



中华人民共和国国家标准

GB/T 11615—2010
代替 GB/T 11615—1989

地热资源地质勘查规范

Geologic exploration standard of geothermal resources

2010-11-10 发布

2011-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 4

5 地热资源勘查内容与要求 5

6 勘查工程控制程度要求 7

7 勘查工作质量要求 10

8 地热资源/储量计算与评价 14

9 地热流体质量评价 17

10 地热资源开发利用评价 18

11 资料整理与报告编写要求 20

附录 A (资料性附录) 地球化学温标 21

附录 B (规范性附录) 地热流体分析样品的采集与保存方法 23

附录 C (资料性附录) 地热资源/储量计算方法 27

附录 D (资料性附录) 地热常用量代号和单位名称 38

附录 E (资料性附录) 理疗热矿泉水水质标准 41

附录 F (资料性附录) 地热水利用的节煤减排量及居室采暖面积估算表 42

附录 G (规范性附录) 地热资源勘查报告编写提纲及附图附表要求 44

参考文献 46



前 言

本标准代替 GB/T 11615—1989《地热资源地质勘查规范》。

本标准与 GB/T 11615—1989 相比主要变化如下：

- 根据实际需要,将术语和定义的条款由 13 条增至 34 条;
- 将地热资源/储量分为地热流体可开采量和地热储量(热储存量)两类,地热流体可开采量又进一步分为验证的、探明的、控制的和推断的四类;
- 将地热资源勘查划分为地热资源调查、预可行性勘查、可行性勘查及开采四个阶段,并在各阶段的具体工作内容上作了相应的补充;
- 将地热资源勘查的最大深度规定在 4 000 m 以内;
- 对深部地球物理勘查方法的应用部分,增加了较为成熟的非地震的地球物理勘探方法如电磁测深及微动测深等;
- 对地热钻井孔斜、井深误差、岩屑录井、钻井冲洗液、测井、洗井、地质编录等提出了新要求;
- 将地热回灌列入了地热勘查工作的内容,规定了回灌工程部署原则、工程控制要求及回灌试验的质量要求;
- 明确地热动态监测应贯穿地热资源勘查、开采的全过程,对各勘查阶段的监测网点数量提出了要求;
- 对地热资源计算方法部分作了较大的修改并作为本标准的附录 C;
- 增加了地热资源开发利用评价,细分为地热资源开发可行性评价和开发利用环境影响评价;
- 增加了地球化学温标、地热资源评价方法等内容。

本标准的附录 B 和附录 G 为规范性附录,附录 A、附录 C、附录 D、附录 E 和附录 F 为资料性附录。

本标准由中华人民共和国国土资源部提出。

本标准由全国国土资源标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:国土资源部储量司、中国矿业联合会地热开发管理专业委员会、北京市地质工程勘察院。

本标准起草人:宾德智、刘延忠、郑克桢、陈培钧、刘久荣、陈红。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 11615—1989。

地热资源地质勘查规范

1 范围

本标准规定了地热资源(不包括通过热泵技术开采利用的浅层地热能)地质勘查工作的定义、总则、基本工作内容、勘查工程控制程度与勘查工作质量要求、地热资源/储量计算与评价、地热流体质量评价、地热资源开发利用评价及勘查资料整理与报告编写要求等。

本标准适用于地热资源地质勘查工作部署和地热资源地质勘查报告的验收、评审备案、地热资源/储量登记统计。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GB 5084—2005 农田灌溉水质标准
- GB 5749—2006 生活饮用水卫生标准
- GB 8537—1995 饮用天然矿泉水
- GB 8978—1996 污水综合排放标准
- GB 11607—1989 渔业水质标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

地热 geothermal

地球内部所储存的热量。

3.2

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。目前可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。

3.3

地热资源勘查 geothermal resources exploration

为查明某一地区的地热资源而进行的地质、地球物理、地球化学综合调查以及钻探与试验、取样测试、动态监测等地质工作。根据勘查工作程度,可分为调查、预可行性勘查、可行性勘查和开采等阶段。

3.4

地热资源评价 geothermal resources assessment

在综合分析地热资源勘查成果的基础上,运用合理方法对地热资源蕴藏量、可采量及质量进行的计算与评价。

3.5

地热流体质量 quality of geothermal fluid

地热流体的物理性质、化学成分、微生物指标及其能量品位。

3.6

地热异常区 geothermal anomalous area

又称地热区,地表放热量或大地热流值显著高于大陆地壳热流平均值的地区。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。

3.7

地热系统 geothermal system

构成相对独立的热能储存、运移、转换的系统。按地质环境和能量传递方式可划分为对流型地热系统和传导型地热系统。

3.8

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。

注:一般与地热异常区相对应,其规模可从几平方千米至数百或上千平方千米不等。理想的地热田具有热源、储热层(热储)和盖层三个要素。

3.9

地热储 geothermal reservoir

简称热储(heat reservoir),埋藏于地下、具有有效空隙和渗透性的地层、岩体或构造带,其中储存的地热流体可供开发利用。

3.9.1

层状热储 stratified 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。泛指沉积盆地型热储。

3.9.2

带状热储 zoned 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。

3.10

盖层 cap rock

覆盖在热储之上的不透水或弱透水岩层的总称。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。

3.11

热源 heat source

供给热储中岩石和地热流体热的来源,可以是现代岩浆活动形成的岩浆房,也可以是来自地壳深部的热传导或来自沟通深部热源的现代活动性断裂带的热对流。

3.12

地热增温率 geothermal gradient

也称地温梯度,地球不受大气温度影响的地层温度随深度增加的增长率。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。

3.13

地热储量 geothermal reserves

在当前经济技术可行的勘查深度内,经过勘查工作,一定程度上查明储存于热储岩石及其空隙中的地热流体所赋存的地热资源量。

3.14

可开采量 exploitable reserves

经勘查或经开采验证的在当前开采经济技术条件下能够从热储中开采出来的那部分储量,是地热储量的一部分。通常是在热田勘查、开采和监测的基础上,考虑到可持续开发,经拟合计算允许每年合理开采的地热流体量。依据勘查、开采程度不同,分为:验证的、探明的、控制的和推断的可开采量。

3.15

地热流体 geothermal fluid

包括地热水和地热蒸气,以及少量的非凝性气体,但不包括天然的碳氢化合物可燃气体。

3.16

干度 steam fraction

高温地热的两相流体中蒸气含量占水汽总流量的质量百分比。

3.17

试井 well testing

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

3.18

有效空隙率 effective porosity

地热流体贮存空间(连通性孔隙、裂隙)体积占热储总体积的比率。

3.19

渗透性 permeability

地质体可以让流体渗透、透过的能力。一般以渗透率,即压力梯度为 1 时,动力粘滞系数为 1 的液体在介质中的渗透速度来表示其能力的大小。

3.20

热导率 heat conductivity

物质传递分子运动热能的能力。沿热传导方向单位厚度物质当两壁温差为 1 °C 时,单位时间内所通过的热量。

3.21

比热 specific heat

即比热容的简称。单位质量的物质当温度升高 1 °C 时所吸收的热量或降低 1 °C 时所释放出的热量。

3.22

容积压缩系数 volumetric compressibility factor

地热流体受压缩而缩小的体积与其原体积之比率。

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

渗透联系 permeable linking

不同地区或不同热储层之间热流体的运移、沟通能力。

3.25

井产量 well production

单个地热井的热流体产率。

3.26

压(力)头 pressure head

又称承压水位和测压水头,是地热流体普遍具有的通性,作用于单位面积上的压力(P)与地热流体单位体积质量(R)的比值(P/R)。实际工作中,通常以固定点(井口或地面)为基准进行测定,水头高出基准点以+压力表示,低于基准点以深度表示。为便于比较,则以海平面为零点,进行统一换算。

3.27

静压力 static pressure

地热井在非井试条件下的闭井流体压力。

3.28

动压力 **dynamic pressure**

地热井在井试时带有压力下降的流体压力。

3.29

压力降 **pressure drawdown**

地热井在井试条件下静压力与动压力之差,相当于抽水试验的降深。

3.30

单位产量 **specific capacity**

每米压力降的热流体产量。

3.31

地热回灌 **geothermal reinjection**

为保持热储压力、充分利用能源和减少地热流体直接排放对环境的污染,对经过利用(降低了温度)的地热流体通过地热井重新注回热储,也可利用其他清洁水源进行回灌。

3.32

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,包括地热井井试、动态拟合、热储模型和回灌等。

3.33

概念模型 **conceptual model**

对地热田包括热储、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。

3.34

热储模型 **reservoir modeling**

在掌握热田机制和开采生产的全系列工程测试数据的基础上,建立的类比、统计、解析、数值法等模型,以拟合热储生产的历史和现状条件,为地热资源规划、利用、管理和保护等服务。

4 总则

4.1 本标准涉及的地热资源勘查为水热型地热资源勘查,尚不包括干热岩型、岩浆型地热资源勘查和通过热泵换热技术开采利用的浅层地热资源勘查。

4.2 地热资源勘查评价的目的是为开发与保护地热资源提供资源/储量及其所必须的地质资料,以减少开发风险、取得地热资源开发利用最大的社会效益和环境效益,并最大限度地保持资源的可持续利用。

4.3 地热资源勘查评价的重点是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;查明热储的岩性、空间分布、空隙率、渗透性、产能及其与断裂构造的密切程度;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;查明地热流体的温度、赋存状态、物理性质与化学组份,并对其利用方向做出评价;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开发利用的建议。

