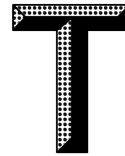


ICS 73.020  
CCS D 21



团 体 标 准

T/CI 1211—2025

# 地热资源地质专项勘察技术规程

Technical code for geological special survey of geothermal resources

2025-10-20 发布

2025-10-20 实施

中国国际科技促进会 发布  
中国标准出版社 出版



## 目 次

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 前言                      | III |
| 1 范围                    | 1   |
| 2 规范性引用文件               | 1   |
| 3 术语和定义                 | 1   |
| 4 总则                    | 3   |
| 5 勘探技术程序                | 3   |
| 6 勘查阶段划分                | 5   |
| 6.1 调查                  | 5   |
| 6.2 预可行性勘查              | 5   |
| 6.3 可行性勘查               | 5   |
| 6.4 开采                  | 5   |
| 7 勘查技术要求                | 5   |
| 7.1 地质调查                | 5   |
| 7.2 地球物理勘查与地球化学勘查       | 6   |
| 7.3 钻探工程                | 9   |
| 7.4 测试分析                | 12  |
| 7.5 评价方法                | 13  |
| 7.6 评价可靠程度              | 13  |
| 8 环境影响评价                | 14  |
| 8.1 监测指标                | 14  |
| 8.2 地热资源动态监测系统建设        | 14  |
| 8.3 评价指标                | 15  |
| 8.4 防治措施                | 16  |
| 9 报告编制                  | 16  |
| 9.1 内容要求                | 16  |
| 9.2 格式要求                | 17  |
| 9.3 成果数字化               | 17  |
| 附录 A(资料性) 地热地质勘查设计书提纲示例 | 18  |
| A.1 项目背景与立项依据           | 18  |
| A.2 勘查范围与工作周期           | 18  |
| A.3 区域地质条件概述            | 18  |
| A.4 勘查方法与技术路线           | 18  |
| A.5 工作量与进度安排            | 19  |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| A.6 预期成果 .....               | 19 |
| A.7 预算与经费分配 .....            | 19 |
| 附录 B(资料性) 地热地质勘查报告编写提纲 ..... | 20 |
| B.1 项目背景与任务 .....            | 20 |
| B.2 勘查方法与工作量 .....           | 20 |
| B.3 区域地质条件 .....             | 20 |
| B.4 地热资源评价 .....             | 20 |
| B.5 环境影响评价 .....             | 21 |
| B.6 结论与建议 .....              | 21 |
| 附录 C(资料性) 地球物理方法组合应用示例 ..... | 22 |

## 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。

本文件由新疆维吾尔自治区地质局水文环境地质调查中心提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：新疆维吾尔自治区地质局水文环境地质调查中心、新疆大学、中国矿业大学、新疆地质工程有限公司、新疆维吾尔自治区地质局巴音郭楞地质大队、广东省地质局江门地质调查中心。

本文件主要起草人：喜英、董青红、张紫昭、安广荣、马立龙、齐志龙、陈凯、杨伟峰、陆建国、马学龙、闫秀萍、雷育宾、王多军、李厚洪、翁雁声。



# 地热资源地质专项勘查技术规程

## 1 范围

本文件规定了地热资源地质专项勘查的总则、勘查阶段划分、勘查技术方法、资源评价、环境影响评价、报告编制。

本文件适用于全国范围内浅层、中深层及干热岩等地热资源的勘查。

## 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 3095 环境空气质量标准
- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB/T 9649.28 地质矿产术语分类代码 第 28 部分:地球物理勘查
- GB/T 11615 地热资源地质勘查规范
- GB/T 14848 地下水质量标准
- GB/T 14499 地球物理勘查技术符号
- GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)
- DZ/T 0069 地球物理勘查图图式图例及色标
- DZ/T 0260 地热钻探技术规程
- DZ/T 0331 地热资源评价方法及估算规程
- HJ 494 水质 采样技术指导
- NB/T 10264 地热地球物理勘查技术规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### **地热资源 geothermal resources**

能够经济地被人类所利用的地球内部的地热能、地热流体及其有用组分。

注:目前能利用的地热资源主要包括:天然出露的温泉、通过热泵技术开采利用的浅层地热能、通过人工钻井直接开采利用的地热流体以及干热岩体中的地热资源。

### 3.2

#### **地热田 geothermal field**

经地质勘查或研究证实,赋存有一定数量和质量并可供经济开发利用的地热资源的地区。

### 3.3

#### **中深层地热能 deep and medium-level geothermal energy**

埋深 200 m~2 000 m,温度 $\geq 25$  °C的地热能。

3.4

**浅层地热能 shallow geothermal energy**

埋深 200 m 以内,温度 $\leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地热能。

3.5

**热储层 reservoir layer**

具备孔隙或裂隙条件,能够储存和传导地热流体的岩层或构造带。

3.6

**热承载能力 heat-bearing capacity**

单位体积岩土体可承载冷热负荷的最大能力。

注:单位为千瓦每立方米( $\text{kW}/\text{m}^3$ )。

3.7

**地热系统 geothermal system**

由热源、热储层、盖层、地热流体及流体运移通道等要素构成,实现地热能生成、运移与聚集的完整地质体系。

3.8

**干热岩 hot dry rock**

赋存于地下深处、温度高于  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、天然渗透率低且缺乏流体的高温岩体。

注:需通过人工压裂形成增强型地热系统(EGS)进行热能开发。

3.9

**人工压裂 artificial fracturing**

通过高压泵注流体(压裂液)使地下储层岩石破裂,形成人工裂缝网络,以改善油气流动通道、提高产量的储层改造技术。

3.10

**回灌率 reinjection rate**

地热田开发过程中,在同一压力和温度下,通过回灌井注入热储层的地热流体体积与开采井产出流体体积的百分比,按公式(1)计算:

$$\text{回灌率} = \frac{\text{回灌流体体积}}{\text{开采流体体积}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

3.11

**地热流体 geothermal fluid**

储存于热储层中,以液态水或蒸汽形式存在,具有可利用热能及化学组分的流体。

3.12

**增强型地热系统 enhanced geothermal system; EGS**

通过人工压裂、水力刺激等技术手段改造低渗透性岩体,形成的可循环利用热能的人工地热系统。

3.13

**热突破 thermal breakthrough**

开采井与回灌井因井距不合理导致水温快速趋同的现象。

3.14

**地温梯度 geothermal gradient**

沿地下垂直方向每增加单位深度时温度的升高值,通常以  $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  表示。

## 4 总则

4.1 勘查工作应遵循“由浅入深、循序渐进”的原则,分阶段实施。

勘察方法需根据勘查对象,综合考虑确定合适的技术手段。如土壤源勘查方法主要有物探、钻探、岩土体热物性测试等,水源勘查方法与浅层地下水勘查相近多一个回灌试验,深层地热资源勘查方法有遥感、地质调查、地球物理勘查、地球化学勘查、地热钻探、测试与试验、动态监测等。

