

中国水论坛 No.9

China Water Forum
No.9

水与区域可持续发展

丁永建 韩添丁 夏军 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国水论坛 No.9

水与区域可持续发展

丁永建 韩添丁 夏军 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为第九届中国水论坛论文集,全书共分10个部分,即冰冻圈对水、生态及可持续发展影响、城市化过程中的水问题、干旱区内陆河流域水与生态、气候变化与区域水循环、区域生态水文过程的人文因素、水文信息学、水与农业、水与灾害、水资源转换与地下水资源可持续利用、同位素水文学。全书汇集99篇论文,百余位水资源等领域专家就“水与区域可持续发展”进行了探讨和成果展示,为中国水问题的解决提供了一些方法、思路和措施,以期在经济、社会、环境科学发展过程中的水支撑研究提供科学依据和智力支持,具有一定的学术价值。

本书适合区域气候变化、水资源与环境、水文过程与技术、农业与生态及城市规划等方面的专家、学者以及相关高等院校、科研工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水与区域可持续发展 / 丁永建, 韩添丁, 夏军主编
· 一 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 7
(中国水论坛; 9)
ISBN 978-7-5084-9960-4

I. ①水… II. ①丁… ②韩… ③夏… III. ①区域—
水资源—可持续性发展—中国—文集 IV. ①TV213-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第155410号

书 名	中国水论坛 No. 9 水与区域可持续发展
作 者	丁永建 韩添丁 夏军 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 37.5印张 1269千字
版 次	2012年7月第1版 2012年7月第1次印刷
印 数	001—800册
定 价	120.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

第九届中国水论坛论文集

《水与区域可持续发展》

编 委 会

顾 问 秦大河 刘昌明 王光谦 王 浩 张建云

主 编 丁永建 韩添丁 夏 军

委 员 (按姓名拼音字母顺序)

陈仁升 陈 曦 邓 伟 贺缠生 刘时银

刘文江 南卓铜 钱 鞠 乔云峰 王乃昂

王文华 吴锦奎 叶柏生 张世强 左其亭

第九届中国水论坛及本书的出版得到了以下项目的资助：

中国科学院知识创新工程重要方向项目群：“地表过程集成系统研究”

（编号：KZC X2—YW—Q10）

中国科学院“百人计划”项目：“典型流域冰冻圈水文过程模拟及水资源变化预测”

全球变化研究国家重大科学研究计划项目：“北半球冰冻圈变化及其对气候环境的影响与适应对策”

（编号：2010CB951404）

国家自然科学基金课题

（编号：41030527）

科技部基础性工作专项：“中国冰川资源及其变化调查”

（编号：2006FY110200）

科技部国际合作项目：“阿克苏河流域冰川变化对水资源及灾害的影响研究”

（编号：2008DFA20400）

水利部公益性行业科研专项项目

（编号：200701046）

前 言

为了研讨和解决中国面临的严峻水问题,“中国水论坛”(原称“中国水问题论坛”)最早于2003年由武汉大学、中国科学院地理科学与资源研究所等单位发起,以后由中国自然资源学会水资源专业委员会等单位主办。在国内众多专家、领导的支持和努力下,中国水论坛已成功举办了8届,分别由武汉大学、中国科学院地理科学与资源研究所、西安理工大学、郑州大学、河海大学、四川大学、中国科学院地理科学与资源研究所、黑龙江大学承办。自第四届起,中国水论坛形成了统一的会标、会旗和办会模式,形成了独特的会议、研讨风格,在中国水问题研讨方面影响力越来越大,同时也成为了我国具有标志意义的水利盛会之一。

中国水论坛始终秉承科学至上、服务社会的理念,致力于为中国水问题研究提供分析思路、解决措施及实践成果,致力于将新理论、新方法、新技术融合应用于水科学研究,致力于优秀中青年学者的展示和培养,切实地为促进人水和谐、推动水利事业发展提供了高效交流平台及强大的智力支撑。

第九届“中国水论坛”于2011年8月2~3日在兰州召开。本届水论坛由中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、兰州大学和中国科学院新疆生态与地理研究所共同承办,有来自23个省、自治区、直辖市及特区的100多所高校、科研机构及相关企事业单位的300多名代表参加。此外,还有来自联合国教科文组织、英国曼彻斯特大学、挪威奥斯陆大学等数位国际知名学者参加了本届论坛。

