

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXXX—XXXX

干热岩型地热资源勘查技术要求

Technical requirements for geothermal resource exploration in dry hot rock formation

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发布

目 次

前 言 错误！未定义书签。

干热岩型地热资源勘查技术要求 错误！未定义书签。

1 范围 错误！未定义书签。

2 规范性引用文件 错误！未定义书签。

3 术语 错误！未定义书签。

4 总则 错误！未定义书签。

5 勘查阶段 错误！未定义书签。

6 勘查研究内容 错误！未定义书签。

7 各勘查阶段工作程度 错误！未定义书签。

8 绿色勘查要求 错误！未定义书签。

9 勘查控制程度 错误！未定义书签。

10 可行性评价 错误！未定义书签。

11 资源储量估算 错误！未定义书签。

附 录 A （资料性） 干热岩资源量估算方法 错误！未定义书签。

附 录 B （资料性） 评价报告编写提纲 错误！未定义书签。

参 考 文 献 错误！未定义书签。

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则》的规定起草。

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。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

干热岩型地热资源勘查技术要求

1 范围

本文件规定了干热岩型地热资源勘查的目的任务、基本要求、勘查阶段、勘查研究内容、各勘查阶段工程度、绿色勘查要求、勘查工作及质量要求、勘查控制程度、可行性评价、资源量估算等方面的要求。

本文件适用于干热岩型地热资源地质勘查及其成果评价。

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 13908 固体矿产地质勘查规范总则

GB/T 17766 固体矿产资源储量分类

GB/T 25283 矿产资源综合勘查评价规范

DZ/T 0080 煤炭地球物理测井规范

DZ/T 0336 固体矿产勘查概略研究规范

DZ/T 0338 (所有部分) 固体矿产资源量估算规程

DZ/T 0374 绿色地质勘查工作规范

DZ/T 0331 地热资源评价方法及估算规程

3 术语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

干热岩 hot dry rock, HDR

一般是指温度大于 180℃，内部不存或仅存在少量地下流体的高温岩体。按照当前的技术和经济条件，岩体深度一般小于 6 km。

3.2

增强型地热系统 enhanced geothermal system--EGS

为开采干热岩型地热中赋存的热能，采用人工形成地热储层的方法，从低渗透性岩体中经济地采出深层热能的人工地热系统。具有经济意义的 EGS 系统一般要求激发储层的温度大于 175℃，体积大于 0.1km³，流量大于 80kg/s。

3.3

干热岩型地热热源 HDR heat source

干热岩型地热热能的直接补给源。主要是地球形成过程中重力势能转化储藏在核幔中的热量和壳幔中放射性元素衰变生热，此外还有月球和地球之间相互摩擦吸引而产生的摩擦热、硫化矿物与地下水接触发生化学方应放热等。

4 总则

4.1 目的任务

发现和评价可供进一步勘查或开发的干热岩型地热资源，为勘查或开发决策提供相关地质信息，最终为矿山建设设计提供必要的地质资料，以降低矿床勘查开发的投资风险，获得合理的经济效益。

4.2 基本要求

4.2.1 干热岩型地热地质勘查应在充分利用地球物理、构造地质、水文地质资料的基础上进行。初步查明区域深部热源机制和干热岩型地热资源类型、地热异常与地质构造的关系、区域构造应力场以及裂隙网络的空间发育情况。

4.2.2 干热岩型地热资源评价的范围应包括该类型干热岩型地热资源发育完整的地质构造单元。不同类型的干热岩型地热资源评价范围应根据热源特征而有所不同，近代火山型勘查范围包括整个火山活动区、高放射性花岗岩型勘查范围包括同一期次酸性岩体所包含的整个区域、沉积盆地型干热岩型地热勘查范围包括整个盆地构造单元、强烈构造活动的型干热岩型地热应以深部地热异常带为控制区域。

5 勘查阶段

5.1 勘查阶段划分

勘查工作划分按 GB/T 17766、GB/T 13908 执行，分为普查、详查和勘探三个阶段。一般应按阶段循序渐进地进行，合并或者跨阶段提交勘查成果时，宜参照勘查阶段要求分步实施。

5.2 各勘查阶段的目的任务

5.2.1 普查阶段

在区域地质调查、研究的基础上，检查、验证、追索热异常线索，发现干热岩型地热，并对普查区的工业远景作出评价，提出具有工业远景的可供详查的范围，为开展详查工作提供地质依据