4.2 数据采集应符合可追溯性要求,确保勘查成果的科学性和可靠性。

4.3 勘探应符合 GB/T 11615 相关要求。

## 5 勘探技术程序

地热资源地质勘探技术程序包括四个主要阶段:首先,进行调查阶段,通过资料收集与分析、地面调查和地球物理/化学勘查,以确定区域内是否存在地热异常并评估其勘查价值;如有勘查价值,则进入预可行性勘查阶段,开展大比例尺地质调查、施工少量勘探井并进行抽水试验,以获取初步参数;接着,进行可行性勘查阶段,施工勘探井群、开展产能测试和系统分析,并建立资源模型,以评估资源的技术经济可行性;最后是开采与监测阶段,建设生产井与回灌井及监测系统,确保资源的可持续开发和环境影响的动态评估,并交付勘查成果。程序图见图 1。

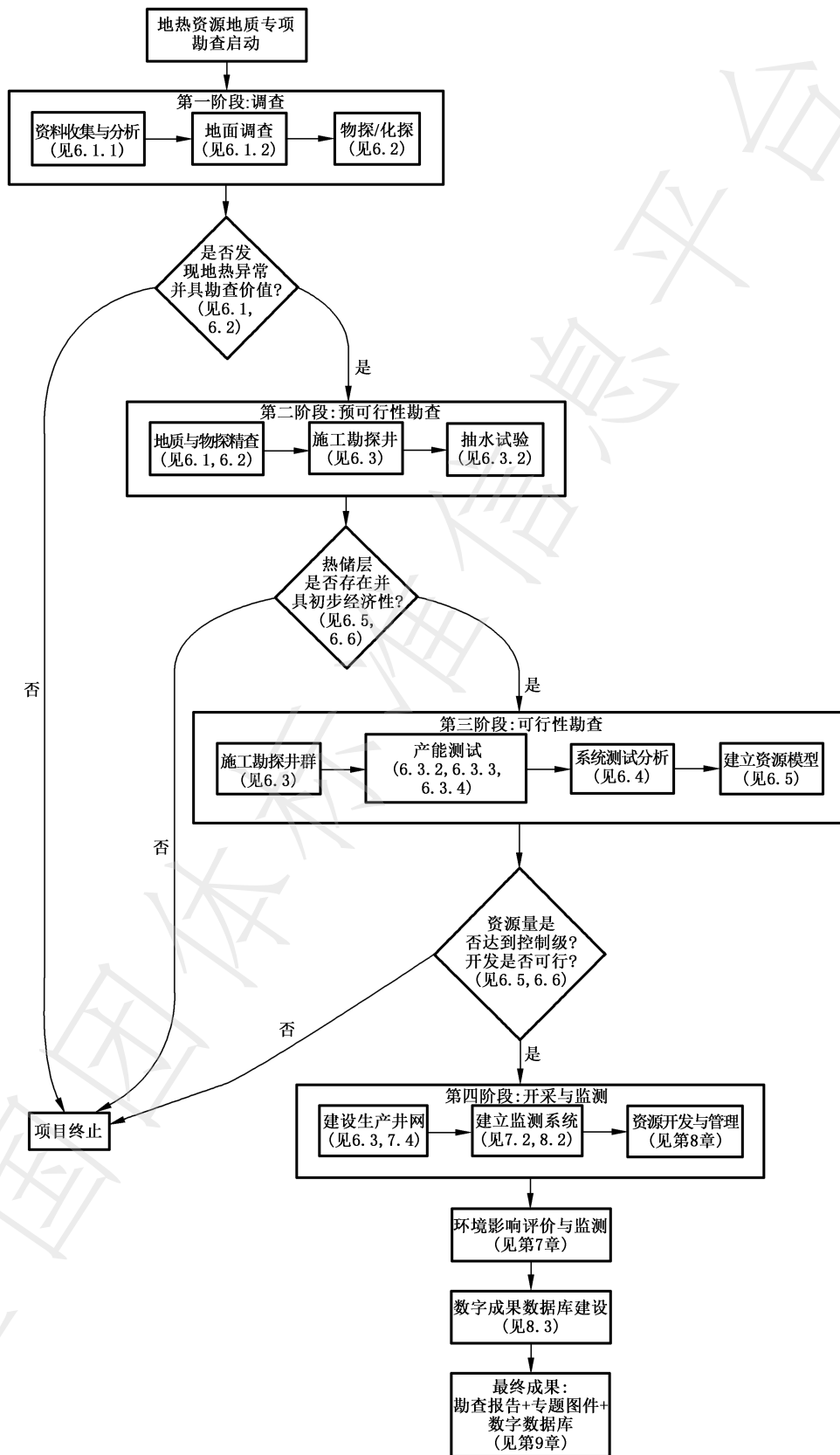


图 1 地热资源地质勘探技术程序

## 6 勘查阶段划分

### 6.1 调查

6.1.1 目标:初步查明区域地热地质条件,圈定地热异常区与远景区,估算地热推测资源量(E级),进行资源潜力概略评估。

6.1.2 工作内容:1:200 000~1:50 000 地质与水文地质调查;地温测量与浅层地球物理勘探;地热水化学调查;资料综合研究与远景区圈定。

### 6.2 预可行性勘查

6.2.1 目标:初步查明地热田地质条件,评估资源潜力。

6.2.2 工作内容:1:50 000~1:25 000 地质调查、地温测量、浅层地球物理勘探。

### 6.3 可行性勘查

6.3.1 目标:确定热储层参数,评价开发可行性。

6.3.2 工作内容:1:10 000 地质填图、地球物理精查、勘探井施工、产能测试。

### 6.4 开采

6.4.1 目标:为地热田的科学开发、动态管理、资源保护及可持续利用提供依据。

6.4.2 工作内容:地热生产井与回灌井网的建设与优化;建立地热流体开采量、温度、压力及水质长期监测系统;进行资源动态评价与储层管理。

## 7 勘查技术要求

### 7.1 地质调查

#### 7.1.1 基础资料收集

##### 7.1.1.1 资料范围

应系统收集以下资料:

- 区域地质资料:包括 1:50 000~1:200 000 地质图、构造纲要图、区域地层与岩浆活动记录;
- 地热地质资料:历史地热勘查报告、热泉/地热井分布数据、地温梯度实测资料;
- 地球物理:重力、磁法、地震勘探成果、电法勘探成果;
- 遥感资料:多光谱、高分辨率遥感影像解译结果;
- 地球化学资料:地热流体、地表水体、土体等的化学测试;
- 水文气象资料:区域降水量、地表水系分布、地下水动态监测数据;
- 动态监测资料:地热流体、地表水体等动态监测资料;
- 其他资料:矿产勘查报告、地震活动记录、环境保护区划文件。

##### 7.1.1.2 资料要求

优先采用近 10 年内的权威资料,注明资料来源及时效性;对历史数据应进行可靠性验证,存在冲突时以最新实测数据为准。

## 7.1.2 地面调查

### 7.1.2.1 热泉分布调查

#### 7.1.2.1.1 调查内容包括：

- 热泉出露位置(坐标)、温度(现场测定)、流量(三角堰或流量计测量)；
- 流体化学特征(pH值、电导率、主要离子组分、放射性元素、地热指示元素)；
- 伴生地质现象(钙华、硅华、硫化物沉淀等)。

