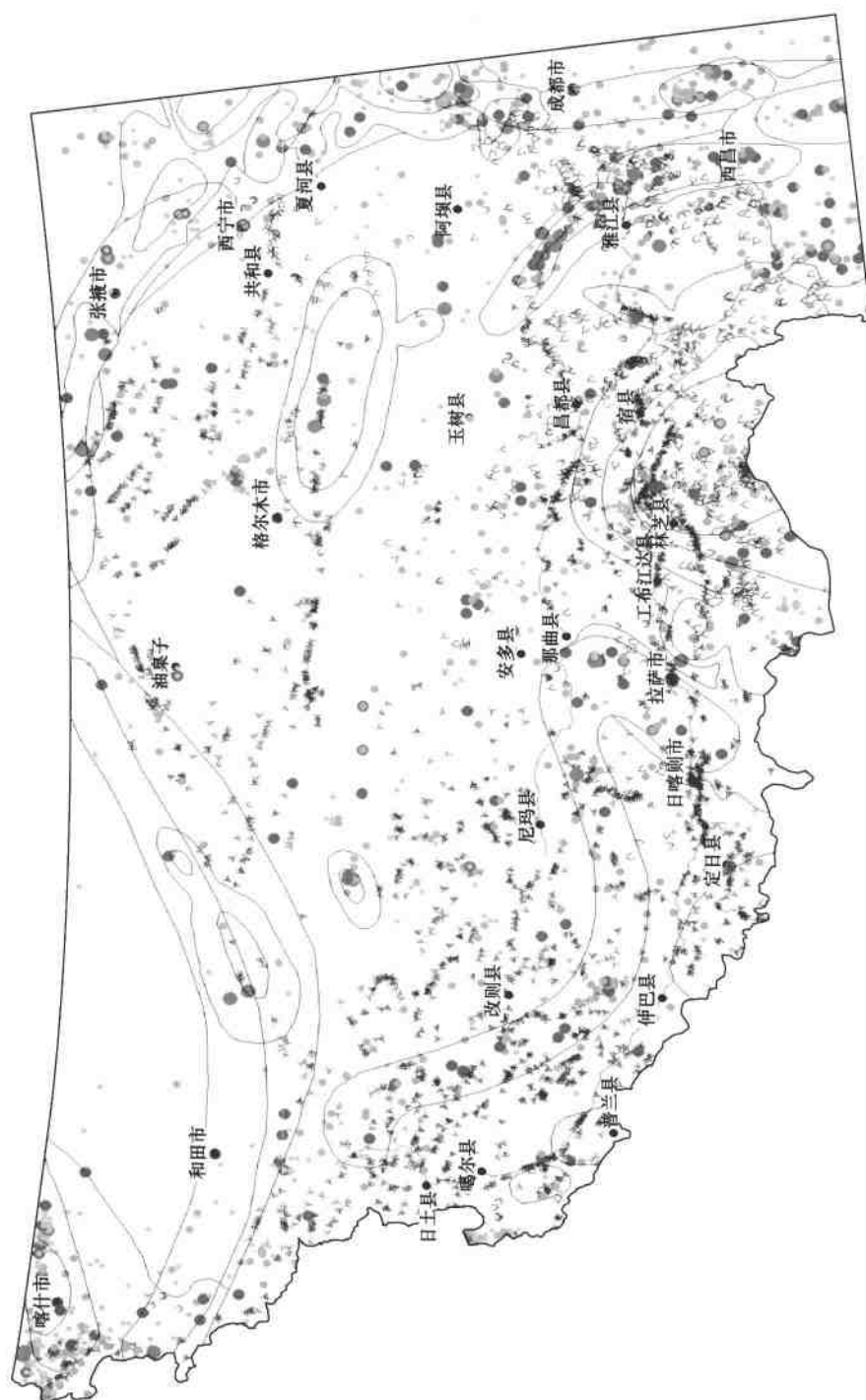


图 5-2-6 地震活动带与灾害分布图

表 5-2-4 地质灾害综合分区统计表

分 区 (区内灾害总计)		灾害类型 (单项总计/潜在灾害)	规 模			
			巨 型	大 型	中 型	小 型
危险区	A1 (1017)	崩塌(282)		282		
		滑坡(393)	68	265	44	16
		泥石流(342/116)	247	59	32	4
	A2 (256)	崩塌(79)		79		
		滑坡(156)	37	116	3	
		泥石流(21/7)	13	8		
	A3 (57)	崩塌(11)		11		
		滑坡(42)			1	41
		泥石流(4/4)	4			
不稳定区	B1 (79)	崩塌(5)		5		
		滑坡(8)		7	1	
		泥石流(66/29)	56	8	2	
	B2 (259)	崩塌(8)		8		
		滑坡(13)	2	10	1	
		泥石流(238/132)	199	27	12	
	B3 (30)	崩塌(10)		10		
		滑坡(3)		3		
		泥石流(17/3)	5	6	6	
	B4 (21)	崩塌				
		滑坡(11)		7	1	3
		泥石流(10/2)	8	2		
	B5(16)	崩塌(5)		5		
		滑坡(11)		1		10
		泥石流				
	B6 (0)	崩塌				
		滑坡				
		泥石流				

续表

分 区 (区内灾害总计)		灾害类型 (单项总计/潜在灾害)	规 模			
			巨 型	大 型	中 型	小 型
较稳定区	C1 (918)	崩塌(7)		7		
		滑坡(1)		1		
		泥石流(910/479)	907	3		
	C2 (362)	崩塌(2)		2		
		滑坡(4)		1	1	2
		泥石流(356/253)	356			
	C3 (11)	崩塌				
		滑坡(6)		3	1	2
		泥石流(5/3)	5			
较稳定区	C4(0)	崩塌				
		滑坡				
		泥石流				
	C5(63)	崩塌(2)		2		
		滑坡(1)		1		
		泥石流(60/45)	60			
	C6(29)	崩塌(5)		5		
		滑坡(13)		12	1	
		泥石流(11/3)	5	5	1	
稳定区	D1 (128)	崩塌(2)		2		
		滑坡(1)			1	
		泥石流(125/83)	123		1	1
	D2(13)	崩塌				
		滑坡				
		泥石流(13/6)	13			
	D3(0)	崩塌				
		滑坡				
		泥石流				

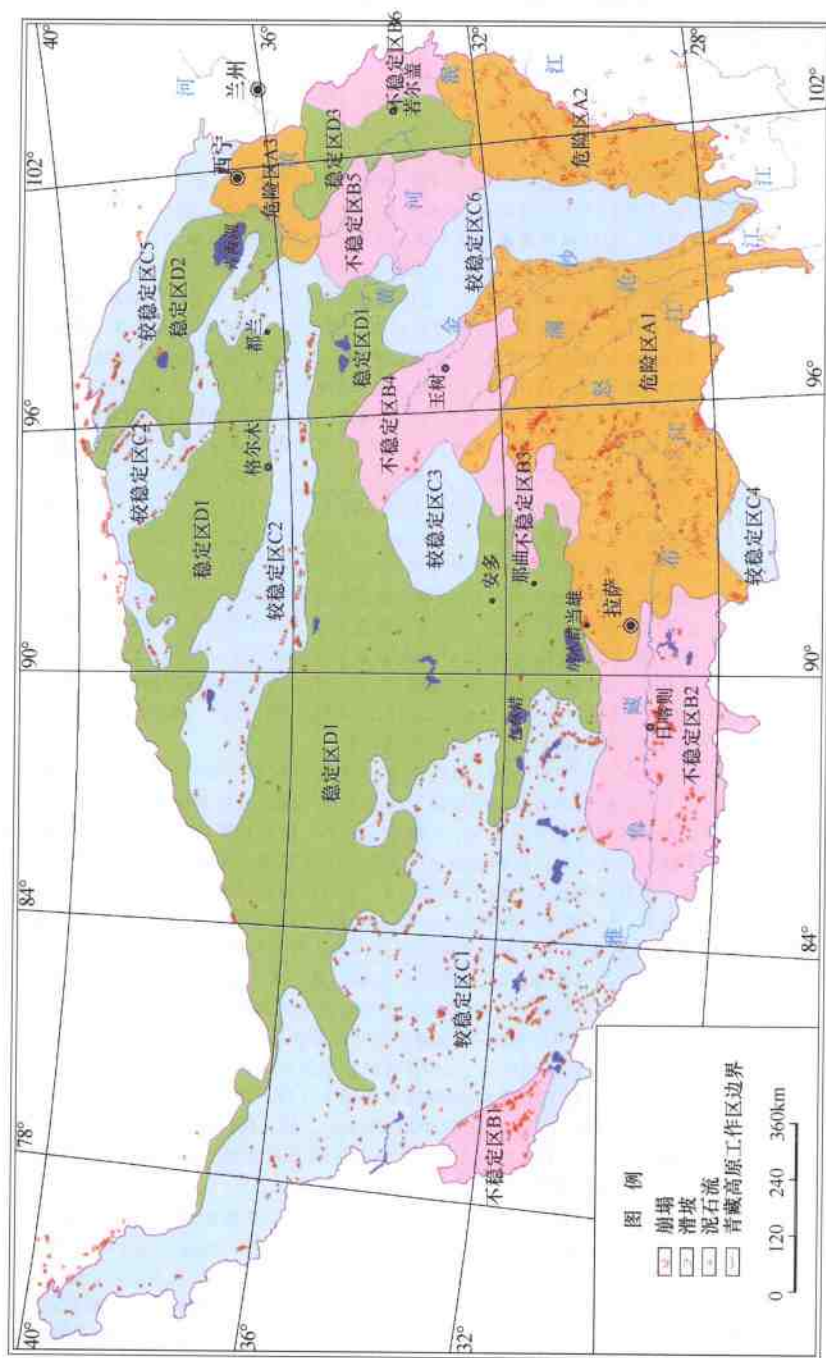


图 5-2-7 青藏高原地质灾害综合分区图

主要划分标志和各分区特点见表 5-2-5。

表 5-2-5 青藏高原地质灾害综合分区特征表

类 型	编 号	分区面积/km ² 灾害统计/个 灾害密度 (个/万 km ²)	主要特点
危 险 区	A1	面积:330831.3 灾害共计:1017 灾害密度:30	位于西藏自治区,西从拉萨东到巴塘附近。中念青唐古拉山—东喜马拉雅山—南喜马拉雅山极大起伏高山极高山区、中雅鲁藏布江中-大起伏高山河谷区和三江中段极大起伏高山峡谷区。包括从雅鲁藏布江中游到大拐弯地段到怒江、澜沧江、金沙江三江中上游区。地形上深切切割的高山峡谷段。地质构造分区位于喜马拉雅地体和羌塘地体,有多条板块缝合带在区内分布,断裂构造极为发育,特别是活动断裂,如怒江大断裂、金沙江大断裂、纳木错大断裂等。构造上最显著的特点是本区位于近东西向断裂和北西向断裂的交汇部位。以震旦纪老变质岩系、石炭系、三叠系碎屑岩系以及大量分布的中新生代酸性侵入岩为主。本区年降雨量主要在 500~800mm 之间,南部国境线附近大于 1000mm。区内地震活动也较为强烈,历史上多次发生 6 级以上地震。区内主要植被类型为高原寒温带针叶林区和温带常绿乔木。巨型和大型灾害十分发育,灾害类型齐全,且以崩塌和滑坡为主,灾害密度是青藏高原区内最大的地区。国道 318 线、214 线、省道 306 线通过本区
	A2	面积:111030.7 灾害共计:256 灾害密度:23	主要位于四川省境内,西从雅江县城东到成都—西昌一线,以长条状北北东向展布。地理上位于横断山脉中段—大雪山—峨山极大-大起伏极高山、高山区,为深切切割的高山峡谷区。岷江、雅鲁藏布江流经本区。地质构造分区位于巴颜喀拉地体和昆仑地体,有多条板块缝合带在区内分布,断裂构造极为发育,特别是活动断裂,如鲜水河断裂。是近北北西—近南北向断裂和北东向断裂的交汇部位。分布有三叠系含碳质页岩碎屑岩系和前寒武系变质岩系,以及少量的中新生代酸性侵入岩。本区年降雨量主要在 600~800mm 之间,接近成都平原的部分地段大于 1000mm。区内地震活动强烈,有一北北西向的地震活动带通过本区,历史上多次发生 7 级以上地震。区内主要植被类型为高原寒温带针叶林。本区是我国滑坡和泥石流高发区,巨型和大型灾害十分发育,灾害类型齐全
	A3	面积:33514.5 灾害共计:57 灾害密度:17	位于青海省西宁市周围及其南部地区,地貌分区属于黄河—湟水高中河谷盆地。黄河蜿蜒流入龙羊峡水库经区内李家峡水库流到区外附近的刘家峡水库。地质构造属于昆仑地体。区内北西向断裂构造发育。出露地层以第三纪含石膏泥岩、粉砂岩和三叠系细碎屑岩系和第四纪黄土为主。区内植被不发育,为山地草原。本区年降雨量主要在 300~400mm 之间。植被分区属于青海东草原山区。本区也是我国滑坡和泥石流高发区,区内地质灾害十分发育,且以崩塌和滑坡为主。黄土分布区中小型的崩塌和滑坡十分发育,区内人口密度较大,灾害密度和危害是青藏高原区内较大的地区之一
不 稳 定 区	B1	面积:28899.7 灾害共计:79 灾害密度:27	位于青藏高原西南边陲,西藏自治区噶尔县—普兰县一线以西,喜马拉雅山脉与冈底斯山脉接壤部位。地理上位于阿伊拉日居大起伏极高山高山盆地区。朗钦藏布流经本区。地质构造北部属拉萨地体,西南部属喜马拉雅地体。喜马拉雅缝合带通过本区。区内断裂构造较为发育,以北西向为主,如喜马拉雅断裂等。区内出露地层以中生代和新第三纪碎屑岩系为主,少量老变质岩、蛇绿岩和中新生代侵入岩。本区属于我国境内泥石流和滑坡灾害中等发育区。年降雨量在 100~200mm 之间。区内地震活动较为强烈,是中等地震活动强度区,历史上多次发生 6 级以上地震。植被分区属于高原山谷温带沙漠区。区内大型和巨型滑坡较为发育
	B2	面积:141365.6 灾害共计:259 灾害密度:18	位于青藏高原南部边陲,西藏自治区拉萨西南日喀则地区。北部为冈底斯山脉,南部为喜马拉雅山脉,珠穆朗玛峰和希夏邦玛峰坐落于区内。地貌区划为冈底斯山大起伏极高山高山、中雅鲁藏布江中大起伏高山河谷、北喜马拉雅大起伏极高山高山盆地、中喜马拉雅极大起伏高山极高山区。雅鲁藏布江东西向流经本区。地质构造北部属拉萨地体,西南部属喜马拉雅地体。喜马拉雅缝合带中段通过本区。区内断裂构造较为发育,以近东西向为主。区内出露地层以中生代和新第三纪碎屑岩系为主,大量老变质岩和中新生代侵入岩。本区属于我国境内泥石流和滑坡灾害中等发育区。年降雨量在 300~500mm 之间。区内地震活动有两个中等强度的地震活动中心,历史上多次发生 6 级以上地震。植被分区属于藏南高原山谷-湖盆温带草原区。区内大型和巨型滑坡和泥石流较为发育

类型	编号	分区面积/km ² 灾害统计/个 灾害密度 (个/万 km ²)	主要特点
不稳定区	B3	面积:29298.4 灾害共计:30 灾害密度:10	位于西藏自治区中部那曲县城以东,唐古拉山和念青唐古拉山衔接部位。地貌区划为怒江上游中大起伏高山区。那曲-怒江主要发源于本区。地质构造北部属羌塘地体,南部属拉萨地体。北西西向断裂构造发育,特别是新构造活动较为强烈,如怒江断裂带、丁青断裂带横切本区。区内出露地层以侏罗、白垩系碎屑岩为主。本区属于我国境内泥石流中等发育区。年降雨量在 500~600mm 之间。植被分区属于川西-青南-藏东高寒灌木草原区。地质灾害发育强度中等,考虑到其较为复杂的地貌和地质条件,将该区归为不稳定区
	B4	面积:71709.3 灾害共计:21 灾害密度:3	主要位于青海省玉树县境内。地貌区划为江河上游中大起伏高山山原。金沙江、澜沧江发源于此区。通天河北西向流经本区。地质构造北部属巴颜喀拉地体,南部属羌塘地体。金沙江缝合带北西向穿切本区。北西向断裂构造发育。区内以三叠系碎屑岩为主,此外有晚古生代石炭、二叠系分布。年降雨量在 300~500mm 之间。区内历史上也多次发生 6 级以上地震。植被分区属于川西-青南-藏东高寒灌木草原区。地质灾害较为发育,有大型和巨型崩塌和滑坡的发生
	B5	面积:65040.6 灾害共计:16 灾害密度:2.5	主要位于西藏自治区境内,东南部为四川省阿坝州、东北部为青海省。地貌区划北部属于东昆仑大起伏高山,南部属于江河上游中大起伏高山山原。上游黄河和马可河迂回流经本区。北部属于昆仑地体,南部属于巴颜喀拉地体,昆仑南缘缝合带北西向穿切本区。区内出露大量三叠系碎屑岩系,少量二叠系。年降雨量在 400~650mm 之间。植被分区属于川西-青南-藏东高寒灌木草原区。区内地质灾害较为发育,有大型和巨型崩塌和滑坡的发生
	B6	面积:7853.1 灾害共计:0	本区主体部分位于本次调查研究区之外,区内仅是很小一部分。位于若尔盖东部,北部为青海省南部和四川省。地貌区划北部属于东昆仑大起伏高山,南部为大雪山-岷山极大-大起伏高山、极高山。区内流经的河流有金沙江、岷江、大渡河等。北部为昆仑地体,南部属于巴颜喀拉地体。北西西向断裂构造发育,有名的阿尼玛卿断裂带等穿切本区。区内以三叠系碎屑岩出露为主,此外还有一定量古生代地层。年降雨量在 600mm 左右。主要植被类型为亚热带常绿阔叶林。由于本区属于青藏高原东南边缘,没有进行遥感图像地质灾害的详细解译,但根据前人资料,本区属于我国泥石流和滑坡灾害中等发育区,特划分为不稳定区
较稳定区	C1	面积:543684.8 灾害共计:918 灾害密度:17	位于西藏自治区境内西部边陲。昆仑山脉、冈底斯山脉和喜马拉雅山脉北西向横亘于区内。地貌区划为喀喇昆仑、昆仑山大-极大起伏极高山;羌塘中起伏高山湖盆;东喀喇昆仑山大-中起伏高、极高山湖盆;冈底斯山、西喜马拉雅极大起伏高山、极高山。西南部为雅鲁藏布江源区。大部分为高原内流湖盆区。北部为羌塘地体,中部为拉萨地体,南部为喜马拉雅地体,金沙江缝合带、怒江缝合带、雅鲁藏布江缝合带自北向南横切本区。区内以北西西向断裂构造为主,此外有少量北东、北西向断裂,班公错-康托-怒江断裂、日土-改则-丁青断裂等大断裂切割本区。区内岩石类型复杂,怒江缝合带以北以中生代地层为主,缝合带以南以第三纪地层为主,并有少量中生代酸性侵入岩。年降雨量从区内西北部几十 mm 到东南部 200mm 左右。植被分区属于青藏高原高寒草原区-半灌木草原区。由于区内地质灾害主要是与冰雪融化有关的泥石流,以潜在灾害为主,危害不太大,将本区划入较稳定区
	C2	面积:215424.0 灾害共计:362 灾害密度:18	本区主要位于青海省,西部属于新疆维吾尔自治区,北部为甘肃省。地貌区划为东昆仑山大起伏高山、博卡雷克山中-大起伏极高山、高山宽谷、库木布彦中-起伏高山湖盆、鄂拉山大起伏高山、阿尔金山大起伏高山、极高山、南祁连山中-大起伏高山宽谷盆地。地质构造主要属于昆仑地体。昆仑南缘缝合带在区南部边缘通过。北西西向和北西向断裂构造发育,昆中断裂带等大断裂横切本区。区内出露新生代地层为主,此外为各个时代的侵入岩,有的已经受了变质作用的改造。年降雨量在几十 mm 左右。植被分区属于温带沙漠区。由于区内地质灾害主要是与冰雪融化有关的泥石流,大部分为潜在灾害,危害不太大,将本区划入较稳定区

续表

类型	编号	分区面积/km ² 灾害统计/个 灾害密度 (个/万 km ²)	主要特点
较稳定区	C3	面积:45960.5 灾害共计:11 灾害密度:2.4	主要位于青海省境内,唐古拉山北部和沱沱河西部。地貌区划为长江源中、小起伏高山丘陵宽谷盆地,总体地形较为平坦。地质构造属于羌塘地体。区内北西向断裂构造发育。区内出露新生代地层为主,少量古生代地层。年降雨量在 300 ~ 400mm 左右。植被分区属于川西-青南-藏东高寒灌木草原区。区内地质灾害不太发育
	C4	面积:19737.6 灾害共计:0	位于西藏自治区南部边陲,地貌区划为南喜马拉雅极大-大起伏高中山。地质构造属于喜马拉雅地体。区内主要发育北北东向构造,包括喜马拉雅主中央断裂和西瓦里克斯断裂等。区内出露以前寒武纪变质岩为主。年降雨量 800 ~ 2000mm。植被分区属于东喜马拉雅山南坡季风森林和雨林区。地质灾害不太发育
	C5	面积:67203.5 灾害共计:63 灾害密度:10.5	主要位于青海省境内,东北部属于甘肃省。地貌区划属于北祁连山大起伏高山宽谷。北西向断裂构造发育,阿尼玛卿断裂带、北祁连山南缘断裂带等大断裂穿切本区。各个时代地层均有出露,地表以第四纪松散沉积物为主。年降雨量 75 ~ 400mm。区内北部地震活动强烈,是我国地震活动带之一,历史上多次发生 7 级以上地震。植被分区属于温带干旱半灌木-灌木沙漠区。地质灾害以冰水溶化有关泥石流为主
	C6	面积:116431.5 灾害共计:29 灾害密度:3.4	主要位于四川省境内,南部属于云南省。地貌区划为江河上游中-大起伏高山山原、北沙鲁里山中-大起伏高山山原和南沙鲁里山大-极大起伏高山,地形较为复杂。玉龙雪山位于区内。金沙江(长江)、雅砻江流经本区。地质构造属于巴颜喀拉地体。区内断裂构造发育,北部以北西向为主,南部转为近南北向断裂构造为主。鲜水河断裂带、甘孜-理塘断裂带、金沙江断裂带等大断裂穿切本区。区内出露主要为三叠系碎屑岩,少量中生代中酸性侵入岩。年降雨量 600 ~ 800mm。植被分区属于高原寒温带针叶林区。区内地质灾害不太发育
稳定区	D1	面积:675851.7 灾害共计:128 灾害密度:2	该区包括西藏自治区、新疆维吾尔自治区和青海省少部分。地貌区划主要为可可西里高原湖盆、黄河源丘状高原湖盆、长江源中-小起伏高山丘陵宽谷盆地、柴达木高盆地。地质构造属于羌塘地体、巴颜喀拉地体、昆仑地体和塔里木地体。区内以近东西向、北东向断裂构造为主,金沙江断裂、阿尔金断裂主要分布在区内。区内以新生代地层为主,中生代地层次之。降水不均匀,年降雨量在 25 ~ 400mm 之间。植被分区属于藏北高原高寒沙漠草原区和温带沙漠区。地质灾害以冰水有关的泥石流为主,并以潜在灾害为主,其他灾害不发育
	D2	面积:67846.5 灾害共计:13 灾害密度:2	主要位于青海省境内,北部为甘肃省。地貌区划为黄湟高中河谷盆地、南祁连山中-大起伏高山宽谷盆地。地质构造上属于昆仑地体。区内断裂构造不太发育,以北西向断裂为主,中祁连山南缘断裂带穿切本区。区内以新生代地层为主,青海湖等现代湖泊沉积发育,次为古生代和中生代地层等量发育。年降雨量变化较大在 100 ~ 400mm 之间。植被分区属于高原寒温带针叶和温带常绿乔木区。区内发育少量潜在的泥石流灾害
	D3	面积:43297.7 灾害共计:0	该区行政区域南部属于四川省,北部属于甘肃省。地貌区划北部为黄南中-大起伏高山盆地,南部为黄河源丘状山原盆地,地形不复杂,较为平缓。发育有北西向断裂构造,地层以第四系为主。年降雨量在 600 ~ 700mm 之间。区内植被发育,以常绿阔叶林为主。地质灾害不发育



