

ICS 27  
F 15

DB13

河 北 省 地 方 标 准

DB13/T 2571—2017

# 地热井施工技术规程

Technical specification for geothermal well construction

2017-09-06 发布

2017-10-06 实施

河北省质量技术监督局 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语与定义 .....	1
4 总则 .....	2
5 地热井类型和井身结构 .....	2
6 地热钻井施工设计 .....	3
7 钻井设备选择与安装 .....	4
8 钻进工艺 .....	6
9 钻井液 .....	20
10 成井工艺 .....	23
11 地热井完井产能测试 .....	28
12 井内事故的预防和处理 .....	28
13 安全、健康与环保 .....	33
14 工程质量验收与评定、完井报告与资料归档 .....	37
附录 A (资料性附录) 常用钻杆基本参数及尺寸 .....	39
附录 B (资料性附录) 常用钻铤型号及主要参数 .....	40
附录 C (资料性附录) 三牙轮钻头型号表 .....	41
附录 D (资料性附录) 钻井液处理剂 .....	42
附录 E (资料性附录) 地热井常用井管选择 .....	46
附录 F (资料性附录) 钻具卡点深度计算 .....	48
附录 G (规范性附录) 地热井完井报告编写提纲 .....	50
参考文献 .....	52

## 前　　言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由河北省国土资源厅提出并归口。

本标准起草单位：河北省地热资源开发研究所。

本标准主要起草人：李砚智、刘文新、崔振江、张长茂、刘云峰、张平、李志军、李子果、刘福东、齐恭、宋少辉、李兴权、徐忠立、鲍石磊、程松涛、范少华。

# 地热井施工技术规程

## 1 范围

本标准规定了地热钻井施工的地热井类型和井身结构、地热钻井施工设计、钻井设备选择与安装、钻井工艺、钻井液、成井工艺、完井产能测试、井内事故预防和处理、安全、健康与环保以及工程质量验收与评定、完井报告与资料归档等技术要求。

本标准适用于河北省境内的地热钻井设计、施工和管理工作。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 6067.1 起重机械安全规程 第1部分：总则
- GB/T 11615 地热资源地质勘查规范
- GB 50194 建设工程施工现场供用电安全规范
- AQ 2004-2005 地质勘探安全规程
- DZ/T 0148-2014 水文水井地质钻探规程
- SY/T 5216-2010 常规取心工具
- SY/T 5964-2006 钻井井控装置 组合配套安装调试与维护
- SY/T 6057 塔型井架拆装与整体运移作业规程
- SY/T 6202 钻井井场油、水、电及供暖系统安装技术要求

## 3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**地热钻探 geothermal well drilling**  
以勘探或开发利用地热资源为目的的钻探工作。

### 3.2

**井管 well casing**  
井壁管、滤水管和沉淀管的总称。

### 3.3

**滤水管 screen pipe**  
位于开采段，起滤水、挡砂和护壁作用的井管。

**取心钻进 core drilling**

以采取圆柱状岩矿心为目的的钻进方法和过程。

3.4

**填砾 gravel packing**

将一定级配的砾料填入滤水管与井壁之间环状间隙中的工序。

3.5

**洗井 well flushing**

清除井管内外岩屑和泥砂，疏通含水层通道的工序。

3.6

**固井 well cementing**

在井壁和套管之间注入水泥浆使之固结封闭的工序。

3.7

**钻井液 drilling fluid**

钻井中用于携带钻屑、维护井壁、冷却钻具等目的的介质。

3.8

**地热回灌 geothermal reinjection**

为保持热储压力、充分利用能源和减少地热流体直接排放对环境的污染，对经过利用（降低了温度）的地热流体通过地热井重新注回热储，也可利用其它清洁水源进行回灌。

## 4 总则

### 4.1 目的和任务

规范施工中的技术及管理工作，制定相应的质量要求；通过科学规范的施工，提高钻进效率和成井质量、延长地热井的使用寿命并获取真实、准确、完整的地热地质资料，从而提升河北省地热井施工的整体水平。

### 4.2 基本要求

4.2.1 按照探采结合、采灌结合的原则进行地热井的设计与施工。

4.2.2 施工中应取全、取准各项原始资料，施工结束后提交完整、真实、齐全的各项地质资料。

4.2.3 施工中应满足法律、法规对环境及安全的基本要求。

4.2.4 地热井施工应遵照先设计、后施工的原则，施工设计应经过审查批准后才能实施。

## 5 地热井类型和井身结构

### 5.1 地热井类型

5.1.1 按照施工的目的分为：勘查井、探采结合井、开采井及回灌井。

5.1.2 按照成井工艺分为：孔隙型热储填砾成井、孔隙型热储不填砾成井、孔隙型热储固井射孔成井、基岩裸眼成井、基岩滤水管成井。

5.1.3 按照井眼轨迹分为：直井、定向井。

## 5.2 地热井井身结构

### 5.2.1 井身结构要素

各开次井径、深度、套管直径、套管下深及重叠要求，定向轨道，井壁管及滤水管下入位置、滤水管孔隙率和缠丝间距、基岩裸眼段深度，固井水泥返高、戴帽要求，填砾位置、止水位置及方法，射孔位置等。

### 5.2.2 地热井常见井身结构

参见10.1、10.2。

## 6 地热钻井施工设计

### 6.1 设计依据

地热井设计依据主要是：项目任务书/合同，相关规范及标准，区域地质概况和地热地质条件，地理、环境及经济情况，技术指标、质量要求等。

### 6.2 设计基本要求

6.2.1 钻井设计以开发和利用地热资源及取得地热地质资料为目的。

6.2.2 按照安全化、标准化、科学化、经济化的原则，采用先进成熟的适用技术，由地质和钻探技术人员共同编制施工设计。

6.2.3 施工设计应经过审查批准后，方可进行施工。

6.2.4 施工过程中发现实际情况与设计不一致时，应及时进行设计变更并报批。

### 6.3 设计内容

#### 6.3.1 工程概况

包括工程位置，自然地理、交通和环境情况，工程性质，钻井类型，设计井深等。

#### 6.3.2 钻井地质设计内容

包括区域地质概况，地热地质条件，钻遇地层，完钻层位，录井要求，测井要求，完井产能测试，资料提交要求等。

#### 6.3.3 钻井施工设计内容

包括井身结构，场地布设，钻井设备与安装，钻具组合，钻头选型和钻进参数，钻井液，固井设计，新技术、新材料和新工艺，重点井段施工技术要求，成井工艺，质量保证措施，施工进度安排，材料计划和费用预算，劳动力计划，职业健康、安全与环保。

## 7 钻井设备选择与安装

### 7.1 设备选择

#### 7.1.1 钻机选择

地热井钻机的选择主要依据地质情况、井深、井身结构、钻进工艺方法等条件，类型主要为水文水井钻机、石油钻机，选择的原则为最大提升载荷不能超过钻机最大钩载的80%。

#### 7.1.2 钻塔选择

根据钻机类型、井深、井身结构、钻具型号、施工条件、井控要求等选择井架和平台，常用钻塔类型有“A”型塔、“K”型塔、“门”型塔、桅杆及四脚塔等。

#### 7.1.3 泥浆泵选择

根据钻机类型、钻井工艺方法所需的泵压和泵量、选择泥浆泵，直井全面钻进要求泥浆泵排量 $\geq 1000\text{L}/\text{min}$ 。定向井施工应根据井下动力钻具性能要求选择泥浆泵型号及性能。

#### 7.1.4 动力设备选择

根据钻机、泥浆泵、其它辅助设备所需功率、施工条件等选择电动机、柴油机或发电机。

#### 7.1.5 空压机选择

根据洗井和气举反循环钻进施工的井深、井径、动水位深度等因素，选择空压机型号及性能。

#### 7.1.6 固控设备选择

根据泥浆泵排量、施工条件和钻井工艺对钻井液性能的要求等选择固控系统和固控设备，固控设备有振动筛、砂泵、除砂器、除泥器和离心机。

#### 7.1.7 防喷器选择

根据井口压力及井口套管尺寸选择，其安全压力应大于预测井口压力的1.5倍。施工含油气地层，高温、高压热储层，应安装防喷器。

## 7.2 井场面积要求

### 7.2.1 满足钻塔起落、绷绳埋设、钻机、泥浆泵、动力设备等安装要求，车辆出入、停放要求。

### 7.2.2 满足泥浆循环、净化系统的布置、固控设备的安装以及废浆、废渣的临时存放。

### 7.2.3 满足钻井设备、测井、固井、压裂等阶段性作业的设备安装要求。

### 7.2.4 满足各类井管、钻具、钻井液材料存放和辅助设施安装的占地要求。

## 7.3 井场修建要求

### 7.3.1 井场地基应平整、坚固、稳定。钻塔（井架）底座的填方部分，不得超过塔基面积的1/4。井架及设备基础可采用混凝土基础、钢木基础等，强度应满足施工静、动载荷安全要求。

### 7.3.2 尽量避开在易滑坡、易坍塌和泥石流发育的地段施工；在山坡修筑井场地基，岩石坚固稳定时，挖方坡度应 $<80^\circ$ ；地层松散不稳定时，挖方坡度应 $<45^\circ$ 。

7.3.3 宜避开洪水期或避免在可能受洪水侵袭的地段施工。必须施工时，应挖好排水沟和修筑堤坝。

7.3.4 井场地基修建时，应保证钻孔边缘距地下动力电缆、线路、高压输气管道等水平距离大于5m，距地下通讯电缆及构筑物、给排水管道等水平距离大于2m，距公路距离应符合《公路安全保护条例规定》要求。

7.3.5 井场地基修建时，应确保井架在安装（起落）过程中或工作时，井架主体及附属的绷绳、避雷器等设施与场地上空的高压输电线路的安全距离符合AQ 2004—2005要求。

7.3.6 进出井场的道路及井场内地基应坚固，能保证重载车辆、作业吊车的安全通行与作业。

7.3.7 应符合安全施工、文明施工及环保等要求。

## 7.4 设备安装

### 7.4.1 钻机安装

7.4.1.1 井架基础、平台安装完毕，找平、稳固后，安装钻机。

7.4.1.2 应按照确定的井位及钻机各部分的安装顺序进行安装。

7.4.1.3 钻机安装到位后，应先找平，然后紧固各个部位的连接螺丝。

7.4.1.4 钻机安装完毕，应进行试运转检测，试运转正常后，再对各部位的连接螺丝、螺栓紧固一遍。

### 7.4.2 井架安装

7.4.2.1 井（塔）架及其附属设施的安装，应符合AQ 2004—2005和SY/T 6057要求。

7.4.2.2 井（塔）架的起落作业，应有专人指挥，各岗人员应按指令操作；在拆卸与安装过程中，塔上、塔下作业人员，应相互配合，不得违章作业。

7.4.2.3 井（塔）架安装到位后，应锁紧支腿螺母，调紧并锁住绷绳紧绳器。

### 7.4.3 循环系统布置

7.4.3.1 循环系统布局应方便钻井液配制、泥浆泵供液及有利于除泥、除砂、运砂。钻井液循环管线的安装，应满足钻井施工各种工况下的作业工序、流量及压力要求。固控设备布置位置应合理，安装平稳、牢固。

7.4.3.2 石油钻机宜采用罐式循环系统，钻井液净化顺序为：井口槽→振动筛→净化罐→除砂泵→除砂器→除泥器→中间罐（配药装置、搅拌机）→上水罐→泥浆泵。

7.4.3.3 水文水井钻机宜采用槽、池循环系统，配合固控设备净化钻井液。根据现场条件至少布置一个泥浆池，一个沉淀池，一个清水池，泥浆池容量除应满足钻井液正常循环外，还应能容纳固井作业时，因打入前置液、水泥浆液、顶替液而排出的井内钻井液。

7.4.3.4 钻井液循环系统宜采用振动筛、除砂器、除泥器、离心机“四级净化”装置。

### 7.4.4 安全设施安装

7.4.4.1 井场安全设施包括避雷器、绷绳、皮带防护罩、钻井液池护栏、动力机灭火罩、漏电保护装置及安全标识、标牌、消防设施等。

7.4.4.2 安全设施的安装，应符合规范要求，确保齐全、有效。

7.4.4.3 安全员应经常检查安全设施的有效性，发现问题及时处理。

#### 7.4.5 电气设备安装

7.4.5.1 用电装备、控制开关、连接线路的布置及技术参数，应满足钻井施工要求，并有一定的能力储备。

7.4.5.2 电气设备的安装，应符合 AQ 2004—2005 和 SY/T 6202 规程、规范要求。

7.4.5.3 专业电工应对电气设备的安全性、可靠性进行经常性的检查。

### 7.5 开钻检查

井场各种设备设施安装完毕调试后，应进行开钻前的检查，其内容包括：

- a) 主体钻井设备、附属设备进行稳定性、安全性检查；
- b) 各类安全设施的安装，应按安全规范要求进行检查；
- c) 检查消防器材是否按规定正确配置；
- d) 各类用电设施、用电线路，应按安全规范要求进行检查；
- e) 检查钻井液循环系统，钻具、材料存放及生活区等布局的合理性；
- f) 施工方自检合格后，报工程建设方（业主）或建设方授权的本工程监理机构复检或验收。验收合格后，由建设方（业主）或建设方授权的本工程监理机构，签发工程开工令。

## 8 钻进工艺

### 8.1 钻进方法选择

根据地热钻探目的、地层岩性、设计技术要求、设备及施工条件等因素，确定钻进方法和选用钻具。取心钻进一般在地热勘查井、探采结合井施工中采用。全面钻进一般选择正循环钻进、气举反循环钻进及气动潜孔锤钻进。正循环钻进钻头一般选用牙轮钻头和PDC钻头，对于浅层基岩宜采用气动潜孔锤钻进，稳定基岩漏失地层、或目的热储层可采用气举反循环钻进，扩孔钻进一般在一开井段及大口径填砾井采用，适用于松软地层。

### 8.2 取心钻进

#### 8.2.1 取心工具选择

常规地热井取心工具可按表1选择。具体型号选择参照SY/T 5216—2010执行。

表1 地热井常规取心工具类型及适用条件

取心工具类型		适用条件
常规取心工具	自锁式取心工具	中硬至硬地层或成岩性较好的软地层取心
	加压式取心工具	松软或破碎性地层取心
	砂卡式单筒取心工具	仅适用于岩性均匀、胶结好的中硬和硬地层

#### 8.2.2 取心钻头

取心方式、取心工具确定后，取心钻头可按表2选择。

表2 取心钻头及适用条件

钻头类型	适用地层
硬质合金取心钻头	软至中硬地层钻进取心
金刚石复合片取心钻头	软至中硬地层钻进取心
聚晶金刚石烧结成胎体结构的取心钻头(切削、研磨同时作用)	中硬至硬地层钻进取心
聚晶金刚石取心钻头	地层软硬变化频繁的井段钻进取心
表镶金刚石取心钻头	均质的中硬至硬地层钻进取心
孕镶金刚石取心钻头	硬至极硬地层钻进取心

注：常用地热勘查取心钻头直径有130mm、150mm、152mm、216mm等。

### 8.2.3 钻进技术参数

应根据地层岩性、选择的钻进方法、钻孔深度和钻孔口径等因素灵活选择。取心钻进技术参数为：

- a) 钻压：对于中硬—硬地层，钻压宜采用钻头直径单位长度  $0.35 \text{ kN/mm} \sim 0.59 \text{ kN/mm}$ ；对于软地层，应降低钻压；对于极软地层，应及时送钻，避免岩心冲蚀；
- b) 转速：转速为  $50 \text{ r/min} \sim 100 \text{ r/min}$ 。软地层可适当增加转速；
- c) 泵量：泵量应根据井眼尺寸而定。井眼直径 152 mm 时，泵量选择  $6 \text{ L/s} \sim 12 \text{ L/s}$ ；井眼直径 216 mm 时，泵量选择  $16 \text{ L/s} \sim 22 \text{ L/s}$ 。