7.1.2.1.2 调查方法应根据不同勘查阶段确定比例尺编制热泉分布图。区域调查阶段宜采用 1:100,000 至 1:50,000；普查阶段宜采用 1:50,000 至 1:25,000；详查阶段宜采用 1:10,000 至 1:5,000；勘探阶段宜采用 1:5,000 至 1:2,000。图上应清晰标注热泉点、地温等值线及温度分带(如：高温( $>150^{\circ}\text{C}$ )、中温( $90^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ )、低温( $<90^{\circ}\text{C}$ ))编制热泉分布图,标注温度分带,采集水样 2 000 mL 以上,按 GB/T 11615 要求保存并送检。

### 7.1.2.2 断裂构造分析

开展 1:10 000 地质填图,结合遥感影像解译断裂空间展布;通过系统采集断裂带构造岩与蚀变岩样品,进行裂隙统计与岩相学分析,以查明构造活动特征与热液蚀变类型,评价断裂带的导储水性能。

### 7.1.2.3 地表地热显示调查

记录地热异常区地表温度(红外测温仪或地温探头测定);绘制地温异常平面等值线图,圈定潜在热储分布范围。

### 7.1.2.4 地温测量

7.1.2.4.1 地温梯度剖面布设:应沿主要构造走向或垂直地热异常带走向布设地温梯度剖面,剖面间距不宜大于 2 km。每个剖面至少应包含 3 个有效测温。

7.1.2.4.2 测量方法:浅层地温测量:采用地温探头(精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ )测量达到恒温层深度,以恒温层温度或实测多年平均气温作为地温梯度计算基准,计算地温梯度时需校正地表温度年变化影响。

7.1.2.4.3 钻孔稳态测温:钻孔停钻后静置 48 h 以上,采用高精度测温仪(误差 $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$ )连续测量;垂向测点间距不超过 10 m,关键层位加密至 1 m 间距。

7.1.2.4.4 数据处理与成图:根据地温梯度数据计算区域热流值,公式参考 DZ/T 0331;编制地温梯度等值线图,标注异常区(梯度 $\geq 3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ );结合地质构造分析,推断热储层埋深及热源通道位置。

### 7.1.2.5 质量控制

测温仪器需定期校准,校准证书有效期不超过 1 年;地面调查点位误差 $\leq 10\text{m}$ (定位),地温测量重复性误差 $\leq 5\%$ ;原始数据记录需包含测量时间、人员、仪器型号及环境参数(如气温、气压)。

## 7.2 地球物理勘查与地球化学勘查

### 7.2.1 地球物理勘查

#### 7.2.1.1 总则

7.2.1.1.1 地球物理勘查的技术符号与图式图例应按照 GB/T 14499 和 DZ/T 0069 以及 GB/T 9649.28 的相关规定执行。

7.2.1.1.2 地球物理勘查技术规范应按照 NB/T 10264 执行。

7.2.1.1.3 地球物理勘查方法包括地震勘探、电法、重力勘探、地温测量、磁法几种。

#### 7.2.1.2 地震勘探

7.2.1.2.1 地震勘探可通过人工激发地震波,并在地表或井中接收来自地下地层界面反射或折射回来的地震波信号,经过复杂的处理和解释,来推断地下地质构造、岩性分布、流体赋存状况等信息。(同步开展或独立布设微动观测。通过布设台阵接收天然场源微动信号,经频散分析及反演获取地层横波速度结构,用于弥补常规地震在低速层、复杂噪声区及城市密集区的探测局限,共同约束浅部至中深部地质结构。)

7.2.1.2.2 人工激发:在选定的地点(震源点)使用可控的能源产生地震波(弹性波)。

7.2.1.2.3 波传播:地震波向地下传播。当遇到不同岩层之间的波阻抗界面时,会发生:

- a) 反射:部分能量返回地表;
- b) 折射:部分能量沿界面滑行一段距离后返回地表(常用于浅层地质调查和确定基底深度);
- c) 透射:部分能量穿过界面继续向下传播。

7.2.1.2.4 信号接收:在地表(或井中)按一定规则布置的检波器或水听器接收反射或折射回来的地震波信号,并将其转换成电信号。

7.2.1.2.5 记录:地震仪器记录下每个检波器接收到信号的时间序列(称为地震道),形成地震记录。

7.2.1.2.6 数据处理:对采集到的原始地震记录进行一系列复杂的计算机处理。

#### 7.2.1.3 电法(含 MT、CSAMT、TEM、WFEM)

7.2.1.3.1 应用场景如下:

- a) 大地电磁测深(MT):探测深部( $>1\text{km}$ )热储层及热源通道;
- b) 可控源音频大地电磁法(CSAMT):适用于热储层定位,频率范围为  $0.1\text{ Hz}\sim 1\ 000\text{ Hz}$ ,探测深度 $\leq 3\ 000\text{ m}$ ,能够有效探测地热储层的电阻率结构,确定热储层的位置和厚度;
- c) 瞬变电磁法(TEM):浅部( $<500\text{ m}$ )地热异常区快速圈定。
- d) 广域电磁测深(WFEM):适用于深浅结构综合探测,兼具人工源信号强和观测效率高的特点,可用于中深部( $500\text{ m}\sim 3\ 000\text{ m}$ )热储精细结构调查,在人文干扰较强地区可作为 CSAMT 的有效替代方法。

7.2.1.3.2 技术要求如下:

- a) MT 法频段范围  $0.001\text{ Hz}\sim 1\ 000\text{ Hz}$ ,反演电阻率剖面垂向分辨率 $\geq 100\text{ m}$ ;
- b) CSAMT 法发射源距 $\geq 3\text{ km}$ ,接收点距  $50\text{ m}\sim 100\text{ m}$ ;
- c) 数据反演需结合地质模型,标注低阻异常区(电阻率 $< 20\ \Omega\cdot\text{m}$ 可能指示热流体)。
- d) WFEM 发射源距应不小于  $3\text{ km}$ ,接收点距宜为  $50\text{ m}\sim 200\text{ m}$ 。应采用全区定义下的视电阻率计算方法进行数据处理,反演解释应突出中深部目标体的电性特征。

#### 7.2.1.4 重力勘探

7.2.1.4.1 用于基底起伏探测,精度 $\pm 0.1\text{ mGal}$ ( $1\text{ Gal}=1\text{ m/s}^2$ ),通过测量重力异常变化,推断地下地质体的密度分布,为地热资源勘查提供地质构造信息。

7.2.3.4.2 应用场景如下:

- a) 识别基底起伏、断裂带及岩浆侵入体边界;
- b) 圈定地热田内低密度异常区(可能与热储层或热液蚀变相关)。

7.2.3.4.3 技术要求如下:

- a) 测网密度:预可行性勘查阶段 $\leq 500\text{ m}\times 500\text{ m}$ ,可行性勘查阶段 $\leq 200\text{ m}\times 200\text{ m}$ ;

- b) 仪器精度:重力仪分辨率 $\leq 0.01$  mGal,高程测量误差 $\leq 0.1$  m;
- c) 数据处理:需进行地形校正、布格校正,编制剩余重力异常图。

### 7.2.1.5 地温测量

7.2.1.5.1 主要用于浅层、中深层地温场,浅层测量深度为 0 m~200 m,中深层深度为 2 000 m,间隔 5 m,获取地温分布数据,为浅层地热能的评价提供基础,调查内容见 7.1.2.4。

7.2.1.5.2 技术要求如下:

- a) 钻孔温度测井采用分布式光纤测温系统(DTS)温度测量,纵向分辨率 $\leq 0.5$  m;
- b) 绘制三维地温场模型,识别垂向热流异常( $> 80$  mW/m<sup>2</sup>)。

### 7.2.1.6 磁法

7.2.1.6.1 应用场景如下:

- a) 探测隐伏火成岩体分布,辅助热源判定;
- b) 识别断裂带磁性特征(如退磁化带指示热液活动)。

7.2.1.6.2 技术要求如下:

- a) 测网密度与重力法一致;
- b) 总场磁力仪精度 $\leq 1$  nT,日变站同步观测;
- c) 编制磁异常  $\Delta T$  平面等值线图,结合地质解译划分磁性分区。

### 7.2.1.7 断裂带土体的氦气测量

7.2.1.7.1 沿垂直于推测断裂走向布置测线,线距一般 20 m~100 m,点距 5 m~20 m(可根据目标精度调整)。在已知断裂区域加密测点,验证方法有效性。

7.2.1.7.2 土壤氦气采集需使用专用探钎(深约 0.5 m~1.0 m)在土壤中打孔,插入抽气管,抽取土壤气体,通过干燥管去除水汽后送入检测仪。

## 7.2.2 化学勘查

### 7.2.2.1 地热流体化学分析

7.2.2.1.1 测试项目如下:

- a) 常规离子:Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>等;
- b) 有毒有害离子:使用原子吸收光谱(AAS)或电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)检测 As、Cd、Pb 等重金属及有毒有害离子;
- c) 特征组分:SiO<sub>2</sub>、B、F<sup>-</sup>、Li<sup>+</sup>、H<sub>2</sub>S。

7.2.2.1.2 技术要求如下:

- a) 采样点覆盖主要热泉、地热井、及背景区冷水;
- b) 水样采集按 HJ 494 执行,避光保存并添加稳定剂(如 HNO<sub>3</sub>调节 pH 值 $< 2$ );地下水质量标准按 GB/T 14848 执行;
- c) 采用硅热化学温标(石英、玉髓)估算热储温度,参考公式(1):

$$T = \frac{1309}{5.19 - \lg[\text{SiO}_2]} - 273.15 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

T——热储温度,单位为摄氏度(°C);

[SiO<sub>2</sub>]单位为毫克每升(mg/L)。

### 7.2.2.2 同位素测试

7.2.2.2.1 同位素分析:通过测定  $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta\text{D}$  等同位素,确定地热流体的补给来源;通过  $^3\text{H}$  估算补给年龄。

7.2.2.2.2 应用目标如下:

- $\delta^{18}\text{O}$  与  $\delta\text{D}$  分析:判别地热流体来源(大气降水、岩浆水或变质水);
- $^{14}\text{C}$  与  $^3\text{H}$  测试:确定流体循环时间(现代水: $^3\text{H}>1\text{TU}$ ;古水: $^3\text{H}\approx 0\text{TU}$ );
- Sr、Pb 同位素:示踪热源岩体(如花岗岩与围岩的差异)。

7.2.2.2.3 技术要求如下:

- 同位素样品需冷冻保存,送具备 CMA 资质的实验室检测;
- 数据解释结合当地大气降水线(LMWL),分析氧漂移( $\Delta^{18}\text{O}$ )程度。

### 7.2.2.3 气体成分分析

气体成分分析如下:

- 测试地热流体中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2$ 、He 等气体含量;
- $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  比值  $>100$  指示岩浆热源,He 同位素 ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ )  $>1\text{Ra}$  可能反映深部幔源流体。

### 7.2.3 综合解释

7.2.3.1 热储层识别如下:

- 综合低阻(电法)、低密度(重力)、高导热(地温)异常圈定热储范围;
- 利用  $\text{SiO}_2$  温标与地温梯度交叉验证热储温度。

7.2.3.2 热源判定如下:

- 高 He 同位素比值 ( $^3\text{He}/^4\text{He}>0.1\text{Ra}$ ) 指示深部岩浆热源;
- 地温梯度  $>3.5\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$  且基底放射性生热率低时,推断存在隐伏热源;
- 干热岩热源判定通过地温梯度 ( $>5\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ ) 结合大地电磁测深识别隐伏热储构造,或利用微震监测判断岩体破裂与热液运移。

7.2.3.3 流体循环机制分析如下:

- 根据  $\delta^{18}\text{O}$  漂移量与  $\text{Cl}^-$  含量划分深循环 ( $\text{Cl}^->1\text{ }000\text{ mg/L}$ ,  $\Delta^{18}\text{O}>2\text{‰}$ ) 与浅循环流体;
- 结合构造分析建立“补给区—径流通道—排泄区”循环模型。

### 7.2.4 质量控制

7.2.4.1 地球物理数据如下:

- 仪器校准:重力仪、磁力仪每年校准一次,电法设备现场标定;
- 校正测量:随机抽取 5% 测点验证,误差应满足重力  $\leq 0.03\text{ mGal}$ ,磁法  $\leq 2\text{ nT}$ 。

7.2.4.2 地球化学数据:

- 空白样与平行样占比  $\geq 10\%$ ,检测结果相对偏差  $\leq 15\%$ ;
- 实验室需提供方法检出限(如  $\text{SiO}_2$  检测限  $\leq 0.1\text{ mg/L}$ )。

## 7.3 钻探工程

### 7.3.1 基本要求

7.3.1.1 地热钻探应符合 DZ/T 0260 的相关要求。

7.3.1.2 勘探井深度应穿透主要热储层,钻孔参数为、浅层情况下,井深  $\leq 150\text{ m}$ ,孔径  $\geq 130\text{ mm}$ ,终孔

温度 $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;中深层情况下,井深 $> 150\text{ m}$ , $< 3\ 500\text{ m}$ ,孔径 $\geq 127\text{ mm}$ ,终孔温度 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;干热岩情况下,井深 $\geq 3\ 500\text{ m}$ ,孔径 $\geq 216\text{ mm}$ ,终孔温度 $\geq 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.1.3 试验要求包括降压试验、回灌试验、放喷试验。

## 7.3.2 抽水试验

### 7.3.2.1 概述

7.3.2.1.1 目的:确定地热井的出水能力(流量 $Q$ )、热储层渗透性(渗透系数 $K$ 、导水系数 $T$ )、储层压力、温度动态、井损系数( $S$ )、影响半径( $R$ )及计算井的单位涌水量( $q$ )。通过不同抽水试验方法,获取准确的水文地质参数,为地热资源开发设计提供依据。

7.3.2.1.2 试验方法优先采用非稳定流抽水试验,适用于获取热储层渗透系数、弹性释水系数等动态参数。对于勘查程度较低区域或需快速评价,可采用阶梯降深或一次最大降深的稳定流试验;此外,根据井群布置与参数计算需求,分为单孔抽水试验(适用于初步参数估算)和多孔抽水试验(用于精确计算热储层参数及边界条件)。