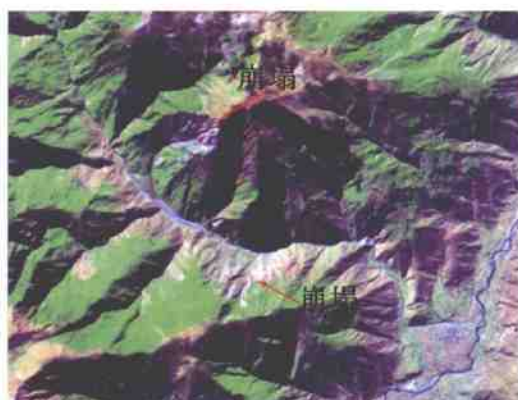
图版 5-1-1 古乡沟泥石流



图版 5-1-2 西大滩泥石流群



图版 5-1-3 典型崩塌遥感影像图



图版 5-1-4 典型崩塌遥感影像图



图版 5-1-5 典型滑坡遥感影像图



图版 5-1-6 易贡滑坡遥感影像图

第六章 青藏高原现代生态地质 环境遥感综合评价

第一节 综合评价方法

一、综合评价流程

区域生态地质环境是一个由多种要素构成的多层次复杂系统,而区域生态地质环境的综合评价是否能够准确反映该区域生态地质环境质量空间分异的客观实际取决于两方面。首先评价指标的选取要全面合理并且具有层次结构,如此评价指标体系才能够反映该区域生态地质环境的总体情况;其次要求评价方法和过程做到科学和有效,既要利用专家知识从总体上进行控制,又要避免主观因素的过多干预从而影响分类与评价的客观结果。因此采用定量与定性相结合的方法对区域生态地质环境进行综合评价是目前较为常用的方式,地理信息系统以及现代计量地理学的发展则提供了定量分析的必要保证。

图 6-1-1 表明了区域生态地质环境综合分析、评价的技术路线图。综合评价技术路线由三部分组成,分别是数据准备、评价指标体系、综合评价。评价指标体系依据高原生态地质环境特征以及资料数据的掌握情况适当调整,而综合评价的流程及方法不作改动。

二、综合评价方法

(一) 数据准备与前期处理

综合评价数据来自于青藏高原专题因子遥感调查成果数据和气候、土壤、植被等基础资料。

数据前期处理包括以下工作:

1. 工作区轮廓边界地理数据

工作区轮廓边界具体位置由项目组统一确定,数据由项目组提供。

2. 生态地质环境遥感调查数据

包括第四系和新构造运动、地质灾害、荒漠化、冰川、河流湖泊、湿地等,以标准的 GIS 格式建库存储起来。

3. 地形数据

数据来源为美国地质调查局(USGS)发布的亚洲 DEM(空间分辨率 1000m),通过 DEM

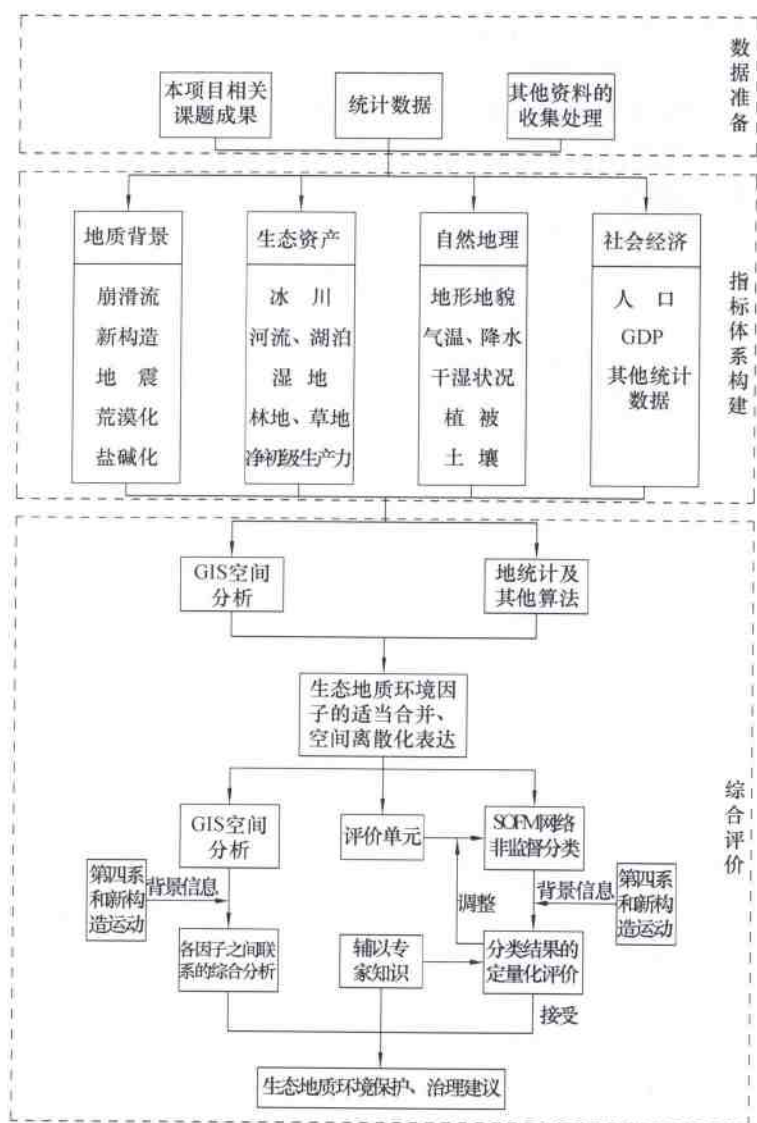


图 6-1-1 区域生态地质环境综合评价的技术路线

数据可以得到高原的坡度、地表破碎化程度等信息,有关内容将在后续章节中介绍。

4. 生态系统生产力数据

NPP(净初级生产力)可以用来度量生态系统的做功能力(利用、转化和储存能量)、结构进化能力以及抵抗干扰的能力,NPP 是生态系统功能的基础,而且 NPP 是对整个系统而不是对单个组成成分的全部功能的度量(方精云等,2001;沃科特等,2002)。NPP 除了能够在整体上反映生态系统的活力外,还是陆地生态系统碳循环过程中的一个关键环节,并以其对生物和非生物环境极强的敏感性成为深刻反映生态环境变化的关键参数,因此广泛用于全球气候变化、生态系统服务功能计算(Costanza et al.,1997)和生态系统健康评价等领域的研究工作当中。对于覆盖整个青藏高原的年 NPP 数据,迄今能够获得最早的即 NOAA 数

据(8km 空间分辨率,1981 年),这一年份与本次项目高原生态地质环境监测的起始年份(20 世纪 70 年代末,1977~1979)较为接近,监测的终止年份为 2000 年,对应此年份的青藏高原年 NPP 数据可以由 NOAA 和 MODIS 数据集分别获得。考虑 NPP 数据标准应该保持一致性,决定采用 NOAA 8km 的青藏高原年 NPP 数据。这部分数据由 NASA 官方网站免费获得。

5. 土地利用类型数据

林地和草地作为区域内主要的生态系统类型,具有重大的生态资产价值,其存在可以为人类提供赖以生存的物质基础,对于防风固沙、抑制土壤侵蚀同样具有重要作用。林地和草地数据主要从 1:400 万全国土地利用图上获得,全国 1:400 万土地利用图成图时间是在 20 世纪 80 年代中期,其应该反映的是 80 年代初全国土地利用情况,与项目监测的起始年份接近。利用青藏高原轮廓剪裁得到青藏高原的 20 世纪 70 年代末的土地利用数据,2000 年左右的青藏高原土地利用情况则因缺少数据而暂时无法得到反映。

6. 气象数据

收集并整理青藏高原及其周边地区一定范围内的气象台站(共 104 个气象台站)自建站以来至 2001 年底的逐日气温、降水、太阳辐射、风速、相对湿度等气象数据。在 MATLAB 下编写相应的计算程序,得到各个气象台站年均温度、年降水量、有效积温以及干燥度的年际变化情况。其中,干燥度主要是利用修正的彭曼公式计算最大可能蒸散(E_T),最大可能蒸散与年降雨量(P)之比即为干燥度。修正的彭曼公数如下(吴绍洪等,2005):

$$E_T = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (6-1-1)$$

式中: R_n 为净辐射; G 为土壤热通量; γ 为干湿常数; Δ 为饱和水汽压曲线斜率; U_2 为 2m 高处的风速; e_a 为实际水汽压; e_s 为平均饱和水汽压。该模型所需数据为:最低和最高气温,风速,相对湿度和日照日数。在应用时,变量基本上采用原模型的方法计算,但净辐射需要地区校正。应用在我国校正公式为:

$$R_n = 0.77 \times \left(0.248 + 0.752 \frac{n}{N} \right) R_{nd} - \sigma \left[\frac{T_{\max,k}^4 + T_{\min,k}^4}{2} \right] \times (0.56 - 0.08 \sqrt{e_a}) (0.1 + 0.9 \frac{n}{N}) \quad (6-1-2)$$

式中: σ 为 Stefan-Boltzmann 常数($4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ} \cdot \text{K}^{-4} \cdot \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$); $T_{\max,k}$ 、 $T_{\min,k}$ 分别为绝对温标的最高和最低气温; n 为实际日照时数; N 为可照时数; R_{nd} 为晴天辐射。

干燥度 K 为年最大可能蒸散 E_T 与降水量 P 的比值:

$$K = \frac{E_T}{P} \quad (6-1-3)$$

根据上述公式只能得到各个气象站“点”上的自然环境的各因子值,为了与其他数据进行匹配,还需要将点上的数据插值到面上,并赋予相应的地理坐标和投影。在本次研究中主要采用地统计学中常用的 Kriging 插值方法。

7. 土壤数据

土壤有机质含量状况是反映土壤质量的一个主要参数,它不仅决定了土壤的潜在肥力,对于抑制土壤侵蚀的发生同样作用重大,对保持和提高土壤资源具有重要意义。土壤质地决定了土壤抗蚀性可蚀性程度,而土壤水分则提供了植物生长所不可或缺的关键因子。青

藏高原土壤本底情况主要从南京土壤所的 1:100 万土壤数据获得。

8. 人口和 GDP 数据

通过收集和整理统计年鉴有关数据获得以县域为单位的人口和 GDP 数据。青藏高原共涉及 6 个省级行政单位,每个省(自治区)编制统计年鉴的起始年份不同,统计内容也并不完全一致,这为统计数据的整理带来一定的困难。项目组收集了 1993 年和 2003 年青藏高原 216 个县域的人口和 GDP 数据,并作为属性数据与县域图斑进行关联。

(二) 评价单元的确定

按照中国地质调查局工作标准——《区域环境地质调查总则(试行,DD 2004-02)》中有关地质环境评价单元划分的若干规定,即“评价单元的选择一般有两种方式:一是按照自然地理单元、行政区划单元或经济开发(土地利用)单元等一定的标准将整个评价区划分成有限数量的自然评价单元;二是抛开自然边界,将之划分成数量众多但形状和大小都相同的网格单元”;“网格单元大小的确定应该综合考虑各个评价因素在区域上分布的复杂程度和计算速度、存储容量等多方面的因素”。

生态地质环境综合评价要就待评价单元给出评价结果及其空间上聚类的结果。青藏高原范围巨大,其生态地质环境的形成和变化是两个时间尺度上、不同驱动力所产生效应的叠加。具有十分复杂的外在表现,因此评价单元的选择是一件非常重要的工作。以县域作为评价单元(图 6-1-2(a)),其优点是界限明确,评价单元数量相对较少,有利于工作在相对短期内完成,同时对于基础数据的要求相对较为合理;缺点是青藏高原县域面积大小差距较大,在空间分布上存在东部密集、西部相对较少的情况,同时青藏高原生态地质环境区划将以县域边界为界限,且对于生态地质环境变化信息的反映不够敏感。以栅格作为评价单元,栅格太大将无法反映高原生态地质环境的细节,栅格太小将会导致工作量显著变大且影响聚类效果,同时对于基础数据的要求较为苛刻;优点是对于生态地质环境区划边界划分更为合理,对变化信息有更好的展示。

在数据准备充分的情况下,青藏高原生态地质环境综合评价可以同时考虑以栅格单元和县域作为评价单元。在进行评价过程中,项目组最初以县域作为评价单元,评价结果对于时空变化的细节缺乏很好的展示。因此项目组采用以单元格网作为评价单元。以栅格作为评价单元就涉及栅格大小的确定问题。这取决于两方面的因素,即计算时间和计算结果。栅格过小,一方面将会显著增加计算时间,另一方面将会产生过多的“空白”单元格,即单元格的某些属性为零或者为空,这将对评价结果的正确性产生负面影响。而栅格太大,评价结果较粗,对于展现细节不利。经过反复试验,最终确定栅格尺寸的为 20km × 20km,如此覆盖整个青藏高原共需 6141 个完整的栅格。如图 6-1-2(b)所示。

(三) 综合评价指标体系

青藏高原的区域生态地质环境综合评价指标体系由目标层、控制层和因子层组成,如图 6-1-3 所示。将该指标体系应用于青藏高原,则要在充分考虑青藏高原第四系和新构造运动对高原生态地质环境基本格局形成与变化的制约作用以及近 30 年来人类活动和全球气候变化对高原生态地质环境产生影响的基础上,结合现有资料收集和数据准备的实际情况,对控制层构成和因子指标层构成进行适当调整。

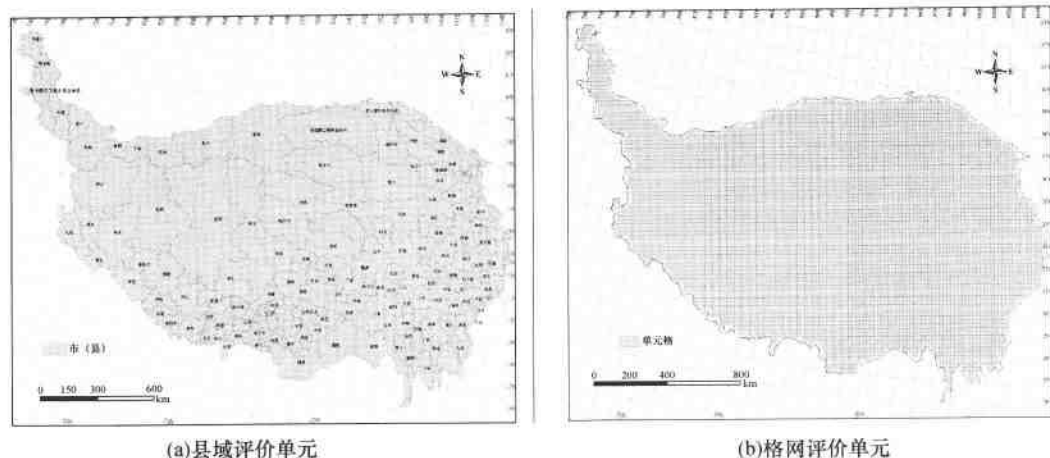


图 6-1-2 青藏高原县域和格网评价单元

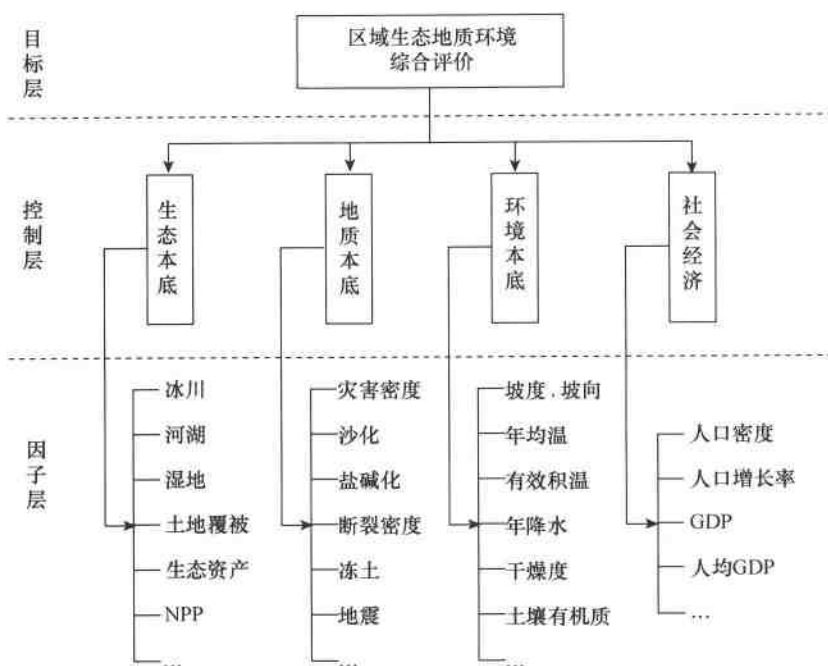


图 6-1-3 区域生态地质环境综合评价指标体系

图 6-1-3 列出的区域生态地质环境综合评价指标体系遵循开放的框架结构,依据不同区域的特点可进行因子层次上的调整。具体到青藏高原,其综合评价指标体系的层次结构同样是由目标层、控制层和因子层组成。在控制层组成上包括生态本底、地质本底、环境本底因子,重点体现青藏高原的自然特征。社会经济发展对青藏高原的影响非常重要,但主要体现了人为因素的影响。由于 20 世纪 70 年代青藏高原有关省份的社会经济统计数据无法收集到,考虑到评价指标前后一致性,在进行本次青藏高原综合评价时不涉及社会经济方面

的评价因子。

青藏高原生态地质环境综合评价指标体系在因子层的构成上,根据收集到的数据和资料,初步选定包括冰川、河湖、湿地(不包括河湖湿地)、土地覆被、NPP、地质灾害、沙化土地、盐碱化土地、新构造断裂、高程、坡度、坡向、地表破碎度(由DEM数据衍生)、年均温、年降水、年平均干燥度共16个因子。这其中没有将第四纪沉积物列为参评因子,有如下几点考虑:首先,第四纪沉积物是青藏高原经过漫长地质年代演化形成的,时间尺度跨越几百万年,在几十年内不会发生明显的变化,另外第四系所代表的时间尺度与近30年这样一个短时间尺度不完全对应,因此也就很难将其量化进入指标体系的构成当中;其次,高原荒漠化、冰川、湖泊、湿地的分布与第四系分布存在一定的联系,它们作为参评因子能够在一定程度上反映第四系对高原生态地质环境的控制作用;第三,第四系调查成果在本课题中的作用体现在对高原生态地质环境各因子的综合分析时,作为关键背景信息去解释其他因子的形成与分布,以及在评价单元聚类完成后,作为重要背景信息辅助专家给出待评价单元的定量评价结果。

上述16个生态地质环境综合评价因子,并未考虑到各因子之间是否存在相关性。如果某几个因子在空间分布上存在比较明显的相关性,那么就on应该选用其中有代表性的一个因子参与评价,否则将会强化某一类评价因子的权重,从而使评价结果发生明显偏差,影响评价结果的客观性。项目组对上述16个因子进行了空间相关性分析,分析结果表明河湖与湿地、坡度与地表破碎度、年降水与年均干燥度存在较强的空间相关性。项目组最终决定保留河湖、坡度和年均干燥度等三个因子,舍弃地表破碎度和年降水因子。湿地因子得以保留,但不作为单独参评因子,而是与土地覆被等因子参与计算得到复合评价因子——生态资产。

另外需要指出的是,根据多因子进行综合评价时,评价因子过多也会妨碍评价结果的表达,并显著增加工作量。因此,在评价之前通过科学合理的手段对因子进行适当的合并,即评价因子的“降维”处理。在本次工作当中,项目组将湿地、土地覆被(包括林地、草地等)、冰川等因子,通过定量计算将其转化为复合评价因子——生态资产的价值。目前有关生态资产的价值计算是国内外生态领域内的研究热点,可资参考的实例较多。本专题主要依据Costanza于1997年提出的计算方法计算研究区单位面积的生态价值(Costanza et al., 1997),并依据青藏高原生态地质环境的实际情况,以国内若干学者的研究结论(谢高地等, 2003),对Costanza给定的各主要生态系统类型的生态资产价值稍作调整,适当降低湿地生态系统的单位价值,初步拟定各类生态系统生态资产的高低顺序为:湿地>森林>灌丛、草原、农田>荒漠、裸地、基岩。在GIS支撑下,计算评价单元内单位面积生态资产价值。

经过评价因子的相关性检验和合并处理后,青藏高原生态地质环境综合评价指标体系的因子共计12个,即生态本底:冰川、河湖、NPP、生态资产;地质本底:沙化土地、盐碱化土地、新构造断裂、地质灾害;环境本底:年均温度、年均干燥度、平均高程、平均坡度。

(四)评价方法

青藏高原生态地质环境综合评价包含两部分内容:

- 1) 给出评价单元的评价结果(打分);
- 2) 进行待评价单元类别划分(分类)。

按照上述两部分的先后次序可以将评价工作分为两类模式,即先打分后分类和先分类

后打分。在进行涉及区划工作的综合评价时,第一种模式较为常用,其做法通常采用层次分析法(AHP)计算每一个评价单元的得分,然后根据评价单元的具体得分将所有待评价单元分为几大大类。第二种模式则视每一个评价单元的参评因子构成一个多维空间向量,通过比较各向量间的“距离”从而实现评价单元的聚类,然后对聚类的结果进行打分并确定具体某一类的性质。无论选用上述两种模式中的哪一种,均需要辅助专家知识对评价结果进行确认,只是两种模式对于专家知识的依赖程度有所不同。

层次分析法主要包含5个步骤:

- 1)建立评价因子的层次结构;
- 2)利用专家知识给出各个因子两两比较的判断矩阵;
- 3)计算相对权重;
- 4)判断矩阵一致性检验;
- 5)元素的组合权重及总体一致性检验。

层次分析法是分析复杂问题的一种简便方法,这种方法较为突出的一个特点是利用判断矩阵的一致性检验对专家给出的判断进行一定程度上的检验,从而为由判断矩阵计算得到的因子权重值的合理性提供保证(殷永元等,2004)。对于涉及区划的综合评价,如果采用第一种评价模式,无论是否采用层次分析法,都会存在一个突出问题——分类结果对于人为主观因素的依赖程度太高,从而影响评价结果的客观性。这是因为专家的判断决定了评价单元的得分,而分类结果是根据单元得分情况作出的,因此专家所掌握的知识和他对待评价区域的先验认知在很大程度上决定了分类结果。另外,在由多维评价因子构成的复杂向量空间内进行取舍与评判,专家的专业背景与先入为主的观念也很难保证他一定作出符合客观实际的决策。

第二种评价模式则尽可能地限制人为主观因素的影响。因为这种模式的分类结果完全是由评价单元的参评因子所决定的,即在分类过程中完全取决于数据,不涉及人为主观因素。专家的作用主要体现在对分类结果的判定上,而此时由于分类已经完成,相当于大大降低了原始数据的复杂程度,从而更有利于专家作出正确判断。考虑到第二种评价模式更具合理性,因此本专题决定采用第二种模式进行青藏高原生态地质环境的综合评价。