### 8.2.4 取心钻进操作要求

#### 8.2.4.1 取心工具下钻前各部件须全部检查合格。

#### 8.2.4.2 下钻操作要平稳，不得猛刹、猛放，猛墩，复杂井段应控制下钻速度，遇阻不得硬压，经上下活动钻具无效，应开泵循环钻井液，上下活动钻具，仍下不去时不可划眼，应起钻通井，井眼畅通后再下入取心钻具。

#### 8.2.4.3 下钻中途可根据井内情况分段循环钻井液，或下至距井底 10 m 左右循环，开泵时注意控制泵压。循环好钻井液后，缓慢下放钻具冲洗至井底。

#### 8.2.4.4 轻压慢转启动转盘，开始仔细造心，钻压由小变大。送钻应均匀，增压应缓慢；初始钻压宜为 $10 \text{ kN} \sim 20 \text{ kN}$ ，低挡转速，钻进 $0.1\text{m} \sim 0.5\text{m}$ ，待岩心顺利进到卡簧内，再逐渐加足钻压进行正常取心钻进；若为疏松砂岩，则一开始就应正常取心钻进。

#### 8.2.4.5 取心钻进时，如遇蹩泵、卡钻、跳钻、进尺明显变慢等不正常情况时，应认真分析原因，采取适当处理措施，避免或减少“堵心”、“磨心”、“卡心”现象的发生。

#### 8.2.4.6 确定割心时停止送钻，硬地层时按原转速转动转盘 $10 \text{ min} \sim 20 \text{ min}$ ，磨细底部岩心后，低挡转速，上提钻具拔断岩心；软地层可直接上提拔心，如果取心过程中钻速很快，拔心前可适当循环携砂，割心后应立即起钻。

#### 8.2.4.7 起钻操作应平稳，不得猛提、猛刹、猛坐；起钻时应用液压钳松卸扣或吊钳松扣，旋绳卸扣，不得使用转盘卸扣；起钻过程中井内应及时补充钻井液。

### 8.2.5 岩心编录要求

8.2.5.1 取出的岩心样，应按上下顺序排列，不得颠倒，并及时填写回次标签或在岩心样上标明编号，及时编录、取样、装箱。

8.2.5.2 岩心样应保留至工程验收后按设计要求处理。

### 8.3 全面钻进

#### 8.3.1 正循环钻进钻具组合

8.3.1.1 采用牙轮钻头和PDC钻头钻进时，依据地层特性和井斜控制要求，直井防斜钻具组合方式有3种：塔式钻具、满眼钻具、钟摆钻具。塔式钻具适用于易产生超径的松散地层；满眼钻具适用于易造斜地层，软、硬交替变换地层；钟摆钻具适用范围较广，钻进中可通过合理操作逐步实现降斜。

8.3.1.2 根据井径、井深、设备能力、钻具配备等选择合理的钻具组合。常用钻杆基本参数参见附录A，常用钻铤型号及主要参数参见附录B。常用钻具组合规格尺寸见表3。

表3 常用钻具组合规格尺寸

钻头直径	钻具组合
≥444.5 mm	钻头+Φ203mm钻铤+Φ177.8mm钻铤+Φ127mm钻杆
311.1 mm	钻头+Φ203mm钻铤+Φ177.8mm钻铤+Φ127mm钻杆 或钻头+Φ177.8mm钻铤+Φ159mm（或165mm）钻铤+Φ88.9mm钻杆
241.3 mm (244.5mm)	钻头+Φ165mm（或Φ177.8mm）钻铤+Φ159钻铤+Φ127mm钻杆 或钻头+Φ159mm（或165mm）钻铤+Φ88.9mm钻杆
215.9 mm	钻头+Φ159mm（或165mm）钻铤+Φ127mm钻杆+Φ88.9mm钻杆 或钻头+Φ159mm（或165mm）钻铤+Φ88.9mm钻杆
152.4 mm	钻头+Φ121mm钻铤+Φ88.9mm钻杆

#### 8.3.2 牙轮钻头钻进

##### 8.3.2.1 钻头选择

应根据地层可钻性级值，选择进尺多、速度快、成本低、磨损正常的牙轮钻头。

松软地层（可钻性级值小于5级）宜选用铣齿牙轮钻头，砂砾岩和基岩地层（可钻性级值大于5级）可选用镶齿牙轮钻头，研磨性地层应选择保径镶齿牙轮钻头，在易井斜地层，选用牙轮偏移量小、无保径齿及齿多而短的牙轮钻头。三牙轮钻头型号见附录C。

##### 8.3.2.1.1 钻进技术参数

牙轮钻头钻进技术参数为：

- a) 钻压：按破碎岩石时钻头直径单位长度所需压力计算，并结合泵量、钻井液性能、钻具强度和钻铤重量等安全因素合理选择。在中硬以上岩层中钻进宜采用0.3 kN/mm～0.8 kN/mm，在中硬以下较软地层中钻进可采用0.1 kN/mm～0.5 kN/mm。但钻压最大值不能超过所配钻铤浮重的80%；
- b) 转速：根据地层岩性、钻头直径、设备性能、钻具强度、井深、泵量等合理选择。一般取50 r/min～110 r/min；
- c) 泵量：以满足钻井液上返速度0.1 m/s～0.5 m/s为宜，条件允许时取大值，一般不小于1000 L/min。

#### 8.3.3 PDC钻头钻进

### 8.3.3.1 钻头选择

PDC钻头适用于软至中硬的泥岩、砂岩、泥页岩地层，钻进效率高于牙轮钻头，不适用于卵砾石、破碎、软硬变换频繁及硬地层。适于较高转速，可配合井底动力钻具使用。应根据地层岩性、钻进方法等选择不同型号的PDC钻头。

### 8.3.3.2 钻进技术参数

PDC钻头钻进技术参数为：

- 钻压：以钻头直径单位长度  $0.10 \text{ kN/mm} \sim 0.49 \text{ kN/mm}$  为宜；
- 转速：以  $80 \text{ r/min} \sim 300 \text{ r/min}$  为宜；
- 泵量：以  $1000 \text{ L/min} \sim 2500 \text{ L/min}$  为宜，条件允许时，尽可能采用大排量。

### 8.3.4 气动潜孔锤钻进

参照DZ/T 0148—2014执行。

### 8.3.5 气举反循环钻进

参照DZ/T 0148—2014执行。

### 8.3.6 操作要求及注意事项

#### 8.3.6.1 操作基本要求

##### 8.3.6.1.1 下钻操作要求

下钻操作基本要求包括：

- 升降机（绞车）的提升、制动、离合、水刹车装置和游动滑车、吊卡（提引器）等应灵活可靠；
- 下钻要平稳，不得猛放、猛刹；注意指重表显示，遇阻不得猛墩、硬压。采用一冲、二通、三划眼的办法。下钻至井底一定距离（根据井深、钻井液及泵压情况等而定），应先开泵循环（以防造成蹩泵，严重时会蹩漏地层），待冲洗液返出井口（宜循环一周），再下入钻具，应慢速回转下放钻具至井底，不得下到井底开泵；
- 下钻速度不宜过快，防止发生墩钻、跑钻、卡钻及产生过大激动压力；
- 操作猫头绳要精力集中、果断，并要特别注意安全；
- 吊卡、提引器，应有安全装置；提落钻具时，提引器切口应朝下。

##### 8.3.6.1.2 钻进操作要求

钻进操作基本要求包括：

- 新钻头应轻压、慢转磨合  $0.5 \text{ h}$  左右，再逐渐增加到设计钻压，不得加压启动转盘。钻进中应根据钻时变化及钻头运转情况，随时分析岩性的变化和钻头工作情况，及时调整钻进参数；
- 钻进过程中应保持孔内干净，井底沉屑超过  $0.5 \text{ m}$  时，应提高钻井液携带能力或专程捞取；
- 应使用钻铤加压，钻压不超过钻铤浮重的  $0.8$  倍；
- 保持钻井液性能良好，使孔内清洁、孔壁稳定，防止卡、埋钻事故发生；
- 正常钻进中应操作平稳，送钻均匀，不得猛放猛压。应随时注意井内情况变化，若出现回转阻力增大，负荷突变，泵压不足或蹩泵，井口返浆减少或不返浆及钻速突然降低等异常情况时，要迅速作出正确判断，并立即采取处理措施；

- f) 因设备发生故障等原因停钻时，宜循环钻井液，并活动钻具，长时间停钻应将钻具提至井外或安全井段；
- g) 在松散地层钻进，不宜长时间循环，每打完单根应划眼 1 次~2 次。遇到易斜井段，严格执行防斜措施。遇到硬夹层时，经常提起钻具划眼，减压钻进，钻时由慢变快应跟上钻压。

#### 8.3.6.1.3 提钻操作要求

提钻操作基本要求包括：

- a) 提钻遇阻时不准硬拉，应上下活动钻具，以防卡钻，必要时采用倒扫方法上提钻具；
- b) 在松软地层中钻进，易产生泥包钻头，提钻速度不宜过快，应及时向井内回灌钻井液；
- c) 提钻操作应平稳，应根据孔内情况、孔深、钻具重量、设备能力等情况选择提钻速度。应精力集中，谨防顶天车，做到一听、二看；
- d) 井口液面不下降或外溢，应立即停止提钻，并查明原因，采取相应技术措施。

#### 8.3.6.2 牙轮钻头使用注意事项

牙轮钻头使用注意事项包括：

- a) 钻头入井前检查：
  - 1) 钻头的型号、尺寸是否符合设计要求；
  - 2) 牙轮转动灵活、不发生相互咬死现象、轴承密封完好；
  - 3) 喷嘴是否装牢、水眼畅通、牙齿完好、焊缝无裂缝及缺陷等。
- b) 钻头入井注意事项：
  - 1) 钻头丝扣清洗后涂上专用丝扣油。采用专用工具装卸，按规定扭矩上紧扣；
  - 2) 镶齿牙轮钻头下钻要慢，以免碰坏合金牙齿；
  - 3) 下钻遇阻划眼时，应记录井深、划眼情况及时间，以便判断遇阻原因，控制钻头工作时间。
- c) 钻进要求：
  - 1) 钻进中应随时分析岩性和钻头的工作情况，及时调整钻进参数；
  - 2) 做好钻速试验，即固定钻压，改变转速，或固定转速，改变钻压，使钻压和转速合理匹配，达到高钻速钻进；
  - 3) 应以厂家推荐的钻压与转速的乘积为约束条件，不能同时使用最高钻压和最高转速；
  - 4) 在硬地层中钻进，当井底出现不能上返的大颗粒岩屑时，应提高钻井液粘度，采用轻压慢转，将大颗粒岩屑磨碎后携带至地面；
  - 5) 在软地层中钻进，应控制钻进速度，保持井底干净，防止泥包钻头。
- d) 钻头工作情况判断：
  - 1) 正常工作：当地层岩性无变化，正常钻压下，转盘转动均匀，转盘链条无上下跳动；钻时正常无明显变化，指重表、泵压表指针平稳；刹把无异常感觉；
  - 2) 轴承损坏：转盘出现周期性蹩跳，钻速下降，泵压正常而指重表指针有摆动；
  - 3) 牙轮卡死：转盘负荷增大，转盘链条跳动，蹩钻，打倒车，钻速下降；
  - 4) 掉牙轮：转盘负荷增大，转盘链条严重跳动，打倒车，蹩钻严重，指重表指针来回摆动，钻速明显下降或无进尺，上提钻具变换方向下探方入有变化，高差约为一牙轮高度；
  - 5) 牙齿磨光或断齿：转盘负荷减轻，无蹩跳，钻速明显下降或无进尺，指重表指示平衡无摆动，泵压正常；
  - 6) 钻头泥包：转盘负荷增大，有跳钻现象，钻速下降，上提钻具有不同程度的阻卡和拔活塞现象，泵压上升，严重时憋泵。

- e) 起钻原则
  - 1) 根据钻头在井底工作情况和每米成本确定;
  - 2) 当钻头非正常工作和成本上升时应提钻更换钻头。
- f) 钻头用后管理:
  - 1) 钻头起出卸下后, 应填写标签, 标明入井顺序、下入与起出时间、进尺等, 标签宜放在钻头内;
  - 2) 钻头起出后应进行分析测量。包括轴承、牙轮、牙齿、直径的磨损情况等;
  - 3) 如果不合理磨损严重则该型号钻头不适应所钻地层, 应更换型号;
  - 4) 对于尚可继续使用的钻头应洗刷干净, 丝扣涂油, 并根据轴承是否密封采取防锈保护。

#### 8.3.6.3 PDC 钻头使用注意事项

PDC钻头使用注意事项包括:

- a) 使用优质钻井液, 确保井眼畅通, 井底干净;
- b) 宜避免大段划眼, 钻头接触井底应稳, 井底造型钻压应小;
- c) 在软地层钻进时, 应具备足够的水力冲洗效果;
- d) 在较硬地层中钻进时, 应具有较大的比水功率和适当增大钻压;
- e) 定期进行短起下钻;
- f) PDC 钻头的喷嘴多且直径小, 因此使用滤清器的滤孔应小于喷嘴最小直径;
- g) 钻头使用后期, 可适当增大钻压, 合理调整钻井参数。
- h) 遇到下列情况应起钻:
  - 1) 泵压明显上升, 进尺慢;
  - 2) 地层岩性变化不大, 而机械钻速和转盘扭矩明显降低;
  - 3) 有连续蹩钻现象且没有进尺;
  - 4) 综合经济指标低于其它类型钻头。

### 8.4 扩孔钻进

8.4.1 地热井扩孔钻进常在一开井段和大口径填砾井采用, 适用于松软地层, 不适于在卵砾石、破碎及硬地层中采用。地热井扩孔常用牙轮扩孔钻头, 根据设计井身结构可采用一次或多次扩孔。

8.4.2 应根据钻头类型、钻具强度、岩层性质、扩孔级差及设备能力选择扩孔钻进参数。

8.4.2.1 钻压: 按扩孔有效直径单位长度所需压力计算确定, 宜取  $0.05 \text{ kN/mm} \sim 0.15 \text{ kN/mm}$ 。

8.4.2.2 转速: 宜取  $40 \text{ r/min} \sim 70 \text{ r/min}$ 。

8.4.2.3 泵量: 宜采用大泵量, 一般不小于  $1000 \text{ L/min}$ 。

#### 8.4.3 扩孔注意事项

8.4.3.1 牙轮扩孔钻头宜带引向, 各焊接处应焊接牢固。

8.4.3.2 牙轮扩孔钻头扩孔时回转阻力大, 应精心操作, 均匀送钻, 控制进尺, 预防蹩钻。

8.4.3.3 采用牙轮扩孔钻头钻进时宜在离钻头  $5 \text{ m} \sim 10 \text{ m}$  处安装扶正器, 扶正器外径比钻头外径小  $4 \text{ mm} \sim 10 \text{ mm}$ 。

8.4.3.4 在松软地层中扩孔, 应采取短程起下钻; 控制起钻速度, 防止因抽吸作用造成孔壁坍塌。

8.4.3.5 调节好钻井液性能，搞好钻井液净化，保持孔内干净。

8.4.3.6 扩孔结束，下管前，应进行通井。

## 8.5 定向井钻进

### 8.5.1 地热定向井的应用范围

在地热井钻进受地面建筑物和设施影响时，地质构造特点采用直井不能有效地勘探开发和保护利用地下热储层时，遇到井下事故无法处理或者不易处理时，设计定向钻进。

### 8.5.2 地热定向井的设计要求

8.5.2.1 定向井轨迹设计应考虑尽量减小施工难度，有利于使用和维修；宜选择在垂直剖面内，选择简单的轨迹，减小井眼曲率，缩短井身总长度。

8.5.2.2 宜利用地层自然造斜规律，进行井斜角、井斜方位角、造斜率等的设计。

8.5.2.3 造斜点应避开复杂地层，选择地层硬度适中的位置，造斜点距离上层套管鞋宜大于 50m。

8.5.2.4 在选择井眼曲率时，造斜钻具的造斜能力满足钻进要求时，应尽量减少起下钻、下套管的工作难度，缩短造斜井段的长度；一般要求增斜率在  $3^{\circ} / 30m$  左右，降斜率在  $1.5^{\circ} / 30m$  左右。

8.5.2.5 造斜井段应保持均匀造斜率，避免急弯。

8.5.2.6 宜减小最大井斜角，以减小施工难度，但最大井斜角不得小于 15 度。

8.5.2.7 定向井轨道设计应选择在二维空间。

8.5.2.8 大斜度井、侧钻井井身轨道宜选择由垂直段、全增斜段组成的二段制轨道。

8.5.2.9 较深的定向井井身轨道宜选择由垂直段、增斜段、稳斜段组成的三段制轨道。

8.5.2.10 热储埋藏较深，地层条件较复杂区域井身轨道宜选择由垂直段、增斜段、稳斜段、降斜段、垂直段组成的五段制“S”型轨道。

### 8.5.3 定向井施工钻具

#### 8.5.3.1 滑动钻进造斜工具

地热钻井常用滑动钻进造斜工具为：

- a) 弯接头+螺杆钻具（自下至上）组合：钻头→螺杆钻具→弯接头→无磁钻铤→钢钻铤→钻杆，地热定向井宜采用  $1^{\circ} 30' \sim 2^{\circ} 30'$  的弯接头；
- b) 弯外壳螺杆钻具（自下至上）组合：钻头→弯外壳螺杆钻具→无磁钻铤→钢钻铤→钻杆，常用弯外壳螺杆钻具的度数一般为  $1^{\circ} 15'$  左右。

