

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0260—XXXX

代替 DZ/T 0260-2014

地热钻探技术规程

Code of practice for geothermal drilling

(报批稿)

(2023.9)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 地热钻探工程设计	2
4.1 地热井类型	2
4.2 地热井井身结构	3
5 地热钻探施工设计	4
5.1 设计编制要求	4
5.2 设计内容	4
5.3 设计审批与变更	5
6 钻井设备选择与安装	5
6.1 设备选择	5
6.2 井场布设要求	5
6.3 设备安装要求	6
6.4 机具与材料准备	6
6.5 开钻验收	7
7 地热井钻进	7
7.1 一般原则	7
7.2 钻进方法选择	7
7.3 全面钻进	8
7.4 取心钻进	11
7.5 扩孔钻进	12
7.6 定向井钻进	13
7.7 高温地层钻进	15
7.8 钻井质量要求	15
8 钻井液	16
8.1 钻井液类型与适用条件	16
8.2 钻井液配制	17
8.3 钻井液现场测试	19
8.4 钻井液管理与维护	19
8.5 热储层保护要求	20
8.6 护壁与堵漏措施	20
9 地热井录井	21
9.1 录井设备和材料配备	21
9.2 录井项目	21
9.3 录井技术系列	21

9.4 录井技术要求	21
9.5 录井解释	23
10 地热井测井	23
10.1 基本要求	23
10.2 地热井测井技术	23
11 地热井成井工艺	24
11.1 基本要求	24
11.2 井眼准备	24
11.3 下管	24
11.4 固井	26
11.5 洗井	27
12 产能试验	28
12.1 基本要求	28
12.2 抽水试验	28
12.3 回灌试验	29
12.4 放喷试验	30
12.5 产能试验资料整理	30
12.6 样品采集与化验	30
13 常见井内事故预防与处理	30
13.1 基本要求	30
13.2 卡钻	30
13.3 井壁坍塌	31
13.4 钻具事故	32
13.5 井内落物	32
13.6 井喷和有害气体侵害	33
14 压裂增产	33
14.1 适用条件	34
14.2 设备及机具	34
14.3 压裂层段选择	34
14.4 压裂液材料准备	34
14.5 设备机具检查与安装	35
14.6 施工及操作要求	35
15 地热井工程质量验收	36
15.1 优良井	36
15.2 合格井	36
15.3 不合格井	36
16 地热井修复	36
16.1 涌砂探查与修复	36
16.2 水量减小及修复	37
16.3 井管失效处理	37
16.4 井内落物处理	37
17 技术报告编写与资料归档	37
17.1 技术报告编写	37

17.2 资料归档 38

18 健康、安全与环境管理 38

18.1 健康管理 38

18.2 安全管理 39

18.3 环境保护 39

附录 A （资料性） 钻探设计用表 41

附录 B （资料性） 地热钻探施工设计编写提纲 43

附录 C （资料性） 地热钻探施工技术报告编写提纲 45

参考文献 47

前 言

本文件按照 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范》的规定起草。

本文件代替 DZ/T 0260-2014《地热钻探技术规程》，与 DZ/T 0260-2014 相比，除结构性调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 将“总则”更改为“地热钻探工程设计”，删除了“基本要求”（见第4章，2014版的4.1）；
- b) 增加了“地热井类型”的分类方式及主要应用（见4.1，2014年版的4.2.1），增加了“地热井井身结构”设计原则、依据、考虑因素、要求等（见4.2，2014年版的4.2.2）；
- c) 将“地热钻探工程设计”更改为“地热钻探施工设计”（见第5章，2014版的第5章）；
- d) 将“设计内容”更改后纳入到“附录B”（见5.2、附录B，2014版的第5.2）；
- e) 更改了“设计审批和变更”（见5.3，2014版的第5.1.13）；
- f) 更改了“地热井钻进”的内容（见第7章、2014版的第7章），将2014版“地热井钻进特殊要求”修改后并纳入后续章节（见2014版7.6）；
- g) 更改了钻井液性能参数测试要求（见8.2、8.3, 2014版的8.2.4、8.3.2），增加了“热储层保护”（见8.5）；
- h) 增加了“地热井录井”章节（见第9章，2014版的7.6.3）；
- i) 增加了“地热井测井”章节（见第10章，2014版的9.1）；
- j) 更改了“成井工艺”的内容（见第11章，2014版的第9章）；
- k) 将“抽水试验”更改为“产能试验”，并独立为第13章，增加了“回灌试验”、“放喷试验”、“产能试验资料整理”内容（见第12章，2014版的9.9）；
- l) 增加了“井壁坍塌事故”、“钻具事故”的预防及处理（见13.2、13.3）；
- m) 删除了“工程质量要求”、“工程质量保证措施”（见2014版的13.1、13.2）；
- n) 更改了“地热井工程质量验收”（见第15章，2014版13.2.6）；
- o) 增加了“环境保护”的要求（见18.3，2014版的15.3）；
- p) 删除了附录“钻井液处理剂”、“国产三牙轮钻头”（见2014版的附录B、附录C）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本文件起草单位：中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、中国地质大学（武汉）、北京市地质勘察技术院、中国地质科学院勘探技术研究所、天津地热勘查开发设计院、中石化绿源地热能开发有限公司。

本文件主要起草人：潘德元、胡郁乐、彭新明、孙建华、鲍卫和、郑继天、袁桂琴、郭世炎、李小杰、何计彬、杜槟、李梦、杨涛、孙跃、王杰。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2014 年首次发布 DZ/T 0260-2014，本次为第一次修订。

地热钻探技术规程

1 范围

本文件规定了地热钻探工程设计、设备选择、钻进工艺、成井工艺、产能试验、工程质量、资料整理、安全施工、职业健康与环境保护等技术要求，可作为地热钻探设计、施工、管理等各项工作的依据。

本文件适用于勘探或开发地热蒸汽和地热水的钻探工作，其他钻探工作可参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 11615 地热资源地质勘查规范
GB/T 50027 供水水文地质勘察规范
GB 50296 管井技术规范
AQ 2004 地质勘探安全规程
DZ/T 0148 水文水井地质钻探规程
DZ/T 0227 地质岩心钻探规程
DZ/T 0304 多工艺空气钻探技术规程
DZ/T 0355 气举反循环钻探技术规程
NB/T 10099 地热回灌技术要求
NB/T 10269 地热井测井技术规范
SY/T 5172 直井井眼轨迹控制技术规范
SY/T 5251 油气井录井项目及录井质量要求
SY/T 5431 井身结构设计方法
SY/T 5619 定向井下部钻具组合设计方法
SY/T 6348 录井作业安全规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地热钻探 **geothermal drilling**

勘探或开发地热蒸汽和地热水的钻探工程。

3.2

地热井成井 **geothermal well completion**

地热井达到预定深度或预期目的后，为满足地热资源开采而进行的井下作业。

3.3

泵室段 **pump chamber section**

置泵段

地热井中放置潜水泵的井段。

3.4

产能试验 **yield test**

地热井完井后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的试验。

注：产能试验包括抽水试验（降压试验）、放喷试验和回灌试验等。

4 地热钻探工程设计

4.1 地热井类型

4.1.1 按钻探目的可分为：

- a) 勘探井：用于调查勘探区有关地层剖面结构、厚度，埋藏深度，以及断裂构造等情况。多用于勘探程度不足，基本地质情况不明的地区。通常采用井径较小的取心钻进工艺，钻进及取心工艺按 DZ/T 0227 执行，应满足简单抽水试验要求及地热钻探井控要求；
- b) 勘探开采井：通过地球物理勘探、资料收集和综合分析，勘探区具有地下热储的形成条件，但尚有一些信息有待查明，为满足勘探和开采需求布置的勘探开采井。应满足开采井要求，并留有一定余地防控勘探风险。根据所需查明的地质资料，加强录井工作，分段钻取岩心；
- c) 开采井：在已控制了区域范围的地热田内，基本查明了热储层的层位和深度，按照合理的井距，部署以开采地热资源为目的的地热井，可简化录井和取心要求；
- d) 回灌井：为保持热储层的储量和水位，实现注采平衡，将利用后的地热尾水进行回灌的地热井。通常与开采井形成井组，回灌井钻探工程应满足开采井的需求，二者之间可根据地热资源开采情况进行转换。

4.1.2 按热储层类型可分为：

- a) 孔隙型热储地热井：目的储层的热储结构主要为孔隙型的地热井，井眼直径和成井工艺设计可按 DZ/T 0148 执行；
- b) 裂隙型热储地热井：目的储层的热储结构主要为基岩裂隙（岩溶或构造）型的地热井，可根据储层的稳定情况及地热井目的选择成井工艺，主要有裸眼成井、过滤管成井、射孔成井等。

4.1.3 按井眼轨道设计可分为：

- a) 直井：井眼轨道设计为铅垂线的地热井，可用于地热资源的勘探和开发；
- b) 定向井：受地形、建筑物限制、地质构造、热储开发要求等因素影响，按照设计的井眼轨道施工，设计的目标点与井口不在同一铅垂线上的地热井。可与其他井形成丛式井组、对接井组，便于地热资源的开发利用和集中管理。

4.1.4 按取热方式可分为：

- a) 取水地热井：将地热储层中的地热流体开采至地表，在地面进行热交换或直接应用以获取地下热能的地热井，即常规地热井；
- b) 取热不取水井：通过闭式循环系统在热储层中完成热交换以获取地下热能的地热井，无需开采地下流体，可减少地热资源开发利用对环境的影响。闭式循环系统可由单井或多井组成，钻探工程设计及成井工艺应满足其设计要求。

4.2 地热井井身结构

4.2.1 设计原则

- 4.2.1.1 有利于“安全、环保、优质、高效”的钻井要求。
- 4.2.1.2 有效保护目标储层，科学合理地利用地热资源，同时避免对其他含水层产生影响。
- 4.2.1.3 有利于控制复杂地层，保持井壁稳定，预防井下事故。

4.2.2 设计依据

- 4.2.2.1 地热地质条件，包括地层岩性剖面、地层压力参数等。
- 4.2.2.2 地热井类型、成井工艺要求。
- 4.2.2.3 相邻区块参考井、同区块邻井实钻资料。
- 4.2.2.4 钻井装备及工艺技术水平。
- 4.2.2.5 钻井技术规范等。

4.2.3 必封点考虑因素

- 4.2.3.1 易坍塌地层、漏失性地层、断层以及其他特殊地层等。
- 4.2.3.2 非目的热储的含水层。
- 4.2.3.3 丛式井组中相邻井表层套管下入深度宜错开 10 m 以上，造斜点深度宜错开 30 m 以上。
- 4.2.3.4 其他特殊工艺井的要求。

4.2.4 井身结构要求

- 4.2.4.1 地热井泵室段深度与井径应满足地热资源的开采需求，并需考虑长期开采引起的储层压力变化情况，同时结合必封点条件封隔相应的地层。
- 4.2.4.2 根据地热资源的开发需求和地质条件合理选择井径、目的层段长度和成井方式等。目的储层段宜与其他地层封隔。
- 4.2.4.3 根据地热探采目的、设计使用寿命、钻遇地层特点、经济效益等因素，合理选择套管材质、钢级、壁厚等参数。目的层段过滤管参数选择应按照 GB 50296 执行。
- 4.2.4.4 井径尺寸与套管尺寸之间配合按 SY/T 5431 执行，各开次套管之间采用穿袖式或悬挂式连接，需做好封隔止水作业，套管之间重叠段长度宜不小于 30 m。
- 4.2.4.5 当钻遇地层条件复杂时，采用多开次设计的井身结构应避免井径相差过大，必要时可采用回接套管、活动套管等工艺。钻遇高温高压热储时，应将技术套管下至井口。
- 4.2.4.6 在满足安全、经济等前提下，优化井身结构、优选固井方式以降低地热流体沿程热损，提高地热资源开发利用效率。

4.2.4.7 应按设计要求固井，封隔上部地层，提高成井质量：

- a) 各开次套管宜全井段固井；
- b) 当固井段较长时，在保证成井质量的条件下，可综合考虑地层破裂压力、固井施工难度、经济效益等因素，合理选择跟踪固井、分段固井等特殊固井工艺；
- c) 当存在多层热储时，应根据开采需求及储层特点制定方案。

4.2.4.8 常用的地热井井身结构和设计方法：

- a) 砂岩孔隙型地热井通常选用一开、二开井身结构，储层埋深较大时可选用三开井身结构。目的层段过滤管与井眼环空间隙应适度增大，选用填砾止水成井工艺时，应按 DZ/T 0148 执行；
- b) 基岩裂隙型地热井通常选用三开、四开井身结构，封隔上部松散地层及复杂地层；
- c) 孔隙型热储井完井直径不宜小于 215.9 mm，裂隙型热储井完井直径不宜小于 152.4 mm；
- d) 常用的地热井井径尺寸与套管尺寸配合见表 1，其他尺寸配合宜按 SY/T 5431 执行。

表 1 常用地热井井身结构参数

单位为毫米

钻进开次	井眼直径	下入套管规格
一开	444.5	339.7
二开	311.2	244.5
三开	215.9	177.8
四开	152.4	裸眼或下入过滤管

5 地热钻探施工设计

5.1 设计编制要求

5.1.1 地热钻探施工设计应根据工程特点和施工条件，在施工单位技术负责人的主持下，由地质、钻探、泥浆、安全与绿色勘查及其他技术人员共同编制，应符合国家、行业及地方有关地热勘探开采的要求和规定。

5.1.2 收集工作区及周边已有区域地质和城市地质资料，为设计提供依据。

5.1.3 井位位于城市建成区和人口、建筑密集区时，设计编制前须对涉及到的深部地层充分开展地球物理探测，辨识地面塌陷、地面沉降、水土突涌等隐患，并组织专家论证施工安全性。

5.1.4 收集井场调查资料（自然环境、地形地貌、交通和土壤情况等）和相邻井钻井资料。

5.1.5 应根据钻井深度、井眼直径、钻遇地层和井控要求等，合理选择钻井装备和井控装置。

5.1.6 井身结构应满足钻井、成井目的以及获取地热资源参数的需要。

5.1.7 套管程序宜备用一级直径。

5.1.8 钻井液性能应满足钻井工艺要求，有利于保护热储层，避免或减少对地层的污染。

5.1.9 制定井场防护措施，应优先选用环保型装备和材料，避免或降低对周围环境的影响。

5.1.10 有关设计内容宜用图表形式表示，表格形式参见附录 A。

5.2 设计内容

地热钻探施工设计包括工程概况和编写依据、地质条件及目的储层预测、钻井质量要求、井身结构设计、钻井设备及场地部署、钻进工艺、钻井液、事故预防措施、地热井录井和测井要求、地热井井控、成井工艺、产能试验、钻井交付、环保措施、施工组织管理等内容。设计的编写提纲参见附录B。

