

新疆师范大学

硕士学位论文

艾比湖水位变化对湖滨湿地荒漠化的影响研究

姓名：吴颜

申请学位级别：硕士

专业：自然地理学

指导教师：王晓峰

2008-06-09

摘 要

本文利用 2000~2005 年艾比湖湖面面积及湖滨荒漠化土地面积变化资料, 结合过去 50 多年来艾比湖周边地区生态环境演变情况, 分析了艾比湖水位与湖滨荒漠化土地的时空变化特征以及二者之间的内在联系。并对未来湖泊面积和荒漠化变化趋势进行了预测。主要研究结果包括如下四点:

(1)、艾比湖持续低水位对湖滨湿地荒漠化的影响

艾比湖水面不断萎缩不仅会导致大片湖底干涸裸露; 而且会使湖滨植被因水位下降而发生逆向演替, 植被衰败, 造成土壤疏松, 使得沙尘日数增加。在阿拉山口大风的作用, 艾比湖地区风蚀荒漠化的程度必然会加重。

(2)、艾比湖高水位对湖滨湿地荒漠化的影响

艾比湖水位升高会使湖滨湿地形成新的盐渍化, 但新增的盐渍化面积小于被湖水上涨所淹没的盐渍化面积。在经过高水位之后的低水位运行时, 盐渍化土地表层会形成盐结皮, 在没有受到人类活动干扰时即使经历 10 级大风也不会形成沙尘暴。此外, 水位上升还可以促进湖滨植被的恢复和土壤表层含水量的增加, 在一定程度上也可以减轻土壤风蚀带来的影响。

(3)、艾比湖水位大幅度变化对荒漠化的影响

艾比湖水面扩大虽然可以使盐渍化土地的面积有所减少, 但高水位运行期间形成的盐渍化土地与原有盐渍化土地在水位下降后会因土壤水盐含量的变化而裸化并开始遭受风蚀。

(4)、艾比湖水位及艾比湖湿地荒漠化变化趋势分析

随着艾比湖流域社会经济用水量的持续增加, 艾比湖将再次面临萎缩的命运, 如果不采取有效措施以保证艾比湖水位的稳定, 那么湖滨湿地荒漠化的危害也将进一步加重。但由于艾比湖湿地自然保护区的建设在一定程度上可以减少人为因素的影响, 故其危害程度不会恢复到 20 世纪 80 年代的水平。

关键词: 艾比湖; 水位变化; 艾比湖湿地; 荒漠化; 影响

ABSTRACT

This paper analysed the temporal and spatial changing feature about the lake and hungriness areas and then investigated the intrinsic link between the two by making use of the remote sensing image received during recent three years and some documents recorded by others in past 50 years. Based on the achievement above-mentioned, the paper predicted the changing trend of lake and hungriness areas. The major findings of this paper are as followings:

(1) The shrinking of lake will made the desertifications increased.

The continuous shrinking of lake not only caused the lake-bed exposed in wide area but also transformed the evoving direction of vegetation. Under the multiplex effect of vegetation, lake-bed and gale, the degree of erosion and desertification area are bound to show an upward trend.

(2) The expanding of lake is one of the main factors which will make the salinization more serious.

If the area of lake expanded, the original area of the dried lake-bed will be inundated. Furtherly, the desertification area will be reduced and the ecological environment will be improved to some extent. However, the expansion of water will cause the salinity increased. Once the water level dropped, the kaline soil will be bared and began to be eroded.

(3) The lowest level of water which can prevent the desertification:

According to the observational synthesis in Ebinur Lake, the happening of sand storm is of abvious regularity: the amount of dust weather from march to June accounted for 62% of all the dust days every year. Therefore, the most important task to prevent wind erosion is to conctrol the area of naked lake-bed during march to June. the paper believed that maintaining the lake area of 800 km² or so can effectively control the occurrence of dust weather in the spring.

(4) In next dozens of years, the consumption of water will continue to increase if we do not take some measures to guarantee the stability of the water level, the Lake will be faced with the fate of contraction once again. but the harm caused by sand storms will not return to the level of the 1980s.

Key words: Ebinur Lake; water level; change; desertification; effect.

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 新疆师范大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：

签字日期：

年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 新疆师范大学 有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 新疆师范大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期： 年 月 日

签字日期： 年 月 日

前 言

1 选题背景和研究意义

1.1 选题背景

人口暴涨、全球变暖以及生态退化与环境污染是目前世界面临的三大问题。近30多年里,世界人口由1975年的40.76亿人增加到2007年的66.71亿人,其中印度、中国、巴基斯坦、尼日利亚、孟加拉国和印度尼西亚6国新增人口占了全球的50%^[1]。激增的人口加大了环境的载荷,加重了环境污染和生态退化,水域是地球上被过量开发且受污染最严重的生态系统之一^[2]。为了满足人口激增对粮食和电力供给的需求,许多国家在河流上游建坝截流^[3],使得流域内原有的湖泊和湿地面积萎缩,北美洲、非洲以及亚洲中部干旱区湖泊萎缩现象尤为明显:北美最古老的湖泊—莫诺湖,其水位与1940年相比下降11米,容积减少了40%;从上世纪70开始,墨西哥最大的湖泊—查帕拉湖已失去了80%的水量,在1986年和2001年间,查帕拉湖的面积从1048km²缩小到812km²^[4]。亚洲中部地区的青海湖、巴里坤湖、艾比湖、玛纳斯湖、乌伦古湖、伊塞克湖、巴尔喀什湖、咸海等都出现了不同程度的水位下降和面积萎缩。湖泊和湿地面积萎缩,引起了流域生态退化^[5]。

中国是世界上湖泊萎缩与土地退化最严重的国家之一。近50年来我国湖泊普遍处于退缩状态,如青海湖、居延海、艾比湖等;不少湖泊甚至已经彻底干涸,如新疆的罗布泊、艾丁湖、玛纳斯湖等;只有个别山区湖泊有所扩展^[7]。随着水土资源的过度开发利用,土地退化现象也日益严重。截至2004年底,全国荒漠化土地的总面积为263.62×10⁶hm²,占国土总面积的27.46%,分布于北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、山东、河南、海南、四川、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等18个省(自治区、直辖市)的498个县(旗、市)。监测还表明:在全部荒漠化土地中,风蚀荒漠化土地面积为183.94×10⁶hm²,占荒漠化土地总面积的69.78%;水蚀荒漠化土地面积25.93×10⁶hm²,占9.84%;盐渍化土地面积17.38×10⁶hm²,占6.59%;冻融荒漠化土地面积36.37×10⁶hm²,占13.80%^[8]。在有荒漠化危害的18个省区中,新疆可谓首当其冲。据新疆林勘院1994~1995荒漠化普查资料,新疆荒漠化土地总面积79.5896×10⁶hm²,占全疆总面积的47.68%,占全国荒漠化土地总面积的30.19%;潜在荒漠化土地面积0.0466×10⁶hm²,占全疆总面积的0.03%。新疆的严重荒漠化土地约占荒漠化总面积的51.8%,中度荒漠化土地约占35.1%,轻度荒漠化土地约占13.1%。其中沙质荒漠化土地面积为3.05×10⁶hm²,占全国沙质荒漠化土地面积的17.27%。古尔班通古特沙漠边缘为0.63×10⁶hm²,塔克拉玛干沙漠边缘为2.42×10⁶hm²。新疆强烈发展中的沙质荒漠化土地和严重沙质荒漠化土地分别占全国同类沙质荒漠化土地面积的32.13%和21.88%^[9]。

艾比湖流域是新疆继罗布泊之后的第二大生态退化区。该区域西临祖国四大风口之一的阿拉山口,东接我国第二大沙漠古尔班通古特大沙漠,湖泊是奎屯河、博河、精河等多条发源于北天山北坡、准噶尔西部山地河流的尾闾,面积约500~1000km²。湖周围存在大片的湿地和河谷林,栖息着多种野生动物,是我国干旱荒漠区独有的湿地生态系统。因地广人稀,艾比湖湿地保持了完整的自然生态系统,境内生物资源丰富,大部分仍保留着原始状态,是我国生物多样性的重要组成部分和天然基因库,素有干旱区的“绿色迷宫”之称,具有极高的保护价值、科研价值和生态旅游价值。但20世纪中叶以来,在气候变化和人类活动的双重影响之下,艾比湖水位下降,湖底裸露,沙源扩大,在阿拉山口大风的作用下,流域内土地荒漠化趋势愈演愈烈。艾比湖湿地生态环境的退化引起了各界人士的广泛关注,在学者和政府的共同努力下,艾比湖湿地已被国务院批准成为国家级自然保护

区。然而,在气候变化的大背景下,艾比湖流域在 20 世纪末期出现了连续几年的丰水局面,降水量的增加使艾比湖面积急剧扩大,一度恢复到 20 世纪 50 年代的水平。鉴于干旱地区其他湖泊的水位上升都带来了严重的盐渍化问题,故本文产生了对艾比湖水位变化对湖滨湿地荒漠化的影响进行研究的设想。

1.2 研究意义

由于艾比湖地处阿拉山口大风主通道上,湖滨植被是其周边乃至整个天山北坡地区的天然绿色屏障,对调节位于下风区的北疆、特别是天山北坡经济带的气候起着极其重要的作用。亚欧大陆桥与 312 国道从湖泊西南缘通过,湖泊环境的恶化直接影响到这两条交通大动脉的安危。如艾比湖湖面继续萎缩、周边植被继续退化,这里必将成为我国西部最大的盐尘、沙暴策源地,对第二座亚欧大陆桥、北疆电网以及广大农牧民、城乡居民的生存构成极大的危害。此外,在新疆绝大多数尾间型咸水湖泊已消失的情况下,残存的艾比湖已成为我国西部鸟类最主要的迁徙、栖息、繁殖地;艾比湖产生的“湿岛效应”将维系生物多样性的存在。因其具有极高的保护、科研和旅游价值,2007 年 4 月,中国国家级自然保护区评审委员会将该湿地中面积达 2670.85km²的核心部分评为国家级湿地自然保护区。本文以艾比湖湿地自然保护区及其周边部分土地退化较严重的区域为研究对象,主要针对水位变化对周边地区土地荒漠化的影响进行研究。

艾比湖周边地区土地荒漠化状况与湖泊水位变化始终相生相伴,湖泊水位变化始终是影响湖滨土地荒漠化变化的主要因素。对于湖泊水位变化对湖滨土地荒漠化的影响方式、影响范围及其影响趋势进行深入探讨对艾比湖周边地区土地荒漠化的防治、生态环境治理及艾比湖水位的优化调控都具有非常重要的参考意义。

2 国内外研究进展

2.1 国外关于湖泊水位变化及其影响方面的研究

对于湖泊的研究至今已有 100 余年的历史,但最初主要以描述湖泊各要素的特征为主,直到 20 世纪上半叶,对于湖泊功能的研究才有所发展。20 世纪 90 年代以来,随着湖泊环境问题的凸显,对于湖泊水量变化及其影响方面的研究才逐渐成为区域人地关系中新的研究热点。前苏联是对湖泊及其周边环境演变关注较早的国家之一,如阿思米鼎·沙依多夫(1973 年)在《咸海的地理问题》一书中对 19 世纪初到 19 世纪 80 年代中期咸海水位变化情况进行了分析^[11];马如夫·加力力(1987)在《远离岸边的海,咸海等待抢救》一书中对咸海变迁所引发的生态与社会经济问题进行了描述^[12];A. A. 热皮库夫(1990 年)在《咸海的命运》一书中对影响咸海水位变化的原因和水位变化对流域气候以及土地荒漠化方面的影响进行了全面分析和深入探讨^[13];T. A. 阿里木夫和 A. A. 热皮库夫(1991 年)在《生态错误的教训》一文中进一步对影响咸海水位变化的因素做了分析^[14];X. C. 沙力木夫(2001 年)在《咸海问题引发的生态平衡变化与解决的途径》中对咸海水位变化情况及其对湖区土地荒漠化的影响进行了论述并提出相应的解决办法^[15];A. 沙多拉依夫(1992 年)在《咸海地区生态危机的社会后果》中着重阐述了咸海水域缩小对湖滨土地荒漠化的影响及其所引发的后果^[16]。

2.2 国内关于湖泊水位变化及其影响方面的研究

我国的湖泊科学萌芽于 20 世纪初,1912 年在江苏盱眙建立了我国最早的湖泊水文站,观察洪泽湖水位变化,30 年代我国学者也开始了对湖泊生物的研究工作。但对湖泊进行综合研究还是在解放以后,初期的工作主要集中在湖泊资源调查。60 年代中期至 90 年代初,针对当时国家需求,湖泊科学研究的重点主要集中在湖泊资源的开发利用方面。近 10 余年来,随着经济快速发展,在全球变化的背景下湖泊生态环境不断恶化,我国湖泊科学关注的重点又转移到研究湖泊生态系统退化和

修复的理论与实践方面^[10]。王晓峰(1994 年)对 20 世纪中期以来中国不同气候区湖泊萎缩所带来的影响进行研究后发现:东部地区湖面退缩会使湖泊容积缩小而增加防洪的负担,同时对湖泊鱼类资源的自然增殖、湖区局部地段的水情改变、水禽的栖息、湖泊的自然风光以及湖泊航运也会产生一定不利影响;而西部湖泊退缩后不仅对湖泊水生生物、湖滨植被、渔业生产以及湖区鸟类栖息有负面影响。更主要的是干涸湖底裸露以及由于湖面缩小而引发的湖滨土地荒漠化问题^[17]。杨发相(1995 年)等人对艾丁湖萎缩与湖区环境变化之间的关系进行了分析,发现随着艾丁湖的萎缩,湖区环境劣变,主要表现在盆地盐壳发育、植物枯死、生态恶化、地貌类型发生演变、居民居住环境变差等^[18]。郭武(1997 年)通过对青海湖水位下降与湖区生态环境演变之间关系的研究发现:由于青海湖的萎缩,致使湖水面随之缩小,湖底边缘部分裸露,其松散的砂砾使青海湖周围的沙源增加,导致沙漠面积不断扩大;又由于湖水量的不均衡,造成水位下降,盐度上升,而且随着干旱的进一步加剧,湖水的盐度还将会上升,生态环境进一步恶化^[19]。吐尔逊·哈斯木(2001 年)对咸海进行了考察,发现从 20 世纪 60 年代开始,随着咸海面积的大幅度萎缩,在已干涸的部分形成新的“咸海荒漠”,并与周边的三大荒漠形成一体,荒漠的持续增加直接影响着周边的土壤、植被及人类的生存环境^[20]。

2.3 艾比湖研究现状

20 世纪 90 年代前后,新疆学者对艾比湖水位变化及其影响进行了深入的研究。阎顺等通过对 2500 年来艾比湖的环境演变信息和测年资料的综合分析,推测艾比湖的沉积环境总体是比较稳定的,但由于气候波动引起的入湖水量变化使艾比湖的水位发生几度变化。约在公元前 300~400 年,是艾比湖面积缩小时期,按现代湖面积和湖岸线做参考,当时湖水面积应不足 600km²,湖周为梭梭荒漠;约公元前 300~公元 300 年(战国后期至西晋),是艾比湖水位较高时期;约公元 300~1400 年(东晋至 15 世纪初),是艾比湖的高水位时期^{[21][22][23]}。穆桂金等通过对艾比湖的湖岸地貌及其反映的湖面变化的研究,推测当时的湖面海拔在 226~210 之间,高出现代湖面 15~31m。这反映了在中世纪,艾比湖地区的环境可能明显好于现代。约 15 世纪初至 17 世纪中是艾比湖的水位下降期,但水位仍然比现代高;约 17 世纪中至 19 世纪初的小冰期是气候相对寒冷的一个时期,当时天山冰川普遍前进并形成明显的冰碛垅,此时的艾比湖水位处在一个相对上升期^[24]。伊玛木·塔依尔研究了艾比湖的干缩对艾比湖流域及湖周围植被生态、沙漠化、野生动物生活环境的影响,并提出了相应的治理对策^[25]。王前进等针对艾比湖水面面积近 50a 变化过程,利用入湖径流及有关水文、气象资料,分析河流丰枯变化对入湖径流的影响、农业引水量与降水的关系,研究了艾比湖水面面积近 50a 变化成因^[26]。高建芳等在考虑生态环境需水量的前提下,以艾比湖流域为研究对象,对流域地表水资源可利用量进行了分析探讨。采用倒算法,即采用从地表水资源量中扣除维护生态环境最小需水量的方法,分析计算了艾比湖流域水资源可利用量,并提出了天然生态植被和维护湖泊面积生态环境的最小需水量^[27]。李艳红根据艾比湖流域各水文站历年水文统计资料及近年来的实际水文调查,通过流域、气温、蒸发、降水、冰川、径流年内和年际变化、泥沙、冰情、水质等方面的分析,研究艾比湖流域的水文特征变化规律,并对流域水资源承载能力进行了探讨^[28]。刘惠英利用 MODIS 合成 NDVI 对土地覆被进行分类并通过对艾比湖湖面变化规律的研究,发现艾比湖作为内陆湖泊,显著受到全球气候变化和人为改善生态环境的影响;年内变化是因为周围邻近地区来水变化和当地自然条件共同作用的结果^[29]。

20 世纪中叶以来,在艾比湖地区土地荒漠化监测与评价方面,李虎(2003 年)通过对不同时相的多源卫星数据进行配准与复合分类处理,结合野外调研,解译分析各类荒漠化土地类型的时空分布特征^[30,31,32]。刘文军(2006 年)采用 2004 年遥感 TM 影像,通过 ERDAS 软件处理,再运用 GIS 分