在众多专家、学者的大力支持下,第九届中国水论坛论文集编委会共收到参会论文和摘要约200篇,经过审查,本文集共选录了其中的99篇学术论文,根据论文涉及内容划分为10个部分:①冰冻圈对水、生态及可持续发展影响;②城市化过程中的水问题;③干旱区内陆河流域水与生态;④气候变化与区域水循环;⑤区域生态水文过程的人文因素;⑥水文信息学;⑦水与农业;⑧水与灾害;⑨水资源转换与地下水资源可持续利用;⑩同位素水文学。

本论文集的编辑审校工作得到了中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中国自然资源学会水资源专业委员会、兰州大学、中国科学院地理科学与资源研究所、河海大学、郑州大学等单位多位专家的帮助和指导。中国水利水电出版社的宋晓编辑、刘向杰编辑为本论文集的出版付出了辛勤的编排校订劳动，在此一并致谢。

由于编者水平有限，编辑时间有限，论文难免存在不妥甚至是错误之处，诚请广大专家读者不吝赐教。

编者

2012年5月

目 录

前言

冰冻圈对水、生态及可持续发展影响

高寒荒漠带小流域水文过程初步分析	韩春坛 陈仁升	(3)
青海寒区潜热蒸发对土壤表层含水量的作用	吴晓玲 向小华 王船海	(12)
气候变化对祁连山冻土区干旱—半干旱高寒草地的影响	周兆叶 宜树华 叶柏生 任世龙 许 民	(15)

城市化过程中的水问题

干旱半干旱区雨水资源利用——以白银市为例	陈彩虹 王廷丽 吴锦奎	(23)
重庆市农村集中式饮用水源地安全评价	侯 新 龙训建	(29)
N 市农村饮用水水质安全评价	赵显波 郎景波 王宏伟	(35)
跨部门水权转换的理论阐释及其政策含义	马晓强 康佳楠	(40)
中原经济区水资源承载力计算及配置方案优选	陶 洁 左其亭	(46)
低平原城市街道暴雨积水成因分析及减灾对策	张志悦	(53)
城市化地区洪涝灾害发生的原因分析及对策研究	刘建芬 王慧敏 张行南	(57)
闸坝调度对水质改善的可调性研究	郑保强 窦 明 左其亭	(61)
比较几种地下水位空间插值方法在城市区域的应用	潘 云 贺 超 朱 琳 刘晓萌	(67)
寒区城市冬季地表水源取水危机特征及其应急对策分析	戴长雷 李治军 吴 敏 吕雅洁	(72)
哈尔滨市供水水源污染灾害风险及其应急对策分析	吕雅洁 戴长雷 张一丁	(75)

干旱区内陆河流域水与生态

基于定位观测的巴丹吉林沙漠湖泊水循环初步研究	王乃昂 董春雨 宁 凯 陈红宝 马 宁	(81)
缺资料山区流域径流过程模拟研究	王 鹏 姜卉芳 穆振侠	(87)
甘肃省的基本水情与节水型社会战略抉择	李锋瑞 刘七军	(93)
生态环境用水：从自然科学走向政策与法律——澳大利亚的经验	胡德胜	(97)
塔里木河流域枯水径流演变特征、成因与影响研究	孙 鹏 张 强	(103)
《敦煌水资源合理利用与生态保护规划》若干问题的探讨	王忠静 黄鹏飞	(113)
基于遥感的黑河下游生态需水量估算	贾艳红 赵传燕 南忠仁	(121)
莺落峡站年径流预报的加权秩次集对分析模型	张玉杰 王建群	(127)

