



# 庄里水库建设对地下水水位的影响

史启朋<sup>1</sup>, 王博伦<sup>1</sup>, 王强<sup>2</sup>, 张飞<sup>1</sup>, 丁喜莲<sup>2</sup>

(1. 山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 兖州 272100; 2. 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013)

**摘要:**庄里水库位于羊庄盆地水文地质单元内, 水库建设将使地下水补径排条件和流场发生改变, 根据羊庄盆地水文地质条件、地下水开发利用状况, 采用 Visual Modflow 4.1 软件, 建立地下水水流模型, 模拟庄里水库建成后对地下水水位和流场的影响, 提出地下水水源保护措施。

**关键词:**水库建设; 羊庄盆地; 地下水流场; 山东滕州

**中图分类号:**TV62

**文献标识码:**B

拟建庄里水库位于滕州市羊庄镇和山亭区山城街道办事处境内, 水库工程规模为Ⅱ型, 总库容 1.329 6 亿  $\text{m}^3$ , 兴利库容 0.8 亿  $\text{m}^3$ , 正常蓄水位 114.56 m。主要建筑工程由大坝、溢洪道、溢洪闸、放水洞、水电站和管理区等部分组成。水库大坝长 3124 m, 最大坝高 33.64 m。坝基及左右坝肩采用帷幕灌浆, 进行防渗处理, 灌浆深度为 40 m。庄里水库建成后向鲁南煤化工基地多年平均供水 2174.4 万  $\text{m}^3$ , 灌溉农田 3300 余公顷, 多年平均农灌供水 765.2 万  $\text{m}^3$ 。

## 1 水文地质条件

庄里水库位于邹城-枣庄单斜断陷水文地质亚区羊庄盆地水文地质小区的中西部<sup>[1]</sup>, 羊庄盆地是一个较为封闭的岩溶蓄水盆地, 只有西南部有一狭窄低洼地段, 成为整个盆地地下水的唯一出口。富水地段主要分布于滕州市的后石湾、羊庄、魏庄、东于、西石楼—南宿、龙山头和山亭区后南庄一带, 单位涌水量大于 1000  $\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$ 。大气降水是地下水的主要补给来源, 其次是河流、水库的渗漏和灌溉水的回渗补给。地下水总体由东北向西南径流, 具有统一的潜水—微承压水面和统一的地下水动力场。岩溶水在运动过程中, 与地表水存在多次转化和互补互排的密切联系, 随着季节的不同, 其转化形式也

有所不同; 岩溶水的排泄方式主要是人工开采和自然排泄, 人工开采集中在魏庄、羊庄、后石湾及西石楼等供水水源地, 主要用于工业供水、城区生活用水和农业灌溉、人畜生活用水; 自然排泄途径为新薛河基流、魏庄泉群溢出及地下水侧向径流。羊庄盆地由长龙断裂和曹王墓断裂将其分割成 3 个断块: 即辛召断块、山亭断块和羊庄断块<sup>①</sup>。库区位于山亭断块西南部, 水库附近主要为中、晚寒武世碳酸盐岩类夹碎屑岩类岩溶裂隙含水岩组, 单位涌水量小于 10  $\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$  或 10~100  $\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$ (图 1)。

## 2 地下水资源及开发利用状况

### 2.1 地下水资源概况

从 1981 年至今, 羊庄盆地已持续进行了 30 多年的岩溶水勘探评价、均衡试验、增源增采、水源地保护区划分、水资源论证和规划等工作, 地下水资源研究程度较高, 根据以往资料, 羊庄盆地内岩溶水补给资源量为 26.00 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 储存量为 7.95 亿  $\text{m}^3$ , 开采资源量为 26.00 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 近年开采量为 16.83 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 剩余开采量为 9.17 万  $\text{m}^3/\text{d}$ <sup>[2]②</sup>。

