

万家寨引黄工程太原供水区地下水资源保护

宁维亮

(山西省水资源研究所,山西 太原 030001)

摘要 在分析万家寨引黄工程太原供水区地下水开发利用现状的基础上,指出地下水超采引起的环境水文地质问题有:泉水断流;区域地下水水位下降并形成大面积降落漏斗;含水层疏干或产水量减少;由于地下水水位下降,导致地下水水质污染加重及地面沉降。提出应对供水区地下水资源加强保护,防止污染;压缩超采,划定禁采区和限采区;建立监测与管理信息系统;利用经济杠杆,全面节流,优化调配,逐步实现引黄水和本地水资源的联合运用。

关键词 地下水资源;万家寨引黄工程;太原供水区;可持续利用

中图分类号:P641.8 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2005)01-0055-03

Protection of groundwater resources in Taiyuan water supply area of Wanjiashai Yellow River Diversion Project

NING Wei-liang

(Shanxi Institute of Water Resources, Taiyuan 030001, China)

Abstract :On the basis of analyzing the current situation of groundwater development and utilization in Taiyuan water supply area of Wanjiashai YRDP(Yellow River Diversio Project), a series of environmental hydrogeologic problems caused by over-exploitation of the groundwater are revealed. It is proposed to strengthen the protection of groundwater resources, to prevent pollution, to reduce over-exploitation, to plot out areas with or without exploitation permission, and to establish a monitoring and management system. Through rational regulation of groundwater resources of water supply area, connection between Yellow River Diversion water and local water resources is established.

Key words :groundwater resources; YRDP; Taiyuan water supply area; sustainable utilization

万家寨引黄工程太原供水区的行政分区范围包括太原市的 6 区 1 市(县级市)^[1],即尖草坪区、万柏林区、杏花岭区、迎泽区、晋源区、小店区和古交市,总面积 3 000 km²。该区内集中了全市 95.2% 的城镇人口和绝大部分的大中型工业企业,国内生产总值占到太原市国内生产总值的 90.6%,在山西省、太原市的社会经济发展中占有重要地位。

根据地下水类型、含水层岩性、富水特征、水流型式、水循环条件、水化学特征等将引黄太原供水区划分为 4 个地下水系统,即晋祠泉域岩溶水系统,兰村泉域岩溶水系统,东山岩溶水系统及盆地区孔隙水系统。

1 地下水超采状况

2000 年底,万家寨引黄工程太原供水区共有水井工程 2 212 眼,其中自来水水源井 82 眼,自备井 2 130 眼。在自备井中,用于工业、城市生活的 751 眼,用于农业灌溉、农村生活的 1 379 眼。

2000 年引黄太原供水区总取水量为 43 623 万 m³,占太原市全市总取水量的 80.82%。其中地下水开采量为 38 794 万 m³,占全市地下水总取水量的 88.93%。2000 年供水区工业开采地下水 17 302 万 m³,占工业取水总量的 84.9%,城市生活开采地下水 17 509 万 m³,占城市生活取水总量的 98.4%。

作者简介:宁维亮(1961—),男,山西稷山人,高级工程师,主要从事水资源开发利用与研究工作.E-mail:Ningweiliang90@163.com

万家寨引黄工程太原供水区的 10 个调控分区中仅有 3 个区未超采,其余 7 个调控区即西张区、下元区、市中心区、化工区、北营区、兰村泉域和晋祠泉域或者开采系数大于 1.2,或者连续 10 年以上水位降速大于 1.5 m/a,泉水断流,地面沉降,水质污染,按地下水超采划分标准,均属严重超采区。7 个调控区 2000 年总超采量 10 271 万 m³,平均日超采 28.1 万 m³,整个供水区地下水开采系数为 1.28,属于严重超采状态。引黄太原供水区各调控分区超采状况见表 1。由表 1 可知,在古交山间河谷区虽然孔隙水开采系数只有 0.59,属于有潜力区,但该区属晋祠泉域的补给区,假如不开采或少开采孔隙水的话,这些水量多数将通过古交—河口段下渗补给晋祠岩溶水,故将该区视为采补基本平衡区,限制其扩大开采,以利于晋祠泉岩溶水资源的保护。

