

西安科技大学

硕士学位论文

艾比湖流域生态环境调控研究

姓名：杨红斌

申请学位级别：硕士

专业：地质工程

指导教师：巨天乙;王文科

20070420

论文题目：艾比湖流域生态环境调控研究

专 业：地质工程

硕 士 生：杨红斌

(签名) 杨红斌

指导教师：巨天乙

(签名) 巨天乙

王文科

(签名) 王文科

摘 要

全球工业化和城市化的迅速发展以及资源开发的进一步加强,诱发了一系列的生态环境问题,使人类社会现代化的进程正面临着严重的环境危机。

艾比湖流域地处新疆准噶尔盆地西部,属西北内陆干旱地区。区内平原地带交通便利,是第二欧亚大陆桥(铁路)中国段的出口,是我国重要的粮棉生产基地,经济区位优势明显,而本区经济的发展和人类生存很大程度上依赖于艾比湖区的生态环境的良性循环。20世纪50年代以来,在人为因素和自然因素的双重作用下,艾比湖流域自然水体萎缩,水质恶化;湖周荒漠生态系统受到破坏,失去了或者正在失去其自我更新能力;天然植被破坏严重,覆盖率明显减小,使得沙尘暴天气明显增加,沙漠面积扩大,耕地盐渍化、沼泽化程度不断加剧。

本文依托中国地质调查局项目“新疆准噶尔盆地地下水资源及其环境问题专题研究—艾比湖生态环境现状及演变特征调查评价”,通过对艾比湖流域生态环境现状进行调查,在分析流域生态环境的影响因素的基础上,主要分析了地下水与土壤含水量、天然植被、地表荒漠化之间的因果关系,进而确定以地下水位埋深作为艾比湖流域生态环境调控模型的调控因子,并根据对区内实际调查资料的综合分析,结合区内水资源开发利用中存在的问题,制订了艾比湖流域生态环境调控模型的生态约束条件。

在对艾比湖流域的地质地貌、水文地质条件进行研究、概化的基础上,构建了艾比湖流域生态环境调控模型,并以2003年统测流场作为初始流场,以收集的2003年河流渗漏量、河谷潜流量、渠系渗漏量、灌溉回归补给量、人工开采量、蒸发蒸腾量等作为模型的源汇,以2003年调查的边界流入流出量作为模型的边界条件,分别对现状水利工程条件下、调控现状水资源开采布局的条件下和考虑节水灌溉技术推广及增加山前河道渗漏补给量后,调控水资源开采布局的条件下地下水动力场的演化进行了预测,并分析地下水动力场的演化对区域生态环境的影响。

通过分析认为：为满足地下水位最优状态，各地下水位埋深区的地下水与地表水联合开发中地下水开采所占比例与地下水位埋深有密切关系。地下水位埋藏越浅，地下水的开采量越大；农业节水灌溉推广和渠系利用系数提高后，减少渠道引水，增加山前河道渗漏补给量，调控水资源开采布局，保持区内生态地质环境良性发展条件下，各灌区地下水位埋深基本上能够达到合理的区间内，并提出了现状水利工程条件下和节水灌溉条件下的艾比湖流域生态环境调控模式。

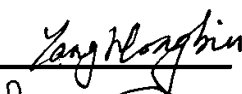
关 键 词：生态环境演化；调控模型；地下水位埋深；艾比湖流域

研究类型：应用研究

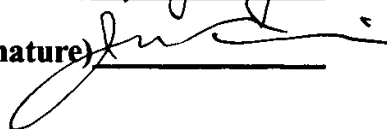
Subject : Research on Eco-environmental control of Aibi Lake Basion

Specialty : Geology Engineering

Name : Yang HongBin

(Signature) 

Instructor:

(Signature) 

Abstract

The rapid development of global industrialization and urbanization as well as further exploitation of resource, bring about a series of eco-environmental problems which make the process of modernazition face serious environmental crisis.

Aibi Lake basin situates at the west of Xinjiang Zhungaer Basin, the arid area in northwest of China. The plain of this area is the exit of the second Europe and Asia overpass(railway) in China,so it is in good traffic condition,at the same time ,it is also the main production base of grain and cotton in our country, so it is very important for this area's econmy, however, economy development and human survival rely on positive cycle of Aibi Lake eco-environment mostly; Aibi Lake is very important for the cycle as a main part of Zhungaer Baisen environmental system. Since 1950s, because of human activities and natural factors, natural water body of Aibi Lake basin shrinked, water quality deteriorated ; desert ecosystem around the lake was destroyed and it has lost or is losing its self-renewing capability;natural vegetation destruction was serious and the coverage obviously reduced, both of this caused obvious increasing of dust storm, expanding of desert area, continuous aggravation of the degree of plowland salinity and swampiness.

This paper is supported by Chinese Geological Survey's project "the special research in groundwater resources and environmental problems of Xinjiang Zhungaer Basin--the investigation and assessment of Aibi Lake eco-environmental current status and evolution characteristics ,"based on investigating current situation of Aibi Lake basin eco-environment and studying the influence factors of eco-environment, the author mainly analyses the relation between groundwater and soil moisture,natural vegetation,surface desertification,and then selects water table depth as control factor of Aibi Lake basin eco-environmental control model.Based on analysis of investigation datas and problems about utilization of water resources ,the author formulates ecological restraints of Aibi Lake eco-environmental control model.

After analysing and generalizing Aibi Lake basin geomorphological and hydrogeological conditions,the author establishes Aibi Lake basin eco-environmental control model with groundwater flow field in 2003 year as initial flow field, inputs include river leakage river undercurrent,ditch leakage,irrigation returning recharge, artificial extraction, evaporation rising amout and so on,and with boundary inputs and outputs in 2003 year as boundary condition,then predicts the evolution of groundwater flow field under present water project condition, adjusting current water exploitation layout condition, water-saving irrigation condition and adding piedmont riverway leakage recharge condition.

According to the research, in order to keep the best state of groundwater table, exploitation rate of groundwater in jointly exploitation of surface water and groundwater has great relationship with groundwater table depth. The lower groundwater table depth is, the more exploitation of groundwater is; after promoting water-saving irrigation and taking good use of ditch,reduce ditch diversion,increase piedmont riverway leakage recharge,adjust and control water resources exploitation layout, keep eco-geological environment positive development, groundwater table depth could reache a resonable interval basicly,and present Aibi Lake basin eco-environmental control model under current water project condition and water-saving irrigation condition.

Key words : Eco-environmental evolution control model groundwater table depth
Aibi Lake basin

Thesis : Application study

西安科技大学

学位论文独创性说明

本人郑重声明：所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得研究成果。尽我所知，除了文中加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人或集体已经公开发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得西安科技大学或其他教育机构的学位或证书所使用过的材料。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做了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：柳红斌 日期：2007.6.6

学位论文知识产权声明书

本人完全了解学校有关保护知识产权的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属于西安科技大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版。本人允许论文被查阅和借阅。学校可以将本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和汇编本学位论文。同时本人保证，毕业后结合学位论文研究课题再撰写的文章一律注明作者单位为西安科技大学。

保密论文待解密后适用本声明。

学位论文作者签名：柳红斌

指导教师签名：任天乙

2007年 6月2 日

1 绪论

1.1 研究背景和意义

生态环境是人类生存和发展的基本条件,是社会和经济可持续发展的基础。全球工业化和城市化的迅速发展以及资源开发的进一步加强,诱发了土地沙漠化、土壤盐渍化、草地退化、河湖水量锐减、水质恶化和生物多样性减少等一系列生态环境问题,使人类社会现代化的进程正面临着严重的环境危机。因此,加强对人类活动干扰下生态环境演变规律及影响因素的研究,进而提出生态环境的调控治理措施,以实现社会、经济、环境和资源的协调发展是人类面临的重要课题之一,也是目前环境科学领域的研究热点之一。

艾比湖流域地处新疆准噶尔盆地西部,属西北内陆干旱地区。区内平原地带交通便利,是第二欧亚大陆桥(铁路)中国段的出口,是我国重要的粮棉生产基地,经济区位优势明显,属于正在开发和准备开发地区。而本区经济的发展和人类生存很大程度上依赖于艾比湖区生态环境的良性循环;作为准噶尔盆地南缘环境系统重要组成部分的艾比湖,在流域生态环境良性发展中具有至关重要的作用。它的存在与否、湖水面积的大小直接关系着流域自然环境的状况与社会经济的可持续发展潜力。从20世纪50年代以来,在人为因素和自然因素的双重作用下,艾比湖流域的生态环境急剧恶化:艾比湖水面积急剧缩小,水资源量减少,水质恶化;湖周荒漠生态系统受到破坏,失去了或者正在失去其自我更新能力;天然植被破坏严重,覆盖率明显减小,使得沙尘暴天气明显增加,沙漠面积扩大,特别是70年代以来,温度、降水、蒸发三大气候要素超出了正常变化范围;流域内耕地盐渍化、沼泽化程度不断加剧。

因此,在开展艾比湖流域生态环境现状调查的基础上,分析其演变特征及影响因素,进而定量研究该区生态环境的调控措施,对改善区域生态环境,保障区内社会经济可持续发展具有重要理论意义和实际价值。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 生态环境及其影响因素研究

继美国学者Clements提出生态过渡带理论之后,人类关于生态环境的研究逐渐展开。特别是1972年斯德哥尔摩“联合国人类环境会议”以来,联合国环境小组开始协调国际环境监测活动;进入20世纪80年代,国际上开展了一系列综合性的全球变化研究项目,其中IGBP、WCRP、IHDP构成了全球变化研究的主体。美国学者Daniel(1991)研究认

为荒漠生态环境的景观分布格局与水分特征及物质循环、能量流动和信息传输密切相关。Kovshar 等(1991)研究了俄罗斯干旱环境的保护等问题。Cartalis 等(1997)从大气成分、土壤水分、植被生物量等角度研究生态环境。同时,许多学者研究了干旱区不同地理环境条件下的生态学问题,并对内陆河流域生态环境的空间分异特征进行了研究,强调干旱内陆河流域气候条件,尤其是水热条件和地貌特征是植被生态、土壤环境及水环境形成与分异最主要的控制性因素。

我国对于生态环境及其影响因素研究由来已久,《尚书·禹贡》、《史记·货殖列传》等就有人类活动、雨水、天气对于经济生产和环境影响的描述。程遂营在《唐宋开封生态环境研究》一书中论述说与生态环境相关联因素是很多的,它包括气候、水文、地形地貌、生物资源以及自然与自然、自然与人文、人文与人文之间复杂联系与互动等等。王让会等(2000)研究了生态环境分布及其与工业化及贫困的关系,并应用生态环境成因指标划定了我国脆弱生态环境的分布范围;与此同时,关于干扰生态理论的基本概念和扰动生态学理论框架,群落及生态系统的结构、功能等问题的研究也逐渐展开;还对干旱或半干旱区的环境地质、水文、土壤、植被、气候等特征进行了研究,揭示了生态环境相关因子的主要特点。肖笃宁(1995)在景观生态学理论指导下,从生态空间与景观异质性,景观变化模型与未来景观规划,景观系统分析与GIS应用的角度研究了我国生态环境存在的一些问题。黄培佑等研究表明荒漠和绿洲对立统的,如水体边缘植被,当水体收缩,即原为稠密的植被可能为稀疏的荒漠植被替代,变为荒漠;反之,水体扩大,水位上升,即原为荒漠地区可能转换为绿洲。林子瑜(2001)等通过对江西省生态环境遥感综合调查,认为生态环境主要成因指标包括水、热及其结合度,人口与土地,植被与土壤侵蚀及沙化、自然灾害,环境污染等等。赵跃龙(1996)等人研究结果表明生态环境的影响因素包括自然因素和人为因素,其中自然因素包括基质、动能两大因素,基质因素主要由地质构造、地貌特征、地表组成物质、生物群体类型等因子构成;动能因素主要由气候脆弱因子构成,是生态环境形成演替的能量基础;人为因素(即人类不合理开发利用),主要表现为过度垦殖土地、过度放牧、过度樵采、过度采药、不合理的灌溉等等。

澳大利亚学者 R. Ri (1999) 通过 LEACHC 模型建立土壤盐渍化与地下水位深度之间的模拟,对土壤含盐量进行研究发现:土壤盐渍化的大小取决于土壤的物理特性、地下水位埋深及其作用的根系深度。宋长春等(1998)对吉林西部地下水特征及其与土壤盐渍化的关系也进行了研究,认为土壤盐分的积累取决于地下水的水位埋深、含盐量及植物根系的吸水模式,并建立了潜水位埋深、潜水矿化度与土壤含盐量之间的关系。张秒仙等(2001)对海河流域的大同盆地土壤及浅层水文地质调查所得潜水埋深、潜水矿化度及耕层土壤盐分资料进行了统计分析,分别得出潜水埋深与潜水盐分状态、土壤耕层盐分状态的统计规律。

崔亚莉等(2001)针对西北干旱特定的生态环境条件,通过凝结水对沙生植物作用、地下水埋深对植物生长和土壤盐渍化影响的分析,认为保持合理的生态地下水埋深是防止植物死亡和土地荒漠化的关键。郑丹等(2004)等通过对我国干旱区河流两岸荒漠化的研究认为不同的地下水埋深在不同沙漠化等级中的分布状况亦不相同,其基本规律是:随着沙漠化等级的增加,各地下水埋深范围出现由宽变窄;各沙漠化等级开始出现时的地下水埋深由小变大。

1.2.2 生态环境各影响因素之间关系的研究

(1)土壤含水量、土壤含盐量、潜水矿化度、地下水位埋深、潜水蒸发深度等与表生生态环境关系研究

美国学者 Jonathan L. Horton 等(2001)针对植物在不同地下水埋深的生理反应进行了研究,提出了植物进行光合等生理作用的地下水埋深阈值;陈亚宁等(2003)通过研究地下水埋深与植物生理变化关系,首次揭示了塔里木河下游胡杨生存的合理生态地下水埋深、胁迫地下水埋深和临界地下水埋深。

张长春等(2002)的调查表明黑河流域大部分植物在土壤含盐量 5%以下是可以生长;植物对潜水矿化度也有最佳适应范围,超出此范围就会出现衰败。张元明等应用数量分类(数量分类常应用双向指示种分类法(Two-way Indicator Species Analysis, TWINSpan))和排序方法,对新疆塔里木河中游地区植被进行多元统计分析,从定量角度以 CCA(基于对应分析发展而来的典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA))排序图直观地揭示了决定塔里木河中游地区植物群落分布的环境因子主要是地下水埋深和土壤含水量,并建立了回归模型。罗家雄(1985)的研究表明在干旱区域当土壤含水量为毛管持水量的 70%~100%时,最适宜植物生长。

王嵩等(2005)的研究结果表明土壤水中盐的浓度超过了植物根细胞质盐浓度,将造成植物无法吸收水分而枯萎。张长春等(2002)的调查研究表明新疆塔里木河干流区主要植物生长良好的潜水矿化度一般不超过 3~5g/L,生长较好的潜水矿化度一般不超过 5~8g/L,大于 10g/L 时绝大多数植物枯萎死亡。郭占荣等(2001)通过研究入渗补给量与潜水蒸发量的关系,认为在天然条件下天山北麓地区平原区典型土壤类型(粉质轻粘土)适合植物生长的潜水蒸发极限深度为 4.17m;张朝新等(1995)在石家庄地区实际调查分析,发现在无作物条件下,粘砂土地区适合植物生长的临界极限蒸发深度为 5.1m。

(2)地下水位埋深对植被和农作物的影响研究

汤梦玲等(1996)在西北地区的气候及水资源的基本特征的基础上,分析了植被的分带、生存适应性及演替与地下水的关系,并阐述了地下水开采对植被的影响,结果表明:植被的分布、生存和演替主要受控于水盐条件。地下水埋深愈浅,植物的生长发育状况愈好。张丽等以生态适宜性理论为基础深入研究了植物生长与地下水埋深的关系,

定量描述它们之间的关系。任继周等(1998)给出了河西走廊盐生草甸区植物群落的分布与水、盐的关系。赵成(1999)通过试验研究总结出了疏勒河流域植被演随着外界条件(地下水位、水的矿化度)的变化呈现出的演替规律。王让会(1999)通过大量研究发现,在没有洪水漫灌的情况下,地下水对荒漠河岸林生长起着重要作用。张长春等(2002)在塔里木河干流区、王文科和杨泽元等(2004)在突尾河流域,通过野外调查和实验分别给出了地下水位与表生植被的关系;另外,王芳等(2001)在新疆塔里木河流域研究当地植被与地下水埋深的关系,并采用高斯曲线拟合了几种典型植物分布概率与地下水埋深的关系,绘制出了不同地下水埋深下的最适植物群落。宋郁东等(2000)通过在干旱区建立土壤含水量与地下水位埋深的关系,也给出了类似的结果。国内外的许多其他研究也都表明,一般天然植被的地下水生态水位在 4.0~5.0m 之间,超过这一潜水埋深会导致大多数植被的枯萎死亡。

Hiler 等(1971)对不同地下水位埋深时高粱的产量研究表明,地下水位埋深为 0.90 m 时高粱产量最高。Benz 等(1981)研究认为对于谷子和甜菜,最优地下水位埋深大约为 1.3m。Cavazza 等(1988)发现当地下水位埋深为 1.25m 时,冬小麦产量最高,地下水位埋深大于 1.25m 时,如果不进行人工灌溉,冬小麦产量会降低。杨建锋等(2002)通过试验表明:当地下水位埋深低于 0.6m 时,冬小麦产量大大降低,说明地下水位埋深过浅时阻碍了小麦的生长;地下水位埋深在 0.6m 与 1.5m 间时,冬小麦产量又有所降低;移植棉产量和地下水埋深的关系和冬小麦相似,地下水位埋深为 1.3m 时,移栽棉产量最高。吴凯等(2001)曾对 1975~1988 石家庄市的地下水位与农作物产量情况进行了统计分析,并建立了地下水位平均埋深与粮食总产量的回归方程。张朝新等(2002)所进行的试验结果表明小麦生长期地下水控制在 0.6~2.0m 产量较高且稳,黄豆在 0.4~1.0m 产量较高,夏玉米在 0.4~1.0m 产量较好,夏玉米全生长期地下水埋深在 0.4m 以上,根系发育受到抑制,长期处在温湿条件下生长,易生虫害减产,他们还根据多年观测情况,提出了适宜早作物生长的地下水埋深范围:小麦 0.6~1.5m;黄豆 0.4~1.0m;芝麻 0.5~1.0m,玉米 0.4~1.0m。高正夏等(2002)在宁夏青铜峡河西灌区经过实验研究,给出了各主要作物正常生长防治渍害的地下水调控标准及在不同地下水矿化度情况下农作物不受盐害的地下水临界埋深。

1.2.3 生态环境调控研究

生态环境调控与管理研究,是以自然生态系统结构及人类决策行为的调整为出发点,以干旱区生态环境结构、功能的分析协调为突破口,以干旱区生态环境预测为基础,在系统理论、控制理论和管理理论的指导下,开展干旱区生态环境调控体系的研究,实现人与自然的和谐发展,科研工作者也做了一定的探讨。吴成基等(2000)将陕西省神木县大柳塔镇划分为三个生态环境小区,通过对各区环境和社会经济状况的分析,建立了大

柳塔镇区生态环境治理调控模式,即水土保持型生态环境综合治理模式、三个类型区之间互动关系流向调控模式。左其亭等(2001)从面向调控与管理的西部干旱区环境量化指标体系的建立、面向可持续发展的生态环境调控与管理优化模型构建、模型求解、调控方案优选与实施等方面对生态环境调控量化研究的基本内容与研究方法进行了探讨。左其亭等(2002)建立了西部干旱区生态环境调控的4大类9个模式,即第一大类为水主式,包括配水式、节水式;第二大类为保护式,包括保水式、保土式、保生式;第三大类为开发式,包括专门开发式、综合开发式;第四大类为协调式,包括区域协调式、流域协调式,归纳出了生态环境定量研究方法,并且将这些理论与方法和RS、GIS等计算机技术结合起来,为西部生态环境调控做了研究。总体来讲,这方面的研究是比较薄弱的。

1.2.4 艾比湖流域生态环境及其影响因素研究

80年代以来,随着改革开放及社会生产的发展,对艾比湖地区生态环境的研究进入高潮。

郑喜玉等(1984)开展了新疆盐湖的研究,其中艾比湖是研究重点之一,通过大量的钻探取样,对艾比湖的湖水水化学特性做了详尽的描述,初步分析了艾比湖的演化。杨利普等(1986)完成了艾比湖流域的综合调查,首次系统研究了艾比湖的水文、生态环境。新疆地矿局第一水文地质大队开展了“艾比湖汇流区环境地质综合研究”,首次从水文水资源的角度对艾比湖平原地区的水资源量进行计算,初步评价了流域内的生态环境地质问题。李遐龄等(1997)根据艾比湖及其周围地区环境变化的趋势以及可能造成的生态危机,分析了艾比湖漫长的演变过程,揭示了艾比湖及湖滨生态环境演变的规律:①入湖水量的增减,直接影响湖面的增缩;②艾比湖水位的升降,对荒漠生态系统的兴衰起主导作用;③阿拉山口风速的强弱对沙尘运动的范围和危害程度极为敏感,是艾比湖流域沙尘暴天气主要因素。阎顺等(1996)探讨了艾比湖的形成及其动态演变过程,将艾比湖的演变划分成形成发育期、淡水湖期、干缩期,从耕地、畜牧业、人口、工业几个方面初步分析艾比湖近40年来的萎缩及流域生态环境的变化与人类活动的关系,认为艾比湖面积与人类活动耗水量负相关,越来越强的人类活动造成植被破坏、草场退化、沙漠化和盐渍化加重,进一步揭示了人类活动在干旱区生态环境演变中的重要作用。李国胜等(2003)应用植物生态学分析方法,通过对艾比湖ZKooB孔的孢粉组合特征及其植被生态的定量分析研究表明,受大气降水以及大气和环境相对湿度波动变化的影响,艾比湖地区的生态环境特征在最近15000a中至少经历7~10次比较明显的波动变化,艾比湖的水体环境在最近20000a年中至少经历了8次明显的波动变化。罗明灿等(1996)从生态景观的观点分析了艾比湖流域的演化过程,指出现流域内的盐湖—盐生湿地景观生态系统是在自然演化过程中逐步形成的,地质构造和气候变化是主要影响因素,50年代以来的开荒造田减小了入湖流量,造成湖面萎缩,对区域景观生态和经济产生了巨大

影响。

贾宝全等(1997)通过对艾比湖生态环境现状的具体分析,从绿洲外环境与绿洲内部环境两个方面对该区环境整治的目标与途径进行了探讨。认为要保持该区生态环境不再恶化,必须保证该湖500km²左右的水面面积。

朱馨蕾等(2004)研究认为自20世纪60年代开始,湖水水位急剧下降,造成湖盆大面积裸露,在当地强风作用下成为巨大风沙之源,从而成为困扰新疆地区的严重生态问题。王前进等(2003)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,认为近50年艾比湖水面历经了迅速缩小、基本稳定、逐步增大3个阶段。柏春广等(1999)通过对艾比湖的湖积堤、湖岸阶地及湖积平原的系统研究表明:20世纪50年代以前的湖泊退缩主要是由自然过程所引起的,而此后的湖泊退缩主要是人类活动所造成的。周长海等(2003)研究认为艾比湖退缩的主要原因是农垦引水,次要原因是自然植被破坏,气候旱化仅起到了微弱影响;但艾比湖的退缩对沙尘暴、水文、植被、沙漠化都有很大的影响。吴素芬等(2001)从湖泊水面面积的演变过程、主要水源变化、气温略微上升、降水显著增多等诸因素对艾比湖进行了综合系统分析,说明在全球气候背景下,区域气候和水文变化周期与人类活动是影响艾比湖水位变化的主要原因。伊玛木·塔依尔等(2001)研究认为近40年来,河流中上游区灌溉引水幅度的增加,导致入湖水量减少是导致艾比湖不断涸缩、湖周生态环境日益恶化的关键。唐献康等(2001)研究认为沙暴形成的原因是无节制的开发,无计划地用水。

吉力力·阿不都万里等(2002)研究认为艾比湖地区水动力、风力和重力作用形成的洪积、冲积、湖积、风积、化学沉积等第四纪的沉积类型的物质组成、空间分布、结构特征是对沙尘暴产生和灾害程度主要因素。苏颖君等(2002)分析流域沙尘天气变化与大风日数、降水量、蒸发量及艾比湖入湖水量、艾比湖水面面积变化关系,认为入湖水量与降水量减少直接导致风沙天气增加,由此艾比湖湿地生态环境日趋恶化,给博州乃至北疆地区社会、经济发展造成严重危害。

1.3 研究内容

在开展艾比湖流域生态环境现状调查的基础上,结合前人的研究成果,分析区域生态环境的演变特征及影响因素,通过比较各影响因素之间的因果关系及其影响程度,确定以地下水位为调控因子,以表生植被的适生水位作为约束条件,建立艾比湖流域平原区生态环境调控模型,进而提出艾比湖流域生态环境的调控模式,为区域社会经济与环境协调发展提供决策依据。

1.4 研究方法与技术路线

(1) 开展艾比湖流域生态环境的现状调查,收集前人的研究成果,在此基础上,

分析流域生态环境的演变特征及影响因素。

(2) 应用地质、水文地质、土壤学、生态学、数理统计等学科的理论, 研究各影响因素之间的因果和主次关系, 确定生态环境的调控因子。

(3) 以地下水位作为调控因子, 以表生植被的适生水位作为约束条件, 建立艾比湖流域生态环境调控模型, 预测各调控方案的结果。

(4) 在分析各调控方案预测结果的基础上, 提出艾比湖流域生态环境的调控模式。

1.5 论文创新点

本论文的创新点主要体现在以下几点:

(1) 首次在艾比湖流域以地下水位作为调控因子, 以表生植被的适生水位作为约束条件, 建立生态环境模型。

(2) 首次从水资源开发利用的角度, 提出艾比湖流域生态环境的调控措施, 以及各方案下地下水位与地表水的开发利用比例, 为流域生态环境及社会经济的可持续发展提供科学依据。

2 艾比湖流域概况

2.1 自然地理

2.1.1 地理位置与交通

艾比湖流域地处祖国的西北边陲,与哈萨克斯坦相邻,位于北纬 $43^{\circ} 38' - 45^{\circ} 52'$, 东经 $79^{\circ} 53' - 85^{\circ} 02'$ 之间,居新疆准噶尔盆地西部,主要行政区包括温泉县、博乐市、精河县、乌苏市、奎屯市、独山子区,交通位置与行政分区如图 2.1 所示。

流域总面积约 50621km^2 ,山地和平原各占约 50%,湖泊仅占流域面积的 1~2%。艾比湖位于流域的中部偏北,地理位置北纬 $44^{\circ} 44' - 45^{\circ} 10'$ 、东经 $82^{\circ} 35' - 83^{\circ} 11'$ 之间,是整个流域的水盐汇集中心。

流域的交通主要为铁路和公路。乌鲁木齐-阿拉山口铁路是“第二欧亚大陆桥”的一部分,自东部进入,从奎屯、乌苏、精河通过,在阿拉山口与哈萨克斯坦相连。312 国道是流域主要的交通线,自东向西经奎屯、乌苏、精河,通往伊犁和霍尔果斯口岸;217 国道自北而南从流域东部通过,在奎屯市与 312 国道相交。区内各县市及团场均有公路与国道相连,交通便利。

2.1.2 地形地貌

研究区的南、西、北三面环山,东北部与古尔班通古特沙漠直接相连,东南部与玛纳斯河山前平原相接,似一口向东开放的大簸箕。其中,南部是北天山西段支脉,为西北—东南走向,自西向东依次有别珍套山、科古琴山、婆罗科努山和依连哈比尔尕山西段,山势较高,最高峰海拔 5500m,是流域的最高点,在海拔 3700m 以上有冰川分布,精河、奎屯河、四棵树河及古尔图河均发源于此;西部为天山山系最北分支阿拉套山,山脊线海拔 3000m,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,海拔最高 2600m,仅有拉巴河、柳树沟等几条小河流。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,即有名的阿拉山口。

山前分布着砾质戈壁倾斜平原,地形坡度 3-30%,自山地向盆地中心倾斜,高程从 1000m 降至 500m,宽度 10-40 公里。戈壁前缘逐渐过渡为细土平原,地形坡度 3-10%,高程从 500-300m,局部分布沙漠。在大型河流如奎屯河下游为冲洪(湖)积平原,地形

