

QINGHAIHU LIUYU
SHENGTAI HUANJING CANLIANG
YAOGAN DINGLIANG
FANYAN JISHU JI YINGYONG

青海湖流域 生态环境参量遥感定量 反演技术及应用

李凤霞 等 编著

青海湖流域生态环境参量 遥感定量反演技术及应用

李凤霞 李晓东 徐维新 巩彩兰 肖建设 编著
赵冬 张婷婷 储美华 马维维

内容简介

青海湖流域作为青藏高原的重要组成部分,是我国生物多样性和生态环境建设的重点地区。因其独特的地理位置及自然环境,一直为世人所瞩目。近几十年来在气候变化和人类活动的共同干扰作用下,青海湖流域生态环境问题日益突出,引起社会各界的广泛关注。本书在简要介绍青海湖流域自然地理特征、社会经济状况和目前面临的主要生态环境问题的基础上,论述了雷达数据的湖面积遥感监测技术及水质参数反演算法和应用技术,研究了青海湖流域草地生态遥感定量评价的方法及植被生产力的遥感监测,重点阐述了青海湖流域土地覆被变化监测和流域土壤含水量遥感定量反演模型和技术应用,并全面介绍了青海湖流域生态质量评价体系建立过程,并在分析和研究青海湖流域生态环境参量遥感技术和应用的技术上,建立了青海湖流域草地生态质量遥感反演系统和青海湖湖泊环境遥感监测系统。

本书力图基于野外调查和实验结果诠释青海湖流域生态环境遥感监测方法及应用的相关知识。适合地理学、生态学、地理信息系统等专业的研究生和本科生阅读,也可供相关学科的研究人员应用参考。

图书在版编目(CIP)数据

青海湖流域生态环境参量遥感定量反演技术及应用/
李凤霞等编著. —北京:气象出版社, 2016. 11
ISBN 978-7-5029-6081-0

I. ①青… II. ①李… III. ①青海湖-流域环境-生态环境-环境遥感-环境监测-研究 IV. ①X832

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 301024 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

电 话:010-68407112(总编室) 010-68409198(发行部)

网 址:<http://www.qxcbs.com>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑:简学东

终 审:邵俊年

封面设计:易普锐

责任技编:赵相宁

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

印 张:13

字 数:332 千字

版 次:2016 年 11 月第 1 版

印 次:2016 年 11 月第 1 次印刷

定 价:78.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

前 言

青海湖是维系青藏高原东北部生态安全的重要水体,其整个流域是生物多样性保护和生态环境建设的重点地区。作为青海省生态旅游业、草地畜牧业等社会经济发展的集中区域,近年来在气候变化和人类活动的共同影响下,青海湖环湖草地退化、沙化土地扩张、渔业资源锐减、野生动物生存环境恶化,整个流域正面临着严重的生态和环境变化危机,并引起各级政府、国际社会和科学家们的广泛关注。为了有效维护青海湖地区的生态系统稳定,同时改善流域内农牧民的生产生活条件,国家发改委于2007年正式批复“青海湖流域生态环境保护与综合治理规划”项目(简称青海湖综合治理项目)。为了给青海湖综合治理项目提供科技支撑,科技部于2012年正式启动国家“十一五”科技支撑计划重点项目“青海湖流域生态环境综合监测应用系统”,当前青海湖流域管理过程中,存在数据来源多样、多头管理及全域定量监测技术落后等问题,需要利用和发展天—空—地一体化监测技术。本课题以青海湖为示范研究区,拟通过开展流域草地、土壤、水体等生态环境指标关键要素的定量遥感反演,解决多源数据集成的关键技术,为构建青海湖流域生态环境信息系统集成平台提供业务监管模块,为流域综合管理提供关键技术保障。其中第二课题名称为“青海湖流域生态环境参量遥感定量反演技术(课题编号:2012BAH31B02)”,负责单位为青海省气象科学研究所,参加单位包括中国科学院上海技术物理研究所、中国科学院遥感应用研究所、上海盛图遥感工程技术有限公司等。课题经过几年的实施,完成了包括青海湖流域草地生态质量遥感定量反演、土壤关键参数遥感定量反演及湖泊环境敏感参数遥感定量反演技术等研究内容,并于2015年4月顺利通过课题验收。在此过程中,经过反复讨论并征求相关专家意见,确定本书以青海湖流域生态环境参量遥感定量反演技术为核心内容,加强青海湖流域生态环境参量遥感及相关的综合研究,探讨青海湖流域定量遥感反演技术,在此基础上为青海湖流域湿地可持续发展战略提供可靠的技术支持。

根据上述思路,在课题成果报告基础上,重新编制了全书的章节体系,并补充了大量基础研究成果。本书共分7章。第1章简要介绍了青海湖流域的自然地理特征、社会经济状况和目前面临的主要生态环境问题。第2章首先总结了水环境敏感参数遥感定量反演机理及国内外研究现状,随后论述了雷达数据的湖水面积遥感监测技术,并增加探讨了多源卫星数据的湖水水质参数反演算法研究。第3章主要论述了青海湖流域草地生态环境遥感定量评价,首先论述了草地生态参量遥感定量监测原理及国内外研究现状,分别阐述了草地类型多尺度遥感分类技术、草地生物量多源遥感数据反演和草地植被净初级生产力遥感监测。第4章系统研究了青海湖流域土地覆被变化监测方法,主要探讨了国内外土地覆被变化监测现状,以及基于多源遥感数据的青海湖流域土地覆被变化检测。第5章系统研究了青海湖流域土壤含水量遥感定量反演,通过总结土壤含水量遥感定量反演机理及国内外研究现状,阐述了土壤含水量地面卫星同步试验和低植被覆盖地表土壤含水量反演模型。第6章详细探讨了青海湖流域生态质量评价指标体系建立过程,并对青海湖流域生态质量评价进行了系统的梳理。第7章在分