#### 8.5.3.2 转盘钻进造斜工具

下部钻具组合：用于已有一定斜度的井眼进行稳斜、增斜、降斜。利用靠近钻头的钻铤部分，合理布置扶正器，得到各种性能的钻具组合。

### 8.5.4 定向方法

#### 8.5.4.1 单点定向

单点定向方法为：

- a) 定向造斜钻具下至造斜点位置；
- b) 单点测斜，测量造斜位置的井斜角，方位角和弯接头工具面角；
- c) 在测斜照相的同时，对井口钻杆，方钻杆，地面钻杆进行打印，并把井口钻杆的印痕投到转盘的外缘上，作为基准点；
- d) 调整安置角（设计方位角+反扭角），锁住转盘，开泵钻进；
- e) 定向钻进。每钻进二至四个单根进行一次单点测斜，根据测量的井斜角和方位角及时修正反扭角的误差，并调整造斜工具的安置角；
- f) 当井斜角达到8度以上，方位合适，起钻更换转盘增斜钻具钻进；
- g) 通常适用井深小于1000m。

#### 8.5.4.2 有线随钻测斜仪定向

定向造斜时把测斜仪的井下仪器总成下入钻杆及钻铤内，使定向鞋的缺口坐在定向键上，钻进时可从地面仪表直接读出实钻井眼的井斜、方位和工具面角，并控制井眼按照设计轨迹延伸。当井斜增大到8度以上，方位合适，便可改用转盘钻进增斜。

#### 8.5.4.3 无线随钻测斜仪定向

该系统由随钻测量仪器总成、地面接收仪表、计算机监控软件系统组成。通过钻井液的压力脉冲传递编码数据，由地面计算机进行解码处理，以数字形式显示，指导现场操作。如需改变方位，可通过转动转盘来调整。

### 8.5.5 地热定向井施工准备

#### 8.5.5.1 地质设计分析

地质设计分析包括：

- a) 熟悉该井的地理位置和热储层位置，熟悉设计井深、井斜、方位和水平位移；
- b) 了解地层构造和岩性特征，分析其在施工中对井眼轨迹造成的影响。

#### 8.5.5.2 工程设计分析

工程设计分析包括：

- a) 熟悉设计轨道类型、井深、垂深、水平位移；目标点井深、垂深和水平位移；设计井斜方位角、造斜点、最大井斜角等；
- b) 计算井斜方位角的允许偏差值；
- c) 熟悉增（降）斜钻具的增（降）斜率，增（降）斜井段的起、终点井深、垂深和水平位移；
- d) 熟悉各井段的钻具组合及钻进参数；
- e) 熟悉全井的井身结构，套管尺寸。

#### 8.5.5.3 定向工具和仪器的准备与检查

准备与检查的工作内容包括：

- a) 施工技术人员在开钻前按设计要求准备好定向工具和仪器；
- b) 检查螺杆钻具、弯接头、各类钻铤、配合接头、扶正器的长度、内外径、扣型；检查弯接头结构弯角的度数以及弯接头循环套内径是否与定向外筒斜口引鞋匹配，定向键的方向是否在高边上；并做好记录；

c) 做好测斜仪器入井前的检查。

#### 8.5.6 定向井直井段施工

8.5.6.1 根据造斜点的深度和井眼尺寸合理选择钻具组合和钻井参数、严格控制井斜角，以减少定向造斜施工的工作量。

8.5.6.2 造斜点深度小于 500 m 时，采用钟摆钻具或塔式钻具组合钻井，严格控制钻压，控制井斜角不大于 1°。

8.5.6.3 造斜点深 500 m~1000 m 时，采用塔式钻具或钟摆钻具组合，合理选择钻井参数。钻至离造斜点 50 m~100 m 时减压吊打，控制井斜角不大于 1° 30'。

8.5.6.4 造斜点深度大于 1000 m，采用塔式钻具或刚性满眼钻具组合。稳定器和钻铤未进入地层前减压吊打 50 m，逐渐加至设计钻压。钻至距造斜点 100 m~150 m 时减压钻进，控制井斜角不大于 2°。

8.5.6.5 直井段钻完后，按照两测点间不大于 50 m 测距进行测斜，并根据测斜数据进行井眼轨迹计算并绘制水平投影图和垂直剖面投影图。

#### 8.5.7 定向井造斜施工

8.5.7.1 使用螺杆钻具造斜时应根据地热井施工设计，正确选择螺杆钻具型号，并按厂家推荐参数合理使用。

8.5.7.2 多采用无线随钻测斜仪定向，该方法既可用于井下动力钻具定向造斜，又可用于钻进中的连续测量。

8.5.7.3 螺杆钻具下井前应在井口进行试运转，工作正常方可下井。

8.5.7.4 造斜钻具下井前应按规定扭矩紧扣，遇阻应起钻通井，不得硬压或扫孔。

8.5.7.5 定向造斜钻进，应按规定加压，均匀送钻，以保持恒定的钻具反扭角。

8.5.7.6 造斜钻进起钻，应用旋扣器或旋绳卸扣，不得用转盘卸扣。

8.5.7.7 常温螺杆钻具要求井下温度不超过 95℃，否则应选用耐高温螺杆钻具。

8.5.7.8 一般钻至井斜角为 8° ~10°（或设计最大井斜角），且井斜方位符合设计要求时，可提钻换成下部钻具组合使用转盘钻进。

#### 8.5.8 定向井增斜施工

##### 8.5.8.1 常用增斜钻具组合

常用增斜钻具组合为：钻头→近钻头扶正器→无磁钻铤（根据井斜角、方位角的大小确定无磁钻铤的长度）→钢钻铤（无磁钻铤和钢钻铤的总长度为 20 m~30 m 之间）→扶正器→钻铤（10 m）→扶正器—钻铤→随钻震击器→加重钻杆→钻杆。

增斜钻具组合中钻头直径与扶正器外径允许差值为 3 mm~4 mm。

增斜组合是在转盘钻的基础上利用靠近钻头的钻铤部分，使用扶正器得到各种钻具的组合。按照增斜能力的大小分为强、中、弱三种结构，配合尺寸见表4。

表4 增斜钻具组合及配合尺寸

单位为米

类型	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
强增斜组合	1.0~1.8	—	—
中增斜组合	1.0~1.8	18.0~27.0	—
弱增斜组合	1.0~1.8	9.0~18.0	9.0

注1: L<sub>1</sub>为钻头与第一扶正器之间长度。  
 注2: L<sub>2</sub>为第一个扶正器与第二个扶正器之间长度。  
 注3: L<sub>3</sub>为第二个扶正器与第三个扶正器之间长度。

#### 8.5.8.2 增斜施工操作要求

8.5.8.2.1 按照设计钻井参数钻进,均匀送钻,使井眼曲率变化平缓,轨迹圆滑。

8.5.8.2.2 及时测量,随钻作图,掌握井斜和方位变化的趋势。如增斜率达不到设计要求时应及时采取下列措施:

- a) 调整钻井参数改变增斜率。增加钻压可使造斜率增大;减小钻压,则造斜率降低;
- b) 改变近钻头扶正器与上面相邻扶正器之间的距离,距离越短增斜率越低;距离越长增斜率越高。改变的范围在10 m~30 m;
- c) 改变近钻头扶正器与上面相邻扶正器之间的钻铤刚性。刚性越强增斜率越低;刚性越弱增斜率越高。

8.5.8.2.3 控制井斜方位角的变化。因地层等因素造成井斜方位严重漂移,影响中靶或侵入邻井安全限定区域时,应运用造斜钻具及时调整井眼的井斜方位角。

8.5.8.2.4 斜井段施工进行设备检修时,不得长时间将钻具停留在一处循环或空转扫孔。

#### 8.5.9 定向井稳斜施工

##### 8.5.9.1 常用稳斜钻具组合

稳斜钻具组合:钻头→近钻头扶正器→短钻铤(2 m~3 m)→扶正器→无磁钻铤单根→扶正器→钻铤→随钻震击器→加重钻杆→钻杆。按照稳斜能力的大小,分为强、中、弱三种。配合尺寸见表5。

表5 稳斜钻具组合配合尺寸

单位为米

类型	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>
强稳斜组合	0.8~1.2	4.5~6.0	9.0	9.0	9.0
中稳斜组合	1.0~1.8	3.0~6.0	9.0~18.0	9.0~27.0	—
弱稳斜组合	1.0~1.8	4.5	9.0	—	—

注1: L<sub>1</sub>为钻头与第一扶正器之间长度。  
 注2: L<sub>2</sub>为第一个扶正器与第二个扶正器之间长度。  
 注3: L<sub>3</sub>为第二个扶正器与第三个扶正器之间长度。  
 注4: L<sub>4</sub>为第三个扶正器与第四个扶正器之间长度。  
 注5: L<sub>5</sub>为第四个扶正器与第五个扶正器之间长度。

### 8.5.9.2 稳斜施工操作要求

8.5.9.2.1 在方位漂移严重的地层钻进，为了稳定井斜方位，应在钻头上连接2只~3只足尺寸的扶正器。

8.5.9.2.2 因地层因素影响，采用稳斜钻具出现降斜趋势时，应使用微增钻具组合稳斜：

- a) 将近钻头扶正器与其相邻的上扶正器之间的距离增加到5m~10m；
- b) 减少钻头上面第二只扶正器的外径（欠尺寸扶正器）；

示例： $\varnothing 215.9\text{mm}$  钻头+ $\varnothing 214\text{mm}$  扶正器+短钻铤(3m)+ $\varnothing 210\text{mm}$  扶正器+无磁钻铤单根+ $\varnothing 214\text{mm}$  扶正器；

- c) 需要更强的稳斜组合时，可使用双扶正器串联起来作为近钻头扶正器。

### 8.5.10 降斜施工

8.5.10.1 常用降斜钻具组合：

- a) 降斜钻具组合：钻头→无磁钻铤→钻铤（钻头与扶正器之间的距离为10m~30m）→扶正器→钻铤→钻杆。钻头与扶正器之间的距离应根据井斜角的大小和要求的降斜率来确定；
- b) 降斜钻具组合中扶正器的外径可以较增斜、稳斜钻具组合中扶正器外径稍小些；
- c) 按照降斜能力的大小分为强、弱两种结构，配合尺寸见表6。

表6 降斜钻具组合配合尺寸

单位为米

类型	$L_1$	$L_2$
强降斜组合	9.0~27.0	—
弱降斜组合	0.8	18.0~27.0

注1： $L_1$ 为钻头与扶正器之间长度。  
注2： $L_2$ 为第一个扶正器与第二个扶正器之间长度。

### 8.5.10.2 降斜施工操作要求

8.5.10.2.1 降斜段宜简化下部钻具组合，应减少钻铤和扶正器的数量，甚至可用加重钻杆代替钻铤。

8.5.10.2.2 施工中应注意保持小钻压和较低转速。

### 8.5.11 定向钻井施工操作要求

8.5.11.1 垂直井段应严格控制井斜，井斜角应符合8.5.6的要求。

8.5.11.2 应尽量减小定向造斜段的方位偏差，若发现偏差，应及时扭方位。

8.5.11.3 钻进过程中应不断了解轨迹的发展变化情况，采用各种造斜工具或钻具组合，使井眼轨迹沿着设计轨迹进行。

8.5.11.4 应尽量减少钻具与井壁间的摩擦力，防止压差卡钻。钻井液中应加入润滑剂提高润滑性，使泥饼摩擦系数小于0.2，下套管及电测井之前应加入1.5%~2%的固体润滑剂。

8.5.11.5 在井眼曲率大的井段，应定期下入键槽破坏器，破坏键槽，保持井壁光滑。认真记录起下钻遇阻遇卡位置，结合测斜资料，判断键槽位置，提前处理。

8.5.11.6 钻具组合变换时,应严格控制下放速度,遇阻不得硬压。用刚性小的钻具组合钻出的井眼,改换刚性强的钻具组合以前,应先用刚性适中的钻具组合通井扫孔。

8.5.11.7 控制钻井液性能,动切力不小于6Pa,增强携带岩屑能力,保持井眼干净,预防砂卡。

8.5.11.8 定向井钻进应配有振动筛、除砂器、除泥器等三级以上净化装置,使钻井液含砂量小于0.5%。采用无线随钻测斜仪定向时,钻杆内应安放泥浆过滤网,并在加杆时进行清理。

8.5.11.9 丛式井、绕障井、应根据邻井和设计井井眼轴线的相对位置,及时进行最近距离扫描跟踪,并做出防碰图。

8.5.11.10 定向井使用的钻具应比相同井深的直井使用的钻具强度高。使用金刚石复合片钻头或其他高效能钻头钻井,每钻进300m(斜井段)应进行一次提、下钻。钻具及配合接头等下井前应检查通孔直径和有无杂物,保证测斜仪器能顺利下入。

## 8.6 划眼(扫孔)作业

### 8.6.1 钻进过程中划眼

钻进过程中下列情况需要划眼:

- 新钻头入井距井底一段距离(一般一个单根);
- 单根钻完后,接单根前;
- 钻进软、硬地层变化段;
- 停钻后重新钻进。

### 8.6.2 通井过程中划眼

通井过程中下列情况需要划眼:

- 井底以上一个立柱;
- 起下钻及电测井时遇阻遇卡井段;
- 提钻后发现钻头直径因磨损变小所钻井段。

### 8.6.3 划眼操作要求

划眼应遵循下列操作要求:

- 一冲、二通、三划眼:接好单根开泵正常后先冲下去,上提钻具转动一个方位再通下去,再提起钻具转动划下去;
- 在松软、破碎地层、断层处划眼时,防止划出新井眼;
- 带弯接头或弯马达的钻柱组合不可加压划眼;
- 倒划眼施加拉力宜不超过5kN,倒划眼完毕要进行正划眼,上提、下放钻柱至无阻卡为止。

## 8.7 预防井喷措施

8.7.1 当地热井施工钻遇油气地层及高温高压地热田时,应安装井控装置。包括防喷器、压井管汇、防喷管汇和远程控制装置。开钻前调试防喷器,使防喷器处于良好工作状态。并合理选择使用钻具内防喷装置、钻井液液面监测装置。

8.7.2 设计合理的井身结构。一般钻遇含油气地层地热井的裸眼井段不应超过两个不同压力梯度的地层,以保证施工安全。

8.7.3 应准确地监测、计算地层压力，在此基础上合理确定钻井液密度，使钻遇油气层时的液柱压力稍大于地层压力，实现近平衡钻井。

8.7.4 起下钻速度应合理，宜降低井内（特别在油气层附近）因起下钻产生的抽吸力和激动压力。

8.7.5 一旦发现溢流信号并确认溢流发生，应迅速果断做出关井决定。

8.7.6 提前准备好泥浆加重剂（重晶石粉、石灰石粉），以备压井时使用。

## 8.8 漏层施工要求

### 8.8.1 井漏的预防

8.8.1.1 孔隙型地层钻进时应控制和调节好钻井液性能，防止因井内液柱压力过大而压漏地层。

8.8.1.2 接近易漏碳酸盐岩地层顶板，做好岩屑录井和钻时录井，控制钻速，卡准地层，宜做到进入碳酸盐地层并在漏失前停钻，下入套管封闭上部不稳定地层。

8.8.1.3 控制下钻速度，开泵不能过猛，改善钻井液流变性，深井下钻要分段循环，以防压力激动造成井漏。

8.8.1.4 施工中应注意泵压变化，开泵时应观察井口液面，钻井液循环时应注意池、罐内钻井液液面变化，发现井漏应将钻具提至安全井段，采取堵漏措施。

8.8.1.5 钻进时突然不返泥浆，若上部有不稳定地层，则应立即抢提钻，并向钻具外环大排量灌浆。

### 8.8.2 漏层施工要求

8.8.2.1 钻遇非目的热储层发生井漏。孔隙型地层采用调整钻井液性能和采用添加惰性材料的方法进行堵漏；裂隙型地层一般采用水泥平衡堵漏。

8.8.2.2 稳定基岩漏失层施工可采用气举反循环钻进、泡沫钻井液等工艺。

8.8.2.3 若漏失量大（钻井液全部漏失）也可采用清水顶漏钻进，钻进中应注意观察井内岩屑沉淀情况，如沉屑超过2米，应采取措施处理，不可强行钻进。

## 8.9 高温钻井操作要求

8.9.1 应安装钻井液冷却装置及井控装置。

8.9.2 依据地质条件合理选择钻井液类型、抗高温处理剂、耐高温钻头等。注意人身安全，防止人员烫伤。

8.9.3 在钻头之上和主动钻杆之下各安装一个止回阀。

## 8.10 井身质量要求

8.10.1 泵室段，井斜 $\leqslant 1^\circ$ ，垂直井其它井段井斜每百米 $\leqslant 1^\circ$ ，2 000 m以内 $\leqslant 7^\circ$ ，2 000 m以深 $\leqslant 10^\circ$ 。

