

《干热岩钻探技术规程》（送审稿）编制说明

《干热岩钻探技术规程》起草组

2021 年 7 月

一、任务来源及工作简要过程

1 任务来源

1.1 立项背景

我国干热岩热储埋藏条件与其他国家干热岩的埋藏条件差异较大，国内干热岩勘探尚处于初级阶段，干热岩钻探施工亦刚刚起步，目前尚无较成熟的钻井工艺和可借鉴的勘探经验，钻探工艺技术、高温钻井液技术还不够成熟，严重制约着干热岩钻探的施工效率，施工成本较高。因此，干热岩资源的规模化开发利用，急需建立干热岩资源勘查体系和开发利用技术体系，为干热岩资源勘探提供科技支撑。

我国已成功实施了多眼高温硬岩的钻探工程，标志着我国已初涉高温硬岩资源的勘探与开发领域。目前国内还没有相应的干热岩钻探技术规程来指导干热岩的钻探工作，国际上也没有专门针对干热岩的钻探技术规程，因此开展干热岩资源调查和开发利用相关技术研究，编制《干热岩钻探技术规程》，建立干热岩钻探工作技术标准体系，是我国干热岩钻探工作的迫切需要，指导今后的勘探施工，有助于提高钻探效率、降低施工成本，预防井内事故的发生及处理，提高我国干热岩钻探施工技术水平，为今后的干热岩勘探及开发利用提供保障。

1.2 任务来源

2019 年__月国家能源局以“行业标准项目任务书”形式批准了编制任务，任务书文号_____。本标准主要技术内容包括：干热岩施工井身设计与成井工艺、干热岩施工设备与钻具选型、干热岩多工艺钻进技术、高温泥浆技术要求、高温固井技术要求、干热岩施工取芯技术。完成年限为 2 年。

2 主要工作过程

按照行业标准制订工作程序要求和 GB/T1.1-2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》的编制工作程序的要求，成立了《干热岩钻探技术规程》标准工作组。自 2019 年 3 月以来，针对该项目进行收集整理资料，分析研究及试验验证等工作，在充分收集有关文件包括国家相关法规、相关标准化法律、专业文献、相关标准后，对标准涉及的技术指标与相关国际标准的可行性进行试验验证工作。在此基础上以确定的标准主要内容、国外现行同类标准现状以及试验验证分析结果等依据进行相关标准文件编写，广泛征求意见，形成《干热岩钻探技术规程》送审稿。

简要起草过程如下：

(1) 制定工作运行计划，收集基础资料（2019 年 3 月～8 月）

收集了山东利津、青海共和、福建漳州、青海贵德、肯尼亚高温地热开发技术研究与现场试验等地区干热岩项目及类似硬岩钻探项目钻探资料 50 余口，收集了有关干热岩勘探开发的相关文献、标准，收集分析了地质、石油等行业标准、公司标准近 100 余项，征求了相关专家对干热岩钻探编写的建议。

(2) 标准草案初稿框架的起草和讨论（2019 年 9 月）

组织相关人员完成了标准的框架设计，并进行了一次专家讨论、论证会，形成了标准草案框架。

(3) 标准初稿（项目组讨论稿）的编写（2019 年 10 月～2020 年 3 月）

根据重新修订的草案初稿框架，编写组进行了规程的编写。

(4) 标准初稿征求意见及修改

2020 年 1 月至 10 月进行了草案初稿的征求意见，发送“征求意见稿”的单位数 18 个，回函的单位数 15 个，收到有建议的征求意见共 30 条，采纳 21 条，未采纳 9 条。针对收到的征求建议，编写组进行修改完善。

(5) 标准初稿的专家内审及修改（2020 年 11 月～2021 年 2 月）

标准初稿编写完成后，2020 年 11 月 28 日在济南进行了专家内审。之后根据专家意见进行了修改完善形成了送审稿。

(5) 送审稿征求意见及修改（2021 年 3 月～2021 年 7 月）

送审稿编写完成后，2021 年 3 月至 4 月进行了送审稿的征求意见，共收到 8 家单位回函，收到有

建议的征求意见共 113 条，采纳或部分采纳 78 条，未采纳 35 条。针对收到的征求建议，编写组进行修改完善。

3 主要起草单位和参加起草单位

(1) 本标准负责起草编制单位：山东省鲁南地质工程勘察院（山东省地勘局第二地质大队）

(2) 本标准参加起草编制单位：中国地质调查局、山东省鲁北地质工程勘察院、中国石油长城钻探工程公司等。

二、 编制原则

(1) 本标准依据 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定，包括规范性技术内容的确定、标准的结构、编写规则等进行编制。

(2) 充分考虑了标准目的和使用对象，充分依据干热岩钻探标准需求，在综合分析地热钻探、石油钻探等行业标准的基础上进行编制，保证技术上具有先进性和成熟性。

(3) 本规范规定了干热岩钻探工程设计、钻探设备选择及安装、钻进工艺、高温钻井液、井控、物探测井、固井、完井、钻探工程质量、井下复杂和事故的预防和处理、健康安全、环境保护及绿色勘查、技术资料管理及提交。本规范适用于使用非岩心钻机及工艺为勘探开发干热岩资源而进行的钻探工程，其他钻探工程可参照执行。

