

国土资源行业标准

XXXX—XXXX

浅层地热能勘查评价技术规范

Technical Regulations for Shallow Geothermal Energy Investigation and Evaluation

(征求意见稿第二稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

目 次

1 主题内容与适用范围	1
2 引用标准	1
3 总则	1
4 术语	1
5 区域浅层地热能调查	3
6 地源热泵工程浅层地热能勘查	5
7 浅层地热能资源计算评价	7
8 浅层地热能利用环境评价	12
9 浅层地热能利用经济评价	13
附录 A (资料性附录) 空气、水和几种常见岩石的比热、密度、热导率和热扩散率	15
附录 B (资料性附录) 浅层地热能勘查设计书提纲	16
附录 C (资料性附录) 浅层地热能勘查报告编写提纲	17
附录 D (资料性附录) 数值法	18
附录 E (资料性附录) 大地热流值的确定方法	19
附录 F (规范性附录) 本规范用词说明	21

浅层地热能勘查评价技术规程

1 主题内容与适用范围

为规范浅层地热能勘查与评价制订本规程。规程规定了浅层地热能勘查评价的目的任务、基本工作内容、勘查工程控制程度、勘查质量要求、浅层地热能资源计算与评价、浅层地热流体质量评价、浅层地热能利用的环境评价和经济评价，以及勘查资料整理和报告编写等基本要求。

本规程适用于区域和地源热泵工程浅层地热能勘查、资源评价、报告验收以及资源/储量登记统计。本规程可以作为区域浅层地热能调查设计书编制、工作布置、资源评价、报告编写和审批的依据，同时作为地源热泵工程的浅层地热能勘查、资源评价和开发利用的依据。

2 引用标准

- GB 50366 - 2005 地源热泵系统工程技术规范
- GB 11615-89 地热资源地质勘查规范
- GB 50027 - 2001 供水水文地质勘察规范
- GB 14158-93 区域水文地质工程地质环境地质综合勘查规范
- GB50021—2001 岩土工程勘察规范
- GB/T 14848—1993 地下水质量标准
- DZ 40-85 地热资源评价方法

3 总则

3.1 本规程规定的浅层地热能是指地表以下一定深度范围内（一般为恒温带至 200 m 埋深），温度低于 25℃，在当前技术经济条件下具备开发利用价值的地热能。浅层地热能是地热资源的一部份。

3.2 浅层地热能勘查评价的目的是为利用与保护浅层地热资源，提供资源/储量及其所必须的地质资料，减少开发风险，取得浅层地热资源开发利用最大的社会经济和环境效益，并保持资源的可持续利用。

3.3 浅层地热能勘查的主要任务是采用综合勘查方法技术查明地热地质背景及浅层地热条件，确定可开发的地区及合理开发量，对浅层地热能综合利用进行评价，提出可持续开发利用的建议，并预测开发利用产生的环境影响。

3.4 浅层地热能勘查分为：区域浅层地热能调查和地源热泵工程浅层地热能勘查两类。

3.5 区域浅层地热能调查评价的范围要根据当地对浅层地热能资源利用与管理的需要确定。地源热泵工程浅层地热能勘查范围综合考虑地质条件、地热地质条件和地源热泵工程需求确定。

3.6 浅层地热能勘查除应执行本规程规定外，尚应执行国家现行有关标准的规定。

4 术语

4.1 浅层地热能 Shallow geothermal energy

是指地表以下一定深度范围内（一般为恒温带至 200 m 埋深），温度低于 25℃，在当前技术经济条件下具备开发利用价值的地球内部的热能资源。浅层地热能是地热资源的一部份。

4.2 基准温度 Reference temperature

浅层地热能可利用的温度下限，一般低于当地多年平均气温 5—7℃。

4.3 浅层地热能可开采量 Shallow geothermal extractable reserves

在当前开采技术经济条件下能够开采出来的浅层地热能。是某一区域内，单位时间、单位面积内可持续利用的地热能量。

4.4 热承载能力 Heat carrying capacity

单位体积的岩土体可承载冷热负荷的最大能力。

4.5 地下水循环利用量 Recycle groundwater yield

作为浅层地热能的载体,从含水层中抽取并提取热量后回灌到原含水层中的地下水量,是地下水允许开采量的一部分。

4.6 恒温带 Constant temperature zone

距地表最浅的年温度变化小于 0.1℃的带。该带地温不受太阳辐射影响,不同纬度地区的恒温带深度不同。

4.7 地源热泵系统 Ground-source heat pump system

以岩土体、地下水为低温热源,由水源热泵机组、地热能交换系统、建筑物内系统组成的供热空调系统。根据地热能交换系统形式的不同,地源热泵系统分为地埋管地源热泵系统和地下水地源热泵系统。