第二种评价模式的关键在于评价单元的聚类——实现分类,在本专题工作当中采用人工神经网络的SOFM网络模型实现这一过程。人工神经网络是由大量简单的神经元广泛连接而成,用以模拟人脑思维方式的复杂网络系统,它以其并行分布处理、自组织、自适应、自学习和具有鲁棒性和容错性等特征引起了广泛关注。尤其在信息不完备的情况下,在模式识别、方案决策和知识处理等方面具有很强的能力(张智星等,2000)。近年来,国内外研究应用人工神经网络技术求解地学和生态学问题呈逐年增多之势(Abuelgasim et al., 1999; Gardner et al., 1998; Nunnari et al., 1998; 熊祯等, 2000; 刘伟等, 1997; 陈守煜等, 1999)。与传统地域划分中的数理方法相比,人工神经网络是一种非参数化的模式识别方法。所谓非参数化识别或分类,是指不以数理方程形式建立各因素之间的相关关系,不以人工方式确定各变量之间的定量关系,而是由神经网络通过初始化、训练等步骤自动形成、调节各要素间的权重,达到映射真实系统的结构和状态,最终以系统终态的连接权重来对待分客体进行识别或分类。

本书所选取的神经网络类型是芬兰学者 Kohonen 提出的自组织特征映射模型 (Self-Organizing Feature Map, SOFM)。SOFM 网络由一个全互联的神经元阵列构成,其拓扑结构只有两层,即输入层和竞争层(图 6-1-4)。所有输入都和网络单元格上的每一节点相连,每一单元格节点都是输出节点,它们只和相邻的其他节点相连。也就是说每个神经元接收的外部输入都是一样的,它有两种权重:一种是神经元对外部输入响应的权值;另一种是神经元之间的连接强度,控制着神经元之间的相互作用大小,其值可以为零。

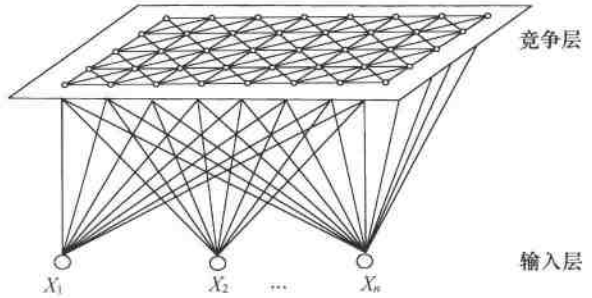


图 6-1-4 SOFM 网络的拓扑结构

SOFM 网络在接收输入样本后进行竞争学习,功能相同的输入靠得比较近,不同的分得比较开,以此将一些无规则的输入自动排开。通过一定的学习算法,使相连的节点表征出输入不同的类别特征,称之为特征映射。如果样本足够多,那么在权值分布上可近似于输入样本的概率密度,在输出神经元上也反映了这种分布,即概率大的样本集中在输出空间的某一个区域。不论输入样本是多少维的,都可投影到低维的某个数据空间上。在高维空间中比较相近的样本,投影到低维空间中也比较相近。自组织特征映射网络是非监督的分类方法,与传统的分类方法相比,它所形成的分类中心能映射到一个曲面或平面上,并且保持拓扑结构不变。

SOFM 的激活函数是二值型函数。其算法步骤为:

初始化,从 i 个输入神经元到输出神经元的权值都进行随机初始化,将 $w_{ij}(t)$ 赋予较小的随机初始值。对任意一个节点 $j(0 \leq j \leq n)$ 设置一个初始邻域,其半径在开始阶段可以稍大一些;

提供一个新的输入向量模式 x ,输入 $x_0(t), x_1(t), x_2(t), \dots, x_{n-1}(t)$ 于各输入节点上;

选定获胜输出单元为所有权向量 w_i 和输入向量 x 之间具有最大相似性度量(或最小不相似性度量)的单元。如果选择欧几里得距离作为不相似性度量,则获胜单元 x 满足下式:

$$\|x - w_c\| = \min \|x - w_i\| \quad (6-1-4)$$

式中:下标 c 表示获胜单元。

令 N_c 表示对应于获胜单元 c 周围邻域的一组下标。获胜单元及其邻域单元的权值随后进行更新:

$$\Delta w_i = \eta(x - w_i), i \in N_c \quad (6-1-5)$$

式中: η 是一个正的学习率,随时间而递减。为了实现较好的收敛性能,获胜节点的邻域半径应该逐步变小,直至学习终结时只包含获胜节点本身。

提供新的输入向量重复上面的学习过程。

本专题将利用 MATLAB7.0 语言构建 SOFM 非线性分类器。在 MATLAB 的神经网络工具箱中,提供了初始化权值,学习和训练、竞争激活等函数,可以很方便地构建出任意输入和输出神经元的 SOFM 网络。

在待评价单元分类结束后,根据每一类别参评因子的平均值、最大值和最小值等实际情况,综合考虑高原生态地质环境基本格局并辅助专家知识,利用线性加权综合法对分类的结果进行排序。在排序基础上,同时结合专家意见,最终形成青藏高原生态地质环境综合评价

结果,并将评价结果反映在图件上,最终得到不同时期青藏高原生态地质环境现状、变化以及分区结果。

第二节 青藏高原现代生态地质环境与演变

青藏高原是全球海拔最高的一个独特地域单元,被喻为“世界第三极”,也是全球唯一仍在活动中的板块碰撞区。青藏高原的隆起是近数百万年来地球史上最重要的事件之一,其影响体现在不仅塑造了高原大的地貌格局和深刻改变季风环流的运行模式,对自身以及毗邻地区自然环境演化与分异的影响同样显著,进而强烈影响着自身和周边地区人类赖以生存发展的自然环境、资源和能源的配置以及各种地质灾害的发生。

青藏高原生态地质环境的形成和变化应该是两个时间尺度上、不同驱动力所产生效应的叠加。在大时间尺度上(以 Ma 计),青藏高原的持续隆升影响着全球气候的形成和发展,最终导致高原气候变干、古冰川消融、古湖泊消退、寒旱区域扩大进而促使生态系统发生适应性的变化,如森林逆向演替为草原、荒漠化面积的扩张等等,并且由于青藏高原仍在隆升,这种变化在大时间尺度上还将持续下去。按照现代生态资产的价值观去判断,这是生态地质环境趋向恶化的表现。需要指出的是,这一变化完全是由于地球系统内能的改变所产生的效应,与人类活动的影响无关。但另一方面,近几十年来,由于人类活动及其引起的全球(气候)变化,青藏高原生态地质环境在极短的时间尺度上发生了显著变化,具体表现在高原气候变暖、现代冰川消融、湖泊退缩、草场退化、荒漠化面积增加等等。由于青藏高原的特殊性及其所蕴含的巨大生态资产,其生态地质环境对东亚自然环境的空间格局产生重要影响,是青藏高原区域内外社会经济发展和生态环境基础,其演进态势必将直接影响到域内和域外将来的社会福利与可持续发展,因此青藏高原生态地质环境大趋势背景上的加速变化已经引起了越来越多的学者和相关利益团体的关注。

一、近 30 年来高原气候变化

课题组选定青藏高原(周边)104 个气象台站^①,对青藏高原近 30 年来的气候变化进行研究,重点针对高原气温、降雨、干湿状况等。每个台站气象数据(逐日)是从建站之日开始,到 2001 年 12 月 31 日终止,由于各台站建站日期不一致,所以各台站气象数据原始时间序列长度并不一致。考虑到要与项目研究期对应,课题组只是对各个气象台站 20 世纪 70 年代以后的气候变化情况进行分析。首先计算各个台站逐年气温、降水、干燥度,然后将年均气温、年降水、干燥度按照每 5 年取一个平均值(这样做的目的避免个别年份气候异常对于总体趋势的影响),对应的年份区间分别为 1971~1975、1976~1980、1981~1985、1986~1990、1991~1995、1996~2001。最终根据每个台站对应年份区间的计算结果进行空间插值,以此表征高原气候在上述 6 个年份区间内的空间分异情况。104 个气象台站的空间分布情况如图 6-2-1 所示。

^① 青藏高原(周边)总共包括 120 个左右的气象台站,其中约有十多个气象台站建站年份在 20 世纪 90 年代(或之后)。由于项目研究时间是从 20 世纪 70 年代起始,故本课题从中筛选出在 1970 年之前建站的气象台站,这部分台站总数为 104 个。

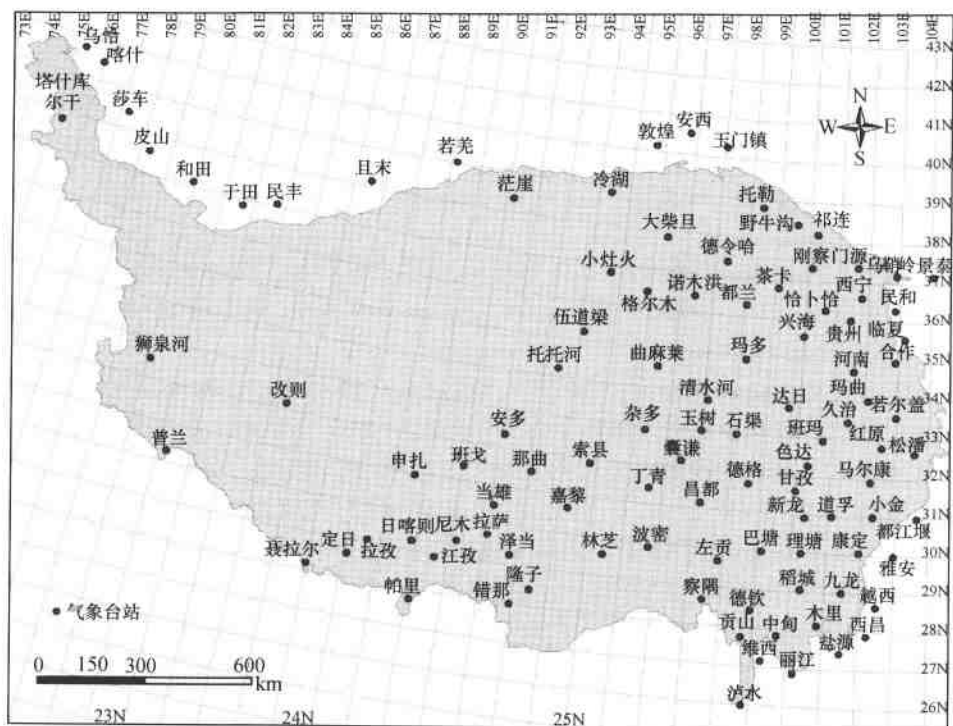


图 6-2-1 青藏高原气象台站分布位置

气象数据,包括逐日气温(最低、最高、日均)、降雨、太阳辐射、风速、相对湿度等,其数据处理和计算在 Matlab 中编程实现。将各台站的计算结果映射到空间上,这部分工作在 ArcGIS 中完成。

(一) 气温变化

1971 ~ 1975、1976 ~ 1980、1981 ~ 1985、1986 ~ 1990、1991 ~ 1995、1996 ~ 2001 六个时间段内青藏高原年均气温如图版 6-2-1 所示。

青藏高原等温线的分布表明在高原内部有一个闭合低温区,高原边缘地区气温较高,而且温度梯度变化明显。青藏高原域内存在三个明显的低温中心(0°C 以下),分布面积最大的低温中心在藏北高原的班戈、安多、聂荣以及青南高原的格尔木、治多、杂多($90^{\circ}\sim 94^{\circ}\text{E}$, $32^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$),第二个低温中心主要是在青南高原的玛多、称多、达日等地($96^{\circ}\sim 97^{\circ}\text{E}$, $34^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$),第三个低温中心在青海东北方向的祁连县和甘南的肃南裕固族自治县($98^{\circ}\sim 101^{\circ}\text{E}$, $38^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$)。青藏高原气温较高、热量条件较好的两个地区,一是在藏东南和三江流域,二是在新疆南疆靠近西藏自治区一线,包括叶城、皮山、和田、策勒、于田、民丰和且末等地。

图版 6-2-1 很好地表现了青藏高原近 30 年来气温变化的趋势,基本特征是青藏高原整体升温趋势明显。其中在 20 世纪 70 年代末期(图版 6-2-1(b))高原气温在稳定中略有下降,重点表现在年均温在 -2°C 以下的区域面积有所扩大,以及三个低温地区之间的连通趋势更为明显,如图版 6-2-1(a)和(b)所示。20 世纪 80 年代以后,高原持续升温,重点表现高原两侧温度

梯度向中心偏移,藏北、青南高原低温中心面积持续减小,同时青海东北部的低温中心与高原中部低温中心彻底分离,面积也呈逐渐缩小之势,如图版 6-2-1(c)、(d)、(e)、(f)所示。另一个气温升温热点地区位于柴达木盆地的海西蒙古族藏族自治州德令哈、都兰和格尔木($90^{\circ}\sim 97^{\circ}\text{E}$, $36.5^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$),1995 年以后这一地区气温升温尤为明显,如图版 6-2-1(e)、(f)所示。

(二)降水变化

青藏高原年降水量从藏东南和三江流域的年降水量超过 1000mm,向高原西北柴达木盆地以及新疆且末、民丰等地的年降水量小于 50mm 依次减少,整个高原年降水量变化梯度非常明显,如图版 6-2-2 所示。

高原降水时空变化过程表明,研究期内青藏高原年降水量并没有像温度变化那样表现出特别一致的增加或减少趋势。即高原在 20 世纪 70 年代以前降水呈现减少的趋势,尤其在高原北部柴达木盆地以西地区表现得更为明显,而年降水量在 200mm 以上的地区,降水变化并不明显,如图版 6-2-2(a)、(b)所示。80 年代以后,高原北部偏西地区的年降水量又表现出较为明显的增加,同期高原东南部年降水量变化不大。另外还须指出的是 80 年代后半期,西南季风对于高原降水的补给作用有所加强,相比之下东南季风活动偏弱,影响范围缩小,如图版 6-2-2(c)、(d)所示。到了 90 年代,高原北部柴达木及以西地区降水量又开始表现出了一定程度的减少,高原东南部降水仍较为充沛,变化不明显,值得注意的是,西南季风对于高原降水的控制作用进一步得到了强化,如图版 6-2-2(e)、(f)所示。

(三)干湿变化

描述气候干湿状况的可靠指标是大气降水或是大气湿润(干燥)指数,前者表示大气水分的收入;而后者则包括了在自然状况下,大气水分收、支的两个重要分量,即降水(P)和潜在蒸发或可能蒸发(E),体现了水量平衡和能量平衡的变化。本次研究主要基于修正的彭曼公式计算干燥度。

青藏高原干燥度在空间分布上与高原年降水量的空间分布情况相似,即存在一个由东南向西北的梯度变化。青藏高原干湿状况也是从藏东南和三江流域湿润区(干燥度 < 1)向高原北部柴达木盆地及其以西地区干旱(干燥度介于 5 和 15 之间)和极度干旱区(干燥度大于 15)过渡,这表明高原干湿状况更多地受降水量的影响,如图版 6-2-3 所示。

受西南季风和东南季风的影响,青藏高原最为湿润的地区位于喜马拉雅山南麓和川西地区。由于喜马拉雅山脉对于水汽的阻隔作用,水汽在山体南侧向上运动过程中往往转化为降水,山体南侧迎风一面要比北侧来得湿润。再加上青藏高原地貌上的西高东低,因此在 $98^{\circ}\sim 99^{\circ}\text{E}$ 、 $30^{\circ}\sim 31^{\circ}\text{N}$ 之间存在一个相对干燥的区域。高原湿润、半湿润地区只存在于东南一隅,半干旱(干燥度介于 1.5 和 5 之间)地区约占高原面积的 1/3,其余面积都为干燥、极度干燥气候所控制。整个青藏高原最为干旱的地区位于柴达木盆地。

从时间变化过程上看,20 世纪 70 年代高原气候趋向于变得干燥,重点表现在高原北部和西部地区,这一趋势在 80 年代上半期达到顶峰,如图版 6-2-3(a)、(b)、(c)所示。之后青藏高原整体上趋向于变得湿润,主要表现就是半干旱(干燥度介于 1.5 和 5 之间)区域在藏北高原的北部边界向北拓展,90 年代后半期至 21 世纪初是研究期内高原最为湿润的一段时间,如图版 6-2-3(d)、(e)、(f)所示。纵观整个研究期内青藏高原干湿变化过程可以发现,半干旱和

半湿润过渡气候区对青藏高原干湿变化的响应最为明显。随着高原干湿变化,半干旱区域在藏北高原的北部边界会发生明显的波动,这是青藏高原荒漠化分布的主要区域。

近30年来青藏高原整体上趋向变暖,这一点已经得到了广泛认同。但对于高原气候是暖干或是暖湿的还存在不同见解(施雅风,2003;王谋等,2004;吴绍洪等,2005)。根据本次研究结论,近30年来青藏高原并没有表现出完全一致的暖干或是暖湿变化趋向,而是在不同地区、不同时间段内有不同的表现。我们将高原1996~2001年与1971~1975年、1981~1985年干燥度分别进行差值运算,得到了两个时间段的高原气候干湿变化,如图版6-2-4(a)和(b)所示。图版6-2-4表明青藏高原在研究期内气候呈暖湿变化的地区大于气候呈暖干变化的地区,青海大部分地区呈现暖干且干燥趋向加强,而西藏、滇南和川西绝大部分地区则变得暖湿。需要指出的是,由于干燥度变化幅度并不是很大,尤其对于干燥度在5.0以上的干旱和极度干旱区来说,干燥度变幅并不能改变气候区的性质(郑度等,2004),但对于半干旱和半湿润这样的气候过渡区有一定影响。

(四) 年均气温、降水、干燥度格点统计

对1971~1975年、1996~2001年青藏高原气温、降水、干燥度等专题图层,按照格点进行提取,生成相应的专题图。

青藏高原1971~1975年、1996~2001年各格点平均气温及其变化专题图如图版6-2-5所示。图版6-2-5(a)、(b)表明研究期内青藏评价单元的年均气温分布情况,年均温在0℃以下、0~2℃之间的格点有所减少。两个时间段内青海省内的格点年均温均有所增加,西藏年均温增加的格点主要集中在羌塘高原及其以西地区,拉萨地区年均气温也有较为明显的增加。新疆南部、滇南和川西地区格点年均温也呈增加趋势。

青藏高原从1971~1975年段到1996~2001年段年均温增加幅度如图版6-2-5(c)所示。由该图可见,研究期内青藏高原各格点年均温增加幅度也呈现出由西向东、由周边向内陆形成梯度变化的特点。由于青藏高原地势西高东低,这表明青藏高原海拔较高的地区对于气候变暖表现得更为敏感。需要特别指出的是,青藏高原存在三个年均温增幅最小的地区,分别是位于西藏东部和川西地区的生达、妥坝、江达、德格、白玉等,青海省东南部的泽库、河南蒙古族自治县等,以及位于青南高原的杂多、聂荣等。研究期内高原年均温增加最明显(超过1℃)的地区集中在柴达木盆地,新疆的和田、皮山、阿克陶等地,以及西藏的扎达、噶尔地区。另外,西藏的拉萨地区、滇南中甸(香格里拉)、木里藏族自治县等地区年均温增加也较为明显。

青藏高原1971~1975年、1996~2001年按格点提取的年平均降水及其变化专题图如图版6-2-6所示。

图版6-2-6(a)、(b)是青藏高原按格点提取的1971~1975年、1996~2001年年均降水分类专题图。从专题图中可以看出,近30年来青藏高原降水空间分布格局的变化不太明显,只是在局部地区有所变化,如柴达木盆地的海西蒙古族藏族自治州和藏东南的察雅等地区。青藏高原1971~1975年段到1996~2001年段年均降水增幅如图版6-2-6(c)所示,从中可见近30年青藏高原年降水量增幅最大地区在藏东南喜马拉雅山南麓工布江达、林芝、波密地区,以及滇南的巴塘、理塘等地。上述地区均处在西南季风的影响范围内,由于全球变暖效应,西南季风带来更多的降水。但由于喜马拉雅山系和高原内部逐渐升高的地势和

较大山体的阻隔效应,西南季风丰沛降水的影响范围十分有限。因此它只能沿着藏南谷地向西有所深入,以及对横断地区产生较为显著的影响,故青藏高原上述地区降水增加较为明显。图版 6-2-6(c)还表明,近 30 年来东南季风带来的降水减少程度比较明显,这对川西、青海东部湟水谷地以及三江源的黄河源区等地区影响更为显著。对于西南季风和东南季风深入不到的高原腹地,除柴达木盆地和高原西北部地区降水有所减少以外,其他地区基本保持稳定或略有增长。位于中纬度地区的青海省大部分地区降水表现为减少的趋势,尤其是在人口分布较多、而资源承载压力较为紧张的青海东部地区。西藏自治区东部和西部降水变化对比明显,相对于东部降水明显增加,西藏西部地区降水保持稳定或略有下降。

青藏高原 1971~1975 年、1996~2001 年按格点提取的年干燥度专题图如图版 6-2-7 所示。研究期内青藏高原的干湿状况整体上变化不大,高原东南部偏向湿润,而高原北部极度干旱地区有少量增加。

二、荒漠化土地分布及变化

研究期内青藏高原荒漠化变化的详细结果可以参见荒漠化遥感监测子课题的成果报告,本章内容只对满足本课题研究要求的有关高原荒漠化数据再分析以及相应结论给予说明。首先要指出的是,为了便于进行空间分析与统计,将荒漠化监测得到的矢量图斑转换为 0.5km 分辨率的栅格数据,如此则在荒漠化面积的统计结果上存在一些微小差别,但这些差别不会影响评价结果(1:150 万比例尺)的准确性;其次,荒漠化子课题重点针对不同荒漠化类型(包括轻度、中度、重度盐碱化和沙化,砂砾石裸地、沙漠、盐漠)进行遥感调查监测,对于其他土地覆被类型少量兼顾,大部分分布在山体上的非荒漠化土地覆被类型以基岩代替。利用 1:400 万全国土地利用数据(裁剪出青藏高原部分)作为辅助性资料,对两期荒漠化分布面积变化、荒漠化程度变化(包括林、草、田转为荒漠化)进行分析。

荒漠化变化既包括荒漠化空间分布面积的变化,还包括荒漠化在程度上的变化,如轻度沙化转变为中度、重度沙化。因此,为了客观地描述近 30 年青藏高原荒漠化变化,需要对上述两方面变化作综合考虑。根据荒漠化课题沙化、盐碱化土地分类标准,课题组确定了荒漠化(包括沙化、盐碱化)程度加重(减轻)矩阵表,如表 6-2-1 和表 6-2-2 所示。盐碱化与沙化之间的变化算作荒漠化类型之间的转化,不列入荒漠化程度变化范畴。表中“→”代表程度不变,“↑”代表程度加重,“↓”代表程度减轻,程度变化以“行”为标准。

表 6-2-1 沙化土地程度变化矩阵

	林草田	轻度沙化	中度沙化	重度沙化	砂砾石裸地	沙漠
林草田	→	↑	↑	↑	↑	↑
轻度沙化	↓	→	↑	↑	↑	↑
中度沙化	↓	↓	→	↑	↑	↑
重度沙化	↓	↓	↓	→	↑	↑
砂砾石裸地	↓	↓	↓	↓	→	↑
沙漠	↓	↓	↓	↓	↓	→

表 6-2-2 盐碱化土地程度变化矩阵

	林草田	轻度盐碱	中度盐碱	重度盐碱	盐漠
林草田	→	↑	↑	↑	↑
轻度盐碱	↓	→	↑	↑	↑
中度盐碱	↓	↓	→	↑	↑
重度盐碱	↓	↓	↓	→	↑
盐漠	↓	↓	↓	↓	→