8.10.2 定向井按设计轨道钻进，一般全角变化率要求连续三个测点的计算值 $\leqslant 5^\circ /30$  m。

8.10.3 钻进至换径、热储层及终孔应校正孔深，井深误差 $\leqslant \pm 1\text{m}/1\ 000\text{ m}$ 。

8.10.4 特殊情况以设计要求为准。

## 8.11 井身质量保证措施

8.11.1 设备安装要求周正、水平、稳固，保证天车、转盘中心、钻孔中心三点成一线。

8.11.1.1 开孔操作应轻压、慢转，方钻杆应安装扶正装置，并经常测量方钻杆的垂直度，及时加接钻铤。

8.11.1.2 根据地层情况合理选择钻进方法，钻进参数。

8.11.1.3 根据井身结构及地层特点合理选择钻具组合（满眼、塔式、钟摆钻具组合）。采用满眼钻具钻进时，开孔应垂直，一开可使用塔式钻具，二开以后可使用钟摆钻具；扶正器外径不宜小于钻头直径3mm，钻压不超过钻铤浮重的80%；筒状钻具钻进应选择长、直钻具，换径时采用导向钻具，扩孔时采用引向钻具。

8.11.1.4 钻进软硬互层的易斜地层，卵砾石层及破碎带地层，应轻压慢转，送钻均匀。

8.11.1.5 按设计要求测斜，发现井斜征兆及时采取预防措施。

8.11.1.6 在水敏、易坍塌地层钻进时，要合理选择钻井液，调整好钻井液性能，保证超径系数不超过规定范围内。

8.11.1.7 按设计要求及时校正孔深，使孔深误差控制在设计要求之内。

## 8.12 录井作业要求

### 8.12.1 岩屑录井要求

#### 8.12.1.1 岩屑捞取及处理要求

岩屑捞取及处理应符合以下要求：

- 捞取岩屑井深位置及取样间距（一般2m~5m）依据地质设计要求进行，取样宜在振动筛下固定位置捞取，取样重量不少于500g。捞取后立即清洗干净，去掉杂物和掉块，及时进行深度标识、干燥后装袋。岩屑袋按井深自上而下顺序排列、装箱。地质构造复杂及地层变化孔段，应加密取样。接近易漏失层基岩顶板时，应连续捞取岩屑，随时掌握钻井液漏失情况及深度，卡准漏失层基岩顶部风化壳及完整基岩的深度；
- 每100m测量一次岩屑迟到时间，确保岩屑的真实性和代表性，岩屑取样时间等于钻达时间加迟到时间。

#### 8.12.1.2 岩屑描述要求

岩屑描述应符合以下要求：

- 分层深度：岩屑分层深度以钻具深度为准，连续录井描述时，先确定第一层顶界和底界深度，以后只写底界深度；
- 岩性定名：同岩心各种岩性定名要求；
- 描述内容：包括颜色、矿物成分、结构、化石及含有物、物理性质及化学性质；
- 岩性复查：测井后若发现岩电不符，需复查岩屑。找出测井深度与钻具井深的误差，找出与电性相符岩性并在描述中复查结果栏进行校正。

### 8.12.2 钻时录井要求

记录井深、进尺、纯钻进时间、放空井段等。

#### 8.12.3 钻井参数录井要求

记录钻压、转速、悬重、钻具组合、入井钻头、泵量、泵压等。

#### 8.12.4 钻井液录井要求

钻井液录井应符合以下要求：

- a) 每4h测定一次钻井液性能，必要时加密测定；每50m测量一次钻井液入井、出口温度，必要时加密测量，并做好记录；
- b) 停钻时，应观测井内钻井液液面变化情况，及时补充钻井液；
- c) 记录发生井漏的井深、层位、漏失量、漏速，井漏原因及井漏处理措施；
- d) 记录发生井涌、井喷的井深、层位、涌水量、涌速，井涌原因及井涌处理措施。

#### 8.12.5 钻井记录要求

钻井记录应符合以下要求：

- a) 记录发生卡钻、井塌、蹩钻、跳钻、蹩钻、掉块、钻效改变等非正常钻井情况时的井深、时间、原因及处理措施；
- b) 钻遇含气层、含油层时应进行气、油侵录井。记录发生气、油侵的井深、层位及原因等。地层压力异常地层钻进时，应进行压力录井。

#### 8.12.6 岩心录井要求

地热勘探井、探采结合井依据钻井设计书要求进行岩心录井。

### 9 钻井液

#### 9.1 钻井液的分类

地热井施工主要采用水基钻井液，常用地热井钻井液分为以下几种类型：

- a) 天然钻井液：利用地层粘土自然造浆形成；
- b) 分散型钻井液，包括：
  - 1) 用天然钻井液、辅以各种无机、有机处理剂调配而成；
  - 2) 细分散型钻井液用淡水、膨润土、各种无机、有机处理剂配制而成；
  - 3) 粗分散型有盐水钻井液和钙处理钻井液。
- c) 聚合物钻井液——以具有絮凝和分散作用的有机聚合物为主要处理剂的钻井液；
- d) 泡沫钻井液；
- e) 清水；
- f) 堵漏钻井液——根据漏失地层及漏失程度加入各种堵漏剂配制而成。

#### 9.2 钻井液的选择

9.2.1 应依据地层性质、热储类型和温度、水源条件、钻进方法等合理选择钻井液类型。

9.2.2 应依据地热井不同热储温度选择不同性能的钻井液。

9.2.2.1 低温地热井（90℃以下），宜选用膨润土低固相钻井液。

**9.2.2.2** 中温地热井( $90^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ )，宜选用膨润土、海泡石及其混合土配浆，采用褐煤、丙稀酸盐、特种树脂、温石棉等做处理剂。

**9.2.2.3** 高温地热井( $150^{\circ}\text{C}$ 以上)，主要采用海泡石配浆，采用褐煤、丙稀酸盐、特种树脂、温石棉等做处理剂。

**9.2.3** 常规钻进不同地层适用的钻井液类型及性能指标见表7。

表7 常规钻井液类型及性能指标

岩层性质	钻井液类型	钻井液性能指标				
		密度 g/cm <sup>3</sup>	粘度 s (范式)	滤失量 mL/30min	pH 值	含砂量%
第四系松散地层	天然钻井液、细分散钻井液	1.10~1.20	20~25	<20	8~10	<4
砂、砾石	细分散钻井液 聚合物钻井液	1.15~1.30	30~60	<20	8~10	<8
遇水膨胀、缩径地层	细分散钻井液 聚合物钻井液	1.10~1.20	25~30	<15	8~10	<4
泥页岩坍塌掉块承压地层	聚合物钾基钻井液及 加重钻井液	1.20~1.50	30~80	<10	8~10	<4
稳定基岩地层	细分散钻井液和无固相钻井液	1.0~1.10	25~30	<20	8~10	<4
漏失碳酸盐热储层	清水	1.0	15~17	-	-	-
漏失岩层	堵漏钻井液	1.03~1.08	20~30	<15	8~11	<8
	泡沫钻井液	<1	基浆 20~30	基浆<15	8~11	<4

**9.2.4** 基岩稳定地层可采用清水、泡沫钻井液。

**9.2.5** 漏失地层应采用低密度钻井液。

**9.2.6** 承压地层应采用合适的高密度钻井液。

**9.2.7** 定向井钻井液中应加入润滑剂。

### 9.3 钻井液材料与处理剂

**9.3.1** 粘土：膨润土主要成分是蒙脱石，分为钙土和钠土，宜选用钠土配制钻井液；海泡石与凹凸棒石抗盐耐温，用于配制高温钻井液。

**9.3.2** 地热井钻井液配制用水宜选择淡水，并现场做造浆试验。

**9.3.3** 钻井液常用处理剂。见资料性附录D。

### 9.4 钻井液设计与配制方法

#### 9.4.1 钻井液设计

钻井液设计内容包括：

- a) 设计钻井液的密度、漏斗粘度、失水量、pH值等主要性能指标，和钻井液的含砂量、固相含量、润滑性、泥皮厚度等重要参数；

- b) 设计钻井液配方, 选择优质造浆粘土, 确定处理剂、钻井液材料用量、钻井液制备方法;
- c) 配制钻井液的材料用量、处理剂加量, 根据钻井液配方设计或室内、现场试验确定。

#### 9.4.2 钻井液配制方法

按以下方法配制钻井液:

- a) 钻进自然造浆地层, 应以自然造浆为基浆, 加入泥浆处理剂调节泥浆性能;
- b) 基浆配制: 按设计钻井液密度, 在水中按比例加入粘土和纯碱充分水化、搅拌后方可使用, 可在搅拌机或水泥池中进行。搅拌方法有机械搅拌法和水力搅拌法(用泥浆泵通过水力搅拌器漏斗喷射循环搅拌);
- c) 处理剂可先在配制罐中配制成一定浓度的液体加入基浆或按配比直接水力搅拌加入(高分子处理剂须溶解成胶液)。

#### 9.5 钻井液的维护与管理

9.5.1 井场应配备振动筛、旋流除砂器、旋流除泥器等钻井液固相控制设备, 必要时配备混合加重装置、除气器、离心机及剪切泵。现场有条件时, 应充分利用泥浆池和循环系统的净化作用。

9.5.2 井场应配备漏斗粘度计、密度计、失水量仪、pH试纸和含砂量仪等, 正常钻进每4h至少测定一次钻井液的常规性能, 钻井液性能变化快时, 加密测量次数, 将测得的数据记入班报表, 并根据测试结果及时调整。

9.5.3 现场有条件时, 应选择合适位置储存多余泥浆备用。

9.5.4 加入处理剂前, 应计算钻井液循环一周所需时间, 将处理剂在一个或几个循环周内均匀加入。

9.5.5 钻井液性能调整幅度较大时宜在套管内循环完成。

9.5.6 水泥固井后, 应清除受污染钻井液中的有害固相, 加入相应的处理剂, 使钻井液性能达到设计要求, 或排掉受污染的钻井液, 重新配制。

9.5.7 易漏地层钻进在保证孔内安全的情况下, 应降低钻井液密度, 提前加入防漏材料, 降低钻井液排量, 并提高钻井液粘度, 储备足量钻井液材料及钻井液。

9.5.8 钻进易坍塌地层前应调整钻井液性能, 选择适应地层特性的钻井液类型及处理剂, 宜采用加重钻井液和聚合物钾基钻井液, 并严格控制滤失量。

9.5.9 破碎岩层钻进应适当提高钻井液粘度, 降低钻井液的滤失量, 改善泥皮质量, 减少井下压力激动。

9.5.10 钙侵地层钻进可通过加入纯碱、磷酸盐等清除钙离子, 用抗钙能力强的降粘剂控制粘度、切力, 补充降滤失剂等材料, 以维护钻井液的性能稳定。

9.5.11 钻进第四系粘土地层时, 可先用清水作为钻井液, 通过自然造浆后, 再加入适当的处理剂作为钻井液。

9.5.12 将废浆液及岩粉运至指定地点或进行现场无害化处理。

#### 9.6 钻孔护壁与堵漏

##### 9.6.1 渗透漏失(小漏, 未失去循环)

9.6.1.1 降低钻井液密度，提高钻井液粘度、切力等性能。

9.6.1.2 停止钻进，钻头起至安全井段，静止堵漏。

9.6.1.3 加入暂堵剂，循环堵漏。

9.6.1.4 继续钻进，穿过渗漏地层，钻屑堵漏。

## 9.6.2 孔隙、微裂缝漏失

9.6.2.1 及时起出钻具，并在起钻前替入稠钻井液和桥堵剂混合浆液，静止堵漏。

9.6.2.2 钻井液中加入1%~3%的惰性堵漏材料，循环堵漏。

9.6.2.3 采用高滤失浆液、化学凝胶等方法堵漏。

## 9.6.3 大裂缝、大溶洞漏失

9.6.3.1 立即停止钻进，将钻具强行起出。

9.6.3.2 先向井内投入填料（砖、石块、泥球、水泥球等）至井底漏失位置，建立井壁堵漏隔墙，然后注入堵漏浆液。

9.6.3.3 采用水泥浆平衡堵漏。堵漏时应注入前置液和隔离液，宜采用油井水泥、早强水泥。

9.6.3.4 将堵漏材料直接装入强度较高的袋中（编织袋、尼龙袋等），浅井可直接投入井内，深井可采用工具送至漏层进行堵漏。

## 9.6.4 抑涌、止涌

采用地层压力平衡钻进技术，调高钻井液密度，达到抑涌、止涌的目的。

# 10 成井工艺

## 10.1 成井结构基本要求

10.1.1 泵室管直径应满足安装热水泵和测量水位等基本要求，深度应尽量满足开采期内动水位变化基本要求。下部套管及滤水管直径应满足出水和洗井要求。

10.1.2 裂隙岩溶型、裂隙型地热井应下管至热储层顶部，并用水泥固井止水，封堵冷水、油气等有害流体。若热储层井壁稳定可裸眼成井，否则应下入不缠丝滤水管。

10.1.3 孔隙型地热井应全井下管。滤水管长度依据测井分析热储层的厚度而定，滤水管安装位置应与开采层位置相对应，沉淀管长度应 $\geq 15\text{ m}$ 。

## 10.2 常用开采井井身结构

### 10.2.1 滤水管填砾井身结构

上部井径500 mm，下部井径350 mm，下入φ 339.7 mm泵室管，下部连接φ 177.8 mm套管和滤水管，泵室管深度不小于300 m。井口下入护壁管，填砾后粘土球止水。适用于开采新近系明化镇组及胶结程度较差的馆陶组热储层。

### 10.2.2 滤水管不填砾井身结构

一开：井径 $\varphi 444.5\text{ mm}$ ，下入 $\varphi 339.7\text{ mm}$ 表层套管作为泵室管，水泥固井至地表，深度不小于300m。

二开：井径 $\varphi 241.3\text{ mm}$ ，下入 $\varphi 177.8\text{ mm}$ 技术套管和滤水管，钻具连接反扣接头送入井内，橡胶伞止水或水泥固井止水。表层套管与技术套管重叠不少于30 m，水泥密封，或采用座封装置连接密封。适用于开采新近系胶结程度较好的馆陶组及古近系热储层。

### 10.2.3 基岩裂隙型成井井身结构

#### 10.2.3.1 三开井

一开：井径 $444.5\text{ mm}$ ，下入 $\varphi 339.7\text{ mm}$ 表层套管作为泵室管，水泥固井至地表，深度不小于300 m。

二开：井径 $311.2\text{ mm}$ ，下入 $\varphi 244.5\text{ mm}$ 技术套管，钻具连接反扣接头送入，与表层套管重叠不少于30 m，“穿鞋”、“戴帽”水泥固井。

三开：井径 $215.9\text{ mm}$ ，裸眼成井（热储层地层不稳定下入不缠丝滤水管成井）。

#### 10.2.3.2 四开井

一开：井径 $444.5\text{ mm}$ ，下入 $\varphi 339.7\text{ mm}$ 表层套管作为泵室管，水泥固井至地表，深度不小于300 m。

二开：井径 $311.2\text{ mm}$ ，下入 $\varphi 244.5\text{ mm}$ 技术套管，钻具连接反扣接头送入，与表层套管重叠不少于30 m，“穿鞋”、“戴帽”水泥固井。

