

新疆平原区

大气降水

灌溉水

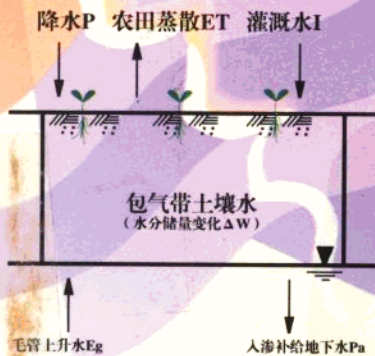
土壤水

地下水

与

水量转化关系实验研究

新疆农业大学 编著



新疆科技卫生出版社 (K)

前 言

大气降水、灌溉水、土壤水与地下水的水量转化是水文地质、农田水利、自然地理、水文水资源、土壤物理、水土保持等专业共同关心的问题,其文献散见于有关单位提交的科研报告及相关专业的书刊中。为了系统总结新疆多年来的试验研究工作成果,特在广泛收集有关文献和资料的基础上编著本书。

本书在内容上力求浅显易懂,具有较高的实用性。全书共分十三章,包括新疆水均衡试验站简介、水面蒸发试验分析、潜在蒸发量与植物腾发量的计算、潜水蒸发试验分析、降水入渗补给试验分析、灌溉水入渗补给试验分析、土壤水分运动及其与潜水转化关系的试验分析、潜水垂向补耗差的试验分析、农业田间节水灌溉试验研究、凝结水的观测试验分析、土壤水分运动参数的试验确定、土壤水分运动模型的建立及应用、土壤水水分通量法适用性试验分析。本书可供有关专业的工程技术人员参考,也可作为上述有关专业大学生和培训班学员的教学参考书。

本书由新疆农业大学多年从事地下水教学和科研的教师集体编著。前言、第一、二、四、五、八、十、十三章由周金龙执笔,第十一、十二章由虎胆·吐马尔白执笔,第三、七章由周金龙、董新光执笔,第六章由周金龙、虎胆·吐马尔白执笔,第九章由周义、郭西万、虎胆·吐马尔白执笔。全书由周金龙、虎胆·吐马尔白统稿,董新光、郭西万审稿。书稿录入、排版由新疆农业大学水资源科技服务中心曾新燕完成,插图由贺铮、高瑾绘制。

由于编著者的水平有限,书中难免有疏漏、不妥、错误之处,敬请广大读者批评指正。

编著者

2002年6月

目 录

第一章 新疆水均衡试验站简介	(1)
第一节 新疆地矿局昌吉地下水均衡试验场.....	(1)
第二节 新疆水利厅昌吉地下水均衡场.....	(4)
第三节 阜康市三工河流域潜水均衡试验场.....	(5)
第四节 乌鲁木齐市乌拉泊地下水均衡试验场.....	(5)
第五节 吐鲁番地下水均衡试验场.....	(6)
第六节 叶尔羌河流域地下水均衡观测试验站.....	(8)
第七节 渭干河—孔雀河流域简易水均衡试验场.....	(9)
第八节 中国科学院新疆生态与地理研究所阿克苏水平衡试验站.....	(9)
第九节 柴窝堡盆地包气带水分运动监测试验场.....	(9)
参考文献.....	(10)
第二章 水面蒸发试验分析	(11)
第一节 水面蒸发量随时间变化的规律.....	(11)
第二节 影响水面蒸发的因素分析.....	(11)
第三节 蒸发器的折算系数.....	(16)
第四节 计算水面蒸发量的经验公式.....	(20)
第五节 彭曼—蒙特斯公式的应用.....	(26)
参考文献.....	(34)
第三章 潜在蒸发量与植物蒸散量的计算	(35)
第一节 潜在蒸发量的计算.....	(35)
第二节 作物蒸散量的计算.....	(43)
第三节 植被生态耗水定额的确定.....	(52)
参考文献.....	(56)
第四章 潜水蒸发试验分析	(57)
第一节 影响潜水蒸发的因素分析.....	(57)
第二节 潜水蒸发极限深度的确定.....	(66)

第三节	潜水蒸发系数及其随时间变化的规律	(68)
第四节	潜水蒸发系数经验公式的建立	(70)
第五节	作物生长条件下潜水蒸发估算的蒸发面下降折算法	(76)
	参考文献	(79)
第五章	降水入渗补给试验分析	(80)
第一节	降水入渗补给的形成条件	(80)
第二节	影响降水入渗补给系数的因素分析	(80)
第三节	潜水年降水入渗补给系数的确定	(87)
第四节	年降水入渗补给系数经验公式的建立	(90)
第五节	有效降水量的确定	(90)
第六章	灌溉水入渗补给试验分析	(94)
第一节	影响灌溉水回归补给的 factors 分析	(94)
第二节	灌溉水入渗补给系数的确定	(96)
第三节	不同地下水埋深条件下灌溉水对地下水补给的数值计算	(99)
	参考文献	(103)
第七章	土壤水分运动及其与潜水转化关系的试验分析	(104)
第一节	土壤水分运动状态的基本类型	(104)
第二节	冻结期土壤水分运动及其与潜水的转化关系	(108)
第三节	塔里木盆地平原区绿洲农田土壤水分平衡及变化特征	(112)
	参考文献	(116)
第八章	潜水年垂向补耗差的试验分析	(117)
第一节	影响潜水年垂向补耗差的因素分析	(117)
第二节	潜水年垂向补耗差为零时潜水埋深的确定	(119)
	参考文献	(120)
第九章	农业田间节水灌溉试验研究	(121)
第一节	试验研究区的环境条件	(121)
第二节	田间节水灌溉试验	(122)
第三节	灌溉试验的数值模拟计算	(136)
第四节	成果分析与效益简评	(144)
	参考文献	(148)
第十章	凝结水的观测试验分析	(149)
第一节	凝结水的形成	(149)