2 地下水超采引起环境水文地质问题

2.1 岩溶泉水断流

兰村泉是太原市第一岩溶大泉,20 世纪 50 年代平均流量 4.05 m³/s。1957 年兰村一水厂正式投产,建有井深为 18~32 m 的虹吸浅井 25 眼,至 1965 年产水量一直稳定在 13~15 万 m³/d,水源地 S₁ 号观测孔岩溶水位标高稳定在 814 m 以上,随着开采量迅速增加,水源地地下水位开始缓慢下降,泉水不断减少,导致冽石寒泉干枯和玄泉寺至兰村的泉群断流。到 2000 年 S₁ 号观测孔水位标高降至 786.13 m。

太原市的另一岩溶大泉晋祠泉,其泉水流量在 20 世纪 50 年代平均为 1.945 m³/s,1961 年太原化学工业公司在晋祠附近开凿 5 眼深井,开采量达 0.62 m³/s,1968 年又在开化沟口开凿 3 眼深井开采岩溶水,最大开采量 0.3 m³/s,致使晋泉流量由 1958 年的 1.98 m³/s 减少到 1971 年的 1.30 m³/s。随着泉域内岩溶水的大量开采,使得晋祠泉水流量急剧下降,由 1971 年

的 1.3 m³/s 下降到 1980 年的 0.8 m³/s,鱼沼、善利二泉断流。进入 20 世纪 80 年代以来,西山煤矿大规模开采,矿坑排水量骤增,加快了晋泉的衰减速度,泉流量 1980 年为 0.8 m³/s,至 1990 年进一步衰减为 0.3 m³/s 左右,同年 6 月下旬泉流量减少为 0.168 m³/s,难老泉 10 个分水孔中 3 孔断流。到 1994 年 4 月 30 日,千古名胜难老泉终于不堪重负,出现断流。

2.2 区域地下水水位下降

深层孔隙地下水作为引黄工程太原供水区的主要含水层,在自 20 世纪 60 年代中期至 2000 年的 30 余年间,总体上处于水位持续下降,漏斗不断扩大。1965~1975 年,为漏斗形成发展的初期,漏斗中心位于动物园一带,水位埋深 16.5 m,漏斗面积 11.2 km²。北营一带出现小范围降落漏斗,面积为 5 km²。由于地下水开采量迅猛增加,地下水降落漏斗不断扩展,至 1985 年前后北营漏斗同城区大漏斗相连,面积已达到 298 km²,并迅速向东西两侧和 B 扩展。动物园及北营一带水位年下降幅度达到 2.76~5.26 m,水位埋深分别达到 72.7 m 及 82.6 m,1986~2000 年,为控制地下水开采量过快增长,调整开采层位和布局,适当减缓漏斗发展,但地下水超采仍在持续,漏斗区中心水位下降速率为 2.5 m/a 左右。

随着地下水的大量开采,引黄工程太原供水区第二承压含水层组出现“脱顶”现象,含水层疏干,产水量大幅度减少。据典型孔资料分析,城区漏斗水位埋深由 1985 年的 50~80 m 下降到 2000 年的 80~136 m,已大大低于该含水层组的顶板埋深,出现严重的“脱顶”现象,使承压水转化为层间无压水,含水层疏干,产水量大幅度减少。

