

ICS 73.020  
CCS D 10



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 11615—2026

代替 GB/T 11615—2010

## 地热资源地质勘查规范

Geologic exploration standard of geothermal resources

2026-04-30 发布

2026-11-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会

发布

陕西省地热协会  
仅供内部学习

陕西省地热协会  
仅供内部学习

陕西省

会  
部学习

陕西省地热协会  
仅供内部学习



陕西省地热协会  
仅供内部学习

## 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 目的与基本要求	4
4.1 目的	4
4.2 基本要求	4
5 勘查工作内容	5
5.1 地热资源温度分级与热储类型	5
5.2 研究内容	6
5.3 勘查各阶段工作内容	6
5.4 不同类型热储勘查重点	8
6 勘查工作控制程度要求	8
6.1 地质调查	8
6.2 地球物理勘查	8
6.3 地球化学勘查	9
6.4 地热钻探	9
6.5 地热回灌	9
7 勘查工作质量要求	10
7.1 遥感解译	10
7.2 地质调查	10
7.3 地球物理勘查	10
7.4 地球化学勘查	11
7.5 地热钻探	11
7.6 勘探孔洗井与产能测试	12
7.7 地热流体与岩土试验分析	14
7.8 地热资源动态监测	14
8 绿色勘查与安全勘查	15
8.1 绿色勘查	15
8.2 安全勘查	16
9 地热资源储量估算与评价	17
9.1 估算通用要求	17
9.2 估算参数要求	17
9.3 估算方法要求	17

9.4	可开采量分级条件	18
9.5	地热资源可开采量评价	19
10	地热流体质量评价	21
10.1	一般要求	21
10.2	地热流体不同用途评价	21
10.3	地热流体中 useful 矿物组分评价	21
10.4	地热流体腐蚀性评价	22
10.5	地热流体结垢评价	22
11	地热资源开发评价	23
11.1	地热资源开发利用评价	23
11.2	地热资源开发利用环境影响评价	24
12	资料整理与报告编写要求	24
12.1	资料整理要求	24
12.2	报告编写要求	24
附录 A (规范性)	地热资源地质勘查用表	26
附录 B (资料性)	地球化学温标	27
B.1	地球化学温标概述	27
B.2	二氧化硅地热温标	27
B.3	钾镁地热温标	28
B.4	钾钠地热温标	28
附录 C (资料性)	地热流体分析样品的采集与保存方法	29
C.1	采集点的选定及野外测试	29
C.2	不同分析项目的采样	29
C.3	采样容器洗涤要求	32
C.4	添加药品的准备	32
附录 D (资料性)	地热资源储量估算方法	33
D.1	计算参数的确定	33
D.2	计算方法	40
附录 E (资料性)	地热常用代号和单位名称	45
附录 F (资料性)	水疗热矿水水质标准	47
附录 G (资料性)	地热水利用的节煤减排量及居室采暖面积估算表	48
附录 H (资料性)	地热资源勘查报告编写提纲及附图附表	50
H.1	概述	50
H.2	报告编写提纲	50
H.3	报告主要附图	50
H.4	报告主要附表	51
参考文献		52

## 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。

本文件代替 GB/T 11615—2010《地热资源地质勘查规范》，与 GB/T 11615—2010 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了地热资源等术语和定义(见 3.1、3.3、3.4、3.5、3.7、3.8、3.9、3.10、3.11、3.12、3.13、3.14、3.15、3.17、3.18、3.19、3.20、3.21、3.22、3.24、3.28、3.29、3.30、3.32, 2010 年版的 3.2、3.3、3.4、3.13、3.6、3.8、3.7、3.9、3.9.1、3.9.2、3.10、3.11、3.15、3.12、3.17、3.18、3.19、3.20、3.21、3.25、3.30、3.31、3.32、3.34),增加了“水热型地热资源”“地热资源动态监测”的术语和定义(见 3.2 和 3.33),删除了“地热”“干度”等术语和定义(见 2010 年版的 3.1、3.16、3.22、3.24、3.26);
- 更改了地热资源勘查阶段名称(见 4.2.1, 2010 年版的 4.4),更改了勘查各阶段工作内容(见 5.3, 2010 年版的 5.2);
- 更改了地热资源储量分类(见 4.2.2, 2010 年版的 4.8);
- 更改了地热回灌、地热回灌试验、地热资源动态监测等相关内容(见 6.5、7.6.5、7.8, 2010 年版的 6.2.5、7.6.5、7.8);
- 增加了产能测试观测时间要求(见 7.6.2);
- 增加了绿色勘查和安全勘查相关内容(见第 8 章);
- 增加了地热流体可开采量计算和确定条件(见 9.1.6);
- 增加了大规模回灌条件下地热资源评价的数值法要求(见 9.3.3);
- 更改了地热资源可开采量评价相关内容(见 9.5, 2010 年版的 8.4)。

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：北京市工程地质研究所、自然资源部矿产资源储量评审中心、山东省地质矿产勘查开发局、天津地热勘查开发设计院、中国地质科学院水文地质环境地质研究所、中国矿业权评估师协会、中国自然经济研究院、自然资源部浅层地热能重点实验室、北京理工大学、西安科技大学。

本文件主要起草人：杨亚军、鞠建华、李海京、赵苏民、徐巍、万会、康凤新、卫万顺、王贵玲、王雨石、冯丹、王婉琼、郑克桢、欧阳鑫、胥博文、张明燕、乔春磊、董大啸、高一鸣、康博文、王立志、杨雪松、郑小燕、田小甫、刘思源、王秀丽、秦俊生、王成、毕银丽。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1989 年首次发布为 GB/T 11615—1989, 2010 年第一次修订；
- 本次为第二次修订。

陕西省地热协会  
仅供内部学习

陕西省地热协会  
仅供内部学习

陕西省

会  
部学习

陕西省地热协会  
仅供内部学习

陕西省地热协会  
仅供内部学习



# 地热资源地质勘查规范

## 1 范围

本文件规定了地热资源地质勘查的目的与基本要求、勘查工作内容、勘查工作控制程度要求、勘查工作质量要求、绿色勘查与安全勘查、地热资源储量估算与评价、地热流体质量评价、地热资源开发评价和资料整理与报告编写要求。

本文件适用于水热型地热资源地质勘查工作部署、实施、验收及资源评价。

本文件不适用于干热岩型、通过热泵技术开采利用的浅层地热能勘查。

注：如无特别说明，本文件中地热资源专指水热型地热资源。

## 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 3096 声环境质量标准
- GB 5084 农田灌溉水质标准
- GB 5749 生活饮用水卫生标准
- GB 8537 食品安全国家标准 饮用天然矿泉水
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 11607 渔业水质标准
- DZ/T 0260 地热钻探技术规程

## 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：目前可利用的地热资源包括水热型地热资源、浅层地热能 and 干热岩体中的地热资源。

### 3.2

#### **水热型地热资源 geothermal resources of hydrothermal type**

赋存于天然地下水及其蒸汽中的地热资源(3.1)。

[来源：DZ/T 0331—2020, 3.4]

### 3.3

#### **地热资源勘查 geothermal resources exploration**

采用遥感解译、地质调查、地球物理、地球化学、钻探、试验测试、动态监测、资源估算等方法、手段，查明地热资源赋存规律、地热资源储量、富集特征和开发条件的地热地质工作。

### 3.4

#### **地热资源评价 geothermal resources assessment**

在地热资源勘查过程中，综合分析地热资源勘查成果，通过对采灌量的调查和动态观测数据的分

析,运用合理方法计算地热资源储量与可开采量,进行地热流体质量(3.16)及地热资源开发的评价。

3.5

**地热资源储量 geothermal resources reserves**

在当前技术、经济可行的勘查深度内,经过勘查工作,查明的储存于热储岩石的热量及岩石空隙中所赋存的地热流体量和热量。

3.6

**地热资源可开采量 geothermal resources exploitable reserves**

当前经济技术和环境约束条件下,一定时间内可以开采出来的地热资源储量(3.5)。

3.7

**地热异常区 geothermal anomalous area**

地表放热量相对高于周边地区或大地热流值高于大陆地壳热流平均值的地区。

注:在实际工作中,通常指具有某种地表热显示或一定深度内赋存有开发利用前景的热储分布地区。

3.8

**地热田 geothermal field**

经地质勘查证实可供经济规模化开发利用的地热资源相对富集区。

3.9

**地热系统 geothermal system**

构成相对独立的热能储存、运移、转换的系统。

注:按地质环境和能量传递方式可划分为对流型地热系统、传导型地热系统和传导—对流复合型地热系统。

3.10

**热储 geothermal reservoir**

埋藏于地下、具有有效空隙和渗透性、储存的地热流体可供开发利用的地层、岩体或构造带。

3.11

**层状热储 stratified geothermal reservoir**

以传导热为主、分布面积大并具有有效空隙和渗透性的地层构成的热储。

3.12

**带状热储 zoned geothermal reservoir**

以对流传热为主、平面上呈条带状延伸、具有有效空隙和渗透性的断裂带构成的热储。

3.13

**盖层 cap rock**

覆盖在热储之上的不透水或弱透水岩层的总称。

注:在层状热储中,通常将覆盖在主要热储或开发利用热储之上的地层通称之为主要热储的盖层。

3.14

**热源 heat source**

供给热储中岩石和地热流体热的来源。

注:包括地壳及地幔上部岩石中放射性元素衰变产生的热量和现代岩浆活动形成的岩浆房的热量。

3.15

**地热流体 geothermal fluid**

包括地热水和地热蒸汽以及少量的非凝性气体。

注:不包括天然的碳氢化合物可燃气体。

3.16

**地热流体质量 quality of geothermal fluid**

地热流体的物理性质、化学组分、微生物指标及其能量品位。

3.17

**地热增温率 geothermal gradient**

地温梯度

地球不受大气温度影响的地层温度随深度增加的增长率。

注：通常用恒温带以下每深入地下 100 m 所增加的地温值来表示，单位为摄氏度每百米( $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ )。

3.18

**产能测试 yield test**

地热勘查孔产出(回灌)地热流体能力的试验。

注：需测定井产量(回灌量)、静压力、动压力、压力降、流体温度和流体质量等。

3.19

**有效空隙率 effective porosity**

地热流体贮存空间(连通性孔隙、裂隙、溶隙)体积占热储总体积的比率。

注：空隙是松散岩石的孔隙、基岩的裂隙和岩溶的溶隙的总称。

3.20

**渗透性 permeability**

地质体可以让流体渗透、透过的能力。

注：一般以渗透率，即压力梯度为 1 时，动力黏滞系数为 1 的液体在介质中的渗透速度来表示其能力的大小。

3.21

**热导率 heat conductivity**

物质传递分子运动热能的能力。

注：沿热传导方向单位厚度物质当两壁温差为  $1^{\circ}\text{C}$  时，单位时间内所通过的热量，单位为瓦每米开尔文 [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]。

3.22

**比热容 specific heat capacity**

比热

单位质量的物质当温度升高  $1^{\circ}\text{C}$  时所吸收的热量或降低  $1^{\circ}\text{C}$  时所释放出的热量。注：单位为焦耳每千克开尔文 [ $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ]。

3.23

**弹性释水系数 elasticity releasable factor**

因地热流体开采造成热储压力下降，使受容积压缩系数控制的那部分地热流体逐渐得以膨胀释放的能力。

3.24

**井产能 well production**

地热井单位时间内地热流体的产出量。

注：单位为立方米每天( $\text{m}^3/\text{d}$ )或升每秒( $\text{L}/\text{s}$ )或立方米每小时( $\text{m}^3/\text{h}$ )。

3.25

**静压力 static pressure**

地热井在非产能测试条件下的闭井流体压力。

3.26

**动压力 dynamic pressure**

地热井在产能测试时带有压力下降的流体压力。

3.27

**压力降 pressure drawdown**

地热井在产能测试条件下静压力(3.25)与动压力(3.26)之差。

注：相当于抽水试验的降深。

3.28

**单位产能 specific capacity**

每米压力降(3.27)的热流体产能。

注:单位为立方米每天米[m<sup>3</sup>/(d·m)]或升每秒米[L/(s·m)]。

3.29

**地热回灌 geothermal reinjection**

将利用后的地热流体原水或其他清洁水源通过地热井注回热储、保持热储压力稳定的措施。

3.30

**热储工程 reservoir engineering**

涉及热储性质的工程数据和为取得这些数据需进行的测试和研究。

注:包括地热井产能测试、动态拟合、热储模型和回灌等。

3.31

**概念模型 conceptual model**

对地热系统包括热储、盖层、热源和热传递、流体运动等要素的几何及物理形态的简化描述。

3.32

**热储模型 reservoir model**

在建立地热系统概念模型的基础上,用类比、统计、解析、数值法等建立的用于模拟热储形态、参数变化及边界条件等的计算模型。

3.33

**地热资源动态监测 geothermal resources dynamic monitoring**

对地热资源的开采量、回灌量、流体压力(水位)、流体温度、化学组分(水质)以及热储温度等进行的长期观测。

## 4 目的与基本要求

### 4.1 目的

地热资源地质勘查的目的主要包括:

- a) 在查明地热地质背景的前提下,确定地热资源可开发利用的地区及合理的开发利用深度;
- b) 查明热储的岩性、空间分布、有效空隙率、渗透性、产能及其与断裂构造的关联程度;
- c) 查明热储盖层岩性、厚度变化、对热储的封闭情况及其地热增温率;
- d) 查明地热流体的温度、赋存状态、物理性质与化学组分,并对其利用方向作出评价;
- e) 查明地热流体动力场特征、补径排条件,计算评价地热资源储量,提出地热资源可持续发展的建议;
- f) 开展地热水的回灌研究及动态监测等内容;
- g) 为开发与保护地热资源提供资源储量、可开采量等数据及其所需的地质资料,以减少开发风险。

### 4.2 基本要求

4.2.1 地热资源勘查工作遵循循序渐进的原则分阶段实施,按照工作程度由低到高分为普查、详查、勘探3个阶段;已规模化开采的地热田或地区应结合开采中出现的问题和资源管理的需要开展开采评价工作。

4.2.2 地热资源评价工作应估算地热资源储量和可开采量,地热资源储量不分级,地热资源可开采量对应地热勘查阶段(普查、详查、勘探)由低到高分为推断的(D级)、控制的(C级)、探明的(B级)3个精

度,开采评价阶段对应验证精度(A级)的可开采量。地热资源储量分类及可开采量精度分级应符合附录A中表A.1。

4.2.3 勘查工作开始前应充分搜集分析地质、地热、钻探、地球物理及地球化学等资料并编制勘查实施方案。

4.2.4 应在地质调查、地球物理及地球化学勘查的基础上布设勘查孔,勘查孔宜按照“探采结合”的原则设计。按照设计技术要求进行钻井施工,取全取准各项钻井地质及地热参数资料,做好地质编录;有条件成井的,应按地热生产井钻井技术要求成井。

4.2.5 边采边探已形成一定开采规模的地热开采区,应及时总结分析勘查资料,对地热资源储量进行计算评价,提出相应的地热资源勘查评价报告,为科学制定地热资源开发利用规划或方案提供依据。

4.2.6 对已投入规模化开采的地热集中开采区,应每5年依据动态监测资料对其可开采量进行核实评价,为资源管理保护、确保资源可持续利用提供依据。

4.2.7 不同勘查阶段工作的成果,应满足相应设计阶段的要求。地热资源较大规模开发利用的依据应为勘探阶段提交的探明精度(B级)及以上级别的可开采量;地热地质条件简单的中、小型地热田或单个地热井勘查,可根据实际情况简化或合并勘查阶段,开发利用的依据应为控制精度(C级)及以上级别的可开采量。

## 5 勘查工作内容

### 5.1 地热资源温度分级与热储类型

5.1.1 地热资源温度分为高温、中温、低温三级(见表1)。

表1 地热资源温度分级及主要用途

温度分级		温度( $t$ )/ $^{\circ}\text{C}$	主要用途
高温地热资源		$t \geq 150$	发电、烘干、采暖
中温地热资源		$90 \leq t < 150$	烘干、发电、采暖
低温地热资源	热水	$60 \leq t < 90$	采暖、水疗、洗浴、温室
	温热水	$40 \leq t < 60$	水疗、洗浴、采暖、温室、养殖
	温水	$25 \leq t < 40$	洗浴、温室、养殖、农灌

注:表中温度是指地热流体井口温度。

5.1.2 按温度、热储形态、规模和构造的复杂程度,将热储类型划分为两类六型(见表2)。

表2 热储类型

类型		主要特征
高温热储(I)	I-1	热储呈层状,岩性和厚度变化不大或呈规则变化,地质构造条件比较简单
	I-2	热储呈带状,受构造断裂及岩浆活动的控制,地质构造条件比较复杂
	I-3	地热田兼有层状热储和带状热储特征,彼此存在成因关系,地质构造条件复杂
中低温热储(II)	II-1	热储呈层状,分布面广,岩性、厚度稳定或呈规则变化,构造条件比较简单
	II-2	热储呈带状,受构造断裂控制,地热田规模较小,地面多有温、热泉出露
	II-3	地热田兼有层状热储和带状热储特征,彼此存在成因关系,地质构造条件比较复杂

## 5.2 研究内容

### 5.2.1 地质研究

5.2.1.1 研究地热田的地层、构造、岩浆(火山)活动及地热显示等,确定热储、盖层、控热构造、热储类型、地热水源等。

5.2.1.2 对地热田周边及相关地区,开展针对性的地质调查和地球物理、地球化学勘查,研究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。

5.2.1.3 系统调查地表热显示及井(孔)温度,确定地热异常区范围,分析研究地热异常区成因和条件。

5.2.1.4 查明地热田的范围、热储、盖层、地热流体通道、地温场及地热田的边界条件,确定地热田的地热地质模型。

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

### 5.2.2 地温场研究

5.2.2.1 查明勘查区不同区域、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的温度,研究勘查范围内的地温场特征,圈定地热田范围。

