

武威绿洲水资源利用分析

李海涛¹, 许学工¹, 肖笃宁²

(1. 北京大学资源环境地理系地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871;
2. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

摘要: 从地表水利用状况、地下水利用平衡两方面对武威绿洲水资源利用现状进行了分析。分析结果表明, (1) 武威绿洲的水资源毛利用量中, 地下水约占52%; 净利用量中, 地下水约占59%; 地下水资源开发利用量超过地表水; (2) 地下水超采严重, 平均每年超采约1.4亿m³, 已经形成规模较大的地下水漏斗; (3) 地下水的补给主要以渠道渗漏和田间渗漏为主; (4) 农业生产中水资源浪费比较严重, 利用效率不高。
关键词: 武威绿洲; 水资源利用; 地表水; 地下水; 地下水平衡
中图分类号: S 273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2005)04-0128-04

Analysis of Water Resources Utilization in Wuwei Oasis

LI Hai-tao¹, XU Xue-gong¹, XIAO Du-ning²

(1. Dept. of Resource and Environmental Geography, Laboratory for Earth Surface Processes of Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110015, China)

Abstract: The utility of surface water and the balance of groundwater are analyzed. In the end, some conclusions are gained: (1) the total water resource used in Wuwei Oasis, groundwater is about 52%; (2) groundwater has been exploited seriously and about 0.14 billion m³ groundwater is overexploited every year. A great groundwater funnel has been formed in Wuwei Oasis; (3) supply of groundwater mainly depends on the channel seep and field seep; (4) much water resource is wasted in the process of agriculture product. The utility ratio of water resource is not very high in Wuwei Oasis.
Key words: Wuwei Oasis; utility condition of water resource; surface water; groundwater; the balance of groundwater

武威古称姑藏、凉州, 清代设立武威县, 1985年设立武威市, 2000年在武威市下设凉州区。武威为古丝绸之路重镇, 历史上素有“银武威”之称, 是一片富庶之地。本文所称的武威绿洲实指武威市凉州区所在的绿洲, 包括凉州区的七大灌区: 西营灌区、金塔灌区、杂木灌区、黄羊灌区、永昌灌区、金羊灌区和清源灌区(图1)。

1 研究区概况

武威绿洲位于祁连山山前的拗陷地带, 在拗陷带内堆积了巨厚的第四纪松散沉积物, 最厚可达千米, 是理想的地下水储存场所。武威绿洲的地下含水层可分为三层: 酒泉组上部含水层(Q₂²)、酒泉组下部含水层(Q₂¹)和玉门组含水层(Q₁)。武威绿洲气候属温带大陆性干旱半干旱气候, 特点是降水稀少, 气温较差大, 夏季炎热而短促, 冬季寒冷而漫长, 太阳辐射强, 日照充足, 蒸发强烈, 空气干燥, 多年平均气温7~8℃, 气温的年较差28~33℃, 多年平均降水量158mm, 主要集中在7、8、9三个月内。

2 水资源利用平衡分析

2.1 地表水资源量

武威绿洲的水资源主要来自四条内陆河: 西营河、杂木河、金塔河和黄羊河, 另外还有一些小沟小河。在这些河流中, 多年平均径流量最大的是西营河, 为3.7424亿m³; 然后依次是杂木河, 2.4366亿m³; 金塔河, 1.4284亿m³; 黄羊河, 1.4331亿m³; 其它沿山小沟小河合计为0.621亿m³, 但几乎没有利用, 可不予考虑。这样, 武威绿洲多年平均地表水资源量为9.0464亿m³。但是, 由于武威绿洲深居内陆地区, 降水变率大, 所以每年所获得的水资源很不稳定。例如1958年的水资源总量为13.3亿m³, 而1991年只有5.5亿m³, 二者相差两倍多。本文计算所采用的来水量为1981~2000年的平均来水量。这些水量经过渗漏、蒸发和渠首弃水等各种消耗, 最终到达渠首, 用于灌溉的只有6.7129亿m³(表1)。