4.4 地热资源勘查分为地热资源调查、预可行性勘查、可行性勘查及开采四个阶段。大、中型地热资源勘查项目分阶段进行,地热地质条件简单的中、小型或单个地热井勘查项目可合并进行。

4.5 地热资源勘查工作应有效地应用航卫片图像解译、地质调查、地球物理、地球化学、地热钻井、产能测试、分析化验、动态监测等方法技术进行综合性勘查。地热钻井,尤其是深部地热钻井应在地球物理勘查工作的基础上进行。

4.6 地热勘查钻井,应按照“探采结合”的原则进行布置和施工。地热勘查孔有条件成井的,应按地热生产井钻井技术要求成井,完井后转为生产井利用;地热生产井应按地质勘查孔的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,为地热田地质研究和资源的开发与保护提供地质资料。

4.7 经过勘查的地热田或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。

对已投入规模化开采的地热田或地热集中开采区,宜每隔五年依据开采动态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。

4.8 经勘查评价的地热资源/储量,地热流体可开采量依据地质勘查可靠程度分为:验证的、探明的、控制的和推断的四级(见表1)。

表1 地热资源/储量分类简表

勘查阶段		开采	可行性勘查	预可行性勘查	调查
地热资源/ 储量分类	地热流体可开采量	验证的	探明的	控制的	推断的
	地热储量	热储存量			

5 地热资源勘查内容与要求

5.1 地热资源勘查内容

5.1.1 地质研究

5.1.1.1 研究地热田的地层、构造、岩浆(火山)活动及地热显示等特点,确定热储、盖层、控热构造、热储类型及不同类型地热田勘查工作重点。

5.1.1.2 对地热田周边及相关地区,应进行必要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。

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

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

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

5.1.2 地温场研究

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

5.1.2.2 利用地热增温率或地球化学温标估算热储温度(参见附录A),并对热田成因、控热构造和热源做出分析推断。

5.1.3 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,详细研究主要热储或近期具有开发利用价值热储的渗透性、地热流体的产量、温度、压力及其变化,为地热资源/储量计算提供依据。

5.1.4 地热流体研究

5.1.4.1 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。

5.1.4.2 测定地热流体的物理性质与化学成分、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。

5.1.4.3 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。

5.1.4.4 研究地热流体的温度、压力、产量及化学组分的动态变化。

5.2 不同勘查阶段工作要求

5.2.1 地热资源调查阶段

以分析研究区内已有的地质、航卫片图像地质解译、地球物理、地球化学、放射性调查以及地热资源勘查开发资料为主。开展调查的范围可根据需要确定。重点对地热天然露头(泉)和地热井开展野外调查,依据地热资源勘查研究程度的不同,预测调查区的地热资源量,提交地热资源调查报告或开发利用前景分析报告,确定地热资源重点勘查开发前景区,为国家或地区地热资源勘查远景规划提供依据。

5.2.2 地热资源预可行性勘查阶段

选定在有地热资源开发前景但又存在一定风险的地区进行地热资源预可行性勘查。包括下述内容:

- a) 对选定的有开发前景的地热显示区(热泉等)或隐伏地热异常区,根据地热资源勘查要求与区域地热地质条件确定合理的勘查范围;
- b) 采用地质调查、地球物理、地球化学等勘查方法,初步查明地热田及其外围的地层、构造、岩浆(火山)活动情况,地温异常范围,地热流体的天然排放量、温度、物理性质和化学成分,圈定地热资源有利开发的范围,确定进一步勘查地段;
- c) 按热田勘查类型的不同,投入少量的控制性地热钻井工程,初步查明地热田的地层结构,地热增温率,热储的埋藏深度、岩性、厚度与分布,地热流体温度、压力和化学组分,并通过井产能测试,初步了解热储的渗透性、井的热流体产率、温度等;
- d) 利用地热钻井测试资料及经验参数,采用热储法、比拟法等方法计算地热储量、地热流体可开采量,对地热资源开发利用前景做出评价,提出地热资源预可行性勘查报告,为地热资源试采及进一步勘查与开发远景规划的制定提供依据。

5.2.3 地热资源可行性勘查阶段

结合地热资源开发规划或开发工程项目要求,在地热资源预可行性勘查阶段选定的地区或开发工程所选定的地段上进行。勘查范围可以是一个地热田,也可以是划定的拟开采地区。应进行下述工作:

- a) 详细进行地温调查,地质及地球物理、地球化学勘查,基本查明勘查区的地层结构、岩浆岩分布与主要控热构造,各热储的岩性、厚度、分布、埋藏条件及其相互关系;
- b) 选择代表性地段进行地热钻探或探采结合钻井工程,查明其地层结构、热储及其盖层的地热增温率;主要热储特征(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) 进行地热群井生产性测试,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) 对地热流体动态(开采量、水头压力、水温、水质)进行长期观测研究,掌握其年内或多年动态特征;
- e) 根据多个地热钻井(孔)测试资料、年动态监测及经验参数,采用热储法、比拟法、解析法、数值法,详细计算勘查区内的地热储量、地热流体可开采量,提出地热资源勘查报告,其成果满足地热资源开采设计的需要。

5.2.4 地热资源开采阶段

对已规模化开采地热资源的地热田或地区,应结合开采中出现的问题与地热资源管理的需要,加强开采动态监测、采灌测试、热储工程与地热田水、热均衡研究,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。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、深部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,建立准确的地热地质概念模型;

- 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) 对地热流体动态(开采量、水头压力、水温、水质)进行长期观测研究,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层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,建立评价区热储渗流模型与地球化学模型;
- d) 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、采灌比、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;
- e) 建立地热资源地理管理信息系统与地热资源评价的数学模型,主要利用地热勘查、采灌试验及多年动态监测资料,采用数值法、解析法、统计分析法与热储法,计算验证地热流体可开采量、地热储量并做出评价,提出相应时段的地热资源/储量报告,其成果应满足地热资源持续开发与科学管理的需要。

5.3 不同类型地热田勘查重点

5.3.1 高温地热田

通过地质调查圈定地热异常分布范围,对区内新构造运动与岩浆活动的进行研究,开展深部地球物理、地球化学勘查,查明热源、热通道及其与热储、载热流体的关系。

5.3.2 地压型地热田

应查明热储的空间展布、封闭条件及形成机理;查明地热流体温度、压力及其伴生气体(通常有CO₂和可燃气)组分和特征,对热储资源做出综合评价。

5.3.3 主要受断裂构造控制呈带状分布的地热田

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。在地质调查的基础上,结合地球物理、地球化学勘查圈定地热异常区或地热田的边界。宜在断裂交汇部位及主要控热断裂构造的上盘并沿断裂构造延伸方向布置地热钻井查明其条件,通过沿断裂线上的群井降压试验参数评价地热田的地热流体可开采量。对于受断裂构造控制的天然温泉则以多年流量动态观测资料评价其可开采量。

5.3.4 呈层状分布的盆地型地热田

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;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;通过点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;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;主要依据采灌测试、开采动态监测资料评价地热流体可开采量。勘查工作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。着重研究各热储层岩性、厚度、分布及重要断裂构造对热储的渗透性、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 勘查工程控制程度要求

6.1 地热田勘查类型划分与热田规模、地热资源分级

6.1.1 根据我国已知地热田特征,按地热田的温度、热储形态、规模和构造的复杂程度,将地热田勘查类型划分为两类六型(见表2)。

6.1.2 地热田规模按可开采热(电)能的大小分为大、中、小三型(见表3)。

6.1.3 地热资源按温度分为高温、中温、低温三级(见表4)。

表 2 地热勘查类型

类	型	主 要 特 征
高温 地热田 (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,彼此存在成生关系,地质构造条件复杂
中低温 地热田 (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,彼此存在成生关系,地质构造条件比较复杂

表 3 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/年	热 能/MW	保证开采年限/年
大型	>50	30	>50	100
中型	10~50	30	10~50	100
小型	<10	30	<10	100

表 4 地热资源温度分级

温 度 分 级		温度(<i>t</i>)界限/℃	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、理疗、洗浴、温室
	温热水	$40 \leq t < 60$	理疗、洗浴、采暖、温室、养殖
	温水	$25 \leq t < 40$	洗浴、温室、养殖、农灌

注:表中温度是指主要储层代表性温度。

6.2 勘查工程控制程度

6.2.1 地质调查

依据地热田规模、勘查类型及勘查工作阶段的不同,选用相应比例尺的地形地质底图进行地热资源的地质调查(见表5)。

表 5 地热资源勘查控制程度

控 制 程 度		调查阶段	预可行性勘查阶段	可行性勘查阶段	开采阶段
地质调查 工作比例尺	小型	1/5 万	1/2.5 万	$\geq 1/1$ 万	$\geq 1/1$ 万
	中型	1/10 万	1 / 5 万	$\geq 1/2.5$ 万	$\geq 1/2.5$ 万
	大型	1/20 万	1 / 10 万	$\geq 1/5$ 万	$\geq 1/5$ 万
钻探孔及生产井 单孔可控制面积/ (km ² /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。

6.2.2 地球物理勘查

地热资源调查阶段以收集区域地球物理勘查资料为主；可（预可）行性勘查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，物探工作测线应垂直主要构造走向，精测剖面应通过拟定地热钻井部位，勘查深度应大于拟钻地热井的深度；开采阶段，可根据开采地热资源布井的需要，进行点上的勘查或重点地段的补充性勘查。工作量应满足相应比例尺物探精度和勘查深度的要求。