析和研究青海湖流域生态环境参量遥感技术和应用的基础上,分别对青海湖流域草地生态质量遥感反演系统和青海湖湖泊环境遥感监测系统进行了相关的介绍和应用实例的展示。

青海湖流域地处高寒半干旱地区,湿地对于维持整个流域的生态安全具有重要作用。之前有关青海湖的研究主要集中于近代环境演化、流域生态保护恢复,有关青海湖流域及高寒生态环境参量遥感技术和应用的研究相对比较缺乏。本书通过野外调查、实验观测、模型模拟等多种方法,对青海湖流域生态环境遥反演技术以及应用展开了多方面研究并取得了系列研究成果,主要体现在以下几个方面:①基于多源遥感数据的草地多尺度精细分类技术,将利用高光谱数据和高空间分辨率数据对草地草种进行精细分类,对掌握流域草地的草种变化有重要作用;②基于多源数据的土壤含水量遥感定量反演技术,将以合成孔径雷达数据(SAR)及卫星红外数据为主要数据源,反演青海湖流域土壤含水量。

本书是在课题成果报告及有关资料基础上,由李凤霞、李晓东、徐维新完成全书章节编写与统稿工作。各章执笔人分别为:第1章,李晓东、徐维新;第2章,赵冬、邵芸、柴勋、李晓东;第3章,李凤霞、巩彩兰、马维维、徐维新、王力;第4章,巩彩兰、肖建设、马维维、胡勇;第5章,张婷婷、邵芸、柴勋;第6章,储美华、马贺平、谢骏驰、李凤霞;第7章,肖建设、马贺平、巩彩兰、赵冬。除上述人员外,先后参加课题野外考察、实验观测和材料撰写等相关工作的还有数人,在此一并感谢。

作者

2016年9月

目 录

前 言

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 自然地理特征	(2)
1.2 社会经济状况	(5)
1.3 生态环境的现状	(8)
第 2 章 青海湖水体水环境敏感参数遥感定量反演关键技术	(12)
2.1 雷达数据的湖水面积遥感监测技术	(12)
2.2 青海湖叶绿素 a 反演模型	(17)
2.3 基于多光谱数据的青海湖悬浮物浓度反演模型	(22)
2.4 基于多光谱数据的青海湖水体透明度反演模型	(24)
第 3 章 青海湖流域草地生态参量遥感定量反演	(26)
3.1 草地类型多尺度遥感分类技术研究	(26)
3.2 基于多源数据的青海湖流域草地多尺度精细分类技术	(34)
3.3 基于多源数据的青海湖流域草地品质参数反演技术	(41)
3.4 草地营养参数的遥感定量反演模型技术研究	(47)
3.5 基于多源遥感数据的草地植被净初级生产力反演技术	(53)
第 4 章 青海湖流域土地覆被变化监测方法	(59)
4.1 青海湖流域土地覆被分类方法概述	(59)
4.2 青海湖流域土地覆被分类指标与技术方法	(61)
第 5 章 青海湖流域土壤含水量雷达遥感定量反演	(75)
5.1 土壤含水量雷达卫星遥感定量反演方法	(75)
5.2 土壤含水量地面卫星同步试验	(80)
5.3 青海湖流域土壤含水量反演模型	(84)
5.4 青海湖流域土壤含水量监测结果	(86)

第 6 章 青海湖流域生态质量评价指标体系	(93)
6.1 青海湖流域生态质量评价指标体系建立	(93)
6.2 青海湖流域生态质量评价	(98)
第 7 章 青海湖流域草地生态质量遥感反演系统及湖泊环境遥感监测系统	(110)
7.1 青海湖流域草地生态参量遥感反演系统	(110)
7.2 青海湖湖泊环境遥感监测系统	(118)
参考文献	(129)
附录:相关研究成果	(135)
附录 1 牧草品质的高光谱遥感监测模型研究	(137)
附录 2 Modeling and Mapping Soil Moisture of Plateau Pasture Using RADARSAT - 2 Imagery	(146)
附录 3 The Hughes Phenomenon in Hyperspectral Classification Based on the Ground Spectrum of Grasslands in the Region Around Qinghai Lake	(167)
附录 4 基于 RADARSAT - 2 全极化数据的高原牧草覆盖地表土壤水分反演	(178)
附录 5 基于光谱响应函数的 ZY - 3 卫星图像融合算法研究	(187)
附录 6 多/高光谱遥感图像的投影和小波融合算法	(195)

第1章 绪论

青海湖流域地处青藏高原东北部,位于 $36^{\circ}15' \sim 38^{\circ}20' \text{N}$, $97^{\circ}50' \sim 101^{\circ}20' \text{E}$,流域总面积 $29\,661 \text{ km}^2$ 。青海湖流域在行政区划上分别隶属于海北藏族自治州的刚察县和海晏县,海西蒙古族自治州的天峻县及海南藏族自治州的共和县,其范围涉及3州4县25个乡(镇)。在流域内部地势最低处发育的青海湖是我国最大的湖泊之一,青海省也因此而得名,其水面面积达 4380.23 km^2 (2014年),是我国内陆最大的咸水湖。青海湖流域整体轮廓呈椭圆形,自西北向东南倾斜,是一个封闭的内陆盆地,湖盆四周群山环绕,北依大通山,南临青海南山,东界日月山,西靠阿木尼尼库山(图 1.1)。