5.2.2.2 利用地热增温率或地球化学温标估算热储温度(见附录 B),并对地热田成因、控热构造和热源作出分析、推断。

### 5.2.3 热储研究

查明各热储的岩性、厚度、埋深、分布、相互关系及其边界条件,测定各热储的空隙率、有效空隙率、弹性释水系数、渗透系数、压力传导系数、压力水头高度等参数,研究主要热储或近期具有开发利用价值热储的渗透性。

### 5.2.4 地热流体研究

5.2.4.1 查明地热流体的温度、相态、排放时的汽、水比例(蒸汽干度)、非凝气体成分,为地热资源的开发利用与环境影响评价提供依据。

5.2.4.2 测定地热流体的物理性质与化学组分、微生物含量、同位素组成、有用组分及有害成分,评价地热流体的可能利用方向,为设计选材提供依据。

5.2.4.3 测量各地热井(孔)地热流体的压力、产量特征,研究地热流体与大气降水、常温地下水和不同热储间地热流体的相互关系,分析地热流体的来源、储集、运移、排泄条件。

5.2.4.4 研究地热流体的温度、压力、产量及化学组分的动态变化。

## 5.3 勘查各阶段工作内容

### 5.3.1 普查

在有地热显示或拟开发地热的地区开展普查工作:

- a) 分析研究区域已有的地质、遥感解译、地球物理、地球化学、放射性调查以及其他相关地热资料的基础上确定普查区;
- b) 初步查明调查区的地层、构造、岩浆(火山)活动情况,重点对地热天然露头(泉)和地热井等地热显示开展野外调查与测试,推断地热异常区的热储、盖层、导水和控热构造、热源及水源,初步圈定地热异常的范围,提出热储概念模型;
- c) 在有地热显示地区测定地热流体的天然排放量及其化学组分,估算地热异常区的热储温度和地热资源储量;

- d) 在有地热显示地区建立动态监测点,开展动态监测工作;
- e) 估算地热资源储量,提交推断精度(D级)的可开采量,评估地热异常区开发利用前景,为详查工作提供依据。

### 5.3.2 详查

在普查工作的基础上,确定详查区。详查区应进行下述工作:

- a) 基本查明区内地层及岩浆岩的岩性、厚度与埋藏分布,查明断裂及产状,地层及岩浆岩的孔隙、裂隙、岩溶及水热蚀变发育程度,地温变化及地温梯度,划分热储、盖层、导水与控热构造;
- b) 基本查明热储的岩性、厚度、埋深,地热流体的温度、压力、产量,热储的有效空隙率及渗透性,确定水源和热源;
- c) 开展降压(放喷)试验,获取参数,圈定地热流体富集地段;
- d) 选择代表性地段布置勘探孔进行钻探,验证热储岩性、厚度、埋深,以及地热流体的温度、压力、产能;
- e) 开展单井回灌试验研究;
- f) 初步建立热储数值模型,完善动态监测工作,对地热流体动态(采灌量、水头压力、水温、水质)进行监测研究,掌握年动态特征;
- g) 计算地热资源储量,提交控制精度(C级)的可开采量,为勘探工作和编制地热资源开发利用总体规划提供依据。

### 5.3.3 勘探

将地热详查选定的拟开采区确定为勘探区。勘探区应进行下述工作:

- a) 查明勘探区的地层结构、岩浆岩分布与主要控热构造、导水构造,各热储的岩性、厚度、分布、埋藏条件及其相互关系;
- b) 进行地热钻探或探采结合钻井工程,查明各热储及盖层的地热增温率、热储主要特征(渗透性、有效空隙率等)、地热流体温度、压力、产量及化学组分等;
- c) 进行地热多孔和群孔降压(放喷)试验,了解井间干扰情况及流体动力场变化特征,为确定合理的开采生产井群布局提供可靠依据;
- d) 开展单孔或多孔回灌试验研究;
- e) 完善动态监测工作,对地热流体动态(采灌量、水头压力、水温、水质)开展连续2年以上监测研究;
- f) 根据多个地热钻孔测试成果、年动态监测资料及经验参数,采用至少2种方法计算对比、评价地热资源储量,并提交探明精度(B级)的可开采量,为地热资源开发利用设计方案提供依据;
- g) 勘探结束5年后,实际开采量小于B级可开采量的勘探区进行大规模开发前应对地热流体可开采量及开采后对环境的影响进行重新评价。

### 5.3.4 开采评价

在已规模化开采地热资源的地热田或地区进行开采评价,应进行下述工作:

- a) 综合分析区内已有的地质、水文地质、地热地质、地热钻井及地球物理勘查资料,详细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,建立准确的地热系统概念模型;
- b) 全面分析地表热显示及井孔测温资料,详细查明区内的地热增温率、勘查深度内地温场的空间变化规律,准确确定热储温度;

- c) 依据热储特征、地热田开发的实际需要与可能,对热储进行回灌试验研究,查明回灌对地温场与渗流场的影响,确定最佳的回灌地段、层位、灌采比、采灌井的合理布局及保持地热田持续开发利用的采灌强度;
- d) 完善动态监测工作,对地热流体动态(采灌量、水头压力、水温、水质)进行连续 5 年以上监测研究,定期普测全区地热流体压力、温度、化学组分变化,分析不同储层和主要开采热储的开采量变化及其引起的地热流体压力、温度、水质动态变化规律,建立评价区热储模型;
- e) 查明全面实施采灌结合、实现开采区地热流体、热(能)、化学组分开发利用最优方案,研究相关地质环境变化及诱因,计算地热资源储量,提交验证精度(A 级)的可开采量;
- f) 每 5 年对地热流体可开采量及开采后对环境的影响进行重新评价,为地热资源合理利用、有效保护和可持续开发提供依据。

#### 5.4 不同类型热储勘查重点

##### 5.4.1 带状热储

5.4.1.1 在地质调查的基础上,结合地球物理、地球化学勘查、地温温度测定等圈定地热异常区或地热田的边界。

5.4.1.2 应研究控制或影响地热资源分布的主要断裂构造的形态、规模、产状、力学性质及其组合关系。

5.4.1.3 宜在断裂交汇部位及主要控热断裂构造的上盘,沿断裂构造延伸方向布置地热钻井揭穿至断裂构造带,查明地热流体赋存条件并通过降压试验获取的参数,计算评价地热田的地热流体可开采量。

5.4.1.4 对于受断裂构造控制的天然温泉则以多年流量动态监测资料计算评价其可开采量。

##### 5.4.2 层状热储

5.4.2.1 宜通过地质调查(主要是深井测温调查)了解可能的地热异常区。

5.4.2.2 依据重力、磁法、电法和地震等地球物理勘探方法,查明松散地层的沉积厚度或隐伏基岩埋藏深度、主要断裂构造分布,确定地热资源勘查范围。

5.4.2.3 通过剖面上的深部地球物理勘探,详细了解深部地层结构、主要热储埋深。

5.4.2.4 依据地热井钻探验证结果及取得的新认识,开展外围地区勘查,逐步扩大勘查范围。

5.4.2.5 依据采灌测试、开采动态监测资料计算评价地热流体可开采量。

5.4.2.6 应详细研究地层结构及地温梯度随深度、地层的变化,划分热储和盖层。着重研究各热储岩性、厚度、分布、导热率及重要断裂构造对热储的连通性、地热流体温度的控制性影响,确定主要热储,划分地热流体富集区(带)。

#### 6 勘查工作控制程度要求

##### 6.1 地质调查

地热地质调查精度要求应符合表 A.2,主要要求如下:

- a) 地热资源普查阶段地热资源地质调查工作比例尺为不小于 1/20 万;
- b) 详查阶段工作比例尺为不小于 1/10 万;
- c) 勘探阶段工作比例尺为不小于 1/5 万;
- d) 开采评价阶段工作比例尺为不小于 1/5 万。

##### 6.2 地球物理勘查

6.2.1 地热资源普查阶段以收集区域地球物理勘查资料为主。

6.2.2 详查和勘探阶段以面积物探为主,勘查区应等于或略大于地质调查的范围,物探工作测线垂直主要构造走向,精测剖面应通过拟定地热钻井位置,勘查深度应大于拟钻地热井的深度。

6.2.3 开采评价阶段,可根据开采地热资源布井的需要,在预设钻孔位置、垂直地质构造方向布置物探勘查剖面,进行补充性勘查。

6.2.4 工作量应满足相应比例尺物探精度和勘查深度的要求。

### 6.3 地球化学勘查

6.3.1 对勘查区的温泉和其他有地热显示的已有深井选择代表性地热流体样品做化学全分析和同位素测试。

6.3.2 对地面泉华和钻井岩心的水热蚀变,采集代表性岩样做岩石化学全分析和等离子体光谱及质谱分析或光谱半定量分析。随勘查阶段的深入应增加采样密度和检测项目。

6.3.3 上述水和岩石的化学分析结果,应进行地球化学分类和计算,包括:流体类型、特征组分、组分比率、地球化学温标、水岩平衡、同位素地球化学等方面。

### 6.4 地热钻探

6.4.1 地热钻探工程部署要求如下。

- a) 在充分收集分析研究已有地质、地球物理、地球化学勘查资料的基础上,选择地热资源勘查开发代表性地段部署地热钻探工程。
- b) 以查明主要热储的类型、分布、埋藏条件、渗透性,地热流体质量、温度、压力,地热井的生产能力为重点。
- c) 勘查深度可根据主要热储类型、埋藏深度、当前的开采技术经济条件和市场需要确定,对于天然出露的带状热储类型,勘查深度一般控制在 1 000 m 内;隐伏的盆地型层状热储,勘查深度一般不超过 5 000 m。
- d) 地热勘查应按照“探采结合”的原则,地热地质勘查钻孔有可能开采利用的,应按成井技术要求实施;地热开采井的钻井地质编录、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,还应按地质勘查要求,取全、取准各项地热地质资料。

6.4.2 钻探工程控制要求应按表 A.2 选用,一个地质构造单元应至少有 1 眼控制井。

### 6.5 地热回灌

6.5.1 地热回灌工程部署要求如下。

- a) 在以利用热能为主的地热勘查项目中,应进行地热回灌试验;在勘探阶段应完成单井或多井回灌试验,开采评价阶段进行多井回灌试验。
- b) 地热回灌采用地热原水回灌,如没有地热原水,可采用其他清洁水源回灌,回灌不对热储造成污染。
- c) 地热流体矿化度高、地热水头逐年下降并已具备自然回灌条件的地热田或地热开采地区,应积极推进回灌,实行“采灌结合”的“水、热(能)、化学组分”均衡开采模式。

6.5.2 回灌工程控制要求如下。

- a) 回灌井与开采井的深度、结构宜相同。宜采取同层回灌模式,以维持开采热储的压力。
- b) 回灌水在储层中运移未达到增温目标前不应进入开采井。
- c) 分析地质构造、热储性质、回灌量、开采和回灌水温差等对回灌的影响。
- d) 地热回灌井应结合地热开采井布置,根据回灌试验结果、回灌井的回灌能力及维持开采区采灌平衡的需要确定回灌井数量。

## 7 勘查工作质量要求

### 7.1 遥感解译

7.1.1 遥感解译主要用于判断下列地热地质问题：

- a) 地貌、地层、地质构造基本轮廓及地热区隐伏构造；
- b) 地表泉点、泉群和地热溢出带、地表热显示位置；
- c) 地面水热蚀变带的分布范围；
- d) 深部温度场空间展布及高温异常。

7.1.2 遥感解译应先于地质调查工作、以航摄像片解译为主，必要时结合航空红外测量或结合卫星图像解译。解译结果均应对主要地层界线、断裂构造等进行实地路线检验，或与地面地质、物化探工作结合进行。

7.1.3 用不同时间、不同波段的遥感影像进行综合解译。注意影像的质量，收集不同地质体的光谱特征，建立地质、地热地质的直接和间接解译标志。利用计算机进行图像处理。

7.1.4 用大比例尺航片，用航空立体镜结合计算机解译并用立体成图仪成图。

7.1.5 提交相应比例尺的解译图及文字说明。

### 7.2 地质调查

7.2.1 地质调查应在充分利用遥感解译和区域地质调查资料的基础上进行，其主要任务是：

- a) 实地验证遥感解译的疑难点；
- b) 查明地热田的地层及岩性特征、地质构造、岩浆活动与新构造活动情况、了解地热田形成的地质背景与构造条件；
- c) 查明地表热显示的类型、分布及规模，地热异常带(区)与地质构造的关系；
- d) 分析地热流体的补给、径流、条件。

7.2.2 地质调查范围应包括相关的构造单元。带状热储应包括地热异常带(区)及地热田可能的控热构造边界；层状热储应根据可能的开采范围适当扩大，包括关系比较密切的地区。

7.2.3 地热地质调查精度参照相同比例尺的地质调查规范要求实行，在有相应比例尺地质底图的基础上进行地热地质调查，调查点的密度可适当放宽。应以地表热显示、深部钻井地质调查为重点。

### 7.3 地球物理勘查

7.3.1 地球物理勘查宜在地热资源详查和勘探阶段进行，勘查范围应包括相关的构造单元并结合地热钻井井位确定。

7.3.2 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、热储的空间分布和地热田边界；
- 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、热储的埋藏深度和地热流体的可能富集(区)带。

7.3.3 地球物理勘查方法根据地热田的地质条件和被探测体的物性特征进行选择。除使用常规的电法、磁法、重力方法外，还可选择分辨率较高或探测深度较大的人工地震、电磁测深(如大地电磁测深、可控源音频大地电磁测深、连续大地电磁剖面法、瞬变电磁法、时频电磁法、人工地震)及微动测深等。具体方法按表 A.2 确定。

7.3.4 利用地温测量圈定地热异常区；利用重力和磁法勘探探测沉积盆地基底、断裂构造、岩浆岩分布

等;利用可控源音频大地电磁法(CSAMT)和广域电磁法(WFEM)测隐伏基岩岩性和富水断裂位置,确定勘探孔位置;利用微动勘查方法(MSM)探测深部低速层;利用土壤汞、氦气测量确定浅埋藏的活跃断裂构造;利用地震勘探较准确地圈定地层结构、热储埋深及断裂位置与产状。构造隆起区勘查深埋传导型地热资源宜采用CSAMT、WFEM、MSM、重力、磁法组合;而勘查浅层对流型地热资源,宜采用CSAMT、测温、测氦组合;在沉积盆地区勘查传导型孔隙地热资源,采用CSAMT、大极距电测深、微动组合;在隆起与凹陷断阶带,勘查复合型地热资源,采用CSAMT、MSM、高精度重力组合。

7.3.5 地球物理勘查应执行各类地球物理勘查工作规范。

7.3.6 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,采用信息技术提高地质解译质量。

## 7.4 地球化学勘查

7.4.1 地热资源勘查各阶段宜进行地球化学勘查,采用多种地球化学勘查方法,包括地热流体特殊组分[氟(F)、二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )、硼(B)、硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )等]调查分析、氦气测量等,确定地热异常分布范围。

7.4.2 具代表性的地热流体,宜采集地球化学样品,并适当采取部分常温地下水、地表水及大气降水样品作为对照,分析彼此的差异和关系。样品采集方法、要求见附录C。

7.4.3 测定代表性地热流体、常温地下水、地表水、大气降水中稳定同位素和放射性同位素,推断地热流体的成因与年龄。

7.4.4 计算地球化学温标。计算地热流体中钠/钾(Na/K)、氯/硼(Cl/B)、氯/氟(Cl/F)、氯/二氧化硅(Cl/ $\text{SiO}_2$ )等组分含量的比值,并进行水岩平衡计算,分析地热流体中矿物质来源及其形成条件。

7.4.5 对地表岩石和地热钻井岩心中的水热蚀变矿物进行取样鉴定,分析推断地热活动特征及其演化历史。

7.4.6 地球化学勘查图件比例尺应与地质调查比例尺一致。

## 7.5 地热钻探

7.5.1 勘探孔设计、施工、钻进中的地质编录与完井的各种测试应满足查明地热田的地层结构、地质构造、岩性、地温变化、热储的渗透性、地热流体压力及其物理性质和化学组分,取得代表性计算参数的需要。

7.5.2 对拟投入开发利用的勘探孔,应对井的表层套管和技术套管进行固井,表层套管下入深度、口径应满足抽水泵外径和地热井长期开采的要求,固井水泥应上返至井口;下部技术套管下至热储一定深度内,固井水泥应填满套管与孔壁间的环状间隙,以保持套管稳定和封闭热储以上含水层位,防止不同水质储层相互串层沟通而造成污染。对技术套管超过1 000 m且地层比较稳定的中低温地热井,固井水泥上返高度可小于技术套管长度,但上返高度应大于500 m,并需在其顶部再压入水泥,其垂向厚度不少于100 m。高温地热井的套管应具备安装防喷装置的条件,表层套管和技术套管应全井段固井。

7.5.3 除专门设计的定向井外,勘探孔应保持垂直,相应深度的井斜控制为:泵室段(一般300 m深度内)不大于 $1^\circ$ ,1 000 m内不大于 $3^\circ$ ,2 000 m内不大于 $7^\circ$ ,2 000 m以上终孔不大于 $10^\circ$ ;井深误差不大于1/1 000。

7.5.4 勘探孔口径应满足取样、测井及完井试验的要求;探采结合井还应满足设计产量、安装相应开采设备的要求;监测孔终孔口径一般不小于91 mm。

7.5.5 在已有取心钻孔控制的地区,勘探孔一般采取无心钻进,但应做好全孔岩屑录井与地质编录,岩屑录井样品采集间距2 m~5 m;对代表性井段应采取岩石磨片样和化学分析样,进行室内鉴定和准确定名;对中、高温地热田,还应特别注意水热蚀变岩心或岩屑的采样和鉴定。对尚无取心钻井控制的地区、代表性井段或地层判别有疑难的地区,应适当取心。每一个地热田,应根据地热田规模建立代表性

