

【专题研究】

三门峡库区上游黄河水与地下水转化量计算

郭会荣¹, 靳孟贵¹, 林丽蓉¹, 刘延锋¹, 王现国²

(1. 中国地质大学 环境学院, 湖北 武汉 430074; 2. 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)

摘 要:通过数值模拟法定量研究了三门峡库区上游地下水和黄河水的转化关系。在分析水文地质条件的基础上建立了地下水数值模拟模型, 预测了沿黄河扩大开采条件下渗流场和水位的动态变化, 并采用达西断面法和 Modflow 软件中的 River 模块计算了现状条件和扩大开采条件下黄河与傍河地下水的转化量。计算结果表明, 扩大开采 10 年后, 黄河补给增量占增加开采量的 84.8%, 黄河排泄减量占增加开采量的 8.7%。

关 键 词:地下水; 补排量; Modflow; 扩大开采; 傍河水源; 三门峡水库

中图分类号: TV211.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1379(2006)07-0069-03

由于黄河泥沙含量高且水质污染日益严重, 傍河地带主要利用与黄河水关系密切的地下水资源。因此, 研究地下水与黄河水的补排关系及补排量对于沿黄地区地下水的合理开发利用具有重要的意义。对黄河水与地下水的补排关系研究较多, 如王文科等根据地质、地貌、地下水位等资料研究了整个黄河流域河水与地下水的关系^[1], 赵云章等运用地下水流场和同位素方法研究了黄河下游河水对两侧地下水的补给范围^[2,3]并计算了黄河下游悬河段的侧渗量^[4]。这里通过研究三门峡库区上游某傍河水源地扩大开采条件下黄河补排量的变化, 分析三门峡水库的运行及扩大开采对傍河地下水资源量的影响, 以期对库区水资源合理开发利用和保护提供科学依据。

1 研究区水文地质条件

研究区地下水主要开采层为 150 m 以浅的第四系孔隙含水层。含水介质为冲洪积扇、黄河各级阶地和河谷的更新统的砾卵石、中粗沙及粉细沙层, 具有多层结构, 含水层厚 16 ~ 70 m, 水位埋深 20 ~ 85 m, 导水系数 100 ~ 500 m²/d。河床淤积层岩性主要为粉土、粉质黏土、粉沙, 厚度为 19 ~ 21 m, 具水平层理, 导水系数 124 ~ 582 m²/d。

地下水的补给来源主要为三门峡水库补给、大气降水补给、渠水渗漏、灌溉下渗补给及南部基岩低山区、黄土塬区以及东西边界地下水的侧向径流补给。排泄方式主要为人工开采, 其次为黄河的侧向排泄及蒸发排泄。

研究区地下水受区域水位影响呈下降趋势。地下水动态类型: 水文型在黄河岸边地下水未开采区表现比较明显, 地下水位的升降与河库水位的升降一致; 水文-开采型位于原水源地一级阶地及二级阶地前缘区, 主要受开采和三门峡水库泄水影响; 气象-开采型主要分布在二级阶地的中、后部及三级阶地区, 为工业超采区。

2 地下水流数值模型

研究区内浅层含水层组之间无稳定隔水层存在, 故将其概化为具有统一水力联系的单层潜水含水层; 120 ~ 150 m 以下为厚层黏土, 隔水性能好, 故取下边界为隔水边界。水文地质概念模型为二维非均质非稳定流。计算软件采用美国地调局 (USGS) 的通用地下水三维渗流模拟软件——Processing MODFLOW 5.1。

3 黄河对地下水补排量的计算

3.1 现状年黄河补排量计算

受三门峡水库运行影响, 区内黄河在非汛期 (11 月至次年 6 月) 水位较高, 黄河水补给地下水; 汛期 (7 ~ 11 月) 水库降低水位滞洪排沙, 除研究区中部原傍河水源开采引起地下水位低于黄河水位, 黄河水补给地下水外, 其他段地下水向黄河排泄。因不同月份水库水位及地下水渗流场变化较大, 故计算时按月选取了 14 个时段, 其中三门峡水库放水 and 蓄水的 2 个月分别划分了 2 个时段。采用达西断面法及数值模拟法计算现状年黄河对地下水的补给和排泄量。

3.1.1 达西断面法

沿黄河边界, 按照地下水渗流场特点, 将边界分段, 利用达西公式 (式 1) 分别计算各断面的侧向补给量。利用实测地下水等水位线确定其水力坡度; 根据邻近边界的钻孔抽水试验结果确定导水系数, 进而计算边界点上单位宽度的地下水径流量;