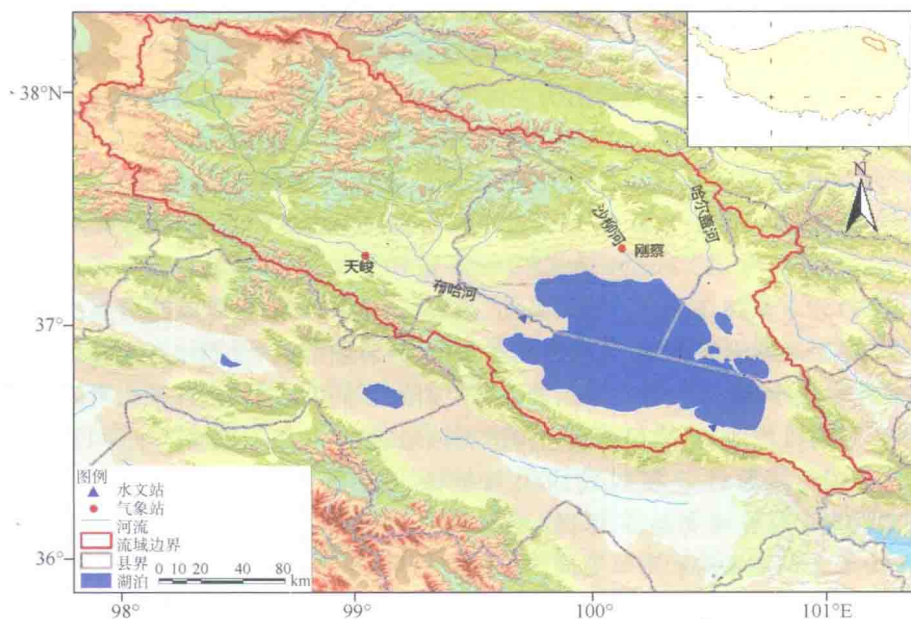


图 1.1 青海湖流域图

青海湖流域因地处我国东部季风区、西北部干旱区和西南部高寒区的交汇地带,自然地理环境具有明显的过渡性。它既是维系青藏高原东北部生态安全的重要屏障,又属于脆弱生态系统典型地区,对全球气候变化的响应十分敏感,同时也是生物多样性保护和生态环境建设的重点区域。而作为青海省生态旅游业、草地畜牧业等社会经济发展的集中区域,近年来在气候变化和人类活动的共同影响下,青海湖环湖草地退化、湿地面积缩小、沙化土地扩张、野生动植物生存环境恶化,整个流域正面临着严重的生态破坏和环境退化危机。

1.1 自然地理特征

青海湖流域是青藏高原的重要组成部分,是一个由山地草原与湖泊湿地组合的生态系统,具有高寒、半干旱、太阳辐射强等特点。而作为一个相对独立的封闭盆地,整个流域以青海湖为集水中心,河流多发源于四周的群山,蜿蜒向青海湖辐聚。流域内自然地理环境的空间分异特征明显,地貌、气候、土壤和植被等自然地理要素由湖盆向四周大致呈环带状分布。

1.1.1 地形地貌

青海湖流域是一个地处西部柴达木盆地与东部湟水谷地、南部江河源头与北部祁连山地之间的封闭式山间内陆盆地,整个流域近似织梭形,呈北西—南东走向,被具有相似走向的海拔 4000~5000 m 的山体所包围。盆地北部的大通山是青海湖流域与大通河流域的分水岭;南部的青海南山是青海湖流域与共和盆地的分水岭;东部的日月山为一条呈北北西走向的断块山,是青海湖流域与湟水谷地的分水岭,也是我国季风区与非季风区、内流区与外流区、农业区与牧业区的分界;而西部以天峻山为主体的一系列北西西走向的高原山地岭谷,构成了青海湖流域与柴达木盆地的分界。流域内部地势从西北向东南倾斜,最高海拔 5291 m,位于北面大通山西段的岗格尔肖合力(又称仙女峰);最低处为流域东南部的青海湖,湖面海拔 3194 m,平均水深 16 m,最大水深 26 m。青海湖是我国内陆最大的咸水湖,东西长约 109 km,南北宽约 65 km,周长约 360 km,水面面积 4321 km²(2010 年),湖盆容积 854×10^8 m³。在青海湖中心和岸边分布着海心山、三块石、鸟岛、蛋岛等,它们是湖泊形成时产生的地垒断块,后来随着水位下降而逐渐出露水面,成为岛屿并逐渐与陆地相连。受湖水长期侵蚀影响,岛上基岩裸露,形成规模大小不一的湖蚀穴、湖蚀崖、湖蚀阶地等。从湖面到四周山岭之间,呈环带状分布着宽窄不一的风积地貌、冲积地貌和构造剥蚀地貌,地貌类型由湖滨平原、冲积平原、低山丘陵、中山和高山、冰原台地和现代冰川等组成。流域内山地面积大,约占流域面积的 68.6%,山势陡峻、沟谷密布且多冰蚀地形;河谷和平原所占面积较小,约占流域面积的 31.4%,主要分布于河流下游和青海湖周围。湖滨地带,在湖的西、北岸边以多条河流冲积形成的三角洲、河漫滩、阶地等河积—湖积地貌为主;在湖的南岸,山麓地带地形破碎,多侵蚀沟谷,山麓与平原交接带多坡积裙、洪积和冲积扇,之下为向湖倾斜的洪积—湖积平原,平原之间为沙砾质卵石堤;湖东部地形相对低缓,倒淌河入湖处地势低洼,形成大片沼泽湿地;湖东北沿岸有大面积沙地分布,耳海和沙岛一带多见连岛沙坝、沙嘴、沙堤,向上发育有固定和半固定沙丘、沙垄等。

1.1.2 气候条件

青海湖流域气候特征的描述是基于对流域内及流域相关的天峻县、海晏县、刚察县、共和县等气象站观测数据展开的。青海湖流域地处东亚季风区、西北部干旱区和青藏高原高寒区的交汇地带,其气候类型为半干旱的大陆性气候。该流域深居内陆,海拔较高,气温偏低,寒冷期长,没有明显的四季之分,具体表现为冬季寒冷漫长、夏季温凉短促,降水较少且集中于夏

