



华夏英才基金学术文库

董新光 周金龙 陈跃滨 编著

干旱内陆区水盐监测 与模型研究及其应用



科学出版社
www.sciencep.com



华夏英才基金学术文库

干旱内陆区水盐监测 与模型研究及其应用

董新光 周金龙 陈跃滨 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系作者1998~2004年承担的世界银行贷款项目“中国新疆塔里木盆地农业灌溉排水与环境保护第二期工程开都河-孔雀河流域项目区水盐监测及水均衡参数研究”、国家自然科学基金项目“内陆区域水资源开发利用系统研究”(59869001)和“开孔河流域水土开发对生态环境影响研究”(40261008)、新疆维吾尔自治区科技厅项目“新疆焉耆盆地水资源最佳利用与生态保护研究示范”(980108001-02-01)等的总结性成果,以四种尺度(区域、灌区、田间、土壤剖面)水盐监测设施的布置、监测与水盐平衡模型、地下水模型的改进以及应用为主线编著而成。主要内容包括水盐监测网点布置与监测、水盐动态规律解析、水均衡参数试验研究、土壤水盐动力学与均衡模型研究与应用、遥感解译土地利用与生态格局、干旱内陆区水盐平衡模型理论与应用、干旱内陆河流域灌区土壤盐碱化形成与演变过程、近50年来开都河-孔雀河流域水盐演变与生态响应过程以及预测分析等。

本书可供农田水利、水文水资源、地下水科学与工程、生态与环境科学、土壤学、农林科学等相关领域的科研和教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

干旱内陆区水盐监测与模型研究及其应用/董新光,周金龙,陈跃滨编著. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-019388-9

I. 干… II. ①董…②周…③陈… III. 干旱区-水盐体系-监测-新疆 IV. S156.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第107075号

责任编辑:胡晓春 吴伶俐 王国华 / 责任校对:鲁素

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007年8月第一次印刷 印张:15 3/4 插页:6

印数:1—1 500 字数:373 000

定价:58.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

序

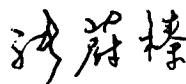
新疆地处祖国西部边陲和欧亚大陆腹地，与八个国家接壤，土地面积占全国国土总面积的六分之一。地貌轮廓的主要特点是“三山夹两盆”。“三山”是指横亘于新疆中部的天山、北部边界的阿尔泰山和南部边界的昆仑山。“两盆”是指介于天山和昆仑山之间的塔里木盆地及天山和阿尔泰山之间的准噶尔盆地。由于这一特定的地形地貌特征，山区降水形成的地表河流均呈向心状向盆地汇集。盆地平原区水资源转化频繁，水循环功能单一，环境容量有限，生态演替特征与水资源分布关系密切。由于内陆盆地河流缺乏参与全球水文大循环的能力，各种以水为载体的有害物质（如盐分和污染物）只能积聚于盆地之中，使大陆盐化不可逆转。因此，合理地调控水盐的运移与分布，是确保绿洲经济持续发展和调控环境质量的关键。为了解决干旱内陆区土壤盐渍化问题，需要进行水盐平衡分析，判别盆地、灌区内不同地段、土壤剖面的不同层次上，是处于积盐状态，还是处于脱盐状态，以此来分析研究采取什么措施可以防止灌区积盐和土壤盐渍化。为了避免灌区积盐对周边和下游地区生态与环境造成不利影响，还必须妥善解决灌区盐分的排除和处理问题。鉴于干旱区水盐运移的复杂性、多变性、滞后性、缓慢性等特征，必须在多层次、多角度的长期监测基础之上，开展对水文循环、盐分迁移聚集规律、水盐平衡模式及水资源形成演化规律的研究，这是干旱区流域研究中最主要的基础理论研究和应用技术研究课题，也是西部大开发中新疆水土资源研究的重大前沿科学问题。