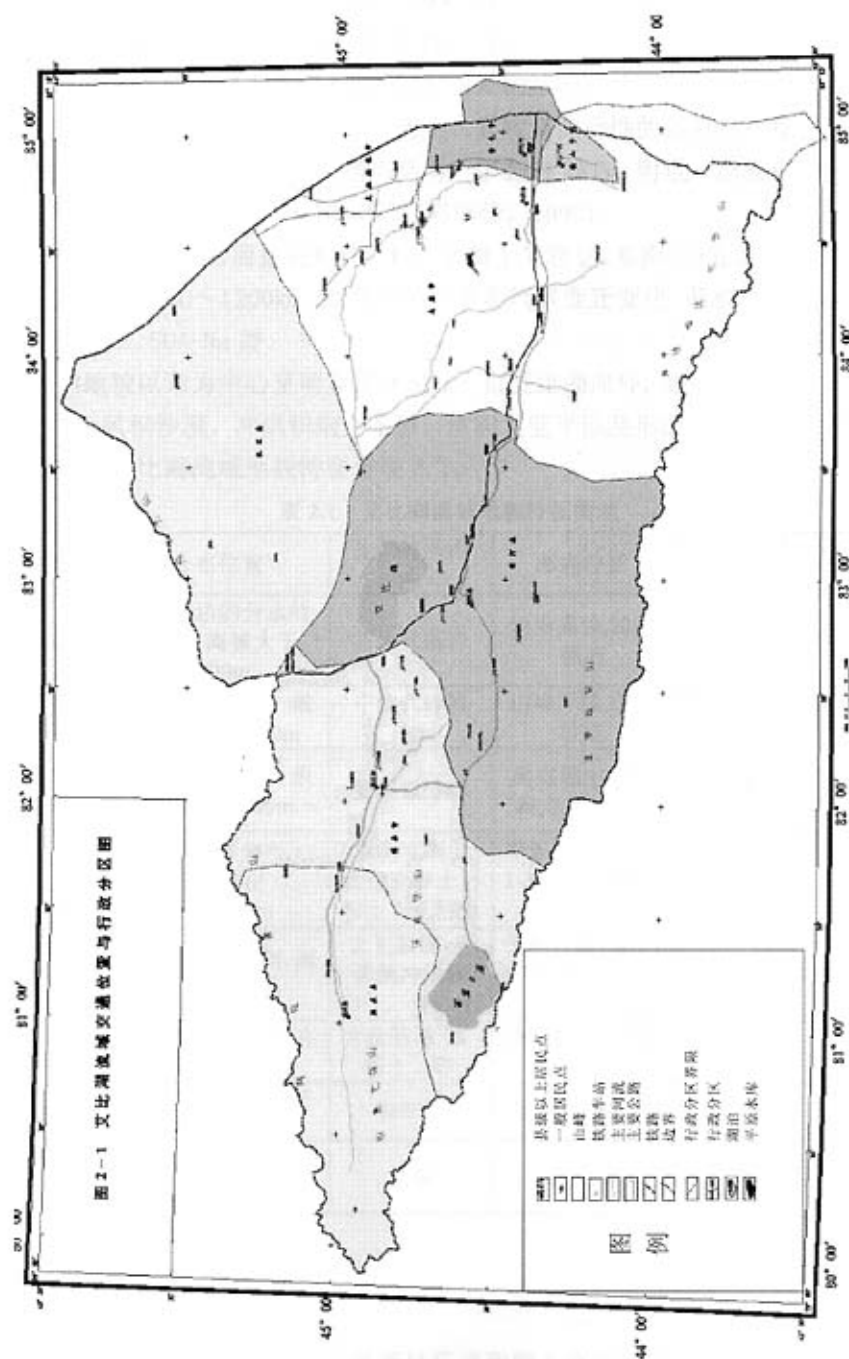


图 2.1 艾比湖流域交通位置与行政分区图

坡度为 5~10%，倾向湖泊，高程 350~240m。环湖泊周边分布着盐漠湖滨平原，高程在 240~200m，面积约 5000 km²，地形坡度 1%左右。

在艾比湖的东部发育有总面积超过 1500km² 的沙漠，其中分布于古湖区的面积占一半以上，沙丘类型以半固定的垄状沙丘为主，其次为流动性的新月形沙丘。沙丘的迎风方向为西北，移动方向为东南。在精河县乌—伊公路 387km 附近，形成高 5~6m 的新月形沙丘，每年由西向东移动 3~10m 不等(周举佳, 1992)。

湖泊位于盆地中心，海拔高程约 195m，平面上呈肾状，东南-西北走向，长 35~60km，宽 14~20km，面积 500~1200km²，湖面积随季节和气候变迁变化。湖水矿化度 80~145g/L，水化学类型为 Cl. SO₄-Na 型。

流域的地貌以湖为中心呈明显的环带状，自艾比湖向外，地貌类型依次为湖泊，湖积盐土平原、风积沙漠、冲洪积细土平原、洪积戈壁平原及形成的前山带和基岩山地等(如图 2.2)，艾比湖流域地貌特征见表 2.1。

表 2.1 艾比湖流域地貌特征简表

地段	类型	分布位置	主要物质组成	形态特征	成因	备注
山地	中高山	流域周边的分水岭附近，海拔大于 2000m	古生代基岩	地形高耸，切割强烈	构造抬升	分布冰川，是各大河流的发源地
	前山带	流域周边，海拔一般在 1000—2000m	中生代碎屑岩	山峰浑圆，山坡较陡	风化剥蚀	是优良的天然草场
平原	戈壁平原	山前地带，海拔一般在 500—1000m	更新世砂砾	向盆地中心倾斜，坡度 3~10°	山前洪水堆积	
	细土平原	盆地大范围分布，一般海拔在 250—500m	更新世到全新世亚砂土、粉土、亚粘土	平坦开阔，坡度 1~3°，多改造成耕地	冲洪积	人工绿洲
	冲洪(湖)积平原	分布在河流两侧，海拔 250~350m	上更新统-全新统冲洪积砂土、亚砂土	平坦开阔，高出河床多在 10 米以上	冲洪积	以河流高阶地为主，天然状况下多为荒漠
	滨湖平原	艾比湖周边，海拔在 200—250m	含盐的粘土、粉土、砂	地形平坦、局部分布沼泽	湖积	
	沙漠	流域中部，海拔在 250—340m	粉细沙	呈新月型垄状	风积	
水域	湖泊	艾比湖	盐湖	浅而平坦	构造沉降	

2.1.3 气象、水文

(1) 气象

流域地处欧亚大陆腹地，由于受西风环流和蒙古高压以及西伯利亚冷空气的影响，艾比湖流域表现为中温带干旱气候，具有干旱少雨，蒸发强烈的特征，其主要气象参数

见表 2.2。

表 2.2 艾比湖流域主要气象站气象参数表

测站	平均气温 (℃)	湿度 (%)	年平均降雨量 (mm)	年平均蒸发量 (mm)	年均日照时 数(h)
乌苏	7.6	58	158.5	2109.9	2831.9
阿拉山口	8.3	53	100	3421	2696
博尔塔拉	5.8	68	181	1562	2816
精河	7.3	61	91	1625	2692
温泉	3.7	66	202	1558	2869
车排子	5.2		170.9	1929.7	
庙尔沟	2.5		262.1	2074.7	

流域内多年平均降水量分布差别较大。如图 2.3 所示,山区降水多,一般在 300~500mm,最多达到 970.3mm;平原降水少,一般 100~200mm,艾比湖区多年平均降雨量为 95mm。降水的年内分配是夏多冬少,夏季降水量占全年降水量的 34~66.6%,冬季降水量占全年降水量的 1.6—12.1%。

与降雨量的分布相反,流域内蒸发是平原地区远大于山区。由图 2.4 可见,平原地区蒸发量多在 1500~2500mm,是降雨量的 10 倍以上。阿拉山口的蒸发量达 3421mm,是降雨量的 30 倍以上。山区蒸发量多在 1000mm 以下,中高山地区蒸发量约 500mm。

阿拉山口是大西洋暖湿气流进入我国的通道之一,处于下风口的艾比湖及湖周地区盛行大风,被称为“艾比风”。据统计阿拉山口平均每年 7 级以上大风 164 天,最大瞬间风速达 55m/s。造成流域其它地区沙尘天气多,降尘量高。根据不同地段监测得到的平均风速和降尘量,可以将风沙危害划分为强烈危害区、中等危害区和弱危害区(如图 2.5 所示);强烈危害区以阿拉山口为源头,艾比湖为中心,分布于湖泊及湖滨地带,面积约 4800km²;中等危害区分布在强烈危害区的东西两侧,包括了博尔塔拉河下游和奎屯河下游,面积约 10700km²;流域其它地区为弱危害区。

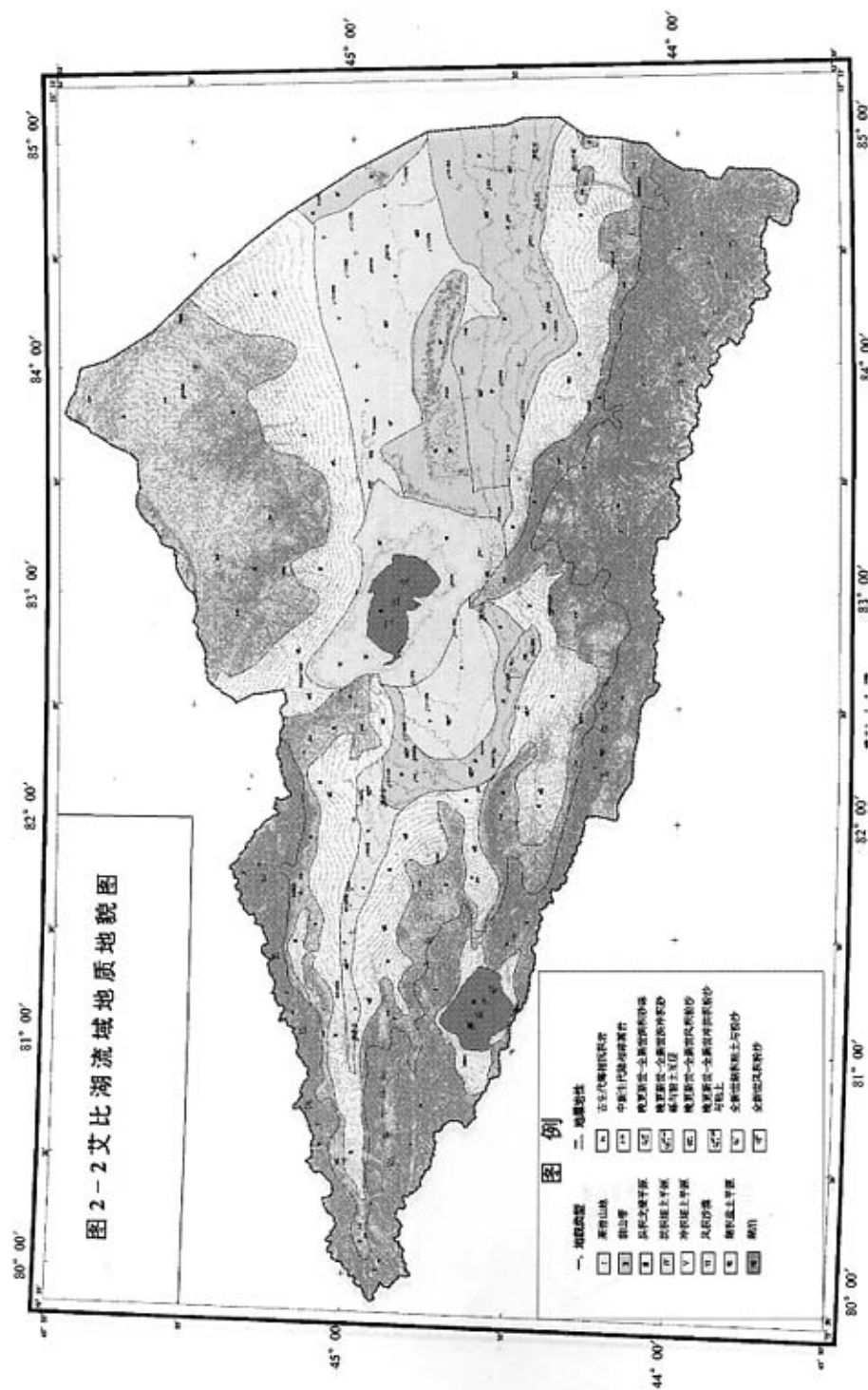


图 2.2 艾比湖流域地质地貌图

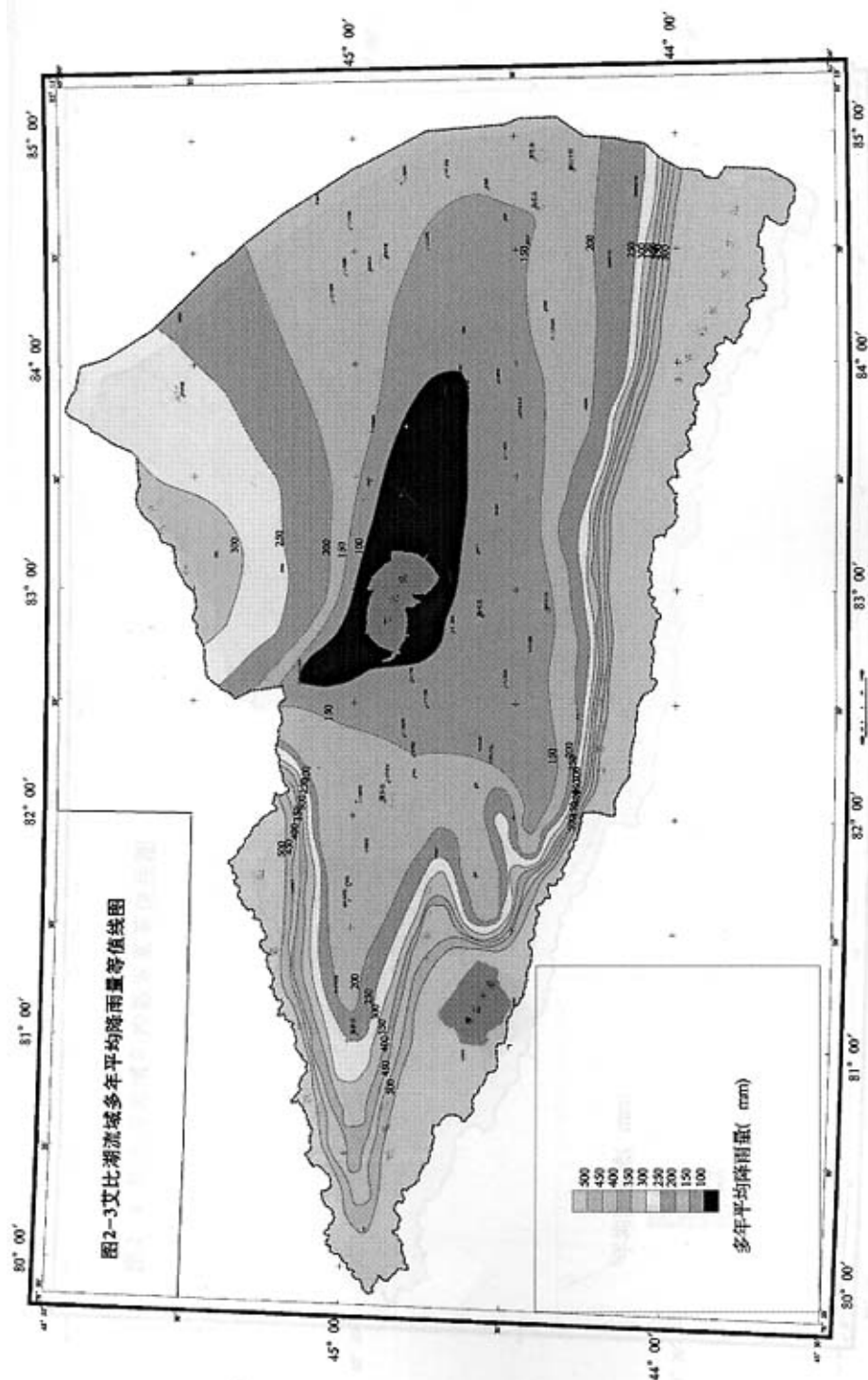


图 2.3 艾比湖流域多年平均降雨量等值线图

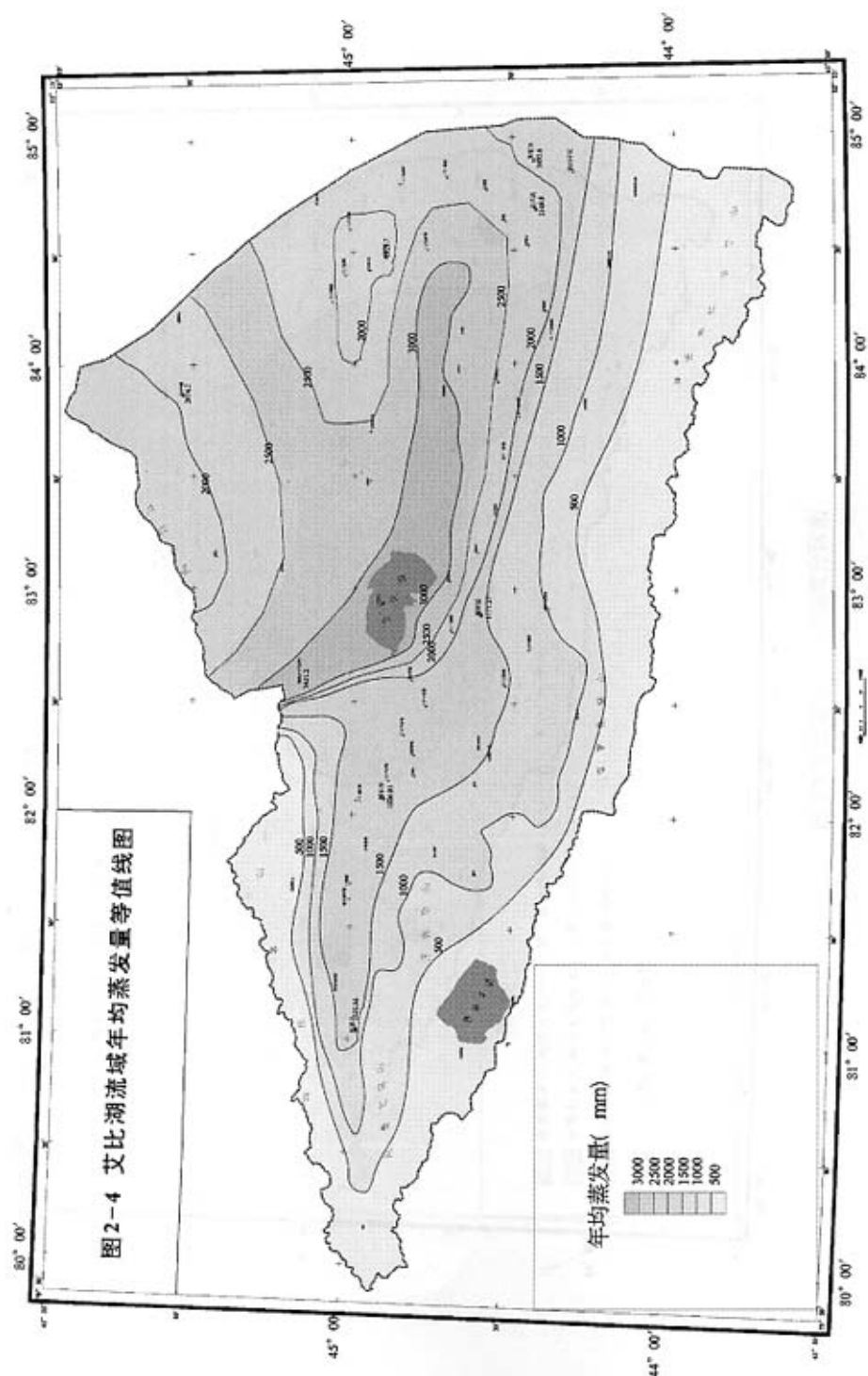


图 2.4 艾比湖流域年均蒸发量等值线图

2 艾比湖流域概况

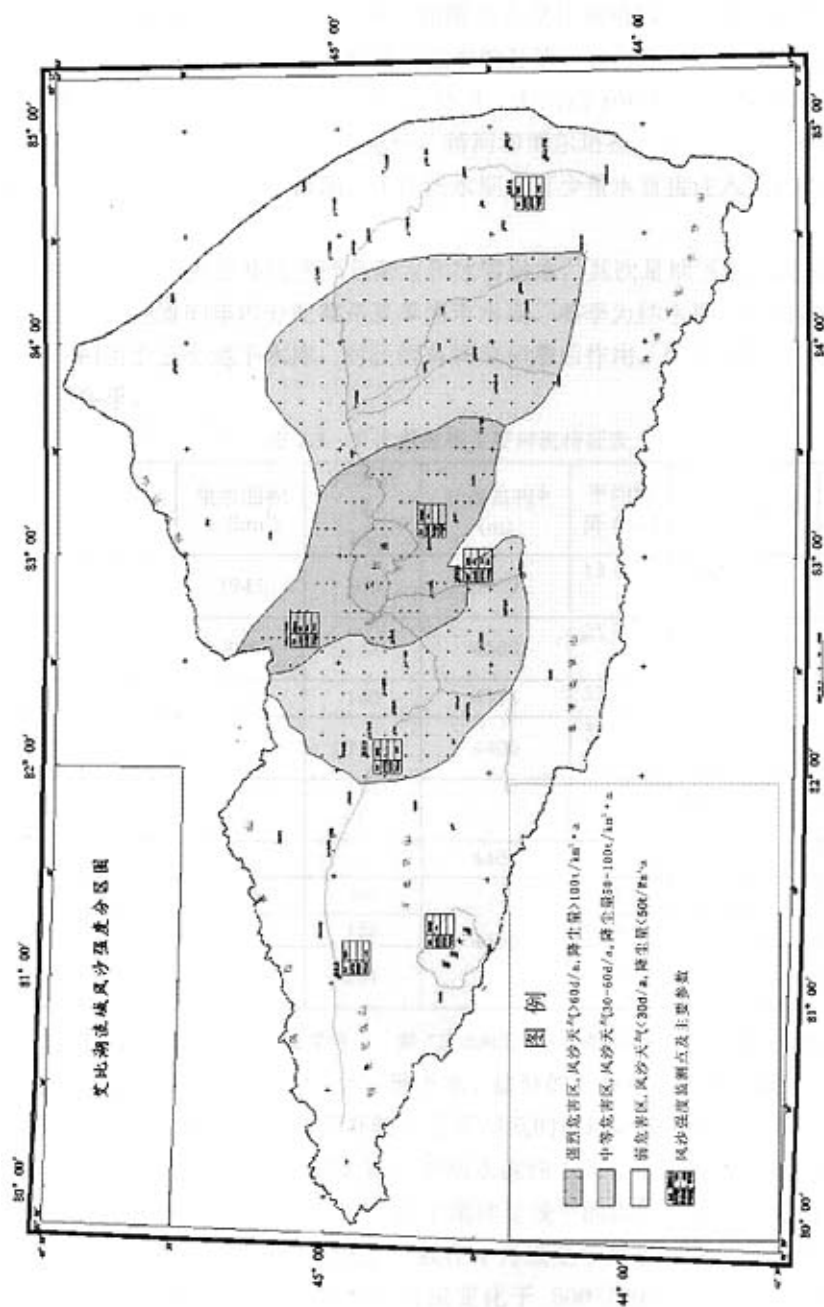


图 2.5 艾比湖流域风沙强度分区图

(2) 水文

流域内河流众多, 大小共有 47 条, 如图 2.6 艾比湖流域水系图, 均发源于流域周边的山区, 主要接受山区大气降水和冰雪融水的补给。径流量超过 $1 \times 10^8 \text{m}^3$ 的河流有奎屯河、四棵树河、古尔图河、精河、阿恰勒河、大河沿子河和博尔塔拉河(以下简称博河), 其中四棵树河、古尔图河、奎屯河、精河和博尔塔拉河最终汇入艾比湖。其它小河流流出山口后在戈壁带大量渗漏, 仅在洪水期才有少量水直接注入艾比湖。艾比湖主要河流特征见表 2.3。

流域内各河流的主要补给来源是降水和冰雪融水, 其次是地下水。流域内的河流, 除博河下游外, 径流的年内分配都是夏季为丰水期, 冬季为枯水期。博河谷地因有三个断陷盆地, 相当于三个地下水库, 对径流有调节和滞后作用, 受此影响, 博河下游的丰水期出现于冬季。

表 2.3 艾比湖流域主要河流特征表

河名	站名	集水面积 (km^2)	河流长度 (km)	发源高程 ^① (m)	平均坡降 (‰)	流向	多年平均径流量(10^8m^3)
奎屯河	加勒果拉	1945	360	4909	13	南北	6.31
四棵树河	吉勒德	896	168	4500	25	南北	2.89
古尔图河		1054	140	4715	32	南北	3.43
精河	精河山口	1419	110	4400	38	南北	4.75
阿恰勒河	阿尔卡					南北	1.37
大河沿子河	大桥			4400		西南—东北	1.38
博河	温泉	2206	98	4500	21.2	东西	3.18
	博乐	6627	188		9	东西	4.80
	90 团大桥		291		3	北东	3.21

^① 从 1: 100000 地形图上量得 据“艾比湖汇流区水资源与环境地质综合评价报告”

艾比湖位于流域中心, 是地表水、地下水、盐分的汇集中心, 是新疆第一大咸水湖, 主要由博尔塔拉河、精河和奎屯河补给, 是各河流的尾闾, 没有排泄通道。湖底平坦, 坡度均在 0.5‰ 以下, 最大水深约 2.8m, 平均水深约 1.4m。平面上呈肾状, 东南—西北方向展布, 长 50~70km, 宽 14~20km。由于湖体呈浅平的盘状, 随气候变化和入湖水量的动态, 湖泊面积在一年内变化较大。一般在 4 月底至 5 月初达到年内最大, 10 月底湖面最小。自解放以来, 艾比湖的水域面积变化于 500~1200 km^2 之间, 湖水矿化度达 80~145g/L, 水化学类型为 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{-Na}$ 型。

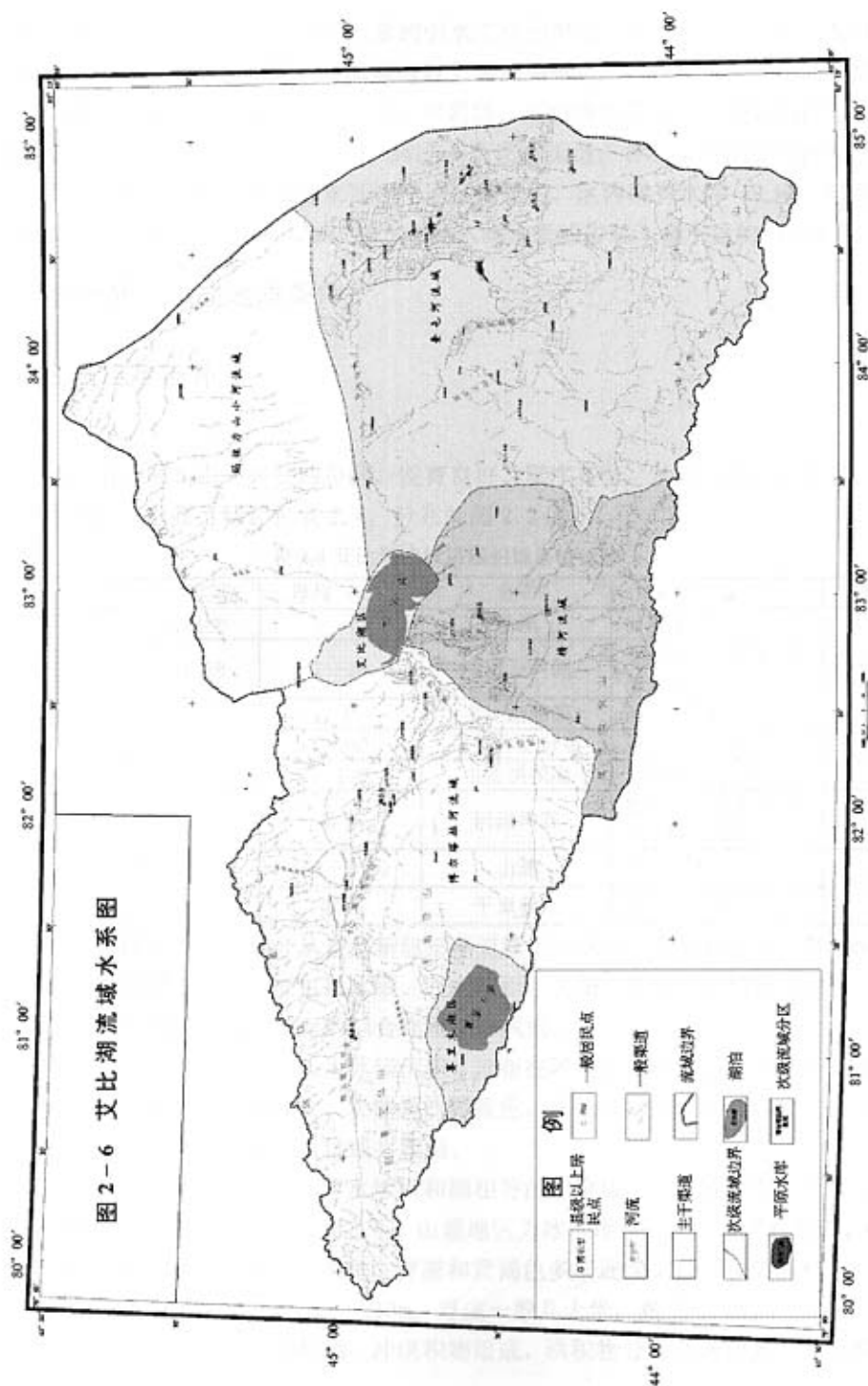


图 2.6 艾比湖流水系图

为了农业开发,流域内修建了大量的引水工程如渠首、灌溉渠道、水库以及排水渠道。渠首一般在河流出口附近,流域内较大河流如奎屯河、四棵树河、精河等均修建了完备的渠首。灌溉渠道分干、支、斗、农四级,逐级将水从渠道输送到田间。流域内渠道在 2000 年已达 11748km,其中有 2417km 为防渗渠道,各级渠道围绕绿洲灌区。水库是为了调节河流洪峰和灌溉蓄水而在平原区修建的,区内现有水库 19 座,最大的水库为柳沟水库,库容 $1.02 \times 10^9 \text{m}^3$ 。排水渠的入湖水量约占总入湖水量的 10%左右。

