

# 无干扰中深井换热系统及完井工艺

张秋冬, 邢向渠, 张新春, 魏 庆, 严珊珊

(河南省地质矿产勘查开发局第二地质环境调查院, 河南 郑州 450053)

**摘要:**无干扰地下换热井是利用中深部地层自然地温对循环介质预加热, 实现冬季供暖辅助加热, 达到节能减排效果。该循环系统为闭式循环, 利用密闭的金属换热器, 只取热不取水, 是一种绿色的供暖方式。由于环保、清洁低碳、无污染等特点, 将是北方地区清洁供暖的重要技术手段之一。介绍了该型换热系统及完井工艺。

**关键词:**中深井; 无干扰; 闭式循环; 换热系统; 完井工艺

**中图分类号:**TK124; TE249 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)10-0062-04

**Interference-free Heat Exchange System and Completion Technology for Mid-deep to Deep Wells/ZHANG Qiu-dong, XING Xiang-qu, ZHANG Xin-chun, WEI Qin, YAN Shan-shan** (No.2 Institute of Geological & Mineral Resources Survey of Henan, Zhengzhou Henan 450053, China)

**Abstract:** The concept of the interference-free underground heat exchange well is to pre-heat the circulating medium with the natural ground heat in mid-deep to deep wells and provide auxiliary heating in winter, achieving energy conservation. It is a closed loop system with the sealed metal heat exchanger and a kind of green heating method, since it recovers only heat without consuming water. With the features of environmental protection, cleanliness and low carbon without pollution, it will be one of the most important means for clean heating in north China. This paper presents the heat exchange system and the completion technology.

**Key words:** mid-deep to deep well; interference-free; closed loop; heat exchange system; completion technology

## 0 引言

地热是大自然馈赠给人类的宝贵资源和清洁能源, 具有资源储量大、分布广泛、开发利用方便、系统运行稳定安全等特征<sup>[1]</sup>。水热型地热是一种集“热、矿、水”为一体的特种矿产资源<sup>[2]</sup>。我国对地热资源的利用, 主要是通过开采地热载体——地热水, 应用领域主要为温泉洗浴、生活热水、农业种植、水产养殖, 温热水地热供暖等。但在地热供暖方面, 随着开采量的增大和开采时间的延续, 热水的循环补给量小于开采量, 热水位逐年下降的趋势日益显现, 从而在利用过程中和利用后产生了诸如地面沉降、热污染、土壤污染、水体污染等一系列环境问题<sup>[3]</sup>。地热水同层完全回灌是目前解决这一问题的有效手段, 但由于地热地质条件的限制, 并不是所有的地热井都能实现完全回灌, 回灌效率不高, 回灌效果差。无干扰地热换热井进行供暖, 是一种只取热、不取水的地热供暖方式, 无需考虑取热水供暖造成的不良后果, 是今后不能解决回灌问题的区域进行冬季地热供暖的新模式。河南省新乡市延津县某小区即利用

该种供暖形式实现了冬季清洁供暖。

## 1 工作原理

无干扰中深井换热系统工作原理示意图 1。在一口钻井内, 安装一同轴套管, 为降低热阻, 提高换热效率, 往往在套管的外壁和周边地层之间灌入水泥砂浆, 以保证套管和围岩之间的接触和传热, 该技术也被称为套管换热技术。为实现供暖目的, 在

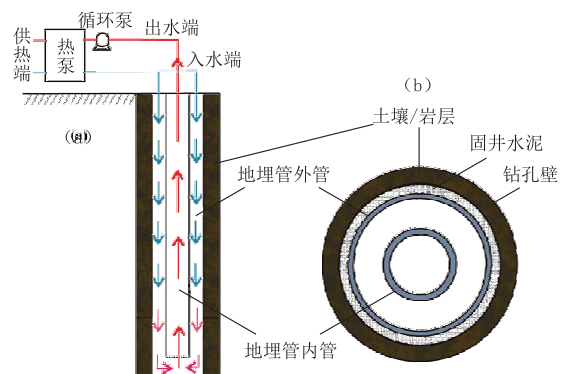


图 1 无干扰深井换热系统工作原理示意

收稿日期: 2018-07-31

作者简介: 张秋冬, 男, 汉族, 1972 年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事盐井、地热井及水平定向对接井等钻探技术与管理工作, 河南省郑州市南阳路 56 号, 799605330@qq.com。