6.2.3 地球化学勘查

对勘查区的温泉和其他地热显示、已有深井，选择代表性地热流体样品作化学全分析和同位素测试；对地面泉华和钻井岩芯的水热蚀变，采集代表性岩样作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。采样密度随勘查阶段的深入应加密和增加检测项目。

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。

6.2.4 地热钻探

6.2.4.1 地热钻探工程部署原则：

- 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、温度及压力，地热井的生产能力大小为重点；
- 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 4 000 m；
- d) 地热勘查应实行“探采结合”的原则，地热地质勘查钻孔能成井开采利用的，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。

6.2.4.2 钻探工程控制要求。可参照表 5 选用。

6.2.5 地热回灌

6.2.5.1 地热回灌工程部署原则：

- a) 地热回灌宜在可行性勘查的后期或开采阶段布置。可行性勘查阶段以回灌试验为主，开采阶段以生产性回灌为主；
- b) 地热回灌适用于热储渗透性好、地热储量大、地热流体补给有限，以利用热能为主的盆地型层状热储分布区；
- c) 地热回灌采用未受污染的原水回灌，回灌不得对热储造成污染；
- d) 地热流体矿化度高、地热水头逐年下降并已具备自流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”的均衡开采模式；
- e) 实行统一开采的地热田，可行性勘查阶段应建立地热采灌结合的试验区，确定井的采灌能力、采灌强度及采（灌）井合理间距与布置方案。

6.2.5.2 回灌工程控制要求：

- a) 地热回灌井应结合地热开采井布置，视回灌试验结果、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；
- b) 回灌井与开采井应保持一定的间距，其间距应在分析地质构造、热储性质、回灌量、开采和回灌水温差等的基础上确定，应避免发生回灌水未达到增温目标而提前进入开采井；
- c) 回灌井与开采井的深度、井结构相同。宜采取同层回灌模式，以维持开采热储的压力；特殊情况下可以实行异层回灌。

7 勘查工作质量要求

7.1 航卫片解译

7.1.1 航卫片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 航卫片解译应先于地质调查工作，以航空像片解译为主，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 宜用不同时间、不同波段的航卫片影像进行综合解译。注意航卫片的质量，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 宜用大比例尺航片。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航卫片解译和区域地质调查资料的基础上进行，其主要任务是：

- a) 实地验证航卫片解译的疑难点；
- 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。

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 地热地质调查精度按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，观测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 地球化学调查

7.3.1 地热资源勘查各阶段宜进行地球化学调查，采用多种地球化学调查方法，包括地热流体特有组分(F、SiO₂、B、H₂S等)调查分析、氦气测量等，确定地热异常分布范围。

7.3.2 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、要求遵照本规范附录B。

7.3.3 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。

7.3.4 计算地热流体中Na/K、Cl/B、Cl/F、Cl/SiO₂等组分的重量克分子比率，并进行水岩平衡计算，分析地热流体中矿物质的来源及其形成的条件。

7.3.5 对地表岩石和地热钻井岩芯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。

7.3.6 地球化学调查图件比例尺与地质调查比例尺一致。

7.4 地球物理勘查

7.4.1 地球物理勘查宜在地热资源预可行性勘查和可行性勘查阶段进行，勘查范围应包括相关的构造单元并结合地热钻井井位的确定进行。

7.4.2 地球物理勘查初步查明以下地热地质问题：

- a) 圈定地热异常范围、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、热储层的埋藏深度和地热流体的可能富集(区)带。

7.4.3 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)及微动测深等(见表6)。

表6 不同类型地热田地球物理勘查方法

勘查阶段		地热资源调查	预可行性勘查	可行性勘查
热田 勘查 类型	层状热储	收集区域航卫片(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
	带状热储		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	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、氦气测量, 人工地震剖面测量

7.4.4 利用地温测量圈定地热异常区;利用重力法确定勘查区基底起伏及断裂构造的空间展布;利用磁法确定岩浆岩体的分布及蚀变带位置;利用电磁测深(或电测深)及微动测深确定热储深度与范围;利用可控源音频大地电磁测深确定断裂构造和热异常;利用土壤汞、氦气测量确定浅埋藏的活动断裂构造;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。

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

7.4.6 地球物理勘查资料解释推断应遵循“从已知到未知、从定性到定量、综合解译与反演解译”的原则,采用计算机技术提高地质解释质量。

7.5 地热钻探

7.5.1 地热钻探孔设计、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 地热田内存在多层热储时,应分别查明各热储层的温度、地热流体压力、产能及其物理化学性质。对拟投入开发利用的地热钻井,应对井的表层管和技术管进行严格固井,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,以保持套管稳定和严格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,固井水泥填入高度可小于技术套管长度,但不得小于 500 m,并需在其顶部再压入水泥,其垂向厚度不少于 100 m。

7.5.3 除专门设计的定向井外,地热钻井应保持垂直,相应深度的井斜控制为:深度 300 m 内(开采井泵室段)不大于 1°,1 000 m 内不大于 3°,2 000 m 内不大于 7°,2 000 m 以上终孔不大于 10°;井深误差不得大于 1/1 000。

7.5.4 地热地质钻井口径应满足取样、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;观测井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,地热钻井一般采取无心钻进,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(2~5)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芯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资料标准剖面。

7.5.6 地热钻井过程中应合理使用冲洗液,盖层可根据地层情况采用不同密度、粘度、失水率的泥浆作

为冲洗液,钻遇热储层后宜采用清水或无固相稀泥浆作为冲洗液。考虑热储层的压力条件,尽量采用近平衡钻进,以防堵塞和污染热储层。

7.5.7 地热钻井在下管前和完钻后,应进行地球物理测井,不得漏测井段。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;钻遇热储层顶、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 地热钻井的地质观测与编录:

- a) 采集岩屑或岩芯样品,应仔细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样品;
- b) 在钻进的目的层段,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) 应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)的地热井,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,以确保流体产量、温度、压力、水位监测的需要。

7.6 地热井产能测试

7.6.1 地热井完井产能测试

地热井完井后应进行产能测试,测试前应做好洗井工作。洗井应依据热储渗透条件及埋深、孔内情况,采用适宜的机械或化学方法清除孔内及热储层段井壁的泥浆、岩屑、岩粉等堵塞物,达到流体中悬浮物含量小于 1/20 000(质量比),流体产量与压力下降保持相对稳定(前后比较变化小于 10%)。

7.6.2 地热井产能测试

包括降压试验、放喷试验和回灌试验等,各类地热勘探孔与开采(回灌)井都应进行测试,通过测试取得地热流体压力、产量、温度、采灌量比及热储层的渗透性等参数。

7.6.3 低温地热井降压试验

依据勘查的需要,分为单井、多井和群井降压试验。

7.6.3.1 单井试验:宜做三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、有效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 多井试验:指带有一个或多个观测孔的主孔降压试验,在地热田可行性勘查阶段中采用,宜做(1~2)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 群井试验:指在同一热储内,在两个或两个以上地热井中同时进行的降压试验,在地热田可行性勘查阶段或开采阶段中采用,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 中、高温地热井放喷试验

分为单井放喷试验和群井放喷试验。

7.6.4.1 单井放喷试验:可先用端压法测算单井的热潜力。准确测定则应在井口进行汽、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 群井放喷试验:在多个生产井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,了解各生产井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 地热回灌试验在地热田可行性勘查及开采阶段中采用。试验应准确测定回灌井的回灌量、压力随时间的变化、回灌影响范围及影响区内热储温度、地热流体温度、压力、产量和化学组分变化等,为确定合理回灌方案提供依据。

7.6.5.2 回灌试验应布设一定数量的观测井(选择相邻地热井),试验前实测回灌井和观测井的井温及地热流体的温度、压力及化学组分;试验期间(包括回灌期间及停灌后)应定期监测其变化并分析这些变化与灌(采)量变化的关系,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;停灌后仍应定期监测回灌井,观测井压力、地温的变化,以及相邻开采井地热流体的温度、压力及化学组分的变化,直至相对稳定。

7.6.5.3 回灌试验分为同井分层回灌试验、对井回灌试验、群井生产性回灌试验:

- a) 同井分层回灌试验:在同一地热井穿越有两个以上热储且水质条件相同或相近的条件下采用,主要热储用于开采,次要热储用于回灌;
- b) 对井回灌试验:一个地热井开采,另一个地热井进行回灌的试验。开采井与回灌井距离宜大于2倍的开采影响半径;
- c) 群井生产性回灌试验:在地热田内可选择适宜的回灌场地进行多井集中回灌,或为适应原有采(灌)井布局的需要,在地热田不同部位进行分散回灌。回灌量与地热田的开采量保持一定比例。

7.6.5.4 地热回灌试验宜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),以评价采暖区温度场的年际变化及其对维持采暖区持续开采的影响。

7.6.5.5 回灌水源应为地热供暖或温室供热降温后未受污染的地热原水,防止回灌对热储造成污染。

7.6.5.6 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;定期采取回扬或采(灌)井功能对换措施,以利清除堵塞物、恢复其回灌能力。

7.6.5.7 在回灌试验期间可进行示踪试验,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。

7.7 地热流体与岩土实验分析

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

- a) 地热流体全分析:各勘查阶段的全部地热井和代表性泉点均应采取;
- b) 气体分析:凡有气体逸出的地热井(泉)均应采取;中高温地热井应采用井下压力采样器取样;
- c) 微量元素、放射性元素(U、Ra、Rn)、毒性成分的分析:按每个储层采样,预可行性勘查阶段各取(1~2)个,可行性勘查阶段各取(3~5)个,开采阶段各取(5~7)个;
- d) 稳定同位素:可行性勘查阶段可取(1~2)个,开采阶段可取(2~3)个;
- e) 放射性同位素:可行性勘查阶段每层热储各取(3~5)个,开采阶段每层热储各取(5~7)个;
- f) 岩土分析样:采集典型热储和盖层岩样及包含水热蚀变的岩土样品。