析手段,综合土地利用图、地形图和其他资料形成艾比湖地区的荒漠化现状图。发现艾比湖地区荒漠化土地类型的比例为未荒漠化占 12.39%,微度荒漠化 12.56%,轻度荒漠化 24.87%,中度荒漠化 27.95%,重度荒漠化占 22.23%^[33,34]。宫恒瑞等(2006 年)利用 MODIS 卫星数据作为主要数据源,结合美国地质勘探局 NOAA-NDVI 数据研究了艾比湖地区荒漠化现状及动态变化,分析艾比湖地区 1993 年以来荒漠化土地的时空变化特点^[35,36]。在艾比湖水位变化带来的影响方面,王晓峰(2004 年)对艾比湖流域风沙天气与艾比湖干缩之间的关系作了初步研究,指出由于艾比湖的干缩而导致的风沙天气主要是浮尘天气,浮尘来源主要是干涸湖床所形成的盐尘,但也有因大规模开荒而形成的沙土尘。引起艾比湖风沙天气变化的原因是多方面的,但人为因素是第一位的^[37]。张瑞芳(2006 年)等人通过对艾比湖地区近些年经济活动过程中土地利用时空变化采集数据以及野外调查资料进行分析,认为不合理的人类活动是导致艾比湖地区绿洲化和荒漠化冲突的根本原因^[38]。

1. 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

1.1.1 艾比湖地区自然地理概况

地理位置：艾比湖位于新疆博尔塔拉蒙古自治州精河县境内，地理坐标为 $43^{\circ} 37' \sim 45^{\circ} 55' N$ 和 $79^{\circ} 53' \sim 85^{\circ} 02' E$ 之间，是奎屯河、博河、精河等多条发源于北天山北坡、准噶尔西部山地河流的尾闾，是准噶尔盆地西部的最低洼地和水盐汇集中心，湖盆呈椭圆状，最低点海拔 188 米。枯水期，湖泊平均水深 1.4 米，最大水深 3 米，湖面基本在 500km^2 上下波动；丰水期，湖泊最大水深可达 6 米，面积约可达 1000km^2 以上。湖泊周边沼泽及荒漠林地广布，形成总面积为 2956.27km^2 的艾比湖湿地^[32]，其中 2670km^2 在 2007 年 4 月被列为国家级湿地自然保护区。该区域在行政区划上地跨博州精河县，博乐市和阿拉山口口岸区。东部与甘家湖梭梭林国家级自然保护区以及塔城地区、乌苏市、古尔图镇荒漠林相接壤；南部与博州精河县茫丁乡、托托乡、兵团农 5 师 82 团、90 团、91 团的荒漠林、草场、农田相连；西部与博乐市、阿拉山口荒漠林相接；北部与塔城地区托里县荒漠林相连^[39]。

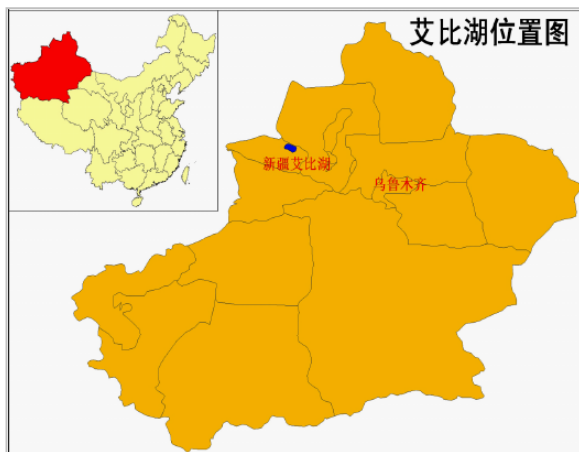


图 1-1 艾比湖地理位置

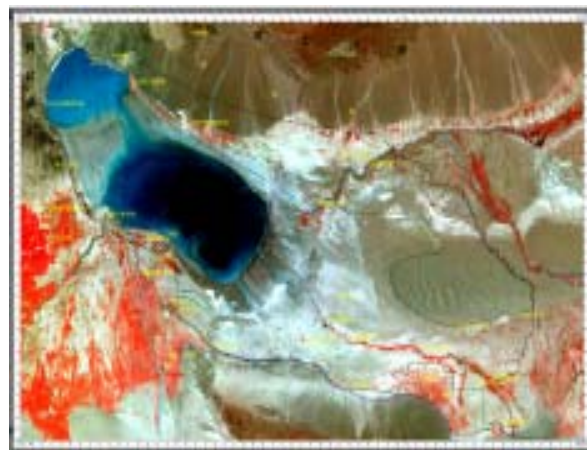


图 1-2 艾比湖遥感影像图

地形地貌：艾比湖湿地南、西、北三面环山，东部与准噶尔盆地相连，其中，南部是北天山西部段支脉，为西北-东南走向；西北部为天山山系最北分支阿拉套山，山脊线海拔 3000m，西段较高，发育有冰川，是博尔塔拉河的发源地；北部是准噶尔西部山地中的玛依力山；在阿拉套山与玛依力山之间是由艾比湖-星星峡断裂带形成的宽约 10km 的谷地阿拉山口。艾比湖位于流域的中部偏北，湖泊与山地之间为平原区，包括四个部分^[24]：湖积平原、湖西面的博尔塔拉谷地、湖南面和东南面的天山山前平原、北面的玛依力山山前洪积倾斜平原。艾比湖流域的地貌呈明显的环带状结构，以艾比湖为中心，地貌类型向外依次为现代干涸的湖底平原，古湖积平原、冲积平原、冲洪积平原、洪积扇平原及干燥剥蚀丘陵低山和中高山等^[40, 41]。

气候特点：艾比湖地处亚欧大陆腹地，属典型的大陆性干旱气候。干旱少雨，光热充足，保护区光照有效辐射量为 $65\text{Kcal/cm} \cdot \text{a}$ ，日照时数约 2800 小时。年平均温度为 $6-8^{\circ}\text{C}$ ，最低月均温低于 -17°C ，最高月均温则达 28°C ，积温 $3000-3500^{\circ}\text{C}$ ，无霜期 160d。地面空气年平均湿度为 5mb；年平均相对湿度为 50%，由于空气干燥，极端相对湿度在 5% 以下。年平均降水量 100mm 左右，与之相对的年蒸发量则高达 3790mm 以上。艾比湖湿地位于阿拉山口主风通道区，年平均大风（大于 17m/s 风速）天数高达 165d^[39]。

生物资源: 艾比湖湿地的植物物种资源占全国干旱荒漠区的 64%，目前查明植物有 300 多种，脊椎动物 160 多种，鸟类 100 多种，鱼类十种，其中国家级珍贵保护动物 38 种，是我国干旱荒漠区独有的湿地生态系统。这里又是各种野生动物良好的栖息地、繁殖地，特别是多种鸟类的迁徙地和繁殖地，每年有百万之上的鸟类出没于湖滨沼泽繁衍生息。艾比湖湿地是中国重要湿地，因地广人稀，大部分仍处于准原始状态，是我国生物多样性的的重要组成部分和天然基因库，对研究我国和世界动物的分布区系的形成与演变具有重要意义^[39]。

1.1.2 研究区社会经济概况

基础设施: 湿地内部道路由一环一横两条巡护道路组成。一环既由阿拉山口—科克巴斯陶—桑德库木—盐池桥—阔克塔拉—北地—苏木路克—乌兰达布森—阿拉山口 240km 的环艾比湖巡护道路。该道路除有两段 18km 为砂石路面外，大部分路段为简易盐碱土路段，大部分路段在雪季、雨季难以通行。一横是指保护区东西走向的沿阿奇克苏河湿地北岸通行的简易荒漠土巡护道路，雨季通行条件较差。保护区外围的交通条件十分便利，北疆铁路沿保护区西南侧通过，有托托、精河、蘑菇滩、艾比湖、博乐五个车站分布于保护区边界。312 国道位于保护区南侧，部分路段与保护区界重叠，205 省道在保护区西部通过，保护区南部、西部交通十分便捷。但北部与东部多属荒漠林区，仅有北部托里县库音乡，东北部经乌苏市甘家湖林场两条简易道路与外界相通。距博州首府博乐市 45km，距阿拉山口口岸区仅 8km，距精河县 10km，东部距乌鲁木齐市 320km。保护区内无电力电缆和通讯光缆线路进入，不具备通电、通邮、通讯条件，区内用电只能依靠太阳能解决电源问题^[39]。

人口现状: 艾比湖湿地内部人口较少，据保护管理处统计，区内共有常住人口 307 人，其中：牧业有 68 户，294 人，占总人口的 95.8%。民族组成以哈萨克族为主，约占总人口的 82%，蒙古族、汉族、维吾尔族、回族等占 18%。大部分为托里县库普乡牧民和兵团农五师 90 团牧工，其余为从事农作物种植的农民。由于经营方式粗放、原始、生产力水平较低，年人均收入在 1500 元之间。每年 8—10 月间为卤虫卵捕捞季节，从业人员全部为保护区外民工。每年秋季有近四百名外来民工进入保护区从事卤虫捕捞作业，有五十余户，一百余人进入保护区流动放牧。艾比湖南岸与精河县，兵团农五师三个团场(82 团场、90 团场、91 团场)接壤，人口较集中，主要从事农区种植业和养殖业，基本无工业；西部为阿拉山口口岸区城市人口(5000 人)，主要从事口岸铁路货运装卸，商业、饮食服务业和部分刚刚起步的工业；北部、东部全部是荒漠林区，基本没人居住，只有少数从事游牧业的人在区内活动^[39]。

经济状况: 研究区内人类社会经济活动的痕迹较少，除少量畜牧业以外，只有精河盐化公司的几个规模不大的盐场和博州水利局下属的一个淡水养殖厂，少数工人在区内从事盐业生产、卤虫捕捞和河蟹养殖。沙泉子盐场离湖岸较远，主要靠地下水自动渗出、蒸发来生产池盐。盐场建于 70 年代末 80 年代初，目前仅有 10 几个工人在场内作业，年产量为 5000—6000t。这里的结晶盐需要送到艾比湖盐厂进行深加工，然后才可以销售。与沙泉子盐场相比，在精河老盐场基础上改扩建的艾比湖盐场占地数十平方公里，有现代化的厂房、生产设施和管理模式；能源、通讯、交通设施完备；提水、抽卤、积盐、运输已实现了动力化、机械化。目前的年生产能力为：原盐 5×10^4 t，粉洗加碘精盐 1.5×10^4 t，砒硝 3×10^4 t，氯化镁 1×10^3 t。该公司现被自治区盐业公司控股，目前是精河县税收排行第一，产值排行第二的龙头企业。年上缴利税 700—800 万元左右，年产值为 5000—6000 万元，年产量为 10×10^4 t，企业年增加值达 2000 多万。

位于艾比湖南岸、精河入湖口处的博州特色水产养殖基地是艾比湖湖畔另一个以水为生的企业，与盐场所不同的是，该企业是利用精河河水的一个淡水养殖企业。企业于 2006 年开办，直属博州水利局，目前已建立了具有 4700 亩水域的淡水养殖厂，总投入达 100 多万，2006 年开始投苗，养殖形式均为散养，当年产量为 30t。河蟹的市场价格目前在 60 元 / kg 左右，年产值为 180 万元。虽

然蟹的生长期主要在 6—7 月份，但直到 10 月份仍然可以捕捞，销售期则可至 11 月中旬，再加上来自于精河河道的水中含有适中的盐、碱非常有利于河蟹脱壳，所以该企业的发展前景非常看好。据养殖场总经理翟先生介绍，以后两到三年的时间内，企业将继续扩大水域面积，使养殖规模达到 10000 亩左右，届时产量会达到 208t 左右，年产值将达到 1200 多万元。

1.1.3 艾比湖湿地荒漠化现状

荒漠化是指在干旱、半干旱和某些半湿润、湿润地区，由于气候变化和人类活动等各种因素所造成的土地退化，它使土地生物和经济生产潜力减少，甚至基本丧失。主要表现在土地沙化、土地盐碱化、土地裸化和土地板结等^[52]。中国北方荒漠化土地的成因类型中，30.11% 是由于过度放牧；26.19% 由于过度开垦；32.17% 是由于过度樵采；9.16% 是由于水资源利用不当；0.17% 是由于工矿、交通、建设过程中不重视环境保护而造成的^[64]。

土地荒漠化类型按主导因素分为风蚀荒漠化、水蚀荒漠化、冻融荒漠化和盐渍化四大类型^[67]。艾比湖湿地除了水蚀、风蚀、盐渍化三种主要荒漠化土地类型外，还有不同程度的风蚀—盐渍化和盐渍化—风蚀等复合荒漠化土地类型，其中盐渍化和风蚀两大类型占绝对优势^[32]。

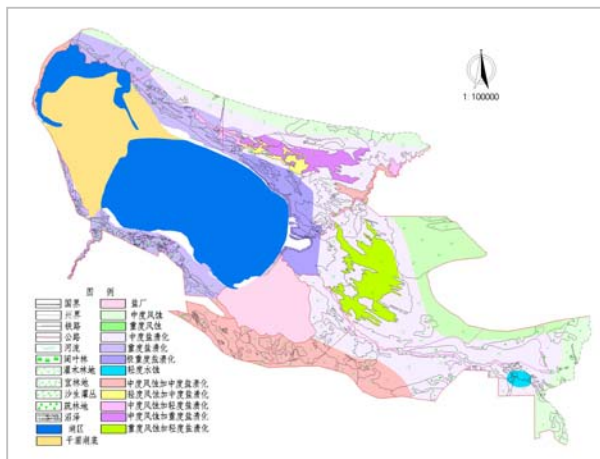


图 1-3 艾比湖湿地荒漠化土地类型分布图

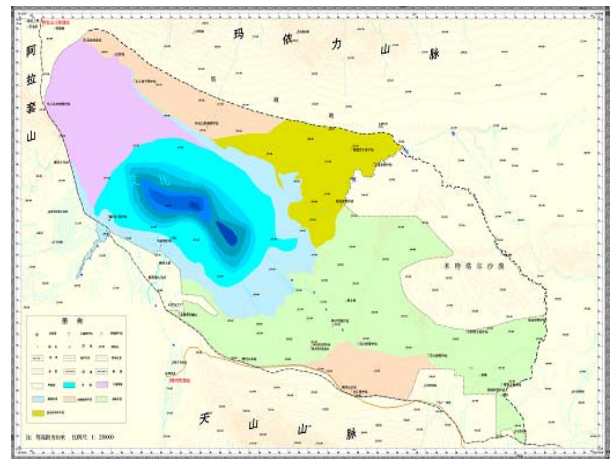


图 1-4 艾比湖湿地地形地貌图

从图 3-1 和 3-2 可以看出，盐渍化土地主要呈环状分布在艾比湖水体的外围，并且以湖泊水体为中心向外逐渐过渡，极重度或重度盐渍化主要分布在靠近水体的湖滨沼泽带，中度盐渍化和轻度盐渍化主要分布在沼泽带外围的老湖积平原上。风蚀荒漠化土地主要分布在盐渍化区域外围的山前倾斜平原和湖积平原的外围，且呈现出离湖体越远风蚀程度越重的特点，湖盆东北部宽广的老湖积平原地区是风蚀程度最严重的区域。在重度盐渍化和重度风蚀区域的中间地带是由于不同时期风蚀和盐渍化交替作用而形成的复合荒漠化土地。此外，位于艾比湖西北部季节性出露的含盐丰富的干涸湖底在阿拉山口大风的作用下形成的大面积复合荒漠化土地也是艾比湖地区荒漠化土地的重要组成部分。

1.2 数据来源

本文所用的数据主要包括水域面积、荒漠化面积，水资源利用量、气温、大风日数、沙尘日数等气候资料、径流量和人口、耕地面积等社会经济资料。

1.2.1 水域面积资料

本文艾比湖水域面积从 1950—2006 年，主要是根据《艾比湖生态环境演变趋势和综合治理对策研究》、《博州辉煌五十年》、《科学通报》《干旱区地理》、《新疆地貌》等资料，还有部分为自治区环保局 TM 遥感数据测算而来。

1.2.2 荒漠化面积资料

文中利用 2000 年、2002 年和 2005 年艾比湖湖滨荒漠化土地面积进行分析对比,均来自课题组成员李虎老师用航片进行遥感判读解译,将解译结果以 VFP 数据库的形式输入 GIS,形成带有地理属性的空间数据,再利用 GIS 计算荒漠化现状。主要包括荒漠化面积、盐渍化面积、风蚀荒漠化面积和复合荒漠化面积。

1.2.3 气候资料

众所周知,用于研究气候变化的资料不仅要有足够的序列长度,还应有足够的精确度。因此,所用资料必须满足均一性、代表性和比较性。根据上述原则,本文选定艾比湖流域内的 5 个站作为代表站,以阿拉山口、博乐、温泉、精河、乌苏为观测资料,本文统一利用各站 1960~2006 逐年的资料,主要来自新疆天气网。表 1-1 列出了 5 个代表站的地理位置,海拔高度等基本情况。

表 1-1 艾比湖流域气象站点分布表

区站号	站名	经度	纬度	海拔 (m)
51232	阿拉山口	82° 35'	45° 11'	284.8
51238	博乐	82° 04'	44° 54'	531.9
51330	温泉	81° 01'	44° 58'	1354.6
51334	精河	82° 54'	44° 37'	320.1
51346	乌苏	84° 40'	44° 26'	478.8

1.1.4 水文资料

选取艾比湖流域 1960-2006 年间地表径流即博尔塔拉河下游(博乐水文站)和精河(精河水文站)的年平均流量进行统计。

1.1.5 社会经济资料

从博州统计年鉴上选取博州 1960-2006 年的人口、耕地面积、工业生产总值等社会经济资料进行分析,建立线性方程并对其进行预测。

1.3 研究方法

1.3.1 一元线性回归模型

一元线性回归模型描述的是两个要素之间的线性相关关系。利用地理要素的时间序列,以时间 t 为自变量,另一要素 y 为因变量^[80]。建立 y 与 t 之间的一元线性回归方程:其趋势变化率为:

$$y'(t) = b_0 + b_1(t) \quad (1-1)$$

b_1 反应因变量 y 上升或下降的变化趋势, $b_1 < 0$ 表示其在计算时段内呈下降趋势; $b_1 > 0$ 则表示其呈上升趋势, b_1 绝对值的大小可以度量其演变趋势上升或下降的程度^[75]。

一元线性回归方程需要评价方程的拟合程度、检验回归方程和回归系数的显著性。

(1) 拟合程度检验

所谓拟合程度,是指样本观测值聚集在样本回归线周围的紧密程度。判定回归模型的拟合程度优劣最常用的数量指标是可决系数^[81],其定义为:

$$R_2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad (1-2)$$

上式中, SST 为离差平方和, SSR 为回归平方和, SSE 为残差平方和。

$0 \leq R^2 \leq 1$, R^2 越接近 1, 回归平面拟合程度越高;反之, R^2 越接近 0, 拟合程度则越低。

(2) 回归方程的显著性检验(F 检验)