第二节	影响凝结水形成的因素	(152)
第三节	水汽凝结的环境效应	(155)
	参考文献	(155)
第十一章	土壤水分运动参数的试验确定	(156)
第一节	土壤水分特征曲线的确定	(156)
第二节	土壤水分扩散度的确定	(158)
第三节	非饱和土壤水力传导度的确定	(160)
第四节	潜水蒸发系数和表土上边界条件的确定	(163)
	参考文献	(165)
第十二章	土壤水分运动的基本方程及其定解条件	(166)
第一节	土壤水分运动的基本方程及其定解条件	(166)
第二节	差分方程的建立	(167)
第三节	土壤水分运动模型的检验	(171)
第四节	土壤水分运动模型及应用	(177)
	参考文献	(184)
第十三章	包气带土壤水水分通量法适用性试验分析	(185)
第一节	包气带土壤水分势能分布特征	(185)
第二节	零通量面法计算潜水垂向入渗补给量的适用性分析	(197)
第三节	定位通量法计算潜水垂向入渗补给量的适用性分析	(200)
第四节	ZFP方法计算土壤水分蒸发蒸腾量	(206)
	参考文献	(213)

第一章 新疆水均衡试验站简介

据不完全统计,自1982年以来,地矿、水利、地理等部门先后在新疆各地建立了十余个水均衡试验站(场),其基本情况见表1-1。

表1-1 新疆水均衡试验站基本情况一览表

站名		主管 部门	所在地	地理坐标	代表 区域	建站时 间(年)	观测期	与本书有 关的试验项目
全称	简称							
新疆地矿局昌吉地下水均衡试验场	地矿局 昌吉站	自治区 地矿局	昌吉市 北郊	东经 87°17'51" 北纬 44°02'19"	天山 北麓	1992	1992.10 至今	潜水水均衡、土壤 水转化、水面蒸发
新疆水利厅昌吉地下水均衡场	水利厅 昌吉站	自治区 水利厅	昌吉市	东经 87°34' 北纬 44°18'	天山 北麓	1984	1984.6 至今	潜水水均衡
阜康市三工河流域潜水均衡试验场	阜北站	自治区 水文局	阜康市	东经 87°55' 北纬 44°17'	天山 北麓	1982	1982.6 至今	潜水水均衡
乌鲁木齐市乌拉泊地下水均衡试验场	乌拉 泊站	自治区 地矿局	乌鲁木 齐市南郊	东经 87°33' 北纬 43°39'	柴窝堡 盆地	1983	1984.9~ 1995.12	潜水水均衡、水面 蒸发
吐鲁番地下水均衡试验场	吐鲁 番站	自治区 地矿局	吐鲁番 南.10km	东经 89°11'37" 北纬 42°51'52"	吐鲁番 地区	1989	1989.10~ 1992.5	潜水水均衡
叶尔羌河流域地下水均衡观测试验站	叶河站	自治区 水利厅	莎车县	东经 77°38' 北纬 38°26'	天山以 南地区	1993	1994.4 至今	潜水蒸发
渭干河—孔雀河流域简易水均衡试验场	群克站	自治区 地矿局	轮台县		塔里木盆 地东北部	1986	1986.7~ 1987.11	潜水蒸发
中国科学院新疆生态与地理研究所阿克苏水平衡实验站	阿克苏 站	中国科 学院新疆 生态与地 理研究所	阿瓦提县	东经 80°50' 北纬 40°37'	天山以 南地区			水面蒸发
柴窝堡盆地包气带水分运移监测试验场	化肥 厂站	自治区 地矿局	乌鲁木 齐市南郊	东经 87°44' 北纬 43°35'	柴窝堡 盆地	1988	1988.9~ 1990.9	土壤水转化

第一节 新疆地矿局昌吉地下水均衡试验场

一、试验场的基本任务

昌吉地下水均衡试验场建设系新疆地矿局“七五”地质工作项目。试验场位于昌吉市北郊,是专门进行潜水水均衡及包气带水分运动规律试验研究的基地,也是目前地矿系统规模最大、试验项目最全、测试仪器比较先进的野外地下水综合试验场。该场前后经历了场址选择、设计编写、征地、场址区水文地质工程地质勘察、办公及附属设施建设、试验项目的工程

建设、仪器安装和调试观测、正常监测研究 8 个阶段。试验场建设的第一期工程于 1992 年 8 月完工,1992 年 9 月 21 日通过地矿部全国地质环境监测总站和新疆地矿局的联合验收,于 1992 年 10 月全面展开正式的试验研究工作。

试验场(第一期工程)试验研究的基本任务是:

