

中宁县黄河滩地傍河取水工程辐射井设计与施工

张志军¹, 张伟¹, 陈霄², 李海伟²

(1. 宁夏水投中宁水务有限公司, 宁夏 中卫 755100; 2. 北京中水科工程总公司, 北京 100048)

摘要: 中宁县地处黄河中游, 黄河滩地地下水受黄河补给, 是具有巨大开采潜力的水源地。针对中宁黄河滩地第四系含粘粒土砂卵石地层的傍河水源地, 选择辐射井作为取水建筑物, 完成5眼辐射井。集水井成孔采用反循环方法, 并配有专用钻头打捞含水层中粒径 > 200 mm 的漂石, 用具有扭力、推力、拉力和振冲力的全液压水平钻机进行水平辐射管施工。采用“等效大口井法”计算辐射井抽水量。对抽水试验的数据及相关资料进行分析, 比较辐射井、管井和大口井的稳定出水量和降深, 结果表明采用辐射井开采类似水源地是有效的取水方式。

关键词: 傍河水源地; 黄河滩地; 砂卵石含水层; 辐射井; 抽水试验; 取水工程

中图分类号: TU991.12 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2017)03-0069-04

Design and Construction of Radial Well for Water Intake Project near River in Yellow River Beach of Zhongning County/ZHANG Zhi-jun¹, ZHANG Wei¹, CHEN Xiao², LI Hai-wei² (1. Ningxia Water Investment Zhongning Limited Company, Zhongwei Ningxia 755100, China; 2. Beijing IWHR Company, Beijing 100048, China)

Abstract: Zhongning County is located in the middle Yellow River. Yellow River beach groundwater is supplied by Yellow River, which has great potential for mining water. For the riverside well field in the Quaternary clay sand gravel stratum of Zhongning Yellow River beach, radial well was selected to be water conservancy building and 5 wells were completed. The collecting well was constructed with reverse circulation method and special bit was equipped to fish the boulders in aquifer with particle size more than 200mm, the horizontal radiation tube was constructed by full hydraulic horizontal drilling rig with torque, thrust force, pulling force and vibro-compaction. The “equivalent big diameter well” was used to calculate pumping capacity of radial well. The data of pumping test and related information were analyzed to compare the stable water yield and drawdown of radial well, tubular well and large diameter well, the results show that the radial well is an effective way for the exploitation in the similar water resources.

Key words: riverside well field; the Yellow River beach; sand and gravel aquifer; radial well; pumping test; water intake project

随着社会经济的发展, 城镇化进程的加快, 对水资源的需要量越来越大, 水资源的供需矛盾日趋明显, 已经成为制约社会发展的重要因素, 在我国西北干旱半干旱地区显得尤为突出。针对现有水源地的供水能力无法满足经济社会的发展, 开辟新水源是缓解水资源供需紧张的主要措施之一。在河流沿岸, 从提高城镇供水安全、减少水资源开发成本、夺取两岸潜水无谓蒸发损失的角度出发, 应大力开发利用沿岸丰富的地下水资源, 作为城市的首选水源^[1]。合理的选取水源地的位置、地段, 是确保获得充足水量的前提条件。在紧靠常年性河流旁侧建立的地下水水源地, 是在很多水资源紧缺地区具有开发潜力的水源地^[2]。在河水混浊或流量变化大

的地区, 傍河地区水源地可以利用含水层本身的调蓄能力来调节河水缺水时节的供水量, 同时利用含水层来过滤净化河水, 具有富水性强、埋藏浅、易集中开采和管理等优点^[3]。傍河渗滤取水较河道直接取水具有优势, 能抵御一定程度的水污染事件^[4]。我国北方的北京、西安、兰州、西宁、太原、哈尔滨、郑州等大城市的大型供水水源地多为傍河取水型的^[5]。

1 工程概况

为促进社会经济的发展、加快中宁县城镇化建设的步伐, 解决中宁工业园水质较差、供水保证率低、无序开采的现象以及部分群众饮水安全问题, 保

收稿日期: 2016-07-20

基金项目: 国家科技支撑项目(编号: 2015BAD20B02-02)