回归模型建立之后,需要对模型的可信度进行检验,以鉴定模型的质量。线性回归方程的显著性检验一般采用 F 检验。

F 统计量定义为:

$$F = U / \frac{Q}{n-2} = \frac{\sum (\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum \frac{(y - \hat{y})^2}{n-2}} \quad (1-3)$$

上式中, U 为回归平方和, Q 为误差平方和, n 为样本数。F 统计量服从第一自由度 1、第二自由度为 $n-2$ 的 F 分布。即

$$F \sim F(1, n-2) \quad (1-4)$$

从 F 统计量的定义可以看出, 如果 F 值越大, 模型的效果越佳。

(3) 回归系数的显著性检验(t 检验)

回归系数的显著性检验, 就是根据样本估计的结果对总体回归系数的有关假设进行检验。一般采用 t 检验, 对于线性回归方程:

$$t_{\hat{\beta}_i} = \frac{\hat{\beta}_i - \beta}{S_{\hat{\beta}_i}} \sim t(n-2) \quad (1-5)$$

上式中, n 为样本容量, $n-2$ 为自由度, β 为回归系数的真值, $\hat{\beta}_i$ 为回归系数的估计量, $S_{\hat{\beta}_i}$ 为 $\hat{\beta}_i$ 的标准差的估计值^[80, 81]。

1.3.2 距平

距平是最常用的表示气候变量偏离正常情况的量, 一组数据的某一个数 x_i 与均值 $\bar{x}$ 之间的差就是距平即 $x_i - \bar{x}$, 气候变量的一组数据与其均值的差就构成了距平序列。在气候分析中, 常用距平序列来代替气候变量本身的观测数据, 任何气候变量序列经过距平化处理, 都可以化为平均值为 0 的序列, 这样处理给分析带来便利, 使计算结果更直观^[76]。

1.3.3 累积距平

累积距平曲线的变化可以作为气候趋势分析的另一种方法。对于序列 x_i , 其某一时刻 t 的累积距平表示为:

$$y_t = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \quad (1-6)$$

将 n 个时刻的累积距平值全部算出, 即可绘出累积距平曲线进行趋势分析, 累积距平曲线呈上升趋势, 表示距平值增加; 呈下降趋势则表示距平值减小。从曲线明显的上下起伏, 可以判断其长期显著的演变趋势及持续性变化^[47, 75]。

2. 艾比湖水位时空变化特点及原因

湖泊水位是表示湖面高低和湖泊储水量多少的度量值。受水量平衡各要素的变化及风、气压、地壳运动和宇宙力等的影响,湖泊水位存在着日变化、年内变化和年际变化。中国湖泊水位的日变化大多小于 2~3cm,尤其是较大的内陆湖泊,水位变化更小,沿海地区的一些吞吐型湖泊在进出水量急剧变化的汛期,水位的日变化较大。湖泊水位的年内变化主要取决于进出湖泊水量的变化,中国多数地区的湖泊一年中最高水位常出现在多雨的 7~9 月,冰雪融水补给量较大的湖泊,夏季水位稍有上升,而最低水位常出现在少雨的冬春季节。湖泊水位的年变幅,以长江中游的湖泊最大,淮河流域及长江下游区湖泊的水位年变幅次之,云南高原湖泊的水位变幅较小,而青海、新疆及内蒙古等地区的大型内陆湖泊,水位年内变幅最小,大多在 1m 以内。湖泊水位的年际变化,与各年降水量的多寡以及人类经济活动耗水量有关^[42]。

2.1 艾比湖水位时空变化特点

2.1.1 艾比湖水位年内变化特点

由于艾比湖为典型的浅水湖,其水位变化直观的表现湖面面积的变化。从图 2-1 中可以看出,每年 11~5 月艾比湖处于丰水期。湖面在 3 月份后,水位逐渐上升,4 月份水位达到一年内最高值,水域面积在 4 月至 5 月也为最大,2003 年 5 月的 1018 km²,2004 年 5 月的 987km²,2005 年 5 月的 966km²均为当年的最大值。每年 6~10 月艾比湖处于枯水期。5 月份以后,艾比湖水位逐渐下降,水域面积也逐渐减小,9~10 月出现最小值。据艾比湖盐场观测,1988 年 4 月至 9 月水位下降了 15cm,2003 年 9 月的 844km²,2004 年 10 月的 788km²,2005 年 10 月的 699km²均为当年的最小值^[36, 43, 46],与相应年份的最大值分别相差 174km²、199km²、267km²。但在个别年份水位的年内变化有所不同,如 2006 年 9 月的湖面面积为 860km²,几乎与当年 4 月持平,这与当月的降水量偏多有关。

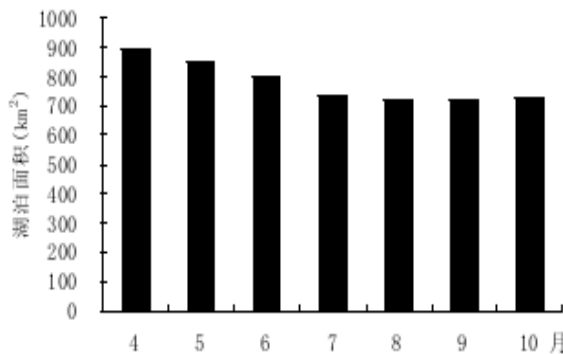


图 2-1 1999-2005 年艾比湖湖面面积月变化图

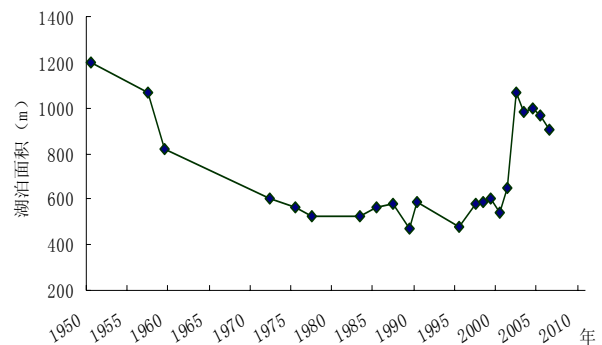


图 2-2 艾比湖湖面面积年际变化图

2.1.2 艾比湖水位年际变化特点

艾比湖水位不仅年内变化较大,年际变化也非常明显。20 世纪中叶以来,艾比湖水位经历了急剧降低、基本稳定、快速增长 3 个阶段(见图 2-2)。第一阶段是 20 世纪 50 年代初至 70 年代末,湖水位呈下降趋势:1950 年~1977 年的 27a 的时间,水位下降了 546cm,平均每年下降 20cm,湖面面积以 $25\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 的速度由 1200km^2 迅速缩小到 522km^2 ,其中 1959 年比 1957 年在 2a 的时间里减少了 247km^2 。第二阶段是 20 世纪 70 年代末至 90 年代末,湖水位比较稳定:基本处于 191~192m 之间,而湖面面积也基本维持在 $500\sim 600\text{km}^2$ 左右,但在此阶段湖面经历了两个较大的起伏变化即 1987~1989 年和 1990~1995 年,最大年均增减率分别为 $60\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $-22.8\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 。第三阶段是 2000~2006 年,湖水位迅速回升:7a 内湖面面积由 543km^2 增加到 969km^2 ,平均每年增加 60.9km^2 ,在 2002

年湖泊水位达到 195m, 湖面面积为 1060km², 几乎接近了 50 年代的水平。

2.1.3 艾比湖水位空间变化特点

由艾比湖湖水等深线示意图(见图 3-2)可以看出: 艾比湖湖盆形似西北——东南走向的一个椭圆形浅碟, 地形由西北向东南逐渐降低, 东南边缘部分海拔较低, 当湖面海拔由 190m 上升到 191m 和由 192m 上升到 193m 时, 湖面面积发生两次大的突变, 分别由 259m² 和 593m² 扩大到 568m² 和 829m², 水位每升高 1m, 面积扩大 260 m² 以上, 而湖水位每升高 1m, 面积平均扩大 147m²。(湖泊水位—面积—储水量对应关系见表 2-1)

表 2-1 艾比湖湖面海拔、面积与储水量变化情况一览表

高程(m)	湖面面积(km ²)	湖面变化量(km ²)	储水量(10 ⁸ m ³)	每上升 1m 湖面面积增量(km ²)
188	26.31	—	0.069	142.28
189	168.59	142.28	0.73	90.9
190	259.49	90.90	3.09	308.71
191	568.20	308.71	6.85	24.99
192	593.19	24.99	12.66	236.53
193	829.72	236.53	17.08	124.62
194	954.34	124.62	25.6	106.37
195	1060.71	106.37	33.71	—

数据来源: 参考文献[47, 51]

对湖泊水位变化反应最敏感的区域为湖泊西南部和东南部, 当水位由 193m 上升到 194m 时, 艾比湖湖面基本向西北方向扩展, 1950 年以来形成的干涸湖底基本可以被覆盖; 当水位继续上升, 超过 195m 时, 湖泊水面主要向东北方向扩展。

2007 年 10 月, 笔者对位于艾比湖东南部的艾比湖盐场和湖西南部博乐火车站一带进行考察时发现, 与 2004 年同期相比, 艾比湖水位下降不到 1m, 盐场地区湖水后退约 3km 左右, 艾比湖盐场老抽水泵站已经远离湖岸而无法使用, 湖水后退导致大面积湖底裸露, 位于湖泊西南边缘的博乐火车站附近, 湖水后退也使近年来已被湖水淹没的 100km² 以上的季节性裸露湖底再次出露。而同期的水位下降对湖泊南北两岸似乎没有产生太大的影响, 笔者在位于精河县蘑菇滩火车站和博州淡水养殖基地附近对湖面变化情况进行考察时发现该地湖面并没有缩小的痕迹。

表 2-2 艾比湖盐场地区水深情况

与盐场相距(m)	650	850	1050	1250	1450	1650	1850	2050
湖水深度(m)	0.24	0.3	0.3	0.36	0.35	0.26	0.4	0.5

数据来源: 参考文献[48]

2.2 艾比湖水位时空变化原因

2.2.1 艾比湖水位年内变化原因

由表 2-3 可知: 3~5 月份艾比湖主要入湖河流径流量较小, 占全年径流量的 14.8%, 但相应时期的湖泊面积却较大, 主要是由于在每年的 12 月至翌年 3 月为艾比湖的封冻期, 此间湖面温度较低, 并由冰雪所覆盖, 湖面蒸发量相对夏季要小得多, 且艾比湖主要补给河流上中游地区基本不引水, 因此湖面面积较大。随着湖面在 3 月份开始解冻, 湖面面积不断增大, 且在 4~5 月份达到最大; 6~9 月份为河流径流量最大时期, 占全年径流量的 64.6%, 但相应时期的湖面面积却最小, 主要是由于此时为夏半年, 农田灌溉大量引水导致入湖水量减少(博尔塔拉河在 6~8 月分基本处于断流状态,

精河在每年 7 月份左右也会有半个月时间断流), 入湖径流主要靠地下水补给, 并随着气温升高, 湖面蒸发量增大所致。

表 2-3 艾比湖流域主要河流径流量年内分配表

流域	河名	站 名	年内分配(%)				连续最大四个月	
			春 3-5 月	夏 6-8 月	秋 9-11 月	冬 12-2 月	时间(月)	百分比
博尔塔拉河	博尔塔拉	温泉	18.7	41	19.5	20.8	6-9	47.2
	乌尔达克赛	阿合奇	9.9	67.1	16	7	6-9	76.1
	大河沿子	沙尔托海	24.3	38.5	21.4	15.8	5-8	51.3
	哈拉吐鲁克	哈拉吐鲁克	7.1	72	15	5.9	6-9	80
精河	精河	精河山口	10.7	63.4	19	6.9	6-9	73.5
	托托	渠首	7.8	66.4	17.7	7.1	6-9	74.9
	阿恰勒	阿卡尔	25.3	37.2	20.9	16.6	5-8	48.5

参考文献:[28]

此外, 艾比湖水位及湖面面积年内变化幅度受年入湖水量的影响非常明显: 年入湖水量越小, 湖面面积年内变化程度越大; 年入湖水量越大, 湖面面积年内变化幅度越小。年内变化幅度平均在 70km^2 以上, 年内最大湖面与最小湖面之差有时可达 200km^2 之多^[43]。

2.2.2 艾比湖水位年际变化原因

艾比湖年际变化取决于入湖水量的年际变化, 入湖水量变化主要受人类社会经济用水量和河川年际天然径流量变化的影响^[66]。

表 2-4 1949—1980 年艾比湖流域人口、耕地、引水量和湖面变化情况统计表

年代	1949	1959	1972	1975	1977
人口(万人)	6.78	14.66	51.06	55.05	60.49
耕地(10^4hm^2)	2.26	11.55	16.88	17.49	18.78
引水量(10^8m^3)	3.00	13.86	17.72	18.36	19.72
湖面面积(km^2)	1200	823	589	566	518

数据来源:《艾比湖生态环境综合治理总体规划》

20 世纪 50 年代至 70 年代末, 艾比湖流域人口数量急剧增加(见表 2-4), 人口总数由 1949 年的 6.78 万增长到 1977 年的 60.49 万人, 在 27 年的时间里, 人口总数翻了 9.4 倍, 平均每年增加 1.98 万人。人口的急剧增长又导致了耕地面积的扩大, 到 1977 年艾比湖流域共有耕地面积 $18.78 \times 10^4\text{hm}^2$, 比 1949 年增加了 $16.52 \times 10^4\text{hm}^2$, 扩大了 7.3 倍。农业的大规模开发必然会带来河水的大量引用, 1977 年的引水量达到 $19.72 \times 10^8\text{m}^3$, 是 1949 年引水量的 6.6 倍, 其开发利用率达到 51%, 已经超过国际公认的 40%警戒线和新疆内陆河流域 50%的限制。由于大规模的水土开发建设, 奎屯河水系的奎屯河、四棵树河、古尔图河在 70 年代末已基本无水注入艾比湖, 博尔塔拉河和精河就成为艾比湖两条主要补给河流, 而博尔塔拉河、精河因上、中游大量引水, 致使下游来水量减少。艾比湖入湖地表水量由 1949 年 $30 \times 10^8\text{m}^3$ 减少到 1977 年的 $7 \times 10^8\text{m}^3$ 。艾比湖入湖水量的减少直接造成其水位的下降和湖湖面积的萎缩, 1977 年的湖面面积比 1949 年减小了 682km^2 , 仅是 1949 年湖面面积的 43%。因此人类活动加速了艾比湖湖面的变化速率。据统计, 人类平均每开垦 666.7hm^2 土地, 湖面约退缩 2.25km^2 。本阶段农业灌溉耗水等人类活动对艾比湖湖面变化的贡献率较大, 而流域温度、

降水变化对湖面波动所产生的效应却难以敏感体现。

20 世纪 70 年代末至 90 年代末, 由于奎屯河下游基本处于断流状态, 博河、精河的河流特性又大大限制了艾比湖流域农业引水量的增加, 再加上此阶段人口增长较缓慢(见表 2-5), 平均每年增加 0.7 万人, 耕地面积扩大了 1.4 倍, 速度仅为前阶段的 1/3, 入湖水量变化不大, 在 80 年代湖面面积基本稳定在 500km²。进入 90 年代以来降水增加很多, 水土资源开发趋于稳定, 再加上节水技术的广泛应用, 农业引水量基本保持稳定, 导致入湖水量比 80 年代有所增加^[46], 湖面也有所扩展。本阶段气候变化对艾比湖湖面变化的贡献率较大, 随着人类农业活动对湖面变化的影响趋向稳定, 流域温度、降水变化对湖面波动所产生的效应也有所体现。

表 2-5 1980-2000 年博州人口、耕地、入湖水量和湖面面积变化情况统计表

年份	1980	1985	1990	1995	2000
人口(万人)	27.48	29.31	32.36	37.45	41.37
耕地面积(万亩)	79	83	87	95	107
入湖水量(亿 m ³)	7.43	—	5.08	4.81	4.44
湖面面积(km ²)	520	560	590	476	543

数据来源: 参考文献[49-50]

2000 年至 2006 年, 艾比湖水面有所扩大, 其主要原因是近几年环湖地区降雨量明显增多, 入湖水量随之增加所致。根据气象资料, 2002 年在湖西约 60km 的博乐市, 年降水量达 322.3 mm, 较多年年平均降水量增加 80%左右。按照当地气象历史资料推算, 2002 年的降水量在当地约 500 年一遇, 而当年入湖水量为 $12.11 \times 10^8 \text{ m}^3$, 是多年平均入湖水量 $5.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的两倍还多。2002 年 10 月艾比湖水域面积达到 60 年代以来的最大值 1057km²。2003 年以后, 博尔塔拉河和精河的入湖水量基本与常年持平, 人口和耕地面积的增幅不很明显, 因此艾比湖面积比较稳定, 基本维持在 800~900km²^[47]。

2.2.3 艾比湖水位空间变化原因

艾比湖湖盆区发育在加里东褶皱基础上, 是相对稳定的准噶尔地块的三级构造单元——艾比湖拗陷。拗陷东北及西南有两组与湖体大致平行的基底断裂通过。拗陷东北岸的一组大断裂在新疆境内延伸 40km 左右, 断层走向 300°。以艾比湖拗陷和玛依拉褶皱带为界, 拗陷西有阿拉山口深水大断裂, 全长达 250km, 断层面倾向东南, 有宽达 60 米的破碎带。艾比湖拗陷西南的断裂则又与天山地槽和乌鲁木齐山前拗陷分界^[39]。艾比湖盆地的水文、地质基础决定了湖盆形态的演化方向和湖泊水域面积随水位变化而产生的变化方向和范围。

3 艾比湖水位变化对湖滨湿地荒漠化的影响

如前文所述，艾比湖湿地主要荒漠化类型包括盐渍化和沙漠化以及二者交替作用所形成的部分复合荒漠化土地。此外，艾比湖干涸湖底因其含盐量丰富和紧邻风口的特点也使其成为艾比湖湿地荒漠化过程中的一个独特组成部分。由于不同类型的荒漠化土地成因机制也有所不同，故下文分四个部分分别就水位变化对不同类型荒漠化的影响进行推理和论证。

