

# 地热井套管外水位测管系统的设计与试验应用

杨忠彦, 贾志, 朱挺, 张芬娜  
(天津地热勘查开发设计院, 天津 300250)

**摘要:** 地热井水位的监测是地热开发与利用过程中的一项重要工作, 尤其是为了加强资源管理, 合理平衡利用地热资源, 使得监测工作日趋常态化。目前水位测量的工作主要在地热井的套管内来实现, 或直线下入测线, 或以并列安装在泵管上的测管作为通道来完成测量工作, 其中前者由于潜水泵的泵管和电缆易与测线发生缠绕, 影响测量精度, 后者由于系统不完善经常无法测量, 无法达到监测测量工作的要求。针对这些问题研制了一套基于连通器原理的套管外水位测管系统, 并通过在试验井的安装测试证明其可行性及实用性。介绍了该系统的工作原理、结构设计、安装测试过程, 并对测试结果进行了分析和评价。

**关键词:** 地热井; 水位监测; 测管系统

中图分类号: P314; TE249

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 7428(2015)11 - 0015 - 05

**Design and Application of Water Level Monitoring Tube System Outside Geothermal Well Casing/YANG Zhong-yan, JIA Zhi, ZHU Ting, ZHANG Fen-na** (Tianjin Geothermal Exploration and Designing Institute, Tianjin 300250, China)

**Abstract:** Because of the importance in the process of geothermal energy development and utilization, water level monitoring of geothermal wells is generally normalized, especially for enhancing resource management and reasonable use of geothermal resources. Currently, the water level measurement is mainly carried out inside the geothermal well casing by directly putting down the measuring line or making use of measuring tubes installed side by side on the pump pipe as channels for measurement. The measuring accuracy would be affected by the tangling of submersible pump pipe & cable and measuring line with the former; and the measuring requirements could not be met because of the imperfect system with the latter. To solve these difficulties, a set of water level monitoring tube system outside casing was developed based on the communicating principle and the feasibility and practicability were proved by the installation test in test well. The paper introduces this system about its working principle, structure design and installation test process, the test results are analyzed and evaluated.

**Key words:** geothermal well; water level monitoring; monitoring tube system

## 0 引言

天津市地热资源动态监测工作已有 20 多年的历史, 纵观多年的地热资源动态监测工作, 主要有以下特点: 地热井水位数据主要通过人工监测来获得, 自动化程度低, 且费时费力, 成本较高; 大多数地热井井口装置和供热站泵房极不规范, 各类监测设施和计量设备不标准, 测管腐蚀严重, 使用寿命较短, 影响数据的获取, 给目前还只能通过人工观测方法来获得水位数据的动态监测工作带来较大困难; 地热井普遍存在井口老化、无测管或测管堵塞, 监测设施无法改造或改造难度较大等问题<sup>[1]</sup>。这些问题的存在均给动态监测、数据获取、系统分析研究带来了一定困难和复杂性。尽管对测管系统已进行了很多研究和开发<sup>[2-4]</sup>, 但整体不尽如人意。笔者通过

多年不断的实践摸索, 针对传统的测管系统进行了改良, 自行研发设计了一套新型的“套管外水位测管系统”, 并在天津市武清区一眼地热井中安装使用。从试验结果来看, 完全可以解决上述水位监测中遇到的问题, 保证了水位数据采集的连续性和提高了水平数据采集的效率。

## 1 系统设计原则

设计一套有利于下入水位观测仪器工具完成水位监测工作, 能为一些科研工作提供支持手段的观测管系统, 应遵循以下原则<sup>[5]</sup>。

(1) 测管系统尽可能不改变原钻井工艺的主要参数, 如钻孔直径等, 不能给施工带来不可接受的困难与风险。

收稿日期: 2015 - 04 - 02; 修回日期: 2015 - 10 - 13

基金项目: 天津市国土资源和房屋管理局项目“中低温地热井套管外水位测管系统研制”

作者简介: 杨忠彦, 男, 汉族, 1970 年生, 副总工程师, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事地热钻井技术工作, 天津市河东区卫国道 189 号, y83009@163.com。