外套管中注入冷水,冷水下降过程中被周边的岩石(土)加热升温,当水流到套管底部之后,通过内管再次向上运移。热水回到地面后,将其热量经热泵机组抬升,用于建筑供暖,冷却之后的循环水再次进入地下换热循环,将周边岩石(土)中的热量带到地表<sup>[4]</sup>。

## 2 地质与地层概况

根据区域地质资料及地球物理勘探显示,基岩裂隙发育不明显,其上覆地层为第四系、新近系、古近系的砂、砂岩、泥岩等。地层增温为正常地温增温梯度,即  $3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。本次钻井钻至奥陶顶板完钻。1900 m 钻孔井底温度  $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。钻遇地层由老至新分述如下。

### 2.1 古近系(E)

分布于中牟凹陷地热区。井位附近顶板埋深 1000~1200 m,厚度一般 1500~3500 m。自下向上分为孔店组、沙河街组。

孔店组( $E_2k$ ):主要为棕红泥岩、砂岩和灰白色砂岩夹灰绿色泥岩、炭质页岩、油页岩及煤层,其中上部含有石膏。

沙河街组( $E_{2-3s}$ ):主要岩性为棕红色、褐灰色、灰绿色泥岩、灰白色砂岩,局部夹薄层油页岩。

### 2.2 新近系(N)

顶板埋深 100~250 m,总体自西向东逐渐加深;底板埋深 1000~2200 m,总体自西北向东南逐渐加深;总厚度 800~2000 m;新近系可划分为馆陶组及明化镇组。

馆陶组( $N_{1g}$ ):顶板埋深 1000~1200 m,底板埋深 1000~2200 m,均自西北向东南逐渐加深;总厚度约 0~800 m;含水介质下部以泥岩、钙质砂岩为主,中部以细砂及疏松砂、含砾砂为主,上部以细砂及粉砂为主。

明化镇组( $N_{2m}$ ):顶板埋深 100~250 m,总体自西向东逐渐加深;底板埋深 1000~1200 m,自西北向东南逐渐加深;总厚度 800~1200 m。

含水介质主要为细砂、中砂,盖层为新近系顶部及上覆第四系的粘性土层。

### 2.3 第四系(Q)

基本覆盖全区,以河流相、河湖相沉积为主,主要岩性为浅黄、灰黄、浅褐色粘土、粉质粘土与砂层、砂砾层互层。

## 3 换热孔结构设计

考虑长期使用和换热效果问题,钻孔直径尽可能大,套管也应尽可能的大。当套管腐蚀损坏后预留一级的套管储备,结合投入与产出的经济性,设计 0~1900 m 钻孔直径为 311 mm,套管为  $\text{O}244.5\text{ mm}\times 8.94\text{ mm}$ 、N80 石油套管。环空 G 级油井水泥固井。储备一级  $\text{O}177.8\text{ mm}$  石油套管。

## 4 钻进工艺

地层比较简单,采用泥浆正循环钻进工艺施工。新近系以浅使用钢齿三牙轮钻头钻进,古近系使用 PDC 钻头钻进,钻进效率较高。钻进至 1800 m 以深,为防止钻穿古近系地层进入奥陶灰岩地层大漏失而引起事故,钻进中加密捞样,观察钻时变化和泥浆液面的变化,做好充分的应对准备工作。同时,在开钻前孔口已经埋设了 18 m 长的护筒,防止泥浆液面的下降造成孔口坍塌。

## 5 固井

该循环系统为闭式循环,因此必须保证套管的密封性。从两点进行控制:一是地面检查套管自身的密封性,特别是丝扣;二是固井质量保证。随机挑出两根套管进行打压、稳压,然后将两根套管连接起来继续打压、稳压,合格后方可使用。下套管中丝扣清洗干净,均匀涂抹专用密封脂,丝扣按规范要求上满、上紧。采用 G 级油井水泥固井,候凝 48 h 后测井检查固井质量,同时试压。

## 6 内管下井工艺

### 6.1 内管选择

选择 PE-RT II 型热力管作为该换热系统的内管。聚乙烯热力管作为一种新型耐热聚乙烯(PE-RT II 型)保温复合塑料管道,具有耐腐蚀性,使用寿命长等特点。PE-RT II 型热力管由于塑料材料为热的不良导体,因此保温复合塑料管道内管导热系数仅为钢管的 1%,即管道本身就具有一定的保温性能。