根据表 6-2-1 和 6-2-2,对两期青藏高原荒漠化数据进行空间叠加分析,得到了青藏高原荒漠化变化图,如图版 6-2-8。近 30 年来青藏高原荒漠化加重(包括荒漠化分布面积增加和荒漠化程度加重)区域总面积为 188451.5km²,占高原面积的 7.2%;同期荒漠化减轻区域面积为 114053.3km²,占高原面积的 4.4%;两者面积之差为 74398.2km²,近 30 年来青藏高原荒漠化净加重面积占高原总面积的 2.8%。上述一组数字表明了研究期内青藏高原荒漠化基本保持稳定,并在其基础上略微有所增加这样一个客观情况。

青藏高原荒漠化基本上分布在柴达木盆地和羌塘高原等高原北部和腹地,这里广泛堆积着第四纪沉积物,有着丰富的荒漠化的物质基础且地势相对平坦,为荒漠化的扩展带来了便利条件。同时这一地区又处于高原干旱、极干旱气候的控制范围,这两方面的原因造成了高原荒漠化集中分布于此。

图版 6-2-8 揭示了高原荒漠化变化的空间分异情况。整体上看,西藏自治区内的荒漠化类型以盐碱化占很大比重,且分布比较广泛。青海东部荒漠化程度减轻较为明显,柴达木盆地总体上荒漠化是在加重,但也存在一定程度的减轻现象。减轻现象主要体现在盐碱质荒漠化类型的变化上,如中度盐碱土地变为轻度盐碱土地,而沙化土地多以程度增加为主。研究期内羌塘高原及其以西地区荒漠化程度变化较为反复与频繁,即存在明显加重的地区,同时也存在荒漠化减轻的现象。与柴达木盆地不同的是,羌塘高原荒漠化变化的斑块较小。羌塘地区位于青藏高原半干旱气候向干旱气候过渡的区域,虽然近 30 年来羌塘高原降雨有所增加,使该地区趋向于变得湿润,但并没有从根本上改变该地区气候干湿状况的总体格局。研究期内高原腹地气候干湿变化较为频繁,荒漠化加重和减轻的原因可能与气候变暖引起湖泊和冻土发生适应性变化有关。青藏高原荒漠化减轻以盐碱质荒漠化减轻为主,据荒漠化遥感调查与监测课题成果,即高原近 30 年来盐碱质荒漠化类型减少较为明显,二者之间具有很好的一致性。

根据本课题研究需要,课题组按格点分别提取了 20 世纪 70 年代、21 世纪初青藏高原沙化土地(包括沙漠、重度、中度、轻度沙化土地,砂砾石裸地,下同)和盐碱化土地(包括盐漠、重度、中度、轻度盐碱化土地,下同)的比例及其变化情况,如图版 6-2-9、6-2-10 所示。

青藏高原荒漠化主要分布在高原腹地和西北部地区,并且沙化土地构成了高原荒漠化的绝大部分。柴达木盆地是青藏高原荒漠化分布的集中地区,重度沙化和重度盐碱化集中分布于此。图版 6-2-9 表明近 30 年来青藏高原盐碱化土地整体上以减少趋势为主,盐碱化土地明显减少主要集中发生在柴达木盆地和三江源的江河源头地区。羌塘高原地区盐碱化土地增减变化在空间上没有体现出明显的规律性。图版 6-2-10 表明研究期内青藏高原沙化土地整体上以增加趋势为主,沙化土地明显增加的地区集中在三江源的长江黄河源区,西

藏拉萨地区,藏南谷地和若尔盖地区沙化土地面积已表现出增加趋势,羌塘地区沙化土地增加和减少都有发生。在青藏高原土地沙化程度增加的大背景下,青海东部沙化土地有较为明显的减少。

三、现代冰川分布及变化

青藏高原冰川分布在高大山系上,如昆仑山、喀喇昆仑山、唐古拉山、喜马拉雅山等等,因此有冰川分布的市县集中在高原西北部、高原南缘、高原中部羌塘地区,以及横断地区。根据青藏高原现代冰川雪线遥感调查监测课题成果,近30年来高原总体上是退缩的。青藏高原20世纪70年代和21世纪初按格点提取的现代冰川分布面积及其变化情况如图版6-2-11所示。

近30年来青藏高原冰川面积总体上是在减少的。从冰川减少的绝对数量上看,高原西北角的昆仑、喀喇昆仑山系孕育的大陆冰川以及青藏高原南缘喜马拉雅山系发育的海洋冰川消减最为明显,高原北部阿尔金山和中部羌塘地区的唐古拉山也有一定程度的冰川消减现象发生。研究期内青藏高原周缘既是温度分布的高值区,又是气温升高背景下的“热区”。高原周缘地区也是冰川分布面积减少的主要区域,温度升高是导致冰川退缩的主要原因。在高原冰川面积整体上减少的背景下,局部地区冰川有少量增加,如西昆仑和喀喇昆仑交汇处的日土县和横断地区的巴塘县等。川西、西藏东部和横断地区是高原升温背景下的“冷区”,且以巴塘为中心的部分横断地区又是高原年降雨量增幅最大的两个地区之一,这两方面的原因使得横断地区冰川面积有所增加。就整个青藏高原来说,大陆冰川退缩的幅度不大,基本处于稳定;海洋冰川的变化更为显著。由于冰川分布的海拔高,其冰川物质的补给不受地面降水量的控制,气温升高才是冰川退缩的主要原因。与高原海洋冰川大幅退缩相似的是位于热带地区的非洲最高峰——乞力马扎罗,其上发育的冰川几乎退缩殆尽。还有一点需要指出的是,研究期内祁连山上的冰川退缩也较为明显。

四、新构造断裂分布

青藏高原地质历史上的新构造断裂与高原水平运动密切相关,20世纪80年代以来的研究表明,青藏高原地体沿主要断裂带呈现大规模的水平滑动,由此塑造了高原主要的地形地貌格局。高原面上的新构造断裂分布,除了体现在学术研究上的重要意义外,其存在对于区域经济发展战略的制定以及大型工程项目的实施同样具有重大影响,例如新构造断裂分布密度较高的地区往往地质灾害频发,因此一些大型工程项目,如水利设施和公路、铁路的设计就要格外考虑断裂构造的影响。

根据第四系与新构造运动课题成果,以单元格点为单位计算断裂总长度,根据断裂密度的计算公式,得到每一单元格点的断裂密度。断裂密度计算公式如式6-2-1,单位是 m/km^2 。

$$\text{断裂密度} = (\text{断裂总长度} / \text{单位格点面积}) \quad (6-2-1)$$

青藏高原单元格点断裂密度如图版6-2-12所示。由该图可见,断裂密度较高的地区几乎完全分布在昆仑山、横断山以及祁连山等山系所在地。断裂密度较高的地区往往意味着该处地层活动较为活跃,因此通常伴生频繁的地质灾害现象,从而对当地人民的生产生活、

社会经济发展构成不利影响。所以一些重大工程的选址、选线,对于断裂密度较高的地区应该给予格外的重视。

五、地质灾害分布

根据地质灾害课题调查成果,青藏高原地质灾害分为崩塌、滑坡、泥石流三种类型,每一类型的地质灾害按照灾害级别进一步分为巨型、大型、中型、小型,同时根据灾害的稳定性又将地质灾害分为不稳定和潜在两种类型。以格点为单位统计地质灾害的影响,为了能够充分利用调查得到的地质灾害信息,提出青藏高原地质灾害影响指数。该指数的基本形式为“灾害密度 $\times$ 权重”,而权重值的计算则要综合考虑地质灾害的所有信息。课题组以大型灾害和不稳定的权重值为1,其他等级和稳定程度的灾害权重值作相应变化,具体权重值的计算如表6-2-3所示。

表 6-2-3 青藏高原地质灾害权重值

灾害类型				稳定程度	
巨型	大型	中型	小型	不稳定	潜在
1.2	1.0	0.8	0.6	1	0.8

根据表6-2-3 计算得到了青藏高原地质灾害密度分布图,如图版6-2-13所示。高原地质灾害的分布整体上与高大山脉的分布有关,具有较高地质灾害密度的地区主要集中在昆仑山脉和喜马拉雅山脉,以及部分横断地区。

地质灾害本质上是一种由重力作用引起的破坏形式,因此其分布与高原的区域地质本底特征有密切关系,如高原的地形地貌以及塑造高原地貌格局的新构造运动等;其次地质灾害的发生也与气候方面的因素有关,如气候变暖引起的极端降水和冰川融水导致滑坡和泥石流的产生等。对比图版6-2-12和图版6-2-13,青藏高原新构造断裂分布越密集的地方,往往其地质灾害的分布数量也较多。同时气候因素对地质灾害发育程度存在一定的影响。喜马拉雅山系是地质灾害分布的一个高密度区域,研究期内这一地区冰川退缩也较为明显。一个合理的解释是气候变暖引起冰川退缩、冰川融水增加,进而促进滑坡和泥石流的发生。

六、生态资产分布及变化

生态资产量是一个地区生态承载力的标识。根据1:400万青藏高原的土地利用图,以及近30年来高原湿地、荒漠化、冰川分布的监测成果,初步估算了20世纪70年代和21世纪初高原生态资产。客观地讲,项目组目前对于青藏高原生态资产的估算是较为粗略的。原因在于首先项目组目前掌握的数据来源不一,既有本次调查监测数据,又有不同科研成果;另外数据获得的时间年代上也不一致,这些数据只能概略性地反映青藏高原生态系统变化情况。其次,目前国际、国内有关生态系统服务价值和生态资产计算的相关工作已得到广泛开展。由于对生态系统服务价值的计算存在不同的学术观点和认识,在评价的方法上也不尽相同,得到的生态系统资产的绝对价值量存在一定的差异,且计算结果相互之

间缺少可比性。项目组主要是根据国外和国内学者的有关研究结论,在此基础上计算了青藏高原生态资产。虽然其绝对价值量与高原真实的生态系统服务价值是否一致尚缺少实地验证,但是计算得到的青藏高原单元格点生态资产能够以统一的标准如实反映出高原内生态资产的空间分布差异和变化趋势情况。

即便存在如上所述的一些问题,项目组认为高原生态资产的估算对于客观、真实地评价高原生态地质环境具有非常重要的意义。高寒草甸、高寒草原分布面积广泛,西藏、青海两省区草地面积超过其总面积的一半,是青藏高原最主要的生态系统类型。高原湿地、荒漠化变迁对于高原生态系统的影响最为显著,进而对于高原生态资产变化的贡献也颇多,对主要以湿地、荒漠化变迁驱动的高原生态资产变化进行估算具有一定程度的真实性。况且随着项目下属的其他课题成果陆续出来,数据不断得到充实,高原生态资产的估算也将得以完善。本次对于高原生态资产的估算主要基于 Costanza et al. (1997) 和谢高地等(2003) 国内外学者研究成果,在此基础上对部分生态系统单位生态资产价值进行适当调整。

由于缺少更为详细的高原生态系统类型的分布情况,项目组只是针对主要的生态系统类型进行区分,包括森林、草地、农田、湿地、荒漠。由于高原存在相当数量的荒漠化,且主要分布在高原中部和西北部,这一地区主要植被类型为荒漠草原、高寒草原和高寒草甸。因此,对于存在一定植被覆盖的荒漠化类型,其单位面积生态资产的确定以草地单位面积生态资产作为基数,轻盐与轻沙单位面积生态资产是草地的 0.7,中盐和中沙是草地的 0.5,重盐和重沙为 0.3。青藏高原不同类型生态系统服务价值如表 6-2-4 所示。

表 6-2-4 青藏高原不同类型生态系统服务价值

生态系统类型	森林	草地	农田	湿地	荒漠	冰川雪被	沙漠戈壁	荒漠(盐漠)
单价 $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	13462.7	3512.6	4341.2	40676.4	371.4	371.4	371.4	371.4

生态系统类型	砂砾石裸地	轻度盐碱化	中度盐碱化	重度盐碱化	轻度沙化	中度沙化	重度沙化
单价 $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	371.4	2458.8	1756.3	1053.8	2458.8	1756.3	1053.8

根据表 6-2-4 列出的青藏高原单位生态系统服务价值,统计单元格点内的主要生态系统类型面积,得到了青藏高原 20 世纪 70 年代和 21 世纪初单元格点的单位面积生态资产和变化情况,如图版 6-2-14 所示。

整体上青藏高原生态资产的分布从高原东南方向向西北方向递减,这与高原水热格局主导的植被生态系统类型分布格局具有很好的一致性,即由东南方向的森林生态系统到草原生态系统(高寒草甸、高寒草原),最后过渡到荒漠生态系统,同时也表明近 30 年来高原生态资产的变化并未引起生态资产空间分布的基本格局发生改变。然而,具有优良水热条件、植被生物量较高的藏东南地区在整个高原面上并不是生态资产最高的地区,相反这一地区集中在拉萨—念青唐古拉山—青海湖(哈拉湖)一线。这一半干旱地区年降水量只有 250mm 左右,植被生态系统类型为高寒草原,之所以生态资产最高,是因为这里广布高原湖泊和湿地。一方面,湿地因其巨大的生态系统服务价值使这一地区具有非常高的生态资产,但另一方面,因自然环境的严苛和生态系统类型较为单一,这一过渡地区又非常容易受到环

境变化和人类活动的影响,因此其生态资产变化较为明显。

图版 6-2-14(c)表明,近 30 年来青藏高原生态资产变化具有如下一些特点:首先,青藏高原周边地区生态资产以稳定和少量增长为主。其中藏东南、滇南地区是最大的稳定区,加上近年来西南季风带来更为丰富的降水以及这一地区原本就十分充足的热量条件,这一地区生态资产在稳定的基础上还有少量增加。藏南谷地、青海东部湟水谷地生态资产有较为明显的增加,但局部地区也存在生态资产减少的现象。其中藏南谷地生态资产增加更多的是受气候因素的影响,而青海东部生态资产增加则要归因于近年来对于生态环境保护的重视和相应生态恢复工程的开展。其次,在高原内部存在生态资产减少和增加的集中区域。由于近年来羌塘高原气候暖湿变化,湖泊数量增多,荒漠化面积减少,因此阿里地区的生态资产增加较为明显。青藏高原中央隆起带拉萨—念青唐古拉山—青海湖(哈拉湖)一线生态资产减少较为明显,其原因在于湿地面积减少而荒漠化面积增加。其他生态资产变化的热点地区是柴达木盆地和若尔盖地区,前者由于荒漠化面积扩张导致生态资产明显减少;后者生态资产表现出边缘减少,核心区有所增加,若尔盖地区生态资产整体变化趋势不容乐观。

七、生态系统生产力分布及变化

青藏高原年均 NPP(植被净初级生产力)数据来源于 NASA 提供的 8km 分辨率 NOAA 全球年 NPP 数据,起始年份、终止年份分别是 1981 年和 2000 年。1981 和 2000 年青藏高原单元格点年平均 NPP($\text{g C/m}^2 \cdot \text{a}$)如图版 6-2-15(a)和图版 6-2-15(b)所示,年均 NPP 变化如图版 6-2-15(c)。

青藏高原 NPP 的分布大体上存在一个由东南向西北过渡的梯度,与高原植被生态系统的类型分布基本一致。同时,具有较高 NPP 的地区明显处在西南季风和东南季风的控制范围内,这也表明水热条件在宏观上决定了青藏高原 NPP 的分布格局。青藏高原内具有最高 NPP 的地区位于藏东南雅鲁藏布江大拐弯处和云南一部分地区,其典型生态系统类型为亚热带常绿阔叶林。其次在青海东部和南部三江源部分地区、若尔盖、拉萨以及藏南谷地等地区也具有较高的 NPP,上述地区典型植被生态系统为高寒草甸和高寒草原。青海西部和南部三江源地区、西藏东部部分地区等以高寒草原作为典型植被生态系统的地区,其 NPP 数量值较低,介于 $200 \sim 500 \text{g C/m}^2 \cdot \text{a}$ 之间。而青藏高原广大中西部地区 NPP 数值非常低,这一地区以荒漠草原为典型植被生态系统,许多地区裸露大面积的基岩。

青藏高原东部周缘地区,包括藏东南、滇南、川西以及青海东部,NPP 有较为明显的减少。这些地区由于具有良好的水热条件,NPP 的减少表明人类干扰程度的加重。前面分析表明青海东部地区荒漠化分布面积有所减少,一定程度上表明该地区已开始重视环境保护和生态恢复工程的建设,从而达到控制水土流失和草场退化等生态恶化现象。但 NPP 变化趋势则表明青海东部地区植被生态系统在功能上有了明显的退化,且这种退化现象在空间上具有普遍性,并非仅局限在荒漠化的主要分布地区。青藏高原内 NPP 增加最明显的地区位于藏东、青海南部、川西和云南南部四省区交界地区,近年来上述地区降水增加明显,热量条件相对较好,再加上三江源地区的生态保护日益引起重视,因此植被状况有所改善。高原西部广大地区 NPP 有少量增加,其主要原因在于近 30 年来的气候暖湿变化,表明植物生长

的水热条件有所改善,导致 NPP 有少量增加。

八、地形地貌要素分布

根据青藏高原 DEM 数据,按照单元格网提取地形地貌要素,包括平均高程、平均坡度、平均地表破碎度,如图版 6-2-16 所示。地表破碎度用一个像元与其周围 8 邻域像元的高程标准差表示。

第三节 青藏高原现代生态地质环境综合评价

青藏高原幅员辽阔,近百万年以来的地质演化塑造了高原多样的地貌类型,高原的隆升引起高原环境背景发生深刻变化,形成了以寒旱为主要特征的环境本底特征。近几十年来,全球气候变化以及部分地区不断加重的人为扰动导致高原生态地质环境发生并不均衡的变化趋势。高原生态地质环境(包括变化)的复杂性首先表现在不同区域具有不同的生态地质环境的主导因素。从整个高原的层面上观察,多种不同主导因素的相互作用使高原生态地质环境表现出非线性的根本特征。因此对青藏高原生态地质环境进行综合评价,完全基于线形加权或以线形加权为基础的评价方法,如层次分析法,对青藏高原生态地质环境进行综合评价存在局限性,往往无法真实表现出青藏高原生态地质环境空间分布格局及其时空变化的复杂性。另外线性加权评价方法对于权重的依赖性过强,不同的权重组合往往导致出现不同的评价结果。利用专家的知识打分或者确定权重,然后将打分的结果反映在空间上。这种评价模式使专家的作用贯穿始终,在增加评价结果权威性的同时,也带来了评价结果的不确定性。出于以上考虑,课题组将非线性的评价模型与专家认识结合起来,即首先基于人工神经网络——自组织竞争网络(SOFM)模型实现青藏高原生态地质环境的空间分异,然后利用专家知识对空间聚类结果进行综合评价。

一、分类原则与因子选择

首先利用 SOFM 神经网络模型对评价单元进行聚类(两期数据同时参与预算,共计 6141×2 个单元格点),然后辅助专家知识对聚类结果进行综合判断并给出打分结果,最终确定高原生态地质环境的评价结果。利用两期评价结果间即可得到近 30 年来青藏高原生态地质环境的时空变化。

根据青藏高原不同生态地质环境要素按单元格点的提取结果,分析各要素之间的相关程度,在具有较高相关性的因子中选择更有代表性的因子。在此基础上,最终确定选用年均温、年均干燥度、高程、坡度 4 因子反映环境本底特征,选择沙化率、盐碱化率、断裂密度、地质灾害密度 4 因子反映地质本底特征,选择冰川面积、湖泊面积、NPP 和单位面积生态资产 4 因子反映生态本底特征。以上共计 12 个因子组成青藏高原生态地质环境综合评价指标体系的因子层。

二、类别数量的确定

采用 SOFM 网络模型,需要首先确定分类的总数,然后以非监督分类方式实现聚类。考虑到青藏高原面积广阔,分类数量太少难以表现出高原生态地质环境的复杂性。同时 SOFM 网络模型对于竞争层单元构成平面(如分类单元拓扑关系位 2×2)的映射效果要好于竞争层单元构成线形(分类单元拓扑关系 1×4 或 4×1)的映射效果。综合以上两方面因素确定 SOFM 神经网络模型的非监督分类数量为 6 类,据此划分出青藏高原 6 类生态地质环境。

三、聚类效果的实现

首先为两期待评价单元共计 6141×2 个单元格点赋予不同的 ID 值。每一单元格点的空间分辨率是 $20\text{km} \times 20\text{km}$,并具有 12 个描述其生态地质环境的属性数据。每一单元格点可认为是一个具有 12 维度的矢量。将 12282 个矢量带入 SOFM 神经网络模型,经过网络初始化,达到平衡后设定最大循环迭代运算次数(2000 次)或最小迭代运算误差。实际运算过程中,网络迭代运算 400 ~ 500 次后达到稳定,聚类结果不再发生变化。最后将单元格点的聚类结果利用 GIS 系统映射到空间上,如图版 6-3-1 所示。

四、青藏高原生态地质环境等级界定

图版 6-3-1 给出了青藏高原不同类型生态地质环境的空间分布范围,在此基础上,根据制图综合原则对图版 6-3-1 进行了矢量化,如图版 6-3-2。利用 SOFM 神经网络模型对青藏高原生态地质环境进行聚类得到了良好效果,即青藏高原生态地质环境整体上表现出良好的空间聚合性,这符合地学上的一般规律。青藏高原 6 类生态地质环境从东南向西北存在明显的梯度变化:

类别 1 主要包括东喜马拉雅南翼山地常绿阔叶林地带,湿润气候,地貌上属于喜马拉雅极大、大起伏高山极高山区;川西藏东山地针叶林地带,湿润-半湿润气候,地貌类型属于横断极大、大起伏高山区;青东山地草原地带,半湿润-半干旱气候,地貌类型为青东高中海拔河谷盆地地区。类别 1 覆盖区域水热条件良好,植被生物量高,但由于地形起伏大,构造发育,因此地质灾害频发。类别 1 所在区域是整个高原人口分布的集中地区,同时也具有高原内最高的社会经济发展程度。

类别 2 主要包括藏南山地灌丛草原地带,半干旱气候,地貌上属于北雅鲁藏布高山河谷地区;阿坝那曲高寒灌丛草甸地带,湿润-半湿润气候,地貌上属于江河源上游中、大起伏高山河谷区;青海东部草原地带,半干旱气候,地貌上属于黄湟高中海拔盆地地区。类别 2 所覆盖区域典型植被生态系统类型为高寒草甸和高寒草原,是青藏高原最主要的牧区所在地。在青海东部、川西人口密度较大,社会经济发展程度相对较高。

类别 3 主要包括部分藏南山地灌丛草原地带,半干旱气候,位于雅鲁藏布江上游宽谷地区;南羌塘高寒草原地带,半干旱气候,位于南羌塘中起伏高原湖盆区;北羌塘高寒草

原地带,半干旱-干旱气候,主要位于可可西里丘状高原湖盆地区;青南高寒草原地带,半干旱气候,位于黄河源丘状山原盆地地区和长江源山原宽谷盆地地区;部分青东山地草原地带,半干旱气候,地貌上属于青海东部高中海拔河谷盆地地区。类别3覆盖区域由于包括青藏北部喜马拉雅山系的高大山体,使得其平均海拔超过4500m,年均温度较低,冻土和湿地广布,青藏高原较大型的湖泊几乎都位于类别3范围内,典型植被生态系统类型为高寒草原。近年来由于人类活动的影响已经波及这一区域,类别3覆盖范围内的自然景观变化明显,草场开始退化,湿地萎缩,这一趋势已引起国家和各级政府的重视。

