

地下水深渗井补源试验研究

吕宗宏¹, 吕荣莉²

(1. 龙口市水务局, 山东 龙口 265701; 2. 龙口市电业局, 山东 龙口 265701)

摘要:针对地下水深渗井补源效果问题进行试验研究, 试验采用地下灌注型入渗建筑物, 模拟洪水突发性过流和洪水含泥沙过流的入渗补给方式. 通过试验观测资料, 分析计算出深渗井单井入渗量, 表明地下水深渗井补源效果显著.

关键词:补源试验; 深渗井; 地下水

中图分类号: P641.25

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2002)05-0038-02

黄水河是流经山东省龙口市境内最大的河流, 发源于栖霞市的主山, 自东南向西北流入渤海, 总流域面积 1034 km², 干流全长 55 km. 黄水河流域是龙口市重要的商品粮基地, 是龙口市工农业生产和城镇居民生活用水的主要水源地.

自进入 20 世纪 80 年代以来, 由于连续干旱和工农业生产用水量的激增, 水资源供需矛盾日益突出, 致使地下水位大幅度下降, 负值区面积不断扩大: 黄水河流域地下水位最大下降了 5.6 m, 负值区面积达 25 km², 海水入侵面积达 21.5 km². 水的问题成为制约全市经济建设和社会发展的“瓶颈”因素.

由于黄水河源短流急, 每年汛期有 0.98 亿 m³ 的地表径流来不及入渗就流入大海. 为了拦截入渗并充分利用好这部分地表水资源而增加地下水资源量, 龙口市于 1999 年 9 月在黄水河采取了深渗井补源措施, 共计开挖深渗井 300 眼, 总进尺 5 236 m. 为查明深渗井补源的效果和在不同的径流条件下所能获得的地下水补给量, 于 2000 年 5 月进行了深渗井补源野外注水试验研究.

1 试验区地质概况

试验区地处断陷盆地中, 断陷盆地系中生代形成, 新生代继承发育, 故盆地基底由古老岩系的变质岩构成, 其盖层由下白垩系、下第三系、上第三系及第四系组成. 下白垩系由青山组紫红色凝灰质砂岩、砂砾岩组成, 不整合于下伏地层之上. 其上为下第三系黄县组煤系地层, 在盆地中广泛分布, 厚度大. 上段为灰绿色钙质泥岩夹灰白色砂岩, 厚 100~140 m, 成为盆地中第四系含水层的隔水底板, 在黄水河下

游的东羔及小河口的剥蚀台地边缘局部出露, 可见厚度为 2~5 m.

黄水河中下游平原区第四系含水层共有 2~4 层, 单层厚 0.5~4.5 m 不等, 总厚度 1~16 m, 主要由中粗砂砾组成, 含有较丰富的潜水, 涌水量为 2~62 L/s. 含水层中砂及砾石的磨圆度为棱角状, 分选一般, 且含有少量的细粒土, 渗透系数 102~119 m/d, 有效孔隙度 11%~17%, 属透水性和容水性较好的砂砾含水层. 不同含水层间都广泛地存在水力联系, 形成统一的水动力系统, 地下水的径流方向与黄水河地表水流向基本一致. 这样, 在河道中的地表水通过入渗建筑物集中入渗, 到达含水层后将大范围的地下水进行补给, 含水层中的疏干部分成为人工补给的有效存储空间. 由于黄水河沿岸现已建成了排污管道系统, 污废水经处理达标后通过排污管道排放入海, 使河道内地表水能够保持天然水质而不被污染.

2 试验井类型和结构

2.1 类型

深渗井补给的入渗建筑物, 一般可分为两种类型: 一是地表入渗型, 二是地下灌注型. 地下灌注型的优点是可以补给埋藏较深的含水层(地表有较厚的不透水岩层也无妨碍); 单位面积补给效果好, 强度大; 地面蒸发损失小, 入渗建筑物不占用地表较大面积. 故本次试验采用地下灌注型入渗建筑物.

2.2 结构

试验井井径为 800 mm, 内有外径 400 mm、内径 300 mm 的水泥滤水管. 管与井壁之间全部回填粒径 2~4 cm 的碎石, 经洗井后, 井口加上带有锥型孔的

水泥盖,孔眼直径 1~2 cm,孔数 24 个左右.试验井中心安装直径为 50 mm 的硬质塑料管作为测水管.2 眼深渗井同处于一条集水渗沟内,沟为长 26 m、底宽 2 m、顶宽 3 m、深 1 m 的槽型,沟内回填碎石和砾砂,构成反滤层.然后在其外围用粘性土筑成围堰作为渗水池,以保持地表在试验时像行洪产流一样,具有一个相对稳定的水层厚度,相当定水头条件.

3 试验场布置

试验井共布置 2 眼,编号为 Z_1 和 Z_2 ,中心距 20 m,垂直河道布置,井深分别为 18.8 m 和 19.55 m,为完整井.含水沙层厚度分别为 8.0 m 和 8.2 m.在 2 眼深渗井之间布置一眼观测井 G_9 ,用来观测 2 眼深渗井同时注水时地下水位的动态变化.地下水位观测孔布置 19 个:与地下水流向一致布置 8 个,编号为 $G_1 \sim G_8$,孔距不等,离试验井越远孔距越大;垂直地下水流向布置 6 个,编号为 $G_9 \sim G_{14}$;平面上控制性观测孔布置 5 个,编号为 $G_{15} \sim G_{19}$.

