

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 144—2026

干热岩地热能开发设计规范

Design specifications for hot dry rock geothermal energy development

2026-02-02 发布

2026-02-03 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 设计要求 2

5 开发部署 3

6 钻井工程设计 3

7 完井工程设计 4

8 热储改造工程设计 4

9 循环取热工程设计 5

10 地面工程设计 5

11 环保与职业健康安全 6

12 技术经济评价 6

13 设计书编制 6

附录 A（资料性） 干热岩地热能开发设计的基础资料 8

附录 B（资料性） 干热岩地热体特征描述 9

附录 C（规范性） 热储地质品质及工程品质评价指标 10

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：中国矿业大学、中国石油大学（北京）、中国矿业大学(北京)、江苏省地质调查研究院、江苏华东地质建设集团有限公司、中石油集团工程技术研究院有限公司。

本文件主要起草人：付国强 吴永辉 车平 王丽娟 关俊朋 许献磊 胡晓东 张杨 邹冠贵 陈冬 刘志新 尚立涛 李孟琳 屈争辉 钱进 李哲 罗金辉 郭强 杨学松 孙晨皓 张旭东 乔岩 马娟 杜志明。

干热岩地热能开发设计规范

1 范围

本文件规定了干热岩地热能开发设计的设计要求、开发部署、钻井工程设计、完井工程设计、热储改造工程设计、循环取热工程设计、地面工程设计、环保与职业健康安全、技术经济评价、设计书编制等。

本文件适用于干热岩地热能开发设计。不适用于浅层地热能及常规水热型地热开发。

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 17740 地震震级的规定
GB 50791 地热电站设计规范
GB/T 11615 地热资源地质勘查规范
GB/T 19409 水(地)源热泵机组
GB/T 19830 石油天然气工业油气井套管或油管用钢管
DZ/T 0331 地热资源评价方法及估算规程
NB/T 10097 地热能术语
NB/T 11154 干热岩钻井技术规范
NB/T 11697 干热岩力学参数实验测试方法
NB/T 11699 干热岩井压裂设计推荐做法

3 术语和定义

GB 50791、GB/T 11615、GB/T 19409、NB/T 10097 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

干热岩 hot dry rock

不含或仅含少量流体，温度高于180℃，作为热能资源开发利用的岩体。

3.2

增强型地热系统 enhanced geothermal system (EGS)

采用水力压裂、化学刺激、热刺激等人工改造手段形成地热储层，从低渗透性岩体中经济地采出深层热能的人工地热系统。

3.3

地热流体 geothermal fluid

从地热井中提取的热水、汽水混合物、干蒸汽等流体。

3.4

地热井试井 geothermal well testing

地热井成井后的动态参量测试，包括流体相态、产量、压力、温度、矿物组成等。

3.5

地热尾水回灌 geothermal tailwater 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，对经过利用的地热流体或其他水源，通过地热回灌井重新注回地热储层的过程。

3.6**热储模型 geothermal reservoir modeling**

在掌握热田机制和开采生产的全系列工程测试数据的基础上，建立的热储构造、水热储集与传导属性、地应力、水热供给边界条件等模型。

3.7**地热体 geothermal body**

地球内部具备一定规模温度异常、具备热量储存能力的地质体/热流体系统，是地热资源的核心载体。

3.8**热突破时间 thermal breakthrough time**

向地热回灌井注入的尾水首次到达地热采出井所需的时间。

3.9**热储寿命 geothermal reservoir life**

地热储层从商业性开采起，到产能下降到不再具有经济利用价值为止所持续的时间。

4 设计要求**4.1 一般要求**

干热岩地热能开发设计要求包括下列内容：

- a) 建立热储模型，设计增强型地热系统，确定开发部署方案；
- b) 确定钻井、完井、热储改造、地面等工程方案；
- c) 确定环保与职业健康安全措施；
- d) 评估投资规模、技术与投资风险。