7.7.2 地热流体化学成分全分析项目包括:主要阴离子(HCO_3^{-1} 、 Cl^{-1} 、 SO_4^{-2} 、 CO_3^{-2})、阳离子(K^{+1} 、 Na^{+1} 、 Ca^{+2} 、 Mg^{+2})、微量元素和特殊组分(F、Br、I、 SiO_2 、B、 H_2S 、Al、Pb、Cs、Fe、Mn、Li、Sr、Cu、Zn等)、放射性元素(U、Ra、Rn)及总 α 、总 β 放射性、pH值、溶解性总固体、硬度、耗氧量等。对高温热田应增加Hg、As、Sb、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,并根据不同用途增加相关分析项目。

7.7.3 同位素分析:一般测定稳定同位素D(H^2 、 ^{18}O 、 ^{34}S)和放射性同位素T(H^3 、 ^{14}C)。

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

7.7.5 岩、土分析鉴定:依据地热田的实际情况有选择的进行。

- a) 热储及代表性盖层的物理、水理性质测定。项目包括:密度、比热、热导率、渗透率、空隙率等;
- b) 地层地质信息测定。包括:同位素年龄、古地磁、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,计算产热量及形成区域热异常的背景。

7.8 动态监测

7.8.1 动态监测应贯穿地热资源勘查、开采的全过程。拟投入勘查开采的地热田,应及早建立地热流体的动态监测系统,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观测网的基础上,根据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 监测点的布设应能控制地热田各热储层的自然动态规律及开采引起的动态变化。预可行性勘查阶段,应选择(1~2)个代表性地热井(泉)进行监测,了解地热田的天然动态规律;可行性勘查阶段,应对地热田的各热储层分别设立(2~3)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(3~5)点/100 km²的比例布置),控制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、温度及化学成分。监测频率可根据不同动态类型而定。地热流体压力、温度监测宜每月(2~3)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;地热流体化学成分监测,宜每年2次。

7.8.4 各动态监测井应准确测定井口标高及井位坐标,各项动态监测资料应及时进行分析,编制年鉴或存入数据库。

7.8.5 对已投入开采的地热田,应按年度对热田的动态监测成果进行系统分析,着重分析热田开采量、回灌量与地热田热储压力的变化,提出年度动态监测报告,为热田管理与开采总量调整提供依据。

8 地热资源/储量计算与评价

8.1 计算原则

8.1.1 地热资源/储量的计算,应分别计算热储中的地热储量、储存的地热流体量、地热流体可开采量及其可利用的热能量。地热流体可开采量还应依据勘查程度的差别,分别确定为验证的、探明的、控制的和推断的级别。

8.1.2 地热资源/储量计算,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。

8.1.3 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。在开采阶段,模型的更新和计算周期宜小于5年。

8.1.4 勘查开发程度高、规模大、已实行采/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,并据此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。

8.1.5 对实行边采边探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储量。

8.2 计算参数要求

地热资源/储量计算参数应尽可能通过试验和测试取得。对难于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。

8.2.1 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、流体化学成分等。

- 8.2.2 热储几何参数:热储面积、顶板深度、底板深度和热储厚度等。
- 8.2.3 热储物理性质:热储温度、水头压力、岩石的密度、比热、热导率和压缩系数等。
- 8.2.4 热流体性质:热流体单位质量的体积、密度、热焓、动力粘滞系数、运动粘滞系数和压缩系数等。
- 8.2.5 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。
- 8.2.6 监测资料:地热井的生产量、温度、水头压力、化学成分随时间的变化。
- 8.2.7 热储的边界条件:边界的位置、热力学和流体动力学特征等。

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,可通过模型反求热储的参数。

8.3 计算方法要求

- 8.3.1 地热资源/储量计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、内外部边界条件、地热流体的补给、运移等特征。
- 8.3.2 地热资源/储量计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的不同进行选择。预可行性勘查阶段可采用地表热流量法、热储法、比拟法;可行性勘查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;开采阶段应依据勘查、开发及监测资料,采用统计分析法、热储法或数值法等计算。
- 8.3.3 一个地热田或地热勘查区的地热资源/储量计算,应采用两种以上的方法计算、比较和验证。
- 8.3.4 对单个地热开采井,应依据井产能测试资料按井流量方程计算单井的稳定产量,或以抽水试验资料采用内插法确定。计算使用的压力降低值一般不大于 0.3 MPa,最大不大于 0.5 MPa,年压力下降速率不大于 0.02 MPa。
- 8.3.5 对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,可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。
- 8.3.6 对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。
- 8.3.7 对单独开采的地热天然露头(泉),应依据泉流量实测和动态观测资料,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。

地热资源/储量具体计算方法要求,参见附录 C、附录 D。

8.4 地热资源/储量可靠性评价

8.4.1 地热资源/储量可靠性评价

地热资源/储量可靠性评价分为:地热单井评价和地热田或地热开采地区评价。

8.4.2 地热单井评价

8.4.2.1 按 8.3.4 计算确定单井的稳定产量。

8.4.2.2 依据确定的单井稳定产量或行政管理部门批准的单井允许开采量,按相关公式估算其开采权益保护范围。对盆地型地热田,可按单井允许开采量开采 100 年、消耗 15% 左右地热储量,采用式(1)估算地热井开采对热储的影响半径(R),视其为单井开采权益保护半径。

$$R = \sqrt{\frac{36\ 500 Q f}{0.15 H \pi}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

Q ——地热井产量,单位为立方米每日(m^3/d);

f ——水比热/热储岩石比热的比值,介于 3~5 之间;

H ——热储层厚度,单位为米(m);

R ——地热井开采 100 年排出热量对热储的影响半径,单位为米(m)。

对有一定补给的地热田,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,适当增大一定的距离,确定为其开采的合理井距及其权益保护范围。

对于已进行全地热田可开采量评价的地热田或开采区,则可按行政管理部门认可的单井开采量占全热田或开采区可开采量的比例确定其开采权益保护范围及其应尽的义务。

8.4.3 地热田或地热开采地区评价

8.4.3.1 依据地热田的地热地质条件、勘查开发利用程度、地热动态,确定地热储量及不同勘查程度地热流体可开采量(见表 7)。

表 7 地热资源/储量查明程度

类 别		验证的	探明的	控制的	推断的
单 泉		多年动态资料	年动态资料	调查实测资料	文献资料
单 井		多年动态预测值	产能测试内插值	实际产能测试	试验资料外推
地 热 田	钻井控制程度	满足开采阶段要求	满足可行性 阶段要求	满足预可行性 阶段要求	其他目的勘查孔
	开采程度	全面开采	多井开采	个别井开采	自然排泄
	动态监测	5 年以上	不少于 1 年	短期监测或偶测值	偶测值
	计算参数依据	勘查测试、多年 开采与多年动态	多井勘查测试及 经验值	个别井勘查、 物探推测和经验值	理论推断和经验值
	计算方法	数值法、 统计分析法等	解析法、 比拟法等、	热储法、比拟法、 热排量统计法等	热储法及 理论推断

8.4.3.2 依据地热流体可开采量所采出的热量,按(2)式计算地热田的产能(热能或电能)。

$$W_t = 4.1868Q(t - t_0) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

W_t ——热功率,单位为千瓦(kW);

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(℃);

t_0 ——当地年平均气温,单位为摄氏度(℃);

4.1868——单位换算系数。

地热流体年开采累计可利用的热能按(3)式估算。

$$\sum W_t = 86.4DW_t/K \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\sum W_t$ ——开采一年可利用的热能,单位为兆焦(MJ);

D ——全年开采日数(按 24 h 换算的总日数),单位为天(d);

W_t ——式(2)计算得出的热功率值,单位为千瓦(kW);

86.4——单位换算系数;

K ——热效比(按燃煤锅炉的热效率 0.6 计算)。

8.4.3.3 计算地热流体年(或 100 年)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密度,估计地热资源的开发潜力并比较计算结果的一致性。

8.4.3.4 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、流体化学成分等的变化趋势。

9 地热流体质量评价

9.1 一般要求

地热流体质量评价应与地热资源/储量计算和评价同时进行,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。

地热流体质量评价应依据不同用途按有关的国家标准或行业标准进行综合评价。

地热流体质量评价应在井(泉)试验现场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、化学成分、微生物含量等。

9.2 地热流体不同用途评价

9.2.1 理疗热矿水评价:地热流体通常含有某些特有的矿物质(化学)成分,可作为理疗热矿水开发利用,可参考附录 E 对其属于何种类型的理疗热矿水做出评价。

9.2.2 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,可依据 GB 8537—1995 饮用天然矿泉水标准进行评价。

9.2.3 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—2006 做出评价。

9.2.4 农业灌溉用水评价:低温地热流体(水)在用于采暖供热等目的后排放的废弃水,一般可用于农田灌溉,遵照 GB 5084—2005 对其是否适于农田灌溉做出评价。

9.2.5 渔业用水评价:低温地热水用于水产养殖的,遵照 GB 11607—1989 对其是否符合水产养殖做出评价。

9.3 地热流体中 useful 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($>20\text{ mg/L}$)、溴($>50\text{ mg/L}$)、铯($>80\text{ mg/L}$)、锂($>25\text{ mg/L}$)、铷($>200\text{ mg/L}$)、锆($>5\text{ mg/L}$)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《矿产工业要求参考手册》予以评价。

