

# 水资源开发利用引起的环境负效应

## ——以玛纳斯河流域为例

吕 博, 倪 娟, 王文科, 杨胜科

(长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 通过对玛纳斯河流域环境负效应研究, 确定了水资源开发利用过程中引起环境负效应的制约因子, 引入地下水动态均衡方法进行半定量分析, 明确地下水量的变化为引起环境负效应的直接因素, 为定量进行水资源综合开发与利用、防止环境负效应的产生提供方法和依据。

[关键词] 水资源; 玛纳斯河流域; 环境负效应; 地下水均衡

[中图分类号] P641.2; X143 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)03-0053-04

# Negative Environmental Influence Caused by Development of Water Resource

## ——A Case Study of Manasi River Basin

LÜ Bo, NI Juan, WANG Wen ke, YANG Sheng ke

(School of Environmental Sciences and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract** Based on the research of negative environmental impacts caused by the development of water resources in Manasi river basin, the key controlling factors are determined. The semi quantitative analysis of dynamic groundwater balance shows the change of quantity of groundwater is the direct driving force of negative environmental impacts. The results form the bases for quantitative and comprehensive exploitation of water resources as well as the prevention of negative environmental impacts in Manasi river basin.

**Key words** water resource; Manasi river basin; negative environmental effect; groundwater balance

### 0 引言

水资源是制约干旱半干旱地区经济社会发展的决定性因素, 而人类活动对于水资源的不合理开发利用使得干旱半干旱内陆地区环境恶化不断加剧<sup>[13]</sup>。张军民研究了玛纳斯河流域水资源分布规律及其生态意义<sup>[4]</sup>, 王根绪等研究了黑河流域水资源开发引起的环境负效应<sup>[5]</sup>, 但是均对产生环境负效应的机理缺乏认识。玛纳斯河为天山北麓流量最大、流域面积最广的内陆河流, 流域自然环境特点、

地形、地貌等在新疆天山北麓具有典型性。通过以玛纳斯河流域水资源开发利用引起泉流量减少与地下水水位大幅下降等环境负效应为研究对象, 明确了引起环境负效应产生的制约因子与直接因素。

### 1 水资源特点与开发利用历史

#### 1.1 玛纳斯河流域水资源的特点

玛纳斯河发源于天山北麓, 地貌单元分为: 高山、丘陵、平原、沙漠。地势由南向北逐渐走低, 最高处由海拔 900~5 500 m 的高山组成, 最低处为海拔

[收稿日期] 2005 10 13  
[基金项目] 中国地质调查局专向基础项目(2003100400012)  
[作者简介] 吕博(1981-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 从事环境科学研究。

280 ~ 350 m 的沙漠区。河流主要补给源为冰川融雪水与大气降水, 河流径流量受气候因素影响剧烈, 7 ~ 8 月份的径流量占到全年径流总量的 55. 52%。

地下水系统的特点是地表水、地下水转化频繁, 地表水为地下水的的核心补给源。自然条件下地下水的主要排泄途径为蒸发和泉排泄<sup>[9]</sup>。

玛纳斯河山前形成大范围的冲洪积扇, 此带分布有 Q<sup>2</sup> - Q<sup>4</sup> 巨厚层松散第四纪地层, 河流由山口进入此带后以垂向径流形式大量补给地下水。扇区第四纪含水层的含水性均为孔隙水, 地下水在水力坡度作用下由冲洪积扇向冲洪积平原运移。在冲洪积扇前沿地带, 由于含水层颗粒变细, 导水性变弱, 地下水出露, 形成泉水溢出带。溢出带以北为大面积的细土平原区, 此带土质以粘土与亚粘土为主, 颗粒很细, 由于开采与蒸发的作用, 使得地下水以垂向径流形式运移。<sup>[7]</sup>

1. 2 玛纳斯河流域水资源开发利用历史

玛纳斯河流域在清朝年间就已经有水资源开发与利用的历史, 但程度不高。新中国成立后, 其流域的水资源环境和生态环境都得到了极大地改善。

1. 2. 1 地表水资源的开发利用

1959 年玛纳斯河东岸大渠修成, 渠长 18. 8 km, 设计流量 85 ~ 120 m<sup>3</sup> / s, 最大流速 4. 5 m/s, 常年输水, 渠道利用率多年保持在 96% 以上, 利用系数为 0. 97

1. 2. 2 地下水资源的开发利用

大规模开发利用地下水始于 20 世纪 70 年代, 目前已形成的较大开采区有石河子市集中开采区、石总厂农业分散供水源地、玛纳斯县马厂湖农业分散供水水源地、玛纳斯电厂水源地。至 1986 年共计有机井 700 余眼, 年开采量约 18 760. 28 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。