2.2 区域地质与水文地质条件

2.2.1 区域地质条件

(1) 地层

流域内地层属天山—兴安地层区,发育良好、层序齐全,从元古界、古生界、中生界至新生界均有出露。特征见表 2.4,分布如图 2.2 所示。

表 2.4 艾比湖流域第四纪地层特征表

序号	时代	成因类型	厚度 (m)	分布	组成	备注
1	Q ₁	风积物	3—40	沙漠	松散干燥沙	现代堆积
2		冲积物	2—20	河道及两侧	亚砂土、亚粘土、局部分布砂碎石	
3		湖积物	5—10	艾比湖湖滨	粘土、亚粘土、含盐	
4	Q ₂	冲洪积	20—60	平原广泛分布	亚砂土、亚粘土	新疆群
5		洪积	> 100	山前洪积扇	砂砾, 混杂	
6	Q ₂	冰水堆积	数十	河流沟谷	卵砾石、分选差、砾径 20—50cm	乌苏群
7	Q ₃	冰碛物	152—2000	山麓	含泥砂石	西域组
8		冰水-湖相	数百	平原腹地	灰色亚粘土	

流域内第四系地层的划分从老到新包括早更新世西域组、中更新世乌苏群、晚更新世新疆群和全新世,成因类型包括冰碛、冰水堆积、洪积、冲积、湖积及风积等,它是在新构造运动和第四纪气候演变的综合作用下形成的。

下更新统(Q₁) 地面的露头为冰碛沉积,分布在阿拉套山南坡、博罗克努山北坡山麓库色木切克河两侧,厚度较大。岩性为浅棕黄色、灰色砾岩层。砾石成分主要由变质岩组成,分选性差,棱角状,胶结或半胶结。

中更新统(Q₂) 由冰碛物、冰水堆积和湖相等沉积组成,在流域南部的天山山麓出露,平原地区的埋藏在后期沉积物之下。山麓地区为冰水堆积,岩性以砾石夹砂、粘土,分选性差,厚度大。平原地区由灰色、青灰和黄褐色多层连续交替沉积的亚粘土、亚砂土夹细砂层组成,顶面埋深约 150~213m,厚度一般几十米,最大 194m。

上更新统(Q₃) 主要由洪积物、冲洪积物组成,洪积物分布在南部天山和北部玛依

力山山前, 构成连续缓倾斜的洪积扇, 组成物质为含砂砾石, 厚度上百米, 大小混杂, 结构疏松, 形成良好的储水空间。冲洪积物分布在河流下游阶地两侧的地区, 大部分出露地表, 局部被全新统风积物或河流堆积覆盖。组成物质多为砂, 局部含砾石或粘土层, 纵横向变化大, 一般分选好。

全新统(Q4) 包括了湖积、冲积、风积等。

冲积物(Q4al) 分布在现代河流及其两侧, 形成多级阶地, 岩性为黄色亚砂土、亚粘土, 分选程度好, 厚度 2~20m。

湖积物(Q4l) 主要分布在湖滨及湖底, 岩性以粘土、亚粘土为主, 夹粉细砂, 土层致密, 下伏早期沉积物, 构成多层结构的承压含水层。

风积物(Q4eol) 分布在湖泊的南部、东部及 129 团以东, 分别为左顿爱力生沙漠(也叫乌苏沙漠)、维曲库木沙漠(古尔班通古特沙漠的西缘一部分)、丹德尕额勒森沙漠。岩性为细沙、粉细沙, 沙丘呈垄状或波状, 比高 10~20m, 最大 80m, 厚度变化大, 3~40m。

(2) 构造

流域在大地构造上属天山—兴安地槽区, 地跨准噶尔北天山优地槽褶皱带及西南天山褶皱系, 具体构造包括准噶尔海西宁褶皱带、别景他乌加里东褶皱带、准噶尔地块西缘和北天山海西宁褶皱带, 古生界地层构成了区内各大褶皱山脉的主体, 第三系地层则沿主体山脉的前缘, 呈断续带状分布, 组成了前山构造。在各褶皱山脉之间, 形成了块状分布的断凹, 包括博尔塔拉断凹、赛里木湖断凹、四台断凹、艾比湖断凹及精河拗陷, 它们堆积广厚的第四系松散沉积物。

褶皱山脉在构造挤压作用下抬升, 形成了多级夷平面, 属于构造抬升区; 各断凹相对沉降, 接受沉积, 属于构造沉降区。根据活动性的强弱, 可以划分为强烈上升区、中等上升区、强烈沉降区、中等沉降区以及过渡区, 如图 2.7 艾比湖流域构造分布图所示。区内新构造运动频繁, 形态类型多样, 表现有显著的对照性地形、新生代底层的褶皱变形等。显著的对照性地形: 区内山地于上新世—早更新世发生强烈断块隆升, 南部的天山及西部的阿拉套山、别珍桃山山峰高达 3000~5000m, 与盆地中心高差在 4000m。源于山区的河流多为“V”型峡谷, 下切深度数百甚至上千, 河流走向多与山体走向垂直。山前平原长期处于相对沉降, 形成了巨厚的第四系拗陷。阶梯状多层地貌: 山区普遍存在多级夷平面。夷平面多沿山体呈近东西或北西西向发育, 并顺山体坡向微倾, 倾角达 3~5°, 被活动断裂切割成阶梯状。所有河流均发育有不同高度和级别的阶地, 山区多基座阶地, 山前及山间谷地则以堆积阶地为主。新生代地层发生褶皱及倾斜: 下更新世西域组砾石层受挤压形成褶曲, 倾角达 40~50°, 与上覆地层为不整合接触。中更新世地层亦有轻微拱曲、倾斜。独山子、托斯台等地存在新生代褶皱, 古老断层复活, 切断了新生代地层。地热异常: 研究区有多处温泉或地热, 水温 33~51℃。独山子附近还有

泥火山锥分布。

区内活动断裂发育(如表 2.5),多为东西或近东西延伸的逆掩断裂,现代仍有活动,特别是 F1 温泉大断裂和 F6 博罗可努断裂,分布温泉,地震频发。

总之,流域新构造表现了以下特征:①继承性:新构造运动基本上继承了中生代末期形成的老构造格局;②新生性:即新构造运动在继承的同时有所发展;③间歇性:表现为多级夷平面及河流阶地;④新构造运动以断裂活动和断块运动为主,上新世为初动期,中下更新世为剧烈期,上新世及全新世为平静期。

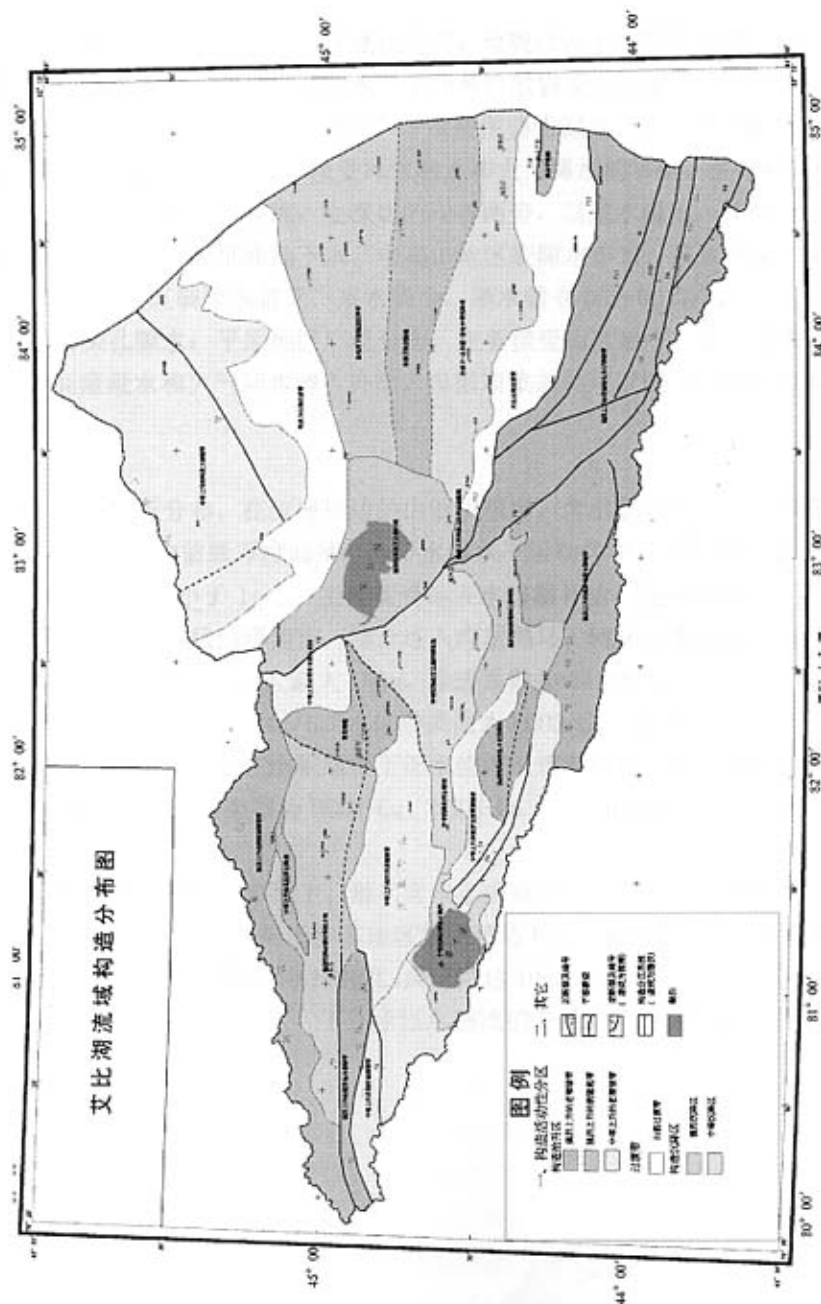


图 2.7 艾比湖流域构造分布图

2.2.2 区域水文地质条件

流域内地下水的赋存与分布受地质构造、地貌以及水文等因素的控制,水文地质分带明显。地下水类型包括基岩裂隙水、第四系松散岩类孔隙水。

基岩裂隙水:分布在流域山地区,含水层主要为泥盆、石炭系沉积—变质岩和火山岩,岩层破碎,节理裂隙发育。接受冰雪融水和大气降水的补给,在有利的地形条件下,降水入渗沿裂隙形成地下径流,在深切的沟谷两旁,以泉水溢出,补给山区河流,部分以侧向径流的形式补给平原地下水。中高山地区裂隙水丰富,泉水密集,泉组流量 5~501/s。低山丘陵区裂隙水贫乏,泉水稀少,涌水量 0.05~0.11/s。

松散岩类孔隙水:平原地区广泛分布,主要接受山区地下径流、地表河流、渠道、水库、田间灌溉水和大气降水渗入补给。根据埋藏条件可以划分为潜水和承压水,如图 2.8 所示。

(1) 潜水

在平原区广泛分布,在流域周边的山前洪积扇,含水层岩性为洪积卵砾石层,厚度一般 100~400m,向前缘厚度减薄,地下水以水平运动为主,单井涌水量一般大于 10~301/s,矿化度一般小于 1g/L。主要接受地表水渗漏补给,逐渐向河流下游径流,部分在前缘以泉集河或片状沼泽溢出,部分进入深层循环,转化为平原地下水。潜水在洪积扇中上部埋深一般大于 30m,最大 180m。渗透系数 $K=64.6\text{m/d}$,单井涌水量 143.221/s。如图 2.9 所示,矿化度 0.24g/L,水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型,水中离子绝对含量较低,与河水水质相近;而在洪积扇中下部水位埋深逐渐变小,在洪积扇前缘溢出,矿化度小于 0.5g/L,水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 型,水质良好。

在溢出带以下的冲积平原上,潜水含水层由亚砂土、亚粘土和粉细沙组成,厚度变化大,一般不超过 20m,在局部沙漠地区厚度可达 80m,渗透系数小,埋深多在 3~10m,局部沙漠可达 50m。矿化度多为 1~3g/L,局部可达 10g/L,水化学类型为 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}$ 或 $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4$ 型(如图 2.9)接受大气降水、下伏承压水越流的补给,向下游和河谷径流,蒸发和植物蒸腾排泄。

表 2.5 艾比湖流域活动断裂特征一览表

编号	名称	长度 (km)	产状		性质	形成 时代	活动情况	活动速率 mm/a	
			倾向 (°)	倾角 (°)				垂向	水平
F1	温泉大断裂	200	0-5	45-70	逆断裂	塔里木末期	有温泉及地热分布 水系直角弯曲		
F2	赛里木湖北 断裂	165	0-15	50-60	逆断裂	塔里木末期			
F3	沃托格赛尔 河断裂	60	185	50-65	正断裂	塔里木末期	有温泉出露, 水温 50°左右		
F4	库色木切克 北断裂	50	0-20	45-80	正断裂	晚古生代前	切割了第三纪上新 统		
F5	库色木切克 断裂	> 50	15-20	60-80	右旋逆走 滑	清白口纪末期	青白口纪逆掩于下 更新统之上	0.8	1.92
F6	博罗克努断 裂	269 (区 内)	210	50-70	右旋逆走 滑	古生代	水系明显错动, 多次 发生 5 级以上地震	1.89	1.46
F7	达尔布特断 裂	> 70	NW	70-85	右旋逆走 滑	华里西早期	切割了上更新统和 全新统		
F9	乔尔马南断 裂	上百	210-220	70	右旋逆走 滑		一系列水系错断		
F10	亚马特断裂	数百	210	70	右旋逆冲	华力西中期	沿断裂带发生过 5.4 级地震		
F11	准噶尔南缘 断裂	200	S	60-80	右旋逆冲	印支期	中强地震频繁, 发生 过 8 级地震	2.49	1.5
F12	托斯台断裂	26		陡	逆	新生代			
F13	独山子断裂	26	S	50	逆冲	新生代	第三系斜冲到晚更 新统阶地砾石层上, 错断 1 级阶地。发生 过 6 级地震	2.14	

资料来源: 艾比湖汇流区水资源与环境地质综合报告, 1994 年, 新疆水文地质工程地质队

随着气候变化, 水位和水温出现波动 (如图 2.10 所示), 平原地区 7-8 月水温最高, 11 月-翌年 4 月水温较低, 与气候变化相对应。从埋深变化曲线可以看出, 下游平原地区年内地下水位埋深变化不大, 最大变幅仅为 0.23m。该井的低水位时段为 3-4 月和 9-10 月, 埋深均在 6.5m 以上, 最大 6.53m。这是春秋两季灌溉开采造成地下水下降。12 月水位埋深最小, 为 6.30m。这是由于冬季开采量小且蒸发微弱, 潜水位回升。

在艾比湖及其湖滨地带, 地表土壤由湖积的亚粘土、粘土组成, 矿化度达 100 g/L 以上, 地下水化学类型为氯化钠型水。潜水接受大气降水和下伏承压水的越流补给, 基本不流动, 以蒸发排泄和向湖泊测向排泄为主。

(2) 承压水

分布在细土平原，西到五台-达勒特，南至精河-古尔图-奎屯，北至阿拉山口-五道泉范围内，基本上连成一个整体，东部与天山北麓细土平原区相连。含水层主要由更新世-全新世冲积和洪积的亚砂土、亚粘土与砂砾石构成，总厚度约 300m。据“乌苏区域水文地质普查报告”，研究区承压水按照埋深大致可以划分为浅层、中层和深层，浅层承压水顶板埋深约 30m，厚度 2~20m，底板埋深 40~60m，含水层岩性以砂为主，夹多层砾石，承压水位 5m~+3m，在盆地中心局部水位高出地面，形成自流。中层承压水顶板埋深 90~120m，厚度 20~60m，岩性为含砾砂，夹亚砂土、亚粘土承压水位+2m 到+15m，是目前主要的开采层，单井涌水量 2000~5000m³/d，水质良好。深层承压水顶板埋深 180~250m，含水层厚度 30~100m，承压水位一般高出地面 20m 以上，单井涌水量 3000~5000 m³/d，水质优良。承压水主要在洪积扇前缘接受潜水补给，向下游压力逐渐变大，下层向上层越流排泄。在 126 团一带，多年开采以后，其承压水位约 5m，在春灌开采中水位迅速下降，最深 25.01m，地下水位动态主要受开采影响变化剧烈，如图 2.11 所示

图 2-9 艾比湖汇流区地下水水化学图

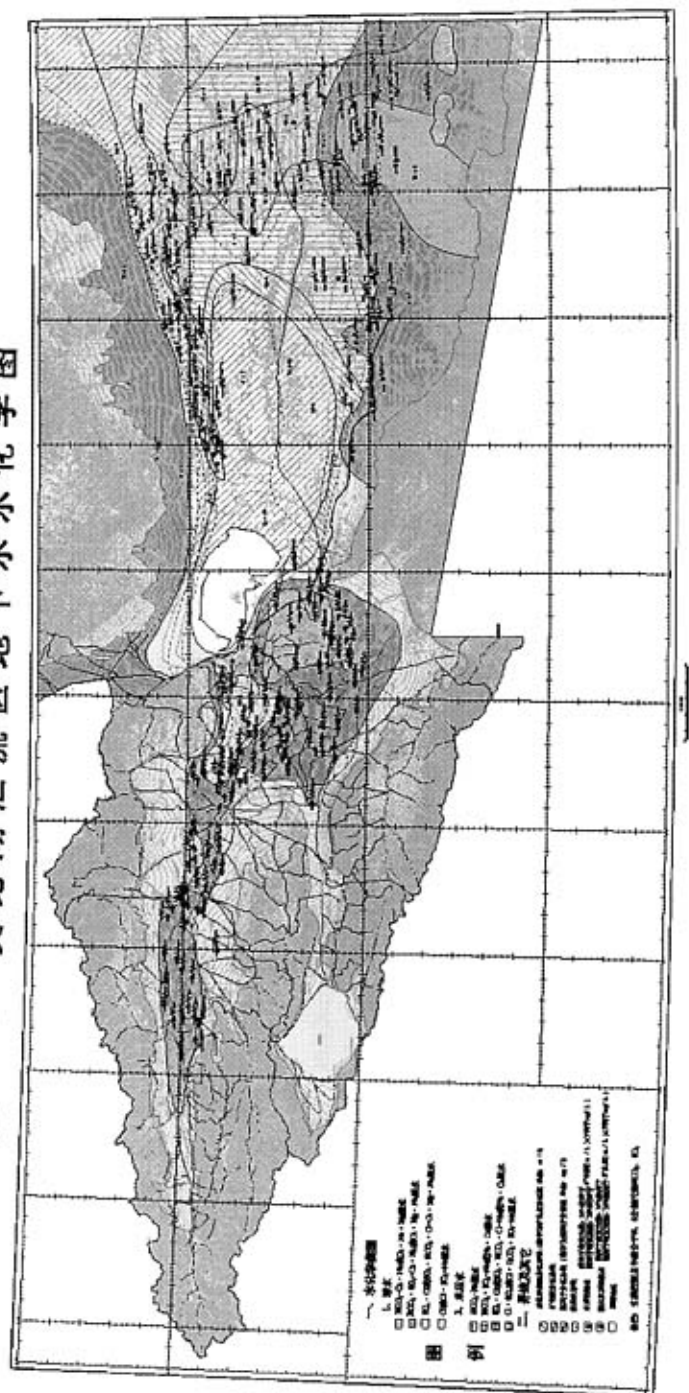


图 2.9 艾比湖汇流区地下水水化学图

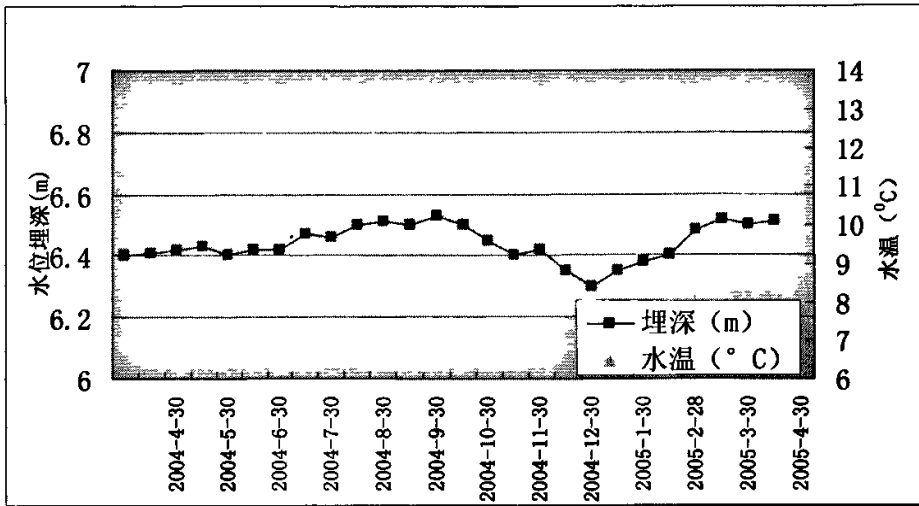


图 2.10 甘家湖牧场 B24 井 2004 年 5 月-2005 年 4 月潜水动态

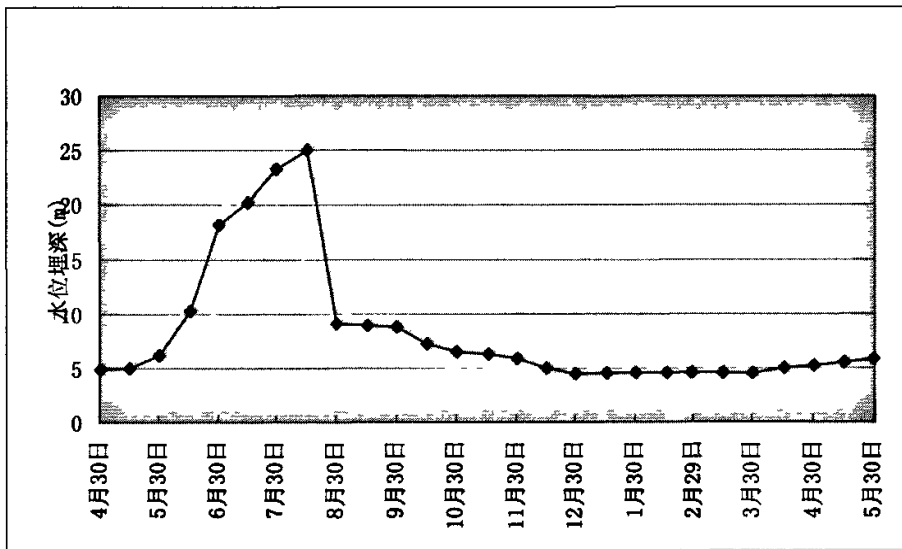


图 2.11 126 团 B6 井 2004 年 5 月-2005 年 5 月承压水位动态

3 艾比湖流域生态环境问题及其驱动力

3.1 水资源与生态环境特征

3.1.1 水资源与生态环境关系

艾比湖流域地处大陆腹地，为一个封闭的内流水系，水分来自于流域周边的高山，平原区为厚度巨大的松散沉积物，降水稀少，蒸发强烈，在这样的水分分布条件下，流域总体上表现了典型的内陆干旱荒漠环境，组成一个典型的内陆干旱山地-绿洲-荒漠（MODS）系统，水文状态是生态环境的决定因素。流域水资源的分布明显受地貌类型的制约，从盆地边缘到盆地中心呈明显分带，依次为山区-山前戈壁带-细土平原绿洲带-细土平原荒漠带-湖泊。河流是水资源的传输通道，将山区形成的水资源带到平原直至湖泊。各带的特征从上游向下游描述如下：

(1) 山区 本区分为中高山和前山带，中高山区主要由古生代变质岩构成，裂隙发育，分布基岩裂隙水，水量丰富，接受降雨和冰雪融水补给。前山带主要由中生代碎屑岩构成，水量微弱，主要接受大气降水补给。基岩裂隙水在地形有利的地段以泉的形式溢出。山区河流汇集了降雨、冰雪融水、泉水，在出山口流量达到最大，出山口的河流流量基本代表了流域的总水资源量，因此山区是水资源的形成区。受水资源分布的影响，山区自高向低依次分布了冰川、高山草甸、山地林带、低山草甸等生态单元。在艾比湖流域南部的天山和西部的阿拉套山，山体高耸，处于北冰洋湿润气流的迎风面，每逢夏秋，云雾缭绕，降水较多，具有明显的垂直分带特征，植被属暖温带草甸、森林、荒漠带状结构，生长针叶乔木、灌木和草本，生态环境良好；北部的玛依力山属亚寒温带大陆性草原、荒漠结构，发育草甸土、黑土、栗钙土等，生长草本植被和灌木等，生态环境较好。

(2) 山前戈壁带 地貌上为倾斜平原，组成物质为大厚度的洪积砂砾石，形成了单一结构的砂砾石含水层。河流大量渗漏，转化为地下水。在洪积扇后缘，地下水位埋深大，多在 50m 以上，最大 180m。地下水水化学性质与河水相近，人类活动少，生态环境基本保持天然状态，分布少量依赖于降雨生存的梭梭、罗布麻等。戈壁带中部为地下水的径流带，埋深在 10~30m 之间，进一步接受河水渗漏补给，地下水水质良好，适合开采。生长的植被为低矮的垫状荒漠灌丛，盖度 2~8%，长势较差。在戈壁带前缘，地下水呈带状溢出，部分地段形成湿地，生长大量红柳，称为地下水溢出带，是天然绿洲的主要水源。

(3) 细土平原绿洲带 该带地貌类型为细土平原，组成物质为上更新统的亚砂土、

亚粘土等,下伏中下更新统砂砾和粘土层。构成了上部有潜水,下伏多层承压水的复杂含水层系统。潜水含水层地下水位埋深一般1~10m,由于地形平坦,蒸发强烈,潜水发生矿化,土壤积盐,生长了耐盐碱的红柳、胡杨等。承压含水层水量丰富,水质良好,是目前主要开采层。该带多被人类改造成耕地,种植农作物,修建渠道和水库来灌溉,是适宜于人类的聚集区和社会经济发展中心。

(4) 细土平原荒漠带 荒漠分为砾质戈壁、土质荒漠、沙漠及盐漠,流域内广泛分布,是一类极端缺水、植被稀疏、结构简单、生物量低、产量波动大、生物种类多样性贫乏的代表性生态系统,生态环境较差。在河流下游,河水基本被利用或潜入地下,土壤缺水形成了沙漠、土漠、盐漠等多样化的荒漠土地。地貌类型为河流阶地或洪泛平原,夹杂早期湖积物,沉积物类型有砂土、亚砂土、亚粘土、粘土等。由于缺水形成土质荒漠,部分地段在风力作用下形成沙漠,局部土壤大量积盐形成盐漠。艾比湖流域的细土平原荒漠在奎屯河下游最典型,位于以乌苏沙漠为中心的奎屯河南岸,甘家湖梭梭自然保护区基本与该带范围一致,地下水位埋深多在10m以上,主要生长了耐旱的梭梭、白梭梭,仅在河谷湿地生长河岸胡杨林或芦苇。

荒漠和绿洲互为消长,在足够的水肥供应下,部分荒漠可以转化成绿洲,同样绿洲疏于管理,长期缺水,也可演变成荒漠。总之,水资源在平原地区消耗和转化,荒漠和绿洲共存,生态环境中等—较差。

(5) 湖泊 艾比湖是典型的尾间湖泊,接纳了各河流的尾水和灌溉余水,具有湖面宽阔,水深较小,随来水量和蒸发消耗的变化湖面在年际和年内发生明显的变化,引起湖水矿化度的变化。艾比湖是流域水分和盐分的汇集中心,湖周分布大片湿地,地形平坦,地下水埋深均小于1m,生长了大量的耐盐植被,主要类型有盐生灌丛、水生芦苇以及红柳、梭梭等。植被覆盖度高,是野生动物的乐园,同时消耗了大量的水资源,盐分在湖水和土壤中不断积累,在湖滨形成平坦的盐土平原,维持了平原水分状态和植被分布,是艾比湖湿地保护区的主体,生态价值较大,生态环境差—较差。