5.3 设计审批与变更

5.3.1 地热钻探施工设计经编制单位审核后提交，任务下达单位审批后方可实施。

5.3.2 项目实施过程中，如需对设计进行变更，应征得任务下达单位同意，变更后的设计获批后方可执行。

6 钻井设备选择与安装

6.1 设备选择

6.1.1 根据设计井深、地质情况、钻进工艺方法、井身结构等条件选择钻机类型。

6.1.2 钻机的配套设备应满足常规钻机配套的基本要求，可结合地热钻探实际情况进行选择性配置。

6.1.3 根据钻井液固相控制需要选择合适的固控系统。

6.1.4 根据钻机类型、井场条件、环保要求及施工成本，确定主要动力类型和功率，并配备相应的应急备用动力。

6.1.5 根据地热井施工及洗井的需求，选用满足风量及风压要求的空压机。

6.1.6 根据预期井口压力及安装套管的尺寸选择防喷器，其额定压力应大于预测井口压力的 1.5 倍，并配齐相应节流压井管汇、钻井四通、放喷管线以及内防喷工具等。

6.2 井场布置要求

6.2.1 井场修建

6.2.1.1 井场地基应平整、坚固、稳定。

6.2.1.2 井场区域应满足钻井设备和辅助设备的安装，满足各类管材、钻井液材料等物资的存放，便于测井、固井、压裂等阶段性作业设备的安放及进出。

6.2.1.3 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小于 80° ；松散不稳定时挖方坡度应小于 45° 。

6.2.1.4 尽量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。

6.2.1.5 井场地基修建前，应探明地上地下各类构筑物及管线现状、以及与地基之间的位置分布状况，如在井场影响范围之内应制定保护措施，并上报任务下达单位及主管部门。

6.2.1.6 井场地基修建时，要确保井架在安装（起落）过程中或工作时，井架主体及附属设施与场地上空的高压输电线路的安全距离符合 AQ 2004 要求。

6.2.1.7 根据井场地基承载力、钻机设备和钻井工程的要求合理选择钻机基础型式，须确保钻机安全生产的需求。

6.2.1.8 进出井场的道路及井场内地基应能保证重载车辆、大吨位吊车的安全通行与作业。

6.2.2 井场布置

- 6.2.2.1 钻探主体设备的布置应以确定的井位中心为基准，进行合理就位与安装。
- 6.2.2.2 附属设备布置应紧凑、整齐，便于维修维护和安全操作。
- 6.2.2.3 工作场地布置应符合安全施工、文明施工及环保等要求。
- 6.2.2.4 钻井液储集设施的容量除应满足钻井施工中的正常循环外，还应足以容纳固井和完井作业时排出的井内钻井液。

6.3 设备安装要求

6.3.1 井架安装

- 6.3.1.1 井架及其附属设施的安装，应符合设施设备安装规范要求。
- 6.3.1.2 井架的安装和起落作业，应有专人指挥，各岗人员应按指令操作，相互配合，严禁违章作业。

6.3.2 钻机安装

- 6.3.2.1 应按照确定的井位及钻机各部分的安装顺序进行安装。
- 6.3.2.2 钻机及井架安装完毕，调整对正井位后，应紧固各个部位的连接螺丝，锁紧支腿螺母。
- 6.3.2.3 钻机安装完毕后应进行自检，并试运转检测，若无异常，再次对各部位的连接螺丝、螺栓紧固。

6.3.3 钻井液循环系统安装

- 6.3.3.1 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。
- 6.3.3.2 钻井液循环罐、配浆罐、加药罐、沉砂罐安装及管汇连接应利于钻井液配制和泥浆泵供液，固控系统的布置有利于除泥、除砂、运砂。

6.3.4 其他设施设备安装

- 6.3.4.1 井场安全设施应符合安装要求，确保齐全、有效，包括消防器材、避雷器、绷绳、皮带防护罩、防护栏杆、动力机灭火罩及安全标识、标牌等。
- 6.3.4.2 在有毒有害气体区域作业的井队应配备有毒有害气体检测仪和正压式呼吸器。
- 6.3.4.3 用电装备、控制开关、连接线路的布置及技术参数应完全满足钻井施工要求，并有一定的能力储备。
- 6.3.4.4 在相应的钻进施工阶段严格按照井控设计安装井控设备，并试压合格。
- 6.3.4.5 其他事项和安全要求执行 AQ 2004 的规范要求。

6.4 机具与材料准备

6.4.1 机具准备

- 6.4.1.1 根据井身结构设计、热储层岩层特征、采用的钻井工艺及钻进技术要求，准备好各种相应规格的钻井管材。
- 6.4.1.2 根据钻井的岩层可钻性、设计井径、钻进工作量等，配备不同种类、数量和规格的钻头。

6.4.1.3 根据管材的种类、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、游车等。

6.4.1.4 根据钻井工艺设计和钻进技术要求，配备井下工具及事故处理工具。

6.4.2 材料准备

6.4.2.1 根据钻井施工设计要求和热储层保护方案，备足钻井液基浆材料、各种化学添加剂、热储层暂堵剂等。

6.4.2.2 根据固井止水工艺和质量要求，准备好止水、固井材料及其相应的添加剂。

6.5 开钻验收

6.5.1 开钻前，施工方应对施工井场的钻机及附属设备安装调试情况、安全设施配备情况、环保措施落实情况进行全面检查，并落实安全与技术交底。

6.5.2 施工方检查合格后，报主管部门或授权的工程监理机构复检或验收。

6.5.3 验收合格后，由主管部门或授权的本工程监理机构，签发工程开工令。

7 地热井钻进

7.1 一般原则

7.1.1 地热井钻进应优先选用成熟可靠的工艺方法。

7.1.2 钻进方法应有利于井眼稳定和井下安全，能有效保障井身质量。

7.1.3 应有利于降低地热井施工难度，提高钻进效率。

7.1.4 应有利于地热资源勘探开发和保护热储层。

7.2 钻进方法选择

根据地热井类型、井身结构设计、钻遇地层和热储层的特点以及设备能力等因素，确定钻进方法和选用钻具，可参照表 2 综合考虑。

表 2 钻进方法及适用条件

钻 进 方 法		适 用 条 件	特 点
全面钻进	牙轮钻头钻进	第四系松软地层、卵砾石层及完整、破碎、致密、强研磨性等多种地层。	适用范围广、效率高。
	金刚石复合片钻头钻进	软至中硬岩层。	金刚石复合片钻头采用低钻压、高转速获得较高的钻速，可与井下动力钻具配合应用。
	合金刮刀钻头钻进	第四系松软地层及中硬以下较致密、完整基岩。	钻头加工容易，成本较低。
	气动潜孔锤跟管钻进	含有漂石、卵砾石不稳定第四系覆盖层，厚度一般<50 m。	以潜孔锤破碎岩石，钻头超前钻进，套管随后紧跟，对易坍塌的卵砾石地层极为有效。
	气动潜孔锤正（反）循环钻进	基岩及第四系胶结、半胶结地层和卵、砾石层钻进。尤其适用于缺水或供水困难地区。	以潜孔锤冲击破碎岩石，钻效高，且不污染含水层、成井后洗井容易。

表 2 钻进方法及适用条件（续）

钻 进 方 法		适 用 条 件	特 点
全面钻进	气举反循环钻进	第四系砂土、砂粒层以及各类稳定性较好的基岩，具备较稳定的自然水位，井深宜>30 m后使用，应保证充足施工用水。	钻井冲洗液上返速度快、洗井彻底，孔内干净，钻进效率高，成井后洗井容易，对含水层没有淤塞作用。
	液动冲击回转钻进	坚硬岩层钻进，常规钻井口径。	具有冲击和回转双重碎岩作用；可以使用钻井冲洗液护壁，不受水位限制，能在深井钻进。
	空气钻进	自稳性较好、含水量较少的地层、严重漏失的地层，适宜在缺水地区、寒冻地区施工。	以压缩空气、低密度气液混合物为循环介质，钻进效率高、地层损害小。
取心钻进	硬质合金钻进	第四系松软地层及可钻性 4 级以下岩层。	钻头易加工，操作简便，钻进效率较高。
	金刚石复合片钻进	软至中硬岩层。	所需钻压较小、钻速高、钻头寿命长。
	金刚石钻进	中硬至坚硬岩层。	硬岩钻进效率高，钻井质量高，取心效果好，钻探成本较低，可配合井下动力钻具应用。
	冲击回转钻进	硬质合金冲击回转钻进适用于可钻性 5 级～6 级和部分 7 级的岩层；金刚石冲击回转钻进适用于可钻性 6 级～12 级坚硬致密地层。	提高钻进效率，减轻岩心堵塞，缓解硬岩中钻头“打滑”问题。
扩孔钻进	牙轮、金刚石等扩孔钻进	加深或口径改变（如探采结合）时采用，也用于取心后扩孔、处理事故扩孔等。	口径变化灵活；可根据设备和钻具扩孔能力调整；扩孔钻进风险较高。

7.3 全面钻进

7.3.1 钻进工艺选择

7.3.1.1 钻井液正循环回转钻进工艺适用于大部分地层；在较硬的稳定地层中可选用气动、液动潜孔锤或气举反循环钻进工艺；在稳定的热储层中可选用空气泡沫钻进或气举反循环钻进工艺。

7.3.1.2 浅层基岩地区可选用潜孔锤冲击回转钻进、扩孔钻进工艺。

7.3.1.3 深部井段宜根据井下条件及地层情况选择井下动力驱动的钻进工艺，提高钻进效率。

7.3.1.4 钻遇严重漏失井段甚至发生失返、且井壁稳定性较差时，可采用较低的钻进参数进行顶漏钻进，钻至较稳定地层后应及时对漏失段进行处理，需注意井壁稳定、井内沉砂情况，防止井下风险。

7.3.2 钻头选择

7.3.2.1 全面钻进优先选用金刚石复合片钻头和牙轮钻头，根据岩石硬度、研磨性和地层均质性、完整性选择相应的型号，并结合工作区尤其是邻井实钻资料优选，进而确定全井钻头类型序列。

7.3.2.2 牙轮钻头适用于多种地层。松软地层（可钻性小于 5 级）宜选用铣齿牙轮钻头，砂砾岩和基岩地层（可钻性大于 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，在造斜、侧钻、纠斜等钻进时，宜配合井下动力钻具，选用适于高转速的牙轮钻头。

7.3.2.3 金刚石复合片钻头适用于软至中硬、岩性较均匀的地层，不适用于破碎、软硬变换频繁的地层。硬而脆的地层宜选用切削齿出刃小、布齿密度大的类型，软地层应选用切削齿出刃大、布齿密度小的类型。适于较高转速和较大排量，可配合井下动力钻具使用。

7.3.2.4 刮刀钻头有两翼、三翼、四翼、六翼，底部有为阶梯型、锥形、矛式和塔式等型式。一般刮刀钻头适用于可钻性 1 级~4 级的松软岩层。三翼钻头可用于松软至中硬岩层钻进。四翼钻头可用于中风化基岩或硬土层钻进。六翼钻头可用于大直径表层钻进。镶齿刮刀钻头、金刚石刮刀钻头可用于 5 级~7 级的中硬岩层钻进。

7.3.2.5 液（气）动潜孔锤钻进可使用全面钻进球齿冲击钻头、牙轮钻头或其它专用冲击钻头。

7.3.3 钻具组合

7.3.3.1 钻具组合设计应能有效控制井斜和全角变化率，提高钻进效率，保证井身质量，满足设计要求和地热井成井需要。

7.3.3.2 泵室段与易斜地层直井段宜选用防斜钻具组合，优选钻进参数，加强井斜测量，保障井身质量；定向井段应根据井眼轨道设计选用钻具组合，随钻测量井眼轨迹参数，确保符合设计要求。

7.3.3.3 不同钻进工艺的推荐钻具基本组合如表 3 所示，各类钻具的长度配合宜按照 SY/T 5172 和 SY/T 5619 规定执行。

表 3 常用的钻具组合

钻进工艺	钻 具 组 合
回转钻进	常规钻具组合：钻头+钻铤+钻杆； 塔式钻具组合：钻头+大尺寸钻铤+中尺寸钻铤+小尺寸钻铤+钻杆； 钟摆钻具组合：钻头+钻铤（易斜地层选大钻铤或加重钻铤）+稳定器+钻铤+钻杆； 满眼钻具组合：钻头+钻头稳定器+短钻铤+稳定器+钻铤（1~2根）+稳定器+大钻铤1根+稳定器+钻铤+加重钻杆+钻杆。
复合钻进	钻头+井下动力钻具+钻铤+钻杆； 钻头+井下动力钻具+钻铤+稳定器+钻铤+钻杆。
定向钻进	钻头+弯外壳井下动力钻具（涡轮、螺杆等）+无磁钻铤（或无磁加重钻杆）+钻铤（加重钻杆）+钻杆； 钻头+井下动力钻具（涡轮、螺杆等）+弯接头+无磁钻铤+钻铤（加重钻杆）+钻杆。
气举反循环钻进	反循环钻头+钻铤+加重钻杆+单壁钻杆+气水混合器+双壁钻杆+双壁主动钻杆+气水龙头（气盒子+水龙头）。

7.3.3.4 根据钻井直径，常用钻具规格尺寸见表 4。

表 4 常用的钻具规格尺寸

钻头直径 mm	钻 具 组 合
≥444.5	钻头+Φ228.6 mm钻铤+Φ203.2 mm钻铤+Φ177.8 mm钻铤+Φ127 mm钻杆。
311.2	钻头+Φ203.2 mm钻铤+Φ177.8 mm钻铤+Φ158.8 mm钻铤+Φ127 mm钻杆。
241.3	钻头+Φ177.8 mm钻铤+Φ158.8 mm钻铤+Φ127 mm钻杆； 或钻头+Φ165.1 mm（或158.8 mm）钻铤+Φ127 mm钻杆。
215.9	钻头+Φ165.1 mm（或158.8 mm）钻铤+Φ127 mm钻杆。
152.4	钻头+Φ120.7 mm钻铤+Φ88.9 mm钻杆。

7.3.4 牙轮钻头钻进

7.3.4.1 钻头使用注意事项：

- a) 检查钻头的型号、尺寸和完好性，按规定扭矩上紧扣；
- b) 下钻操作要平稳，不得猛蹶猛放，防止溜钻，当遇阻划眼时，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) 新钻头接触井底后在低钻压、低转速下跑合 0.5 h 以上，方可逐渐提高钻进参数至设计值，不得加压启动钻头；
- d) 以厂家推荐的钻压与转速的乘积为约束条件，不可同时使用最高推荐参数，做好钻速试验，即固定钻压或转速，调节另一参数，使得钻压和转速合理匹配，达到高钻速钻进；
- e) 分析岩性和钻头的工作情况，及时调整钻进参数，当钻头非正常工作或成本上升时应提钻更换钻头；
- f) 根据回转扭矩、钻进参数变化情况以及蹩跳、阻卡等现象及时判断钻头使用工况，工况异常时应提钻更换钻头；
- g) 钻头出井后及时观察磨损情况，分析钻头与地层的匹配效果。

7.3.4.2 钻进技术参数推荐：

- a) 钻压：按破碎岩石时钻头直径单位长度所需压力计算，并结合排量、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，钻压最大值不超过钻铤浮重的 80%；
- b) 转速：根据地层岩性、钻头直径、设备性能、钻具强度、井深、排量等合理选择，以 60 r/min~200 r/min 为宜，复杂条件时宜取低值；
- c) 排量：以满足钻井液上返速度 0.2 m/s~1.0 m/s 为宜，条件允许时取大值。