2.2 地下水量平衡

武威绿洲的灌溉水源相当大一部分来自于地下水。地下

* 收稿日期: 2005-04-26
基金项目: 国家自然科学基金资助重点项目(项目编号: 90102004)
作者简介: 李海涛(1971-), 男, 硕士, 主要从事资源可持续开发与利用研究; 通讯作者: 许学工, 北京大学环境学院资源环境地理系。

2.2.2 地下水的消耗

地下水的消耗包括泉水溢出、提水灌溉、地下出境径流和蒸发蒸腾。

(1) 泉水溢出。进入武威绿洲的地表水,在进入绿洲后,由于蒸发、渗漏和引流灌溉,地表水转化为地下水,地表河流消失。在洪积扇的边缘地带,部分地下水又重新以泉水的形式溢出地表,再次形成地表水。这部分水量不仅灌溉了井泉灌区的大面积土地,而且还是下游民勤绿洲的主要水源来源。但是,由于武威绿洲的地下水连年超采,造成许多泉眼干涸,进入石羊河的泉水也逐年减少。进入红崖山水库的水量,上世纪50年代平均为5.424 亿m³,60年代为4.548 亿m³,70年代为3.226 亿m³,80年代为2.236 亿m³,90年代为1.515 亿m³,2000~2003 年平均仅为1.017 亿m³。目前除通过石羊河向民勤县输出泉水外,区内无泉水灌溉面积。

红崖山水库上游来水的构成主要有三部分:一是基本径流,基本上是上游地下水出露的泉水,约占全年总径流的70%;二是冬春余水,是非灌溉季节上中游灌区不宜利用和不能利用的水量,约占总径流的20%;三是洪水,约占总径流的10%。通过对2001~2003 年红崖山水库来水量的分析,石羊河上游实际进入红崖山水库的水量为0.6~0.7 亿m³。按0.7 亿m³的来水量计算,以泉水形式溢出的地下水约为0.49 亿m³。

(2) 提水灌溉。武威绿洲的地下水开采量很大,据武威市水利局的统计,1995 年地下水开采量已达到5.152 亿m³。近年来,地下水位下降的趋势非常明显。但由于缺少近年相关的统计资料,这里采样农村排灌用电量进行估算。1995 年,武威绿洲地下水位平均15 m 左右,随后下降速度很快,但下降幅度,不同灌区,不同年份都有所不同。总的来说,井泉灌区上游,混和灌区的下游地下水位下降幅度明显,混和灌区上游和井泉灌区的下游下降不明显。^[2]最后的计算结果表明,1998—2002 年,武威绿洲地下水开采量较为稳定,平均为7.418 5 亿m³(表4)。

表 4 武威绿洲地下水开采量估算							
年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
排灌用电量(kWh)	9010	10785	12337	12350	12399	1252 2	12777
地下水位/ m	14. 7	15. 2	15. 7	16	16. 3	16. 6	16. 9
水泵效率/ %	66	66	66	66	66	66	66
电机额定效率/ %	77	77	77	77	77	77	77
功率因数	0. 8	0. 8	0. 8	0. 8	0. 8	0. 8	0. 8
线损/ %	8. 33	8. 33	8. 33	8. 33	8. 33	8. 33	8. 33
抽水降深/ m	10	10	10	10	10	10	10
系统损耗/ %	5	5	5	5	5	5	5
每度电抽水量(m ³ / kWh)	6. 6021	6. 4387	6. 2832	6. 1934	6. 1062	6. 0214	5. 9389
总开采量/ 亿 m ³	5. 9485	6. 9442	7. 7516	7. 6489	7. 5711	7. 5401	7. 5881
东大河灌区开采量/ 亿 m ³	0. 2015	0. 2015	0. 2015	0. 2015	0. 2015	0. 2015	0. 2015
实际开采量/ 亿 m ³	5. 7470	6. 7427	7. 5501	7. 4474	7. 3696	7. 3386	7. 3866

