

浅谈辐射井在供水工程中的应用

丁 平

宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司 宁夏 银川 750004

摘 要：随着经济社会的发展，水资源短缺问题日益严重，辐射井作为高效的地下水收集工具，逐渐得到广泛应用。本文以宁夏中卫市的某项目辐射井为例，详细探讨了其设计和施工过程。通过对工程及水文地质条件的分析，提出了两种水平管布设方案，并选择最优方案进行实施。在施工过程中，采用了大扭矩反循环钻机和漂浮法下井管等技术，确保了施工的稳定性和效率。结合供水工程水源辐射井的施工实践，提出几个施工关键点及应对措施，结果可供类似工程参考。

关键词：辐射井；水文地质；水平辐射管施工；漂浮法下井管

引言

随着经济社会的迅速发展，需水量不断增加，水资源短缺已成为制约经济社会可持续发展的关键因素。用水需求的急剧增加导致了对地下水资源的大规模开采，尤其是在生活和工程用水方面^[1]。普通管井已难以满足不断上升的用水需求。辐射井（也称辐射管井或辐射式水源井）是一种特殊的井型，由大口径的集水竖井和多个水平辐射管（孔）组合而成^[2]。其中竖井部分为辐射井的垂直部分，通常为钢筋混凝土结构，起到连接和固定水平辐射管的作用；水平辐射管通常采用钢管或钢筋混凝土管^[3]，其从竖井的底部或中部穿过井壁，深入含水层，并呈辐射状向四周延伸，在更大范围内拦截和收集地下水，从而提高单位面积的出水量^[4]。辐射井的出水量比普通管井和筒井高出数倍。此外，由于其水平集水管可以深入含水层数十到上百米，导致水位下降范围大且降速快，因此也具有良好的排水效果^[5]。辐射井适用于含水层厚度较大、地下水资源丰富的地区，尤其是第四系松散岩类含水层。

1 辐射井起源

辐射井技术首次出现于20世纪30年代初，并在美国、英国和日本等国家先行推广。虽然我国在该技术领域研究起步较晚，但其发展速度极为迅速。最初，该技术的研究主要由铁路和城市建设部门负责。鉴于辐射井在提高出水量方面的显著优势，该技术很快在陕西省黄土塬区得到了广泛应用，并显著提升了该地区的经济效益。到了20世纪80年代，经过多年在农业灌溉和排水技术方面的研究积累，中国水利水电科学研究院成功开发出适应国内需求的辐射井技术。这种技术已被广泛应用于农田灌溉、城市供水和基坑降水等多个领域。这一系列研究和应用成果标志着中国在辐射井技术领域取得

了重要突破。目前，辐射井不仅在水文地质研究中发挥着重要作用，还被广泛应用于生态修复和资源管理等领域，成为水资源科学研究不可或缺的工具。辐射井的设计和施工是一个复杂的工程决策过程，需要综合考虑多种因素以确保工程的成功和效率，如水文地质条件、地形地貌、土壤和岩性、地下水化学特性、环境因素、可达性和交通、施工空间、现有基础设施、供水需求、法规和政策、社区和公众意见等，这些因素会影响井的施工方法和成本。本文针对辐射井在供水工程中发挥的关键作用，以宁夏中卫市黄河沿线的某辐射井为例，对其设计和施工过程进行研究与讨论。

2 工程及水文地质条件

某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，通过辐射井取水，经汇集后加压沿清水河川逆流而上，在终端与中南部城乡饮水安全水源工程固原南郊水厂出口市政管网相连。该辐射井共计布设地勘钻孔8处，抽水井钻孔孔口高程为1208.83m，孔深62m。其中0-19m为砂卵砾石，砾石含量约占60%，一般粒径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。19-26m为砂砾石，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%，一般粒径1-2cm；其余为细砂，含少量粘粒。26-60m为含砾细砂，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%，一般粒径0.2-1.0cm。60-62m为泥岩。

水源区的地下水类型主要为孔隙潜水，含水层分布于黄河漫滩第四系地层中，水位埋深较浅，钻孔揭露地下水位埋深约为1.5m，2020年6月28日实测水位高程为1207.33m。含水层厚度大于55m，是良好的渗流通道和储水场所。根据试验场水文地质勘探资料，含水层厚度大

于55m。

3 辐射井设计

据调研,辐射井的水平滤水管采用DN127mm无缝钢管打孔制成,壁厚8mm,材质为20号钢,水平滤水管长度大于20m,开孔率大于8%。初步拟定辐射井水平滤水管的两种布设方案。