三、 具体条文分析

按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定和干热岩钻探工程的具体特点形成下述的标准题纲。

1. 范围
2. 规范引用文件
3. 术语和定义
4. 总则
5. 钻探工程设计
6. 钻井设备选择与安装
7. 钻进方法
8. 钻井液
9. 物探测井
10. 固井
11. 井控设备与井控工具
12. 完井
13. 井下复杂的预防与处理
14. 钻探工程质量
15. 工程技术报告与资料归档
16. 健康、安全与环保

1 范围

说明：规定了规程的主要内容和适用范围。

本文件规定了干热岩钻探工程的钻探工程设计、钻井设备选择与安装、钻钻进方法、钻井液、测井、固井、井控设备与井口工具、完井、井下复杂情况的预防与处理、钻探工程质量、工程技术报告与资料管理、职业健康与绿色勘查等相关技术要求。

本标准适用范围为干热岩钻探设计、施工和过程管理。

2 规范性引用文件

说明：在充分研究地质、地热、石油工业、煤层气行业等国标、行标的基础上，提出了本标准引用的18项行业标准，涵盖了钻探工程设计、钻井、固井、井控、完井（射孔、压裂）、安全环保等全过程。

所列18项文件是本规范条款引用的文件，其最新版本将适用于本规范。本标准规范性引用文件如下：GB 6722《爆破安全规程》；GB 50194《建筑工程施工现场供电安全规范》；GB/T11615《地热资源地质勘查规范》；GB/T5005《钻井液材料规范》；GB/T 16950《地质岩心钻探钻具》；AQ 2004《地质勘探安全规程》；GB/6067《起重机械安全规定》；NB/T 10097《地热能术语》；DZ/T 0260《地热钻探技术规程》；DZ/T 0227《地质岩心钻探规程》；SY-T 5412《下套管作业规程》；SY-T 6480《固井设计规范》；SY-T 5374.1《固井作业规程》；SY/T 6592《固井质量评价方法》；SY-T 5964《钻井井控装置组合配套、安装调试与维护》；SY/T 5547《螺杆钻使用、维护和管理》；SY/T 5216《钻井取心工具》；SY/T 5217《金刚石钻头》；SY/T 5483《常规地层测试技术规程》；T/CMAS 0001《绿色勘查指南》。

3 术语与定义

说明：除“干热岩”外该部分列出的术语和定义，在其他标准规范中未给出具体的定义。

3.1 干热岩(HDR) hot dry rock

不含或仅含少量流体，温度高于 180℃，其热能在当前技术经济条件下可以利用的岩体。。

3.2 干热岩型地热资源 HDR Thermal Resources

是指在当前技术经济条件下，可从干热岩岩体中开采利用的热能。

3.3 干热岩钻探 HDR drilling

以勘探或开发干热岩型地热资源为目的而实施的钻探工程。

3.4 干热岩井 HDR well

为勘探或开发干热岩型地热资源，按照一定的施工方式在地层中钻成的井眼。

3.5 开采井 production well

用于将在干热岩岩体内经过换热后的换热工质从干热岩岩体内开采至地面的井。

3.6 注入井（回灌井）reinjection well

用于将换热工质注入（回灌）至干热岩岩体的井。

3.7 干热岩井身结构 HDR wellbore structure

干热岩钻井井眼直径、下入井内套管直径以及水泥固井随井深变化的层次，井身结构要素包括开孔直径、终孔直径与深度、各井段直径与深度，以及下入套管的规格与深度、水泥封固的长度等，各井段结构须满足各阶段测试、开发和监测的相关要求。

3.8 干热岩复合钻进 HDR Compound drilling

是指通过井上（转盘或顶驱）驱动利用钻杆柱和井底动力钻具一起给钻头提供扭矩或冲击来实现高效碎岩的钻进工艺。

3.9 干热岩高温钻井液 HDR high temperature drilling fluids

在干热岩钻井过程中，耐温能力不低于井底静止温度 150℃，以其多种工况来满足钻井工作和孔壁稳定需要，在高温条件下具有良好、稳定的流变性、滤失性、抑制性、润滑性和悬浮携渣性能的循环流体的总称，包括高温水基钻井液、油基钻井液、复合基钻井液及含气循环介质。

3.10 高温钻井液冷却系统 High-temperature drilling fluid cooling system

为实现高温段高效钻进，对井下返回的高温钻井液进行快速降温且能确保钻井液在合适的温度下保持稳定性能的钻井液冷却系统。

3.11 高温固井 High-temperature well cementing

在干热岩钻井的套管柱与井壁的环状空间注入耐高温的水泥浆液使之固结封闭的工艺过程。

3.12 干热岩测井 HDR well logging

为分析干热岩物理性质、孔径、温度及裂隙在钻井中的空间展布、判别潜在的开发层位，得出孔隙度、渗透率、地温梯度等物理参数，而利用耐高温仪器设备对干热岩井进行的综合地球物理参数测量，一般分为常规测井和成像测井。

3.13 干热岩水力压裂 HDR hydraulic fracturing

为对干热岩进行储层建造，利用高压泵组将压裂液以超过干热岩岩体吸收能力的排量注入井中并憋起高压，压力大于岩体的破裂压力时便产生裂缝并持续注入带有支撑剂的携砂液，裂缝向前延伸并填以支撑剂，关井后裂缝闭合在支撑剂上，从而在目的层井段附近岩体内形成具有一定几何尺寸和高导流能力的裂缝。干热岩热储层建造一般以水力压裂为主，辅以爆炸法、热应力法、化学刺激法等。