总之,山区是流域水资源的形成区,水量丰富,植被类型多样,长势较好。平原地区呈现了绿洲与荒漠共存的局面,水分充足的地段成为绿洲,缺水的地区成为荒漠,依土质不同分为砾质、沙质、盐土质等。水资源在荒漠和绿洲之间经历多次转化,逐渐消耗,最终流入艾比湖。在这个过程中,对生态环境而言,地质地貌是基础,水资源是核心,地表河流是传输通道,随河流从山区进入平原,在平原地区从戈壁到细土平原绿洲再到荒漠,最后汇入艾比湖。河流与地下水相互转化,地下水在水量上由小到大,水质由淡到咸。生态系统由山地森林、草地演变为荒漠灌丛再到绿洲农作物,经荒漠灌丛后在湖滨成为盐土荒漠灌丛或水生群落,生态环境逐渐变差。

3.1.2 生态环境基本特征

与其它内陆干旱区类似,研究区的生态环境受气候条件、地貌特征、水文状况等环境要素的综合影响,具有以下基本特征:

(1) 艾比湖是系统的核心,其水盐动态对流域生态环境有控制作用

艾比湖及湖周湿地是整个流域的水量调配站,地质历史时期内湖周平原区形成了沙漠、原生盐渍土、湿地等,湖泊面积的大小对这些地区必然产生影响。湖泊萎缩后形成的干涸湖底是风沙天气形成的条件之一,水量减少盐分增高会使湿地植被衰退。

(2) 以地表水为纽带系统内部强烈交换

整个流域是一个以河流为主线衔接山地、绿洲、荒漠、湖泊的封闭系统,与外界交流很少,但系统内部开放性很强,物流、能流、信息流交换率高,地表水携带着山区的风化物和能量,在平原区堆积形成各种地貌景观和生态单元。

(3) 生态系统和环境要素均对水分特别是地下水有强烈的依赖性

山区水量丰富形成了山地草甸、森林等单元;平原地区水分充足地段发育着湿地或林带,人工绿洲引用地表水或地下水来维持农业生产,缺水地区呈现了沙漠、砾漠、盐漠等多种荒漠景观。河谷生态景观以河道为对称轴体现了生态系统对水分很强的依赖性,随远离河道,地下水位由浅变深,生态系统由水生、湿生、中生、旱生向超旱生演化;湖泊则依赖于入湖水量来维持。地表水除灌溉绿洲地区的人工作物外,支持了河道及低阶地范围以内植物的生长,而分布广泛的荒漠植被主要依靠地下水生存。土地因水分条件不同而发生变异,地下水位埋深浅是盐渍化发生的必要条件,而埋深大则易发展成沙漠。

(4) 绿洲和荒漠此消彼长

绿洲是镶嵌在荒漠上的特殊地理景观,其发展演化主要决定于人类活动,充分依赖地表径流而存在。绿洲的扩大导致更多的水分储存于地下,造成荒漠区补给水量减少,地下水位埋深加大,植被退化,荒漠化程度加重。

3.2 艾比湖流域生态环境问题

艾比湖流域生态环境自 20 世纪 50 年代以来,先后经历了急剧恶化、持续较差和逐渐恢复几个阶段。虽然近年来流域生态环境有所改善,但是总体来讲生态环境还是相当脆弱。根据野外调查工作和前人资料的整理分析,艾比湖流域目前存在的生态环境问题可以总结为:

3.2.1 天然水域萎缩

自解放以来,流域内自然水体呈减少趋势,主要表现有:湖泊萎缩而且水质恶化、

部分河流断流、泉流量衰减，分别描述如下：

(1) 湖泊萎缩而且水质恶化：艾比湖湖面的扩大与萎缩对流域生态环境具有重要的影响，因此必须确保每年有足够的入湖水量。资料表明 2000 年以来，艾比湖平均湖面维持在 850km^2 以上，尽管目前湖面维系着相对较大的面积，然而相对于 50 年代还是较小的，湖面已经很难恢复至原有水平(如图 3.1)。整个流域生态环境的变化与艾比湖面积的萎缩与扩大具有密切的关系。水域面积大时，湖滨地带被水覆盖，湖周湿地范围扩大，植被生长良好。良好的植被和水覆盖地表，风沙强度降低，沙源减少，对湖周平原区的危害减小，整个流域生态环境表现较好。反之水域萎缩时，湖底裸露，湿地变干，植被缺水。在阿拉山口大风作用下，平原区风沙危害增强，流域就呈现了恶化的生态环境。

艾比湖在形成初期，是淡水湖。在漫长的历史过程中，艾比湖所在区域受到干旱气候的控制，逐渐演变成了盐湖。其矿化度随湖中水量和湖水水位而变化，最小 85 g/l ，最大达 145.7 g/L 。2003 年外业调查时，采取的 3 个艾比湖水样，位于湖泊南部，矿化度为 $85.1\text{--}95.9\text{ g/L}$ ，水化学类型为 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{--Na}$ 。据博州 2003 年水资源公报，按照地面水质量标准，艾比湖水质劣于地面水环境劣 V 类标准。主要超标项目为氯化物、全盐量、硫酸盐、化学需氧量、氟化物、高锰酸盐。

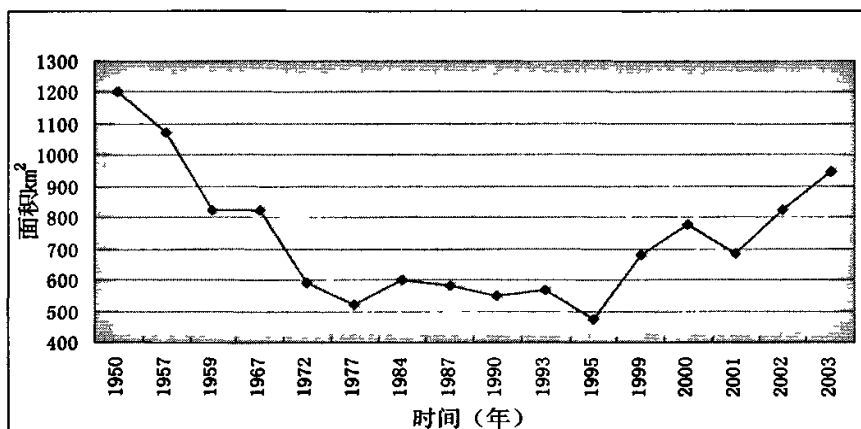


图 3.1 解放以来艾比湖面积的变化

(2) 河流面积不断减小：据统计，河流出口引水率达到 70% 以上，取水口数次向上游迁移。这样人工硬质河道—渠道代替了天然河道，造成下游不同程度的断流。奎屯河在车排子以下段仅有灌溉余水和排碱渠排水，断流长度约 70km 。古尔图河在古尔图镇以北断流，长度约 50km 。另外四棵树河和博尔塔拉河均在部分地段存在断流问题（如照片 3.1、3.2）。



照片 3.1 断流的博河（89 团）



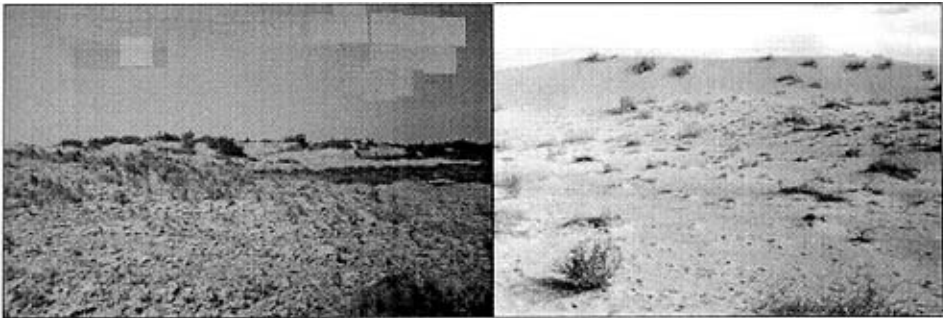
照片 3.2 断流的古尔图河（艾木台南）

(3) 泉流量衰减：2004 在乌苏—古尔图一带溢出泉基本已经消失，仅个别地段还存在。在博乐市西北约 10km，历史上为溢出带，泉水丰富，种植水稻。但在 2003 年调查时，泉水已枯竭。

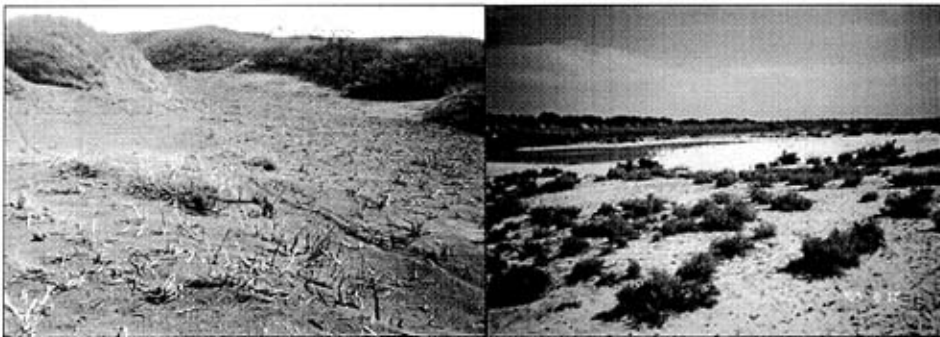
3.2.2 绿洲发展与沙漠化、盐渍化并存

人工绿洲逐年增加，主要以耕地的增加为主要特征。人工绿洲的增加表面上看是绿洲增加，实质上却是生态系统变得越来越脆弱。至2000年，流域人口发展为94万，耕地达到443万亩。50年间人口增加14倍，耕地面积扩大了13倍，耗水量年均增加了10亿方以上。由于农业发展，大量引用河水灌溉，造成了灌区地下水位抬升和荒漠区地下水位下降，同时引发了灌区的盐渍化和下游荒漠的沙漠化（如照片3.3、3.4）。

艾比湖流域地处于干旱区，沙漠危害严重。原生沙漠主要分布在奎屯河下游的乌苏沙漠和精河中游的沙山子，它们是自然演化的结果。近年来随着人类开发活动的加剧，流域沙漠呈现扩大趋势，变化最明显的是艾比湖周边的湖滨地区，特别是西北部，已呈现沙漠景观。随着湖泊萎缩，湖底裸露，经长期冻融干湿变化，地表疏松土层成为了重要的风沙源。其次在精河县沙山子-蘑菇滩一带，沙丘平均以 16.5m/a 的速度向东南方向移动，威胁北疆铁路和附近居民。由于天然河流入渗量的减少，同时渠道利用的提高，河流对地下水的补给大量减少，加之人类的地下水大量开采，戈壁砾石带地下水位不断的下降。下降最剧烈的地段为托托-高泉一带的天山山前洪积扇，潜水水位下降均超过 10m。地下水位下降造成地表生态遭受严重破坏，从而造成沙漠化趋势。



照片 3.3 艾比湖周边的土地沙化

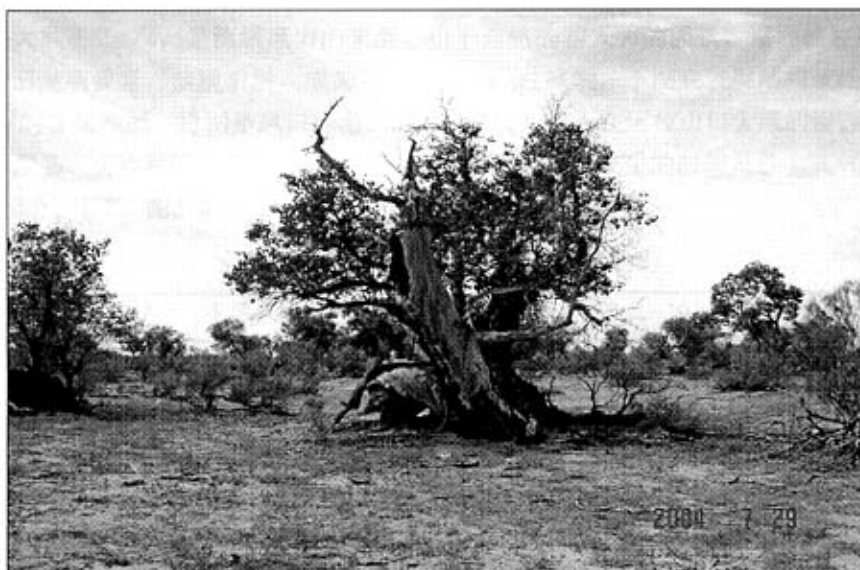


照片 3.4 比湖流域平原区沙化和荒漠化

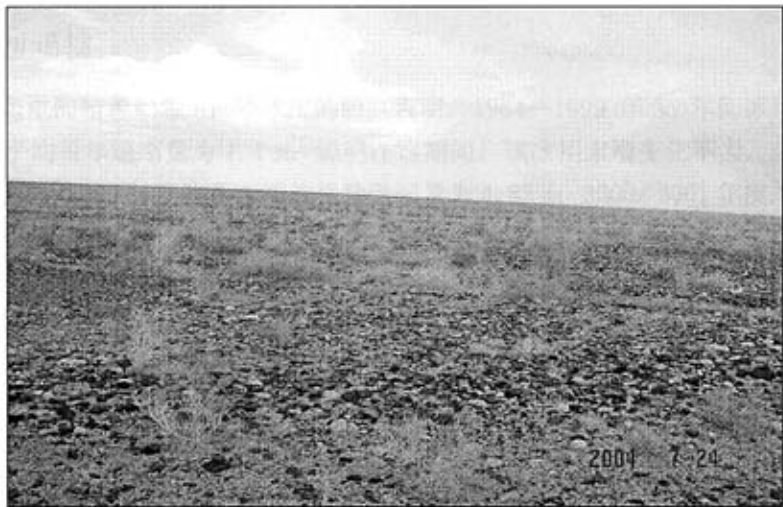
此外由于人类不合理的开发利用,土壤盐渍化问题日益严重。由于修建水库或引水灌溉,造成库区周边或灌区地下水埋深变小,出现不同程度的土壤次生盐渍化问题。流域内盐渍化严重的区域主要有两处,一为车排子灌区,其范围西起西干渠,东至 217 国道,南到奎屯-乌苏一线,北至 126 团,地下水埋深多在 3m 以内,盐渍化严重。二为精河以北蘑菇滩至 90 团一带,地处精河和博河下游,组成物质细,地下水交替能力弱,埋深多在 2m 以下,在强烈的蒸发作用下,形成土壤盐渍化。

3.2.3 自然植被的退化

艾比湖流域生态环境问题的另一个重要方面就是自然植被退化严重,生物多样性遭到破坏。50 年代以前,艾比湖盆地生长着梭梭林 100 万亩,胡杨林 56.7 万亩,芦苇 70 万亩,覆盖度均在 60% 以上,另外还有草甸草场 180 万亩,加上荒漠草场共有 400 万亩。至 1978 年,梭梭林、胡杨林和其它林木剩下不到 60 万亩,而且覆盖度极低;芦苇仅剩 4 万亩;草场因盲目开荒而千疮百孔。近几年来,湖滨区胡杨林和梭梭林不到 $3 \times 10^4 \text{ha}$,芦苇仅存 $0.26 \times 10^4 \text{ha}$,草原退化十分严重。随着生存条件的变化,天然植被逐渐枯死(如照片 3.5),取而代之的是人工作物-棉花、小麦,以前平原地区广泛分布的红柳在绿洲地带仅在局部地段的沟渠路旁分布,梭梭高度变小,盖度降低,呈矮灌或垫状,在山前洪积地带逐渐演变成以琵琶柴为主的格局(如照片 3.6)。



照片 3.5 乌苏沙漠中退化枯死的胡杨



照片 3.6 戈壁上生长稀疏的垫状灌木

3.2.4 沙尘天气

近年来沙尘天气已经成为流域生态环境的又一个主要问题。阿拉山口是我国著名的风口，是大西洋暖湿气流进入北疆的主要通道之一。年平均大风日数165天，最多188天，瞬时最大风速55m/s，是流域风力的来源。由于自然的和人为的因素，湖周植被严重衰退，干涸湖底裸露，盐漠扩展，成为不毛之地。经过冻融，干湖底表层结构疏松，形成1500km²的含盐沙源，特别是风口前沿500km²的湖底盐漠，在阿拉山口大风的侵蚀下，常形成沙尘暴、扬沙和浮尘天气。例如精河县不同等级大风发生的时间及沙尘天气的日数（如表3.1、3.2、图3.2），成为了流域重要的生态环境问题。

表 3.1 精河县各月大风统计表（单位:小时）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
≥17m/s	0.3	0.6	1.9	4.2	6.1	3.9	2.4	2.0	2.2	2.3	1.3	0.6	27.8
≥6m/s	2.8	10.7	22.8	60	51.5	29.1	17.1	11.7	13.3	20.6	23.5	4.9	268.5
≥8m/s	1.1	3.8	5.0	24.2	29.1	4.9	3.9	2.3	4.7	7.6	5.3	1.2	84.4

表 3.2 精河县每年各月平均风沙天数（单位:天）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年	4-6月
沙尘暴	0	0	0.4	1.5	1.5	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0	4.9	71.4%
扬沙	0	0.5	1.3	2.9	2.7	2.2	1.3	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	14.5	53.7%
浮尘	0.1	0.9	3.5	4.6	3.3	1.7	1.7	2.2	1.4	0.6	0.5	0.1	20.6	55.3%

3.2.5 冰川退缩

根据奎屯河哈希勒根 51 号冰川的研究表明, 1964—1999 年 35 年间冰川末端退缩了 49 m, 平均每年退缩量为 1.4 m, 说明在这期间, 该冰川末端变化不大, 处于相对稳定状态; 1999/2000 年度冰舌末端的平均退缩量为 4.83 m; 2000/2001 年度的平均退缩

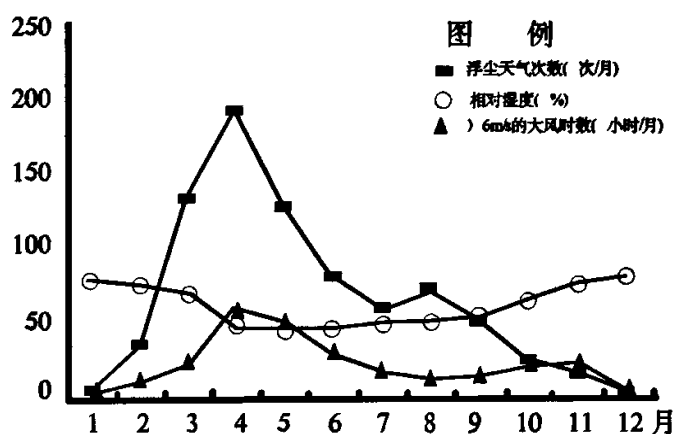


图 3.2 艾比湖流域浮尘天气次数年内变化曲线

量为 5.20m; 反映出自 20 世纪 90 年代末期以来, 冰川退缩增大的趋势, 这与 20 世纪以来气候的变化特征是密切相关的, 从 19 世纪 80~90 年代起, 我国气温开始上升, 到 20 世纪 40 年代达到最高, 冰川消融增大, 出现退缩。此后转为降温, 60~70 年代初达到低点, 冰川积累并出现前进或处于稳定状态, 70 年代后又趋于转暖, 至 90 年代, 气温达到 20 世纪最高的阶段; 因此, 冰川消融随气候的逐渐变暖而出现加剧的趋势(井哲帆, 叶柏生, 焦克勤, 2002)

3.3 艾比湖流域生态环境演化的驱动力

艾比湖及其周边环境演化是自然因素和人类活动共同作用的结果, 其中脆弱的生态环境是基础, 自然因素是内因, 人类活动对生态环境演化起到了叠加作用, 加剧了生态环境演化进程。

3.3.1 自然因素

(1) 地质构造与第四纪以来的气候变化控制了流域生态环境空间的分异和演化方向。

艾比湖位于准噶尔盆地最西缘。准噶尔盆地是上古生代后期至下二叠纪时期形成的古老地块。在早更新世, 艾比湖成为一个新的沉降中心, 与天山北麓其他河流脱离, 向北西方向迁移。中更新世—晚更新世, 湖泊中心迁移到古尔图以北的艾木台-甘家湖地

区, 流域的框架逐渐形成, 奎屯河、精河开始补给湖泊。晚更新世末, 在构造作用下, 博尔塔拉河切穿基岩山体, 高山湖泊一泻千里, 汇入艾比湖, 使得湖面达到最大, 达到 5400km^2 , 湖泊位置也迁移到现今艾比湖所在的地方。此时流域的地貌格局和水系分布基本与现代相似, 此后流域从地质演化进入了气候演化阶段。从晚第三纪开始, 气候开始变冷, 在新疆地区天山山地上升, 盆地下降, 干旱气候开始。第四纪冰期和间冰期的交替出现, 使得流水作用和冰川作用交替雕刻着被抬升到不同高度的准平原地形, 并将大量碎屑物质运移到山麓和盆地当中。自艾比湖流域形成以来湖的面积、湖水的成分以及周边的生态环境都受到了地质构造的控制而呈明显的空间分异性, 在时间上除了地震外, 表现是缓慢的, 在百年尺度上也许看不出变化, 但是在千年尺度上却是十分明显的, 不仅能够引起湖泊的变迁, 而且还能够引起地下水水位的变化, 引起河流侵蚀与结构取得变化。据地震部门资料表明, 艾比湖至呼图壁一带目前仍以 2mm/a 的速度不断下沉, 这种变化对于生态环境的演化是不容忽视的。

(2) 气候季节性、年际变化对艾比湖和生态环境演化影响表现出动态性

第四纪以来流域内的气候变化是流域生态环境演化的主要影响因素, 由于艾比湖地处欧亚大陆腹地, 年降水 100mm 左右, 蒸发量 1600mm 以上, 极端最高气温 44°C , 极端最低气温 -33°C , 气候极端干燥, 降水稀少, 构成典型温带大陆性气候。西北部阿拉山口是全国著名的风口, 盛行西北风, 全年8级以上大风达165天, 多集中在4~6月。流域的干旱少雨气候特征决定了流域生态环境的脆弱性。

① 气象要素的季节性变化

气象要素的季节性变化是影响流域生态环境演化的重要因素。降水和气温的年内分布不均匀共同决定农作物以及植被生长发育状况。因此在夏季降雨量相对较大、气温高作物生长相对较好, 生态环境质量较好; 在冬季和春季由于干旱少雨从而植被稀少, 生态环境质量较差。由于4~6月份区域内风速较大, 因此也是沙尘天气集中发生的时期。气象要素的季节性变化, 也影响了区内天然水域面积的扩大与收缩(见表3.3)。从表可以看出降雨量年内分布不均对于湖泊面积的消长具有重要的作用。艾比湖水面面积在春季为最大面积, 冬季次之, 夏季与秋季较小。因此气象要素的季节性变化是流域生态环境演化的重要因素。

② 气象要素年际变化

表 3.3 2003 年 2-7 月艾比湖面积与入湖水量变化 (单位 万 m^3)

时间	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	合计
面积 km^2	904	872	950	980	977	950	
蒸发模数 [*]	0.9191	3.4744	11.7242	15.7755	19.794	17.8143	
蒸发量	831	3210	11138	15460	19339	16923	51601
降雨量	633	227	732	2058	1671	4047	9368
地表水量	1668	7915	4109	5912	6509	1189	27302

气象要素中降雨量是影响流域生态环境演化的主要因素。根据气象观测资料,1997年为特枯水年,年降水量仅60.8mm,较多年平均值90.9mm减少30.1mm,而年蒸发量高1589.2mm,蒸降比为26.14,属于极度干旱,大风次数为23次,浮尘天气次数110次,艾比湖水面面积年均为491km²。1998年属丰水年,降水量为120.6mm,较多年平均值增加29.7mm,为1997年的1.98倍,大风天气仍为23次,但浮尘天气却降为43次,1998年艾比湖水面面积年均为639.4km²,说明风沙天气随降水量增加有减少,湖面面积随降雨量增加扩大。同样,1999年为丰水年,年降水量为122.1mm,较多年平均值增加31.2mm,大风天气13次,浮尘天气为60次,较1998年略有增加,与1997年相比仍有大的减少。在1998、1999年,入湖水量大幅度增加,由平水年的 $4.5 \sim 5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,增加到 $7 \sim 8 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,艾比湖水面面积也由491km²增加到1998年的639.4km²,1999年的709.4km²。1999年因入湖水量增大,湖水面积也随之增大到709.4km²,将湖西部起尘的108km²裸露湖底大部分覆盖,虽然2000年春季大风天气多达10次,但浮尘天气却只有12次,较1999年同期40次有较大幅度的减少,这说明气象要素与风沙天气、艾比湖水面面积具有密切的关联。当水覆盖湖西部起尘湖底时,风沙天气明显减少,如果完全覆盖则风沙天气将大幅度减少甚至消除。区域内艾比湖的面积增加以及生态环境有所好转的局面主要与七十年代以来流域内的降水增加和人类活动趋于稳定有关。

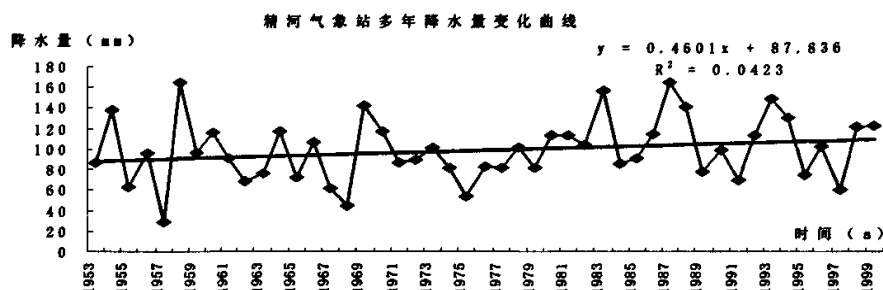


图3.3 精河气象站多年平均降雨量变化曲线图

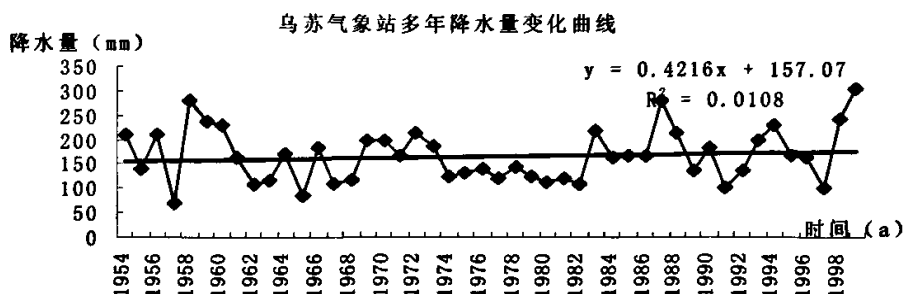


图3.4 乌苏气象站多年平均降雨量变化曲线图

③水文要素

水文要素也是影响流域生态环境演化的重要因素。目前流入艾比湖的地表水体只有精河和博尔塔拉河补给艾比湖,奎屯河仅在洪水年份偶尔有少量水入湖,如图3.5所示。入湖水量是影响的湖面积的重要因素,在98~99和02~03年,入湖水量超过平均值,为丰水年,奎屯河分别在99年和03年流入艾比湖 $0.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $0.326 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,对应的湖泊面积出现了2000年4月的 1096 km^2 和2003年5月的 1018 km^2 。据前人资料表明每增加 $1 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 入湖水量,湖面积增加 80 km^2 ,这说明入湖水量的丰枯对湖泊的面积具有重要的影响作用。此外河流面积的扩大与萎缩对于流域生态环境也有着重要的影响。

流域内河流水文要素的年际变化和季节性变化对流域的生态环境演化具有有重要的影响作用。夏季丰水期河流入湖水量增加,湖泊面积扩大,枯水期河流入湖水量减小湖泊面积缩小。此外由于河流的水文要素受人类的干扰严重,对生态环境演化的作用也被干扰。

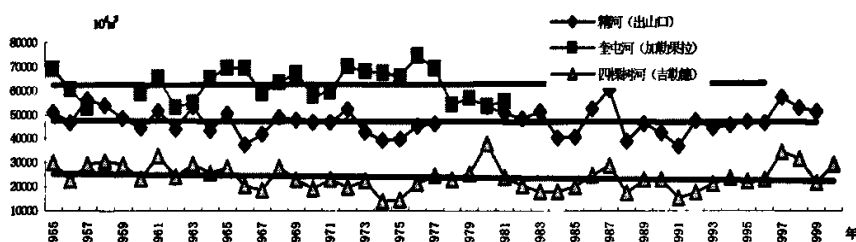


图3.5 艾比湖流域河流径流量年际变化曲线

3.3.2 人类活动

(1) 人类大量引水改变水资源空间格局是近几十年来生态环境演变的主要原因

由于气候干旱,水资源时空分配不均,无法满足农业发展的要求。为此,人类通过修建引水枢纽和在灌区配套干、支、斗渠等以及水库等水利工程,将大量河水引入灌区,使河流出口以下的水量被渠道引走,从而使河流下游的水量急剧减少或断流。河流流程缩短,部分小河流已经渠道化,平水期水流完全进入渠道,只有洪水期河流才有河水,成为季节性河,奎屯河现多年无水进入艾比湖。只有湖岸地下水以侧向径流方式排入艾比湖,排泄量仅为 $0.4650 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。经分析计算现状情况下奎屯河流域生态需水量 $5.29 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,而目前实际生态用水量只有 $3.03 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。生态缺水量 $2.26 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。人类的引水灌溉改变了水资源空间格局,从而也影响下游生态环境的演化。