收稿日期: 2006-05-20

基金项目: 中国地质大学优秀青年教师资助项目 (CUCQNL0540); 国家自然科学基金资助项目 (40472123)。

作者简介: 郭会荣 (1971-), 女, 湖北仙桃人, 讲师, 主要从事水文地质、环境工程的教学和科研工作。

然后按各边界之间的流量为线性变化,计算两点之间的边界流量,计算结果见表 1。

$$\begin{cases} q_i = T_i I_i \\ Q_{\text{总}} = \sum_{i=1}^{n-1} (q_i + q_{i+1}) L_i / 2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: q_i 为边界点上单位宽度的地下水径流量; T_i 为导水系数; I_i 为水力坡度; $Q_{\text{总}}$ 为地下水径流总量; L_i 为边界长度。

表 1 现状年均衡计算结果

补给项	补给量 / ($\text{万 m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	比例 / %	排泄项	排泄量 ($\text{万 m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	比例 / %
降水入渗	335.04	10.57	黄河排泄	421.52	12.70
灌溉下渗	61.85	1.95	农业开采	1 431.44	43.12
河渠入渗	270.63	8.54	工业开采	1 298.18	39.10
黄河补给	1 575.30	49.72	生活用水	82.85	2.50
东西南侧 向补给	925.63	29.22	蒸发量	85.82	2.58
合 计	3 168.45	100.00	合 计	3 319.81	100.00

3.1.2 数值模拟法

区内黄河径流量大、河面宽,与地下水的交换面为河床的整个湿周。由于河床下部存在一层渗透性差的淤积层,对地下水补给有阻滞作用,因此不能将黄河处理成水头边界;另外黄河水位和地下水位变化较大,处理为流量边界不能反映变化条件下的补给量的变化。在模型中用 MODFLOW 中的 River 模块将黄河处理为 GHB (通用水头边界),按式 (2) 计算黄河对地下水的补排量。

$$\begin{cases} C_r = \frac{K_b L W}{M} \\ Q_r = C_r (H_r - h) \end{cases} \quad (2)$$

式中: C_r 为河床沉积物的水力传导系数; K_b 为河床沉积物的渗透系数; L 为河流长度; W 为河流宽度; M 为河床沉积物厚度; Q_r 为河流的渗漏量,正值表示河流入渗补给地下水,负值表示河流排泄地下水; H_r 为河水位; h 为地下水位。

不同时段河水位根据实测值获得。根据黄河附近的钻孔资料,黄河河床主要为粉土,取其渗透系数为 0.1 m/d 。黄河主轴线以南的宽度约为 120 m ,黄河河底高程约为 304 m ,因此取初始 C_r 为 $480 \text{ m}^2/\text{d}$ 。水库蓄水期,黄河漫滩被库水淹没,在此将其作为河流的一部分,仍采用式 (2) 进行处理,其 C_r 取为 $400 \text{ m}^2/\text{d}$ 。然后根据河流附近地下水位的动态变化对河流的 C_r 值进行识别后再计算黄河的补排量。计算得出现状年黄河补给量为 $1 611.07 \text{ 万 m}^3/\text{a}$,排泄量为 $482.08 \text{ 万 m}^3/\text{a}$,计算结果与达西断面法计算结果接近。

现状年补给量、排泄量的计算结果见表 1。现状年计算结果与实测资料接近,说明参数选取基本合理,计算均衡要素可靠。

3.2 扩大开采条件下黄河补排量计算

研究区傍河水源地现年平均开采量为 $1.3573 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,规划扩大开采至 $4.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,扩大开采水源是原水源地在黄河南岸向上游的自然延伸,地质地貌及水文地质条件基本类同,均属典型傍河型水源地。开采期间边界补给量东西南边界流量性质不变,视为流量边界;北部边界预报时取黄河现状年的实测水位;降水入渗量和蒸发量采用近 50 年的多年平均值;由于缺乏区内 10 年后的工农业及人口规划资料,因此农业开