季,蒸发量大,干旱少雨、日照充足、太阳辐射强烈,四季多风、风力强劲,气温日较差大是其气候综合特征。流域气温较低,垂直变化明显,年平均气温为 $-1.1\sim 4.0^{\circ}\text{C}$,自流域东南向西北递减,由于“湖泊效应”,湖区气温较高,边远山地较低,海拔3800 m以上的广大地区,年平均气温均在 -2°C 以下。流域年平均降水量为291~579 mm,受地形和湖区的影响,降水分布极不均匀,在青海湖北岸降水量从北向南递减,大通山一带一般为500 mm,至湖滨地带降水约为320 mm;湖南岸则相反,由南向北递减;湖西部在布哈河下游河谷地带自东向西递减;湖东部则由东向西至湖滨递减;湖滨四周向湖中心递减(海心山降水量为270 mm左右)。青海湖流域属半干旱地区,年蒸发量较大,达1300~2000 mm,蒸发量空间分布特征与降水量相反,即湖滨平原和地势较低的河谷地区蒸发量较大,山区随地势升高蒸发量减小。青海湖流域无霜期较短。

由于受高空西风带和东南季风带共同影响,流域内常年多风,风速由青海湖的东南方向西北方递增。据气象资料统计,流域各站均以3月份出现的大风日数最多,9月份则出现最少,大风日数的年变化属于春多秋少型。受高寒干旱气候条件限制,牧草生长期短暂。

1.1.3 水文状况

青海湖流域为四周群山环抱的封闭式山间内陆盆地,其中山区面积约占流域总面积的68.6%;河谷与平原面积占31.4%。

青海湖水体位于流域的东南部,长轴走向为北西西向,东西最长109 km,南北最宽65 km,周长约为360 km。湖水总体呈碱性,pH为9.23,相对密度为1.0115,含盐量为14.13 g/L。流域有大小河流40余条,集水面积大于 300 km^2 的干支流有16条。主要河流有布哈河、沙柳河、哈尔盖河、泉吉河、黑马河、倒淌河、甘子河等。河流呈明显的不对称分布,西面和北面河流多且流长水大,东面和南面则相反。青海湖流域属于高原半干旱内流水系,水资源并不丰富,大气降水量是水资源的总补给源。据统计,直接流入青海湖且流域面积大于 5 km^2 的河流有48条,径流年分配不均匀,径流量的年际变化比年降水量的年际变化大得多,且多为季节性河流。其中,流域西部的布哈河最大,其次为湖北岸的沙柳河和哈尔盖河,这三大河流的径流量占入湖总径流量的75%以上;再加上泉吉河和黑马河,五条河流的年总径流量达 $13.4\times 10^8\text{ m}^3$,占入湖地表径流量的80.3%。上述几条较大河流的集水面积超过了 $17\,311\text{ km}^2$,控制青海湖流域山丘面积的77.6%。受地理位置和地形、气候等自然条件的影响,河川径流的补给主要来自大气降水(包括降雨和融雪径流),其次为冰川融水,经过转化地下水也有一定比重。流域多年平均径流量为 $16.7\times 10^8\text{ m}^3$,径流深为54 mm。青海湖流域地表水资源年际变化也较大,年内分配不均,6—9月径流量占全年的80%。流域内径流分布与降水分布基本一致,湖北岸为高值区,布哈河右岸和湖东地区为两个低值区。流域地下水具有半干旱区内陆盆地典型的环带状分布特征,即周边山区为补给区,山前洪积—冲积平原为渗流区,环湖湖滨平原为排泄区,受山体宽度影响,北部地下水较南部丰富。

流域地表径流和地下径流最终都汇入青海湖,Li et al. (2007)计算了1959—2000年青海湖的水量平衡,结果表明:每年平均湖面降水量为357 mm,蒸发量为925 mm,入湖地表径流量为348 mm,地下径流量为138 mm,湖水水位每年下降约80 mm。除青海湖外,流域内面积大于 0.03 km^2 的湖泊有70多个,其中面积大于 0.3 km^2 的湖泊有20余个,大于 1 km^2 的湖泊有12个,主要分布于流域西部的布哈河河源区(淡水湖)和东南部的湖滨地带(咸水湖)。



1.1.4 植被类型及其分布

青海湖流域地处青藏高原东北边缘,境内复杂的地貌类型及青海湖的存在对植被特征及其分布具有重要的影响。受地理位置、地貌特征、气候条件、海拔梯度及土壤类型等综合影响,流域内形成了复杂多样的生境类型,使其拥有复杂多样的植被类型,成为我国青藏高原生物多样性的主要区域,境内高寒草原和温性草原共存。青海湖的自然植被有寒温性针叶林、河谷灌丛、高寒灌丛、沙生灌丛、温性草原、高寒草原、高寒草甸、沼泽草甸、高寒流石坡植被等。区域内的主要植被类型及其分布如下。

(1) 森林

主要包括寒温性常绿针叶林和温性落叶阔叶林。①寒温性常绿针叶林,以祁连圆柏为建群种的常绿针叶林,仅分布于青海湖西部共和县石乃亥乡及天峻县生格乡境内的沟谷地带,呈疏林状态,海拔 3350~3600 m;②温性落叶阔叶林,主要分布于青海湖东北岸的海晏湾沙地,包括以湖北花楸、叉子圆柏等为主的落叶阔叶林,呈片状分布,面积很小,海拔 3200~3250 m。

(2) 草甸

包括高寒草甸、沼泽草甸和轻度盐渍化草甸,是重要的天然草场。①高寒草甸以蒿草属为优势种,广泛分布于海拔 3300~4100 m 的山地阴坡、宽谷和滩地,面积较大,是流域主要植被类型;②沼泽草甸,以西藏蒿草和华扁穗草以及水麦冬等为优势种,分布于海拔 3200~4000 m 的湖滨洼地、河谷滩地及河源地,在布哈河、沙柳河、哈尔盖河等河源滞水滩地集中成片,与高寒草甸镶嵌分布;③轻度盐渍化草甸,以马蔺、星星草为优势种,分布于海拔 3200~3250 m 的河口和湖滨低湿滩地,如倒淌河及黑马河河口、鸟岛周围等。