5.2.2 详查阶段

在普查的基础上，根据 EGS 规划的需要，选择资源条件好、开发比较有利的地区进行。详查的主要任务是为 EGS 设计提供地质资料，其成果要保证人工热储规模，并对影响开发的水文地质条件和其它开采技术条件作出评价。

5.2.3 勘探阶段

勘探以人工热储为单位进行。通过开展干热岩探采井的施工和干热岩试验性开发工作，评价干热岩储层的开发潜力，部署微地震监测系统，进行储层激发过程中的微震监测和解译，评价热储建造效果，进而对激发储层进行模拟分析，预测评价干热岩开采年限，满足干热岩地热资源开采设计需要。

6 勘查研究内容

6.1 基本要求

6.1.1 干热岩型地热资源勘查研究的内容主要包括干热岩型地热赋存地热地质条件、岩体特征、岩石特征、赋存流体特征、现阶段开采技术条件的研究。建立干热岩型地热成因地质概念模型，据此进行综合地质分析，进而圈定干热岩型地热资源有利目标区（靶区），并进行干热岩型地热资源初步评价。

6.1.2 干热岩型地热资源勘查过程中，应尽可能收集区域和勘查区的地热、地温、地层、构造、岩浆岩、变质岩、围岩蚀变、干热岩体等地质资料，以及勘查区及周边的勘查资料、勘查成果、自然地理资料等，并深入研究。对于干热岩型地热外围有关地区应进行必要的地质调查和地球物理、地球化学工作，探索干热岩型地热的形成，热能补给来源和传递通道。

6.2 区域地热地质研究

6.2.1 对地表热显示及井（孔）温度进行系统调查，确定地热异常区范围，分析研究水热型地热的形成的原因和条件。

6.2.2 研究干热岩型地热地层、岩性、构造背景、岩浆（火山）活动、地热显示等特点。

6.2.3 初步查明干热岩型地热形成及空间分布条件、区域构造与应力场、岩体结构面发育特征。

6.2.4 通过开展适当的干热岩型地热室内试验分析与数值模拟，获取相关地质参数，构建干热岩型地热成因地质概念模型。

6.2.5 研究地热资源形成的地质环境条件及开发地热资源对地质环境可能造成的影响。

6.3 地温场研究

6.3.1 初步查明干热岩型地热不同地段、不同深度的地温变化，确定地温梯度，研究勘查深度内的地温场特征，圈定干热岩体范围。

6.3.2 估算不同深度干热岩型地热温度、并对干热岩型地热成因、控热构造、热源等做出分析推断。

6.4 储层特征研究

6.4.1 初步查明各干热岩型地热的岩性、厚度、埋深、分布、相互关系及其边界条件，尤其是干热岩型地热的岩石物理特征（孔隙率、渗透率等）和岩石化学特征（矿物类别与含量、可溶性等），为干热岩型地热资源储量计算提供依据。

6.4.2 确定干热岩型地热类型、盖层、热源以及与深大断裂、岩浆（火山）活动成因联系，确定热储、盖层、导热和控热构造。

6.4.3 初步查明干热岩型地热储层裂隙网络的空间发育条件，评估裂隙的优势产状和主渗透方向，为干热岩型地热开发的可行性提供支撑。

6.5 热源特征研究

6.5.1 开展必要的地质勘查和地球物理、地球化学勘查，确定干热岩型地热热源的范围、规模、温度、类型、围岩等边界条件。

6.5.2 通过地球化学等手段确定热源深度、形成时间、热源供给可持续性、主要传导类型等。

6.6 盖层特征研究

初步查明干热岩型地热盖层岩性、厚度、热物性、地温梯度及封闭情况。

6.7 控热构造研究

6.7.1 通过地质勘查和地球物理、地球化学勘查，确定干热岩型地热资源热通类型、范围、温度梯度、围岩等边界条件。

6.7.2 受断裂控制的干热岩型地热，要着重勘查断裂的形态、产状、组合配套关系等特点，阐明断裂系统与干热岩型地热的关系。

6.8 应力场勘查

初步查明干热岩型地热区域初始地应力场分布特征以及储层段应力场，为干热岩型地热资源可采资源量评价以及后期干热岩型地热探采工程提供资料和依据。

6.9 流体研究及环境评价

6.9.1 测定流体物理性质、化学成分、温度、相态、气体成分、微量元素、有用成分及有害成分，为后期注入流体、回收利用及环境治理提供依据。

6.9.2 研究干热岩型地热形成的地质环境条件及开发干热岩型地热资源对环境可能造成的影响。

6.9.3 地热流体环境影响评价按照 GB/T 11615 执行。

7 各勘查阶段工作程度

7.1 普查阶段工作程度要求

7.1.1 通过 1:1000 00~1:25000 比例尺的地热地质填图（正测图或地热地质简测图）、遥感解译、露头检查，并借助已有工程揭露，研究赋存地热地质规律，基本查明普查区的赋存地热地质条件和干热岩型地热岩体特征，初步查明勘查区的构造形态。

