

黄河卫宁段申滩至泉眼山傍河取水辐射井设计

何瑞毅

宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 辐射井为大口井和若干横向辐射管(孔)联合组成的集取地下水的傍河取水建筑物。其取水范围大、单位降深出水量大,适合埋藏浅、厚度薄、透水性强、有补给来源的砂砾含水层。本文结合清水河城乡供水工程水源工程傍河取水辐射井的设计为今后类似工程提供参考。

关键词: 辐射井;设计;涌水量

引言

清水河流域城乡供水工程设计从黄河中卫段取水,新建辐射井群20眼、加压泵站4座、调蓄水池7座,铺设输水主管道194km,新建改造净水厂9座,规划年引水量 $6164\times 10^4\text{m}^3$,供水范围涉及中卫市沙坡头区和中宁县、海原县,吴忠市红寺堡区、同心县,固原市原州区等6个县(区)42个乡镇 135.75×10^4 人。工程建成后,将形成我区中南部地区供水的“主动脉”,有效增加供水水量,提高供水保障率,统筹解决清水河流域城乡居民生活和产业发展用水问题,对有效破解中南部地区缺水瓶颈、改善当地群众生产生活条件、切实维护区域生态安全具有重大意义。

工程以中卫市黄河右岸申滩至泉眼山一带浅层地下水为水源,采用井群取水。结合水文地质及工程规模,共布置20组井群。

1 水文地质

1.1 地形地貌

工程水源地位于卫宁冲积平原,黄河流向由西至东,河床落差约60余米,河床比降1/1245,河道平均宽918m,主河槽宽554m,河心滩高差约3.75m。卫宁平原二级阶地发育,一级阶地只在沿河道凹岸处分布。二级阶地构成冲积平原主体,二级阶地宽约3400m,阶面高程1158~1190m,阶地属于典型的二元结构,表层为壤土层,其下为圆砾、砾石层。

1.2 地层岩性和水文地质条件

水源地工作区分布的主要地层有:第四系全新统(Q_4^{2ap1})角砾, Q_4^{1ap1} 冲积壤土、角砾;第四系上更新统(Q_3^m)黄土;上更新统(Q_3^{1p1})碎石;寒武系变质砂岩,泥盆系中统砂岩等。

第四系全新统冲积物(Q_4^{2ap1})以冲积砂卵砾石为主,分布于黄河右岸漫滩及一级阶地部位,发育厚度普遍大于50m。卵砾石由砂岩、片麻岩和火成岩类等组成,磨圆较好,分选性差,多呈片状或扁平状,粒径一般

1~15cm,最大可达30cm,卵砾石含量70%以上,砂为灰黄色细砂。该层上部有壤土或砂壤土层分布,发育厚度一般3~5m,分布较稳定。

地下水类型主要为孔隙潜水,含水层分布于黄河漫滩及一级阶地砂砾石中,水位埋深较浅,钻孔揭露地下水埋深为0.65~2.8m,水位升降受季节影响较大,水位变幅0.5~3m。含水层厚度一般大于50m。

含水层孔隙潜水主要接受大气降水和农田灌溉补给,还有南侧基岩裂隙水的侧向补给,补给来源受季节影响较大。区内地下水径流也不均一,地下水多以潜流的形式排入黄河及相邻渠道。

1.3 井位处水文地质条件

地层情况自上而下岩性为:0~20m卵砾石:杂色,饱和,稍密-密实,分选性差;卵砾石母岩成分以石英岩、花岗岩、砂岩为主,呈磨圆状;砾石含量约占60%,一般砾径2~5cm;卵石含量约占15%,一般粒径6~10cm;其余为粉细砂和少量粘粒;表层约1m为耕植土。

20~26m砂砾石:杂色,饱和,密实,分选性中等;砾石母岩成分以石英岩、花岗岩、砂岩为主,呈磨圆状,含量约占60%,一般砾径1~2cm;其余为细砂,含少量粘粒。

26~62m含砾细砂:该层未揭穿。黄褐色,饱和,密实,分选性中等;砂以细砂为主,主要成分为长石、石英及暗色矿物,含量约占60~70%;砾含量约占20~30%,一般砾径0.2~1cm,呈磨圆状;密实度较好,手难捏碎。