4.2 基础条件**4.2.1 开发有利区**

干热岩地热能开发设计前，应已开展地热体地质评价与工程研究，并已确定达到工业开发要求的有利区。

4.2.2 先导试验

干热岩地热能开发设计前，应已开展小规模、系统性的先导试验，并已确定地热开发利用技术、经济效益与环境影响。

4.2.3 基础资料

需要准备的基础资料见附录A。

4.3 设计内容

设计内容应包括开发部署、钻井工程设计、完井工程设计、热储改造工程设计、循环取热工程设计、地面工程设计、环保与职业健康安全和技术经济评价。

5 开发部署

5.1 地热体特征描述

地热体特征描述应明确热源、热储、热盖、热通等地质特征，应包括热储岩性、厚度、埋深、分布、相互关系及其边界条件，测定热储参数；应明确热储的渗流、导热及取热动态特征。见附录B。

5.2 热储模型构建

热储模型构建应综合分析热储区内已有地质、水文地质、地热地质、深部地热钻井及地球物理勘查资料，查明地热田或研究区内的地质构造、岩浆活动，以及热储岩性、厚度、分布范围及其埋藏条件，建立三维热储模型，定量描述热储地质品质、工程品质评价指标参数分布特征。见附录C。

5.3 储热能力评估

储热能力评估应基于地热体特征描述和三维地质建模结果，初步分析热储改造方式与参数，计算矿区地热静态储量、储量丰度、动态储量的分布特征，确定热储开采的可靠性，应按照DZ/T 0331规定。地热静态可采储量可按公式（1）计算。

$$Q = \rho_r C_r V \Delta T \eta \quad (1)$$

式中：

Q ——地热储量，单位为焦耳（J）；

V ——储层体积，单位为立方米（ m^3 ）；

ρ_r ——岩石密度，单位为千克每立方米（ kg/m^3 ）；

C_r ——岩石比热容，单位为焦耳每千克摄氏度（ $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ）；

ΔT ——有效温度差，单位为摄氏度（ $^\circ C$ ）；

η ——热提取效率，百分数，一般不应小于15%。

5.4 增强型地热系统设计

5.4.1 开发井优化部署

开发井优化部署应论证开发井型与井网，确定合理井距与靶点位置，明确建井顺序与滚动开发方式。

5.4.2 取热方式优选

取热方式优选应通过择优选取方式，确定热储改造方式与参数、取热工质类型和井间配合方式。

5.5 开发指标预测及方案优选

5.5.1 应根据技术绿色、低碳、环境友好性等因素，确定3个及以上初步的开发方案。

5.5.2 开发指标预测应采用热流固耦合数值模拟预测30~50年以上的取热动态，预测指标应包括循环流量、取热量、取热效率、热储温度场动态特征、热突破时间、热储寿命。

5.5.3 方案优选应全面对比开发指标、技术经济及环保情况，并应确定最终开发方案的单井循环流量、部署井数量、热储改造参数、建井批次与顺序。

5.6 工程实施进度

工程实施进度应确定钻井、完井与压裂改造、循环取热、地面建设的实施进度。

6 钻井工程设计

6.1 一般要求

钻井工程设计应以地热体综合评价、开发部署设计为基础，兼顾后续完井与压裂改造工程、循环取热工程的需要确定。

6.2 钻井工程设计内容

6.2.1 井身结构设计

按照NB/T 11154规定，井身结构设计应包括下列内容：

- a) 各井段钻井直径、套管直径、水泥返深；
- b) 表层套管下入深度；
- c) 井壁管、过滤管下入深度；
- d) 真空隔热套管井段，环空充填氮气等隔热材料；
- e) 裸眼成井井段；
- f) 套管壁厚与钢级技术性能要求，应按照 GB/T 19830 规定；
- g) 过滤管孔隙度、缠丝间距要求；
- h) 射孔成井的射孔直径、射孔孔密和位置等要求。

6.2.2 钻进工艺设计

按照NB/T 11154规定，根据干热岩储层及各井段岩性、力学性质、温度、压力、地应力确定钻进工艺，设计内容包括：

- a) 各井段钻进方法、钻头类型、钻具组合、钻进参数和技术要求；
- b) 取心井段与取心方法，取心钻具配备、使用及操作要求。

6.2.3 钻井液设计

按照NB/T 11154规定，根据干热岩储层及各井段力学性质、温度、压力、裂缝发育特征等开展钻井液设计，包括钻井液类型、性能要求、维护与管理、防漏与堵漏措施、井控措施、储层保护措施。