三开：井径 $215.9\text{ mm}$ ，下入 $\varphi 177.8\text{ mm}$ 套管，钻具连接反丝接头送入，与 $\varphi 244.5\text{ mm}$ 技术套管重叠不少于30 m，“穿鞋”、“戴帽”水泥固井。

四开：井径 $152.4\text{ mm}$ ，裸眼成井（热储层地层不稳定下入不缠丝滤水管成井）。

完井井径不宜小于 $152.4\text{ mm}$ 。

### 10.3 常用回灌井井身结构

#### 10.3.1 滤水管填砾井身结构

井径 $550\text{ mm}$ ，下入 $\varphi 339.7\text{ mm}$ 泵室管，下部连接 $\varphi 244.5\text{ mm}$ 套管和滤水管，泵室管深度不小于300m，井口下入护壁管，填砾后粘土球止水。一般适用于新近系明化镇组及胶结程度较差的馆陶组热储层。

#### 10.3.2 射孔成井井身结构

一开：井径 $\varphi 444.5\text{ mm}$ ，下入 $\varphi 339.7\text{ mm}$ 表层套管作为泵室管，水泥固井至地表，深度不小于300 m。

二开：井径 $\varphi 311.2\text{ mm}$ ，下入 $\varphi 244.5\text{ mm}$ 技术套管，钻具连接反扣接头送入，与表层套管重叠不少于30 m，水泥封闭；对目的热储层井段固井、射孔成井。适用于新近系胶结程度较好的馆陶组热储层，在定向井中采用射孔成井，回灌效果更好。

#### 10.3.3 基岩裂隙型回灌井井身结构

井身结构与开采井相同。

#### 10.3.4 利用废弃油井改造的地热回灌井井身结构

采用射孔成井技术。

### 10.4 测井

#### 10.4.1 一般要求

10.4.1.1 测井前应保持钻井液性能良好，保持井壁稳定，井底干净。

10.4.1.2 提钻时要控制速度，防止产生抽吸作用，提钻无阻力方可测井，否则应通井。提钻时应连续灌入钻井液，保持环空液面不下降。

#### 10.4.2 测井项目

地热井下管前和完钻后应进行以下项目的测井：井深、井径、井斜、井温、电阻率、自然电位、补偿声波、自然伽玛、双感应八侧向(三系孔隙井)、双感应双侧向(基岩裂隙井)等，项目可根据地质设计要求增减。

#### 10.5 冲孔换浆

10.5.1 冲孔换浆前应进行通井作业，若开采利用段施工期过长还应进行破壁作业。

10.5.2 冲孔换浆钻具宜不带或少带钻铤，并保持钻井液良好的护壁携砂性能。

10.5.3 较稳定地层换浆，钻井液性能控制在：粘度  $16\text{ s} \sim 18\text{ s}$ 、密度  $1.08\text{ g/cm}^3 \sim 1.10\text{ g/cm}^3$ ，地层稳定性较差的，钻井液性能控制在：粘度  $18\text{ s} \sim 20\text{ s}$ 、密度  $1.10\text{ g/cm}^3 \sim 1.15\text{ g/cm}^3$ 。

10.5.4 填砾井在下完井管填砾前宜二次换浆。

#### 10.6 下管

##### 10.6.1 管材要求

10.6.1.1 采用 API SPEC 7-1 规定的标准石油套管，要求钢级 J-55 及以上。地热井常用井管选择参见附录 E。

10.6.1.2 填砾井孔深小于 800 m，可采用焊接管，材质要求 Q235B 钢级及以上，壁厚不小于 7 mm。

10.6.1.3 常用滤水管类型有：骨架式滤水管（圆孔、直缝滤水管）、缠丝滤水管、双壁缠丝滤水管。

##### 10.6.2 下管前的准备

10.6.2.1 按要求调整钻井液性能并循环，做到井壁稳定、井底干净，做好通井工作，确保下管畅通无阻。

10.6.2.2 用钢尺校正井深，井深误差不超过  $\pm 1\%$ （井底留口袋）。确定下管深度、滤水管长度及其安装位置，按下管先后次序将井管逐根丈量、排列、编号，确保滤水管安装位置与所开采热储层位置对应一致，并确定止水位置，安装好橡胶伞。

10.6.2.3 应对井管逐根通径检查，保持石油套管丝扣干净并涂抹丝扣油，如有变形、损坏、滤水管缠丝错动等质量问题应及时修复或更换，转换接头及套管附件应提前试扣，保证扣型一致。

10.6.2.4 对下管设备和工具等进行检查，不符合要求的应进行修理、调整和更换。

10.6.2.5 下管设备和工具应达到安全可靠状态。

10.6.2.6 做好组织分工，明确下管程序和注意事项。

##### 10.6.3 下管注意事项

**10.6.3.1** 下管方法主要采用提吊法。当井管总重小于钻井设备安全负荷时，采用直接提吊法，当井管总重大于钻井设备安全负荷时，应安装单向阀作为浮力塞。

**10.6.3.2** 安装单向阀时，应对井管进行抗挤毁压力校核，管体挤毁压力安全系数 $\geq 2$ ，确定合理的掏空深度。

#### 10.6.4 技术措施与要求

**10.6.4.1** 下管过程应统一指挥，相互配合，操作要稳。

**10.6.4.2** 井管下放速度不宜过快，通过复杂地层时更应注意。

**10.6.4.3** 下管中途若遇阻不准猛蹾猛放，可适当上下提动井管或通泵循环，仍无效时，应将井管提出，重新下钻通井、循环，确认下管顺畅后方可继续下管。

**10.6.4.4** 下管过程中发现井漏、井塌等现象，应及时提出井管，经处理井壁稳定后再重新下管。

**10.6.4.5** 井管对接要保证质量，采用焊接时要防止漏焊和砂眼，采用螺纹连接时，应涂抹丝扣油并上至规定扭矩。

**10.6.4.6** 套管下放过程中应时刻注意悬重变化，严密监控井管悬重、中途遇阻等情况，禁止吊卡离开井管接箍。

**10.6.4.7** 下管过程中，应缩短井管焊接、对接时间，防止发生吸附卡管，否则应适时活动井管。

**10.6.4.8** 如下管为技术套管且螺纹连接时，套管鞋应进入非渗透性稳定地层，宜下至完整基岩并接触井底，底部套管丝扣部分应段焊加工。

**10.6.4.9** 下管前应认真核对井管的安放深度，确保滤水管下至预定位置（与所开采热储层位置一致）。井管下至井底后，套管应处于受拉状态。

#### 10.7 填砾

地热井采用填砾方法成井时，具体操作遵循DZ/T 0148-2014执行。

#### 10.8 止水与固井

##### 10.8.1 止水

**10.8.1.1** 孔隙型填砾地热井可选用直径15 mm~30 mm的半干粘土球或优质粘土块止水，止水厚度 $\geq 10$  m。

**10.8.1.2** 孔隙型不填砾地热井一般采用橡胶伞止水（或滤水管以上采用水泥固井止水）。止水位置应在滤水管最上端的泥岩密实井段，至少安装一组橡胶伞，数量不少于10个。在取水段内每段滤水管上部套管上（对应出水层上部泥岩底部）应安装橡胶伞2~3个。

**10.8.1.3** 裂隙岩溶、裂隙型地热井一般采用水泥固井止水。

**10.8.1.4** 采用压差法或观察出水情况检查止水效果。

##### 10.8.2 固井

###### 10.8.2.1 一般要求

10.8.2.1.1 表层套管固井时,水泥浆应返至地面;技术套管固井时,水泥浆返高应不低于400m,套管重叠段应用水泥封固并试压,压力 $\geq 3$  MPa,稳定时间 $\geq 10$  min, 10 min压降 $\leq 0.5$  MPa视为合格。否则应重新进行挤水泥固井。

10.8.2.1.2 表层套管固井水泥一般为矿渣硅酸盐水泥,其标号不宜小于P.S.A32.5,其它井段固井宜采用G级油井水泥,当温度过高时应加入调节剂或改用高压高温水泥。

10.8.2.1.3 表层套管固井水泥浆密度 $\geq 1.70$  g/cm<sup>3</sup>,其它井段固井水泥浆密度 $\geq 1.80$  g/cm<sup>3</sup>。

10.8.2.1.4 井管内水泥塞高度宜控制在10 m~30 m。

10.8.2.1.5 固井前应做好水泥浆稠化时间试验工作,确保施工质量和固井安全;固井段内井管应安装扶正器,保证井管居中。

10.8.2.1.6 固井前应循环钻井液不少于2个循环周。

10.8.2.1.7 注水泥浆前应泵入2 m<sup>3</sup>~3 m<sup>3</sup>的清水作为隔离液。

10.8.2.1.8 注水泥浆过程中,应随时监控水泥浆密度和泵压变化。

10.8.2.1.9 固井计量一般采用容积法,要准确掌握水灰比、水泥浆量和替浆量。

10.8.2.1.10 固井结束后,应及时清洗有关设备和工具。

10.8.2.1.11 G级油井水泥候凝时间 $\geq 48$  h。矿渣硅酸盐水泥候凝时间 $\geq 72$  h。

## 10.9 射孔要求

10.9.1  $\varphi 244.5$  mm技术套管采用 $\varphi 127$  mm射孔枪,配备相应型号的射孔弹,要求孔密15孔/米,射孔孔径约12 mm,孔道深度 $\geq 600$  mm,射孔井段长度依据测井结果而定,宜 $\geq 80$  m。

10.9.2  $\varphi 177.8$  mm技术套管采用 $\varphi 89$  mm(或 $\varphi 127$  mm)射孔枪,配备相应型号的射孔弹,要求孔密15孔/米,射孔孔径约8 mm(12 mm),孔道深度 $\geq 400$  mm,射孔井段长度依据测井分析的热储层结果而定,宜 $\geq 80$  m。

## 10.10 洗井

10.10.1 应根据地热井类型、成井工艺、水文地质条件等确定洗井方法和洗井时间。常用以下洗井方法:活塞洗井、潜水泵抽水洗井、焦磷酸钠洗井、液态二氧化碳洗井、高压喷射洗井、空压机气举洗井,酸化压裂洗井等。洗井要求做到水清沙净,出水量和水温无明显变化后做抽水试验。

10.10.2 孔隙型填砾地热井宜采用活塞洗井、潜水泵抽水洗井及空压机气举洗井。

10.10.3 孔隙型滤水管地热井宜采用高压喷射洗井、空压机气举洗井。滤水管井段自深到浅段高压喷射完毕,热储层出现井漏后可进行空压机气举洗井,风管长度视井内情况和空压机性能等情况而定。

10.10.4 孔隙型射孔地热井可直接采用空压机气举洗井。

10.10.5 裂隙型基岩地热井宜采用空压机气举洗井,若水位较深,风管长度可增至700 m。

## 10.10.6 酸化压裂增产措施

10.10.6.1 碳酸岩热储层为增加出水量,可进行酸化压裂增大过水通道。

10.10.6.2 根据岩屑溶蚀实验和测井情况进行酸化设计。酸量根据含水层厚度、孔隙度、孔径和酸化处理半径等因素计算确定,盐酸浓度12%~25%,注酸排量 $\geq 1\text{ 000 L/min}$ ,注酸泵要求额定压力 $\geq 20\text{ MPa}$ ,注酸后静待反应时间,视酸液浓度而定,约4 h~20 h。

10.10.6.3 酸化作业时,井下要安装封隔器。

10.10.6.4 采用气化水排酸,井内残液应进行无害化处理(加适量的纯碱或片碱进行中和)方可排放。

## 10.11 回灌井施工要求

10.11.1 采用低固相钻井液,降低钻井液密度,减轻钻井液对热储层的污染。

10.11.2 填砾井宜适当增加滤水管长度、缠丝间距、砾料直径、填砾厚度;射孔成井宜适当增加射孔段长度、射孔深度;以增加回灌流体运移通道。

10.11.3 对于易产生结晶、结垢、孳生微生物的腐蚀性地热水,可采用防腐过滤器。

10.11.4 孔隙型回灌井宜采用空压机、潜水泵联合洗井,裂隙型回灌井宜采用酸化压裂增产措施。

## 11 地热井完井产能测试

### 11.1 总体要求

地热井洗井工作结束后应进行完井产能测试,内容包括降压试验、放喷试验和回灌试验等,各类地热勘探孔与开采(回灌)井都应进行测试,通过测试取得地热流体压力、产量、温度、采灌量比及热储层的渗透性等参数。测试设备、仪器根据地热流体的压力、温度及产量合理选择,应保证测试结果的准确性。完井产能测试遵照GB/T 11615有关规定执行。

### 11.2 地热流体分析

按各类地热井(勘探井、开采井、回灌井)设计要求,采取气体、地热流体样品做气体分析、地热流体全分析等项目分析。具体分析项目参见GB/T 11615有关规定执行。

## 12 井内事故的预防和处理

### 12.1 事故的类型

主要有三类事故:卡钻事故(粘附卡钻、坍塌卡钻、沉砂卡钻、缩径卡钻、泥包卡钻、键槽卡钻、水泥卡钻)、钻具断落事故、落物事故。

### 12.2 井内事故预防和处理

#### 12.2.1 井内事故预防的基本要求

12.2.1.1 施工前应根据区域地质资料、地热地质条件、钻遇地层的特性以及以往施工的实际情况,对重点地层进行施工风险提示,并制定合理的防治预案。

12.2.1.2 健全钻井施工各项规章制度,严格遵守钻井操作规程。

12.2.1.3 加强设备的维护保养,确保运行可靠。

12.2.1.4 入井的各种钻具、管材应符合质量技术要求，建立严格的检查制度，非合格品一律不得入井。

12.2.1.5 严格执行钻井施工设计，密切注意井内情况变化，情况发生变化后，应及时调整钻井液和钻进参数，必要时可对井身结构做适当调整。

12.2.1.6 井内出现异常情况后，应及时弄清原因，迅速处理，不得侥幸继续施工。

12.2.1.7 应随时盖好井口，严防地面物品落入井内。

## 12.2.2 处理井内事故的基本要求

12.2.2.1 井场应配备一定的打捞工具，主要是：公锥、母锥、安全接头、捞矛、捞筒、磁力打捞器等。

12.2.2.2 井内出现异常情况后，应根据各种表现特征，做出正确的客观分析，尽快判定事故类型。

12.2.2.3 发生事故后，应做到事故部位清、鱼头位置清、井内情况清，并及时确定处理方案。

12.2.2.4 由井队长主持事故的处理工作，各个岗位应做到分工明确、密切配合。

12.2.2.5 事故处理应做到迅速、稳妥，应根据井内情况的变化，适时调整方案，做到对症下药。

12.2.2.6 应根据设备、钻具及打捞工具的能力进行处理，严禁超设备负荷强力起拔。

12.2.2.7 应准确详细地记录入井的钻具和工具的规格、长度、位置，应详细记录事故处理的过程和处理方法。

12.2.2.8 事故处理完毕，针对处理过程，再次认真分析事故原因，总结经验和教训，做出事故处理报告。

## 12.3 卡钻事故的预防和处理

### 12.3.1 粘附卡钻

#### 12.3.1.1 粘附卡钻的预防

12.3.1.1.1 钻井液应有良好的性能，失水量要低，密度在满足安全的情况下尽量低，以减小液柱和地层压力的压差。

12.3.1.1.2 减少钻具在井内静止的时间，钻具静止时间一般不宜超过3分钟，上下活动钻具时，应长距离进行，每次活动应超过3米。

12.3.1.1.3 做好钻井液的固相控制工作，这是防止粘附卡钻的基础保障，定向井施工宜采用四级净化。

12.3.1.1.4 提高钻井液的润滑性，定向钻进和处理事故套铣作业时，应在钻井液中加入润滑剂。

12.3.1.1.5 钻进时应采用合理的钻具组合及钻进参数，以保证良好的井身质量，尽量减少钻具与井壁的接触面积，易粘卡地区钻进时宜采用螺旋钻铤。

#### 12.3.1.2 粘附卡钻的处理

12.3.1.2.1 一旦发生粘附卡钻，首先在设备及钻具的安全负荷内，强力上下活动钻具，但活动次数不宜多，一般十次内不能解卡，就没有必要再强力提拉了。

12.3.1.2.2 浸泡解卡剂。浸泡解卡剂前，首先通过提拉钻具的方法确定卡点的大致位置，有条件可通过测卡仪测定卡点的准确位置，根据卡点位置计算解卡剂的用量。钻具卡点深度计算参见附录F。