受山口引水量逐年增加和渠系利用系数的提高,山前戈壁带河水对地下水补给量大幅度减少,20世纪50年代至今平均减少74%,同时叠加溢出带附近集中供水水源地开展,使区内地下水位持续下降,尤以奎屯—乌苏—独山子下降速度最大,其中奎屯兵团

站每年下降 0.85m, 奎屯市每年下降 0.3m, 奎屯市北化工厂每年下降 2m 左右, 四棵树水泥厂一带地下水位平均下降 0.3m/a, 山前倾斜平原中上部近几十年来地下水位累计下降了 3~10m。溢出带后退, 从 1970—2000 年溢出带向下游后退了 9~16km。四棵树以西至精河间, 上世纪 50 年代曾是连片沼泽, 形成以芦苇、梭梭和河谷林地为主体的甘家湖大片林区, 也因地下水位下降全部衰败。

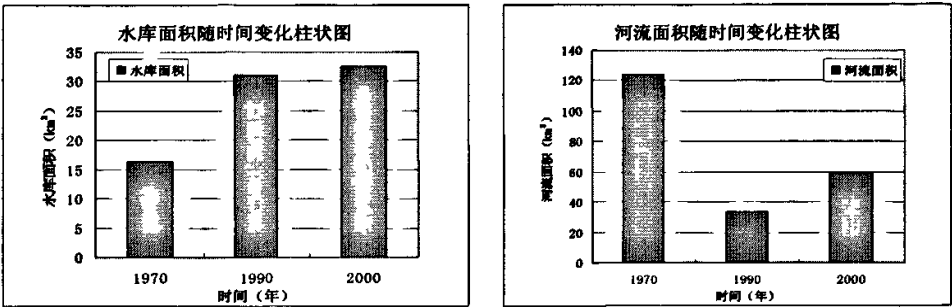


图 3.6 70 年代—2000 年艾比湖流域水库面积与河流面积变化图

在灌区却出现了另一种情况, 如奎屯灌区、奎屯河东灌区、奎屯河西灌区、车排子南灌区等。这些地区地下水位初期埋藏深度大, 但是由于地表水灌溉集中, 地下水位不断上升, 至 70 年代中期潜水位埋深仅 1~2m, 大约 $4 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 潜水由于地下水位埋藏浅被无效蒸发, 强烈的毛细作用与蒸发导致大量开垦土地次生盐渍化, 部分土地被迫弃耕。根据遥感解译结果表明区内盐渍化面积至 2001 年达 2037.8km^2 。

加之人类开垦的耕地, 原来的长势良好自然植被如草甸、灌丛、胡杨林等, 经过人类的改造, 变成了粮食 (如玉米)、经济作物 (如棉花)、人工林和经济林。这使得流域生态环境变得十分脆弱, 抗干扰能力也大大减弱。因此由于人类引水和灌溉的影响流域水资源格局发生了改变, 进而使得流域生态环境演化发生变化。

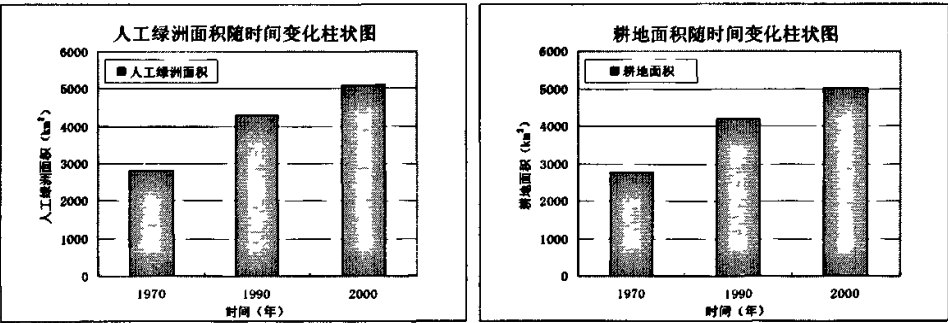


图 3.7 艾比湖流域人工绿洲和耕地面积变化情况图

(2) 人畜和耕地的增加对生态环境演化起主要作用

艾比湖近 50 年来生态环境演化与流域人口耕地面积增加具有密切的联系, 经前人研究每开垦 1 万亩耕地湖面缩小 2.25km^2 。近 50 年来湖面出现最大的变化在 20 世纪 60

年代,湖面减小近 500 km^2 , 是地质历史时期湖面退缩速度的 300 倍。这与流域耕地面积增加有直接关系。强烈的人类活动作用影响,使得流域温度、降水变化对湖面波动所产生的效应很难敏感体现出来。随后耕地面积增加变化缓慢,到 80、90 年代后基本处于稳定。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敏感地体现出来,受降雨量增加,入湖水量增加的影响,湖面 20 世纪 70、80 年代以来扩展了约 200 km^2 , 这与流域温度、降水的变化密切相关,是近期气候变化的响应。近 50 年来艾比湖湖面波动与流域耕地面积及农业用水量间的关系两者变化基本一致(如图 3.7)。近 15 年来降水量总体上升,但平均降水量略低于 50 年代的水平,除此之外目前的人类活动耗水量远远高于 50 年代(如表 3.4、图 3.8),因此,艾比湖面积难以超过或达到上世纪 50 年代的水平。

(3) 天植被破坏对生态环境演化的作用

然植被在涵养水源中有着极为重要的作用,由于该地区天然植被遭到不同程度破坏,因此造成了一系列生态环境负效应。其中最明显的例证就是博尔塔拉河和精河均发源于条件相同的山区,博尔塔拉河由于山地云杉过度砍伐和温泉至伯乐一带上万公顷的榆树林被毁,造成同时期河水径流量减少 12%,而精河一带没有遭到破坏河水径流量仅减少 2.6%。说明植被对流域水资源和生态环境具有重要的作用。

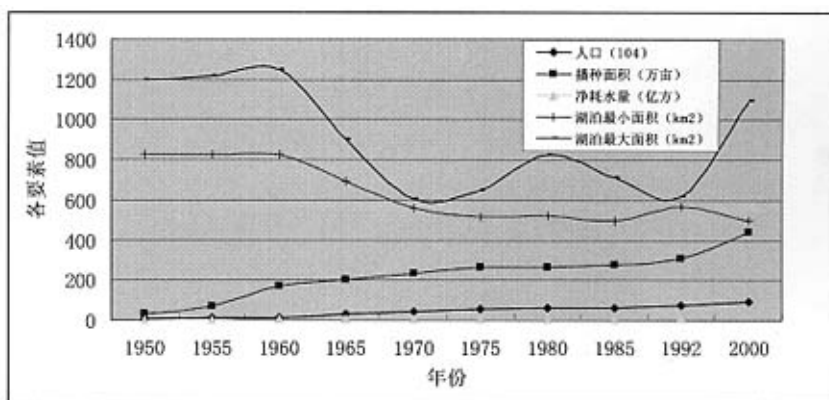


图 3.8 艾比湖流域 50 年代以来人口以及耕地等要素变化曲线

(4) 管理水平低下和人类对生态环境保护意识对生态环境演化的影响

经济建设的发展水平,决定了人类对生态环境问题的干扰程度,在 50 年代以前艾比湖流域由于主要以牧业为主,因此流域内的生态环境演化除了受放牧影响外,人类活动影响较弱。50 年代以后农业发展迅速,农业需水剧增,人工水利工程大量建设,天然水资源循环转化关系被打乱。人们环保意识低下,乱砍乱伐造成天然生态环境严重破坏,同时由于水资源开发不合理造成了诸如土壤盐渍化,地下水位下降等一系列生态环境问题。上世纪 90 年代以来,由于人类的环保意识增强,土地扩耕基本稳定,所以生态环境

出现了逐渐恢复的迹象。随着人类认识水平的提高和科学技术的不断进步以及经济的不断发展,水资源的开发利用将会逐渐向附加值比较高的工业倾斜,工业和生活用水比例会逐渐加大,生态用水将会得到保证。

流域水资源管理对流域生态环境演化具有十分重要的意义,水资源管理水平直接决定着水资源的分配。管理得当则可以实现生态环境与社会经济建设协调发展。管理不当则促使流域生态环境逐渐恶化。

人类的环境保护意识对于生态环境也具有重要的意义,以前由于环保意识地下,乱砍乱伐,使流域内的植被遭到严重破坏,随着环保意识的增强,对于生态环境的保护也将得到加强。

总之,艾比湖流域形成目前的生态环境现状,是在自然因素和人为作用共同作用的结果,在脆弱的生态环境基础上,仍将呈现恶化的趋势。为了地区的经济可持续发展和生态环境的良性循环,必须加强流域水资源的管理,在充分挖掘内部潜力的基础上,考虑外调水源。

3 艾比湖流域生态环境问题及其驱动力

表 3.3 艾比湖流域近 40 年来人类活动耗水量(m^3)

年份	总量 ($\times 10^8$)	农业 ($\times 10^8$)	工业 ($\times 10^4$)	牧业 ($\times 10^4$)	生活 ($\times 10^4$)
1950	4.09	4.05	3.77	263.35	127.19
1951	4.5	4.46	5.4	288.42	128.68
1952	5.08	5.04	5.57	274.41	132.16
1953	5.37	5.32	10.49	296.38	136.07
1954	5.76	5.71	14.9	343.79	139.69
1955	6.56	6.51	21.74	392.73	157.79
1956	7.49	7.43	40.76	444.63	158.32
1957	10.74	10.68	54.98	435.6	175.52
1958	14.55	14.48	64.69	474.53	202.33
1959	17.54	17.46	122.07	517.35	223.43
1960	22.1	22	153.11	490.9	284.62
1961	23.62	23.51	145.46	556.31	374.43
1962	21.63	21.52	121.91	608.58	377.25
1963	24.48	24.37	126.45	652.2	402.53
1964	25.17	25.04	174.38	703.49	449.61
1965	27.01	26.86	234.39	777.37	492.77
1966	27.94	27.77	330.88	730.41	573.99
1967	28.77	28.6	357.22	769.33	630.28
1968	28.47	28.3	276.96	733.93	686.29
1969	25.56	25.38	387.94	655.32	691.11
1970	26.35	26.16	473.66	723.14	732.36
1971	20.45	20.24	478.79	783.98	772.58
1972	20.78	20.57	486.59	812.82	815.07
1973	21.29	21.07	518.8	815.45	859.11
1974	20.98	20.75	505.14	809.88	896.84
1975	23.96	23.73	521.81	799.2	980.54
1976	24.18	23.95	549.68	739.77	1024.24
1977	24.47	24.23	627.8	717.25	1051.4
1978	24.54	24.3	587.35	727.67	1080.64
1979	21.84	21.6	595.82	762.34	1102.18
1980	22.17	21.9	730.94	762.61	1129.6
1981	19.74	19.46	846.45	805.1	1139.03
1982	20.04	19.74	1090.25	831.1	1155.67
1983	20.35	20.02	1270.03	847.37	1159.41
1984	20.39	20.05	1404.62	826.83	1169
1985	19.93	19.54	1870.02	824.86	1180.79
1986	20.03	19.62	2080.66	853.11	1194.55
1987	20.61	20.16	2331.49	882.02	1221.38
1988	21.33	20.83	2865.71	930.04	1240.64
1989	20.9	20.37	3120.27	983.91	1236.04
1990	21.37	20.77	3684.55	961.52	1296.64

(据杨云良等, 1996年)

4 艾比湖流域生态环境调控模型

艾比湖及其周边地区生态环境演化的驱动力包括自然因素和人类活动两个方面。自然因素主要包括地质构造、气候和水文等；人类活动主要包括开发利用水资源、开垦耕地和对植被的破坏等。其中自然因素是内因，对生态环境的演化起主导作用，决定生态环境的演化方向；而人类活动属外因，对生态环境的演化进程起到加剧或延缓的作用。而自然因素属于不可调控的因素，所以调控必须从控制人类活动入手。

4.1 艾比湖及其周边地区生态环境调控因子的确定

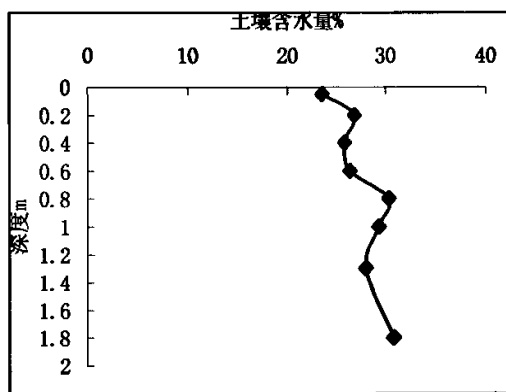
干旱区天然植被作为干旱区生态系统中的重要组成部分，是生态系统的主要生产者，是自然环境最直观的反映，在抑制荒漠化过程和保护生物多样性等方面具有重要的意义，而水作为干旱区最关键的生态环境因子，它不仅是干旱区绿洲生态系统构成、发展和稳定的基础，而且决定着干旱区绿洲化过程与荒漠化过程两类极具对立与冲突性的生态环境演化过程。其中地下水与土壤含水量、天然植被、地表荒漠化之间存在着密切的关系。

4.1.1 地下水与土壤含水量的关系

在干旱区地下水水分循环过程中，地表水通过包气带向下运动，部分水分到达潜水面，转化为地下水；同时，在蒸发和植物蒸腾作用下，地下水通过毛细作用上升，补给土壤水。在剖面上，不同深度的土壤中，其含水量具有明显的差异如图 4.1 所示。

在天然条件下，土壤水分含量随着地下水埋深的变化而变化的。地下水埋深越大，土壤含水量越小；地下水埋深越小，土壤含水量越大。当地下水埋深浅时，表层土壤可得到地下水的补给，使其保持较高的土壤含水量，虽着地下水位的下降，土壤含水量也随之下降，以至于土壤的有效含水量不能满足植物的生长需要，导致一些植物的根系向下延伸以获得维持其生存与生长的水分。当地下水位下降到一定的深度，土壤含水量下降到植物难以从土壤中吸收到足以维持其生存生长的水分，就会造成植被的衰退与死亡。可见，在干旱区，地下水埋深是影响土壤含水量的决定性因素，其对天然植被的正常生长具有重要的意义。

在地下水埋深相同的条件下，影响土壤含水量的主要因素有土壤质地和微地形的变化等。



3-8°点 (地下水位埋深 1.50m)

图 4.1 土壤含水量随深度变化曲线图 (王文科, 荆晶等, 2005 年)

4.1.2 土壤含水量与天然植被的关系

天然植被的发育与生长与土壤水的关系非常密切。土壤含水量是限制植被生长发育的重要生态因子, 植物群落的生长发育及其适宜生产力是由土壤资源中的土壤水分供给状况决定的。章予舒等认为: 在塔里木河下游, 当地下水埋深较大时, 土壤含水量与土壤不同层次土壤的质地粘重程度呈正相关; 在有胡杨林存在的条件下, 林下灌木生存与否与 40~60cm 深度土壤含水量相关系数最大, 当此层土壤含水量低于 16% 时, 胡杨林下灌木开始消亡。在一定条件下, 土壤水分条件越好, 植物群落密度越大, 植物个体生物量也越大, 单位面积生产力越高, 耗水量越多; 地下水埋深处于适宜地下水埋深时, 植被生长最好。

另一方面, 在植物生长发育过程中, 植物通过冠层拦截降水、冠层影响近地表微气候和植物根系吸水等方式影响土壤水分补给和消耗, 植物群落生产力与密度和土壤耗水又密切相关。土壤水分补给量是决定土壤水分植被承载力大小的物质基础, 在相同条件下, 土壤水分补给量越大, 越有利于承载较多的植物。

4.1.3 地下水与天然植被的关系

在干旱区, 地表植被的组成、分布及长势与地下水有密切的关系。全区植被的分布及演替规律受地下水特别是潜水的埋深与水质的控制。在地下水埋深较浅的地段, 常存在一些隐域性植物群落, 但因地下水埋深不同, 矿化度不同, 因而植物种类和群落的盖度明显不同。研究表明, 在艾比湖流域, 植被的分布、生存和演替主要受控于地下水的水盐条件。地下水的埋深越浅, 植物的生长发育状况越好。但是, 地下水埋深过浅, 由于强烈的毛细蒸发作用, 就会造成地表积盐过重的局面, 土壤含盐量的增加又会对地表

植物的生长发育起到抑制作用。

4.1.4 地下水与地表荒漠化的关系

由于干旱区地表水与地下水资源较少,新土壤形成速度较慢,盐碱一旦积存就不易消失,土壤含水量低,植被覆盖较少,极易引起土壤侵蚀。干旱区植被在维持荒漠化环境稳定性方面具有不可替代的作用,只要有植被覆盖的地方,风沙的危害程度就相对降低,在无植被的环境中,风沙作用则十分强烈。而植被的分布、生长和演替又受控于地下水,归根到底,地表荒漠化的发生、发展都与地下水的埋深的变化有着密切的联系。

由以上分析可以看出,水特别是地下水是干旱区生态环境的演化中最重要的因子,因此,将地下水位埋深作为艾比湖及其周边地区生态环境演化调控模型的调控因子。

4.2 水文地质概念模型

4.2.1 模拟区范围

模拟区范围为艾比湖流域平原区,东到乌苏县,西至博尔塔拉河出山口,南到天山北麓山前,北至北部山前,位于 $43^{\circ} 38' \sim 45^{\circ} 52' N$, $79^{\circ} 53' \sim 85^{\circ} 02' E$ 之间,地处新疆准噶尔盆地西部。行政上属新疆维吾尔自治区博尔塔拉蒙古自治州的博乐市、温泉县和精河县,还包括塔城地区的乌苏县和托里县南部,伊犁哈萨克自治州直属的奎屯市及克拉玛依市的独山子区,总面积 25762 Km^2 。

4.2.2 模拟区含水层空间结构

根据区内地质地貌、水文地质条件以及地下水资源开发现状,将研究区埋深 300 米以内的地下水概化为潜水、浅层承压水、中层承压水和深层承压水四个含水层及三个弱透土层(如图 4.2、4.3)。其中山前戈壁带为山前单一潜水区;细土平原区潜水埋深一般小于 5m,埋深在 100 米以内为浅层承压水,100 米~200 米为中层承压水,200 米~300 米为深层承压水。根据地下水埋藏条件,将南北部山前戈壁带概化为单一潜水,沿山前呈条带状分布,将细土平原区含水层概化为潜水和浅、中、深层承压水分布区。山前戈壁带潜水含水层主要由巨厚松散的单一卵砾石和砂砾石组成;细土平原区潜水含水层主要由砂砾及中细砂层组成;承压水含水层由砂砾、砂组成;弱透土层主要由粘性土组成。各层顶、底板高程等值线如图 4.4—4.10 所示。

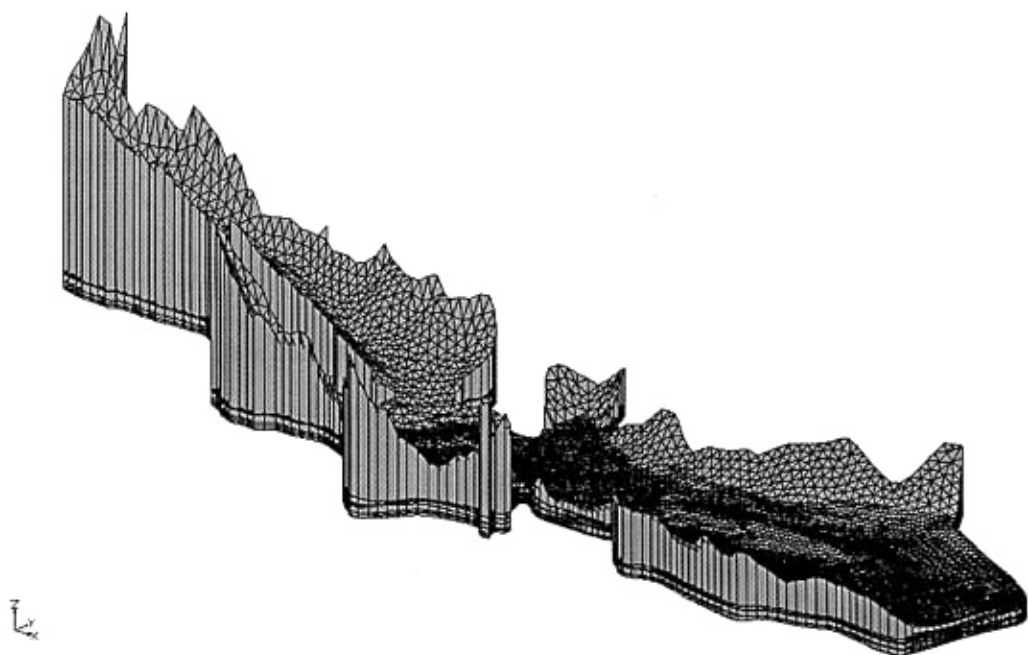


图 4.2 含水层空间结构立体图

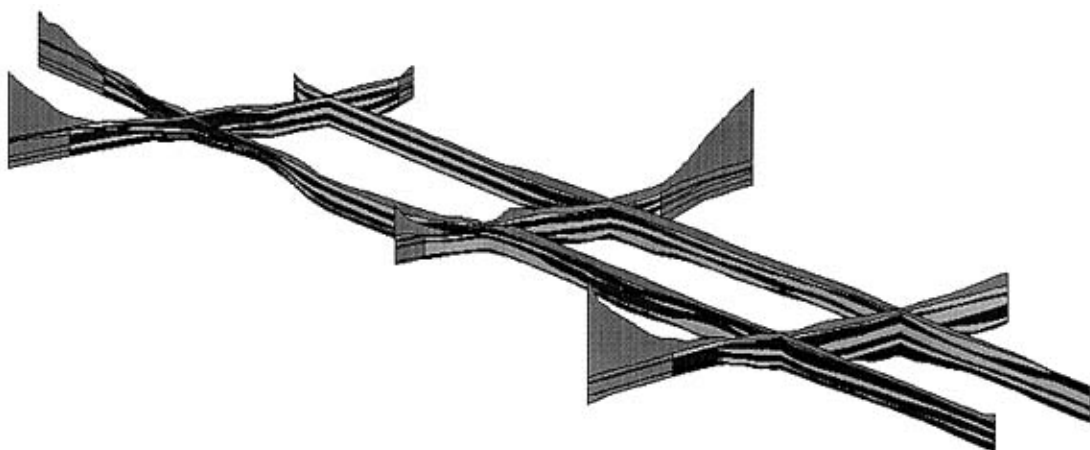


图 4.3 含水层三维立体结构图

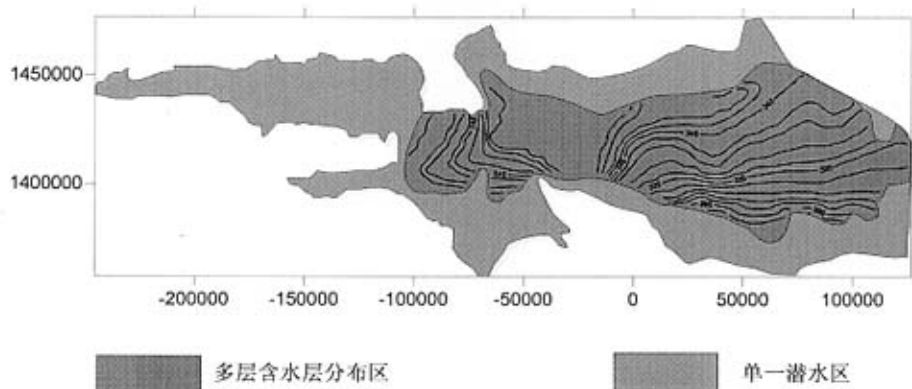


图 4.4 潜水底板等值线图

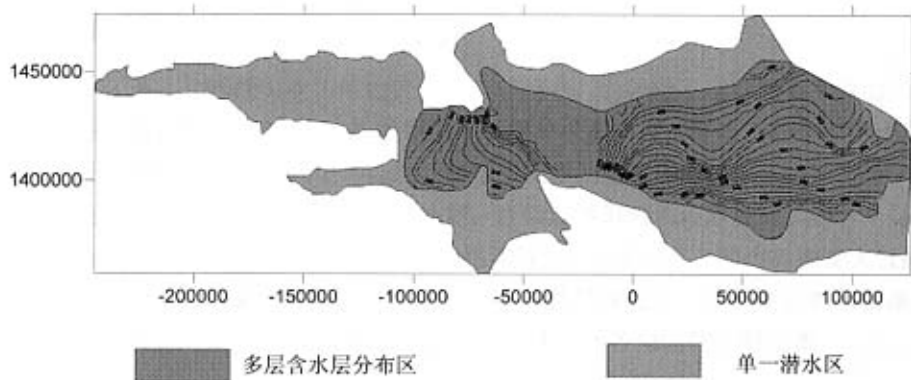


图 4.5 浅层承压水顶板等值线图

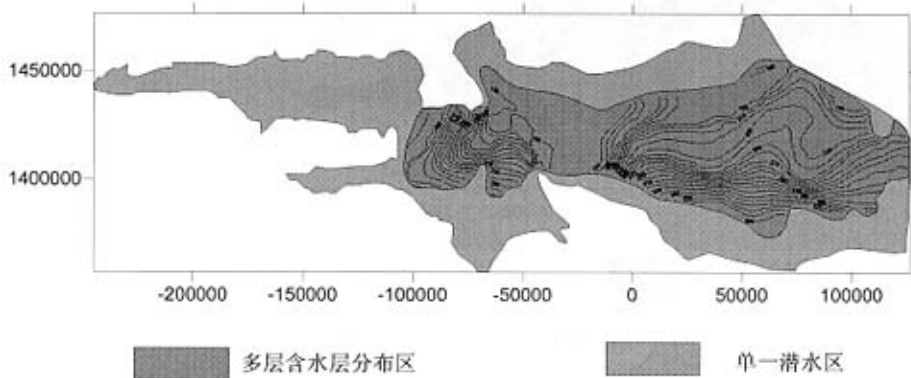


图 4.6 浅层承压水底板等值线图

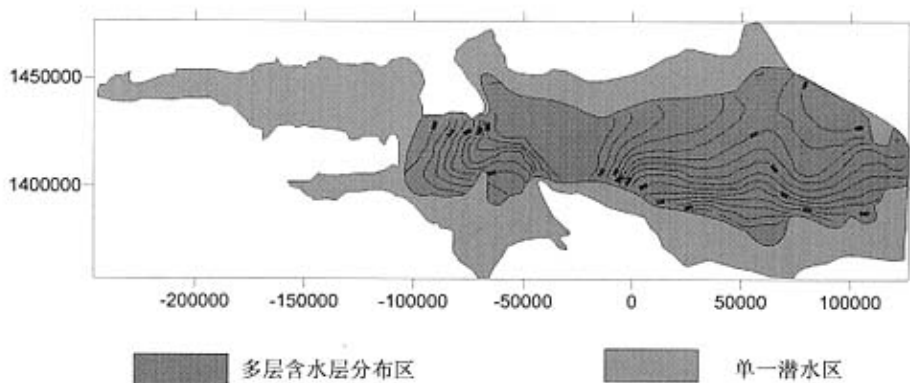


图 4.7 中层承压水顶板等值线图

4.2.3 边界条件概化

模拟区南、北部受山前构造控制，在河谷地带，山区地下水以河道潜流的形式补给平原区地下水；其余地段，山区基岩裂隙水以侧向径流的方式补给山前平原区地下水，故在河谷及两侧按第二类流入边界处理，车排子北灌区以西山前按流入边界处理；根据地形和构造条件，东部边界按流入边界处理；西部边界为流入边界处理。各含水层边界性质基本相同，边界流入与流出量按水均衡法计算的结果给出。上部边界接受大气降水、田间灌溉、渠系入渗等补给；深层承压水下部边界按隔水边界处理。概化的水文地质概念模型如图 4.11 所示，将研究区地下水概化为为非均质各向同性非稳定流。