9.4 地热流体腐蚀性评价

9.4.1 对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,对其腐性做出评价。

9.4.2 可参照工业上用腐蚀系数来衡量地热流体(水)的腐蚀性:

若腐蚀系数 $K_k > 0$,称为腐蚀性水;

腐蚀系数 $K_k < 0$,并且 $K_k + 0.050\ 3\text{Ca}^{2+} > 0$,称为半腐蚀性水;

腐蚀系数 $K_k < 0$,并且 $K_k + 0.050\ 3\text{Ca}^{2+} < 0$,称为非腐蚀性水;

腐蚀性系数的计算见(4)式和(5)式:

对酸性水 $K_k = 1.008(r\text{H}^+ + r\text{Al}^{3+} + r\text{Fe}^{2+} + r\text{Mg}^{2+} - r\text{HCO}_3^- - r\text{CO}_3^{2-}) \dots\dots\dots(4)$

对碱性水 $K_k = 1.008(r\text{Mg}^{2+} - r\text{HCO}_3^-) \dots\dots\dots(5)$

式中:

r ——离子含量的每升毫克当量(毫摩尔)数。

9.5 地热流体结垢评价

9.5.1 对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。

9.5.2 可参照工业上用锅垢总量 $H_0(\text{mg/L})$ 来衡量地热流体的结垢性:

若锅垢总量 $H_0 < 125$,称为锅垢很少的地热流体;

锅垢总量 $H_0 = 125 \sim 250$,称为锅垢少的地热流体;

锅垢总量 $H_0 = 250 \sim 500$,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。

锅垢总量的计算:

$$H_0 = S + C + 36r\text{Fe}^{2+} + 17r\text{Al}^{3+} + 20r\text{Mg}^{2+} + 59r\text{Ca}^{2+} \dots\dots\dots (6)$$

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 $C = \text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$,单位为毫克每升(mg/L);

r——离子含量的每升毫克当量数。

9.5.3 碳酸钙结垢趋势判断

9.5.3.1 对氯离子含量高(超过 25%摩尔当量)的地热流体,可采用拉申指数(LI)判断碳酸钙的结垢趋势和腐蚀性程度。拉申指数(LI)按式(7)计算:

$$\text{LI} = \frac{\text{CL} + \text{SO}_4}{\text{ALK}} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

CL——氯化物或卤化物浓度;

SO₄——硫酸盐浓度;

ALK——总碱度。

三项均以等当量的 CaCO₃,单位为毫克每升(mg/L)表示;

当 LI > 0.5, 不结垢, 有腐蚀性;

LI < 0.5, 可能结垢, 没有腐蚀性;

0.5 < LI < 3.0 有轻腐蚀性;

3.0 < LI < 10.0 有强腐蚀性。

9.5.3.2 当地热流体中氯离子含量较低(<25%摩尔当量)时,可根据雷兹诺指数(RI)定性估计地热流体碳酸钙的结垢趋势。雷兹诺指数(RI)按式(8)和式(9)计算:

$$\text{RI} = 2\text{pH}_s - \text{pH}_a \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{pH}_s = -\lg[\text{Ca}^{2+}] - \lg[\text{ALK}] + \text{Ke} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

RI——雷兹诺指数;

pH_s——计算出的 pH 值;

pH_a——地热流体实测的 pH 值;

[Ca²⁺]——地热流体中钙离子的摩尔浓度;

[ALK]——总碱度,即重碳酸根 HCO₃⁻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 ℃取低值,低于 50 ℃取高值);

当 RI < 4.0, 结垢非常严重;

RI = 4.0~5.0, 结垢严重;

RI = 5.0~6.0, 结垢中等;

RI = 6.0~7.0, 结垢轻微;

RI > 7.0, 不结垢。

10 地热资源开发利用评价

10.1 地热资源开发可行性评价

10.1.1 考虑当前地热资源开采技术的可能及经济的合理性对其开发的可行性做出评价。

10.1.2 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:

最经济的,成井深度一般小于 1 000 m;

经济的,成井深度一般 1 000 m~3 000 m;

有经济风险的,成井深度大于 3 000 m。

10.1.3 依据地热流体温度,评价可能的利用范围(参见表 4)。

10.1.4 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:

适宜开采区:地热井地热流体单位产量大于 $50 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$;

较适宜开采区:地热井地热流体单位产量 $50 \sim 5 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$;

不适宜开采区:地热井地热流体单位产量小于 $5 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$ 。

10.1.5 依据地热流体化学组分的含量,确定可作为矿泉开发的利用方向和方式(见表 8)。

10.1.6 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。中、低温地热资源用于采暖、供生活热水、温泉洗浴、理疗、农业温室、水产养殖等的规模进行估计(见表 9 和参照附录 F)。

10.2 地热资源开发利用环境影响评价

10.2.1 地热利用的节能和减排效果估算可参照附录 F。

表 8 不同质地热流体的利用方向、方式与排放要求

溶解性总固体含量/ (mg/L)	利用方向		利用方式		排放要求
	达到生活饮用水或 饮用矿泉水标准	达到理疗矿水 水质标准	理疗洗浴	其 他	
<1 000	饮用及生产矿泉水	理疗洗浴、采暖、农业等	直接利用	直接利用	医用处理后排放,其 他回灌
1 000~3 000	专用矿泉水	理疗洗浴、采暖等	直接利用	间接利用	直接利用处理后排 放,间接利用回灌
3 000~10 000		理疗洗浴、采暖等	直接利用	间接利用	
>10 000		理疗洗浴、采暖等	直接利用	间接利用	

注:本表参考北京、福州等地的地热开发利用现状统计资料确定。

表 9 地热供暖、供热、理疗、洗浴等耗水(热)量参考标准

项 目	供暖	供生活热水	温泉洗浴	理疗	农业温室	水产养殖
单 位	W/m^2	$\text{m}^3/(\text{年} \cdot \text{人})$	$\text{m}^3/(\text{人} \cdot \text{次})$	$\text{m}^3/(\text{床位} \cdot \text{年})$	W/m^2	$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$
标 准	50	15~20	0.3~0.5	100	80	5~7

10.2.2 地热流体排放对环境影响评价:

- 高温地热流体中通常含有 CO_2 、 H_2S 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;
- 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,应遵循 GB 8978—1996 评价其排放对环境的影响。

10.2.3 地面沉降评价:

- 对于新生界松散沉积层及半成岩热储层,应对开采地热流体可能产生的地面沉降做出评价,针对可能出现的问题,提出相应的防治措施建议;
- 上覆松散层厚度小的岩溶热储或基岩热储层,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)做出评价,针对问题提出相应的防治措施建议。

10.2.4 其他地质环境影响评价:

- 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,应做出保护性评价,保护代表性的地热自然景观;
- 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) 浅层地下水源保护性评价。对于与浅层含水层有较密切水力联系的地区开采地热流体,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源保护对策。

11 资料整理与报告编写要求

11.1 资料整理要求

11.1.1 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、试井、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。

11.1.2 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。

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

11.2 报告编写要求

11.2.1 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。

11.2.2 地热资源勘查报告依据实际需要可分为:单井地热勘查报告、地热田(区)地热资源勘查评价报告。

11.2.3 单井地热资源勘查报告:指为单个地热井开发单位提供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;经济与环境影响评价、开采保护区论证;结论与开发利用建议等。

11.2.4 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:预可行性勘查报告、可行性勘查报告和地热资源勘查报告等,报告编写提纲及附图、附表具体要求见附录 G。

附录 A

(资料性附录)

地球化学温标

对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。

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。

选用各种化学成分、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实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。

A.1 二氧化硅地热温标

A.1.1 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,这部份热水在其达到取样点(泉口或井口)时没有沸腾,可选用式(A.1)计算:

$$t = \frac{1\,309}{5.19 - \lg C_1} - 273.15 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

A.1.2 最大蒸汽损失的石英温标

如溶解石英的这部份热水达到取样点时已发生了沸腾闪蒸,则可选用式(A.2)计算:

$$t = \frac{1\,522}{5.75 - \lg C_1} - 273.15 \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

A.1.3 非晶质二氧化硅温标

如果热水溶解了非晶质二氧化硅,则可选用式(A.3)计算:

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

上述计算公式适用温度 0~250 °C。

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)。

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。

$$\sum SiO_2 = H_4SiO_4 + H_3SiO_4^-$$

$$K_{H_4SiO_4} = \frac{[H^+][H_3SiO_4^-]}{[H_4SiO_4]}$$

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, $\lg K_{H_4SiO_4} = -9.91$;

然后根据计算式:

$$K_{H_4SiO_4} = \frac{[10^{-pH}][(\sum SiO_2 - C_{H_4SiO_4})]}{[C_{H_4SiO_4}]}$$

算出溶解的 H_4SiO_4 形式的 SiO_2 含量(即 $C_{H_4SiO_4}$)。

在使用 SiO_2 温标公式时,应考虑下列因素:

a) 当水沸腾时,水中 SiO_2 随蒸汽闪蒸而浓度增大、应采用式(A.2);

- b) 取样之前可能发生 SiO_2 聚合和沉淀作用,为此应试算非晶质 SiO_2 温度,如有勘探钻孔时,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 SiO_2 聚合作用,当水中 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,应注意其它硅酸盐对水中 SiO_2 的控制;
- e) 当 pH 大于 8.5 时,应先进行水中 H_4SiO_4 形式的 SiO_2 含量的计算;
- f) 温标公式不适用于已受稀释的热水;
- g) 对 pH 远小于 7 的酸性水不适用。

