

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

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 $73^{\circ}20' \sim 104^{\circ}20'$,北纬 $26^{\circ}10' \sim 39^{\circ}30'$ 。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,低处常蓄水成湖。

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。上游水系称杂尔曲,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