

# 浅层地热能水源井工程问题与技术研究

卢予北<sup>1,2</sup>, 吴 焯<sup>1,3</sup>, 陈 莹<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 2. 河南省深部探矿工程技术研究中心, 河南 郑州 450053; 3. 河南工程学院, 河南 郑州 451191)

**摘 要:**浅层地热能具有储量大、分布广、埋深浅、易开发等特点,是可再生能源。在传统能源资源紧张和环境恶化形势下,大力开发利用浅层地热能对全球低碳经济和节能减排具有重要的意义。水源热泵以能量利用率高、成本低、维修方便的优势占据重要地位,其中水源井是其关键,水源井的工程质量将直接影响着系统运行、回灌和使用寿命。通过大量的调查,分析研究了目前水源井工程存在的突出问题,并在试验和实际经验基础上提出了合理的水源井工程技术。

**关键词:**浅层地热能;水源井;问题;技术研究

**中图分类号:**P634;TE249 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)08-0001-05

**Research on Problems and Technology of Water Source Well in Shallow Geothermal Energy Development/LU Yu-bei<sup>1,2</sup>, WU Ye<sup>1,3</sup>, CHEN Ying<sup>1,2</sup>** (1. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Henan Engineering Research Center of Depth Exploration, Zhengzhou Henan 450053, China; 3. Henan Institute of Engineering, Zhengzhou Henan 451191, China)

**Abstract:** Shallow geothermal energy is a kind of renewable energy; it has the characteristics of large reserves, wide distribution, shallow buried depth and easy development. In the situation of traditional energy resources shortage and environment pollution deterioration, development and utilization of shallow geothermal energy has important significance for global low carbon economy, energy saving and emission reduction. Groundwater source heat pump occupies an important position because of its high utilization rate, low cost, easy repairing; and the water well is the key in the system, the project quality directly affects the system running, re-injection and service life. By a large amount of survey, the outstanding problems of water well in the construction are analyzed, and based on the tests and practical experience, reasonable water well construction technologies are put forward.

**Key words:** shallow geothermal energy; water source well; problem; technology research

浅层地热能具有资源丰富、分布广泛、开发便利等特点,是可再生能源。在传统化石类能源资源日趋紧张和生态环境恶化的严峻形势下,大力开发利用浅层地热能,实现建筑物供暖制冷,对全球的低碳经济和节能减排具有重大的意义和广阔的应用前景。自 1995 年以来全球各国重视浅层地热能开发,并以每年 20% 的递增速度发展,我国自 2000 年开始以每年 50% 的递增速度发展,目前在该领域位居世界第三<sup>[1]</sup>。

浅层地热能开发主要是通过热泵把地下 200 m 以浅岩体和水体中的低品位热能(10~25℃)提升为高品位热能,来实现供暖;夏季则把地面建筑物内的高温排到地下进行能量交换,从而达到制冷的目

的。整个系统主要由地下能源采集系统、能量提升(交换)系统和能量释放系统 3 部分组成,其中地下能源采集系统是技术核心和关键部分。特别是水源井的施工工艺和成井管材将直接影响整个系统是否能够正常运行、回灌和区域地质环境<sup>[2]</sup>。目前在地下能源采集系统主要有地埋管(土壤源热泵)和水源井(水源热泵)2 种方式。由于水源热泵与土壤源热泵相比具有投资小、能量利用率高、维修方便等优势,所以,目前国内多数地区在开发浅层地热能时,主要以水源热泵为主。如:北京和河南利用水源热泵开发浅层地热能分别为 80% 和 98%,而地埋管土壤源热泵仅占 20% 和 2%。当地下水资源缺乏的情况下,才适用于地埋管的方式。

收稿日期:2011-07-25

基金项目:河南省科技攻关项目课题资助(102102310360)

作者简介:卢予北(1964-),男(汉族),河北平山人,中国地质大学(武汉)在读博士,河南省深部探矿工程技术研究中心教授级高级工程师,河南省学术技术带头人,地质工程专业,主要从事地热资源勘查和钻探工程技术研究工作,河南省郑州市南阳路 56 号地矿大厦 511 房,lu-yubei@263.net。