3.1 艾比湖水位变化对土壤盐渍化的影响

3.1.1 土壤盐渍化的形成与影响因素

盐渍化是指干旱、半干旱地区人类活动与脆弱的生态环境相互影响而引起的土地退化现象^[69~70]。盐渍化有原生盐渍化和次生盐渍化之分^[77~78]。影响土地盐渍化的主要因素有地下水位、地下水矿化度和土壤类型^[53]。

地下水位埋深对盐渍化的影响主要是通过潜水蒸发，表现为蒸发量随水位埋深增加而减少。潜水蒸发过程中，水分的不断损失造成溶解在潜水中的盐分持续聚集于土壤上层，最终导致土壤盐渍化。一些学者采用经验公式计算土壤潜水蒸发和积盐速率，并得出表土积盐量与地下水埋深呈负指数关系，而与蒸发量呈线性关系^[79]（见表 3-1）。一般情况下，3.5~4m 为地下水埋深的临界水深，土壤停止积盐；3.0~2.5m 微弱积盐，与积盐最强烈的 0.5m 深度比较积盐速率仅为其的 2%~5%；从 2.0m 开始积盐速率迅速提高，当地下水埋深为 1.5m 时速率比 2m 深度快 0.43 kg/m²a，在 1.0m 时的积盐速率为 1.57，为 0.5m 的 0.53 倍。艾比湖流域研究区内地下水埋深小于 1m 为重度盐渍化，1~2.5m 为中度盐渍化，2.5~3m 为轻度盐渍化，3 米以下不发生盐渍化。

表 3-1 不同地下水埋深的土壤 0~50cm 土层积盐速率

	地下水位埋深(m)							
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
积盐速率(kg/m ² a)	2.95	1.57	0.79	0.36	0.15	0.05	0.01	0
与 0.5m 的积盐率比较 (%)	100	53	26	12	5	2	0	0

资料来源：参考文献[53]

地下水矿化度是指每升地下水中含盐的克数（g/L），它决定着由地下水进入土体盐分的多少，生产上将开始引起土壤盐渍化的地下水矿化度称为临界矿化度。地下水的矿化度越高，土壤表层积盐速率越快，土壤盐渍化程度越高；反之，则不易发生盐渍化。地下水矿化度总是与地下水位埋深共同影响着土壤盐渍化的程度，一般来说地下水位越高，矿化度越大，土壤积盐程度越严重，当地下水埋深在 3m 以下，地下水矿化度小于 1g/L 时则不会发生盐渍化现象（表 3-2）。

表 3-2 地下水埋深及矿化度对土壤盐渍化程度的影响

盐渍化程度	地下水埋深（m）	地下水矿化度（g/L）
非盐渍化土地	>3	0.5~1
轻盐渍化土地	2~3	1~5
重盐渍化土地	0.5~2	2~10

资料来源：参考文献 [68]

土壤质地与土壤蒸发量有着密切的关系，通常把某种土质潜水蒸发趋近于零的深度称为该种土质的极限蒸发深度，当潜水埋深大于极限蒸发深度时，潜水的蒸发强度为零。极限蒸发深度在理论上是不存在的，但可说明当地下水埋深极大时，潜水蒸发十分微弱，可近似为零。在同样气候条件

下,不同的土壤质地其极限蒸发深度不同。从表 3-3 可以看出,随着土壤颗粒的加大,潜水蒸发极限深度逐渐变浅,也就是说,在相同的水文地质条件下,土壤颗粒越细,潜水极限蒸发深度越深,土壤盐渍化程度越严重。

表 3-3 不同土壤质地的潜水蒸发极限强度 (单位:米)

土壤质地	砾石	砂土	砂质壤土	壤土	粉砂壤土	粘壤土
极限深度	0.75	1.50	2.50	3.50	4.50	4.50

资料来源:参考文献 [53]

3.1.2 艾比湖水位变化对土地盐渍化的影响

艾比湖湖滨地区由于地形、地貌、成土母质、水分条件等的不同而形成了不同类型的土壤。湖西北面土壤质地基本为石砾,土壤粒径大于 0.1mm 的土粒占全部土壤 55%左右,其余皆为砾石;湖的南北两岸,上层土壤中 0.1-0.25mm 的粒径所占比例在 35%左右,以面砂或砂土为主;湖的东南侧,土壤中 0.25-0.05mm 的粒径所占比例在 45%以上,为粗砂或砂土^[54]。从土壤质地来看,艾比湖湖滨地区地下水极限蒸发强度大约在 1.5m 左右,潜水极限蒸发深度较浅,湖滨土壤只有在地下水位小于 1.5m 时开始积盐。

艾比湖湖滨不同地点地下水矿化度高低与该点距离湖岸的远近存在明显的负相关关系,赵枫^[44]等人对艾比湖湿地阿其克苏河北岸地下水矿化度的研究表明,在艾比湖盐场地区,地下水矿化度可达 6.79g/L,随着离湖距离的增加,地下水矿化度逐渐呈下降趋势。在东大桥管护站以东 9km 处矿化度已降低到 1.01g/L;在塔桥子管护站附近仅有 0.35g/L。

艾比湖湿地地下水埋深和矿化度的高低与艾比湖水位之间具有非常密切的联系,当湖泊水位低于湖滨地下水位时,由地下水补给湖水,地下水位和矿化度都会降低;反之,则湖水补给地下水,地下水水位及矿化度都会升高。地下水位升高,则原有重度盐渍化土地会向极重度盐渍化演变,轻度盐渍化土地向重度转变,未盐渍化土地会发生轻度盐渍化,随地下水位上升高度的不同,盐渍化发生的面积和程度也会发生相应的变化。但地下水位下降,盐渍化土地面积和程度也不会随之减轻。

根据卫星照片的监测和解译:2000 年 10 月艾比湖面积为 543km²,水位 190m 左右,此阶段盐渍化面积为 1503.53 km²,2002 年艾比湖面积扩展到 1060km²,湖泊水位达到了 195m 以上,盐渍化面积却为 1364.05km²。表面看来,艾比湖水位上升,盐渍化面积反而减少了,这主要是因为艾比湖水位上升导致湖面扩大,从而将原有盐渍化土地覆盖所致,一旦湖泊水位下降,湖面缩小,则湖泊高水位运行所带来的后遗症——土地盐渍化问题就会显露出来:2005 年 8 月以来,艾比湖湖面缩小到 700km²,盐渍化面积上升到 1704.07km²,比 2000 年增加 200.54 km²。这足以说明,湖泊水位升高时,湖滨地下水位相应升高,湖泊周围的土地盐渍化范围扩大;湖泊水位下降时,湖滨地下水位随之下降,但土壤盐渍化范围和程度不会在短时间内缩小。

表 3-4 艾比湖地区盐渍化面积动态变化 (km²)

年份	湖泊水位	湖面面积	盐渍化	风蚀—盐渍化	盐渍化总面积
2000	190.41	543	1219.76	283.77	1503.53
2002	195.21	1060	1141.68	222.37	1364.05
2005	194.13	969	1185.01	519.05	1704.07

数据来源:参考文献[32, 38, 63]

人们通常认为艾比湖湿地表层土壤含盐量增高可使植被衰败,还可使大气沙尘中充满盐分,并且具有腐蚀性的盐尘对沿湖铁路道轨、牧草和居民具有较大的危害。但 Siriger 在研究咸海盆地南部时注意到高含盐量的细粉沙质土壤中粉尘的释放量很低。详细分析后发现,盐晶体可和细颗粒物在土

壤表层形成稳定的结皮,对土壤起着保护作用。但同时也发现结皮的抗风蚀性对土壤粒度较敏感,沙质土壤上的盐结皮易破损,而使土壤释放出沙尘。笔者于2007年10对艾比湖进行环湖考察时发现,在艾比湖地区土壤质地以多砾质粉沙壤土、粘质壤土为主,故盐分的作用有利于土壤的抗风蚀性^[65]。在人类活动较少的地方、土壤表层盐结皮比较完整,大风作用在坚硬的盐结皮上基本不会起沙;但在遭受人类活动影响的地方,盐结皮几乎全被破坏,这部分地区成为艾比湖地区沙尘天气的主要补给源。

3.2 艾比湖水位变化对干涸湖底风蚀的影响

3.2.1 艾比湖干涸湖底类型及分布

根据艾比湖湿地的自然地理特征,可将艾比湖湿地划分为湖泊水域、湖滨风浪作用带、间歇性干涸湖底和沿岸沼泽平原等4个部分。其中,湖泊水域为湖体;湖滨风浪作用带为裸露的平地,地下水位接近地表,地表经常保持湿润和盐结皮,不适宜于植被发育;沿岸沼泽平原是天然绿洲的组成部分。但这三部分并不是艾比湖的主要尘源,主要沙尘来自间歇性干涸湖底。艾比湖水位年内、年际变化较大的特点决定了艾比湖湖底不同季节、不同年份出露面积和出露部位的不同。利用中巴资源卫星所提供的2004年8月的艾比湖地区卫星影像图并结合实地考察资料对艾比湖干涸湖底进行分类,确定艾比湖干涸湖底内部由于各个部位出露年代以及水分、地形的不同而形成了龟裂区、盐泥区、疏松裸土区和植被覆盖区四个不同的区块。



图 3-1 艾比湖干涸湖底类型图

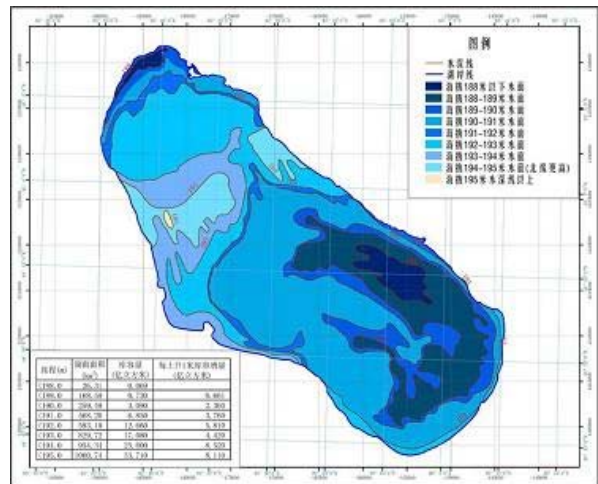


图 3-2 艾比湖湖水等深线图

龟裂区主要位于干涸湖底的西北部,面积 157.97km^2 。由于干涸时间较早,原来高度含盐的蓬松表土层已被风蚀殆尽,地面非常平整,地表有零星白色盐霜且有明显龟裂缝,质地非常粘重,常形成巨大的板层状结构,干燥而结实,地表有少量风蚀痕迹,抗风蚀能力较强,但经物理化学风化后仍能起沙扬尘。目前,已成为一个巨大的风蚀洼地,是干涸湖底风蚀物质的主要来源;疏松裸土区主要位于干涸湖底的中部,面积 252.70km^2 ,主要由龟裂区吹来的风蚀物质堆积而成,由于盐分含量极高,经过冻融、干湿交替变化,表层物质变得极其松散,极易风蚀,遇到干燥大风天气,往往形成沙盐尘暴,其中细小颗粒继而形成高空中远距离漂移的浮尘;盐泥区主要位于湖滨及干涸湖底低洼处附近,面积 55.64km^2 ,地面潮湿泥泞粘重,只有个别地势稍高的干燥处有轻微风蚀痕迹,局部地区地面覆有厚 1cm 左右的盐壳,地下水埋深约为 1m ,矿化度约 130g/L ;植被覆盖区主要分布在泉水溢出点附近等水分状况较好的区块。共有两处,一处在西部的乌兰达布森泉水周围,面积 9.33km^2 ;另一处在玛依拉山东部洪积扇缘,从拉巴河口至库夏奇沟沿扇缘呈带状分布,长约 14.26km ,宽约 0.67km ,其上生长的植被属于盐生植被,无乔木,主要是灌木、半灌木和草本植物,覆盖度约为 $20\sim 70\%$,主要植物种类有芦苇、怪柳、盐豆木、白刺、盐节木^[57]。

3.2.2 水位变化对干涸湖底风蚀的影响

以1950年艾比湖 1200km^2 的水域面积为基准,在此后的半个世纪,随着湖泊水域面积的波动变化,艾比湖周边地区干涸湖底的出露经历了三个阶段(见图3-3):50年代初到70年代末的30年时间里,干涸湖底面积急剧增加,由50年代初开始迅速扩大,在70年代中期达到 600km^2 左右;80年代初到20世纪末,由于艾比湖一直处于低水位运行,干涸湖底大致稳定在 $600\sim 700\text{km}^2$ 之间;2000年以后,艾比湖水域面积迅速扩大,干涸湖底基本被湖水覆盖,面积基本稳定在 300km^2 以下。

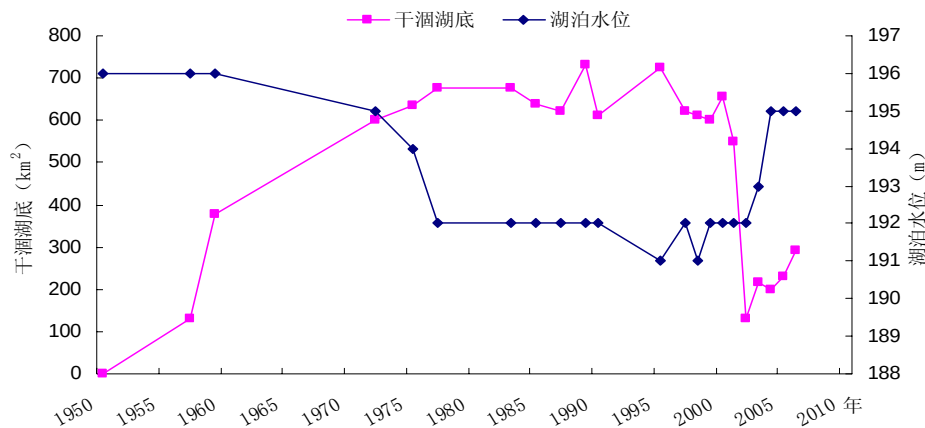


图 3-3 艾比湖干涸湖底面积变化情况

由前文可知,干涸湖底中可提供沙尘源的部分主要是龟裂区和疏松裸土区,造成该区域风蚀的主要原因是干涸湖底的裸露。从下表可看出,干涸湖底面积和精河县沙尘日数之间具有明显的相关关系。经计算,其相关系数可达0.5,且通过了0.05的显著性检验。意即干涸湖底出露面积的大小对于沙尘日数的发生具有较大的贡献。1985年和1997年湖面面积变化幅度并不大,但精河县沙尘日数却大相径庭,这可能与当年的气候条件有关。一些专家曾经对艾比湖萎缩引起的环境问题,特别是湖底风蚀引起的粉尘及盐尘危害问题提出过物理覆盖、化学覆盖和植被覆盖等多种治理方案,但是都因各种缺陷而无法实施。根据湖泊面积与水位的对应关系,可以发现当湖泊水位达到或超过193m时,艾比湖面积可以维持在 800km^2 左右,沙尘日数基本处于10d以下,干涸湖底风蚀即可得到有效控制;当水位降到192m时,艾比湖水域面积仅可维持 600km^2 左右,沙尘日数平均在50d以上^[58]。

表 3-5 艾比湖干涸湖底面积与精河县沙尘日数变化关系

年份	干涸湖底 (km^2)	沙尘日数 (d)	年份	干涸湖底 (km^2)	沙尘日数 (d)
1959	377	10	1997	620	109
1972	600	10	1998	610	61
1975	634	58	1999	600	58
1977	678	50	2000	657	21
1983	678	58	2001	550	16
1985	640	102	2002	140	6
1987	620	37	2003	216	3
1989	730	20	2004	200	14
1990	610	18	2005	231	6
1995	724	71	2006	292	6

数据来源:沙尘日数来源于新疆天气网,干涸湖底数据根据参考文献[48]整理后得到

3.3 艾比湖水位变化对土地沙漠化的影响

沙漠化又称为风蚀荒漠化,是指干旱、半干旱地区(包括一部分半湿润地区)的生态平衡遭到破坏而使绿色原野逐步变成类似沙漠景观的过程^[82]。沙漠化的过程包括发生、发展和形成三个阶段。发生阶段是潜在性的沙漠化,仅存在发生沙漠化的基本条件,如气候干燥、地表植被开始被破坏,并形成松散的流沙沉积等;发展阶段是地面植被已经被破坏,发现风蚀、粗化、斑点状流沙和低矮灌丛沙堆,随着风沙活动的加剧,进一步出现流动沙丘或吹扬的灌丛沙堆;形成阶段是地表广泛分布着密集的流动沙丘或吹扬的灌丛沙堆^[68]。产生沙漠化的因素有自然因素和人为因素。自然因素有干旱(基本条件)、地表形成的松散砂质沉淀物(物质基础)、大风的吹扬(动力)等。人为因素有过渡放牧、过渡垦殖、过渡樵采和不合理地开发利用水资源等。风蚀荒漠化发展过程有明显的指征,一般表现为干燥度的增加、风沙的侵袭、水分条件的改变、植被覆盖度的减少和种群的变化以及沙质荒漠范围的扩大等等^[59],艾比湖流域沙漠化主要表现为植被的变化和风沙的侵袭。

艾比湖湿地西邻四大风口之一的阿拉山口,境内降水少、蒸发大、气候主要以干旱为主,东接古尔班通古特大沙漠,地表物质主要是历史以来因艾比湖萎缩而出露的疏松湖相沉积物。整个湿地生态环境非常脆弱,具备沙漠化发生的所有自然条件。在水分条件改变的条件下,地表植被极易发生逆向演替,从而为大风提供充分的沙源,导致流域沙尘侵袭程度的加剧。

3.3.1 水位变化对植被的影响

3.3.1.1 艾比湖湿地主要植被类型及其分布特点

据调查,艾比湖湿地主要植被有梭梭荒漠、盐节木荒漠,柽柳灌丛、胡杨林、芦苇草甸和芦苇沼泽等。由于不同地貌部位土壤水盐含量不同,不同植被的空间分布也具有一定的规律性。盐生植物集中分布于距离湖岸 300~700m 的区域,其土壤含盐量 0.6~3.0%,中旱生植物集中分布于距湖岸 700m 以远的地方,在 1000m 处出现概率几乎稳定,土壤含盐量在 0.5% 以下^[60]。