类别4主要包括北羌塘高寒草原地带,半干旱-干旱气候,地貌上属于中羌塘中、小起伏高山湖盆地区;部分青东山地草原地带,半干旱-干旱气候,主要位于东祁连山区。类别4覆盖区域主要位于羌塘高原中部和北部,植被生态系统类型由高寒草原逐渐向荒漠草原过渡,气候也由半干旱气候向干旱气候过渡,是高原荒漠化除柴达木盆地以外又一个集中分布地区。

类别5主要包括昆仑高寒半荒漠、荒漠地带,干旱气候,位于昆仑南翼大、中起伏高原区;柴达木荒漠地带,干旱-极干旱气候,地貌上属于柴达木高、中海拔盆地。类别5覆盖区域内存在高山区和盆地两个地貌单元,虽然在地貌上差异明显,但二者都属于干旱气候(极干旱气候),植被稀少,荒漠广布且重度荒漠化的比例很大。

类别6主要包括阿里山地半荒漠、荒漠地带,干旱气候,位于噶尔-班公宽谷湖盆区和朗钦藏布谷地区;昆仑高寒荒漠地带,干旱气候,地貌上属于西昆仑大起伏极大起伏高山极高山地区和昆仑北翼山地区。类别6覆盖区域基本上位于昆仑山系的高大山体或山前地区,雪线之上冰川积雪覆盖,之下大片基岩出露,因而少有植被覆盖。这一区域构造发育,冰川作用明显,是青藏高原地质灾害集中分布的主要地区。类别6所在区域与类别5所在区域相比,主要差异在于前者的平均海拔更高,高出后者近700m,前者由于大片基岩裸露造成植被覆盖更少,同时由于地质构造发育和冰川冻融作用,再加上全球变暖的影响,这一地区地质灾害频发。类别6所在区域自然环境更为严酷。

为了在分类基础上便于专家做出最终的评价结果,利用GIS系统分别提取了上述6类区域内1970年代和21世纪初的12个生态地质环境因子的平均值,如表6-3-1和表6-3-2所示。

由于12个生态地质环境因子的量纲不一致,且随着各因子取值的增加,其对生态地质环境的贡献有“正向”和“负向”两种不同的效应。因此课题组对12个生态地质环境因子的平均值进行了数据前期处理工作,即利用差值变换和比值变换实现去量纲化和达到“正比”变化的目的,以利于专家给出恰当的评判分值。

对生态地质环境有“正向”影响的因子,如温度,在两期6类生态地质环境共计12个具体的数值当中,以该因子平均值最大的那个数值作为基数,取值100,最小值取0,其他10个温度取值按比例进行拉伸变化。反之,对生态地质环境有“负向”影响的因子,如干燥度,在2期共12个干燥度数值中,以平均值最小的那个数值作为基数,取值100,最大值取0,其他10个干燥度取值按比例相应变化。对数据进行如上变换后,新的数据不含量纲且数值的大小与生态地质环境的好坏程度是正比关系的。变化后的数据如表6-3-3和表6-3-4所示。

表 6-3-1 青藏高原 20 世纪 70 年代 6 类生态地质环境参评因子的平均值

类 别	温度	干燥度	高程	坡度	沙化比例	盐碱比例
1	6.91	2.15	3859.07	10.32	2.39	0.02
2	1.79	2.38	4322.15	5.26	5.26	0.26
3	0.43	6.93	4858.41	4.02	11.62	4.20
4	0.50	7.91	4710.08	2.66	45.89	7.75
5	3.82	28.96	4083.92	2.12	46.87	10.19
6	5.94	24.59	4771.23	7.44	5.80	1.02
类 别	断裂密度	灾害密度	冰川比率	湖泊比率	NPP	生态资产
1	30.28	1.04	7.98	0.24	613.48	70.62
2	28.86	0.18	2.79	2.23	550.09	51.36
3	31.95	0.40	5.91	15.26	207.77	51.18
4	21.53	0.50	1.75	11.44	175.40	46.06
5	17.40	0.44	1.41	5.96	67.68	44.84
6	36.33	0.50	25.07	1.87	82.38	22.06

各因子单位:温度,℃;高程,m;坡度,(°);沙化比例,%;盐碱比例,%;断裂密度,m/400km²;灾害密度,个/400km²;冰川比率,km²/400km²;湖泊比率,km²/400km²;NPP:g C/m²·a;生态资产,万元/km²。

表 6-3-2 青藏高原 21 世纪初 6 类生态地质环境参评因子的平均值

类 别	温度	干燥度	高程	坡度	沙化比例	盐碱比例
1	7.37	1.83	3856.03	10.51	2.41	0.01
2	2.28	2.08	4302.40	5.30	4.61	0.16
3	1.10	6.20	4858.07	3.99	14.19	2.96
4	0.92	6.63	4736.81	2.61	49.65	6.99
5	4.95	30.67	4066.52	2.16	48.39	9.01
6	6.70	24.35	4746.63	7.00	6.52	1.18
类 别	断裂密度	灾害密度	冰川比率	湖泊比率	NPP	生态资产
1	30.10	1.06	7.76	0.46	595.44	70.94
2	29.15	0.19	2.41	2.42	565.20	47.91
3	31.67	0.42	5.59	16.74	210.37	50.59
4	22.01	0.46	1.29	12.52	198.98	48.60
5	16.49	0.47	1.40	5.75	73.02	40.13
6	36.38	0.45	22.15	2.79	85.61	24.75

注:各因子单位同表 6-3-1。

表 6-3-3 青藏高原 20 世纪 70 年代 6 类生态地质环境 12 参评因子变换值

类 别	温度	干燥度	高程	坡度	沙化比例	盐碱比例
1	93.34	98.87	99.70	2.24	100.00	99.90
2	19.61	98.08	53.50	62.59	93.92	97.55
3	0.00	82.32	0.00	77.39	80.47	58.83
4	1.05	78.93	14.80	93.52	7.96	23.91
5	48.92	5.93	77.27	100.00	5.89	0.00
6	79.40	21.10	8.70	36.54	92.77	90.15
类 别	断裂密度	灾害密度	冰川比率	湖泊比率	NPP	生态资产
1	30.69	2.57	28.10	0.00	100.00	99.35
2	37.82	100.00	6.30	12.03	88.39	59.96
3	22.31	74.84	19.42	91.01	25.67	59.58
4	74.67	63.80	1.94	67.88	19.74	49.11
5	95.45	71.08	0.50	34.67	0.00	46.62
6	0.25	64.13	100.00	9.88	2.69	0.00

表 6-3-4 青藏高原 21 世纪初 6 类生态地质环境 12 参评因子变换值

类 别	温度	干燥度	高程	坡度	沙化比例	盐碱比例
1	100.00	100.00	100.00	0.00	99.94	100.00
2	26.70	99.14	55.47	62.08	95.28	98.61
3	9.72	84.86	0.03	77.76	75.02	71.08
4	7.14	83.34	12.13	94.15	0.00	31.43
5	65.13	0.00	79.00	99.50	2.66	11.53
6	90.35	21.93	11.15	41.83	91.26	88.50
类 别	断裂密度	灾害密度	冰川比率	湖泊比率	NPP	生态资产
1	31.57	0.00	27.18	1.35	96.69	100.00
2	36.36	99.30	4.71	13.20	91.16	52.89
3	23.70	72.46	18.05	100.00	26.14	58.38
4	72.27	68.03	0.00	74.40	24.06	54.31
5	100.00	67.00	0.45	33.35	0.98	36.97
6	0.00	68.98	87.69	15.43	3.28	5.51

根据表 6-3-3 和表 6-3-4,组织专家对两期 6 类生态地质环境 12 个因子进行打分,然后对打分结果进行整理,剔除异常值,最后求取均值。如表 6-3-5 和表 6-3-6 所示。

对表 6-3-5 和表 6-3-6 进行整理,即按照生态、地质、环境三个控制层累加其下属因子的分值,以及得到最终的总分值。计算结果如表 6-3-7 和表 6-3-8 所示。

表 6-3-5 青藏高原 20 世纪 70 年代 6 类生态地质环境 12 参评因子打分结果

类 别	温度	干燥度	高程	坡度	沙化比例	盐碱比例
1	7	8	7	2	9	10
2	3	8	6	4	8	10
3	1	4	4	5	6	7
4	1	4	4	6	2	6
5	4	1	6	6	2	6
6	7	1	4	3	7	7
类 别	断裂密度	灾害密度	冰川比率	湖泊比率	NPP	生态资产
1	1	2	3	1	9	8
2	1	4	2	2	7	6
3	1	3	2	4	5	7
4	3	3	2	4	5	6
5	4	3	2	3	1	5
6	1	3	5	2	1	1

表 6-3-6 青藏高原 21 世纪初 6 类生态地质环境 12 参评因子打分结果

类 别	温度	干燥度	高程	坡度	沙化比例	盐碱比例
1	8	9	7	2	9	10
2	3	8	6	4	8	10
3	2	4	4	5	6	7
4	2	4	4	6	2	6
5	5	1	6	6	2	6
6	7	1	4	3	7	7
类 别	断裂密度	灾害密度	冰川比率	湖泊比率	NPP	生态资产
1	1	2	3	1	8	8
2	1	4	2	2	7	6
3	1	3	2	4	5	7
4	3	3	2	4	5	6
5	4	3	2	3	1	5
6	1	3	5	2	1	1

表 6-3-7 青藏高原 20 世纪 70 年代 6 类生态地质环境综合打分结果

类 别	生 态	地 质	环 境	累 计
1	21	22	24	67
2	17	23	21	61
3	18	17	14	49
4	17	15	14	46
5	11	15	17	43
6	9	18	15	42

表 6-3-8 青藏高原 21 世纪初 6 类生态地质环境综合打分结果

类 别	生 态	地 质	环 境	累 计
1	20	22	26	68
2	17	23	21	61
3	18	17	15	50
4	17	14	16	47
5	11	15	18	44
6	9	18	15	42

根据表 6-3-7 和表 6-3-8 的打分结果,确定以累计打分结果 60 分和 45 分作为厘定青藏高原生态地质环境“好”、“中”、“差”的标准。即累计打分结果高于 60 分的类别 1 和类别 2,其生态地质环境评价结果——一级类别为“好”,其中类别 1 累计打分明显高于类别 2,可进一步确定其生态地质环境为“优”,类别 2 的生态地质环境为“良”;累计打分结果介于 45 分和 60 分之间的类别 3 和类别 4,其生态地质环境评价结果——一级类别为“中”,其中类别 3 累计打分结果高于类别 4,确定类别 3 的二级类别为“中 I”,类别 4 的二级类别为“中 II”;累计打分结果小于 45 分的类别 5 和类别 6,其生态地质环境评价结果——一级类别为“差”,其中类别 5 的二级类别为“差 I”,类别 6 的二级类别为“差 II”。

因此,青藏高原 6 类生态地质环境的综合评价结果可用两级类别来表示,即一级类别分为“好”、“中”、“差”,二级类别分为“优”、“良”、“中 I”、“中 II”、“差 I”和“差 II”,如表 6-3-9 所示。其空间分布范围参考图版 6-3-2。

表 6-3-9 青藏高原 6 类生态地质环境的综合评价结果

类别	1	2	3	4	5	6
一级类别	好		中		差	
二级类别	优	良	中 I	中 II	差 I	差 II

五、近三十年来青藏高原生态地质环境时空变化分析

近 30 年来青藏高原生态地质环境时空变化主要体现在各类别生态地质环境分布面积的数量变化、质量变化、类别间的互相转化以及空间分布的变化。

(一) 生态地质环境分布面积的数量变化

根据青藏高原生态地质环境综合评价结果,项目组基于 GIS 系统统计青藏高原 20 世纪 70 年代和 21 世纪初 6 类生态地质环境的面积及其变化情况,如表 6-3-10。

表 6-3-10 青藏高原 6 类生态地质环境面积及其占高原面积比例

类 别	20 世纪 70 年代面积/km ²	比例/%	21 世纪初面积/km ²	比例/%
1	537624	20.8	528504	20.5
2	421003	16.3	431820	16.7
3	482064	18.7	449690	17.4
4	435586	16.9	458262	17.7
5	371047	14.4	348250	13.5
6	335019	13.0	365815	14.2

青藏高原 20 世纪 70 年代和 21 世纪初 6 类生态地质环境分布面积占高原面积的比例如图 6-3-1。类别 1——生态地质环境“优”，其占青藏高原总面积的比例最大，超过 20%。类别 5——“差 I”和类别 6——“差 II”占高原面积的比例在 15% 以下。其余类别生态地质环境，即生态地质环境“良”、“中 I”和“中 II”，占高原面积的比例介于 15% 和 20% 之间。

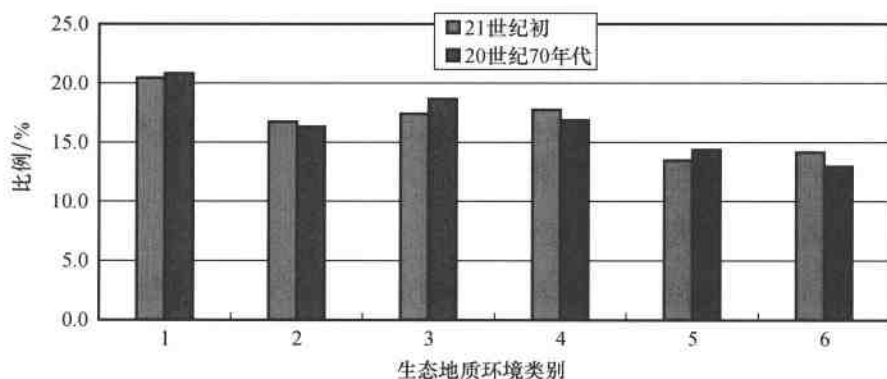


图 6-3-1 青藏高原 20 世纪 70 年代和 21 世纪初 6 类生态地质环境占高原面积的比例

青藏高原 20 世纪 70 年代和 21 世纪初 6 类生态地质环境面积变化如图 6-3-2 所示。近 30 年来，青藏高原 6 类生态地质环境中，面积增加的是类别 2——“良”、类别 4——“中 II”和类别 6——“差 II”，面积减少的是类别 1——“优”、类别 3——“中 I”和类别 5——“差 I”。从面积变化的绝对数量上看，变化最大的是类别 3，其次是类别 6，这两类生态地质环境面积变化数量均在 3 万 km² 以上。类别 4 和类别 5 这两类生态地质环境面积变化的数量相接近，超过 2 万 km²。而类别 1 和类别 2 面积变化较小，数量在 1 万 km² 左右。整体来看，6 类生态地质环境变化幅度并不大，最大的是类别 3，占高原面积比例减少了 1.3%，最小的是类别 1，比例减少了 0.3%。

以上统计数据和分析结果表明：一方面，从一级类（“好”、“中”、“差”）三个等级生态地质环境分布面积的数量变化来看，评价结果为“好”的生态地质环境分布面积增加 1698km²，评价结果为“中”的生态地质环境分布面积减少了 9697km²，“差”则增加了 7999km²。上述三类生态地质环境分布面积占高原面积的比例变化幅度则更小，最大的也不足 0.4%。这表明从生态地质环境分布面积的数量变化上可以认为，近 30 年来青藏高原生态地质环境整

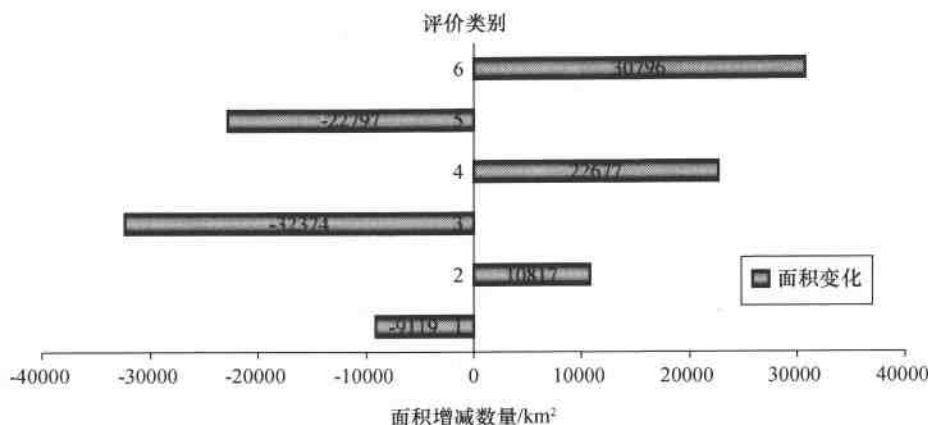


图 6-3-2 青藏高原 20 世纪 70 年代和 21 世纪初 6 类生态地质环境面积变化

体上基本保持稳定。另一方面,从青藏高原生态地质环境一级类别控制的二级类别上看,在每个一级类别控制的两个二级类别当中,生态地质环境相对较好的二级类别分布面积均在减少,而生态地质环境相对较差的二级类别分布面积都有所增加。这说明至少在每个一级类别控制区域范围内,其生态地质环境还是存在一定程度地变差现象。综上所述,青藏高原各类别生态地质环境分布面积的数量变化表明,近 30 年来青藏高原生态地质环境基本保持稳定,与此同时存在一定程度地变差现象。

(二) 生态地质环境的质量变化

青藏高原生态地质环境 6 个具体类别的确定,可以认为是为青藏高原的生态地质环境划定了 5 个阈值(或者 6 个阈值)。某一评价单元计算结果超过了某一阈值将会导致某些类别生态地质环境分布面积发生数量变化。而对于那些没有改变“身份”的评价单元,其生态地质环境同样也会发生相应的变化,即生态地质环境的质量变化。因此所谓青藏高原生态地质环境的质量变化是指在因子层上所反映出来的某一评价区生态地质环境的改善或者变差,而这种变化并不足以导致具体类别生态地质环境的分布面积发生数量上的改变。

专家对青藏高原生态地质环境各因子进行打分,各因子的累加结果可以表明某一时期的生态地质环境质量状况,因此两期累加结果之间的差异就代表了这段时间内青藏高原各评价区内的生态地质环境质量变化情况。根据打分结果,近 30 年来青藏高原生态地质环境各类别区累计打分几乎没有发生变化。这种结果出现的原因在于专家是根据生态地质环境的整体状况给出一个有弹性的、相对“模糊”的评判结果,因此这一结果很难表现出生态地质环境在某一因子上的细微变化。

为了能够更为详细地反映出近 30 年来青藏高原生态地质环境的质量变化,需要在生态地质环境因子层上找到变化的具体过程。因此课题组针对 6 类生态地质环境二级评价结果,对 12 个参评因子在“生态”、“地质”、“环境”三个主要方面上的变化进行了分析,如图 6-3-3 至表 6-3-8 所示。