气候变化与区域水循环

淮河流域气候变化与淮河干流径流量变化特征研究	高 超	(135)
------------------------------	-----	-------

桃汛期影响潼关高程升降的相关因素分析	林秀芝	荆新爱	田 勇	王 平	(141)	
淮河水系生态流量计算方法分析				梁士奎	(146)	
基于气候变化背景下水面蒸发量变化趋势及影响因素分析			张彦增	乔光建	(150)	
气候变化对东江流域径流量的影响	林凯荣	何艳虎	陈晓宏		(154)	
新疆地区最大连续降水事件时空概率特征研究	李剑锋	张 强	陈晓宏		(161)	
涪江流域径流变化趋势及其对气候变化的响应	王国庆	李 迷	金君良	刘翠善	刘艳丽	(170)
山西省近 46 年降水时空分布及分析	崔 蕾	郝振纯	王加虎	朱 乾		(177)
沁河张峰水库上游径流序列变化趋势分析	董得福	黄领梅	沈 冰			(182)
淮河流域降雨时空分布与河流防污的关系	李 良	张 翔	宋 晨			(186)
变化环境下三峡库区水循环要素演变规律研究	丁相毅	周怀东	王宇晖	王雨春	雷晓辉	(191)
气候变化对三江源区径流减少的影响			刘光生	王根绪		(199)
乌鲁木齐气温变化与极端事件特征分析	张延伟	魏文寿	姜逢清	刘明哲		(206)
近 50 年来黑河流域气候变化特征分析			李占玲	苏学权		(213)
气候变化下汉江设计暴雨的变化及空间分布规律研究	徐 晓	张徐杰	许月萍	张庆庆	马 冲	(219)

区域生态水文过程的人文因素

白龙江流域泥沙含量和离子浓度变化特征研究	李勋贵	王乃昂	陈 立	冯乐阳	(225)
泾河流域退耕还林生态水文响应研究	彭 辉	贾仰文	仇亚琴	杨 丽	(230)
基于三峡水库综合管理的库区生态安全创新研究				梁福庆	(235)
藏东地区灌区建设对生态环境的影响及对策研究				肖弟康	(241)
基于模糊综合评价法的水利水电工程社会评价	张泽聪	韩会玲	陈 丽		(244)
闸坝对河流水质水量影响的数值模拟研究	李冬锋	左其亭	刘子辉	李来山	(248)

水文信息学

GAM 在水质预测中的应用	张庆庆	许月萍	牛少凤	徐 晓	楼章华	(255)	
潼关站泥沙过程预报	韦 民	郭旭阳	王建群			(260)	
基于 MCMC 的 P-Ⅲ 型分布参数估计方法对比分析			王红兰	宋松柏		(266)	
基于最大熵谱和相关系数的水文周期变异分级方法	刘静君	谢 平	许 斌	刘 媛		(273)	
山西地区近 55 年参考作物蒸散量的变化特征及其主要影响因素分析	刘广东	刘海军	李 艳			(277)	
漳卫南运河流域水质评价和污染源识别及贡献率分析	徐华山	唐芳芳	武 玮	徐宗学		(283)	
地形对黑河流域降水影响的数值模拟	徐娟娟	王可丽	江 灏	孙 佳	雒新萍	朱庆亮	(290)
河流可视化模型研究与开发			张守平	辛小康			(297)
基于混合 pair-copulas 的三维干旱特性联合分布研究			曾 智	宋松柏			(302)
基于降雨径流关系的水资源变异归因分析方法	刘 媛	谢 平	许 斌	刘静君			(309)
不同分辨率 DEM 对 WEP-L 模型计算单元坡度的影响及其转换研究	龚家国	贾仰文	周祖昊	王 英	彭 辉	刘佳嘉	(313)
SCE-UA 算法在月水量平衡模型参数优化中的应用	轩 玮	李 翀	廖文根				(319)
水资源时间序列混沌预测模型研究	黄显峰	方国华	邵东国				(324)
BCSD 降尺度方法在分析黄河源区未来气候变化中的应用	段小兰	苏凤阁	郝振纯	张磊磊	童 凯		(330)
河道水流模拟的有限体积法	向小华	吴晓玲	王船海				(335)
基于 Noah LSM 的气候变化对径流影响评价模型基本框架	袁 飞	赵晶晶	尹智力				(339)

高约束性条件下的大型供水泵站前池导流措施的流场模拟

..... 王磊磊 王如华 王国华 顾玉亮 周 琪	(347)
基于 SWAT 模型的潮河流域径流模拟	唐芳芳 徐宗学 徐华山 武 玮 (353)
CRAE 模型在陕西关中地区的应用	梅 星 沈 冰 莫淑红 (360)
基于 GIS 的岔巴沟流域降水空间插值方法比较	胡忠玲 沈 冰 (364)