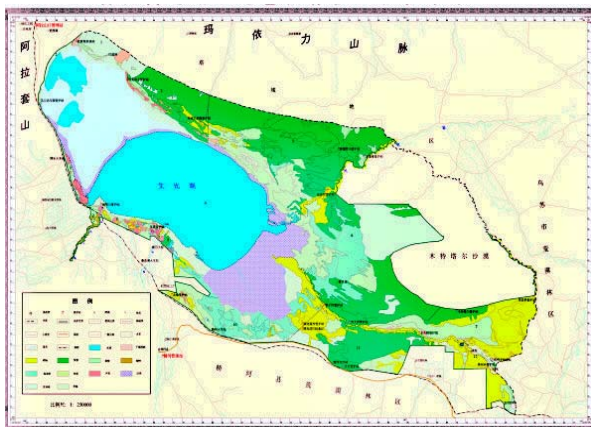


图 3-4 艾比湖湿地植被类型图



图 3-5 艾比湖湿地水文地质图

梭梭荒漠广布于艾比湖地区的砾质戈壁、盐化土壤土及沙土上,是分布最广的一种植被类型,伴生植物有膜果麻黄、琵琶柴、沙拐枣、肉丛蓉和一些短命植物。梭梭耐旱能力突出,但耐盐能力相对较弱。梭梭一般生长在表层土壤盐分小于 3% 的地方,其适生水位为大于 1.5m,在 3~7m 之间生长良好,在 1.5~3m 和 7~10m 之间生长一般,而在大于 10m 的地方生长状况较差。

柽柳灌丛广布于河流下游的河漫滩、阶地和三角洲的局部积水、土壤盐分重的地带,在湖滨一般是在距湖稍远的盐节木荒漠的外侧。柽柳的耐盐能力非常强,地下水矿化度 9g/L 以下均可生存,适生水位小于 10m,在 1~5m 之间生长最好,小于 1m 和 5~7m 之间生长中等,7~10m 之间生长较差。

胡杨林主要分布于河流下游新老河道附近及扇缘潜水溢出带等地段,林下有灌木、半灌木及草

本植物，如怪柳、铃铛刺、梭梭、芦苇、芨芨草、灰绿黎等。胡杨只能在地下水矿化度 5g/L 以下才可生存，其适生地下水位埋深为 1~10m, 1.5~3.5m 之间生长最好, 1~1.5m 和 3.5~5m 之间生长较好, 5~8m 生长一般, 8~10m 时趋于死亡。

芦苇沼泽分布于河流下游死河叉、牛扼湖及湖滨地带积泉水而成的水洼。芦苇草甸主要分布于各入湖河流下游及排水干渠入湖口附近的阶地上，是由芦苇沼泽演替而来，伴生盐节木、芨芨草、骆驼刺、罗布麻等。芦苇的耐盐能力较强，适生水位为-0.95~1.23 m，-0.23~0.60m 之间生长最好。

盐节木荒漠广泛分布于湖滨及扇缘带盐土洼地。盐节木适应盐土能力极强，在地表 0.05~0.1m 厚的盐壳地上，土壤含盐量在 10~20%之间仍可呈团块状分布，它对潜水矿化度和潜水位适应幅度较宽，从潜水位 0.2~1m 生长最好^[22, 61-62]。

表 3-6 艾比湖周边地区典型植被适生地下水位(单位: m)

植被	适生水位	生长最佳	生长较好	生长一般	生长较差
胡杨	1~10	1.5~3.5	1~1.5/3.5~5	5~8	8~10
梭梭	>1.5	3~7	—	1.5~3/7~10	>10
红柳	<10	1~5	—	<1/5~7	7~10
芦苇	-0.95~1.23	-0.23~0.60	-0.41~-0.23 0.6~0.69	-0.41~-0.64 0.69~1.01	-0.64~-0.95 1.01~1.23
盐节木		0.2~1			

资料来源：参考文献[22, 61-62]

表 3-7 不同植被的耐盐能力一览表

植被名称	胡杨	红柳	芦苇	梭梭	盐节木
矿化度 (g/L)	5	9	8	6	10

资料来源：参考文献 [74]

3.3.1.3 水位变化对植被覆盖程度变化的影响

植被覆盖度是衡量荒漠化程度的一个重要指标，但艾比湖周边地区植被覆盖变化情况没有连续的观测资料，尤其是 20 世纪 90 年代之前，对于艾比湖植被退化情况的研究也较少。在查阅大量文献资料的基础上，本文虽然获取了一些关于研究区植被覆盖度变化情况的资料，但由于资料来源不同、测量方法差异等多方面的原因，数据的一致性和可比性较差。但从总体上来说，上个世纪的后 50 年里，艾比湖地区植被退化的趋势是非常明显的。据 20 世纪初的《新疆图志》记载“沙泉子(在精河东)驿遍生红柳、梭梭，精河沿途林木阴森，长有杨、柳、桃果、榆等。出城杂树夹道，过此，芦苇一望无际。大河沿苇湖浅滩间生红柳，距大河沿数里，榆树成荫，河两岸柳多……”。到 20 世纪 50 年代初，艾比湖湖滨仍有天然梭梭林 6.60×10⁴hm²，盖度 60~70%；胡杨林 3.80×10⁴hm²，盖度 70%；芦苇 4.60×10⁴hm²，盖度 80%；还有草甸草场 12.0×10⁴hm²，共 27.0×10⁴hm²。而 20 世纪 50 年代以来，由于人类活动的影响，艾比湖湖滨地区地下水位下降，加上过牧及以往的樵采和毁林开荒，导致艾比湖湖滨大量天然植被衰败甚至消亡，荒漠林减少 62%，仅存 4.3×10⁴hm²，芦苇衰亡 94%，仅有 0.26 ×10⁴hm²^[47]，剩余植被正以 3980 hm²·a⁻¹的速度变为沙漠^[31]。

3.3.1.4 水位变化对植被演替方向变化的影响

在显域环境中，艾比湖湿地内部植被为梭梭荒漠和麻黄荒漠；在局部土壤盐分较低但水分充足的条件下主要发育芦苇沼泽；土壤水分充足且盐分极高状态下发育盐节木荒漠和其它多汁盐柴类荒漠。芦苇沼泽在地下水位下降，土壤发生轻度盐渍化时向芦苇草甸演化；当水位进一步下降，盐渍化进一步加重时向盐化草甸演替，土壤表层常有盐结皮，芦苇生长矮小，伴生芨芨草、骆驼刺、罗布麻、盐节木等耐盐植物。当土壤进一步盐化，则出现怪柳灌丛、芦苇—盐节木荒漠和怪柳—盐节木荒漠，当怪柳

等植物也无法耐受高浓度盐分时，形成单优势盐节木群落。胡杨林在水分条件不足，土壤盐化程度加重时，幼苗难以更新，会出现林相衰败，退化为铃铛刺等灌丛，在土壤沙化而积沙时往往演替为梭梭沙包，以白梭梭林替代胡杨林。在不考虑土壤盐分变化的情况下，如地下水位下降到 10m 以下时，所有植被均将枯死，整个艾比湖湿地将全部变为裸地。

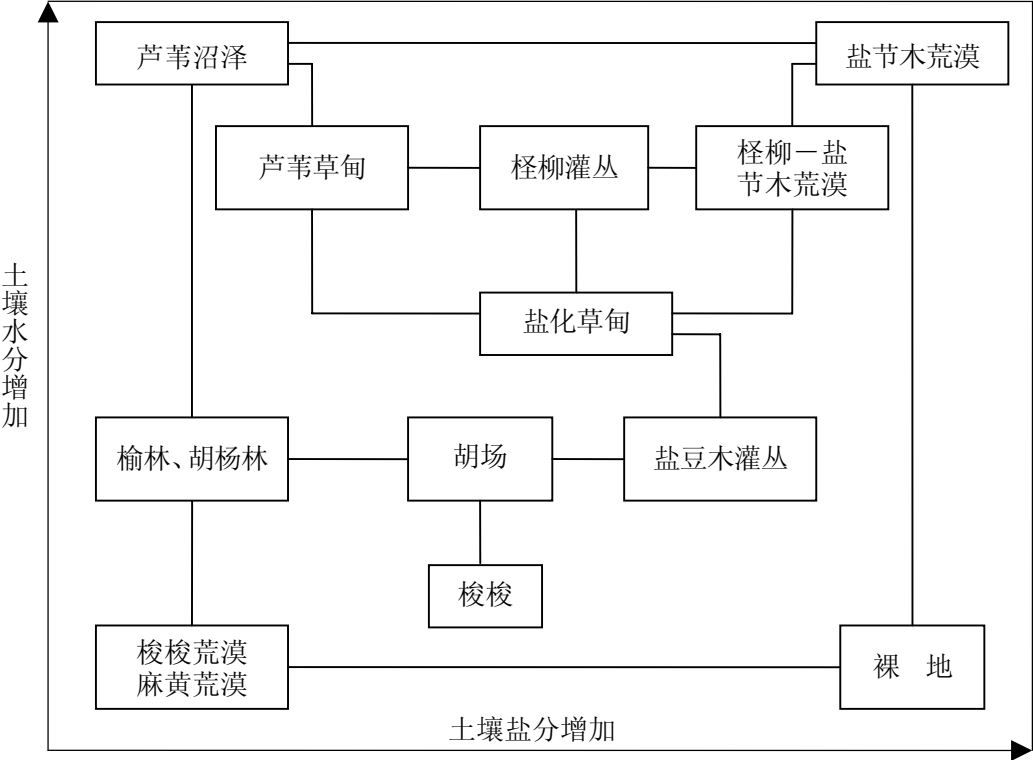


图 3-6 艾比湖地区主要植被类型的演替规律

由于水位的下降，艾比湖周边地区生态系统发生逆向演替。主要表现为：植被群落由湿生、中生向旱生、超旱生和盐生、耐盐生种类演替，超旱生小乔木密度降低，建群种植株高度降低，耐盐碱的梭梭、碱蓬、猪毛菜等减少，根系发达的固沙植物白梭梭、沙拐枣、沙蓬、对节刺等种类减少，白梭梭年龄结构“老龄化”，幼龄植株稀少，更新缓慢。

表 3-8 艾比湖地区土地类型及动态变化一览表

地类	2002 年		2005 年	
	面积(km ²)	百分比(%)	面积(km ²)	百分比(%)
灌木林地	1256.6052	42.51	1178.5462	39.86
疏林地	248.96051	8.42	262.7333	8.89
阔叶林	54.76243	1.85	40.99414	1.386
沙生灌丛	182.59491	6.18	238.3673	8.06
宜林荒地	93.65424	3.17	110.4142	3.73
草地	81.89255	2.77	86.9926	2.94
难利用地	76.00181	2.57	76.00181	2.57
其他	961.8003	32.53	962.2224	21.53
合计	2956.272	100	2956.272	100

数据来源：参考文献[32]

上表是 2002 年至 2005 年之间艾比湖湿地植被动态变化情况。由表中数据可以看出：在短短的三年时间里，随着艾比湖面积的萎缩，灌木林地、阔叶林都呈现出减少的趋势；疏林地、宜林荒地和沙生灌丛都出现了增加的趋势。尤其是沙生灌丛的面积由 2002 年的 182km^2 增加到 2005 年的 238km^2 左右，增长面积占艾比湖湿地总面积的 2% 左右。也就是说，艾比湖湿地沙漠化趋势非常明显。

3.3.2 水位变化对风沙侵袭的影响

众所周知，沙尘天气的发生必须具备强风、沙尘源和不稳定的热力条件三种因素。除此之外，前期干旱少雨、天气变暖、气温回升等因素也是沙尘天气形成的特殊的天气和气候背景。艾比湖西北部紧邻著名的风口——阿拉山口，该山口由西北向东南倾斜，与艾比湖湖盆长轴方向基本保持一致，是一个落差达 150 米左右的狭长谷地，来自阿拉山口的大风沿西北——东南方向越过艾比湖湖面，在精河东南遇到突出的天山支脉喀拉久特山后分为两支，一支向东刮向准噶尔盆地，另一支向西北席卷博乐一带，艾比湖周边绿洲城镇均在阿拉山口大风影响范围之内^[78]，尤其是处于阿拉山口下风向的精河县，是受风沙之苦最严重的地区。

3.3.2.1 大风日数和沙尘日数的年际变化

从艾比湖地区各县市平均大风和沙尘日数统计表可看出，全流域大风日数之和存在明显的下降趋势，其线性变化率达 $-21\text{d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ，相关系数为 0.78，达到 0.001 的显著性水平^[34]。其中，大风日数最多的时候出现在 1963 年，为 295d；最少出现在 1993 年，仅为 156d，其最大最小倍比为 1.9。

表 3-9 艾比湖地区各县市平均大风和沙尘日数统计表(d)

	阿拉山口		温泉		博乐		精河		乌苏	
	大风	沙尘	大风	沙尘	大风	沙尘	大风	沙尘	大风	沙尘
1953—1960	134	2	12.8	2.3	10.0	0.25	17.8	18.6	7	14.6
1961—1970	163	1.1	18.7	11.9	13.7	4.4	46.8	21.1	15.2	15.2
1971—1980	160	2.3	27	19.1	11.3	2	26.5	35.4	10.6	22.9
1981—1990	159	3.9	23.4	10.2	5.7	2.5	17	56.1	1.9	21.3
1991—2000	144	3.3	23	8.3	1.7	0.2	15.6	56.5	1.6	9.6
2001—2007	121	1.0	21.7	2.4	2.1	0	13.4	7.4	1.6	5.2
平均	146.8	2.3	21.1	9.0	7.4	1.6	22.9	32.5	6.3	14.8

资料来源：新疆天气网

再从各站点看：20 世纪 50 年代以来，阿拉山口年大风日数平均都在 146 天以上，紧邻艾比湖畔又处在阿拉山口下风向的精河县年均大风日数却不超 23 天；大风日数最多的阿拉山口年均沙尘日数不超过 3d，而年均大风日数远较阿拉山口少得多的精河县沙尘日数却基本在 20d 以上，在 20 世纪 80 年代到 20 世纪末的 20 多年里，甚至高达 50d 以上，1997 年曾一度达到 109d。大风日数多的阿拉山口沙尘日数较少，大风日数较少的精河县反而沙尘频发。由此不难看出，广泛影响北疆地区的沙尘天气其沙尘源头并非来自中亚其他国家，而是艾比湖周边的荒漠化土地。

3.3.2.2 水位变化对沙尘日数的影响

将 1957 年以来与沙尘天气发生日数具有一定关系的艾比湖水域面积、阿拉山口大风日数、精河县沙尘日数、年均降水量 5 组数据进行相关分析，发现精河县沙尘日数与艾比湖水域面积呈现明显负相关，相关系数为 -0.57095，达到 0.01 的相关性水平；与年均降水量和大风日数之间的相关性较差，相关系数仅为 0.147065 和 -0.26999。从图 3-7 中也可以看出，艾比湖沙尘天气日数与湖面面积表现出恰好相反的变化趋势，这足以说明两者存在密切的关系。此外，20 世纪 50 年代至 80 年代初精河县沙尘日数逐年增加和 80 年代以后沙尘日数居高不下的局面并不是由阿拉山口大风日数决定的，而

是由于艾比湖周边地区风蚀荒漠化面积增长所致。

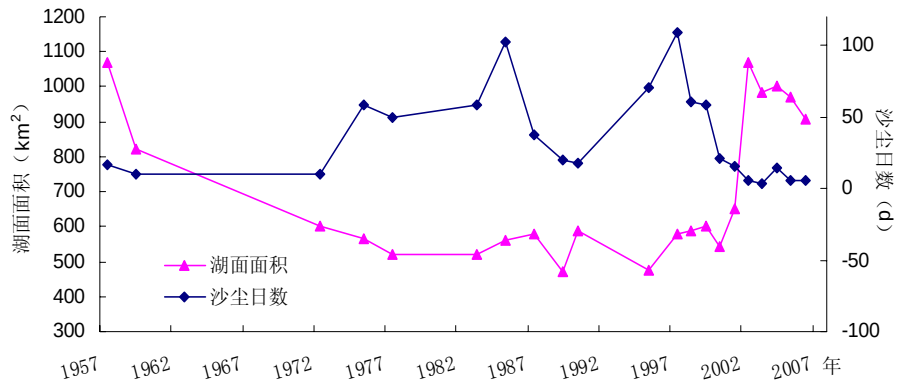


图 3-7 艾比湖湖面面积与精河县沙尘日数关系图

20 世纪 50 年代初到 70 年代末，艾比湖湖面急剧变小，而同期艾比湖周边各县市沙尘发生日数基本都呈现出由少到多逐渐增加的趋势；70 年代末到 90 年代末，湖水面波状起伏，艾比湖周边地区的沙尘日数也表现为上下起伏；2000 年后湖水位有所回升，而其沙尘日数也呈现出减少之势。

