

滹沱河大型入渗试验地下水补给量计算

张增勤¹, 冯创业¹, 韩永涛², 陈文婧¹

(1. 河北省地矿局水文工程地质勘查院, 石家庄 050021; 2. 石家庄市水务局, 石家庄 050051)

摘要: 通过采用水均衡法计算了滹沱河入渗试验期间的河道入渗补给量, 并求取了滹沱河水源地一带获得的河道入渗补给量。研究表明: 试验期间河道入渗水量为 1 482.75 万 m³, 河道入渗补给地下水量为 1 382.89 万 m³, 河道渗漏补给系数为 93%; 滹沱河水源地接受的补给量为 742.53 万 m³, 水源地范围内的观测井最大水位上升幅度 6.823 m, 地下水补给效果明显。

关键词: 滹沱河; 大型入渗试验; 水均衡法; 地下水补给量

中图分类号: P641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0099-04

Calculation of Groundwater Recharge during a Large Infiltration Test in the Hutuo River

ZHANG Zeng-qin¹, FENG Chuang-ye¹, HAN Yong-tao², CHEN Wen-jing¹

(1. Hebei Prospecting Institute of Hydrogeology and Engineering Geological, Shijiazhuang 050021, China;

2. Shijiazhuang Water Authority, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: Water balance method was applied to calculate recharge from river water infiltration during a large infiltration test in the Hutuo River, and especially to calculate the infiltrating recharge in the water source area. The results showed that the amount of river infiltration water is 14 827 500 m³ during the test, and groundwater recharge from river infiltration water is 13 828 900 m³. The groundwater recharge coefficient from river infiltration is 93%. The amount of received water in the water source area is 7 425 300 m³. Meanwhile, the maximum rising magnitude of groundwater level in the observation wells located in the water source area is 6.823 m, indicating apparent groundwater recharge effects.

Key words: Hutuo River; large infiltration test; water balance method; groundwater recharge

1 问题的提出

由于石家庄市地下水多年持续超采, 导致地下水位持续下降, 形成了地下水位降落漏斗, 城市水源地水质变差, 对城市安全供水构成威胁。因此, 1999 年以来, 石家庄市建设了引水入市工程, 将岗南水库、黄壁庄水库的地表水引入市区, 形成了石家庄市供水结构以地表水为主、地下水为辅格局。2005 年以来, 作为市区唯一地下水源地的滹沱河水源地可供水量明显减少, 地表水厂供水能力逐渐达到设计值, 城市供水危机逐渐显现, 对南水北调中线工程的依赖日趋强烈。

为此, 滹沱河地下水库的建设列入石家庄市南水北调中线配套工程规划。地下水库建成后, 将对滹沱河水源地形成有效补给, 增加水源地的供水能力。但是, 入渗水量中将有多少水量能够补给到地下水? 又有多少水量能够补给到滹沱河水源地一带? 这两个问题直接影响到未来滹沱河地下

水库的效益。因此利用入渗试验进行地下水补给量计算和研究, 十分必要。

2 入渗试验简介

2009 年 8 月 19 日- 9 月 5 日, 石家庄市水利局组织开展了滹沱河大型入渗试验。试验场位于塔元庄- 京广铁路桥之间的滹沱河河道, 滹沱河水源地位于入渗试验场南侧。试验水源来自黄壁庄水库, 经石津渠输水至南水北调总干渠后, 再由南水北调总干渠滹沱河退水渠引入试验场, 放水持续时间共计 400 h, 渠首累计放水量 1 820 万 m³, 累计试验水量 1 523.56 万 m³, 入渗试验在河道入渗能力、水丘形成与消散、水质变化等方面取得了一系列丰硕成果^[1-4]。

3 计算方法

本文利用入渗试验过程中获得的地下水位、开采量、降

收稿日期: 2013-02-21 修回日期: 2013-08-13 网络出版时间: 2013-08-23

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130823.1608.021.html>

作者简介: 张增勤(1964), 男, 河北新乐人, 高级工程师, 主要从事水文地质工程地质方面的勘查研究工作。E-mail: hbskzhangzengqin@126.com

通讯作者: 冯创业(1970), 男, 河北辛集人, 高级工程师, 主要从事水文地质工程地质方面的勘查研究工作。E-mail: 13315126520@163.com