### 2.2 地下水开发利用现状

据调查统计, 羊庄盆地地下水开采总量为 16.83

\* 收稿日期: 2012-03-28; 修订日期: 2012-07-04; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 史启朋(1979—), 男, 陕西兴平人, 工程师, 主要从事水文地质工作; E-mail: shiqipeng@163.com。

①山东省第三水文地质工程地质大队, 吴爱民、李传谟、文唐章等, 山东省羊庄盆地岩溶水均衡试验报告, 1988 年。

②山东省水利科学研究院, 陈学群、黄继文、林琳等, 滕州市城乡一体化饮水工程水资源论证报告, 2011 年。

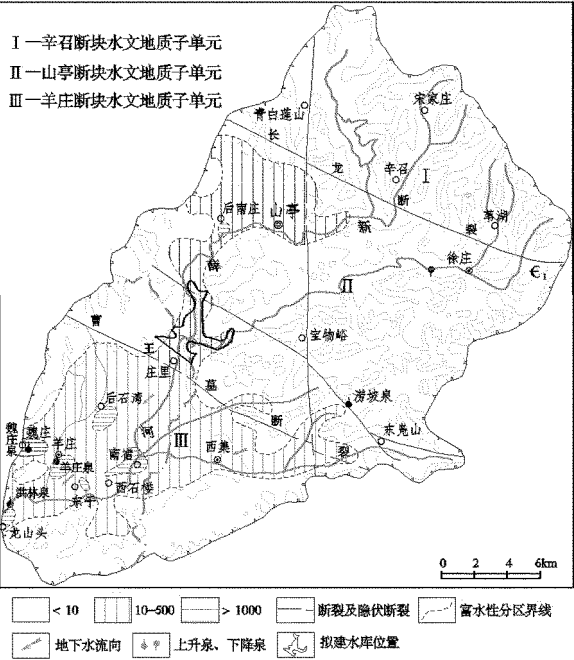


图 1 羊庄盆地水文地质略图

万 m<sup>3</sup>/d,其中羊庄和山亭断块开采 15.48 万 m<sup>3</sup>/d,辛召断块开采 1.35 万 m<sup>3</sup>/d。

羊庄和山亭断块内滕州市、山亭城区生活供水开采量 3.86 万 m<sup>3</sup>/d;兖矿鲁南化肥厂、华润纸业等工业用水开采量 5.75 万 m<sup>3</sup>/d;农村人畜生活用水 1.49 万 m<sup>3</sup>/d,农业灌溉用水 4.38 万 m<sup>3</sup>/d。

辛召断块农业灌溉和农村人畜生活用水量分别为 1.13 万 m<sup>3</sup>/d 和 0.22 万 m<sup>3</sup>/d。

2.3 水环境质量状况

据 2010 年羊庄盆地内地下水水质和庄里水库大坝附近庄里橡胶坝断面处地表水水质资料,全区地下水的理化指标和毒理指标均符合地下水Ⅲ类水质标准。新薛河庄里橡胶坝断面 5 月水质为Ⅱ类;8 月水质为Ⅱ类;11 月水质为Ⅲ类,全年水质在Ⅲ类以上,地表水水环境质量较好。

3 库区渗漏量及地下水水力联系分析

3.1 库区岩土层渗透性评价

(1)土体渗透性:拟选库区粘性土主要位于河道两侧或山间谷地,分布不连续,渗透系数  $5.26 \times 10^{-4} \sim 4.03 \times 10^{-7}$  cm/s<sup>①</sup>。

(2)岩体渗透性:该区主要分布炒米店组碳酸盐岩与非碳酸盐岩互层,地表岩溶裂隙发育,岩石渗透系数大,向下岩石逐渐完整,渗透系数值变小。寒武

纪炒米店组长山第二—第五层灰岩除局部具中等透水性外,一般具微—弱透水性,平均渗透系数为  $0.88 \times 10^{-4}$  cm/s,厚度 48.9~53.3 m,可视该区相对隔水层<sup>②</sup>。