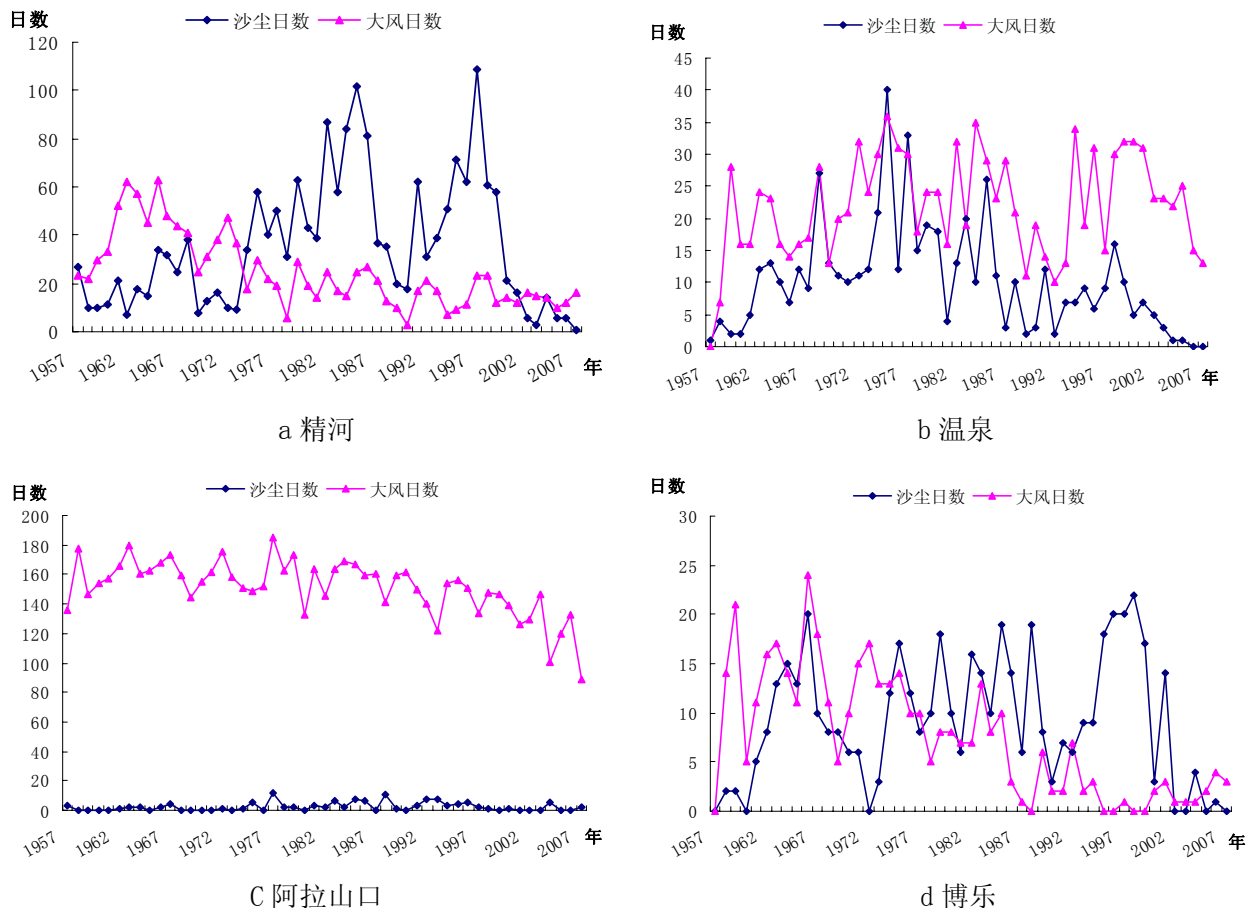


图 3-8 艾比湖周边县市沙尘与大风日数变化曲线图

精河县尤为突出，60 年代以前年平均沙尘发生日数为 18.6d，60 年代增加到 21.1d，到 70 年代达 34.5d；温泉和博乐两地也有所增加，但增幅较小；阿拉山口增长幅度最小；80 年代初到 90 年代末，艾比湖一直维持在 $500\sim 600\text{km}^2$ 的低水位运行，同期阿拉山口大风日数略呈下降趋势，但艾比湖

周边各县市沙尘发生日数却居高不下, 仍然以精河县为最, 年均沙尘日数均在 56d 以上, 就连增幅最小的阿拉山口都比 50 年代翻了一番, 由 80 年代以前的年均不到 2d 增长到 80 年代之后的年均 3d 以上; 2000 年以后, 艾比湖湖面呈持续上升之势, 各县市大风日数变动情况不大, 而同期艾比湖周边各县市沙尘日数都呈现出突然减少的趋势, 受沙尘之苦最重的精河县年均沙尘日数仅为 7.4d, 博乐则基本没有沙尘天气发生。

3.3.3 水位变化对艾比湖湿地沙漠化的影响

艾比湖地区风蚀荒漠化的发育在晚更新世以来就已开始。据历史记载, 元朝的邱处机(长春真人)曾对精河附近的沙漠做过细微描述, 述其“沙细, 遇风则流, 状如惊涛, 乍聚乍散, 寸草不萌, 车陷马滞”。^[22]

通过对艾比湖地区风蚀荒漠化面积进行分析, 2000 年湖面面积仅有 543km², 相应的湖泊水位也较低, 在 190m~191m 之间, 此时的风蚀荒漠化面积最大, 为 1047.79 km²; 2002 年湖面面积 1060 km², 湖泊水位, 最高为 195m, 风蚀荒漠化面积最小, 为 583.33 km², 比 2000 年减小了 464.46 km², 变率为 232.23 km²·a⁻¹; 2005 年湖泊水位有所回升, 达到 194m, 风蚀荒漠化面积减小为 941.99 km², 比 2000 年减小了 105.8 km², 变率为 21.16 km²·a⁻¹, 比 2002 年增加了 358.66 km², 变率为 119.55 km²·a⁻¹。这说明水位上升, 风蚀荒漠化面积减小, 植被生长良好, 艾比湖地区沙尘日数减少; 当水位下降时, 风蚀荒漠化面积增大, 导致艾比湖周边地区的植物退化, 沙尘日数增加。

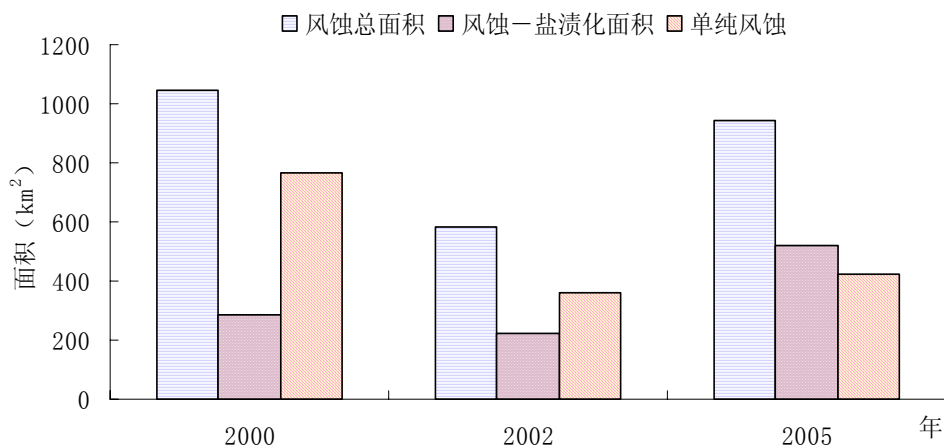


表 3-9 艾比湖地风蚀荒漠化面积动态变化图

3.4 艾比湖水位变化对复合荒漠化的影响

3.4.1 复合荒漠化的概念与成因

复合荒漠化是指不同类型的荒漠化土地随着周围环境变化而表现出不同的荒漠化过程, 其性状常介于 2 种或 2 种以上荒漠化指征之间的荒漠化类型。如风蚀—盐渍化、水蚀—盐渍化、盐渍化—风蚀、盐渍化—风蚀—水蚀等^[63]。

艾比湖地区由于荒漠生态系统原生素质比较脆弱, 在不同的水分条件下荒漠化地类之间的转换系数较大, 如某些荒漠化土地类型在气候干旱、地下水位下降时, 表现为风蚀为主的荒漠化过程; 一旦降水增加、地下水位上升, 则表现为风蚀与盐渍化并存的地理景观。这些土地类型应属于过渡或中间荒漠化土地类型, 它们对环境条件的变化较为敏感, 其景观格局复杂多变。由于艾比湖湿地荒漠化类型主要为风蚀和盐渍化两种, 故艾比湖湿地内部的复合型荒漠化主要有“风蚀——盐渍化”和“盐渍化——风蚀”两种类型。风蚀——盐渍化荒漠化是指原有以风蚀为主的荒漠化土地由于地下水位上升, 导致土壤积盐加重, 呈现风蚀与盐渍化指征共存的土地类型; 盐渍化——风蚀荒漠化

是指原有以盐渍化为主要指征的荒漠化土地在地下水位下降时,地表盐生植被枯死、表层土壤含水量降低而出现风蚀指征的荒漠化类型。与单纯的风蚀荒漠化与盐渍化土地相比,复合荒漠化对人类的危害更大。而在不同复合荒漠化类型之间,“盐渍化——风蚀”型荒漠化的危害最大。一般来说,盐渍化土地均分布在地下水位较高的地方,表层具有一层坚硬的盐结皮,不易受到风蚀,故其对人类危害不大;单纯的风蚀荒漠化虽然会在强风的作用下形成不同强度的沙尘天气威胁人民生命财产安全,但其尘埃中有害物质含量较少,影响时间和范围有限;复合荒漠化则不同,它既可以为沙尘天气的发生提供有效的沙源,而且沙尘中有毒有害物质含量多,对生态环境与人类健康的威胁也更大。

3.4.2 复合荒漠化的空间分布特点

艾比湖地区的复合土地荒漠化集中分布于灌木林地、难利用地和沙生灌丛(表 3-10)。复合荒漠化在面积上以中度盐渍化—中度风蚀分布最广(除了在草地上没有以外,其他土地类型上均有分布),面积也最大(219.26km²),占复合荒漠化的 42.24%;就程度而言,中度复合荒漠化土地面积比例为 46.11%,重度复合荒漠化为 16.7%,其余复合荒漠化占 37.19%。艾比湖地区复合荒漠化的空间变化有三大特点;一是面积增加幅度大,二是程度加重,三是复合荒漠化类型增加并向其他土地类型扩展。

表 3-10 艾比湖地区复合荒漠化土地类型一览表(2005 年) 单位: km²

类型	中度风蚀 —中度盐 渍化	中度盐渍 化—中度 风蚀	重度风蚀 —重度盐 渍化	中度风蚀 —轻度盐 渍化	轻度风蚀 —中度盐 渍化	中度风蚀 —重度盐 渍化	重度风蚀 —轻度盐 渍化	合计
灌木 林地	13.28	137.64	—	8.08	16.71	56.07	104.44	336.22
疏林 地	—	14.43	—	6.76	—	—	—	21.19
阔叶 林	4.25	3.74	—	—	—	—	—	7.99
沙生 灌丛	—	54.36	—	—	—	—	—	54.36
宜林 荒地	—	7.93	—	—	—	—	—	7.93
草地	2.57	—	—	—	1.14	—	—	3.71
难利 用地	—	1.16	86.51	—	—	—	—	87.67
合计	20.10	219.26	86.51	14.85	17.85	56.07	104.44	519.08

数据来源: 参考文献 [63]

3.4.3 水位变化对复合荒漠化的影响

艾比湖水位上升,则原有的部分以风蚀为主的荒漠化土地会因地下水位上升而呈现盐渍化景观;艾比湖水位下降,则原有的部分以盐渍化为主要指征的荒漠化土地会因地下水位的下降而导致植被衰亡和表层土壤含水量的减少,进而形成盐渍化——风蚀景观。

2002 至 2005 年艾比湖总体土地荒漠化面积增加了 7.18%,土地荒漠化的过程同时也发生了变化,风蚀、复合荒漠化增加而土地盐渍化减少;就变化率而言,以复合荒漠化的变化最为剧烈,整个复合荒漠化面积增加了 133%。这表明由于气候影响和地下水位变化,许多原为单一盐渍化与单一风蚀

的荒漠化土地过渡为以风蚀—盐渍化或盐渍化—风蚀为主的复合荒漠化。

而在上述四种荒漠化类型中，干涸湖底的风蚀和复合荒漠化的存在最具有危害性，其原因在于荒漠化的主要危害就是沙尘天气的增多，而干涸湖底风蚀和风蚀——盐渍化或者盐渍化——风蚀类型所形成沙尘中除了具有普通的尘埃以外，还具有许多含盐粒子。这也是艾比湖地区沙尘暴的危害性要强于其他地区的一个主要原因。

本章小结：艾比湖高水位和低水位运行对湖滨湿地的生态环境各有利弊，但总的来看，艾比湖持续低水位运行和暂时性的高水位运行是导致该区域荒漠化程度加重的主要原因。而艾比湖的持续高水位运行则比较有利于湿地生态系统的改善。

表 3-11 湖面面积与荒漠化面积变化情况 (km²)

年份	湖面面积	风蚀荒漠化		盐渍化		复合荒漠化		荒漠化总面积
		面积	%	面积	%	面积	%	
2000	543	764.02	33.53	1219.76	53.54	283.77	12.46	2278.33
2002	1060	360.96	20.80	1141.68	65.77	222.37	12.81	1735.79
2005	969	422.94	19.78	1185.01	55.43	519.05	24.28	2137.78

数据来源：参考文献[32, 38, 63]有所改动

从上表可以看出：艾比湖水位变化以及由此引起的水域面积和干涸湖底出露面积的大小与艾比湖地区风蚀荒漠化面积和程度之间具有密切的联系。总体表现为：湖泊水位上升→湖面面积扩大→干涸湖底出露面积减少→荒漠化面积减少或程度减轻→沙尘日数降低；湖泊水位下降→湖面面积缩小→干涸湖底出露面积增大→荒漠化面积扩大或程度加重→沙尘日数增加。

4 艾比湖水位及湖滨湿地荒漠化变化趋势分析

艾比湖流域平原地区降水很少，基本上不产生地表径流，山区降水是河川径流主要来源。历史上有 23 条河流，年径流量大于 $1 \times 10^8 \text{m}^3$ 的河流有奎屯河、四棵树河、古尔图河、精河、阿恰勒河、大河沿子河、博尔塔拉河等。1978 年以来，奎屯河流域的奎屯河、古尔图河以及四棵树河的地表径流基本被奎屯和乌苏地区平原拦河水库截流，径流全部用于当地社会经济发展，考虑到奎屯和独山子的发展规划，奎屯河近期绝无恢复向艾比湖注水的可能，维持艾比湖水域面积所需水量基本由博尔塔拉河和精河承担，故本文对艾比湖流域水资源及其变化趋势的预测不包括奎屯河流域。

4.1 艾比湖水量平衡分析

艾比湖是典型的干旱区封闭型内陆湖泊，径流形成于山区，消耗于平原，只有少量余水注入湖盆。湖盆呈浅碟状，湖底为细厚的泥、盐沉积物，基本不透水，整个湖盆就像一个容积固定的容器，水量收支结构比较简单，收入项包括湖面降水量、地表水入湖水量以及地下水入湖水量，支出项主要是湖面蒸发量和盐场引水量，相对于蒸发量来说，盐场引水量显得有点微乎其微，但随着艾比湖盐场生产规模的不断发展，其引水量也呈逐年增加趋势，将来势必成为艾比湖水量支出的一部分。考虑到盐场引水后所形成的大面积水域又可以看成是湖泊面积的扩大，本文未将盐场引水量列入艾比湖水量支出项中。故导致艾比湖水量变化的主要因素可视为地表入湖水量、地下入湖水量、湖面蒸发量和湖面降水量。艾比湖水量平衡关系满足如下方程：

$$E = Q + Y + P + \Delta W \quad (1)$$

式中： ΔW 为不同时刻湖水体积之差

Q 表示地下水侧向入湖水量

Y 表示地表水入湖水量

P 表示湖面降水量

E 表示湖面蒸发量

由此可以看出，影响艾比湖储水量以及水位变化的因素主要是降水量、蒸发量和人类社会经济耗水量的变化情况。

4.2 艾比湖流域水资源变化特点

2006 年博尔塔拉蒙古自治州降水总量 $77.394 \times 10^8 \text{m}^3$ ，折合降水深 305.7mm，为偏丰水年，与多年平均比较增加 5.7%，见表 2.4。

表 4-1 2006 年博尔塔拉蒙古自治州分区降水量

行政区	计算面积 (km^2)	当年降水量		多年平均降 量 (10^8m^3)	与上年比较 ($\pm\%$)	与多年平均 比较 ($\pm\%$)
		mm	10^8m^3			
温泉县	5664	462.5	26.196	25.05	-1.8	6.0
博乐市	7397	277.8	20.552	19.47	-4.1	5.5
精河县	11568	258.9	29.946	28.23	2.2	6.1
阿拉山口	462	150.8	0.700	0.46	-13.6	52.2
合计	25091	305.7	77.394	73.21	-1.0	5.7

备注：数据包括赛里木湖集水区

4.2.1 艾比湖流域降水量变化

博尔塔拉河、精河流域内多年平均年降水289.5mm，在海拔3500m以上的冰川作用区，年降水量达300~500mm，西部的博尔塔拉谷地自下而上为170~190mm，东部的平原区一般在100mm左右。从主要气象站点历年降水量累积距平可以（图4-1）看出，近46年来降水量变化呈现出增多趋势。其中六十、七十年代年降水量偏少，累积距平曲线呈波动式下降状态；八十、九十年代的年降水量各站有所不同，温泉和精河站的降水量偏多，其累积距平曲线呈波动式上升趋势，但趋势较为平缓，而阿拉山口和博乐站的降水量偏少，其累积距平曲线呈波动式下降趋势。平均而言，90年代与前30 a平均值相比，整个流域年降水量增加了9.3%，其中温泉的增幅最大，为32.0%；而阿拉山口、博乐的降水是减少的，分别减少13.8%和5.3%。；2000年后，降水量急剧上升，累积距平曲线明显呈上升状态。