抽水井 4 眼,布置在试验场的河道上游,距离试验井 805~885 m,为抽水井影响半径的 2 倍以上,单井出水量在 30~50 m³/h.

输水管路由 4 根直径为 125 mm 的硬质塑料管与调节池连接.调节池使有压的管道水变成具有自由水的水流,通过堰板进入试验井.调节井尺寸为长 3 m、宽 2 m、深 1 m,并装有挡水孔板.在调节池的另一端安装底宽为 60 cm 的薄壁堰板.

4 深渗井试验

深渗井的工作状态,就是从试验开始到试验结束的整个过程中,深渗井的入渗量动态和水位动态.从观测这些动态特征中来认识补给水的运动规律.

试验井的工作动态按以下阶段进行:

a. 突发性充水阶段:相当于洪水发生时的情况.输送的试验水突然涌入渗池,冲入回填滤料的孔隙和井筒中,井内有大量气泡逸出.此时堰板只测得进水量而无出水量,持续时间 30 min 左右,在入渗量的动态曲线上表现为起始值很大,在 2 200 m³/d 以上.这与黄水河汛期首次行洪的情况一样,洪水前峰推进时遇到渗井表现为瞬间停留,实际上是人工建筑物中一次性容纳水的过程.

b. 动态不稳定阶段:是紧接上阶段后出现的.此时,大部分入渗水开始进入含水层,产生补给效果,但尚有部分入渗水被周围的非饱和地层所吸收,这包括入渗池周边的堆土吸收、包气带吸收.总之,这部分水多为非重力水.此段时间需要 2~3 h,时段内进水堰的流量开始稳定,而出水堰的流量表现波

动,说明入渗水量处于非稳定状态.

c. 动态相对稳定阶段:此时,影响范围内的非饱和地层被水饱和,入渗水几乎完全反映在对地下水的补给上.表现在进、出水堰的流量为常数,入渗量相对稳定,历时 212 h.显示在入渗量动态曲线上,是一条略显下降的波动曲线,波动范围在 30~40 m³/d.这是由于部分池底淤积,渗透力增加,入渗量减少,从而使曲线趋降.

观测井水位动态情况:经观测 19 眼观测井的水位均上升.曲线类型除 G_9 井外均为近似正态分布曲线,分水位上升阶段、水位相对稳定阶段和水位消落阶段(恢复水位阶段).水位的上升幅度视观测井与试验井的距离以及所在的方位而异,最大上升值为 0.28 m(G_8 井),最小上升值为 0.04 m(G_{14} 井),并且各井的上升最大值出现的时间也不同,最早出现在试验的第 3 天,最迟在第 8 天.

深渗井的注入式补给,是在井内水柱压力下向下揭穿的含水层整个厚度上产生影响,在压力驱动下导向更大的范围.由观测井分布可大致圈定出注水试验的影响范围为南北长 500 m,东西宽 400 m.

5 淤积试验

淤积试验是在给水条件下向调节水池中加细粒土,经人工搅拌成含一定沙量的混浊水(模拟河道行洪水)放入渗井中,使其在静水和过水状态下产生淤积作用.

从 2000 年 5 月 4 日 9 时起,到 19 时共 10 h 投土搅拌时间,总共投入细土约 3.5 m³,对混浊水定时取样测定泥沙含量以掌握混浊程度.泥沙含量最高达到 2 674.0 mg/L,最低在 333.1 mg/L,平均泥沙含量为 1 193.7 mg/L.淤积试验使 2 眼深渗井的入渗量共同衰减了 24 m³/d,占淤积前入渗量的 2.9%.淤积试验不仅引起了入渗量的减少,而且导致渗井中水位的下降, Z_1 井中水位下降了 13 cm, Z_2 井中下降了 8 cm.

6 补源效果及评价

由上述渗井的工作动态可知,渗井总的入渗量 Q 应包括入渗建筑物一次性充水量 Q_1 、非饱和地层吸收量及向含水层入渗量 Q_2 、完全补给含水层且动态稳定的入渗量 Q_3 、淤积试验时的入渗量 Q_4 和停止输水时渗沟中水体的消退量 Q_5 :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 48.6 \text{ m}^3 + 316.0 \text{ m}^3 + 7 698.0 \text{ m}^3 + 886.0 \text{ m}^3 + 31.4 \text{ m}^3 = 8 980.0 \text{ m}^3$$

(下转第 52 页)

3.4.2 钻孔和注浆

a. 钻孔注浆设备. 钻孔设备为凿岩台车和水平钻机, 采用 M120-C 凿岩台车钻短孔, 用水平钻机钻长孔. 注浆设备为 HFV-5D 双液差动定压手动变量注浆泵, 搅拌机为双层圆筒式.

b. 钻孔和注浆施工程序. 注浆孔的开孔直径不小于 90mm, 终孔直径不小于 65 mm. 钻孔和注浆的顺序为: 由外圈向内圈依次进行, 同一圈孔则间隔施工. 钻孔时遇涌水或因地层破碎卡钻时, 应停止钻进, 进行注浆, 然后扫孔再钻进、注浆.