(2) 安装测管系统不影响地热井套管各项性能,包括抗内压、外挤等。测管系统主要部件应进行地面试验,获得可行性数据。

(3) 该系统既属于整个成井结构的一部分,又要具有最大程度的独立性,在使用过程中,其功能的丧失或结构的损坏不能影响地热井的正常使用功能。

(4) 安装便利、经济耐用。

## 2 系统的设计与制作

### 2.1 设计思路

改变传统的水位测量思路,从成井工艺入手,在成井过程中加装测管系统,在地热井的结构上附加一个测量监测平台。

### 2.2 设计原理

连通器原理,通过测量测管的水位值来反映地热井内水位情况,以此数据作为该井的水位参数,满足管理和科研工作的需要。

### 2.3 系统的组成

地热井井管外测管系统(见图1)主要包括以下几个组成部分:(1)测管及连接接头;(2)测管固定器;(3)测管连接底座。其中测管连接底座是测管系统与地热井连通的重要部件。

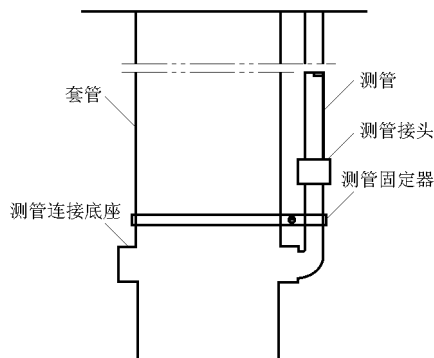


图1 地热井管外观测管系统示意图

### 2.4 各部件设计与加工制作

#### 2.4.1 总体要求

(1) 测管材料要具有良好的抗挤、抗拉强度,较高的抗腐蚀性能和较好的经济性。

(2) 测管系统抗内压设计要求不少于 10 MPa,且能够满足地热井继续钻进成井的需要。

#### 2.4.2 系统各部件设计与加工

从整个系统的组成来看,底座部分的径向尺寸是整个系统的最大尺寸,根据设计原则,其不能超过钻孔的直径。

测管的主要参数包括测管外径、内径以及壁厚,由下入的测量仪器工具外径以及测管应达到的强度决定,在满足钻孔直径要求的基础上,测管直径应尽量做到最大。

通过计算,测管主体采用外径 42 mm、壁厚 6 mm 的无缝钢管,两端与测管接头丝扣连接;外涂防锈,其内径 30 mm,可以满足水位测量仪器的顺利下入。图2为测管底座结构图,图3为其实物图。

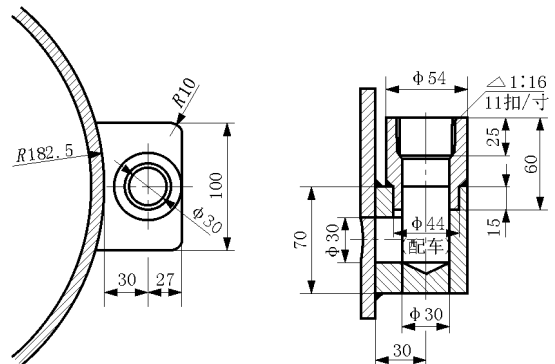


图2 系统底座结构图



图3 系统底座实物

测管公、母接头选用  $\text{Ø}54 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 、长度 100 mm 45 圆钢坯加工而成,接头扣型为内平扣。

连接底座焊接在  $\text{Ø}339.7 \text{ mm}$  套管的加长接箍(长度 400 mm)上。

测管固定器材料选用  $\text{Ø}40 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 、Q235A 钢条,制成“U”型(如图4所示),外涂防锈漆,其结构简单、加工容易、安装便利。

## 3 测试与分析

### 3.1 测管系统抗内压性能地面试验

(1) 采用高压旋喷桩的注浆泵作为此次试验用泵。

(2) 从已加工完成的测管中随机选取 5 根测管和公母扣接头连接后,测管尾部接放压阀,通过钻井泵

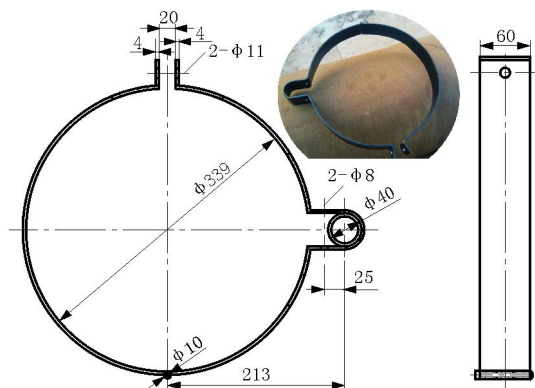


图 4 测管固定器

操控管内压力。全部准备就绪后,开泵进行测试。

(3) 管路试压为 17 MPa, 满足设计压力 > 10 MPa 的要求。

### 3.2 试验井测管安装

#### 3.2.1 试验井钻孔施工要求

(1) 非特殊情况, 不改变常规钻井工艺, 按照天津市《中低温地热钻探技术规程》(DB12/T 541—2014)<sup>[6]</sup>, 地热井开孔直径 444.5 mm, 套管下入深度 400 m;