(3) 草原

包括温性草原和高寒草原,为重要的天然草场,也是重要的景观生态类型之一,在流域中分布面积大,但受干旱条件限制,群落盖度和单位面积产草量均不如草甸类草场。草原主要分布于流域的山地阳坡、山间谷地、河谷滩地等。①温性草原,主要优势种为芨芨草、西北针茅、青海固沙草、冰草和短花针茅,呈环带状分布于湖盆四周海拔 3200~3350 m 的冲积、洪积平原,宽度 1~10 km 的弧形植被带;②高寒草原,以紫花针茅为优势种,集中分布于流域北部和西北部海拔 3300~3800 m 的山地阳坡,并沿布哈河干旱宽谷延伸。

(4) 高寒流石坡稀疏植被

分布于海拔 4100 m 以上的山坡及山体顶部的高寒流石坡稀疏植被,由于高山岩体常年遭受寒冻风化,形成流石滩,呈孤岛状。草甸带内植物常有特殊的形态特征,如植被植株矮小、垫状、密被绒毛,群落结构单一,常见有凤毛菊等菊科高山植物和垫状植物。

(5) 灌丛

包括河谷灌丛(或称滩地灌丛)、高寒灌丛和沙生灌丛(或称山地灌丛),灌丛是以灌木为建群种或优势种所组成的植物群落类型,是流域内重要的景观生态类型,也是流域内比较优质的生态系统。植被生长密集、组成种类丰富、类型较少是主要的植被特征。①河谷灌丛,在青藏高原呈斑块状分布,条带状或岛状分布在干旱半干旱的河谷滩地。如布哈河、沙柳河、哈尔盖河中下游河谷(海拔 3200~3300 m)的具鳞水柏枝,以及布哈河中上游河谷(海拔 3300~3700 m)的肋果沙棘等;②高寒灌丛,包括毛枝山居柳、鬼箭锦鸡儿灌丛和金露梅灌丛,主要分

布于青海南山、日月山和热水等地海拔 3300~3800 m 的山地阴坡和沟谷地带;③沙生灌丛,分布于青海湖东北部海拔 3200~3350 m 的冲积平原的固定与半固定沙丘地带。

(6)栽培植被

分布于青海湖南部农场和三角城种羊场一带海拔 3200~3350 m 的冲积平原上,以油菜栽培为主,其次为燕麦和青稞。

(7)水生植被

在流域的湖泊浅水区、河流缓流区或微弱流动的溪流及湖塘洼地等水生环境分布有龙须眼子菜、水毛茛和穗状狐尾藻等,这些水生植物常生长于水底泥土、水流停滞或微弱流动的浅水生境中。随湖泊或河流呈环带状、条带状或斑块状分布。

1.1.5 土壤类型及其分布

青海湖流域的土壤类型主要包括:高山寒漠土、高山草甸土、山地草甸土、山地灌丛草甸土、高山草原土、黑钙土、栗钙土、灰褐土、风沙土、沼泽土和盐碱土等。影响土壤类型分布的主要因素有地形、母质、气候、水文、生物、地质及人类活动等因素。从青海湖流域的地形地貌看,地势较低的冲积和洪积平原、河谷和湖滨地区,成土母质主要是冲积物、洪积物及湖积物;地势较高的山坡为各种岩石风化的残积物和坡积物,海拔 4000 m 以上的高山还有冰碛物。从湖盆向四周,随海拔高度的变化,土壤分布的垂直地带性特征明显。

首先,流域地带性土壤为栗钙土,主要分布在布哈河中下段山前冲积阶地、湖滨平原、丘陵前沿地带和冲积平原,面积约占流域总面积的 3.4%;其次为黑钙土,主要分布在海拔 3200~3500 m 的山体下部、山前冲积、洪积平原和滩地等,占流域面积的 3%左右。

其次,在海拔 3400~3750 m 的低山丘陵的中上部、低山和平缓山顶分布有山地草甸土,面积占流域面积的 5%~8%;海拔 3700~4200 m 的山地缓坡分布着高山草甸土,占流域面积的 20%~25%,是畜牧业生产的重要夏秋季牧场;海拔 3800~4400 m 的山地河谷和缓坡地带分布着高山草原土,占流域面积的 20%~25%;海拔 3900 m 以上的山体上部与分水岭处还分布有高山寒漠土,约占流域面积的 10%;此外,海拔 3300~4000 m 的中低山地阴坡有山地灌丛草甸土分布。

另外,非地带性风沙土主要分布在湖滨滩地和湖东地区,占流域总面积的 12%;其他非地带性土壤包括沼泽土和盐碱土,散布在环湖排水不畅的湖滨洼地,如青海湖西南岸大小泉湾、湖东部倒淌河入湖处、北岸沙柳河河口至泉吉河河口一带。此外,在布哈河、沙柳河、泉吉河及哈尔盖河等各大河流的河源地带及沿河河谷滩地还有淡水沼泽土分布,沼泽土总面积占流域总面积的 9.5%左右。

1.2 社会经济状况

一个地区的社会经济发展状况,不仅影响着土地、水文、生物、矿产等资源利用的水平和强度,而且对生态环境等产生重要影响。青海湖流域人口以藏族为主,其余还有汉族、回族、撒拉族、蒙古族等,其中,藏族和汉族人口占全流域人口总数的 90%以上。青海湖流域的社会经济

发展还处于欠发达水平,流域内地广人稀,以牧业为主,工业化水平较低。

1.2.1 行政区划

按行政区划分,青海湖流域包括青海省海北藏族自治州(简称海北州)的刚察县和海晏县、海西蒙古族藏族自治州(简称海西州)的天峻县、海南藏族自治州(简称海南州)的共和县的部分行政区,范围涉及3州4县25个乡(镇),以及5个农牧场:三角城种羊场(青海省农牧厅)、青海湖农场(海北州)、黄玉农场(刚察县)、湖东种羊场和铁卜加草原改良试验站(三江集团公司)(表1.1)。