3.2 水库渗漏量评价

拟建库区渗漏方式主要有 3 种:坝基渗漏、西库岸渗漏和坝肩渗漏。坝基分为第四纪粘土、寒武纪灰岩双层结构和寒武纪灰岩单层结构 2 种情况,西库岸(包括西坝肩)和东坝肩均为寒武纪灰岩。水库未防渗情况下,渗漏量结果见表 1。

表 1 庄里水库未防渗渗漏量估算结果

渗漏部位	长度(m)	宽度(m)	渗漏量(m <sup>3</sup> /d)
坝基	双层结构	2150	259.84
	单层结构	1660	259.84
西库岸	3000	2000.00	2666.50
东坝肩	1500	120.00	1966.07
合计	7810		21417.85

在设置截渗帷幕深度为 40 m 的情况下,每年的渗入量为 154.23 万 m<sup>3</sup>,满足渗透稳定要求。库岸和坝肩在采用帷幕灌浆处理后渗漏量明显减少<sup>③</sup>,可忽略不计。

3.3 库区与下游地区地下水水力联系

库区位于山亭断块西南部,处于羊庄盆地岩溶水系统的补给径流区,以曹王墓断裂为界,下游为羊庄盆地羊庄断块,为整个羊庄盆地的汇水、排泄区,分布有羊庄、西石楼、后石湾等 5 处城市生活及工业用水水源地。曹王墓断裂为一导水断裂,其上、下游地区,2011 年 8 月地下水水力梯度为 0.008,据断裂两侧 29 和 30 号钻孔抽水试验资料,两孔导水系数平均值为 256.38 m<sup>2</sup>/d,断裂处每千米断面长度地下水径流量为 2 102.3 m<sup>3</sup>/d。因此,库区与下游地区地下水水力联系密切。水库大坝附近主要含水层顶底板埋深 48.62~192.90 m,水库坝基帷幕灌浆截渗深度为 40 m,不会对地下主要含水层造成影响。

① 山东省地矿工程集团有限公司,万继涛、曲华峰、胡彩萍等,山东省枣庄市庄里水库坝址区工程地质勘察,2007 年。  
② 山东省水利勘测设计院,邓继昌、赵正国、满宗福等,山东省枣庄市庄里水库工程地质勘察报告,2009 年。  
③ 山东省水利勘测设计院,赵敏敏、冯庆刚等,山东省庄里水库工程可行性研究报告,2010 年。

4 水库建设对地下水水位的影响

水库位于山亭断块内,水库建设将引起水库附近和下游羊庄断块地下水水位变化,采用 Visual Modflow4.1 软件,模拟水库建设对地下水水位和流场的影响,模拟范围为羊庄盆地山亭和羊庄断块,面积为 517 km<sup>2</sup>。

4.1 水文地质条件概化

模拟区边界以山亭和羊庄断块相对边界为界,东北长龙断裂为导水边界。地下水为岩溶潜水—微承压水,含水层自由水面为系统的上边界,通过该边界,潜水与系统外发生垂向交换。含水层大多集中在埋深 220 m 以上,其下岩溶发育微弱,几乎无水,下边界概化为 150 m 标高(埋深 220 m),为隔水边界。因此,模拟区岩溶水渗流可概化为第二类边界和潜水—微承压水的二维非稳定流问题。

模拟期间降水量采用 1956—2010 年平均降水量,农田灌溉回渗量和新薛河渗漏补给量取多年统计或实测均值;多年月平均地下水水位埋深大于潜水蒸发极限,蒸发量按零处理;农业、河流、各水源地及泉水开采或排泄量,取多年统计或实测均值。

4.2 地下水流动数学模型建立及求解

(1)模型建立

根据模拟区水文地质特征,将岩溶含水层概化为非均质各向异性、具不规则二类边界的平面二维非稳定地下水流动模型。用偏微分方程来表示:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ K_{xx} [H - Z(x,y)] \frac{\partial H}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ K_{yy} [H - Z(x,y)] \frac{\partial H}{\partial y} \right\} - \epsilon \\ = \mu \frac{\partial H}{\partial t} & (x,y) \in \Omega, t > t_0 \\ H(x,y) |_{t=t_0} = H_0(x,y) & (x,y) \in \Omega \\ \frac{\partial H}{\partial n} |_{\Gamma_{21}} = 0 & (x,y) \in \Gamma_{21}, t > t_0 \\ K_n \frac{\partial H}{\partial n} |_{\Gamma_{22}} = q(x,y) & (x,y) \in \Gamma_{22}, t > t_0 \end{cases}$$

