

郑州沿黄区地下水资源开发利用

邓晓颖^{1,2}

(1. 河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队, 河南 郑州 450053; 2. 河南省郑州地质工程勘察院, 河南 郑州 450053)

摘要 :为实现郑州沿黄区地下水资源可持续开发利用,避免或减少地下水水源地集中开采对区域生态地质环境产生不利影响,对区内地下水位、水质、开采量等环境地质条件进行了近 10 年的连续监测。利用实测、遥感解译、水均衡及数值模拟计算等方法,重新计算验证了各项水文地质参数,对水源地的允许开采量进行了复核性开采验证。研究结果表明,地下水水源地开采不会对黄河大堤稳定性及黄河河道造成大的影响,小浪底水库运行后,造成水源地水位降深增加了 1.5 m,但黄河的补给量基本未变,河道北移在 800 m 以内时对水源地的影响不大。针对水源地范围内存在农渔业用水模式的改变及对地下水的无序开发问题,提出了应加强对水源地的立法保护,采取地表水、地下水联合调度和“采补调蓄”措施,是实现沿黄地下水资源可持续开发与生态环境和谐的关键。

关键词 地下水开采 动态监测 环境问题 黄河

中图分类号 :TV213.9 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2010)01-0044-05

Study on development and utilization of groundwater resources along Yellow River in Zhengzhou

DENG Xiao-ying^{1,2}

(1. Second Hydrogeological and Engineering Geological Brigade, Bureau of Geoexploration and Mineral Development of Henan Province, Zhengzhou 450053, China; 2. Zhengzhou Institute of Geology and Engineering Exploration of Henan Province, Zhengzhou 450053, China)

Abstract :In order to realize the development and utilization of groundwater resources along the Yellow River, and to avoid or reduce the harmful effects of centralized exploitation on the ecological and geological environment, ten years of continuous monitoring of the water table, groundwater quality, groundwater yield and some other changes in environmental geology was carried out in the study area. The hydrogeological parameters were recalculated and the safe groundwater yield in the groundwater source area was verified with the methods of surveying, remote sensing interpretation, and water balance and numerical modeling. The results indicated that the exploitation of underground sources had little influence on the stability of the Yellow River embankment; the groundwater showed a 1.5 m drawdown in the groundwater source area after the operation of the Xiaolangdi dam began, but the recharge of the Yellow River showed no change; and the northward movement of the river within 800 m had little influence on the groundwater source area. Due to the changing modes of water utilization of agriculture and fisheries and the problems of disorderly exploitation of groundwater, the legislation protection of the groundwater source area should be enhanced, and joint planning for groundwater and surface water, adoption of exploitation, supplements, and regulation of water resources are the key ways to realize harmonious eco-environmental and sustainable exploitation of groundwater resources.

Key words :groundwater exploitation; dynamic monitoring; environmental problems; Yellow River

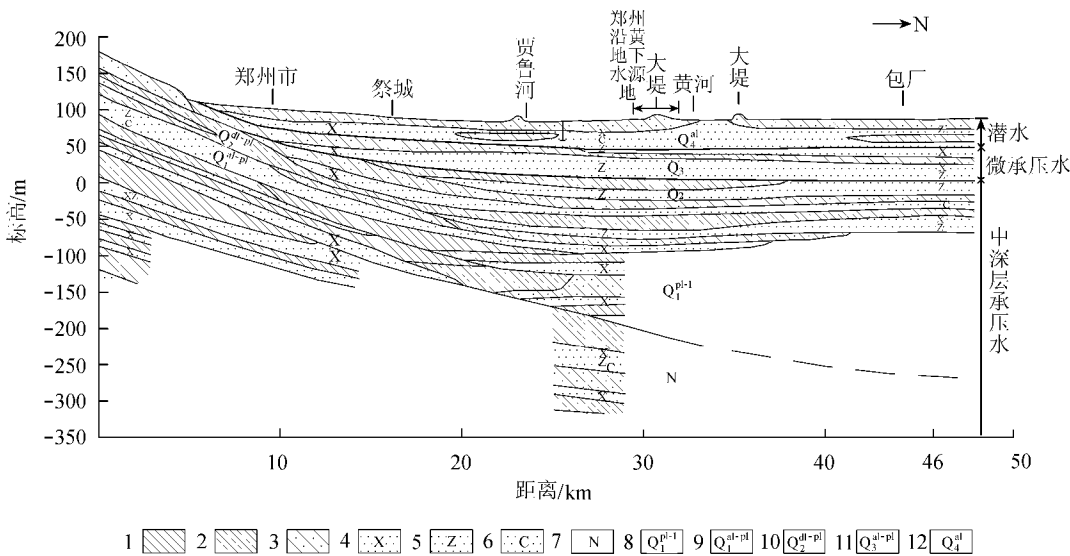
基金项目 河南省计划委员会项目(1996133)
作者简介 邓晓颖(1972—)男,河南淮阳人,高级工程师,从事水文地质、工程地质及环境地质工作。E-mail: dxxy106@163.com