该书在依托国家自然科学基金委员会和新疆维吾尔自治区科技厅科研项目，密切结合世界银行贷款项目“中国新疆塔里木盆地农业灌溉排水与环境保护第二期工程开都河-孔雀河流域项目区水盐监测及水均衡参数研究”，以开都河-孔雀河流域为主要研究对象，开展的一系列水盐监测、水均衡参数试验及各类模型研究与应用工作的基础上，提出了流域、灌区、田间与土壤剖面四个层次的综合监测体系与技术方法；综合运用野外监测、遥感、试验和模型技术研究干旱内陆区流域水、盐、生态与环境演变过程，结合近 50 年水土开发资料，充分证明了博斯腾湖过去和现在都是一个微咸水湖，提出了抑制孔雀河水质淡化和博斯腾湖水质恶化的水资源运行方式；通过系统分析干旱内陆区流域灌区土壤盐碱化的形成与演变规律，提出了新疆平原灌区土壤母质含盐量过高是土壤盐碱化的内因，灌溉水入渗溶解土壤盐分使其上移而排水不畅是土壤盐碱化的外因，要改良盐碱地，必须让盐分有自己的存在空间，只有这样才能实现干旱区人、水、盐的和谐共存；通过对干旱区水资源转化与消耗的内在关系、水利工程的调蓄与增水功能的研究，表明干旱区工程的真实节水量是有一定限度的，为正确估计干旱区节水潜力提供了重要依据；通过定位试验和综合分析研究，提出了干旱区节水治盐的模式——垦荒初期“先治盐、再节水”，维系正常灌溉水盐平衡时期“节水、节肥与防治并重”；基

于潜水蒸发试验、植物根系调查、灌区水盐平衡与土壤水盐运移模型模拟结果,提出了干旱区最佳地下水埋深为3~4m;运用水盐平衡、地下水与土壤水数值模型三个不同层次模型的耦合技术,模拟各种水利工程条件下流域不同尺度的水盐和生态与环境演变过程,确定了水土资源最佳综合开发利用的技术措施,为实现干旱内陆区水土资源的合理配置及可持续利用提供了科学依据。

综上所述,该书反映了近年来干旱内陆区水资源和水盐运移研究与实践的新成果,是新一代水利工作者辛勤工作的集中体现,是一本理论与实践密切结合的学术专著。相信该书的出版,必将对新疆水土资源开发、利用、保护与管理以及生态与环境保护等起到重大的促进作用,对其他类似干旱内陆地区也有重要参考价值。

武汉大学教授
中国工程院院士



2007年2月1日

前 言

在干旱半干旱地区,社会经济发展和生态与环境状况的关键因素是水,“有水就有绿洲,无水则是荒漠”。农业主要依靠人工灌溉,形成了独特的“荒漠绿洲,灌溉农业”社会、经济及生态与环境体系。所谓“人进沙退”或反之“沙进人退”,实质上是水资源分配合理与否的问题。修建水利工程,引来淡水,沙漠和荒漠变良田;由于河道变迁或上游大量引水,下游河道断流干涸,则良田及天然植被消亡,变成沙漠和荒漠。所以,水资源合理配置与开发利用直接关系到绿洲的稳定、社会经济的发展和生态与环境的改善。

开都河-孔雀河流域位于新疆巴音郭楞蒙古自治州境内,是新疆南部最具经济活力的地州之一,也是塔里木盆地石油开发的重要地区和我国重要的能源后备基地。博斯腾湖则是开孔河流域的“心脏”,它既是开都河的归宿地,又是孔雀河的发源地,是一个巨大的“调节水库”。它不仅对流域灌溉、发电和防洪等具有很大的调节功能,而且维系着焉耆盆地内的和硕、和静、焉耆和博湖四县及孔雀河流域的库尔勒市和尉犁县的社会、经济持续发展与生态、环境的改善,也是塔里木河下游的生态与环境绿色走廊恢复的重要水源保证。

作者基于干旱区水资源和水盐运移研究最新成果,以及多年来的水利实践和对干旱区水环境问题的长期研究与思考,依托国家自然科学基金委员会资助项目“内陆区域水资源开发利用系统研究”(59869001)和“开孔河流域水土开发对生态环境影响研究”(40261008),新疆维吾尔自治区科技厅资助“山川秀美”重要科研项目“新疆焉耆盆地水资源最佳利用与生态保护研究示范”(980108001-02-01),以及世界银行贷款项目“中国新疆塔里木盆地农业灌溉排水与环境保护第二期工程开都河-孔雀河流域项目区水盐监测及水均衡参数研究”等的资助,以开孔河流域为主要研究对象,并辐射到阿克苏河流域、三工河流域、哈密盆地和阿克陶县、阿图什市、奇台县等,开展了一系列基于水盐监测、水均衡参数试验的水环境演变规律研究和各类模型的应用研究工作,积累了国内外少见的流域尺度的水盐长期观测资料。通过系统的监测和研究,深化对流域水资源形成,绿洲水分消耗、转化及水盐运移、均衡规律和趋势的认识,为流域绿洲的水资源评价、水资源配置、灌区节水和用水管理、土地荒漠化(土地沙化与盐碱化)防治提供了科学的研究方法。本书所述的监测方法与模型在“新疆地下水资源调查与评价”、国家“863”项目——“北方干旱内陆河灌区节水农业综合技术体系集成与示范”的节水效益监测评价、新疆维吾尔自治区科技厅重点攻关项目“三工河流域生态产业发展关键技术示范”的“水资源优化配置与高效利用技术示范”专题等方面得到推广应用,取得了明显的效果,并为“中国新疆塔里木盆地农业灌溉排水与环境保护第二期工程开都河-孔雀河流域项目区水盐监测及水均衡参数研究”项目的效益与作用评估提供了科学

