

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

干热岩地热能开发设计规范

Design specifications for hot dry rock geothermal energy development

（征求意见稿）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发布

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。

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 许献磊 胡晓东 张杨 邹冠贵 关俊朋 尚立涛 李哲 屈争辉 陈冬 钱进 罗金辉 郭强 李孟琳 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、设计内容、报告书编制等。
本文件适用于干热岩地热能开发设计。

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 17740 地震震级的规定
GB/T 38678 浅层地热能利用通用技术要求
NB/T 10097 地热能术语
NB/T 10265 浅层地热能开发工程勘查评价规范
NB/T 10274 浅层地热能开发地质环境影响监测评价规范
NB/T 10276 浅层地热能地下换热工程验收规范
NB/T 10277 浅层地热能钻探工程技术规范
NB/T 10278 浅层地热能监测系统技术规范

3 术语和定义

GB/T 11615、GB/T 19409、GB/T 50366 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)

采用人工形成地热储层方法，从低渗透性岩体中经济地采出深层热能的人工地热系统。

3.3 地热流体 geothermal fluid

从地热井中提取的热水、汽水混合物或干蒸汽。

3.4 试井 well testing

地热井成井后的产量试验，测定井产量、静压力、动压力、压力降、流体温度和流体质量等。

3.5 地热生产井 geothermal production well

稳定产出自地热储层的蒸汽、热水或汽水混合物，并使用的地热井。

3.6 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，对经过利用的地热流体或其他水源，通过地热回灌井重新注回热储层段的过程。

3.7 地热储模型 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，拟合热储生产历史和现状条件，为地热资源规划、利用、管理和保护等服务建立的类比、统计、解析、数值法等模型。

4 设计要求

4.1 一般要求

掌握干热岩地质体分布规律与裂缝分布特征，设计增强型地热系统，确定合理开发方案，预测取热效率与投资规模，明确技术与投资风险，为干热岩地热能开发部署、投资建产、生产运营提供技术依据。

4.2 基础条件

4.2.1 开发有利区

根据地热体地质评价结果，确定热流值达到工业开发要求的有利区或甜点区。

4.2.2 先导试验

已经开展工程示范、先导试验，初步确定适应的开发利用技术。

4.2.3 基础资料

开发设计资料见附录A。

5 设计内容

5.1 资源勘查

干热岩地热资源勘查应明确矿区自然地理条件、区域地质概况、矿权情况、先导试验情况、勘探开发进展等。

5.1.1 区域地质

5.1.1.1 热储、盖层、控热构造、热储类型及不同类型地热田勘查工作重点，应根据干热岩地热田的地层、构造、岩浆、火山活动及地热显示等特点确定。

5.1.1.2 对干热岩地热田周边及相关地区，应进行地质调查和地球物理、地球化学勘查，明确地热田形成的地质背景及地热流体的动力场、温度场和循环途径。

5.1.1.3 对地表热显示及井（孔）温度应进行调查，确定地热异常区范围，分析研究热异常区形成的原因和条件。

5.1.1.4 地热地质模型应在查明干热岩地热田范围、热储、盖层、地热流体通道及边界条件上确定。

5.1.1.5 区域地质应明确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。

5.1.2 地温场

5.1.2.1 地温场应查明干热岩地热田不同地段、不同深度的地温变化，确定恒温带深度、热储盖层的地热增温率和热储温度，研究勘查深度内的地温场特征，圈定地热田范围。

5.1.2.2 热储温度应利用地热增温率或地球化学温标估算，对干热岩地热田成因、控热构造和热源应做出分析推断。

5.2 地热体评价

5.2.1 地热体特征

地热体特征应明确热源、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。

5.2.2 地质建模

地质建模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，热储岩性、厚度、分布范围及其埋藏条件，建立三维地质模型，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。

5.2.3 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计算矿区地热储量、储量丰度、可采储量的分布特征，确定热储开采的可靠性。

5.2.4 甜点区优选

甜点区优选应基于地质建模与储热能力评估结果，确定热储压裂改造的难易性和开发的经济价值，综合评价热储地质与工程品质，优选靶区或甜点区。

5.2.5 取热动态预测

取热动态预测方法宜包括基于先导试验产热数据的统计分析预测、基于地热井试井分析与理论预测模型、基于三维地质模型与热流固耦合数值模拟等，预测内容应包括单井、井组与开发区的取热效率、取热量等。

5.3 开发部署

5.3.1 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。

5.3.2 取热方式优选

取热方式优选应通过择优选取方式，确定取热方式中的取热工质类型和井间配合方式。

5.3.3 开发指标预测及方案优选

单井循环流量、部署井数量、建井批次与顺序应对比分析干热岩开发技术，按技术绿色、低碳、环境友好性等因素确定，宜设置3个级以上开发方案，采用热流固耦合数值模拟预测10年以上的取热动态，应包括循环流量、取热量、取热效率、热储温度场动态特征。应通过不同方案开发指标的对比，优选开发方案。