的地热钻井地层实物地质标准剖面。

7.5.6 勘探孔应合理使用钻井液,盖层可根据地层情况采用不同比重、黏度、失水率的泥浆作为钻井液,钻遇热储后宜采用清水、无固相或低固相稀泥浆作为钻井液。考虑热储的压力条件,宜采用近平衡钻进,以防堵塞和污染热储。

7.5.7 勘探孔钻井过程中在下管前和完钻后,应进行地球物理测井,不应漏测井段。测井项目应包括:电阻率、自然电位、天然放射性、井温、井径、井斜、声波(密度)等项;钻遇热储顶、底板及终孔时,应进行测温,测温前停钻时间不少于 24 h。严重漏失井段测温的停钻时间应适当延长。

7.5.8 勘探孔的地质观测与编录:

- a) 采集岩屑或岩心样品,应注意观测记录其岩石成分、不同成分岩屑所占比例及其随钻进深度的变化,判定地层的岩石名称及变层的深度并保留代表性岩屑岩心样品;
- b) 目的层段应注意观测冲洗液性能及漏失量变化、详细记录钻进过程中的涌水、井喷、漏水、涌砂、逸气、掉块、塌孔、放空、缩径等现象及出现时的井深和层位,测定涌水、井喷的高度、涌水量、温度及冲洗液的漏失量等,对井段的热储特性、地热流体赋存部位进行预估;
- c) 系统测定井口冲洗液出口和入口的温度变化并做好记录,对储、盖层界面进行判断。

7.5.9 对用于开采(回灌)的勘探孔,完井后,应做好井口保护,完善井口装置,包括:安装控制阀门、流量计、温度计、压力计等,保证流体产量、温度、压力、水位监测的需要。

## 7.6 勘探孔洗井与产能测试

### 7.6.1 洗井要求

勘探孔钻完井后应进行洗井工作。洗井应依据热储渗透条件及埋深、孔内情况,采用适宜的物理、化学方法,疏通热储空隙、清除孔内及热储的泥浆、岩屑、岩粉等堵塞物,使流体中悬浮物含量小于 1/20 000(体积比);洗井后应至少进行两次试抽,前后两次试抽的流体单位产量变化应小于 10%。

### 7.6.2 产能测试

7.6.2.1 洗井满足要求后应进行产能测试,包括勘探孔降压(放喷)试验和地热回灌试验,通过测试取得地热流体压力、产量、温度、采灌量比及热储的渗透性等参数。产能测试在各个勘查阶段的目的要求及具体做法按表 3 执行。

表 3 产能测试目的和要求

试验	阶段	普查	详查	勘探	开采评价
降压(放喷)试验	目的	确定单井产能,求取参数	确定多井干扰下的产能,求取参数	求取参数,确定开采方案	研究开采影响,优化开采方案
回灌试验	目的	—	确定单孔回灌能力,为回灌方案设计提供基础数据	确定单孔回灌能力,研究多井回灌影响,初步设计回灌方案	研究回灌对流体压力场、温度场及化学场的影响,优化回灌方案
	要求	—	单孔回灌试验	单孔或多孔回灌试验	多孔回灌

7.6.2.2 降压(放喷)稳定流试验时,动水位和出水量观测时间宜在抽水开始后的第 5 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min 各测一次,以后每隔 30 min 或 60 min 测量一次。

7.6.2.3 降压(放喷)非稳定流试验时,动水位和出水量观测时间宜在抽水开始后的第 1 min、2 min、3 min、4 min、6 min、8 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min、40 min、50 min、60 min、80 min、100 min、120 min 各测一次,以后每隔 30 min 测量一次。

7.6.2.4 地热回灌试验时回灌井水位和回灌水量应同步测量,宜在回灌开始后的 1 min、5 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min、60 min 各测一次,以后每隔 30 min 测量一次。

### 7.6.3 降压试验

7.6.3.1 单孔试验:宜做 3 次降压的稳定流或非稳定流试验,最大一次降压的延续时间不少于 48 h,单位产量小于  $10 \text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$  及流体压力持续下降的,应适当延长试验时间。试验期间宜采用井下压力计测量压力变化,条件不具备只能从孔口测量水位(压)时,应同时测得孔内地热流体温度,换算准确反映压力的水头。测试资料应满足确定流体运动方程,计算储层渗透系数、空隙度或弹性释水系数、压力传导系数,评价单井合理产量的要求。

7.6.3.2 多孔试验:指带有一个或多个观测孔的主孔降压试验,观测孔的观测时间与主孔一致。在地热田详查阶段中采用,宜做 1 次~2 次降压的稳定流或非稳定流试验,最大一次降压的延续时间不少于 120 h。试验资料除满足单井试验的各项要求外,还应能确定降压影响半径、井间干扰系数等参数。

7.6.3.3 群孔试验:指在同一热储内,在两个或两个以上勘探孔中同时进行的降压试验,在地热田勘探或开采评价阶段中采用,结合地热资源开采方案进行。应做一次最大降压的稳定流或非稳定流试验,降压试验流量尽量接近井的拟开采量,延续时间不少于 240 h。试验资料要求能确定地热流体动力场的变化及其边界条件,为资源计算与评价、确定合理开采方案提供资料。

### 7.6.4 放喷试验

7.6.4.1 单孔放喷试验:可先用端压法测算单井的热潜力。应在井口进行汽、水分离,分别测定不同压力下的汽、水流量和温度,并测定分离蒸汽中的不凝结气体含量,确定单井的热焓和热流体产量,绘制井口压力、产量与温度、流量和时间的关系曲线。试验延续时间不少于 360 h。

7.6.4.2 群孔放喷试验:在多个勘探孔同时放喷并在外围设立一定数量观测井的试验。在中、高温地热田可行性勘查阶段及热储工程研究中采用,宜结合试验性生产进行,试验延续时间不少于一个月。试验要求在井口进行汽、水分离,分别测定不同压力下汽、水量与温度,分离蒸汽中非凝气体含量,了解各勘探孔在干扰状态下的产量,为评价地热总产量及热储的潜力提供依据。

### 7.6.5 地热回灌试验

7.6.5.1 单孔回灌试验要求如下:

- a) 单孔回灌试验是利用 1 眼井进行回灌,观测、研究不同回灌流量与回灌井水位变化的情况,用以确定回灌井的回灌能力;
- b) 在整个试验期间,回灌量应逐步增大,同时对回灌水温度、回灌井的水位进行观测,最后确定出最大回灌量和稳定回灌水位,条件具备时应按最大出水量进行回灌试验;
- c) 气温、回灌水温度应在试验期间每隔 1 h 同步测量一次;
- d) 回灌流量与回灌水位均稳定 24 h 后方可停止试验,停灌后对回灌井水温进行监测。

7.6.5.2 多孔回灌试验要求如下。

- a) 多孔回灌试验是利用多眼井同时进行回灌,观测、研究不同回灌量所引起的周边观测井的水位、水温、水质变化的情况,用以确定干扰条件下回灌井的回灌能力。
- b) 试验应准确测定各回灌井的回灌量、水位、回灌流体压力随时间的变化、回灌影响范围及影响区内地热流体温度、压力、产量等。
- c) 多孔回灌试验应布设一定数量的观测孔,试验前应实测回灌井和观测孔的地热流体的温度、压力;试验期间应定期监测其变化并分析这些变化与灌(采)量变化的关系;停灌后仍应定期监测回灌井和观测孔压力、流体温度的变化,以及相邻开采井地热流体的温度、压力变化,直

至相对稳定。

- d) 地热回灌试验可与地热开发利用结合进行,在实行冬季采暖的地区,可结合冬季采暖进行一个采暖期的回灌试验(不含停灌后的观测时间),评价回灌对采灌区温度场的影响及持续回灌的可行性。
- e) 回灌试验期间可应用无害示踪剂进行示踪试验,测定回灌流体的运移途径、速度,研究开采井和回灌井之间的水力联系和回灌对开采井出水温度的影响。

7.6.5.3 对回灌水源应采取过滤措施,以防机械堵塞;采取隔氧措施,以防止生物和化学堵塞;定期采取回扬措施,以利清除堵塞物、恢复其回灌能力。

## 7.7 地热流体与岩土试验分析

### 7.7.1 地热流体分析

7.7.1.1 在地热资源地质勘查中,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:各勘查阶段的全部勘探孔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,中高温地热井应采用井下压力采样器取样;
- c) 微量元素、放射性元素[铀(U)、镭(Ra)、氡(Rn)]、毒性成分的分析:按每个储层采样,详查阶段各取1个~2个,勘探阶段各取3个~5个,开采评价阶段各取5个~7个;
- d) 稳定同位素:勘探阶段每层热储各取1个~2个,开采评价阶段每层热储各取2个~3个;
- e) 放射性同位素:勘探阶段每层热储各取3个~5个,开采评价阶段每层热储各取5个~7个;
- f) 岩土分析:采集典型热储和盖层岩样及包含水热蚀变的岩土样品。

7.7.1.2 地热流体全分析项目包括:主要阴离子(重碳酸根  $\text{HCO}_3^-$ 、氯离子  $\text{Cl}^-$ 、硫酸根  $\text{SO}_4^{2-}$ 、碳酸根  $\text{CO}_3^{2-}$ )、阳离子(钾离子  $\text{K}^+$ 、钠离子  $\text{Na}^+$ 、钙离子  $\text{Ca}^{2+}$ 、镁离子  $\text{Mg}^{2+}$ )、微量元素和特殊组分[氟(F)、溴(Br)、碘(I)、二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )、硼(B)、硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )、铝(Al)、铅(Pb)、铯(Cs)、总铁( $\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+}$ )、锰(Mn)、锂(Li)、锶(Sr)、铜(Cu)、锌(Zn)等]、放射性元素(U、Ra、Rn)及总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 放射性、pH值、溶解性总固体、硬度、耗氧量、悬浮物等。对高温热田应增加汞(Hg)、砷(As)、锑(Sb)、铋(Bi)的测试,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,并根据不同用途调整相关分析项目。

7.7.1.3 气体分析包括:硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、氧气( $\text{O}_2$ )、氮气( $\text{N}_2$ )、一氧化碳(CO)、氨气( $\text{NH}_3$ )、甲烷( $\text{CH}_4$ )、氦气(He)、氩气(Ar)等。

7.7.2 同位素分析包括:一般测定稳定同位素氘( $^2\text{H}$ )、氧-18( $^{18}\text{O}$ )、硫-34( $^{34}\text{S}$ )和放射性同位素氚( $^3\text{H}$ )、碳-14( $^{14}\text{C}$ )。

7.7.3 岩土分析应依据地热田的实际情况有选择地进行,包括:

- a) 热储及代表性盖层的物理、水理性质测定,项目包括:密度、比热容、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、微体古生物、化石、孢粉、重矿物、岩石磨片与岩石化学等测定和鉴定,确定其地层时代和岩性;
- 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) 测定岩石中铀、钍、钾-40放射性含量,计算产热量,分析形成区域热异常的背景。

## 7.8 地热资源动态监测

7.8.1 地热勘查工作应及早建立地热资源动态监测系统,掌握地热流体的天然动态与开采动态。对已开发的地热田应在已有监测网的基础上,根据地热田资源评价及控制开采压力下降漏斗范围的需要进行调整和加强,保持动态监测的连续性,为地热资源评价、地热田管理、研究与地热田开发有关的环境

地质问题提供基础资料。

7.8.2 监测点的布设应能反映地热田各热储的自然动态规律及开采引起的动态变化。详查阶段应选择1个~2个代表性地热井(泉)进行监测,了解地热田的天然动态规律;勘探阶段应对地热田的各热储分别设立2个~3个动态监测点,了解地热田各热储的动态差异及其变化规律;开采评价阶段应在已有监测点网的基础上,适当增加监测点(对于集中开采的层状热储,可按3点/100 km<sup>2</sup>~5点/100 km<sup>2</sup>的比例布置),反映地热田不同构造部位的动态变化。

7.8.3 监测内容包括:地热流体压力、产量、回灌量、温度及化学组分。监测频率根据不同动态类型确定。地热流体压力、温度监测宜每月2次~3次;地热流体产量监测与流体压力监测同步进行,并按日历年(月)统计地热田总产量的变化;地热流体化学组分监测,宜每年2次。

7.8.4 回灌监测要求:回灌期间对开采量、回灌量、水温、压力及回灌水质等进行定期监测;停灌后、回灌开始前对回灌井至少各测温1次、水质各检测1次,对回灌井水位变化进行连续监测。

7.8.5 地质环境监测:根据地热开发可能产生的地质环境影响进行针对性监测,包括地温变化、对相邻地下含水层的影响、地面沉降、对地表水的影响等。

7.8.6 各动态监测井应准确测定井口标高及井位坐标,及时分析各项动态监测资料。

7.8.7 监测井宜按照利于获取计算区各分区参数的原则布置。监测点宜利用已有的勘探孔、水井和泉。

## 8 绿色勘查与安全勘查

### 8.1 绿色勘查

#### 8.1.1 基本要求

8.1.1.1 应将绿色发展和生态环境保护要求贯穿于地热资源地质勘查的全过程,实施环境影响最小化控制。

8.1.1.2 应依靠科技和管理创新,最大限度地避免或减轻勘查活动对生态环境的扰动、污染和破坏。

8.1.1.3 应建立健全绿色勘查管理制度及岗位职责,地热资源地质勘查实施方案应包含绿色勘查的相关内容 & 要求。

#### 8.1.2 勘查设计

8.1.2.1 勘查设计前,应进行实地踏勘,对勘查活动可能造成的生态环境影响及程度作出预判。

8.1.2.2 勘查设计中,应统筹勘查目的任务与生态环境保护之间的关系,采用适宜的勘查方法、技术手段、设备、工艺和新材料,合理部署勘查工作,并对场地选址、道路选线、物料堆存、废弃物处理、各项工程施工等勘查活动各环节的绿色勘查工作作出明确的业务技术安排,制定明确的预防控制措施和组织管理措施。

8.1.2.3 钻探施工现场应设置废油收集桶,废弃油料应进行回收利用或专业处置;施工中产生的噪声应符合 GB 3096 要求。

8.1.2.4 工作区产生的废弃物应按要求统一处置。驻地生活区垃圾应分类收集,有毒有害的垃圾应定期送往垃圾处理地处理;临时厕所应设置在远离饮用水源的位置,内部采取防渗、漏措施,周边设置排水沟;临时厕所应定期消毒处理,施工结束后应做好回填掩埋工作。

#### 8.1.3 勘查施工

8.1.3.1 项目施工前,根据勘查设计做好场地复垦复绿、恢复治理、重复利用等事宜的准备工作。

8.1.3.2 勘查施工过程中,应按照勘查设计落实绿色勘查要求。

8.1.3.3 应对车辆、人员通行、工程占地等对土壤植被的损毁,机械运行排放的废弃污染,设备运行产生的光噪干扰,以及泥浆、生活垃圾、废弃物(废水、废渣、废油料)引起的污染等进行有效管控。

8.1.3.4 地热钻探井(孔)洗井、降压(放喷)试验时的排水不应対地下水、地表水造成污染。

8.1.3.5 施工机械设备应安装消声装置,场地靠近居民区方向宜修建隔音室或隔音墙,施工场地边界噪声应小于 70 dB(A),在居民区附近施工噪声应小于 55 dB(A)。

8.1.3.6 地下含水层钻进、堵漏时应采用不会造成污染的冲洗液、堵漏材料。

#### 8.1.4 环境恢复治理与验收

8.1.4.1 勘查工作或阶段工作结束,应针对勘查活动造成的环境影响,根据国家法律法规、强制性标准和恢复治理设计要求,及时开展环境恢复治理,最大限度消除勘查活动对生态环境造成的负面影响。

8.1.4.2 现场的坑、池、沟槽等,应采用开挖的土石按次序分层回填,复原工作不应产生新的挖损破坏;施工现场被油料、废浆、废水污染的土壤,宜采取换填、原位修复或异位修复等方法处理。

8.1.4.3 环境恢复治理完成后方可移交撤场。

#### 8.2 安全勘查

##### 8.2.1 基本要求

8.2.1.1 安全勘查应贯穿于地热资源地质勘查的全过程。

8.2.1.2 应对施工人员进行安全勘查工作培训,增强安全勘查意识,切实落实安全勘查要求。

8.2.1.3 应建立健全安全勘查管理制度及岗位职责,地热资源地质勘查实施方案应包含安全勘查的相关内容 & 要求。

##### 8.2.2 勘查设计

8.2.2.1 地质勘查工作开展前应对可能涉及的安全问题(包括:人员、设备、财产、交通以及生产、生活、涉密信息与资料等)进行评估,制定应对方案,确保地质勘查工作安全有序实施。

8.2.2.2 钻探工艺及钻探设计参数时应考虑钻探地质条件,尤其是不稳定地层(易造成坍塌、冲洗液易漏失等)的影响,防止钻探设备失稳倾斜等重大事故的发生;钻孔应与地下管线及地下构筑物保持足够安全距离。

##### 8.2.3 勘查施工

8.2.3.1 开展地质调查、地球物理勘探、地球化学勘探等野外作业时,应做好防虫咬、防雷电、防火、防暴、防冻伤、防摔伤等工作,在陌生地区或者无人区作业时 应配备必要的导航、通信、充电等设备以及足够的油料、食物、饮用水等物资。

8.2.3.2 地质钻探应遵守相关作业规程并执行 DZ/T 0260;处理孔内事故时,应由机、班长操作,并设专人指挥,除直接操作人员外,其他人员应离开危险区域;夜间或 5 级以上大风、雷雨、雾、雪等天气禁止安装、拆卸钻塔。

8.2.3.3 野外生活区应远离滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害易发区,作业时应在完成勘查工作的前提下快速通过落石等危险区。