PE-RT II 型热力管道在  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  下的静液压试验已超过 16000 h,根据国家标准《塑料管道系统 用外推法确定热塑性塑料材料以管材形式的长期静液压强度》(GB/T 18252-2008)中规定当  $30\text{ }^{\circ}\text{C}\leq\Delta T<35\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,外推时间因子  $k_e$  为 30,即可推出保温复

合塑料管材在 80 °C 下应用的外推时间极限已超过 50 年<sup>[5]</sup>。

## 6.2 内管连接

PE-RT II 型耐热聚乙烯热力管采用热熔连接方式(见图 2),施工方便。为了提高下井效率,下井前先将每三根(12 m×3 根,根据场地条件灵活掌握)进行预连接。根据厂家提供的焊接参数严格施工:管材焊接温度 240 °C ;吸热时间 123 s ;压力冷却时间 $\geq 14$  min。



图 2 热熔连接内管

## 6.3 内管下井

### 6.3.1 有关计算

PE-RT II 型热力管比重 0.97,必须增加一定的配重才能顺利的将其下入 1900 m 的井内。

1900 m 内管(壁厚 12.3 mm)下井浮力计算:

$$\begin{aligned} F &= \Delta \rho g V_{排} \\ &= 0.03 \times 9.8 \times 3.14 (0.11^2 - 0.0854^2) \times 1900 \div 4 \\ &\approx 2.1 \text{ kN} \\ &= 210 \text{ kg} \end{aligned}$$

3 根 6 m 长的  $\text{O}133 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  无缝钢管质量 338 kg。

理论上这样的配重可以将内管下入孔底。但实际在下到离孔底将近 800 m 时无法下入。分析可能是内管中水面和环空水面有水位差,造成实际的浮力较大。最后将内管提出孔外,在配重钢管内重新放入 400 kg 圆钢后顺利下入。

### 6.3.2 内管下入方法

内管下入采用钢丝绳兜底,吊车辅助法。具体为:配重钢管上打孔穿入能承受相应配重重力和部分摩擦力(提管时)并有足够的余量的钢丝绳,将此

钢丝绳盘在卷扬机上,通过卷扬机刹把制动和配重的下坠力下管,吊车辅助将内管拖动向井口移动(见图 3)。



图 3 下内管

为了保证内管居中,内管上每间隔 36 m 设置一组弹性扶正器(见图 4)。



图 4 扶正器

配重的选择要考虑扶正器对井管的摩擦力。本井配重选用  $\text{O}133 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  无缝钢管和圆钢组合使用。内管与配重的连接方式为:先将圆钢放置入钢管,再将内管插入钢管中重叠 10 m 打孔穿钢筋连接(见图 5)。

## 7 总结

(1)无干扰地下换热井是利用中深部地层自然地温对循环介质进行预加热,利用密闭的金属换热器



图 5 内管和配重连接

进行闭式循环,只取热不取水,是一种绿色的供暖换热方式。由于环保、清洁低碳、无污染等特点,将是北方地区清洁供暖的重要技术手段之一。

(2)由于该系统为一密闭的闭式循环系统,施工

中必须保证各种管道的密封性能,避免出现循环漏水现象。

(3)该供暖系统地层温度对循环介质的干扰程度决定了系统的能耗大小,因此,施工前必须对区域地热地质情况有一定程度的调查研究。

(4)加强固井水泥添加剂的研究,使其既能保证强度,也能保证较高的热传导率。

(5)该系统在我国应用尚处在起步阶段,还有很多需要解决的技术问题,需要施工单位和科研机构相互配合,共同攻关。

#### 参考文献:

- [1] 卢子北,李艺,卢玮,等.新时代地热资源勘查开发问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):1-8.
- [2] 杜立新,杨燕雄.秦皇岛地热能梯级利用状况与前景分析[J].中国环境管理干部学院学报,2010,20(2):23-25.
- [3] 蒋郭吉马.我国地热能开发利用模式渐行渐清晰[N].中国矿业报-矿产新闻,2016-10-26.
- [4] 孔彦龙,陈超凡,邵亥冰,等.深井换热技术原理及其换热量评估[J].地球物理学报,2017,60(12):4741-4752.
- [5] CJ/T 480-2015,PE-RT II 预制直埋保温管[S].