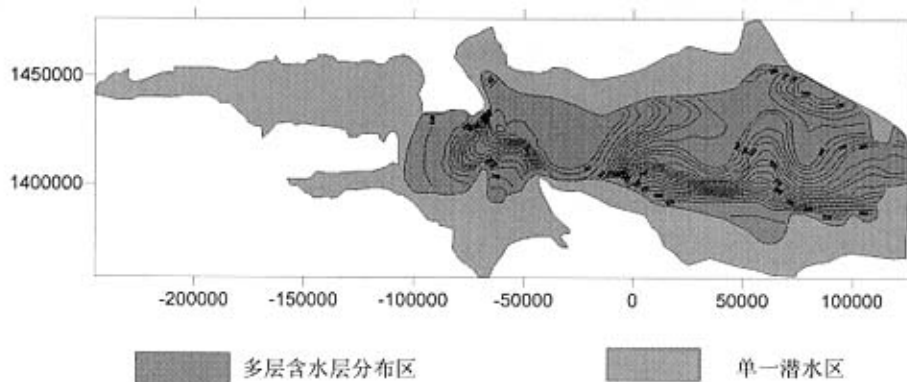


图 4.8 中层承压水底板等值线图

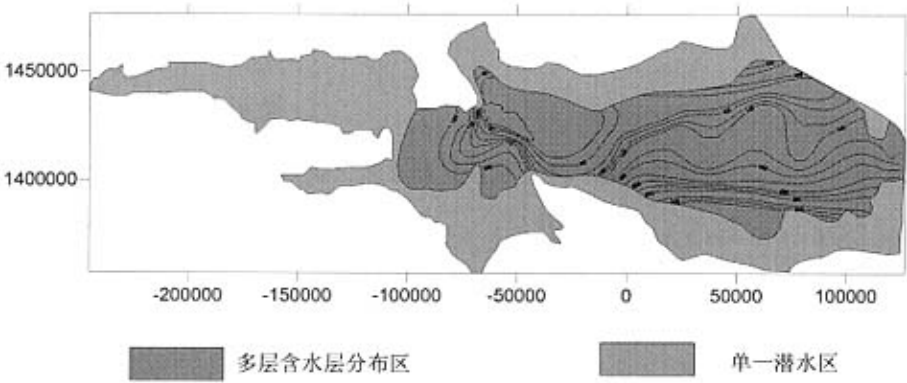


图 4.9 深层承压水顶板等值线图

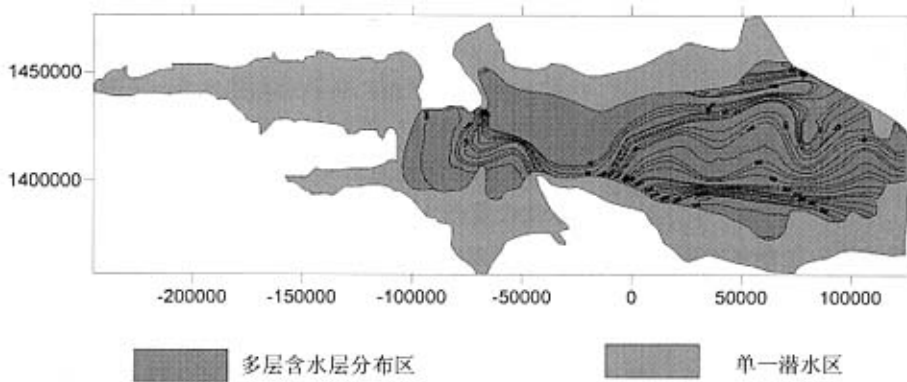


图 4.10 深层承压水底板等值线图

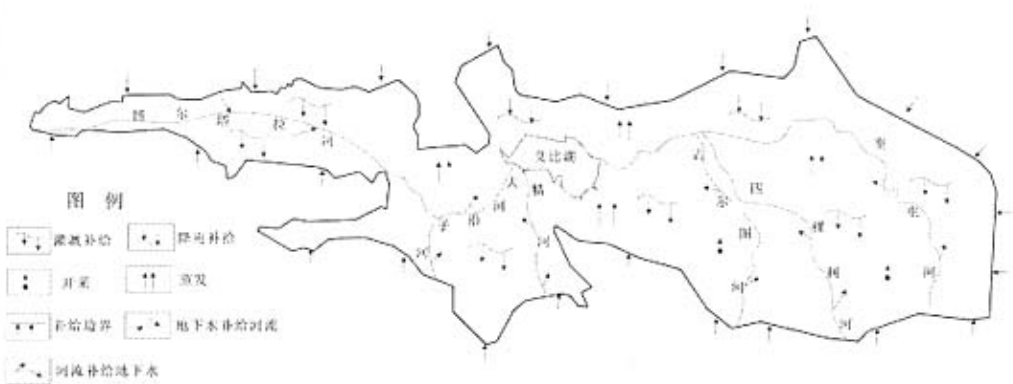


图 4.11 水文地质概念模型示意图

4.3 地下水流数学模型

4.3.1 地下水流数学模型

依据上述水文地质概念模型，建立研究区地下水流数学模型为：

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x}(K \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K \frac{\partial H}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K \frac{\partial H}{\partial z}) - \sum_{i=1}^n Q_i \delta_i = S_s \frac{\partial H}{\partial t} & (x, y, z) \in D, t > 0 \\ H(x, y, z, 0) = H_0(x, y, z) & (x, y, z) \in D \\ K \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{\Gamma_j} = q_j(x, y, z, t) & (x, y, z) \in \Gamma_j, t > 0, j=1,2,3,4 \\ \begin{cases} H = z \\ \mu \frac{\partial H}{\partial t} = -(K+W) \frac{\partial H}{\partial z} + W \end{cases} & \text{潜水面} \quad t > 0 \end{cases}$$

式中：D——渗流区域；

H——含水层水位标高（m）；

K——含水层的渗透系数（m/d）；

S_s ——自由水面以下含水层储水率（1/d）；

μ ——潜水含水层在潜水面上的重力给水度；

W——潜水面的降水补给量、河流渗漏补给量，田间水补给量、蒸发排泄量等强度的综合（补给为正，排泄为负）（ $\text{m}^2/\text{d} \cdot \text{m}^2$ ）；

$H_0(x, y, z)$ ——含水层的初始水位分布（m）；

Γ_j ——研究区东、西、南和北部边界（第二类边界）， $j=1,2,3,4$ ；

$q_j(x, y, z, t)$ ——二类边界的单宽流量（ $\text{m}^2/\text{d} \cdot \text{m}$ ）， $j=1,2,3,4$ ；

n ——渗流区东部、西部、南和北部边界的法线方向；

Q_i ——第*i*口井的抽水量（ m^3/d ）；

δ_i ——第*i*口井的狄拉克函数； $\delta_i = \delta(x - x_i, y - y_i)$ ， (x_i, y_i) 为第*i*口井的

坐标。

4.3.2 数学模型的求解方法与计算域剖分

采用加拿大 Waterloo 公司开发的 Visual Modflow 软件中的 MODFLOW 模块求解数学模型，该模块是基于有限差分法的三维地下水流数值模拟系统。根据模拟区含水层的结构和地下水渗流特征，将计算域在垂向上分为七层，平面上各层按 $\Delta x = \Delta y = 2000\text{m}$ 的网格剖分，据此全区共剖分成 7 层共 7×8807 个单元。如图 4.12 所示。

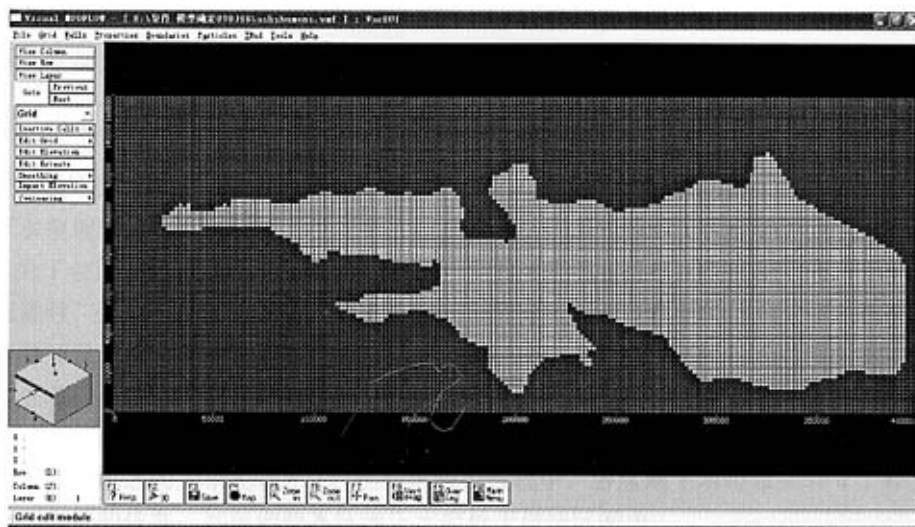


图 4.12 网格剖分示意图

一般来说,对所建立的地下水流数值模拟模型必须要应用长观资料和抽水试验资料进行识别和检验,以确保模型具有高度的仿真性、保真性和可靠性。由于本次未能收集的长观资料和抽水试验的资料,所以无法进行模型的识别和检验。所幸收集到了模拟区各灌区的水文地质参数、2003 年的统测流场及各个源汇项资料,故本次模拟直接进行各种条件下的模型预测。

4.4 模型预测

4.4.1 预测方案设计

根据区内水资源开发利用现状,结合近期和远期的经济发展和水资源开发利用规划,制定模型预测方案为三个方案。

第一个方案(代号 A)是对现状水利工程条件下地下水系统的预测模拟。即保持现状水利工程不变,模拟现状条件下水资源开发利用和人类活动对地下水系统影响,进而评价对艾比湖流域生态环境演化的影响,分析现状条件下水资源开发利用中存在的问题,为制定水资源合理开发利用模式奠定基础。

第二个方案(代号 B)是在 A 方案的基础上,以表 4.1 作为模型预测的约束条件,调控现状水资源开发利用布局,改善流域生态环境,并提出使流域生态环境良性发展的水资源开发模式。

第三个方案(代号 C),考虑农业节水灌溉推广和渠系利用系数提高后,减少渠道引

水,增加山前河道渗漏补给量,在保持区内生态地质环境良性发展的前提下,模拟地下水系统水动力场的演化,并提出此条件下的水资源开发模式。

4.4.2 模型预测的生态指标

经野外实际调查,区内地下水与地质生态环境之间存在着密切的关系。主要表现在地下水位埋深、地下水水质以及包气带含盐量、含水量和岩性结构控制着表生生态环境优劣。为了使区内地下水可持续供给,生态环境得到改善或处于良性发展状态,评价可采资源量时,必须要确定相应的约束条件。根据区内实际调查资料的综合分析,结合区内水资源开发利用中存在的问题,特制订以下原则作为确定模拟区地下水可采资源评价的地质生态约束条件。

(1)控制地下水位在一定的范围内。根据对野外调查资料综合分析,区内地下水位与地质生态环境之间关系见表 4.1。在数值模拟过程中。各区地下水位依据表 4.1 作为调控地下水位的依据,尽可能使各区地下水位处于最佳区间内。

(2)使山前戈壁带地下水位有所恢复。山前戈壁带为地下水源补给涵养区,受长期大型水利工程引水影响,山前戈壁带天然河道已被人工渠道代替,天然河道输水不足,地下水补给量减少,地下水位处于持续下降状态。为使区内地下水资源可持续供给,必须要保证天然河道生态需水,以便增加地下水量。因此模拟评价地下水可采资源量时,应使山前戈壁带地下水位在现状基础上有所恢复。

(3)夺取无效蒸发量原则。尽可能控制地下水位在 3~5m 范围内,以减少无效蒸发量。

(4)沙漠与绿洲带界线基本保持在现状情况下,尽可能保证沙漠区地下水位不再下降,并在现有基础上有所恢复,防止沙漠化进一步扩大。

(5)体现地表水与地下水联合开发的原则。

(6)均衡原则。整个开采期间,补给量与排泄量基本处于均衡状态。

值得指出的是,地下水水质以及包气带含盐量、含水量和包气带岩性结构对地质生态环境也有一定的关系,鉴于本次工作投入有限,资料不足,暂时不作为评价可采资源量的约束指标。

表 4.1 天山北麓地表生态与地下水位埋深的关系

地下水位名称	地下水埋深	主要特征
盐渍化水位埋深	<3.0m	小于土壤盐渍化的临界深度,全剖面土壤含水率可达 16.55-31.12%。盐生草甸植被的盖度可达 0.4-0.8,灌木和胡杨生长旺盛,但潜水蒸发强烈,导致地下水中的盐分在包气带上部积累,土壤表层含盐量可达 10g/kg-80g/kg,土壤发生盐渍化。
适宜生态水位埋深	3.0-5.0m	大于土壤盐渍化临界深度,又小于潜水蒸发的极限深度,不易发生强烈盐渍化和荒漠化的水位。全剖面含水率一般在 14.33-21.35%,能完全满足乔、灌、草本植物的生长需水。植被生长良好。毛管上升水份可以到达植物根系层供植物吸收利用,不会产生盐渍化,也不会导致植物枯萎。
乔灌木承受水位埋深	5.0-6.0m	植物生长正常。草本植物很少出现,乔木无枯梢或秃头现象。灌木主要吸收包气带浅部含水率相对较高地段的土壤水,乔木根系主要向下延伸吸收利用地下水。潜水的无效蒸发较小,几乎全部被植物吸收利用。
警戒地下水位埋深	6.0-8.0m	大于潜水蒸发的极限深度,潜水蒸发形成的毛管吸力不能使水流到达植物主要根系分布层,全剖面土壤含水率在 4.0%-7.8%。植物生长较差,大多数草本植物死亡,乔木根系很深,主根向下延伸吸收地下水;土壤上层干燥,灌木主要吸收包气带剖面较深部含水率较高处的土壤水。乔灌木虽可忍耐干旱,但长势不良,乔木出现枯梢枯枝现象。
荒漠化水位埋深	>8.0m	植物生长差,乔木树高变小或矮灌化,土壤剖面干燥,包气带土壤含水率降至 2%左右,灌木吸收利用土壤深部的土壤水,但由于含水率较低因而生长较差。乔灌木出现衰败,大部分枯枝枯梢。地表干裂,裸露,极易发生风蚀积沙。

4.4.3 模型预测时有关问题的处理

(1) 模型预测的初始流场及预测时限

受收集资料的限制,以 2003 年 10 月的统测流场作为模型预测的初始流场,模拟时间长度为 1 年,时间步长为 1 个月。

(2) 模型预测期源汇项的处理

研究区主要的补给项有:河道渗漏补给量、前山带暴雨洪流入渗补给量、渠系渗漏补给量、田间灌溉入渗补给量、降雨入渗补给量、水库渗漏补给量、地下水回归补给量等。主要排泄项有:人工开采量、泉水溢出量、潜水蒸发蒸腾量等。其中渠系渗漏补给量、田间灌溉入渗补给量、降雨入渗补给量、水库渗漏补给量等按面状源汇赋值。受人类农业灌溉活动及其他生产活动等影响,面状源汇主要按灌区并结合地下水位埋深统计。

① 河流渗漏补给量确定

根据收集到的 2003 年地下水均衡计算结果,将每条河流的渗漏补给量按实际发生的月份输入模型。

② 开采量确定

根据收集到的各灌区的地下水的开采量资料,将全年的开采量按比例分配到各月,

以开采井的方式输入模型。

③ 泉流量的处理

根据研究区地下水泄出带的位置,将泉概化为线状源汇项,应用 Modflow 中的 Drain 模块对泉流量进行计算,调整 Drain 模块的参数,使其计算的泉流量与实测的泉流量一致。

④ 前山带暴雨洪流入渗补给量

由于暴雨洪流入渗补给大多发生在山前,故将其按发生的实际时间输入模型。

⑤ 其它源汇项的处理

根据区域已有研究成果和昌吉均衡试验场的资料,在地下水位埋深小于 5 米区域,存在降水入渗和蒸发蒸腾量;在山前砾石和含砾亚砂土地带,有降水入渗但不计其蒸发。田间灌溉与渠系入渗以面状入渗强度输入模型,该量按比例分配到各个时段;水库渗漏量按年总量平均分配到每个时段;考虑农业开采发生的时段将农业开采量分配到每个时段,以开采井的形式加入模型。具体分配比例见表 4.2。

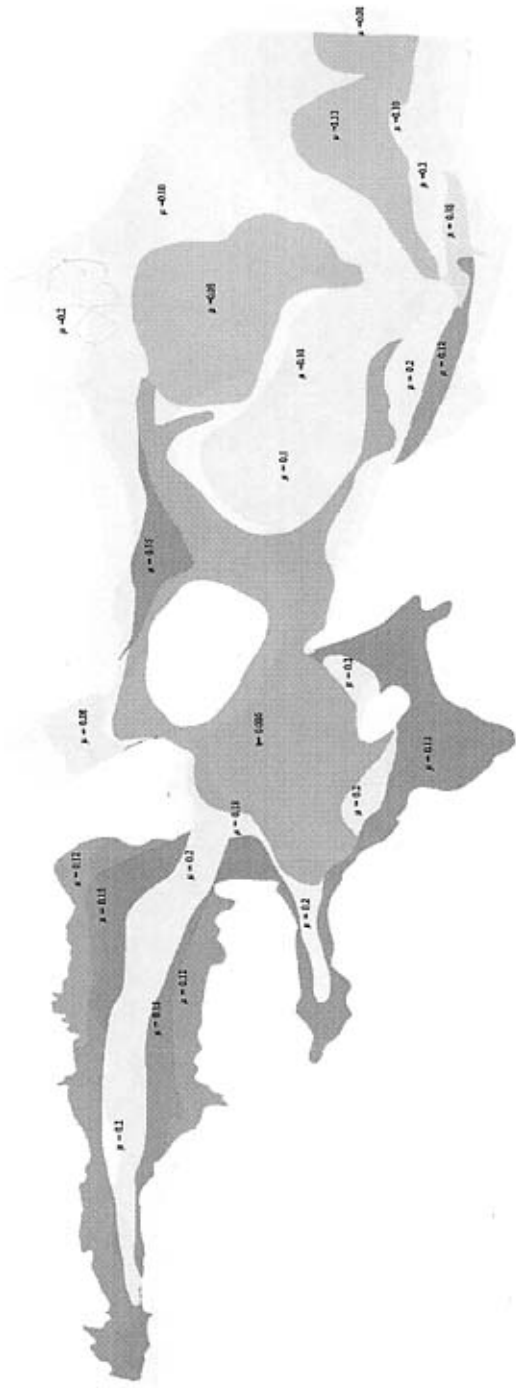
表 4.2 研究区其他源汇项时段分配

补给量/排泄量	各月分配比例
田间灌溉入渗	5-8 月 80%, 4、9-10 月 20%, 其余月份为 0
渠系入渗	6-8 月占 66%、3-5 月占 7%、9-11 月占 20%、12-2 月占 7%
蒸发/降水入渗	6-8 月占 55%、3-5 月占 24%、9-11 月占 18%、12-2 月占 3%
水库入渗、地下水回归量	全年平均分配

(3) 水文地质参数分区和参数值的确定

参数分区主要以地质地貌及含水层空间结构为基础,结合前人的研究成果,进行参数分区,将潜水分布区概化为 26 个给水度分区(如图 4.13 所示),32 个渗透系数分区(如图 4.14 所示);承压水概化为 13 个渗透系数分区(如图 4.15 所示),14 个单位贮水率分区(如图 4.16 所示)。

各参数区水文地质参数值包括渗透系数 K 、给水度 μ 、单位贮水率 S_v 等。参数值主要依据以下几个原则确定:①勘探试验成果资料;②钻孔揭露的地层岩性特征;③地层沉积规律;④前人在区内及相邻区域已有研究成果资料等。据此,确定的各参数区参数值见表 4.3—表 4.6。



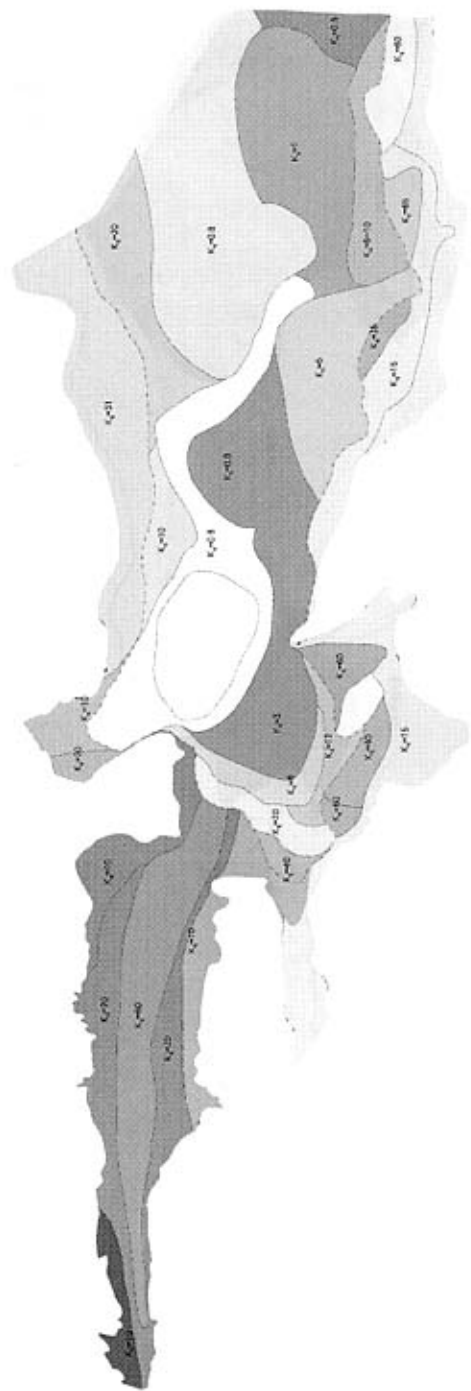
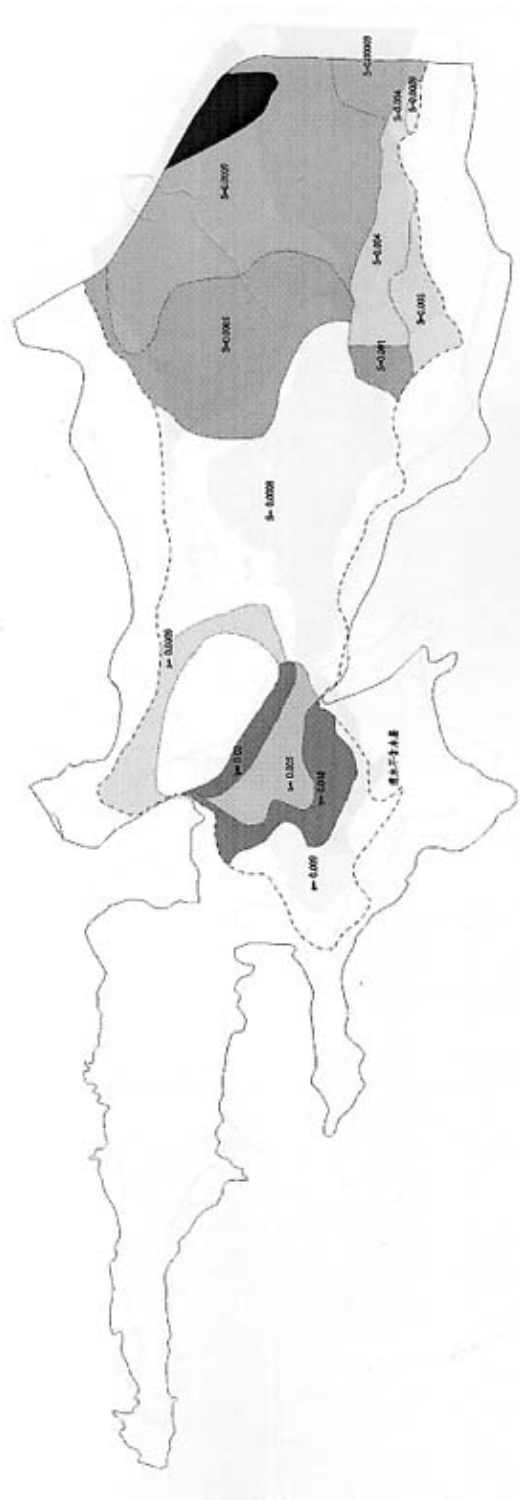


图 4.14 潜水渗透系数分区图



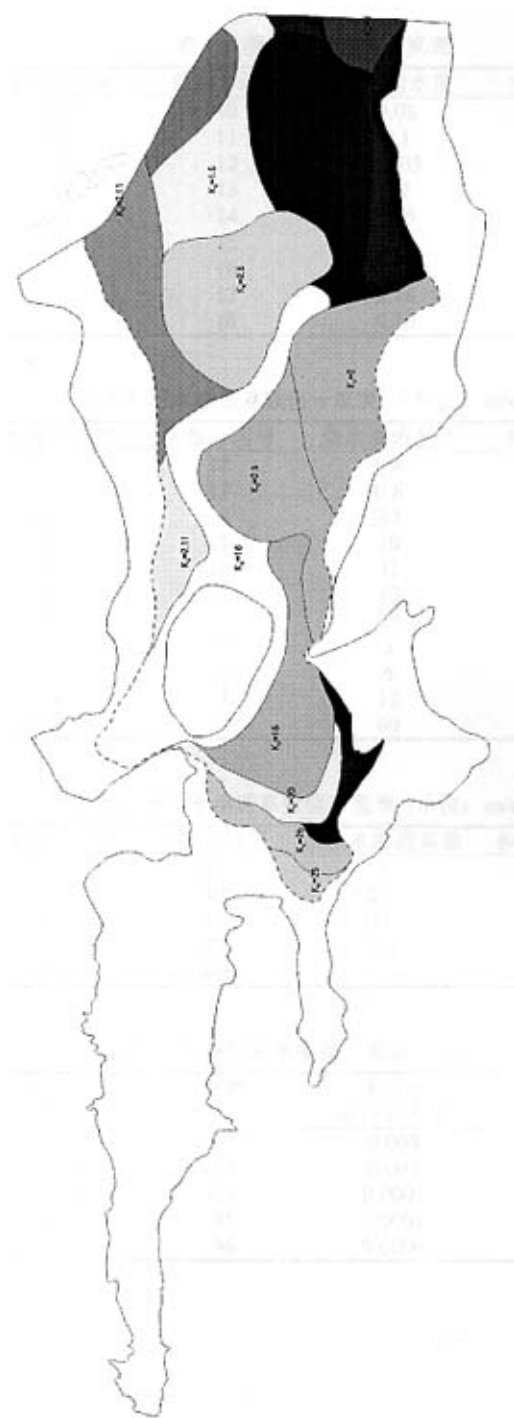


图 4.16 承压水单位贮水率分区图

表 4.3 潜水给水度值一览表

参数分区号	潜水给水度	参数分区号	潜水给水度	参数分区号	潜水给水度
1	0.10	10	0.08	19	0.2
2	0.08	11	0.1	20	0.15
3	0.13	12	0.005	21	0.08
4	0.10	13	0.2	22	0.12
5	0.2	14	0.15	23	0.15
6	0.18	15	0.2	24	0.2
7	0.08	16	0.2	25	0.15
8	0.12	17	0.18	26	0.12
9	0.2	18	0.15		

表 4.4 潜水渗透系数值一览表 (单位: m/d)

参数分区号	潜水渗透系数	参数分区号	潜水渗透系数	参数分区号	潜水渗透系数
1	0.8	12	0.8	23	15
2	1	13	0.8	24	40
3	0.5	14	20	25	60
4	9	15	10	26	20
5	60	16	31	27	40
6	65	17	10	28	10
7	15	18	20	29	20
8	35	19	3	30	60
9	5	20	6	31	10
10	0.8	21	12	32	10
11	0.8	22	60		

表 4.5 承压水渗透系数值一览表 (单位: m/d)

参数分区号	承压水渗透系数	参数分区号	承压水渗透系数	参数分区号	承压水渗透系数
34	2.11	39	3	45	16
35	1.5	40	2.5	46	20
36	5	41	15	47	25
37	3	42	2.5		
38	5	44	2		

表 4.6 承压水单位贮水率值一览表 (单位:1/d)

参数分区号	承压水单位贮水率	参数分区号	承压水单位贮水率	参数分区号	承压水单位贮水率
27	0.0007	32	0.008	37	0.02
28	0.0009	33	0.001	38	0.005
29	0.00009	34	0.0005	39	0.008
30	0.0009	35	0.0008	40	0.009
31	0.004	36	0.0009		

5 艾比湖流域生态环境调控模式

通过建立的艾比湖流域生态环境调控模型分别对现状水资源开发利用方式下（即预测方案 A）、在现状水资源开发模式进行调控的条件下（即预测方案 B）和考虑未来农业节水灌溉技术推广及渠系利用系数提高后，增加山前河道渗漏补给量，对水资源开发布局进行调控的条件下（即预测方案 C）地下水动力场的演化进行了预测，下面分别对模型预测结果进行分析。