4.8 地埋管换热器 Ground heat exchanger

供传热介质与岩土体换热用的,由埋于地下的密闭循环管组构成的换热器,又称土壤热交换器。根据管路埋置方式不同,分为水平地埋管换热器和竖直地埋管换热器。

4.9 地埋管换热系统 Ground heat exchange system

传热介质通过竖直或水平地埋管换热器与岩土体进行热交换的地热能交换系统,又称土壤热交换系统。也称为闭式循环系统。

4.10 地下水换热系统 Groundwater heat exchange system

与地下水进行热交换的地热能交换系统,分为直接地下水换热系统和间接地下水换热系统。也称为开式循环系统。

4.11 抽水井 Pumping well

用于从地下含水层中取水的井。

4.12 回灌井 Injection well

用于向含水层灌注回水的井。

4.13 抽水试验 Pumping test

一种在井中进行计时计量抽取地下水,并测量水位变化的过程,目的是了解含水层特征,并获取水文地质参数。

4.14 回灌试验 Injection test

一种向井中连续注水,使井内保持一定水位,或计量注水、记录水位变化来测定含水层渗透性、注水量和水文地质参数的试验。

4.15 现场热传导试验 In-situ thermal conductivity test

采用人工冷(热)源利用地埋管换热系统对岩土体的热传导性能进行的一种试验。

4.16 含砂量 Sand content

水中含砂量的体积比。

4.17 回扬 Returning pumping

为预防和处理管井阻塞,从回灌井中抽取地下水的过程。

4.18 管井堵塞 Blocking of casing well

由于化学、物理或生物作用造成井管物质聚集、孔隙度降低,致使井管进水段中水流不畅或停止。

4.19 采灌比 Rate of exploitation to injection

开采水量与回灌水量的比值。

4.20 热物性测试 Thermal physical property test

对岩土体的样品进行热物理参数的室内测试。

4.21 含水率 Water content

岩石或土壤中所含水分的数量,以占烘干岩土重或容积表示。

4.22 热短路 Short circuit of heat transfer medium

采用开式循环系统开发浅层地热能过程中,开采井和回灌井的水温快速趋同的现象。

4.23 岩土工程勘察 Geotechnical investigation

根据建设工程的要求,查明、分析、评价建设场地的地质、环境特征和岩土工程条件,编制勘察文件的活动。

4.24 开发效应 Exploitation effects

开发浅层地热能对自然环境、浅层地热储性状以及流体物理化学条件等的反应。

4.25 热污染 Heat contamination

温度很高的尾水排放,使局部空气和水体的温度升高,改变生态平衡,影响环境和生物生长。

4.26 土壤热平衡 Soil heat balance

一定时间内土壤中热吸收和释放的平衡状况。

4.27 热流量法 Heat flux assessment method

根据大地热流值进行区域浅层地热能资源计算的方法。

4.28 大地热流值 Heat flux

单位时间内通过单位面积的热通量,单位为 mW/m^2 , $41.86\text{mW}/\text{m}^2=1\text{HFU}$ (原单位)。

4.29 热储法 Reservoir assessment method

在地层中根据载热体的体积进行地热能储存量计算的方法。

4.30 水热均衡法 Hydrothermal balance assessment method

通过研究区的水、热均衡计算,评价地下水的水、热储存量和水、热补排情况的方法。

4.31 采暖期 Space heating period

我国北方需要向室内供暖时,从供暖开始到结束的时间段。

4.32 腐蚀评价 Corrosion assessment

对地下水中由于 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 等的存在导致对金属的腐蚀性作出评价。

4.33 结垢评价 Scaling assessment

对地热流体中所含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 等组分造成空调系统结垢的可能性做出评价。