4 总则

为指导和规范干热岩钻探施工，做到技术先进、经济、高效，实现合理开发、保护干热岩型地热资源可持续利用，以实现全生命周期的安全生产、绿色开发，特制定本规程。

4.1 基本要求

说明：对于干热岩钻探从设计、钻完井技术、地质录井及测井、健康安全环保等做了原则性的要求。

4.1.1 应充分搜集利用已有资料，在遥感解译、区域地质调查、地球化学、地球物理勘查等工作基础上，按照勘探与开采相结合的原则进行工程设计。

4.1.2 干热岩勘探井、探采结合井、监测井、开采井和注入井（回灌井），施工前应进行钻探工程设计，审查批准后方可进行钻井施工。

4.1.3 干热岩井井口和井径应满足取样、测井、完井、压裂和监测及开发等设备要求。

4.1.4 应使用先进、成熟、安全且绿色环保的钻完井技术，以实现干热岩型地热资源全生命周期的绿色勘探和开发利用。

4.1.5 应使用安全且绿色环保的钻完井技术。

4.2 干热岩井类型

说明：规定了干热岩井类型包括勘探井、勘探开采井、开采井和注入井（回灌井）及监测井五种类型。

a) 勘探井：用于了解勘探区有关地层结构、厚度、埋藏深度、地温增温梯度、裂隙发育程度以及断裂构造等情况。多用于基本地质情况不明、勘探风险很大的地区，为干热岩型地热资源评估和开发利用奠定基础。

b) 勘探开采井：通过对勘探区进行地球物理勘探、资料收集和综合分析后，认为具有干热岩型地热热储的形成条件，但还有某些重要资料有待查明，布设的勘探与开采结合的钻井。

c) 开采井：当一个地区已经发现了干热岩型地热资源，并且控制了其范围，在干热岩岩体分布范围内按照合理的井距、井径，以开采干热岩型地热资源为目的的钻井。

d) 注入井（回灌井）：在干热岩型地热资源开发利用过程中，为使换热工质注入地下干热岩岩体并进入热储层而实施的钻井，换热工质在运移过程中完成与干热岩岩体的热交换，通过开采井运移至地表转变为高温高压的水蒸气驱动涡轮机产生电能或用于供热。注入井（回灌井）分为直井、定向井和水平井。

e) 监测井：干热岩型地热资源在勘探、开采及停采阶段，用于连续记录水位、温度、压力、开采量、注入（回灌）量和蒸汽比例等，并定时取样分析工质化学组分和同位素值的钻井。

4.3 井身结构

说明：规定了井身结构设计基本原则和常用井身结构类型。

干热岩井身结构的设计应综合考虑钻探工程的顺利进行和节约成本，且应满足不同阶段对勘探、测试、压裂、开发与监测的要求。

4.3.1 应根据干热岩井类型、地质条件、终孔直径及深度、钻完井工艺方法、钻探设备等综合因素确定。设计井身结构时，一般应预留1~2级口径。

4.3.2 勘探井和监测井完钻井孔直径不应小于122mm，勘探开采井直径不小于152.4mm，开采井和注入井（回灌井）完钻井孔直径应不小于215.9mm。

5 干热岩钻探工程设计

说明：该部分由“设计要求”和“设计内容”两部分组成，规定了干热岩钻探工程设计要求和具体设计内容。

5.1 设计要求

说明：规定了设计编写对法律、法规的遵循和其他重要标准兼容性；设计应由专业技术人员编制，经内部审核并由主管部门或业主批准后方可实施；设计符合安全健康与环保优先原则；设计宜科学合理、详尽、全面；设计中选用的技术宜成熟、先进、适用；设计宜对地层、地质条件充分研究。实钻地层与设计不符，宜及时变更设计并报批。

5.2 设计内容

说明：规定了干热岩设计的内容，主要由前言、地质要求及质量要求、工程设计、施工组织与进度计划、健康安全、环境保护及绿色勘查、资料收集及整理归档六部分组成。

5.2.1 前言

说明：前言部分由工程概况和编写依据两部分组成。工程概况应编写的内容包括：项目来源、钻探目的及任务、钻井编号、钻井类型、井口坐标、设计井深、完钻井径、靶点及靶点坐标、项目周期；地理位置、交通、气象水文、周边环境；编写依据的内容应包括：相关法律法规、标准规范、项目任务书（或合同）、地质设计。

5.2.2 地质条件

说明：地质条件主要包括干热岩区域地质与水文条件、地质构造概况、地层概况、钻遇地层预测、放射性特征预测、取心井段要求、井温、热储层特征与储层改造预测、临井地层条件等。。

5.2.3 钻探设备及场地布设

钻井主要设备和技术参数；钻井液固控设备、井控与钻井液降温循环装置；施工场地面积、通水、通电、通路措施、场地平整并符合井场标准化建设要求；钻井平台搭建、设备安装及钻前准备。