作者简介: 张志军, 男, 汉族, 1967年生, 高级工程师, 硕士, 从事水利工程建设, 宁夏中宁县城新区北二环路南侧, zzj9009@126.com。

通讯作者: 陈霄, 男, 汉族, 1984年生, 工程师, 从事地下水开发利用工作, 北京市海淀区车公庄西路20号综合楼115, xchen@163.com。

障经济社会、水资源的可持续发展,生态环境良性循环,拟在黄河滩地建设地下水水源地。一期建设规模为 $6\text{万 m}^3/\text{d}$,二期建设规模为达到 $10\text{万 m}^3/\text{d}$ 。

中宁地处黄河冲积平原,地势平坦开阔,西高东低,南高北低。水源地位于黄河中宁冲积平原黄河滩地,为第四系地层,宽度 $20\sim 400\text{ m}$,地下水水位埋深 $1.3\sim 1.7\text{ m}$ 。根据黄河北侧沿岸 50 m 深度内勘察资料,上部为砂卵石层,厚度为 $25.0\sim 27.0\text{ m}$,渗透系数 5.81 m/d ,下部为粉砂粘砂土层,可利用含水层为上部砂卵石地层,厚度 $23.3\sim 25.7\text{ m}$ 。由于上部砂卵石含水层中含粘粒及细砂充填,地层渗透性差,渗透系数较一般砂卵石地层小。根据黄河北岸石空镇已建水井调查情况来看,管井出水量在 $40\sim 70\text{ m}^3/\text{h}$,由于工艺限制,常规管井成井很难将管井周围的细颗粒排出,导致出水量小、含砂量高,且长期运行容易淤堵。

地下水取水构筑物的型式多种多样,综合归纳可概括为垂直系统、水平系统、联合系统和引泉工程四大类型,如管井、筒井、大口井、轻型井、截潜流工程、坎儿井、卧管井、辐射井、复合井等多种型式的构筑物^[6-8]。合理选择、布置水源井,是有效开发利用地下水资源的关键。《宁夏水源地基本情况表》表明宁夏未有傍河水源地,宁夏地下水主要开采方式为机井开采,大部分机井集中在平原和山区河谷洼地^[9]。针对傍河水源地的水文地质特性,张治晖等^[10]通过应用研究指出辐射井是傍河取水的高效开发模式,对于含水层在 30 m 以内,含水层岩性在细砂以上的滩地进行水源开发,根据含水层厚度布置一层或多层,这样的设计能够最大限度地开发地下水资源,具有单井出水量大、寿命长、管理方便、维修便利、占地少等特点,广泛应用于城镇和厂矿供水。2003年,在宁夏引黄灌区实施抗旱机井建设过程中,引进辐射井,先后在宁夏惠农县、平罗县、贺兰县、利通区共打辐射井5眼,用于农田抗旱保灌,均取得良好效果^[11]。中宁黄河滩地地下水水源地取水工程设计采用辐射井工程。

2 辐射井设计

2.1 辐射井结构设计

该取水工程共设计辐射井5眼,如图1所示。

竖井大小主要是满足水平辐射管施工和安装水泵的需要。竖井井管由钢筋砼做成,不透水,外径

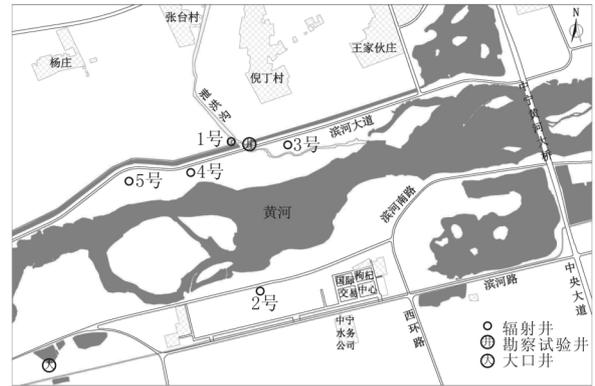


图1 建井位置图

3.40 m ,内径 3.00 m ,每节 1 m 。井座外径 3.40 m ,内径 3.00 m ,底厚 30 cm ,高 1 m 。一般井的深度愈深,含水层透水性愈好,水量愈大。欲想得到较大的水量,井需要有一定的深度,深度越深,开采水量愈大。考虑到该项目区的水文地质条件,竖井井深 30.0 m 。

