

单孔多层地下水监测井设计与建设

甄习春¹, 朱中道¹, 卢豫北², 侯春堂³, 刘永生³, 段琦³

(1. 河南省地质环境监测院, 郑州 450016; 2. 河南省郑州地质工程勘察院, 郑州 450003;
3. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要: 文章设计并建设了黄淮平原松散岩类孔隙水地区单孔井深 350m、多层(4层)地下水示范监测井, 实现了单孔多层井孔设计、施工工艺、管材以及地下水自动监测技术集成等重大突破, 为类似地区单孔多层地下水监测井建设提供了技术示范, 为国家地下水监测工程的实施提供了重要技术依据。

关键词: 单孔多层; 地下水; 监测井;

中图分类号: P641.74

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)05-0046-04

我国地下水监测井多以单井或一组不同深度的群井组成, 大多为历史时期的勘探孔或开采井, 存在的主要问题是投资大、施工周期长、占地多、不便于管理, 也不方便监测井的保护等。监测井的管材多采用钢管或铸铁管, 这种材料易腐蚀, 维护难度大、使用寿命较短。为了解决上述问题, 在黄淮海平原地区开展了单孔多层地下水示范监测井建设, 力求在监测井的成井工艺、管材使用和地下水自动监测技术集成上有所创新, 为国家地下水监测工程的实施提供参考依据, 推进全国地下水监测网络建设。

1 区域环境条件

单孔多层地下水示范监测井位于郑州市区西南部。郑州是一个水资源严重缺乏的城市, 人均水资源占有量为 198m^3 , 占有量不足全省的 $1/2$ 、全国的 $1/10$, 水资源短缺已成为郑州市经济社会可持续发展的主要制约因素。地下水类型以松散岩类孔隙水为主, 依含水层的埋藏深度和开采条件分为浅层、中深层、深层和超深层地下水, 浅层地下水化学类型以 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型为主, 中深层地下水以 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型为主, 达矿泉水标准, 深层地下水水温一般 $25 \sim 40^\circ\text{C}$, 属低温矿泉地热水资源, 超深层地下水水温 $40 \sim 48^\circ\text{C}$, 属温热矿泉地热水资源。市区浅层地下水资源

补给量为 $1.8748 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$, 中深层地下水资源补给量为 $1.1174 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$; 浅层地下水可采资源量为 $0.8332 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$, 中深层地下水可采资源量为 $1.1174 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$; 深层矿泉水的可采资源量为 $0.4135 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$, 超深层矿泉水可采资源量为 $130.75 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$ 。近年来, 由于郑州市区违规凿井现象严重, 造成地下水过量开采, 地下水年开采量约 $0.85 \times 10^8 \text{m}^3$, 地下水水位平均以 $2.0\text{m}/\text{a}$ 的速度在下降, 中深层地下水降落漏斗面积近 400km^2 ^[1]。

2 监测井设计

2.1 位置选择

监测井位置的选择主要考虑了以下几个方面: 一是具有区域水文地质单元代表性: 郑州市位于黄淮海冲积平原冲积扇顶部, 松散层厚度超过 600m , 含水层在垂向上表现为下粗上细及多个沉积韵律的特征, 可以作为黄淮海平原地下水系统的代表性控制点; 二是监测资料具有实用性: 监测井位于郑州市区浅层地下水和中深层地下水降落漏斗的边缘, 示范监测井的布设符合《DZ/T0133—1994 地下水动态监测规程》^[2], 可以有效监测郑州市不同地下水开采层的动态变化, 为地下水资源的合理利用、监督管理与保护提供可靠依据; 三是有利于开展地下水开发利用和保护的科学研究所: 监测井所在的郑州地下水均衡试验场在我国“六五”、“七五”期间进行了大量基础性的水文地质研究工作, 积累了长序列的研究资料, 并已列入国家地下水监测工程重点建设的地下水均衡试验基地, 单孔多层地下水示范监测井建设可以与试验设施相结合, 在地下水资源的合理利用和保护研究方面实现突破; 四是施工条件便利: 不需征地, 水电路施工条件便利, 维护方便。