2 辐射井设计

2.1 井型选择

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^[1],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^[2]、复合井等多种型式的构筑物^[3]。

辐射井作为开采浅层地下水,保障工业、城市和农

业灌溉排水及调控地下水位一种较为理想的井型，与常规井相比，具有出水量大、寿命长、管理费用低、维修方便、便于集中管理等优点^[4]。

2.2 辐射井结构

辐射井是由一口大直径的竖井和自竖井内的任一高程和水平方向向含水层打进具有一定长度的多层、数根至数十根水平辐射管所组成，如图1所示。

(1) 竖井

竖井大小主要是满足水平辐射管施工和安装水泵的需要。竖井井管为钢筋混凝土，混凝土强度为C30，井管内径3m，壁厚0.4m。考虑到该项目区的水文地质条件，竖井井深定35.0m。

(2) 水平辐射管

水平辐射管是把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^[5]。

根据本工程的水文地质条件，水平辐射管设计4层，每层7根，共28根，每根设计长度30m，长度根据实际含水层粒径、密实度做适当调整，临河侧多布置，背河侧少布置。最底层水平辐射管布置在埋深30m处，然后向上2.0m、4.0m、6.0m各布置一层，上下层之间辐射管错位布置，实际施工过程中，可根据底层岩性，合理布置水平辐射管的层数、间距、数量及长度。

水平滤水管选用筛管，缝宽0.5mm，开口面积14%，材质为304不锈钢。实际施工过程中，根据底层岩性，合理选择滤水管规格。

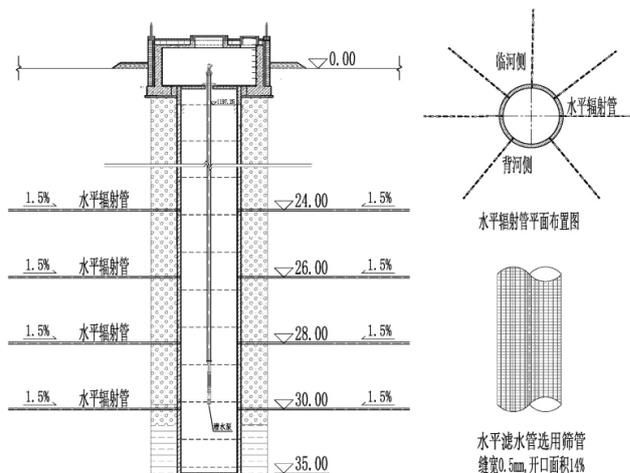


图1 辐射井设计图

2.3 辐射井水质评价

现有水源地民井地下水水质普遍较差，大部分以V类水质为主，且越靠近南侧山区水质越差。

对布置抽水孔进行抽水前、后地下水水质进行评价。抽水孔抽水前地下水水质为V类，抽水孔三个降深抽水后地下水水质均为II类水质，抽水结束后约一周左右，地下水均为V类水质，地下水质量级别为较差~极差。水质评价结果表明水源地抽水进行地下水置换对改善水质有明显效果。

2.4 涌水量估算

(1) 主要计算参数

根据抽水试验成果、试验场地水文地质条件、水源地水文地质条件以及区域水文地质资料，水源地主要水文地质参数建议值见表1。

表1 水源地主要水文地质参数建议取值表

含水层岩性	渗透系数 (m/d)	场地概化渗透系数K (m/d)	影响半径R (m)
砂卵石层	10~15	6~10	500~800
砂砾石或砂砾层	4~8		

水源地稳定流抽水试验渗透系数计算结果范围6m/d~10m/d。根据本水源地稳定流抽水试验数据，水文地质勘察报告给出5.9m/d、6.9m/d、9.9m/d，三组数字。考虑辐射井长期高强度抽水，预期含水层细颗粒逐渐被带出，渗透系数有增大趋势，设计取中间值平均值6.9m/d进行计算较为合理。