(2) 采用塔式钻具组合, 原则上使用三牙轮钻头钻进, 在钻进中要保证钻孔的垂直度, 井斜应每 100 m 严格控制在 1° 以内<sup>[7]</sup>;

(3) 采用常规钻井液钻进即可, 但要保证性能良好;

(4) 加装测管后整个系统的最大径向宽度为 434 mm, 且为偏心结构, 为了顺利下井到位, 要求下管前应至少通井 2 次, 保证井壁规整, 井底干净;

(5) 由于安装测管会延长下管时间, 因此下管前应调整钻井液性能达到最优状态, 保证下管顺利。

#### 3.2.2 测管系统安装要求

(1) 下管前, 每根套管、观测管要用钢卷尺进行准确丈量, 并编号、记录;

(2) 下表层套管工作按现行地热井钻井工艺执行, 在设计位置连接测管底座, 之后测管与表层套管一起下入;

(3) 严格按编号入井, 各连接部位用生胶带密封;

(4) 测管丝扣管钳上紧, 每根测管安装一只卡环, 卡环应紧固牢固, 不能松动;

(5) 必须保证测管垂直;

(6) 下完测管, 测管出露地面 1 m, 安上丝堵;

(7) 完成后常规固井, 必须保证固井质量, 水泥

浆必须上返出地面。

#### 3.2.3 测管系统的安装

(1) 下测管前, 首先对套管及测管进行丈量和编号。

(2) 为了易于安装, 节省下管时间, 原设计中固定器使用折页连接, 但在现场下管前的组装测试中发现, 折页强度不够, 易损毁, 随即马上进行了设计更改, 加固焊接处理, 以保证下管的安全。

(3) 表层套管下至井深 207.73 m 时, 按设计(设计深度 200 m)下入测管连接底座, 并用丝扣连接测管(见图 5)。



图 5 丝扣连接测管

(4) 按照排管顺序逐根下入表层套管和测管, 使用测管固定器固定, 并用螺栓紧固(见图 6)。



图 6 测管固定器固定套管和测管

(5) 表层套管到底后, 测管露出地面 1 m, 向测管内灌满水, 然后加装丝堵(见图 7)。

(6) 最后用 R32.5 矿渣硅酸盐水泥进行固井, 水泥浆返至地表, 水泥浆密度 1.70 g/cm<sup>3</sup>。

## 4 降压试验

### 4.1 试验情况

在天津市武清区新近系馆陶组选择了一眼井作为试验井, 该井为二开直井, 一开采用  $\varnothing 444.5$  mm



图7 测管丝堵

三牙轮钻头钻至 400 m, 下入  $\varnothing 339.7$  mm 套管和  $\varnothing 42$  mm 测管, 其中套管下入深度 0 ~ 400 m, 测管下入深度 0 ~ 207.73 m; 二开采用  $\varnothing 311.2$  mm 三牙轮钻头钻至 2180 m, 下入  $\varnothing 244.5$  mm 套管, 套管下入深度 367.46 ~ 2180 m。从本次施工情况来看, 下入测管不影响下一步的施工。为了验证测管内水位与井筒内水位的关系, 对该井进行了 3 次不同降深的降压试验, 试验中使用流量  $140 \text{ m}^3/\text{h}$ , 扬程 180 m 的潜水泵抽水, 使用三角堰箱观测流量, 使用电流水位计观测水位(水位测量采用 2 条测线分别测量井筒内水位值和测管水位值, 采集所有试验数据并进行测线长度的校正), 水银温度计观测水温及气温。各落程持续时间分别为 2880、580、550 min, 稳定时间分别达到 24、8、8 h。试验结果见表 1, 降压试验历时曲线见图 8。

表 1 降压试验成果

项目	出水温度/ $^{\circ}\text{C}$	测管内动水位埋深/m	井筒内动水位埋深/m	涌水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$
第一落程(S3)	61	91.86	92.08	150.63
第二落程(S2)	60	80.25	80.35	112.78
第三落程(S1)	59	62.20	61.80	49.65