8.2.3.4 勘查设备、仪器应状况良好,操作人员应熟练使用,特殊工种应持证上岗。

8.2.3.5 在有限空间采集样品时应注意通风,防止硫化氢等有害气体对人体造成伤害。

8.2.3.6 勘查作业时 应遵守保密规定,尤其是在特殊地区(军事禁区等)定点、拍照时应遵守当地要求,遇到可疑人员及时上报。

## 9 地热资源储量估算与评价

### 9.1 估算通用要求

9.1.1 地热资源储量估算,应分别计算热储中的储存的热量(J)和地热流体量( $m^3$ )、地热资源可开采量(J)、地热流体可开采量( $m^3/d$ 或 $m^3/a$ )及其可利用的热能量(MW)。对于规模较大的利用热能为主要的项目,还应计算地热田热能的承载能力。

9.1.2 地热资源储量和可开采量估算,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。

9.1.3 计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。在开采评价阶段,模型的更新和计算周期宜小于5年。

9.1.4 勘查开发程度高、规模大、已实现采/灌结合的地热田,尤其是城市地区的地热田,应开展热储工程研究,建立数值模型,提出地热资源可持续开发利用的方案与资源优化管理模式建议。

9.1.5 探采结合的地热田或地热开采地区,在形成一定开采规模后,应及时分析研究地热资源勘查开发成果,计算相应勘查阶段的地热资源可开采量。

9.1.6 地热流体可开采量的计算和确定应符合以下条件:

- a) 开采方案技术可靠,经济合理;
- b) 开采期内动水位不超过设计值,出水量不会减少;
- c) 水质、水温的变化不超过允许范围;
- d) 不发生危害性的环境地质现象和影响已有地热开采井的正常使用。

### 9.2 估算参数要求

9.2.1 地热资源储量和可开采量计算参数应通过试验和测试取得,对难以通过测试得到的参数或勘查工作程度较低时,可采用经验值。应取得下列参数:

- a) 地热井参数:地热井位置、深度、揭露热储厚度、生产能力、温度、水头压力、流体化学组分等;
- b) 热储几何参数:热储面积、顶板深度、底板深度和热储厚度等;
- c) 热储物理性质参数:热储温度、水头压力、岩石的密度、比热容、热导率和压缩系数等;
- d) 热流体性质参数:热流体单位质量的体积、比重、热焓、动力黏滞系数、运动黏滞系数和压缩系数等;
- e) 热储渗透性和贮存流体能力的参数:渗透率、渗透系数、传导系数、弹性释水系数(贮存系数)、空隙率、有效空隙率等;
- f) 监测资料:地热井产量(回灌量)、温度、水头压力、化学组分随时间的变化;
- g) 热储的边界条件:边界的位置、热力学和流体动力学特征等。

9.2.2 参数的分布应能控制地热田或勘查区的特征。在建立数值模型时,如实测资料不充分,可通过模型反演求取热储参数。

### 9.3 估算方法要求

9.3.1 地热资源储量和可开采量估算应建立在地热田概念模型的基础上,根据地热地质条件和研究程度的不同,选择相应的方法进行。概念模型应能反映地热田的热源、储层和盖层、储层的渗透性、内外边界条件、地热流体的补给、运移等特征。

9.3.2 地热资源储量和可开采量估算重点是地热流体可开采量(包括可利用的热能量)。计算方法依

据地热地质条件及地热田勘查研究程度选择。详查阶段可采用地表热流量法、热储法、比拟法、解析法；勘探阶段除采用热储法及比拟法外，还可依据部分地热井试验资料采用解析法、数值法；开采评价阶段应依据勘查、开发及监测资料，采用统计分析法、热储法或数值法等计算。

9.3.3 热能利用项目宜进行数值法的模拟预测以及开发—回灌方案优化，在取得产能测试、回灌试验等成果的基础上，利用地热流体压力场、温度场以及相关监测时间的动态监测资料建立地热田或开采区数值模型，研究在保持地热田温度场不下降或者下降程度很小(可接受范围内)的情况下地热田热能的最大可利用量，依此确定流体回灌量，进而确定流体开采量。采用数值法进行回灌计算，其地质基础、参数等按表4要求执行。

表4 数值法回灌计算要求

内容	适用的勘查阶段	地质基础	动态监测资料	热储温度场监测体系	其他	计算软件
回灌模拟预测	勘探	完成勘探工作，建立地热田概念模型	至少2年	初步建立并具有2年以上监测资料	—	成熟、有效
优化回灌方案	开采	完成勘探报告并提交探明储量，建立地热田数值模型	至少5年	基本建立并具有5年以上监测资料	地质、钻探、物探等新的成果，精度高于勘探阶段要求	成熟、有效

9.3.4 一个地热田或地热勘查区的地热资源储量和可开采量估算，应采用两种以上的方法计算、比较和验证。

9.3.5 单眼地热开采井，应根据试验及开采动态资料确定可开采量级别；或者依据井产能测试资料按井流量方程计算单井的稳定产量，或以降压(放喷)试验资料采用内插法确定。中低温地热资源评价时，宜采用的水位降深100 a内不大于100 m，下降速率不大于1 m/a。高温地热资源评价时宜采用总压力降低值一般不大于0.3 MPa，最大不大于0.5 MPa，压力下降速率不大于0.02 MPa/a。

9.3.6 以井采为主并开采多年的地热田，应以统计法为主计算地热流体可开采量，以地热田内代表性监测井多年水头压力保持稳定或一定时限内可趋于稳定条件下的地热田开采总量，作为其可开采量。对暂不能保持水头压力稳定的地热田，以地热田内代表性监测井保持一定水头压力年降速条件下的地热田开采量作为一定时限内的可开采量。

9.3.7 已实施地热回灌或采(灌)结合开发的地热田，可采用统计分析法、热储法或数值法计算其保持水头压力、热(量)均衡条件下的合理开采强度作为其可开采量。

9.3.8 单独开采的地热天然露头(泉)，应依据泉流量实测和动态监测资料，采用泉流量衰减方程计算可开采量或取历年泉最低流量值作为其可开采量。

9.3.9 地热资源储量和可开采量估算方法要求见附录D，地热常用量代号和单位名称见附录E。

#### 9.4 可开采量分级条件

9.4.1 推断精度(D级)的可开采量是地热远景开发规划和部署下一步勘查工作的依据。其条件是：

- a) 圈定异常区范围，初步查明地热范围和热储的空间分布；
- b) 基本取得资源量计算所需参数。

9.4.2 控制精度(C级)的可开采量是地热开采区(地热田)开发利用立项的依据。其条件是：

- a) 基本查明地热田边界和热储特征；
- b) 通过试验获得可开采量计算的主要参数；
- c) 初步了解年度动态变化。

9.4.3 探明精度(B级)的可开采量是地热田(开采区)开发设计的依据。其条件是:

- a) 查明地热田边界和热储特征;
- b) 通过试验取全取准可开采量计算所需的参数;
- c) 掌握2年以上动态监测资料。

9.4.4 验证精度(A级)的可开采量是地热田开发管理的依据。其条件是:

- a) 详细查明地热田边界条件和热储特征;
- b) 可开采量计算所利用参数应通过开采验证;
- c) 掌握5年或5年以上开发动态监测资料。

9.5 地热资源可开采量评价

9.5.1 依据钻井控制程度及地热地质条件、开采程度和动态监测等,确定地热资源储量及不同勘查程度地热流体可开采量(见表5)。

表5 地热资源可开采量查明程度

类别		推断的(D级)	控制的(C级)	探明的(B级)	验证的(A级)
勘查区	钻井控制程度	—	满足详查阶段要求	满足勘探阶段要求	满足开采评价阶段要求
	开采程度	自然排泄	少量井开采	多井开采	全面开采
	动态监测	偶测值	1年	2年以上	5年以上
	计算参数依据	理论推断和经验值	少量井勘查、物探推测和经验值	多井勘查测试及经验值	勘查测试、多年开采与多年动态
	计算方法	热储法、地表热流量法、解析法等	热储法、比拟法、地表热流量法、解析法等	解析法、比拟法、数值法、热储法等	数值法、统计分析法、热储法等
单泉	偶测结合文献资料	1年泉水流量实测资料	20年以上泉水流量动态资料	20年以上泉水流量动态资料	
单井	试验资料外推	实际产能测试	1年开采动态监测值	多年开采动态监测值	

9.5.2 依据地热流体可开采量所采出的热量,按公式(1)计算地热田的产能(热能或电能),地热流体年开采可利用的热能按公式(2)估算:

$$W = c_w Q(t - t_0) \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- W ——热功率,单位为千瓦(kW);
- c<sub>w</sub> ——热储水的比热容,单位为千焦每千克开尔文[kJ/(kg·K)];
- Q ——地热流体可开采量,单位为升每秒(L/s);
- t ——地热流体温度,单位为摄氏度(°C);
- t<sub>0</sub> ——当地年平均气温,单位为摄氏度(°C)。

$$\sum W_i = 86.4DW \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- ∑W<sub>i</sub> ——开采一年可利用的热能,单位为百万焦耳(10<sup>6</sup>J);
- D ——全年开采日数(按24h换算的总日数),单位为天(d)。

9.5.3 地热田规模按可开采热(电)能的大小分为大、中、小三型(见表6)。

表 6 地热田规模分级

地热田规模	高温地热田		中、低温地热田	
	电能/MW	保证开采年限/a	热能/MW	保证开采年限/a
大型	>50	30	>50	100
中型	10~50	30	10~50	100
小型	<10	30	<10	100

9.5.4 计算地热流体年(或 100 a)可开采量所能采出的热量占热储中储存热量及地热流体中储存热量的比重,估算地热资源的开发潜力并比较计算结果的一致性。

9.5.5 依据资源条件及资源开发的技术经济条件,确定合理的开采方案,并预测地热田的温度场、渗流场、流体化学组分等的变化趋势。

9.5.6 依据确定的单井稳定产量,按下列相关公式估算其开采影响半径(开采权益保护范围)。

- a) 盆地型地热田没有回灌的条件下,可接单井允许开采量开采 100 a,消耗 15% 左右地热资源储量,按公式(3)~公式(5)估算地热井开采对热储的影响半径,视其为单井开采权益保护半径;

$$R = \sqrt{\frac{36\,500Qf}{0.15M\pi}} \dots\dots\dots(3)$$

其中:

$$f = \frac{\rho_w c_w}{\rho_e c_e} \dots\dots\dots(4)$$

$$\rho_e c_e = \varphi \rho_w c_w + (1 - \varphi) \rho_r c_r \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- R —— 地热井开采 100 a 排出热量对热储的影响半径,单位为米(m);
- Q —— 地热井产量,单位为立方米每天(m<sup>3</sup>/d);
- M —— 热储层厚度,单位为米(m);
- $\rho_w$  —— 热储水的密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);
- $c_w$  —— 热储水的比热容,单位为焦每千克开尔文[J/(kg·K)];
- $\rho_e$  —— 热储层的密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);
- $c_e$  —— 热储层的比热容,单位为焦每千克开尔文[J/(kg·K)];
- $\varphi$  —— 热储岩石的孔隙度,无量纲;
- $\rho_r$  —— 热储岩石的密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);
- $c_r$  —— 热储岩石的比热容,单位为焦每千克开尔文[J/(kg·K)]。

- b) 盆地型地热田有回灌条件下:

- 1) 接单井允许开采 100 a,消耗热储温度下降 2℃时的地热储存量,假设除抽取和回灌的热量外,系统和外界没有能量交换,回灌未发生热突破且抽水井井口温度与回灌前温度一致,则回灌条件下单井开采权益保护半径按公式(6)~公式(8)进行计算:

$$R = \sqrt{1 - \alpha\beta} \times \sqrt{\frac{Qf}{\delta M\pi}} \dots\dots\dots(6)$$

其中:

$$\alpha = \frac{t_h - t_0}{t_\tau - t_0} \dots\dots\dots(7)$$

$$\beta = \frac{Q_h}{Q} \dots\dots\dots(8)$$

式中：

- $t$  ——时间,单位为年(a),取 100 a;
- $\delta$  ——热储温度下降 2℃时减少的地热储存量的比例,%;
- $t_h$  ——回灌水温度,单位为摄氏度(℃);
- $t_0$  ——基准温度,单位为摄氏度(℃),取恒温层温度或当地多年平均气温;
- $t_r$  ——回灌水前热储温度,单位为摄氏度(℃);
- $Q_h$  ——回灌量,单位为立方米每天( $m^3/d$ )。

- 2) 按单井允许开采量开采 100 a,考虑热突破后果计算回灌条件下单井开采权益保护半径按公式(9)进行计算:

$$R = \sqrt{\frac{3 \times 36\,500 Q_f}{\pi M}} \dots\dots\dots(9)$$

- c) 对于盆地型地热田,当采用上述 3 种方法计算单井开采权益保护半径时,应选取一个最大开采权益保护半径。
- d) 有补给的地热田,可按影响半径公式计算开采影响半径,再考虑可能的井间干扰,适当增大距离,确定其开采的合理井距及其权益保护范围。
- e) 已进行地热田可开采量评价的地热田或开采区,则按行政管理部门认可的单井开采量占地热田或开采区可开采量的比例确定其开采权益保护范围。

## 10 地热流体质量评价

### 10.1 一般要求

10.1.1 应与地热资源储量和可开采量估算评价同时进行,以提供地热资源的质量品位,作为地热资源开发的基础和依据。

10.1.2 应依据不同用途进行综合评价。

10.1.3 应在井(泉)试验和定期对代表性地热流体采样进行全分析及微生物检测的基础上进行,其评价指标包括地热流体的物理性质、化学组分、微生物含量等。

### 10.2 地热流体不同用途评价

10.2.1 水疗热矿水评价:地热流体通常含有某些特有的矿物质(化学)成分,可作为水疗热矿水开发利用,可参考附录 F 对其属于何种类型的水疗热矿水作出评价。

10.2.2 饮用天然矿泉水评价:地热流体符合饮用天然矿泉水界限指标及限量指标的,依据 GB 8537 作出评价。

10.2.3 生活饮用水评价:地热流体可作为生活饮用水源的,应根据 GB 5749 作出评价。

10.2.4 农业灌溉用水评价:低温地热流体(水)采暖供热等后的退水可用于农田灌溉,按照 GB 5084 对其是否适于农田灌溉作出评价。

10.2.5 水产养殖用水评价:低温地热水用于水产养殖的,按照 GB 11607 对其是否符合水产养殖作出评价。

### 10.3 地热流体中 有用矿物组分评价

中高温地热流体中通常含有高浓度的矿物质,有的为热卤矿物水,可从中提取工业利用的成分,如

碘(>20 mg/L)、溴(>50 mg/L)、铯(>80 mg/L)、锂(>25 mg/L)、铷(>200 mg/L)、锶(>5 mg/L)等,有的还可生产食盐、芒硝等,对达到工业利用可提取有用元素最低含量标准的,可参照《矿产资源工业要求参考手册》作出评价。

### 10.4 地热流体腐蚀性评价

10.4.1 地热流体中因含有氯根、硫酸根、游离二氧化碳和硫化氢等组分而对金属有一定的腐蚀性,可通过挂片试验等测定其腐蚀率,对其腐蚀性作出评价。

10.4.2 可参照工业上用腐蚀系数来衡量地热流体(水)的腐蚀性:

- 腐蚀系数  $K_k > 0$ , 称为腐蚀性水;
- 腐蚀系数  $K_k < 0$ , 并且  $K_k + 0.050 \cdot 3Ca^{2+} > 0$ , 称为半腐蚀性水;
- 腐蚀系数  $K_k < 0$ , 并且  $K_k + 0.050 \cdot 3Ca^{2+} < 0$ , 称为非腐蚀性水。

腐蚀系数的计算:

a) 对酸性水利用公式(10):

$$K_k = 1.008(rH^+ + rAl^{3+} + rFe^{2+} + rMg^{2+} - rHCO_3^- - rCO_3^{2-}) \quad \dots\dots\dots(10)$$

b) 对碱性水利用公式(11):

$$K_k = 1.008(rMg^{2+} - rHCO_3^-) \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

$r$ ——离子含量的每升毫克当量(毫摩尔)数(meq/L),其中  $1 \text{ meq} = 1 \text{ mmol} \times \text{原子价}$ 。

### 10.5 地热流体结垢评价

10.5.1 地热流体中所含二氧化硅、钙和铁等组分因温度变化而产生结垢,可通过试验评价其结垢程度。

10.5.2 可参照工业上用锅垢总量来衡量地热流体的结垢性:

- 锅垢总量  $H_0 < 125$ , 称为锅垢很少的地热流体;
- 锅垢总量  $125 \leq H_0 < 250$ , 称为锅垢少的地热流体;
- 锅垢总量  $250 \leq H_0 < 500$ , 称为锅垢多的地热流体;
- 锅垢总量  $H_0 \geq 500$ , 称为锅垢很多的地热流体。

锅垢总量的利用公式(12)计算:

$$H_0 = S + C + 36rFe^{2+} + 17rAl^{3+} + 20rMg^{2+} + 59rCa^{2+} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

$S$  ——地热流体中的悬浮物含量,单位为毫克每升(mg/L);

$C$  ——胶体含量为  $SiO_2$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $Al_2O_3$  的总量,单位为毫克每升(mg/L);

$r$  ——离子含量的每升毫克当量数(meq/L),其中  $1 \text{ meq} = 1 \text{ mmol} \times \text{原子价}$ 。

10.5.3 碳酸钙结垢趋势可按氯离子含量分类判断。

a) 当地热流体中氯离子含量大于等于 25% 摩尔当量时,可采用拉申指数(LI)判定碳酸钙的结垢趋势和腐蚀性程度。拉申指数(LI)按公式(13)计算:

$$LI = \frac{CL + SO_4}{ALK} \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

CL ——氯化物或卤化物浓度;

$SO_4$  ——硫酸盐浓度;