依据。

本书紧密结合新疆实际,针对干旱内陆区流域水资源与水盐运移特征,建立了流域、灌区、田间、土壤剖面的综合监测网,开展了重点试验及综合系统分析,从而揭示了干旱内陆灌区土壤母质含盐量过高、灌溉水入渗溶解土壤盐分使其上移而排水不畅分别是土壤盐碱化产生的内因、外因;综合节水灌溉、作物耐盐能力与维系依赖于地下水生存的天然植被三方面因素的分析,提出了节水治盐的模式——垦荒初期“先治盐、再节水”,维系正常灌溉水盐平衡时期“节水、节肥与防治并重”;依据近50年水土开发资料,提出了博斯腾湖过去和现在均是一个微咸水湖的新观点;在确定了开孔河流域平原灌区最佳地下水埋深为3~4m的基础上,提出了该流域的地下水位调控模式;根据干旱内陆区流域四水平衡原理,改进了水盐平衡模型,并与土壤水和地下水模拟模型耦合,完善了干旱内陆区水资源模型理论体系,提出了干旱内陆区水资源计算评价的新方法。

本书共分9章,撰写分工为:前言,董新光、周金龙;第1章,陈跃滨、姚新华、艾克日木;第2章,周金龙、艾克日木、旦木仁加甫;第3章,周金龙、杜强、姚新华;第4章,王水献、李慧敏、周金龙、杜强;第5章,周金龙、王水献、姚新华;第6章,钟瑞森、董新光、陈跃滨;第7章,董新光、刘丰、姜卉芳、吴永光;第8章,杨鹏年、董新光、钟瑞森;第9章,钟瑞森、吴永光、董新光、姜卉芳。最后由董新光、周金龙、陈跃滨统稿。

在监测、试验与研究过程中得到了新疆维吾尔自治区水利厅世界银行贷款项目办公室,清华大学,西安理工大学,中国地质大学(武汉),巴音郭楞蒙古自治州水管处、水文水资源勘测局、环境保护局、气象局、统计局,焉耆县水利局,和静县水利局,和硕县水利局,博湖县水利局,库尔勒市水利局,尉犁县水利局等单位的大力协助;在本书编撰和出版过程中得到了中共中央统战部和中共新疆维吾尔自治区党委统战部的大力资助。在此一并表示衷心的感谢。

目 录

序

前言

第 1 章 开都河-孔雀河流域概况	1
1.1 地理位置	1
1.2 地形地貌	1
1.3 地质与土壤	2
1.4 气候	2
1.5 水文	3
1.6 水质	5
1.6.1 地表水水质	5
1.6.2 地下水水质	6
1.7 水利工程概况	6
1.7.1 引水工程	6
1.7.2 灌溉工程	7
1.7.3 提水工程	8
1.7.4 灌区排水工程	8
1.8 社会经济概况	10
1.9 环境变化	10
第 2 章 水盐监测规划与背景调查方法	13
2.1 水盐监测的目的与任务	13
2.1.1 水盐监测的目的	13
2.1.2 水盐监测的任务	13
2.2 规划监测网点的原则与主要监测方法	13
2.2.1 规划监测网点的原则	13
2.2.2 主要监测方法	14
2.3 地表水监测	14
2.4 地下水监测	15
2.5 排水监测	20
2.6 典型地段水盐监测	21
2.7 典型区水盐监测	21
2.7.1 地下水埋深<2m 的典型开荒区	21
2.7.2 地下水埋深 4~5m 的典型耕地小区和荒地小区	23