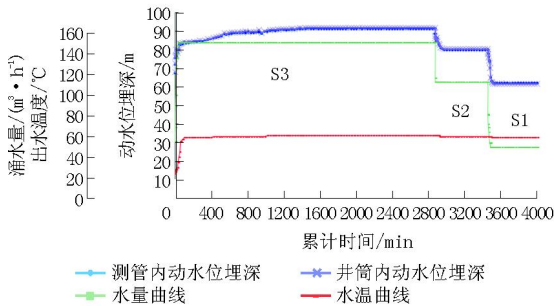


图8 试验井降压试验历时曲线

## 4.2 数据处理

### 4.2.1 动水位校正

地热井开采期间, 尤其是在开采初期, 井口温度

不是恒定不变的, 而是随着时间的延续不断升高, 而水的密度与温度的变化成反比, 造成观测水位不能真实地反映地热井实际水位(热储压力)的变化。此时, 尽管地热井内水位上升或保持不变, 但热储压力却下降, 这种现象称之为“井筒效应”, 因此, 在资料整理过程中, 需要进行温度统一校正, 消除井筒效应<sup>[8-10]</sup>。由于热的传导扩散特性, 地热井内温度与深度可认为呈线性关系, 则降压试验校正水位可由公式(1)计算, 根据井口温度及温度损失的经验值, 此次以降压试验最高温度  $61 \text{ }^{\circ}\text{C}$  作为统一温度对试验观测数据进行校正, 校正后曲线见图 9。

$$h = H - \frac{\rho_{\text{平}} [H - (h_1 - h_0)]}{\rho_{\text{高}}} \quad (1)$$

式中:  $h$  ——校正后水位埋深, m;  $H$  ——取水段中点的埋深(1402.5 m);  $h_1$  ——观测水位(试验过程所取得的全部动水位), m;  $h_0$  ——基点高度(以地面为基点, 数值为 0), m;  $\rho_{\text{平}}$  ——地热井内水柱平均密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\rho_{\text{高}}$  ——热储层温度对应密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

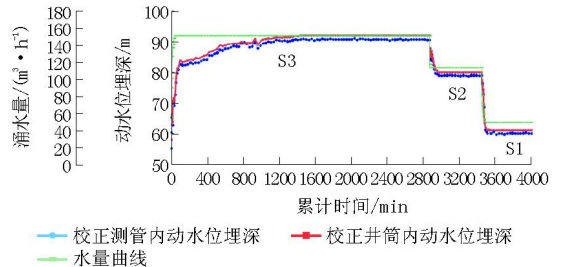


图9 校正后降压试验历时曲线

### 4.2.2 分析处理

通过累计时间与降压试验时 3 次降深测得的井筒内校正动水位埋深  $h_{\text{井筒}}$  与测管内校正动水位埋深  $h_{\text{测管}}$  之差所绘曲线(见图 10)可得出 3 次降深的稳定井筒内与测管内水位差值  $h_{\text{差}}$ , 利用  $h_{\text{差}}$  和出水量  $Q$ (见表 2)来作出  $h_{\text{差}} - f(Q)$  曲线, 并进行曲线回归(见图 11), 得出经验公式。

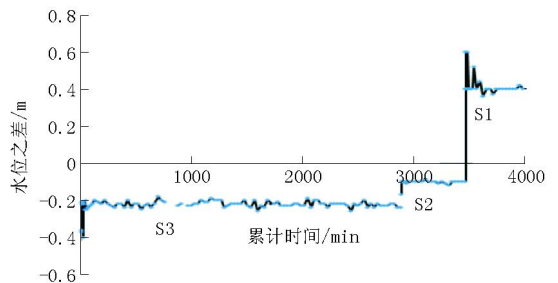
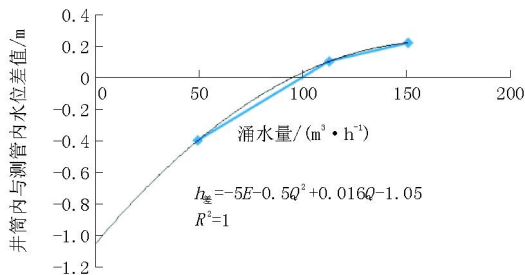