由于郑州以下黄河河床高出两岸平原区,自古以来人们习惯于自流引水的供水方式。郑州市自1970年开始兴建引黄供水工程,分别于1972年、1978年先后建成邙山提灌站和花园口提灌站,成为郑州市城市用水的主要水源。然而,黄河下游自20世纪70年代以后,多次发生断流,黄河水量的减少趋势和水质污染问题日益突出,加之黄河水泥沙含量高,其水质净化工艺复杂,沉淀和清淤费用高。基于以黄河水作为水源的诸多弊端,地下水供给越来越受到人们的重视。20世纪90年代初,郑州市开始在郑州市北郊黄河影响带勘探、建设以开采浅层地下水为主的特大型集中供水水源地。为合理开发地下水资源,减少开采地下水给环境带来的消极影响,及时有效地保护地质和生态环境,维护黄河大堤安全,实现地下水资源可持续开发利用,开展了郑州市北郊沿黄区地下水动态及环境地质监测工作,监测工作贯穿水源地建设、开采运行的全过程,历时近10年,获得了丰富的实测资料。

1 研究区地质环境

研究区地势西高东低,西临邙山黄土台塬区,北部被黄河横贯全区,东部和南部为黄河泛滥平原区,具有黄河冲积地貌形态及悬河人工约束地貌系统,主要分布有河漫滩、黄河大堤、临背河洼地及堤外平原。研究区内广泛分布稻田及鱼塘,人类活动频繁。地下水水源地位于黄河冲积扇顶部南翼,在黄河粗粒相带和黄河侧渗影响带之内,浅层地下水资源极为丰富。根据地下水埋藏条件和水力性质,区内松散岩类孔隙水(350 m深度范围内)可分为浅层含水

层组(潜水~微承压水上段、下段)和中深层承压含水层组(图1)。浅层含水层组底板埋深一般为60~75 m左右,上部浅层潜水含水层为全新统冲积粉土、粉细砂。下部浅层微承压水含水层主要由上更新统冲积的粉砂、细砂、中砂组成,厚度一般为35~50 m,在埋深33~42 m处有1层2~5 m厚的粉土,将浅层微承压水含水层分为上、下两段,造成二者之间有0.3~1 m的静水位差,部分地段粉土层缺失,上下段含水砂层相接,二者基本形成统一水位。浅层地下水主要接受黄河侧渗、降水入渗及灌溉回渗为主,排泄以蒸发和开采为主。天然状况下地下水水位埋深为1~3 m,受人工开采影响,形成大小不等的区域性季节性降落漏斗。浅层地下水化学类型自北向南具有明显的水平分带,由近黄河地带的 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Mg}$ 型向南逐渐变为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 或 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型,溶解性总固体有明显增大趋势。浅层地下水中,除原生的铁、锰离子浓度稍高外,水质总体良好。中深层承压含水层组(150~350 m)主要由第四系下更新统和部分新近系松散堆积物组成,岩性主要为细砂、中细砂,含水砂层累计厚度65~75 m,中深层地下水以侧向径流补给为主,与上部浅层含水层组联系不密切,补给条件较差。天然状况下地下水水位埋深一般为12~16 m,水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Mg}$ 型,溶解性总固体小于1000 mg/L,水质良好。中深层承压含水层组是沿黄地下水源地的辅助水源,浅层微承压含水层组下段是郑州沿黄地下水源地的主要取水目的层,也是监测研究对象。