5 区域浅层地热能调查

5.1 一般规定

5.1.1 区域浅层地热能调查的目的是查明区域浅层地热能资源数量、质量以及分布规律,进行开发利用区划,为浅层地热能可持续利用提供依据。

5.1.2 调查应在充分利用现有水文地质、工程地质等资料的基础上,补充地热地质、水文地质、岩土工程地质等工作,然后再进行钻探和试验。

5.1.3 工作内容和投入的工作量应根据调查目的、以往工作程度等因素综合考虑确定,采用经济合理的调查技术、方法和手段,达到调查的要求。

5.1.4 在调查工作实施之前,必须进行充分的前期论证工作,按要求编写设计书,经主管部门审定后组织实施。设计书的主要内容应包括:目的、任务、地理概况、区域地质、水文地质和工程地质条件、研究程度及存在主要问题、工作布置及工作量、技术路线、地热能资源计算与评价方法、人员组成、设备、工作计划、试验及钻探施工设计、经费预算、预期成果和提交报告时间等。

5.2 工作程度要求

5.2.1 充分利用现有的水文地质、工程地质勘查成果,补充必要的调查取样、坑探、槽探、钻探或试验等工作,基本查明区域地热地质、水文地质、工程地质条件。基本查明含水层结构、厚度、埋藏等,基本查明地下水水位分布、水量、水质情况及其动态变化,基本查明包气带岩土体结构等。

5.2.2 根据已有实测数据或经验数据(见附录 A),补充必要的调查取样、钻探坑探、槽探、钻探或试验等工作,确定未知岩土体的热物理参数(热导率和比热)。

5.2.3 根据已有实测数据、气象监测数据或经验数据,补充必要的地温调查工作(即采取坑探、槽探或钻探手段测量地温),基本查明地温分布、水温分布及其动态,确定恒温带的温度和深度、大地热流值,并在冻土地区,确定冻土层厚度。

5.2.4 根据已有实测数据或经验数据，补充必要的调查取样、坑探、槽探、钻探或试验等工作，确定岩土体的孔隙率（裂隙率）、含水量、密度等物理力学参数。

5.2.5 未进行回灌试验的空白地区，应选择代表性地段进行回灌试验，初步评价含水层的回灌能力并求取渗透系数。

5.2.6 基本查明浅层地热能的热来源和热成因机制，基本查明地下水水热的补给、运移、排泄条件，基本查明包气带地热能的热补给、运移和排泄条件，提出浅层地热能形成的概念模型和理论参数模型。

5.2.7 宜选择采用热流量法、热储法进行浅层地热能资源评价，提交区域性调查报告，为浅层地热能开发规划和地源热泵工程勘察阶段提供依据。

5.2.8 在区域调查中，应加强和重视浅层地温的试验工作，逐步建设地温试验点网络，构建区域浅层地热能研究的基础数据支撑体系。

5.3 试验要求

5.3.1 地温试验与调查

a) 地温试验点应选择原有的包气带水分运移试验场，地温监测频率应与土壤含水量、土壤水势、气温等项目的一致。岩性及结构在区域上应具代表性和完备性。并坚持长期监测。

b) 如果没有合适的包气带水分运移试验场，则应选择若干代表性地段建立简易的地温试验点。试验项目应包括地温、土壤含水量、土壤水势和气温等，监测时间应在一个水文年以上。

c) 地温调查采用槽探、坑探或钻探等手段进行，应边施工，边测量地温，并按相关标准布点进行岩土体描述和取样测试，应同时测试岩土体的热物理参数。在岩土体取样位置必须测量地温，其它位置可视情况加密测点，使测量间距大致均匀。

5.3.2 回灌试验

a) 回灌试验应准确测定回灌井的回灌量、压力（水位）随时间的变化、回灌影响范围及影响区内地下水温度、压力（水位）和化学组分变化等，为确定合理回灌方案提供依据。

b) 浅层地热能回灌应为同层回灌，回灌试验分为单井回灌试验、对井回灌试验和群井生产性回灌试验。一般宜采用单井回灌试验，有条件的地区，也可进行对井回灌试验。回灌时间不少于4个月（不含恢复观测时间）。

c) 按回灌方式可分为真空回灌、自流回灌和加压回灌三种类型。一般采用自流回灌方式进行。

d) 回灌试验应布设一定数量的观测井，试验前应实测回灌井和观测井的地下水温度、压力（水位）及化学组份；试验期间（包括回灌期间及恢复期间）应定期监测其变化并分析这些变化与灌（采）量变化的关系，直至相对稳定。