水量、蒸发量等观测数据,采用水均衡法求取了滹沱河入渗试验期间的河道入渗补给量。

根据入渗试验观测孔控制范围,确定本次均衡计算范围见图 1,面积约 26.8 km²。入渗试验过程中 9 月 5 日水位上升最大,故均衡计算时段选为 8 月 20-9 月 5 日。

研究区水均衡方程式:

$$Q_{\text{蓄变}} = Q_{\text{总补}} - Q_{\text{总排}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{总补}} = Q_{\text{降}} + Q_{\text{河}} + Q_{\text{侧入}} \quad (2)$$

$$Q_{\text{总排}} = Q_{\text{开}} + Q_{\text{蒸}} + Q_{\text{侧出}} \quad (3)$$

式中: $Q_{\text{总补}}$ 为地下水总补给量; $Q_{\text{总排}}$ 为地下水总排泄量; $Q_{\text{降}}$ 为降水入渗补给量; $Q_{\text{河}}$ 为河道入渗补给量; $Q_{\text{侧入}}$ 为侧向流入量; $Q_{\text{开}}$ 为地下水开采量; $Q_{\text{侧出}}$ 为侧向流出量; $Q_{\text{蒸}}$ 为潜水蒸发量。

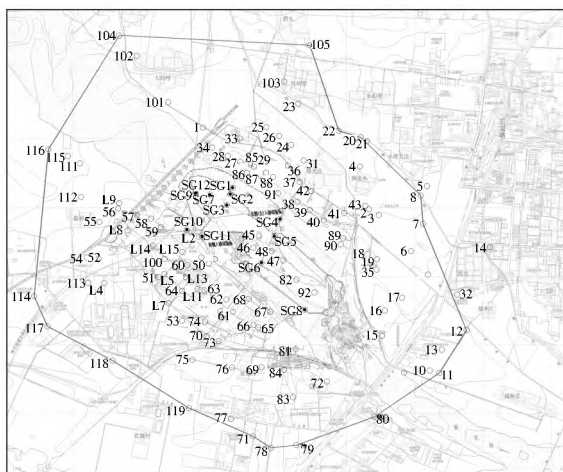


图 1 均衡计算范围

Fig. 1 The calculation range of water balance method

由于研究区内地下水位埋深普遍大于 10 m,因此不考虑潜水蒸发量。而且,入渗试验时间持续较短,这一期间农作物需水量和灌溉量均较小,因此均衡计算时也不考虑灌溉开采和灌溉回归补给量。最后确定均衡区内地下水资源的补给项主要有河道入渗、大气降水入渗和地下水的侧向流入补给,地下水资源的排泄项主要为工业、生活开采和地下水的侧向流出。研究区的水均衡计算方程简化为:

$$Q_{\text{蓄变}} = Q_{\text{总补}} - Q_{\text{总排}} \quad (4)$$

$$Q_{\text{总补}} = Q_{\text{降}} + Q_{\text{河}} + Q_{\text{侧入}} \quad (5)$$

$$Q_{\text{总排}} = Q_{\text{开}} + Q_{\text{侧出}} \quad (6)$$

$$\text{即 } Q_{\text{降}} + Q_{\text{河}} + Q_{\text{侧入}} - Q_{\text{开}} - Q_{\text{侧出}} = Q_{\text{蓄变}} \quad (7)$$

$$Q_{\text{河}} = Q_{\text{蓄变}} + Q_{\text{开}} + Q_{\text{侧出}} - Q_{\text{侧入}} - Q_{\text{降}} \quad (8)$$

4 水均衡计算

4.1 全区水均衡

4.1.1 降水入渗补给量

降水入渗补给量计算公式:

$$Q_{\text{降}} = P \cdot \alpha \cdot F \times 10^{-1} \quad (9)$$

式中: $Q_{\text{降}}$ 为降水入渗补给量(10⁴ m³/a); P 为降水量(mm); α 为降水入渗系数; F 为计算区面积(km²)。

降水入渗补给量的计算是以降水入渗系数分区为计算单元的。由于试验区内地表岩性较为相近,因此入渗区的入

渗系数取同一值 0.30。

一次降水量小于 10 mm 时不计算入渗补给量,故有效降水量合计为 135.9 mm。为避免入渗补给量重复计算,降雨入渗补给面积计算时扣除每日入渗水面面积,经计算降水入渗补给量为 107.4 万 m³,见表 1。