水 与 农 业

冬小麦冠层温度的差异性及其影响因素分析 ... 孙宏勇 张喜英 陈素英 张小雨 邵立威 王艳哲	(371)
基于水—生态—经济协调发展的河西内陆河流域现代节水农业发展思考	马忠明 吕晓东 (375)
非充分灌溉土壤水分下限确定方法研究	王仰仁 韩娜娜 杨丽霞 (382)
干旱区绿洲农作物水分生产力及其影响因素的灰色关联分析 ——以张掖市临泽县为例	胡广录 赵文智 (387)
大型跨流域调水工程干线沿程单方水供水成本分析研究 高淑会 王宝全 曹升乐 孙秀玲 于翠松	(393)
大型调水工程水价制定模式探讨	王宝全 高淑会 孙秀玲 曹升乐 于翠松 (398)
陕西省关中灌区节水模式研究	杨会颖 刘海军 王会肖 (403)
宁夏近 59 年参考作物腾发量时空变化特征分析	汤 英 徐利岗 杜 历 龙训建 (411)
基于最优加权组合模型的枯季径流预测研究	孙惠子 栗晓玲 咎大为 (419)
辣椒植株生长和果实生产对调亏灌溉的响应 黄海霞 韩国君 陈年来 黄德志 张 正 张 凯	(427)
不同供水方式下玉米抽穗期日尺度水平衡研究	杨 荣 苏永中 (433)
基于虚拟水细分的多目标种植结构优化模型	李建芳 栗晓玲 (438)
调亏灌溉对甜高粱光合特性、产量品质及水分利用效率的影响	解婷婷 苏培玺 (445)
农业水权转让补偿机制研究	代小平 陈 菁 陈 丹 郝程程 崔亚峰 (452)
草被措施对坡沟侵蚀系统径流流态和流速影响研究	魏 霞 丁永建 李占斌 付玉凤 (457)
灌溉水处理要从黄河水源头开始	戴映辉 邹 云 左晓君 尚 昕 阎凤桐 王军朝 (464)
气候变化对河西地区参考作物蒸发蒸腾量的影响	孙聪影 栗晓玲 (467)

水 与 灾 害

表层岩溶带对喀斯特坡地表层岩溶泉流量的影响	张志才 陈 喜 纪忠华 严小龙 (477)
基于山坡蓄量运动波方程的理想山坡退水特征分析 ... 冯德钰 刘金涛 陈 喜 宋慧卿 朱秀全	(483)
西安市皂河污染特性及其污染控制的几点建议	勾 奎 赵 静 沈 冰 (488)
中国北极水运“绿色物流”的知识和技术储备分析	李嘉冰 黄文峰 (492)
闸坝群水质水量联合调度规律研究	张慧云 高仕春 (498)

水资源转换与地下水资源可持续利用

三种农艺措施对土面蒸发和夏玉米水分利用效率的影响	李 艳 刘海军 (507)
月水文模型参数识别和可靠性分析	黄远洋 陈 喜 (515)
补充河道的再生水入渗对周边地下水影响研究 于一雷 宋献方 张应华 郑凡东 梁 籍 韩冬梅 马 英	(523)
地下水位动态预报的混沌 Elman 神经网络模型及其应用	张殷钦 刘俊民 (529)
基于集对分析的秩次预测模型在地下水位预测中的应用	吕玉娟 刘俊民 (534)
白洋淀流域气象要素和人类取水变化过程分析	吕彩霞 牛存稳 贾仰文 (539)

极干旱区深埋潜水蒸发研究进展——以敦煌莫高窟为例	李红寿	汪万福	(544)		
山坡土壤水力参数推求及水动力过程模拟	薛俊英	陈喜	张志才	张竞秋	(550)
羌塘盆地地下水深循环补给内蒙古高原	孙晓旭	陈建生	刘晓艳	(556)	

同 位 素 水 文 学

中国大气降水同位素观测网络	柳鉴容	宋献方	袁国富	孙晓敏	刘鑫	张应华	韩冬梅	(563)
蒸发过程中土壤水同位素变化研究现状						刘晓艳	陈建生	(568)
塌陷地震与地壳深部水循环的关系初探						陈建生	刘震	(573)
采用降水气盈余确定新疆水分内循环比例						孔彦龙	庞忠和	(578)
基于干河床非饱和带氯离子和氧-18 剖面的降水入渗补给速率研究								
			袁瑞强	宋献方	韩冬梅	张应华	马英	(583)

水与区域可持续发展

冰冻圈对水、生态及 可持续发展影响

高寒荒漠带小流域水文过程初步分析

韩春坛^{1,2} 陈仁升^{1,2}

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所黑河上游生态—水文试验研究站 兰州 730000;