ALK ——总碱度。

三项均以等当量的 CaCO<sub>3</sub>,单位为毫克每升(mg/L)。

当 LI<0.5,可能结垢,没有腐蚀性;LI≥0.5,不结垢,有腐蚀性。其中:

- 0.5≤LI<3.0,弱腐蚀性;
- 3.0≤LI<10.0,中等腐蚀性;
- LI>10.0,强腐蚀性。

b) 当地热流体中氯离子含量小于 25% 摩尔当量时,可采用雷兹诺指数(RI)判定地热流体碳酸钙的结垢趋势。雷兹诺指数(RI)按公式(14)、公式(15)计算:

$$RI = 2pH_s - pH_a \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$pH_s = -\lg[Ca^{2+}] - \lg[ALK] + Ke \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

pH<sub>s</sub> —— 计算出的 pH 值;

pH<sub>a</sub> —— 地热流体实测的 pH 值;

[Ca<sup>2+</sup>] —— 地热流体中钙离子的摩尔浓度;

[ALK] —— 总碱度,即重碳酸根HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子摩尔浓度;

Ke —— 常数(当总固形物 200 mg/L~6 000 mg/L 时,取值 1.8~2.6 之间,温度大于 100 °C 取低值,低于 50 °C取高值)。

当 RI<4.0,结垢非常严重;4.0≤RI<5.0,结垢严重;5.0≤RI<6.0,结垢中等;6.0≤RI<7.0,结垢轻微;RI≥7.0,不结垢。

## 11 地热资源开发评价

### 11.1 地热资源开发利用评价

#### 11.1.1 开发可行性评价

11.1.1.1 依据地热井可能的成井深度,区别地热资源开采的经济性,分为:

- a) 最经济的,成井深度一般小于 1 000 m;
- b) 经济的,成井深度一般 1 000 m~4 000 m;
- c) 有经济风险的,成井深度大于 4 000 m。

11.1.1.2 依据地热井的地热流体单位产量大小,确定适宜开采地区,分为:

- a) 适宜开采区:地热井地热流体单位产量大于 50 m<sup>3</sup>/(d·m);
- b) 较适宜开采区:地热井地热流体单位产量 5 m<sup>3</sup>/(d·m)~50 m<sup>3</sup>/(d·m);
- c) 不适宜开采区:地热井地热流体单位产量小于 5 m<sup>3</sup>/(d·m)。

#### 11.1.2 利用方向评价

11.1.2.1 依据表 1 及相关水质标准确定利用方向。

11.1.2.2 依据地热流体可开采量及其产能,评价其可开发利用的规模。规模估算见表 7 和附录 G。

表 7 地热供暖、供热、水疗、洗浴等耗水(热)量参考标准

项目	供暖	供生活热水	温泉洗浴	水疗	农业温室	水产养殖
单位	W/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /(a·人)	m <sup>3</sup> /(人·次)	m <sup>3</sup> /(床位·a)	W/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·a)
标准	50	15~20	0.3~0.5	100	80	5~7

## 11.2 地热资源开发利用环境影响评价

11.2.1 地热利用的节能和减排效果估算见附录 G。

11.2.2 地热流体排放对环境的影响的评价包括以下内容：

- a) 高温地热流体中通常含有 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 等非凝气体，应评价其对大气可能造成的污染，提出污染防治建议；
- b) 废地热流体的直接排放会造成热污染和其中有害组分对地表水、地下水水质的污染，应按照 GB 8978 评价其排放对环境的影响。

11.2.3 地面沉降及塌陷评价包括以下内容：

- a) 新生界松散沉积层及半成岩热储，应对开采地热流体可能产生的地面沉降作出评价，提出相应的防治措施建议；
- b) 上覆松散层厚度小的岩溶热储或基岩热储，应对开采地热流体可能引发的地面变形破坏（塌陷或沉降等）作出评价，提出相应的防治措施建议。

11.2.4 其他地质环境影响评价包括以下内容。

- a) 地热地质景观保护性评价。地热流体长期开发，有可能导致热田及其周边地区的地热显示、地热景观的消失和天然温泉的锐减，应作出保护性评价，保护代表性的地热自然景观。
- b) 海水入侵可能性评价。对沿海地区开采地热流体可能引起的海水入侵进行评价，确定合理的开采方式和开采量，防止海水入侵对热田的破坏和影响。
- c) 浅层地下水水源保护性评价。在与浅层含水层有较密切水力联系的地区开采地热流体，对可能引起上覆含水层水质、水量的变化进行评价，确定热储合理开采量及浅层地下水水源保护对策。
- d) 回灌影响评价。评价回灌对热储温度场、化学场等影响；评价非地热原水回灌的可行性及影响；提出合理的地热流体回灌方案。

## 12 资料整理与报告编写要求

### 12.1 资料整理要求

12.1.1 应对地热资源勘查工作取得的各项资料，包括：地质调查、地球物理与地球化学勘查、地热钻井、地球物理测井、产能测试、地热流体化学分析、岩土测试、动态监测及开采利用的历史与现状等资料进行分类整理、编目、造册、存档备查。

12.1.2 对代表性地热天然露头及全部地热钻井（勘探孔和开采井）资料，按建立地理信息系统的要求，确定地理坐标位置，建立相应的数据库。

12.1.3 对地热钻井取得的实物地质资料（岩心、岩屑等）应进行整理，建立标准地质剖面；有重要地质意义的地热钻井实物资料（岩心、岩屑）应予以长期保存。

### 12.2 报告编写要求

12.2.1 地热资源勘查工作完成后，应及时编写与勘查阶段相适应的勘查报告。

12.2.2 地热资源勘查报告依据实际需要可分为单井地热资源勘查报告和地热田（区）地热资源勘查评价报告，报告内容如下。

- a) 单井地热资源勘查报告：指单个地热井开发利用的地热井勘查报告，主要依据单井勘查成果评价其可开采量及开采保护区范围，为资源的开发管理提供依据。报告内容一般包括：前言，区域地热地质条件，地热井地质及地球物理测井，井产能测试与可开采量评价，流体质量评价，经济与环境评价，开采保护区论证，结论与开发利用建议等。

- b) 地热田(区)地热资源勘查评价报告:指一个独立的地热田或具有一定开采规模的地区,为总结地热资源勘查、开采与多年动态监测成果资料而编写的报告,是地热资源统计、规划、开发管理的主要依据。依据勘查工作程度的不同,可分为:普查报告、详查报告、勘探报告、开采评价报告等,报告编写提纲及附图、附表可参考附录 H。

附录 A  
(规范性)  
地热资源地质勘查用表

地热资源可开采量精度按表 A.1 进行分级。

表 A.1 地热资源可开采量精度分级表

资源储量分类		可开采量精度分级(由高到低)			
		验证的	探明的	控制的	推断的
地热资源 储量	可开采量	A	B	C	D

勘查评价工作控制程度要求按表 A.2 执行。

表 A.2 勘查评价工作控制程度要求

勘查评价工作控制程度		普查	详查	勘探	开采评价	
地质调查	工作比例尺	≥1/20万	≥1/10万	≥1/5万	≥1/5万	
地球物理勘查	热储类型	I-1、II-1型	收集区域遥感(含红外)、航磁、重力等物探资料以及地温、地震活动性等资料	1/10万重磁面积测量,1/10万电磁测深或电测深面积测量	1/5万重磁面积测量,1/5万电磁测深或电测深面积测量、微动测深及人工地震剖面测量	—
		I-2、II-2、I-3、II-3型		1/5万重磁面积测量,1/5万浅层测温,1/5万电磁测深或电测深面积测量,土壤汞、氡气测量	1/2.5万重磁面积测量,1/2.5万电磁测深或电测深面积测量,土壤汞、氡气测量,人工地震剖面测量	—
地热钻探	勘查孔单孔可控制面积(km <sup>2</sup> /孔)	I-1型	—	10.0~20.0	5.0~10.0	<5.0
		I-2型	—	1.0~2.0	0.5~1.0	<0.5
		I-3型	—	5.0~10.0	2.5~5.0	<2.5
		II-1型	—	20.0~30.0	10.0~20.0	<10.0
		II-2型	—	2.0~3.0	1.0~2.0	<1.0
		II-3型	—	10.0~20.0	5.0~10.0	<5.0
注:同一类型地热田钻探,构造条件复杂,具有多层热储者取小值;构造条件比较简单者取大值。						

**附录 B**  
(资料性)  
地球化学温标

**B.1 地球化学温标概述**

**B.1.1** 温泉和地热井都可以利用地球化学温标来估算热储温度,预测地热田潜力。

**B.1.2** 各种地球化学温标建立的基础是地热流体与矿物在一定温度下达到化学平衡,在随后地热流体温度降低时,这一平衡仍予保持。

**B.1.3** 选用各种化学组分、气体成分和同位素组成而建立的地热温标类型很多,下面介绍的各种温标都是根据试验计算或热力学平衡推导的公式,而对统计归纳类的温标公式未作推荐。

**B.2 二氧化硅地热温标****B.2.1 无蒸汽损失的石英温标**

热水中的二氧化硅是由热水溶解石英所形成,这部分热水在其达到取样点(泉口或井口)时没有沸腾,可选用公式(B.1)计算:

$$t = \frac{1309}{5.19 - \lg C_1} - 273.15 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$t$  ——热储温度,单位为摄氏度(°C);

$C_1$  ——热水中溶解的  $H_4SiO_4$  形式的  $SiO_2$  含量,单位为毫克每升(mg/L)。

**B.2.2 最大蒸汽损失的石英温标**

如溶解石英的这部分热水达到取样点时已发生了沸腾闪蒸,则可选用公式(B.2)计算:

$$t = \frac{1522}{5.75 - \lg C_1} - 273.15 \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

**B.2.3 非晶质二氧化硅温标**

如热水溶解了非晶质二氧化硅,则可选用公式(B.3)计算:

$$t = \frac{731}{4.52 - \lg C_1} - 273.15 \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

上述计算公式适用温度 0 °C~250 °C。

当 pH 大于 8.5 时,水中  $SiO_2$  总量不全以  $H_4SiO_4$  的形式存在,这时:



为此要计算出  $H_4SiO_4$  形式中的  $SiO_2$  含量,按公式(B.4)和公式(B.5)计算:

$$\Sigma SiO_2 = H_4SiO_4 + H_3SiO_4^- \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

$$K_{H_4SiO_4} = \frac{[H^+][H_3SiO_4^-]}{[H_4SiO_4]} \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

平衡常数  $K$  随温度变化。 $H^+ = 10^{-pH}$ ,  $H^+$  亦受温度控制。

当温度为 20 °C 时,  $\lg K_{H_4SiO_4} = -10.01$ ; 当温度为 25 °C 时,  $\lg K_{H_4SiO_4} = -9.91$ ; 然后按公式(B.6)计算:

$$K_{\text{H}_4\text{SiO}_4} = \frac{[10^{-\text{pH}}][\sum\text{SiO}_2 - C_{\text{H}_4\text{SiO}_4}]}{[C_{\text{H}_4\text{SiO}_4}]} \dots\dots\dots(\text{B.6})$$

算出溶解的  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  形式的  $\text{SiO}_2$  含量(即  $C_{\text{H}_4\text{SiO}_4}$ )。

使用  $\text{SiO}_2$  温标公式时,考虑下列因素:

- a) 当水沸腾时,水中  $\text{SiO}_2$  随蒸汽闪蒸而浓度增大,采用公式(B.2);
- b) 取样之前可能发生  $\text{SiO}_2$  聚合和沉淀作用,为此应试算非晶质  $\text{SiO}_2$  温度,如有勘探孔时,应与采样时的实测温度进行对比,以验证是否发生了这种聚合或沉淀;
- c) 取样之后,随温度降低在样品运输和保存期间可能发生  $\text{SiO}_2$  聚合作用,当水中  $\text{SiO}_2$  浓度大于 115 mg/L 时,取样时需作稀释处理;
- d) 除石英之外,注意其他硅酸盐对水中  $\text{SiO}_2$  的控制;
- e) 当 pH 大于 8.5 时,先进行水中  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  形式的  $\text{SiO}_2$  含量的计算;
- f) 温标公式不适用于已稀释的热水;
- g) 对 pH 远小于 7 的酸性水不适用。

**B.3 钾镁地热温标**

热储温度可用公式(B.7)计算:

$$t = \frac{4\ 410}{13.95 - \lg(C_2^2/C_3)} - 273.15 \dots\dots\dots(\text{B.7})$$

式中:

$C_2$ ——水中钾的浓度,单位为毫克每升(mg/L);

$C_3$ ——水中镁的浓度,单位为毫克每升(mg/L)。

该式代表浅部热储中的热动力平衡条件,适用于中低温地热田。

**B.4 钾钠地热温标**

**B.4.1** 根据水岩平衡和热动力方程推导的按公式(B.8)计算:

$$t = \frac{1\ 390}{1.75 - \lg(C_2/C_4)} - 273.15 \dots\dots\dots(\text{B.8})$$

式中:

$C_4$ ——水中钠的浓度,单位为毫克每升(mg/L)。

**B.4.2** 在具备钠长石与钾长石平衡的条件下,可应用下列公式计算钾钠温标:

a) 温度  $t > 150\text{ }^\circ\text{C}$ ,可应用公式(B.9)或公式(B.10):

$$t = \frac{1\ 217}{\lg(C_4/C_2) + 1.48} - 273.15 \dots\dots\dots(\text{B.9})$$

$$\text{或 } t = \frac{855.6}{\lg(C_4/C_2) + 0.857\ 3} - 273.15 \dots\dots\dots(\text{B.10})$$

b) 温度  $25\text{ }^\circ\text{C} \leq t < 250\text{ }^\circ\text{C}$ 可应用公式(B.11):

$$t = \frac{933}{\lg(C_4/C_2) + 0.933} - 273.15 \dots\dots\dots(\text{B.11})$$

c) 温度  $250\text{ }^\circ\text{C} \leq t < 350\text{ }^\circ\text{C}$ 可应用公式(B.12):

$$t = \frac{1\ 319}{\lg(C_4/C_2) + 1.699} - 273.15 \dots\dots\dots(\text{B.12})$$

各式不适用于 pH 远小于 7 的酸性水、富钙的热水(如出现钙华)及发生了混合的热水。

## 附录 C (资料性)

### 地热流体分析样品的采集与保存方法

#### C.1 采集点的选定及野外测试

C.1.1 泉水优先选择在温度最高处采样,样品采集靠近主泉口、集中冒气泡处或泉的主流带、流动但又不湍急的部位。避免在静滞的水池中采集。低温喷泉或自流井的采样,使用清洁器具将主流导出一部分采集。低温热水钻孔的采样在抽水经过一段时间后(即至少相当于抽出井筒贮水体积 2 倍~3 倍的水量后)方可采集。

C.1.2 中、高温地热井最理想的是在井下定深采集分析样品。定深取样器是密封的,取样器提出地面后需冷却至环境温度后再启开,并当即测定样品的 pH 值、温度、电导率和总碱度。自喷井的采样若没有定深取样器,则使用井口汽水分离器,分别测定汽和水的流量,记录分离温度和压力,并分别采集热水和蒸汽冷凝水样品,现场测  $H_2S$ ,以取得原始地热流体的实际成分。

C.1.3 每一采样点现场测定流体温度、pH 值,描述流体的外观物理性质。泉口有大量气体冒出者,现场测定碱度或  $CO_2$  和  $HCO_3^-$  含量,条件许可时现场测定氧化还原电位(Eh 值)、电导率、 $NH_3$  与  $H_2S$  的含量。

#### C.2 不同分析项目的采样

##### C.2.1 原样流体样

原样流体样指流体样采集后不添加任何保护剂。这类流体样可采集在硬质细口磨口玻璃瓶(下称玻璃瓶)或没有添加剂的本色聚乙烯塑料瓶或桶(下称塑料桶)中,采样体积 1 500 mL~2 000 mL。可将瓶置于水面以下灌装或用塑料管或胶皮管引流至瓶中。瓶口应留出 10 mL 左右的空间,然后将瓶盖密封。测定流体中  $SiO_2$ 、B 的原样,应用塑料瓶采集,体积 200 mL。

原样流体样供测定流体中所有阴离子、绝大多数阳离子、硬度、碱度、固形物、消耗氧、pH 值及物理性质。

##### C.2.2 酸化流体样

C.2.2.1 盐酸酸化流体样操作方法如下。

- 以两个容积分别为 1 500 mL 和 500 mL 的塑料桶采集流体样后,在采样现场分别往流体样中加入 5 mL 和 3 mL(1+1)盐酸 HCl,摇匀、密封。分别供测定流体中 U、Ra 及微量元素。
- 总  $\alpha$ 、总  $\beta$  测定:用 2 500 mL~5 000 mL 塑料桶采样(视矿化度高低决定取样量),每 1 000 mL 流体样中加入(1+1)HCl 4 mL。

C.2.2.2 硝酸酸化流体样操作方法如下:用塑料桶采样 500 mL,样品中加入适量(1+1)硝酸( $HNO_3$ ),使  $pH \leq 2$  为宜,供测定金属离子及微量元素。对温度较高的地热流体,用作 Ca、Mg 分析的样品。

##### C.2.3 碱化流体样

用 500 mL 玻璃瓶,在样品中加入 2 g 固体氢氧化钠(NaOH),摇匀,使 pH 大于 11,并尽量在低温条件下保存,于 24 h 内送检,供测定酚、氰。