采、工业及居民生活用水量及灌溉入渗量、河渠入渗量均采用枯水年资料。

扩大开采后,各开采井所处单元的水位呈持续下降趋势,扩大开采 10 年后地下水等水位线,见图 1,由于靠近黄河,因此水位下降趋势越来越小,开采第 10 年时的水位下降速率在 $0.04 \sim 0.39 \text{ m/a}$ 之间,平均下降速率为 0.16 m/a (图 2)。开采井所处单元最大水位降深为 13.45 m 。研究区远离黄河的南部是工业集中的老水源地超采区,由于傍河扩大开采截取了黄河的补给量,使这些地区地下水补给量减小,漏斗不断扩展,与傍河水源地降落漏斗发展为一复合型的大漏斗,地下水位呈持续下降趋势 (图 3)。这些水位持续下降除了受区域水位影响,在一定程度上还与傍河扩大开采有关。说明虽然靠近黄河的水量是有保证的,但是由于截取了老水源地的补给量,因此老水源地的开采方案要适当调整。

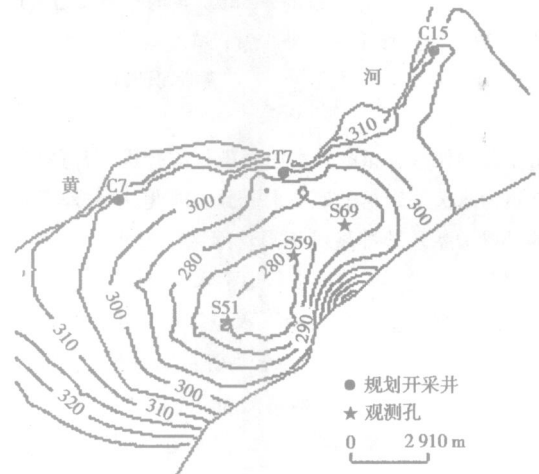


图 1 扩大开采 10 年后地下水等水位线

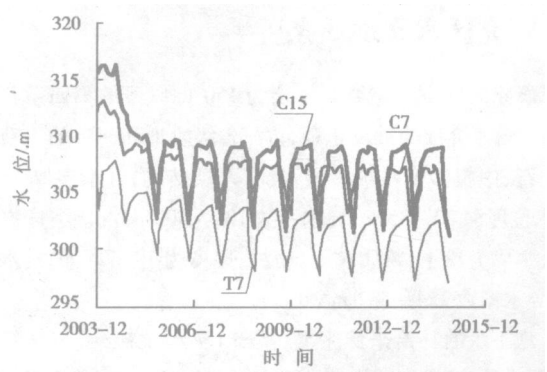


图 2 增加开采 10 年内的傍河规划开采孔
所处单元水位历时曲线

在傍河水源地不扩大开采前提下运行模型计算黄河现状补排量,并与扩大开采条件下黄河补排量进行比较,两者之差即为扩大开采激化的黄河水补给增量和排泄减量 (如表 2)。水源地扩大开采 10 年后,黄河对地下水的补排量基本趋于稳定,黄河补给增量占增加开采量的 84.8% ,黄河排泄减量占增加开采量的 8.7% ,而动用的储存量仅占 5.0% 。说明开采后主要掠夺黄河水的补给以及截取向黄河的排泄。

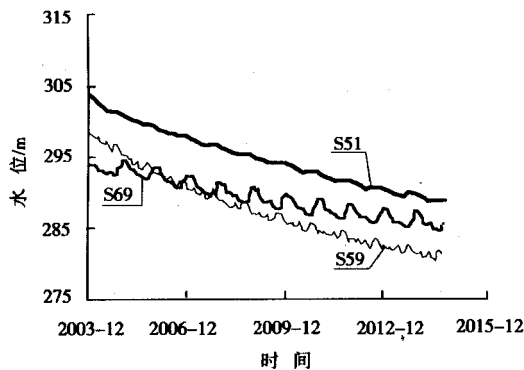


图 3 增加开采 10 年内的远离黄河老水源地观测孔
所处单元水位历时曲线

表 2 规划扩大开采前后黄河对地下水补排量的比较

时间 / a	万 m ³ / a					
	扩大开采 后黄河 补给量	补给 增量	占增加开 采量的 比例 / %	扩大开采 后黄河 排泄量	排泄 减量	占增加开 采量的 比例 / %
1	2 056.46	596.37	52.5	327.51	87.13	7.7
2	2 359.95	821.60	72.3	316.56	93.06	8.1
3	2 449.75	867.34	76.3	310.55	95.43	8.4
4	2 520.58	897.41	78.7	305.98	96.85	8.5
5	2 565.88	914.06	80.4	302.22	97.78	8.6
6	2 609.67	928.92	81.7	299.05	98.39	8.7
7	2 647.33	940.57	82.7	296.31	98.78	8.7
8	2 687.45	952.89	83.6	293.90	99.03	8.7
9	2 709.33	957.47	84.2	291.77	99.18	8.7
10	2 735.25	963.75	84.8	289.87	99.26	8.7