7.1.2 通过热异常检查、1:250 00 或更大比例尺的物探、化探剖面测量或面积性测量、必要的取样工程等，对普查区内发现的热异常现象逐一进行验证、检查、追索和评价，发现干热岩岩体。

7.1.3 对发现的干热岩型地热，深部应有工程证实，不要求系统控制，但应尽可能兼顾与后续详查工程布置的合理衔接。通过控制研究，对干热岩型地热体的连续性作出合理的推断，初步查明干热岩体特征和勘查区内矿体的总体分布范围，初步确定干热岩体的连续性。

7.1.4 通过有限的取样工程控制和样品的鉴定、测试、分析，初步查明干热岩型地热储层特征。

7.1.5 在收集区域水文地质、工程地质、环境地质及交通供电等建设条件资料基础上，初步查明矿床水文地质条件，初步了解矿石及围岩的放射性强度。

7.1.6 投入必要的控制性地热钻井工程，初步查明地热田的地层结构、热储埋藏深度、岩性、厚度、分布及地热流体温度、压力和化学组分，并通过井试，初步了解热储的地应力、渗透性、裂隙网络的发育等。

7.1.7 开展概略研究，估算推断资源量。

7.2 详查阶段工作程度要求

7.2.1 以钻探为手段证实干热岩存在，以微震、井间地震等手段，指导人工储层建造，以储层评价为重点，综合运用干热岩资源勘查开发指标体系，完成储层 5-20 年开发潜力评价。

7.2.2 实施干热岩勘查井，获取区域干热岩资源评价的深部地热地质参数。完成探井干热岩评价。

7.2.3 对勘查井和周边已有井孔进行地球物理测井，可能的情况的下应当进行综合地球物理测井，必须要有详细的温度测井。当井下有流体时应该采集地热流体，选用合适的地质温度计，测算地下流体的温度。

7.2.4 应详细测量干热岩储层地应力，获取地下局部应力场分布；对岩芯要进行岩石物理学实验，得到岩石力学性质，为压裂提供参考。综合已经得到的数据和适当假设边界条件，对热储结构及温度场进行模拟分析。

7.2.5 详查阶段推荐工作尺度 1: 50 000~1:10000。

7.2.6 应查明勘查区的构造形态，控制勘查区边界和区内可能影响井田划分的构造，评价勘查区构造复杂程度。查明落差大于 20m 的断层性质及其延伸情况，其平面位置误差不大于 50m。厚度、深度大于 200m 时，解释误差不大于 5%；小于 200m 时解释误差不大于 10%。

7.2.7 应建立精细地质力学模型和地温场模型，温度预测误差不大于 2%。开展概略研究，估算推断资源量和控制资源量，也可开展预可行性研究或可行性研究，估算可信储量。最终建立精细成因概念模型，提交详查报告。

7.3 勘探阶段工作程度要求

7.3.1 人工储层体积至少应达到 500~1 000m³。

7.3.2 勘探阶段推荐工作尺度 1:10000~1: 5 000。

7.3.3 应查明人工热储边界及与注入采出井有关的边界构造。查明人工刺激裂缝发育程度及形态、范围、连通程度等作出评述。缝长大于 200m，解释误差不大于 3%；小于 200m 时解释误差不大于 10m。

7.3.4 应建立精细人工裂缝热储地质力学模型和人工裂缝热耦合数值模拟，预测当前技术经济条件下的热储开发年限。开展概略研究，估算推断、控制、探明资源量，也可开展预可行性研究或可行性研究，估算可信、证实储量。提交勘探报告，为矿山建设设计提供依据。

8 绿色勘查要求

8.1 干热岩型地热勘查工作应将绿色发展和生态环境保护要求贯穿于勘查设计、施工、验收的全过程，统筹完成勘查任务、达到勘查目的的需要与生态环境保护的关系，以最小的负面环境影响代价取得最佳的勘查效果。