1—黏土 2—亚黏土 3—亚砂土 4—细砂 5—中砂 6—粗砂 7—新近系 8—下更新统洪、湖积层 9—下更新统冲洪积层; 10—中更新统波洪积层 11—上更新统洪、冲积层 12—全新统冲积层

图1 郑州市沿黄区水文地质剖面

2 研究区地下水开发利用历史与现状

研究区地下水的开发利用主要始于 20 世纪 60 年代中期,伴随着开挖鱼塘、旱地改稻田,开始钻凿机井开采利用地下水,把井灌与原来单一的引黄灌溉相结合。1998 年之后,当地受经济利益的驱动,渔业开发呈逐年增加趋势。农业及渔业开采地下水一般集中在每年的 4~9 月份,主要为季节性开采。其中农业及生活用水开采量平均 8.8 万 m³/d,渔业地下水平均开采量由 1997 年的 20 万 m³/d 增大到 2003 年 33 万 m³/d,主要开采利用浅层的潜水及微承压含水层上段的混合水。

城市集中供水水源地分布在黄河大堤两侧,水源地一期工程 1998 年正式开采,2004 年 7 月水源地开采井全部建成。开采井 118 眼,其中浅层开采井 98 眼,中深层开采井 20 眼,供水能力达 36.92 万 m³/d(含中深层地下水 4.0 万 m³/d)。实际上 2000~2004 年平均开采量 8.5 万 m³/d,最大开采量 16.50 万 m³/d,尚未达到满负荷运行的设计开采量。

3 监测布置

3.1 监测区范围确定

地下水监测范围的确定以控制水源地边界和地下水的补给、径流、排泄条件以及可能出现环境地质问题的地带为目的。监测范围西起邙山隔水边界,东至中牟县万滩—刘集乡王庄一线,北至黄河补给边界,南为黄河影响带范围,距黄河大堤 8~12 km,监测面积约 400 km²。

3.2 监测网点布设

监测网点的布设充分利用水源地勘探期间的长期观测孔点,以实现监测资料的连续和减少钻探工作量。在平面上分别布设垂直黄河和平行黄河的观测线,自水源地集中开采区向外围观测点由密至疏,

平行于黄河方向的观测线距离 1 000~2 500 m,垂直于黄河方向的观测线距离 3 000 m 左右(图 2)。在典型地段的垂向上布设浅层潜水、浅层微承压水上段、浅层微承压水下段观测孔,以了解浅层地下水三维流动特征。在鱼塘分布区、纳污河道附近等地段布设浅层潜水观测孔,以了解地下水开采对鱼塘渗漏的影响及浅层地下水的污染问题。

3.3 监测内容及工作手段

3.3.1 地下水动态观测

地下水动态观测是研究地下水开采动态变化规律、划分地下水动态类型、计算水均衡参数、进行地下水动态趋势预报等的基础工作,观测孔布设、水位观测频率、要求及方法、观测孔结构与施工等按现行规范 CJJ/T 76—1998《城市地下水动态观测规程》执行。地下水观测主要以人工为主,配备有少量自动记录装置。

3.3.2 水质采样及化验

水质采样工作是反映地下水真实情况的关键环节。为了提高采样质量,专门对作业人员进行采样工作培训,参照《水样的采取、保存与送检规程》(试行)统一技术要求和方法,采样容器专项使用,并按分析项目要求不同(如加酸、加碱样水等)分类使用。水质全分析、简分析、微生物分析及专项分析等全部由国家计量认证合格单位承担。

3.3.3 环境水文地质调查

环境水文地质调查是在充分利用原有成果的基础上,进行有针对性的复核性测绘,对监测区黄河河道冲淤演变、浅层土体岩性、黄河湿地、农业灌溉及鱼塘开采量和回渗量等开展调查。特别针对区内鱼塘分布广泛且年际变化大,人为调查不易整体控制的实际情况,利用中国科学院中国遥感卫星地面站提供的高分辨率(分辨率 15 m)的彩色合成图像进行解译监测控制。选择时段一般为鱼塘每年开始蓄水