##### C.2.4 稀释流体样

中、高温地热井或显示点测定  $SiO_2$  的流体样,为防止高浓度  $SiO_2$  的聚合或沉淀,宜在取样现场将

流体样用无硅蒸馏水作 1:10 的稀释处理,采样体积 50 mL~100 mL,瓶口密封。

### C.2.5 浓缩萃取流体样

中、高温地热流体铝的分析样品宜野外萃取。萃取方法:取 400 mL 过滤后的流体样置入 500 mL 的梨形分液漏斗中加 5 mL、20% 浓度的盐酸羟胺( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ )溶液,使溶液中的  $\text{Fe}^{3+}$  变为  $\text{Fe}^{2+}$ ,以避免对萃取的干扰。加入 15 mL、1% 浓度的邻菲罗啉( $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ )溶液,如果样品中有  $\text{Fe}^{2+}$  则溶液变成红色(邻菲罗啉亚铁),摇匀静置 30 min。加 5 mL、1% 8-羟基喹啉( $\text{C}_9\text{H}_7\text{NO}$ ),测溶液的 pH 值,滴加 (1+1) $\text{NH}_4\text{OH}$  调整溶液的 pH 值,由酸性到碱性,并使 pH 值处于 8~8.5 之间,这对铝的氰合物最稳定。滴入的  $\text{NH}_4\text{OH}$  可先浓后稀,如滴入过量,则再滴  $\text{HCl}$  将 pH 调节好。再加 20 mL 甲基异丁基甲酮( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$ ),摇匀萃取 1 min,静置,使其充分分离后,排去下层溶液,将表层甲基异丁基甲酮溶液装入干燥小瓶密封,代表浓缩了 20 倍的铝测定样品。

### C.2.6 现场固定流体样

C.2.6.1 测定  $\text{H}_2\text{S}$ (总硫)的流体样,用 50 mL 玻璃瓶,在样品中加入 10 mL、20% 醋酸锌( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4\text{Zn}$ )溶液和 1 mL、1 mol/L  $\text{NaOH}$ ,摇匀、密封。对  $\text{H}_2\text{S}$  含量较低的地热流体可适当加大取样量,减少醋酸锌溶液加入量。

C.2.6.2 测定  $\text{Hg}$  的流体样,可用 100 mL 玻璃瓶或塑料瓶,加入体积含量 1%  $\text{HNO}_3$  和 0.01% 重铬酸钾,摇匀、密封。

C.2.6.3 测定  $\text{Fe}^{2+}$  的流体样需防止采样后氧化为  $\text{Fe}^{3+}$ ,在 250 mL 样瓶内先加入 1:1 硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 2.5 mL,硫酸铵( $\text{NH}_4$ ) $_2$  $\text{SO}_4$  0.5 g,瓶口密封,可保存 30 d。

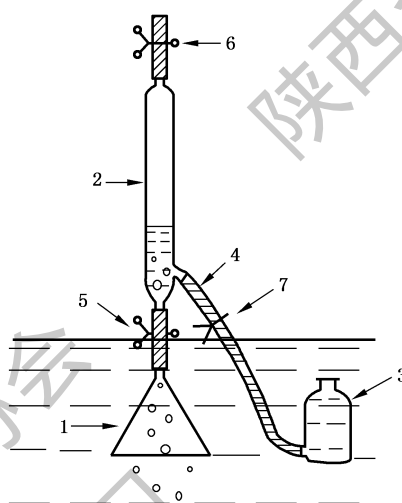
### C.2.7 测定 $\text{Rn}$ 气流体

用预先抽成真空的专用玻璃扩散器,采样时将扩散器置于流体下(至少将水平进口管置流体下),打开水平进口的弹簧夹,至流体被吸入 100 mL 刻度时,关闭弹簧夹,记入取样月、日、时、分。如果没有专用扩散器,可采用 500 mL 玻璃瓶装满(不留空隙)密封,同时记下取样的月、日、时、分,立即送实验室测定。

### C.2.8 气体样品

C.2.8.1 逸出气体试样的采取均利用排水集气法,有如下 2 种方法。

- a) 集气管取样法:取样装置如图 C.1 所示。取样前,将连在集气管上的漏斗沉入水中,直至水面升到弹簧夹 5 以上,关闭弹簧夹 5,然后将事先注入压力瓶 3 中的水注入集气管 2 中,待集气管被水充满后,关闭弹簧夹 6、7,并注意切勿使管中留有气泡,之后将压力瓶灌满水(注意勿使空气经压力瓶进入集气管中),将压力瓶垂直放在水中或低于集气管的地方,再将漏斗 1 移至逸出气体的气泡出露处,打开弹簧夹 5、7,这时气泡即沿漏斗进入集气管中。当集气管中的水被排尽后,关闭弹簧夹 5、7,再从水中取出全套装置。



标引序号说明：

- 1 —— 漏斗；
- 2 —— 集气管；
- 3 —— 压力瓶；
- 4 —— 橡胶管；
- 5、6、7 —— 弹簧夹。

图 C.1 逸出气体取样装置 a

- b) 普通玻璃瓶取样法：取样装置如图 C.2 所示。由玻璃瓶（容积 100 mL~300 mL）及漏斗组成，漏斗上配有橡皮塞，其中心部位有一孔，可插入漏斗，边缘则带有一缺口作为排水口。取样前，先在水面下使玻璃瓶被水充满，然后倒转玻璃瓶，使瓶口朝下，并检查瓶中是否留有气泡，之后将带塞漏斗在水面下插入玻璃瓶中（漏斗也不应留有气泡）。将装置移至气泡出露处，待瓶中水被排尽后，在水面下取出漏斗，同时用瓶塞塞好玻璃瓶，再将玻璃瓶自水中取出，并立即用蜡密封瓶口，将瓶倒放在木箱中运往实验室。应注意玻璃瓶中一定要留有少量水，以保证瓶中气体不致逸出或空气进入瓶中，最好是在封瓶前，使瓶中气压高于大气压力，以避免空气进入瓶中。

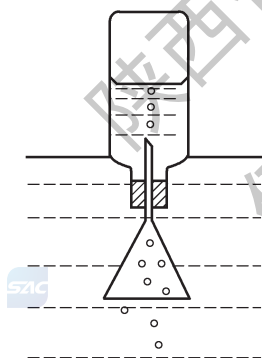
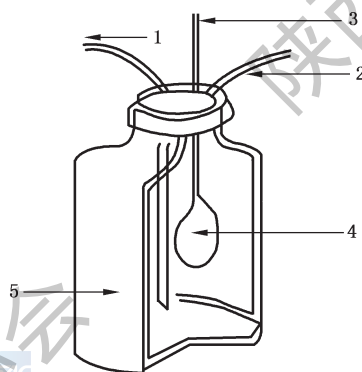


图 C.2 逸出气体取样装置 b

### C.2.8.2 地热流体中溶解气体的采集专用容器(图 C.3)。

在 500 mL 玻璃瓶的橡皮塞中有 3 根紫铜管，一根插入瓶底，一根齐于瓶塞，一根下接一个球胆。瓶塞外部管均接胶管并有螺旋夹。取样时打开橡胶管 1、2 的螺旋夹使流体由管 1 导入瓶中，空气由管 2 导出，待溢流几分钟后关闭螺旋夹，将各接口用蜡密封。尽快送实验室，对溶解气体进行分离和

测定。



标引序号说明:

- 1、2、3——真空橡胶管;
- 4——球胆;
- 5——玻璃瓶。

图 C.3 地热流体中溶解气体的采集专用容器

### C.2.9 卫生指标测定样

流体样要用经灭菌处理的 500 mL 广口磨口玻璃瓶采取,采取时应不用流体样洗瓶,严防污染。采样后瓶内应略留有一定空间,及时密封,低温保存,并及时送往卫生防疫站检验。

### C.2.10 同位素测定样

测定流体中放射性同位素  $^3\text{H}$  的样品,用 500 mL 玻璃瓶,取满流体样品,应不留空隙,密封。

测定流体中稳定同位素  $^2\text{H}$  和  $^{18}\text{O}$  的流体样,用 50 mL~100 mL 玻璃瓶或塑料瓶,取满样品,尽量在流体液面以下加盖密封,应不留空隙。

## C.3 采样容器洗涤要求

C.3.1 新启用的玻璃瓶或塑料瓶应先用 10%  $\text{HNO}_3$  溶液浸泡一昼夜后,再分别选用不同的洗涤方法进行清洗。

C.3.2 玻璃瓶采样前先用 10%  $\text{HCl}$  洗涤后再用自来水冲洗。

C.3.3 塑料瓶采样前先用 10%  $\text{HCl}$  或  $\text{HNO}_3$  洗涤,也可用  $\text{NaOH}$  或碳酸钠 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 洗涤后,再用自来水冲洗。

C.3.4 洗净的取样容器(细菌分析样瓶除外)在现场取样时应先用待取水样洗涤 2 次~3 次。

C.3.5 用于卫生指标检测(细菌分析)的样瓶,需经 160 °C 干热灭菌 2 h 或 121 °C 高压蒸汽灭菌 15 min。

## C.4 添加药品的准备

C.4.1 各种采样所需试剂  $\text{HNO}_3$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{NaOH}$  等均需采用优级纯品。

C.4.2 1% 8-羟基喹啉 ( $\text{C}_9\text{H}_7\text{NO}$ ) 溶液:称取 2 g 8-羟基喹啉,溶于 5 mL 冰醋酸中,用蒸馏水稀释至 200 mL。

C.4.3 20% 醋酸锌溶液:称取 20 g  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4\text{Zn}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  溶于 100 mL 蒸馏水中。其余百分浓度的配制方法类似。

C.4.4 1 mmol  $\text{NaOH}$  溶液:称取 4 g  $\text{NaOH}$  溶于蒸馏水中至 100 mL。

## 附录 D

(资料性)

## 地热资源储量估算方法

## D.1 计算参数的确定

**D.1.1** 地热井参数:综合钻孔地质编录和产能测试资料,取得地热井的位置、深度、揭露热储厚度、强渗透段位置、生产能力、温度、压力、化学组分等资料。

**D.1.2** 热储几何参数,包括热储面积和热储厚度。

- a) 热储面积:带状热储的面积一般按地热异常区或同一深度地热等温线所圈定的范围确定;层状热储的面积依据地热田的构造边界和同一深度的地温等值线所圈定的范围确定。如果工作任务仅涉及地热田的部分范围,应按勘查工作控制的实际面积计算。
- b) 热储厚度:应依据钻孔资料,结合地球物理勘探资料确定热储顶板深度和底板深度,依据近期开采技术水平和经济合理性确定计算的基础深度,然后计算基础深度之内的热储厚度。

**D.1.3** 热储物理性质,包括热储温度、压力、岩石的密度、比热容和热导率等。

- a) 热储温度:有条件时应通过地热井内温度剖面的测量取得热储顶板温度、底板温度和热储不同深度的温度。在资料不充分时,可通过地温梯度推测热储的温度,也可用地球化学温标计算热储温度。据此,可以取得热储不同部位的温度分布情况。
- b) 热储压力:应通过地热井的产能测试资料取得热储的压力分布情况。
- c) 岩石的密度、比热容和热导率:有条件时应通过试验、测试得到。在勘查程度较低时,可取经验值(见表 D.1)。

表 D.1 几种常见岩石的密度、比热容和热导率

岩石名称	密度/(kg/m <sup>3</sup> )	比热容/[J/(kg·K)]	热导率/[W/(m·K)]
花岗岩	2 700	794	2.721
石灰岩	2 700	920	2.010
砂岩	2 600	878	2.596
钙质砂(含水率43%)	1 670	2 215	0.712
干石英砂(中-细粒)	1 650	794	0.264
石英砂(含水率8.3%)	1 750	1 003	0.586
砂质黏土(含水率15%)	1 780	1 379	0.921
空气(常压)	1.29	1 003	0.023
冰	920	2 048	2.219
水(平均)	1 000	4 180	0.599

**D.1.4** 热流体性质:包括热流体单位质量的体积、比重、热焓、动力黏滞系数、运动黏滞系数等。

- a) 相态、单位质量的体积、比重、热焓:这些参数与地热流体所处的温度和压力有关。在地热流体的含盐量不大,且不含非凝气体时,这些参数可从表 D.2 查得或求得;否则需要适当修正。

表 D.2 饱和蒸汽表

温度 ℃	压力 bar	水的密度 kg/m <sup>3</sup>	蒸汽密度 kg/m <sup>3</sup>	水的热焓 kJ/kg	蒸汽热焓 kJ/kg
0	0.006 108	999.8	0.004 847	-0.04	2 501.6
5	0.008 718	1000.0	0.006 795	21.01	2 510.7
10	0.012 270	999.7	0.009 396	41.99	2 519.9
15	0.017 039	999.2	0.012 82	62.94	2 529.1
20	0.023 37	998.3	0.017 29	83.86	2 538.2
25	0.031 66	997.1	0.023 04	104.77	2 547.3
30	0.042 41	995.1	0.030 37	125.66	2 556.4
35	0.056 22	994.1	0.039 61	146.56	2 565.4
40	0.073 75	992.2	0.051 16	167.45	2 574.4
45	0.095 82	990.2	0.065 46	188.35	2 583.3
50	0.123 35	988.0	0.083 02	209.26	2 592.2
55	0.157 41	985.7	0.104 4	230.17	2 601.0
60	0.199 20	983.1	0.130 2	251.09	2 609.7
65	0.250 1	980.5	0.161 2	272.02	2 618.4
70	0.311 6	977.7	0.198 2	292.97	2 626.9
75	0.385 5	974.7	0.241 9	313.94	2 635.4
80	0.473 6	971.6	0.293 3	334.92	2 643.8
85	0.578 0	968.4	0.353 5	355.92	2 652.0
90	0.701 1	965.1	0.423 5	376.94	2 660.1
95	0.845 3	961.7	0.504 5	397.99	2 668.1
100	1.013 3	958.1	0.597 7	419.06	2 676.0
105	1.208 0	954.5	0.704 6	440.17	2 683.7
110	1.432 7	950.7	0.826 5	461.32	2 691.3
115	1.690 6	946.8	0.965 0	482.50	2 698.7
120	1.985 4	942.8	1.122	503.72	2 706.0
125	2.321 0	938.7	1.298	524.99	2 713.0
130	2.701 3	934.6	1.497	546.31	2 719.9
135	3.131	930.3	1.719	567.68	2 726.6
140	3.614	925.9	1.967	589.10	2 733.1
145	4.155	921.4	2.242	610.60	2 739.3
150	4.760	916.8	2.548	632.15	2 745.4
155	5.433	912.1	2.886	653.78	2 751.2
160	6.181	907.3	3.260	675.47	2 756.7

表 D.2 饱和蒸汽表 (续)

温度 ℃	压力 bar	水的密度 kg/m <sup>3</sup>	蒸汽密度 kg/m <sup>3</sup>	水的热焓 kJ/kg	蒸汽热焓 kJ/kg
165	7.008	902.3	3.671	697.25	2 762.0
170	7.920	897.3	4.123	719.12	2 767.1
175	8.924	892.2	4.618	741.07	2 771.8
180	10.027	886.9	5.160	763.12	2 776.3
185	11.233	881.5	5.752	785.26	2 780.4
190	12.551	876.0	6.397	807.52	2 784.3
195	13.987	870.4	7.100	829.88	2 787.8
200	15.549	864.7	7.864	852.37	2 790.9
205	17.243	858.8	8.694	874.99	2 793.8
210	19.077	852.8	9.593	897.74	2 796.2
215	21.060	846.7	10.57	920.63	2 798.3
220	23.198	840.4	11.62	943.67	2 799.9
225	25.501	833.9	12.76	966.89	2 801.2
230	27.976	827.3	14.00	990.26	2 802.0
235	30.632	820.6	15.33	1 013.8	2 802.3
240	33.478	813.6	16.76	1 037.6	2 802.2
245	36.523	806.5	18.31	1 061.6	2 801.6
250	39.776	799.2	19.99	1 085.8	2 800.4
255	43.246	791.7	21.79	1 110.2	2 798.7
260	46.943	783.9	23.73	1 134.9	2 796.4
265	50.877	776.0	25.83	1 159.9	2 793.5
270	55.058	767.8	28.10	1 185.2	2 789.9
275	59.496	759.3	30.55	1 210.9	2 785.5
280	64.202	750.5	33.19	1 236.8	2 780.4
285	69.186	741.5	36.06	1 263.2	2 774.5
290	74.461	732.1	39.16	1 290.0	2 767.6
295	80.037	722.4	42.53	1 317.3	2 759.8
300	85.927	712.2	46.19	1 345.0	2 751.0

注：1 bar=10<sup>5</sup> Pa。

b) 两相热流体的热焓:两相热流体,其热(焓)按公式(D.1)计算:

$$h = h_g X_g + h_l X_l \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

$h$ ——水汽混合物的热焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

- $h_g$  —— 蒸汽的热焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);
- $h_l$  —— 水的热焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);
- $X_g$  —— 蒸汽的质量分数,无量纲;
- $X_l$  —— 水的质量分数,无量纲。

c) 黏滞系数:地热流体的运动黏滞系数主要取决于温度的高低,受压力变化的影响比较小。蒸汽的运动黏滞系数远大于水的运动黏滞系数。动力黏滞系数和运动黏滞系数之间的关系见公式(D.2):

$$\mu = \eta \cdot \rho \quad \dots\dots\dots(D.2)$$

式中:

- $\mu$  —— 动力黏滞系数,单位为千克每米秒 [kg/(m·s)];
- $\eta$  —— 运动黏滞系数,单位为平方米每秒(m<sup>2</sup>/s);
- $\rho$  —— 水的密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>)。

表 D.3 中列出了压力为 1 bar、50 bar、100 bar、200 bar、300 bar 和 400 bar 时水的运动黏滞系数。

**表 D.3 压力为 1 bar-400 bar 时水(蒸汽)的运动黏滞系数**

温度/℃	运动黏滞系数/(10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)					
	1 bar	50 bar	100 bar	200 bar	300 bar	400 bar
0.01	1.79	1.78	1.76	1.73	1.71	1.68
5	1.52	1.51	1.50	1.48	0.46	1.44
10	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	0.25
15	1.14	1.13	1.13	1.12	1.11	1.10
20	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.98
25	0.89	0.89	0.89	0.88	0.88	0.87
30	0.80	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79
35	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71
40	0.66	0.66	0.66	0.65	0.65	0.65
45	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
50	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
55	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
60	0.47	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48
65	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
70	0.41	0.41	0.41	0.41	0.42	0.42
75	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
80	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
85	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
90	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
95	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
100	20.82	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
105	21.44	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29