8.2 干热岩型地热勘查工程布置和施工应合理避让生态环境敏感地段和居民密集区。场地选址应尽量选择无人区，同时考虑后期详查、勘探可能进一步在周边部署微震监测井，勘查重点靶区应充分考虑微震对周边环境的影响。

8.3 干热岩型地热勘查工作应尽可能选择有利于环境保护的技术、方法和工艺。干热岩型地热钻探应选用清洁对储层无污染的钻井液，干热岩型地热压裂试验压裂液应尽可能选用清水压裂工艺。

8.4 勘查施工过程中应及时修复施工对生态环境造成的负面影响，并努力改善生态环境，妥善处理物料堆存、废弃物处置等问题，及时进行场地平整和土地复垦。

8.5 具体工作要求按照 DZ/T 0374 执行。

9 勘查控制程度

9.1 基本要求

9.1.1 勘查控制研究的重点是深部不含水或仅含有少量水的干热岩型地热储层，勘查阶段一般根据干热岩型地热的资源储量规模确定。

9.1.2 勘查过程中应首先确定勘查类型，以正确选择勘查方法和手段，合理确定勘查工程间距和部署勘查工程，对干热岩型地热体进行有效控制，对干热岩型地热体的连续性进行有效查定。

9.2 勘查类型划分

9.2.1 确定勘查类型时，根据影响干热岩型地热体成因环境和地质复杂程度确定。干热岩型地热的类型根据产出环境可分为近代火山型、高放射性花岗岩型、沉积盆地型以及强烈构造活动带型四种类型。在此基础上，依据构造复杂程度等主要地质因素可进一步划分为简单类型（I类型）、中等类型（II类型）、复杂类型（III类型）三种类型。具体如下：

a) 近代火山干热岩型地热资源的热源是由于深部热扰动（岩浆活动）引起的热源沿岩石裂隙向浅部运移，以致喷发出地表，常发现在火山口或破火山口附近。

b) 高放射性花岗岩干热岩型地热资源为深部具有高产热的酸性岩体分布，放射性壳源产热所占的比例明显偏高，属于热壳冷幔的热结构。

c) 沉积盆地干热岩型地热资源位于发育统一的沉陷单元，受沉积物厚度及保温作用，深部形成相对高温的干热岩型地热储层。

d) 强烈构造活动带干热岩型地热资源的热源则是由于板块间构造运动导致的减压熔融而形成，主要分布在我国青藏高原隆升带。

9.2.2 勘查类型一般根据干热岩体规模的大小、形态和内部结构复杂程度、厚度稳定程度、地温分布、构造复杂程度等主要地质因素合理划分勘查类型。具体参照附录 B 执行。

9.3 地球化学勘查

9.3.1 普查阶段干热岩型地热资源勘查宜进行地球化学勘查，采用多种地球化学勘查方法，包括地热流体特有组分勘查、地热气体勘查，确定地热异常分布范围。

9.3.2 对于具备采样条件的深部高温岩体应开展岩石地球化学测试分析，测定岩石放射性产热特征以及岩石矿物元素特征。

9.4 地球物理勘查

9.4.1 地球物理勘查宜在干热岩型地热资源普查阶段进行，勘查范围应包括相关的构造单元。地球物理方法的选择应结合干热岩型地热类型及潜在的埋藏深度进行选择。

9.4.2 地球物理勘查初步查明以下地热地质问题：

- a) 圈定地热异常范围、干热岩体的空间分布情况；
- b) 圈定隐伏岩浆岩及其蚀变带；
- c) 确定基底起伏及隐伏断裂的空间展布；
- d) 确定勘查区的地层结构、干热岩型地热的埋藏深度。

9.4.3 地球物理勘查方法根据干热岩型地热发育的地质条件及其物性特征进行选择。

9.4.4 利用地温测量圈定地热异常区；利用航磁确定居里面的起伏特征；利用重力法确定勘查区基底起伏、酸性岩体的发育及断裂构造的空间展布；利用磁法确定岩浆岩体的分布及蚀变带位置；利用电

磁法（MT）确定地层结构；利用可控源音频大地电磁（CSAMT）或广域大地电磁确定断裂构造和热异常；利用地震勘探较准确地圈定地层结构、干热岩型地热埋深以及断裂位置与产状。