- (1) 建立地渗仪观测系统,实测潜水蒸发量、临界蒸发深度及垂向入渗补给量。
- (2) 建立中子水分仪(以下简称为中子仪)、负压计观测系统;用土壤水通量法研究包气带水分运动机理;与地渗仪法互相验证,提高测试精度和研究成果水平。
- (3) 建立地面气象及太阳辐射观测系统,实测降水量、蒸水量、风向风速、气温、湿度、气压、日照、冻土深度、辐射强度等。
- (4) 建立大型水面蒸发观测系统,实测干旱地区地表水体不同时间的蒸发量。
- (5) 建立灌溉系统,实测灌溉条件下的土壤水蒸发蒸腾量(蒸散量)及潜水回归补给量。

二、试验场条件

试验场地处昌吉市北门村,距昌吉市区北界 2km,距乌鲁木齐市西界 40km,交通方便。

试验场位于天山北麓头屯河冲-洪积扇前缘西侧,距头屯河河床 4.7km,地理坐标为东经 $87^{\circ}17'51''$,北纬 $44^{\circ}02'19''$,试验场占地 15000m^2 ,其中办公生活区 3333m^2 ,试验区 10000m^2 ,缓冲区 1667m^2 。

试验场 1991~1995 年平均气温 6.8°C ,极端最高气温 40.3°C ,极端最低气温 -32.6°C ;年平均降水量为 178.6mm ,年平均蒸发量为 1802.4mm ;年平均风速为 1.1m/s ;冻土深度为 $110\sim 149\text{cm}$ 。

场区包气带岩性以粉质粘土、粉质亚粘土为主,夹 $0.30\sim 1.65\text{m}$ 厚的粉细砂层和 $0.25\sim 0.35\text{m}$ 厚的含砾中细砂层、砂砾石层。

试验场 1995 年 12 月平均潜水位埋深为 13.33m ,平均承压水水位埋深为 13.76m 。1991~1995 年间潜水位下降速率为 0.66m/a ,承压水水位下降速率为 0.64m/a 。

三、实验项目及观测方法

(一) 模拟剖面潜水蒸发、入渗补给观测

模拟剖面潜水蒸发、入渗补给观测设施为地渗仪观测系统,共有 42 个皿筒(其中 2.0m^2 皿筒 29 个, 0.3m^2 皿筒 10 个, 4.0m^2 皿筒 3 个),详见表 1-2。

表 1-2 地渗仪观测系统组成一览表

试筒截面积(m^2)	岩性	水位埋深(m)									
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
2.0	细砂	$a_{0.0}$	$a_{0.5}$	$a_{1.0}$	$a_{1.5}$	$a_{2.0}$	$a_{3.0}$	$a_{4.0}$	$a_{5.0}$	$a_{6.0}$	$a_{7.0}$
	砂砾石	$b_{0.0}$	$b_{0.5}$	$b_{1.0}$		$b_{2.0}$	$b_{3.0}$	$b_{4.0}$	$b_{5.0}$	$b_{6.0}$	$b_{7.0}$
	粘土	$c_{0.0}$	$c_{0.5}$	$c_{1.0}$	$c_{1.5}$	$c_{2.0}$	$c_{3.0}$	$c_{4.0}$	$c_{5.0}$	$c_{6.0}$	$c_{7.0}$
4.0	粘土	$e_{0.0}$		$e_{1.0}$			$e_{3.0}$				
0.3	粘土	$d_{0.0}$	$d_{0.5}$	$d_{1.0}$	$d_{1.5}$	$d_{2.0}$	$d_{3.0}$	$d_{4.0}$	$d_{5.0}$	$d_{6.0}$	$d_{7.0}$

实验样品均为扰动样,其颗粒分析结果见表 1-3。各类土样采用装填 20cm 厚度夯实 1 次,60cm 饱水 1 次,使土样密实。测试仪器为清华大学水利系水资源实验室研制的马氏瓶,蒸发量读数精度为 0.05~0.1mm,入渗量读数精度为 0.003~0.025mm。

该系统 1991 年 9 月开始观测,观测时间为每天北京时间 8:00 和 20:00。

表 1-3 实验样品颗粒分析结果

样品分类	颗粒组成(%)					
	>20mm	20~2mm	2~0.05mm	0.05~0.005mm	0.005~0.002mm	<0.002mm
粘土			21.0	45.0	17.3	16.7
砂砾石	27.4	42.3	30.3			
细砂	颗粒组成(%)					
	>0.25mm		0.25~0.10mm		0.10~0.05mm	
	29.2		57.4		13.4	

(二)模拟剖面中子仪、负压计观测

模拟剖面(地渗仪系统中的粘土试筒土样)中子仪、负压计观测测点深度见表 1-4。中子仪为英国沃灵福水文所研制的 IH-III 型中子水分测定仪,读数精度为 1counts/s;负压计为地质矿产部水文地质工程地质研究所研制的 WM-I 型负压计,读数精度为 133.32Pa(相当于 1mmHg 柱)。

表 1-4 中子仪、负压计观测测点深度一览表

剖面编号	水位埋深(m)	测点深度(cm)
Ac1.5	1.5	10、30、50、70、90、110、130
Ac2.0	2.0	9、30、51、72、92、110、130、149、171、192
Ac3.0	3.0	9、29、49、69、89、110、131、150、170、191、212、260
Ac4.0	4.0	9、30、51、72、92、113、133、153、174、195、213、263、313、361
Ac5.0	5.0	10、30、50、70、90、110、131、152、172、192、212、262、312、358、410、460
Ac6.0	6.0	10、31、52、73、94、114、134、154、174、193、212、262、314、366、417、469、515、567
Ac7.0	7.0	10、30、50、70、97、117、138、158、178、198、218、260、318、366、416、466、520、570、620、667