## 1 水源井施工现状及问题分析

### 1.1 水源井施工现状

国内目前在浅层地热能开发领域除北京、天津、沈阳等地比较规范外,其它多数地区和城市在管理、监管和市场引导方面几乎缺失,许多城市和地区的浅层地热能开发以机电安装资质和空调厂家、中介公司为主体。这些单位在机电安装方面具有一定的优势,但是由于缺乏必要的钻探、水文地质技术人员,从而在水源井设计和施工方面,靠经验以低廉的价格分包给个体钻机。据调查:目前国内在浅层地热能水源井施工技术来看,井深一般在50~200 m之间;采用的管材主要有水泥管和螺旋钢管2种;钻井方法多数为正循环泥浆钻进和冲击钻进;不进行专门洗井,而在下完井管后直接下入潜水泵抽水;滤料多数采用人工碎石,而不是天然石英砂;为了增加单井出水量全孔投碎石而不止水,特别是河南省近1000个水源热泵系统项目几乎都是上述情况。尽管上述技术和工艺可以大大节约钻井费用,但是,带来的一系列地质环境问题(水位下降、地面不均匀沉降、地下水热污染)和运行不正常等,从而严重影响了浅层地热能的开发利用。

### 1.2 主要问题

从上述的施工现状和实际工程中表现出的现象,其突出问题主要反映在以下几方面。

(1)成井管材质量差,使用寿命短。由于工程承包价格低廉,施工方不得不选择价格低廉的水泥管和螺旋钢管。水泥管尽管耐腐蚀,但是抗冲击、抗弯曲、抗拉强度极小,再加之其过滤管部分为圆孔包棕方法极易在下管过程中与井壁摩擦损坏。所以,当水源井使用过程中容易造成水泥管破裂和大量出砂,严重时报废。如:河南省商检局12口水泥管水源井在使用不足2年时就全部报废;郑州市某洗浴中心2口水泥管水源井1年内坍塌报废。螺旋钢管强度较高,但是其腐蚀结垢速度较快,特别是在镀锌桥式过滤管和普通钢管组成的管井时,其二者电极电位相差450 mV,从而形成了较大的腐蚀电流和电偶腐蚀。图1是镀锌桥式过滤管和普通钢管试片90天时的腐蚀结垢情况,从图中可以看出:90天时镀锌桥式过滤管腐蚀结垢严重,并发生堵塞缝隙现象;试验容器内水浑浊严重,说明电偶腐蚀速度较快<sup>[3]</sup>。一般情况下这种管材的选择和组合,使用2~3年后就需要重新维修或报废。特别是地下水 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 和溶解性总固体、硬度等含量较高时,其腐蚀速度更快,120~180天时就会在井内产生几十米

的沉淀物(腐蚀产物)。



图1 电偶腐蚀试验

(2)回灌困难问题日益突出。因为泥浆污染堵塞含水层、钻井速度低、洗井方法不合理以及金属井管腐蚀结垢等诸多因素,使含水层原有渗透性降低,导致抽水井水量偏小、降深大,回灌井回灌困难或彻底灌不下去。如:河南松散细颗粒地层采用抽回1:3~1:6比例(1口抽水井,3~6口回灌井)回灌率仅在30%~50%;有的新建井当年基本回灌较为顺畅,第二年就回灌不下去。一些施工单位或个人为了应付业主,私自把回灌井与市政排水管网连通进行分流,而造成区域地下水下降、地面不均匀沉降等地质环境问题。这些现象和问题在郑州表现的尤为突出,为此,郑州市节水办不再审批浅层地热能开发项目。回灌困难问题在全国普遍存在,尤其是细砂、粉砂等孔隙地下水类型地区更为严重。由此,许多地区为了避免引发的系列问题,即便是在地下水资源丰富的区域不得不改为埋管方式来开发浅层地热能。

(3)热贯通问题严重,设备无法正常运行。水源热泵是利用地下水相对恒定的温度作为热源,通过抽水和回灌实现夏季抽冷水灌热水,冬季抽热水灌冷水的运行过程,地下水的热量或冷量被提取、蓄存和转移。由于回灌水与原始含水层温度存在的差异,在导热和对流等作用下,回灌水会导致抽水井温度有不同程度的升高或降低,这种现象称为“热贯通”。抽水井和回灌井间距大,回水在地下流动时间长,能量交换彻底,热贯通程度则低。一般在粗颗粒地层(卵砾石、砂砾)抽水井和回灌井间距在100 m左右,细颗粒地层(细砂、粉砂)井间距不低于50 m<sup>[4]</sup>。而实际中有些单位因为场地狭小,抽水井与回灌井距离在5~20 m之间,由此会造成热贯通和地下水热污染,轻者增加运行费用,重者使机组自动停机而不能正常运行。