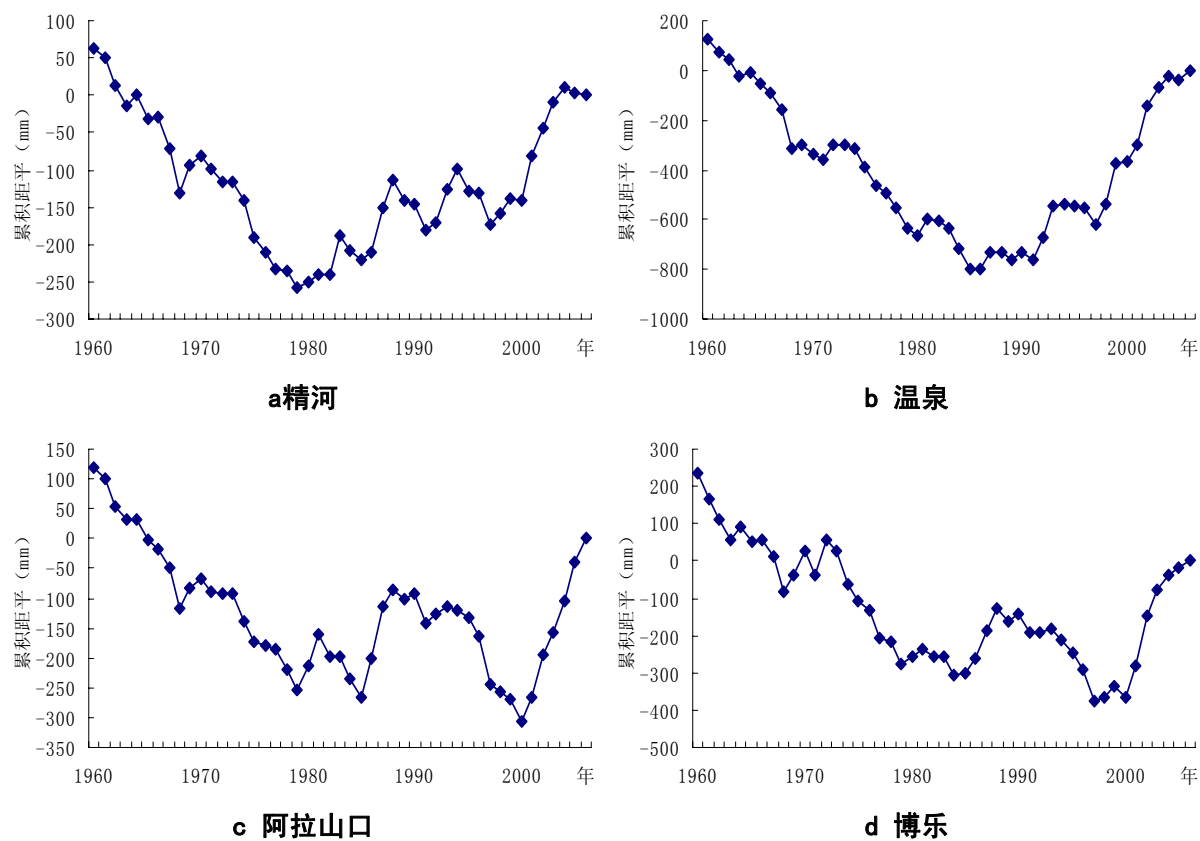


图4-1 1960~2006年艾比湖流域各地降水量累积距平图

艾比湖流域各站点的年降水量变化倾向率和相关系数均为正值（见表4-2），它们的倾向率分别为1.89891mm/10a、0.56088mm/10a、0.58955mm/10a、0.59753mm/10a，相关系数分别为0.42、0.29、0.22、0.26。这说明在全球气候增湿的大背景下，艾比湖流域的年降水量也呈现出增加趋势。

表4-2 艾比湖流域主要站点降水量变化趋势(1958~2006)

气象站	趋势项N(t)	相关系数	显著性(0.05)
温泉	1.89891t-3531.2	0.42	显著
精河	0.56088t-1007.6	0.29	显著
博乐	0.58955t-1057.4	0.22	不显著
阿拉山口	0.59753t-992.59	0.26	不显著

据有关专家预测：从现在起至2030年我国西北部分地区降水仍将增加，最高增加值出现在青藏高原和沿天山山脉地区，增加值可达1.8mm 以上，在沙漠的南缘，强度甚至可达2.8mm 以上^[71]，但

这点增加量对干旱的艾比湖流域来说是微不足道的。未来20年，流域持续丰水的局面将不再继续，枯水期即将来临。

4.2.2 流域气温变化

艾比湖流域各站点的年均气温变化倾向率和相关系数均为正值（见表4-3），它们的倾向率分别为 $0.0174^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.0237^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.0428^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.0342^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，相关系数分别为 0.31、0.37、0.59、0.49，均可通过 0.05 的显著性水平检验。这说明在全球气候变暖的大背景下，艾比湖流域的年均气温也呈现出增加趋势。预计 21 世纪前 30 年中国大陆冬季和夏季表面温度升高 $0.3\sim 2.3^{\circ}\text{C}$ ，增幅随时间推移和纬度带的升高逐渐加大；冬季暖冬气候事件和夏季极端高温气候事件的强度和次数很可能会增加^[72]，艾比湖水位的年内变幅也必将进一步加大。

表4-3 艾比湖流域各气象站的气温变化及趋势(1957-2001)

气象站	趋势项N(t)	相关系数	显著性(0.05)
温泉	$0.0174t+3.3301$	0.31	显著
精河	$0.0237t+7.0742$	0.37	显著
博乐	$0.0428t+5.0158$	0.59	显著
阿拉山口	$0.0342t+7.8375$	0.49	显著

4.2.3 流域蒸发量变化

艾比湖流域的蒸发量在 60 年代为 $1812.0\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ，70 年代略有减少，到 80 年代开始迅速增加，达到 $2188.5\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ，比 70 年代增加了 24.2%，90 年代蒸发量又减小到 $2008.7\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ，但总体趋势是增加的。按照整个流域蒸发量变化趋势预测，未来几十年艾比湖湖面水量支出仍将进一步增加。

表 4-4 艾比湖流域年均蒸发量年代际变化

年代	1961—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000	1961—1990	1971—2000
蒸发量	1812.0	1762.2	2188.5	2008.7	1928.7	1986.5

资料来源：参考文献 [46]

4.2.4 流域径流量变化

在全球气候变暖的影响下，艾比湖流域内主要河流也出现明显的响应。通过对博河和精河 1987—2005 年径流量分析（见表 4-5），径流变化倾向率和相关系数均为正数，博乐站达到 0.01 的显著水平，这与其降水量密切相关。流域内主要河流的径流量均随降水增加而呈现出增加的趋势，但多年变化不大，变差系数 C_v 值在 0.11~0.14 之间，博河的变化幅度比精河的大。但是径流量的增加值远没有引水量增加的快。

表4-5 艾比湖流域主要水文站径流量变化及趋势

流域	测站名	趋势项N(t)	拟合程度 R^2	相关系数	显著性(0.01)
博乐	博乐站断面	$0.1844t+5.1705$	0.4612	0.71055	显著
精河	精河山口站	$0.0055t+4.7716$	0.0013	0.13962	不显著

通过以上分析可以发现：20 世纪 60 年代以来，全流域温度增加趋势明显；降水量除阿拉山口和博乐站呈现微弱减少现象，而其它站点的都呈现出不同程度的增加趋势，但增幅不大；流域内主要入湖河流的径流量呈现不同程度的增加，增加幅度也不会不大；艾比湖流域蒸发量也略有增加。在未来十余年，艾比湖流域丰水局面将不会持续，温度将会继续升高，而其蒸发量也会增加。

4.2.5 博州未来水资源利用情况预测

博州地区用水量最大的部门是农业，工业和第三产业用水量较少。2006 年博州社会用水总量为

$13.969 \times 10^8 \text{ m}^3$ (见表 4-6)。其中:生活、工业、农业、第三产业、生态用水量分别为 $0.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $13.59 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.0064 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.0267 \times 10^8 \text{ m}^3$, 分别占经济社会总用水量的比例分别为 1.72%、0.79%、97.28%、0.05%、0.19%。

表 4-6 2006 年博尔塔拉蒙古自治州分区用水量 (10^8 m^3)

行政区	居民生活		一产		二产		三产	生态环境	合计
	城镇	农村	灌溉	牲畜	工业	建筑业			
博乐市	0.0490	0.0890	2.2250	0.023	0.0330	0.0009	0.0031	0.0016	2.4250
温泉县	0.0110	0.0110	3.0920	0.019	0.0009	0.0065		0.0099	3.1503
精河县	0.0150	0.0220	3.0480	0.017	0.0021	0.0003	0.0005	0.0007	3.1056
阿拉山口	0.0060		0.0050		0.0060	0.0020	0.0028	0.0145	0.0363
农五师	0.0070	0.0300	5.1400	0.018	0.0520	0.0050			5.2520
合 计	0.0880	0.1520	13.5100	0.077	0.0900	0.0147	0.0064	0.0267	13.969

数据来源:博州水资源统计公报

在用水总量中,地表水供水量为 $10.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占总量的 73.02%; 地下水供给量为 $3.772 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占总量的 26.98%。其中温泉和精河主要由地表水供给,地下水利用率比较低,分别占供水总量的 1.85%和 16%;而博乐和农五师地下水开发利用率较高,分别占供水总量的 32.16%和 45.73%。阿拉山口用水总量较少,且全部由地下水供给。从供水现状来看,温泉县与精河县地下水仍有较大开发空间,博乐市地下水开发利用程度虽然较高,但也有一定的开发空间。

表 4-7 2006 年博尔塔拉蒙古自治州分区供水量 (10^8 m^3)

行政区	地表水		地下水		合计
	供水量	%	供水量	%	
博乐市	1.645	67.84	0.78	32.16	2.425
温泉县	3.092	98.15	0.058	1.85	3.1503
精河县	2.609	84.00	0.496	16.00	3.1058
阿拉山口		0	0.036	100	0.0358
农五师	2.85	54.27	2.402	45.73	5.252
合 计	10.2	73.02	3.772	26.98	13.969

4.2.5.1 生活需水量预测

2006 年博州总人口 46.45 万人,其中城镇人口 15.88 万人,乡村人口 30.57 万人,城镇化率为 34.2%。据博州“十一五”规划,2010 年全州人口将达到 52.76 万人,城镇化率达到 44.4%,城市居民生活用水指标控制在 170L/日·人以内,农村人均生活用水指标不低于 70L/日·人;2020 年为 61.57 万人,城镇化率达到 55%。城市居民生活用水指标达到 188.7L/日·人以内,农村居民生活用水指标不低于 95L/日·人。据此对未来博州生活用水量进行预测,其结果如下:

表 4-8 生活需水量预测

	2010 年			2020 年		
	人口(万人)	定额(L/d·人)	用水量(10^8 m^3)	人口(万人)	定额(L/d·人)	用水量(10^8 m^3)
城市	23.43	170	0.15	33.86	188.7	0.23
农村	29.23	70	0.10	27.71	95	0.11
全州	52.76	114	0.25	61.57	146.5	0.34

4.2.5.2 工业需水量预测

2006 年博州工业生产总值 13.92 亿元，万元工业产值耗水量为 $149.80\text{m}^3/\text{万元}$ 。随着阿拉山口口岸贸易量的逐年增加，博州地区第二产业在未来十几年之内将进入较快的发展阶段。预计 2010 年工业产值提高到 36.73 亿元，工业万元产值用水量从下降到 $67.55\text{m}^3/\text{万元}$ ，2010 年工业需水总量为 $0.25 \times 10^8\text{m}^3$ ；2020 年工业产值提高到 91.94 亿元，工业万元产值用水量下降到 $39.67\text{m}^3/\text{万元}$ ，用水总量为 $0.36 \times 10^8\text{m}^3$ 。

表 4-9 工业需水量预测

	工业生产总值（亿元）	万元工业产值用水量（ $\text{m}^3/\text{万元}$ ）	工业用水量（ 10^8m^3 ）
2010 年	36.73	67.55	0.25
2020 年	91.94	39.67	0.36

4.2.5.3 农业需水量预测

博州十一五规划（2004 年）中虽然明确提出了在未来三个五年计划内保持现有耕地面积 106.69 万亩（不包括农五师）不变的计划，但事实上博州耕地面积到目前为止仍在继续增加，据 2006 年博州社会经济发展统计公报，2006 年种植业总面积已达 113.94 万亩，根据博州耕地面积的历史资料，用自回归方法对博州耕地面积进行预测（见表 4-10），预测结果显示 2010 年种植业面积达到 207.24 万亩，种植业用水量将达到 $11.09 \times 10^8\text{m}^3$ ，此后到 2020 年，由于受土地、水资源、政策等因素的限制，耕地面积继续增加的可能性不大，但随着节水技术的发展，2020 年种植业用水量将减少到 $10.38 \times 10^8\text{m}^3$ ，比 2010 年减少 $0.71 \times 10^8\text{m}^3$ ，种植业退出的水量可以用于发展林果灌溉和草场灌溉。预计 2010 年林果业用水量达到 $2.85 \times 10^8\text{m}^3$ 、畜牧业用水量为 $2.52 \times 10^8\text{m}^3$ ；2020 年林果业和畜牧业用水量分别增加到 $3.05 \times 10^8\text{m}^3$ 和 $3.37 \times 10^8\text{m}^3$ 。

表 4-10 各水平年农业发展指标与用水定额及用水量

项目	面积（万亩）		毛灌溉定额（ $\text{m}^3/\text{亩}$ ）		毛需用水量（ 10^8m^3 ）	
	2010 年	2020 年	2010 年	2020 年	2010 年	2020 年
种植业	207.24	207.30	535.13	500.73	11.09	10.38
林果业	55.06	62.57	517.63	487.44	2.85	3.05
畜牧业	60.85	89.77	414.16	375.39	2.52	3.37
综合	323.14	359.64	509.37	467.13	16.46	16.80

备注：灌溉水利用系数 2010 年 0.56，2020 年 0.60

根据各水平年社会经济发展指标、用水定额的预测及需水量的计算，汇总国民经济各部门用水量，2010 年总计需用水 $16.96 \times 10^8\text{m}^3$ ，2020 年总计需用水 $17.48 \times 10^8\text{m}^3$ ，总体来看，农业需水量所占比重逐渐降低，生活和工业需水比重逐渐增加。

表 4-11 国民经济需水汇总表

项 目	需水量汇总（ 10^8m^3 ）			用水比重（%）		
	现状	2010 年	2020 年	现状	2010 年	2020 年
生活需水	0.24	0.25	0.34	1.72	1.30	1.89
工业需水	0.11	0.25	0.35	0.79	1.48	2.00
农业需水	13.59	16.46	16.80	97.49	97.20	96.11
需水总量	13.94	16.96	17.48	100.00	100.00	100.00

注：农业需水中包括牲畜用水。

4.3 艾比湖水位变化趋势分析

从湖泊来水量来看,在未来十余年,艾比湖流域将进入多年变化的平水期,降水量可能要比近几年少,而蒸发量和社会经济用水量仍会进一步增加,艾比湖入湖水量也会进一步减小,从而导致湖面面积的进一步萎缩。但艾比湖流域社会经济用水量的增加并不会导致湖泊的干涸,即使在不采取跨流域调水的情况下,新增加的需水量一部分可以通过进一步开采地下水来解决,如精河县和温泉县地下水开发潜力还比较大;另一部分将通过新修建的水利工程解决,如精河下天吉水库的投入使用。虽然艾比湖入湖水量进一步减少的趋势是必然的,但由于博河和精河季节分配不均等原因,两河每年至少可以保证 3 亿立方米以上的径流入湖,再加上平原地区每年 1 亿立方厘米左右的地下水入湖水量和托里小河区夏季由于暴雨洪水形成的入湖水量,艾比湖面积在未来十几年内仍将保持在 $500\sim 600\text{km}^2$ 的低水位运行状态,在特殊枯水年,湖面仍有缩小至 400km^2 左右的可能,但湖泊不会象有些专家学者所说的那样彻底干涸。

4.4 艾比湖湿地荒漠化趋势分析

随着艾比湖水域面积新一轮的缩小,湖滨湿地地下水位也会随之下降,这会导致部分区域的植被枯萎和衰亡、盖度也将随之减小,艾比湖地区风沙危害仍将存在。但随着保护区管理机制的日益完善,艾比湖湿地内部人为干扰必将有所减轻,其危害也不会恢复到 20 世纪 80 年代左右的水平。水域面积缩小后,干涸湖底面积将会随之增加,干涸湖底的治理将是今后艾比湖地区生态环境恢复与治理的重点。在风力作用下,土壤质地石砾化东南迁移的趋势仍将持续,但随着阿拉山口风力资源的开发,其发展趋势将逐渐缓慢。值得注意的是,艾比湖高水位运行期间所形成的大面积盐渍化土地由于植被生长状况较差,在地下水位下降后,这部分盐渍化土地在阿拉山口大风的作用下会形成盐渍化——风蚀型的复合荒漠化土地,而这种荒漠化类型是对艾比湖地区生产、生活和生态危害程度最大,因此控制合理的湖面是今后需要努力的方向。

5 结论与展望

5.1 研究成果

5.1.1 艾比湖持续低水位对湖滨湿地荒漠化的影响

艾比湖水面不断萎缩不仅会导致大片的湖底干涸裸露；而且也会使湖滨植被因水位下降而发生逆向演替。在阿拉山口大风的作用，艾比湖地区风蚀荒漠化的程度必然会加重。

5.1.2 艾比湖高水位对湖滨湿地荒漠化的影响

艾比湖水位升高会使湖滨湿地形成新的盐渍化，但新增的盐渍化面积小于被湖水上涨所淹没的盐渍化面积，且盐渍化土地表层均有盐结皮的存在，在没有受到人类活动干扰时并不会形成沙尘源地。此外，艾比湖水位上升也有利于湖滨植被的恢复和表层土壤含水量的增加，这也可以在一定程度上减轻风蚀的影响。

5.1.3 艾比湖水位大幅度变化对荒漠化的影响

艾比湖水面扩大虽然可以使盐渍化土地的面积有所减少，但高水位运行期间形成的盐渍化土地与原有盐渍化土地在水位下降后会因土壤水盐含量的变化而裸化并开始遭受风蚀。

5.1.4 艾比湖面积及艾比湖湿地荒漠化变化趋势分析

随着艾比湖流域社会经济用水量的持续增加，艾比湖将再次面临萎缩的命运。如果不采取有效措施以保证艾比湖水位的稳定，湖滨湿地荒漠化的危害也将进一步加重。但艾比湖湿地自然保护区的建设在一定程度上可以减少人为因素的影响，故其危害程度不会恢复到 20 世纪 80 年代的水平。

5.2 前景展望

虽然博州政府十分重视艾比湖的生态环境问题，并采取了一系列重大行动，但艾比湖湿地生态环境严重恶化的现状还没有得到根本的好转。艾比湖湿地环境问题的出现，除了认识水平和科技水平不够外，法制不够健全也是一个重要的原因。虽然我国已经有了《水土保持法》、《防沙治沙法》等专项预防与治理土地退化的法律，但过去一直没有关于综合决策的法律规定。随着艾比湖湿地自然保护区的建立，一些相应的政策和法规也得到了加强，这对艾比湖湿地生态环境的保护非常有利。