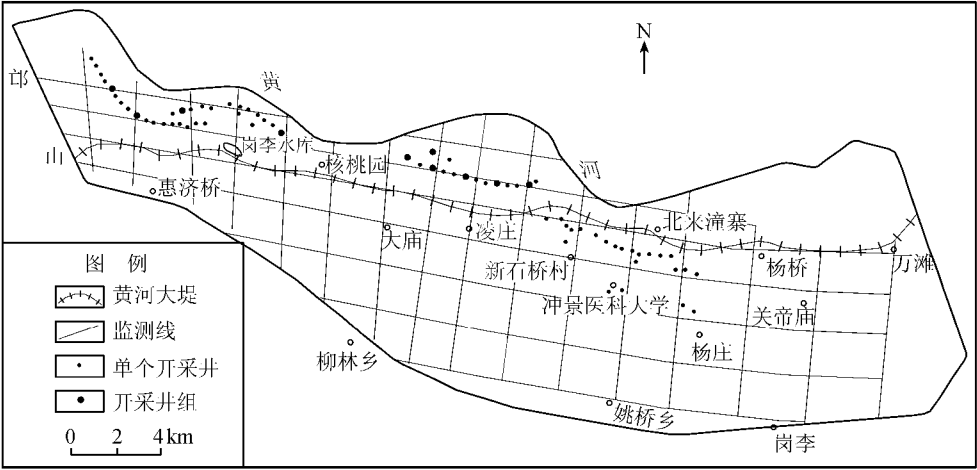


图 2 监测网平面布置

的 4~5 月份,反映的鱼塘界限清晰,可解程度高。通过比例尺换算统计鱼塘面积,结合实际鱼塘用水时段调查,较好地解决了渔业用水量不易控制的难题。此外,对长期观测孔坐标、高程进行了工程控制测量,充分收集了区内大量的气象、水文等资料。

3.3.4 黄河大堤沉降监测

黄河大堤沉降监测由河南黄河勘测工程处承担。在黄河大堤上布设 88 个沉降标识,监测工作从 1999 年 5 月开始到 2001 年 8 月结束,对黄河堤防工程附近地下水水位变化及沉降情况进行了全面监测。

4 主要成果及认识

4.1 地下水允许开采量验证

根据研究区水源地连续多年的开采动态资料,对区内各类水文地质参数进行了复核验证,利用水均衡法及国际上先进的三维可视化地下水模拟软件 FEFLOW 进行数值模拟计算,利用长达 8 a 的高频率(每 5 d 间隔)监测资料进行模型校正与检验,重新计算了水源地浅层地下水补给资源和允许开采量,并与原勘探报告进行了对比分析,证明了郑州沿黄区地下水水源地的浅层地下水允许开采量是有保证的,达到水源地勘查 A 级精度要求。

4.2 地下水动态演化趋势

将水源地初勘阶段、勘探阶段、施工建设及开采运行期间长达 28 a 的地下水水位、水质监测资料叠加贯穿在一起,研究了现状开采条件下的地下水场特征及其演化趋势。监测区地下水动态变化主要受开采、黄河及气象因素制约,自 1978 年以来,随着地下水开采量的逐年增加,监测区地下水水位年均下降 0.10 m,可见,水源地开采区地下水水位升降与开采量密切相关。沿黄区浅层地下水水化学类型主要以重碳酸型为主,1978 年以来溶解性总固体(TDS)值有所升高。污灌区等局部地带水化学类型趋于复杂。利用概率统计模型进行水源地水质预测,结果表明,浅层地下水(主要为上部潜水及微承压上段水)中 TDS 值出现在大于 1 100 mg/L 区间上的概率呈上升趋势, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、硝酸盐及总硬度等的浓度有逐年增高趋势。水源地开采以来,生产井的水化学成分、主要离子浓度未发现有明显变化,基本处于稳定状态^[1,2]。

4.3 河道变化对水源地地下水位的影响

郑州沿黄地下水源地开采量的 70% 以上来自黄河侧渗补给,而黄河郑州段河床冲淤变化较为频繁。研究黄河河道变化对沿岸傍河水源地的影响意义重大^[3]。应用 Visual MODFLOW 三维地下水模拟软件分别对黄河向北滚动、河床淤积上升及河床冲

刷下切 3 种情况对水源地的影响进行模拟预测,结果表明:①随着河道北移,水源地的地下水水位在下降,当河道北移距离控制在 800 m 以内时,对水源地影响不大,漏斗中心水位降幅约为 0.64 m,但当河道北移距离较大时,对水源地影响很大,当北移 1 500 m 时,水源地地下水水位降幅达 3 m 以上。②随着黄河水位的升降,滩区内地下水水位也跟着升降,但地下水变化幅度略小于黄河河水的变化幅度,黄河水位每升降 0.5 m,地下水位随之升降 0.41 m。