图10  $h_{\text{差}}$  历时曲线图

表2 计算数据

项目	涌水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	井筒内水位 校正埋深 $h_{\text{井筒}}/\text{m}$	测管内水位 校正埋深 $h_{\text{测管}}/\text{m}$	井筒内与测 管内水位差 值 $h_{\text{差}}/\text{m}$
第一落程(S3)	150.63	92.08	91.86	0.22
第二落程(S2)	112.78	79.96	79.86	0.10
第三落程(S1)	49.65	61.08	61.48	-0.40

图11  $Q-h$  差曲线图

通过对数据进行二次曲线回归,得出经验公式:

$$h_{\text{差}} = h_{\text{井筒}} - h_{\text{测管}} = -5 \times 10^{-5} Q^2 + 0.016Q - 1.05 \quad (2)$$

式中: $h_{\text{差}}$ ——井筒内校正动水位埋深  $h_{\text{井筒}}$  与测管内校正动水位埋深  $h_{\text{测管}}$  之差, m;  $h_{\text{井筒}}$ ——井筒内校正动水位埋深, m;  $h_{\text{测管}}$ ——测管内校正动水位埋深, m;  $Q$ ——涌水量,  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

通过拟合结果可知,测管与井筒内的水位差只与抽水泵的特性与下入深度有关,与测管内径和测管下入深度无关。

## 5 系统评价

### 5.1 技术评价

- (1) 稳定性好,测管不易腐蚀;
- (2) 测管的损坏,不影响地热井的使用;
- (3) 不受外界影响,系统具有独立性。

### 5.2 经济评价

通过测算,安装一套套管外测管系统造价为50000元,在以后的推广中,考虑采用抗腐蚀更好的材料,会增加一部分成本,但同时随着该系统在应用中的逐步成熟,系统安装费用会大幅下降,且成井后该系统在日常应用中几乎没有什么维护费用。

常用的水位测管是与泵管并列连在一起,且由于地热水腐蚀性强的原因,测管一般2年需要更换一批,以每口井正常使用150m泵管计算,共计50节,更换测管材料及人工等大约100元/节,每口井

一次更换主材费用为5000元,那么,按照地热井寿命50年计算,使用传统测管需要的费用约为125000元。

通过2种测管成本对比分析看出,套管外测管系统比传统测管节约成本为75000元,节省比例为150%。从投入成本上大大降低,从经济角度考虑,具有明显的优越性。

## 6 结论

(1) 应用管外监测系统技术监测水位从理论上是可行的,并在试验中初步得到了验证。

(2) 测管系统是相对独立的系统,功能的丧失不影响地热井的各种功能。

(3) 该系统成本与传统测管成本相比有很大幅度的降低,从经济角度来说,推广应用有着非常明显的优势。

(4) 该系统在使用过程中有着传统测管无法比拟的优越性,一方面,液面稳定,测量数据准确,另一方面,其独立的结构优势,不受泵室内泵管、测线的干扰,使得下测线及仪器非常容易,解决了困扰多年的水位观测工作中老大难问题,工作效果及质量有了很大的提高,应该在地热井开发领域广泛推广使用。

## 参考文献:

- [1] 赵苏民,孙宝成,林黎,等. 沉积盆地型地热田勘查开发与利用[M]. 北京:地质出版社,2013.
- [2] 杜玉生,曾梅香,孙世文,等. 浅谈井用人工动态观测设施的改良与创新[J]. 地下水,2008,30(3):58-60,65.
- [3] 杜玉生,曾梅香,田光辉,等. 优化井口装置发挥水位测管的最大效能[J]. 地下水,2008,30(5):101-103.
- [4] 侯智瀚. 地下水位监测设备运行现状及对策探讨[J]. 山西水利,2013,(9):13-14.
- [5] 杨忠彦,马忠平,杜槟,等. 中低温地热井套管外水位测管系统研制成果报告[R]. 天津:天津地热勘查开发设计院,2014.
- [6] DB12/T 541—2014,中低温地热钻探技术规程[S].
- [7] GB/T 11615—2010,地热资源地质勘查规范[S].
- [8] 曾梅香,张子亮,刘荣光,等. 天津地区地热单(对)井资源评价技术要求[Z]. 天津:天津市国土资源和房屋管理局,2014.
- [9] 孟利山. 塘沽区北部古近系东营组地热资源调查评价[D]. 北京:中国地质大学(北京),2007.
- [10] 张百鸣. 中低温地热能工程研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2006.