2. 中国科学院内陆河流域生态水文重点实验室 兰州 730000)

摘要 在我国寒区,高寒荒漠带分布广泛。高寒荒漠带是山区流域降水的高值区,蒸发能力弱,植被稀疏,土壤多为碎屑岩类,地形陡峭,产流系数高,应是我国内陆河山区和我国多数大江、大河源头的主产流区之一。本文通过在高寒荒漠带试验点和小流域布设水文循环观测试验,来探讨高寒荒漠带水热传输和水文循环过程机理。

试验点观测结果表明:①观测期(2009.6.7~2009.9.30)的降雨量为541.4mm;蒸发皿的蒸发量为256.9mm,蒸渗仪的蒸散量为122.8mm,土壤平均蒸散量为1.1mm/d;②高寒荒漠带凝结水量根据观测也比较丰富,凝结水虽然不直接参与山区水文循环的产汇流过程,但它消耗了能量,抵消了一部分太阳辐射,间接地参与了产汇流过程。

小流域观测结果表明:①高寒荒漠带小流域在观测期(2009.6.7~2009.9.30)的总流量为51553m³,平均径流深为461.2mm。根据降水梯度获取的流域平均降水量为639.1mm,径流系数为0.72;②根据水量平衡关系,计算得到观测期小流域有177.9mm的水量供地表蒸发、稀疏植被生长和小流域内部的动态储水和变化;③初步分析,在整个黑河干流山区流域(莺落峡),占流域22.2%的高寒荒漠带产流贡献值约为流域径流量的65%左右(按山区多年平均年径流量 $15.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 计)。

关键词 高寒荒漠带;水文循环;观测试验;蒸散发;凝结水;径流系数

1 前言

高寒荒漠带在高海拔山区面积分布广阔,在青藏高原和天山地区的面积比率约为20%~30%^[1]。高寒荒漠带是山区流域降水的高值区,由于地表植被盖度极低,蒸散发微弱,土壤多为碎屑岩类,坡度陡峭,下渗能力强,产流迅速,应是内陆河山区流域的主产流区和我国多数大江、大河源头的主产流区之一。高寒荒漠带的水文循环过程在山区水循环中占有十分重要的地位,但由于其高寒环境限制,相关研究较少且十分零散^[2-4]。目前专门针对该区的水文循环过程的研究基本是空白。

高寒荒漠带的径流形成受制于高山带的水热条件,水量条件决定于裸露山坡降水量和产流量的大小,而热量条件决定于冰川、积雪和冻土的消融^[5]。随着海拔的升高,产流期愈短,而水文过程停止活动的时间愈长^[6]。而专门针对高寒荒漠带这一特殊下垫面特征的水量平衡和水文循环过程的研究很少见诸报端。

2 高寒荒漠带水文过程观测试验

2.1 研究区概况

试验区位于中国科学院寒区旱区环境与工程研究所黑河上游生态—水文试验研究站葫芦沟试验小流域内。葫芦沟小流域属黑河干流右岸一级支流,地处99°50′~99°54′E,38°12′~38°17′N。流域面积23.1km²,海拔2960~4800m,海拔跨度1840m,垂直景观梯度分明明显。

流域下垫面由高山草原、高山草甸、沼泽化草甸、河谷灌丛、青海云杉林、祁连圆柏、山坡灌丛、高山垫状植被、高山寒漠、季节性冻土、多年冻土、季节性积雪和冰川等组成,寒区下垫面类型齐全。河谷灌木主要分布在低山区的河道两侧,为多年生长的次生灌木;高寒草原主要分布在浅山带,植被覆盖度在90%以上。典型的高寒草甸群落类型有黑花苔草(*Carex melantha*)沼泽化草甸、鬼见愁锦鸡儿(*Caragana jubata*)灌丛草甸和线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*)草甸。

土壤类型主要有山地栗钙土、高山草甸土、高山寒冻土和高山寒漠土等。该区高寒荒漠带主要分布在海拔3700m以上。在黑河流域具有较好的代表性,并具有多条适合各种寒区水文过程研究的小流域,交通、生活方便,系一个理想的寒区水文过程研究流域(图1)。