式中:Ω—渗流区域;H—地下水系统的水位标高(m);K<sub>xx</sub>,K<sub>yy</sub>—含水层在渗透主方向上的渗透系数(m/d);ε—含水层的源汇项(m/d);H<sub>0</sub>—初始流场(m);μ—储水系数(给水度,无量纲);Γ<sub>21</sub>—二类零流量边界;Γ<sub>22</sub>—二类已知流量边界;K<sub>n</sub>—二类已知流量边界法向方向的渗透系数(m/d),n—边界面的

法线方向; $\frac{\partial H}{\partial n}$ —H 沿外法线方向 n 的导数(无量纲);q—Γ<sub>22</sub> 边界单位宽度上的流量(m<sup>2</sup>/d),流入为正,流出为负,隔水边界为 0;Z(x,y)—含水层底板高程。

(2)模型求解

模型求解采用数值法的有限差分法,求解上述数学模型时,首先对整个区域模型采用 200 m×200 m 的矩形网格剖分,然后对每个矩形单元按照水均衡原理建立起描述地下水渗流的关系式,按照差分原理进行时间上的离散;最后把所有矩形单元合并起来,形成描述渗流区域地下水水位分布的线性代数方程组,求解该线性方程组,即可得到计算时段每个节点离散化的地下水水位值。

(3)模型识别与验证

根据掌握资料连续性和系统性情况,选用 2003 年 3 月—2004 年 12 月地下水动态观测资料、2004 年 5 月实测平面流场,以往水文地质勘察中通过抽水试验和模拟计算获取不同地段含水层的渗透系数<sup>①</sup>,进行模型的识别、校正。对计算区所有结点做区域性拟合,并选择有代表井孔结点用于水位拟合,识别含水层水文地质参数。

为了检验识别后模型的可靠性,选用 2005 年 1 月—2010 年 12 月地下水长期观测资料、实测流场和其间降水量资料对模型进行验证,并进行验证期内计算水位与实测水位的拟合,对模型识别期间求取的水文地质参数反复微调,直到取得理想结果。经过识别、验证后的模型基本能够刻画地下水系统的渗流特征,反映出了水位动态变化对源、汇项的响应关系。可以用来进行庄里水库建成后对地下水水位动态的预测。

4.3 庄里水库建成后地下水水位预测

4.3.1 预测条件

区内各水源地按规划开采量进行开采;预测期降水量是从 1956—2010 年实测降水量系列中选取有代表性的 1993—2007 年降水量系列;水库蓄水后使库区周围包气带长期充满水,库区水位和附近地下水水位将趋于一致,因此水库可按定水头边界处理,通过多次调整水库坝基、西库岸和坝肩位置的渗透系数,使水库渗漏量达到该次核算值。

① 山东省鲁南地质工程勘察院,王义生、刘志文、贾德旺等,山东省滕州市土城—西石楼水源地勘探报告,2005 年。

4.3.2 地下水补排量变化情况

(1)地下水规划开采量

枣庄市中心城区从区内规划开采地下水 4 万  $\text{m}^3/\text{d}$ (2015—2020 年)。滕州市城乡供水工程增采 4.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,达到 6.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ;城乡统一集中供水工程实施后,羊庄断块将有 0.58 万  $\text{m}^3/\text{d}$  的农村人畜生活用水停止开采。

根据相关部门制定的“地下水取用量置换计划”,2015 年前使用地表水置换 2.77 万  $\text{m}^3/\text{d}$  工业地下水开采量(国泰、鲁化已出具同意置换证明),满足城乡一体化饮水工程供水需要。