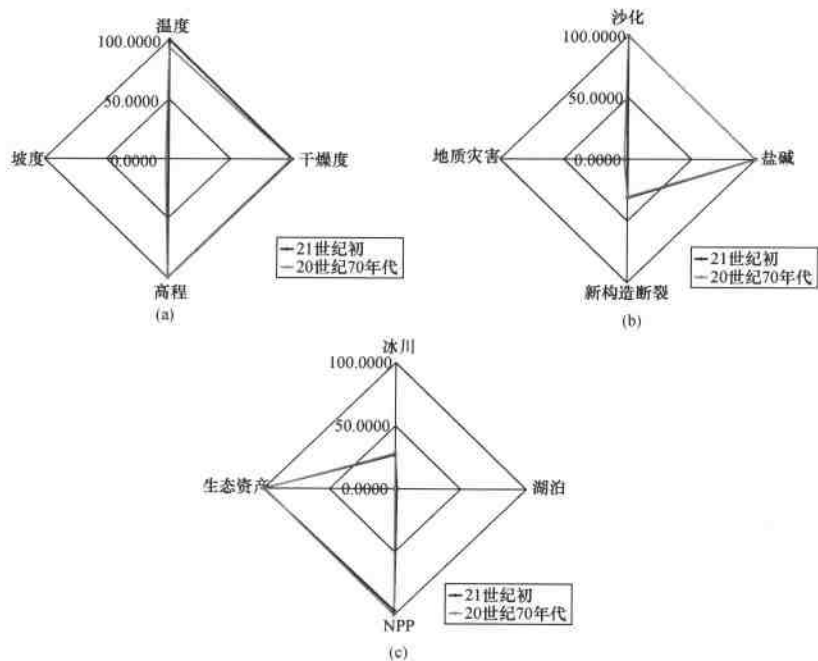


图 6-3-3 类别 I 生态地质环境质量变化

(a) 环境本底; (b) 地质本底; (c) 生态本底

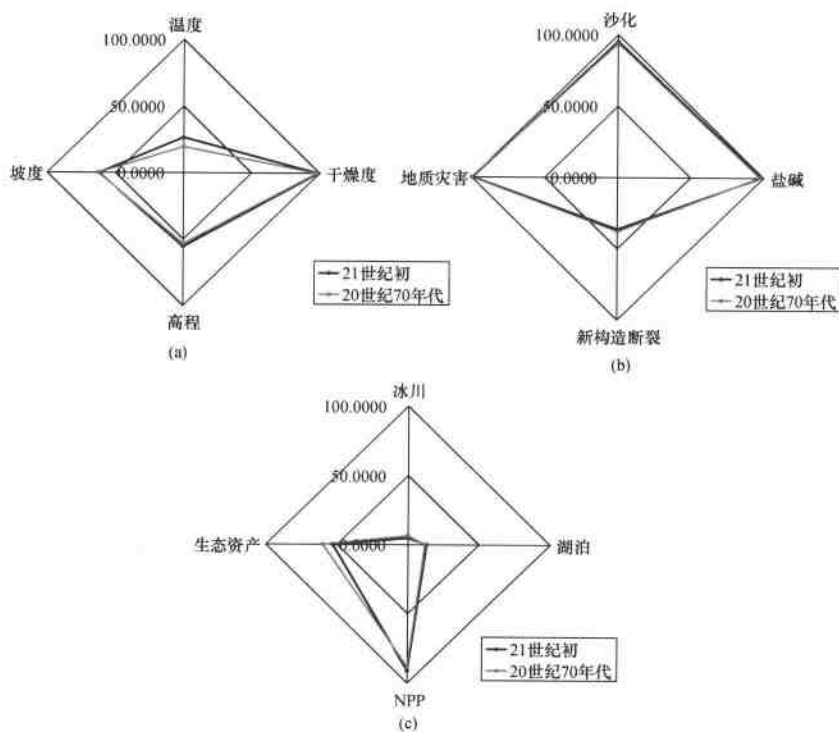


图 6-3-4 类别 II 生态地质环境质量变化

(a) 环境本底; (b) 地质本底; (c) 生态本底

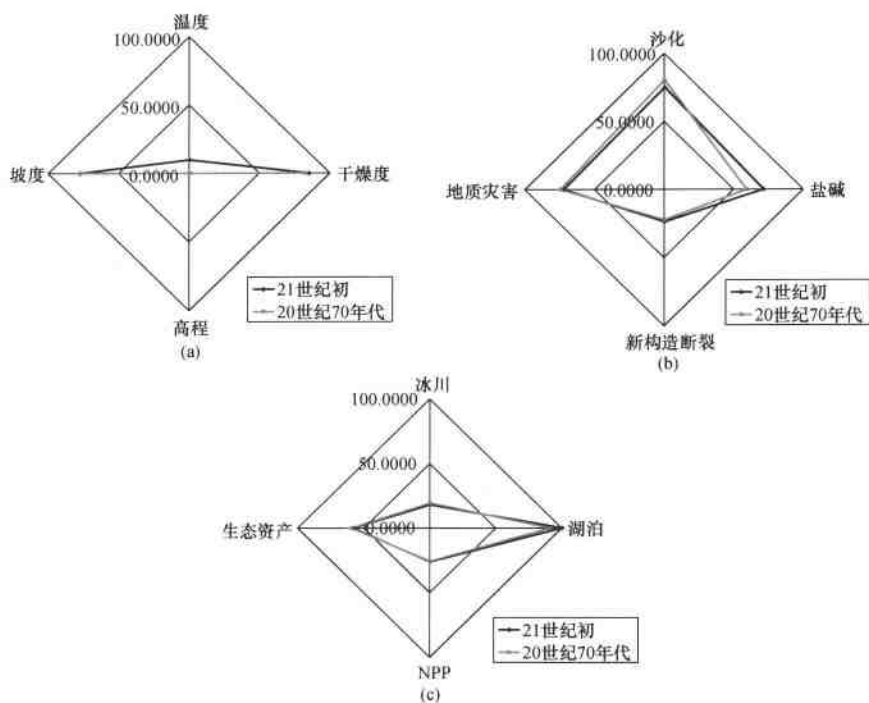


图 6-3-5 类别 3 生态地质环境质量变化
(a) 环境本底; (b) 地质本底; (c) 生态本底

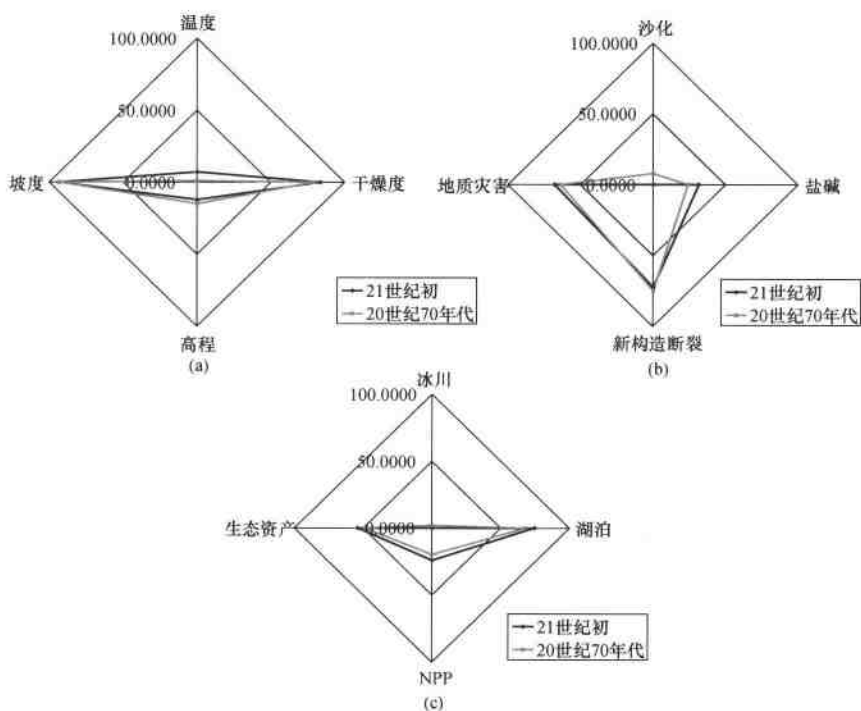


图 6-3-6 类别 4 生态地质环境质量变化
(a) 环境本底; (b) 地质本底; (c) 生态本底

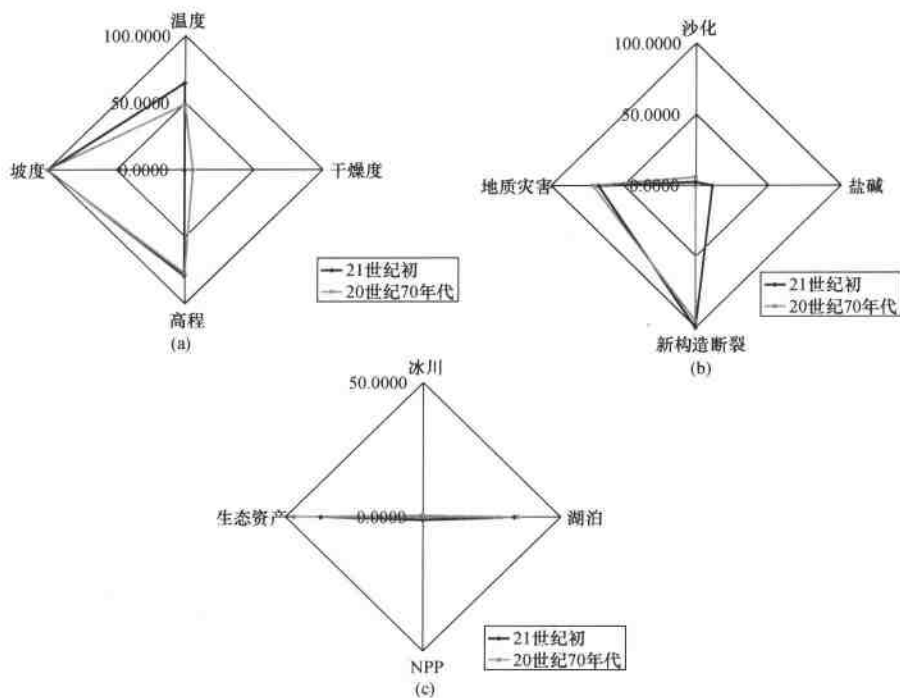


图 6-3-7 类别 5 生态地质环境质量变化

(a) 环境本底; (b) 地质本底; (c) 生态本底

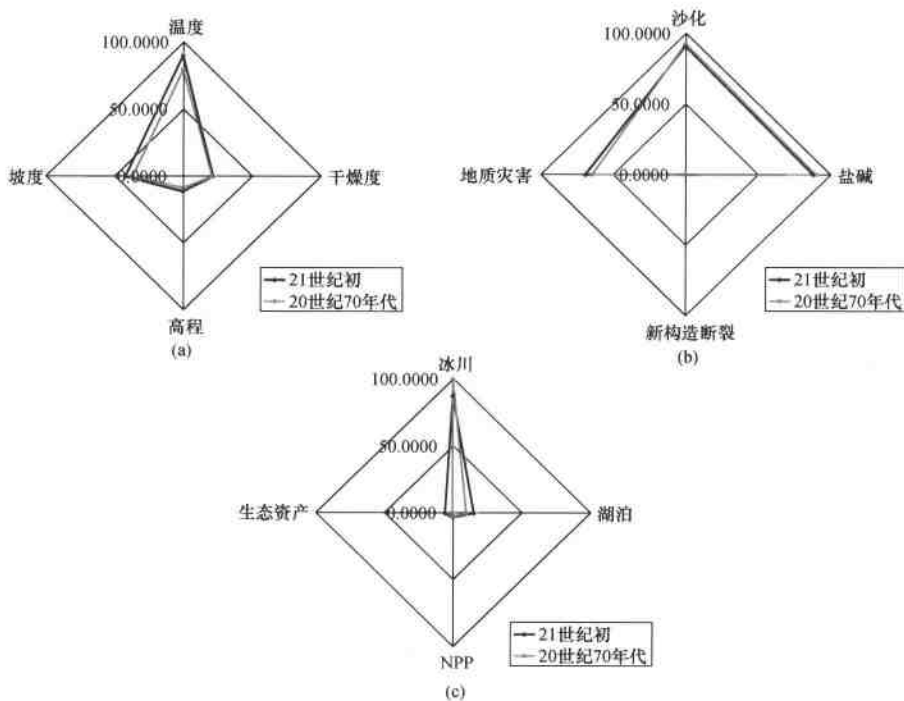


图 6-3-8 类别 6 生态地质环境质量变化

(a) 环境本底; (b) 地质本底; (c) 生态本底

图 6-3-3 表明近 30 年来类别 1 的生态地质环境质量整体上基本保持不变。其中环境本底中有 3 个因子接近或达到最高值,只有坡度因子表现最差,是 6 类生态地质环境类别中的最低值,环境本底中温度因子有所增加;地质本底中沙化和盐碱化两个因子接近最高值,地质灾害因子具有最低值,相应的构造断裂因子也具有较低值,地质本底基本保持不变;生态本底具有较高的生态资产和 NPP,其中 NPP 因子有所减少,湖泊因子是 6 类生态地质环境中的最低值。

图 6-3-4 表明类别 2 的地质本底状况在各类别当中是最好的,其中 3 个因子接近 6 类别中的最高值,构造断裂因子接近中等水平;环境本底中干燥度接近最高值,其他 3 个因子维持在中等水平,其中温度因子增加较为明显,干燥度因子稍有增加,近 30 年来环境本底有所改善;生态本底中冰川因子和湖泊因子表现差,生态资产因子有相应减少,研究期内生态本底有所变差。

图 6-3-5 表明类别 3 的环境本底状况较差,地质本底相对较好,生态本底次之。环境本底由于温度因子有较为明显的增加,状况有所改善;地质本底中盐碱化因子改善的同时,沙化因子有所变差,地质本底的变化具有不确定性;生态本底中湖泊因子接近最高值,其他 3 个因子维持在中等水平或之下,研究期内湖泊因子增加使得生态本底得到改善。

图 6-3-6 表明类别 4 的环境本底当中,坡度因子接近最高值,干燥度维持在高值水平,温度因子和高程因子接近最低值。类别 4 覆盖区域主要位于羌塘高原,以冷湿气候为主。环境本底变化情况与类别 3 较相似,表现为近 30 年来温度因子也有所增加;地质本底中沙化因子和盐碱化因子接近最低值,近 30 年来沙化因子又有明显的变差趋势,盐碱化因子改善也较为明显;生态本底当中冰川因子接近最低值,近 30 年来生态资产、湖泊和 NPP 因子都有所增加,生态本底有所改善。

图 6-3-7 表明类别 5 由于包含柴达木盆地因此环境本底中高程因子、坡度因子和温度因子表现值较高,其中温度因子有较为明显的增加,干燥度因子表明类别 5 覆盖的区域是青藏高原最为干燥的地区,且有一定程度的减少;地质本底中沙化因子和盐碱化因子接近最低值,盐碱化因子有相对明显的改善,沙化因子稍有变差,新构造断裂、地质灾害因子维持在高值水平;生态本底当中生态资产因子由于较多湿地的存在维持在较高水平但减少明显,湖泊因子接近高值,冰川因子和 NPP 因子接近最低值,生态本底因生态资产的大幅减少而表现出变差的趋势。

图 6-3-8 表明类别 6 环境本底中温度因子具有较高值且有所增加,其他 3 个因子维持在较低值水平;地质本底中,由于类别 6 所在区域主要为基岩覆盖区,沙化和盐碱化分布面积少,因此沙化因子和盐碱化因子接近最高值且基本保持稳定,构造断裂因子为最低值,表明类别 6 是青藏高原新断裂构造最集中的分布区;生态本底中冰川因子接近最高值,类别 6 是高原冰川分布最多的地区,冰川因子减少也较为明显,湖泊因子有所增加。

(三)生态地质环境类别的相互转化

表 6-3-11 为青藏高原 6 类生态地质环境间的转移矩阵。表中数字代表 20 世纪 70 年代某一类生态地质环境到 21 世纪初转变为其他类别的面积和比例。如 20 世纪 70 年代“优”类生态地质环境到 21 世纪初仍为“优”类的面积为 51.64 万 km^2 ,比例为 20 世纪 70 年代“优”类面积的 96.06%,转变为“良”类的有 1.8 万 km^2 ,比例 3.34%。

表 6-3-11 青藏高原 6 类生态地质环境间的转移矩阵 (单位:km²)

20 世纪 70 年代 21 世纪初	优	良	中 I	中 II	差 I	差 II
优	516417.0	692.0	666.0	0.0	0.0	10727.0
比例/%	96.1	0.2	0.1	0.0	0.0	3.2
良	17972.0	389653.0	15547.0	7473.0	0.0	1168.0
比例/%	3.3	92.6	3.2	1.7	0.0	0.3
中 I	32.0	25049.0	370801.0	49447.0	919.0	3392.0
比例/%	0.0	5.9	76.9	11.4	0.2	1.0
中 II	62.0	5010.0	71119.0	368884.0	11348.0	1878.0
比例/%	0.0	1.2	14.8	84.7	3.1	0.6
差 I	0.0	0.0	3059.0	7762.0	331480.0	5957.0
比例/%	0.0	0.0	0.6	1.8	89.3	1.8
差 II	3138.0	602.0	20837.0	2017.0	27321.0	311895.0
比例/%	0.6	0.1	4.3	0.5	7.4	93.1

某一区域生态地质环境由低等级向高等级转化,表明该区域生态地质环境质量趋向于变好,反之则视为变差。根据表 6-3-11,利用 GIS 空间分析和统计功能,计算得到近 30 年来青藏高原生态地质环境变好和变差的面积为 10.85 万 km²和 18.39 万 km²,如图 6-3-9 所示。

近 30 年来,青藏高原 6 类生态地质环境之间的相互转化还是较为明显,作为过渡类型的中等生态地质环境类别间的转化更频繁。其特点主要表现在:相互转化主要发生在“良”、“中 I”、“中 II”三个类别之间,尤其以“中 I”、“中 II”之间的转化最为明显,且主要表现为从高质量向低质量转化。从 20 世纪 70 年代到 21 世纪初,“良”转化为“中 I”的面积达到了 2.5 万 km²,同期从“中 I”转变为“良”的只有 1.55 万 km²;“中 I”转化为“中 II”的面积 7.11 万 km²,而同期后者转化为前者的面积只有 4.94 万 km²。

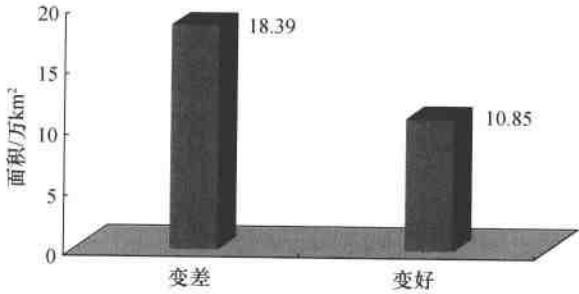


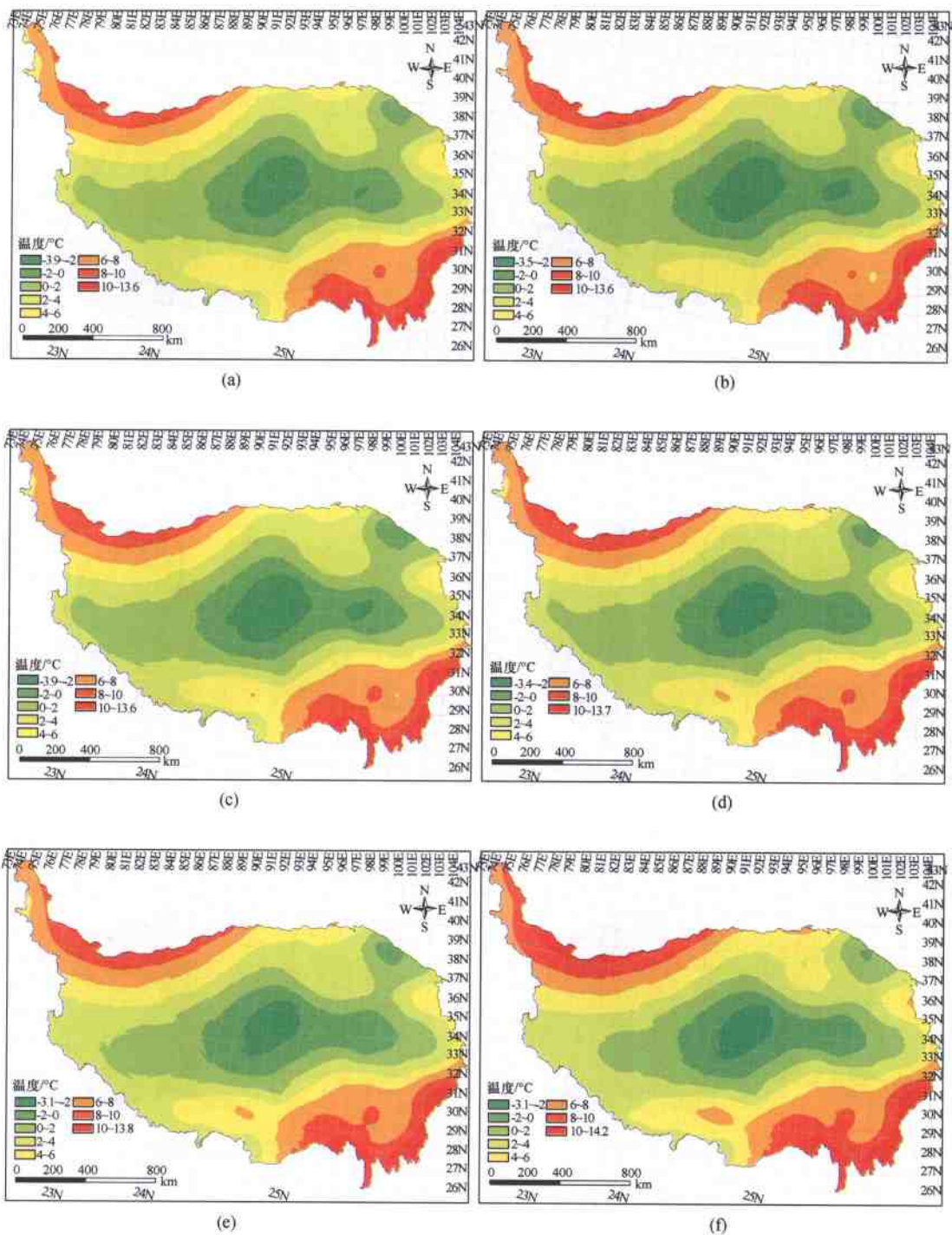
图 6-3-9 青藏高原生态地质环境变好和变差对比图

(四) 生态地质环境空间分布变化

近 30 年来青藏高原生态地质环境空间分布变化不存在整体上完全趋于变好或者变差的情况,而是在不同区域有不同的表现形式。青藏高原生态地质环境 20 世纪 70 年代到 21 世纪初空间分布变化如图版 6-3-3 所示。

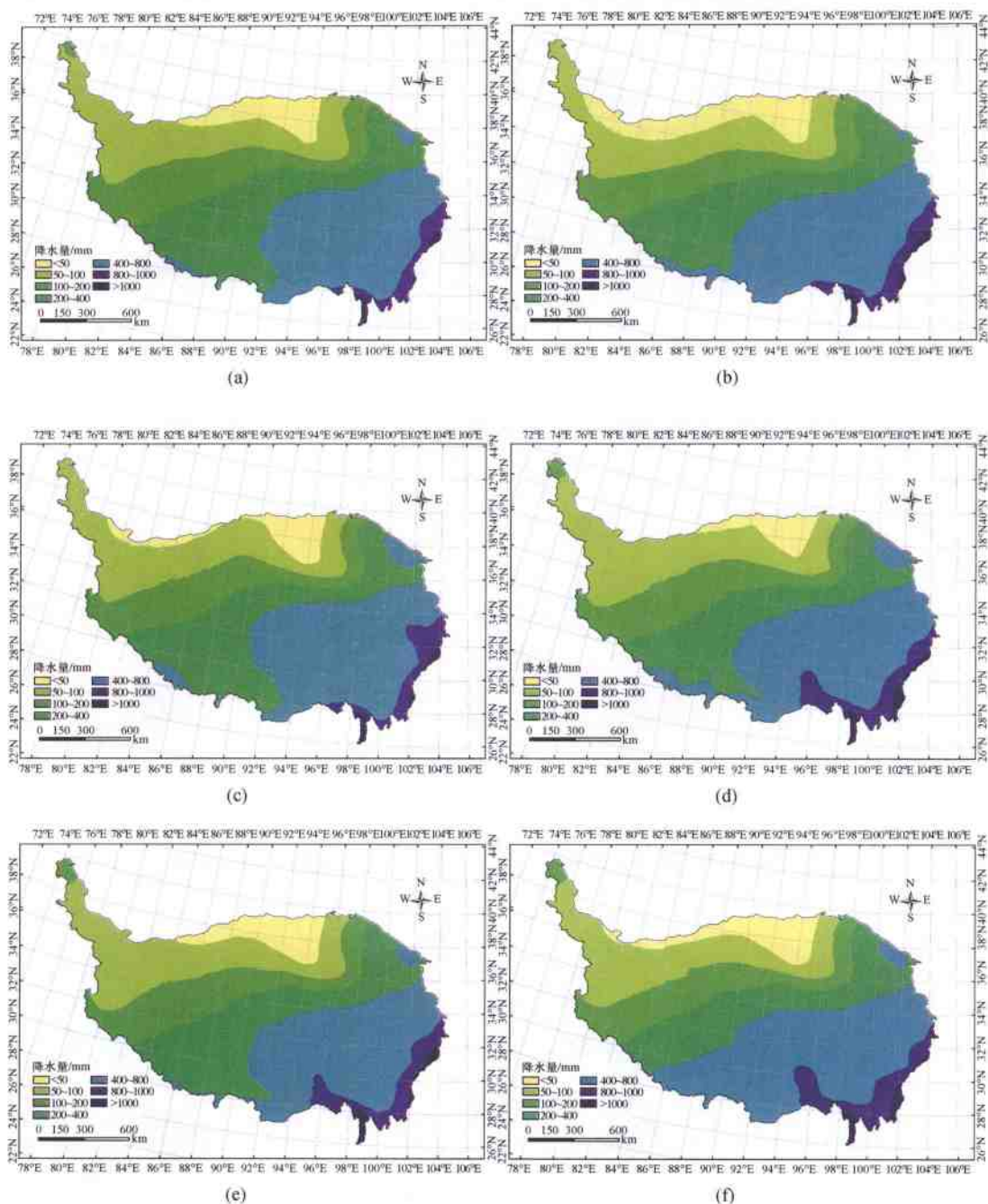
在空间分布上,青藏高原生态地质环境变化表现出较强的规律性。近 30 年来,生态地质环境变好地区分布在羌塘等高原腹地,羌塘地区气候变暖导致湖泊和湿地面积增加,荒漠化面积和程度有所减少和减轻。高原生态地质环境变差区域主要分布在哈拉湖-念青唐古

拉中央隆起带上以及环高原周缘地区,尤其以三江源地区最为明显,即图版 6-3-3 中两条红线间的区域。首先在地貌上,中央隆起带为高原内流区和外流区的分水岭;在气候上,是季风所能触及高原的北线和西线;在生态系统类型上,是高原高寒草甸、高寒草原向荒漠过渡的区域,是世界高海拔地区生物多样性特点最显著和丰富的地区;青藏铁路、青藏公路穿过该区域,也是人类活动影响较为明显的地区。综合评价结果表明,中央隆起带是青藏高原生态地质环境过渡区和敏感区,在全球气候变暖背景下叠加人类活动的扰动使得该区域面临较为严峻的形势。三江源地区是我国最主要的水源地和生态安全重要屏障区,这一地区的环境退化尤其需要予以高度关注。高原周边生态地质环境变差的原因较为多样和复杂。高原北部和东部周缘地区生态地质环境变差主要原因是气候变暖变干以及由此导致的冰川面积减少和荒漠化面积扩张、程度加重,而南部周边地区生态地质环境变差原因在于现代冰川减少较为明显,且为地质灾害多发区。