表 1.1 青海湖流域行政区划

县名	流域内乡 镇数(个)	行政区划		行政村数目(个)		
		流域内乡(镇)名称	省、州、县、属农场	流域内	跨流域	合计
天峻	10	新源、龙门、舟群、江河、组合玛、快尔玛、生格、阳康、木里、苏里		43	14	57
刚察	5	沙流河、哈尔盖、泉吉、伊克乌兰乡、吉尔孟	青海湖农场、三角城种羊场、黄玉农场	5	26	31
共和	5	倒淌河、江西沟、黑马河、石乃亥、英德尔	湖东种羊场、铁卜加草原改良试验站	10	17	27
海晏	5	青海湖、托勒、甘子河、金滩、三角城		2	13	15
合计	25			60	70	130

注:引自陈桂琛等(2008)。

1.2.2 人口状况

青海湖流域人口稀少,传统上以农牧业从业人口为主,人口数量在1945年仅为22 549人,近年外来人口不断增加,到2008年,包括流动人口在内,流域总人口达到13.20万人,其中,天峻县5.10万人,占流域总人口的38.64%,农业人口1.43万人;刚察县4.26万人,占流域总人口的32.25%,农业人口2.90万人;共和县2.94万人,占流域总人口的22.24%,农业人口2.54万人;海晏县0.91万人,占流域总人口的6.86%,农业人口0.88万人。流域农牧业人口7.76万人,占总人口的58.79%,农牧业人口比例呈下降趋势。伴随着旅游业和服务业的发展,外来流动人口逐渐在夏、秋季增多,尤其是天峻县和海晏县最为明显,其流动人口约3.11万人,占总人口的60%以上。

青海湖流域人口密度平均每平方千米不足5人,陆地人口平均密度仅为3.4人/km²,但人口分布很不均匀。在环湖的狭长地带,特别是河流沿岸或道路沿线,由于地形平坦、水源充足、交通便利,成为人口主要集聚区。如以刚察县为中心的青海湖北岸湖滨三角地带、南岸共和盆地等,人口密度较大;而四周的山地主要是牧民的夏季草场,基本未建定居点,主要以夏、秋季旅游的流动人口为主。

1.2.3 经济发展状况

青海湖流域各县农牧民的生活与居住条件均处于中下水平,流域内经济发展主要以农牧

渔业、生态旅游业为主。近年来,流域内青海湖旅游业及其他资源的开发,尤其是以青海湖、金银滩草原为主的草原旅游有了长足的发展,为当地的经济注入了新的活力。从青海湖流域各县 2008 年不同产业的产值构成看,天峻县第二产业的产值明显高于其余各县,表明天峻县第二产业最为发达,在青海湖流域各县中具有较强的经济实力。根据天峻县经济统计数据,2004 年以前,第一产业是全县主导产业,在国民经济中占较大比重,经济增长速度较慢。2004 年以后,以采矿业为主的第二产业迅速发展,成为天峻县的主导产业,采矿业的发展同时带动了运输业、服务业的发展,推动了国内生产总值的迅速增加。其中天峻县的牧业产值达 15 609 万元,农牧民人均年收入达 4617 元。总产值位居第二的刚察县以第一产业和第三产业为主,近几年经济发展较为迅速,国内生产总值明显增加,2000 年至今各产业保持较快增长,国内生产总值从 2000 年的 17 285 万元增长至 2008 年的 49 449 万元。海晏县位于青海湖流域范围内的甘子河乡、青海湖乡和哈勒景乡都是牧业乡,所以该区域经济以牧业为主,第一产业产值在总产值中占较大比重,旅游业也占一定的比重。共和县位于流域范围内的 3 乡 1 镇是全县的主要牧业区,并且还有湖东种羊场等大型农牧场,农牧业产值较高;第二产业以建筑业为主,其他工业部门极少;同时,借助位于青海湖边的优越地理位置,近年来旅游业发展较快。

2008 年,青海湖流域各县畜牧业产值达 64 456.31 万元,人均年收入 4190.55 元,高于青海省农牧民平均收入,但仍低于全国农村居民人均收入水平;受气候条件限制,流域内种植业规模不大,现有耕地 179.12 km²,主要农作物有油菜、青稞、燕麦及青饲料等,而且随着退耕还林还草等生态政策的实施,未来耕地面积还将不断缩小(表 1.2)。青海湖流域丰富的草场资源,为畜牧业生产提供了良好条件,成为青海省重要的畜牧业生产基地之一。除湖区现有乡镇均属于以畜牧业为主的牧业乡外,还有三角城种羊场、湖东种羊场、铁卜加草原站等以畜牧业生产为主体的国有牧场。因此,畜牧业在区域经济中占有十分重要的地位,属于基础产业部门。但是,由于高寒的气候和恶劣的自然条件,导致生态环境比较脆弱,当地畜牧业生产也表现出脆弱性和不稳定性,出现诸如超载放牧导致草场退化等生态环境问题,使畜牧经济的可持续发展受到制约。从各县农牧业产值比较来看,虽然天峻县在青海湖流域的面积最广,且以牧业为主,但是共和县和刚察县的牧业产值比天峻县高,这主要是因为刚察县和共和县有集中的大型农牧场,包括三角城种羊场、湖东种羊场等。近几年来,部分农牧民除了农牧业收入,还经营个体运输、商品零售、旅游和餐饮服务等,收入水平显著提高,但是大多数农牧民,尤其是少数民族牧民仍以放牧为主,过着独特的游牧生活。

表 1.2 青海湖流域各县农牧业产值和农牧民收入统计

县名	农业产值(万元)	牧业产值(万元)	农牧民人均年收入(元)
共和	4207.45	19 513.41	3525.91
刚察	3807.14	22 084.94	4519.39
天峻	0.00	15 609.00	4617.00
海晏	136.93	7248.96	4964.59
合计	8151.52	64 456.31	4190.55