7.3.5 金刚石复合片（PDC）钻头钻进

7.3.5.1 钻头使用注意事项：

- a) 入井前保证井内清洁无落物；搬运时防止碰撞和冲击；使用专用上扣工具按规定扭矩上扣；
- b) 下钻操作平稳，中途遇阻应大排量、轻压慢转下放，避免强行划眼；下到最后一单根时应开泵循环并旋转，清除岩屑及沉砂；
- c) 钻头接触井底后应采用低钻压和低转速钻进 0.5 m 左右，完成新井底造型后，方可逐渐增加至设计钻进参数；
- d) 以厂家推荐的钻压与转速的乘积为约束条件，不可同时使用最高推荐参数；做好钻速试验，即固定钻压或转速，调节另一参数变化，使得钻压和转速合理匹配，达到高效钻进；
- e) 根据机械钻速优化钻压和转速；宜在软地层中采用高转速低钻压，中硬以上地层中采用低转速高钻压；
- f) 使用到后期应及时评估钻头使用情况，钻进效率降低时应及时起钻；钻进情况异常时，应及时提钻检查，分析出井钻头使用情况。

7.3.5.2 钻进技术参数推荐：

- a) 钻压：以钻头直径单位长度 0.10 kN/mm~0.49 kN/mm 为宜；
- b) 转速：以 60 r/min~300 r/min 为宜；
- c) 排量：以 600 L/min~3000 L/min 为宜，上返速度应不小于 0.5 m/s。

7.3.6 井下动力钻进

7.3.6.1 井下动力钻具选择：

- a) 根据地层岩性和钻进工艺对井下动力钻具的种类、规格型号进行选择。包括动力钻具外径与井眼直径的匹配，排量和转速的要求，工作钻压条件下的工作压降、输出扭矩和输出功率以及连接螺纹标准、钻具组合的强度和刚度等因素；
- b) 为提高钻进效率，保障井下工具使用寿命，较软地层宜选择低扭矩井下动力钻具，较硬地层宜选择高扭矩井下动力钻具；
- c) 根据钻遇地层预测温度选择井下动力钻具，中低温地热井可选用螺杆钻具，高温地热井可选用涡轮钻具；
- d) 宜采用牙轮钻头或金刚石复合片钻头与井下动力钻具配合使用，钻进参数应在井下动力钻具使用手册的推荐范围内，并结合钻进工况进行优化。

7.3.6.2 使用方法和注意事项：

- a) 钻井液固相含量与含砂量应满足井下动力钻具使用要求，减少钻具磨损，提高使用寿命；
- b) 入井前应进行地面检查及井口测试，包括轴承轴向间隙、旁通阀、传动轴等，并记录井口测试压降；
- c) 需控制下放速度，遇阻轻压慢放，上下活动钻具，不得长井段带井下动力钻具划眼，必要时应起钻采用常规钻具通井；
- d) 对于深井和高温井，下钻时宜周期性地进行循环冷却钻具；
- e) 钻进过程中，应准确记录泵压变化和使用时间，判断井下动力钻具使用情况。

7.3.7 其他钻进工艺

刮刀钻头钻进技术、气(液)动潜孔锤钻进技术、气举反循环钻进技术、空气钻进技术等按DZ/T 0148、DZ/T 0304、DZ/T 0355执行。

7.4 取心钻进

7.4.1 取心钻头与适用条件

根据设计取心井段的岩石硬度、研磨性、以及地层均质性和完整性选择取心钻头，选择方法可参照表 2 执行，地热勘探井小井径取心钻进工艺可按照DZ/T 0227执行。

7.4.2 取心钻具

地热取心一般为目的热储层，根据热储层的地层岩性、稳定性、岩心采取长度、井眼轨迹，常用取心钻具的按表 5 选择。

表 5 取心钻具及适用条件

取心钻具类型	特点和适用条件
单管取心钻具	无内岩心管，钻具结构简单。完整的中硬至坚硬地层中可采用卡簧或卡料卡断岩心，松软地层可采用干钻法。

表5 取心钻具及适用条件（续）

取心钻具类型	特点和适用条件
双管取心钻具	由内外岩心管组成，常用单动双管钻具，适用范围广，取心效果好。可配套井下动力钻具取心。
长筒取心钻具	含有两节以上的岩心筒，取心钻进中可接单根，可用于长井段连续取心作业，适用于胶结性和可钻性较好的地层。
定向井取心钻具	内管具有扶正机构，可用于大斜度井段取心作业。
岩心定向取心钻具	能够确定采取岩心的倾角、倾向等要素的取心，以确定地层参数。

7.4.3 取心钻进技术参数

7.4.3.1 应根据地层岩性、钻头类型、钻进方法、钻井深度和直径等因素选择钻进参数。

7.4.3.2 取心钻进通用技术参数为：

- a) 钻压：中硬至硬地层，以钻头直径单位长度选取，0.14 kN/mm～0.59 kN/mm 为宜；软地层应降低钻压 1/3；对于极软地层应及时送钻，以避免岩心冲蚀；
- b) 转速：以 60 r/min～80 r/min 为宜，软地层、无胶结及破碎地层应降低转速 1/3；井下动力复合钻进取心时，金刚石钻头底唇面的线速度范围以 1.0 m/s～3.0 m/s 为宜，地层完整致密时转速可适当增加；
- c) 排量：应根据地层及井径尺寸而定，软地层及破碎地层适当降低。井眼直径 $\phi 152.4$ mm 时，排量宜为 6 L/s～12 L/s；井眼直径 $\phi 215.9$ mm 时，宜为 16 L/s～28 L/s；井眼直径 $\phi 311.2$ mm 时，宜为 30 L/s～45 L/s。

7.4.4 钻进操作要求

7.4.4.1 保证井底无落物，井眼畅通，配合井下动力钻进时，应确保井壁稳定。

7.4.4.2 入井前应对取心工具进行保养，根据地层岩性、井下条件调整取心工具的间隙参数。

7.4.4.3 下钻操作平稳，控制下钻速度，遇阻不得硬压，遇阻经上下活动钻具无效时，应起钻通井，井眼畅通后再下入取心钻具。

7.4.4.4 不得带钻压启动转盘，使用井下动力钻具时，不得带钻压开泵。

7.4.4.5 初始钻压宜在 10 kN～20 kN，低转速钻进 0.1 m～0.3 m 完成树心后，逐渐调整到正常取心钻进参数。

7.4.4.6 取心钻进中，送钻均匀，无特殊情况时钻头不得提离井底，应密切注意泵压和钻速变化，出现泵压、扭矩异常情况时及时分析原因，如遇堵心、卡心、磨心等现象，应立即割心起钻。

7.4.4.7 割心时，软地层可直接上提拔心。硬地层可原转速转动 10 min～20 min，磨细底部岩心后，缓慢上提钻具割心，注意观察指重表显示情况确认割心结果。如果出现悬重持续增加时，应停止上提钻具，保持岩心受拉状态，回转钻具直至岩心拔断。

7.4.4.8 起钻操作平稳，不得猛刹骤停，不可单吊环起钻。

7.4.4.9 起钻过程中应及时向井内灌满钻井液。

7.5 扩孔钻进

扩孔钻进的技术参数和操作要求按DZ/T 0148相关规定执行。

7.6 定向井钻进

7.6.1 地热定向井设计要求

- 7.6.1.1 根据地质设计及工程技术条件，选用形状简单、易于施工的轨道。
- 7.6.1.2 定向井轨道设计宜选择在垂直剖面内，减小井眼曲率，缩短井身总长度。
- 7.6.1.3 宜利用地层自然造斜规律，设计井斜角、方位角、造斜率等参数。
- 7.6.1.4 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应不小于 50 m。
- 7.6.1.5 应控制造斜井段长度，合理选择井眼曲率，降低施工难度及风险。通常增斜率在 3 °/30 m 左右，降斜率在 1.5 °/30 m 左右。

7.6.2 直井段施工

- 7.6.2.1 应采用防斜钻具组合钻进。
- 7.6.2.2 泵室段和直井段宜接近铅垂线。
- 7.6.2.3 监测井眼轨迹数据，当井斜角或井底位移不符合井身质量要求时，应采用纠斜措施。
- 7.6.2.4 丛式井或存在相邻井时，应做防碰设计，绘制防碰扫描图，采取防碰措施。
- 7.6.2.5 直井段钻完后，按照两测点间不大于 30 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。

7.6.3 造斜施工

- 7.6.3.1 根据直井段实钻轨迹数据修正设计轨道。
- 7.6.3.2 根据邻井资料预测造斜工具的造斜能力，选择满足设计要求的定向弯接头或弯螺杆度数。
- 7.6.3.3 可选用“钻头+直螺杆+定向弯接头(1.5 °~2.5 °)”用于侧钻或造斜初期的井底造型。或选用“钻头+弯壳体螺杆”通过滑动+旋转方式造斜钻进，旋转钻进时弯壳体角度不宜大于 1.5 °。
- 7.6.3.4 使用电子单点测斜仪或陀螺测斜仪定向，钻进时应对井眼轨迹进行定点监测，及时调整工具面角。当实钻造斜率不符合轨迹控制要求时，应起钻更换钻具组合，调整定向弯接头角度或弯螺杆度数。
- 7.6.3.5 使用随钻测斜仪定向，钻进时应对实钻井眼轨迹进行随钻监控。当使用弯接头钻具组合，实钻造斜率不符合轨迹控制要求时，应起钻更换弯接头的角度。当使用弯螺杆钻具组合，实钻造斜率偏大时，可分段进行旋转钻进或者起钻调整弯螺杆度数；实钻造斜率偏小时，起钻调整弯螺杆度数。

7.6.4 斜井段钻具组合

- 7.6.4.1 增斜、稳斜、降斜钻具组合宜采用纵横弯曲连续梁法进行计算。
- 7.6.4.2 增斜常用钻具组合见表 6。

表 6 增斜钻具组合及配合尺寸

单位为米

类型	L ₁	L ₂	L ₃
强增斜组合	1.0~1.8	—	—

表 6 增斜钻具组合及配合尺寸（续）

单位为米

类型	L ₁	L ₂	L ₃
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：L ₁ 为钻头与第一扶正器之间长度；L ₂ 为第一个扶正器与第二个扶正器之间长度；L ₃ 第二个扶正器与第三个扶正器之间长度。			

7.6.4.3 稳斜常用钻具组合见表 7。

表 7 稳斜钻具组合及配合尺寸

单位为米

类型	L ₁	L ₂	L ₃
强稳斜组合	0.8~1.2	4.5~6.0	9.0
中稳斜组合	1.0~1.8	3.0~6.0	9.0~18.0
弱稳斜组合	1.0~1.8	4.5~9.0	9.0~10.0

7.6.4.4 降斜常用钻具组合见表 8。

表 8 降斜钻具组合及配合尺寸

单位为米

类型	L ₁	L ₂	L ₃
强降斜组合	9.0~27.0	—	—
	9.0~27.0	9.0~10.0	—
弱降斜组合	1.0~1.8	3.0~7.0	9.0~10.0

7.6.4.5 斜井段施工操作

7.6.4.5.1 按照设计钻井参数均匀送钻，实时监测轨迹变化，及时进行井眼轨迹预测及中靶分析，掌握井斜和方位变化的趋势。

7.6.4.5.2 螺杆钻具组合可通过滑动钻进调整井斜和稳定方位，达到设计要求。

7.6.4.5.3 可通过调整钻井参数实现井眼轨迹微调。

7.6.4.5.4 当实钻井眼轨迹不符合设计，不能满足中靶要求时，应起钻更换钻具组合，调整实钻轨迹。

7.6.5 定向钻井施工要求

7.6.5.1 应使用高强度的钻具。井下动力钻具应在井口试运转正常后方可下井，下钻遇阻不得硬压或扫孔，阻力大时应起钻更换钻具通井。

7.6.5.2 定向造斜钻进，应按规定加压，均匀送钻，以保持稳定的钻具反扭角。

7.6.5.3 钻井液中应保持较好的润滑性，减少钻具与井壁间的摩擦力。

- 7.6.5.4 在井眼曲率大的井段，起下钻应记录遇阻遇卡位置，结合测斜资料，判断井壁键槽位置，及时下入键槽破坏器处理，保持井壁光滑。
- 7.6.5.5 钻具组合变换时，应严格控制下放速度，遇阻不得硬压。采用刚性小的钻具组合钻进的井眼，应提前用刚性适中的钻具组合通井扫孔，方可下入刚性强的钻具组合。
- 7.6.5.6 应有效使用钻井液固控系统，控制钻井液性能，提高动切力，增强携带岩屑能力，降低钻井液含砂量。
- 7.6.5.7 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，并作出防碰图。
- 7.6.5.8 大斜度定向井或水平地热井施工时，宜尽量简化钻具组合，采用无磁承压钻杆或加重钻杆替代钻铤。宜采用倒装钻具组合，将钻铤置于小井斜井段。

7.7 高温地层钻进

- 7.7.1 在高温或蒸汽地热田钻进时，应安装井控装置，开钻前调试防喷器，使防喷器处于良好工作状态。应合理选择钻具内防喷装置、气体分离器、钻井液液面监测装置。
- 7.7.2 应安装钻井液冷却装置，选择抗高温钻头、井下钻具，宜采用大排量钻进参数。
- 7.7.3 依据地质条件和钻进工艺优选钻井液类型，根据井温预测情况选用抗高温处理剂及井下工具，采用符合 API 标准的高温钻井液测试仪器和方法。
- 7.7.4 钻具组合设计时，应在钻头之上和主动钻杆之下各设置一个止逆阀。

7.8 钻井质量要求

7.8.1 井身质量要求

- 7.8.1.1 要求井斜、方位、垂深、全角变化率、靶心半径指标应达到设计要求。
- 7.8.1.2 采用射孔完井的热储井段，平均井径扩大率宜小于 15%。
- 7.8.1.3 直井段每钻进不大于 300 m 应进行短程起下钻一次，进行不少于一次的井身质量数据采集，完钻后宜进行一次井斜、方位、井深的连续测量，数据采集间隔不宜大于 30 m。
- 7.8.1.4 斜井段每钻进 100 m~200 m 应进行一次短程起下钻，井身质量数据采集间隔不大于 30 m。
- 7.8.1.5 定向井的最大全角变化率，以钻杆疲劳破坏的全角变化率限定值和套管柱抗弯强度的全角变化率限定值中的最小值为准。
- 7.8.1.6 直井井斜、全角变化率及井底水平位移等指标不宜大于表 9 内相关要求。

表9 直井井斜、全角变化率和井底水平位移要求

井深 m	井斜角 °	全角变化率 °/30m	井底水平位移 m
0~300	≤1	≤1.50	≤5
300~1000	≤3	≤2.00	≤30
1000~2000	≤4	≤2.50	≤50

表9 直井井斜、全角变化率和井底水平位移要求（续）

井深 m	井斜角 °	全角变化率 °/30m	井底水平位移 m
2000~3000	≤6	≤3.00	≤80
3000~4000	≤8	≤4.00	≤120
4000~5000	≤10	≤5.00	≤160

7.8.1.7 常规定向井的最大全角变化率不宜超过 5°/30 m,如果连续三个测点的全角变化率超过 5°/30 m 为全角变化率超标，常规定向井的靶区半径按设计目标点的不同垂直深度确定，宜符合表 10 要求。

表10 定向井靶区半径要求

单位为米

井段	勘探井	开采井
0~2000	≤30	≤30
2000~3000	≤50	≤50
3000~4000	≤75	≤70
4000~5000	≤100	≤90

- 7.8.1.8 丛式井井眼轨迹间距不宜小于 4 m。
- 7.8.1.9 其他特殊要求的定向井，应在设计中明确要求。

7.8.2 取心质量要求

- 7.8.2.1 钻进过程中应结合岩屑和钻时录井判断目标储层，依据地质要求对目标储层进行取心。
- 7.8.2.2 稳定地层平均岩心采取率（取心收获率）应不低于 85 %；斜井段及定向取心平均岩心采取率应不低于 80%；破碎、松散地层岩心采取率应不低于 50%。
- 7.8.2.3 地质设计对岩心采取质量有特殊要求时按设计要求执行。