2.2 高寒荒漠带土壤植被调查

葫芦沟流域高寒荒漠带西支流域分布在山坡灌丛带以上,下限海拔为3700m左右,东支流域分布在沼



图1 葫芦沟流域景观图

泽化草甸带之上,海拔下限为3800m左右。地表植被稀少,土壤类型为高山寒冻土和高山寒漠土,且常有砾幕覆盖。地表常见有流石坡和多年冻土标志的冻胀石环。

在流域东支高寒荒漠带试验点开挖土壤剖面,发现土壤粒径差异较大,其中:上部表层0~60cm,大颗粒石块较多,松散堆积物(5~10cm)。中部60~80cm为糜棱层,颜色为黄棕色。80~120cm为粗砂类,细颗粒相对较多。120~130cm为另一糜棱层,颜色为棕色。130~160cm为粗砂类,细颗粒相对较多。

在葫芦沟东、西支沟的高寒荒漠带做植被种类调查。调查发现,葫芦沟流域高寒荒漠带植被在阳坡分布较多,有小块连片垫状植被分布区,在这些区域,一般地表比较湿润;而阴坡主要分布斑点状地衣或苔藓,地表土壤基质较少,地面基本没有水分。总体而言,葫芦沟流域高寒荒漠带植被稀疏,植被类型除岩块表面着生的冷生壳状地衣外,高等植物主要有狼毒、稀疏菊科植物和耐寒、耐旱(生理干旱)的短命宿根多年生垫状植物,如苔藓状蚤缀(*Arenaria musci formis*)、甘肃蚤缀(*A. kansuensis*)、垫状繁缕(*Stellaria decumbens*)、雪山点地梅(*Androsace septentrionalis*)、高山点地梅(*A. mariae*)、水母雪莲花(*Saussurea medusa*)、短穗兔儿草(*Lagotis brachystachys*)、糖芥绢毛菊(*Soroseris okeriana*)、莎草(*Cyperus s.*)、红景天(*Rhodiola rosea*)、风毛菊(*Saussurea japonica*)等。沿海拔梯度采取植被样本(图2),用取样纸及样带密封装好,并拍照记录取样点土壤及水分情况。

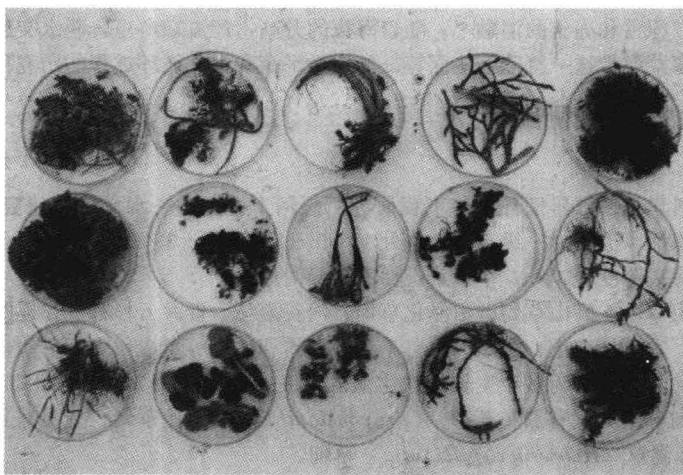


图2 葫芦沟高寒荒漠带植被样本调查

2.3 试验布设

在葫芦沟西支流域选择高山寒漠下限海拔较低的一个小流域观测水文要素,该小流域面积为111.782km²,海拔3611~4280m,平均坡度为50.6°,坡向为324°(阴坡)。在流域出口选择坡度稍缓的流

石坡布设高山寒漠的降水、蒸发、下渗、凝结观测试验,分别布设了 Φ -20型雨量筒、蒸发皿观测每日降雨量和蒸发量,利用六套桶式蒸渗仪(Lysimeter)研究黑河山区高山寒漠表层土壤的蒸散发,桶式蒸渗仪内径20.5cm,外径为21.5cm,内筒底下有均匀小孔可以为降水的下渗通道,外筒底部有收集下渗水量的小器皿。深度为20cm、30cm、35cm(对应A、B、C三组)不同,分两组装不同的岩屑及土样,每组再做粗细可以对比观测(1号为细颗粒,2号为粗颗粒)。在流域出口布设水文断面,长约2m,宽约0.4m,旁边架设有HoBo自计水位计(Onset Computer Corporation公司生产),用铁丝固定在石壁上,每15min记录一个试验断面处水压数据(图3)。