5.1 水资源开发现状

5.1.1 预测模拟结果

在现状水资源开发方式下，模型预测各观测孔水位历时曲线如图 5.1-5.4 所示；潜水末时刻流场如图 5.5 所示；潜水末时刻埋深等值线如图 5.6 所示。

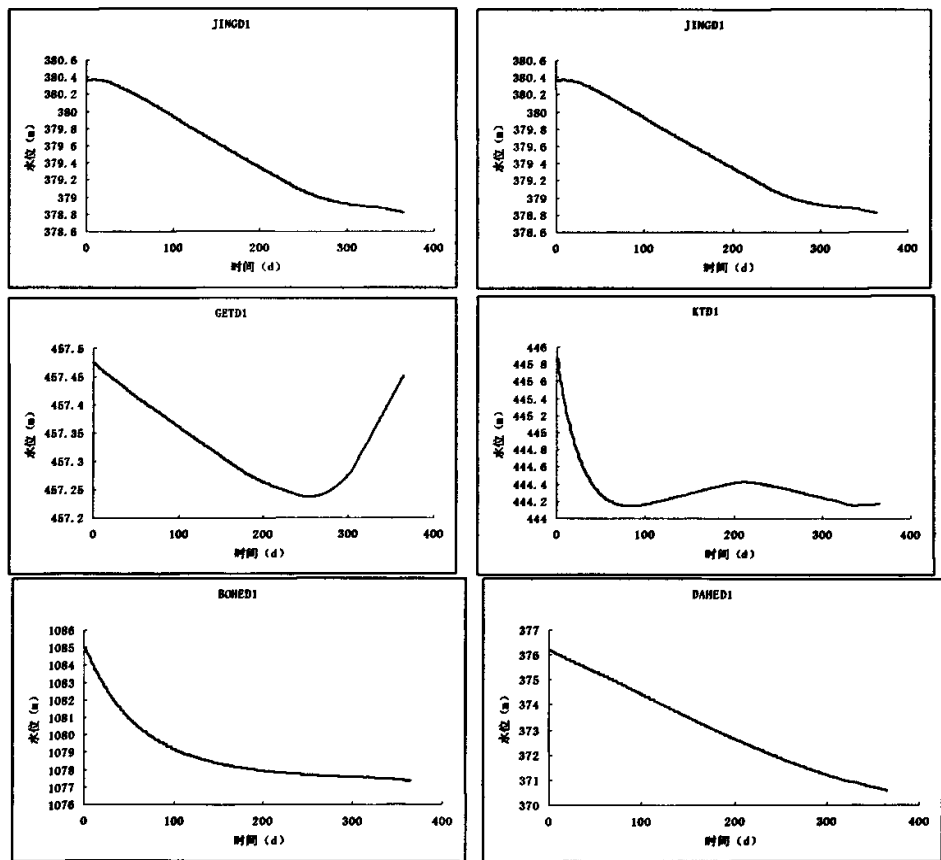


图 5.1 单一潜水区观测孔水位历时曲线图

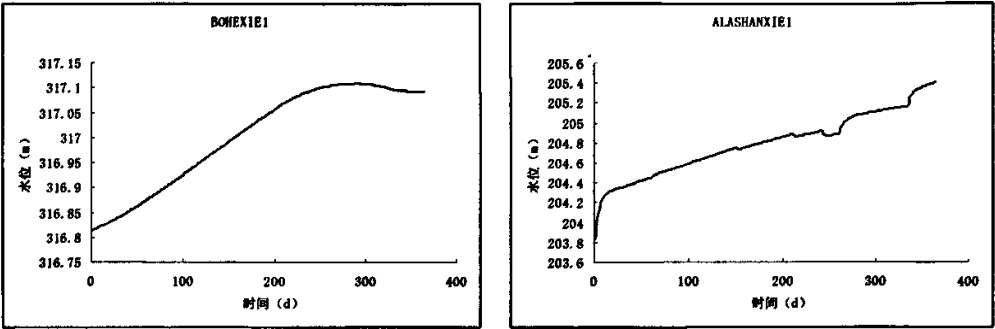


图 5.2 细土平原区前部观测孔水位历时曲线图

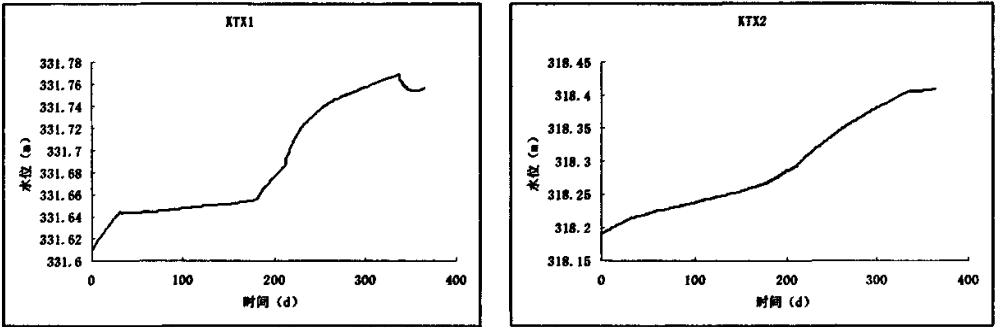


图 5.3 细土平原区中部观测孔水位历时曲线图

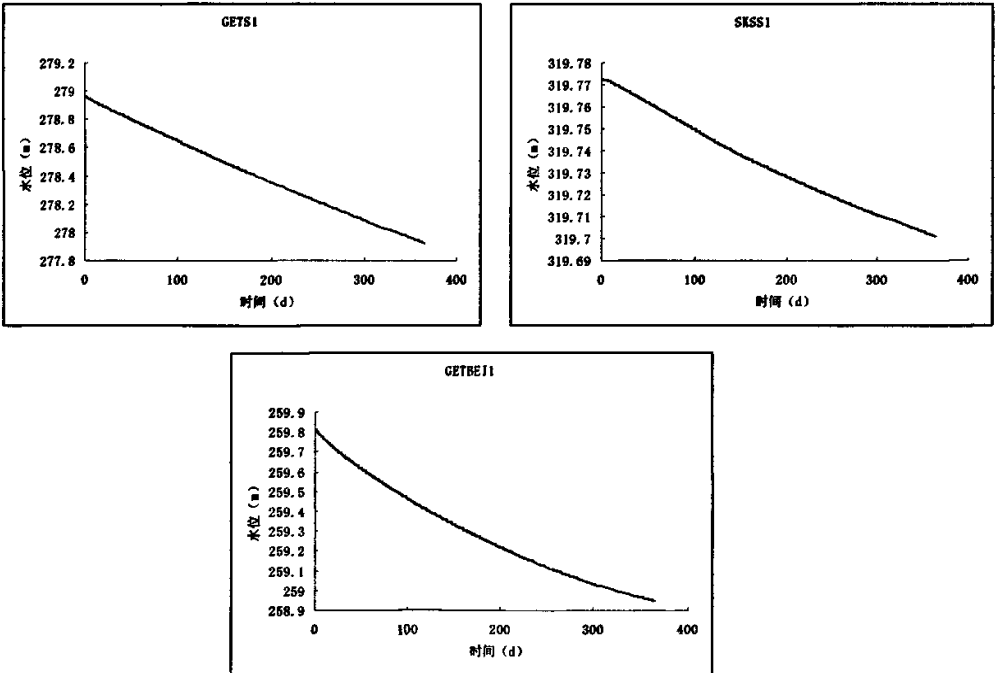


图 5.4 北部山前单一潜水区观测孔水位历时曲线图

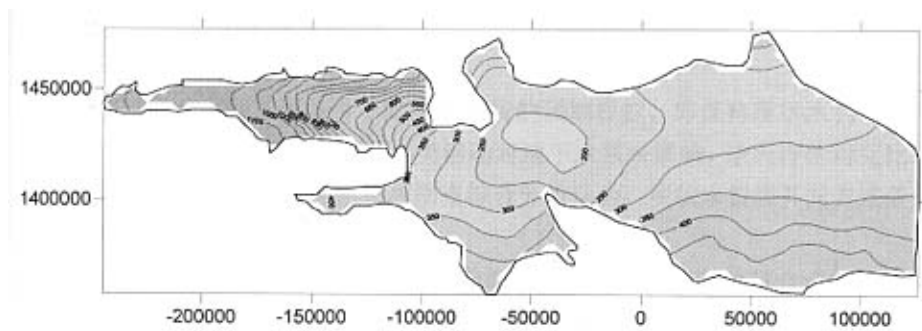


图 5.5 A 方案模型预测末时刻潜水流场图

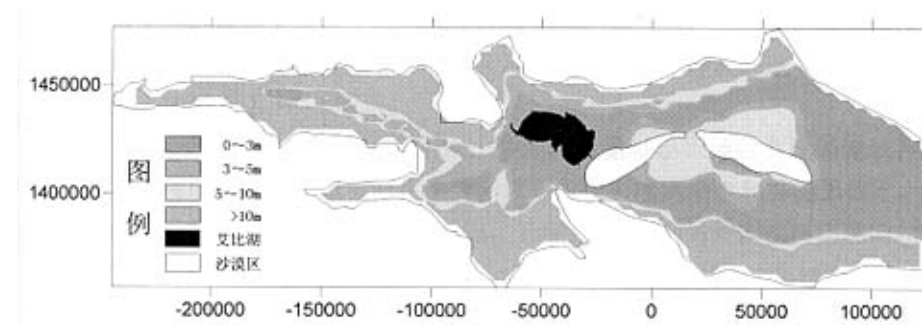


图 5.6 A 方案模型预测末时刻潜水埋深等值线图

表 5.1 A 方案模型预测地下水均衡表（单位： $10^4\text{m}^3/\text{a}$ ）

均衡要素	数值法计算结果
基岩山区侧向补给量（含河道潜流量）	38470.71
河道渗漏补给量	42550.70
前山带暴雨洪流入渗量	2959.21
渠系渗漏补给量	82980.74
田间灌溉入渗补给量	33428.66
降雨入渗补给量	7080.79
水库入渗补给量	20388.50
邻区侧补	2475.09
合计	230334.41
地下水人工开采	162300.57
泉水溢出量	21351.72
潜水蒸发蒸腾量	43948.78
地下水侧向流出量	13150.88
地下水溢出河水量（含碱渠排水量）	1400.33
合计	242152.28

5.1.2 结果分析

通过对现状水利工程条件下地下水系统的预测模拟,即保持现状水利工程不变,模拟现状条件下水资源开发利用和人类活动对地下水系统影响,进而评价对艾比湖流域生态环境演化的影响。由模拟结果和勘查综合分析认为,现状水资源开发方式条件下存在以下问题:

(1) 为了片面地追求增加农业产量而大力开垦荒地,种植粮食作物,进而大量修建引水渠道,从河流出口引河水灌溉,加之引水渠道的硬质化而减少渠道的渗漏量,人为地使水资源搬家,导致山前单一潜水区河流流量减小,河道渗漏补给地下水量大幅下降,地下水位随之大幅度下降。其中,奎屯河、四棵树河、古尔图河、精河、大河沿子河、博尔塔拉河等流域山前单一潜水区及北部山前单一潜水区地下水位均呈现持续下降的状态,如图 5.1、5.4 所示。

(2) 由于在河流出口大量引水,使河流流量减小,导致艾比湖流域各河流下游均出现不同程度的断流。奎屯河在车排子以下段仅有灌溉余水和排碱渠排水,断流长度约 70km,古尔图河在古尔图镇以北断流,长度约 50km。另外四棵树河和博尔塔拉河均在部分地段存在断流问题。

(3) 由于大量引地表水灌溉,片面提高地表水的利用率,对地表水与地下水联合开发方式重视不够,使灌区地下水位大幅上升如图 5.2、5.3 所示,导致地下水的无效蒸发量增大,同时因地表积盐而造成土壤次生盐渍化。

(4) 在艾比湖周边地区,地下水位埋藏较浅,而造成土壤盐渍化。

综上所述,现状条件下,水资源开发存在的主要问题是:山前戈壁带地下水补给不足,细土平原区则由于片面提高地表水的利用率,地表水与地下水联合开发方式重视不够,水资源被人为空间均化,改变了地下水动力场的时空分布,从而诱发了地质生态环境负效应。因此,加强水资源的合理开发利用,促进地质生态环境良性发展是区内可持续发展的关键。

5.2 生态环境调控模式

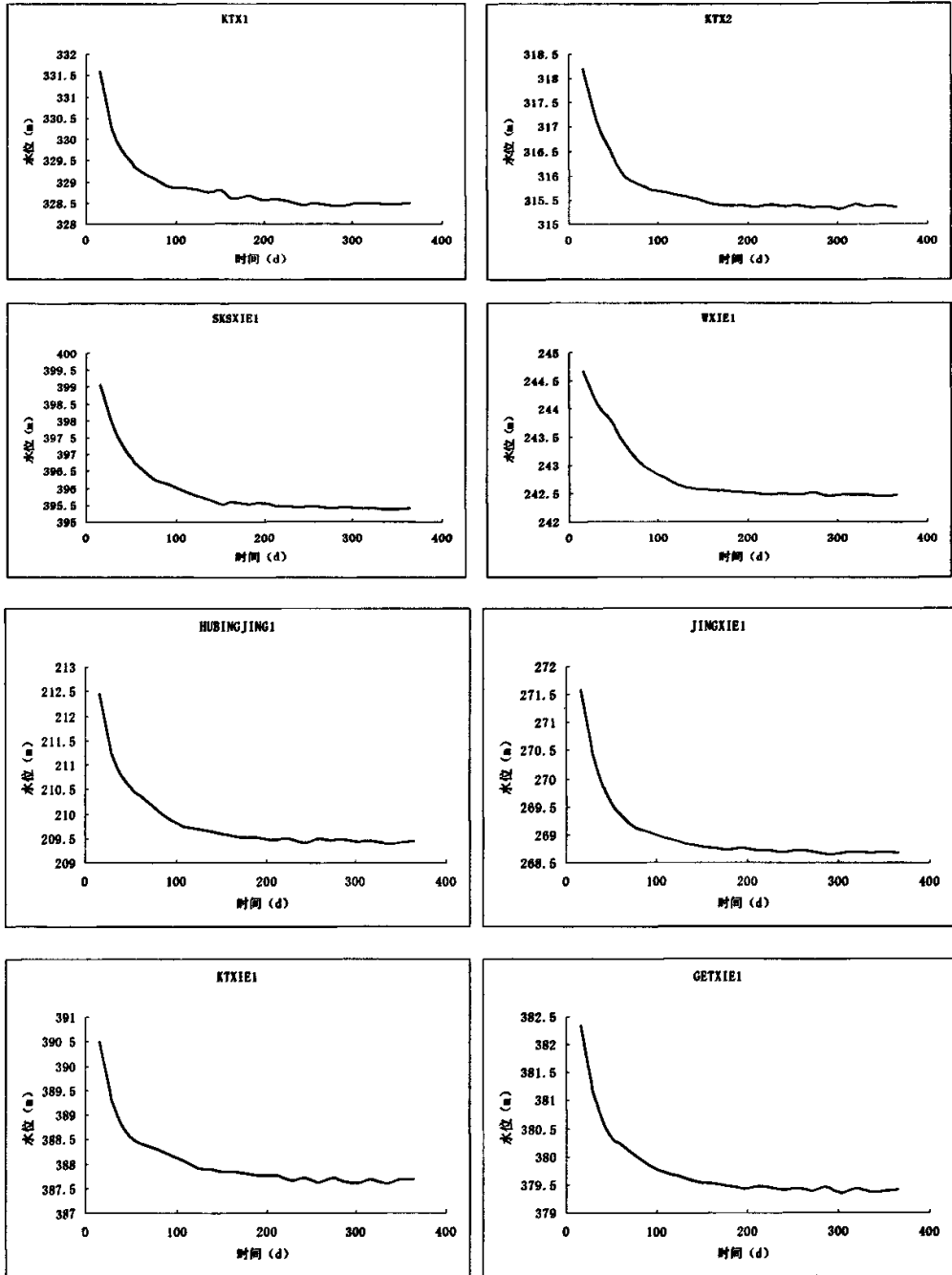
5.2.1 现状条件下的生态环境调控模式

在 A 方案的基础上,以表 4.1 作为模型预测的约束条件,调控现状水资源开发利用布局,预测地下水动力场的演化及对流域生态环境的影响,并提出使流域生态环境良性发展的水资源开发模式。

(1) 模型预测结果

模型预测的各观测孔水位历时曲线如图 5.7-5.8 所示;潜水末时刻流场如图 5.9 所

示；潜水末时刻埋深等值线如图 5.10 所示。



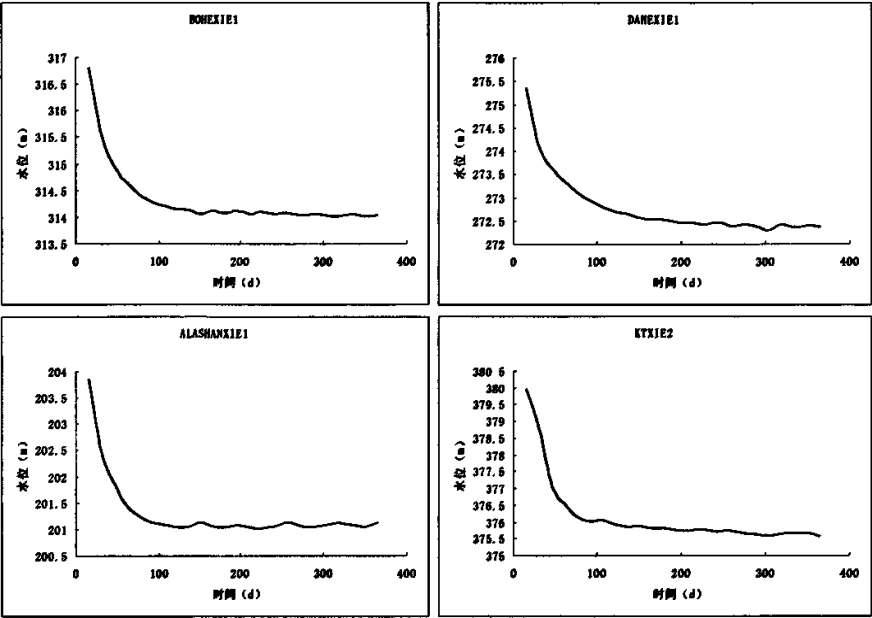


图 5.7 平原前缘及中部的观测孔水位历时曲线图

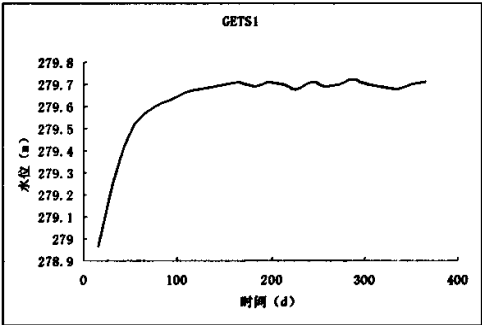


图 5.8 河下游沙漠区观测孔水位历时曲线图

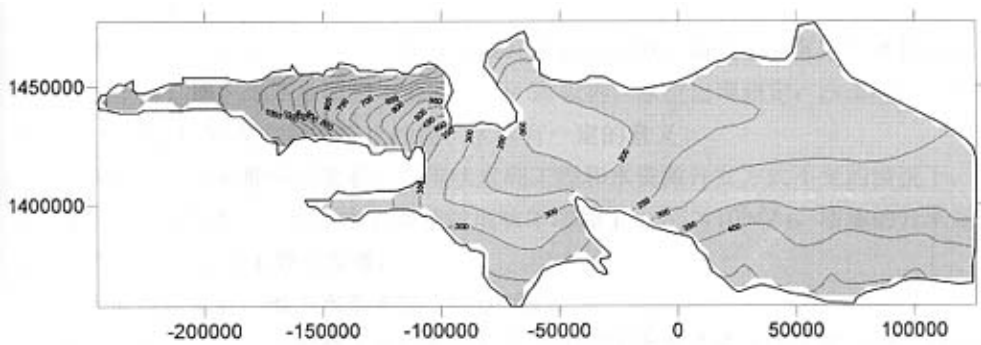


图 5.9 B 方案模型预测末时刻潜水流场图

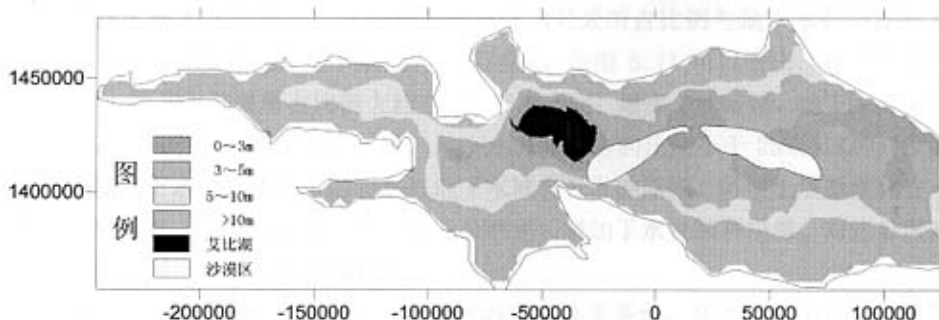


图 5.10 B 方案模型预测末时刻潜水埋深等值线图

表 5.2 B 方案模型预测地下水均衡表 (单位: $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$)

均衡要素	数值法计算结果
基岩山区侧向补给量 (含河道潜流量)	38470.71
河道渗漏补给量	42550.70
前山带暴雨洪流入渗量	2959.21
渠系渗漏补给量	82980.74
田间灌溉入渗补给量	33428.66
降雨入渗补给量	7080.79
水库入渗补给量	20388.50
邻区侧补	2475.09
合计	230334.41
地下水人工开采	177800.45
泉水溢出量	16351.72
潜水蒸发蒸腾量	29948.78
地下水侧向流出量	12895.88
地下水溢出河水量 (含碱渠排水量)	1400.33
合计	238397.16

(2) 结果分析

由预测结果可以看出:

①通过对现状水资源开发方式中地下水开采布局调整, 细土平原区地下水位出现不同程度的下降, 灌区地下水位基本调控在 3~5m 以内, 水位出现稳定; 沙漠区地下水均有回升, 升幅 0.8m 左右, 对抑止沙漠扩大具有一定的意义。

②从地下水开采量构成来看, 在现状水利工程和水资源开发方式不变的情况下, 通过优化调整, B 方案下, 地下水资源量较现状年增加了 $1.55 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 增加的开采量主要来自于夺取潜水的无效蒸发量。

③从水均衡来看, 地下水基本处于均衡状态。

④野外调查表明, 调控地下水位是防止细土平原区土地盐渍化的主要途径, 通过对各地下水位埋深区地下水开采占地表水利用比例来看: 为满足地下水位最优状态, 各地

下水位埋深区地下水与地表水联合开发中地下水开采所占比例与地下水位埋深有密切关系。地下水位埋藏越浅，地下水的开采量越大。由图 5.11 可以看出：地下水位埋深小于 1m 区，地下水开采所占比例大约在 40~55%之间；埋深 1~3m 区，地下水开采所占比例在 35~40%之间；埋深 3~5m 区，地下水开采所占的比例小于 25%。这种开发方式有利于调控地下水位，体现了地表水与地下水联合开发的原则，可使土壤盐渍化在一定程度上得到治理，同时地下水资源得到充分利用，增加了水资源利用量，对指导区内水资源合理开发利用有重要的指导意义。

⑤模拟的降速场总体效果较好，符合区内水文地质条件，梯度场未出现异常现象。

综上，在保持现状水利工程不变的条件下，以维持模拟区地质生态环境良性发展为前提，在模拟区采用地表水与地下水联合开发的原则下，通过调整开采布局，将灌区地下水位埋深调控至 3~5m 以内，减小了地下水的增发蒸腾量，节约了水资源，并对土壤的盐渍化有一定的治理作用。

5.2.2 节水灌溉条件下的生态环境调控模式

考虑农业节水灌溉推广和渠系利用系数提高后，减少渠道引水和灌溉入渗补给量(减少 50%)，将减少的水量用于增加山前河道渗漏补给量，在保持区内生态地质环境良性发展的前提下，模拟地下水系统水动力场的演化，并提出此条件下的水资源开发模式。