A.2 钾镁地热温标



热储温度可用式(A.4)计算:

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

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)。

该式代表不太深处热储层中的热动力平衡条件,适用于中低温地热田。

A.3 钾钠地热温标

A.3.1 根据水岩平衡和热动力方程推导的计算公式:

$$t = \frac{1\,390}{1.75 - \lg(C_2/C_4)} - 273.15 \quad \dots\dots\dots(\text{A.5})$$

式中:

C_4 ——水中钠的浓度,单位为毫克每升(mg/L)。

A.3.2 在具备钠长石与钾长石平衡的条件下,可应用下列诸式:

温度 $t > 150\text{ }^\circ\text{C}$,可应用公式(A.6)或公式(A.7):

$$t = \frac{1\,217}{\lg(C_4/C_2) + 1.48} - 273.15 \quad \dots\dots\dots(\text{A.6})$$

$$\text{或 } t = \frac{885.6}{\lg(C_4/C_2) + 0.857\,3} - 273.15 \quad \dots\dots\dots(\text{A.7})$$

温度 $25 < t < 250\text{ }^\circ\text{C}$ 可应用公式(A.8):

$$t = \frac{933}{\lg(C_4/C_2) + 0.933} - 273.15 \quad \dots\dots\dots(\text{A.8})$$

温度 $250 < t < 350\text{ }^\circ\text{C}$ 可应用公式(A.9):

$$t = \frac{1\,319}{\lg(C_4/C_2) + 1.699} - 273.15 \quad \dots\dots\dots(\text{A.9})$$

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 B (规范性附录)

地热流体分析样品的采集与保存方法

正确的样品采集与保存方法是保障地热流体分析质量的必要前提。针对地热流体不同于一般地下水的特殊性质和特殊要求,需遵循本采集与保存方法。

B.1 采集点的选定及野外测试

泉水应优先选择在温度最高处采样,样品采集应靠近主泉口、集中冒气泡处或泉的主流带、流动但又不湍急的部位。应避免在静滞的水池中采集。低温喷泉或自流井的采样,应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应在抽水经过一段时间后(即至少相当于抽出井筒贮水体积 2~3 倍的水量后)方可采集。

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,则应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。

每一采样点都应现场测定流体温度、pH 值,描述流体的外观物理性质。泉口有大量气体冒出者,应现场测定碱度或 CO_2 和 HCO_3^- 含量,条件许可时还应现场测定 Eh 值、电导率、 NH_4^+ 与 H_2S 的含量。

B.2 不同分析项目的采样要求

B.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。

B.2.2 酸化流体样

B.2.2.1 盐酸酸化流体样:

- a) 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) HCl,摇匀、密封。分别供测定流体中 U、Ra 及微量元素;
- b) 总 α 、总 β 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。

B.2.2.2 硝酸酸化流体样:

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。

B.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 $pH > 11$,并尽量在低温条件下保存,于 24 h 内送检,供测定酚、氰。

B.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。

B.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 Fe^{3+} 变为 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 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) NH_4OH 调整溶液的 pH 值,使由酸性到碱性,并使处于 pH 值等于 8~8.5 之间,这对铝的氰合物最稳定。滴入的 NH_4OH 可先浓后稀,如滴入过量,则再滴 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 Al 测定样品。

B.2.6 现场固定流体样

B.2.6.1 测定 H_2S (总硫)的流体样,用 50 mL 玻璃瓶,在样品中加入 10 mL、20%醋酸锌溶液和 1 mL、1 mol/L NaOH ,摇匀、密封。对 H_2S 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。

B.2.6.2 测定 Hg 的流体样,可用 100 mL 玻璃瓶或塑料瓶,加入体积含量 1% HNO_3 和 0.01%重铬酸钾,摇匀、密封。

B.2.6.3 测定 Fe^{2+} 的流体样需防止采样后氧化为 Fe^{3+} ,在 250 mL 样瓶内先加入 1:1 H_2SO_4 2.5 mL,硫酸铵(NH_4)₂ SO_4 0.5 g,瓶口密封,可保存 30 天。

B.2.7 测定 Rn 气流体系样

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。

B.2.8 气体样品

B.2.8.1 逸出气体试样的采取均利用排水集气法。方法有二:

- a) 集气管取样法:取样装置见图 B.1a)所示。取样前,将连在集气管上的漏斗(1)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,然后将压力瓶(3)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;
- b) 普通玻璃瓶取样法:取样装置见图 B.1b)。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,然后将带塞漏斗在水面下插入玻璃瓶中(注意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。

B.2.8.2 地热流体中溶解气体的采集专用容器(图 B.2)

在 500 mL 玻璃瓶的橡皮塞中有三根紫铜管,一根插入瓶底(1),一根齐于瓶塞(2),一根下接一个球胆(3)。瓶塞外部之管均接胶管并有螺旋夹。取样时打开橡皮管(1、2)的螺旋夹使流体由体由管(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。

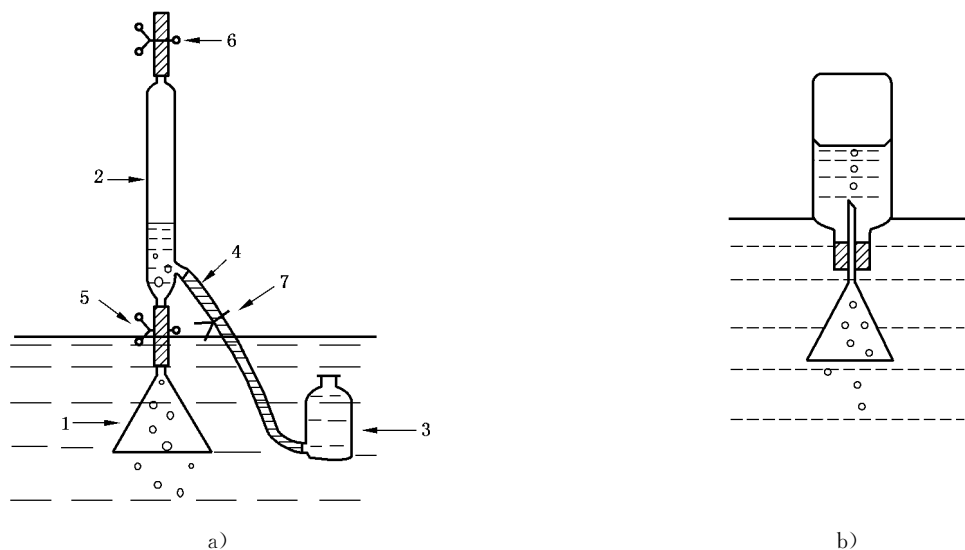
B.2.9 卫生指标测定样

流体样要用经灭菌处理的 500 mL 广口磨口玻璃瓶采取,采取时不需流体样洗瓶,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。

B.2.10 同位素测定样

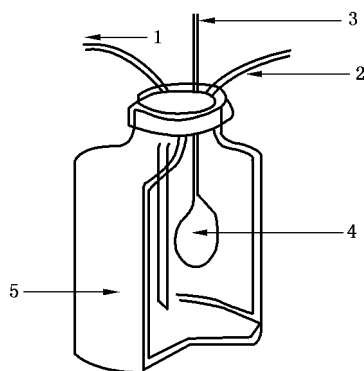
测定流体中放射性同位素 $T(H^3)$ 的样品,用 500 mL 玻璃瓶,取满流体样品,不留空隙,密封。

测定流体中稳定同位素 $D(H^2)$ 和 O^{18} 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,不留空隙。



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

图 B.1 逸出气体取样装置



- 1、2、3——真空橡皮管;
4——球胆;
5——玻璃瓶。

图 B.2 地热流体中气体采集专用容器

B.3 采样容器洗涤要求

B.3.1 新启用的玻璃瓶或塑料瓶应先用 10% 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。

B.3.2 玻璃瓶采样前先用 10% HCl 洗涤后再用自来水冲洗。

B.3.3 塑料瓶采样前先用 10% HCl 或 HNO_3 洗涤,也可用 NaOH 或 Na_2CO_3 洗涤后,再用自来水冲洗。

B.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(2~3)次。

B.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 或于 121 °C 高压蒸汽灭菌 15 min。

B.4 添加药剂的准备

B.4.1 各种采样所需试剂 HNO_3 、 HCl 、 NaOH 等均需采用优级纯品。

B.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,用蒸馏水稀至 200 mL。

B.4.3 20% 醋酸锌溶液:称取 20 g $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 溶于 100 mL 蒸馏水中。其余百分浓度的配制方法类似于此。

B.4.4 1 mmol NaOH 溶液:称取 4 g NaOH 溶于蒸馏水中至 100 mL。



附录 C
(资料性附录)
地热资源/储量计算方法

C.1 计算参数的确定

地热资源/储量计算的参数应尽可能通过试验和测试取得。对于难于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。应取下列参数:

C.1.1 地热井参数:综合钻孔地质编录和试井资料,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、化学成分等资料。

C.1.2 热储几何参数,包括热储面积和热储厚度:

- a) 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。

C.1.3 热储物理性质,包括热储温度、压力、岩石的密度、比热和热导率等:

- 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,可以通过地温梯度推测热储的温度,也可以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:应通过地热井的试井资料取得热储的压力分布情况;
- c) 岩石的密度、比热和热导率: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(表 C.1)。

表 C.1 几种常见岩石的比热、密度和热导率

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

C.1.4 热流体性质,包括热流体的单位质量的体积、相对密度、热焓、动力粘滞系数、运动粘滞系数等:

- a) 相态、单位质量的体积、相对密度、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 C.2 查得或求得;否则需要适当修正;

表 C.2 饱和蒸汽表

温度/ ℃	压力/ Pa	水的密度/ (kg/m ³)	蒸汽密度/ (kg/m ³)	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	1 000.0	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
165	7.008	902.3	3.671	697.25	2 762.0

表 C.2 (续)

温度/ ℃	压力/ Pa	水的密度/ (kg/m ³)	蒸汽密度/ (kg/m ³)	水的热焓/ (kJ/kg)	蒸汽热焓/ (kJ/kg)
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

b) 两相热流体的热焓:两相热流体,其热(焓)的计算公式为:

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

式中:

h ——水汽混合物的热焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

h_g ——气体的热焓,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 ——气体的质量分数;

X_l ——水的质量分数。

- c) 粘滞系数:地热流体的运动粘滞系数主要取决于温度的高低,受压力变化的影响比较小。蒸汽的运动粘滞系数远大于水的运动粘滞系数。动力粘滞系数和运动粘滞系数之间的关系为:

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

式中:

μ ——动力粘滞系数,单位为千克每米秒[$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$];

η ——运动粘滞系数,单位为平方米每秒(m^2/s);

ρ ——水的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

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

表 C.3 压力为 1 bar~400 bar 时水(蒸汽)的运动粘滞系数

温度/℃	运动粘滞系数/($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)					
	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
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

表 C.3 (续)

温度/℃	运动粘滞系数/(10 ⁻⁶ m ² /s)					
	1 bar	50 bar	100 bar	200 bar	300 bar	400 bar
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
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粘滞系数。						

C.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试井资料计算;
- b) 渗透率、渗透系数、导水系数:渗透率、渗透系数、导水系数是表示热储渗透性的参数,它们之间的关系为:

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

$$T = KM \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

k ——渗透率,单位为平方米(m^2);

K ——渗透系数,单位为米每秒(m/s);

μ ——热流体动力粘滞系数,单位为千克每米秒 $[\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})]$;

ρ ——流体的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

g ——重力加速度, 9.8 m/s^2 ;

T ——导水系数,单位为平方米每秒(m^2/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为:

$$s = \rho_w (\phi C_w + (1 - \phi) C_r) \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

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

式中:

s ——热储的弹性释放率,单位为米的负一次幂(m^{-1});

ρ_w ——热流体的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

ϕ ——热储空隙度,无量纲;

C_w ——流体的压缩系数,单位为帕的负一次幂(Pa^{-1});

C_r ——热储岩石的压缩系数,单位为帕的负一次幂(Pa^{-1});

S ——热储的弹性释水系数,无量纲;

H ——热储的厚度,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试井资料求得;
- e) 采用稳定流试井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时,并且初始水头水平(各处压力相同)时,计算公式为:

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

式中:

Δp ——试井达到稳定状态时生产井和观测井之间的压力差,单位为帕(Pa);

Q ——流量,单位为千克每秒(kg/s);

g ——重力加速度, 9.8 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 ——观测井和生产井之间的距离,单位为米(m);

r_w ——生产井出水段的半径,单位为米(m)。

对于单孔试井,可以用影响半径的经验公式和式(C.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,可以采用迭加原理计算这些参数;

- f) 采用非稳定流试井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;

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

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

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:

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

在式(C.8)、式(C.9)和式(C.10)中:

Δp ——生产井的压力降低,单位为帕(Pa);

g ——重力加速度,9.8 m/s²;

S ——弹性释水系数,无量纲;

T ——导水系数,单位为平方米每秒(m²/s);

Q ——流量,单位为千克每秒(kg/s);

r ——生产井出水段的半径,单位为米(m);

t ——时间,单位为秒(s);

u ——参变量。

在实际应用中可采用标准曲线法,也可采用半对数法对试井资料进行解译;

- 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。

C.1.6 监测资料:包括地热井的生产量、温度、压力、化学成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。

C.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、地球化学勘探和试井等资料分析热储的边界条件。

C.2 计算方法

C.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式(C.11)计算:

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

式中:

Q ——定时间段散发的热量,单位为焦(J);

p_1 ——单位时间地热田散发的热量,单位为瓦(W);

p_1 ——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_2 ——单位时间温泉、热泉和喷气孔等散发的热量,单位为瓦(W);

t ——计算时间段,单位为秒(s)。

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。

C.2.2 热储法(Volumetric method)

主要用于计算热储中储存的热量,估计热田地热资源的潜力,可按式计算:

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

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

$$Q_L = Q_1 + Q_2 \quad \dots\dots\dots (C.14)$$

$$Q_1 = A\varphi d \quad \dots\dots\dots (C.15)$$

$$Q_2 = ASH \quad \dots\dots\dots (C.16)$$

$$Q_w = Q_L c_w \rho_w (t_r - t_0) \quad \dots\dots\dots (C.17)$$

式中:

Q ——热储中储存的热量,单位为焦(J);

Q_r ——岩石中储存的热量,单位为焦(J);

Q_L ——热储中储存的水量,单位为立方米(m^3);

Q_1 ——截止到计算时刻,热储孔隙中热水的静储量,单位为立方米(m^3);

Q_2 ——水位降低到目前取水能力极限深度时热储所释放的水量,单位为立方米(m^3);

Q_w ——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^2);

d ——热储厚度,单位为米(m);

ρ_r ——热储岩石密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

c_r ——热储岩石比热,单位为焦每千克摄氏度 $[J/(kg \cdot ^\circ C)]$;

φ ——热储岩石的空隙度,无量纲;

t_r ——热储温度,单位为摄氏度($^\circ C$);

t_0 ——当地年平均气温,单位为摄氏度($^\circ C$);

ρ_w ——地热水密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

S ——导水系数,无量纲;

H ——计算起始点以上高度,单位为米(m);

c_w ——水的比热,单位为焦每千克摄氏度 $[J/(kg \cdot ^\circ C)]$ 。

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。

C.2.3 解析模型法(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。

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压力允许下降值下地热流体可开采量。

C.2.4 统计分析法(Statistical methods)

具有多年动态监测资料的地热田,可用统计分析法建立的统计模型预测地热田在定(变)量开采条件下的压力(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,预测的时限不应超过实际监测资料的时段长度。

C.2.5 数值模型法(Numerical modeling)

在地热田的勘查程度比较高,并且具有一定时期的开采历史,具有比较齐全的监测资料时,应建立地热田的数值模拟模型,用以计算/评价地热储量,并作为地热田管理的工具。

C.2.5.1 控制方程

描述地热水系统中水和热量均衡的基本方程可以写为:

$$\frac{d}{dt} \iiint_V M^{(\kappa)} dV = \iint_{\Gamma} F^{(\kappa)} \vec{n} d\Gamma + \iiint_V q^{(\kappa)} dV \quad \dots\dots\dots (C.18)$$

其中 κ 表示不同的计算量。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)可以表示为:

$$M^{(\kappa)} = \phi \sum_{\beta=l,g} S_{\beta} \rho_{\beta} X_{\beta}^{(\kappa)} \quad \dots\dots\dots (C.19)$$

热量的变化量由岩石和流体两部分热量的变化组成,可以表示为:

$$M^{(3)} = (1 - \phi) \rho_r c_r T + \phi \sum_{\beta=l,g} S_{\beta} \rho_{\beta} u_{\beta} \quad \dots\dots\dots (C.20)$$

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:

$$F^{(\kappa)} = \sum_{\beta=l,g} F_{\beta}^{(\kappa)} \quad \dots\dots\dots (C.21)$$

其中各相态边界上的流入(流出)量为:

$$F_{\beta}^{(\kappa)} = -k \frac{k_{r\beta}}{\mu_{\beta}} \rho_{\beta} X_{\beta}^{(\kappa)} (\nabla P_{\beta} - \rho_{\beta} g) - \delta_{\beta g} D_{va} \rho_{\beta} \nabla X_{\beta}^{(\kappa)} \quad \dots\dots\dots (C.22)$$

式(C.18)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:

$$F^{(3)} = -K \nabla T + \sum_{\beta=l,g}^{\kappa=1,2} h_{\beta}^{(\kappa)} F_{\beta}^{(\kappa)} \quad \dots\dots\dots (C.23)$$

在式(C.18)~式(C.23)中:

c_r ——岩石固体骨架的比热,单位为焦每千克摄氏度[J/(kg·°C)];

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 κ 相 β 在计算区边界上的流入或流出量;

g ——重力加速度,9.8 m/s²;

$h_{\beta}^{(\kappa)}$ ——计算量 κ 相 β 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,瓦每米摄氏度[W/(m·°C)];

$k_{r\beta}$ ——相 β 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_β ——相 β 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 β 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_β ——流体相 β 的饱和度,无量纲;
- t ——时间,单位为秒(s);
- T ——温度,单位为摄氏度(°C);
- u_β ——计算量 κ 相 β 的比内能,单位为焦每千克(J/kg);
- V ——计算区;
- $X_\beta^{(\kappa)}$ ——计算量 κ 相 β 的质量分数,无量纲;
- $\delta_{\beta g}$ ——气相的扩散系数;
- β ——热流体的相态, ($\beta=1$ 时为液态, $\beta=g$ 时为气态);
- ϕ ——孔隙度,无量纲;
- Γ ——计算区边界;
- κ ——标识变量, $\kappa=1$ 时表示地热水, 当 $\kappa=2$ 时表示空气, $\kappa=3$ 时表示热量;
- μ_β ——相 β 的动力粘滞系数,单位为千克每米秒[$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$];
- ρ_r ——岩石固体骨架的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);
- ρ_β ——计算量 κ 相 β 的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