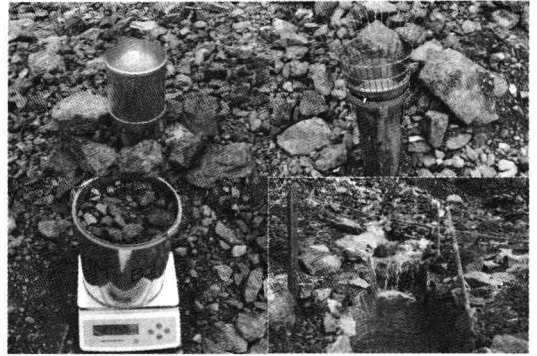


图3 水文观测试验

然后用浮标法早晚观测小流域断面处的流速、断面宽度、水位深度和流量变化情况,并做记录。拟利用实测流量数据校正HoBo水位数据,得到流量水位关系。

根据前人研究成果,凝结水观测主要利用底部连通或不连通的微渗计进行观测,但由于高寒荒漠颗粒较粗,我们的凝结水观测试验选用白底面长方形托盘(32.2cm $\times$ 41.7cm)观测。T1为盛有粗颗粒的石块和碎屑岩,T2为空,对比观测。观测时段为2009年6月20日~2009年8月4日。利用沈阳龙腾ES30K-12型号电子天平称重托盘早晚的重量变化(电子天平最大量程为30kg,最小感量为0.2g)。

3 试验结果初步分析

3.1 降水

在高寒荒漠带试验点(海拔3719m的高寒荒漠带流石滩)观测总降雨量为541.4mm,而大本营海拔2980m的气象观测场同期观测得到的降雨量为356.7mm;同期海拔4160m试验点的降水量为709.1mm。利用大本营气象站、高寒荒漠带试验点和海拔4160的试验点同期降水量数据进行降水的空间差值,通过反距离加权插值得到小流域的面降水量为639.1mm。面降水量和各个月份降水量分布情况如图4所示。

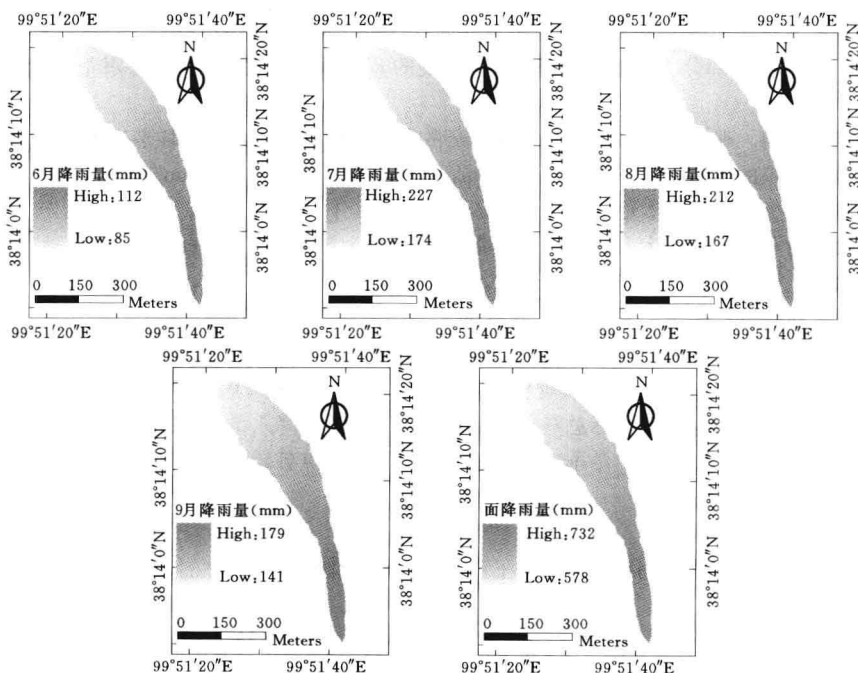


图4 高寒荒漠带小流域面降雨量空间分布特征

3.2 蒸散发

对蒸发的研究一直是寒区水文学的薄弱环节。对于高寒荒漠带蒸散发观测和研究结果极少，张寅生^[7]在乌鲁木齐河源冰碛物表面日均实测蒸发量仅为 0.05mm。以往的研究表明：高寒山区的蒸发量较中低山区的蒸发量小，这主要是因为高山区的气候复杂多变，天空经常被云雾遮挡，水汽和近地面凝结对太阳辐射的减弱和消耗。