6.2.4 事故预防措施

按照NB/T 11154规定，事故预防措施应对各井段施工重点提出要求，对可能出现的井涌/喷、井壁失稳、钻具失效、储层污染等事故及复杂情况提出预防与处理措施。

7 完井工程设计

7.1 一般要求

完井工程设计应以地热体综合评价、开发部署设计、钻井工程设计为基础，兼顾后续热储改造工程、循环取热工程的要求确定。

7.2 设计内容

完井工艺设计应包括下列内容：

- a) 确定测井、扫孔、破壁、冲孔换浆、下管、填砾止水、固井、洗井、抽水试验等工艺参数；
- b) 套管完井时应确定射孔参数；
- c) 针对深层高温地层、高温取热工质要求，选择耐温、抗疲劳、抗腐蚀的套管与水泥固结体系，或确定防治措施。

8 热储改造工程设计

8.1 一般要求

热储改造工程设计应以地热体综合评价、开发部署设计、钻井工程设计、完井工程设计为基础，兼顾后续循环取热工程的要求确定。

8.2 设计内容

8.2.1 压裂工艺

压裂工艺应按照NBT 11699，应满足下列要求：

- a) 根据地热体特征描述、地质建模结果，确定适应的压裂方式、压裂改造施工参数、压裂效果监测方法；

- b) 根据压裂改造效果分析,选择不支撑或合理支撑剂类型与用量;
- c) 确定压裂增渗设备及机具、压裂层段、压裂液材料、压裂施工参数。

8.2.2 化学刺激工艺

化学刺激工艺设计应包括下列内容:

- a) 根据热储岩性、矿物成分、温度、压力、天然裂缝等地热体特征描述,确定酸液与添加剂的类型与用量;
- b) 根据化学刺激效果分析,确定注入流体排量与压力、液量体积、注入方式、施工流程等;
- c) 确定化学刺激施工中的设备腐蚀防控、流体返排与处理方法,设计长期效果监测与评估方案。

8.2.3 热刺激工艺

热刺激工艺设计应包括下列内容:

- a) 根据热储岩性、矿物成分、温度、压力、天然裂缝等地热体特征描述,初步筛选热刺激流体类型与温度范围;
- b) 根据热刺激效果分析,确定注入流体类型、温度、压力、注入速率、注入体积与周期等;
- c) 确定热刺激施工中井筒完整性、储层稳定性、经济与环境风险,监测并评估热刺激长期效果。

8.3 地热井修复与工程质量

8.3.1 地热井修复工程应包括涌砂探查与修复、水量减小检查及修复、井管破裂类型及修复、井内落物处理等。

8.3.2 地热井工程质量要求应包括钻孔直径、岩屑样、岩心、孔深与孔斜、简易水文地质观测、成井工艺抽水试验、原始记录及技术资料整理等。

9 循环取热工程设计

9.1 一般要求

循环取热工程设计应以地热体综合评价、开发部署设计、钻井工程设计、完井与压裂改造工程设计为基础,兼顾后续地面工程的要求确定。

9.2 设计内容

设计内容应包括确定取热工质类型,选择耐温、防腐生产管柱或防治措施,确定取热工质循环速率、地热尾水回灌工艺、采灌井口压力、生产管柱结构与尺寸,核实取热量、取热效率。

10 地面工程设计

10.1 一般要求

地面工程设计应以地热体综合评价、开发部署设计、钻井工程设计、完井与压裂改造工程设计、循环取热工程设计为基础确定。

10.2 设计内容

地面工程设计应包括下列内容:

- a) 确定地面系统的额定处理量及规模,设计地热梯级利用方案;
- b) 确定集输管网、处理工艺;
- c) 确定热交换或发电配套设备与工程、冷水处理与地热尾水回灌工艺;
- d) 确定地面系统隔热、防腐、节能、环保的工艺措施;
- e) 确定地热开采整个系统温度、压力、流量、水化学参数的智能动态监测方案;
- f) 设计地热采灌结垢与堵塞问题监测、防治与解除措施;
- g) 确定地面站场位置、技术人员数量,核算建设工作量与投资量。