5.2.4 钻井质量

应根据不同干热岩钻井类型提出质量要求，宜包含以下内容：

a) 岩屑样和岩心样采取、简易水文地质观测、井身质量、完井质量、综合测井、井内试验等质量要求；

b) 岩屑录井、岩心录井、钻时录井要求；测井要求；

c) 固井、完井等质量要求；储层保护要求质量要求

d) 生产试验等质量要求。

5.2.5 工程设计

说明：工程设计部分应由井身结构设计、钻井工艺设计、钻井液设计、完井设计、井控装置设计、完钻井口装置设计、工程风险与事故预防措施等七个方面组成。设计时要依据不同的岩性特征、钻井类型和地质设计要求有针对性地进行工程设计。

5.2.6 职业健康与应急处理预案

钻前（后）、钻井、完井、试验测试、压裂等过程中的绿色勘查和职业健康措施，应急处置预案（包括井口防喷及套管磨损、井控、井漏、井眼垮塌、卡钻、高温、腐蚀及有毒有害气体等）。

5.2.7 施工组织与进度计划

说明：主要内容包括施工组织及管理体系、管理制度、人员配置、各类证件、作业制度、施工工序及进度计划等。

5.2.8 工程预算

预算编制依据、编制方法、预算总表和明细表。

6 钻探设备选择与安装

说明：该章节由设备选择性能要求、井场建设与设备安装要求、机具与材料准备要求、开工检查四部分组成。

6.1 设备选择

说明：根据干热岩型地热资源地质情况、设计井深、井身结构、钻进工艺方法、井口装置和井控装置安装等条件综合选择钻井设备。

钻机：为确保钻进的安全、高效，确保有能力对付井下复杂和事故，钩载储备系数应 ≥ 1.6 ，还应充分考虑地层复杂性和钻具选型。3000 米以浅的直井宜根据井深、井身结构及钻机公称钻深确定钻机型号；3000 米以深的直井及定向井宜至少大于一个钻机公称钻深确定钻机型号。

泥浆泵、循环系统、降温装置：应根据钻机的类型、井身结构、钻井工艺和绿色环保施工要求选择泥浆泵、钻井液固控系统和降温装置，泵压、泵量、储液罐、钻井液固控系统与降温装置的处置能力应满足钻井液循环要求。

说明：泥浆泵的选择主要从排量、额定泵压两个参数考虑，排量能满足携带岩屑所需的最小流量，泵压能满足设计孔深所需的最高泵压；干热岩钻探由于钻井液温度高，钻井液循环罐不宜少于四个，勘探井及有井控要求的生产井应再配置两个加重罐；宜配备振动筛、除砂器、除泥器、离心机等固控设备，必要时配备除气器；宜配置钻井液配制、加重设备；钻井液出口温度超过 75℃宜配备冷却系统。

井架与平台：根据钻机的类型、干热岩钻井类型、开孔直径、钻井深度、终孔直径、井口装置和井控装置安装要求等选择

动力机：根据钻机、泥浆泵和绿色环保施工的要求，确定主要动力类型和功率。根据钻机类型及主要设备的用电量来确定备用发电机组功率。

空压机：根据干热岩钻井施工要求，合理选择所需供气量、供气压力的空压机。

井控装置：根据预期井口压力及安装套管的尺寸选择井口防喷器或放喷器，其额定压力应大于预测井口压力的 1.5 倍。井控装置和降温装置应配置齐全，除井口装置、井控管汇外，还应配备钻具内防喷工具、井控监测装备、液气分离器、除气器等。

6.2 井场设备安装

6.2.1 井场布设

说明：本节主要依据 AQ 2004-2005 对“井场修建”和“井场布置”两个方面内容，提出了规范要求。

井场修建应包括以下内容：井场应满足钻井设备、测井、固井、压裂、开发、监测等阶段性作业的设备安装。应满足各类井管、钻具、钻井液材料存放和辅助设备安装的占地要求；

应避开在易滑坡、易坍塌和泥石流发育的地段施工；应避开洪水期或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高大于 5 m，距地下道讯电缆及构筑物、给排水管道等水平距离大于 2 m，距公路距离应符合《公路安全保护条例规定》的要求；

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 的要求；进出井场的道路及井场内地基必须坚固，能保证重载车辆、作业吊车、压裂车的安全通行与作业；井场修建应满足井队生活区安全用地要求。

井场布置应满足以下要求：

钻探主体设备的布置应以确定的孔位中心为基准，进行合理就位与安装；

附属设备布置应紧凑、整齐，便于维修维护和安全操作；

工作场地布设应符合职业健康和绿色环保施工等要求；

钻井液储罐的容量应能满足钻井施工中的正常循环，可容纳固井作业泵入前置液、水泥浆液及顶替液而排出的孔内钻井液。钻井液冷却装置的冷却能力应满足钻井施工中钻井液的正常循环用量。

6.2.2 设备安装

说明：钻探设备的安装非常关键，本规程对井架的安装和起落、钻机安装、钻井液循环与冷却系统安装、安全设施安装、电器设备及电气系统安装、动力机组的安装、泥浆泵及管汇的安装、固控系统的安装、防喷装置的安装、录井仪的安装规定了具体要求等。