水平辐射管的作用是将含水层中的地下水汇集到竖井内,水平辐射管层次和根数以含水层厚度为原则布设,水平辐射管长度以技术能力为原则,力求越长越好,充分地开发含水层水量,激发河水对地下水的侧渗补给。根据本工程的水文地质条件,水平辐射管设计4层,每层8根,每根设计长度 $15\sim 20\text{ m}$,长度根据实际含水层粒径、密实度做适当调整。最底层水平辐射管布置在埋深 26 m 处,然后向上每隔 2.0 m 布置一层。水平辐射管用滤水管采用无缝钢管,设计管径 127 mm ,滤水孔采用圆孔,圆孔直径 $12\sim 15\text{ mm}$,开孔率 $5\%\sim 6\%$ 。

辐射井结构设计如图2所示。

2.2 单井出水量估算

辐射井涌水量按“等效大口井法”计算,不受干扰单井出水量按下式计算,即

$$Q = \frac{2\pi KS_0(2H - S_0)}{\ln[(R + r_f)/r_f]} \quad (1)$$

式中: Q ——辐射井单井出水量, m^3/d ; K ——渗透系数, m/d ; S_0 ——水位降深, m ; H ——静水位至不透水层距离, m ; R ——辐射井的影响半径, m ; r_f ——等效大口井半径, m 。

r_f 可用下列经验公式确定,即

$$r_{f1} = 0.25^{1/n} L \quad (2)$$

$$r_{f2} = 2 \sum L / (3n) \quad (3)$$

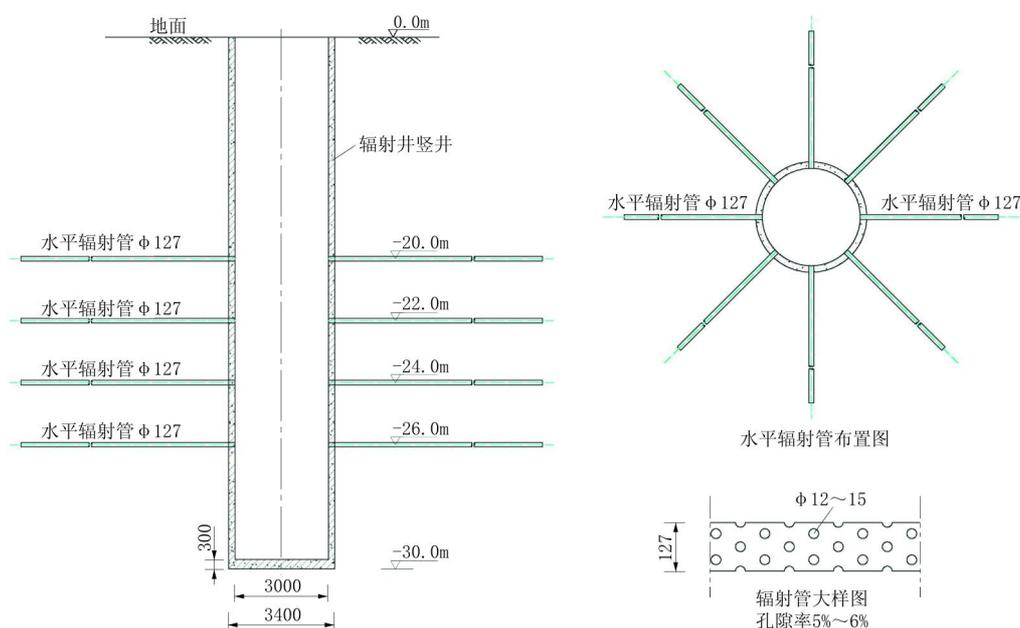


图2 辐射井设计图

式中: r_{f_1} ——水平辐射管等长度时的等效半径;
 r_{f_2} ——水平辐射管不等长度时的等效半径; L ——单根水平辐射管的长度, m; n ——单层水平辐射管根数。