8 钻井液

8.1 钻井液类型与适用条件

8.1.1 钻井液类型与适用条件见表 11。

表 11 钻井液类型及适用条件

钻井液类型		适 用 条 件
液体	清水	钻进完整、井壁稳定地层。
	细分散泥浆	浅层松散地层。

表 11 钻井液类型及适用条件（续）

钻井液类型			适用条件
液体	粗分散泥浆	钙处理泥浆	钻进芒硝、石膏地层。具有较好的抗盐、钙污染能力及对泥页岩水化具有较强抑制作用。
		盐水泥浆	钻进含盐（NaCl）、碱（Na ₂ CO ₃ ）地层及其他可溶盐岩。
		钾基泥浆	钻进水敏性地层。
	不分散低固相（聚合物）泥浆		对地层适应性强，适宜于水敏地层和中硬地层钻进。
	无固相泥浆		稳定地层和一般的水敏性地层钻进。
	抗高温泥浆		钻进高温地层。
	乳化泥浆		提高泥浆润滑性，或钻进含油地层。
	加重泥浆		高压地层平衡钻进及压井，控制井涌，防止井喷、水热爆炸等。
气体	空气		钻进各类较稳定地层及干蒸汽气储层。
气-液混合物	雾化空气		空气钻进地层出水时，将表面活性剂、水与空气一同注入井内雾化，使岩屑分散，提高岩屑携带能力，净化井眼。
	气水混合物		钻进各类较稳定地层、漏失地层。分为清水+气正循环与气举反循环。气举反循环能有效保护热储层不被堵塞。
	泡沫		钻进各类较稳定地层、漏失地层、干蒸汽气储层。
	充气泡沫泥浆		钻进各类较稳定地层、漏失地层。

- 8.1.2 在结构较稳定地层钻进时，宜选用清水、空气、无固相、气-液混合物等钻井液。
- 8.1.3 在松散、破碎地层钻进时，应适当提高钻井液的黏度和切力，选用较高密度钻井液。
- 8.1.4 在易水化膨胀坍塌的泥页岩地层钻进时，应使用滤失量低的钻井液，宜选用钾基钻井液、钙处理钻井液等具有较强抑制性的钻井液。
- 8.1.5 在易漏地层钻进时，宜选用气-液混合物、空气等密度较低的钻井液，或加入堵漏材料进行堵漏。
- 8.1.6 在大段含盐、碱地层钻进时，根据地层含盐、碱量和井底温度情况，宜选用饱和或欠饱和盐水聚合物钻井液，也可选用油基钻井液。
- 8.1.7 在缺水地区施工时，应采用节水钻井液（空气、泡沫、水雾、泡沫泥浆钻井液、雾化泥浆钻井液等）。
- 8.1.8 在高温地层钻进时，应选用抗高温钻井液，并严格控制钻井液高温高压滤失量，必要时可采用钻井液冷却装置，以降低入井钻井液温度。
- 8.1.9 钻遇高压地层时，应根据地层压力及时调整（加重）钻井液密度及流变性。
- 8.1.10 钻井液气侵严重时，应采用液气分离器或除气器进行除气处理。

8.2 钻井液配制

8.2.1 钻井液材料与处理剂

8.2.1.1 钻井液配制用黏土

地热钻探中的黏土应根据地层性质选择，主要常用的包括膨润土和抗盐土：

膨润土：主要成分为蒙脱石，分为钙基膨润土和钠基膨润土，普通钻井液宜采用钠基膨润土；

抗盐土：包括海泡石与凹凸棒石，抗高温钻井液宜用海泡石。

8.2.1.2 钻井液配制用水

应对钻井液配置用水进行水质分析，不能满足配制要求的应当进行预处理。

8.2.1.3 钻井液处理剂

钻井液处理剂按功能分类包括降滤失剂、防塌封堵剂、抑制剂、包被絮凝剂、增黏剂、降黏剂、润滑剂、抗高温处理剂、抗盐处理剂等。依据地层矿物成分和理化性能合理选用，各类处理剂应当符合国家绿色环保使用要求。

8.2.2 钻井液设计

8.2.2.1 确定钻井液的密度、流变性、滤失量等主要技术指标和钻井液的胶体率、允许含砂量、固相含量、pH 值、润滑性、渗透率、泥皮质量等重要参数。

8.2.2.2 选择造浆黏土和处理剂、钻井液处理剂配方设计、计算钻井液材料用量、确定钻井液的制备方法。

8.2.2.3 钻井液材料用量、处理剂加量, 根据钻井液配方设计及室内或现场试验确定。

8.2.3 钻井液配制方法

8.2.3.1 基浆配制

8.2.3.1.1 配制程序为：加水→加土→加无机化学处理剂→加有机化学处理剂；或加水→加无机化学处理剂→加土→加有机化学机处理剂。

8.2.3.1.2 处理剂应先在配制罐中溶解，均匀加入清水，并保持搅拌直到充分水化。使用时将分别配制好的黏土浆液与钻井液处理剂胶液，按配比混合并搅拌循环均匀。

8.2.3.2 盐水泥浆冲洗液配制

先将配制好的抗盐黏土浆液与处理剂胶液按配比混合均匀，然后均匀加入氯化钠、氯化钾等。或将抗盐土浆液缓慢均匀加入盐水中，同时按比例加入处理剂胶液，搅拌混合均匀后用泵循环。

8.2.3.3 压井钻井液配制

8.2.3.3.1 压井钻井液（基浆）的类型、配方与性能应与发生溢流前的钻井液相近，具有较低的黏度，适当的切力，低滤失量、泥皮摩擦系数和含砂量，24 h 的沉降稳定性应小于 0.05 g/cm^3 。

8.2.3.3.2 用于压井的加重钻井液体积，通常为井筒内体积加上地面循环系统中钻井液体积总和的 1.5 倍~2 倍。配置加重钻井液时，预先调整好基浆性能，然后均匀加入重晶石加重。

8.2.4 常规钻井液性能指标

8.2.4.1 水基钻井液钻遇不同地层的性能指标推荐值见表 12。

表 12 常规钻井液性能指标

岩层性质	钻井液类型	钻井液性能指标			
		密度 g/cm ³	黏度(马氏) s	滤失量 mL/30min	pH 值
井壁稳定的粘性土层、 基岩层	清水、细分散或无固 相钻井液	1.0~1.08	30~40	<23	8~10
砂土层及砂层	细分散钻井液	1.08~1.15	30~50	<20	8~10
卵砾石、漂石层	细分散钻井液	1.15~1.2	60~100	<20	8~10
流砂、涌水地层、坍塌 掉块地层	加重钻井液	1.2~1.7	40~100	<10	8~10
水敏地层	钾基泥浆、聚合物钻 井液	1.08~1.2	30~40	<10	7.5~8.5
漏失岩层	堵漏钻井液	1.03~1.08	30~40	<15	8~11

8.2.4.2 气体及气液混合冲洗介质的性能指标应符合 DZ/T 0304 规定。

8.2.4.3 采用井下动力钻具时钻井液性能指标应满足井下工具要求。

8.3 钻井液现场测试

8.3.1 井场应配备密度计、马氏漏斗黏度计、温度计、滤失仪、pH 试纸和含砂量仪等测试仪器，严格按照钻井液性能测试程序操作。

8.3.2 正常钻进时应每 2 h 测定一次钻井液密度和漏斗黏度，较稳定基岩井段可每 4h 测定一次。每 8 h 测定一次钻井液的常规性能，地层变化较频繁时应加密测量。高温井段每 24 h 至少测量一次高温高压滤失量。

8.3.3 钻井液现场测试性能应符合设计要求。

8.4 钻井液管理与维护

8.4.1 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。

8.4.2 合理使用振动筛、除砂器、除泥器、离心机达到有效清除有害固相。振动筛的筛布目数根据地层变化和地层特性及时进行更换。

8.4.3 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。

8.4.4 不同钻井液体系的转换尽量在套管内完成。

8.4.5 水泥固井后，应去掉部分钙侵严重钻井液，清除其中有害固相，加入相应的处理剂，使钻井液性能达到设计要求。

8.4.6 破碎岩层钻进应适当提高钻井液黏度，降低钻井液的滤失量，改善泥皮质量。控制起下钻速度，减少井下压力激动。

8.4.7 石膏层钻进可通过加入纯碱、除钙降黏剂等进行清除钙离子,用抗钙能力强的降黏剂控制黏度、切力,补充降滤失剂、防塌剂等材料,以维护钻井液的性能稳定。

8.4.8 钻进富含造浆黏土地层时,应先用清水作为钻井液,钻头破碎下来的黏土分散、水化后,再加入适当的处理剂。

8.5 热储层保护要求

8.5.1 热储层上部地层应进行有效封隔止水。

8.5.2 在热储层钻进时,根据预测热储层的物性和敏感性参数制定热储层保护技术要求和措施。

8.5.3 选用对热储层有保护作用或对热储层损害小的钻井液,宜选用低密度渗透恢复率大于80%的钻井液。

8.5.4 目的热储层钻进不宜使用易造成储层堵塞的处理剂。

8.5.5 在蒸汽储层钻进时,可选用气体冲洗介质。

8.5.6 较稳定热储层可选用清水、空气、无固相或低固相、气液混合物等钻井液。

8.5.7 热储层钻进漏失时不宜进行堵漏,必要时可以选用合适的暂堵剂。可选用海泡石制备钻井液,成井后再进行酸溶处理。严重漏失甚至发生失返时,条件允许可采用清水钻进或气举反循环钻进。

8.6 护壁与堵漏措施

8.6.1 非热储层段钻进发生漏失时,应根据漏失情况和钻遇地层选择堵漏措施,储备防漏、堵漏、配浆材料及其它处理剂,储备足量钻井液。

8.6.2 钻进易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,严格控制滤失量。适当提高钻井液黏度,可提前加入防漏材料,提高钻井液的防漏能力。在保证井壁稳定的前提下,可尽量降低钻井液密度,减小钻井液静液柱压力,并适当降低钻井液排量。

8.6.3 由压差引发的漏失时:

- a) 采用逐步稀释、降低钻井液密度,减小压差,通过与地层压力平衡止漏;
- b) 向钻井液中加入泡沫剂并充气,形成可循环的微泡沫,降低密度(密度可调整到 $0.6 \text{ g/cm}^3 \sim 0.95 \text{ g/cm}^3$);
- c) 将1%~3%的单向压力封堵剂随钻加入,进行封堵,压力消失或降低后,自行解堵。

8.6.4 发生孔隙或微裂缝漏失时:

- a) 加入3%左右的惰性堵漏材料,随钻循环,在漏失位置架桥封堵;
- b) 在部分水解聚丙烯酰胺(PHP)或水解聚丙烯腈钠盐(HPAN)钻井液中加入氯化钙、石灰或水泥作交联剂,封堵漏层。

8.6.5 裂缝和破碎带漏失时:

- a) 加入高失水剂(如DTR封堵剂、PCC封堵剂和Diacel堵漏剂),堵漏浆液在液柱压力下迅速失去水分,在井壁形成一层致密的、具有较高强度的滤饼封堵漏失层位;
- b) 选用具有速凝、早期强度高、密度低的硫铝酸盐水泥,或选用添加速凝剂和早强剂的普通硅酸盐水泥进行堵漏,堵漏前应实测水泥浆液的性能指标(水灰比、密度、初凝终凝时间、流动度、可泵期),采用平衡法灌注水泥浆液。

8.6.6 涌漏交替或漏失带存在迳流时，应先向漏失部位灌入部分速凝胶体，在漏层通道狭窄处凝固，然后再注入普通水泥浆液。要根据漏失层特征，选择速凝胶体的配方；根据漏失层深度，计算浆液输送时间，确定总量以及各种处理剂的加量。应预先在地表做好相关试验。

8.6.7 大裂缝和溶洞漏失时：

- a) 先从井口缓慢投入碎石、碎砖、粗砂、水泥球等惰性材料至井底，然后灌入堵漏浆液；
- b) 将具有一定弹性的“橄榄形”的大尼龙袋，通过销钉或安全接头与钻杆连接，下钻到溶洞漏失部位后，从井口注入一定量的水泥浆，待桥体硬化后，再扫孔。

9 地热井录井

9.1 录井设备和材料配备

9.1.1 根据钻井设计要求的录井项目配备录井设备和材料。

9.1.2 录井设备安装、材料管理、录井作业安全要求宜按照 SY/T 6348 的要求执行。

9.2 录井项目

录井项目包括但不限于：钻时录井、岩屑录井、钻井液录井、岩心录井、工程录井、荧光录井、气测录井等。

9.3 录井技术系列

根据地质设计和工程需要确定录井项目，取全取准反映地下情况的各项信息、数据和资料，以判明井下地质及地热资源情况，分析判断井下钻探工况。通常按照地热井类型确定录井项目：

- a) 勘探井宜采用钻时录井、岩屑录井、钻井液录井、岩心录井和工程录井，根据需要可选择荧光录井、气测录井；
- b) 勘探开采井宜采用钻时录井、岩屑录井、钻井液录井，根据需要可选择岩心录井和工程录井；
- c) 开采井、回灌井宜采用钻时录井、岩屑录井和钻井液录井。

9.4 录井技术要求

9.4.1 钻时录井

9.4.1.1 采用综合录井仪钻时录井，根据钻达时间和停钻时间，计算单位进尺所用的纯钻时间。

9.4.1.2 记录井深、钻时、放空起止时间、放空井段等。

9.4.1.3 钻具入井前应进行准确丈量并记录，单根钻具长度的单位为米，测量精度 0.01 m。

9.4.1.4 井下钻具的种类、规格、长度及其连接顺序应做到钻井与录井记录一致。

9.4.1.5 钻完每个单根后，应校对入井钻具，录井井深与钻具井深应相符。

9.4.1.6 应及时处理钻时录井数据，分析钻井时效，绘制录井曲线，与岩屑录井进行比对。

9.4.2 岩屑录井

9.4.2.1 依据地质设计要求的井段和取样间距采集岩屑，热储层以上（覆盖层）井段每 5m 取一个，热储井段每 1 m~2 m 取一个。

9.4.2.2 地质构造复杂或地层变化井段，宜加密取样。接近易漏失层基岩顶板时，连续捞取岩屑，卡准漏失层基岩顶部风化壳。

9.4.2.3 每 100 m 测量一次岩屑迟到时间。井深不大于 1000 m，实测不成功时采用理论计算法求取。

9.4.2.4 钻遇地层发生渗漏时，需校正迟到时间。井漏未采取到岩屑，需注明井段及原因。

9.4.2.5 岩屑采集应符合下列要求：

- a) 非气体钻井条件下，应根据岩屑沉淀情况选择合理的取样位置，并在取完一包岩屑后立即清除剩余岩屑；气体钻井条件下，岩屑采样装置应安装在排砂管线斜坡段的下部，使用透气的长条形布袋录取岩屑；
- b) 起钻前应至少循环一周，因工程原因无法循环钻井液时，未捞取的岩屑应在下次下钻循环钻井液时进行补取；
- c) 岩屑取样重量不少于 500g，应清洗干净，去掉样杂质和掉块，细小和粉末状岩屑采用漂洗法清洗，气体钻井条件下岩屑可不清洗；
- d) 岩屑清洗后及时进行深度标识，干燥后（烘干或晾干）装袋。