2.8	灌区土地利用遥感监测	23
2.9	区域地下水背景调查	24
第3章	水盐监测与动态规律解析	25
3.1	地下水位、水质区域分布特征	25
3.1.1	地下水位、埋深的区域分布特征	25
3.1.2	地下水矿化度与水化学类型的区域分布特征	26
3.2	地下水位与矿化度的年际变化特征	26
3.2.1	地下水位的年际变化特征	26
3.2.2	地下水矿化度的年际变化特征	27
3.2.3	地下水化学类型的年际变化特征	28
3.3	地表水监测与分析	28
3.3.1	降水量	28
3.3.2	蒸发量	28
3.3.3	水文过程分析	29
3.3.4	引水量	33
3.3.5	博斯腾湖泊湿地(湖区)	34
3.3.6	水质	35
3.4	地下水监测与分析	38
3.4.1	地下水位埋深动态分析	38
3.4.2	地下水水质动态分析	43
3.4.3	地下水开采量动态分析	44
3.5	排水监测与分析	44
3.5.1	排水水量、矿化度及排水带走盐量年内动态特征	44
3.5.2	排水水量、矿化度及排水带走盐量年际动态特征	45
3.6	灌区典型地段土壤水盐监测与分析	47
3.6.1	地下水动态特征	47
3.6.2	土壤盐分变化特征	49
3.7	潜水浅埋典型开荒区土壤水盐监测与分析	55
3.7.1	土壤含水量、土壤水势以及盐分的田间测定	55
3.7.2	地下水变化特征	56
3.7.3	土壤水盐变化特征	59
3.7.4	小结	64
3.8	水土资源开发与盐分再分布的关系研究	65
3.8.1	阜康市地下水深埋区土壤含盐量剖面	65
3.8.2	阜康市地下水浅埋区土壤含盐量剖面	66
3.8.3	开垦初期无水平排水区土壤含盐量剖面	67
3.8.4	小结	69

第 4 章 水均衡参数试验与研究	70
4.1 开都河流域河道水与地下水补排关系监测与分析	70
4.2 典型渠道水渗漏损失试验研究	71
4.2.1 开孔河流域	71
4.2.2 三工河流域	72
4.3 灌区土壤水变化、入渗补给试验分析	76
4.3.1 阜康市灌溉水入渗试验	76
4.3.2 焉耆县潜水深埋区土壤水运移特征	80
4.3.3 焉耆县潜水浅埋荒地典型区土壤水盐运移特征	88
4.4 代表性林草根系深度调查与分析	92
4.5 代表性农作物根系深度调查与分析	95
4.6 典型开荒区土层渗透性能	95
第 5 章 开孔河流域近 40 年土地利用与生态、环境演变	96
5.1 开孔河流域的遥感解译分析	96
5.2 焉耆盆地绿洲区景观格局变化分析	98
5.2.1 数据处理与分析	98
5.2.2 结果及其分析	100
5.2.3 初步结论	104
5.3 绿洲景观的分形特征	105
5.3.1 分形理论基础	105
5.3.2 盆地绿洲景观的分形特征	106
5.4 流域绿洲景观变化驱动力分析	110
5.4.1 自然驱动因子	111
5.4.2 人为驱动因子	112
5.4.3 土地利用、土地覆盖变化的社会经济驱动力分析	114
5.5 焉耆盆地绿洲土地利用、土地覆盖变化指数模型分析	117
5.5.1 土地利用程度综合指数模型分析	117
5.5.2 单一类型土地利用、土地覆盖变化趋势模型分析	118
5.5.3 综合变化趋势指数模型分析	120
5.6 基于马尔可夫过程土地利用演化趋势预测	121
5.6.1 马尔可夫链预测模型	121
5.6.2 转移概率的确定	122
5.6.3 初始状态矩阵的确定	123
5.6.4 初始转移概率的确定	123
5.6.5 不同步长的利用类型转移概率的计算	124
5.6.6 计算各年份各种类型所占比例	125
5.6.7 对马氏过程模拟类型变化的检验	125
5.6.8 盆地未来各土地利用、土地覆盖类型面积变化趋势预测	126