6.2.2.1 井架的安装和起落

应符合以下要求：

a) 井（塔）架及其附属设施的安装和起落应符合 AQ2004-2005 的要求；

b) 井（塔）架的起落作业，应有专人指挥，信号统一。各岗位人员应按照指令操作，在安装与拆卸过程中，塔上、塔下作业人员，应相互配合，不得违章作业。

c) 起、放井架前，应安排专人检查绞车大绳、起井架大绳、连接销、保险销及设备的固定情况，并检查气控系统、刹车及辅助系统、缓冲器及二层平台等。

d) 起、放井架时，除机长、班长、观察人员、现场安全员外，其他人员、设备和钻具等均撤至安全区。起井架时，应先试起 100 mm~200 mm，检查无问题后，再进行正常起升。

6.2.2.2 钻机安装

应符合以下要求：

a) 应按照确定的井（孔）位及钻机各部分的安装顺序进行安装；

b) 钻机、井架及其附属设备安装完毕，调整对正井（孔）位后，应紧固各个部位的连接螺丝，锁紧支腿螺母，调紧并锁住绷绳紧绳器；

c) 正式开钻前应进行试运转检测，若无异常再对各部位的连接螺丝、螺栓紧固一遍，待令开钻。

6.2.2.3 钻井液循环及冷却系统安装

应符合以下要求：

a) 钻井液循环管线及冷却系统的安装，应满足钻井施工各种工况下的作业工序、循环流量、压力及高温安全防护要求；

b) 上浆罐、钻井液搅拌罐、储液罐、喷射加料斗安装应方便钻井液配制和有利于泥浆泵供液，振动筛等固控装置的布设应有利于除泥、除砂、降温、运渣。

6.2.2.4 安全设施安装

井场安全设施包括消防器材、避雷器、绷绳、皮带防护罩、钻井液池护栏、动力机灭火罩、防烫伤保护装置及安全标示、标牌等。

安全设施的安装，应符合安装要求，确保齐全、有效。

6.2.2.5 电气设备及电气系统安装

电气设备的安装应符合 AQ2004-2005 的要求，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且有一定的能力储备。

应符合以下要求：

a) 电路宜采用 YCW 型防油胶套电缆，照明电路宜采用 YZ 型电缆；电缆宜敷设在电缆桥架内，过路宜有保护钢管。

b) 电路架空时应分路架设在高度 $\geq 3\text{m}$ 的专用电杆上，距柴油机、井架绷绳应 $\geq 2.5\text{m}$ ，且不应过油罐上空。

c) 钻台、机房、固控系统、井控装置的电器设备、照明灯具应分设开关；如有防爆要求，电气设备、线路、照明器具应符合防爆要求。

d) 电气设备接地电阻应小于 $4\ \Omega$ ，配电柜金属构架接地电阻应小于 $10\ \Omega$ ，所配绝缘胶垫应大于 $1\ \text{m}^2$ 。

e) 野营房进户线应加绝缘护套管，应分别安装漏电保护设备，发电房应符合 GB/T2819 中的有关规定。

f) 移动照明灯应采用安全电压工作灯。

6.2.2.6 动力机组的安装

应符合以下要求：

a) 并车联动装置顶杠应灵活，传动部位的防护罩应齐全完好、固定牢靠；并车联动装置及万向轴的螺栓应有防松措施。

b) 气液管路应清洁、畅通、排列整齐；连接应密封无刺漏；各种阀件应动作灵敏。

c) 动力机与钻机、并车联动装置、减速箱之间，宜采用柔性连接。

6.2.2.7 泥浆泵及管汇安装

应符合以下要求：

a) 泵的安装应平稳，与联动机应连接稳固，转动部位应有防护罩。

b) 弹簧式安全阀应垂直安装，并戴好护帽；开启压力不应超过循环系统部件的最低额定压力。

c) 预压式空气包应充装氮气，压力应为钻井泵工作压力的 $1/3$ 。

d) 高低压阀门、地面高压管线宜安装在水泥基础上，高压软管两端与硬管连接处应安装安全绳；高低压阀门应螺栓紧固、手轮齐全、开关灵活且无渗漏。

6.2.2.8 固控系统安装

应符合以下要求：

a) 钻井液罐和高架槽宜有 $1:100$ 的坡度，其上宜铺设网状钢板通道，护栏齐全、紧固；

b) 电气设备接线牢固、绝缘可靠，固控设备应安装牢固、防护罩齐全完好、仪表准确、连接管线不泄漏并满足高温工况要求。

6.2.2.9 防喷装置安装

说明：防喷装置安装应复合 SY-T 5964 《钻井井控装置组合配套、安装调试与维护》要求。

6.2.2.10 综合录井仪的安装与连接

说明：综合录井仪应满足耐高温要求，安装与连接参照录井仪说明书进行执行。

6.3 机具与材料准备

6.3.1 机具准备

根据钻孔结构设计、干热型地热热储层岩层特征、采用的钻井工艺以及钻进技术要求，准备好各种相应规格的钻具；根据钻孔的设计口径、各口径钻进工作量、岩层的可钻性等参数，配备不同规格、种类和数量的钻头；根据井管的种类、连接方式、下入长度、总重量等，准备不同种类的吊具、卡具、拧管工具、浮力板及多轮游车等；根据钻孔结构设计、固井及压裂要求，准备好配制固井浆液的机具

及输送管路、井底单向灌注器、止水托盘、扫盘钻具等。

6.3.2 材料准备

应满足以下要求：根据钻孔施工设计要求和干热型热储层保护方案，备足耐高温钻井液基浆材料和各种化学添加剂等；根据固井工艺和压裂对固井质量的要求，备足耐高温固井材料及其相应的添加剂；备足用于修复钻头、加工特殊钻头的各种硬质合金、复合片、球齿合金等。备足用于加工钻铤扶正器、扩孔器等特殊工具的研磨材料。