9.4.2.6 岩屑描述应符合下列要求：

- a) 岩屑分层深度以钻具深度为准；
- b) 按颜色和岩性的顺序进行岩石定名；
- c) 描述内容包括颜色、矿物成分、结构、化石及含有物、物理性质和化学性质等其它内容；
- d) 测井后发现岩性与电性不符时宜复查岩屑。

9.4.2.7 地热井岩屑经描述、装袋后，进行装盒（箱），妥善保管，并对岩屑盒（箱）标识。标识内容包括井号、盒号、井段、间距及包数。

9.4.3 钻井液录井

9.4.3.1 记录钻井液密度、黏度、滤失量、含砂量、静切力变化，需要时可加密测量并记录。

9.4.3.2 记录钻井液处理资料：时间、井深、处理剂名称、用量等。

9.4.3.3 记录钻井液入口和出口温度，钻进至热储段时应加密测量。

9.4.3.4 使用清水钻进时，提钻后和下钻前各测量一次水位，两次观测间隔应大于 5 min；停钻小于 24h 时每 4h 测一次水位，停钻大于 24 h 每 8 h 测一次水位。做好记录和注明观测的时间。

9.4.3.5 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。

9.4.3.6 记录发生井涌的井深、层位、涌出量、涌出物、涌速、井涌原因及井涌处理措施。

9.4.3.7 每班记录一次钻井液消耗量，有突然变化时增加测量次数，注明进尺消耗量和单位时间消耗量及对应深度，记录明显消耗量变化和全耗时的具体对应的时间与深度。

9.4.4 岩心录井

9.4.4.1 依据地质设计要求的层位和井段，卡准取心深度（位置）。

9.4.4.2 取心钻进进尺、井段以钻具井深为依据。

9.4.4.3 出井岩心整理要求：

- a) 按岩心出筒的方向和顺序排放岩心，严重破碎岩心装入袋中并归放到相应位置；
- b) 岩心清洗干净，用红色记号笔在岩心上画出方向线，箭头指向岩心底部；
- c) 用钢卷尺沿方向线一次性丈量岩心总长，单位为米，数值修约到二位小数；

- d) 按顺序将岩心装入岩心盒，妥善保管，并对岩心盒进行标识。标识内容包括井号、取心回次、井段、岩心编号及盒号；
- e) 装入岩心盒的每筒岩心末端放置岩心牌（若岩心采取率为零，将岩心牌放置在相应位置），填上井号、取心回次、井段、岩心长度、采取率、主要岩性、取心日期、值班人等信息。

9.4.4.4 岩心描述内容：

- a) 记录岩心磨损、破碎情况；
- b) 描述颜色、矿物成分、化石及含有物等；
- c) 描述结构、构造、岩层之间的接触关系、地层倾角等；
- d) 描述含水性质、物理化学性质、岩心孔洞裂隙（缝）发育情况等。

9.4.5 其他录井技术

工程录井、荧光录井、气测录井等录井项目及质量要求按 SY/T 5251 执行。

9.4.6 其他要求

- 9.4.6.1 钻遇含油气地层，应进行气测录井和荧光录井。记录含油气层的井深、层位及含油气情况。
- 9.4.6.2 预测地层压力异常区域钻井，宜进行地层压力录井，并及时给出工程提示。
- 9.4.6.3 记录洗井、产能试验采用的方法和过程；记录试验时间、静水位、动水位、降深、稳定时间、流量和水温等。
- 9.4.6.4 准确、全面完成录井记录，做好资料归档和上交工作，为井史和完井报告编写提供依据。
- 9.4.6.5 结合钻井、测井、完井等作业资料，判明井下地质及地热资源情况，分析判断井下钻探工况，完成录井解释工作。
- 9.4.6.6 录井过程中应做好环境保护和安全生产工作。

9.5 录井解释

- 9.5.1 应对录取的任一录井参数异常井段进行解释。
- 9.5.2 依据录井实物资料和录井参数，结合测井数据对热储层进行解释，解释结果可划分为主产水层、次要产水层和微产水层。
- 9.5.3 对热储层层位、岩性特征、裂隙发育情况等进行描述。
- 9.5.4 依据录井、钻井、测井等资料进行综合解释，提交解释成果。

10 地热井测井

10.1 基本要求

- 10.1.1 水热型地热井测井应能满足地热勘探、热储评价、井身质量评价的需求。
- 10.1.2 根据地热钻探目的、地热地质条件、钻探工程需求等选择测井项目。
- 10.1.3 地热钻探施工设计均应包含测井方案，重点井可依据需求单独编制单井测井设计方案。

10.2 地热井测井技术

水热型地热井测井系列选择、测井设计方案编写、测井作业及保障措施、测井资料处理及成果提交应按照 NB/T 10269 执行。

11 地热井成井工艺

11.1 基本要求

11.1.1 基岩地热井一般采用下套管、固井、热储层裸眼成井或过滤管成井。

11.1.2 孔隙型热储地热井井管类型与成井工艺按照 DZ/T 0148 执行；孔隙型热储地热井过滤管不填砾时可采用橡胶伞（圈）止水、止水器止水或水泥固井，必要时根据设计要求对含水层井段射孔成井。

11.1.3 因地层漏失采用气举反循环钻探工艺施工的井眼，可采用橡胶伞（圈）止水、止水器止水或“穿鞋戴帽”方式水泥固井。

11.1.4 其他特殊工艺地热井其成井工艺应按相应设计执行。

11.2 井眼准备

11.2.1 各开次井段应钻至设计井深，或达到地质目的。

11.2.2 井身质量应满足设计要求。

11.2.3 校正井深，井深允许最大误差 $\pm 1\%$ 。

11.2.4 下套管前，应按要求进行通井：

- a) 通井到底，井眼畅通无阻；
- b) 调整好钻井液性能，达到井口无溢流、不漏失、进出口密度一致，并符合下套管技术要求；
- c) 设专人观察振动筛处岩屑返出情况，判断井壁是否稳定；
- d) 斜井段和水平段宜短起下并分段循环处理钻井液，充分冲洗岩屑，清除岩屑床。

11.2.5 在钻遇漏失井段或存在潜在漏失层时，下套管前应进行承压堵漏，提高地层承压能力，满足下套管或注水泥所需的循环当量密度。

11.2.6 下列井段应进行重点划眼并短起下钻，确保井眼畅通：

- a) 全角变化率超过设计规定的井段；
- b) 电测井径小于钻头名义直径的井段；
- c) 起下钻遇阻、遇卡井段。

11.3 下管

11.3.1 准备工作

11.3.1.1 地热深井套管材质与过滤器类型有：

- a) 地热深井宜采用 API 标准石油套管，强度应达到 J55 钢级及以上；
- b) 常用过滤器类型有：骨架式过滤器（圆孔、直缝过滤管）、缠丝过滤管、双壁缠丝过滤管。

11.3.1.2 套管及套管附件应按要求进行准备：

- a) 进入井场的套管，长度附加量不少于 3%，并附有套管质量检验合格证。应校核套管的直径、钢级、壁厚、螺纹类型及长度无误。井场套管应整齐平放，高度不超过三层；
- b) 应使用标准通径规逐根通径，保持套管丝扣干净并涂抹丝扣油，如有变形、损坏、过滤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；

- c) 依据井深、测井、编录等结果，确定下管深度、过滤管长度及安装位置，按下管先后次序将沉淀管、过滤管、井壁管、附件等逐根丈量、排列、编号，编写下井套管记录，对备用套管和不合格套管做出明显标记，与下井套管分开排放。确保过滤管安装位置与所开采热储层位置对应一致，并确定封隔止水位置，安装好橡胶伞或止水器；
- d) 二开及以下井段下管时，与上开次井管重叠段应大于 30 m。沉淀管长度宜不小于 15 m；
- e) 应对套管进行强度计算和校核，定向井应计算套管柱的弯曲应力和摩阻，套管附件强度应不小于套管强度要求；
- f) 井斜大于 45° 的斜井段，应安装自动复位式浮箍（浮鞋）。

11.3.1.3 下管的设备和工具准备有：

- a) 对下管设备和工具进行检查，应配备齐全，易损部件应有备用件；
- b) 应校核下管过程的钻机载荷；
- c) 应配备套管钳扭矩记录仪。

11.3.2 下管方法选择

11.3.2.1 应根据下管深度和重量、设备能力以及井管强度、连接方式等条件选择恰当的下管方法。

11.3.2.2 地热井下管方法主要有直接提吊法、浮力塞法和凡尔法。直接提吊法适用于井管总重小于钻井设备的安全负荷，浮力塞法和凡尔法适用于井管总重大于钻井设备的安全负荷。

11.3.2.3 采用浮力塞法和凡尔法下套管要进行抗挤强度校核，安全系数 ≥ 2 。

11.3.3 下管技术措施

11.3.3.1 下套管作业前应组织召开技术协调会，进行技术交底，安排人员分工。下管作业应统一指挥，互相配合，操作要稳。

11.3.3.2 对扣时套管应扶正，开始旋合转动应慢。套管柱上提下放应平稳。上提高度以刚好打开吊卡为宜，下放坐吊卡（卡瓦）时应减少冲击载荷。

11.3.3.3 井管下放速度不宜过快，通过复杂地层井段时下管速度应小于 0.3 m/s。

11.3.3.4 下管中途遇阻时不得猛蹶硬提，可适当上下提动井管或接方钻杆开泵循环，仍无效时，应将井管提出，下钻通井、循环，确认井内无砂桥和沉淀后可重新下管。

11.3.3.5 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。

11.3.3.6 井管对接要保证质量，采用焊接时要防止漏焊和砂眼；采用螺纹连接时丝扣要涂油并上至规定扭矩。

11.3.3.7 套管下放过程中要时刻注意悬重变化，严密监控井管悬重、中途遇阻情况等。安装普通型浮箍（浮鞋）时，应按设计要求及时向套管内灌注钻井液。安装自灌型浮箍（浮鞋）时应定期检查，如发现自灌装置失效需按普通型浮箍（浮鞋）要求执行。

11.3.3.8 下套管时应专人观察和记录井口钻井液返出情况，记录灌钻井液后悬重变化情况，如发现异常情况，应采取相应措施。

11.3.3.9 下套管过程中，应缩短静止时间，当静止时间 ≥ 5 min 时，应活动套管，套管活动距离应不小于套管柱伸缩量的两倍。

11.3.3.10 套管鞋宜进入非渗透性稳定地层，且距井底应小于 3 m，底部套管应涂抹螺纹锁紧密封脂。

11.3.3.11 井管下至井底后，套管应处于受拉状态，同时要核查井管的安放深度，确保过滤管下至预定位置（与所开采热储位置一致），一般允许深度位置偏差为 ± 2 m。

11.3.3.12 套管下入的深度达到设计要求，复查套管下井与未下井根数是否与送到井场的套管总数相符。

11.3.3.13 下入悬挂器、反丝接头、止水器、橡胶伞等套管附件时，应锁死转盘，并按相关产品使用说明书或使用要求操作。

11.4 固井

11.4.1 一般要求

11.4.1.1 地热井一般采用水泥封固方法封隔止水，也可根据设计要求配合采用橡胶伞（圈）及其它止水方法。采用橡胶伞（圈）止水时，橡胶伞（圈）数量不得少于3组（每组3个），安装于过滤管顶部岩层稳定密实井段。

11.4.1.2 表层套管固井时，水泥浆应返至地表。技术套管优先采用全井段封固，水泥浆应自管底返高至套管重叠段；不具备全井段固井条件时，合理选择跟踪固井、分段固井，水泥浆自管底返高应不低于400 m，套管重叠段压入垂向深度不小于100 m，候凝后应试压合格，否则应重新进行挤水泥固井。尾管可采用一次固井或跟踪固井。

11.4.1.3 固井作业前应对现场固井用水泥浆进行密度、稳定性、流变性、稠化时间、水泥石抗压强度和候凝时间以及高温条件下水泥石的强度衰退等性能测试，测试结果应符合设计要求。

11.4.1.4 固井水泥标号一般不小于P.O 42.5或P.S.A 42.5；当固井深度大于2000 m时，宜采用G级油井水泥；当井底静止温度为110℃~150℃时应在水泥中加入30%~40%的硅粉或采用耐高温高压水泥；当固井井段含岩盐、油气等矿产时应采用G级油井水泥。

11.4.1.5 固井水泥浆密度应根据地层的压力参数进行合理设计，应比钻进时使用的钻井液密度高0.24 g/cm³以上。常规固井水泥浆密度一般控制在1.60 g/cm³~1.85 g/cm³。

11.4.1.6 条件与技术许可时，宜采用具有隔热保温性能的固井水泥浆。

11.4.2 固井设备

11.4.2.1 可采用钻井泥浆泵进行表层套管固井作业。

11.4.2.2 固井深度超过1200 m时，应采用专用水泥固井车和水泥浆储罐车，保证固井时的连续性。

11.4.3 固井准备

11.4.3.1 应确定固井方案，一般采用容积法计算固井水量、水泥浆量和替浆量。

11.4.3.2 检查钻井设备、固井设备、工具、仪表及附件等准备情况。进行组织分工，明确各方职责。

11.4.3.3 固井前应做好水泥浆稠化时间试验工作，确保施工质量和安全。

11.4.3.4 固井前应循环钻井液不少于2个循环，确保钻井液性能符合固井技术要求。

11.4.4 固井作业要求

11.4.4.1 注水泥浆前应泵入前置液，用量宜不少于100 m环空段长度，且不少于2 m³。

11.4.4.2 注水泥浆过程中，应随时监控水泥浆密度和泵压变化。

11.4.4.3 替顶替液时，应准确计量，后期采用小排量，密切注意泵入量、泵压及井口返出情况。

11.4.4.4 固井结束后，应及时清洗有关设备和工具。

11.4.5 固井质量检测

11.4.5.1 矿渣硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥候凝时间 ≥ 48 h，G 级油井水泥候凝时间 ≥ 36 h，特殊工艺固井候凝时间根据设计而定。

11.4.5.2 应对套管进行试压，试压压力不小于 6.0 MPa，稳定时间不少于 30 min，压降不大于 0.5 MPa 为合格。

11.4.5.3 对固井段的水泥质量应进行声幅变密度测井检测。

11.5 洗井

11.5.1 洗井方法

11.5.1.1 应根据地热井类型、钻进工艺、钻井液类型、成井工艺、储层深度等因素确定洗井方法和洗井时间。常用的洗井方法有：磷酸盐（焦磷酸钠或其它磷酸盐）洗井、活塞洗井、空压机气举洗井、酸化洗井、酸化压裂洗井、液态二氧化碳洗井、高压喷射洗井、潜水泵抽水洗井等。

11.5.1.2 宜采用多工艺联合洗井，潜水泵抽水洗井不宜单独应用。磷酸盐（焦磷酸钠或其它磷酸盐）洗井、活塞洗井、酸化洗井、酸化压裂洗井、高压喷射洗井等为辅助的洗井工艺，须联合空压机气举洗井、液态二氧化碳洗井或潜水泵抽水洗井。