12.3.1.2.3 根据地层具体情况和以往施工经验，选定具体的解卡剂，油基解卡剂适宜多数地层，较稳定的基岩地层可用清水循环解卡。

12.3.1.2.4 采用解卡剂浸泡无效后，改用套铣的方法，套铣前，应先进行爆破松扣，提出卡点以上钻具，然后对被卡钻具进行套铣。

12.3.1.2.5 若套铣困难或井内情况很复杂时，可采用侧钻的方式，绕开事故钻具。

## 12.3.2 坍塌卡钻

### 12.3.2.1 坍塌卡钻的预防

12.3.2.1.1 调整好钻井液性能，应使钻井液有较高的粘度及切力，应根据地层压力确定合理的钻井液密度。

12.3.2.1.2 钻进风化壳和古潜山等突然会出现巨大漏失地层时，应做好录井工作，宜少揭穿风化壳，以防出现因漏失造成上部松散层坍塌。

12.3.2.1.3 在宜出现剧烈漏失的地区施工，上部松散层应多用套管封闭。

12.3.2.1.4 起下钻应及时回灌钻井液，起钻操作应减少压力激动。

12.3.2.1.5 松散层裸眼不可长期停待，停待时间不宜超过3天。

### 12.3.2.2 坍塌卡钻的处理

12.3.2.2.1 轻微的坍塌，先用小泵量循环开通后，再提高钻井液粘度、切力，恢复大泵量循环，携带出井内沉砂。

12.3.2.2.2 若开泵钻井液不能建立循环，应马上抢提钻具，不能再试图建立循环，松散层坍塌卡钻，刚开始主要是对上部钻具造成阻力，对下部粗径钻具往往没影响，应抓紧时间起钻。

12.3.2.2.3 抢提不出来的钻具，采用倒扣或爆破松扣的办法提出没有被卡钻具，然后采用套铣的办法处理，但应在维护好井壁，制止住坍塌后才能套铣。

12.3.2.2.4 在松散层坍塌卡钻，若同时伴生漏失，套铣时，护壁的同时应进行堵漏。

## 12.3.3 沉砂卡钻

### 12.3.3.1 沉砂卡钻的预防

12.3.3.1.1 松散层应配钻井液开钻，不应使用清水直接开钻。

12.3.3.1.2 钻井液应有一定的携砂能力，加钻杆时，做到晚停泵早开泵，必要时控制钻进速度且加钻杆前适当增加钻井液循环时间。

12.3.3.1.3 基岩地层不应强行顶漏钻进，应采取措施解决沉砂问题，宜改用气举反循环钻进。

### 12.3.3.2 沉砂卡钻的处理

沉砂卡钻初期，若能小泵量循环钻井液，应维持循环，同时活动钻具，改善钻井液性能，力争解卡；如果不能解卡，把卡点以上钻具倒开或爆破松扣，然后下震击器实施震击；若震击不能解卡，则应采取套铣的方法。

### 12.3.4 缩径卡钻

#### 12.3.4.1 缩径卡钻的预防

12.3.4.1.1 控制钻井液失水量，减小泥饼厚度。

12.3.4.1.2 在塑性膨胀地层，适当加大钻井液密度，以平衡地层压力，减小地层膨胀。

12.3.4.1.3 应认真测量新起出旧钻头的直径，防止新钻头下入小井眼。

12.3.4.1.4 新钻头下钻遇阻，不可强行下压，应上下活动或者进行扫孔。

12.3.4.1.5 起钻时遇阻，不可强提，应适当控制上提力上下活动；活动无效，采用倒扫的办法。

#### 12.3.4.2 缩径卡钻的处理

12.3.4.2.1 没卡死之前，可采用倒扫的办法，争取解卡。

12.3.4.2.2 采用震击器解卡，起钻时发生卡钻，采用下击器下击，下钻时发生卡钻，采用上击器上击，震击时要及时活动钻具，防止出现缩径与粘卡的复合式卡钻。

12.3.4.2.3 震击解卡无效，采取倒扣或爆破松扣取出被卡以上钻具，然后进行套铣。

### 12.3.5 泥包卡钻

#### 12.3.5.1 泥包卡钻的预防

12.3.5.1.1 软地层适当控制钻压，保持足够的泵量，钻井液应采用低粘度、低切力。

12.3.5.1.2 根据地层合理选择钻头，软地层宜采用 PDC 钻头。

12.3.5.1.3 钻进时若发现有泥包现象，应停止钻进，通过上提钻具、高速旋转、快速下放的方式，冲蚀钻头或扶正器的泥包。

12.3.5.1.4 钻头泥包后提钻遇阻，不能在有阻力的情况下连续提钻，应上提下放活动钻具，宜边循环边提钻，直到没有明显的阻力后，再连续提钻。

#### 12.3.5.2 泥包卡钻的处理

12.3.5.2.1 若提钻中途遇阻，上提力要逐渐加大，同时上提力控制在一定范围内，严防钻具被卡死，一旦卡死，用钻具重量下压解卡，钻具下压无法解卡用震击器下击解卡。

12.3.5.2.2 震击无法解卡，注入解卡剂，一是降低泥包的粘附力，另外起到防止粘附卡钻的作用。

12.3.5.2.3 震击和浸泡无效后，用倒扣或爆破松扣的方法取出被卡以上钻具，然后采取套铣的方法处理下面被卡钻具。

### 12.3.6 键槽卡钻

### 12.3.6.1 键槽卡钻的预防

12.3.6.1.1 加强井身质量控制，防止出现较大的狗腿度。

12.3.6.1.2 提钻遇阻时，不能强行上提，应上下活动并变换方向，上下活动无效后，采取倒扣的办法来解卡。

12.3.6.1.3 确定发现键槽后，应采用扩孔或用键槽破坏器来破除键槽。

### 12.3.6.2 键槽卡钻的处理

12.3.6.2.1 提至键槽处遇卡卡死后，首先应大力下压，下压动作应适当猛烈。

12.3.6.2.2 钻具下压无法解卡，采用下击器向下震击解卡。

12.3.6.2.3 震击器下击无法解卡，只能钻具倒扣或爆破松扣后，再进行套铣解卡，但倒开或松扣后，鱼头顶部位置不能在键槽井段范围内，否则套铣管将无法进鱼。

### 12.3.7 水泥卡钻

#### 12.3.7.1 水泥卡钻的预防

12.3.7.1.1 固井前应掌握所用水泥的稠化、初凝及终凝时间，固井施工时间应比水泥稠化时间少一个小时。

12.3.7.1.2 打水泥塞的钻具不应带钻头及钻铤，打完水泥浆，迅速将钻具提出 80 米以上并开泵循环。

12.3.7.1.3 注水泥时，地面设备和各种管汇应能保证良好运行。

12.3.7.1.4 探水泥塞不能过早，遇阻不能硬压，遇阻后应开泵循环探塞。

#### 12.3.7.2 水泥卡钻的处理

12.3.7.2.1 一旦被卡后，在安全范围内强力起拔，强力起拔无效，只能倒开或爆破松扣取出没有被卡的钻具。

12.3.7.2.2 对被卡的钻具进行套铣，若在套管内套铣，套铣鞋不能有外切削能力，否则容易磨坏套管。

## 12.4 钻具断落事故的预防和处理

### 12.4.1 钻具断落事故的预防

12.4.1.1 钻具断落的形式表现为折断（扭断）、刺扣、涨扣及滑扣等钻具事故。

12.4.1.2 钻具储存时应做好防腐工作，钻具应按照规格、钢级、壁厚、新旧程度分别存放，并做好标记。

12.4.1.3 提下钻应认真检查钻具，钻具连接前，螺纹要清洗干净并涂好丝扣油，有问题的钻具绝对不能下井。

12.4.1.4 任何时候都不能超过钻具的屈服强度进行提拉或扭转。

12.4.1.5 执行定期探伤制度，特别是钻铤丝扣部分、钻杆的丝扣和加厚部分。

12.4.1.6 基岩钻进出现严重跳钻时, 可配用合适的减震器, 以减小跳钻对钻具的破坏。

#### 12.4.2 钻具断落事故的处理

12.4.2.1 对于钻铤、钻杆接头及钻杆加厚部分可使用公锥、母锥和捞桶打捞, 而钻杆本体则不宜采用公锥打捞。

12.4.2.2 鱼头顶部变形严重、弯曲, 需修复鱼顶后再选择打捞工具。

12.4.2.3 钻杆内孔经过特殊处理的, 选用公锥时应考虑内孔是否适宜造扣。

12.4.2.4 钻具从丝扣脱落, 若丝扣完好, 可采取原接头对扣打捞。

12.4.2.5 井下情况复杂, 打捞时须带安全接头, 以防止井内情况复杂化。

12.4.2.6 打捞时应根据钻具悬重、泵压、方入尺寸及转盘负荷对打捞情况做出及时正确的判定。

#### 12.5 落物事故

##### 12.5.1 井内落物事故的预防

12.5.1.1 首先应防止从井口向井内掉入异物, 如各种工具、钳牙、螺丝、销钉等, 尽量在井口不使用榔头、撬杠等, 若使用应采取严防措施。

12.5.1.2 应根据牙轮钻头型号、厂家、负荷、蹩跳、进尺、工作时间来确定钻头的工作状况, 以便掌握好钻头的使用寿命。

12.5.1.3 钻进中出现蹩、卡不正常现象时, 应及时查明是否是出现井内落物的情况, 以便采取针对性措施。

##### 12.5.2 井内落物事故的处理

12.5.2.1 不规则小件落物可采用磁力打捞器、随钻打捞杯、一把抓、反循环打捞篮等方式打捞, 大的落物采用抓、卡或磨鞋磨铣来处理。

12.5.2.2 光杆式落物可采用卡簧式捞筒、钢丝绳式捞筒、取心等方式打捞。

12.5.2.3 绳索式落物采用钩、挂的方式打捞, 如内、外式捞矛。

### 13 安全、健康与环保

#### 13.1 安全管理

##### 13.1.1 安全制度

13.1.1.1 施工单位应具有安全生产许可证, 建立、健全安全生产规章制度, 并认真贯彻执行。

13.1.1.2 施工单位应按规定设置安全生产管理机构, 井队应配置兼职安全员。安全员应经过安全培训, 经考核合格后持证上岗。

13.1.1.3 施工人员应接受三级安全教育、定期安全培训, 经考核合格后方可上岗。

13.1.1.4 安全生产管理机构应定期对工地进行安全生产检查, 消除安全隐患。

13.1.1.5 井队应严格执行安全操作规程，落实安全生产责任制。

13.1.1.6 施工单位应做好特殊地区、特殊气候条件下的安全生产管理工作，制定相应的安全措施。

13.1.1.7 施工单位应制定地热井施工重大事故应急救援预案，并负责组织实施。

13.1.1.8 施工现场应建立安全管理档案。

## 13.1.2 安全施工

### 13.1.2.1 设备搬迁、安装安全要求

13.1.2.1.1 运输超长、超高和超宽设备时对运输车辆应采取必要的安全防护措施，符合交通运输管理规定。

13.1.2.1.2 使用起重机械起吊钻井设备时，应遵照 GB 6067.1 相关规定。

### 13.1.2.2 安全防护设施

13.1.2.2.1 井场安全防护设施应符合 AQ 2004-2005 和钻井工程设计的相关要求。

13.1.2.2.2 高温、高压热储或含油气地层施工应根据 SY/T 5964-2006 规定安设井控装置。

### 13.1.2.3 现场操作安全规定

13.1.2.3.1 开钻前，应对设备安装情况、安全防护设施及安全措施进行检查，验收合格后方可开钻。

13.1.2.3.2 应经常检查升降机的制动装置、离合装置、吊卡（提引器）、游动滑车、吊钳和其它拧卸工具等，确保使用时灵活可靠。

13.1.2.3.3 应经常检查各设备的机械传动系统、钻井液循环系统、电、气路控制系统等，确保使用安全。

13.1.2.3.4 操作升降机应平稳，不得猛拉猛放，不得同时使用刹把和升把。钻具升降过程中不得用手触摸钢丝绳。

13.1.2.3.5 提落钻具或钻杆时，孔口操作人员不得站在钻具起落范围之外；摘、挂吊卡或提引器时，不得用手抓其底部；提完钻后应立即盖好井口；操作升降机未锁住制动闸时，操作员不得离开操作台。

13.1.2.3.6 钻具处于悬吊或倾斜状态时，不得用手探摸或伸头探视悬吊钻具内部。提升拧卸钻柱过程中，井口人员不得手扶吊卡或垫叉底部。

13.1.2.3.7 设备运转时，不得进行机器部件的擦洗、拆卸和维修；不得触摸高速运转的设备和仪器；不得跨越传动皮带、转动部位或从其上方传递物件。发现设备异常后，应立即停机检查设备。

13.1.2.3.8 检查、调整回转器（转盘）时应停机，并将变速手柄置于空挡位置。

13.1.2.3.9 复杂钻进工况时，应由班长或熟练工人操作，应有专人掌握皮带开关或离合器手把。

13.1.2.3.10 在含油气、高温高压热储地层施工时，施工单位应针对井喷失控、有害气体和高温水蒸气危害，制定相应的安全保障和应急救援预案，并负责组织实施。

13.1.2.3.11 需大吨位提升、大扭矩旋转、大泵压循环等具有一定危险性的操作时，除直接操作人员外，其他人员应撤离至安全区域。

### 13.1.2.4 井场人员安全

13.1.2.4.1 上班前 8 小时和上班时不得饮酒。进入井场工作时，应穿戴规定的安全帽、工作服和工作鞋。

13.1.2.4.2 在高空作业时，应系牢安全带，安全带悬挂应符合安全规程要求。

13.1.2.4.3 严格遵守防火规定，需要明火操作时，应有防火措施，在易燃、易爆物周围，不得明火作业。

13.1.2.4.4 施工过程中做到三不伤害。

### 13.1.2.5 井场用电安全规定

13.1.2.5.1 井场用电应遵守 GB 50194 的相关规定。

13.1.2.5.2 井场用电线路应采用电缆，电缆应架空或在地下作保护性埋设。

13.1.2.5.3 动力和照明配电应分别设置，并安装漏电保护装置，使用防水灯具。在含油气地层施工时，应采用防爆灯具。

13.1.2.5.4 电气设备及其启动开关应安装在干燥、清洁、通风良好处。机电设备应按要求进行保护接零或保护接地。

13.1.2.5.5 电气设备熔断丝规格应与设备功率相匹配。不得使用铜、铁、铝等其他金属丝代替熔断丝。

13.1.2.5.6 工地应配备专职电工，电气作业时应至少有两人，修理电气设备时，应切断电源，并挂警示牌或设专人监护，非电气工作人员不得进行与电气有关的作业。临时电源等使用完毕后，应及时拆除。

### 13.1.2.6 事故处理安全规定

13.1.2.6.1 处理井内事故前，应全面检查钻塔构件、天车、游动滑车、钢丝绳、绳卡、大钩、水龙头等设备，指重表、泵压表准确灵敏，动力及传动设备工况良好。

13.1.2.6.2 处理井内事故时，应由机、班长亲自操作，并设专人指挥。对具有一定危险性的操作，除直接操作人员外，其他人员应撤离至安全区域。

13.1.2.6.3 处理事故时，设备和机具不得超过其安全负荷。

13.1.2.6.4 处理井内事故时，防止工具掉入井内，造成双重事故。

### 13.1.2.7 压裂施工安全规定

13.1.2.7.1 压裂施工前应按设计要求进行准备，并做好了解施工井及周围情况，危险、危害区域范围。对所用设备、器具、配件、材料进行检查，达到完好状态。

13.1.2.7.2 井口安装放喷管线，朝向应避开压裂施工区域。每间隔 10 m 和出口处用地锚固定，放喷管线畅通，不得加装小于 120° 的弯头。

13.1.2.7.3 压裂施工由现场总指挥统一指挥、协调。压裂施工现场采用无线对讲机或喇叭传递指令和信息。

13.1.2.7.4 以施工井井口 10m 为半径, 沿泵车出口至施工井口地面流程两侧 10m 为边界, 设定为高压危险区。高压危险区使用专用安全警示线(带)围栏, 并设立醒目的安全标志。非工作人员不得在施工区逗留。地面流程承压时, 未经现场指挥批准, 任何人员不得进入高压危险区。因需要进入高压危险区时, 执行任务后应迅速离开。