负压计观测时间为每月 1、3、6、8、11、13、16、18、21、23、26、28、31 日北京时间 8:00;中子仪观测时间为每月 1、6、11、16、21、26 日北京时间 8:00。Ac1.5 和 Ac2.0 剖面负压计观测开始于 1991 年 9 月,Ac3.0、Ac4.0、Ac5.0、Ac6.0 和 Ac7.0 剖面负压计观测开始于 1992 年 6 月;Ac1.5 和 Ac2.0 剖面中子仪观测开始于 1991 年 9 月,Ac3.0 和 Ac4.0 剖面中子仪观测开始于 1991 年 10 月,Ac5.0、Ac6.0 和 Ac7.0 剖面中子仪观测开始于 1992 年 6 月。

(三)自然剖面中子仪、负压计观测

自然剖面分为 B 区和 C 区。中子仪、负压计观测测点深度分别为 10、20、30、40、50、60、70、80、90、100、120、140、160、180、200、240、280、320、360、400、440、480、520、560、600、640、680、700cm。观测开始于 1992 年 8 月,观测方法与模拟剖面中子仪、负压计观测方法相同。

(四)水面蒸发观测

水面蒸发观测始于1990年6月,观测期为非冻结期(每年4~10月)。1990年6月~1992年10月蒸发器安装高度为1.4m,设有直径为0.5、1.0、2.0和5.0m的蒸发器4个,采用动水位测压管读数法,读数精度为1mm,观测时间为每天北京时间8:00。1993年7月~1995年10月蒸发器安装于地面以下,口缘高出地面0.05m,仅设直径为5.0m的蒸发器一个,采用供水箱供水、静水筒读数法观测,读数精度为0.1mm,观测时间为每天北京时间8:00。

(五)地面气象观测

观测工作开始于1989年8月。

观测项目有:降水量、E601蒸发量、 $\Phi 20$ 蒸发量、气温、地温、湿度、大气压、日照、风向风速、冻土、雪深、雪压和天气现象。观测时间为每天北京时间8:00、14:00和20:00。其中地温观测测点深度分别为0、5、10、15、20、40、80、160和320cm。

(六)太阳辐射观测

观测或计算项目为太阳直接辐射(S)、散射辐射(D)、总辐射(Q)和短波反射率(Ak)。观测工作开始于1992年8月,观测时间为每天北京时间8:40、11:40、14:40、17:40和20:40,冬季视日出、日落时间变化减少1~2次。

(七)自然剖面地温观测

裸地自然剖面地温测点深度为500和600cm,冬小麦田自然剖面地温测点深度为20、50、100、200、300、400、500、600和700cm。观测工作开始于1992年8月,观测时间为每月1、3、6、8、11、13、16、18、21、23、26、28、31日北京时间8:00。

四、已提交并被本书引用的试验研究报告

(1)王新东、周金龙主编:新疆地矿局昌吉地下水均衡试验场建设报告,1992年10月。

(2)周金龙主编:新疆地矿局昌吉地下水均衡试验场潜水水均衡及包气带水分通量法适用性实验研究报告(1991~1995年),1996年10月。

(3)周金龙主编:新疆地矿局昌吉地下水均衡试验场大气降水、灌溉水、土壤水与地下水转化实验研究报告(1991~2000年),2002年4月。

(4)国土资源部水文地质工程地质研究所、新疆地矿局昌吉地下水均衡试验场,开采条件下地下水参数试验研究(96-912-01-03-01子专题),1998年12月。

(5)国土资源部水文地质工程地质研究所、中国水利水电科学研究院、新疆地矿局昌吉地下水均衡试验场、宁夏水文水资源勘测局编,西北地区地下水生态环境临界指标体系与深层承压水合理利用研究(96-912-01-03S),2000年12月。

第二节 新疆水利厅昌吉地下水均衡场

一、试验场条件

新疆水利厅昌吉地下水均衡场设在水利厅昌吉水利土壤改良试验场内,该场位于昌吉市北19km,为天山北麓三屯河、头屯河下游冲-洪积平原的中部细土带,海拔500m左右。年平均气温为4.7~6.2℃,年平均降水量为125mm,年平均蒸发量为2170mm,蒸降比为15~

18. 潜水位埋深一般在1~3m,矿化度为8.4~37.7g/L。试验场的自然地理条件及所处的地貌位置,对于天山北麓准噶尔盆地南缘的主要农业区具有代表性。

二、试验场设置

(一)地渗仪

该试验场采用水平与垂直相结合的立体布置形式,仪器安装紧凑,地下建筑有效利用率高。

该试验场共计取土样6组:4组取自北疆不同地区,其中1号样(壤土夹亚砂土)取自昌吉,2号样(单一的壤土)取自奇台,5号样(壤土夹亚砂土)取自精河,6号样(壤土夹薄层粘土)取自石河子;另2组为粗中砂和卵砾石。每组观测12个深度,计72个测筒(截面积 0.3m^2),另设置 $2\text{m}\times 1\text{m}$ 小池4个, $2\text{m}\times 2\text{m}$ 小池1个和 $3\text{m}\times 3\text{m}$ 小池1个。