计算按照地下水位埋深 1.5 m 考虑,含水层平均厚度 $H = 23.5$ m;根据勘查数据资料, $K = 5.81$ m/d;水平辐射管按照 4 层,每层 8 根,每根水平辐射管 $L = 20$ m;辐射井的影响半径 $R = 50$ m。

则(1)式计算得到 $Q = 334$ m³/h。

3 辐射井施工

3.1 集水井成井工艺

集水井施工方法采用机械成孔、漂浮法下管,钻孔直径为 3.8 m。采用反循环钻孔,即采用泥浆泵将被钻头搅松的砂卵石从钻杆抽出,泥浆再循环流入孔中。反循环钻进特别适合于在第四系松散地层中钻进大口径钻孔^[11]。

集水井施工的工艺流程为:预制井管→测量放线→浇注护筒和作泥浆池→安装竖井钻机→向泥浆池和护筒内充满水→造泥浆→钻孔进尺→达到设计深度,钻孔结束→吊开钻机→下井管→井外回填。

对于含有粒径 >200 mm 的漂石地层,采用针对此类地层的辐射井专用竖井钻头^[12],钻头采用带有硬质合金刀头的四翼钻头,钻头直径为 3800 mm,在钻头前端安装直径为 1000 mm 捞石筒,能很好地解

决钻进过程中碰到的漂石,加快了竖井成孔速度,保证成孔深度。

3.2 水平辐射管施工

水平辐射管是辐射井出水量的关键。水平辐射管施工工艺流程为:安装三脚架和卷扬机→安装水泵→抽干竖井内的水→吊装钻井平台→吊水平钻机在平台上→水平钻机对准孔位→打水平管→洗井。

根据水源地含水层的特点,施工设备选用具有扭力、推力、拉力和振冲力的全液压水平钻机,在高频冲击的作用下,含水层中小于滤水管滤水孔直径的细颗粒物在含水层的一定水头和滤水管的振动下随水排入集水井中,减小滤水管钻进阻力,使水平辐射管的钻进长度基本超过设计长度 20 m,并加速滤水管周围反滤层的形成。

4 成井效果

4.1 完成情况分析

实际施工完成的水平辐射管的情况见表 1。完成施工任务后,对每眼辐射井进行的抽水试验,出水量都达到了 320.0 m³/h 以上,见表 2。

表 1 及表 2 表明,该黄河滩地含水层中存在局部透镜体或大量漂石,使得水平辐射管施工难度大;含水层渗滤效果不理想;黄河南岸滩地含水层地质条件较北岸好,在实际施工过程中,南岸地层的漂石较北岸少很多。

表1 水平辐射管布置一览表

井号	层次	埋深/m	每根长度/m							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	18.5	22	23	14	15	16	19	22	15
	2	20.5	14	22	15	14	23	22	14	24
	3	22.5	17	14	16	15	16	17	18	15
	4	24.5	17	16	15	16	16	17	18	15
2	1	13.5	23	20	18	28	17	18	18	17
	2	22.5	14	18	16	20	14	15	17	19
	3	24.5	15	16	14	15	15	15	23	16
	4	26.5	16	15	19	20	19	19	17	17
3	1	15.5	11							
	2	17.5	19	17	20	16	23	22		
	3	19.5	17	18	19	23	23	17		
	4	21.5	16	19	23	22	27	27	32	32
	5	22.5	20	19	16	5	8	5	5	
	6	23.5	24	15	17	23	19	22	18	20
	7	25.5	9							
4	1	18.5	27	21	26	23	29	17	18	18
	2	21.5	19	23	24	21	14	22	20	23
	3	23.5	20	14	20	22	22	27	22	19
	4	24.5	20	12	30	30	20	23	24	20
	5	25.5	8							
	6	26.5	6							
5	1	18.5	29	18	23	28	22	26	29	27
	2	19.5	17	23	22	17	17	17	16	17
	3	20.5	20	17	22	23	20	17	21	21
	4	22.5	24	23	24	24	23	26	30	29
	5	24.5	22	23	19	25	24	22	28	26