4 结 论

(1) 三门峡水库上游黄河水位受水库运行影响变化较大,且河床下存在渗透性差的淤积层,因此不能将黄河处理成流量和水头边界。用 ModFlow 中的 River 模块将黄河处理为通用水头边界,计算的补排量和达西断面法计算结果相近,且现状年均衡计算结果与实测数据一致,说明参数选择合理。

(2) 傍河水源地扩大开采 10 年后黄河附近由于接受黄河补给,观测孔水位变化趋于稳定,且水位降深小,但远离黄河的原老水源地超采区,地下水位持续下降。说明靠近黄河的开采井水量有保证,但由于截取了老水源地的补给量,因此老水源地的开采方案要适当调整。

(3) 傍河水源地扩大开采 10 年后黄河入渗补给增量占增加开采量的 84.8%,黄河排泄量的减量占增加开采量的 8.7%,而动用的储存量仅占 5.0%。说明开采后主要掠夺黄河水的补给以及截取向黄河的排泄。

参考文献:

- [1] 王文科,孔金玲,段磊,等.黄河流域河水与地下水转化关系研究[J].中国科学(E辑技术科学),2004,34(增刊).
- [2] 赵云章,邵景力,阎振鹏,等.黄河水对两侧地下水补给范围的初步研究[J].人民黄河,2003,25(1).
- [3] 赵云章,邵景力,阎振鹏,等.黄河下游影响带地下水资源评

价及可持续开发利用[M].北京:中国大地出版社,2002

- [4] 崔亚莉,赵云章,邵景力,等.黄河下游地上悬河段开采条件下侧渗量变化研究[J].水文地质工程地质,2005,(1).

【责任编辑 赵宏伟】

(上接第 66 页)

(2) 膨胀橡胶^[1]。具有优良的弹性、延伸性和膨胀止水性能,在水中的膨胀率达 150% 以上,膨胀体保持橡胶的弹性和延伸性,膨胀率不受水质的影响,耐水性、耐化学介质性、耐久性优良,不含有害物质,无溶胀析出物,不污染环境,在较宽的温度范围内均可发挥优良的止水性能,耐候性优良。下管时,随井管一并入孔,形状、尺寸可以自定。

(3) 水泥。采用水泥止水时,根据地层特性及井温选择水泥型号^[4]。普通水泥,一般用于井深小于 1 500 m,水温不超过 50 的地热井;油井水泥,用于井深大、温度高的地热井,采用井管内压入或管外压入。

3.6.2 固 井

通常情况下,采用钻屑、黏土、碎石等填充环空;随着井深加大,在“固井”这一环节上建议采用水泥固井;孔深小于 1 500 m 且水温低于 50 时,可使用普通水泥;井深大于 1 500 m 且水温高于 50 时,采用油井水泥固井^[4]。

3.7 洗井与抽水

(1) 洗井。通常采用以下方法:气举洗井,把合适的钻具下到一定位置与空压机连接,优点在于钻具可下到含水层部位;潜水泵洗井,把潜水泵直接下入泵室内,进行大降深抽水,达到洗井目的;喷射洗井,把喷枪下入井内,对准含水层冲洗;压水洗井,采用封隔器座封管内某一位置,井口封闭,在一定压力下向井周注水,疏通含水层;酸化洗井,利用一定浓度、数量的酸化液,按操作规程压入处理井段,主要用于基岩地层^[4]。

(2) 抽水。按有关要求对单孔抽水试验,测量水温、水量、水质、含沙量等技术指标。

4 结 语

黄河中下游(河南段)千米地热井施工经历了 20 多年的发展,施工能力、水平在不断提高,不论设备的配置能力,还是技术水平都有了长足发展;对地层特性的进一步认识及新技术的推广应用为深层地热井的施工提供了可靠保障;尽管钻井深度超过 3 000 m,但与天津、北京等地相比,还有很大差距,须从观念上有所突破,更须借鉴国内外先进技术、经验为我所用。

参考文献:

- [1] 刘志国,刘新丽,刘丕新,等.千米地热井施工技术[M].郑州:黄河水利出版社,2004.
- [2] 陈庭根.钻井工程理论与技术[M].东营:石油大学出版社,2002.
- [3] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].东营:石油大学出版社,2001.
- [4] 李克向.实用完井技术[M].北京:石油工业出版社,2002.

【责任编辑 赵宏伟】