注:资料来源于刚察县、海晏县、天峻县和共和县 2009 年统计年鉴。

青海湖流域工业起步较晚,基础薄弱,迄今还没有一家大型的现代工业企业,但流域内矿产资源丰富,主要矿产资源有煤、铁、铜、石灰石、硫黄等,其余多为畜产品加工、建材和食品生

产等工业项目。依靠当地丰富的煤炭资源,煤炭开采业发展迅速,如刚察县境内的热水煤矿、天峻县境内的木里煤矿等。由于境内的青藏铁路及国道、省道等公路的建设和联通,为该区域的旅游业和生态畜牧业的发展提供了更有效的交通条件。但是,考虑环境的封闭性和生态的脆弱性,流域内不适宜发展污染严重的工业,但独具特色的高原湖泊景观、丰富的野生动植物资源和独特的宗教文化等优质旅游资源使旅游业发展具有得天独厚的优势,因此,该地区应该在加强草地基础设施建设和保护草地生态环境的基础上,综合治理退化草地,强化保护高寒草甸植被力度;在以草定畜、禁牧减畜的同时,扩大人工饲草地面积,提高饲草供给能力,在草畜平衡条件下,开发建设高原生态畜牧业。此外,该地区又是青海湖国家自然保护区和国家级4A级青海湖风景名胜区所在地,且每年国际知名度较高的“环青海湖国际公路自行车赛”在此举行,充分利用这些优势和国际品牌的知名度,应积极发展该区域的草地生态旅游经济。

1.3 生态环境的现状

青海湖流域独特的地理位置及环境特点,对于研究全球气候变化、高原内陆湖泊生态特征和演变规律,以及青藏高原隆升与高原环境演变机制等重大问题都有重要的意义。青海湖流域作为青藏高原的组成部分,自然环境条件比较恶劣。流域范围内,地势较高,低温、干旱、大风等严酷的自然条件导致区域自然环境极为脆弱。同时,该流域由于地处内陆且以少数民族占主体地位的多民族聚居特征,是青海省经济社会发展相对活跃的地区之一。因此,受社会发展和自然环境演变等因素的影响,流域生态环境呈现出区域恶化的总体发展趋势,对区域经济社会的可持续发展带来一定的影响。然而,从最近几年的青海湖面积及水位等方面的监测来看,青海湖面积和水位均呈现出有一定变好的态势,但这种态势的持续性有待进一步研究和监测。

1.3.1 湿地面积缩小

由于青海湖流域总体生态环境的退化,使得湿地生态系统区域退化的现实成为青海湖流域日益显现的生态环境问题之一。其主要的表现形式有青海湖面积总体减少、湿地面积萎缩、湿地环境质量下降、湿地生态功能减弱等方面。

根据2004年遥感影像解译结果,青海湖流域有河流湿地、湖泊湿地和沼泽湿地合计7294.09 km²。近年来,流域内的湖滨湿地、河源沼泽逐年萎缩。根据杨川陵(2007)的研究结果,目前流域沼泽面积比1956年减少了 2.61×10^4 hm²,其中湖滨沼泽减少也比较明显,比1956年减少了 0.61×10^4 hm²,原来分布湖滨沼泽有30余处,而现今有7处已经干涸。由于气候变暖、人类引水截流及过度放牧等影响,湖滨地带、河流两侧洼地及河流三角洲地带沼泽植被退化并呈现萎缩趋势。1956年沙柳河口沼泽湿地面积达50 km²,而1986年仅为20 km²,已有多处沼泽干涸(杜庆,1990)。河源沼泽由于气候变化的影响,沼泽化草甸向高寒草甸演变,面积呈缩小趋势,水量也有所减少,原有的沼泽湿地呈现出小丘凸起、干裂和湿生植物被中生植物代替,水源涵养功能有所减退的迹象。随着青海湖水位下降,湖滨一些浅水区域逐渐出露水面,造成湖滨沙化土地扩张、鸟岛连陆,湖滨湿地面积萎缩。除此之外,近年来的调查表

明,青海湖水域面积虽然从2004年开始有上升的趋势,且该上升的趋势已经持续了10年有余,但是相比于1961年整体上还是呈现出明显的下降趋势。由于流域内的河流大多数以雨、雪补给为主,其流量依降水量的多少而变化,年内分配也很不均匀,因此需要持续地开展青海湖流域湿地生态系统的保护和恢复工作。

1.3.2 天然草场退化

青海湖流域现有天然草地 $213.65 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占流域总面积的 72%, 其中可利用草地面积 $193.50 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占天然草地面积的 90.6%, 是流域畜牧业发展的重要物质基础。然而,青海湖流域的畜牧业仍停留在自然放牧、靠天养畜的状态,牧民追求经济效益,盲目增加存栏头数,超载放牧,导致草场不断退化。据韩永荣(2000)研究,湖区的优良草场由20世纪50年代的 $201 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 下降到90年代末的 $109 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。根据刘进琪等(2007)的报道,近15年间减少的草地面积有90%转为耕地,仅有3.27%转为未利用土地,说明青海湖流域近15年间人为开垦利用现象较为严重。此外,由于超载放牧、垦殖和管理不当等造成近50年来草场退化面积高达 $93.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占可利用草地面积的 48.2%, 其中,中度以上退化草场有 $65.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占可利用草地面积的 33.9%(表1.3)。另外,草地退化的重要指标还包括植被盖度下降、产草量减少、毒杂草蔓延和鼠虫害加重等。1977—2004年,高覆盖草地和中覆盖草地分别减少了 $1.28 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和 $0.91 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 而低覆盖草地增加了 $1.55 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (Li et al., 2009)。湖区优良草场鲜草产量由1963年的 1740 kg/hm^2 下降到1996年的 1089.6 kg/hm^2 , 34年下降了37.4%(韩永荣,2000)。近年来高覆盖度草地($>70\%$)转化为中覆盖度草地($30\% \sim 70\%$)和低覆盖度草地($<30\%$)的现象也十分明显,转换的结果使高覆盖度草地减少了 906.39 hm^2 , 中覆盖度草地减少了 2024.32 hm^2 , 低覆盖度草地则增加了 2931.31 hm^2 (陈桂琛等,2008)。