5.3.3 原位热传导试验

a) 原位热传导试验是指采用人工冷（热）源对岩土体的热传导性能进行探测的一种试验。

b) 原位热传导试验分为单孔热传导试验和群孔热传导试验。群孔热传导试验一般由一个主孔和一个以上的观测孔组成的。

c) 原位热传导试验应实测冷（热）源和观测孔的温度、压力（水位）或流量等变化，确定不同温度不同压力（或流量）的冷（热）源的影响范围及影响区内的温度、压力（水位）或流量的变化。

d) 输入的冷（热）量应大到足以在观测孔中观测到温度、压力（水位）或流量等的变化，且试验时间不少于30天或直至温度、压力（水位）变化相对稳定。

e) 探求冷（热）源的温度、冷（热）量与影响范围以及影响区内的温度、压力（水位）或流量变化的关系，并采用数值法或解析法计算热导率或热扩散率。推荐采用数值法再现原位热传导试验过程。

5.4 区域浅层地热能资源评价要求

5.4.1 区域浅层地热能调查应计算评价浅层地热能可开采量和地热能储存量。

5.4.2 浅层地热能可开采量宜采用热流量法计算。实测或引用本地热地质单元的大地热流值，合理圈定区域内适宜开发利用浅层地热能的土地面积，选用本区域实测或地热地质条件类似地区的浅层地热能可利用系数，计算可持续利用的本区域浅层地热能可开采量。

5.4.3 地热能储存量宜采用热储法计算。储存量评价的深度范围为在恒温带以下至200m埋深以内。利

用温差为当地适宜利用值。计算面积为适宜开发利用浅层地热能的土地面积。

5.4.4 在条件适宜的区域可采用地下水量折算法评价浅层地热能可开采量。地下水循环利用量为计算区域内可用于提取地热能的地下水开采量。

5.4.5 当具备可靠的地热能评价成果的条件下，在浅层地地质条件类似地区可采用比拟法评价浅层地热能可开采量和地热能储存量。

5.5 大地热流值计算要求

5.5.1 应采用恒温带以下的地温数据和热导率数据进行计算。

5.5.2 应充分利用前人测定和公布的一些地区的大地热流值，并注意其值在深度上和区域上的代表性。

5.5.3 如果没有实测的大地热流值，则利用地温实测数据和热导率测试数据按公式 $q = \lambda G$ ，即大地热流值 = 热导率 × 地温梯度，进行计算。

5.5.4 大地热流值单位为 mW/m^2 或 HFU， $1HFU=41.86mW/m^2$ 。

5.6 开发利用区划要求

5.6.1 针对地源热泵的应用，对浅层地热资源区域开发和利用进行合理区划。

5.6.2 区划应按地下水源热泵、土壤源热泵两种开发利用方式进行适宜性分区，其适宜性分区分为：适宜区和不适宜区，根据经济技术条件、地质条件、水文地质条件、工程地质条件和开发利用需求综合评定划分。

5.6.3 应根据适宜区分区确定浅层地热资源的评价方法、评价面积和计算参数，且只计算适宜区的资源量。

5.6.4 评价面积应扣除建筑、道路等不宜进行地源热泵工程的占地面积。对于占用农田耕地取热应进行专门的生态环境影响评估后，才能划定适宜区。

6 地源热泵工程浅层地热能勘查

6.1 一般规定

6.1.1 勘查的目的是为地源热泵系统提供可靠的土壤热源或地下水热源。

6.1.2 调查收集已有的地热地质、工程地质、水文地质、水井、勘探孔及当地地温、气象、水文及冻土层资料。调查场地空间状况及浅层地热能资源开发利用条件，选择适宜的地下换热系统。