表2 辐射井抽水试验情况一览表

井号	静水位/m	动水位/m	降深/m	出水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	备注
1	4.60	19.44	14.76	333.0	黄河北岸
2	4.70	15.36	10.66	342.0	黄河南岸
3	4.95	19.48	14.53	314.0	黄河北岸
4	2.58	15.08	12.50	332.0	黄河北岸
5	3.40	17.24	13.84	336.0	黄河北岸

4.2 成井效果对比分析

将完成的5眼辐射井与水源地质查试验井(井深51 m)、南岸已建成的大口井(井深15 m)进行对比,见表3。

由表3可知,在中宁黄河滩地,辐射井的单位出水量分别是管井的7倍左右,是大口井的2~3倍。对于类似中宁县黄河滩地含水层来说,辐射井是开发地下水的有效途径。

5 结论

中宁黄河滩地地下水受黄河补给,水质好,含水层为较厚的砂卵石地层,具有非常大的开采潜力,是

表3 抽水试验成果对比分析表

对比指标	水位	单井出水	单位出水量	单位出水量对比	
	降深/ m	量 Q / $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	$q/[(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})]$	$q_{\text{辐射井}}/q_{\text{管井}}$	$q_{\text{辐射井}}/q_{\text{大口井}}$
1号辐射井	14.76	333.0	22.56	6.75	1.95
2号辐射井	10.66	342.0	32.08	9.60	2.78
3号辐射井	14.53	314.0	21.61	6.47	1.87
4号辐射井	12.50	332.0	26.56	7.95	2.30
5号辐射井	13.84	336.0	24.28	7.26	2.10
勘查试验井	23.74	79.3	3.34		
大口井	6.50	75.0	11.54		

较理想的大型傍河水源地。但中宁黄河滩地砂卵石含水层中含粘粒,地层渗透性差,渗透系数较一般砂卵石地层小很多,取水方式的选择在这一类似地区尤为重要。由于工艺限制,常规管井成井很难将管井周围的细颗粒排出,导致出水量小,且长期运行容易堵。在砂卵石含水层中,辐射井在水平井施工中通过振动能够排出大量细颗粒泥砂,使辐射管周围形成较好的反滤层,出水量大。中宁实施的5眼辐射井,其出水量是试验勘查井的7倍左右,是大口井的2~3倍,是开采类似水源地非常有效的取水方式。

参考文献:

- [1] 林学钊,廖资生,等. 黄河流域地下水资源及其开发利用对策[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2006,(9):677-684.
- [2] 韩再生. 傍河地下水水源地的若干问题[J]. 工程勘察,1996,(4):24-26.
- [3] 殷昌平,孙庭芳,等. 地下水源地勘查与评价[M]. 北京:地质出版社,1993:152.
- [4] 安世泽,廖禄云,等. “7.21”涪江污染事件对绵阳某傍河地下水水源的影响[J]. 地质灾害与环境保护,2013,24(3):60-63.
- [5] 刘国义,秦延军,等. 傍河潜水水资源评价[J]. 工程勘察,2008,(1):221-225.
- [6] 刘福臣,张桂芹,等. 水资源开发利用工程[M]. 北京:化学工业出版社,2006:117.
- [7] 水利部农村水利司. 机井技术手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,1995:117-123.
- [8] 叶成明,李小燕,等. 浅层地下水取水工程综述[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(6):29-32.
- [9] 张黎,王利,等. 宁夏地下水资源[M]. 宁夏银川:宁夏人民出版社,2003:128-140.
- [10] 张治晖,赵华,等. 傍河取水辐射井技术应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(2):44-46.
- [11] 司建宁,杜历. 辐射井技术在宁夏应用的探索与实践[J]. 宁夏工程技术,2011,3(2):179-182.
- [12] 中国水利水电科学研究院. 砂卵石地层辐射井竖井钻头. 中国:ZL201220629115.3[P]. 2013-05-15.