2 水资源开发利用引起环境负效应

2. 1 水资源开发利用中引起环境负效应制约因子

水资源开发与利用会使水成为环境要素中变化最快的因子, 而一旦水环境的改变量超过了环境某一方面的阈值时, 环境就会发生变化, 随之而来的是一系列的环境问题<sup>[8]</sup>。

水资源开发与利用的方式分为两类, 一是地表水的开发与利用, 其中包括山口引水工程、农田灌溉和水库修坝蓄水。二是地下水的开发与利用, 包括地下水的开采与泉水的利用。上述 5 种方式除去泉水资源的利用外, 其余 4 种均为人为因素改变

了水资源的分布, 使其在时间与空间上被均化, 当水资源的改变量超过环境所能承受的阈值时, 就会引起一系列环境负效应, 而在诸多环境负效应中, 地下水的上升和下降又会导致泉水流量减少、泉水溢出带变迁、水质恶化、生态植被退化、土壤盐渍化与土地荒漠化的产生或加剧。

地下水资源的改变是由地表水与地下水的特性决定的。地表水呈线状分布, 而地下水呈面状分布。地表水由于其流动范围的限制, 对于环境的直接影响力较小, 地下水则正好相反。地表水流动性与可控性强, 地下水流动性与可控性弱。这一特点使得在地表水与地下水开发利用过程中, 地下水无论从量还是质上相对于地表水都是极难恢复的。

综上所述, 地表水与地下水资源的不合理利用是引起环境负效应的制约因素, 而地下水量与质的改变则是其直接因素。

2. 2 环境负效应与地下水均衡

地下水均衡能真实、宏观、准确地对比出地下水资源在不同时间段内储存量变化量, 地下水储存量变化量 = 地下水补给量 - 地下水排泄量(图 1)。

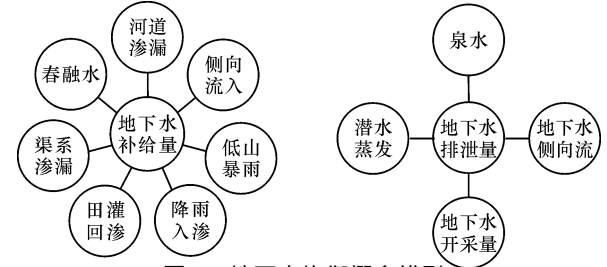


图 1 地下水均衡概念模型

Fig. 1 Concept Model of Groundwater Balance

建立地下水均衡数据体系能及时反映不同时间段地下水资源富存量的变化值, 体现出由于人为因素或自然因素导致原有地下水均衡模型的破坏, 并计算出构成地下水均衡各因子变化的量值(表 1), 从而使地下水资源的管理成为可能, 在合理的政策与措施下, 减少开发利用水资源导致环境负效应产生的规模与严重程度<sup>[9]</sup>。

以 1991 ~ 1995 年地下水均衡数据为例。在补给项中, 河道渗漏、地下水侧向流补给、渠渗 3 项数值大, 分别占地下水补给量的 26. 72%、23. 71%、37. 77%, 总共占 88. 2%, 是玛纳斯流域地下水补给量的主要制约因素。

在排泄项中, 地下水的开采占到了地下水排泄量的 48. 08%, 是影响地下水排泄量的主要因素。地下水开采量的大小主要受制于人为因素, 同时受

到地形、地貌、地下水埋深的影响。

表 1 玛纳斯河地下水均衡动态数据

Tab. 1 Dynamic Data of Ground Water Balance in Manasi River Basin			10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>
地下水均衡动态量	1991~1995 年	1996~2000 年	
河道渗漏	10 898	14 250	
地下水侧向流补给	9 668	7 034	
渠渗	15 401	12 939	
田灌补给	2 359	3 130	
降雨入渗	214	194	
山区洪流补给	788	994	
春融水	1 450	1 450	
泉水溢出	19 585	17 000	
地下水侧向流排泄	1 565. 5	483	
潜水蒸发	4 503	5 562	
地下水开采	20 482. 5	21 341	
均衡结果	- 5 357	- 4 395	

对比 1991~1995 年、1996~2000 年这两个时间段地下水均衡各项数据的变化,河道渗漏、地下水侧向流补给、渠渗、泉水溢出、地下水开采量的变化量为影响地下水贮存量变化量的主要因素,变化量为  $3\,352\times 10^4\text{ m}^3$ 、 $-2\,634\times 10^4\text{ m}^3$ 、 $-2\,462\times 10^4\text{ m}^3$ 、 $-2\,585\times 10^4\text{ m}^3$ 、 $858.5\times 10^4\text{ m}^3$ 。所以,控制这些因素量的改变是进行地下水资源管理、保持地下水补排平衡的关键。