(4)设备管网堵塞严重,维修频繁。引起设备

和管网堵塞的原因主要有水源井内含砂量高、金属井管腐蚀结垢、水源井未止水等。含砂量过高主要是因为成井质量(滤料级配不合理、洗井不彻底、降深大、水泥过滤管包棕损坏等)造成;金属井管腐蚀则主要是由于地下土壤中存在大量的微生物,这些微生物在20~30℃环境下大量滋生和泛滥,并产生生物(细菌)腐蚀,其腐蚀产物将产生微生物粘泥和沉淀物。硫酸盐还原菌和铁细菌好氧菌是常见的细菌,它们与金属井管相遇会在井内产生大量的硫化亚铁(黑色沉积物)和黄色的粘泥( $\text{FeOOH}$ 或 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )<sup>[5]</sup>,图2是河南省黄河迎宾馆从井底排出的黑色腐蚀产物,图3是金属挂片腐蚀试验90天时在容器内沉淀的粘泥。当水源井未进行止水,整个井上下连通时,地面或浅部污染物很容易快速直接污染下部水源,从而造成水质恶化,在管道或设备中也容易产生微生物粘泥。这些腐蚀产物不但造成设备、管网堵塞、水量减小、回灌困难而且还会造成地下水污染,危害极大。



图2 井底排出的黑色腐蚀产物



图3 腐蚀试验形成的粘泥

## 2 水源井工程技术研究

浅层地热能开发系统能否正常运行,抽水和回灌能否可持续,地质环境能否较好保护,这些问题都与水源井的管材选择、钻井工艺有着密切联系,所以,水源井是地下能源采集系统中的核心和关键。浅层地热能水源井与普通的供水井有相似之处,但

是水源井成井质量和技术要求应该更高。

### 2.1 水源井成井材料选择

从上述的施工现状和存在的问题可知:水泥管和金属管材存在着自身问题和引发的系列问题较多。特别是成井过滤管的材质和型式尤为重要,由于镀锌桥式过滤管相对不锈钢过滤管和梯形丝碳钢过滤管价格低廉,并已大面积推广应用,所以,众多的水源井中均采用镀锌桥式过滤管。

为了直观了解和观察不同过滤管材的腐蚀与结垢情况,我们把国内常用镀锌桥式过滤管、梯形丝碳钢过滤管、PVC-U 铣缝式过滤管和不锈钢梯形丝过滤管在实验室同一水环境和温度下进行腐蚀与结垢试验,如图4和图5。试验分2组进行,即:第1组试验是选择上述4种不同材质和不同类型的过滤器,在同一种类型的地下水中进行对比性试验;第2组试验是选择同种材料的PVC-U塑料过滤器在不同水质的地下水中进行对比试验。

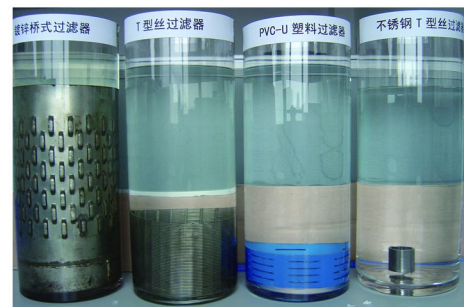


图4 不同材质腐蚀结垢试验



图5 PVC在不同水质中腐蚀结垢试验

通过试验可知:镀锌桥式过滤管,在第7天时开始腐蚀与结垢,普通T型丝过滤器在第15天时开始腐蚀结垢,但是其腐蚀结垢程度远小于镀锌桥式过滤器。PVC-U塑料和不锈钢过滤管则无变化,只是不锈钢容器内水质稍微浑浊,而塑料管容器内水质依旧清澈透明。图6是试验进行到30天时镀锌桥式过滤管腐蚀情况,图中可以看出管内外均腐蚀严重,且过滤缝隙处已出现结垢和堵塞情况<sup>[6]</sup>。



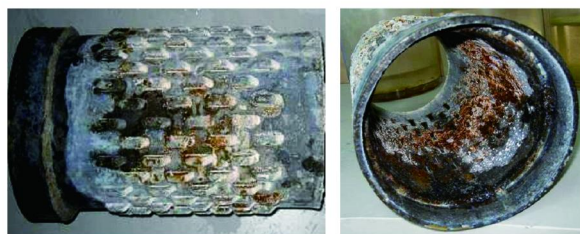
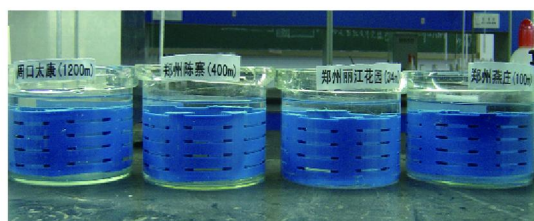
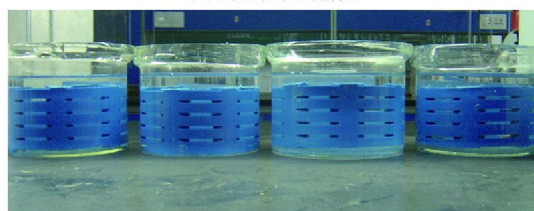