11 环保与职业健康安全

11.1 一般要求

钻井、完井与压裂改造、循环取热、地面建设等实施环节，应明确环保和职业健康安全措施。

11.2 设计内容

环保和职业健康安全设计应包括下列内容：

- a) 全面评估干热岩地热能开发利用过程中的健康、安全、环保问题；
- b) 应按照 GB 17740 规定，压裂施工前评估诱发地震风险，施工过程中监测微震频率并确定施工后监测周期，设定地面振动速度阈值；
- c) 分析地下水污染、钻井液处理、井下事故、运营安全事故等问题，并应建立明确的监测方案与分级管控预案；
- d) 评价总体开发的可行性；
- e) 提出防控措施，估算相关投资。

11.3 职业健康管理

职业健康管理应按照劳动保护法规和标准配备劳动保护产品，按地域、季节等特点配备相应的急救器材、药品和防疫用品；建立工作人员监督管理、疾病预防、饮食卫生和驻地卫生管理等制度并执行。

11.4 安全管理

安全管理应符合 AQ/T 9006 的规定，应包括下列内容：

- a) 安全管理范围包括设备搬迁与安装安全、井场人员安全管理、井场安全、井场用电安全、钻进操作安全、压裂施工安全、事故处理安全、境内爆破安全、有害气体预防安全等；
- b) 应建立健全安全生产规章制度并执行；
- c) 应控制地热采灌井压差使诱发地震 \leq ML1.0 级。

11.5 环境保护

环境保护应按对地质、地貌、水环境、植被、生物、大气、土壤等地热田周围自然环境，废弃钻井液、压裂液、生活污水、生活垃圾等，提出达到环境保护标准和要求的措施并执行。

12 技术经济评价

12.1 一般要求

经济评价应基于开发部署、钻井、完井、热储改造、循环取热、地面建设等工程设计内容，采用相关评价方法确定。

12.2 评价内容

经济评价内容应包括计算干热岩地热能开发利用过程中的总投资、成本、收入、税收、净现金流量、投资回收期、内部收益率，进行敏感性分析并评估不同方案的风险承受能力，确定最终推荐方案。

12.3 风险评估

要求对地质不确定性、工程技术、环境安全、市场与政策等方面的风险进行系统性识别、定性与定量评估，并制定相应的风险应对与削减措施，形成贯穿项目全周期的风险管理计划。

13 设计书编制

设计书编制应包括下列内容：

- a) 干热岩地热能开发部署；
- b) 钻井工程、完井工程、热储改造工程、循环取热工程、地面工程；
- c) 环保与职业健康安全、经济评价等；

- d) 附件应提供附图附表，必要时可单独成册。

全国团体标准信息平台

附 录 A
(资料性)
干热岩地热能开发设计的基础资料

A.1 干热岩地热能开发设计基础资料见表A.1。

表 A.1 干热岩地热能开发设计基础资料

大类	小类	基础资料
地球物理资料	地震	地质构造、热源/通/储/盖分布、热储厚度、裂缝解释结果等
	测井	热储埋深、岩性、地层有效厚度、地温梯度、裂缝分布、地应力、地层压力、岩石力学参数、孔隙度、渗透率等
地球化学资料	地热水温标	SiO ₂ 温标、同位素温标、钾钠钙温标等
	流体来源与年龄	氢氧同位素、 ³ H和 ¹⁴ C测年等
	地球化学异常	离子浓度分布、气体组分分析等
岩心资料	岩石物理	密度、孔隙度、渗透率、比表面积、压缩系数、裂缝密度/开度/充填特征
	岩石力学	单轴抗压/拉/剪强度、内聚力、内摩擦角、泊松比、体积模量、杨氏模量
流体资料	地层水	P-T相图、高压高温物性（密度、粘度）、流体-地层矿物化学反应
	取热工质	
先导试验资料	地层测试	地层压力、地温梯度、地层温度
	钻井	井身结构、钻头、钻机、钻井液、套管、井口装置
	完井与压裂	完井方式、完井管柱、射孔工艺参数、压裂方式、压裂工艺参数
	循环取热	注/采管柱、井口装置、取热工质、循环速率、井底温度、井口温度
	地面工程	地表特征、交通状况、集输工艺、集输管柱、保温措施、发电站
	地热井试井	地热井产热量、静压力、动压力、压力降、流体温度和流体质量