5.6.9 小结	127
第6章 干旱内陆河流域水盐平衡理论与模型研究	128
6.1 模型基本思路与原理	128
6.1.1 模型基本思路	128
6.1.2 模型计算原理	131
6.2 模型的软件系统实现	137
6.2.1 用户交互界面系统	138
6.2.2 模型模拟计算系统	140
6.3 模型参数率定	142
6.3.1 地下水排水系数	143
6.3.2 地下水交换参数	144
6.3.3 土壤给水度	145
6.4 区域单元划分与概化节点图	145
6.4.1 研究区范围	145
6.4.2 河流及河段的划分	146
6.4.3 灌溉单元的划分	146
6.4.4 地下水单元的划分	147
6.4.5 博斯腾湖的概化	147
6.4.6 区域概化节点图	148
6.5 主要数据及参数的选用分析	148
6.5.1 主要数据来源	148
6.5.2 主要参数分析评价	150
6.6 模型率定检验与参数敏感性分析	154
6.6.1 模型检验	154
6.6.2 参数敏感性分析	157
6.7 现状模拟结果分析	161
6.7.1 河道模拟计算结果	161
6.7.2 地下水模拟计算结果	162
6.7.3 灌溉单元计算结果	164
6.7.4 湖泊平衡计算结果	166
6.7.5 总体水均衡分析	167
6.7.6 总体盐平衡初步分析	168
第7章 水盐监测与模型在水环境项目立项中的应用	170
7.1 工程项目与方案设计简述	170
7.1.1 博斯腾湖流域近期主要工程项目	170
7.1.2 各工程项目之间的关系与作用	171
7.1.3 方案组成及主要参数	171
7.2 各方案模拟与分析	174

7.2.1	各方案模拟结果总体分析	174
7.2.2	无工程措施方案 (A0) 预测分析	177
7.2.3	灌区改造后方案 (A1) 未来情景预测分析	179
7.2.4	三大项目实施后 (A2) 未来情景预测分析	179
7.2.5	水源地与人工育苇工程实施后 (A3) 未来情景预测分析	181
7.2.6	各项工程措施实施后 (A4) 未来情景预测分析	182
7.3	环境影响分析与评价	183
7.3.1	博斯腾湖流域水盐平衡与耗水分析	183
7.3.2	博斯腾湖与湖滨湿地水盐平衡及耗水分析	186
7.3.3	“水环境项目”在流域水盐与耗水良性循环中的作用	188
第 8 章	地下水模型在地下水开发工程中的应用	190
8.1	地下水数值模型	190
8.1.1	模型的研究范围	191
8.1.2	地下水流动系统简述	191
8.1.3	模型的概化	192
8.1.4	数学模型	193
8.1.5	初始条件与边界条件	194
8.1.6	空间与时间离散	194
8.1.7	地下水模型中数据选用	194
8.2	地下水模型检验与参数率定	195
8.2.1	参数率定	195
8.2.2	平面流场与观测孔水位拟合	196
8.2.3	水文地质参数率定结果	197
8.3	现状地下水均衡分析	199
8.3.1	现状地下水均衡结果	199
8.3.2	模拟结果分析	200
8.4	地下水开采方案分析	201
8.4.1	地下水开采与净增水量的关系分析	202
8.4.2	地下水开采量占引入灌区地表水资源量的比例	205
8.4.3	地下水开采增量与地表引水量和排水之间的关系	206
8.4.4	地下水开采增量与潜水蒸发量减少量的关系	207
8.4.5	地下水开采增量与地下水位埋深的关系	207
8.4.6	地下水开采增量与开采层地下水干扰水位的关系	211
8.5	地下水开采优化方案分析计算	213
8.5.1	优化方案比较分析	217
8.5.2	优化方案二地下水均衡分析	218
第 9 章	近 50 年博斯腾湖与孔雀河水盐演变过程	223
9.1	引言	223

9.2	焉耆盆地水盐平衡分析	224
9.3	焉耆盆地绿洲区水盐平衡分析	225
9.4	博斯腾湖泊湿地(湖区)水盐平衡分析	226
9.5	博斯腾湖与湖滨湿地水盐平衡分析	227
9.6	焉耆盆地水盐变化趋势分析	228
9.7	各种情景的模拟分析	229
9.7.1	情景 A0 水盐平衡结果分析	231
9.7.2	情景 A1 水盐平衡结果分析	232
9.7.3	情景 A2 水盐平衡结果分析	232
9.7.4	情景 A3 水盐平衡结果分析	232
9.7.5	各种情景水盐平衡分析	233
9.8	结论	233
参考文献		235