### 7.3.2.2 技术要求

技术要求如下。

- a) 流量:使用经标定的流量计(如电磁流量计、超声波流量计)连续测量,精度 $\pm 2\%$ 。非稳定流试验中,流量应保持恒定,波动范围 $\leq \pm 1\%$ ;稳定流阶梯降深试验需按设计流量逐级调整,每级流量稳定后持续测量。
- b) 水位:使用高精度水位计(压力传感器或浮子式水位计,精度 $\leq \pm 1\text{ cm}$ )连续监测。单孔抽水试验至少布置1个观测孔;多孔抽水试验中,观测孔应布置在距主井不同距离和方向上,数量 $\geq 3$ 个(可行性勘查阶段),且需覆盖热储层不同水力梯度区域,监测频率为1次/15 min~1次/5 min。
- c) 水温:在井口或井底连续监测,精度 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。非稳定流试验需记录水温随时间变化,多孔试验中应同步监测各观测孔水温,分析热储层温度场分布。
- d) 降深( $S$ ):
  - 1) 非稳定流试验:采用定流量抽水,降深需达到热储层响应明显阶段,无固定落程要求,但需保证抽水持续时间满足标准曲线拟合需求;
  - 2) 稳定流阶梯降深试验:至少应有3个落程,其中最大降深应接近设计开采降深或使流量达到预估最大值的70%以上;
  - 3) 稳定流一次最大降深试验:要求最大降深 $\geq 30\text{ m}$ (针对中深层),适用于快速评估。
- e) 试验持续时间与稳定标准:
  - 1) 非稳定流试验:抽水持续时间需满足热储层压力传播至观测孔,一般持续12 h~72 h,具体根据热储层特性调整,具体时长应根据热储层渗透性、观测孔距离等因素调整,以标准曲线拟合误差 $< 5\%$ 为判定依据之一。
  - 2) 稳定流试验:每个落程的稳定延续时间需满足预可行性勘查阶段 $\geq 24\text{ h}$ ;可行性勘查阶段 $\geq 72\text{ h}$ 。稳定标准:在稳定时段内,流量波动 $\leq \pm 5\%$ ,动水位波动 $\leq \pm 1\%$ 降深值(或 $\pm 5\text{ cm}$ ,二者取绝对值较小者)。
- f) 恢复观测:抽水停止后,恢复水位观测时间应不少于抽水时间的1/3,或不少于主井水位恢复到静水位95%以上所需时间。观测频率从1次/min逐渐延长至1次/10 min,记录水位恢复全过程。
- g) 数据分析:

- 1) 非稳定流数据:应用标准曲线拟合法(如 Theis, Cooper-Jacob, Walton 等)或数值模拟方法分析,计算含水层参数(T、S、K),需验证拟合曲线相关系数 $\geq 0.95$ ;
- 2) 稳定流数据:应用 Dupuit-Thiem 公式等计算参数,结合多孔试验数据反演热储层边界条件。应绘制 S-t、S-lgt、S-Q、q-S 等关系曲线,分析热储层出水规律与井损特征。

### 7.3.3 回灌试验

#### 7.3.3.1 概述

7.3.3.1.1 目的:评价目标热储层的回灌能力(回灌流量、单位回灌量)、回灌压力动态、回灌对储层温度和压力场的影响、计算回灌率潜力、评估热短路风险和堵塞潜力。

7.3.3.1.2 试验类型包括同层回灌试验、异层回灌试验。

#### 7.3.3.2 技术要求

技术要求如下。

- a) 回灌水源:首选经处理(如过滤、除砂、除气)的地热尾水。若用其他水源(如冷水),需进行详细的水-岩相互作用和堵塞潜力评估。
- b) 回灌井:应专门设计,井位距生产井应通过数值模拟优化,初始设计井距一般 $\geq 100$  m(视热储类型和渗透性调整)。
- c) 流量与压力:采用阶梯增压方式进行。起始流量较小,逐步增大。记录每个流量台阶下的稳定回灌压力(井口或井底)。
- d) 稳定时间:每个流量台阶的稳定延续时间:预可行性勘查阶段 $\geq 24$  h;可行性勘查阶段 $\geq 48$  h~72 h。稳定标准:流量波动 $\leq \pm 5\%$ ,回灌压力波动 $\leq \pm 5\%$ 。
- e) 监测:应同步监测生产井的流量、温度、压力(特别是井底温度压力)、水质(关键离子、悬浮物)变化。监测邻近观测孔的水位、温度变化。
- f) 堵塞监测:在回灌前、中、后期采集回灌井入口和出口(若有)水样,分析悬浮物(SS)含量(目标 $\leq 5$  mg/L)、总铁(Fe)、微生物(TBC)、结垢离子( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$ )浓度变化及粒径分布(PSD)。
- g) 压力控制:同层回灌井口压力应严格控制在 $\leq 1.5$  倍静水压力或低于热储层破裂压力(需通过测试确定)以下,通常设计 $\leq 1.5$  MPa(表压)。防止诱发微地震或造成裂隙不可逆张开。
- h) 数据分析:计算单位回灌量(单位压力降下的回灌流量)。绘制回灌流量-压力(Q-P)关系曲线,判断储层接受能力变化。分析生产井温度变化率,评估热短路风险。计算试验阶段的回灌率(回灌量/开采量)。评估堵塞程度(通过压力上升速率或单位回灌量下降率判断)。

### 7.3.4 放压试验

#### 7.3.4.1 概述

7.3.4.1.1 目的:获取目标热储层压力释放特性、渗透率变化规律,分析降压开采对储层温度场、压力场的影响,评估储层产能衰减趋势,预测热储层长期开采潜力及诱发地质灾害的风险。

7.3.4.1.2 试验类型包含定流量放压试验、定压降放压试验。定流量放压试验保持放压流量恒定,研究压力随时间变化规律;定压降放压试验维持压降恒定,分析流量变化特性。

#### 7.3.4.2 技术要求

技术要求如下。

- a) 试验水源:优先采用生产井开采的地热流体,确保试验条件贴近实际开采情况。若需使用替代流体,需进行流体与储层岩石的配伍性分析,避免因流体性质差异影响试验结果准确性。
- b) 试验井:选择已完成生产测试的地热井作为试验井,井身结构应满足放压过程中的承压要求。试验井需配备高精度压力传感器、流量监测装置,且传感器位置应位于井底或尽可能靠近热储层位置,以准确获取储层压力数据。
- c) 流量与压力控制:定流量放压试验中,根据热储层预计产能设定初始放压流量,流量波动范围控制在 $\pm 3\%$ 以内;定压降放压试验按设计压降梯度逐步降压,压降速率不宜超过 $0.1 \text{ MPa/h}$ 。全程实时记录放压流量、井口及井底压力数据。
- d) 稳定时间:每个放压阶段的稳定延续时间:预可行性勘查阶段 $\geq 12 \text{ h}$ ;可行性勘查阶段 $\geq 24 \text{ h} \sim 48 \text{ h}$ 。稳定标准:流量波动 $\leq \pm 3\%$ ,压力波动 $\leq \pm 3\%$ 。
- e) 监测:同步监测试验井的流量、温度、压力变化,监测频率不低于 $1 \text{ 次/min}$ 。对邻近观测孔的水位、压力、温度进行实时监测,分析放压过程中对周边储层的影响范围及程度。
- f) 储层参数监测:在放压前、中、后期采集试验井流体样品,分析关键离子浓度(如 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ )、溶解气体( $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ )含量变化。通过示踪剂测试,获取热储层渗透率、孔隙度等参数动态变化情况。
- g) 压力控制:放压过程中,井底压力不应低于热储层临界压力,避免因压力骤降导致储层砂化、坍塌等风险。当井口压力降至接近静水压力的 $1.2$ 倍时,应减缓放压速率或停止放压。
- h) 数据分析:计算放压过程中的压力恢复系数、渗透率变化率。绘制压力-时间( $P-t$ )、流量-时间( $Q-t$ )关系曲线,分析热储层压力传导特性和产能衰减规律。通过数值模拟方法,预测热储层在不同开采方案下的长期压力变化趋势,评估地热资源可持续开采潜力。