6.4 开工检查

设备安装调试后，施工方应对施工井场的主体钻井设备、附属设备进行检查，检查内容包括：

- a) 施工方对施工井场的装备及安全设施，应按安全规范要求进行检查；
- b) 施工方应对施工井场的废渣、废液和生活垃圾处理方案的合理性、废渣堆放场地、废液容器的容量等进行检查；
- c) 施工方检查合格后，报工程建设方（业主）或建设方授权的工程监理机构复检或验收；验收合格后，由建设方（业主）或建设方授权的工程监理机构签发工程开工令。

7 钻进方法

说明：该章节主要针对钻进方法选择、取心钻进、全面钻进、井底动力钻具复合钻进、定向钻进做了规范性的要求。

7.1 钻进工艺选择

说明：根据地层岩性特点、地层压力、井温、井场条件等选择安全、环保、高效的钻进工艺方法，降低钻井综合成本。常用的钻进工艺可参照本章节表2选择。

表 2 常用钻进工艺表

循环方式	破碎方式	循环介质	钻进工艺	适用条件及特点
正循环	回转钻进	水基钻井液	转盘（或顶驱）回转钻进	适用地层范围广
			“转盘（或顶驱）+螺杆”复合钻进	井温低于 200℃，可提高机械钻速；综合成本低
			“转盘（或顶驱）+涡轮”复合钻进	井温高于 200℃的深井中；综合成本较高
		清水	转盘（或顶驱）回转钻进	适用于正常地层压力的稳定地层，适应温度高
			“转盘（或顶驱）+螺杆”复合钻进	适用于正常地层压力的稳定地层，且井温低于 200℃
			“转盘（或顶驱）+涡轮”复合钻进	适用于正常地层压力的稳定地层，井温高于 200℃的深井中；综合成本较高
		空气、雾化、一次性泡沫	转盘（或顶驱）回转钻进	适用于正常地层压力的稳定地层，不含水或含水很少，机械钻速较高；适应温度高
			“转盘（或顶驱）+螺杆”复合钻进	适用于正常地层压力低的稳定地层，不含水或含水很少，机械钻速高；适应温度高
		可循环泡沫	转盘（或顶驱）回转钻进	适用于低地层压力、对钻井液护壁性有要求的地层；适应温度高
	回转冲击钻进	水基钻井液	冲击回转钻进	适合于硬度高、研磨性强的地层中全面钻进；机械钻速较高，适应温度高冲击器的限制
		清水	冲击回转钻进	适用于正常地层压力的稳定地层，硬度高、研磨性强的稳定地层中全面钻进；适应温度高冲击器的限制
		空气、雾化	气动潜孔锤冲击回转钻进	适用于正常地层压力且硬度大、研磨性强的稳定地层，机械钻速极高；适应温度高冲击器的限制
反循环	回转钻进	清水	气举反循环	地层压力低、易漏失的稳定地层；适应温度受双壁钻具密封材料的限制

7.2 取心钻进

说明：主要从取心钻具、取心钻头、钻进技术参数及操作要求等方面做了具体规范要求。

7.2.1 取心工具

说明：根据取心要求及地层岩性特征选用取心工具。

表3 取心工具及适用条件

取心工具类型	取心工具名称	适用条件
常规取芯工具	自锁式取心工具	中硬至硬地层取心
	加压式取心工具	松软或破碎地层取心
特殊取心工具	大斜度井、水平井取心工具	适用于井斜度大于等于 45 度井段取心
	定向取心钻具	可取出有方位标志的岩心，以确定地层参数
	绳索取心工具	中硬至坚硬地层取心，适用于勘探井或探采结合井取心

7.2.2 取心钻头

取心钻头可依据干热岩型地热资源钻遇地层和钻探设备及工艺进行选取，火成岩和变质岩地层取心钻头一般选用 PDC 钻头、牙轮钻头或孕镶金刚石钻头；花岗岩地层取心钻头应选用孕镶金刚石钻头或表镶金刚石钻头，宜可按表 4 选择。

表4 取心钻头

钻头类型	适用条件
硬质合金取心钻头	软至中硬地层钻进取心
牙轮取心钻头	均质的中硬至硬地层钻进取心
聚晶人造金刚石取心钻头	地层软硬变化频繁的井段钻进取心
表镶金用石刚心钻头	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
金刚石复合片取心钻头	软到中硬地层钻进取心

注：取心钻头根据工程要求，按 GB/T16950、SY/T5216 选择，也可根据实际需要选用或设计、制造其它外径的取心钻头。

7.2.3 钻进技术参数

说明：根据钻遇地层、选择的钻进方法和钻孔口径及孔深，选择合理的钻进参数，才能实现高效钻进。

7.2.4 钻进操作要求

说明：规范了提钻取心和绳索取心操作要求。

7.3 全面钻进

说明：该部分由钻具组合、钻头选择、钻进技术参数三部分组成。

7.3.1 钻具组合

说明：干热岩钻探在做钻具组合设计时应按满足以下要求：钻铤直径能满足下套管的需要，且能为套铣作业留够足够的空间，钻铤长度可根据中和点法计算确定；4000 m 以深的直井或3000 m 以深的定向井宜进行钻柱强度设计，最大钩载条件宜为钻具理论抗拉强度的90%；钻具组合中宜设计随钻震击器、井下动力钻具；建井周期长宜设计防磨工具，直井应有防斜设计；高温井段或地层压力大时，宜设计内防喷工具；常用钻具组合，见表5。