山亭区城区生活用水和华润纸业工业用水基本维持现状水平。

(2)农业灌溉用水

水库设计灌区面积 3 300 余公顷,年均农业供水 765.2 万  $\text{m}^3$ (2.10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ),水库建成后可减少井灌区面积 3 300 余公顷,可置换农业地下水开采量 2.10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

(3)河流渗漏量

新薛河多年平均渗漏量为 3.45 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,水库建成后,水库坝下多年平均弃水和河道内生态放水量之和为 3 347.1 万  $\text{m}^3$ ( 9.17 万  $\text{m}^3/\text{d}$ )。水库弃水和生态放水量比新薛河多年平均渗漏量大。新薛河渗漏量不受水库建设影响,水库建成后新薛河渗漏量按 3.45 万  $\text{m}^3/\text{d}$  取计。

(4)水库渗漏补给量

水库的渗漏补给量按防渗后坝基渗漏量取计。

4.3.3 地下水水位预测结果

该次以 2011 年 8 月的地下水流场(图 2)为基准;从 1956—2010 年 55 年的降水量系列(降水量年平均值为 781.0 mm,离差系数为 0.247)中选取有代表性的 1993—2007 年的降水量系列(降水量年平均值为 778.0 mm,离差系数为 0.293),进行地下水水位预报。假定该系列的降水量自 2012 年初开始重复再现,据此模拟计算庄里水库建成后未来 15 年期间,水库附近及下游地区地下水水位动态变化过程。

经模拟计算,水库在未来 15 年运行过程中,水库大坝西南 1.9 km 处,庄里粮库 J70 号观测孔地下水水位上升 1.11 m;水库上、下游的山亭城区和羊庄水源地附近地段地下水水位平均上升幅度分别为 1.67 m 和 1.18 m。水库对附近及上、下游地区地

下水流场影响预测对比情况见图 2,水库附近及上、下游地区水源地水位变化趋势对比情况见图 3。

水库建设增加了地下水的补给量,减少了农灌开采量,使水库附近及下游地区地下水水位上升,水库建设对下游各水源地正常开采影响较小。

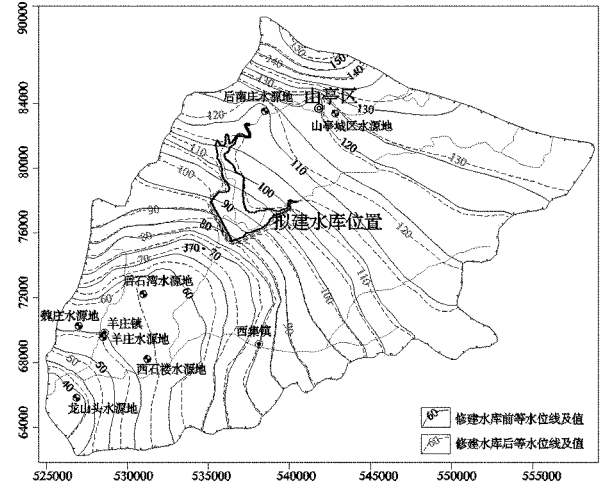


图 2 地下水流场预测图(2025 年 12 月)