表 D.3 压力为 1 bar~400 bar 时水（蒸汽）的运动黏滞系数（续）

温度/℃	运动黏滞系数/(10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)					
	1 bar	50 bar	100 bar	200 bar	300 bar	400 bar
110	22.07	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
115	22.71	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
120	23.36	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
125	24.02	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
130	24.69	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
135	25.37	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23
140	26.06	0.21	0.21	0.21	0.22	0.22
145	26.76	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
150	27.47	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
155	28.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20
160	28.69	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
165	29.67	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19
170	30.42	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
175	31.18	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18
180	31.95	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
185	32.74	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
190	33.53	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17
195	34.33	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
200	35.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
205	35.97	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16
210	36.81	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
215	37.65	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
220	38.50	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15
225	39.37	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15
230	40.24	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15
235	41.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
240	42.02	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
245	42.93	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14
250	43.84	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
255	44.77	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14
260	45.70	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
265	46.65	0.72	0.13	0.13	0.13	0.13
270	47.60	0.75	0.13	0.13	0.13	0.13

表 D.3 压力为 1 bar~400 bar 时水（蒸汽）的运动黏滞系数（续）

温度/°C	运动黏滞系数/(10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)					
	1 bar	50 bar	100 bar	200 bar	300 bar	400 bar
275	48.57	0.77	0.13	0.13	0.13	0.13
280	49.54	0.80	0.13	0.13	0.13	0.13
285	50.53	0.82	0.12	0.13	0.13	0.13
290	51.52	0.85	0.12	0.12	0.13	0.13
295	52.53	0.87	0.12	0.12	0.13	0.13
300	53.54	0.90	0.12	0.12	0.12	0.13

注：黑体数值为气体状态的运动黏滞系数。

D.1.5 热储渗透性和贮存流体能力的参数,包括空隙率、有效空隙率、渗透率、渗透系数、导水系数、弹性释放率、弹性释放系数(贮存系数)等。

- a) 空隙率和有效空隙率:空隙率可以通过实验室测定,通过地球物理测井数据估算。有效空隙率可以通过产能测试资料计算。
- b) 渗透率、渗透系数、导水系数:是表示热储渗透性的参数,它们之间的关系见公式(D.3)和公式(D.4):

$$k = \frac{\mu}{\rho g} K \dots\dots\dots(D.3)$$

$$T = KM \dots\dots\dots(D.4)$$

式中:

- $k$  —— 渗透率,单位为平方米(m<sup>2</sup>);
- $\mu$  —— 热流体动力黏滞系数,单位为千克每米秒 [kg/(m·s)];
- $\rho$  —— 流体的密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);
- $g$  —— 重力加速度,取 9.8 m/s<sup>2</sup>;
- $K$  —— 渗透系数,单位为米每秒(m/s);
- $T$  —— 导水系数,单位为平方米每秒(m<sup>2</sup>/s);
- $M$  —— 热储厚度,单位为米(m)。

- c) 弹性释放率、弹性释放系数:是表示热储贮存能力的参数。流体的相态不同,热储的贮存机理不同,其贮存能力存在很大的差别。贮存液态水的承压热储的弹性释放率和弹性释水系数计算方法见公式(D.5)和公式(D.6):

$$s = \rho_w g [\phi C_w + (1 - \phi) C_r] \dots\dots\dots(D.5)$$

$$S = s \cdot H \dots\dots\dots(D.6)$$

式中:

- $s$  —— 热储的弹性释放率,单位为米的负一次幂 (m<sup>-1</sup>);
- $\rho_w$  —— 热流体的密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);
- $\phi$  —— 热储空隙度,无量纲;
- $C_w$  —— 流体的压缩系数,单位为每帕(Pa<sup>-1</sup>);
- $C_r$  —— 热储岩石的压缩系数,单位为每帕(Pa<sup>-1</sup>);
- $S$  —— 热储的弹性释水系数,无量纲;

$H$  ——从热储顶板起算的承压水水头高度,单位为米(m)。

- d) 渗透系数、渗透率、导水系数、弹性释放率和弹性释水系数可通过单孔或多孔产能测试资料求得。
- e) 采用稳定流产能测试资料可以求得渗透系数、渗透率和流体传导系数。当热储可以看作是等厚、均质、各向同性的无限承压含水层,并且初始水头水平(各处压力相同)时,按公式(D.7)计算:

$$\Delta p = \frac{Qg}{2\pi KM} \ln \frac{r_1}{r_w} \dots\dots\dots (D.7)$$

式中:

$\Delta p$  ——产能测试达到稳定状态时勘探孔和观测孔之间的压力差,单位为帕(Pa);

$Q$  ——流量,单位为千克每秒(kg/s);

$g$  ——重力加速度,取  $9.8 \text{ m/s}^2$ ;

$K$  ——渗透系数,单位为米每秒(m/s);

$M$  ——热储厚度,单位为米(m);

$r_1$  ——勘探孔和观测孔之间的距离,单位为米(m);

$r_w$  ——勘探孔出水段的半径,单位为米(m)。

对于单孔产能测试,可以用影响半径的经验公式和公式(D.4)迭代求得渗透系数,然后求出渗透率、导水系数。如果试验时有一个或多个观测孔同时观测压力的变化,可以采用观测孔压力的观测资料计算这些参数。如果试验井周围有其他井正在生产或回灌,或在试验井周围存在直线的阻流或补给边界时,可采用迭加原理计算这些参数。

- f) 采用非稳定流产能测试资料可以求得热储的渗透系数、渗透率、导水系数、弹性释放率和弹性释水系数。同样,当热储可以看作是等厚、均质、各向同性的无限含水层,并且各处初始压力相同,流体的生产量可以认为不变时,可采用公式(D.8)和公式(D.9)非稳定流泰斯公式计算热储的渗透系数、渗透率、导水系数、弹性释放率和弹性释水系数:

$$\Delta p = \frac{Qg}{4\pi T} \int_{\frac{r^2 S}{4Tt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \dots\dots\dots (D.8)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \dots\dots\dots (D.9)$$

当径向距离比较小,试验延续时间比较长时, $\Delta p - \lg t$  曲线将出现直线段,这时按公式(D.10)计算:

$$\Delta p = \frac{2.30Qg}{4\pi T} \lg \frac{2.25Tt}{r_w^2 S} \dots\dots\dots (D.10)$$

式中:

$\Delta p$  ——生产井的压力降低,单位为帕(Pa);

$Q$  ——流量,单位为千克每秒(kg/s);

$g$  ——重力加速度,  $9.8 \text{ m/s}^2$ ;

$T$  ——导水系数,单位为平方米每秒( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$r$  ——勘探孔和观测孔之间的距离,单位为米(m);

$S$  ——弹性释水系数,无量纲;

$t$  ——时间,单位为秒(s);

$u$  ——参变量;

$r_w$  ——勘探孔出水段的半径,单位为米(m)。

在实际应用中可采用标准曲线法,也可采用半对数法对产能测试资料进行解译。

g) 在具有较长地热田监测资料的情况下,可以通过监测资料反求热储参数。在建立地热田的数值模型时,如果实测资料不充分,可通过模型反求参数。

**D.1.6 监测资料:**包括地热井的生产量、温度、压力、化学组分随时间变化的资料,专门监测井的温度、压力随时间的变化情况。

**D.1.7 热储的边界条件:**包括边界的位置、热力学和流体动力学特征等。可以通过地质调查、钻井地质、地球物理勘探、地球化学勘探和产能测试等资料分析热储的边界条件。

## D.2 计算方法

### D.2.1 地表热流量法(Surface heat flux method)

地表热流量法是根据地热田地表散发的热量估算地热资源量。该方法宜在勘查程度低、无法用热储法计算地热资源的情况下使用。

地热田向外散发的热量包括通过岩石传导散发到空气中的热量和通过温泉、热泉和喷气孔等散发的热量,可按公式(D.11)计算:

$$Q = pt = (p_1 + p_2)t \quad \dots\dots\dots (D.11)$$

式中:

- Q —— 一定时间段散发的热量,单位为焦(J);
- p —— 单位时间地热田散发的热量,单位为瓦(W);
- t —— 计算时间段,单位为秒(s);
- p<sub>1</sub> —— 单位时间通过岩石传导散发到空气中的热量,单位为瓦(W);
- p<sub>2</sub> —— 单位时间温泉、热泉和喷气孔等散发的热量,单位为瓦(W)。

通过岩石传导散发到空气中的热量可以依据大地热流值的测定来估算。  
温泉和热泉散发的热量可根据泉的流量和温度进行估算。

### D.2.2 热储法(Volumetric method)

#### D.2.2.1 地热资源储量

主要计算热储中储存的热量,估计热田地热资源的潜力,可按公式(D.12)~公式(D.17)计算:

$$Q = Q_r + Q_w \quad \dots\dots\dots (D.12)$$

$$Q_r = AM\rho_r c_r (1 - \varphi)(t_r - t_0) \quad \dots\dots\dots (D.13)$$

$$Q_w = Q_L c_w \rho_w (t_r - t_0) \quad \dots\dots\dots (D.14)$$

$$Q_L = Q_1 + Q_2 \quad \dots\dots\dots (D.15)$$

$$Q_1 = A\varphi M \quad \dots\dots\dots (D.16)$$

$$Q_2 = AS(h - H) \quad \dots\dots\dots (D.17)$$

式中:

- Q —— 热储中储存的热量,单位为焦(J);
- Q<sub>r</sub> —— 岩石中储存的热量,单位为焦(J);
- Q<sub>w</sub> —— 水中储存的热量,单位为焦(J);
- A —— 计算区面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);
- M —— 热储厚度,单位为米(m);
- ρ<sub>r</sub> —— 热储岩石密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);
- c<sub>r</sub> —— 热储岩石比热容,单位为焦每千克开尔文 [J/(kg·K)];
- φ —— 热储岩石的空隙度,无量纲;

- $t_r$  ——热储温度,单位为摄氏度(°C);  
 $t_0$  ——当地年平均气温,单位为摄氏度(°C);  
 $Q_t$  ——热储中储存的水量(地热流体储存量),单位为立方米(m<sup>3</sup>);  
 $c_w$  ——水的比热容,单位为焦每千克开尔文[J/(kg·K)];  
 $\rho_w$  ——地热水密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);  
 $Q_1$  ——截止到计算时刻,热储空隙中热水的容积储存量,单位为立方米(m<sup>3</sup>);  
 $Q_2$  ——地热流体的弹性储存量,单位为立方米(m<sup>3</sup>);  
 $S$  ——弹性释水系数,无量纲;  
 $h$  ——平均承压水头标高,单位为米(m);  
 $H$  ——平均热储顶面标高,单位为米(m)。

采用热储法计算地热资源应首先确定地热田的面积(或计算区范围)和计算评价的基准面深度。地热田的面积最好依据热储的温度划定。地热田温度的下限标准应根据当地的地热可能用途而定,或根据规划的利用方式来确定。在勘查程度比较低,对热储温度的分布不清楚时,可以采用浅层温度异常范围、地温梯度异常范围大致圈定地热田的范围,也可以采用地球物理勘探方法圈定地热田的范围。计算评价的下限深度应根据当地的经济状况、地热资源的开采技术条件、地热利用的经济效益等因素综合考虑。

计算评价范围确定之后,应根据热储的几何形状(顶板埋深、底板埋深和厚度)、温度、空隙度的空间变化,以及勘查程度的高低将计算评价范围划分成若干个子区,为每个子区的各项参数分别赋值,然后计算出每个子区的热储存量、地热水储存量。最后,把各子区的计算结果累加就得到了地热田(或计算区)的热储存量和地热水储存量。

#### D.2.2.2 地热资源可开采量

当资料较少,无法明确计算地热流体可开采量时,地热资源可开采量可采用回收率法进行计算,热储地热能回收率应根据热储的岩性、有效空隙率、热储温度以及开采回灌技术条件合理确定。勘查程度较低、资料较少时可取经验值。对于大型沉积盆地的新生代砂岩孔隙型热储,孔隙率大于20%,回收率可取25%;对于岩溶型裂隙热储,回收率可取15%~20%;对于中生代砂岩和花岗岩为代表的火成岩型裂隙热储,回收率可取5%~10%。采用回收率法地热资源可开采量可按公式(D.18)计算:

$$Q_k = R_E \cdot Q \quad \dots\dots\dots (D.18)$$

式中:

- $Q_k$  ——地热资源可开采量,单位为焦(J);  
 $R_E$  ——热储地热能回收率;  
 $Q$  ——地热资源储量(热储中储存的热量),单位为焦(J)。

#### D.2.3 解析法 (Analytical method)

在勘查程度比较低,可用资料比较少时,可以采用解析法计算地热井或地热田的地热流体可开采量。

当热储可以概化为均质、各向同性、等厚、各处初始压力相等的无限(或存在直线边界)的承压含水层时,可以采用非稳定流泰斯公式计算单井的开采量、水位(压力)随开采时间的变化量,从而计算出在给定的压力允许降深下地热流体的可开采量,对单井的地热流体可开采量进行评价。

地热流体可开采量和可开采热量计算公式见 DZ/T 0331—2020 中 C.3。

当地热田中有多个地热井时,可以采用叠加原理计算在给定的压力允许下降值下地热流体可开采量。

D.2.4 统计分析法(Statistical method)

具有多年动态监测资料的地热田,可采用统计分析法建立的统计模型来预测地热田在定(变)量开采条件的压力(水位)变化趋势,并确定一定降深条件下的可开采量。可采用的统计分析法包括相关分析、回归分析、时间序列分析等方法。宜采用压力(水位)降低值和开采量之间建立的相关统计模型对地热田进行预测。用于预测的模型应具有较高的相关系数,预测的时限不超过实际监测资料的时段长度。

D.2.5 数值法(Numerical method)

D.2.5.1 地热田或地热开采地区评价

描述地热水系统中水和热量均衡的基本方程可写为公式(D.19):

$$\frac{d}{dt} \iiint_V M^{(\kappa)} dV = \iint_{\Gamma} F^{(\kappa)} \vec{n} d\Gamma + \iiint_V q^{(\kappa)} dV \quad \dots\dots\dots (D.19)$$

其中  $\kappa$  表示标识变量。当  $\kappa=1$  时表示水,  $\kappa=2$  时表示空气,  $\kappa=3$  时表示热量。式中的第一项表示热储中物质/热量的变化,第二项表示通过边界流入(或流出)热储的物质/热量,第三项表示物质/热量的源汇项。

在上式中物质的变化量( $\kappa=1, 2$  时)可表示为公式(D.20):

$$M^{(\kappa)} = \phi \sum_{\beta=l,g} S_{\beta} \rho_{\beta} X_{\beta}^{(\kappa)} \quad \dots\dots\dots (D.20)$$

热量的变化量由岩石和流体两部分热量的变化组成,可表示为公式(D.21):

$$M^{(3)} = (1 - \phi) \rho_r c_r T + \phi \sum_{\beta=l,g} S_{\beta} \rho_{\beta} u_{\beta} \quad \dots\dots\dots (D.21)$$

边界上物质的流入(流出)量包括各种相态流入(流出)量的总和表示为公式(D.22):

$$F^{(\kappa)} = \sum_{\beta=l,g} F_{\beta}^{(\kappa)} \quad \dots\dots\dots (D.22)$$

其中各相态边界上的流入(流出)量表示为公式(D.23):

$$F_{\beta}^{(\kappa)} = -k \frac{k_{r\beta}}{\mu_{\beta}} \rho_{\beta} X_{\beta}^{(\kappa)} (\nabla P_{\beta} - \rho_{\beta} g) - \delta_{\beta g} D_{va} \rho_{\beta} \nabla X_{\beta}^{(\kappa)} \quad \dots\dots\dots (D.23)$$

公式(D.19)中的最后一项只与气相有关,表示因气体的扩散而引起的物质的增加或减少。

边界上热量的流入(流出)包括热量的对流和传导表示为公式(D.24):

$$F^{(3)} = -K \nabla T + \sum_{\beta=l,g}^{\kappa=1,2} h_{\beta}^{(\kappa)} F_{\beta}^{(\kappa)} \quad \dots\dots\dots (D.24)$$

式中:

- $c_r$  —— 岩石固体骨架的比热容,单位为焦每千克开尔文[J/(kg·K)];
- $D_{va}$  —— 蒸汽和空气混合物的扩散系数;
- $F^{(\kappa)}$  —— 物质或热量在计算区边界上的流入或流出量;
- $F_{\beta}^{(\kappa)}$  —— 计算量  $\kappa$  相  $\beta$  在计算区边界上的流入或流出量;
- $g$  —— 重力加速度,取 9.8 m/s<sup>2</sup>;
- $h_{\beta}^{(\kappa)}$  —— 计算量  $\kappa$  相  $\beta$  的比焓;
- $k$  —— 绝对渗透系数,单位为米每秒(m/s);
- $K$  —— 岩石和流体的综合体的热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];
- $k_{r\beta}$  —— 相  $\beta$  的相对渗透系数,无量纲;
- $M^{(\kappa)}$  —— 物质或热量在计算区内储存量的变化;