玛纳斯河流域地下水的河道渗漏量主要来源于河流进入冲洪积扇,垂向补给地下水。制约其补给量的因素主要来自于山口渠系引水量,山口引水会直接导致河水流入冲洪积扇绝对量的减少,间接造成地下水补给量的减少。山口渠系的修建从另一方面进行地下水的补给,但由于渠系入渗系数小,相比较于造成河道渗漏量的减少量小,地下水总的补给量相比较兴修渠系前小。地下水侧向流排泄主要受自然因素的影响,而人为因素影响很小。泉水溢出量受制于地下水补给量的变化,取决于山口引水工程与地下水开采量的大小。人类对于水资源的需求使得地下水开采量逐年增加。

### 3 水资源开发利用中的环境负效应

#### 3.1 泉流量变化

水资源开发利用引起泉水变化,泉水量的衰减是地下水系统受人类活动影响的体现<sup>[5]</sup>。玛纳斯河流域泉水资源丰富,主要集中于玛河西岸的溢出

带附近出露。

1959 年以前,玛纳斯河流域基本没有大型的山口引水工程,东岸大渠的修成使得地下水补给量在 1 年内减少了  $1.2\times 10^8\text{ m}^3$ ,打破了地下水在早期建立的均衡关系,1956~1961 年泉流量骤减了  $10\,423\times 10^4\text{ m}^3$ ,尔后地下水建立了新的平衡关系,但由于地表水径流量受气候因素与非集中地下水开采的影响,泉水量处于波动状态。1979 年石总厂水源地的建成使这种平衡关系再次被打破(图 2),大量集中的地下水开采使得泉流量由 1979 年的  $30\,884\times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$  减少到 1982 年的  $26\,994\times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$ 。玛纳斯河流域水资源开发与利用引起的环境负效应不仅反映在泉水资源量的减少上,还引起了溢出带变迁,从 20 世纪 50 年代处于海拔 440 m 高程下降到 430~420 m 处,溢出带整体向北迁移了 1 km。

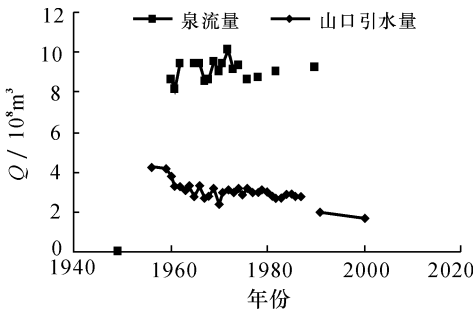


图 2 山口引水量与泉流量的变化

Fig. 2 Quantity of the Run off Leading

Away and the Altering Quantity of Spring

#### 3.2 地下水位变化

地下水位变化是水资源开发、利用引起环境负效应的一种,其变化会造成人们对于地下水利用方式的改变,同时地下水位上升或下降会直接导致水土、水盐平衡失调,造成土地荒漠化、盐渍化、生态植被退化。地下水变幅由地下水补给量、开采量和蒸发量共同决定。区域地下水位变化更多地受到人工开采量的影响,用水量大的地区集中在人口、工业、农业集中区,其农业用水占总用水量 60%~70%。随着社会发展,玛纳斯河流域地下水的大规模开发始于 20 世纪 70 年代,其后保持相对稳定的高开发量。石河子市的地下水开采在流域内具有典型性(表 2)。1970 年前,在泉水溢出带开采地下水  $0.2\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$  以下,70~80 年代开采  $(0.3\sim 0.6)\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$ ,进入 90 年代,水资源稳定开发中略有上升。

由表 1 可知,地下水均衡常年处于负均衡状态,地下水资源量持续减少,但 2 个时间段地下水

负均衡呈现减弱的趋势,这是受到 90 年代后天山北麓河流径流量增大的影响(图 3),使得地下水的补给量增加。

表 2 玛纳斯河流域石河子市地下水开采量动态

Tab. 2 Quantity of Dynamic Underground Water Digging in the City of Manasi River Basin

年份	1980	1991	1992	1993	1994	1995
开采量/ $10^4\text{ m}^3$	5 476	11 429	12 000	11 068	10 883	12 263

年份	1996	1997	1998	1999	2000
开采量/ $10^4\text{ m}^3$	11 850	12 639	11 044	10 857	12 039