收稿日期: 2007-10-19; 修订日期: 2008-08-12

基金项目: 中国地质环境监测院国家财政专项“国家级地质环境监测与预报”项目

作者简介: 甄习春(1963-), 男, 学士, 教授级高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质研究。

E-mail: zhenxid696@163.com

2.2 技术路线

目前,我国单孔多层地下水监测井建设处于起步阶段,其设计是以实现单孔多层地下水监测为目标,重点突破单孔多层监测井的设计、施工、成井、材料等成套技术,主要遵循“成本低、耐腐蚀、使用寿命长、维护保养方便”等原则,进行了前期研究和论证工作:

(1) 研究不同水文地质条件下单孔多层地下水监测井建设的可行性。我国水文地质条件复杂,特别是北方缺水地区,地下水开发利用程度较高,地下水开发深度可达千米,地层复杂,含水层位多,成井技术难度大。建立单孔多层地下水监测井是否可行,在郑州地区监测深度控制在哪些范围,控制几层监测等都需要研究和论证。

(2) 在单孔多层地下水监测井建设过程中的钻探、扩孔、变径、下管、止水、洗井、无套管成井技术等方面进行试验研究,力求在施工和成井工艺上有所创新。

(3) 研究论证无套管一次成井技术和新材料应用,如采用PVG-U等新材料作为井管等,从成本、工期等方面论证其经济性。

为全面监控郑州市浅层、中深层和深层地下水的动态特征并便于对比,单孔多层地下水示范监测井设计井深为350m,全孔取芯并录井。其中0~180m钻井口径为600mm,180~350m为450mm。采用裸孔下入4根监测管分层成井方案,设计初期考虑观测管材料为球墨铸铁(规格DN100,外径118mm)或PVG-U管,暂定小于150m的观测管采用PVG-U管,大于150m的观测管采用球墨铸铁管;设计审查时根据专家意见,将监测管材料定为PVG-U管,滤水管为PVG-U铣缝式。

2.3 风险分析

该监测井首次在国内组织实施,尽管钻井深度只有350m,但是采用PVG-U管材在无井壁保护管的情况下,分别在同一眼井内成井4次尚属首次。所以该项目存在的风险主要有以下几方面:

(1) 由于PVG-U管材密度仅 $1.45\text{kg}/\text{m}^3$,与泥浆密度差较小。所以,监测管在井内不容易下到位,并且目前采用该管材成井没有成功经验可借鉴。

(2) 成井过程中若泥浆参数不合理和其他措施不力时,很可能出现井管挤毁事故,特别是PVG-U管材铣缝后强度降低。

(3) 钻井口径大,地层松散,分4次成井,在成井过程中有井壁坍塌的风险。

(4) 单孔多层成井若止水工序出现问题,将会导致四段含水层水位连通并一致,工程报废。

为了避免上述风险的发生,在成井过程中必须严格从设备、钻探施工和事故处置、抗风险预案做到缜密考虑和部署,确保工程万无一失。

3 施工技术与成井工艺

3.1 钻探设备

目前,国内外还没有施工单孔多层地下水监测井的专用设备,本次选择红星-400型钻机和TBW-850/50泥浆泵作为监测井的主要钻探设备,钻具和钻探辅助设备选择与常规水文水井一样。

3.2 钻探工艺

为保证岩芯采取率,选择 $\Phi 127\text{mm}$ 单管合金取芯钻头,采用正循环泥浆钻井工艺。本次粘土层岩芯采取率达95%,砂层岩芯采取率为65.8%,平均岩芯采取率为80.4%。

扩孔采用正循环泥浆钻进工艺,由于该井上下口径不同,先用 $\Phi 450\text{mm}$ 三牙轮钻头和钻具组合钻进至设计井深后,再用 $\Phi 600\text{mm}$ 合金钻头和钻具组合钻进至200m,最后用 $\Phi 450\text{mm}$ 三牙轮钻头划眼并下入井底进行彻底冲孔换浆。

3.3 管材

通过调研,选用江阴市星宇塑胶有限公司生产的 $\Phi 110\text{mm}$ PVG-U给水用硬聚氯乙烯管作为监测井管材。

国产PVG-U管材在深度超过150m的井中应用几乎是空白,为此进行了管材和连接扣拉力试验、液压试验、落锤冲击试验和抗弯曲变形等专门试验(表1)。要求PVG-U给水用硬聚氯乙烯管规格为外径110mm、单根管长6m,井管材料技术参数应达到:

(1) 监测井管采用丝扣连接方式,其拉力破坏极限不小于18000N;

(2) 滤水管采用PVG-U铣缝式,其缝宽为1mm,孔隙率10%以上。

表1 单孔多层地下水监测井PVG-U管材技术指标

Table 1 Technique data of PVG-U tubes and pipes for a single-hole multi-layer groundwater monitoring well

规格	外径 (mm)	壁厚 (mm)	密度 (kg/m^3)	冲击试验 (TIR%)	液压试验 (MPa)	密封试验 (MPa)
参数	110	7.2	1.45	≤ 5	42	3.36

3.4 成井工艺

滤料选择河南嵩山产天然石英滤料,规格为 $\Phi 2 \sim 5\text{mm}$ 。止水材料选择机制黏土球,规格为 $\Phi 20\text{mm}$ 。

泥浆类型为低固相钠土泥浆,其主要性能指标如

下:比重为 1.15~ 1.2,粘度为 25~ 35,失水小于 30,切力为 5~ 10, pH 为 8~ 10。

为防止塌孔,主要采取了以下技术措施:一是从钻井到成井整个过程中必须采取优质低固相泥浆,作好泥浆处理和净化工作。采用必要的泥浆净化设备和“Z”型泥浆循环槽。二是成井过程中注意泥浆的漏失和损耗,及时进行回灌,确保井内压力平衡。在成井前不能使用清水换浆。

下管分 4 次采用钻机提吊法由深到浅依次下入,管材连接通过管箍丝扣连接,管箍外径为 Φ140mm。

止水根据孔内空间的大小,选择合适的滤料和黏土球直径,投滤料和黏土球的体积要计算精确,工序不能出错。

当 4 套井管全部下完和成井后,选择空压机分 4 次分别洗井至水清沙净,然后取 4 组水样进行水质测试。成井结果见表 2。

表 2 单孔多层地下水示范监测井成井结果表

Table 2 Well completion results of a single-hole multi-layer demonstration groundwater monitoring well

井号	成井深度 (m)	含水层位置 (m)	滤水管长度 (m)	水位埋深 (m)	水温 (°C)
1	90.0	72.0~ 78.0	6.0	40.00	18.0
2	198.0	175.5~ 196.5	18.0	75.10	19.5
3	270.0	256.0~ 263.0	12.0	94.78	20.5
4	348.0	319.0~ 332.5	12.0	93.24	21.0

4 监测方案

单孔多层地下水监测井施工完成后,对采到的岩芯登记和压缩存放,进行自动化监测运行。地下水自动化监测主要是依靠科技进步,更新与改进传统的地下水动态监测手段、方法与设备,逐步实现监测资料的处理、整理、分析、传输和监测成果发布的及时性、自动化、信息化和智能化。

在单孔多层地下水监测井中安装四套水位水温遥测、自动记录混合系统(XY-II型)分站仪器,仪器探头位置分别在井口下 76.0m、179.0m、255.0m、320.0m 处,监测传输频率设置为 2 次/天。通过 2007 年 1 月 22 日~ 2 月 28 日的调试运行,水位、水温动态基本稳定(图 1~ 2),分站、主站运行良好。

根据单孔四层地下水监测井的水位、水温动态变化曲线,1# 代表浅层地下水,2# 代表中深层地下水,3#、4# 基本代表深层地下水。分别与郑州市区就近浅层、中深层、深层地下水动态比较,与该监测井附近各

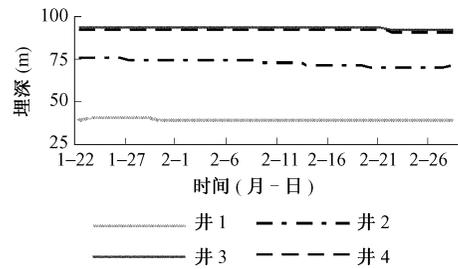


图 1 单孔四层示范监测井地下水埋深动态曲线图

Fig. 1 Change in depth to groundwater level at a single-hole four-layer demonstration monitoring well