(二)水面蒸发池

设置了不同面积的水面蒸发池,以便准确观测水面蒸发数据。

三、小均衡区建设

国内已有的地下水均衡试验场多数未建立小均衡区,只有少数建立了小均衡区。小均衡区的设置是非常重要的,其直接作用是可就地验证均衡场所取得的成果的准确性,并可将观测到的有关数据应用到小均衡区去计算一些难以测定的参数,如灌溉对地下水的入渗补给量、植物的蒸腾量等。该场建设的小均衡区面积约 1km^2 ,主要设施有地下水位观测孔和地表水量测控设施(闸、量水堰)等。

四、已提交并被本书引用的试验研究报告

张江辉主编:干旱地区考虑蒸发影响下的排水计算,新疆水利水电科学研究院,1996年10月。

第三节 阜康市三工河流域潜水均衡试验场

三工河流域潜水均衡试验场位于古尔班通古特沙漠的南缘,阜康市三工河流域冲积平原的中、下部,地理坐标为北纬 $44^{\circ}17'$,东经 $87^{\circ}55'$,年蒸发量为 $1780\sim 2463\text{mm}$,年降水量 $74\sim 200\text{mm}$ 。

该试验场第1观测室建于1982年4月,有13套地渗仪(截面积 0.3m^2),1984年9月又修建了第2观测室,有地渗仪30套,共计43套。模拟岩性分别为粘土、重壤土、中壤土、轻壤土和表层覆盖 1.0m 厚中壤土的砂卵砾石,前4种均系原状土柱,第5种下部的砂卵砾石按照自然状态的颗粒级配回填并捣实,表面 1.0m 厚的中壤土则是原状土柱。

土柱的设计潜水位埋深分别为 0.0 、 0.5 、 1.0 、 1.5 、 2.0 、 2.5 、 3.0 、 4.0 、 5.0 、 6.0 和 7.5m ,其中 $0.0\sim 2.5\text{m}$ 地渗仪用马氏瓶进行工作, $3.0\sim 7.5\text{m}$ 地渗仪用虹吸原理进行工作。

第四节 乌鲁木齐市乌拉泊地下水均衡试验场

乌拉泊站是为乌鲁木齐市河流域水资源综合评价项目而建立的地下水均衡试验场。始建

于1983年,1984年9月正式投入观测。乌鲁木齐河流域水资源综合评价项目结束后,为进一步研究柴窝堡盆地水资源“四水”转化关系,测定乌鲁木齐地区地下水水均衡参数,观测工作截至1995年年底。停测的原因有二:其一是试验场已连续观测11年,基本掌握了各项因素的变化规律,实现了建场时的设计目标;其二是设备已严重老化,达不到试验所需的精度。

试验场的监测目的:研究模拟条件下水面蒸发及不同岩性、不同水位埋深潜水在相关气象等因素影响下的蒸发、入渗规律,取得水均衡参数。

试验设施包括:直径分别为0.2、0.5、1.0、2.0和5.0m的蒸发皿(池);7种岩性土样(含土砂卵砾石、黄土状亚粘土、卵砾石、小砾石、中砂、细砂和粉土);5种水位埋深(分别为0.5、1.0、2.0、4.0和6.0m);15个地渗仪测筒;常规气象观测设施。

试验场位于乌鲁木齐市南郊乌拉泊水库西南3km处,地理坐标为东经87°33′,北纬43°39′,地处乌鲁木齐河老河床与现代河床的河间地块,潜水水位埋深30m左右,年变幅2.35m。试验区为典型大陆性干旱气候,年温差达66.3℃,日温差最大为20.8℃,年平均气温7.0℃,日最高气温34.8℃,日最低气温-31.5℃;年平均蒸发量2543.4mm;年平均降水量203.9mm;年平均风速5.1m/s;冬春多大风,风向多为西北和北;年平均相对湿度58%;年平均大气压889.3hPa,年最大冻土深231cm,最小143cm。

已提交并被本书引用的试验研究报告为:

于德胜主编:乌鲁木齐市乌拉泊地下水均衡试验场潜水蒸发、入渗试验总结报告(1985~1995年),新疆地质环境监测总站,1996年12月。

第五节 吐鲁番地下水均衡试验场

吐鲁番地下水均衡试验场是为原地矿部“七五”重点科技攻关项目(86105)“西北水资源综合评价”子课题“吐鲁番盆地地下水资源及合理开发利用研究”而设立的。

该站1988年10月选址,1989年2月17日破土动工。地下观测室工程1989年6月17日完工,转入仪器安装,全部工程于1989年9月初完工,经有关部门验收合格并于9月7日正式投入调试观测工作;气象部分组装于1989年12月份完工并投入观测。观测期为1989年10月~1992年5月。

一、环境条件

该站位于吐鲁番市南10km处,与中国科学院原土壤沙漠研究所吐鲁番治沙站为邻,地理坐标为:东经89°11′37″,北纬42°51′52″,海拔-75.099m。多年平均降水量16.4mm,多年平均蒸发量2844.9mm,历年极端最高气温49.6℃,历年极端最低气温-28℃,多年平均气温14.0℃,多年平均地表温度17.2℃,多年平均日照时数3054.4h,多年平均无霜期270d,冻结期最长达100d,一般为12月至翌年2月,最大冻土深度115cm。

该均衡场交通方便,易于管理,植被土壤条件好,有2hm²试验田,四周空旷,无高大建筑,适宜气象观测。水文地质条件为冲-洪积扇中下部,潜水埋深大于10m,周围无常流水系及渠道,地层岩性以冲-洪积亚粘土、亚砂土为主,地表有残留的风成砂。选择此区建立水均衡综合试验场,能反映吐鲁番盆地的自然地理及水文地质特征。