表 1 降水入渗补给量计算

Table 1 Calculated results of groundwater recharge from precipitation infiltration

日期 / 月-日	有效降水量 / mm	降水入渗系数	计算面积 / km ²	降水入渗补给量 / 万 m ³
8-20	0	0.3	26.8	0.0
8-21	24.8	0.3	26.4	19.6
8-22	31.3	0.3	26.4	24.8
8-23	0	0.3	26.4	0.0
8-24	0	0.3	26.3	0.0
8-25	0	0.3	26.3	0.0
8-26	52.2	0.3	26.2	41.1
8-27	10	0.3	26.2	7.9
8-28	0	0.3	26.2	0.0
8-29	0	0.3	26.2	0.0
8-30	0	0.3	26.4	0.0
8-31	0	0.3	26.6	0.0
9-1	0	0.3	26.6	0.0
9-2	0	0.3	26.6	0.0
9-3	0	0.3	26.6	0.0
9-4	17.6	0.3	26.6	14.1
9-5	0	0.3	26.6	0.0
合计	135.9			107.4

4.1.2 侧向流入(出)量

侧向流入(出)量可由下式计算:

$$Q_{\text{侧入(侧出)}} = K \cdot M \cdot B \cdot I \times T \times 10^{-4} \quad (10)$$

式中: $Q_{\text{侧入(侧出)}}$ 为侧向流入(出)量(万 m³); K 为计算断面含水层渗透系数(m/d); M 为计算断面含水层厚度(m); B 为计算断面宽度(m); I 为垂直计算断面的水力坡度; T 为均衡计算时段长度(d)。

侧向流入量主要为北部和西部的流入量,侧向流出量主要为南部和东部的流出量。考虑到流场变化较大,侧向流入(出)量的计算按 4 个典型时段进行,即 8 月 20 日-8 月 25 日,8 月 26 日-8 月 27 日,8 月 28 日-9 月 1 日,9 月 2 日-9 月 5 日。根据河北平原山前平原的以往研究成果^[5],结合工作区含水层岩性,入渗试验区内入渗场部分 K 值取 150~200 m/d; 外围观测区 K 值取 100~150 m/d。侧向流入(出)量计算见表 2,其中侧向流入量合计为 67.29 万 m³,侧向流出量合计为 92.73 万 m³。

表 2 侧向流入(出)量计算成果

Table 2 Calculated results of lateral groundwater inflow (outflow) 万 m³

时段	8.20-8.25	8.26-8.27	8.28-9.1	9.2-9.5	合计
侧向流入量	36.36	10.47	10.95	9.51	67.29
侧向流出量	24.89	9.55	26.40	31.89	92.73

4.1.3 地下水开采量

由于入渗场地周围主要为林地,且农作物在入渗试验期间需水量小,研究区内的开采量主要为石家庄市地下水厂开采井和当地农村的生活用水,试验期间计算范围内逐井逐日开采量见表3,地下水开采量合计为97 42万 m³。

4.1.4 蓄变量

蓄变量的计算公式为:

$$Q_{\text{蓄变}} = F \cdot \mu \cdot \Delta h \quad (11)$$

式中: Δh 为水位变幅(m); μ 为水位变动带给水度; F 为计算区面积(km²)。

根据水位观测数据绘制的8月19日-9月5日水位变差分区见图2,分区面积统计见表4,给水度取值入渗试验场取值0.2,外围取值0.17。经计算,地下水蓄变量为1 367.47万 m³。

表3 逐日开采量统计

Table 3 Statistics table of daily groundwater extraction

井号	8-20	8-21	8-22	8-23	8-24	8-25	8-26	8-27	8-28	8-29	8-30	8-31	9-1	9-2	9-3	9-4	9-5
8	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
9	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
16	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
53	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
57	0	150	0	0	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0
63	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
71	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
80	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
81	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
91	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
92	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
100	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
水厂	59 952	56 905	53 304	53 308	56 011	59 952	57 513	55 608	59 466	60 192	58 086	59 952	59 952	32 114	59 952	59 952	59 952
合计	60 632	57 735	53 984	53 988	56 901	60 632	58 193	56 288	60 146	60 872	58 766	60 632	60 632	32 794	60 632	60 782	60 632