图6 镀锌桥式过滤管30天时腐蚀结垢情况

图7是PVC-U塑料过滤管在4种不同水质中120天的对比性试验。试验证明:PVC-U塑料材料在不同水质中没有发生任何腐蚀与结垢现象。把试验后的水样与试验前水样进行测试分析对比后水质没有发生变化(见表1)。说明PVC-U塑料材料在水中没有发生析出和溶解现象,同时也说明了PVC材料不会对地下水造成污染。



(a) 试验第1天时情况



(b) 试验第40天时情况

图7 PVC-U塑料管腐蚀结垢与溶解性试验

表1 试验浸泡前水样与浸泡后水质测试结果

		/(mg·mL <sup>-1</sup> )			
成分	浸泡后	浸泡前	成分	浸泡后	浸泡前
砷	0.001	0.001	锡	<0.001	<0.001
镉	<0.005	<0.005	铝	0.03	0.07
铅	<0.005	<0.01	铬	<0.001	<0.001
汞	<0.0001	<0.0001	氯仿	<0.01	<0.01
酚类	<0.002	<0.002	四氯化碳	<0.001	<0.001
铈	0.002	0.002			

注:分析委托河南省地质环境监测院实验室进行。

通过试验和实际情况证明:PVC-U塑料管具有不腐蚀结垢、不污染地下水、管壁光滑、阻力小、塑性好等特点。所以,在目前技术经济条件下,PVC-U塑料管作为抽水井和回灌井管是最佳选择。

## 2.2 钻井工艺

水源井钻井工艺包括钻孔结构设计、钻井方法、填砾与止水、洗井与抽水试验。

### 2.2.1 钻孔结构设计

浅层地热能水源井不同于一般供水井,水源井由抽水群井和回灌群井组成,数量较多,且每年有近1/3时间不工作。所以,在成井结构设计上有所不同。一般供水井过滤层厚度大于70 mm即能满足要求。孔隙型地下水水源井钻井口径与管径之间间隙应大于100 mm。对于130 m以浅的水源井采用一径到底。对于大于130 m以深的水源井可采用二开方式,其变径位置据当地水文地质条件和下泵深度确定。一般情况下上部钻井直径在450~600 mm,管径245~350 mm;下部钻井直径在360~450 mm,管径160~250 mm。井深度宜控制在300 m以浅。对于岩溶裂隙型地下水水源井因为不投砾,所以需要下管时其口径与管径间隙控制在10~30 mm即可;基岩稳定不需下管时可根据水泵尺寸确定钻井口径,一般在上部钻井口径230~300 mm,下部钻井口径150~216 mm。

### 2.2.2 钻井方法

对于孔隙型地下水钻井采用泵吸反循环、气举反循环等“负压欠平衡钻井法”,该方法不仅效率高、水量大、成井速度快,而且可以减少泥浆污染和堵塞地层,同时可省去洗井工序。据郑州市沿黄水源地改造工程试验和生产结果证明:采用泵吸反循环方法钻井,其钻井效率比正循环提高3~5倍,单井出水量提高30%左右。但是,当井深超过140 m时泵吸反循环效率将会降低,另外,泵吸反循环主要适应地层为松散卵砾石地层和砂土地层,当地层较硬且粘性较强时不宜采用该方法。气举反循环适用范围较广,只要有足够的沉没比则可在任何地层中钻进。

对于岩溶裂隙型地下水钻井,由于岩石坚硬,一般的钻井方法效率极低。所以,选择空气潜孔锤或井底螺杆马达钻进方法同样具有效率高、单井水量大等优点。据我们在云南和河南山区抗旱打井的实际效果来看:空气潜孔锤钻井效率比正循环泥浆钻进效率提高10~20倍,单井水量提高30%~40%。通过广东珠江三角洲地热资源钻探工程实例来看,在石英砂岩、花岗岩地层中采用正循环泥浆钻井效率是0.15~0.2 m/h,而采用井底螺杆马达钻井效率为2~3 m/h,平均效率提高14倍。

### 2.2.3 填砾与止水

选择矿物较为稳定的天然石英砂作为回填滤料,禁止使用矿物成分复杂且不稳定的人工碎石。主要目的是为了防止过滤层胶结,导致透水性降低。

填砾时缓慢投放,避免“架桥”,并且尽可能保证填砾厚度上下均匀一致。对于回灌井滤料直径可以比抽水井大一级或二级,以便形成良好的透水空间,减小阻力,保持回灌水顺利进入地层。