## 7.4 测试分析

### 7.4.1 地热流体测试

7.4.1.1 现场测试:温度( $^{\circ}\text{C}$ )、pH值、电导率( $\text{EC}$ ,  $\mu\text{S/cm}$ )、氧化还原电位( $\text{Eh}$ ,  $\text{mV}$ )、溶解氧( $\text{DO}$ ,  $\text{mg/L}$ )、浊度( $\text{NTU}$ )、流量( $\text{m}^3/\text{h}$ 或 $\text{L/s}$ )。

7.4.1.2 实验室化学分析如下:

- a) 常量阳离子: $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  (单位: $\text{mg/L}$ );
- b) 常量阴离子: $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  (单位: $\text{mg/L}$ )。

7.4.1.3 特征组分(关键地热指标)如下:

- a)  $\text{SiO}_2$  ( $\text{mg/L}$ ):计算地球化学温标(石英、玉髓);
- b)  $\text{B}$  ( $\text{mg/L}$ ):示踪、环保指标;
- c)  $\text{F}^-$  ( $\text{mg/L}$ ):资源价值、环保指标;
- d)  $\text{Li}^+$  ( $\text{mg/L}$ ):资源价值指标;
- e)  $\text{As}$  ( $\text{mg/L}$ ):环保指标;
- f)  $\text{H}_2\text{S}$  ( $\text{mg/L}$ ):腐蚀性、环保指标(现场或实验室快速测定);
- g) 营养盐(若涉及回灌或排放): $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $\text{mg/L}$ );
- h) 重金属(环保要求): $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ 等(按 $\text{GB/T 14848}$ 及相关环保要求);

7.4.1.4 同位素分析(可用于可行性勘查及资源评价)如下:

- a) 水稳定同位素: $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  ( $\text{‰}$  vs.  $\text{VSMOW}$ ),判断补给来源、高程、蒸发及混合作用(氧漂移 $\Delta^{18}\text{O}$ 指示水-岩反应强度)。
- b) 放射性同位素: $^3\text{H}$  ( $\text{TU}$ ),判断现代水补给( $^3\text{H} > 0.8\text{TU}$ ); $^{14}\text{C}$  ( $\text{‰ mod}$ ),估算热流体年龄( $> 1000$ 年)。

- c) 溶解无机碳 (DIC):  $\delta^{13}\text{C}$  (‰ vs. VPDB), 辅助判断碳源(有机质、碳酸盐岩、岩浆)。
- d) 稀有气体: He, Ne, Ar, Kr, Xe 含量及  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比值 (Ra), 关键热源指标(高  $^3\text{He}/^4\text{He} > 0.1\text{Ra}$  指示深部/幔源贡献)。
- e) 溶解气体分析:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ , Ar 等含量及比例(mol%), 辅助判断热源性质(高  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  比值常与岩浆活动相关)、腐蚀性、结垢潜力。

#### 7.4.2 岩石(岩芯、岩屑)测试

岩石(岩芯、岩屑)测试包括但不限于以下内容:

- a) 岩矿鉴定: 确定岩石类型、矿物组成、结构构造、蚀变类型及强度;
- b) 孔隙度( $\varphi$ , %): 采用氦孔隙度法或饱和法测定, 对孔隙型热储(砂岩、灰岩)必测;
- c) 渗透率(K, mD 或  $\text{m}^2$ ): 采用气体(氮气、氦气)渗透仪或稳态/非稳态法液体渗透仪测定;
- d) 热导率( $\lambda$ ,  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ): 采用探针法(如 TK04)或分棒法测定;
- e) 比热容[ $C_p$ ,  $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ]: 采用差示扫描量热法(DSC)测定;
- f) 放射性生热率( $A$ ,  $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ): 通过伽马能谱测量岩石中 U, Th, K 含量计算得出;
- g) 力学性质(干热岩/EGS 必测): 单轴/三轴抗压强度、弹性模量(E)、泊松比( $\nu$ );
- h) X 射线衍射(XRD): 定量分析矿物组成, 特别是黏土矿物类型及含量(影响渗透性、水岩反应);
- i) 扫描电镜(SEM)与能谱(EDS): 观察微观孔隙结构、裂隙、矿物形貌及成分。

#### 7.5 评价方法

水热型地热资源评价采用热储法等多种方法, 多种方法进行综合评估与相互验证通过分析热储层温度、压力、流体性质、渗透率等参数, 结合热平衡原理计算资源量, 评价流程与技术要求应符合 DZ/T 0331 的相关规定。常用的资源储量估算方法包括热储法、解析法/数值模拟法、类比法。

#### 7.6 评价可靠程度

##### 7.6.1 浅层地热资源勘察可靠程度

浅层地热资源勘察可靠程度要求如下。

- a) 预可行性勘查阶段资源量估算的地质可靠程度应达到推断(Inferred)级以上, 需通过初步勘查工程控制主要岩土体的热物性参数空间分布;
- b) 可行性勘查阶段资源量估算的地质可靠程度应达到控制(Indicated)级以上。需通过加密勘查工程(如钻探、热响应试验)控制项目场区岩土体热物性参数, 确保资源量估算结果可为地源热泵系统设计提供可靠依据。

##### 7.6.2 中深层地热资源勘察可靠程度

中深层地热资源勘察可靠程度要求如下。

- a) 预可行性勘查阶段热储资源量估算的地质可靠程度应达到推断(Inferred)级。需通过地球物理、化学勘查和少量钻探工程, 初步控制热储层的空间分布与热流体特征;
- b) 可行性勘查阶段: 热储可开采资源量估算的地质可靠程度应达到控制(Indicated)级。需通过系统的钻探、抽水试验和动态监测, 有效控制热储结构、参数和流体动力场, 确保资源量估算结果可作为开采方案设计的资源基础。

##### 7.6.3 干热岩资源勘察可靠程度

干热岩资源勘察可靠程度要求如下。

- a) 调查评价阶段:资源潜力估算的地质可靠程度可为预测(Predictive)级。主要基于区域地质、地球物理和地温场数据进行宏观评估;
- b) 勘查示范阶段(含可行性论证):目标体可采资源量估算的地质可靠程度应达到推断(Inferred)级以上。需通过钻探、压裂和循环试验,初步证实目标体的采热可行性,并对关键参数(如体积、温度、渗透率)进行初步控制。

## 8 环境影响评价

### 8.1 监测指标

8.1.1 地下水监测:对 pH 值、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  等指标进行季度监测,及时掌握地下水水质变化情况,评估地热资源开发对地下水环境的影响。对地热流体中特征有害元素[如硼(B)、氟(F)、砷(As)、锂(Li)、汞(Hg)等]重点监测。开采阶段,于开采井、回灌井及关键观测点每半年监测 1 次;若浓度接近风险限值,需提高监测频率至季度。