二、试验项目、试验土样及设施

(一)试验项目

- (1)模拟试验不同包气带岩性、不同潜水埋深条件下的潜水蒸发量,进而计算不同条件下的潜水蒸发量及潜水蒸发系数;
- (2)模拟试验不同包气带岩性、不同潜水埋深条件下凝结水的形成机理;
- (3)模拟试验相同的岩性、不同潜水埋深条件下田间灌溉水回渗系数及作物生长的最佳灌溉定额;
- (4)观测陆地水面蒸发器皿直径与蒸发强度的关系,推算蒸发强度与自然水体蒸发量的相关系数;
- (5)观测地表天然水面的蒸发量;
- (6)观测陆地气象要素,建立与地下水补给排泄有关的相关曲线、方程并求取有关参数;
- (7)建立潜水均衡小区;
- (8)试验场设立棉花、小麦、瓜果葡萄、青菜等研究试验田,研究各种灌溉方法及新技术的试验推广。

(二)试验土样

试验土样为扰动单一土样,土样测筒截面积 0.3m^2 ,共设 5 组模拟水位的 15 个土样测筒,详见表 1-5。

表 1-5 岩样筒分组一览表

分 组	模拟潜水水位(m)	岩样筒编号	模拟岩性	备 注	
1	0.5	1	亚粘土		
		2	亚砂土		
2	1.0	3	亚粘土		
		4	亚砂土		
3	2.0	5	亚粘土		
		6	亚砂土		
4	6.0	7	亚粘土		
		8	亚砂土		
		9	粉 砂		
		10	细 砂		
		11	粗 砂		
		12	戈壁砂砾土		
		13	盐渍土		
5	0.5	14	亚砂土		为第一组平行
		15	亚粘土		对比岩样筒

(三)设施

主要设施项目见表 1-6,设地下观测室(为楼阁式)、地渗仪、灌溉回渗仪。

表 1-6

观测设施(项目)一览表

测试项目	观测工作的组织及主要设施
基本均衡要素	1. 潜水蒸发量(E): 设置 5 组常水头地渗仪 2. 凝结水入渗量: 设置 5 组常水头地渗仪
地下水储量变化	均衡场附近设小均衡区, 潜水动态观测点 8 个, 每月 6、16、26 日观测地下水水位动态
回灌试验	设 5 组直径为 61.8cm, 面积为 0.3m ² 的回渗仪, 分别埋在 0.5、1.0、2.0、4.0 和 5.5m 不同深度, 由连通管连接到地下观测室(距离 20m); 试验地 200m ² , 种植新疆长绒棉, 测试田间回渗量
陆面蒸发	设 Φ20cm 和 Φ80cm 水面蒸发皿, 观测蒸发量(E ₀)
气象要素观测	风速, 风向, 空气温度、湿度, 地温(0、5、10、15 和 20cm), 气压, 日照, 地面最高、最低温度等

三、已提交并被本书引用的试验研究报告

王连杰主编: 极端干旱内陆盆地水均衡试验与参数试验报告(86015-4-1), 新疆地矿局第一水文地质工程地质大队, 1990 年 10 月。

第六节 叶尔羌河流域地下水均衡观测试验站

叶河站位于新疆莎车县西南 3km 处, 占地面积约 0.7hm²。它是配合世界银行贷款项目“塔里木灌排与环保”一期工程中的“叶尔羌河流域水盐监测”任务而建立的, 其主要内容是进行潜水蒸发量和作物需水量试验。站址区具有典型的南疆(天山以南)自然、气候条件, 多年平均降水量为 44.7mm, 多年平均蒸发量为 2644.8mm, 蒸降比为 50~70。潜水蒸发试验共设置了 54 个测筒, 进行不同土质、不同潜埋深的 54 组潜水蒸发试验(表 1-7)。该站于 1993 年底建成, 1994 年 4 月正式投入观测。

潜水蒸发试验采用改进的马氏瓶装置, 通过马氏瓶补水并控制试筒内的水位, 入渗水量通过平衡瓶流入量杯测定, 每天早晨 8:00 进行观测。场内设有简易气象站, 对水面蒸发、日照时间、风速、大气温度和湿度等进行观测。

表 1-7

潜水蒸发试验分组情况

潜埋深(m)	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	3.50	4.00
中 壤	1	1	1	1	1	1	1	1	2
轻 壤	1	1	1	1	1	1	1	2	1
砂 壤	1	1	1	1	1	1	2	1	1
粉砂土	1	1	1	1	1	1	1	1	1
粉 砂	1	1	1	1	1	1	1	1	1
砂卵石	1	1	1	1	1				

第七节 渭干河-孔雀河流域简易水均衡试验场

渭干河-孔雀河流域简易水均衡试验场是新疆地矿局第一水文地质工程地质大队为完成“1:20万渭干河-孔雀河流域地下水资源评价”项目而建立的临时性地下水均衡试验场。其目的是求得符合当地实际状况的潜水蒸发强度、降水入渗补给系数,为该项目的地下水资源计算提供较为可靠的水均衡基本参数。

试验场地选择在巴音郭楞蒙古自治州轮台县群巴克乡乡政府附近,地处塔里木盆地东北缘。试验内容包括相同岩性、不同水位埋深(分别为0.5、1.0、1.5、2.0和3.0m)潜水蒸发试验,相同岩性、不同水位埋深(分别为0.5、1.0、1.5、2.0和3.0m)降水入渗补给试验以及相应的简易地面气象观测(包括气温、最高温度、最低温度、相对湿度、降水量、水面蒸发量)。