所有的水源井都必须根据当地水文地质条件和地层情况进行止水,杜绝全孔上下连通,预防下部地下水快速污染。止水方式可采用粘土球或水泥固井等。

#### 2.2.4 洗井与抽水试验

泵吸反循环、气举反循环、空气潜孔锤等钻井及成井后不需要专门洗井,可以直接下泵进行简单洗井后抽水。正循环泥浆钻井由于在钻进过程中的泥浆污染和堵塞,所以,必须进行必要的洗井工序,以达到彻底疏通含水层之目的。对于松散地层成井可选择潜水泵-空压机、空压机-活塞、焦磷酸钠(盐酸)-二氧化碳、二氧化碳-空压机等联合洗井方法。对于基岩裂隙岩溶型地热井宜采用爆破-空压机、压裂-焦磷酸钠(盐酸)-空压机等联合洗井方法。爆破和压裂时宜参照相关安全规定和工艺,并由专业施工队伍组织实施。

抽水必须按照相关规范和合同要求执行,并取样化验。在取得水文地质参数和水质检测结果后,评价抽水和回灌能力及腐蚀性等,为今后科学合理开发利用提供依据。

### 3 结语

水源热泵开发浅层地热能的关键是水源井的工程质量。目前存在的回灌困难、地质环境问题等都与水源井密不可分。所以,在新能源开发利用过程中,优化工程设计、注重成井材料、钻井工艺选择具有重要的意义。同时,针对现状和问题,结合生产实际,加大自主创新,为浅层地热能合理开发利用提供技术支撑。

#### 参考文献:

- [1] 杨红亮,郑康彬,郑克棣,等.中国浅层地热能规模化开发与利用[A].中国地热能:成就与展望——李四光倡导中国地热能开发利用40周年纪念大会暨中国地热发展研讨会论文集[C].北京:地质出版社,2010.97-115.
- [2] 卢予北.水源热泵开发浅层地热能回灌问题研究[J].水电能源科学,2010,29(7):126-128.
- [3] 卢予北.河南省地热(中深)井金属井管腐蚀与结垢试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(8):49-52.
- [4] 倪龙,押淑芳,李安民,等.地下水地热泵热源井设计方法研究[J].暖通空调,2010,40(9):82-85.
- [5] 卢予北.地热资源开发与问题研究[M].河南郑州:黄河水利出版社,2005.
- [6] 卢予北.PVC-U塑料管在浅层地热能地下水资源开发工程中的应用与研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(11):1-6.

欢迎订阅2012年

## 《探矿工程(岩土钻掘工程)》杂志

中国科技核心期刊 中国期刊方阵双效期刊 全国优秀科技期刊 全国探矿工程核心期刊  
中国学术期刊全文数据库(CJFD)全文收录期刊 中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)统计源期刊  
中国核心期刊(遴选)数据库全文收录期刊 中文科技期刊数据库全文收录期刊

《探矿工程》杂志创刊于1957年,由时任中国科学院院长的郭沫若先生亲笔题写刊名。随着探矿工程服务领域的拓宽,为更准确地反映《探矿工程》杂志的内涵,目前刊名变更为《探矿工程(岩土钻掘工程)》。

目前,《探矿工程(岩土钻掘工程)》杂志由国土资源部主管,中国地质调查局主办,中国地质科学院勘探技术研究所承办,地质出版社出版,月刊,大16开本,96页码,精美彩印塑膜封面。

**主要栏目:**钻探与钻井工程(固体矿产、油气、盐田、煤层气、地热井、水井、对接井等)/钻掘设备与器具/岩土工程(桩墙基础、基坑支护、锚固与注浆、工程勘察、基桩检测等)/非开挖工程/地质灾害治理与环境保护工程/金刚石与磨料磨具工程/科学钻探工程/隧道与爆破工程/管理与安全工程/

海外新知/信息与动态

**读者对象:**探矿工程及岩土钻掘工程领域的科研、生产、施工、教学、管理部门的广大技术人员、管理人员、在校学生等。

刊号:ISSN 1672-7428, CN 11-5063/TD; 邮发代号2-333; 2012年每期订价10.00元,全年12期120元。可在当地邮局订阅,也可随时汇款至编辑部订阅。本刊同时发行网络版,全年定价60元,可登录本刊网站直接填写订单订阅。

地址:北京市阜外百万庄26号 邮编:100037

联系人:张进 电话(兼传真):010-68320471

E-mail: tkgc@cniel.com zhangjin@cniel.com

Http: www.tkgc.net