4.4 小浪底水库运行对水源地的影响

1999 年 10 月小浪底水库运行后,黄河花园口大断面一直处于冲刷下切状态^[4]。据花园口水文站资料分析可知,同流量下(520 m³/s)黄河水位在降低,水位标高从 2000 年 7 月到 2004 年 7 月的 4 年间,水位下降了 1.36 m,年平均下降 0.34 m。河槽降低引起黄河补给地下水的补给基准面随之降低,黄河两侧地下水水位下降,降幅一般为 0.5~2.0 m。黄河水位的降低导致水源地降深增加,至 2004 年,水源地受黄河水位降低的影响,地下水水位降深增加了约 1.50 m。由于地下水水力坡度不会降低,黄河对地下水的补给量基本不变。此外,由于小浪底水库运行后,维持了合理流量,水源地运行安全性得到了提高^[4]。

4.5 水源地开采对黄河大堤的影响

研究区黄河大堤一线 40 m 深度范围内地层岩性为晚更新世以来沉积的松散中细砂、中砂、细砂和松软的淤泥质土、粉土等。依据河南黄河勘测工程处提交的沉降监测成果、水位观测资料、地层结构及土层物理力学指标等,结合水源地动态监测资料,对水源地开采以来引起大堤不同位置地下水水位的变化情况,根据太沙基(Terzaghi)一维固结理论,对位于黄河南岸的郑州沿黄水源地范围内浅层地下水集中开采造成黄河大堤的沉降量进行了理论计算,结果与实测沉降量基本一致。根据水源地满负荷开采 5 a 时的稳定流场进行沉降预测,利用分层总和法计算的沿黄河大堤不同地段最终沉降量为 13.56~23.06 cm,利用已有的黄河大堤沉降实测资料,按照单位变形量法推算的沿黄河大堤不同地段最终沉降量为 15~23.9 cm 之间^[5]。由于大堤为非刚性体,且地面下沉的过程极其缓慢,故一般情况下,不会造成大堤的突发性毁坏^[6]。此外,由于黄河大堤附近地下水水位降低,提高了大堤下伏淤泥质土的强度,起到消除或减轻地震液化灾害的作用,对大堤稳定有利。

4.6 水源地开采对黄河河道的影响

郑州沿黄水源地的开采主要来自黄河水侧渗补给,水源地开采引起黄河水侧渗增量约占黄河花园

口站多年平均流量(1 447 m³/s)的 0.13% ,年平均最小流量 764.2 m³/s(1991 年)的 0.24% ,因此开采地下水不会对黄河径流量产生大的影响。此外 ,黄河含沙量居世界首位 ,开采地下水是否会引起黄河水中的悬浮物沉积淤塞河道、影响河床透水性和补给量的问题自然受到人们的关注。按水源地设计供水能力 33 万 m³/d 计 ,以黄河水平均含沙量 30 kg/m³计(据花园口水文站资料) ,每年由于抽取地下水而增加的泥沙淤积量为 253 万 t ,与花园口站年均 11.6 亿 t 输沙量相比 ,其影响甚微 ,对该段泥沙淤积量的改变是非常微小的^[7] ,因此 ,开采地下水不会对黄河径流量及其透水性、补给量产生大的影响。

4.7 水源地面临的主要问题

郑州沿黄区地下水水源地的允许开采量是基于当时勘探期的水文地质条件提出的 ,如今 10 多年过去了 ,区内环境地质条件发生了巨大变化 ,农渔业用水方式也发生了改变 ,使得引黄灌溉量大幅度减少。特别是渔业大规模无序开采地下水 ,给水源地带来很大影响 ,同时产生了城乡供水矛盾(尽管农渔业和城市供水的开采层位不完全相同) ,也暴露出现阶段对水源地立法保护不够。作为城市的集中供水地下水水源地 ,应严禁其他用水户的无序开发。下一步需要政府积极引导 ,恢复引黄淤灌、鱼塘改稻田等措施 ,对地表水、地下水联合调度 ,进行系统、科学、统一的规划 ,加强对地下水水源地的保护。