2.3 地下水污染加重

地下水污染主要发生在太原供水区盆地冲洪积平原区,该区也为“三废”集中排放区,年排放污水 2.2 亿 m³,工业废渣 500 万 t,导致地表水、地下水及

表 1 万家寨引黄工程太原供水区各调控分区超采状况

分区名称		实际年 开采量/m ³	多年平均 可开采量/m ³	超采量 /m ³	开采系数	水位下降速率 (m·a ⁻³)	2000 年水位 最大埋深/m	地下水超采 程度评价
盆地孔隙 水系统	西张区	7306	5430	1876	1.35	2.85	65.3(自来水四厂)	严重超采
	下元区	2931	1627	1304	1.80	2.56	95.2(汾河)	严重超采
	市中心区	1930	1387	543	1.39	2.50	103.1(省政府)	严重超采
	化工区	2197	1356	841	1.62	1.70	74.6(吴家堡)	严重超采
	北营区	2271	1420	851	1.60	4.50	129.5(武宿)	严重超采
	小店南区	1258	1785		0.70		24.1	有潜力
	小 计	17893	13005	5415	1.38			严重超采
岩溶裂隙 水系统	兰村泉域	14759	12614	2145	1.17	1.17	28.06(S ₁ 孔)	严重超采
	晋祠泉域	4666	1955	2711	2.39	2.04	13.28(103#井)	严重超采
	东山地区	671	12419		0.47			有潜力
	小 计	20096	15988	4856	1.26			严重超采
古交山间河谷区		805	1356		0.59		20	基本平衡
合 计		38794	30349	10271	1.28			严重超采

土壤、粮菜均受到不同程度的污染。

近年的监测资料分析表明,浅层水已遭受大面积污染,主要原因是城市生活污水、工业废水未加处理,直接排入沟渠,汇集于汾河或被直接引污灌溉。浅层地下水中主要污染指标为 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、COD、总硬度、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ 、矿化度、细菌指标等,出现大面积超标检出,沿汾河两岸形成宽约 5 km 的带状污染区。在监测井次中最大超标率为总硬度,达 60.3%,其次为矿化度超标率,为 52.1%。

虽然总体上看深层水水质尚较好,但由于严重超采,受污染的浅层水越层补给,深层水水质亦有变差的现象,其主要污染指标为 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、矿化度、总硬度、COD、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$,个别地段还有铁、锰、铅超标。在监测井次中最大超标率为总硬度,达 24.2%,其次为 SO_4^{2-} 超标率,为 17.8%。

2.4 地面沉降

万家寨引黄工程太原供水区盆地平原区的地面沉降主要是由于过量开采地下水,造成含水砂性土层自重压缩及粘性弱含水层的释水压缩所致。据 1985~2000 年 15 年间的沉降资料情况来看,沉降中心与地下水水位下降漏斗中心基本吻合。典型地段 1985~2000 年地面累积沉降情况详见表 2。

表 2 典型地段 1985~2000 年地面沉降情况

固定点 编号	位 置	沉降量/mm	沉降速率 ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$)
TC02	大同路北固碾	313	21
TC06	老军营	699	47
TC12	大南门	558	37
TC16	小店镇	481	32
TC17	太化吴家堡水厂	1117	74
TC21	高新开发区	1268	85
TC22	下元百货商场	810	54

据资料分析,显现有 3 个地面沉降中心:第一沉降中心即吴家堡—高新区沉降中心,位于亲贤地垒南侧的城南凹陷中心,中心沉降量大于 1 000 mm 的面积为 12.55 km^2 ,最大沉降量为 1 268 mm;第二沉降中心即下元沉降中心,位于城区凹陷区,九院、虎峪、玉门河洪积扇的下游地带,中心沉降量大于 800 mm 的面积为 2.3 km^2 ,最大沉降量为 810 mm;第三沉降中心即迎新街沉降中心,位于西张盆地城北凹陷区,迎新河冲洪积扇的下游地带,中心沉降量大于 300 mm 的面积为 4.8 km^2 。

地面沉降的危害性调查分析。2001 年 3 月 31 日项目组技术人员对太原市地面沉降情况进行了实地调查,所了解的情况说明供水区地面沉降及其带来的后果是非常严重的。

位于吴家堡地区的武家庄村,地处晋阳湖北坝

下,由于地面沉降,积水难以外排,致使整个村庄的新旧房屋均出现不同程度的裂缝、倾斜。经对解放前所建房屋的调查测量,估算其地面累积沉降量达 2 m 以上。

地处吴家堡沉降中心的太原化学工业公司的南屯新水源地,泵站院内有 1 眼 1972 年建凿的深井,井深 170 m,由于地面沉降,出现明显的“拔管”现象,地面可见拔管高度达 300 mm。由于地面沉降,晋阳湖的蓄水能力明显下降,进水困难,对大坝进行了 2 次加高,其中北坝加高达 2 m 多。