第1章 开都河-孔雀河流域概况

1.1 地理位置

开都河-孔雀河（以下简称开孔河）流域位于巴音郭楞蒙古自治州境内天山南麓、塔克拉玛干沙漠北缘。地理坐标：东经 $82^{\circ}85' \sim 90^{\circ}25'$ ，北纬 $38^{\circ}91' \sim 42^{\circ}86'$ 。流域面积约 10.52 万 km^2 ，其中平原区 5.51 万 km^2 、山区 5.01 万 km^2 。该流域主要由开都河流域（也可称焉耆盆地，包含博斯腾湖泊湿地）和孔雀河流域组成。博斯腾湖泊湿地则是开都河的归宿地，又是孔雀河的发源地，是一个巨大的“调节水库”，故称为开孔河流域的“心脏”。因此，也将开孔河流域称为博斯腾湖流域。流域内行政区包括焉耆县、和静县、和硕县、博湖县、尉犁县和库尔勒市五县一市及农二师十个农业团场，流域平原区地理位置如彩图 1 所示。焉耆盆地分盆地绿洲区和博斯腾湖泊湿地（或称“湖区”）两个大区，博斯腾湖泊湿地又分博斯腾湖和湖滨湿地，习惯将博斯腾湖称为大湖，湖滨湿地称为小湖。“博斯腾湖·中国最大的内陆淡水湖”（中国大百科全书，中国地理，1993.6）系指面积约 1000 km^2 的大湖。

1.2 地形地貌

开孔河流域由于天山支脉阿克塔格的阻隔，形成焉耆盆地平原区和孔雀河冲洪积平原区两大地形地貌单元区。

焉耆盆地自开都河大山口到开都河第一分水枢纽为丘陵地区，以下区域为平原区。焉耆盆地是一个半封闭的山间盆地，地形北高南低，地势由西北向东南倾斜，地面高程为 $1048 \sim 1200 \text{ m}$ 。盆地内的地貌类型主要有地形相对高差为 $20 \sim 30 \text{ m}$ 的背斜丘陵、地形坡度为 $1\% \sim 4\%$ 的薄土层洪积冲积平原、地面坡度为 $0.1\% \sim 2.5\%$ 的开都河三角洲平原及博斯腾湖泊湿地。平原区地势平坦、土壤肥沃、植被较好，是人口稠密的农牧区。

博斯腾湖盆位于焉耆盆地东南部海拔 1049 m 以下的低凹区，是焉耆盆地的侵蚀基准面，由开都河、黄水沟等河流汇入而成。湖四周形成一系列沙堤，把一些湖湾隔成半开口的滨湖。博斯腾湖西部的湖滨湿地（小湖）面积约 390 km^2 ，盛产芦苇；湖南岸有大片高大沙丘，宽 $5 \sim 10 \text{ km}$ 。

孔雀河冲洪积平原区：地势自西北向东南倾斜，由陡趋向平缓，地面高程为 $950 \sim 880 \text{ m}$ ，地面坡度为 $0.5\% \sim 2.3\%$ ，平原区下部与塔里木盆地边缘绿洲相连。平原区地势平坦，土壤肥沃，自然植被尚较发育，以胡杨、红柳、芦苇、罗布麻为主。

1.3 地质与土壤

焉耆盆地在大地构造单元上被称为“博斯腾湖拗陷”。它的发育继承了南天山向斜褶皱带在海西晚期拗陷的位置,后经阿尔卑斯运动,形成阶梯状拗陷基底,特别是山前带和拗陷内部深大断裂的存在和分布,控制和影响着盆地的演变。盆地四周为前第四纪古老地层,盆地内部广泛分布第四纪冲洪积、沼泽和湖积物。盆地第四纪岩性结构自西北向东南逐渐变细,以砂砾石、中粗砂、中细砂、砂壤土、亚黏土为主。由于东部库鲁克塔格山体的抬升和西尼尔隐伏构造的影响,孔雀河向西摆动,切割了老三角洲形成新三角洲。孔雀河冲洪积平原区,地形平坦,出露地层主要为第三系河湖相沉积的泥岩、砂岩、粉砂岩以及第四纪冲洪积、风积而成的砂砾石、细砂、亚砂土、亚黏土等。