5 结 语

a. 郑州沿黄地下水水源地的建设 ,增大了城市集中供水量中地下水的比重 ,提高了城市供水的安全可靠程度 ,尤其是当黄河突发性水污染事件发生

而影响正常供水时 ,应急能力将得到明显的增强 ,其社会、经济效益十分显著。

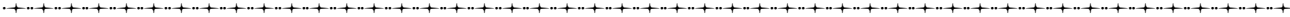
b. 针对沿黄地下水水源地尚未满负荷投入使用 ,应循环启用开采井 ,保持经常性抽水 ,以避免因长期闲置而造成滤水管堵塞 ,降低出水量。此外 ,中深层开采井由于其补给能力较差 ,宜作为应急(备用)水源使用。

c. 继续进行地下水动态监测 ,加强对水源地的立法保护 ,做好水源地及近邻地区的水污染防治工作 ,是实现水资源可持续利用的重要基础。采取‘采补调蓄’措施 ,进行系统、科学、统一的规划 ,是实现地下水资源可持续开发与生态环境和谐统一的关键。

参考文献：

[1] 邓晓颖 ,贾杰华 ,牛树敏 ,等 . 郑州沿黄区浅层地下水水质演化趋势分析[J]. 人民黄河 , 2006 , 28(7) : 78-79 .
[2] 田秋菊 ,唐仲华 ,邓晓颖 ,等 . 黄河下游岸边浅层地下水环境演化研究[J]. 人民黄河 , 2007 , 29(4) : 30-31 .
[3] 刘礼领 ,焦红军 ,邓晓颖 ,等 . 黄河河南段河道变迁对傍河水源地的影响[J]. 人民黄河 , 2007 , 29(6) : 28-30 .
[4] 王利 ,焦红军 ,侯怀仁 ,等 . 小浪底运行后黄河下游影响带地下水变化分析[J]. 人民黄河 , 2007 , 29(8) : 31-32 .
[5] 邓晓颖 ,贾杰华 ,宋会香 ,等 . 浅层地下水集中开采对黄河大堤稳定性的影响[J]. 人民黄河 , 2006 , 28(4) : 44-45 .
[6] 林学钰 ,廖资生 ,石钦周 . 黄河下游傍河开采地下水研究 ,以郑州—开封间黄河段为例[J] , 吉林大学学报 : 地球科学版 , 2003 , 33(4) : 495-502 .
[7] 钱云平 ,刘志宏 ,黄彦林 . 郑州北郊地下水源地傍河取水对区域环境的影响分析[J]. 地下水 , 1997 , 19(3) : 110-111 .

(收稿日期 2009-01-30 编辑 高渭文)



(上接第 43 页)

参考文献：

[1] 翟淑华 ,张红举 ,胡维平 ,等 . 引江济太调水效果评估[J]. 中国水利 , 2008(1) : 21-23 .
[2] 吴浩云 ,胡艳 . 引江济太调水试验工程对黄浦江上游水环境的影响分析[J]. 河海大学学报 : 自然科学版 , 2005 , 33(2) : 144-147 .
[3] 水利部太湖流域管理局 . 引江济太为太湖流域水安全提供保障[J]. 中国水利 , 2008(1) : 3-7 .
[4] 高怡 ,毛新伟 ,徐卫东 . “ 引江济太 ” 工程对太湖及周边地区的影响分析[J]. 水文 , 2006 , 26(1) : 92-94 .

[5] 吴浩云 . 引江济太调水试验的实践与启示[J]. 中国水利 , 2004(5) : 45-47 .
[6] 水利部太湖流域管理局、太湖流域引江济太办公室 . 引江济太调水试验关键技术研究总报告[R]. 上海 : 太湖流域管理局 , 2007 .
[7] 国家发展与改革委员会 . 太湖流域水环境综合治理总体方案[R]. 北京 : 国家发展与改革委员会 , 2008 .
[8] 水利部太湖流域管理局 ,江苏省水利厅 ,江苏省环境保护厅 . 引江济太应急调水改善太湖水源地水质效果分析[J]. 中国水利 , 2007(17) : 1-2 .
[9] 贾锁宝 ,迎华 ,王嵘 . 引江济太对不同水域氮磷浓度的影响[J]. 水资源保护 , 2008 , 24(3) : 53-56 .

(收稿日期 2008-08-27 编辑 高渭文)