8.1.2 大气监测:监测  $\text{H}_2\text{S}$  浓度 $\leq 0.01 \text{ mg/m}^3$ (符合 GB 3095 二级标准),防止地热开发过程中产生的有害气体对大气环境的污染,保障周边地区的空气质量。

8.1.3 土壤监测:重点监测地热田区内土壤中特征污染物(如 F、B、As、Hg 等)的含量、盐分总量(TDS)及 pH 值。采样点应布设在冷却池、管道沿线、回灌区、废水可能渗漏区及周边背景对照区,参照 GB 36600。

### 8.2 地热资源动态监测系统建设

#### 8.2.1 基本要求

8.2.1.1 应布设专门的监测井网,包括地热开采井、回灌井、观测井(背景井、压力/温度监测井)。

8.2.1.2 监测井应覆盖主要热储层、主要开采区、回灌影响区、潜在环境敏感区(如地下水水源地、地质脆弱区),配备自动化监测设备(压力传感器、温度传感器、流量计、水质多参数仪),实现数据实时/准实时采集与传输。

8.2.1.3 地热资源开发项目应建立全生命周期的动态监测系统,对热储的流体压力、温度、化学场变化实施长期监控,为资源可持续开发、热储管理及环境影响评价提供数据支撑。

#### 8.2.2 监测井网布设

8.2.2.1 组成:应构建由地热开采井、回灌井、专门观测井组成的监测网络。观测井应包括背景井(未受开发的冷水井)、压力监测井、温度监测井。

8.2.2.2 布设原则:监测网应能控制整个热储系统,重点覆盖主要开采区、回灌影响区、重要的地质构造带(如导水断裂)以及潜在的环境敏感区(如地下水水源地保护区和地质脆弱区)。

8.2.2.3 布设密度:监测井布设密度需与热储复杂程度和勘查阶段相适应。可行性勘查阶段,每个完整的地热地质单元至少应有 1 个~2 个监测点(井);开采阶段,在回灌井群附近和开采影响前锋区应加密布设,原则上每  $1 \text{ km}^2 \sim 2 \text{ km}^2$  不宜少于 1 口专门观测井。

#### 8.2.3 监测设备与数据采集

##### 8.2.3.1 传感器要求如下:

- a) 压力/水位传感器:量程应覆盖预期压力变化范围,精度不低于 $\pm 0.1\% \text{ FS}$ ,分辨率 $\leq 0.01 \text{ m}$ ;
- b) 温度传感器:量程应覆盖井底温度,精度不低于 $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- c) 流量计:应采用电磁或超声波流量计,精度不低于 $\pm 1.5\%$ ;

d) 自动水质仪:应能实时监测 pH 值、电导率(EC)、氧化还原电位(ORP)等关键指标。

### 8.2.3.2 数据采集与传输要求:

- a) 采集频率:生产井和回灌井的压力、温度、流量数据应实现分钟级至小时级的高频采集;观测井可采用小时级采集。所有数据应本地存储;
- b) 传输方式:应建立专用数据遥测系统,通过 4G/5G 或光纤网络,实现数据的准实时(延迟不超过 1 h)自动传输至中央数据库。

### 8.2.4 监测内容与频率

监测指标与频率应参考相关法规与标准设立,水文系统监测指标与频率见表 1。

表 1 水文系统监测指标与频率

| 监测要素 | 监测指标/项目  | 预可行性<br>勘查阶段 | 可行性勘查阶段                          | 开采阶段  | 监测位置               | 依据标准/目标值   |
|------|--|--------------|----------------------------------|---|--------------------|------------|
| 地下水  | 水位/m   | 勘查期单次测量      | 试验期连续监测;<br>长期观测点:枯、平、丰水期各 1 次   | 长期观测点:枯/平/丰水期各 1 次                                      | 所有监测井              | GB/T 14848 |
|      | 水温/°C  | 勘查期单次测量      | 试验期连续监测;<br>长期观测点:枯、平、丰水期各 1 次   | 开采井/回灌井/<br>关键观测井:连续监测                                  | 所有监测井<br>(井底/目标层位) |            |
|      | 水质<br>(必测项:pH 值,<br>EC, K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> ,<br>Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,<br>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SiO <sub>2</sub> , F <sup>-</sup> ,<br>B, Li <sup>+</sup> , TDS, Fe,<br>Mn, As, H <sub>2</sub> S) | 勘查期单次全分析     | 试验期采前、中、后;<br>长期观测点:枯、平、丰水期各 1 次 | 开采井:半年 1 次全分析;<br>回灌井入口/出口:季测<br>SS、Fe、结垢离子等;<br>背景井:年测 | 开采井、回灌井、观测井、背景井    |            |
| 地表水  | 水温/°C、<br>流量/(m <sup>3</sup> /s)   | 勘查期单次测量      | 枯、平、丰水期各 1 次                     | 季测  | 主要地表水体、热泉          | GB 3838    |
|      | 水质<br>(必测项:pH 值, EC,<br>TDS, Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,<br>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SiO <sub>2</sub> , F <sup>-</sup> ,<br>B, Fe, Mn)  | 勘查期单次全分析     | 枯、平、丰水期各 1 次                     | 年测  | 主要地表水体、热泉          |            |

### 8.3 评价指标

评价指标见表 2。

表 2 评价指标及获取与取值方法

| 评价维度  | 评价指标  | 指标获取方式   | 取值方法   |
|-------|---|--|--|
| 地下水环境 | pH值、Fe <sup>2+</sup> 、Mn <sup>2+</sup> 、TDS | 井底季度采样,离子色谱仪分析   | 执行GB/T 14848中Ⅲ类标准,超本底值20%启动调查  |
| 大气环境  | H <sub>2</sub> S、SO <sub>2</sub> 、颗粒物       | 自动监测仪实时监测,手工辅助验证   | 遵循GB 3095二级标准(H <sub>2</sub> S含量≤0.01 mg/m <sup>3</sup> )            |
| 地表水生态 | 水温、COD、氨氮、DO                                | 现场月测+实验室年测   | 依据GB 3838设定目标,水温波动超±3℃或生物多样性降10%即整改                                  |
| 地质稳定性 | 微地震震级、地面沉降速率                                | 监测网实时监测,InSAR季度测量  | 以历史数据为参照,震级≥2.0级或沉降超10 mm/年时暂停开采并评估                                  |
| 土壤环境  | pH值、氟化物(F)、硼(B)、砷(As)、汞(Hg)                 | 重点区域年测:于回灌区、井场、管道沿线及敏感目标周边按网格法采样;背景点对照:采集未受干扰区样品。样品送实验室按标准方法分析 | 按照GB 36600执行。<br>任何点位单项指标浓度超过其风险筛选值,即启动详细调查与风险评估;超过风险管制值,则需启动风险管控或修复 |

## 8.4 防治措施

8.4.1 采用尾水梯级利用的方式,将尾水依次用于发电、供暖、养殖、灌溉等,实现尾水的资源化利用,尾水排放应符合GB 8978的相关要求,减少尾水排放对环境的负面影响,提高地热资源的综合利用效率。