C.2.5.2 数值模型的资料要求

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。还要收集地热试井、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。

C.2.5.3 建立数值模型

建立数值模型的基本步骤为:

- 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。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),应根据模型的求解方法、计算程序的要求确定网格剖分方式,可剖分为立方体、长方体、棱柱体等,单元体的大小宜根据勘探程度、资料的多少确定,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;
- 进行天然状态的模拟:天然状态模拟是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的反映的模型。

C.2.5.4 利用数值模型进行地热储量计算

经过校正的模型就可以认为是在当前勘探程度下可靠的模型,就可以用之预测地热田对将来开采的反映。应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以计算地热田的热储存量和热流体储存量。

C.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量。

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

附 录 D
(资料性附录)

地热常用量代号和单位名称

表 D.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	米	m	1 km=10 ³ m 1 m=10 ² cm 1 m=10 ³ mm 1 mm=10 ³ μm
		宽	b		m			
		高	h		cm			
		厚度	d		mm			
		半径	$r(R)$		μm			
		直径	$d(D)$					
		距离	s					
2	面积		A	平方公里 平方米	km ² m ²	平方米	m ²	
3	体积	体积 (容积)	V	立方米 升 毫升	m ³ L mL	立方米	m ³	1 m ³ =10 ³ L 1 L=10 ³ mL
		气体体积	V_n	立方米	m ³			
4	时间		$t(T)$	年 日(天) (小)时 分 秒	a d h min s	秒	s	
5	速度		v, u	公里/小时 米/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 ³ kg 1 kg=10 ³ g 1 g=10 ³ mg
7	密度(容重)		ρ	吨/米 ³ 公斤/米 ³ 克/厘米 ³	t/m ³ kg/m ³ g/cm ³	千克每立方米	kg/m ³	
8	流量	体积流量	q Q	米 ³ /日	m ³ /d	米 ³ /秒 升/秒	m ³ /s L/s	
				米 ³ /时	m ³ /h			
				升/秒	L/s			
		质量流量	q_m Q_m	吨/日	t/d	千克每秒	kg/s	
				吨/时	t/h			
				公斤/秒	kg/s			

表 D.1 (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	t	牛(顿)	N	1 kg=9.8 N	
			公斤	kg				
			克	g				
10	压强	P	吨/米 ² 公斤/厘米 ²	t/m ² kg/cm ²	帕斯卡	Pa	1 Pa=1 N/m ² 1 kg/cm ² =9.806 65× 10 ⁴ Pa 1 mmHg=133.322 4 Pa 1 Bar=10 ⁵ Pa	
	正应力	σ	大气压 毫米汞柱	atm mmHg				
	切应力	τ	巴	Bar				
11	功	$w(A)$	公斤米 焦耳	kg·m J	焦(耳) 千焦 兆焦	J kJ MJ	1 kg·m=9.8 J 1 kJ=10 ³ J 1 MJ=10 ⁶ J 1 cal=4.18 J	
	能量	$E(w)$	焦耳	J				
	热量	Q	卡 千卡	cal kcal				
	电能	W	千瓦小时	kWh				
12	功率		P	瓦 千瓦	W kW	瓦 千瓦 兆瓦	W kW MW	1 MW=10 ⁶ W 1 kW=10 ³ W
13	温度	热力学	T	开氏度	K	开氏度 摄氏度	K ℃	1 K=1 ℃ ℃=5/9(1 ℉-32)
		摄氏	t	摄氏度	℃			
		华氏		华氏度	℉			
14	地温梯度		$\Delta T/\Delta h$	度/100 米	℃/100 m	度每米	℃/100 m	
15	热容		C	卡/度	cal/℃	焦每开耳文 焦每摄氏度	J/K J/℃	1 cal/℃=4.18 J/K
16	比热		c	卡/(克·度)	cal/ (g·℃)	焦每千克开 焦每千克度	J/(kg·K) J/(kg·℃)	1 cal/(g·℃) =4 186.8 J/(kg·K)
17	热导率		K	卡/ (厘米·秒·度) 千卡/ (米·秒·度)	cal/(cm· s·℃) kcal/(m· s·℃)	瓦特每米开 瓦特每米度	W/(m·K) W/(m·℃)	1 cal/(cm·s·℃) =418.68 W/(m·K)
18	热扩散率		α	厘米 ² /秒 米 ² /时	cm ² /s m ² /h	平方米每秒	m ² /s	
19	渗透率		k	达西 毫达西	D mD	平方米	m ²	1 达西=10 ⁻¹² m ²
20	渗透系数		K	米/日 米/秒	m/d m/s	米每秒	m/s	

表 D.1 (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	
21	导水系数	T	平方米/秒	m^2/s	平方米每秒	m^2/s	
22	贮水系数	S	无量纲				
23	运动粘滞系数	η	平方米/秒	m^2/s	平方米每秒	m^2/s	
24	动力粘滞系数	μ	厘泊	cP	千克每米秒	$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$	1 cP = $10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$
25	压缩系数	C	平方米/公斤	m^2/kg	1/帕	Pa^{-1}	



附 录 E
(资料性附录)
理疗热矿泉水水质标准

理疗热矿泉水水质标准见表 E.1。

表 E.1 理疗热矿泉水水质标准

单位为毫克每升

成 份	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	1 000	碳酸水
总硫化氢	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
铁	10	10	10	铁水
锂	1	1	5	锂水
钡	5	5	5	钡水
偏硼酸	1.2	5	50	硼水
偏硅酸	25	25	50	硅水
氡/(Bq/L)	37	47.14	129.5	氡水
温度/℃	≥34			温水
矿化度	<1 000			淡水
注：本表依据 GB/T 13727—1992《天然矿泉水地质勘探规范》(附录 B 医疗矿泉水水质标准)，略作修改，主要是取消了锰、偏硼酸、偏磷酸、镭等 4 个意义不明或对人体有害的矿水类型。				

附录 F
(资料性附录)

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 F.1、表 F.2、表 F.3、表 F.4、表 F.5 所列方法计算。

表 F.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(M)
10^9 J	$M(\text{t/a})$
ΣW_i	计算式 $M = \Sigma W_i \div 4.1868 \div 7$

表 F.2 地热水开采一年相当节煤量的减排量

项目	二氧化碳(CO ₂)	二氧化硫(SO ₂)	氮氧化物(NO _x)	悬浮质粉尘	煤灰渣 ^a
单位	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a
计算式	(1)=2.386M	(2)=1.7%M	(3)=0.6%M	(4)=0.8%M	(5)=0.1%M
项目	二氧化碳 CO ₂	二氧化硫 SO ₂	氮氧化物 NO _x	悬浮质粉尘	煤灰渣 ^a
^a 煤灰渣不属于大气排放,属于固体废物排放。					

表 F.3 节省治理费用

二氧化碳 CO ₂	二氧化硫 SO ₂	氮氧化物 NO _x	悬浮质粉尘	煤灰渣
0.1 元/kg ^b	1.1 元/kg	2.4 元/kg	0.8 元/kg	运输费
^b 清洁开发机制 CDM 国际碳汇市场价格略低于此价。				

表 F.4 无调峰设施的地热水居室采暖面积估算表

利用温度 ($t_1 - t_0$)/℃	采暖面积/m ²				
	1 000 m ³ /d	1 250 m ³ /d	1 500 m ³ /d	1 750 m ³ /d	2 000 m ³ /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
注: 计算式: $F = E_n / Q_f$; $E_n = 48.46Q(t_1 - t_0)$ 式中: E_n ——热水产能(W), Q_f ——居室采暖热指标(W/m ²)表中取值为 50 W/m ² , Q ——地热水水量(m ³ /d), t_1 ——地热水采暖进水温度(℃), t_0 ——地热水采暖排水温度(℃)。					

表 F.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 ($t_1 - t_0$)/℃	采暖面积/m ²				
	1 000 m ³ /d	1 250 m ³ /d	1 500 m ³ /d	1 750 m ³ /d	2 000 m ³ /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 G
(规范性附录)

地热资源勘查报告编写提纲及附图附表要求

地热资源勘查报告是地热资源勘查的阶段性或最终成果,是地热资源统计登记、开发利用规划与管理的主要依据,报告内容应能反映地热资源勘查的主要成果,遵照下列 G.1、G.2、G.3 要求编制。

G.1 报告编写提纲

报告编写提纲包括以下内容:

- 1 前言
- 2 地热地质研究程度及勘查工作质量评述
- 3 区域地热地质条件
- 4 地热田(区)地热地质条件
- 4.1 地热田(区)边界条件
- 4.2 热储特征及其埋藏条件
- 4.3 地热流体流场特征及动态
- 4.4 地温场特征
- 5 地热流体化学特征
- 5.1 地热流体化学组分特征
- 5.2 地热流体化学组分动态变化
- 5.3 同位素化学与地热田成因分析
- 6 地热资源计算与评价
- 6.1 热储模型
- 6.2 主要计算参数
- 6.3 地热储量计算
- 6.4 地热流体可开采量计算与评价
- 7 地热流体质量评价
- 8 地热资源开发利用与保护
- 9 结论

G.2 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。

G.3 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、岩土化学成分(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)动态观测资料汇总表;
- f) 地热流体历年开采(回灌)量统计表。

凡与报告密切有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—1992 天然矿泉水地质勘探规范
 - [2] 矿产工业要求参考手册[G]. 全国矿产储量委员会办公室. 北京:地质出版社,1987.
-