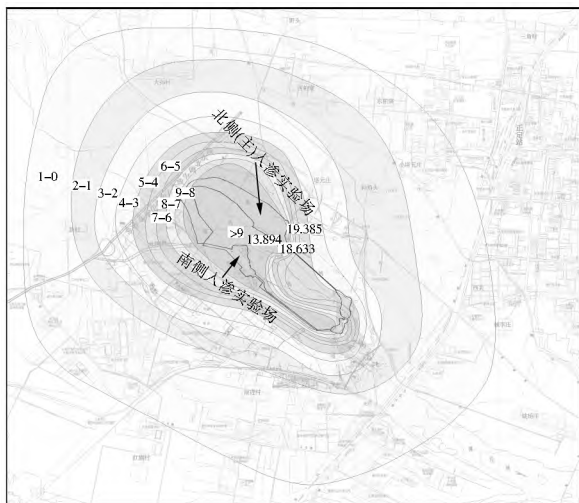


图2 8月19日-9月5日水位变差分区图
Fig.2 Zonation map of groundwater level variation from August 19th to september 5th

4.1.5 地下水补给量

依据水量平衡:

$$Q_{\text{入渗}} = Q_{\text{滞留}} + Q_{\text{补给}} \quad (12)$$

式中: $Q_{\text{入渗}}$ 为河道入渗水量; $Q_{\text{滞留}}$ 为包气带滞留水量; $Q_{\text{补给}}$ 为河道入渗补给水量。

河道入渗水量为1 482.75万 m³ [6], 经计算河道入渗补给地下水水量为1 382.89万 m³, 补给系数为93%, 见表5。

表4 蓄变量计算成果

Table 4 Calculated results of storage change

变差分区/m	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5
面积/km ²	15.39	6.73	3.05	1.85	1.50
蓄变量/万 m ³	130.82	171.58	129.59	110.07	114.49
变差分区/m	5-6	6-7	7-8	8-9	>9
面积/km ²	0.73	0.66	0.65	0.55	1.76
蓄变量/万 m ³	68.00	85.23	97.19	92.68	367.83

表5 河道渗漏补给量计算

Table 5 Calculated results of river water leakage for recharge
万 m³

蓄变量	开采量	侧向流出量	侧向流入量	降水入渗补给量	河道入渗补给量
1 367.47	97.42	92.73	67.29	107.44	1 382.89

4.2 分区水均衡

为了进一步求取滹沱河水源地一带获得的入渗补给水量,以入渗试验场中心线为界,对南北两侧分区进行水均衡。入渗场南侧均衡区面积12.2 km²,北侧均衡区面积14.6 km²。计算公式与计算方法同前,计算结果见表6。

表 6 分区水均衡计算成果

Table 6 Calculated results of water balance in each division

分区	蓄变量	开采量	万 m ³			
			侧向 流出量	侧向 流入量	降水入渗 补给量	河道入渗 补给量
南侧	702.89	97.1	47.57	55.83	49.2	742.53
北侧	664.58	0.32	45.16	11.46	58.24	640.36

由表 6 可知,入渗试验期间,滹沱河水源地处入渗场南侧获得的河道入渗补给量为 742.53 万 m³,占河道入渗补给地下水量的 53.7%;入渗场北侧获得的河道入渗补给量为 640.36 万 m³,占河道入渗补给地下水量的 46.3%。试验期间,水源范围内的观测井最大水位上升幅度 6.823 m,河道入渗对水源补给效果明显。

5 结论

试验期间河道入渗水量为 1 482.75 万 m³,河道入渗补给地下水量为 1 382.89 万 m³,河道渗漏补给系数为 93%,其中 742.53 万 m³ 的水量补给到了入渗场南侧的滹沱河水源,水源范围内的观测井最大水位上升幅度 6.823 m,地下水补给效果明显。研究成果对于未来滹沱河地下水库的建设意义重大。

本次试验受水源条件限制,试验时间较短,水丘形成后未能达到最大值。今后的试验应延长补水时间,达到对水源更加充分的补给效果,以便获取更加科学的试验结果,用以指导滹沱河地下水库的规划和建设。

参考文献(References):