(2) 计算公式

目前，国内多采用等效大井公式法^[6]计算辐射井出水量，即

$$Q = \frac{1.36KS_0(2H - S_0)}{\lg(R/r_f)}$$

式中：K为渗透系数； S_0 为井壁外侧水位降落；H为含水层的有效厚度；R为辐射井的影响半径； r_f 为虚拟等效大口井的半径；虚拟等效大口井的半径按经验公式计算。

计算按照 $H = 45.0\text{m}$ ， $r_f = 24.6\text{m}$ ， $S_0 = 15\text{m}$ ， $R = 650\text{m}$ ，计算得 $Q = 4724\text{m}^3/\text{d}$ 。

3 辐射井施工

辐射井施工步骤主要为：场地平整→泥浆池及泥浆制作→竖井机械成孔→竖井漂浮法下井管成井→抽干井内存水→滤水管加工→安装水平钻机→水平辐射管施工→洗井→抽水试验→清理现场。

3.1 竖井施工

一般含水层中成井主要有两种方法：沉井法和机械

钻孔成孔、漂浮下井管成井。沉井法随着深度增加，沉井难度也增加，沉井深度一般不超过20m。机械钻孔成孔、漂浮下井管成井法是采用机械钻进成孔，可达数百米，但考虑到辐射井下施工人员的安全，一般辐射井竖井深度不超过40m。

本工程设计辐射井采用旋挖钻成孔、漂浮下井管成井。通过钻斗的旋转、削土、提升、卸土和泥浆撑护孔壁，反复循环，钻孔深度达到15米后，更换φ3800mm自制的钢架扩孔器，直到扩孔到堆积料的高程，在更换钻斗继续成孔，用φ2400mm钻头和φ3800mm扩孔器相互交

替作业，直至成孔φ3800mm达到设计深度。钻机挪离孔位后，安装井管固定支架，将井座吊装到井孔内，清理入井井座平面，井座表面铺一层10cm厚掺入水玻璃的水泥砂浆。吊起第一节预制井管，井管与井座接口处水泥勾严抹平，然后将两节井管间钢板满焊焊接。接口上下各20cm的范围用防水卷材作密封处理。下部20m采用三层，上部采用两层。匀速放松钢丝吊绳，使管井下沉，然后吊起下一节井管，重复操作。用水泵往井管内加水使井管充分下沉。下井管结束后，将井管外围的空隙用粗砂回填实。

表2 漂浮法下井管施工质量检验标准表

项目	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	1 井管质量	设计要求	按设计要求参数现场检测
	2 井深	不小于设计值	用测绳量
	3 井位	≤ 200mm	全站仪或用钢尺量
一般项目	1 井径	不小于设计值	用超声波或井径仪测量
	2 垂直度	≤ 1/100	用超声波或井径仪测量
	3 井口标高	+30~-50mm	水准仪
	4 孔内沉渣厚度	≤ 5%井深	用沉渣仪或重锤测

3.2 水平辐射管施工

水平辐射管的施工自下而上进行，采用套管法的施工工艺，套管的施工采用冲击顶进和套管钻进法钻进。

滤水管主体采用φ127无缝钢管和φ98mm绕丝滤水管，滤水管根据地层情况和水平辐射管的布置情况合理选择，每根滤水管长度0.83-0.88m，套管采用的φ127和φ168两种。套管冲击打进含水层，直至达到设计长度。将滤水管一根一根放入套管中，直至设计长度。脱开套管钻头，拔出套管。待水平辐射管中水清砂干净后，进行滤水管封孔处理。最后一条滤水管末端焊接安装法兰盘，在滤水管与预埋管间紧密填充橡胶板和麻绳密封，最后在法兰盘上安装带有橡胶板的盲板。重复施工，直至完成所有水平辐射管施工。在水平辐射管钻进、滤水

管安装施工时，需要进行24小时排水和定期洗井。

4 成井情况

完成情况

辐射井设计遵循“一井一勘一试”的原则，及时调整设计，水平管布置三层时，每层10孔，布置4层时，每层8孔。完成施工任务后，进行抽水试验，由于井群数量多、布置范围大、地质变化等情况抽水试验结果差异较大，但总水量达到设计要求。实际成井情况及抽水统计见表3。