5.3.4 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。

5.4 钻井设计

5.4.1 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。

5.4.2 钻井建井效果分析

钻井建井效果应基于地热体特征描述、地质建模结果，钻井建井的技术难点与应对措施分析确定。

5.4.3 钻井工程设计内容

钻井工程设计内容应基于“优质、快速、高效”钻进的理念，对井口位置进行总体优化布局，设计井轨迹与井身结构，优选钻井与井控装备与工艺，确定钻井液体系。应针对钻遇复杂地层、深层高温高硬地层等问题，采取防塌、防漏、携岩措施；应兼顾录井、测井、取心、环保等要求。

5.4.3.1 井身结构设计

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. 裸眼成井井段；
- e. 套管壁厚与钢级技术性能要求；
- f. 过滤管孔隙度、缠丝间距要求；
- g. 射孔成井的射孔直径、射孔孔密和位置等要求。

5.4.3.2 钻进工艺设计

钻进工艺设计应包括下列内容：

- 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。

5.4.3.3 钻井液设计

钻井液设计应包括各井段钻井液类型、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。

5.4.3.4 事故预防措施

事故预防措施应对各井段施工重点提出要求，对可能出现的井内事故及复杂情况提出预防与处理措施。

5.5 完井与压裂改造工程设计

5.5.1 一般要求

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

5.5.2 效果分析

完井与压裂改造效果分析应基于地热体特征描述、地质建模结果，确定完井与压裂改造技术难点与应对措施，分析完井与压裂改造效果。

5.5.3 设计内容

5.5.3.1 完井工艺

完井工艺应满足下列要求：

- a. 完井工艺应通过物探测井、扫孔、破壁、冲孔换浆、下管、填砾止水、固井、洗井、抽水试验等确定；
- 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。

5.5.3.2 压裂工艺

压裂工艺应满足下列要求：

- 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. 确定压裂增水设备及机具、压裂层段、压裂液材料、压裂施工参数。

5.5.4 地热井修复与工程质量

5.5.4.1 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。

5.5.4.2 地热井工程质量要求应包括钻孔直径、岩屑样与岩心采取、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。

5.6 循环取热工程设计

5.6.1 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。

5.6.2 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、注采井口压力、生产管柱结构与尺寸，核实取热量、取热效率。

5.7 地面工程设计

5.7.1 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。

5.7.2 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，确定集输管网、处理工艺；
- b. 确定热交换或发电配套设备与工程、冷水处理与回灌工艺；
- c. 确定地面系统隔热、防腐、节能、环保的工艺措施；
- d. 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。

5.8 环保与职业健康安全措施

5.8.1 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。

5.8.2 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. 分析地下水污染、钻井液处理、井下事故、压裂诱发地震、运营安全事故等问题；
- c. 评价总体开发的可行性；
- d. 提出防控措施，估算相关投资。

5.8.3 健康管理

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。

5.8.4 安全管理

安全管理应AQ/T 9006的规定，在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，建立健全安全生产规章制度并执行。

5.8.5 环境保护

环境保护应按对地质、地貌、水环境、植被、生物、大气、土壤和人文环境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。

5.9 经济评价

5.9.1 一般要求

经济评价应基于开发部署、钻井、完井与压裂改造、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。

5.9.2 经济评价内容

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。

6 报告书编制

报告书编制应包括列下列内容：

- a. 地热体综合评价、开发部署；
- b. 钻井工程、完井与压裂改造工程、循环取热工程、地面工程；
- c. 环保与职业健康安全措施、经济评价等；
- d. 附件应提供附图附表，必要时可单独成册。

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
岩心资料	岩石物理	密度、孔隙度、比表面积、压缩系数
	岩石力学	抗压/拉/剪强度、泊松比、体积模量、杨氏模量
	渗流力学	渗透率、裂缝密度/开度/充填特征
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

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	岩石的孔隙	平均热导率：1.0~2.4W/MK为最弱热通岩层；2.4~2.8W/MK为较弱的热通岩层； 2.8~3.4W/m K为中等的热通岩层；6~7W/m K为最强热通岩石
	岩石的裂隙与断裂	
	岩石的岩性	
热储	干热岩的地热能储藏空间	应力集中程度、地壳厚度、热储透镜体规模、核类富集程度
热盖	单层	地层与岩石间的空间分布状态
	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	岩石强度、岩石水敏性
	高效破岩	地层岩性、倾角、断层特征、地应力
	原岩应力	地应力大小、方向与各向异性
压裂造储	岩石力学性质	杨氏模量、泊松比、体积模量、岩石硬度
	天然裂缝发育程度	天然裂缝密度与方位
	脆性矿物含量	脆性指数

参考文献

- [1] NB/T 10097-2018 地热能术语
 - [2] DZ/T 0331-2020 地热资源评价方法及估算规程
 - [3] GB/T 11615-2010 地热资源地质勘查规范
 - [4] GB 50791-2013 地热电站设计规范
 - [5] GB 50478-2008 地热电站岩土工程勘查规范
 - [6] GB/T 34163-2017 页岩气开发方案编制技术规范
 - [7] 汪集暘. 地热学及其应用. [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
 - [8] 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.
 - [9] 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.
 - [10] 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.
 - [11] 郑克棧. 地热: 来自地下的热能. [M]. 北京: 中国石化出版社: 2019.
 - [12] 王贵玲. 中国地热资源. [M]. 北京: 科学出版社: 2019.
 - [13] 王景甫. 地热能利用技术. [M]. 北京: 化学工业出版社: 2018.
-