由于晋祠泉岩溶地下水位下降,造成圣母殿地基不均匀下沉,沉降量达 250 mm,导致圣母殿主体建筑倾斜,危及到千年文物古迹的保护,政府投资 800 多万元于 1993~1996 年对圣母殿进行了修复。

目前,地面沉降引起的各种危害已显现出来,解决问题的关键仍在于加大对地下水资源开采的监管力度,压缩地下水超采量,改善地下水环境。

3 地下水资源可持续利用策略

3.1 实现地下水资源优化调配

万家寨引黄工程通水后,将向太原供水区年供水 3.2 亿 m^3 ,为彻底扭转太原地下水超采局面,从根本上缓解太原供水区水资源紧缺和水供需矛盾提供了可靠的保障。引黄供水实现后,通过对供水区地下水资源的合理调控,逐步实施引黄水与本地水资源的联合运用,最大限度地发挥水资源利用效率。按供水区需水预测低方案,2002 年呼延水厂供水能力 40 万 m^3/d ,供水区地下水超采量由 9 314 万 m^3/a 减少为 1 340 万 m^3/a ,基本上达到采补平衡状况,到 2005 年需水增长受到有力控制,呼延水厂形成高日供水 80 万 t 的能力后,在保障需水的条件下,将地下水开采量压缩到 17 712 万 m^3 ,为可开采量的 58.4%,地下水涵养水量达到 12 367 万 m^3/a ,从而扭转地下水长期超采局面,使长期处于“透支”状态的地下水得到“休养生息”,向良性循环的方向发展。

3.2 合理划定范围,分时段逐步压缩超采

根据引黄供水区现状地下水超采状况、替代水源的逐步落实和自来水供水管网的覆盖进度,有必要对供水区地下水进行分时段调控。建议划定禁采区和限采区,分期定量压缩地下水开采量,在 2003 年引黄呼延水厂高日供水 40 万 m^3 ,均日供水 33.3 万 m^3 情况下,压缩开采量 8 330 万 m^3/a (22.8 万 m^3/d),实现盆地松散层孔隙水超采区地下水采补平衡,减少岩溶水的超采。

建议划定的禁采区主要为孔隙水严重超采的市中心调控区铁路以西及下元调控区(下转第 74 页)

在 80% 左右。在 12 h 之后 ,随着营养物质的减少 ,藻类细胞和细菌代谢活性的降低 ,剩余的正磷酸盐的浓度降低很缓慢。在 24 h 末 ,磷的去除率达到了最大。在 24 h 之后 ,由于藻类细胞和细菌对营养物质的竞争 ,营养物质的缺乏 ,部分藻类细胞和细菌死亡 ,磷的去除率缓慢下降。所以 ,藻类的吸收和细菌的同化吸收作用去除了模拟污水中大部分的磷。

从图 2 中可以看出 ,不同的小球浓度的除磷效果各不相同 ,2# 锥形瓶中的去除率最高 ,达到了 90.33% ,其他的依次是 3# ,4# ,1# ,5#。这种现象和固定化藻菌共生系统去除模拟废水中的氮相似 ,表明若小球浓度太低 ,则导致藻类细胞和细菌数量少 ,微生物生长所需的营养物质相对较少 ,模拟污水中磷的去除也较少 ,若小球浓度太高 ,就会减少光线的穿透率 ,增大了自掩蔽现象 ,从而限制藻生长和新陈代谢活动 ,导致部分藻类死亡。这样 ,藻类产生的氧气严重不足 ,使活性污泥处于厌氧状态 ,从而导致细菌不能很好地发挥作用。

模拟废水中磷的去除还有一个重要的原因 :海藻酸钙中的钙离子随 pH 值的提高形成磷酸钙沉淀。尽管载体中的钙发生了钙沉淀 ,藻菌小球在 60h 之后还是完整的 ,并没有发生藻菌的泄漏现象。这是由于固定化载体中只含有少量的海藻酸钙 ,对载体的寿命的影响较小。因此 ,小球的溶解和藻菌的泄漏现象在实验期间是很难发生的。