开孔河流域属大陆性干旱荒漠区,土壤类型主要有绿洲潮土、棕漠土、荒漠林土、草甸土、沼泽土、盐土、棕钙土、风砂土、龟裂土、残余盐土、残余沼泽土、沼泽土12种土类。

焉耆盆地山前洪冲积倾斜平原和洪积平原的上部到下部依次分布着石膏棕漠土、棕漠土、龟裂状棕漠土和龟裂性土。冲积平原绿洲集中分布区,河滩地和阶地上分布着草甸土和草甸沼泽土。而在开都河冲积平原上的一些河间洼地,地下径流滞缓,在强烈蒸发下极易积盐,主要分布着草甸盐土和典型盐土。焉耆盆地从山前至博斯腾湖土壤分布依次为:棕漠土—灌耕棕漠土—灌耕土或灌淤土—潮土—灌耕草甸土—草甸盐土—典型盐土—盐化沼泽土—湖泊,其间有风砂土分布,特别是湖的东、南沿岸均为风积沙包组成的沙漠带。

孔雀河东部老三角洲地形部位较高,地下水位埋藏较深,地形起伏大,分布着棕漠土、荒漠化草甸土和残余盐;西部新三角洲地形平坦,地下水位较高,上部为库尔勒绿洲所在地,中下部沿河淡化带内分布着盐化胡杨林土和盐化草甸土,距河较远的地方土壤积盐较重,形成草甸盐土和典型盐土。在孔雀河普惠大坝以下,孔雀河基本断流,仅为深切4~5m的干河道,沿岸地下水位埋深降至3~4m以下,土壤类型变为荒漠化草甸土、荒漠化胡杨林土和荒漠化盐土。

由于开孔河流域气候干燥、地下水位高、排水不畅、蒸发量大,土壤盐渍化比较严重。随着焉耆盆地多年灌区的改造、排水能力的提高,灌区土壤盐分已有所下降。而孔雀河地表水矿化度增高,排水系统不完善,灌区土壤盐分逐年上升,土壤盐渍化有加重趋势。

1.4 气候

开孔河流域深居欧亚大陆腹地,远离海洋,呈现出明显的干旱大陆性气候特征。总的特点是干旱少雨,蒸发量大,多晴天,日照时间长,光热资源丰富。根据流域内多个气象站资料,从流域上游到下游多年平均降水量47.3~75.0mm,多集中于6~8月份;多年平均蒸发量(20cm蒸发器)1887~2777mm,夏季炎热,冬季寒冷少雪;全年以

晴天为主,日照时间长,太阳辐射能量多,昼夜温差大;区内大风多集中于春末夏初,每年有3~4天的干热风;湖区气候受平原区大气候控制,也具有其独特性,由于大水体的储温效应,昼夜与年际温差较陆地小,局部风向风速也与陆地有所不同。开孔河流域主要气象要素特征值见表1.1。

表 1.1 开孔河流域气象要素特征值统计表

测站 气象要素	和静	和硕	焉耆	库尔勒	尉犁
多年平均降水量/mm	62.6	75.0	72.3	55.8	47.3
多年平均蒸发量/mm	2302.0	2136.2	1887.1	2774.3	2777.2
多年平均气温/℃	8.6	8.6	7.9	11.5	10.5
平均水气压/hPa	6.5	6.5	6.6	6.6	6.2
多年平均相对湿度/%	52	52	56	45	47
多年平均风速/(m/s)	1.6	1.4	2.1	2.7	2.2
多年最大冻土深度/cm	119	109	95	63	79
太阳辐射总量/[亿 J/(m ² ·a)]	65.7	65.7	65.7	62.6	60.25
多年平均日照时数/h	3018.8	3166.9	3111.5	2950.7	3033.7

1.5 水 文

开孔河流域有大小10余条河流,主要有开都河、孔雀河、黄水沟、清水河、哈哈仁郭勒、莫哈查汗沟、乌拉斯台河、曲惠沟等。其中开都河、黄水沟、清水河等河流为博斯腾湖泊湿地主要水源,孔雀河是博斯腾湖泊湿地的唯一出水河流。1983年西泵站建成运行后,孔雀河入流受到人为因素控制增强。

开都河是焉耆盆地中最大的常年性河流,发源于天山中部艾尔宾、伊连哈比尔尕、那拉提、科克铁克等山脉,河源高程4292~4812m,河流长度560km,流域面积约4.43万km²,开都河出山口的大山口水文站(控制流域面积为18827km²)多年径流量约34.82亿m³,占进入盆地总径流量的84.6%,是唯一一条常年补给博斯腾湖的河流。开都河下游分为东支和西支,东支进入大湖,西支进入小湖。