方案一共计布设三层水平滤水管,水平管竖向间距4m,分别位于地下17m、21m、25m,高程分别为1191.83、1187.83、1183.83m(即砂卵石层布设1层水平滤水管,砂砾石层布设2层水平滤水管,含砾细砂层不进行布设),单层布设10根,共计布设30根。水平滤水管均采用DN127mm无缝钢管,首层开孔率为12%,孔径为15mm;第二层开孔率为10%,孔径为12mm;第三层开孔率为10%,孔径为12mm。

方案二共计布设四层水平滤水管,水平管竖向间距4m,分别位于地下17m、21m、25m、29m,高程分别为1191.83、1187.83、1183.83、1179.83m(即砂卵石层布设1层水平滤水管,砂砾石层布设2层,含砾细砂层布设1层),单层布设8根,共计布设32根。水平滤水管采用DN127mm无缝钢管,首层开孔率为12%,孔径为15mm;第二层开孔率为10%,孔径为12mm;第三层开孔率为9%,孔径为11mm;第四层开孔率为8%,孔径为9mm。

通过对比分析可知,方案一最底层水平滤水管布设过高(25m),导致底层水量无法获取利用,且辐射井井筒底部10m无辐射管布设,造成浪费;相比之下,方案二可获取含水层厚度较大(地下29m),且水平滤水管布设较为均匀,取水层水位降落较为稳定,且滤水管平均开孔率较大,集水效果较好。最终选择方案二为辐射井水平滤水管布设方案。

4 辐射井施工

4.1 竖井机械成孔

4.1.1 施工流程

本工程辐射井竖井井深较深,地下水位较浅,主要含水层为砂卵石或砂砾石,根据以上特点,辐射井竖井施工采用大扭矩反循环钻机成孔的施工方法。

4.1.2 施工工艺

(1)准备工作:首先检查钻机是否良好,如发现钻机不正常,应及时修理,钻机修好后进行复查。直至钻机机件良好,方可就位。用吊车吊泥浆泵,放至在循环水沟中靠近泥浆池处,并用两根夹杠固定好,放泥浆泵处要局部挖深挖大。用吊车吊砂石泵放置离井口5m左右的位置,要求场地平整,砂石泵下要有垫木块进行固定。

(2)钻机安置及调整:首先,使用起重机将钻头置

入护筒中,随后将钻机吊装到井口位置。通过十字线法来精确地定位井口的中心点,并确保钻机精确地放置在预定位置。在安装过程中,须确保钻机钻盘的中心与钻孔的中心严格对齐。接着,将钻机的主动钻杆与钻头连接。完成这些步骤后,钻机即安装完毕,可进行试运行。

(3)钻孔作业:在钻机和泥浆泵准备就绪后,启动钻机至正常运转状态,再开启砂石泵以开始钻进作业。

4.2 竖井漂浮法下井管

4.2.1 施工流程

本项目采用漂浮法下井管成井的施工方法。

4.2.2 施工工艺

当钻孔达到设计深度后,采用漂浮法进行下井管作业,具体操作如下:

(1)首先,在井口的四个方向均匀布置并安装四根用于固定钢丝绳的钢管柱。随后,准备两台汽车吊:一台40吨汽车吊配置于井口,用于下井管操作;另一台25吨汽车吊位于井管堆放区,负责将井管吊装至平板车上,并运送至40吨汽车吊的作业半径内。

(2)将钻机移开,放置在不会干扰下井管作业的安全位置,并拆除钻头。

(3)将井座通过吊装方式漂浮至井孔中。在井座入水前,先在四个方向上将钢丝绳固定于井座底部,再缠绕至四根钢管柱上。接着,清理已入井口的井座表面,移除任何不平整的混凝土碎片。在平整的井座表面铺设一层掺有水玻璃的水泥砂浆,厚度为10厘米。

(4)吊起一节井管,并清理井管底部,确保无杂物。让井管缓缓下落,直至与井座接口对齐。释放吊绳,此时四个方向的钢丝绳需保持绷紧,以防井口下沉。在井管与井座接口及其上下20厘米范围内使用防水卷材进行密封处理。下部10米使用三层防水材料,上部则采用两层。

(5)逐渐放松四根钢丝绳,使井管继续下沉。在下沉过程中,保证井管始终位于井孔中心。完成一节井管的下沉后,吊起下一节井管并重复上述步骤。待所有井管均已下完,通过水泵向井管内注水,以确保井管充分下沉并稳定。完成下井管作业后,用粗砂回填井管外围的空隙,此时竖井施工方可宣告完成。

4.3 水平辐射管施工

4.3.1 施工流程

本项目的水平辐射管采用冲击顶进法施工,施工机械选用兼具振冲力、扭力、推力、拉拔力和水冲力的振冲式全液压水平钻机。

4.3.2 施工工艺

(1) 打开预留孔盖板, 将带钻头的第一根滤水管, 对准预埋孔, 开动油缸, 迅速将第一根滤水管冲击顶进至含水层, 同时开动井内排砂、排水泵, 防止水、砂淹没钻井平台影响钻进。