(1) 模型预测结果

模型预测的各观测孔水位历时曲线如图 5.12-5.13 所示；潜水末时刻流场如图 5.14 所示；潜水末时刻埋深等值线如图 5.15 所示。

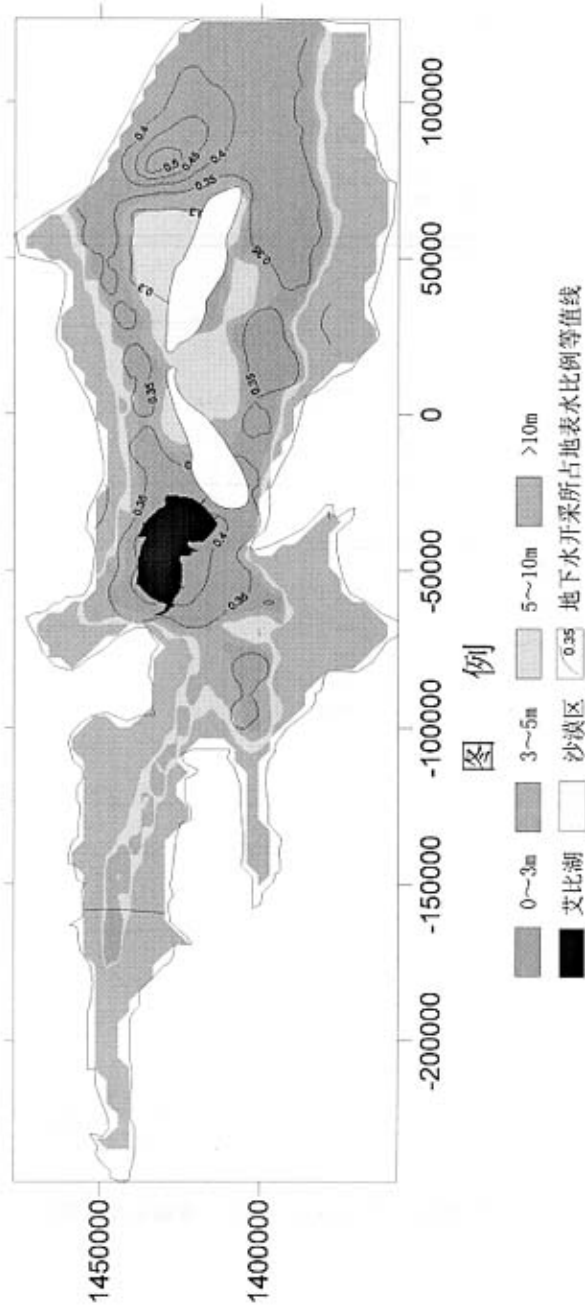


图 5.11 B 方案下艾比湖流域地下水开采所占地表水比例等值线

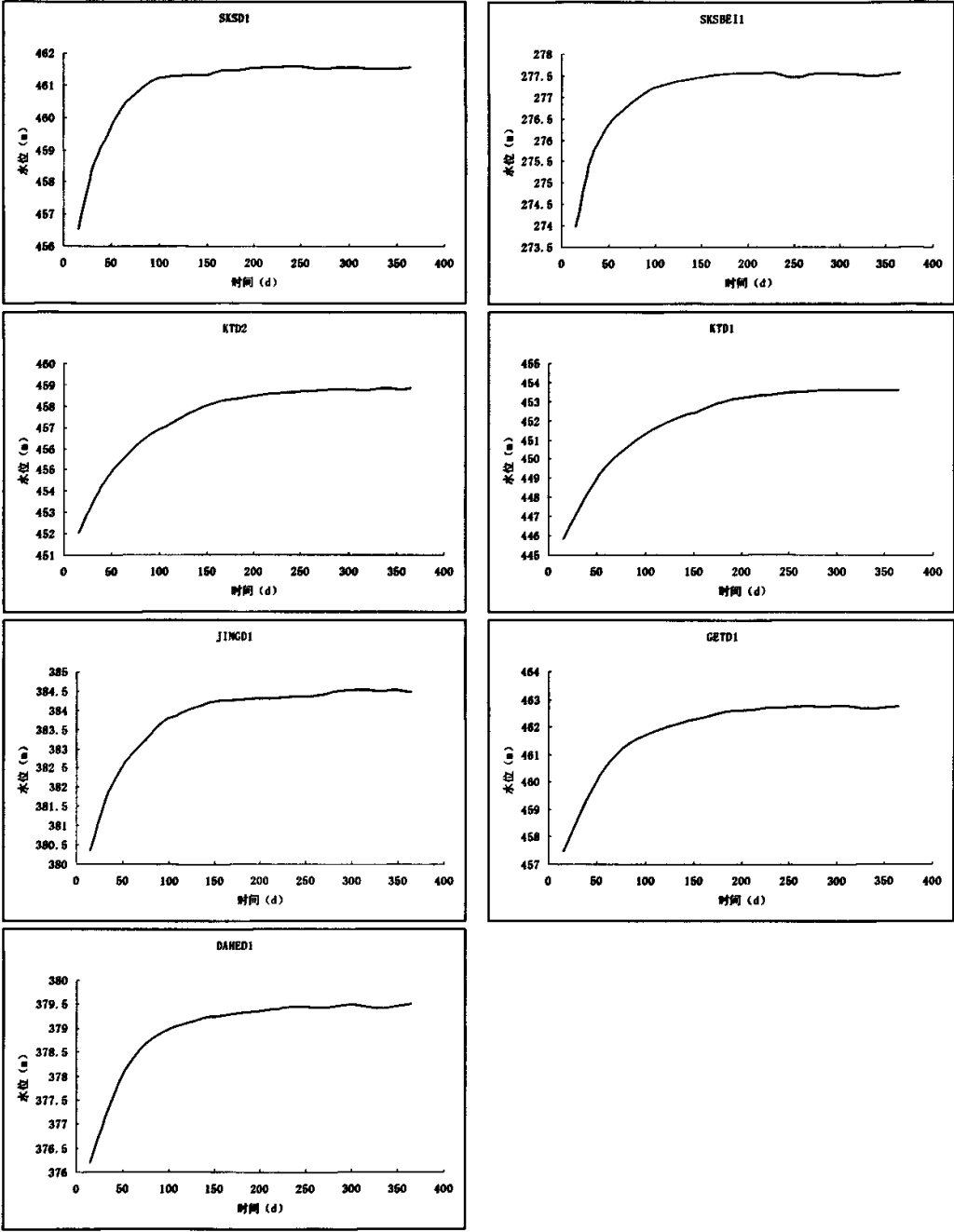


图 5.12 山前单一潜水区观测孔水位历时曲线图

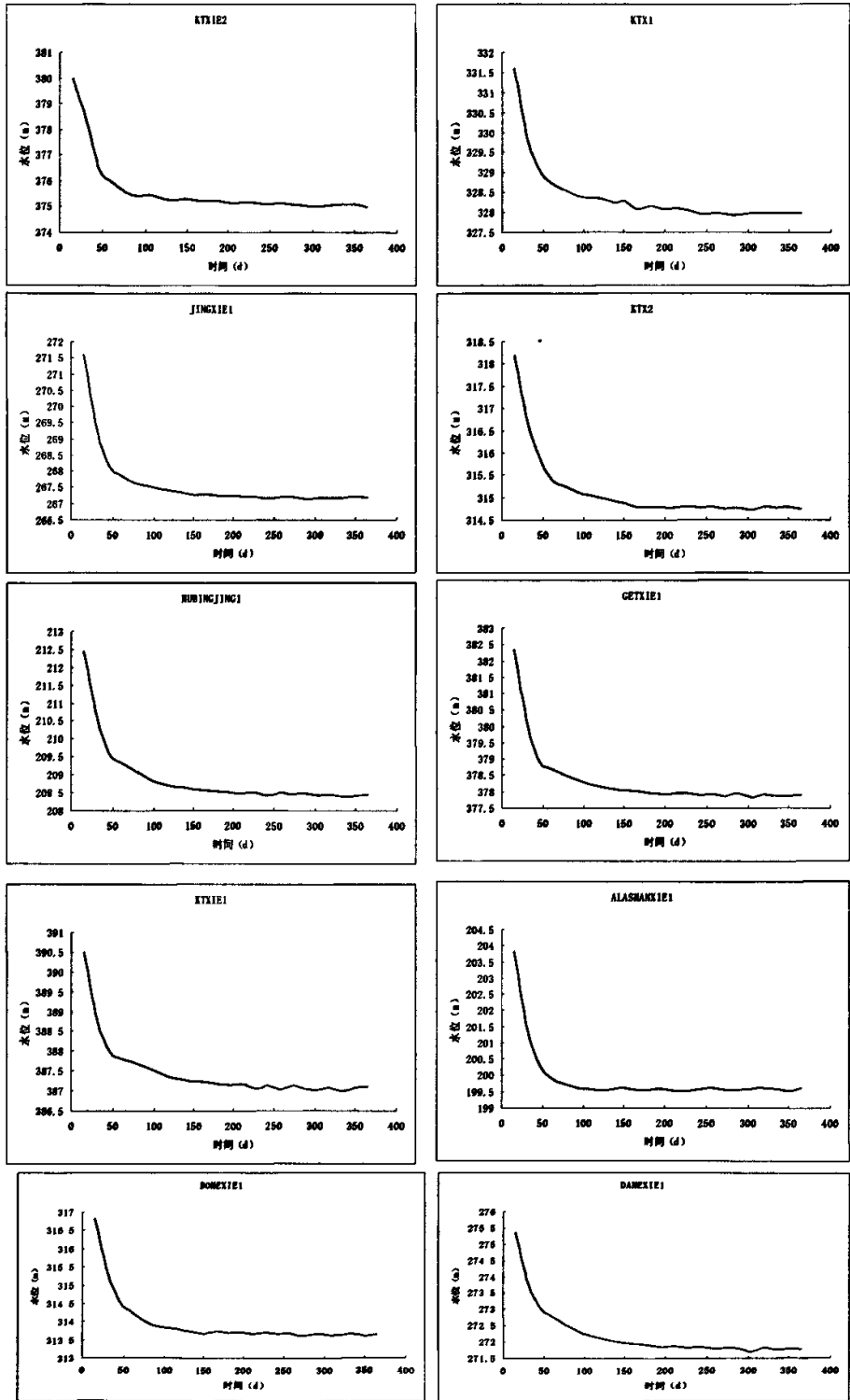


图 5.13 细土平原区观测孔水位历时曲线图

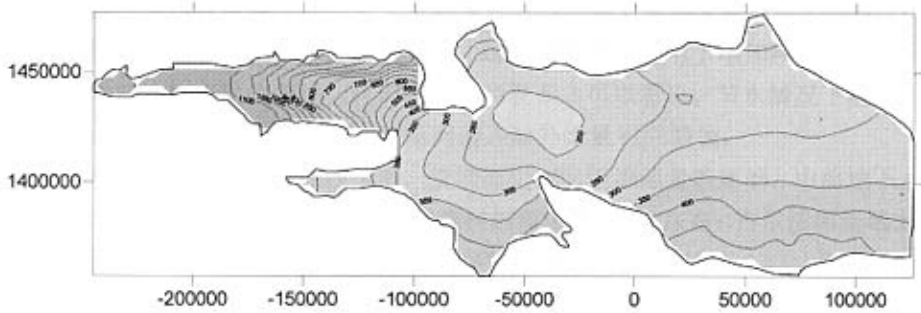


图 5.14 C 方案潜水末时刻潜水流场图

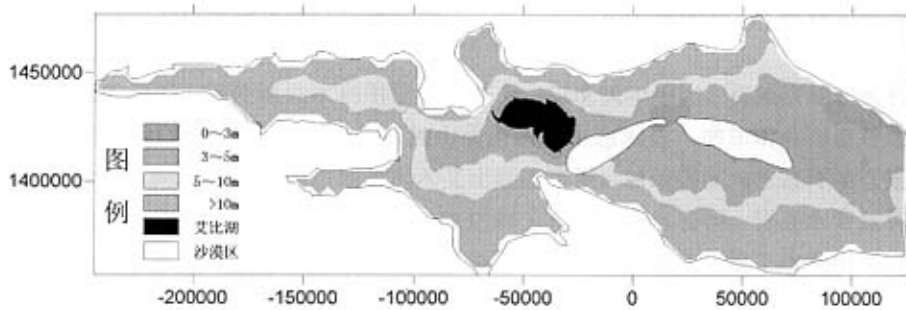


图 5.15 C 方案潜水末时刻潜水埋深等值线图

表 5.3 C 方案模型预测地下水均衡表 (单位: $10^4 \text{m}^3/\text{a}$)

均衡要素	数值法计算结果
基岩山区侧向补给量 (含河道潜流量)	38470.71
河道渗漏补给量	100755.41
前山带暴雨洪流入渗量	2959.21
渠系渗漏补给量	41490.37
田间灌溉入渗补给量	16714.33
降雨入渗补给量	7080.79
水库入渗补给量	20388.50
邻区侧补	2475.09
合计	230334.41
地下水人工开采	176800.57
泉水溢出量	19116.72
潜水蒸发蒸腾量	22498.78
地下水侧向流出量	11801.88
地下水溢出河水量 (含碱渠排水量)	1400.33
合计	231618.28

(2) 结果分析

由预测结果可以看出:

①由于区内水资源交换主要发生在垂直方向,垂向水量交换占 75~80%。在节水条件下,将使灌区地下水入渗补给量减少,这些减少的水量用于增加河道入渗补给量,而引起水资源构成发生变化。对比表 5.2 和表 5.3 可以看出,节水情况下灌溉入渗补给量和渠系入渗补给量均有所减少,而河道入渗补给量相应增加。

②从观测孔水位历时曲线来看,受增加山前河道渗漏量的影响,山前地下水位明显上升,其中奎屯河流域上升 6~7m;四棵树河流域上升 5m 左右;古尔图河流域上升 4.5m 左右;精河流域上升 5m 左右;博尔塔拉河流域上升 4.5m 左右。

受节水灌溉和地下水与地表水联合开发的影响,各灌区地下水有所下降下降幅度 2~4m。

③通过推广节水灌溉措施以及调整细土平原区地下水开采布局,夺取地下水的无效蒸发量为 $2.15 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 。

④节水条件下,将使地表水利用量大大减少,与现状年相比,将减少地表水利用量 $5.8 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$,可将这部分水量用于增加山前河道的生态流量,增加山前河道对地下水的渗漏补给量,同时也可以增加地表水入艾比湖的流量,对改善区内生态环境有重要作用。从地表水与地下水联合开发的原则,也达到了充分利用水资源,提高水资源利用率的目的。经对计算结果统计分析,在节水条件下,与 B 方案相比,地下水利用率得到了进一步提高,在地下水位埋深小于 1m 区,地下水开发比例占 55%~70%,1~3m 区,地下水开发比例占 45%~55%,3~5m 区,地下水开发比例占 35%~45%。地下水开采占地表水利用比例分布图如图 5.16 所示。

综上,在考虑农田节水技术推广使灌溉定额和渠系渗漏量减少 50%,增加河道渗漏补给量,以维持模拟区地质生态环境良性发展为前提,在地表水与地下水联合开发的原则下,通过调整开采布局,模拟区地下水可开采资源量为 $17.68 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$,无论从水均衡还是降速场与梯度场变化来看,均符合区内生态环境良性循环的指标约束条件。

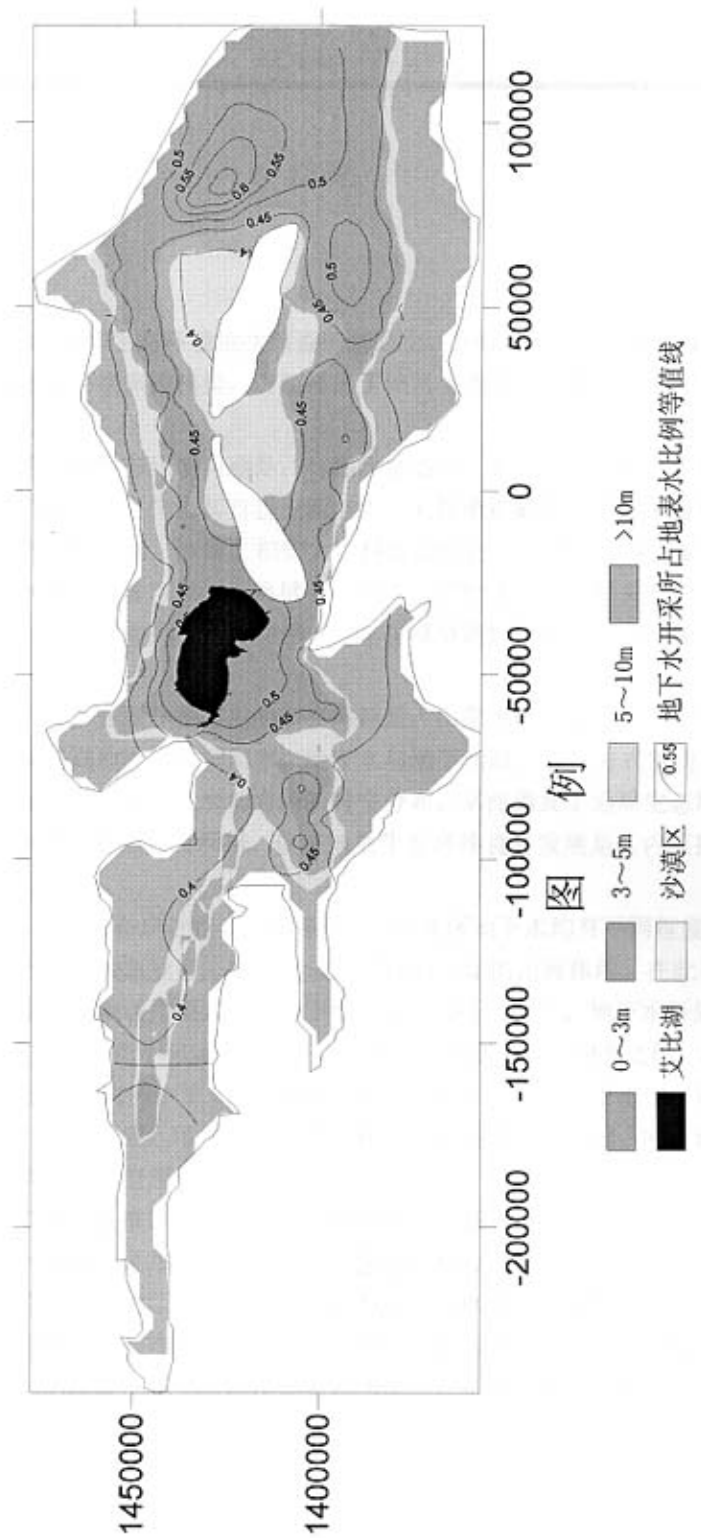


图 5.16 C 方案下艾比湖流域地下水开采所占地表水比例等值线图

6 结论

6.1 结论

本文在开展艾比湖流域生态环境现状调查的基础上,分析了其演变特征及影响因素,构建了艾比湖流域生态环境调控模型,进而提出了该区生态环境调控方案,并得出了以下结论:

1、艾比湖流域的主要生态环境问题是:自然水体萎缩,水质恶化;湖周荒漠生态系统受到破坏,失去了或者正在失去其自我更新能力;天然植被破坏严重,覆盖率明显减小,使得沙尘暴天气明显增加,沙漠面积扩大,耕地盐渍化、沼泽化程度不断加剧。

2、分析了地下水与土壤含水量、天然植被、地表荒漠化之间的因果关系,认为地下水在艾比湖流域生态环境中起到了主导作用,因此在模型调控中以地下水埋深作为主要调控因子。

3、在现状条件下,水资源开发存在的主要问题是:山前戈壁带地下水补给不足,细土平原区则由于片面提高地表水的利用率,地表水与地下水联合开发方式重视不够,水资源被人为空间均化,改变了地下水动力场的时空分布,从而诱发了地质生态环境负效应。因此,加强水资源的合理开发利用,促进地质生态环境良性发展是区内可持续发展的关键。

4、在对现状水资源开采布局进行调控的条件下,各灌区地下水均有不同程度的下降,有效的减少了地下水的无效蒸发量,并对土壤盐渍化有一定的治理作用。在此基础上,提出了艾比湖流域生态环境调控模式为:地下水位埋深小于 1m 区,地下水开采所占比例大约在 40~55%之间;埋深 1~3m 区,地下水开采所占比例在 35~40%之间;埋深 3~5m 区,地下水开采所占的比例小于 25%。这种开发方式有利于调控地下水位,体现了地表水与地下水联合开发的原则,可使土壤盐渍化在一定程度上得到治理,同时地下水资源得到充分利用,增加了水资源利用量。

5、考虑农业节水灌溉推广和渠系利用系数提高后,减少渠道引水,增加山前河道渗漏补给量,调控水资源开采布局,保持区内生态地质环境良性发展条件下,各灌区地下水位埋深基本上位于合理的区间内。从地表水与地下水联合开发的角度,提出了艾比湖流域生态环境调控模式为:在节水条件下,在地下水位埋深小于 1m 区,地下水开发比例占 55%~70%, 1~3m 区,地下水开发比例占 45%~55%, 3~5m 区,地下水开发比例占 35%~45%。

6.2 建议

受所收集的资料及时间的限制，本次研究中尚存在诸多问题，建议对一下几个方面进行深入的分析与研究：

1. 采用因子分析法对艾比湖流域生态环境的影响因素进行更全面的分析，确定更具有代表性和可操作性的生态环境调控模型的调控因子。
2. 补充收集更详实的区域地质地貌、气象水文、水文地质资料，采用调控模型进行不同条件下，长期地下水动力场演化的预测。

致 谢

论文是在巨天乙教授、王文科教授二位导师的精心指导下完成的。从选题、基础资料的分析整理以及计算机实现到论文的最终编写，都倾注了他们大量的心血和精力。在此，对二位导师致以真诚的谢意。巨老师治学严谨、平易近人，将是我永远学习的榜样。导师们严格的要求使在我研究生学习期间得到了系统而有素的训练，纠正了多年养成的一些不良习惯，在此学生向二位导师的辛勤培养表示崇高敬意和衷心感谢。

近三年的学习期间，西安科技大学研究生部、地环系的领导和老师，不但传授了我文化知识，而且从生活上给予了很大帮助和照顾，特别是地环系的书记樊怀仁教授、主任赵晓光教授、副主任王生全教授以及夏玉成教授、侯恩科教授、杨梅忠教授、张志沛教授、唐亦川教授、唐胜利教授等老师授课认真，而且对我给予了特别关心，在此对他们的辛勤劳动致以衷心感谢。

在论文撰写期间，西安科技大学博士、长安大学教师王钊老师给予了无私的帮助，弥补了我知识上的许多空白，在此表示诚挚的谢意。另外，吉林大学的曹玉清教授也给予很大帮助与关怀，在此表示感谢。

在论文的编写中，还得到了赵顺阳博士、杨泽元博士、段磊博士、王杰硕士、梁熙枫硕士、王小丹硕士、徐敏硕士等的大力帮助，在此对他们表示感谢。

还要感谢我的父母、爱人荆秀艳以及家人，是他们悉心的操持家庭事物，排除我的后顾之忧，从而能够潜心撰写论文。

再一次向我的导师、师兄弟以及帮助和关心我的人表示感谢。

参考文献

- [1] 中华人民共和国环境保护法, 1989 年 12 月 26 日中华人民共和国主席令第 22 号公布
- [2] 陈强等, 基于系统动力学的艾比湖沿岸生态环境问题分析及对策, 水土保持: 2004, 12 (2): 33-35。
- [3] 王嵩等, 地下水生态环境控制指标问题的研究现状, 干旱区自然与环境, 2005, 19 (4): 98—103。
- [4] 左其亭等, 西部干旱区生态环境调控模式综合研究, 水土保持学报, 2003, 17 (5): 23—27。
- [5] 左其亭等, 基于 RS 和 GIS 的西部干旱区生态环境调控研究, 重庆环境科学, 2003, 25 (4) 48—51。
- [6] 崔亚莉等, 西北地区地下水的地质生态环境调节作用研究, 地学前缘, 2003, 8 (1): 191—196。
- [7] 郑丹等, 干旱区地下水与天然植被关系研究综述, 资源科学, 2005, 27(4): 160—167。
- [8] 艾比湖汇流区水资源与环境地质综合评价报告, 1: 100000, 新疆地矿局第二水文地质工程地质大队。
- [9] 王文科等, 准噶尔盆地地下水资源及其环境问题调查评价, 2007, 3。
- [10] 王文科等, 人类重大工程对格尔木冲积扇水资源与生态环境系统的影响研究, 西安工程学院学报, 2003, 23 (2): 6—11, 25。
- [11] Science and Technology Committee of China, Chinese Academy of Engineering, The People's Government of Shanxi Province. Proceedings of Conference on Ecological Recon-struction & Economic Harmony Development in the West of China[C]. Chengdu: Science and Technology Press, 1999。
- [12] Mao Dehua. The Water Resource, Environment and Management in Tarim River Watershed[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1998。
- [13] Chang Xueli, Zhao Aifen, Li Shengong. Spatial-temporal scale and hierarchy of vulnerable ecotone[J]. Journal of Desert Research, 1999, 19(2): 115—119。
- [14] Daniel D Evans, John Thams. Water in Desert Ecosystems[M]. America: Academic Press, 1981。
- [15] Kovshar A F, Zatoka A L. Localization and Infrastructure of Preserves in the Arid Area of the USSR [M]. Problemy Os-voeniya Pustyn, 1991. 155—161。
- [16] Bishay Adli. Desert agriculture, ecology and biology[J]. Advances in Desert and Arid

- Land Technology Development.1995:664。
- [17] Gomez J M. Predispersal reproductive ecology of an arid-land crucifer, *Moricandia moricandioides*-effect of mammal herbivore on seed production [J]. Journal of Arid Environments.1996, 33:425—437。
- [18] Sullivan S. Towards a nonequilibrium ecology-perspectives from an arid-land[J]. Journal of Biogeography. 1996, 23:1—5。
- [19] Wang Genxu, Cheng Guodong.Characteristics of spatial heterogeneity on environment in inland river basin[J]. Acta Geographica Sinica, 1998,18(4): 355—361。
- [20] Zhao Yuelong, Liu Yanhua. Relationship between vulnerable ecology and industrialization [J].Economic Geography,1996,16(2): 86—89。
- [21] Zhou Daowei, Zhong Xiuli. Basic conceptions of the theory of disturbed ecology and theoretical frame of disturbed ecology[J]. Journal of HuaBei Normal University (Natural Science), 1996,(1): 90—96。
- [22] Xiao Duning. View on the status of landscape ecology progress from 1995' international landscape ecology conference[J]. Advance in Earth sciences, 1996,11(4): 383—387。
- [23] Huang Peiyou. Outlook of opposition & unite in desert-oasis and sustainable development of the ecosystem in arid deserts[J]. Environment Protection of Xinjiang, 1996,18(2): 17—21。
- [24] Peng Shaoling, Restoration ecology and vegetation reconstructing [J]. Ecological Science, 1996,(2): 26—31。
- [25] Cartalis C. Use of NOAA AVHRR and landsat thematic mapper images in support of studies of atmospheric composition[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(14):3097—3102。
- [26] Zhuang Fenggan. Local Remote Sensing Application Development in China[M]. Beijing: Space Navigation Press, 1997。
- [27] Neil E West, Chapter 1 Approach. Ecosystem of the World 5—Temperate Desert and Semi-deserts [M]. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1983. 1—2。
- [28] Yan Shun. Evolution of geographical environment of Tarim Basin Since late cretaceous[A]. In: Proceedings of International Scientific Conference on Taklimakan Desert[C]. China, 1993。
- [29] 王雁林、王文科等, 陕西省渭河流域生态需水量探讨, 自然资源学报, 2004, 19 (1): 69—78。
- [30] Liang Kuangyi, Liu Peijun. Resource and Environment Study on Banks of Tarim River with RS[M]. Beijing: Science and Technological Literature Press, 1990。

- [31] Pan Xiaoling, Huang Peiyou. Component analysis of vegetation life form in north edge of Tarim Basin [J]. Arid Zone Research, 1989,(9)。
- [32] Wang Ranghui, Fan Zili. Study on land desertification with RS and GIS techniques in Alagan, the lower reaches of Tarim River [J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(2): 137—142.。
- [33] Feng Qi, Cheng Guangting. Study status on middle reaches of Tarim River [J]. Arid Land Geography, 1994, 17(4): 67—72.。
- [34] Fan Zili. The Changes in water chemistry of the Tarim River and its Countermeasures [J]. Acta Geographica Sinica, 1991, 46(3): 319.。
- [35] Zhu Zhenda. Study on Blown Sand Landscape in Takalimakan Desert [M]. Beijing: Science Press, 1981.。
- [36] Xia Xuncheng, Li Chunshong, Zhou Xinjia, et al. Desertification and Control of Blown Sand Disasters in Xinjiang [M]. Beijing: Science Press, 1993.。
- [37] Zhu Zhenda. Concept, cause and control of desertification in China [J]. Quaternary Sciences, 1998, (2): 97—106.。
- [38] 王让会等, 西部干旱区内陆河流域脆弱生态环境研究进展——以新疆塔里木河流域为例.。
- [39] 罗家雄, 新疆垦盐碱土改良 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.。
- [40] 张长春等, 地下水位生态环境效应及生态环境指标 [J]. 水文地质工程地质, 2003, 3: 6—10.。
- [41] 郭占荣等, 西北内陆灌区土壤次生盐渍化与地下水位动态调控 [J]. 农业环境保护, 2002, 21(1): 45—48.。
- [42] 张朝新, 临界蒸发深度的探讨 [J]. 地下水, 1995, 17(1): 23—25.。
- [43] 郭占荣等, 种植条件下潜水入渗和蒸发机制研究 [J]. 水文地质工程地质, 2002, 2: 42—44.。
- [44] 郭占荣等, 西北内陆盆地潜水与土壤水转化关系研究 [J]. 水文, 2002, 22(2): 1—5.。
- [45] 任继周等, 河西走廊盐渍地的生物改良与优化生产模式 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.。
- [46] 赵成, 地下水资源评价中有关概念的讨论 [J]. 甘肃地质学报, 1999, 8(1): 79—85.。
- [47] 王让会, 干旱区内陆河流域的荒漠河岸林变化研究 [J]. 林业科技通讯, 2000, 5: 9—11.。
- [48] 王芳等, 中国西北地区生态需水研究(1)——干旱半干旱地区生态需水理论分析 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(1): 1—8.。
- [44] 宋郁东等, 中国塔里木河水资源与生态问题研究 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1998.。

- 2002。
- [49] Jonathan L H. Physiological response to groundwater depth varies among species and with river flow regulation[J]. *Ecological Applications*. 2001, 11(4): 1046—1059.
- [50] Tyree. Use of positive pressures to establish vulnerability curve: further support for the air—seeding hypothesis and implications for pressure-volume analysis[J]. *Plant Physiology*, 1992, 100(1): 205—209.
- [51] 杨建锋等, 地下水对作物生长影响研究[J]. *节水灌溉*. 2002, 2: 36—38.
- [52] 吴凯等, 河北南部平原地下水位变化趋势及其对农业生态环境的影响[J]. *农业环境保护*. 2001, 20(6): 401-404.
- [53] 高正夏等, 宁夏青铜峡河西灌区地下水调控标准研究(一)[J]. *水资源保护*. 2002, 4: 15—17.
- [54] 宋长春等, 吉林西部地下水特征及其与土壤盐渍化的关系[J]. *地理科学*. 2000, 20(3): 246-250.
- [55] 张妙仙, 杨劲松. 地下水埋深对土壤及地下水盐分影响的信息统计分析[J]. *土壤*. 2001, 5: 239-242.
- [56] 章予舒等, 塔里木河下游沙漠化土壤性质及分形特征[J]. *资源科学*, 2004, 26(5): 11—16.
- [57] 李遐龄, 艾比湖生态环境综合治理和经济可持续发展的研究, *干旱区资源与环境*, 1997, 6.
- [58] 吴敬禄, 新疆艾比湖全新世沉积特征及古环境演化, *地理科学*, 1995.2.
- [59] 吴敬禄等, 新疆艾比湖全新世以来的环境变迁与古气候, *海洋与湖沼*, 1996.9.
- [60] 吴敬禄等, 全新世艾比湖流域不同时段降水量的估算, *湖泊科学*, 1993, 12.
- [61] 杨云良等, 艾比湖流域生态环境演变与人类活动关系初探, *生态学杂志*, 1996, 15 (6): 43~49.
- [62] 闫顺, 艾比湖及周边地区环境演变及对策, *干旱区资源与环境* 10 (1), 1996.3.
- [63] 李国胜, 艾比湖地区冰消期以来气候演化的植物学证据, *海洋地质与第四纪地质*, 16 (2), 1996.6.
- [64] 李国胜, 艾比湖冰消期以来的 $\delta^{13}\text{C}$ 记录与突变气候事件研究, *科学通报*: 38 (22), 1993, 11.
- [65] 苏颖君, 博尔塔拉河、精河流域规划实施后艾比湖湖面变化预测, *新疆环境保护*: 18 (1), 1996, 3.
- [66] 董新光等, 新疆艾比湖闭流域水资源合理开发与环境保护, *新疆农业大学学报*, 1998, 21(4): 301~307.
- [67] 罗明灿, 浅谈艾比湖的变迁及景观生态保护, *新疆农业大学学报*, 1996.9.

- [68] 贾宝全, 保护艾比湖生态环境的目标与途径的探讨, 干旱区资源与环境, 1997, 6.
- [69] 黄培佑, 艾比湖湖周生态环境现状及植被建设对策, 资源生态环境网络研究动态, 1998, 12.
- [70] 柏春广, 艾比湖的湖岸地貌及其反映的湖面变化, 干旱区地理, 22 (1), 1999, 3.
- [71] 卢良才等, 新疆艾比湖沉积物的热释光年龄及其环境意义, 16 (4), 1993, 4 .
- [72] 吉力力·阿不都万里等, 艾比湖干涸湖底尘暴及其灾害分析, 干旱区地理, 2002, 6.
- [73] 王前进等, 艾比湖水面近50a变化成因分析, 冰川冻土25 (2), 2003.4.
- [74] 柏春广等, 艾比湖湖相沉积物粒度的分维特征与环境意义, 干旱区地理: 25 (4), 2002.12.
- [75] 于雪英等, 基于 RS GIS 技术的湖面变化信息提取与分析-以艾比湖为例, 湖泊科学, 15 (1): 81—84, 2003, 3 .
- [76] 吴素芬等, 近年来新疆盆地平原区域湖泊变化原因分析, 干旱区地理: 24 (2), 2001年6月.
- [77] 苏颖君等, 艾比湖生态环境恶化及防治对策, 干旱区地理: 25 (2), 2002, 6.

附 录

硕士期间发表的论文及参与科研项目

- [1] 杨红斌. Fe^{3+} 离子在低品位铜矿生物浸出中的行为分析.西安科技大学学报
- [2] 参加了中国地质调查局项目：新疆准噶尔盆地地下水资源及其环境问题专题研究
{ 编号：（水）[2003]001-14 }