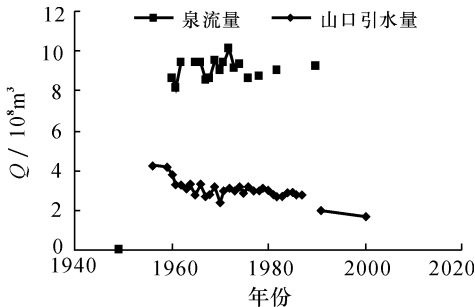


图 3 玛纳斯河各年径动态流量

Fig. 3 Quantity Change of Runoff in Manasi River

受地形地貌影响,玛纳斯河流域地下水富水性由南至北呈现弱-强-弱的变化规律,于溢出带,也就是沿玛纳斯县—石河子市一带为地下水的强富集区。沿东西向冲洪积扇轴向两翼地下水富集性逐渐减弱。人类活动集中于溢出带及溢出带以南地区,沿乌伊公路向北,开采井数量明显增多,地下水位也呈现逐年下降趋势(图 4,图 5)。

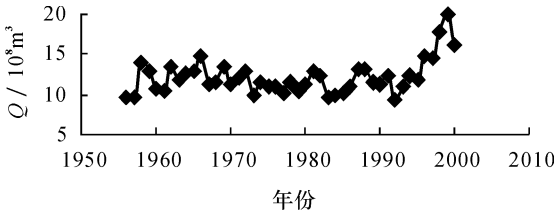


图 4 石河子市地下水降深率

Fig. 4 Rate Groundwater Altered in the City of Shihezi

3.3 土地退化与生态退化

经过 50 多年的开发治理,玛纳斯河流域已建成较完整的水资源输、配体系,开发利用率高,经济、社会发展迅速。但与此同时大面积的天然绿洲正为人工绿洲所替代,生物多样性被破坏,水分利用率降低,地下水位反差加大,不同程度地引起了土壤盐渍化与荒漠化,土壤质量下降,沙漠、绿洲同时扩大,而处于沙漠和绿洲间的自然水域、林地、草

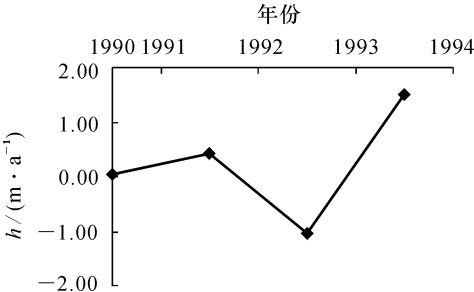


图 5 石河子市地下水累计降深

Fig. 5 Accumulative Total Depth in Shihezi

地退化。

4 结论与建议

玛纳斯河流域水资源开发利用时间较长,体系完备,利用率相对较高,但在社会发展中,各地区由于经济发展的需求,盲目开发和利用水资源,使水资源系统和环境生态系统发生变化,引起了包括地下水位下降、泉流量减小等一系列的环境负效应,生态环境脆弱。进入新世纪,玛纳斯河流域的经济建设应向着更加快速、合理、节约的方向发展,在水资源的开发利用上,应借助于合适的地下水均衡动态数据体系,定量的进行水资源的经营与利用,改造不合理地水资源输配体系,使得水资源合理开发、高效配置,保证环境、生态与人类社会协调、健康发展。

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 王文科, 杨泽元, 乔晓英, 等. 人类重大工程对格尔木冲洪积扇水资源与生态环境系统的影响研究[ J ]. 西安工程学院学报, 2001, 23( 2 ): 6 - 11.

[ 2 ] 王思敬. 论人类工程活动与地质环境的相互作用及其环境效应[ J ]. 地质灾害与环境保护, 1997, 8( 1 ): 19 - 26.

[ 3 ] 陈梦熊. 西北干旱区水文系统的演变与荒漠化[ J ]. 地球科学与环境学报, 2005, 27( 1 ): 1 - 4.

[ 4 ] 张军民. 新疆玛纳斯河流域水资源分布规律及其生态意义[ J ]. 国土开发与整治, 2001, 11( 3 ): 54 - 58.

[ 5 ] 王根绪, 曲耀光, 程国栋. 黑河流域水资源开发的环境负效应[ J ]. 国土开发与整治, 1997, 11( 4 ): 8 - 14.

[ 6 ] 邵景力, 崔亚莉, 李慈君. 玛纳斯河流域山前平原地下水资源分析及合理开发利用研究[ J ]. 干旱区地理, 2003, 26( 1 ): 6 - 11.

[ 7 ] 崔亚莉, 邵景力, 李慈君, 等. 玛纳斯河流域山前平原地下水系统分析及其模拟[ J ]. 水文地质工程地质, 2003, 30( 5 ): 18 - 22.

[ 8 ] 徐恒力. 水资源开发与保护[ M ]. 北京: 地质出版社, 2001.

[ 9 ] 钱 会, 王晓娟, 李便琴. 地下水系统平衡化学模型的研究现状及发展方向[ J ]. 地球科学与环境学报, 2005, 27( 1 ): 59 - 64.