将完成的20眼辐射井与水源地勘试验管井1#（DN800、井深51m、开孔率16%、出水量2764.8m³/d）和2#（DN500、井深54m、开孔率8%、出水量1921m³/d）进行对比，辐射井的平均出水量是试验管井出水量的4倍多。

表3 辐射计成井及抽水试验统计表

编号	竖井深 (m)	辐射管类型	水平辐射管埋深 (m) / 参数				试验出水量 (m ³ /d)	备注
1	38	花管	20/12	24/9	33/12		9648	
2	35	花管	18.7/2	24.7/2	28.7/1	32.7/1	12960	
3	37	绕丝管	20.7/2	24.7/2	28.7/1	32.7/1	10440	
4	37	绕丝管	19/2	23/2	27/1	31/1	14688	
5	37	绕丝管	21/2	23/2	29/1	33/1	7000	
6	36.5	花管	19/12	23/12	27/9	31/9	14544	
7	34	绕丝管	10/2	14/2	18/2		8928	
8	34	花管	17/12	21/10	25/9	29/8	11808	
9	33.8	绕丝管	17/2	21/2	25/0.5	29/0.5	6004.8	

续表:

编号	竖井深 (m)	辐射管类型	水平辐射管埋深 (m) / 参数				试验出水量 (m ³ /d)	备注
10	35	花管	16.7/12	20.7/12	24.7/12	28.7/12	7200	
11	35	花管	19.3/12	23.4/9	17/9	30.2/9	11376	
12	38	花管					4320	试验井
13	35	绕丝管	17/2	23/2	29/0.5		15552	
14	35	绕丝管	19/2	23/2	27/2	31/0.5	11088	
15	37	绕丝管	19/2	23/2	27/2	31/2	8640	
16	32	花管	19/12	23/12	27/9		6192	
17	36.5	花管	19/12	25/9	29/9	33/9	7200	
18	37	绕丝管	19/2	23/2	27/1	33/1	9460	
19	33	花管	16/12	20/9	24/9		7056	
20	35.5	花管	20/12	24/9	28/9	32/9	9028	

注: 参数, 花管为开孔率%, 绕丝管为绕丝缝宽mm。

建议与结论

自2021年6月开始初步供水至2024年6月底20眼辐射井全部完工, 已经累计供水 $3576 \times 10^4 \text{m}^3$ 。经过设计优化调整和现场的施工探索, 主要设计经验和体会如下:

(1) 对于类似于河道滩地含水层较浅, 利用辐射井可以取得较大水量, 若在设计和施工阶段及时按照地层情况调整水平辐射管的埋深、层数及数量, 可以高效开发类似河道滩地地下水资源。

(2) 竖井施工时合理选择施工机械, 针对黄河滩地地层为卵砾石、砂砾石地层本次选择旋挖钻泥浆护壁成孔, 钻进过程中及时调整泥浆配比, 不仅减少了塌孔, 而且加快了施工进度, 成孔质量也得到了保证。

(3) 鉴于水源工程的重要, 加之地下水动态的复杂性, 在设计水源工程取水方案时要进行充分论证, 辐射井为主要取水方案时可以在辐射井中间布置管井, 使各井在联合开采状态下达到相互干扰的工况, 最大限度的降低开

采范围内的地下水位, 充分激发河道的侧向补给量。

参考文献

- [1]刘福臣,张桂芹,等.水资源开发利用工程[M].北京:化工专业出版社,2006:117.
- [2]叶成明,李小杰,刘迎娟.浅层地下水取水工程综述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(06):29-32.
- [3]张志军,张伟,陈霄等.中宁县黄河滩地傍河取水工程辐射井设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(03):69-72.
- [4]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,2004,3(2):179-182.
- [5]张治晖,赵华.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.
- [6]周维博,施垌林,等.地下水利用[M].北京:中国水利水电出版社,2006:179-183.