11.5.1.3 采用空气潜孔锤钻进、气举反循环钻进、空气钻进等钻进工艺时，或采用清水为循环介质时，无需采用磷酸盐洗井、高压喷射洗井。

11.5.1.4 填砾的孔隙型地热井宜采用磷酸盐洗井、活塞洗井、空压机气举洗井及潜水泵抽水洗井。

11.5.1.5 下过滤管不填砾的孔隙型地热井宜采用磷酸盐洗井、高压喷射洗井、空压机气举洗井及潜水泵抽水洗井。

11.5.1.6 孔隙型射孔地热井可采用活塞洗井、空压机气举洗井。

11.5.1.7 碳酸盐岩地热井宜采用空压机气举洗井、酸化洗井、酸化压裂洗井、液态二氧化碳洗井、潜水泵抽水洗井等。其他岩性裂隙型地热井宜采用磷酸盐洗井、空压机气举洗井、液态二氧化碳洗井、潜水泵抽水洗井等。裂隙型地热井必要时可采用孔内爆破扩裂洗井方法。

11.5.2 洗井作业

11.5.2.1 热储层采用泥浆钻进的地热井，洗井前宜逐步将井内泥浆替换为清水，高温热储需做好井控预案。

11.5.2.2 磷酸盐洗井、活塞洗井、空压机气举洗井、酸化洗井、液态二氧化碳洗井等操作要求遵循 DZ/T 0148 执行。

11.5.2.3 高压喷射洗井时，控制洗井钻具起下速度，对过滤管井段反复进行旋转高压喷射。

11.5.2.4 孔内爆破扩裂洗井操作要求：爆破井段应选择在主要含水层部位；每个爆破器材的爆破影响范围，可按爆破器边界上、下各延伸 6 个爆破半径计算；孔内安装爆破器的间距：大爆破器 3 m~15 m，中爆破器 7 m~10 m，小爆破器 3 m~5 m；爆破器距最下一节井管至少 15 m。

11.5.3 洗井质量要求

11.5.3.1 洗井要求做到水清砂净，含砂量的体积比应 $\leq 1/20000$ 。

11.5.3.2 连续 8 h 水温稳定。

11.5.3.3 连续 8 h 单位时间出水量稳定，连续两次单位时间出水量之差小于 10%。

12 产能试验

12.1 基本要求

12.1.1 各类地热勘探井、开采井及回灌井应进行产能试验，获取地热流体压力、产量、温度、采灌量比及热储层渗透性等参数。

12.1.2 地热井产能试验前保证洗井效果良好，热储层段畅通，以达到最佳的出水能力和回灌效果。

12.1.3 地热井产能试验包括抽水试验（降压试验）、放喷试验和回灌试验，依据地热井类型、已有地热井分布情况制定试验方案，充分利用周围已有的同层地热井观测，技术要求需满足 GB/T 11615 规定。

12.1.4 回灌井可采用回灌试验确定回灌参数，当与抽水井储层之间距离大于 2 倍影响半径时，可进行对井抽水回灌联动试验方案。

12.1.5 取热不取水井可采用循环换热试验，应按相关设计执行。

12.1.6 地热井产能试验的各项仪器设备应具有耐高温、耐腐蚀及耐压性能。

12.2 抽水试验

12.2.1 设备与仪器选择

12.2.1.1 地热井抽水试验宜采用高温深井潜水泵，应根据扬程要求、出水量设计、泵室段井眼参数等合理选择。

12.2.1.2 水位与温度参数宜采用井下压力计温度计测量，并采用井口测量进行验证。从井口测量水位（压）时，应同步观测对应的液面温度，以此来换算消除井筒效应之后的热储流体水位埋深或储层压力。

12.2.1.3 流量宜选用流量表测量或堰测法测量。

12.2.2 试抽水

正式抽水试验前进行试抽水，确定地热井最大动水位埋深、最大降深和最大出水量，初步了解水位降深与涌水量的关系，为选择抽水潜水泵型号及调频功率提供依据，并做好水位、水温、流量等各项记录。在试抽水结束后观测水位恢复情况，初步确定热水头埋深。应在恢复最高热水位后，或水位水温恢复至稳定状态后方可进行正式抽水试验。

12.2.3 抽水试验方案

12.2.3.1 通过地热井试抽水，若动水位在较短时间达到稳定，宜采用稳定流方法进行抽水试验；若动水位较长时间才达到稳定，宜采用非稳定流方法进行抽水试验。

12.2.3.2 非稳定流抽水试验分为定流量（水位降深随时间变化）和定降深（流量随时间变化）两种方法，由于在实际抽水试验过程中流量比水位容易固定，多采用定流量的非稳定流抽水试验方法。

12.2.3.3 应根据地热井类型、试抽水结果制定抽水试验方案。勘探井、勘探开采井宜进行 3 次降深抽水试验；开采井可做 1 次降深抽水试验，流量应不小于设计出水量，或按施工设计进行。试抽水显示流量过大或过小时，可适当简化抽水试验方案。

12.2.4 抽水试验要求

12.2.4.1 进行 3 次定流量抽水试验时，先进行最大流量大落程抽水试验，之后进行中小落程抽水试验。

12.2.4.2 为消除井筒效应，各落程宜采用流量控制，其比例分别为最大流量的 1、2/3 和 1/3 左右。

12.2.4.3 最大降深试验稳定延续时间不少于 24 h，中、小降深稳定延续时间分别不少于 12 h、8 h。

12.2.4.4 单位产量小于 $10 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ 及流体压力持续下降，应延长试验时间，延长时间不少于 8 h。

12.2.4.5 大落程之后水位恢复时间不小于 8 h，中落程之后不小于 6 h。

12.2.5 观测记录要求

12.2.5.1 试抽水前需进行 12 h 观测静水位和液面温度，频率为 1 次/h，如果静水位和液面温度未稳定，应增加观测时间直至稳定。

12.2.5.2 抽水试验时动水位、出水量和流体温度的观测时间为抽水开始后第 1、2、3、4、6、8、10、15、20、25、30、35、40、50、60、80、100、120 min，之后每 30 min 观测一次。

12.2.5.3 恢复水位观测频率与抽水观测频率相同，采用井下仪器测量时可同步监测液面温度，采用井口测量时液面温度每 30 min 观测一次。

12.2.5.4 观测数据精确到水位 0.01 m、水温 0.1 °C。开采流量采用堰板计量时，读数应精确到 1 mm；采用流量计计量时，读数应精确到 0.01 m^3 。

12.2.5.5 试验稳定标准应符合出水量和动水位与时间关系曲线只在一定的范围内波动，且没有持续的上升或下降趋势。

12.2.5.6 应进行气温观测，每 1 h 观测一次。

12.3 回灌试验

12.3.1 回灌试验要求

地热回灌试验在地热田可行性勘查和开采阶段中采用。应准确测定回灌井的回灌量、压力随时间的变化、回灌影响及影响区内热储温度、地热流体温度、压力、产量和化学组分变化等，为确定合理回灌方案提供依据。

12.3.2 回灌试验操作

12.3.2.1 回灌前应对井内天然水位进行 12 h 天然动态观测，频率为 1 次/h，如天然水位呈动态变化，应增加观测时间不小于 12 h，以 24 h 为一个观测周期，掌握其变化规律。

12.3.2.2 宜采用回灌管内进行回灌，回灌管应下至回灌井静水液面以下 10 m~15 m 深度，保证回灌作业平稳进行。

12.3.2.3 应进行三组以上的试验，采用定流量方法，回灌量从小到大依次进行。第一组小灌量以其产能试验时最大抽水流量的 1/2 为宜，后续每组逐级增加 $10\sim30 \text{ m}^3/\text{h}$ ，最大一组灌量应达到或接近产能试验时的最大涌水量。

12.3.2.4 第一组试验回灌井的动水位需稳定 8 h 以上，第二、三组动水位需稳定 12 h、24 h 以上。各组试验是否达到稳定以观测水位是否在一定的范围内波动，且没有持续的上升或下降趋势。

12.3.2.5 观测并记录水位、液面温度、流量以及过滤器、排气装置的进口与出口压力数据。每一组试验观测时间间隔为回灌开始后第 5、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120 min，之后每 30 min 观测一次。

12.3.2.6 停灌后应进行水位恢复试验。

12.3.3 地热井回灌操作

地热井回灌操作应按照 NB/T 10099 执行。

12.4 放喷试验

热储水头高于地面的地热井，可采用放喷试验进行产能试验，方法和要求按 GB/T 11615 执行。

12.5 产能试验资料整理

12.5.1 检查记录表，对水位、水量、水温、观测时间等数据，要进行审查、校对，发现异常可根据情况进行修正，并誊清一份存档。

12.5.2 将产能试验获得的、不同温度的观测水位统一换算到某一温度下的校正水位，消除井筒效应。一般按热储平均温度进行校正。

12.5.3 测试前测得的观测静水位埋深对应的是温度自上而下逐渐增高的液柱，应统一换算成热储平均温度下的液柱，即为热储平均温度下的静水位埋深。

12.5.4 绘制产能试验相关曲线图。

12.6 样品采集与化验

地热水样采集、化验与保存执行GB 11615、GB 50027等规范。地热储层含有其它气体时，应按照相关规定取样检测。

13 常见井内事故预防与处理

13.1 基本要求

13.1.1 应根据地质设计的地层特点、施工设计的钻进工艺以及施工组织的管理要求，制定合理的井内事故预防和处理方案。

13.1.2 在钻进施工的各个阶段和作业流程中，应严格按照制定的预防措施执行。

13.1.3 处理井内复杂情况及事故时，应科学准确地判断井下情况，制定安全、快速、经济的处理方案。

13.1.4 地热勘探井的事故预防与处理措施可按 DZ/T 0227 执行。

13.2 卡钻

13.2.1 事故预防

13.2.1.1 钻进中,发现动力机响声异常、钻进参数仪表数值突变、钻具回转阻力增大、泵压升高、岩心堵塞等情况,应及时停钻并将钻具提到安全井段后查明原因。

13.2.1.2 钻进中,出现机械故障、停待、钻井液突然严重漏失等情况时,应将钻具提升到安全井段。提下钻遇阻时,不得强拉、猛蹶,应及时开泵扫孔。

13.2.1.3 发现卡钻、埋钻等事故征兆时,应及时活动钻具并提离井底,不得停泵、停车。

13.2.1.4 在页岩、盐岩等井段要控制钻井液滤失量,蠕变地层要提高钻井液密度,防止缩径卡钻。

13.2.1.5 在易坍塌层段提钻时,应严格控制提钻速度,减小对井壁的抽吸,并及时向井内回灌钻井液,保持井内液柱压力。

13.2.1.6 提钻后,若发现钻具上有严重泥包、取粉管内有较大岩屑、掉块或淤泥时,应及时调整钻井液性能。

13.2.1.7 在易发生掉块、探头石的层段钻进时,应选用带有取粉管的钻具组合,避免掉块、探头石卡钻。

13.2.2 事故处理

13.2.2.1 在深部井段发生卡钻,应根据不同规格钻杆的拉力与伸长量的关系,推断卡点位置和卡段长度,然后再确定处理方法。

13.2.2.2 在卡钻初期,宜尽量维持大排量循环,转动和上下活动钻具。在分析卡钻原因、确定卡钻类型之后,分别采取不同的处理方法。

13.2.2.3 若发生键槽卡钻事故,先采取反扫、上下活动等方法,设法将被卡钻具导出,然后仔细修整“键槽段”井壁,不得强力提拔和反转被卡钻具。

13.2.2.4 处理掉块卡钻事故,应先以提、窜钻具为主,继而用拉顶结合增大提升能力,仍然无效时,再采用上下震击、提拉吊打等方法解卡。

13.2.2.5 处理粘附卡钻事故时,应先调低钻井液密度,持续循环,再将一定数量的原油、柴油、废机油或解卡剂(液)泵注到卡钻事故井段进行浸泡,每隔 1.5 h~2 h 上下活动钻具一次,直至解卡。

13.2.2.6 在碳酸岩层段发生卡钻,可采用盐酸溶解法解卡。将 3%~10%的稀盐酸溶液(应考虑井内水的稀释)通过钻柱注入被卡孔段,浸泡,并辅助活动钻具,配合顶、拉解卡。

13.3 井壁坍塌

13.3.1 事故预防

13.3.1.1 调整好钻井液性能,使其具有较高的黏度及切力和较低的滤失量,根据地层压力确定合理的钻井液密度。

13.3.1.2 钻进风化壳、溶洞等突然会出现巨大漏失地层时,要做好录井工作,以防出现因漏失造成上部松散层坍塌。

13.3.1.3 在易出现剧烈漏失的地区施工,上部松散层应使用套管封闭。

13.3.1.4 起下钻操作平稳,控制速度,减少压力激动,起钻要及时回灌钻井液。

13.3.1.5 在非井底漏失层段钻进时,要经常测试井底残留岩粉,岩粉过多时,应及时使用捞粉钻具专程打捞。

13.3.1.6 钻进松散层裸眼井段时，不宜长时间空井停待。

13.3.2 事故处理

13.3.2.1 轻微的坍塌，先用小排量循环开通后，再提高钻井液黏度、切力，恢复大排量循环，携带出井内沉砂。

13.3.2.2 若开泵钻井液不能建立循环，应抓紧时间起钻，抢提钻具。抢提不出来的钻具，采用倒扣或爆破松扣的办法提出没有卡埋钻具。

13.3.2.3 被坍塌卡埋钻具，在井壁控制住坍塌后，采用套铣的办法进行处理。若坍塌卡钻并伴生漏失，套铣时，护壁的同时应进行堵漏。

13.4 钻具事故

13.4.1 事故预防

13.4.1.1 严把钻具、工具的质量关。进场钻具应具备检测报告，井场各类接头、工具应进行送检，并出具检测报告。

13.4.1.2 使用前对钻具的台肩、丝扣、外观必须严格检查，存在缺陷的不得使用。钻具上下钻台时必须对钻具丝扣进行保护，入井时需按照标准扭矩上扣。

13.4.1.3 定期倒换钻具，防止钻具疲劳损坏。提下钻具时，应观察钻具本体的磨损程度及接头台肩的冲蚀程度，严重的需及时更换。

13.4.1.4 钻进过程中不得猛开、猛停，出现泵压表、指重表、电流表数值等突然变化时，如泵压下降、钻具重量减轻、动力机负荷异常等情况时，应立即停钻检查。

13.4.1.5 钻进中遇到溶洞（采空洞），要立即停钻并试探洞的深度及残留物性质，保持钻具足够长度，采用适宜的钻进参数。

13.4.1.6 每钻完一口深井或遇到重大卡钻事故的井，应对钻具全面检查、探伤。

13.4.2 事故处理

13.4.2.1 钻杆事故头校正，螺纹完好时，应先用相应螺纹端对接打捞。下钻时，拧紧钻杆。对事故头时，上扣不宜太紧，一旦打捞失败，便于安全退出事故头以上钻杆。

13.4.2.2 钻杆事故头为外螺纹锁接头或光钻杆时，应合理选用丝锥进行打捞。钻杆事故头偏斜不严重时，可下带导向罩的捞锥（公、母）捞取；井眼超径，事故头偏离中心较大时，可先用弯钻杆、捞钩或磁力打捞器寻找出事故头。