13.1.2.7.5 压裂设备、地面管路、管汇出现故障, 应立即停泵, 带压设备未完全泄压前不得进行修理。

13.1.2.7.6 冬季施工, 施工前应根据实际需要对压裂设备、井口装置等进行预热; 中途停泵后, 再次启泵前应对压裂设备、地面管路管汇、井口装置进行加热; 施工结束, 应对所有设备、管汇、配件进行防冻处理。

### 13.1.2.8 酸化洗井安全规定

13.1.2.8.1 进行酸化洗井的操作人员, 应佩戴好防护用具。

13.1.2.8.2 储酸容器应采用密封良好的酸罐。

13.1.2.8.3 采用泥浆泵压酸, 应提前认真检修好泥浆泵及管路。

13.1.2.8.4 压酸前应将钻机及周围易腐蚀的器具盖好或搬走。

13.1.2.8.5 压酸前应先泵入清水试压, 检验泥浆泵运转、上水情况及管路、钻具通水是否正常。

13.1.2.8.6 向孔内送水正常后, 可将泥浆泵吸水管接到酸罐上向孔内压酸, 并一次性连续将酸压完, 然后送入清水, 将泥浆泵、管路及钻杆内的酸液全部压出。

13.1.2.8.7 每次压酸结束后, 应立即清洗钻具、管线、泥浆泵内腔, 防止酸液对设备造成过多的损害。

## 13.2 健康管理

13.2.1 施工单位应建立现场施工人员健康检查、疾病预防、饮食卫生和驻地卫生等管理制度, 并认真执行, 保证施工人员的身体健康。

13.2.2 钻井施工单位应按照劳动保护法法规和标准, 为现场施工人员配备相应的劳动保护设施和用品。

13.2.3 依据钻井施工地域、季节等特点, 施工单位应采取相应的防护措施, 为现场施工人员配备足够的急救器材、药品和防疫用品。

13.2.4 施工人员的身体状况应能胜任本职工作。施工单位应合理安排作息, 避免施工人员疲劳或带病作业。

13.2.5 按照单位卫生保健制度规定, 施工单位应为施工人员定期作身体健康检查。

## 13.3 环境保护

13.3.1 根据井场周围环境条件, 按环保要求采取必要措施。

13.3.2 进行地面洒水、地面硬化、裸土覆盖等措施, 减少井场扬尘。

13.3.3 配制钻井液应优选无毒害或低毒害的化学处理剂。

13.3.4 采取措施降低设备噪音，在居民区施工应安装隔音带和消声装置。

13.3.5 井场应有简易公共厕所和生活垃圾箱，并做好清洁消毒和清理外运工作。

13.3.6 洗井和抽水试验时，应做好地热水的排放处理，尽量减少对环境的污染。

13.3.7 施工结束后，应对废浆、淤泥等进行清除或用石灰、石膏、水泥等处理，并按建设方要求进行场地恢复。

## 14 工程质量验收与评定、完井报告与资料归档

### 14.1 工程质量验收与评定

#### 14.1.1 工程质量验收

地热井完井产能测试结束后，由相关人员进行质量验收。

#### 14.1.2 工程质量评定

##### 14.1.2.1 优良井

达到下列条件的为优良井：

- a) 井身结构、井身质量满足设计要求；
- b) 岩屑录井、物探测井、钻时录井、钻井液录井、岩心录井（要求取心的地热井）满足设计要求；
- c) 成井工艺质量满足设计要求，管材、水泥质量满足设计及合同要求，过滤管下置合理，填砾、止水和洗井满足规定要求；
- d) 下部裸眼成井时，各不同尺寸的技术套管下至预定深度，并且固井及止水满足设计要求；
- e) 降压试验按设计进行，地热井出水量（Q或q）与水位降深（s）的关系曲线正常；
- f) 实物地质资料（岩屑、岩心、水样等）按设计取得，原始记录与钻井技术档案整洁、准确、齐全、真实；
- g) 水温、水量满足设计要求；
- h) 施工中未出现严重钻井事故（如埋钻、套管未下到预定位置、因钻井事故原因变更目的层、需侧钻施工新井段等）和人身伤亡事故。

##### 14.1.2.2 合格井

未达到优良井要求，但满足下列要求，可评定为合格井：

- a) 岩屑样捞取、岩心采取率基本达到地质设计要求，含水层与非含水层的岩性、层位基本查清，按设计要求采取了各种样品；
- b) 进行了抽水试验，基本取得了符合质量要求的水量、水位、水温和水质资料。

##### 14.1.2.3 不合格井

凡未达到合格要求的钻井为不合格井（水温水量未达到质量要求且未完成钻井目的）。

### 14.2 地热井完井报告

工程竣工后，施工单位应编写“地热井完井报告”，概述地热井施工过程和采用的工艺方法，分析地层概况、热储层情况、成井质量和出水效果等。报告内容要客观、详实，数据要真实、准确，应全面

反映钻井施工和地质情况。不同性质的钻探工程，报告编写可有侧重或取舍。“地热井完井报告”编写提纲见附录G。

### 14.3 资料归档

#### 14.3.1 基本要求

14.3.1.1 钻探工程竣工后，应对工程实施整个过程中所形成的、具有保存价值的文字、图、表、影像等技术材料进行整理、编目、造册、建档，并按规定保管，按要求将成果汇交有关部门。

14.3.1.2 钻探工程技术档案应以合同项目或单井为单位立档。

14.3.1.3 应制定原始文本资料、报表和施工日志的保存和汇交管理制度。

14.3.1.4 封面应有档案编号、工程起止日期、编写人和审查人姓名以及归档日期等信息。

14.3.1.5 竣工需移交建设方的文件应复制存档。

14.3.1.6 应建立档案总账和明细表，并建立电子文档或数据库。

14.3.1.7 资料应真实、完整、准确，责任签署完备，字迹工整、清晰。

#### 14.3.2 技术档案基本内容

14.3.2.1 论证、合同和设计文件：包括可行性论证、施工合同（任务）书、监理委托合同书、地质设计、地热钻探施工组织设计、环境评估表（或报告）等。

14.3.2.2 工程管理文件：包括钻井定位和安装通知书、钻井开工通知书、地质设计变更通知书、地质采心补心通知书、地质井下试验通知书、岩心移交验收单、停钻（开钻）通知书、井管确认书、水泥确认书、工程竣工验收报告和监理报告等。

14.3.2.3 原始资料文件：包括钻探班报表、施工日志、安全日志、监理日志、测井曲线、岩心岩屑录井记录、成井井管滤水管排列记录表、降压试验记录表、恢复水位观测记录表、钻井弯曲度测量记录表、钻井事故登记表等原始记录报表以及影像资料和移交清单等。

14.3.2.4 其他文件：如井管（管材）质保书、管材和水泥质量化验单、水质分析报告等。

14.3.2.5 技术总结文件：地热井完井报告。

**附录 A**  
**(资料性附录)**  
**常用钻杆基本参数及尺寸**

A.1 常用钻杆基本参数及尺寸。

表A.1 常用钻杆基本参数及尺寸

钻杆直径 mm(in)	内径 mm	壁厚 mm	公称质量 Kg/m	接头		
				接头代号	外径mm	内径mm
73.0 (2 7/8)	54.6	9.19	15.51	NC31 (2 7/8 IF) -22X	104.8	50.8
				NC31 (2 7/8 IF) -22G	104.8	50.8
				NC31 (2 7/8 IF) -22S	111.1	41.3
88.9 (3 1/2)	70.2	9.35	19.84	NC38 (3 1/2 IF) -32X	127.0	65.1
				NC38 (3 1/2 IF) -32G	127.0	61.9
				NC38 (3 1/2 IF) -32S	127.0	54
114.3 (4 1/2)	97.2	8.56	24.76	NC50 (4 1/2 IF) -52X	161.9	95.3
				NC50 (4 1/2 IF) -52G	161.9	95.3
				NC50 (4 1/2 IF) -52S	161.9	68.9
127.0 (5)	108.6	9.19	29.08	NC50 (4 1/2 IF) -62X	161.9	88.9
				NC50 (4 1/2 IF) -62G	165.1	82.6
				NC50 (4 1/2 IF) -62S	168.3	69.9

**附录 B**  
**(资料性附录)**  
**常用钻铤型号及主要参数**

**B.1 常用钻铤型号及主要参数。****表 B.1 常用钻铤型号及主要参数**

钻铤型号	外径 mm	内径 mm	长度 m	公称质量 Kg/m	上扣扭矩 kN·m	
					最小	最大
NC35-47	120.7	50.8	9.15	74.5		
NC38-50(3 1/2 IF)	127	57.2	9.15	79.0	12.5	13.5
NC44-60	152.4	57.2	9.15 或 9.45	123.7	31.5	35
NC46-62 (4IF)	158.8	71.4	9.15 或 9.45	111.8	31.5	35
NC46-65 (4IF)	165.1	71.4	9.15 或 9.45	135.6		
NC50-70 (4 1/2 IF)	177.8	71.4	9.15 或 9.45	163.9	43.5	48
NC56-80	203.2	71.4	9.15 或 9.45	223.5	65	71
NC61-90	228.6	71.4	9.15 或 9.45	290.6	92	101

注：IF—内平接头，NC—数字型接头。

**附录 C**  
**(资料性附录)**  
**三牙轮钻头型号表**

C.1 三牙轮钻头型号表。

表 C.1 三牙轮钻头型号表

钻头类型	适用地层			钻头结构特征及代号						
	系列	岩性	分级	非密封滚动轴承	空气冷却滚动轴承	滚动轴承保径	密封滚动轴承	密封滚动保径	密封滑动轴承	密封滑动保径
				1	2	3	4	5	6	7
铣齿钻头	1	低抗压强度,高可钻性的软地层	1	111/111P		113/113P	114P	115P	116P	117P
			2	121/121P		123/123P	124P	125P	126P	127P
			3	131/131P		133/133P	134P	135P	136P	137P
			4							
	2	高抗压强度的中到中硬地层	1	211/211P		213/213P	214P	215P	216P	217P
			2							
			3							
			4	241/241P		243/243P	244P	245P	246P	247P
	3	中等研磨性或研磨性硬地层	1							
			2	321/321P		323/323P	324P	325P	326P	327P
			3							
			4							
镶齿钻头	4	低抗压强度,高可钻性的软地层	1							
			2							
			3				435P		437P	
			4							
	5	低抗压强度的软到中硬地层	1					515P		517P
			2							
			3					535P		537P
			4							
	6	高抗压强度的中硬地层	1					615P		617P
			2							
			3					635P		637P
			4							
	7	中等研磨性或研磨性硬地层	1							
			2							
			3					735P		737P
			4							
	8	高研磨性的极硬地层	1							
			2							
			3					835P		837P
			4							

注1：第一位字码为系列代码，1~8 表示 8 个系列，1~3 为铣齿钻头，4~8 为镶齿钻头，同时表示所适用的地层。

注2：第二位字码为岩性级别代码，用 1~4 分别表示在第一位字码表示的钻头所适用的地层中从软到硬四个级别。

注3：第三位字码为钻头结构特征代码，用 1~7 表示钻头轴承及保径特征。

注4：第四位为钻头附加结构特征代码，用以表示前面三位数字无法表达的特征，用英文字母表示。

附录 D  
(资料性附录)  
钻井液处理剂

D. 1 钻井液化学处理剂

D. 1. 1 无机处理剂

常用无机处理剂有:

- a) 碳酸钠(纯碱)—钙膨润土改型剂和碱度(pH值)控制剂;
- b) 氢氧化钠(烧碱)—碱度控制剂;
- c) 钙盐,包括氢氧化钙(石灰)、石膏、氯化钙—无机絮凝剂、泥页岩抑制剂、水泥速凝剂;
- d) 氯化钠(食盐)—无机絮凝剂、泥页岩抑制剂、水泥早强剂;
- e) 钾盐,包括氢氧化钾、氯化钾和碳酸钾—页岩抑制剂;
- f) 硅酸钠(水玻璃、泡花碱)—页岩抑制剂;
- g) 酸式焦磷酸钠( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ )和六偏磷酸钠( $\text{NaPO}_3)_6$ —无机分散剂。

D. 1. 2 降滤失剂

D. 1. 2. 1 腐植酸类

主要有腐植酸钠(Na-Hm)、腐植酸钾(K-Hm)、硝基腐植酸钠。该类产品兼有降粘,耐高温,抗钙作用。

D. 1. 2. 2 羧甲基纤维素钠盐(Na-CMC)

常用的有高粘、中粘、低粘两种产品:

高粘度(HV-CMC):  $1000 \text{ mPa} \cdot \text{s} \sim 2000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ; 增粘高;  
中粘度(MV-CMC):  $500 \text{ mPa} \cdot \text{s} \sim 1000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ; 增粘中;  
低粘度(LV-CMC):  $100 \text{ mPa} \cdot \text{s} \sim 500 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。增粘小;  
另具有抗盐能力强和热稳定性(抗温90~140℃)。

D. 1. 2. 3 水解聚丙烯腈盐类:

常用水解聚丙烯腈盐类有:

- a) 水解聚丙烯腈钠或钠盐(Na-HPAN或CPAN): 还稍有增粘作用,耐高温;
- b) 水解聚丙烯腈钙或钙盐(Ca-HPAN): 还稍有增粘作用,耐高温,抗钙侵,浓度高时对页岩有抑制水化分散作用;
- c) 水解聚丙烯腈铵或铵盐( $\text{NH}_4\text{-HPAN}$ 或NPAN): 还具有降粘作用,对粘土有一定的抑制作用,抗高温(150~180℃)。

D. 1. 2. 4 乙烯基单元多体共聚物

常用乙烯基单元多体共聚物有:

- a) PAC142: 另有增粘、抗盐、耐高温作用;
- b) PAC143: 另稍有增粘、抗钙、耐高温作用;
- c) CPA-3: 另有增粘、改善流型、提高携带能力、抗剪切降解、耐高温作用。

#### D. 1. 2. 5 酚醛树脂类

磺甲基酚醛树脂（SMP-1、SMP-2）。耐高温，抗盐、抗钙能力较强，有一定的防塌能力。

#### D. 1. 3 降粘剂

又称解絮凝剂或稀释剂，分为分散型稀释剂和聚合物型稀释剂。常用的有：

- a) 单宁酸钠：主要用作分散性钻井液降粘剂；
- b) 铁铬木质素磺酸盐（铁铬盐，FCLS）：兼有降滤失作用；
- c) 低相对分子质量聚丙烯酸盐（X-A40、X-B40）：兼有降滤失、改善滤饼质量和抗钙能力；
- d) 腐植酸类：腐植酸钠、腐植酸钾、磺化褐煤（SMC）。具有较好的稀释作用和抗高温作用。

#### D. 1. 4 增粘剂

常用增粘剂有：

- a) 磺化聚丙烯酰胺（SPAM）：兼有降滤失、耐温、抗盐、抗石膏、抑制粘土水化能力；
- b) 多元共聚物 PAMS601：兼有降滤失、耐温、抗盐、抗石膏、抑制粘土水化能力；
- c) 高粘羧甲基纤维素钠盐（HV-CMC）：兼有一定抗温和热稳定性；
- d) 羟乙基纤维素（HEC）：兼有降滤失作用，在盐水钻井液中增粘效果较明显；
- e) 复合离子型聚丙烯酸盐（PAC-141）：主要用作聚合物钻井液抗钙、抗温、抗盐，调整流型的增粘剂，并有降滤失作用，是较强的“包被剂”。

#### D. 1. 5 页岩抑制剂

常用抑制剂有：

- a) 磺化沥青（FT-341、FT-342）：主要用作页岩微裂缝及破碎带的封闭而起防塌作用，并有较好的润滑能力和降滤失能力；
- b) 腐植酸钾：兼有降滤失、降粘、抗温作用；
- c) 聚丙烯酸钾（KHPAN 或 HZN101[II]）：兼有降滤失、降粘作用；
- d) 水解聚丙烯腈钾盐（K-PAN）：兼有降滤失、抗盐、抗温作用；
- e) 阳离子聚丙烯酰胺（大阳离子）：具有较强的抑制岩屑分散能力和絮凝作用。

#### D. 1. 6 絮凝剂

常用絮凝剂有：

- a) 部分水解聚丙烯酰胺（PHP，分子量 300 万~600 万，水解度 30%左右）为选择性絮凝剂；兼有改善钻井液流变性能，减少摩擦等功能；
- b) 非水解聚丙烯酰胺（PAM，水解度不大于 5%，分子量 800 万以上）为全絮凝剂。兼有改善钻井液流变性能，减少摩擦等功能；
- c) 钻井液用增粘剂 80A51：兼有较强的抑制造浆防塌能力，调节流型，降滤失作用。