试验期为1986年7月5日~11月20日和1987年4月9日~11月12日,试样为扰动轻亚粘土。

试验采用南京水利科学研究院水工研究所吴凤彩研制的马氏瓶,测筒采用直径为35.5cm(14英寸)钢管(底部用钢板焊死)。

塔里木盆地东北缘气候干旱,降水稀少,蒸发强烈,日照时间长,属炎热、干燥、少雨、多风的干旱性大陆气候。多年平均气温10.6~19.4℃,昼夜温差14~16℃,多年平均降水量30~50mm,多年蒸发量1972.4~2910.5mm,盛行东北风,集中于春秋两季,风速最大可达27m/s。

区内地势北高南低,西高东低。包气带土壤组成:北部山前倾斜平原上部主要为单一含土砾石,中下部细土带主要为亚砂土、亚粘土夹薄层粉-细砂。塔里木河冲积平原主要为粉-细砂夹薄层亚砂土、亚粘土。

已提交并被本书引用的试验研究报告为:

王连杰主编:渭干河-孔雀河流域简易地下水均衡试验场潜水蒸发与入渗试验报告,新疆地矿局第一水文地质工程地质大队,1989年12月。

第八节 中国科学院新疆生态与地理研究所阿克苏水平衡实验站

该站地处和田河、叶尔羌河、喀什河和阿克苏河汇合处,即塔里木河起始之处,地理坐标为北纬40°27′,东经80°45′,海拔1028m。观测场地距塔里木河上游水库大坝1100m。

该站建有20m²和10m²水面蒸发池、E601蒸发皿、Φ20cm蒸发器。

第九节 柴窝堡盆地包气带水分运动监测试验场

柴窝堡盆地包气带水分运动监测试验场(以下简称化肥厂站)是为配合原地矿部重点科技攻关项目86015-07-05专题“乌鲁木齐河中上游地下水初步管理模型及合理开发利用”而建立的。

该站位于乌鲁木齐市南郊35km、新疆化肥厂东北2km处的一块平坦开阔的荒地上,地理坐标为东经87°44′,北纬43°35′,海拔1120m。

该站建于1988年7月,监测期为1988年9月1日~1990年9月30日。建站目的是为研究乌鲁木齐河流域地下水提供较为精确的三水(大气降水、土壤水与地下水)转化量及水文地质参数。

具体任务为:①建立一个较完备的气象观测场、太阳辐射观测场和地温观测场,提供水均衡计算所需的气象资料;②建立中子仪孔、负压计观测室来研究包气带水分分布状况及运动规律,计算降水入渗补给量、土壤蒸发蒸腾量、土壤水分储变量。

一、自然条件

该站年平均气温 7.4°C ;年平均相对湿度56%;年平均风速 3.8m/s ,风速大于 10m/s 的天数可达39d;年降水量 156.1mm ,最大降雨量为 16mm ;年蒸发量($\Phi 20\text{cm}$ 蒸发器)为 2715.2mm ;潜水位埋深 $1.5\sim 2.5\text{m}$;包气带岩性为亚粘土,天然含水量 $17.4\%\sim 20.2\%$,天然容重为 $1.66\sim 1.94\text{g/cm}^3$,干容重为 $1.41\sim 1.62\text{g/cm}^3$,比重为 $2.75\sim 2.76$,饱和度为 $50.4\%\sim 78.0\%$,孔隙度为 $41.1\%\sim 59.8\%$ 。

二、仪器安装及观测方法

气象场场地选择及仪器安装均按中央气象局的规定执行。中子仪测管为不锈钢管,内径为 45mm ,孔深为 4.5m ,测深分别为 $20、40、60、80、100、120、140、160、180、200、250、300、350$ 和 400cm ;负压计观测室为一长 8m 、宽 2m 的地下室,负压计陶土头埋深与中子仪测深同步;站内设有1眼潜水水位动态观测井。负压计由中国科学院南京土壤研究所设计,上海青浦县赵巷公社中伍五金厂制造;太阳辐射仪由长春气象仪器厂制造;中子仪由英国沃灵福水文研究所研制。

气象观测频率为3次/d,即每天北京时间 $8:00、14:00$ 和 $20:00$ 各观测1次;中子仪每天北京时间 $12:00$ 观测1次;负压计每天北京时间 $12:00$ 观测1次;太阳辐射每天观测5次,观测时间为北京时间 $9:00、11:00、13:00、15:00$ 和 $17:00$ (冬季观测时间改为 $11:00、13:00、15:00$ 和 $17:00$ 4次);潜水水位每天早上观测1次。

三、已提交并被本书引用的试验研究报告

翟云波主编:利用中子仪、负压计对柴窝堡盆地包气带水分运移监测试验报告(86015-7-5-附件1),新疆地矿局第一水文地质工程地质大队,1990年8月。

参 考 文 献

- [1]周金龙等.地矿部地下水均衡试验研究现状与展望.地下水,1993(3)
- [2]毛晓敏等.叶尔羌河流域潜水蒸发规律试验分析.干旱区地理,1998(3):44~50