9.4.5 地球物理勘查应严格执行各类地球物理勘查工作规范，取全取准各项观测数据，不符合质量要求的资料不得参与地质解译推断。

9.4.6 地球物理勘查资料解译推断应遵循“从已知到未知、从定性到定量、综合解译与反演解译”的原则，提高地质解译质量。

9.5 地热钻探

9.5.1 勘查工程间距

9.5.1.1 干热岩型地热勘查时应根据勘查类型合理确定勘查工程间距。不同勘查类型矿床，圈定控制的资源储量的勘查工程间距为基本工程间距。原则上应能按基本勘查工程间距呈“井”字型垂直交叉布置四条及以上勘查线。

9.5.1.2 各勘查阶段均应尽可能全面、及时地收集区域地质资料，特别是勘查区及周边的地热、地温、地质、干热岩、物探、化探、遥感、取样测试（试验）资料、最新研究成果等，并在充分研究的基础上加以利用。对于勘查区内已完成相应勘查阶段要求的地质工作，若资料齐全，工作质量、研究程度符合相应阶段要求，应直接利用，不应重复部署相应工作。

9.5.2 钻井设计原则

9.5.2.1 钻井设计的基本内容包括井孔位置、合理的井深、成井结构及井孔轨迹、井眼孔径、井孔方向及布局。

9.5.2.2 在充分收集分析研究已有地热地质、地球物理、地球化学勘查资料的基础上，依据建立的概念模型合理部署。

9.5.2.3 要根据不同的构造背景、储层岩性、温度、深度等因素设计钻井。

9.5.2.4 要充分考虑高温条件钻井要求，防止井喷引起的事故。

地热探测井的钻井地质编录、测井、完井试验与地质资料收集整理除按成井技术要求实施外，还应按地

9.5.2.5 质勘查要求，取全、取准各项地热地质资料。

9.5.2.6 干热岩型地热勘查应以探测为主，地热地质勘查钻孔首先应满足干热岩型地热资源探测、储层建造试验的要求。

9.5.2.7 除专门设计的定向井外，地热钻井应保持垂直，相应深度的井斜控制为：深度1 000 m 内不大于3°，2 000 m 内不大于5°，3 000 m 以内不大于7°，3 000m以上不大于10°。井探误差不大于1/10 000。

9.5.3 合理井深

9.5.3.1 井深的确定是由岩体的温度、钻井技术水平和钻井成本三个因素决定的，合理的钻井深度就是在钻进技术水平和钻井成本允许的前提下，可达到的最高温度的岩体的深度。

9.5.3.2 干热岩型地热井深的确定决定于地温梯度的大小，通常而言，地温梯度大于50℃/km时，合理的井深为4km-6km。

9.5.4 测试试验

9.5.4.1 干热岩型地热地质勘查钻探应坚持一孔多用的原则，并保证工程质量。取心钻孔应针对目标热储层多次采样，岩心采取率不低于80%。钻探工程的质量要求，按有关规程执行。

9.5.4.2 干热岩型地热地质勘探孔除获取温度参数以外应对主要热储层进行抽水（放喷）试验，获取热储层水文地质参数，为下一步的储层建造提供参数。

9.6 压裂试验

9.6.1 干热岩型地热资源普查阶段完成钻探工作后，应针对发现的目标干热岩型地热储层开展 1-2 次压裂增产试验，同时监测压裂前后储层裂隙网络的变化规律。压裂工艺的选择应结合储层特征以清洁压裂为主，避免对储层地质环境造成污染破坏。

9.6.2 压裂试验应在对区域干热岩型地热储层天然地应力充分了解的基础上形成具有针对性的压裂试验设计方案，并对压裂过程可能诱发的地震以及裂缝的扩展范围进行预测评估，对压裂可能造成的环境影响进行综合评估，评价结果分为 3 个等级，分别为可压裂、调整压裂工艺后可压裂、不可压裂。