表 5 常用钻具组合规格尺寸

钻头直径 mm	钻 具 组 合
≥444.5	钻头+Φ203mm 钻铤+Φ177.8mm 钻铤+Φ127mm 钻杆。
311.1	钻头+Φ203mm 钻铤+Φ177.8mm 钻铤+Φ127mm 钻杆； 或钻头+Φ177.8mm 钻铤+Φ159（或146）mm 钻铤+Φ127mm 钻杆。
241.3	钻头+Φ165mm（或Φ177.8mm）钻铤+Φ159（或146）mm 钻铤+Φ127mm 钻杆； 或钻头+Φ159（或146）mm 钻铤+Φ127mm 钻杆+Φ88.9mm 钻杆。

215.9	钻头+Φ159（或146）mm 钻铤+Φ127mm 钻杆+Φ88.9mm 钻杆。
152.4	钻头+Φ121mm 钻铤+Φ88.9mm 钻杆。

7.3.2 钻头选择

说明：在进行钻头设计和选择时，应遵循以下技术规范：根据地层特性进行钻头初选，并根据使用情况进行调整；软至硬且非研磨性地层宜选用 PDC 钻头；井底循环温度大于 150℃时宜选择轴承密封方式为金属密封的牙轮钻头或金刚石钻头。

金刚石钻头的选择参见附录 C。

牙轮钻头的选择参见附录 D。

7.3.3 钻进技术参数

说明：本章节按碎岩方式、钻井液类别及循环方式不同来推荐技术参数，主要有牙轮钻头钻进、金刚石复合片钻头钻进、液动潜孔锤钻进、气动潜孔锤钻进、气举反循环钻进、喷射钻进。

7.3.3.1 牙轮钻头钻进

钻压：按钻头直径单位长度所需压力计算，在中硬以上岩层中钻进宜采用 0.3～0.4kN/mm，在中硬以下地层中钻进可采用 0.1～0.3kN/mm。

转速：钻头外缘回转线速度以 0.8m～1.5m/s 为宜；钻遇严重破碎地层可降低到 0.6m/s 以内；地层完整、硬度较低、钻孔较浅、用常规口径钻进时转速为 70～200r/min，大口径为 30～60r/min。

泵量：以满足钻井液上返速度 0.1～0.5m/s 为宜，条件允许时取大值。使用空气钻进时上返风速以 15～25 m/s 为宜。

7.3.3.2 金刚石复合片钻头钻进

钻压：以钻头直径单位长度 0.10～0.49kN/mm 为宜。

转速：以 60～300r/min 为宜。

泵量：以 600～2500L/min 为宜。

7.3.3.3 液动潜孔锤钻进

钻压：使用全面钻进球齿冲击钻头时，按钻头直径单位长度所需压力，在中硬以上岩层中钻进宜采用 0.055～0.20 kN/mm，采用牙轮钻头时，应选用常规回转钻进钻压的 1/5～1/2。

转速：一般在 30～60r/min。硬岩或强研磨性岩石，转速以 30～45r/min 为宜；对于裂隙发育的岩层和软塑性岩石，转速宜选用 120～170r/min。

泵压和泵量：泵压和泵量按产品使用说明选择。

7.3.3.4 气动潜孔锤钻进

a) 供气量：排渣通道上的上返速度不低于 15 m/s；

b) 供气压力：供气压力不低于孔内最大水柱高度时的启动风压与空气潜孔锤工作风压之和；

c) 钻压：钻头直径单位长度压力为 0.06～0.08 kN/mm；

d) 转速：一般以 20～50 r/min 为宜；

e) 根据不同的井深、井径、地层漏失情况和地层岩性，确定使用空气泡沫的井段，并根据井深、井径和地层岩性特征计算出合理的空气注入量和相应的泡沫配方。

7.3.3.5 气举反循环钻进

钻进技术参数为:

a) 沉没比(气水混合器埋入水下的深度与其至气水龙头顶端出口距离的比值):一般气举反循环钻进沉没比应大于 0.5;

b) 气压:气举反循环的供气压力一般在 0.6 MPa 以上;

c) 供气量:在气水混合比为 1.4~1.7, 流体上返速度为 3 m/s~4 m/s 时, 气举反循环达到最佳排渣效果, 一般供气量 $\geq 6 \text{ m}^3/\text{min}$;

d) 气水混合器位置:气水混合器以下至钻头的钻具长度一般为气水混合器沉没深度的 2 倍~5 倍。

e) 钻压: 钻头直径单位长度的压力为 0.06 ~0.12 kN/mm;

f) 转速:40~80r/min。

7.3.4.6 喷射钻进

a) 泵压: 一般不低于 13MPa;

a) 转速: 根据使用钻头而定;

b) 泵量:钻头喷嘴的喷射速度应达到 100m/s 以上。

7.4 井底动力钻具复合钻进

说明: 复合钻进可以大幅度提高钻井效率, 减少井内事故。本部分结合国内工程实践规定了转盘(顶驱)+螺杆钻复合钻进、转盘(顶驱)+涡轮钻具复合钻进的工作条件、技术参数和操作要点。