(注:排灌用电量中包括了东大河灌区的用电量,但本文所指绿洲不包括东大河灌区,故予扣除)

(3) 地下出境径流。武威绿洲的地下出境径流主要流往民勤的环河灌区。据民勤县水利局的测算,民勤环河灌区的地下侧向流入径流为5 508 万m³。

(4) 蒸发蒸腾。只有当地下水位小于5 m 时,地下水才能通过毛系作用发生蒸发蒸腾现象。而武威绿洲,除九墩滩部

分地区外,地下水水位一般都超过5 m。所以这里不予考虑。

2.2.3 地下水资源平衡分析

武威绿洲的地表、地下水资源转换比较复杂,主要表现为地表水和地下水之间的反复转化。水源的来源既有来自四大河流的地表水,又有开采的地下水;开采的地下水中,既有入渗到地下的地表水,又有开采到地表的地下水的再次入渗,还有超采的地下水。水资源最终消耗表现在三个方面:蒸发、蒸腾、入渗和流出境外。流出绿洲的水量很小,只有通过石羊河,以地表水的形式进入民勤。2000 年以来平均每年大约为0.7 亿m³。

武威绿洲的地下水补给,包括渠首以上地表水入渗补给,侧渗和基岩裂隙水补给、散流洪水入渗补给、输水和灌溉过程入渗补给等,共计7.444 3 亿m³。地下水的消耗,包括地下水开采、泉水溢出和出境地下径流三项,计8.863 0 亿m³。地下水超采量为1.416 0 亿m³(表5)。

表 5 武威绿洲地下水平衡表		
项目	小项	水量/ 亿 m ³
地下水补给	侧渗补给	0.5893
	散流洪水入渗	0.1890
	河道入渗	0.7684
	水库入渗	0.0994
	基岩裂隙水补给	0.0363
	渠道入渗补给	3.6194
小计	田间入渗补给	2.1425
		7.4443
地下水消耗	泉水溢出	0.4900
	提水灌溉	7.8195
	地下出境径流	0.5508
小计		8.8603
均衡量		- 1.4160

3 水资源实际利用情况分析

武威绿洲水资源的利用特点是地表水和地下水并重,西营、杂木、金塔和黄羊四大灌区为混和灌区,地表水和地下水并重,地表水占比例较大;永昌、清源和金羊灌区为井泉灌区,很难利用到地表水,基本上全部为地下水。这里把水资源的消耗分为农业用水和非农业用水。非农业用水包括居民生活用水、工业用水和牲畜饮用水。

3.1 非农业用水量

3.1.1 居民生活用水

以2000 年为例,武威绿洲人口98.24 万人,其中农业人口77.14 万人,非农业人口21.1 万人;生活用水量230 8 万m³,其中消耗地表水657 万m³,地下水1 651 万m³(表6)。

3.1.2 牲畜饮用水

饲养大牲畜5.09 万头,羊12.04 万只,猪9.44 万头,用水量821 万m³,按消耗地表水和地下水各50% 计算(表6)。

3.1.3 工业用水

工业和乡镇企业共用水3 007 万m³,其中地表水910 万m³,地下水2 097 万m³。三项合计共用水6 136 万m³,其中地表水1 978 万m³,地下水4 159 万m³(表6)。