根据在高寒荒漠带试验点观测的结果显示：观测期蒸发皿的蒸发量为 256.9mm（图 5）。计算三组蒸渗仪的平均蒸散发量为 122.8mm，试验点观测期日平均蒸散发量为 1.1mm/d。其中细颗粒的蒸渗仪（A1、B1、C1）蒸散发量比粗颗粒蒸渗仪（A2、B2、C2）的蒸发量大，不同深度（20cm、30cm、35cm）相同颗粒的蒸渗仪的蒸散发量差别不大（表 1）。

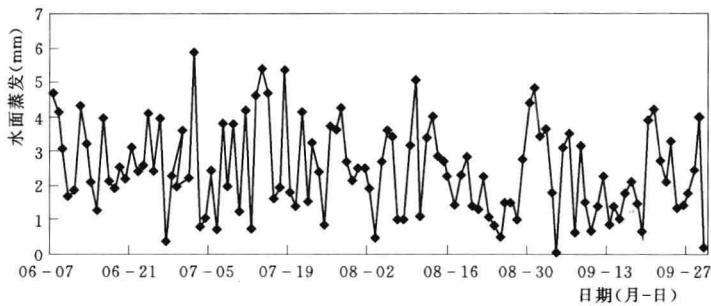


图 5 器测蒸发皿每日水面蒸发变化图

表 1 不同深度和颗粒蒸渗仪蒸散发总量

蒸渗仪编号	A1	A2	B1	B2	C1	C2
土壤总蒸散发量 (mm)	166.7	89.1	140.1	91.3	157.2	92.3

注 A、B、C 三组分别对应深度为 20cm、30cm、35cm 的蒸渗仪，1 号为粗颗粒，2 号为细颗粒。

通过水面蒸发试验和蒸渗仪蒸散发试验对比发现高寒荒漠带水面蒸发明显大于蒸渗仪蒸散发总量，这 一方面是因为高寒荒漠带地表植被稀少，地表不能储存水分，实际蒸散发量小；另一方面是因为早晚地表有微量凝结水，抵消了一部分太阳辐射，减少了土壤的蒸散发。可以总结出高寒荒漠带蒸散发的如下规律。

- (1) 蒸发能力较弱。观测期基本是高寒荒漠带蒸散发最强烈的时期，半阳坡蒸发皿实测蒸发力也仅仅为 256.9mm，三组蒸渗仪的平均蒸散发量为 122.8mm，日平均蒸散发量为 1.1mm/d。
- (2) 可蒸发水量少。快速入渗性质限制了可蒸发的水量，下渗分析见 3.3 节。
- (3) 颗粒大小对蒸发影响很大。较粗颗粒蒸散发量主要为颗粒表面水分的蒸发，其他水分基本都入渗了。较细颗粒物质，受入渗慢和毛细作用的影响，除颗粒表面水分的蒸发外，还存在一些水分向上运动参与蒸发的过程；对于较粗颗粒来说，30cm 左右深度的水分已经基本不参与蒸发过程了。
- (4) 总蒸散发量很少。高寒荒漠带主要为粗颗粒，甚至是巨大块体，细颗粒物质凤毛麟角。植被盖度一般为 1%~2%，故一般情况不考虑植物蒸腾作用。由此可以判断，高寒荒漠带总蒸散发量很少。
- (5) 高寒荒漠带夏季消融季节实际总蒸散发量可以用颗粒截留降水量表征。春季消融季节初始，水分供应相对充足，可近似按蒸发力处理；冬季冻结季节，根据观测地点各异，有积雪按升华处理，无积雪按 0 近似处理。

3.3 下渗

通过不同深度的蒸渗仪观测高寒荒漠带的下渗过程，对粗细不同的土壤岩屑颗粒做对比分析。观测结果显示：

- (1) 观测期蒸渗仪下渗水量在 423~533mm 之间，基本接近于同期的降水量（表 2）。
- (2) 粗颗粒蒸渗仪（A2、B2、C2）的下渗水量大于细颗粒蒸渗仪（A1、B1、C1）的下渗水量；不同深度蒸渗仪在观测期下渗总水量基本接近，相差不大。