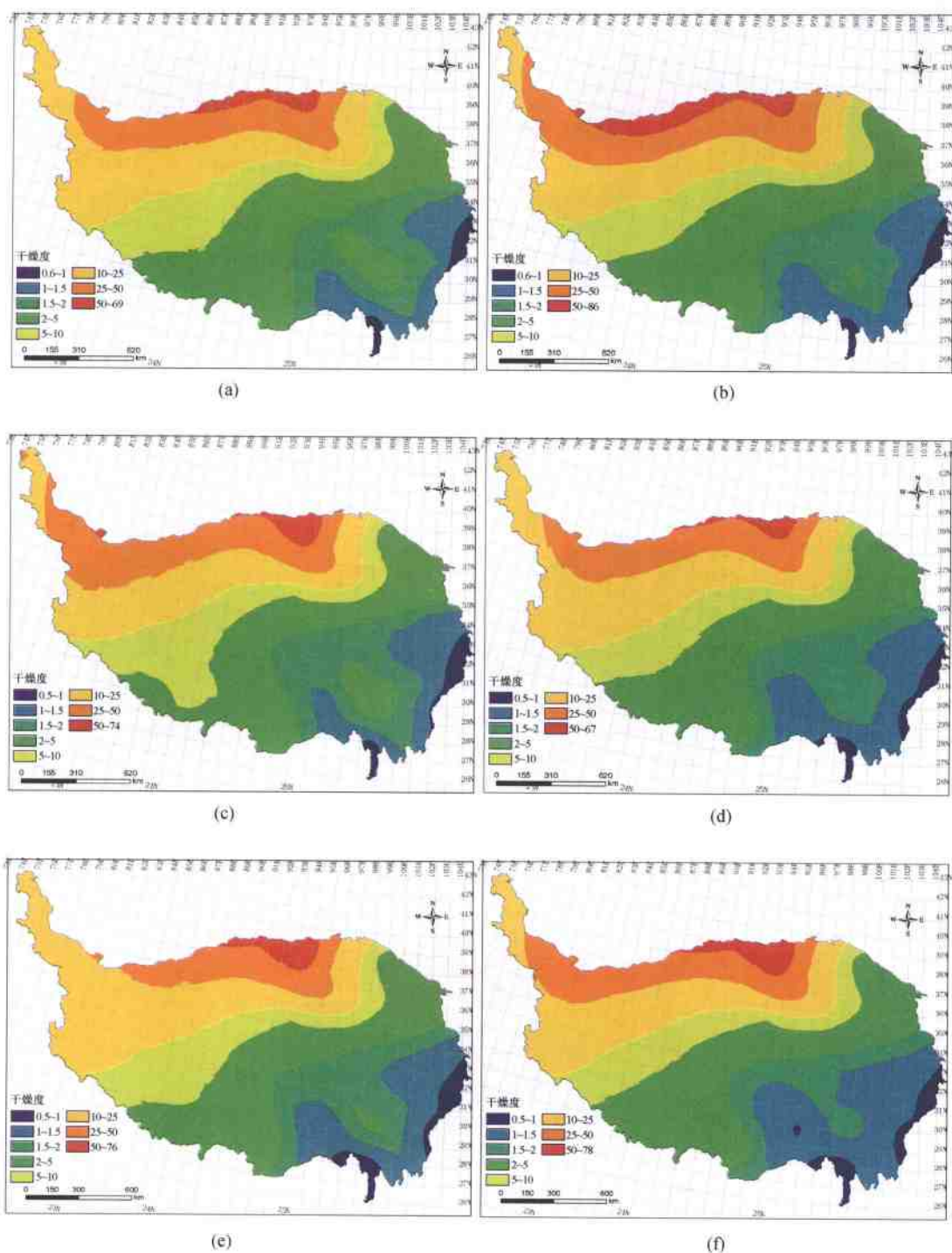
图版 6-2-1 青藏高原 6 个时段的气温

(a) 1971 ~ 1975; (b) 1976 ~ 1980; (c) 1981 ~ 1985; (d) 1986 ~ 1990; (e) 1991 ~ 1995; (f) 1996 ~ 2001

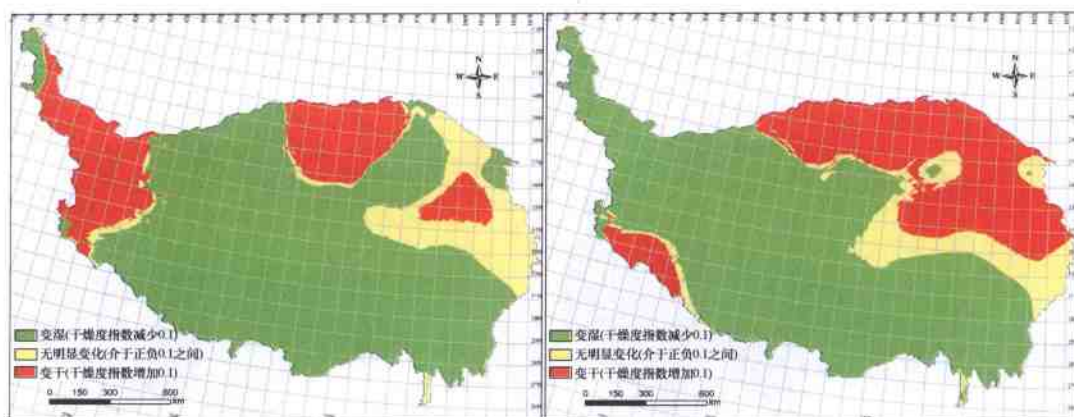


图版 6-2-2 青藏高原 6 个时段的年降水

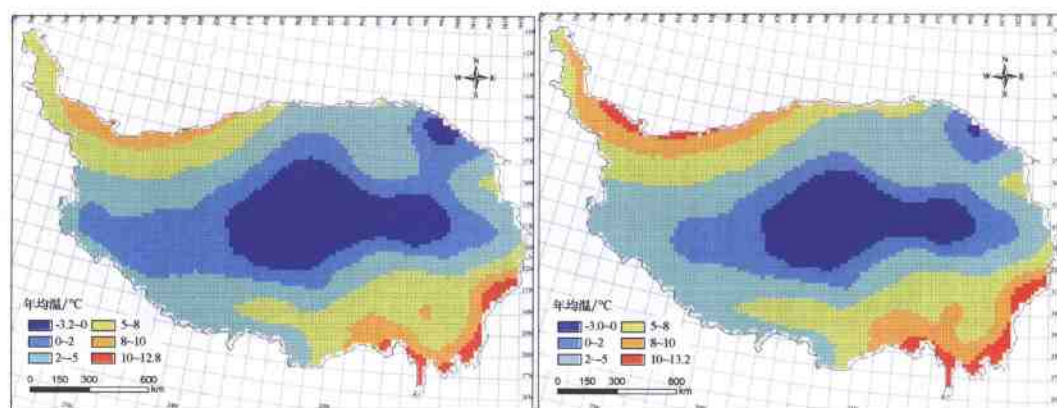
(a) 1971 ~ 1975; (b) 1976 ~ 1980; (c) 1981 ~ 1985; (d) 1986 ~ 1990; (e) 1991 ~ 1995; (f) 1996 ~ 2001



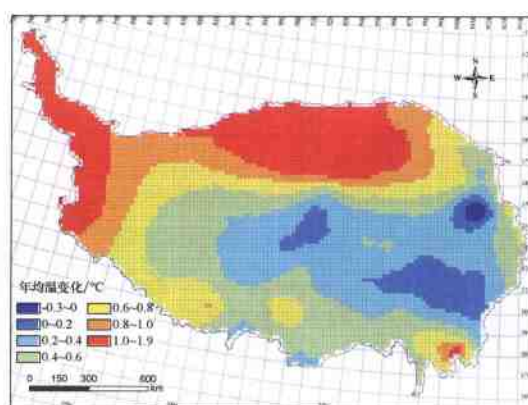
图版 6-2-3 青藏高原 6 个时段的干湿状况
(a) 1971 - 1975; (b) 1976 - 1980; (c) 1981 - 1985; (d) 1986 - 1990; (e) 1991 - 1995; (f) 1996 - 2001



图版 6-2-4 青藏高原气候干湿变化
(a) 1971 ~ 1975 与 1996 ~ 2001; (b) 1978 ~ 1985 与 1996 ~ 2001

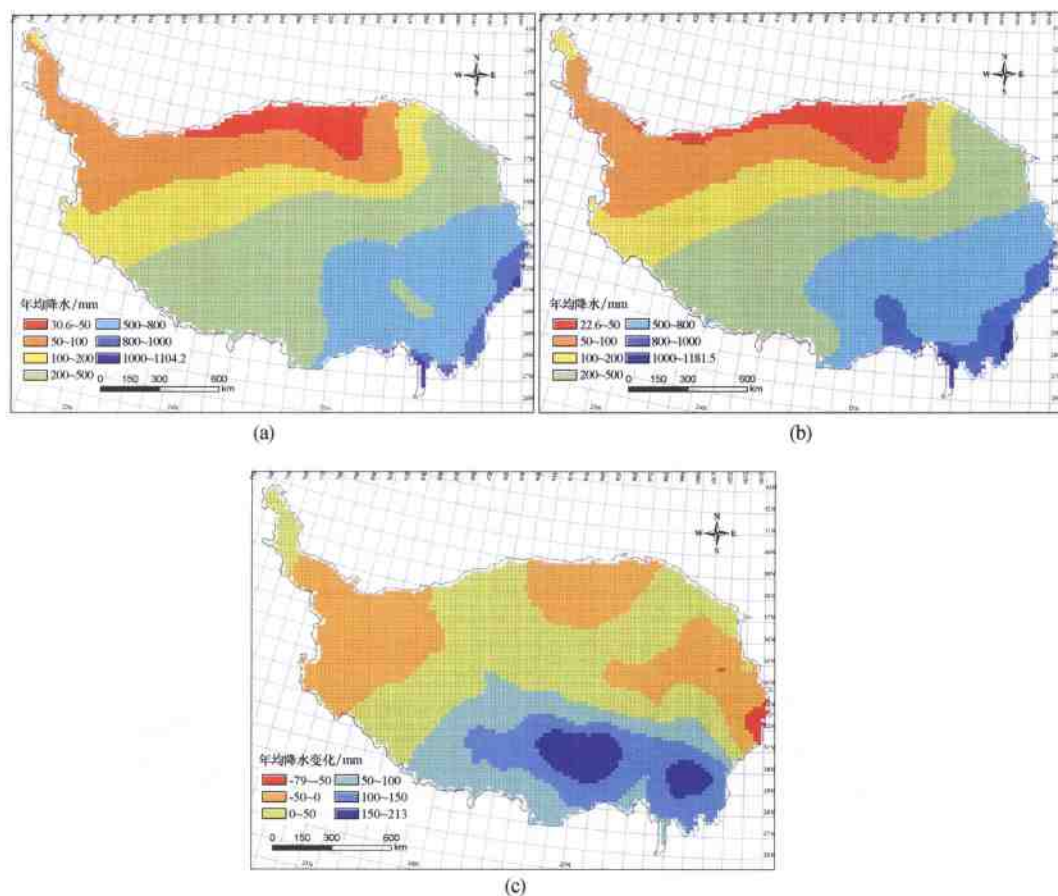


(a) (b)



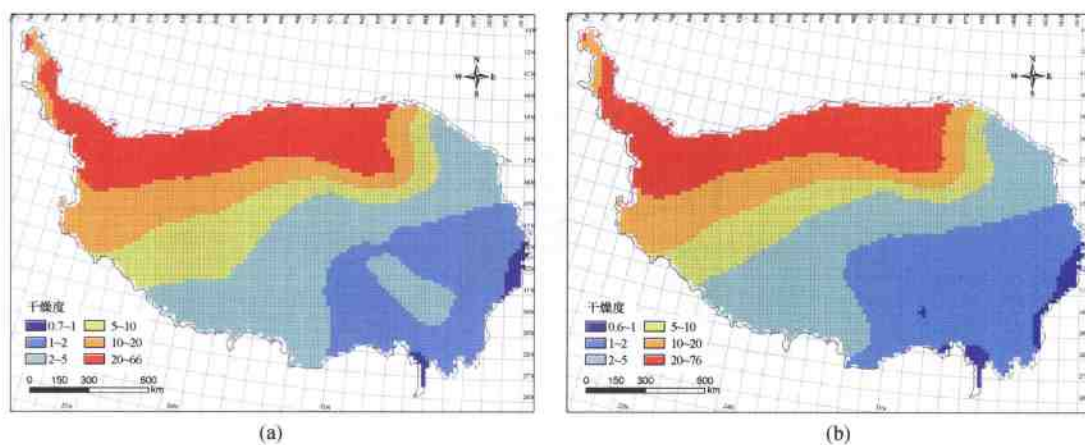
(c)

图版 6-2-5 青藏高原气温变化
(a) 单元格点 1971 ~ 1975 年年均气温; (b) 单元格点 1996 ~ 2001 年年均气温;
(c) 1971 ~ 1975 年段到 1996 ~ 2001 年段年均温变化



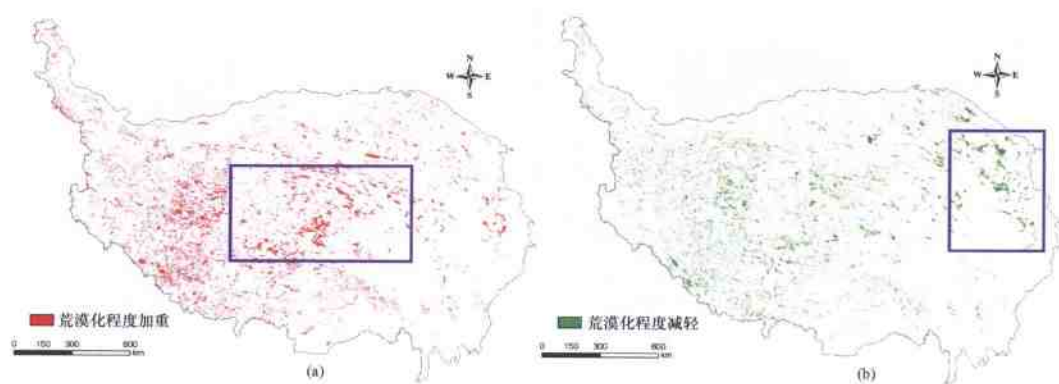
图版 6-2-6 青藏高原降水变化

(a) 单元格点 1971 ~ 1975 年年均降水; (b) 单元格点 1996 ~ 2001 年年均降水;
(c) 1971 ~ 1975 年段到 1996 ~ 2001 年段年降水变化

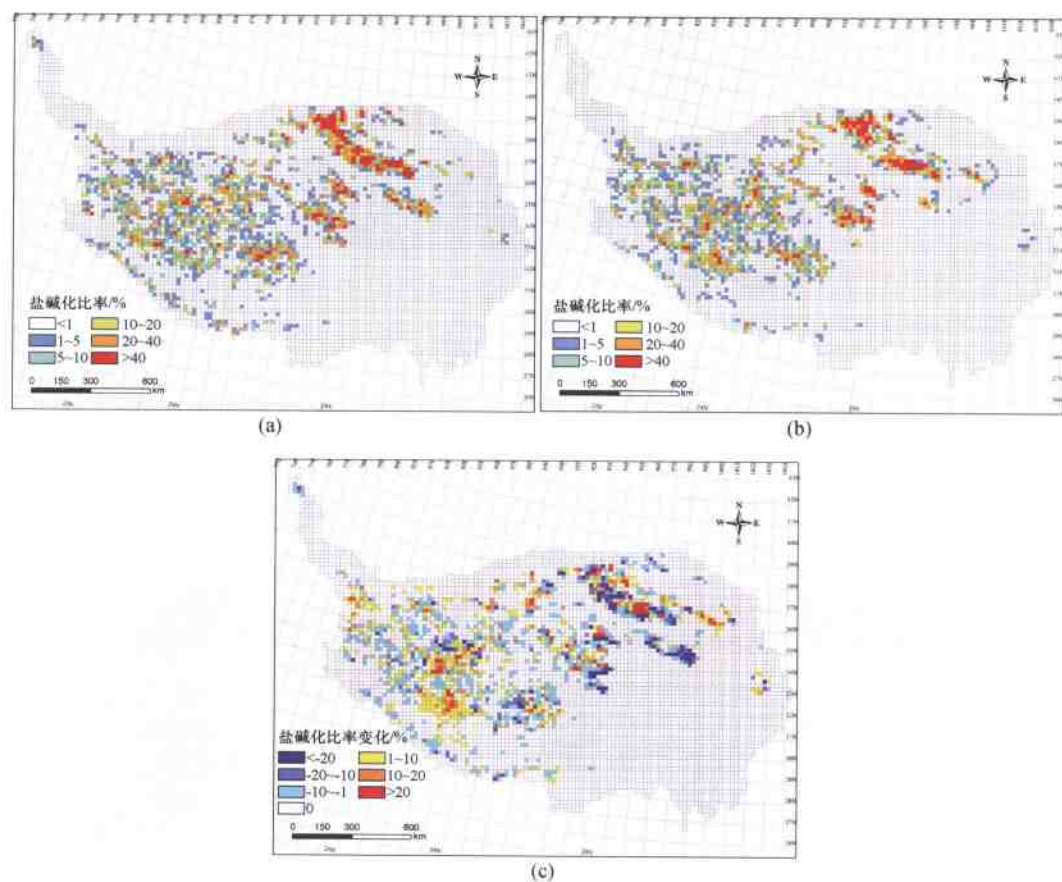


图版 6-2-7 青藏高原干燥度变化对比

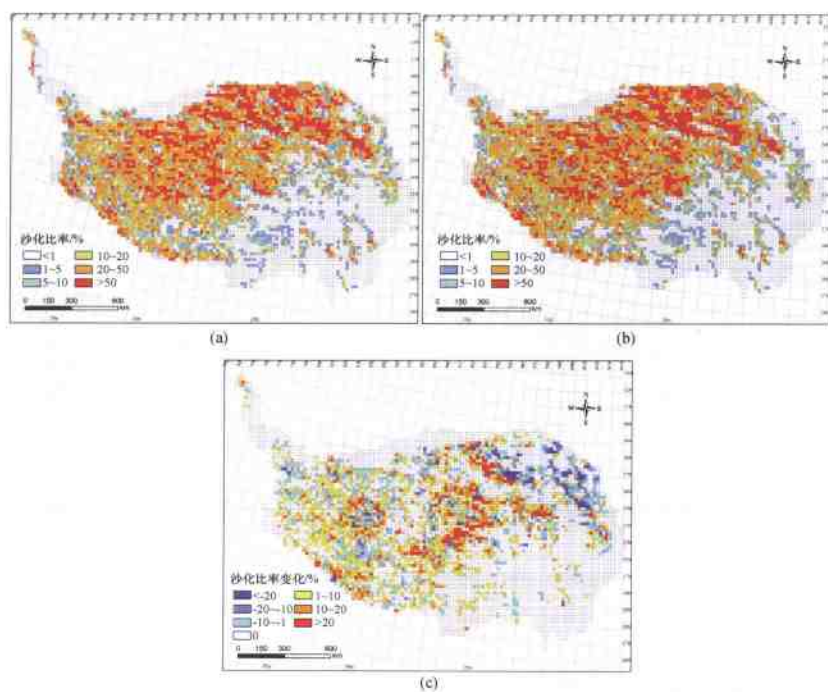
(a) 单元格点 1971 ~ 1975 年年均干燥度; (b) 单元格点 1996 ~ 2001 年年均干燥度



图版 6-2-8 青藏高原荒漠化变化
(a)加重;(b)减轻

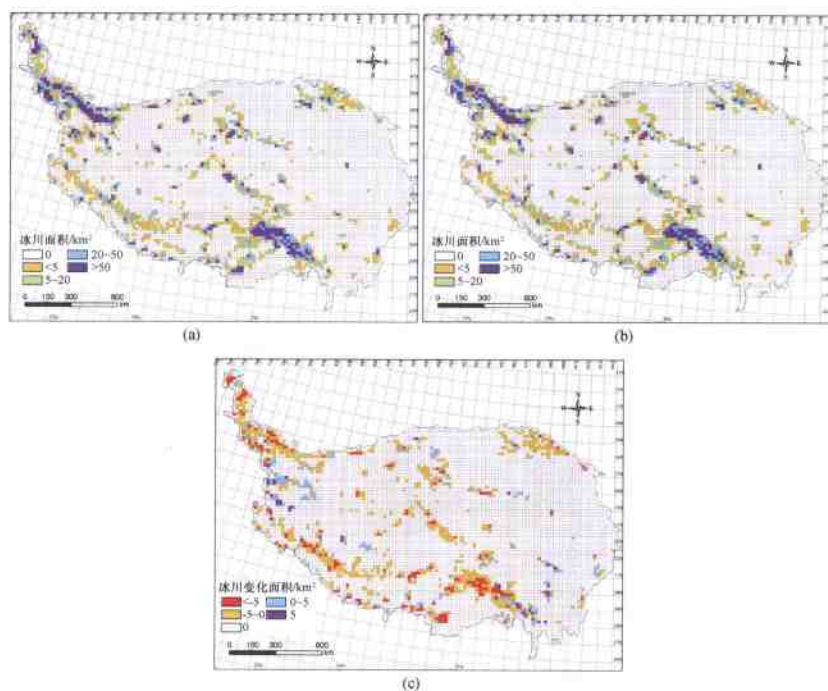


图版 6-2-9 青藏高原盐碱化土地
(a)20 世纪 70 年代面积比例;(b)21 世纪初面积比例;(c)盐碱化土地面积比例变化



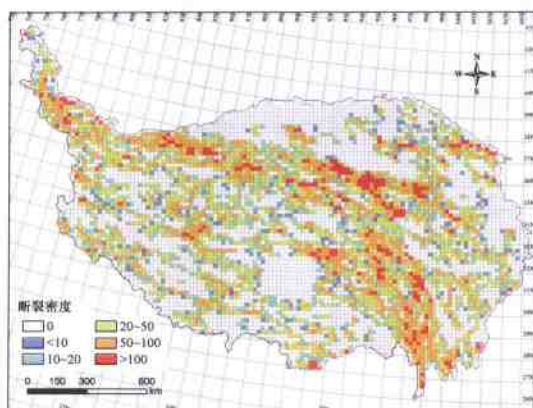
图版 6-2-10 青藏高原沙化土地

(a)20 世纪 70 年代面积比例;(b)21 世纪初面积比例;(c)沙化土地面积比例变化

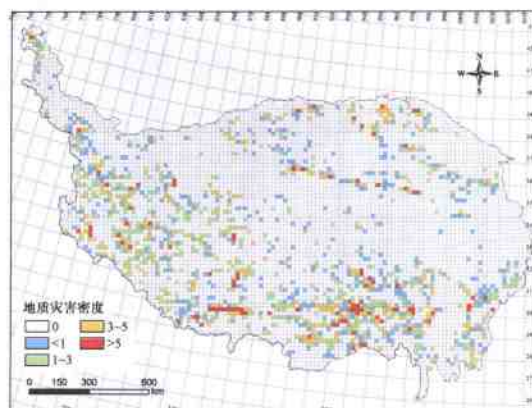


图版 6-2-11 青藏高原现代冰川

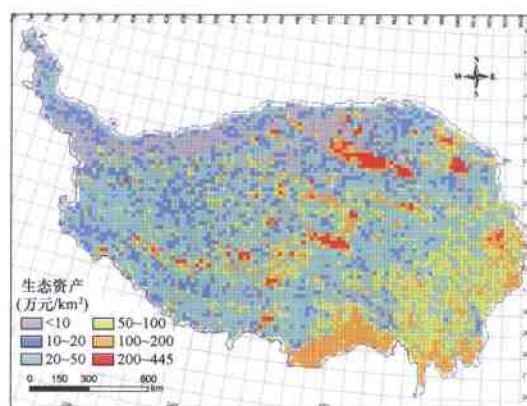
(a)20 世纪 70 年代面积;(b)21 世纪初面积;(c)现代冰川面积变化