[1] 杜尚海,苏小四,吕航,等.滹沱河地下水库有效蓄水率研究

[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版),2010,25(1):121-124 (DU Shang hai, SU Xiao si, LV Hang, et al. Study on Effective Storage Rate of Hutuo River Groundwater Reservoir[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology(Natural Science Edition), 2010, 25(1): 121-124. (in Chinese))

[2] 杜尚海.滹沱河地下水人工补给效果模拟[D].长春:吉林大学,2009:30-33 (DU Shang-hai. Simulation of Artificial Recharge Effects in Hutuo River Groundwater Reservoir[D]. Changchun: Jilin University, 2009: 30-33. (in Chinese))

[3] 崔秋苹,张增勤,徐丹梅,等.滹沱河地下水库建设条件分析[J].水文地质工程地质,2011,38(3):19-23 (CUI Qiur ping, ZHANG Zeng qin, XU Dan mei et al. An Analysis of Construction Conditions of Hutuo River Groundwater Reservoir[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2011, 38(3): 19-23. (in Chinese))

[4] 王志华,韩永涛.滹沱河地下水库入渗试验成果与初步分析[J].水科学与工程学报,2010(S1):118-120. (WANG Zhihua, HAN Yongtao. The Results and Preliminary Analysis of the Infiltration Experiment in Groundwater Reservoir of Hutuo River[J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2010 (Suppl): 118-120. (in Chinese))

[5] 陈望河.河北地下水[M].北京:地震出版社,1999:172-178. (CHEN Wang he. Hebei Groundwater[M]. Beijing: Seismological Press, 1999: 172-178. (in Chinese))

[6] 冯创业,张增勤,赵志超,等.滹沱河大型入渗试验及其入渗能力计算[J].水文地质工程地质,2013,40(3):19-23. (FENG Chuang ye, ZHANG Zeng qin, ZHAO Zhi chao, et al. Large Infiltration Test in Hutuo River and the Calculation of Its Infiltration Capacity[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2013, 40(3): 19-23. (in Chinese))

(上接第 94 页)

[9] 邸继征.小波分析原理[M].北京:科学出版社,2010. (DI Ji zheng. Wavelet Analysis Theory[M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese))

[10] 魏宝琴,李白萍.最优小波基的选取原则[J].甘肃科技,2007,23(10):42-43. (WEI Bao qin, LI Bai ping. The Optimal Selection Principle of Wavelet Base[J]. Gansu Science and Technology, 2007, 23(10): 42-43. (in Chinese))

[11] 唐桂文,江恒彪,左建章.基于小波阈值去噪理论的监测数据处理方法[J].测绘科学,2009,34(1):117-118. (TANG Gui wen, JIANG Heng biao, ZUO Jian zhang. Application of the Theory of Wavelet Analysis and the Distribution of Noise on the Monitoring Data of Project[J]. Science of Surveying and Mapping, 2009, 34(1): 117-118. (in Chinese))

[12] 许强,汤明高,徐开祥,等.滑坡时空演化规律及预警预报研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(6):1104-1112. (XU Qiang, TANG Ming gao, XU Kai xiang, et al. Research on Space time Evolution Laws and Early Warning prediction of Landslides[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engi-

neering, 2008, 27(6): 1104-1112. (in Chinese))

[13] 祁顺杰,陈皓锐. Morlet 小波在降雨的多时间尺度分析中的应用[J].南水北调与水利科技,2010,8(3):79-82. (QI Shun jie, CHEN Hao rui. Multiple Time Scale Analysis on Yearly Rainfall with Morlet Wavelet Analysis[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(3): 79-82. (in Chinese))

[14] 李潇,徐进军.基于小波分析与 LSSVM 的滑坡变形预测[J].大地测量与地球动力学,2009,29(4):127-130. (LI Xiao, XU Jin jun. Landslide Deformation Prediction Based on Wavelet Analysis and LSSVM[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2009, 29(4): 127-130. (in Chinese))

[15] 杨红伟,许江,吴鑫,等.周期水压力作用下砂岩变形试验与小波分析[J].重庆大学学报,2011,34(4):6-12. (YANG Hong wei, XU Jiang, WU Xin, et al. Experimental Analysis of the Deformation of Sandstone under Cyclic Pore Water Pressure and Wavelet Transformation[J]. Journal of Chongqing University, 2011, 34(4): 6-12. (in Chinese))