(2) 将水平钻机动力头退至机尾, 然后接上第二根滤水管, 开动钻机, 将第二根滤水管冲击顶进含水层。这样一根一根将滤水管冲击打进含水层, 直至达到设计长度。

(3) 待水平辐射管中水清砂干净后, 进行滤水管封孔处理。

(4) 挪动钻机, 对准另一孔以同样的方法施工。

5 施工重难点及应对措施

为确保集水竖井施工的安全性并防止塌孔事故, 必须对施工场地的地质条件进行详尽分析。这涉及到全面了解场地内的地层岩性及各含水层水位, 以精确识别潜在的塌孔危险区域。通常情况下, 上部无水的杂填土层是塌孔最可能发生的区域。针对这些关键区域, 应实施以下技术措施以确保施工安全: ①施工前, 确保现场配备充足的供水源、粘土或粘土粉, 以备紧急使用; ②钻进至原始水位较低的砂卵石层时, 加强对孔内泥浆液面的实时监控。如观察到孔内液面突然下降或泥浆大量漏失, 应立即进行注水并增加泥浆浓度, 确保液面高度至少高出孔口1米, 防止液面进一步下降; ③详细调查施工场地及其周边地下管线的分布, 了解附近建筑物的结构类型、基础形式及基础埋深, 以评估施工可能引起的潜在风险。对于邻近的、对变形敏感的建筑或构筑物, 应制定针对性的加固措施, 包括: ①设立全面的沉降监测方案, 通过信息化手段实时监控施工过程; ②一旦监测到任何异常沉降或地面开裂现象, 立即进行原因分析并制定具体的应对策略; ③如果钻井操作导致施工区域出现整体下沉, 应迅速进行回填并对受影响地面进行注浆加固, 以稳定地基并防止进一步损害。通过上述措施, 可以有效提高集水竖井施工的安全性, 防止塌孔事故的发生。

在水位较高的工程场地, 特别是含巨厚层粉细砂的水层区域, 辐射井的施工方案需慎重设计, 以防止水平辐射管在开孔过程中出现严重涌砂事故, 导致无法继续施工。以下是一系列针对此类复杂地质条件下的技术措

施: ①重布置辐射管: 根据含水层的厚度在垂直方向重新布置辐射管以减少涌砂的可能性, 在含水层底部粘土层中开孔可有效降低涌砂风险; ②调整钻孔角度: 考虑到含水层表面的不均匀性, 应适当调整钻孔角度, 建议钻机上仰 1° 至 30° 。这种微小的标高调整通常不会影响降水效果, 但对于确保施工安全至关重要; ③及时封堵与注浆处理: 对于施工中涌砂不止的水平辐射管, 必须及时进行封堵, 防止砂石继续涌出。初步封堵可使用蛇皮袋、草袋或棕皮等就地取材的材料。若涌砂量大, 完成初步封堵后, 应立即进行注浆处理以固化地层; ④监测和处理含砂量: 水平辐射管下管装备完毕后, 应定期测定出水含砂量。对于含砂量超过规范要求的水平辐射管, 应进行必要的处理, 直至达到规范要求。对于处理后仍不达标的水水平辐射管, 必须进行注浆封填, 以确保长期的工程安全无忧。

6 结束语

辐射井的成功设计和施工依赖于充分的水文地质研究和合理的施工技术。通过对不同方案的对比分析, 选择了适合的水平滤水管布设方案, 有效提升了出水量。施工过程中辐射井竖井采用大扭矩反循环钻机成孔、漂浮法下井管成井的施工方法; 辐射井水平辐射管采用冲击顶进的施工方法。此外, 针对施工过程中的重难点, 提出了相应的应对措施, 确保了工程的安全与高效。未来, 辐射井的应用潜力有望进一步拓展, 为水资源的可持续利用提供支持。

参考文献

- [1] 荣磊. 辐射井施工质量控制措施探讨[J]. 陕西水利, 2022(09): 160-162+166.
- [2] 阮茂盛, 奚兴富, 周晨晨. 辐射井技术在尾矿库排水工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(04): 72-75.
- [3] 李炯, 王瑜, 孔令镨, 等. 基于旋挖和水平定向钻进的辐射井成井实验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(10): 127-131.
- [4] 周维博, 施炯林, 杨路华. 地下水利用[M]. 中国水利水电出版社2006, 179-182.
- [5] 薛宏智. 辐射井渗流数学模型及计算方法研究[D]. 长安大学, 2015.