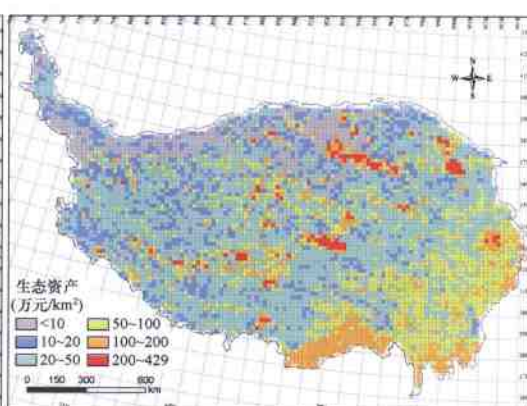
图版 6-2-12 青藏高原单元格点断裂密度分布



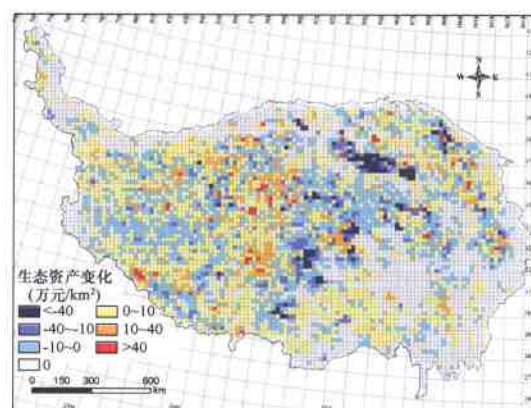
图版 6-2-13 青藏高原单元格点地质灾害密度分布



(a)



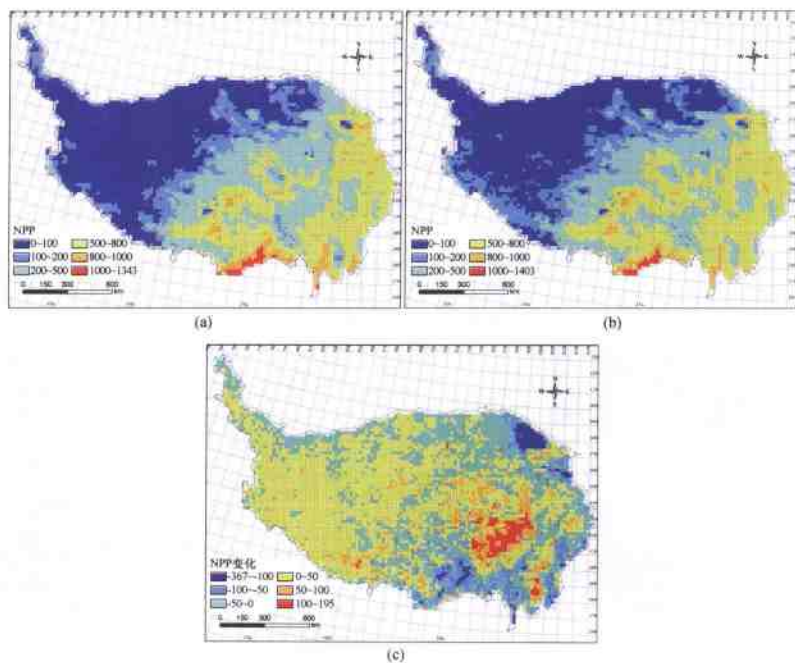
(b)



(c)

图版 6-2-14 青藏高原生态资产

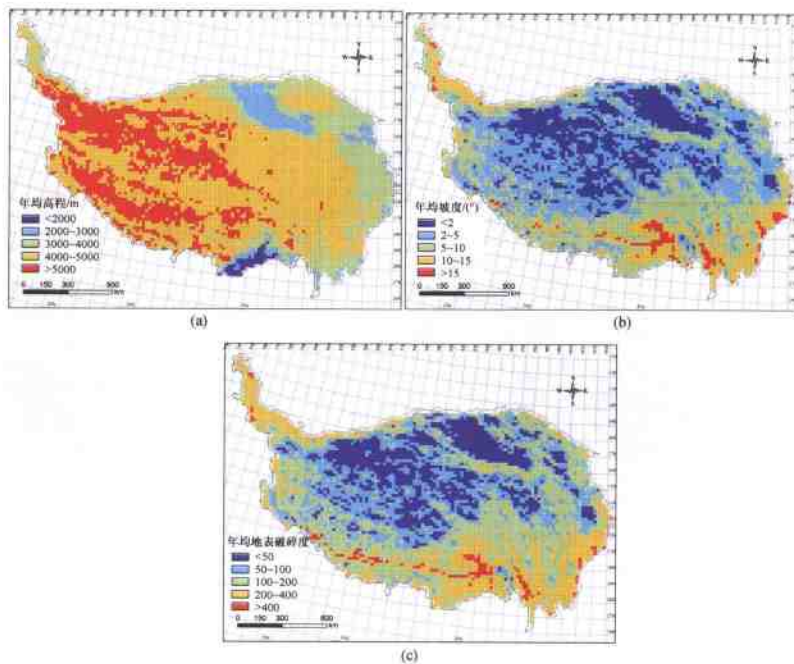
(a) 20 世纪 70 年代; (b) 21 世纪初; (c) 生态资产变化



图版 6-2-15 青藏高原 NPP

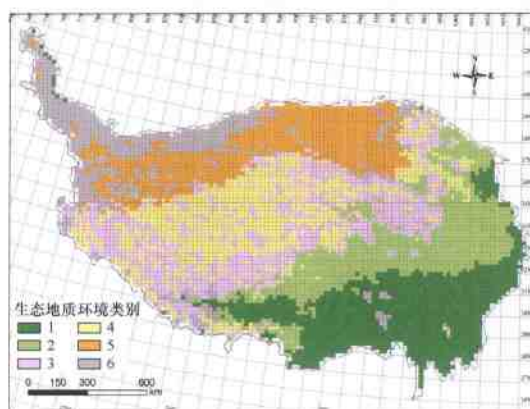
单位: $\text{g C}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$

(a) 20 世纪 70 年代; (b) 21 世纪初; (c) NPP 变化

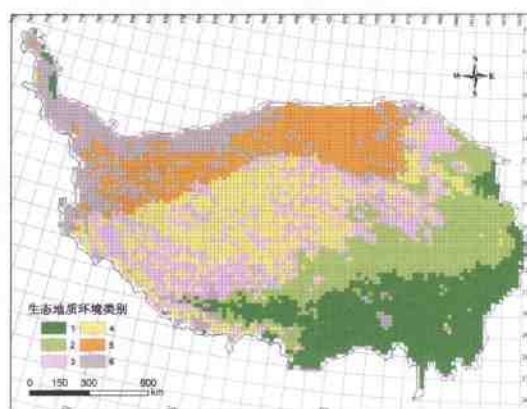


图版 6-2-16 青藏高原地形地貌要素

(a) 平均高程; (b) 平均坡度; (c) 地表破碎度



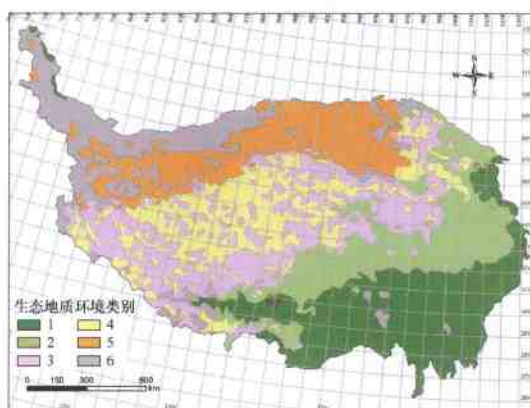
(a)



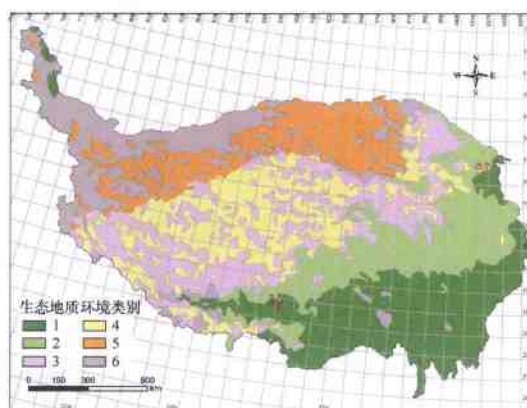
(b)

图版 6-3-1 青藏高原 SOFM 网络聚类结果

(a)20 世纪 70 年代;(b)21 世纪初



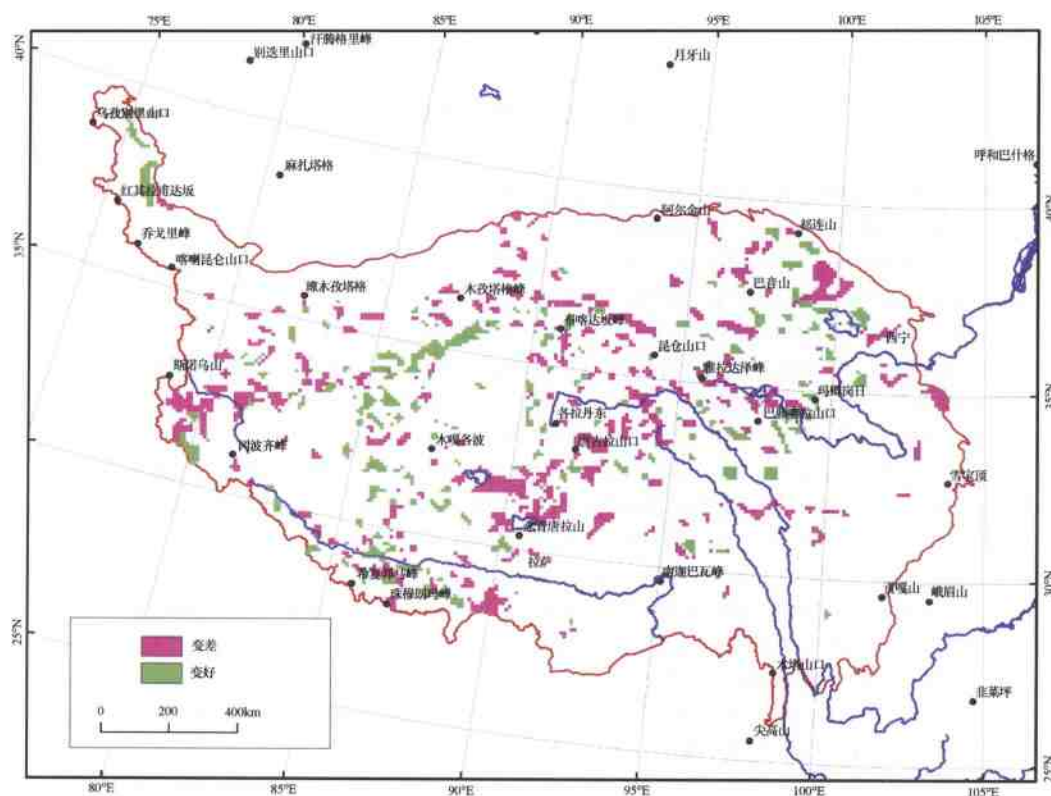
(a)



(b)

图版 6-3-2 青藏高原 6 种类别生态地质环境分布

(a)20 世纪 70 年代;(b)21 世纪初



参 考 文 献

- 陈楚江,薛重生,余绍淮. 2004. 西藏墨脱公路的灾害地质遥感识别. 工程地质学报, (1): 57 ~ 62
- 程裕淇等. 1994. 中国区域地质概论. 北京:地质出版社
- 丁一汇等. 2002. 中国西部环境变化的预测. 北京:科学出版社
- 丁永建等. 2000. 祁连山中部地区 40a 来气候变化及其对径流的影响. 冰川冻土, 22(3): 193 ~ 199
- 段克勤等. 2001. 喜马拉雅山达索普冰川积累量变化及其对青藏高原温度的影响. 冰川冻土, 23(2): 119 ~ 125
- 方精云,柯金虎,唐志尧等. 2001. 生物生产力的“4P”概念、估算及其相互关系. 植物生态学报 25(4): 414 ~ 419
- 关元秀,刘高焕. 2003. 黄河三角洲盐碱地动态变化遥感监测. 国土资源遥感, 19 ~ 22
- 姜泽凡. 1996. 川藏公路沿线地质灾害及其形成条件与政治对策. 四川地质学报, 16(3): 244 ~ 249
- 焦克勤等. 1988. 中国冰川目录——Ⅶ青藏高原内陆水系(多格错仁湖和茶卡湖流域区). 北京:科学出版社
- 焦克勤等. 1988. 中国冰川目录——Ⅶ青藏高原内陆水系(扎日南木错湖流域区). 北京:科学出版社
- 焦克勤等. 1992. 中国冰川目录——Ⅶ青藏高原内陆水系(色林错流域区). 北京:科学出版社
- 焦克勤等. 2003. 唐古拉山地区第四纪冰川作用与冰川特征. 冰川冻土, 25(1): 34 ~ 42
- 雷宇,刘大安,莫多闻. 2003. 川藏公路地质分区三维可视化信息管理初探. 水土保持研究, 10(3): 66 ~ 69, 119
- 李吉均,苏珍等. 1996. 横断山冰川环境. 北京:科学出版社
- 李孝泽等. 2002. 从冰前风沙地貌初看普若岗日冰原的形成演变. 冰川冻土, 24(1): 63 ~ 67
- 李志中,赵长英. 1998. 川藏公路中段地质灾害现象的航空遥感研究. 国土资源遥感, (3): 14 ~ 18
- 廖克等. 1998. 中华人民共和国国家自然地图集. 北京:中国地图出版社
- 刘潮海等. 1990. 西藏喜马拉雅山地区冰湖及其溃决特征. 见:第四届全国冰川冻土学术会议论文集. 北京:科学出版社
- 刘潮海等. 2000. 中国冰川极其分布特征. 见:施雅风等,中国冰川与环境—现在、过去和未来. 北京:科学出版社
- 刘潮海等. 2001. 中国冰川目录——Ⅳ帕米尔山区(喀什噶尔河等流域). 兰州:甘肃文化出版社
- 刘高,韩文峰等. 2001. 青藏高原东北部新构造运动效应. 中国地质灾害与防治学报, 12(1): 30 ~ 34
- 刘时银等. 2002. 黄河上游阿尼玛卿山区冰川波动与气候变化. 冰川冻土, 24(6): 701 ~ 707
- 刘时银等. 2002. 祁连山西段小冰期以来的冰川变化研究. 冰川冻土, 24(3): 227 ~ 233
- 鲁安新,史正涛等. 2001. 川藏公路通麦至拉月茶场段遥感地质调查. 遥感技术与应用, 16(2): 81 ~ 85
- 鲁安新等. 2002. 青藏高原各拉丹冬地区冰川变化的遥感监测. 冰川冻土, 24(5): 559 ~ 562
- 罗祥瑞等. 1988. 中国冰川目录——Ⅳ帕米尔山区. 北京:科学出版社
- 马钦忠等. 2003. 青藏高原东缘晚新生代的差异性隆起特征. 地学前缘, 10(4): 590 ~ 597
- 孟晖,张岳桥等. 2004. 青藏高原东缘中断地质灾害空间分布特征分析. 中国地质, 31(2): 218 ~ 224
- 米德生等. 2002. 中国冰川目录——Ⅺ恒河水系、Ⅻ印度河水系. 西安:西安地图出版社
- 潘桂棠,丁俊等. 2004. 青藏高原及邻区地质图(1:1500000)说明书. 成都:成都地图出版社
- 潘桂棠,王培生等. 1990. 青藏高原新生代构造演化. 北京:地质出版社
- 彭建兵,马润勇等. 2004. 青藏高原隆升的地质灾害效应. 地球科学进展, 19(3): 458 ~ 466
- 蒲健辰. 1994. 中国冰川目录——Ⅷ长江水系. 兰州:甘肃文化出版社
- 蒲健辰. 2001. 中国冰川目录——Ⅸ澜沧江流域、X怒江流域. 西安:西安地图出版社
- 蒲健辰等. 2001. 可可西里马兰山的冰川的近期变化. 冰川冻土, 23(2): 189 ~ 192
- 蒲健辰等. 2002. 普若岗日冰原及其小冰期以来的冰川变化. 冰川冻土, 24(1): 87 ~ 92
- 秦大河等. 2002. 中国西部环境演变评估综合报告. 北京:科学出版社
- 任贾文. 1999. 祁连山党河南山扎子沟 29 号冰川区雪、降水和地表水化学特征研究. 冰川冻土, 21(2): 151 ~ 154
- 任留成. 2003. 空间投影论及其在遥感技术中的应用. 北京:科学出版社, 1 ~ 6, 146 ~ 150
- 尚彦军,杨志法等. 2001. 雅鲁藏布江大拐弯北段地质灾害分布规律及防治对策. 中国地质灾害与防治学报, 12(4): 30 ~ 40

- 沈永平等. 2001. 全球冰川消融加剧使人类环境面临威胁. 冰川冻土, 23(2): 208 ~ 211
- 沈永平等. 2002. 塔里木盆地冰川及水资源变化研究新进展. 冰川冻土, 24(6)
- 施雅风. 2002. 中国第四纪冰期划分改进建议. 冰川冻土, 24(6): 687 ~ 690
- 施雅风等. 1998. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化. 广州: 广东科技出版社
- 施雅风等. 2000. 中国冰川与环境——现在、过去和未来. 北京: 科学出版社
- 施雅风等. 2002. 中低纬度 MIS 3b(54 ~ 44ka BP)冷期与冰川前进. 冰川冻土, 24(1): 1 ~ 9
- 苏珍等. 1998. 喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川与环境. 北京: 科学出版社
- 苏珍等. 1999. 青藏高原冰川对气候变化的响应及趋势预测. 地球科学进展, 14(6): 607 ~ 612
- 苏珍等. 2000. 青藏高原小冰期以来的冰川变化及其影响. 南京师范大学学报, 23(4): 203 ~ 206
- 孙鸿烈, 郑度. 1998. 青藏高原形成演化与发展. 广州: 广东科技出版社
- 汤懋荃, 程国栋, 林振耀. 1998. 青藏高原气候变化及对环境的影响. 广州: 广东科技出版社
- 王建, 董光荣. 2000. 利用遥感信息决策树方法分层提取荒漠化土地类型的研究探讨. 中国沙漠, (3): 243 ~ 247
- 王宁练等. 2002. 唐古拉山东段布加岗日地区小冰期以来的冰川变化研究. 冰川冻土, 24(3): 234 ~ 244
- 王培清, 黎普明. 2002. 藏东南地区地质灾害浅析. 水利水电科技进展, 22(4): 21 ~ 22, 62
- 王绍武, 董光荣. 2002. 中国西部环境特征及其演变. 北京: 科学出版社
- 王绍武等. 2002. 中国西部环境特征及其演变. 北京: 科学出版社
- 王苏民, 林而达, 余之祥. 2002. 环境演变对中国西部发展的影响及对策. 北京: 科学出版社
- 王苏民等. 2002. 环境演变对中国西部发展的影响及对策. 北京: 科学出版社
- 王宗太, 苏珍等. 1990. 凝固的水库——冰川资源. 北京: 科学普及出版社
- 王宗太等. 2001. 中国冰川分布的地理特征. 冰川冻土, 23(3): 231 ~ 237
- 沃科特等(欧阳华等译). 2002. 生态系统-平衡与管理科学. 北京: 科学出版社, 9 ~ 83
- 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度等. 2005. 青藏高原近 30 年气候变化趋势. 地理学报, (1): 3 ~ 11
- 吴云生, 易明初. 2002. 青藏铁路西大滩—拉萨地段活动构造、地质灾害及其工程评价. 地质力学学报, 8(2): 97 ~ 135
- 谢高地等. 2003. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 18(2): 189 ~ 196
- 谢自楚等. 2001. 贡嘎山海螺沟冰川物质平衡、水交换特征及其对径流的影响. 冰川冻土, 23(1): 7 ~ 15
- 谢自楚等. 2002. 冰川系统变化的模型研究. 冰川冻土, 24(1): 16 ~ 27
- 杨惠安等. 1988. 中国冰川目录——VI 昆仑山区(和田河流域). 北京: 科学出版社
- 杨惠安等. 1988. 中国冰川目录——VII 青藏高原内陆水系(阿雅格库木库里湖和可可西里湖流域). 北京: 科学出版社
- 杨惠安等. 1989. 中国冰川目录——V 喀喇昆仑山区(叶尔羌河流域). 北京: 科学出版社
- 杨全忠. 2002. 西藏滑坡地质灾害及防治对策. 中国地质灾害与防治学报, 13(1): 94 ~ 97
- 姚檀栋等. 1993. 青藏高原冰川气候与环境. 北京: 科学出版社
- 殷永元, 王桂新. 2004. 全球气候变化评估方法及其应用. 北京: 高等教育出版社
- 殷跃平. 2000. 西藏波密贡高速巨型滑坡特征及减灾研究. 水文地质工程地质, (4): 8 ~ 11
- 曾群柱等. 2000. 冰雪灾害及其防治对策. 见: 施雅风等, 中国冰川与环境——现在、过去和未来. 北京: 科学出版社
- 曾志远等. 2004. 卫星遥感图像计算机分类与地学应用研究. 北京: 科学出版社, 79 ~ 102
- 张殿发, 王世杰, 李瑞玲. 2001. 论我国土地荒漠化的制约机制. 中国沙漠, 增刊: 1 ~ 5
- 张惠兴等. 1988. 中国冰川目录——VII 青藏高原内陆水系(班公湖流域). 北京: 科学出版社
- 赵济, 陈传康. 1999. 中国地理. 北京: 高等教育出版社
- 赵英时. 2003. 遥感图像处理与应用. 北京: 科学出版社, 1 ~ 448
- 郑本兴等. 1999. 梅里雪山明永冰川的特征与变化. 冰川冻土, 21(2): 145 ~ 150
- 郑度, 姚檀栋等. 2004. 青藏高原隆升与环境效应. 北京: 科学出版社
- 郑度等. 2003. 青藏高原形成与环境与发展. 石家庄: 河北科学技术出版社
- 中国地质调查局. 2003. 生态环境地质调查论文集. 北京: 地质出版社
- 中国荒漠化(土地退化)防治研究课题组. 1998. 中国荒漠化(土地退化)防治研究. 北京: 中国环境科学出版社
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 1982. 西藏自然地理. 北京: 科学出版社
- 周淑贞等. 1997. 气象学与气候学. 北京: 高等教育出版社

- 朱大岗,孟宪刚等.2004.西藏纳木错地区第四纪环境演变.北京:地质出版社
- 朱震达,刘恕,邸醒民.1989.中国的沙漠化及其治理.北京:科学出版社
- 庄逢甘,陈述彭等.2004.2004 遥感科技论坛.北京:中国宇航出版社
- Costanza R et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*,387: 253 ~ 260

参 考 资 料

- 安瑞珍等, 1994. 中国冰川目录——Ⅵ昆仑山区(喀拉米兰河-克里雅河内流区). 兰州:中国科学院兰州冰川冻土研究所
青海省地质调查院, 2002. 青海省国土资源遥感综合调查报告. 西宁:青海省地质调查院
- 童立强等, 2002. 西南岩溶石山地区石漠化遥感调查与演变分析项目成果报告. 北京:中国国土资源航空物探遥感中心, P45 ~ 48
- 王宗太等, 1981. 中国冰川目录——Ⅰ祁连山区. 兰州:中国科学院兰州冰川冻土研究所
西藏自治区发展计划委员会, 河南省地质调查院, 2001. 西藏自治区国土资源遥感综合调查报告. 拉萨:西藏自治区发展计划委员会
- 杨惠安等, 1994. 中国冰川目录——Ⅵ昆仑山区(米兰河-车尔臣河内流区). 兰州:中国科学院兰州冰川冻土研究所