9.6.3 压裂试验中获取的参数包括：注入流量、压力、微地震、裂缝相关参数等。

9.7 地热流体与岩土实验分析

9.7.1 干热岩型地热勘查中，应系统采取水、气、岩土等样品进行分析鉴定，获取热储及地热流体的有关参数。各类样品按下述要求采取：

- a) 地热流体全分析：各勘查阶段的全部地热井和代表性泉点均应采取；
- b) 气体分析：凡有气体逸出的地热井、泉均应采取；中高温地热井应采取蒸汽样；
- c) 微量元素、放射性元素（U、Ra、Rn）、毒性成分的分析：按每个储层计算，普查阶段各取 2 个~4 个；
- d) 稳定同位素：普查阶段可取 2 个~3 个；
- e) 放射性同位素：普查阶段每层热储各取 2 个~3 个；
- f) 岩土分析样：采集典型的热储和盖层岩样及包含水热蚀变的岩土样品。

9.7.2 地热流体化学成份全分析项目包括：主要阴离子（ HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} ）、阳离子（K、Na、Ca、Mg）、微量元素和特殊组分（F、Br、I、 SiO_2 、B、 H_2S 、Al、Rb、Cs、Fe、Mn、Li、Sr、Cu、Zn 等）、放射性元素（U、Ra、Rn）及总 α 、总 β 放射性、pH 值、溶解性总固体、硬度、耗氧量等。对温泉和浅埋热储应视情况增加污染指标如酚、氰等的分析，并根据不同用途增加相关分析项目。

9.7.3 同位素分析：一般测定稳定同位素（D、 ^{18}O 、 ^{34}S ）和放射性同位素（T、 ^{14}C ）。

9.7.4 气体分析：应尽可能包括： H_2S 、 CO_2 、 O_2 、 N_2 、CO、 NH_4 、 CH_4 、He、Ar 等。

9.7.5 岩、土 分析鉴定：依据地热田的实际情况有选择的进行。

- a) 热储及代表性盖层的物理、水理性质测定。项目包括：密度、比热、热导率、渗透率、空隙率等。
- b) 地层地质信息测定。包括：同位素年龄、古地磁、化石、重矿物、岩石磨片与岩石化学等测定和鉴定，确定其地层时代及岩性。
- c) 岩石薄片鉴定水热蚀变矿物并研究其演化过程，如发现矿物包体则可进行包体测温。
- d) 应用岩石中铀、钍、钾-40 放射性含量，研究热田地质历史及形成区域热结构。

9.8 动态监测

9.8.1 按照地热资源地质勘查规范对区域水热型地热系统进行动态监测。

9.8.2 对区域地震活动进行动态监测。应采集区域地震活动数据，必要时，安装地震检波器。

9.8.3 对地下温度场进行长期动态监测，高温热储层受水热活动的影响较大，因此在普查阶段，对针对典型的干热岩型地热探测井进行长期的稳态测温。

9.9 不同环境干热岩型地热地热资源钻探要求

9.9.1 干热岩型地热探测井以获取深部岩样和探测深部温度为目的，钻探深度应达到基岩层，结合钻探方式应做好岩心取样和岩屑取样工作，做好中途测井工作，测井参照 DZ/T 0080 的要求。但不同环境的干热岩型地热钻井技术要求差别较大，需要区别对待。

9.9.2 火山环境

9.9.2.1 火山环境干热岩型地热储层有以下特点：岩石质地坚硬，裂隙发育，高温流体活动强烈，流体化学性质活跃甚至会有高温蒸汽活动。因此在钻井过程中要考虑钻头的合理选择，防止钻井过程中井喷等事故的发生。

9.9.2.2 火山环境干热岩型地热储层构造往往也很发育，钻井过程中应密切关注泥浆流量变化，及时处理泥浆泄露等故障；也要防止钻井过程中遇到破碎带而突然垮塌引起卡钻。

9.9.3 结晶环境

9.9.3.1 结晶环境的干热岩型地热储层相对比较稳定，主要难题是合理的选择钻头和相关设备，保证钻穿相应的地层和岩体。

9.9.3.2 结晶环境地温梯度通常较低，选择钻井设备时要充分考虑到钻井深度的需要。

9.9.4 沉积环境

9.9.4.1 在沉积环境中钻地热井时需要特别关注的是：井径、定向钻井和避免地层破坏的技术。

9.9.4.2 沉积环境的钻探在油气工业中积累了丰富的经验，需要认真借鉴。

10 可行性评价

10.1 概略研究

通过了解分析项目的地质、采矿、基础设施、经济、市场、法律、环境、社区和政策等因素，对项目的技术可行性和经济合理性进行简略研究，作出矿床开发是否可能、是否有必要转入下一勘查阶段工作的结论。具体按 DZ/T 0336 执行。