#### D. 1. 7 润滑剂

##### D. 1. 7. 1 惰性固体润滑剂

主要产品：塑料小球、石墨、玻璃微珠等。

##### D. 1. 7. 2 液体类润滑剂

常用润滑剂有：

- a) 阴离子润滑剂：皂化溶解油、硫酸化蓖麻油（太古油）、癸二酸钠皂等；
- b) 非离子润滑剂：如平平加、司盘等；
- c) 复合润滑剂：如 Z761 减阻剂、DR 钻探润滑剂、RH 系列润滑剂等。

#### D. 1. 8 堵漏剂

##### D. 1. 8. 1 惰性堵漏材料

常用堵漏材料有：

- a) 颗粒状材料如核桃壳、橡胶粒、石灰石等，起“架桥”作用，称“架桥剂”；
- b) 纤维状材料如锯末、纸纤维、花生壳、棉籽壳、皮革粉、玉米心、石棉粉等，在堵漏浆液中起悬浮作用，又称“悬浮拉筋剂”；
- c) 片状材料如云母、蛭石、稻壳等，起填塞作用，又称“填塞剂”；
- d) 复合堵漏材料，将上述三类材料以合理的比例和级配复合使用，以提高使用效果。颗粒状、片状、纤维状堵漏材料之比一般为 5:2:1。产品有：HD 桥堵剂、暂堵 915、暂堵 917 等。

##### D. 1. 8. 2 随钻堵漏剂

又称单向压力封闭剂。常用堵漏剂有：

- a) 液体套管屏蔽剂。以落地棉、次棉花等为原料，酸化形成的产品；
- b) 防塌型随钻堵漏剂 FPC、PSC—1 和 801 堵漏剂等。原料为天然植物胶或其改性产品。

##### D. 1. 8. 3 高失水堵漏剂

由架桥材料、软质纤维及助滤剂等复合而成。主要产品：狄塞尔（DSL）堵剂、DTR 堵剂、PCC 暂堵剂等。

#### D. 1. 9 加重剂

常用加重剂有：

- a) 重晶石粉，即 BaSO<sub>4</sub>。密度  $\geq 4.2 \text{ g/cm}^3$ ，200 目筛余  $\leq 3.0\%$ ；
- b) 石灰石粉：主要成分为 CaCO<sub>3</sub>，密度  $2.7 \text{ g/cm}^3 \sim 2.9 \text{ g/cm}^3$ 。

#### D. 1. 10 泡沫剂与消泡剂

常用泡沫剂与消泡剂：

- a) 泡沫剂：十二烷基苯磺酸钠（ABS）、烷基磺酸钠（AS）、DF—1 型泡沫剂；
- b) 消泡剂：硬脂酸铝类（DF—4）、有机硅类（DX）、甘油聚醚类。

#### D. 1. 11 抗高温材料

高岭土、海泡石、褐煤、丙稀酸盐、特种树脂、温石棉。

#### D. 1. 12 解卡剂

常用解卡剂有：

- a) 粉末解卡剂（代号 SR-301, DSK-II）  
为黑色粉末，与柴油、水搅拌可配成油包水型油基解卡剂；
- b) 液状解卡剂（代号 AYA-150, DJK-I）  
为黑褐色胶状液体，是油包水型乳化解卡剂；

- c) SJK-I 型解卡剂  
为油基型解卡剂。

附录 E  
(资料性附录)  
地热井常用井管选择

E.1 地热井常用井管选择。

表 E.1 地热井常用井管选择

规格 mm(in)	钢级	壁厚 mm	内经 mm	通径 mm	标准接箍外径 mm	挤毁压力 MPa	管体屈服强度 kN	公称质量 Kg/m	容积 m <sup>3</sup> /m
139.7 (5 1/2)	J-55	6.2	127.3	124.1	153.7	21.5	988	20.83	0.013
	J-55	6.99	125.7	122.6	153.7	27.9	1103	23.07	0.012
	J-55	7.72	124.3	121.1	153.7	33.9	1215	25.32	0.012
	k-55	6.2	127.3	124.1	153.7	21.5	998	20.83	0.013
	k-55	6.99	125.7	122.6	153.7	27.9	1103	23.07	0.012
	k-55	7.72	124.3	121.1	153.7	33.9	1215	25.30	0.012
	c-75	7.72	124.3	121.1	153.7	41.6	1655	25.30	0.012
	c-75	9.17	121.4	118.2	153.7	58	1944	29.76	0.012
	L-80	7.72	124.3	121.1	153.7	43.3	1766	25.30	0.012
	L-80	9.17	121.4	118.2	153.7	60.9	2073	29.76	0.012
	N-80	7.72	124.3	121.1	153.7	43.3	1766	25.30	0.012
	N-80	9.17	121.4	118.2	153.7	60.9	2073	29.76	0.012
177.8 (7)	J-55	6.91	164	160.8	194.5	15.7	1406	29.76	0.021
	J-55	8.05	161.7	158.5	194.5	22.5	1628	34.23	0.021
	J-55	9.19	159.4	156.2	194.5	29.8	1846	38.69	0.020
	k-55	6.91	164	160.81	194.5	15.7	1406	29.76	0.021
	k-55	8.05	161.7	158.5	194.5	22.5	1628	34.23	0.021
	k-55	9.19	159.4	156.2	194.5	29.8	1846	38.69	0.020
	c-75	8.05	161.7	158.5	194.5	25.9	2220	34.23	0.021
	c-75	9.19	159.4	156.2	194.5	36	2518	38.69	0.020
	c-75	10.36	157.1	153.9	194.5	46.4	2821	43.16	0.019
	L-80	8.05	161.7	158.5	194.5	26.4	2367	34.23	0.021
	L-80	9.19	159.4	156.2	194.5	37.3	2687	38.69	0.020
	N-80	8.05	161.7	158.5	194.5	26.4	2367	34.23	0.021
	N-80	9.19	159.4	156.2	194.5	37.3	2687	38.69	0.020
244.5 (9 5/8)	J-55	8.94	226.6	222.6	269.9	13.9	2509	53.57	0.040
	J-55	10.03	224.4	220.5	269.9	17.7	2803	59.53	0.040
	k-55	8.94	226.6	222.6	269.9	13.9	2509	53.57	0.040
	k-55	10.03	224.4	220.5	269.9	17.7	2803	59.53	0.040
	c-75	10.03	224.4	220.5	269.9	20.6	3822	59.53	0.040
	L-80	10.03	224.4	220.5	269.9	21.3	4075	59.53	0.040
	N-80	10.03	224.4	220.5	269.9	21.3	4075	59.53	0.040

表 E.1 地热井常用井管选择(续)

规格 mm(in)	钢级	壁厚 mm	内经 mm	通径 mm	标准接箍外径 mm	挤毁压力 MPa	管体屈服强度 kN	公称质量 Kg/m	容积 m <sup>3</sup> /m
273 (10 3/4 )	J-55	8.89	255.3	251.3	298.5	10.9	2799	60.27	0.051
	J-55	10.16	252.7	248.8	298.5	14.4	3181	67.71	0.050
	k-55	8.89	255.3	251.3	298.5	10.9	2799	60.27	0.051
	k-55	10.16	252.7	248.8	298.5	14.4	3181	67.71	0.050
	L-80	11.43	250.2	246.2	298.5	22.2	5183	75.90	0.049
	N-80	11.43	250.2	246.2	298.5	22.2	5183	75.90	0.049
339.7 (13 3/8 )	J-55	9.65	320.4	316.5	365.1	7.8	3795	81.11	0.081
	J-55	10.92	317.9	313.9	365.1	10.6	4280	90.78	0.079
	k-55	9.65	320.4	316.5	365.1	7.8	3795	81.11	0.081
	c-75	10.92	315.3	311.4	365.1	15.3	6487	101.20	0.078
339.7 (13 3/8 )	L-80	10.92	315.3	311.4	365.1	15.6	6923	101.20	0.078
注：上述井管执行API标准。									

附录 F  
(资料性附录)  
钻具卡点深度计算

## F. 1 井内为单一钻具时卡点深度计算

$$L = \frac{\Delta L \times E \times F}{P} = 210 \times F \frac{\Delta L}{P} = K \frac{\Delta L}{P} \dots \dots \dots \quad (F. 1)$$

式中：

L—卡点深度，m；

$\Delta L$ —在P作用力下钻杆连续提升时的平均伸长，cm；

E—钢材弹性系数， $E=2.1 \times 10^5$ MP；

F—钻杆管体截面积， $\text{cm}^2$ ；

P—钻杆连续提升时超过自由悬重的平均拉力，KN；

K—计算系数， $K=210 \times F$ ，其值见表F. 1。

表 F. 1 计算系数表

钻杆规格/mm	壁厚/mm	F/cm <sup>2</sup>	K
73	7	14.5	3045
	9	18.0	3780
	9.19	18.4	3870
89	9	22.5	4725
	9.35	23.4	4906
	11	26.8	5628
	11.4	27.8	5832
102	9	26.2	5498
	11	31.3	6575
114	9	29.7	6237
	11.92	35.5	7449
127	7.52	28.3	5928
	9	33.4	7003
	9.19	34.0	7146
	11	40.1	8418

## F. 2 井内为复合钻具时的卡点深度计算

F. 2. 1 实测在大于钻具原悬重P拉力下，钻具的平均伸长 $\Delta L$ 。

F. 2. 2 计算在P拉力下，每段钻具的绝对伸长（假设有三种钻具）：

$$\Delta L_1 = \frac{L_1 \times P}{K_1}; \quad \Delta L_2 = \frac{L_2 \times P}{K_2}; \quad \Delta L_3 = \frac{L_3 \times P}{K_3}.$$

F. 2. 3 分析 $\Delta L$ 与 $\Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3$ 之间的关系：

- a) 若 $\Delta L \geq \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3$ , 说明卡点在钻头上;
- b) 若 $\Delta L \geq \Delta L_1 + \Delta L_2$ , 说明卡点在第三段上;
- c) 若 $\Delta L \geq \Delta L_1$ , 说明卡点在第二段上;
- d) 若 $\Delta L \leq \Delta L_1$ , 说明卡点在第一段上。

#### F. 2.4 计算 $\Delta L \geq \Delta L_1 + \Delta L_2$ 的卡点位置:

- a) 先求 $\Delta L_3$ :  $\Delta L_3 = \Delta L - (\Delta L_1 + \Delta L_2)$ ;
- b) 计算 $l_3$ 值:  $l_3 = \frac{\Delta L_3 \times K_3}{P}$ , 该值即为第三段钻具没被卡部分的长度;
- c) 计算卡点位置:  $L = L_1 + L_2 + l_3$ 。

#### F. 2.5 其它情况以此类推。

#### F. 2.6 符号说明:

$\Delta L_1$ 、 $\Delta L_2$ 、 $\Delta L_3$ 分别为一自上而下三种钻具的伸长, 单位为cm;  
 $\Delta L$ 表示一总伸长, 单位为cm;  
 $P$ 表示一上提拉力, 单位为KN;  
 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 分别为一自上而下三种钻具的长度, 单位为cm;  
 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 分别为一自上而下三种钻具计算系数,  $K=210\times F$ ;  
 $l_3$ 表示一第三段钻具没卡部分长度, 单位为m;  
 $L$ 表示为一卡点深度, 单位为m。

### F. 3 K值的选择

计算时应考虑钻具壁厚的磨损情况及钻具接头和加厚部分的影响; 当壁厚变薄时,  $K$ 值减小; 钻具接头和加厚部分,  $K$ 值较钻杆本体要大。

**附录 G**  
(规范性附录)  
**地热井完井报告编写提纲**

## G. 1 概述

包括工程项目来源、工程性质和目的，地理位置、坐标与交通概况（插入交通位置图），开钻日期、完钻日期、验收日期，完成工程量、工程投资情况，水温、水量、水质等主要指标是否满足设计及合同要求、地热井定级等。

## G. 2 地质部分

### G. 2. 1 地质构造条件

结合地热井实钻地质资料，简述地热井所处构造位置及构造特征。

### G. 2. 2 地层概况

G. 2. 2. 1 地层划分：依据岩心描述、岩屑录井、物探测井、钻时录井、钻井液录井等实际资料划分地层。

G. 2. 2. 2 地层描述（细分到层、组）：包括地层埋深、地层厚度、空隙度、渗透率、泥质含量、电性参数、地层接触关系等，岩心描述，岩屑描述。

### G. 2. 3 目的热储层特征

包括热储层顶板埋深、揭露厚度，含水层岩性特征；孔隙型热储要描述颗粒成分、胶结物及胶结程度、砂厚比、空隙度、泥质含量、渗透率等水文地质参数；基岩裂隙型热储要描述裂隙发育情况、空隙度、泥质含量、渗透率等；抽水试验主要成果；根据水质分析结果，确定地热水的类型、PH值、矿化度等。

## G. 3 钻井施工

### G. 3. 1 地层（岩石）钻进特性

描述钻遇地层（岩石）的硬度、研磨性、可钻性、地层造斜情况、地层稳定情况（坍塌、缩径、破碎）、漏失情况等。

### G. 3. 2 钻井设备、工具、仪器

G. 3. 2. 1 钻井设备、仪器、工具的型号、规格、数量、技术参数等（列表）。

G. 3. 2. 2 钻井设备的布设安装。

### G. 3. 3 钻井与成井工艺

#### G. 3. 3. 1 成井结构

附地热井实际结构图。

#### G. 3. 3. 2 钻井工艺

**G. 3.3.2.1 钻进方法：**阐明采用的各种钻进方法、钻具组合、钻头、钻进参数、操作方法等。

**G. 3.3.2.2 钻井液：**阐明使用的钻井液类型、配制方法、固控净化、管理与维护、护壁堵漏措施等。

**G. 3.3.2.3 施工质量保证措施：**防斜打直措施、定向井轨迹控制措施、复杂地层施工措施、事故预防措施、事故处理方法以及针对钻井安全、提高钻进效率采取的专项技术对策及效果等。

**G. 3.3.2.4 新工艺、新方法的应用。**

### G. 3.3 成井工艺

阐明物探测井、冲孔换浆、排管、下管、填砾、止水（固井）、射孔、洗井方法等，以及效果和质量检验结果。

## G. 4 勘查工作质量评述

### G. 4.1 钻井施工质量评价

包括设计要求及实际达到的质量指标。

### G. 4.2 地球物理测井

测井设备型号、测井方法、时间、测井项目、比例（附测井解释成果表）。

### G. 4.3 完井产能测试

降压试验、放喷试验采用的方法和试验过程及取得的成果（包括水样采取及送检情况）。

## G. 5 地热资源评价

根据产能测试结果，对地热井资源量进行评价，实际开发利用方向评价。

## G. 6 地热水水质评价

不同用途评价、腐蚀及结垢评价、环境影响评价。

## G. 7 施工组织管理、安全技术与文明施工、环境保护。

## G. 8 综合评述

地热工程成果概述、主要经验、存在的主要问题、结论与建议。

## G. 9 附件

岩样描述记录表，物探测井成果图，成井井管滤水管排管表，降压（放喷）试验记录表及关系曲线图，水质分析报告（气体分析报告、同位素分析报告等），地热井成井综合柱状图，地热井质量验收书等。

## 参 考 文 献

- [1] 黄国志主编. 钻井司钻. 石油工业出版社, 1993年
  - [2] 蒋希文. 钻井事故与复杂问题(第二版), 石油工业出版社, 2006年
  - [3] 王清江, 毛建华, 韩贵金属, 曾明昌. 定向钻井技术. 北京. 石油工业出版, 2009
  - [4] 赵金洲, 张桂林. 钻井工程技术手册. 北京: 中国石化出版社, 2010
  - [5] 中国地质调查局 主编. 水文地质手册(第二版). 北京. 地质出版社, 2012
  - [6] 路保平, 李国华. 石油钻井技术手册. 北京: 中国石油大学出版社, 2014
  - [7] 冯红喜, 阴文行. 地热回灌防腐过滤器及配套技术试验. 探矿工程. 2012年02期
  - [8] 马忠平, 沈健, 刘赞, 王连成. 天津馆陶组地热回灌井钻井和射孔工艺探讨. 探矿工程. 2014年41期
-