注：力学参数测试应按照NBT 11697。

附 录 B
(资料性)
干热岩地热体特征描述

B.1 干热岩地热体特征描述要点见表B.1。

表 B.1 干热岩地热体特征描述要点

一级要点	二级要点	三级要点
热源	花岗岩放射性生热	地壳岩石中放射性生热元素（铀、钍、钾）衰变产生热量
	附加岩浆热	火山岩浆和构造岩浆热源（埋藏深度、体积大小、侵位时间、岩浆注入方式）
	深部地幔热	地幔热流值
热通	岩石的裂隙与断裂	1.0W/MK~2.4W/MK为最弱热通岩层；2.4W/MK~2.8W/MK为较弱热通岩层；2.8W/MK~3.4W/MK为中等热通岩层；6W/MK~7W/MK为最强热通岩层
	岩性	
	岩石平均热导率	
热储	空间展布	热储厚度、面积、热储透镜体规模
	埋藏条件	原岩应力、地温场
	热储物性	裂缝发育程度、渗透率、力学性质、热物性
热盖	单层	岩性、导热率、厚度、空间分布
	多层	
	透镜体	

附 录 C
(规范性)
热储地质品质及工程品质评价指标

C.1 热储地质品质评价指标应符合表C.1 的规定。

表 C.1 热储地质品质评价指标

评价参数	评价指标
储热能力	储层温度
	储层厚度
	储层面积/规模
	储层热流
传热能力	天然裂缝密度
	天然裂缝开度
	岩石导热系数
	岩石渗透率

C.2 热储工程品质评价指标应符合表C.2 的规定。

表 C.2 热储工程品质评价指标

评价参数	大类指标	细化指标
钻井建井	井壁稳定	地应力、孔隙压力、岩石力学性质、岩石水敏性
	高效破岩	地应力、地层岩性、岩石力学性质、倾角、断层特征
压裂造储	原岩应力	地应力大小、方向与各向异性
	岩石力学性质	岩性、强度、杨氏模量、泊松比、体积模量、内聚力、内摩擦角
	天然裂缝发育程度	天然裂缝长度、密度、方位、充填特征
	矿物组成	脆性矿物含量、脆性指数、黏土矿物含量

参考文献

- [1] GB 50478 地热电站岩土工程勘察规范
- [2] GB/T 38678 浅层地热能利用通用技术要求
- [3] GB50366 地源热泵系统工程技术规范
- [4] GB/T 34163 页岩气开发方案编制技术规范
- [5] NB/T 10265 浅层地热能开发工程勘察评价规范
- [6] NB/T 10274 浅层地热能开发地质环境影响监测评价规范
- [7] NB/T 10276 浅层地热能地下换热工程验收规范
- [8] NB/T 10277 浅层地热能钻探工程技术规范
- [9] NB/T 10278 浅层地热能监测系统技术规范
- [10] NB/T 11158 水热型地热尾水回灌技术规程
- [11] DB37/T 4311 干热岩钻探技术规程
- [12] 汪集暘. 地热学及其应用. [M]. 北京: 科学出版社: 2015.
- [13] 郭亮亮. 干热岩水力压裂试验和热开采模拟研究. [M]. 北京: 中国水利水电出版社: 2019.
- [14] 郑君. 干热岩地热储层裂隙岩体渗流传热机理研究. [M]. 武汉: 中国地质大学出版社: 2021.
- [15] 郭守鋈. 青海省共和盆地东北部地区地热地质. [M]. 北京: 地质出版社: 2021.
- [16] 郑克棧. 地热: 来自地下的热能. [M]. 北京: 中国石化出版社: 2019.
- [17] 王贵玲. 中国地热资源. [M]. 北京: 科学出版社: 2019.
- [18] 王景甫. 地热能利用技术. [M]. 北京: 化学工业出版社: 2018.
-