13.4.2.3 钻杆事故头磨损、变形、破损时，可用通天母锥或打捞器捞取，事故头上有障碍物时，应先行清除。

13.4.2.4 处理井内钻具事故时，应使用可退式打捞工具或安装安全接头，以免事故复杂化。

13.4.2.5 难以打捞时，根据井下事故复杂情况，可选用磨铣或侧钻绕障等工艺。

13.5 井内落物

13.5.1 事故预防

13.5.1.1 钻井作业各个环节，应时常注意盖好井口，谨防小工具、小物件掉入井内。

13.5.1.2 井口作业过程中，易落入井内的小工具应系上尾绳，另一端与操作者固定。井口小物件、小工具，应与井口保持一定距离，合理放置。

13.5.1.3 下钻前应检查入井钻头的使用情况，如牙轮钻头的轴承磨损程度、金刚石钻头的胎块或金刚石复合片与钻头体粘（焊、嵌）接情况，发现异常应立即更换钻头。

13.5.2 事故处理

13.5.2.1 掉入铁器物件、工具时，可先用磁铁打捞器打捞，或用冲捞、粘取、抓套、研磨等方法打捞。

13.5.2.2 掉入非磁性物件、工具时，可用冲捞、粘取、抓套、研磨等方法打捞。

13.5.2.3 处理架在井眼中段的工具、物件，应设法先将落物推送到井底之后，再进行处理；在把小物件推向井底的过程中，应小心操作，谨防造成卡钻事故。

13.5.2.4 井底残留的碎合金，牙轮球齿、碎胎块等小硬物，可采用反循环打捞篮等工具，采用井底局部反循环方式，利用高流速钻井液悬浮井底落物进入打捞工具内。

13.6 井喷和有害气体侵害

13.6.1 事故预防

13.6.1.1 施工前应充分了解井位区域地质构造特性和地层特性，若存在油气、煤层气，采空洞（坑）等异常地层，应提前制定预防和处理井喷的预案。

13.6.1.2 进入异常地层前，应配制一定数量的高密度钻井液，随时准备实施压井作业。

13.6.1.3 完成一开下管固井之后，应根据地层的预测压力，选择和安装井控装置。井控装置的配套及性能参数应符合地热流体的温度、压力、腐蚀性等要求，并按使用规范进行安装调试。

13.6.1.4 在异常地层中钻进，应注意观察钻井液的循环状况、泵压变化以及钻井液池液面情况，及早发现溢流、溢气情况，为实施井控争取主动。

13.6.1.5 在异常地层中提下钻，要求平稳、缓慢，防止因提钻抽吸而诱发井喷。

13.6.1.6 地热井施工现场，应配备有害气体检测器、检测纸（醋酸铅纸）、警报装置等。

13.6.1.7 施工单位应定期进行专项应急演练并记录。

13.6.2 事故处理

13.6.2.1 发现井喷预兆，应采用地层压力平衡钻进技术，通过调高泥浆密度，调节与地层压力关系，达到抑涌、防喷的目的。争取“一次井控”成功，若不成功，再实施“二次井控”。

13.6.2.2 实施“二次井控”，关井后，井口压力会不断上升，应合理控制井口压力值，使其不得超过井口装置的额定工作压力、套管最大抗内压强度的80%、套管鞋处的地层破裂压力三项中的最小者。

13.6.2.3 发现井喷预兆，应立即清除井台上及附近的一切火源，防止井喷发生后，造成火灾。

13.6.2.4 对于地热蒸汽中甲烷等可燃性气体，应先用分离器分离出来，收集到储气罐后加以利用，或在放喷位置进行充分燃烧。

13.6.2.5 发生硫化氢等有害气体侵害情况时，工作人员应佩戴好正压式呼吸器。

14 压裂增产

14.1 适用条件

- 14.1.1 适用于具有较好的储水条件而连通性较差、具备压裂增水条件的基岩地热井。
- 14.1.2 井管内射孔压裂层段固井质量良好，井管无变形、无腐蚀、无漏失。
- 14.1.3 裸眼压裂层段上下或上部有完整的安全封隔距离。
- 14.1.4 井口装置能满足压裂施工要求，场地能安全布置压裂设备并施工方便。
- 14.1.5 压裂施工结束后，具备抽水、卸荷排液和放喷条件。

14.2 设备及机具

14.2.1 地面设备及机具

- 14.2.1.1 压裂泵：应依据地层破裂压力选择，最大工作泵压不宜小于 40 MPa，排量大于 200 L/min。
- 14.2.1.2 管路与管汇：承受压力应大于 60 MPa。
- 14.2.1.3 监测控制系统：包括阀门、计量指示仪表、限压保护、报警、调压装置等。

14.2.2 井内机具

- 14.2.2.1 单封隔器压裂管柱由钻杆、卸荷阀、封隔器、水力锚、定压开启阀或喷砂器、底阀组成。可用于井管内射孔压裂和裸眼压裂。适用的压裂方式有水力压裂、混砂压裂、缓释酸液压裂。
- 14.2.2.2 双封隔器压裂管柱由钻杆、卸荷阀、上封隔器、定压开启阀或喷砂器、钻杆（长度由压裂井段确定）、下封隔器和底阀组成。可用于单段或多段压裂，适用的压裂方式有水力压裂、混砂压裂。

14.3 压裂层段选择

- 14.3.1 依据水文地质资料、综合物探测井、钻井与成井资料、抽水试验等确定压裂层段。
- 14.3.2 根据已知钻井资料、设备能力，可采用单层段或多层段压裂工艺方法。
- 14.3.3 同一构造含水层段与邻井相比出水量偏小的层段。
- 14.3.4 采用双封隔器裸眼压裂时，有效封隔要求压裂层段上下至少有 5m 完整的隔离层段。

14.4 压裂液材料准备

- 14.4.1 依据目标层的岩性和力学性能参数、压裂深度、温度选择压裂液类型。
- 14.4.2 脆性岩石宜选用清水或植物胶类有机高分子交联液作压裂液。
- 14.4.3 塑性岩石或盖层厚度较大时宜选用植物胶类有机高分子(如田菁粉、瓜尔胶、香豆胶、魔芋粉等)交联液作压裂基液，按设计加入支撑剂。
- 14.4.4 碳酸盐岩地层宜选用酸液作压裂液。
- 14.4.5 压裂液的破胶时间应控制在 16 h 内,破胶后的黏度不大于 10 mPa·s。
- 14.4.6 压裂液备用量视地层情况而定，一般大于 10 m³。
- 14.4.7 压裂液中胶联剂宜选用硼砂、有机硼或高价阳离子螯合剂,破胶剂宜选用过硫酸盐或酶,pH 值调解剂宜选用氢氧化钠或碳酸钠。
- 14.4.8 压裂液中支撑剂选用硬度和抗压强度高的材料，如石英砂、陶粒、塑料颗粒等，粒径范围取 0.2 mm~0.8 mm、0.8 mm~1.2 mm。支撑剂的加入浓度应控制在 20%左右。

14.5 设备机具检查与安装

- 14.5.1 检验阀门开关是否灵活，计量、指示仪表和限压保护及其它报警、控制装置是否完好。
- 14.5.2 检验安全阀的可靠性、泄压管路畅通性和防护设施的安全性，提示标识要清晰可辨。
- 14.5.3 检查地表设备、管路与管汇、监测控制系统组装是否安全可靠。
- 14.5.4 下井前要检验井内压裂管柱、各种器具是否正常。封隔器两端的丝扣是否完好，胶筒表面有无破损，封隔器编号与合格证是否相符；按下入深度测量管柱并排序，确定无误后方能下入井内。
- 14.5.5 单封隔器压裂管柱按照底阀一定压开启阀（或喷砂器）—水力锚—封隔器—卸荷阀—钻杆自下至上顺序安装。
- 14.5.6 双封隔器压裂管柱按照底堵—下封隔器一定压开启阀（或喷砂器）—钻杆—上封隔器—卸荷阀—钻杆自下至上顺序安装。
- 14.5.7 前期准备工作完成后，在压裂施工前要进行泵循环、试压、试挤工序。
- 14.5.8 开泵循环检查压裂设备的工作性能和泵的上水情况是否良好，管汇是否畅通。冬季施工应检查管路、闸阀、管汇有无冻结。
- 14.5.9 确定地表压裂系统正常后进行试压，试压压力应超过设计压力 6 MPa，试压时间不少于 5 min。同时检查管路、接头部位有无泄漏，如有泄漏停泵处理后再试，确定正常后再进行下一工序。
- 14.5.10 试挤过程中检查井下管柱如封隔器、定压开启阀或喷砂器、水力锚等工作是否正常，掌握地层的吸液能力，并作相应记录。

14.6 施工及操作要求

- 14.6.1 常规压裂施工工序依次为地层压裂—替挤—卸荷与反排—井内管柱卸荷—提出管柱。
- 14.6.2 泵入压裂液将地层压开，然后按设计液量和排量继续泵入交联凝胶液，挤张和延伸裂缝至设计目标。
- 14.6.3 按设计要求需加砂压裂时，混砂设备应按设定好的加砂模式进行阶段加砂，混砂浓度由低逐渐递增至设计浓度。初始混砂比应控制在 5%~7%，然后逐渐增大加砂浓度至正常值。加砂过程中要保持排量均匀，中途不得减量和停泵。
- 14.6.4 若加砂压裂时的支撑剂在管柱内或井筒内出现沉积，引起压力升高，应立即停止加砂，泵入压裂液，使泵压降到安全负荷以内，解除砂堵后方继续加砂。如果砂堵不能解除，应停泵进行放空和排砂。
- 14.6.5 当混砂液密度降至接近压裂液密度时，应及时泵入设定的顶替液。应严格计算顶替液用量，超量会影响压裂效果，量少支撑剂会残留在管路内造成砂堵事故。
- 14.6.6 压裂工作结束后，及时关井，关闭时间应不少于压裂液破胶时间，裂缝自然闭合后再开井放喷。
- 14.6.7 开井停喷后，要及时将压裂液全部排出。
- 14.6.8 若采用双封隔器封隔，以清水或植物胶作压裂液，进行中间层段压裂、且井内静水位较深时，压裂施工结束后要卸掉管柱内液体压力，使封隔器收缩后再提出井内管柱。
- 14.6.9 采用双封隔器座封压裂时，井内管柱上窜是下封隔器失效，若井内水位快速上升是上封隔器失效，应提出更换封隔器。
- 14.6.10 加砂压裂过程中管线发生刺漏，应停止加砂进行反洗，在清除井内沉砂后再更换刺漏管线。

15 地热井工程质量验收

15.1 优良井

达到下列要求的为优良井：

- a) 钻达地质设计目的层深度；
- b) 井身质量满足设计要求；
- c) 取心质量达到设计要求；
- d) 按规定要求进行了录井、测井作业；
- e) 成井工艺质量满足设计要求；
- f) 按照设计进行产能试验，水量和动水位与时间关系曲线正常；
- g) 原始记录与钻井技术档案整洁、准确、齐全、真实；
- h) 施工中未出现严重钻井事故，建井周期符合设计要求。

15.2 合格井

未达到优良井要求，但满足下列要求，可评定合格井：

- a) 岩心岩屑采取基本达到地质设计要求，结合测井未影响地层岩性的划分；
- b) 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；
- c) 进行了产能试验，基本取得了符合质量要求的水量、水位、水温和水质资料。

15.3 不合格井

未达到合格要求的钻井为不合格井，应予返工。返工后仍达不到设计要求的，可根据取得的资料多少和使用价值，予以全部报废或部分报废（即报废部分井段）。报废井处理要求应符合当地主管部门规定。

16 地热井修复

16.1 涌砂探查与修复

16.1.1 利用井下电视或漏沙检测仪确定是否因为井管破裂而引起的涌砂，检测重点位置为静水位与动水位区间井管的连接处、下泵位置、动水位上下处、变径位置、井管所有连接（焊接）处。

16.1.2 通过井下电视检查若没有发现问题，可考虑是由砾料下沉、井内压力平衡破坏、成井工艺等因素引起。

16.1.3 抽水观察出砂（浑水）的时间，计算排出静水位至动水位水体积所需时间和各段砂层中的砂砾上升到井口所需时间，确定涌砂位置。必要时可采用分段抽水确定出砂位置。

16.1.4 修复前应先进行必要的井内探测、洗井、排渣和井壁腐蚀和结垢物清理。

16.1.5 因井管腐蚀破裂引起的涌砂，可采用小一级套管法局部或全部补管，也可采用水泥灌注法封闭破裂位置。

16.1.6 因过滤管部分引起的涌砂，可采用小一级贴砾过滤管或普通过滤管填砾法进行补管。

16.1.7 因降深过大，井管内外压力严重失衡造成涌砂时，应更换小流量水泵抽水控制含砂量。

16.2 水量减小及修复

16.2.1 收集地下水水质化验数据、地层情况及成井柱状图，并配合井下电视图像分析判别水量减小的原因。

16.2.2 由过滤管淤积、堵塞、腐蚀造成的水量减小，可通过井下电视检查仪器判断。

16.2.3 由地层淤堵、坍塌造成的水量减小，可通过抽水和使用过程中的异常情况、成井情况、地层情况等综合方法来判断。

16.2.4 地热井修复应根据不同情况，采用单一或联合洗井方法进行处理，适用条件及方法见表 13。

表 13 水量减小处理方法与适用条件

处 理 方 法	适 用 条 件	作 用
空压机振荡洗井	井内淤积与沉淀	排渣疏通含水层
钢刷刷洗井壁法	井壁结垢与锈蚀	机械清除井壁结垢物
控制爆破洗井法	结垢与砾料胶结严重	破坏胶结强度
CO ₂ 洗井法	淤积与轻度结垢	排渣、形成负压
HCl 洗井法	碳酸岩地层及除锈	产生化学反应
活塞拉孔法	轻度结垢	重新排列砾料

16.3 井管失效处理

16.3.1 井管失效类型主要有局部腐蚀和穿孔、泵头位置井管磨损、焊接或丝扣处脱节或错位等。

16.3.2 可利用井下钻孔窥视仪进行直观、准确的判断。清理井壁结垢物和井底沉渣后，可采用小一级套管或水泥封闭破裂部位。

16.4 井内落物处理

16.4.1 常见的井内落物是：泵头、泵管、泵轴、电缆、砖块、混凝土块以及各类工具。

16.4.2 可采用井下电视进行检测，判断落物情况后，设计、加工专用工具，采用套、抓、钩、锥等方法打捞落物。

16.4.3 可采用控制爆破技术定向破坏井内落物或将落物沉入井底。

16.4.4 打捞落物常用的设备有吊车、卷扬机、电动绞车等。井内落物提升阻力过大时，可用千斤顶进行起拔。

17 技术报告编写与资料归档

17.1 技术报告编写

工程竣工后，施工单位应编写“地热钻探施工技术报告”，总结施工管理和技术成果，评价技术经济效益。报告内容要客观、详实，数据要真实、准确。“地热钻探施工技术报告”编写提纲见附录C，不同性质的钻探工程，报告编写可有侧重或取舍。

17.2 资料归档

17.2.1 基本要求

17.2.1.1 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、表等技术材料进行整理、编目、造册、建档，并按规定保管，或按要求将资料汇交有关部门。