黄水沟是博斯腾湖西北部主要河流之一,主要由雨雪冰融混合补给,发源于天山山脉的天格尔山南坡。流域中部巴仑台镇以上有两条支流——西支巴音沟、东支乌拉斯台沟,汇合后成为黄水沟的主流。河源至山口河流长度110km,盆地内河流长度52km,流域集水面积约4311km²,多年平均径流量约2.69亿m³。

清水河是博斯腾湖北面的一条主要河流,发源于天格尔山海拔4265m的阿勒古大坂。从河源至出山口处的克尔古提水文站河长60.21km,盆地内河流长28km,集水面积约1016km²,多年平均径流量约1.42亿m³。

哈哈仁郭勒发源于天山南坡的陶斯提大坂和艾勒吉根大坂(海拔3500~3780m),

主要为融冰水及暴雨补给,集水面积约 524km²,河流长度 40.4km,出山口 6km 被渠道引水后剩余水量全部渗漏补给地下水,只有洪水季节有水量汇入乌拉斯台河。

莫哈查汗沟位于博斯腾湖西北部,发源于天山北坡的总古吐乎大坂(海拔 3294~4112m),为融冰雪、暴雨、泉水补给,集水面积约 318km²,山区河流长度 28.6km,出山口不远即全部渗漏补给地下水。地下水在哈尔莫墩镇北河谷两侧以泉水形式出露,泉水和洪水季节洪流汇入乌拉斯台河。

孔雀河穿过阿克塔格山的铁门关峡谷,流经库尔勒市区,向西流经和什里克,南至普惠折向东南,最后向东蜿蜒曲折经塔里木盆地东北部,流入罗布泊,全长 785km。目前自阿克苏甫乡地里帕以下到罗布泊 423km 河道已完全干涸。

开孔河流域主要河流多年平均径流量见表 1.2。

表 1.2 开孔河流域主要河流多年平均径流量统计表(单位:亿 m³)

河流	测站	平均径流量												
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
开都河	大山口	1.30	1.11	1.28	2.80	3.80	4.92	5.72	5.15	3.25	2.38	1.71	1.39	34.82
	焉耆	1.16	1.19	1.40	1.61	2.36	3.45	3.83	3.13	1.87	1.31	1.73	1.46	24.50
孔雀河	塔什店	0.90	0.85	0.80	0.98	1.08	1.12	1.16	1.16	0.94	0.84	0.91	0.87	11.61
黄水沟	黄水沟	0.08	0.08	0.08	0.09	0.22	0.44	0.67	0.45	0.25	0.13	0.11	0.09	2.69
清水河	克尔古提	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.17	0.33	0.26	0.18	0.10	0.08	0.06	1.42

由大山口、黄水沟、克尔古提水文站 1956~2003 年的实测年径流资料分析来看,开都河年内径流变化按其水情特征可分为春汛期、夏汛期、秋季退水期、冬季枯水期,年内分配的特点是春汛连着夏汛,且汛期较长,径流量年内分配不均,主要集中在夏季。3 个水文站年径流量系列变差系数分别为 0.16、0.35 和 0.32 左右,由此可见开都河年际径流量变化较小,而黄水沟、清水河年际径流量变化较大,各河流径流年内分配见表 1.3。

表 1.3 开孔河流域主要河流径流年内分配统计表

河流	各季分配比/%				历年最大丰枯比	C _v
	3~5月	6~8月	9~11月	12月至翌年2月		
开都河	22.7	44.8	21.3	11.2	2.33	0.16
黄水沟	13.3	58.1	18.7	9.9	3.89	0.35
清水河	10.0	54.3	24.6	11.1	2.78	0.32

注:孔雀河来水受人为控制,本表未列出

博斯腾湖泊湿地位于天山南麓、焉耆盆地的东南,属中生代断陷湖,由大湖、小湖群组成。大湖水域辽阔,东西长 55km,南北平均宽 20km,形似一把不规则的镰刀,水位 1046m 时,水域面积约 974km²,库容约 63 亿 m³。根据 2000 年巴音郭楞蒙古自治州水利局的测绘结果,大湖区库容-面积-水位关系曲线如图 1.1 所示。小湖群由 16 个