第二章 水面蒸发试验分析

水面蒸发是水循环过程中的一个重要环节,是水文学研究中的一项重要任务,尤其是干旱地区地表水体(如河流、湖泊、水库等)水量损失的主要组成部分,也是研究土壤蒸发和潜水蒸发的基础。

水面蒸发是指一个地区自地表水体表面蒸发的水分。一般气象站所记录的蒸发资料仅是水面蒸发值,它并不代表一个地区的真实蒸发量。实际蒸发量的大小与水面面积有关,水面面积越大,单位面积蒸发量越小,反之则大。气象站多用 $\Phi 20\text{cm}$ 蒸发器和E601蒸发皿,其面积远较自然水体蒸发面积小,所以气象站的蒸发资料只能代表地区的蒸发强度,称蒸发力或蒸发度。

第一节 水面蒸发量随时间变化的规律

$\Phi 20\text{cm}$ 蒸发器蒸发量:年内1~7月逐渐增大,7~12月逐渐减小,多年平均为1822.1mm,变异系数为0.10。4~10月多年平均为1699.8mm,变异系数为0.102。详见表2-1。

E601蒸发皿蒸发量:非冻结期内4~7月逐渐增大,7~10月逐渐减少,多年平均为1144.7mm,变异系数为0.085(小于 $\Phi 20\text{cm}$ 蒸发器蒸发量同期变异系数),详见表2-1。

20m^2 蒸发池蒸发量:非冻结期内4~6月(或7月)逐渐增大,6(或7月)~10月逐渐减小,多年平均880.7mm,变异系数为0.072(小于 $\Phi 20\text{cm}$ 蒸发器和E601蒸发皿蒸发量同期变异系数)。

第二节 影响水面蒸发的因素分析

影响地表水体蒸发的主要因素是气象因素,包括空气温度、湿度、风速、日照等。对于水面蒸发器而言,影响因素还包括蒸发器内的水体面积、水深和蒸发器的安装高度。

一、蒸发器内的水体面积

一般而言,蒸发器内的水体面积越大,测得的水面蒸发量越接近天然水体的水面蒸发量。我们设置的最大蒸发池直径为5.0m(面积为 19.64m^2),该蒸发池接近世界气象组织仪器和观测方法委员会提出的以 20m^2 蒸发池作为水面蒸发的临时国际标准。

不同直径蒸发器水面蒸发量观测结果(表2-2)表明,随着蒸发器直径的增大,水面蒸发量逐渐减小;当直径大于2.0m时,蒸发器直径增大,水面蒸发量趋于稳定。

单位:mm

1994~2000年逐月水面蒸发量汇总表(地矿高昌吉站)

表 2-1

蒸发器 类型	年 份	月 份												全 年 合 计	4~10 月 合 计	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Φ20cm 蒸发器	1994	15.2	20.9	60.2	140.9	249.5	318.5	326.5	297.6	177.2	92.2	38.1	9.2	1746.0	1602.4	
	1995	9.5	15.2	68.2	209.0	251.7	331.8	313.1	299.9	205.3	92.4	25.0	6.1	1827.2	1703.2	
	1996	6.6	16.8	52.5	148.0	257.0	304.6	283.8	297.9	190.2	85.0	19.9	9.2	1671.5	1566.5	
	1997	11.6	16.4	77.3	296.2	304.0	356.8	378.8	344.1	249.7	149.6	27.0	9.4	2220.9	2079.2	
	1998	6.9	17.5	50.5	162.0	224.1	330.3	334.4	289.6	213.4	114.3	33.6	6.4	1783.0	1668.1	
	1999	10.4	17.8	49.3	187.9	303.6	294.9	288.2	261.8	186.2	108.6	21.1	8.3	1738.1	1631.2	
	2000	9.2	19.7	63.1	241.8	270.3	292.7	309.5	259.3	213.7	60.7	20.7	7.2	1767.9	1648.0	
	多年平均	9.9	17.8	60.2	198.0	265.7	318.5	319.2	292.9	205.1	100.4				1699.8	
	E601 蒸发器	1994				96.1	174.1	221.8	243.3	213.8	129.8	67.7				1146.6
		1995				139.8	170.8	221.1	205.1	203.7	143.5	64.0				1148.0
1996					92.8	176.3	201.2	191.7	208.0	131.2	54.8				1056.0	
1997					172.6	186.7	230.1	238.8	229.9	168.3	99.4				1325.8	
1998					96.7	134.7	197.8	197.1	188.7	144.5	77.7				1037.2	
1999					106.8	196.6	202.9	196.6	184.9	134.4	83.2				1105.4	
2000					162.9	192.0	208.7	222.1	196.5	163.7	48.3				1194.2	
多年平均					124.0	175.9	211.9	213.5	203.6	145.1	70.7				1144.7	
20m ² 蒸发池		1994				63.1	135.0	177.9	189.3	171.0	105.9	66.8				909.0
		1995				106.8	139.8	177.9	163.2	162.7	114.0	52.5				916.9
	1996				61.9	131.9	155.7	144.9	167.7	105.5	45.0				812.6	
	1997				117.5	144.3	177.8	185.1	174.1	123.6	69.9				992.3	
	1998				74.6	115.8	149.7	170.4	145.5	109.8	57.4				823.2	
	1999				85.5	151.7	149.3	152.6	141.7	111.7	53.9				846.4	
	2000				119.4	138.0	161.9	176.7	143.6	86.3	38.5				864.4	
	多年平均				89.8	136.6	164.3	168.9	158.0	108.1	54.9				880.7	