17.2.1.2 钻探工程技术档案应以合同项目或单井为单位立档。技术档案应保持完整、准确、系统和安全。

17.2.1.3 应按相关资料管理要求对原始文本资料、报表和施工日志进行保存和汇交。

17.2.1.4 技术文件材料应选用优质纸张，并装订成册。

17.2.1.5 封面应有档案编号、施工起止日期、立卷人和审查人姓名以及归档日期等信息。

17.2.1.6 竣工需移交建设方的文件应复制存档。

17.2.1.7 应建立档案总账和明细表，并建立电子文档或数据库。

17.2.1.8 不得涂改和伪造原始记录。

17.2.2 技术档案基本内容

17.2.2.1 工程投标和设计文件，包括地质设计、项目招投标文件、合同（任务）书、地热钻探工程设计、补充设计、施工作业计划、健康安全预案（手册）、环境评估及保护预案等。

17.2.2.2 现场工程管理文件，包括钻井定位和安装通知书、钻井开工检查验收表、热储层预告通知书、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、钻井弯曲度测量记录表、钻井事故登记表、停钻通知书、井内遗留物登记表和钻井成井质量验收报告等。

17.2.2.3 钻井成井原始报表文件，包括班报表、施工日志、生产统计报表、材料消耗统计表、钻杆钻铤和钻头使用登记表、产能试验原始记录表、测井和录井记录表、原始记录报表和移交清单等。

17.2.2.4 技术总结文件，包括工程技术总结、竣工报告、新工艺新技术试验及专题研究报告和钻探技术经济指标综合表等。

17.2.2.5 其他文件，如井管（管材）质保书、质量化验单、水质分析报告等。

18 健康、安全与环境管理

18.1 健康管理

18.1.1 钻井施工单位应按照劳动保护法规和相关标准，为现场施工人员配备劳动保护用品。

18.1.2 依据钻井施工地域、季节等特点，为现场施工人员配备相应的急救器材、药品。

18.1.3 高温、炎热天气应做好现场人员防暑降温工作。

18.1.4 应落实疫情防控措施，遵守当地疫情防控政策，为现场施工人员配备防疫用品。

18.1.5 确保施工人员了解工作中职业危害和相应的防护措施。

18.1.6 应建立施工人员职业健康档案，制定现场施工人员健康检查、疾病预防、饮食卫生和驻地卫生管理等制度，并认真执行。

18.2 安全管理

18.2.1 在地质灾害易发区，尤其是地面沉降及地裂缝易发区、岩溶塌陷区和砂土液化区等，应开展地质安全风险评估工作，包括地热钻探工程有可能引发的地质环境问题和地质灾害对钻探施工的影响，并提出防治措施，制定应急响应预案。

18.2.2 施工单位应按照国家法律、法规的要求，建立、健全安全生产制度，认真贯彻执行。

18.2.3 施工单位应设置专职或兼职安全员。安全员应经过安全培训，并考核合格后上岗。

18.2.4 施工单位应对上岗员工进行安全生产职业培训。定期进行工地安全施工检查，消除安全隐患。施工现场应保留安全活动记录。

18.2.5 施工现场应根据国家相关标准使用和设置安全标志，配备防护器材。

18.2.6 在油气赋存地层、高温地热田勘查施工，施工单位应针对井喷失控、有害气体和高温水蒸汽危害，制定安全保障和应急救援预案，并负责组织实施。

18.2.7 充分利用社会资源处理安全生产突发事件。

18.3 环境保护

18.3.1 钻前工程环保要求

18.3.1.1 井位确定后，应对井场周围的自然环境（地质、地貌、水环境、植被、生物、大气、土壤和人文环境等）进行调查或评价，依据有关法律、法规和绿色勘查相关要求，制定环境保护具体方案和措施。

18.3.1.2 井位靠近建筑物时，应收集周边的工程勘察和地基处理资料，开展地裂缝、地面沉降、地下水的调查工作，分析地下构造特征，做好井口管（导管）和一开表层套管下入深度设计。

18.3.1.3 修建通往井场的道路时，应避免堵塞和填充自然排水通道，并尽力减小设备搬迁过程对自然环境的影响。

18.3.1.4 井场应设置废弃钻井液、生活污水处理设施。污水沟池应进行防渗漏和防垮塌处理。

18.3.1.5 钻井液循环系统宜尽量采用循环罐，需要挖掘钻井液池或循环槽时，底部需做防渗处理。

18.3.1.6 现场生产、办公、居住设施布局合理，符合国家职业卫生标准要求。

18.3.2 钻井施工环保要求

18.3.2.1 采用绿色钻井液体系，并有效使用钻井液固控系统。配制钻井液应优先选择无毒或低毒化学处理剂，不得使用铁铬木质磺酸盐、亚硝酸盐、红矾等污染环境和地下水的化学处理剂，限量使用 CaCl_2 、 NaCl 等可能造成水质与土质破坏的处理剂。

18.3.2.2 应控制和降低井场环境噪声，必要时安装隔音带和消声装置。在强噪声区域[噪声等效声级超过 70 dB(A)]工作时，现场人员应佩戴耳塞，并避免长时间连续工作。

18.3.2.3 采用气动潜孔锤等易产生粉尘的钻进工艺，应采用湿式作业或采取井口扑尘措施，防止粉尘污染。

18.3.2.4 钻进中应预防井内泥浆漏失污染地下水及抽排地下水引发地面沉降、岩溶塌陷等地质环境问题，及时向井内补充钻井液或清水。如发现井内严重漏失或涌水，应及时采用环保材料堵漏或下入套管等方法进行封堵，减轻钻井及抽水试验对地下水环境造成扰动破坏。

18.3.2.5 钻井施工前应配置蓄水罐或修筑防渗蓄水池，将井内涌水和尾水用管道引至蓄水罐或蓄水池进行冷却、净化处理，达到排放标准后就近排至沟渠或河流中，防止涌出水和尾水对地表植被、土壤及地表水的污染与影响。

18.3.2.6 抽水试验（降压试验）产生的地热水及自溢井热水排放应采取相应的导流或封闭处理措施，防止热水排放对环境的影响。

18.3.2.7 测井项目中如含有放射源，应由专人负责保管，并做好进出场记录。并在保管、使用区域设置醒目标志，避免造成其他人员伤害。放射性仪器应由持许可证人负责操作与使用。

18.3.3 竣工搬迁环保要求

18.3.3.1 钻井工程竣工后，废弃钻井液、污水、淤泥、岩屑和油料污染的土壤等应进行固化或无害化处理，处理率应达到 100%。

18.3.3.2 井场内的包装物、塑料、废料以及生活垃圾等，应统一回收利用，无法利用的应交由当地废弃物处理单位处理。

18.3.3.3 竣工撤离后，施工场地及营地应进行场地恢复，最大程度恢复原来的自然地貌和景观。

附 录 A
(资料性)
钻探设计用表

表 A. 1~表 A. 6 分别给出了不同钻探设计内容的表格形式。

表A. 1 钻遇地层预测表

地层名称	底板埋深 m	地层厚度 m	主要岩性描述	施工风险提示

表A. 2 钻井主要设备和技术性能表

序号	名称		型号	载荷 kN	功率 kW
1	钻机				
2	井架				
3	天车				
4	游动滑车				
5	大钩				
6	水龙头				
7	转盘				
8	绞车				
9	钻井泵	1 号			
		2 号			
10	动力机	1 号			
		2 号			
		3 号			

表A.3 井身结构设计数据表

开钻 次序	井段 m	钻头直径 mm	套管直径 mm	套管下深 m
一开				
二开				
三开				
四开				

表A.4 钻井液性能设计表

井段 m	钻井液 类型	密度 g/cm ³	API 粘度 s	API 滤失量 mL/30min	泥饼厚度 mm	含砂量 %	pH 值	初切 Pa	终切 Pa

表A.5 固井设计表

开钻 次序	井段 m	钻头直径 mm	套管直径 mm	套管下深 m	水泥 型号	水泥浆 密度 g/cm ³	水泥返深 m	封固段 m
一开								
二开								
三开								

表A.6 套管试压表

开钻次序	套管直径 mm	试压介质	试压值 MPa	稳压时间 min	允许压降 MPa

附 录 B
(资料性)
地热钻探施工设计编写提纲

B.1 前言**B.1.1 工程概况**

项目来源、钻井编号、钻井类型、井口坐标（坐标系）、设计井深、设计目的层、靶点坐标、成井方式、钻井目的及任务；地理及环境资料、环境影响与风险分析等情况。

B.1.2 设计编写依据

项目任务书/合同，地热井钻井地质设计，相关法律法规、标准及规范，相关技术成果及资料。

B.2 地热地质条件

地热地质条件、地质构造概况、地层概况、钻遇地层预测表、目的热储层特征预测、预测水温、水量等。地质风险预测及钻井风险分析。

B.3 地热钻井质量要求

根据地热井类型、地层性质，参照相关规范制定地热井井身质量、取心质量、固井质量等要求。

B.4 井身结构**B.4.1 井身结构设计**

井身结构设计依据、井身结构示意图、井身结构设计数据表及设计说明。井身结构示意图和数据表应包括井径与井深、套管尺寸与下入井段、套管重叠段、水泥返深等数据。

B.4.2 定向井轨道设计

定向井轨道设计参数及视图，包括以井深为自变量增序排列的各个点参数，视图包括垂直投影图和水平投影图，必要时可绘制三维坐标图。

B.4.3 设计说明

设计说明中应包含井身结构设计的目的；重叠段止水工艺及要求；目的储层段成井工艺要求。

B.5 钻井设备及场地布设**B.5.1 钻井设备**

钻机主要设备和技术参数、配套的井控装置、固控系统及其技术参数。

B.5.2 钻前作业情况

施工场地面积、通水、通电、通路措施、场地平整；钻井平台搭建、设备安装及钻前准备；井场环保要求的排污措施；产能试验的抽排水系统部署。

B.6 钻进工艺**B.6.1 施工重点与难点**

对各井段施工重点和难点进行分析。

B.6.2 分段施工方案

各井段钻进方法、钻头类型、钻具组合、钻进参数、技术要求和质量保障措施。

B.6.3 取心施工方案

取心设计要求、取心方法，取心钻具的配备、使用及操作要求和质量保障措施。

B.7 钻井液

各井段钻井液类型、性能要求、维护与管理、固控措施、储层保护措施。

B.8 事故预防措施

对可能出现卡钻、漏失、坍塌等井内事故及复杂情况提出预防与处理措施。

B.9 地热井录井

根据地热地质条件，制定录井项目内容及相关质量要求。

B.10 地热井测井

根据地热地质条件及工程目的，制定裸眼井段、套管井段的测井项目和要求。

B.11 地热井井控

根据地热地质条件及工程目的，确定相应的井控设备，制定井控技术措施。

B.12 成井工艺

根据钻井地层确定成井工艺。基岩裂隙型成井各层套管下入方法、固井方法及要求、洗井方法及要求。孔隙型成井各层套管下管、止水和固井方法及要求，洗井方法及要求等。

B.13 产能试验

根据热储层性质及钻井现场条件，明确抽水试验（降压试验）、放喷试验或回灌试验，确定试验的仪器设备、实施步骤和技术要求。

B.14 钻井交付

交井时井口装置及安装要求，钻井交付要求。

B.15 职业健康、安全及环保技术措施

钻井、成井过程中的安全环保、职业健康、绿色勘查、应急保障等措施。

B.16 施工组织与管理

施工组织及管理体系、管理制度、人员配置、作业制度、施工工序及进度计划等。

附 录 C
(资料性)
地热钻探施工技术报告编写提纲

A.1 C.1 前言

包括项目来源、工程性质和目的、工期要求、工程量和预算等。

A.2 C.2 概述

C.2.1 地热井地理与交通概况

C.2.2 区域水文和地热地质条件概述

包括：地质构造条件、地层、目的热储层特征。

C.2.3 地层（岩石）钻进特性和施工技术条件

C.3 钻井设备

C.3.1 钻井设备与配套

钻探成井设备、仪器、工具的型号、规格、数量、技术参数等。

C.3.2 钻井设备的布设安装

C.3.3 井场动力解决方案

C.4 钻井与成井工艺

C.4.1 井身结构与套管程序

C.4.2 钻井工艺

说明钻前工程及设备安装、采用的钻进方法、钻进工艺、定向井施工、射孔作业等各项技术措施及规程参数。

C.4.3 钻井液与固控措施

C.4.4 成井工艺

说明物探测井、下管、止水固井、洗井方法等。

C.4.5 成井结构

说明成井结构情况，附完成的地热井实际结构图。

C.4.6 综合技术措施

说明针对钻井与成井安全、效率采取的技术措施及工艺方法及应用效果。

C.5 钻井地质工作

C.5.1 地质录井、采样

C.5.2 地球物理测井及解译

C.5.3 钻遇地层及热储层（目的层）分析评价

C.6 产能试验

C.6.1 产能试验

采用的方法和试验过程及取得的成果，并对地热井资源量、实际开发利用进行评价。

C.6.2 水质分析

C.6.3 可采资源评价

C.7 地热井工程质量

C.7.1 钻井质量

C.7.2 成井质量

C.7.3 质量综合评价

C.8 施工环境保护

包括主要各种环保措施、取得效果及井场修复、井口安装等情况评述。

C.9 施工管理

C.9.1 施工进度管理

C.9.2 生产组织形式

C.9.3 技术管理

C.9.4 安全文明施工

C.10 综合评述

C.10.1 地热工程成果概述

C.10.2 结论与建议

C.11 附件

C.11.1 钻井设计书

C.11.2 岩样录井记录表

C.11.3 测斜测温记录表

C.11.4 综合测井成果图

C.11.5 井管结构明细表

C.11.6 水泥固井记录表

C.11.7 洗井记录表

C.11.8 产能试验记录表

C.11.9 水样现场记录表

C.11.10 钻井综合柱状图

C.11.11 钻井质量验收单（内部）

C.11.12 钻井质量验收单（外部）

参 考 文 献

- [1]GB/T 5005-2010 钻井液材料规范
 - [2]GB/T 28911-2012 石油天然气钻井工程术语
 - [3]DZ/T 0374-2021 绿色地质勘查工作规范
 - [4]NB/T 10097-2018 地热能术语
 - [5]NB/T 10266-2019 地热井钻井工程设计规范
 - [6]NB/T 10267-2019 地热井钻井地质设计规范
 - [7]NB/T 10268-2019 地热井录井技术规范
 - [8]SY/T 5216-2017 石油天然气工业 钻井和采油设备 钻井取心工具
 - [9]SY/T 5412-2016 下套管作业规程
 - [10]SY/T 5596-2009 钻井液用处理剂命名规范
 - [11]SY/T 6918-2012 石油天然气工业钻井和修井设备钻井泵
 - [12]DB12/T 664-2016 地热单（对）井资源评价技术规程
 - [13]DB13/T 2554—2017 单井地热资源评价技术规程
 - [14]Q/SY 1571.2-2014 钻机基本配置技术条件 第2部分：ZJ503150钻机
 - [15]Q/SY 1571.1-2013 钻机基本配置技术条件 第1部分：ZJ704500钻机
 - [16]钻井手册编写组. 钻井手册（第二版）[M]. 北京：石油工业出版社, 2013.
 - [17]陈庭根, 管志川. 钻井工程理论与技术[M]. 北京：石油大学出版社, 2001.
 - [18]张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京：中国石化出版社, 2017.
 - [19]胡郁乐, 张惠. 深部地热钻井与成井技术[M]. 武汉：中国地质大学出版社, 2013.
 - [20]刘广志, 汤凤林. 特种钻探工艺学[M]. 上海：上海科学技术出版社, 2005.
-