3.1.4 生态用水量

生态用水量是指在现状环境条件下,生态系统被动接受的水量。^[3]在干旱区,生态用水量一般小于生态需水量。武威

绿洲的支持生态系统包括两个组成部分: 绿洲内部护田林网和绿洲边缘的外围防护带。从植被消耗水量的来源来看, 绿洲内部的护田林网一般需要灌溉。而绿洲边缘的外围防护带生存所需要的水源主要是天然降水和凝结水(产水率为 $1\,070\,\text{m}^3/\text{hm}^2$)。由于地下水水位较深, 甚至已经超出了植物根系所能达到的最大限度, 所以很多依靠地下水存活的植被都不同程度地出现了退化衰败现象, 甚至大面积枯死。在干旱地区, 由于树木具有多方面的综合作用, 果树也不例外, 除了提供各种果品外, 还具有对绿洲的防护作用, 所以, 其用水量可以算在生态用水量的范围之内。最后的计算结果表明, 武威绿洲的生态用水量约 $8\,712\,\text{万}\,\text{m}^3$, 其中天然补给量为 $1\,673\,\text{万}\,\text{m}^3$, 灌溉补给量为 $703\,9\,\text{万}\,\text{m}^3$ (表7)。

表6 2000年武威绿洲非农业用水量 $\text{万}\,\text{m}^3$			
	生活用水	牲畜饮用水	工业和乡镇企业用水
地表水	657	411	910
地下水	1651	411	2097
合计	2308	821	3007

表7 武威绿洲生态用水分析						
林分	面积 / hm^2	用水量 / $\text{万}\,\text{m}^3$	需水量 / $\text{万}\,\text{m}^3$	缺水量 / $\text{万}\,\text{m}^3$	天然补给 / $\text{万}\,\text{m}^3$	灌溉补给 / $\text{万}\,\text{m}^3$
有林地	6791	4155	4155	0	727	3428
灌木林	2840	304	532	228	304	0
疏林地	563	60	199	139	60	0
园地	4976	3916	3961	45	532	3384
未成林造林地	186	68	68	0	20	48
苗圃	83	61	61	0	9	52
城市绿地	190	147	147	0	20	127
合计	15629	8712	9123	411	1673	7039

3.2 农业生产用水

武威绿洲的农作物种植结构主要以粮食作物为主。例如, 1996~2000年农作物平均播种面积 $112\,706\,\text{hm}^2$, 其中粮食作物 $74\,340\,\text{hm}^2$, 占66%, 耗水量占总耗水量的69%。总体来说, 1996~2000年, 民勤绿洲农业生产用水量较为稳定, 平均用水量为 $8.651\,7\,\text{亿}\,\text{m}^3$ (表8)。

表8 武威绿洲1996~2000年农作物耗水量							
项目	小项	灌溉定额	灌溉量/ $\text{万}\,\text{m}^3$				
		/ $(\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2})$	1996	1997	1998	1999	2000
粮食作物	小麦	8100	33415	32730	33075	29635	28015
	玉米	9000	19968	19638	20448	25050	26070
	啤酒大麦	6750	846	1350	522	221	288
	其他谷物	6750	2039	248	464	454	662
	豆类	5700	939	980	1326	862	889
	薯类	5250	4540	3647	3560	2957	3952
经济作物	油料作物	6750	7848	7497	8676	7866	8865
	甜菜	6750	2673	4059	2610	1521	815
	其他	6750	1958	1224	441	554	423
其他	蔬菜	9000	6750	8232	10902	13200	15174
	瓜类	6300	617	874	932	1373	1356
	青饲料	4500	2169	2250	2280	1251	1896
农作物	绿肥	4500	1557	1950	1920	228	1857
	合计		85318	84679	87155	85173	90262

4 水资源供需均衡分析

武威绿洲水资源的总开发量为 $14.981\,\text{亿}\,\text{m}^3$, 进入田间量为 $10.029\,7\,\text{亿}\,\text{m}^3$ 。根据农作物的种植面积和灌溉制度, 其水资源消耗量1996~2000年平均为 $8.651\,7\,\text{亿}\,\text{m}^3$, 生态灌溉用水量为 $0.703\,9\,\text{亿}\,\text{m}^3$ (其它非农业用水量已事先扣除)。两者进行比较, 尚有 $0.674\,1\,\text{亿}\,\text{m}^3$ 的差额(表12): 提供的水量多于消耗的水量。产生这一差额的原因是多方面的:

表9 水资源供需均衡表 $\text{亿}\,\text{m}^3$					
总开发量		进入田间量		利用量	
地表水	地下水	地表水	地下水	农作物	生态灌溉
6.7129	7.4185	4.0949	5.9348	8.6517	0.7039
				均衡量	0.6741

从表12看, 提供的水量多于消耗的水量。产生这一差额的原因是多方面的:

(1) 地下水开采量的计算误差。武威绿洲不同的地方地下水埋深差别很大, 而在计算时并没有考虑这种差别, 而是采用平均地下水埋深; 农用水泵的效率差别也很大, 但在计算时没有考虑这种差别, 而是采用水泵的平均效率。

(2) 灌溉定额的确定存在一些不确定性。例如, 在实际灌溉过程中, 每次的灌溉水量都不同, 而在实际的计算过程中, 并没有考虑这种差异。

(3) 武威绿洲种植的农作物种类很多, 且不同的农作物耗水量差异比较显著, 但在计算时只考虑了几种主要的农作物, 其它农作物的耗水量只是大致的估计, 并没有什么严格的依据。

(4) 耕地面积数据可能偏低。这是因为在武威绿洲, 荒漠开荒的现象很严重, 而这部分耕地面积很难确定。

(5) 节水灌溉制度落实的不彻底。大部分耕地还存在超额灌溉的现象。

(6) 计算中采用的渠系利益系数可能有些偏高。

(7) 在超额灌溉的条件下, 田间入渗系数要高于计算中所采用的入渗系数。

5 讨 论

5.1 人均水资源量

武威绿洲近年的水资源利用量平均每年为 $14.134\,\text{亿}\,\text{m}^3$, 按照2000年的人口 $98.24\,\text{万人}$ 计算, 人均水资源拥有量为 $1\,438\,\text{m}^3$, 低于全国的平均水平($2\,200\,\text{m}^3/\text{人}$), 但远高于甘肃省的人均水平($830\,\text{m}^3/\text{人}$)。但是, 其中50%以上是开采的地下水。如果保持武威绿洲地下水补给和开采的平衡, 则每年可开采地下水 $5.809\,1\,\text{亿}\,\text{m}^3$, 即使这样, 2000年武威绿洲人均水资源拥有量仍达到 $1\,275\,\text{m}^3$ 。所以说, 在甘肃省, 武威绿洲的水资源是比较丰富的。

5.2 生态用水

绿洲生态保障系统是绿洲生态安全基本保障, 也是绿洲得以存在的基础。但是, 由于诸多原因, 武威的生态用水很难得到保障。首先, 天然水量少, 远远不能满足绿洲保障生态系统的需要。其次是地下水位迅速下降, 已经远远超过了植被根系所能达到的最大深度。这就造成了许多生态植被的迅速退化死亡。第三是生产用水挤占生态用水。目前, 武威绿洲的生态用水量仅占水资源开发总量4.8%, 农业生产用水量的6.7%。这远远不能满足绿洲生态系统的需求。在武威绿洲, (下转第239页)

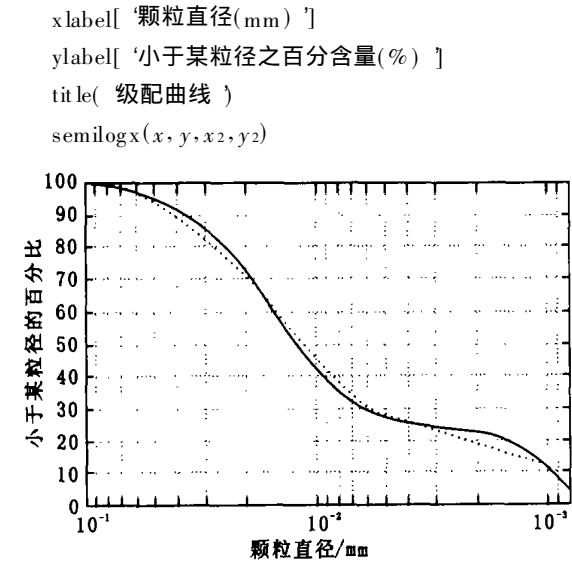


图1 级配曲线

1.2 参数计算

通过上述过程, 生成了该土料的级配曲线, 而试验提供的各项参数则需要通过计算求得。利用 MATLAB 软件提供的函数功能对已经形成的三次样条曲线重新建立关于小于某粒径的百分含量与颗粒直径的对数之间的函数关系, 即原函数的反函数, 求解给定含量所对应的颗粒直径的对数值, 并将其还原, 分别计算 d_{10} , d_{30} , d_{60} , 然后利用公式:

$$C_u = d_{60}/d_{10} \text{ 和 } C_c = d_{30}^2/d_{10}d_{60}$$

计算不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 。

参考文献:

[1] 楼顺天, 于卫, 闫华梁. MATLAB 程序设计语言[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999.
[2] SL237- 1999, 土工试验规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
[3] 尹进步, 王振凡. Excel 软件在混凝土质量控制数据处理中的应用[J]. 陕西水力发电, 1998, (2): 33- 36.

(上接第131页)

水资源的利用效率不断提高, 但同时也引发了其它一些问题。武威绿洲的农业生产区内专门的生态用水很少, 绿洲支持生态系统的维持除天然水量外, 主要依靠渠系渗漏水。有的灌区改成喷灌后, 废弃的渠两边的植物很快就退化或死亡了。所以, 对干旱区水资源要慎重对待: 不能片面强调水资源利用率, 节约的水资源要分出一部分用于生态系统的维持。

5.3 水权问题

水权问题突出表现在水资源所有权和使用权之间的冲突上。首先是水价严重脱离价值规律。2003年武威市政府发布了《关于调整水利工程供水, 价格的通知》规定了水费收缴标准, 批准农业水费为两部制, 基本水费每年 1 hm^2 30 元; 计

参考文献:

[1] 潘小龙. 凉州区地下水动态分析[J]. 甘肃水利水电技术, 2003, 7(5): 74- 75.
[2] Gleick H. Water in crisis: paths to sustainable water use[J]. Ecological Applications, 1996, 8(3): 571- 579.
[3] 王成. 甘肃省武威市凉州区水资源可持续利用研究[J]. 水资源保护, 2003, (3): 59- 61.
[4] 罗纲. 浅谈水利工程供水水价—目前武威市水利工程水价面临的问题及思考[J]. 甘肃农业, 2004, (7): 50- 50.

$$pp = \text{spline}(y2, x x);$$

$$x_{10} = \text{ppval}(pp, 10);$$

$$d_{10} = 10^{x_{10}};$$

$$x_{30} = \text{ppval}(pp, 30);$$

$$d_{30} = 10^{x_{30}};$$

$$x_{60} = \text{ppval}(pp, 60);$$

$$d_{60} = 10^{x_{60}};$$

$$C_u = d_{60}/d_{10}$$

$$C_c = d_{30}^2/(d_{60} * d_{10})$$

程序直接计算并输出计算结果:

$$d_{10} = 0.0009 \text{ mm}, d_{30} = 0.0063 \text{ mm}, d_{60} = 0.0152 \text{ mm}$$

$$C_u = 16.1330 \quad C_c = 2.7415$$

通过以上过程, 利用 MATLAB 程序设计语言完成了对土的颗粒分析试验的数据处理过程。

2 结语与说明

MATLAB 最重要的特点是易于扩展, 它允许用户自行建立完成指定功能的 M 文件, 从而构成适合于其它领域的工具箱。对于一个从事特定领域工作的工程师, 不仅可利用 MATLAB 所提供的函数及基本工具箱函数, 而且可以方便地构造出专用的函数, 从而大大扩展了其应用范围。

MATLAB 语言具有强大的图形及计算功能, 尤其是在矩阵运算方面更是如此。本文所涉及的内容仅是其中很少的一部分。如果能建立一个数字模拟系统来模拟土工试验, 将会产生极大的影响。