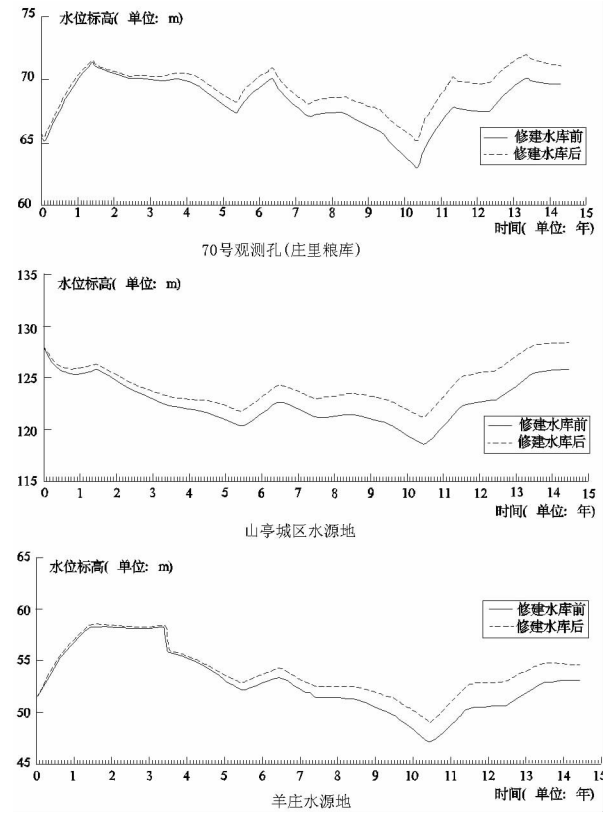


图 3 水库附近及上、下游地区地下水水位预测曲线对照图

5 地下水保护防治对策

(1)水库建成后,对地下水渗漏补给量增加,库区应及时设置水质和水库附近地下水水位、水质监测网站,对水库和附近地下水水位、水质进行监测,掌握水库及附近地下水水位、水质变化情况,确保水库水质在Ⅲ类以上。

(2)羊庄断块是滕州市重要的城市生活用水水源,滕州市水利部门已对水源地建立了水位、水质监测网站,庄里水库建成后,水库管理部门应于滕州市水利部门相互协调,增加库区附近地下水监测点密度,严格监测库区附近及羊庄断块地下水水质情况,保证饮用水水源水质安全。

(3)源头控制措施,了解掌握水库周围、上游工业企业和山亭区污水处理厂排水口水质情况,确保污水达标排放。加强入库水质监测,重点监控庄里水库上游,新薛河入库水质,严禁超标废水排入。

(4)应严格做好库区防渗工作,对水库西库岸、坝基、东坝肩、库区内断层、大的裂隙两侧进行严格的防渗处理;对水库淹没搬迁区内的农灌、农村生活

饮用水及其他各类观测井和勘探井进行封堵,防止库水注入水井,与地下含水层产生联系,水库渗流量增大,污染地下水含水层。

(5)建立风险事故应急机制,制定突发事故下,对水库上游污水泄漏点采取封闭、截流等应急治理措施,把污水集中收集并进行治理,防止污水汇入水库,污染地下水。

(6)对水库淹没区周边低凹地段采用工程措施进行加高,地表裂隙岩溶进行充填,防止产生土地渍涝和岩溶塌陷。

(7)加强水库周边防护林建设以及响应的管理措施,增加水库上游地区绿化面积,涵养水源及净化水质。

参考文献:

[1] 康凤新,徐军祥,张中祥. 山东省地下水资源及其潜力评价[J]. 山东国土资源,2010,26(8):4-5.

[2] 李传谟,康凤新. 岩溶水资源及增源增采模型[M]. 济南:山东科学技术出版社,1999:79-81.

Influence on Zhuangli Reservoir Construction to Groundwater Level

SHI Qipeng<sup>1</sup>, WANG Bolun<sup>1</sup>, WANG Qiang<sup>2</sup>, ZHANG Fei<sup>1</sup>, DING Xilian<sup>2</sup>

(1. Lunan Geo—engineering Exploration Institute, Shandong Yanzhou 272100, China; 2. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Zhuangli reservoir is located in hydrogeological unit of Yangzhuang basin. Reservoir construction will change recharge, runoff discharge condition and the flow field of underground water. According to hydrogeological conditions and groundwater exploitation and utilization of Yangzhuang basin, by using the Visual Modflow4.1 software, groundwater flow model has been established. By simulating the influence of Yangzhuang reservoir after the completion to groundwater levels and flow field, relative countermeasures are put forward for groundwater source protection.

**Key words:** Reservoir construction; Yangzhuang basin; groundwater flow field; Tengzhou city in Shandong province