除涌水量很大的注浆孔外, 一般注浆孔应先进行压水试验, 并据此修正注浆参数后再注浆. 按预注浆范围 5.0m 或 8.0m 注浆完毕后, 还需在开挖轮廓线外超前预注 40 cm 厚的化学浆液, 以加强阻水效果.

3.4.3 注浆结束标准

在注浆过程中, 注浆压力逐步升高, 当达到设计终压值时, 再继续注浆 10 min 或以上即可结束. 单孔注浆量与设计注浆量大致相同, 注浆结束时的进浆量一般在 20 ~ 30 L/min 以下.

(上接第 39 页)

可见, 输送清水时的稳定入渗量 Q_3 和淤积试验时的入渗量 Q_4 是总入渗量 Q 最主要的两部分, 占总入渗量的 90% 以上, 同时入渗时间也最长. 由这两部分求出的单位时间入渗量可作为单井入渗能力的代表值, 表示经过沉淀澄清后的入渗水及行洪时混浊水直接入渗时的量值.

经计算 2 眼深渗井在干扰情况下的单井入渗量平均为 430 m³/d (清水时) 和 404 m³/d (混浊水时), 在实际行洪时 300 眼深渗井的入渗量可达到 12.1 万 m³/d, 若全年行洪按 90 d 计, 则全年入渗量为 1089 万 m³, 效果显著.

补源工程分布面广量多, 受水文、地质、气象等条件影响较大, 与包气带岩层的渗透性能、含水层的物理性质、地表径流量、有效补给入渗时间等因素有着密切的关系. 本次试验在认识黄水河基本条件的基础上, 考虑了地表水体的静水压力、水的泥沙含量、单井的有效入渗面积、含水层的渗透能力、地下水的水力传导能力等主要因素, 并将其概化为简单模型, 求得的渗井补源的入渗量, 具有较广泛的代表性. 经对 2000 年和 2001 年 2 年行洪时入渗补源观测, 表明试验结果与实际情况基本相符. 所以试验单井入渗量可以代表深渗井补源在行洪时地表径流相对稳定条件下的单井入渗能力.

7 结 语

黄水河深渗井补源试验获得了大量观测资料,

3.4.4 注浆效果评定

在每一预注浆段设 3 个检查孔, 用来对注浆效果进行检查评定. 预注浆效果评定的项目为: ①严重破碎带的透水率应小于 0.2 Lu, 且任一处的漏水量小于 10 L/min; ②一般地段的透水率应小于 0.4 Lu, 且任一处的漏水量小于 10 L/min, 或进行压水检查时, 在 1.0 MPa 压力下, 进水量小于 2 L/min; ③由检查孔采取岩芯, 观察预注浆充填情况, 并测试检查孔的静水压力, 其压力值应小于 2 MPa.

4 结 语

圆梁山铁路隧道具有施工路线长、地质情况复杂等特点, 其预注浆方案能否顺利实施将关系整个工程的成败. 该工程自 2001 年 1 月开工以来, 各项施工基本按设计正常进行. 到 2002 年 9 月底, 已完成预注浆施工近 3 000 m. 经过预注浆处理的高承压水洞身段, 日涌水量已降至 200 ~ 300 m³, 静水压力也降至 1 MPa 以下, 实践证明该工程的预注浆设计是合理可行的.

(收稿日期: 2002-01-22 编辑: 马敏峰)

取得了比较满意的试验效果. 但是, 深渗井的长期使用效果有待进一步观察, 补源入渗建筑物类型有待进一步优化, 最有利的补给地段有待进一步研究, 以满足日益增长的水资源需求量.

参考文献:

[1] 山东省水利学校, 安徽水利电力学校. 地下水开发利用 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1983.
[2] 天津大学. 水利工程地质 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1982. (收稿日期: 2001-11-20 编辑: 熊水斌)

·简讯·

我国装机在 100 万 kW 以上的电站和电厂

我国已建装机在 100 万 kW 以上的电站和电厂见表 1.

表 1 100 万 kW 以上电站和电厂分级情况

装机容量/万 kW	水电站/座	火电厂/座	核电站/座	合计/座
100 ~ 149	11	57	0	68
150 ~ 199	4	10	1	15
200 ~ 249	1	2	0	3
250 ~ 299	1	0	0	1
≥ 300	1	1	0	2
合计	18	70	1	89

目前我国最大的水电站是二滩水电站 (330 万 kW), 其次是葛洲坝水电站 (271.5 万 kW) 和广州抽水蓄能电站 (240 万 kW); 最大的火电厂是浙江的北仑电厂 (300 万 kW), 其次是山东的邹县电厂和河北的张家口电厂, 装机均为 240 万 kW; 最大的核电站是广东的大亚湾核电站, 装机 180 万 kW.

(吴葵高供稿)