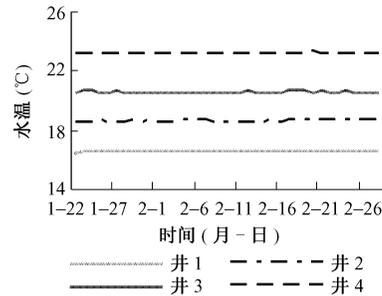


图 2 单孔四层示范监测井地下水水温动态曲线图

Fig. 2 Change in groundwater temperature at a single-hole four-layer demonstration monitoring well

层位监测井水位与水温监测数值基本一致,变化幅度较小,充分说明单孔四层地下水示范监测井的分层止水效果显著^[3]。

5 结语

5.1 主要技术创新

通过该示范监测井项目的实施,使我国单孔多层地下水监测技术方面取得了一些突破:

(1) 填补了国内单孔多层地下水监测井的一项空白。成功地完成最大井深 350m 单孔多层地下水监测井建设,成为目前我国监测井深度最大、观测含水层最多的单孔多层地下水监测井。

(2) 首次采用“无套管成井工艺”,解决了 PVG-U 管材下井困难和容易挤毁的问题,实现了单孔多层监测井施工中分层下管、分层止水和分别成井的技术创新。

(3) 在井管材料应用上实现突破。本次选用的 PVG-U 管材具有重量轻、成本低、耐腐蚀、不结垢等特点。通过该项目的实施,证明在 400m 以内的多层监测井中采用 PVG-U 管材作为监测井管是可行的。PVG-U 管材连接技术和 PVG-U 滤水管的加工等方面具有创新。

5.2 推广应用前景

监测井建设采用“无套管成井工艺”，平均每米监测井可节约成本 943 元。管材方面，采用 PVG U 管材每米可节约成本近 100 元。单孔多层地下水监测井体现了节约用地、节省资金、缩短施工周期和便于管理等众多优点，还解决了井管腐蚀问题，因此具有广阔的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 姚兰兰, 任倩, 豆敬峰, 等. 郑州市地下水动态监测报告[R]. 郑州: 河南省地质环境监测院, 2006.
- [2] DZ/T0133-94 地下水动态监测规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [3] 杨昌生, 田廷山, 甄习春, 等. 国家级单孔多层地下水示范监测井建设报告[R]. 北京: 中国地质环境监测院; 郑州: 河南省地质环境监测院, 2007.

Design and construction of single-hole multi-layer groundwater monitoring

ZHEN Xi-chun¹, ZHU Zhong-dao¹, LU Yi-bei², HOU Chun-tang³, LIU Yong-sheng³, DUAN Qi³

- (1. Henan Institute of Geo-Environmental Monitoring, Zhengzhou 450016, China;
2. Zhengzhou Geological Engineering Investigation Institute, Zhengzhou 450003, China;
3. China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: The design and construction of a demonstration monitoring well with a single hole depth of 350 m for multi-layer (four layers) groundwater was conducted in unconsolidated sediments in the Huanghe-Huaihe plain on the basis of the survey and study of multi-layer monitoring technique for groundwater. The work has made significant breakthroughs on the design of a single-hole multi-layer well hole, construction technology tubes and pipes and integration of groundwater automatic-monitoring technique etc. The results provide technical demonstration for the establishment of a single-hole multi-layer groundwater monitoring well for the similar areas and also provide important technical bases for the implementation of national groundwater monitoring projects.

Key words: single-hole multi-layer; groundwater; monitoring well

责任编辑: 汪美华

(上接第 41 页)

Study on transforming relationship among surface water, precipitation and groundwater along Fenhe River in Taiyuan Basin

HOU Xi-wei, LI Xiang-quan, CHEN Hao

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract With analyzing geochemical characteristics of surface water and groundwater including isotope information, a research work was carried out to investigate transforming relationship among surface water, precipitation and groundwater along Fenhe River in Taiyuan Basin. The results indicated that the recharge source of mainstream in Fenhe comprised of groundwater and precipitation, but the ratio of two sources changed along the river, in which groundwater was the main source of recharge in the upstream but the ratio decreased in downstream, where the main source of recharge alternated into precipitation.

Key words: Fenhe river; precipitation; groundwater; transform

责任编辑: 汪美华