3 结 论

a. 反应器中模拟废水的脱氮除磷的效果与小球浓度有关 ,但是 ,氮磷的去除率并不总是随着小球浓度的增加而提高 ,最佳的小球浓度是 $V_{球} : V_{水} = 1 : 4.5$,相应的 NO_3-N 去除反应的较佳周期是 60 h ,此时 NO_3-N 去除率达到最大 ,为 76.69%。而在最佳小球浓度下 ,对应的较佳的 PO_4-P 的去除反应周期

为 24 h ,此时 PO_4-P 的去除率达到最大 ,为 90.33%。当 $V_{球} : V_{水}$ 小于 1:9 或者大于 1:2.25 时 ,氮、磷的去除率都很低 ,要想达到较佳条件下的去除效果则需要很长时间。

b. PVA 作为固定化载体对模拟污水中的氮、磷营养物质有一定的物理吸附作用。

c. 模拟污水中氮的去除分为载体物理吸附和藻菌同化吸收两种方式 ,而磷的去除可分为载体物理吸附、藻菌同化吸收和磷酸钙沉淀三种方式。

本试验研究确定的最佳小球浓度 ,在一定程度上涉及了藻细胞和细菌的数量关系 ,对光线的穿透性产生有益的影响 ,易于开发出效率高的反应器 ,使水力停留时间进一步缩 ,体系耐负荷冲击及抗抑制性大为增强 ,具有广阔的应用前景。

参考文献 :

[1] Aksu Z ,Sag Y ,Kutsal T. The biosorption of copper(II) by *Chlorella vulgaris* and *Zoogloea ramigera*[J]. *Environmental Technology* ,1992 ,13 : 579 ~ 586.
[2] 况琪军 ,谭渝云 . 活性藻系统对氮磷及有机物的去除研究 [J]. *中国环境科学* 2001 21(3) : 212 ~ 216.
[3] Gonzalez L E ,Canizares R O ,Baena S. Efficiency of ammonia and phosphorus removal from Colombian agroindustrial wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus dimorphus*[J]. *Bioresource Technology* ,1997 ,60 : 259 ~ 262.
[4] 沈韞芬 . 微型生物监测新技术[M]. 北京 : 中国建筑工业出版社 ,1990.
[5] Yan G A ,Yu J Y. Comparison of the effects of nitrogen concentration on nutrient removal ,growth and physiological characteristics of immobilized and free *Chlorella vulgaris* : I Growth and nutrient removal[J]. *Toxicological and Environmental Chemistry* ,1997 56 : 63 ~ 74.

(收稿日期 2004-04-06 编辑 :傅伟群)

(上接第 57 页) 的东部 ,总面积 72 km²(其中市中心调控区 59 km² ,下元调控区 13 km²)。在禁采区内整体关闭地下水开采 ,关闭水井 218 眼 ,压缩开采量 2577 万 m³/a。此外还划定了面积为 467 km² 的限采区 ,在该区域以内按照采补平衡原则 ,关闭部分水井。计划关闭水井 208 眼 ,压缩开采量 5723 万 m³/a。

当呼延水厂形成高日供水 80 万 m³ 的能力后 ,届时引黄供水管网控制范围可达到盆地东、西边山。在实施前一时段地下水调控的基础上 ,禁采区范围向东边山扩展 ,面积为 93 km² ,再关闭水井 113 眼 ,压缩开采量 3788 万 m³/a ,使盆地孔隙水逐步实现“采小于补” ,实现涵养水源的目的。

3.3 建立完善的地下水监测与管理信息系统

掌握地下水水位、水质、开采量信息 ,是实施地下水资源管理的基础。根据供水区地下水调控和管理的需要 ,应尽快研究并建立地下水资源监测与管理信息系统 ,建立统一的地下水水位、水量和水质监测网络 ,建立自备井井群集中监控系统^[1] ,做到准确地掌握地下水的变化动态 ,及时作出预报 ,不断完善地下水开发利用方案。

参考文献 :

[1] 薛凤海 ,武桂梅 ,李砚阁 ,等 . 太原市地下水合理利用与调控[M]. 郑州 : 黄河水利出版社 ,2000.5 ~ 6.

(收稿日期 2003-10-17 编辑 :傅伟群)