10.2 预可行性研究

10.2.1 通过分析项目的地质、采矿、加工、基础设施、经济、市场、法律、环境、社区和政策等因素，对项目的技术可行性和经济合理性进行初步研究，作出矿山建设是否可行的基本评价，为矿山建设立项提供决策依据。

10.2.2 预可行性研究应在详查及以上工作程度基础上进行，应由具有相应能力的单位来完成。

10.3 可行性研究

10.3.1 通过分析项目的地质、采矿、基础设施、经济、市场、法律、环境、社区和政策等因素，对项目的技术可行性和经济合理性进行详细研究，作出矿山建设是否可行的详细评价，为矿山建设投资决策、确定工程项目建设计划和编制矿山建设初步设计等提供依据。

10.3.2 可行性研究一般应在勘探工作程度基础上进行，也可在详查工作程度基础上进行，应由具有相应能力的单位来完成。

11 资源储量估算

11.1 资源储量类型划分

11.1.1 干热岩的资源储量根据 GB/T 17766，按照地质可靠程度由低到高，资源量分为推断资源量、控制资源量和探明资源量。

11.1.2 干热岩中的热能资源储量根据 GB/T 17766，按照地质可靠程度由低到高，资源量分为推断资源量、控制资源量和探明资源量。

11.1.3 干热岩中的干热岩型地热储量分类按 GB/T 11615 执行。

11.2 估算要求

11.2.1 干热岩型地热资源储量的估算需要结合实际地热、地质等数据资料，建立增强型地热系统概念模型，给出干热岩型地热优选靶区并计算干热岩型地热激发储层的规模，给出可开采地热资源的上限、中值和下限。

11.2.2 估算方法或计算模型应符合实际，模型的建立与计算方法的采用，应随勘查工作程度的提高，依据新的勘查和动态监测资料进行更新和改进。

11.2.3 勘查开发程度高、规模大的地热田，应进行区域地温场监测，开展热储工程研究，建立数值模型，并据此评价干热岩型地热资源量和下一步工作方案。

11.2.4 干热岩型地热资源潜力评价应以地热地质勘查资料为依据，在综合分析热储的空间分布、边界条件和渗透特征，研究地热流体的补给和运移规律，研究地热的成因、热传导方式、地温场特征，并建立地热系统概念模型的基础上进行。

11.2.5 干热岩的资源储量估算按 DZ/T0331、DZ/T 0338 执行，干热岩中的热能资源储量估算按 GB/T11615 执行。具体估算方法参照附录 A 执行。

附 录 A (资料性) 干热岩资源量估算方法

A.1 估算干热岩型地热资源储量 (Q_{total})

干热岩型地热资源基数就是赋存在低孔渗(忽略岩石空隙流体的热量)岩石介质中所赋存的热量。相对于近地表恒温带温度 T_0 地层中资源基数,通常采取体积法估算我国陆地地区干热岩型地热资源储量估算,体积法公式如下:

$$Q_{total} = \rho V_{total} C_r (T_z - T_0)$$

式中:

Q_{total} —干热岩型地热资源储量;

ρ —岩石密度;

C_r —岩石比热容;

V_{total} —岩体体积;

T_z —所计算深度的岩石温度;

T_0 —地表温度。

A.2 计算模型温度 (T_z)

由于目前的钻孔深度一般小于 5 000 m,对于深部的温度状况不能直接进行测量,稳态热流状态下的深部温度可用下式推算:

$$T_z = T_0 + \frac{q_0 Z}{k} - \frac{AZ^2}{2k}$$

其中:

$T(z)$ —深度 Z 处的温度;

T_0 —地表温度。

q_0 —地表大地热流值;

A —生热率;

k —岩石导热率;

Z —深度。

A.3 可采资源量 (Q_{rec})

干热岩型地热可采资源量与岩体裂隙率密切相关,相互连通的裂隙越发育,裂隙网络范围越广,可采资源量越大。干热岩型地热可采资源量的计算通过可采系数求取,可采系数充分考虑裂隙发育程度。

$$Q_{rec} = Q_{total} \times n$$

Q_{total} —干热岩型地热资源储量;

Q_{rec} —干热岩型地热可采资源量;

n-可采系数；

表 A. 1 不同类型岩体干热岩型地热可采系数

孔隙（裂隙）度	≤5%	5%-10%	10%-15%	≥15%
火山岩	0.005	0.01		
沉积岩	0.003	0.005	0.008	0.01
变质岩	0.005	0.01		