艾比湖湿地生态环境恶化以及频繁发生的沙尘暴使人们开始认识到了保护和治理生态环境的重要性，国家和有关部门也对该地区的生态环境十分重视，在资金和技术方面都给予了一定的资助。但是，目前制订的一些总体规划缺乏科学根据。例如 2004 年博尔塔拉蒙古自治州政府编制的“十一五”规划中提出了控制博州耕地面积(2010 年)是 107 万亩，此后不再继续增加，但据博州统计局 2006 年统计公报数据显示，目前耕地面积已经超过了上述目标。

可喜的是为了扼制艾比湖流域生态环境的不断恶化，博州在水资源紧缺的情况下，为保证博河和精河每年注入艾比湖的水量不少于 6 亿立方米，制定了一系列节水目标。2000 以来，阿拉山口的大风依旧，但风沙肆虐的日子却似乎在精河县人民的记忆中渐渐远去了。农五师在艾比湖的综合治理上更是投入了大量的人力、财力、物力。近几年来，该师实施了大规模的现代化节水农业，退耕还林还草工程，对艾比湖湖畔天然次生林进行了有效的防护。八十二团先后投资上千万元，在 7 条沙垄上埋设了草格网，构筑绿色屏障；启动了 7000 余亩地的退耕还林项目。随着艾比湖盐场生产规模的不断扩大，艾比湖湖水矿化度也不会继续升高，在若干年以后，相信艾比湖地区将会恢复一片碧水蓝天。

5.3 不足之处

由于受资料短缺的影响，本文仅以三年的数据进行分析比较，数据的时间序列较短；植被方面掌握数据的有限导致水位变化对其影响的研究不够深入；并且由于受知识水平和资料的限制，在分析水位变化对艾比湖湿地盐渍化的影响时，没有深入分析湖水位对地下水位和地下水矿化度的影响。

参考文献

- [1] United Nations Population Division. World Population Prospects 1950-2050 (The 2006 Revision) [EB/OL]. New York: United Nations. 2001 [2006203221]. <http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2000/wpp2006h.pdf> [Geo222204].
- [2] UNEP. GEO year book :an overview of our changing environment 2004/ 2005 [EB/OL]. United Nations Environment Programme , 2005 [2006203221] . <http://www.unep.org/geo/yearbook>.
- [3] WCD. Dams and Development :A New Framework for Decision Making [EB/ OL] . The Report of the World Commission on Dams. London : Earthscan , 2000 [2006203221] . http://www.damsreport.org/wcd_overview.htm [Geo222122] .
- [4] 詹尼·拉逊 (美) 李康民译. 消失的湖泊、退缩的海洋, 生态经济 [J] 2005 (12)
- [5] UNEP. GEO3 Past ,Present and Future Perspectives[M]. United Nations Environment Programme. London : Earthscan Publications Ltd ,VA ,2002.
- [6] Oldeman L R , Hakkeling R T A , Sombroek W G. World map of the status of human induced soil degradation [M] . Wageningen : International Soil Reference and Information Centre ,1990.
- [7] 王晓峰. 中国东西部平原区湖泊近期变化之比较 [J]. 干旱区地理, 1994. 6. 17 (2) 16-21.
- [8] 中国国家林业局. 林业概况——中国荒漠化和沙化土地 [EB/OL] <http://www.forestry.gov.cn/subpage/content2006-09-24>.
- [9] 王让会, 周兴佳, 张惠珍. 新疆土地荒漠化灾害及其对策. 南京林业大学学报 (自然科学版) 2002 (3) 26 (2) 32-36.
- [10] Naumann E. Thienemann A. Vorschlag zur Gründung einer internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie . arch . Hydrobiol . 1922, 13: 585-605.
- [11] 阿思米鼎·沙依多夫. 咸海的地理问题 [M]. 塔什干: 乌兹别克斯坦科学出版社, 1973.
- [12] 马如夫·加力力. 远离岸边的海, 咸海等待抢救 [M]. 塔什干: 塔什干劳动出版社, 1987.
- [13] A·A·热皮库夫. 咸海的命运 [M] 塔什干: 乌兹别克斯坦科学出版社, 1990.
- [14] T·A·阿里木夫, A·A·热皮库夫. 生态错误的教训 [M]. 塔什干: 乌兹别克斯坦出版社, 1991.
- [15] X·C·沙力木夫. 咸海问题引发的生态平衡变化与解决的途径 [M]. 生态基础与利用自然, 科学讲座论文摘要, 塔什干: 塔什干财政学院出版社, 2001.
- [16] A·沙多拉依夫. 咸海地区生态危机的社会后果. 乌兹别克斯坦人口和劳动力资源 [M]. 塔什干: 塔什干大学出版社 (现乌兹别克斯坦民族大学), 1992.
- [17] 王晓峰. 中国东西部平原区湖泊近期变化之比较 [J]. 干旱区地理, 1994, 17 (2): 16 ~ 21.
- [18] 杨发相, 穆桂金, 赵兴有. 艾丁湖萎缩与湖区环境变化分析 [J]. 干旱区地理, 1996, 19 (1): 73 ~ 77.
- [19] 郭武. 青海湖水位下降与湖区生态环境演变研究 [J]. 干旱区资源与环境, 1997, 11 (2): 75 ~ 80
- [20] 吐尔逊·哈斯木, 哈斯穆·阿皮孜. 咸海的变迁及其对周围环境的影响 [J]. 新疆大学学报 (自然科学版), 2002, 19 (4): 492 ~ 494.
- [21] 阎顺, 穆桂金, 远藤邦彦, Nobuhiko Handa. 2500 年来艾比湖的环境演变信息 [J]. 干旱区地理, 2003, 26 (3) : 227 ~ 232.
- [22] 阎顺. 艾比湖及周边地区环境演变与对策 [J]. 干旱区资源与环境, 1996, (1): 30 ~ 37.
- [23] 吴敬禄, 林琳. 新疆艾比湖湖面波动特征及其原因 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24 (1): 57 ~ 60.
- [24] 穆桂金, 柏春广. 艾比湖的湖岸地貌及其反映的湖面变化 [J]. 干旱区地理, 1999, 22 (1): 34 ~ 39.

- [25] 伊玛木塔依尔, 亚尔买买提, 台外库力. 艾比湖的涸缩对湖周围生态环境的影响及其治理对策探讨[J]. 新疆大学学报, 2001, 18(2): 209 ~ 211.
- [26] 王前进, 巴音查汗, 马道典, 曾庆江, 姜逢清, 王亚俊, 胡汝骥. 艾比湖水面近 50a 变化成因分析[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 2244 ~ 228.
- [27] 高建芳, 章曙明, 李新贤. 艾比湖流域水资源可利用量分析[J]. 水文, 2004, 24(5): 33 ~ 36.
- [28] 李艳红, 楚新正, 金海龙. 新疆艾比湖流域水文特征分析[J]. 水文, 2006, 26(5): 68 ~ 71.
- [29] 刘惠英, 陈磊. 基于 MODIS 的艾比湖湖面遥感监测研究[J]. 南昌工程学院学报, 2007, 26(4): 57 ~ 61.
- [30] 李虎, 高亚琪, 王晓峰. 新疆土地荒漠化监测分析[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 197~202.
- [31] 苏颖君, 张振海, 包安明. 艾比湖生态环境恶化及防治对策[J]. 干旱区地理, 2002, 25(2): 143 ~ 148.
- [32] 李虎, 高俊峰, 王晓峰, 吴焱. 新疆艾比湖湿地土地荒漠化动态监测研究, [J]. 湖泊科学, 2005, 17(2): 127 ~ 132.
- [33] 刘文军, 李虎, 赵前程. 基于“3S”技术的艾比湖地区荒漠化现状分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2006, 24(1): 120 — 123.
- [34] 杨青, 何清, 李红军等. 艾比湖流域沙尘气候变化趋势及其突变研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 503 ~ 508.
- [35] 宫恒瑞. 基于遥感技术的艾比湖地区荒漠化监测研究[D]. 硕士论文. 新疆农业大学: 2006
- [36] 宫恒瑞, 肖继东, 李聪, 石玉, 冯志敏. 基于 MODIS 卫星数据对艾比湖水域面积变化的监测[J]. 新疆气象, 2005, 28(2): 18 ~ 20.
- [37] 王晓峰. 艾比湖流域风沙天气与艾比湖干缩之间的关系初探[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2004, 23(1): 54 ~ 59.
- [38] 张瑞芳, 李虎, 金海龙, 王圣云. 新疆艾比湖地区绿洲化与荒漠化的冲突与协调[J]. 干旱区资源与环境 2006, 20(2): 44 ~ 49.
- [39] 陈蜀江. 新疆艾比湖湿地自然保护区综合科学考察报告[M]: 2005 年 12 月.
- [40] 吉力力·阿不都万里, 穆桂金. 艾比湖干涸湖底尘暴及其灾害分析[J]. 干旱区地理, 2002, 25(2): 149 ~ 154.
- [41] 咎梅. 基于 DEM 的艾比湖阶地研究. 新疆师范大学硕士论文. 2007.
- [42] 地理教育网, 地理百科——湖泊水位的变化[EB/OL], <http://www.geoedu.cn/dlbaik/Index.htm>: 2006 年 5 月 10 日.
- [43] 刘晓, 陈正江等. 基于数字高程模型的艾比湖湖面近期变化研究[J]. 干旱区地理. 2004, 27(4): 576 ~ 579.
- [44] 赵枫. 艾比湖湿地自然保护区阿其克苏河北岸地下水矿化度研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2007, 26(3): 186 ~ 189.
- [45] 沙依然, 李聪, 陈爱京, 毛炜峰. 艾比湖近期出现大面积干涸[J]. 干旱区地理. 2006, 29(4).
- [46] 武进军童康玉罗爱涓. 新疆艾比湖水域面积减小原因与生态环境治理初步探讨[J]. 水利技术监督. 2003, 5: 29~33
- [47] 格丽玛. 新疆艾比湖流域近 45 年来气候变化及其影响研究[D]. 新疆大学: 2006.
- [48] 贾春光. 艾比湖湖面变化对沿海铁路线的影响趋势研究[D]. 新疆师范大学: 2006.
- [49] 博尔塔拉蒙古自治州统计局. 博尔塔拉辉煌五十年[M]. 2001 年.
- [50] 吴佩钦. 近 20 年来艾比湖逐月水量变化分析及未来变化趋势预测[D]. 新疆师范大学: 2005
- [51] 于雪英, 江南. 基于 RS/GIS 技术的湖面变化信息提取与分析——以艾比湖为例[J]. 湖泊科学. 2003, 3, 15(1): 81 ~ 84.
- [52] 霍艾迪, 张广军, 武苏里等. 国内外荒漠化动态监测与评价研究进展与存在问题[J]. 干旱地区农业研

- 究. 2007, 3, 25 (2): 206 ~ 210.
- [53] 郭振华. 基于 RS 和 GIS 的艾比湖流域土壤盐渍化研究 [D]. 长安大学硕士学位论文. 2006
- [54] 王勇辉. 艾比湖流域土壤理化性质现状分析及成因研究 [D]. 新疆师范大学: 2007.
- [55] 新疆艾比湖湿地自然保护区综合科学考察报告 [M]. 2002 年
- [56] 苏宏超, 巴音查汗, 庞春花, 吉锦环. 艾比湖面积变化及对生态环境影响 [J]. 冰川冻土. 2006, 12, 28 (6) : 941 ~ 948.
- [57] 荆耀栋. 艾比湖干涸湖底沙尘暴形成与运行机制研究 [D]. 新疆师范大学: 2007.
- [58] 包安明, 穆桂金等. 控制艾比湖干涸湖底风蚀的合理水面估算与效果检测 [J]. 科学通报, 2006. 51 (增 1): 56 ~ 60.
- [59] 毕维铭. 国土整治与经济建设 [EB/OL]. http://218.24.233.167:8000/RESOURCE/GZ/GZDL/DLBI/DLTS0101/13995_SR.HTM.
- [60] 张莉. 艾比湖地区土壤盐分对湖岸植被分布格局的影响 [J]. 干旱区研究, 1990. 4: 52 ~ 55.
- [61] 赵顺阳, 王文科. 艾比湖流域典型植物生长的水文地质条件研究 [J]. 新疆环境保护, 2005. 27 (1): 13 ~ 17.
- [62] 毕作林, 熊雄, 路峰等. 黄河三角洲湿地芦苇种群水深生态幅研究 [J]. 山东林业科技, 2007. 27 (4): 1 ~ 3.
- [63] 李虎, 王晓峰. 复合荒漠化及其时空变化研究——以新疆艾比湖地区为例 [J]. 亚热带资源与环境学报, 2007. 2 (3): 16 ~ 22.
- [64] 朱震达. 中国土地荒漠化的概念、成因与防治 [J]. 第四纪研究, 1998, 2 (14): 52 ~ 53.
- [65] 钱亦兵, 吴兆宁等. 近 50a 来艾比湖流域生态环境演变及影响因素分析 [J]. 冰川冻土, 2004, 26 (1): 17 ~ 20.
- [66] 秦伯强. 近百年来亚洲中部内陆湖泊演变及其原因分析 [J]. 湖泊科学, 1999: 11 (1)
- [67] 中国国家林业部. 中国防止土地荒漠化公约 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1996: 16~35.
- [68] 李森, 李凡等. 黑河下游额济纳绿洲现代荒漠化过程及其驱动机制 [J]. 地理科学, 2004, 24 (1): 61 ~ 67.
- [69] 塔西甫拉提·特依拜, 张飞等. 新疆干旱区土地盐渍化信息提取及实证分析 [J]. 土壤通报, 2007, 4 (38): 625 ~ 630.
- [70] 陈建军, 张树文等. 大庆市土地盐碱化遥感监测与动态分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17 (4): 101~107.
- [71] 高庆先, 徐影, 任阵海. 中国干旱地区未来大气降水变化趋势分析 [J]. 中国工程科学, 2002, 2 4 (6): 36 ~ 41.
- [72] 姜大膀, 王会军, 郎咸梅. SRESA2 情景下中国气候未来变化的多模式集合预测结果 [J]. 地球物理学报, 2004, 9 47 (5): 777 ~ 784.
- [73] 博尔塔拉蒙古自治州政府. 博州十一五发展规划及 2020 年远景发展目标纲要. 2004, 11.
- [74] 张光辉, 石迎新, 聂振龙. 黑河流域生态环境的脆弱性及其对地下水的依赖性 [J]. 安全与环境学报, 2002, 6 2 (3): 31 ~ 33.
- [75] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 气象出版社. 1999: 1 ~ 106.
- [76] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法 [M]. 气象出版社, 1995: 2 ~ 4.
- [77] 陈丽湘, 刘伟. 土壤次生盐渍化之水盐运动规律研究 [J]. 工程热物理学报, 2006, 27 (3): 466 ~ 468.
- [78] 王春燕. 艾比湖湿地保护区生态旅游开发研究 [D]. 新疆师范大学: 2007.
- [79] 关元秀, 刘高焕著. 区域土壤盐渍化遥感监测研究综述 [M]. 遥感技术与应用, 2001. 3 (1).
- [80] 徐建华著. 现代地理学中的数学方法 [M]. 高等教育出版社, 2004. 1 (2).
- [81] 袁卫, 庞皓等著. 统计学 [M]. 高等教育出版社, 2002. 3 (6).
- [82] 王礼先, 周金星. 关于荒漠化、沙漠化、风沙化和沙化的概念 [J]. 科技术语研究, 2000, (4): 31.

致 谢

春华秋实，寒暑三易，仿佛不经意间，我的硕士生涯就要结束了。三年来，给我帮助的人太多太多，令我感动的时刻数不胜数。虽然岁月的脚步依然匆匆，但我会把每一份关怀，每一份勉励都铭记、珍藏，把它们当作我生命长河中那朵最晶莹的浪花，记忆宝库中那颗最灿烂的珍珠。

三年来，我在书籍的海洋中愉快的畅游，在知识的高峰上且唱且吟，几载寒窗苦读教会了我许多，也使我坚定了继续沿学术道路走下去的决心。如果说这三年的学习有什么稍微值得拿出来的成果的话，我希望是这篇投入了我不少精力的毕业论文。

首先感谢我的导师王晓峰教授。三年前是老师将当时懵懂无知的我引入了学术的殿堂，三年来同样是老师的耳濡目染、潜移默化、严格要求和悉心指导，使我不仅接受了全新的思想观念，树立了宏伟的学术目标，掌握了学科的研究方法，而且还明白了许多待人接物和为人处世的道理。老师平易近人的人格魅力，自强奋斗的人生哲学，严谨进取的治学精神和乐观向上的生活态度将是我今后生活中永远的榜样，是防止我学习上迷失方向的指路航标。此时此刻，老师日常对我的关怀帮助一幕幕浮现在眼前，令我如沐春风，倍感温馨。桃李不言，下自成溪；师恩深厚，不敢言报，唯有今后以百倍热情工作、学习，力争有所建树，以报师恩于万一。

新疆师范大学地理科学与旅游学院是我三年来学术上的精神家园，这里活跃的学术交流，前沿的思辨研讨常常使我流连忘返，沉浸其中。感谢李志忠教授、楚新正教授、海鹰教授、焦黎教授和陆亦农副教授的言传身教，几位老师道德文章并重的学者风范是我永远的学习榜样，尤其要感谢叶茂师姐在本文的开题、预审中给我许多可贵的指点和有益的启发，同时也感谢赵枫老师在生活上的关心与帮助。

我的周围是一群有志青年，包括与我朝夕相处的同学和与我亲密无间的老乡，他们终日沉湎于学术研究，偶尔也青梅煮酒，纵论天下。与他们共处的日子，是我今生最美好的回忆。感谢你们，我的兄弟姐妹！

最后要感谢我的父母和家人，感谢他们对我每一次选择的全力支持，使我得以按照自己既定的人生航线前进。

三年短暂，未来漫长，我们别无选择，唯有奋勇前行……

本文受新疆高校科研计划基金重点项目(XJEDU2005122)资助，特此感谢。

吴颜

2008年6月9日