8.4.2 建立微地震监测网,对地热开发区域的微地震活动进行实时监测,震级监测精度需≤1.0级,可以及时发现和预警潜在的地质灾害风险,确保地热资源开发的安全性。

### 8.4.3 地热尾水资源化利用

8.4.3.1 地热尾水(即经热量提取后的地热流体)应优先考虑资源化利用,以减少排放量和取水量,提高资源综合利用效率。

8.4.3.2 利用途径:根据尾水水质情况,可用于农业温室供暖、水产养殖、农田灌溉、景观补水、洗浴康养等非饮用目的。利用过程中应确保尾水水质满足相应用途的国家或行业标准。

8.4.3.3 处理与排放:对于无法全部资源化利用、需外排的尾水,应处理至满足GB 8978或其他相关行业排放标准的要求后方可排放,以最大限度减少对受纳水体的热污染和化学污染。

### 8.4.4 地质安全监测与预警

8.4.4.1 建立微地震监测网:在地热田开发区域,特别是回灌区周边,应布设微地震监测台网,对因流体注入/抽取引发的微地震活动进行实时监测。

8.4.4.2 监测精度与预警:监测系统震级分辨率应≤ML 0.0级,定位精度宜优于100 m。设定明确的震动强度预警阈值(如ML ≥ 1.0级)和速率变化阈值。一旦监测数据超过阈值,应立即启动预警,分析原因并采取调整回灌/开采压力、流量等调控措施,以防范诱发地震等地质灾害风险,确保开发安全。

## 9 报告编制

### 9.1 内容要求

9.1.1 报告正文应系统阐述勘查区地质背景、勘查方法、资源量计算与评价、开发建议及环境影响分

析。其中,资源量计算应明确说明计算模型、参数取值依据及其来源,并对估算结果进行不确定性分析。

9.1.2 应增加环境影响与经济性概略分析章节,对地热开发可能产生的环境影响(水、热、化学物质)进行简要分析,并提出防治建议;同时可对地热资源的开发经济性进行初步概略评价。

9.1.3 报告应附有地温等值线图、热储结构剖面图等专题图件。所有图件比例尺应与实际调查精度相匹配,图面要素齐全,包括图名、比例尺、图例、指北针、坐标网格及责任签等内容。

## 9.2 格式要求

9.2.1 报告文本按封面、摘要、目录、正文、结论、参考文献顺序编排。

9.2.2 图件比例尺与实际调查相匹配,数据表采用三线式,制图格式符合国家相关标准。

## 9.3 成果数字化

应提交与成果报告完全一致的数字化成果资料,包括但不限于报告文本、图件的可编辑格式文件(如 CAD、GIS 文件)、相关的原始数据与数据库,并建立完整的元数据档案,以满足数据汇交与共享要求

附录 A  
(资料性)  
地热地质勘查设计书提纲示例

A.1 项目背景与立项依据

A.1.1 项目来源

说明项目的提出单位、政策背景及立项必要性(如能源开发需求、区域规划等)。

A.1.2 目标任务

A.1.2.1 总体目标

明确勘查目的(如查明热储层分布、评价资源量、确定开发可行性)。

A.1.2.2 具体任务

分阶段任务(预可行性勘查、可行性勘查);  
重点任务:断裂构造分析、热物性测试、回灌能力评估。

A.1.3 区域地热资源概况

简述勘查区地热显示类型(热泉、地热井等)、历史勘查成果及资源潜力。

A.1.4 法律法规与政策支持

引用国家及地方地热资源开发相关政策文件、相关技术规范。

A.2 勘查范围与工作周期

A.2.1 勘查范围

地理边界(坐标范围)、垂向深度(浅层/中深层/干热岩)。

A.2.2 工作周期

分阶段时间表(如前期调查、野外作业、数据分析、报告编制)。

A.3 区域地质条件概述

A.3.1 区域地质背景

地层分布、构造特征(断裂、褶皱)、岩浆活动记录。

A.3.2 地热地质特征

地温梯度分布、热储层类型(孔隙型/裂隙型)、盖层特征。

A.3.3 地区特殊条件

A.4 勘查方法与技术路线

A.4.1 技术路线图

综合采用地质调查、地球物理勘查、钻探工程、测试分析四类方法。

A.4.2 具体方法

A.5 工作量与进度安排

A.5.1 实物工作量

A.5.2 进度计划

时间表:分阶段任务节点(如3个月完成预可行性勘查)。

A.6 预期成果

A.6.1 阶段性成果

A.6.2 最终成果

A.7 预算与经费分配

A.7.1 预算明细

分项列支:包括设备租赁、钻探施工、实验室测试、人员费用等。

A.7.2 经费管理

经费管理包括资金使用计划、审计要求等管理项目。

附 录 B  
(资料性)  
地热地质勘查报告编写提纲

**B.1 项目背景与任务**

**B.1.1 项目来源与立项依据**

**B.1.2 目标任务与技术要求**

**B.1.3 勘查范围与工作周期**

**B.2 勘查方法与工作量**

**B.2.1 勘查技术方法**

地球物理勘探(物探方法、参数选择);  
钻探工程(井位部署、钻井工艺);  
测试分析(岩心测试、地热流体取样)。

**B.2.2 实物工作量统计**

物探、钻探、测试工作量汇总表。

**B.2.3 质量评述**

技术方法适用性分析;  
数据质量控制措施。

**B.3 区域地质条件**

**B.3.1 区域地质概况**

地层与构造特征;  
岩浆活动与变质作用。

**B.3.2 区域地热地质条件**

地热显示类型与分布;  
地温场特征;  
热储层与盖层划分。

**B.4 地热资源评价**

**B.4.1 地热流体特征**

物理性质(温度、流量、压力);  
化学组分与同位素特征;  
地热流体成因模式。

#### **B.4.2 热储模型与资源量计算**

热储结构三维模型；  
资源量计算方法(热储法、数值模拟等)；  
可采资源量评估。

#### **B.4.3 地热资源开发利用条件**

开采技术条件；  
可持续利用潜力。

#### **B.5 环境影响评价**

##### **B.5.1 环境影响分析**

地热开采对水环境、地质环境的影响；  
排放物(气体、流体)的环境效应。

##### **B.5.2 环境保护措施**

回灌技术要求；  
监测方案与应急预案。

#### **B.6 结论与建议**

##### **B.6.1 主要结论**

地热资源赋存特征；  
资源规模与开发潜力；  
环境影响。

##### **B.6.2 建议**

下一步勘查方向；  
开发利用技术路线。

##### **B.6.3 存在问题与风险提示**

## 附 录 C

(资料性)

## 地球物理方法组合应用示例

地球物理方法组合应用示例见表 C.1。

表 C.1 地球物理方法组合应用示例

| 勘查目标     | 推荐方法组合     | 解释要点             |
|----------|------------|------------------|
| 浅层热储识别   | TEM+地温测量   | 低阻区与地温异常叠合区域     |
| 深部热源探测   | MT+重力+磁法   | 高磁、低密度异常与深部低阻体关联 |
| 断裂带渗透性评价 | CSAMT+微动测量 | 低阻带与波速各向异性分析     |



中国国际科技促进会  
团体标准  
地热资源地质专项勘察技术规程  
T/CI 1211—2025

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238  
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 0.00 字数 00 千字  
2026年2月第1版 2026年2月第1次印刷

\*

书号:155066·5-20147 定价 00.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



T/CI 1211-2025