附录 B
(资料性)
干热岩勘查类型划分

B.1 概述

干热岩勘查类型主要依据热储岩体（干热岩体）的规模、形态与内部结构、厚度稳定性、地温梯度/分布特征、构造复杂程度等核心地质因素进行综合划分。干热岩资源的形成与分布主要受深部高热流背景、岩体特性及构造控制，其勘查类型划分旨在为合理部署勘查工程、确定工程控制程度提供地质依据。

B.2 勘查类型划分

根据干热岩体的地质特征，将干热岩勘查类型划分为三类六型（见表 B.1）。

表 B.1 干热岩勘查类型

类	型	主 要 特 征
大型完整岩基型 (I)	I-1 巨型厚层稳定型	岩体规模巨大，通常为大型花岗岩基、闪长岩体等；形态规则，厚度巨大且横向稳定；内部结构（如节理、裂隙）相对简单或呈规律性分布；区域地温梯度高且分布相对均匀；无大型切割性断裂构造破坏，构造条件简单。
	I-2 大型块状构造型	岩体规模大；呈完整块状，但厚度可能存在一定变化；内部结构受区域构造影响，发育多组节理或隐伏断裂，但未严重切割岩体完整性；地温场总体较高，局部受构造影响可能有变化；构造条件中等。
中等规模层状/带状型 (II)	II-1 中厚层状稳定型	岩体规模中等，呈层状或似层状产出（如厚层状火成岩、高放射性产热层）；岩性、厚度较为稳定；内部结构相对均一；地温梯度较高，分布较稳定；受褶皱或平缓断裂影响，构造条件相对简单。
	II-2 构造控制带状型	岩体规模中等或偏小，主要受深大断裂带、构造带控制，呈条带状、透镜状展布；岩体厚度变化较大；内部结构复杂，裂隙发育且连通性受构造主导；地温场分布不均匀，高温异常区沿构造带集中；构造条件复杂。
复杂结构复合型 (III)	III-1 多期次复合岩体型	岩体由多期次岩浆活动叠加形成，规模不等；形态不规则，内部岩性、结构不均一，可能存在接触带、蚀变带；地温场受岩体生热率差异和后期热液活动影响，分布复杂；构造条件中等至复杂。
	III-2 强改造裂隙网	岩体规模可能较大，但经历了强烈的构造改造（如多期断裂活动、剪切作用）；原生结构被破坏，形成密集的裂隙网络或破碎带；岩体完整性和渗透性空间异

类	型	主 要 特 征
	络型	质性强；地温场受流体（如有）和构造控制，极不均匀；构造条件极复杂。

B.3 补充说明

勘查应用：本分类旨在指导勘查阶段的工作部署。对于Ⅰ类（大型完整岩基型），勘查工程可侧重于查明区域地温场和岩体宏观特性；对于Ⅱ类和Ⅲ类（尤其是Ⅱ-2、Ⅲ-2型），勘查工程需重点控制构造带、裂隙发育带，并加密工程以揭示其非均质性。

动态调整：在实际勘查过程中，随着资料的积累，勘查类型可能需要进行调整或进一步细分。

与地热资源对比：干热岩勘查类型划分借鉴了传统水热型地热田的划分思路（如考虑形态、构造），但更强调岩体自身规模、内部结构和完整性，因其资源获取主要依赖人工造储（增强型地热系统，EGS），而非天然含水层。

附 录 C
(资料性)
评价报告编写提纲

- 1、概述
 - 1.1 评价目的
 - 1.2 评价范围
 - 1.3 评价准则
- 2、评价过程和方法
 - 2.1 评价组安排
 - 2.2 文件评价
 - 2.3 现场评价
- 3、评价发现
 - 3.1 申报企业的基本信息
 - 3.2 申报企业与评价指标符合性
 - 3.3 申报企业的评价结果
- 4、资料清单

参 考 文 献

- [1] 《铝行业规范条件》（中华人民共和国工业和信息化部 公告2020年第6号）
- [2] 《再生铅行业规范条件》（中华人民共和国工业和信息化部 公告2016年第60号）
- [3] 《铅锌行业规范条件》（工业和信息化部 公告2020年第7号）
- [4] 《新能源汽车废旧动力电池综合利用行业规范条件（2024年本）》（工业和信息化部 公告2024年第42号）
- [5] 《低碳企业评价指南》（SZDB/Z 309—2018）