- $M^{(3)}$  —— 计算区内热储存量的变化,单位为焦(J);  
 $n$  —— 与边界的正交方向,无量纲;  
 $P_{\beta}$  —— 相  $\beta$  的压力,为相对基准面的压力和毛细压力的和,即  $P_{\beta}=P+P_{\text{cap},\beta}$ ,单位为帕(Pa);  
 $P$  —— 相对基准面的压力,单位为帕(Pa);  
 $P_{\text{cap},\beta}$  —— 相  $\beta$  的毛细压力,单位为帕(Pa);  
 $q^{(\kappa)}$  —— 物质或热量在计算区内的源汇项;  
 $S_{\beta}$  —— 流体相  $\beta$  的饱和度,无量纲;  
 $t$  —— 时间,单位为秒(s);  
 $T$  —— 温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $\mu_{\beta}$  —— 计算量  $\kappa$  相  $\beta$  的比内能,单位为焦每千克(J/kg);  
 $V$  —— 计算区;  
 $X_{\beta}^{(\kappa)}$  —— 计算量  $\kappa$  相  $\beta$  的质量分数,无量纲;  
 $\delta_{\beta g}$  —— 气相的扩散系数;  
 $\beta$  —— 热流体的相态, ( $\beta=l$  时为液态,  $\beta=g$  时为气态);  
 $\phi$  —— 孔隙度,无量纲;  
 $\Gamma$  —— 计算区边界;  
 $\mu_{\beta}$  —— 相  $\beta$  的动力黏滞系数,单位为千克每米秒[ $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ ];  
 $\rho_r$  —— 岩石固体骨架的比重,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  
 $\rho_{\beta}$  —— 计算量  $\kappa$  相  $\beta$  的比重,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

#### D.2.5.2 数值模型的资料

数值模型的求解方法主要包括有限差分法、有限单元法和边界元法等。

首先,应查明研究区的地质构造,掌握热储和盖层的岩性、空间分布,掌握地热水的补给条件、水动力特征,掌握地热田内温度的分布和变化规律,分析地热系统的热源以及热传递方式。还要收集地热产能测试、回灌试验资料,掌握热储的渗透率、空隙度、贮存系数等参数,测量热储和盖层的热导率、密度、比热容等参数。收集地热田的监测资料,包括地热田的开发历史、开采量,开采井和专门监测井的压力、温度和水化学变化情况。

#### D.2.5.3 建立数值模型

建立数值模型的基本步骤如下。

- 建立概念模型:综合分析收集的资料,对地热田的地质条件进行的概化,建立概念模型。概念模型应反映热储和盖层的分布规律、地热水的补给来源、地热系统的热源、重要的热流体和热传递通道、流体动力特征。为了满足地热资源计算评价的需要,宜概化为三维模型。
- 地质体的剖分:在概念模型的基础上,把模拟的地质体剖分为若干单元体,也称为网格剖分。网格剖分的方式要根据模型的求解方法、计算程序的要求决定,可以剖分成立方体、长方体、棱柱体等。单元体的大小视勘探程度、资料的多少而定,在集中开采区、压力变化显著处网格应相对密集,在地热田的外围和压力变化不明显处网格可以相对稀疏。
- 天然状态的模拟:对地热田未进行开发之前的压力、温度、热流体的流动状态和热传导情况进行模拟。
- 开采状态的模拟:根据地热田的监测资料,对地热田开采状态下的压力和温度进行拟合,又称为参数识别或模型校正。参数识别的方法有直接解法和间接解法两种。由于直接解法的稳定性差,可采用间接解法进行参数识别。具体做法是逐步调整模型参数,使模型的计算结果

尽可能地逼近实际监测资料。控制观测井压力的观测值与模拟计算值的拟合误差应小于拟合计算期间水位变化值的 10%；在压力变化较小时，压力拟合误差应小于 1.0 m 水柱高度。这样，最终得到一个可以用来预测地热田对未来开采反映的模型。

#### D.2.5.4 利用数值模型进行地热储量计算

经过校正的模型可认为是在当前勘探程度下可靠的模型，用以预测地热田对将来开采的反映。选择多个可能的地热田管理方案，计算各方案对地热田带来的长期反映，包括压力场和温度场的变化趋势，预测可能带来的不利影响，预测为了保持稳定开采量是否需要开凿新井以及新井的位置，预测回灌的效果和可能引起的地热田冷却。然后根据各开采方案结果的比较，提出推荐的地热田管理方案，提出地热水的可开采量和可开采的热量。

利用地热系统的数值模型还可计算地热田的地热储存量和地热流体储存量。

#### D.2.6 比拟法(Analogue method)

比拟法又称类比法，即利用已知地热田的地热资源量来推算地热地质条件相似的地热田的地热资源储量，或者用同一地热田内已知地热资源量的部分来推算其他部分的地热资源储量。

类比在地热的储藏、分布条件相似的两两者之间进行，否则类比的结果与实际情况可能会存在很大的差异。

附录 E  
(资料性)

地热常用量代号和单位名称

地热常用量代号和单位名称见表 E.1。

表 E.1 地热常用量代号和单位名称

序号	常用量		代号	原用单位		国际单位		附注
				名称	符号	名称	符号	
1	长度	长	$l(L)$	千米(公里) 米 厘米 毫米 微米	km m cm mm $\mu\text{m}$	米	m	1 km=10 <sup>3</sup> m 1 m=10 <sup>2</sup> cm 1 m=10 <sup>3</sup> mm 1 mm=10 <sup>3</sup> $\mu\text{m}$
		宽	$b$					
		高	$h$					
		厚度	$d$					
		半径	$r(R)$					
		直径	$d(D)$					
	距离	$s$						
2	面积		$A$	平方千米 平方米	km <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	平方米	m <sup>2</sup>	
3	体积 (容积)	体积 (容积)	$V$	立方米 升 毫升	m <sup>3</sup> L mL	立方米	m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> L 1 L=10 <sup>3</sup> mL
		气体体积	$V_n$	立方米	m <sup>3</sup>			
4	时间		$t(T)$	年 日(天) (小)时 分 秒	a d h min s	秒	s	
5	速度		$v, u$	千米每小时 米每秒	km/h m/s	米每秒	m/s	
6	质量 (重量)		$m$	吨 公斤(千克) 克 毫克	t kg g mg	千克	kg	1 t=10 <sup>3</sup> kg 1 kg=10 <sup>3</sup> g 1 g=10 <sup>3</sup> mg
7	密度 (容重)		$\rho$	吨每立方米 千克每立方米 克每立方厘米	t/m <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> g/cm <sup>3</sup>	千克每立方米	kg/m <sup>3</sup>	
8	流量	体积流量	$q$ $Q$	立方米每天 立方米每小时 升每秒	m <sup>3</sup> /d m <sup>3</sup> /h L/s	立方米每秒 升每秒	m <sup>3</sup> /s L/s	
		质量流量	$q_m$ $Q_m$	吨每天	t/d	千克每秒	kg/s	

表 E.1 地热常用量代号和单位名称 (续)

序号	常用量	代号	原用单位		国际单位		附注	
			名称	符号	名称	符号		
9	力 重力	$F$ $W$	吨力	tf	牛(顿)	N	1 kgf=9.806 65 N	
			千克力	kgf				
			克力	gf				
10	压强	$p$	吨力每平方米	tf/m <sup>2</sup>	帕(斯卡)	Pa	1 Pa=1 N/m <sup>2</sup>	
	正应力	$\sigma$	千克力每平方厘米	kgf/cm <sup>2</sup>			1 kgf/cm <sup>2</sup> =	
	切应力	$\tau$	大气压	atm			9.806 65×10 <sup>4</sup> Pa	
			毫米汞柱	mmHg			1 mmHg=133.322 4 Pa	
			巴	bar			1 bar=10 <sup>5</sup> Pa	
11	功	$W(A)$	千克力米	kgf·m	焦(耳) 千焦 兆焦	J kJ MJ	1 kgf·m=9.8 J	
	能量	$E(W)$	焦耳	J			1 kJ=10 <sup>3</sup> J	
	热量	$Q$	卡	cal			1 MJ=10 <sup>6</sup> J	
	电能	$W$	千瓦时	kWh			1 cal=4.186 8 J	
12	功率	$P$	瓦	W	瓦 千瓦 兆瓦	W kW MW	1 MW=10 <sup>6</sup> W	
			千瓦	kW			1 kW=10 <sup>3</sup> W	
13	温度	热力学	$T$	开氏度	开尔文 摄氏度	K °C	1 K=1 °C	
		摄氏	$t$	摄氏度			°C=5/9(°F-32)	
		华氏	$t$	华氏度			°F	
14	地温梯度	$\Delta T/\Delta h$	摄氏度每百米	°C/100 m	摄氏度每百米	°C/100 m		
15	热容	$C$	卡每度	cal/°C	焦每开尔文 焦每摄氏度	J/K J/°C	1 cal/°C=4.186 8 J/K	
16	比热容	$c$	卡每克度	cal/(g·°C)	焦每千克开尔文 焦每千克摄氏度	J/(kg·K) J/(kg·°C)	1 cal/g·°C=4 186.8 J/(kg·K)	
17	热导率	$K$	卡每厘米秒度	cal/(cm·s·°C)	瓦每米开尔文 瓦每米摄氏度	W/(m·K) W/(m·°C)	1 cal/(cm·s·°C)= 418.68 W/(m·K)	
18	热扩散率	$\alpha$	平方厘米每秒 平方米每小时	cm <sup>2</sup> /s m <sup>2</sup> /h	平方米每秒	m <sup>2</sup> /s		
19	渗透率	$k$	达西 毫达西	D mD	平方米	m <sup>2</sup>	1 D=10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup>	
20	渗透系数	$K$	米每天 米每秒	m/d m/s	米每秒	m/s		
21	导水系数	$T$	平方米每秒	m <sup>2</sup> /s	平方米每秒	m <sup>2</sup> /s		
22	贮水系数	$S$	无量纲					
23	运动黏滞系数	$\eta$	平方米每秒	m <sup>2</sup> /s	平方米每秒	m <sup>2</sup> /s		
24	动力黏滞系数	$\mu$	厘泊	cP	千克每米秒	kg/(m·s)	1 cP=10 <sup>-3</sup> N·s/m <sup>2</sup>	
25	压缩系数	$C$	平方米每千克	m <sup>2</sup> /kg	每帕	Pa <sup>-1</sup>		

附录 F  
(资料性)  
水疗热矿水水质标准

水疗热矿水水质标准见表 F.1。

表 F.1 水疗热矿水水质标准

单位为毫克每升

成分	有医疗价值浓度	矿水浓度	命名矿水浓度	矿水名称
二氧化碳	250	250	500	碳酸水
总硫化氢( $\text{H}_2\text{S HS}^-$ )	1	1	2	硫化氢水
氟	1	2	2	氟水
溴	5	5	25	溴水
碘	1	1	5	碘水
锶	10	10	10	锶水
总铁( $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$ )	10	10	10	铁水
锂	1	1	5	锂水
钡	5	5	5	钡水
偏硼酸	1.2	5	50	硼酸水
偏硅酸	25	25	35	硅酸水
氡 Bq/L	37	47.14	129.5	氡水
砷			0.7~0.98	砷水

注：本表依据 GB/T 13727—2016、GB/T 41837—2022 对理疗热矿水水质标准调整、补充。

附录 G  
(资料性)

地热水利用的节煤减排量及居室采暖面积估算表

地热利用的节煤量、减排量、节省污染治理费用及居室采暖面积分别按表 G.1~表 G.5 所列方法计算。



表 G.1 地热水开采一年所获热量与之相当的节煤量

考虑热效率折算后的热能	节煤量
$10^9 \text{ J}$	$M(\text{t/a})$
$\sum W_i$	计算式 $M = \sum W_i / 4.1868 / 7$

表 G.2 地热水开采一年相当节煤量的减排量

项目	二氧化碳(CO <sub>2</sub> )	二氧化硫(SO <sub>2</sub> )	氮氧化物(NO <sub>x</sub> )	悬浮质粉尘	煤灰渣 <sup>a</sup>
单位	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a
计算式	2.386M	1.7%M	0.6%M	0.8%M	10%M

<sup>a</sup> 煤灰渣不属于大气排放,属于固体废物排放。

表 G.3 节省污染治理费用

项目	二氧化碳 CO <sub>2</sub>	二氧化硫 SO <sub>2</sub>	氮氧化物 NO <sub>x</sub>	悬浮质粉尘	煤灰渣
单位	0.1元/kg <sup>a</sup>	1.1元/kg	2.4元/kg	0.8元/kg	运输费

<sup>a</sup> 清洁开发机制 CDM 国际碳汇市场价格略低于此价。

表 G.4 无调峰设施的地热水居室采暖面积估算表

利用温度 ( $t_1 - t_0$ )/°C	采暖面积/m <sup>2</sup>				
	1 000 m <sup>3</sup> /d	1 250 m <sup>3</sup> /d	1 500 m <sup>3</sup> /d	1 750 m <sup>3</sup> /d	2 000 m <sup>3</sup> /d
10	9 692	12 115	14 536	16 961	19 384
20	19 384	24 230	29 076	33 922	38 768
30	29 076	36 345	43 614	50 883	58 152
40	38 768	48 460	58 152	67 844	77 536
50	48 460	60 575	72 690	84 805	96 920
60	58 152	72 690	87 228	101 766	116 304
70	67 844	84 805	101 766	118 727	135 688
80	77 536	96 920	116 304	135 688	155 072

表 G.4 无调峰设施的地热水居室采暖面积估算表 (续)

利用温度 ( $t_1-t_0$ )/ $^{\circ}\text{C}$	采暖面积/ $\text{m}^2$				
	1 000 $\text{m}^3/\text{d}$	1 250 $\text{m}^3/\text{d}$	1 500 $\text{m}^3/\text{d}$	1 750 $\text{m}^3/\text{d}$	2 000 $\text{m}^3/\text{d}$
注: 计算式: $F=En/Q_t$ ; $En=48.46Q(t_1-t_0)$					
式中:					
$En$ ——热水产能,单位为瓦(W);					
$Q_t$ ——居室采暖热指标,单位为瓦每平方米( $\text{W}/\text{m}^2$ ),表中取值为 $50 \text{ W}/\text{m}^2$ ;					
$Q$ ——地热水水量,单位为立方米每天( $\text{m}^3/\text{d}$ );					
$t_1$ ——地热水采暖进水温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );					
$t_0$ ——地热水采暖排水温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ).					

表 G.5 加用调峰负荷占供热总量 30% 的地热水居室采暖面积估算表

利用温度 ( $t_1-t_0$ )/ $^{\circ}\text{C}$	采暖面积/ $\text{m}^2$				
	1 000 $\text{m}^3/\text{d}$	1 200 $\text{m}^3/\text{d}$	1 500 $\text{m}^3/\text{d}$	1 750 $\text{m}^3/\text{d}$	2 000 $\text{m}^3/\text{d}$
10	13 845	17 307	20 766	24 230	27 691
20	27 691	34 614	41 537	48 460	55 383
30	41 537	54 778	62 306	72 690	83 074
40	55 383	69 228	83 074	96 920	110 766
50	69 228	86 536	103 843	121 150	138 457
60	83 074	103 843	124 611	145 380	166 149
70	96 920	121 150	145 380	169 610	193 840
80	110 766	138 457	166 149	193 840	221 531

## 附录 H

(资料性)

## 地热资源勘查报告编写提纲及附图附表

## H.1 概述

地热资源勘查报告是地热资源勘查的阶段性或最终成果,是地热资源统计、开发利用规划与管理的主要依据,报告内容能反映地热资源勘查的主要成果,参照 H.2~H.4 编制。

## H.2 报告编写提纲

报告编写提纲包括以下内容:

- 1 前言
- 2 地热勘查工作程度及质量
- 3 区域地热地质条件
- 4 地热田(区)地热地质条件
  - 4.1 热储特征及其埋藏条件
  - 4.2 地热田(区)边界条件
  - 4.3 地热流体流场特征及动态
  - 4.4 地温场特征
  - 4.5 地热流体化学特征
  - 4.6 地热概念模型
    - 4.6.1 补径排条件研究
    - 4.6.2 热田成因分析
    - 4.6.3 概念模型
- 5 地热资源计算与评价
  - 5.1 计算参数获取
  - 5.2 热储模型
  - 5.3 地热资源储量估算
  - 5.4 地热流体可开采量计算与评价
  - 5.5 开采预测
- 6 地热资源开发利用与保护
- 7 结论

## H.3 报告主要附图

报告主要附图包括:

- a) 勘查区实际材料图;
- b) 区域地质图(对隐伏地热田编制前新生界地质图);
- c) 地热田(区)地质图(对隐伏热田编制前新生界地质图);
- d) 地热田地热资源开采条件分区图;
- e) 地热田地温分布图或一定深度内的地温等值线图;
- f) 地热流体化学图;
- g) 地热井(泉)动态曲线图;

h) 各地热井综合地质柱状图。

#### H.4 报告主要附表

地热勘查过程中取得的各项测试数据应系统整理,列表成册,与勘查报告内容有关的,应作为报告的附表,一般包括:

- a) 地热流体、岩土化学组分(含同位素)及物理性质分析成果汇总表;
- b) 岩矿鉴定成果表;
- c) 地热井试验(含回灌)成果资料汇总表;
- d) 地热井测温资料汇总表;
- e) 地热井(泉)动态监测资料汇总表;
- f) 地热流体历年开采(回灌)量统计表。

凡与报告密切相关而报告本身未作详细论述的物化探报告、各种专题研究报告等,可作为报告附件提交。

参 考 文 献

- [1] GB/T 13727—2016 天然矿泉水资源地质勘查规范
  - [2] GB/T 15218—2021 地下水资源储量分类分级
  - [3] GB/T 17766—2020 固体矿产资源储量分类
  - [4] GB/T 41837—2022 温泉服务 温泉水质要求
  - [5] DZ/T 0331—2020 地热资源评价方法及估算规程
  - [6] DZ/T 0374—2021 绿色地质勘查工作规范
  - [7] 《矿产资源工业要求参考手册》编委会. 矿产资源工业要求参考手册[M]. 北京:地质出版社, 2022.
-

陕西省地热协会  
仅供内部学习

陕西省地热协会  
仅供内部学习

陕西省

会  
部学习

陕西省地热协会  
仅供内部学习

陕西省地热协会  
仅供内部学习