7.4.1 转盘(顶驱)+螺杆钻复合钻进

7.4.1.1 工作条件

a) 螺杆钻具适用于各种类型, 不同密度的钻井液, 包括淡水、盐水、油基钻井液, 乳化钻井液, 高粘度钻井液, 使用螺杆钻具应控制钻井液含砂量小于 0.3%;

b) 对于井底温度比较高井段, 应选用耐高温的螺杆钻具(常规螺杆的耐高温指标为 120°), 一般的按孔底钻井液循环温度来选择使用常规螺杆和耐高温螺杆钻具;

c) 根据井眼大小确定使用螺杆钻具的尺寸;

7.4.1.2 技术参数

a) 螺杆钻具的工作排量按螺杆钻具使用说明的范围选择;

b) 螺杆钻具的工作压力按螺杆钻具使用说明的范围选择;

c) 转盘(顶驱)应采用低转速。

7.4.1.3 操作要求

a) 入井前检查

检查螺杆钻具规格型号, 记录系列号等相关数据; 检查丝扣、外观等有无损坏。

检查旁通阀是否工作正常; 如果是弯螺杆需检查其弯度及弯向是否与其标记方向一致; 丈量长度和内外径并做好记录; 仪器、定位接头入井前要进行校正。

b) 入井使用

定向前最后一躺钻必须充分循环清洁井底, 确保螺杆一次到底; 螺杆钻具入井前要在井

口进行试运转，并记录压降，如果压降不正常不得入井，不得带钻头试运转螺杆；下钻时下钻速度应小于 1.5m/s。遇阻时应开泵循环划眼，应视井下情况，间断转动钻具防止划出新井眼。在深井或井下温度高的井况中，下钻时要分段进行循环。不可顿钻或将钻具压在井底。

c) 钻进

下钻至井底 2m~3m 开泵循环，小排量循环正常后，排量逐步加大到推荐范围，记录此时空载泵压，然后缓慢下放到孔底；在初始使用时，工作前两个小时钻压和排量控制在使用说明书推荐的 80% 以内，待钻具轴承等部件得到磨合后，再逐渐增加钻压和排量至额定值钻；井过程中密切注意泵压变化，使钻具在额定压降范围内工作，防止憋泵；弯接头或弯外管弯角大于 1.5° 时，不能采用复合钻进；在钻时较慢时，注意活动钻具，防黏、卡钻具；记录螺杆钻具的使用时间，不宜超过推荐使用时间，并注意观察上返钻井液中是否含破损橡胶，以判断螺杆橡胶是否损坏；在扭方位段，由于产层已经打开，裸眼段长，起钻前充分冷却产层 2 周以上，起下钻环空泥浆泵压井排量不得低于 35L/S，防止螺杆砂卡。

d) 空气螺杆钻进

由于空气螺杆的特殊性，到井底后先开泵正常后，再开空气钻，钻进结束后，先停空气钻，再停泵；钻井液泵排量 30~35L/S，空气排量为 50m³/min。如果携砂不好，可增加泡沫浓度或空气量；钻压由定向工程师根据实测数据计算反扭角，及时作出调整；定向钻进和扭方位时要校准钻压值，钻压控制在 80KN 以内，并保持稳定，防止由于钻压变化造成反扭角的不断变化而影响施工进度；每钻完 1 个单根用螺杆进行划眼 1 次，以保证下一趟钻具顺利下入；在钻遇硬地层及出现“台阶”进尺缓慢时，可采用转盘、螺杆交替复合钻进。在使用转盘钻进时，转速控制在 40 r/min 以内；测斜前保证井底清洁，防止沉砂卡钻，井口必须连接旋塞，防止测斜过程中发生钻杆内喷；定向或扭方位必须接单根测斜，正常钻进时，为防止沉砂卡钻，测斜时不接单根。

e) 维护保养

螺杆钻具起出后，应清洗干净、保养丝扣；检查各零部件的安全性（各部位丝扣有无刺坏、本体有无弯曲变形、轴承磨损、橡胶破损等），做好记录，根据使用时间及时维修；若暂停使用或长时间不用，应向螺杆内注入少量的机油以防腐蚀。

7.4.1.4 其他使用要求

其他使用维护要求参照 SY/T5547-2012 执行。

7.4.2 转盘（顶驱）+涡轮钻具复合钻进

7.4.2.1 工作条件

一般要求钻井液密度不大于 1.3g/cm³，钻井液含砂量应小于 0.3%。加重剂禁用铁矿粉，堵漏材料颗粒直径要求低于 2mm。

7.4.2.2 工作参数

a) 马达流量

应根据说明书规定的马达流量以及钻井作业的要求，调整钻井泵的参数（缸径、冲数等）。

b) 马达压降

马达两端应有足够的压降来满足钻具所需要的输出扭矩。泵压（注入压力）太低或钻柱循环阻力太大将降低马达工作所需要的马达压降，从而使涡轮钻具不能正常工作。应确保泥浆泵性能和钻井液管线承压能力符合要求。

c) 扭矩

为获得正常的工作扭矩，可通过观察指重表，在允许的范围内逐渐增加钻压，使钻具达到预期扭矩。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/098022006137006036>