表 1.3 青海湖流域退化草地分级情况

草地退化级别	轻度退化	中度退化	重度退化	极重度退化	合计
草地退化面积(10^4 hm^2)	27.63	43.25	13.44	8.98	93.3
占可利用草地面积比例(%)	14.3	22.4	6.9	4.6	48.2

注:引自陈桂琛等(2008)。

1.3.3 土地沙漠化

由于气候干旱,以及自然和人为因素导致的植被退化等,青海湖流域土地沙漠化面积不断扩大,根据程度不同,可分为潜在沙漠化、正在发展的沙漠化、强烈发展的沙漠化和严重沙漠化,各类沙漠化土地面积共计 $12.48 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (表1.4)。青海湖流域由于沙化面积的不断扩大,附带也造成了大量泥沙流入青海湖中,严重威胁着湖区水环境安全和鸟类的生存环境。沙化土地主要分布在青海湖环湖地带,包括面积最大的湖东沙区(湖东岸种羊场至海晏县克土一带)、湖北岸甘子河沙区(尕海周围、草裕滩、甘子河至哈尔盖)、湖西岸鸟岛沙区(沙柳河三角洲以西、鸟岛周围、布哈河河口至石乃亥)、湖南岸浪玛舍岗沙区(倒淌河至浪玛河之间,一郎剑、

表 1.4 青海湖流域各类土地沙漠化面积及分布情况

沙漠化级别	潜在	正在发展	强烈发展	严重	合计
面积($\times 10^4 \text{ hm}^2$)	4.46	1.60	1.15	5.09	12.48

注:引自陈桂琛等(2008)。

二郎剑等地)。目前来看,自然条件的变化是沙漠化的潜在因素,人为活动又是叠加在自然环境变化背景之上的诱发因素,这两者的结合造成了沙漠化的不断发生和发展。因此,造成沙漠化面积不断增加的原因主要有以下几个方面:一是青海湖周围草地由于过度放牧和开垦等原因变成潜在沙化土地、流动沙地,灌木林变为固定沙地;二是青海湖水域和湖滨沼泽由于湖泊水位的下降从而变为季节性的流动沙地;三是沙地本身由半固定沙地变为流动沙地,固定沙地变为半固定沙地等。据资料统计,1956 年流域沙漠化土地面积为 $4.53 \times 10^4 \text{ hm}^2$,1972 年增加到 $4.98 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。从 1977—2004 年青海湖流域遥感影像解译结果看,1977 年、1987 年、2000 年和 2004 年流域沙漠化土地面积分别为 5.62×10^4 、 6.19×10^4 、 6.56×10^4 和 $6.65 \times 10^4 \text{ hm}^2$,27 年间因水域减少而增加的沙地面积为 $1.03 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占流域沙地总面积的 15.5%(李小雁等,2008)。自 1986 年以来,流域土地沙漠化扩展速率平均达到 8.86%,明显高于大部分干旱内陆沙漠化区,成为我国西北沙漠化强烈发展的地区之一。在现代土地沙漠化的过程中,气候变化,再加上人类活动的加剧,致使流域内非沙漠地区出现以风沙活动为主要特征的沙质疏松地表的退化,土壤出现风蚀、风沙流和风沙堆积、沙丘移动等现象,受风沙的影响,草地生物量逐步下降,草地退化加剧。目前来看,人类活动引起的湿地萎缩、草地退化、土地沙漠化等生态环境问题业已引起国家和地方相关部门的重视,正积极采取措施进行生态恢复,实施科学的流域规划和管理。

1.3.4 生物多样性减少

青海湖流域独特的地理位置和环境条件,孕育了丰富而独特的野生动植物资源。随着草地退化和土地沙化,特别是人类活动的加剧,并且受区域生态环境退化的影响,流域生物多样性遭受严重破坏。目前,流域内野生动植物有 15%~20% 濒临灭绝。珍稀药用物种冬虫夏草、雪莲、红景天等因具有较高经济价值而被过度采挖,资源破坏较为严重。盛产于青海湖的高原特有种——裸鲤,20 世纪 50 年代资源量高达 $19.9 \times 10^4 \text{ t}$,1958 年开始捕捞利用,1959—1962 年达到高峰,年均捕捞量 $8.09 \times 10^4 \text{ t}$,以后逐年下降,70 年代年捕捞量在 4000 t 左右,80 年代末降至 1200 t,90 年代已不足 1000 t,2000 年青海省政府下令全面封湖育鱼,并出台相关保护法规,裸鲤资源得到一定恢复,2004 年资源量为 5018 t,仅相当于捕捞利用前资源量的 2.5%,有效地保护了裸鲤的生长和繁殖(张贺全等,2006),且近年来由于生态环境的逐步恢复和相关保护措施采取,裸鲤的生长环境也得到了较好的保障。据陈桂琛等(2008)统计,流域内现有种子植物 52 科 174 属 445 种;野生动物 235 种,其中鸟类 189 种、哺乳类 41 种、两栖类 2 种、爬行类 3 种。野生动物中,有国家一级保护动物 8 种,国家二级保护动物 29 种,青藏高原特有种 10 种。珍稀濒危物种、国家一级保护动物普氏原羚目前数量已不足 300 只,而且由于围栏、筑路等人类活动加剧,适宜其生存的野生环境范围正在不断缩小,仅靠人为保护和养殖对普氏原羚提供生存和繁殖环境。此外,盘羊、岩羊数量很少,雪豹似乎已经绝迹;藏雪鸡和