6.1.3 地源热泵工程浅层地热能勘查范围宜大于拟定换热区。

6.1.4 当需查明岩土的性质和分布，采取岩土试样或进行现场测试时，可采用钻探、井探和地球物理勘探等。勘探方法的选取应符合勘查目的和岩土的特性。

6.1.5 布置勘查工作时应考虑勘查对工程自然环境的影响，防止对地下管线、地下工程和自然环境的破坏。钻孔、坑探、钎探和探槽完工后应妥善回填。

6.2 地埋管换热系统浅层地热能勘查

6.2.1 地埋管换热系统方案设计前，应对工程场区岩土体中浅层地热能条件进行勘查。

6.2.2 地埋管换热系统浅层地热能勘查其主要工作内容应符合下列规定：

- a) 查明场地岩土层的岩性、结构、地下水赋存状况。
- b) 查明岩土层的导热性能、换热效率、导热系数、温度，确定恒温带的深度和温度。
- c) 冻土地区，应查明冻土层厚度。
- d) 查明场地岩土体的含水率、颗粒级配、密度、比热、导热系数、温度。
- e) 提供满足设计施工所需的热物性参数，确定岩土层换热能力，预测浅层地热能换热量。
- f) 若条件许可，则应确定不同换热量对地温场的影响。
- g) 提出埋管方式、施工方案的建议。

h) 场地较小，且场地条件简单的工程，场地或其附近已有岩土层热物性资料时，可根据实际情况直接引用现有资料，无需进行施工勘查。

i) 场地地形地貌复杂，岩土种类较多，不均匀，性质变化较大时，应增加取土数量或现场测试工作量。

6.2.3 勘查现场测试应符合下列要求:

- a) 采用水平地埋管换热器时,工程场地勘查采用槽探、坑探或钎探进行。探槽应根据场地形状确定,探槽的深度一般超过埋管深度 1m。采用竖直地埋管换热器时,工程场地勘查采用钻探进行,钻孔深度应比设计最深的热交换器至少深 5m。进行现场测试点的数量应根据岩土层结构、均匀性和设计要求确定。
- b) 竖直地埋管换热系统供给建筑面积小于 3000m²时,应至少布置 1 个钻孔;大于 10000m²建筑面积时,应至少布置 2 个钻孔。水平地埋管换热系统供给 10000 m²建筑面积时,应至少挖 4 个探槽;供给建筑面积大于 20000 m²时,应至少每 10000m²挖 2 个探槽。
- c) 勘探孔结构的设计,应根据勘查区的地层特性、测试要求及钻探工艺等因素综合考虑,以能满足获取当地的热物性参数为宜,并宜尽量简化。
- d) 勘探施工参照《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)。
- e) 在已钻好的钻孔中埋设导管并按设计要求回填,该钻孔中的导管将来可以作为地热换热器的一个支路使用,在回路中充满水,让水在回路中循环流动,自某一时刻起对水连续加热相当长的时间(数天),并测量加热功率、回路中水的流量和水的温度及其所对应的时间,最后再根据已知的数据推算出钻孔周围岩土的平均热物性参数岩土导热系数。
- f) 现场测试时,应首先做没有加热的测试,获取地层初始温度。
- g) 现场测试时,加热功率变化的次数根据试验目的确定,应至少为 2 次;每一加热功率下,应至少变流量 2 次。测试时间在 60h 左右。每次加热测试应做停止加热的地温恢复测试。
- h) 现场测试岩土体一般应在测试埋管安装完毕后 72h 后进行
- i) 原位测试的仪器设备应定期检验和标定。
- j) 分析原位测试成果资料时,应注意试验条件如温度等对试验的影响,剔除异常数据。
- k) 有条件情况下,应在勘探孔周围布置观测孔。

6.2.4 采取土试样应符合下列要求:

- a) 采取土试样点的数量应根据岩土层结构、均匀性和设计要求确定。
- b) 每一场地每一主要土层的原状土试样不宜少于 1 件(组)。
- c) 土试样质量应为 III 级以上。土试样质量分级参照《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)。
- d) 土试样采取的工具、方法及保管运输参照《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)。
- e) 岩石试样可利用钻探岩芯制作,采取的毛样尺寸应满足试块加工的要求。

6.3 地下水换热系统浅层地热能勘查

6.3.1 地下水换热系统方案设计前,应对工程场区的水文地质条件进行勘查。

6.3.2 地下水换热系统浅层地热能勘查其主要工作内容应符合下列要求:

- a) 查明工程场地地质、水文地质条件,取得有关水文地质参数和评价地下水资源所需的资料。
- b) 水文地质条件勘查内容对应不同场地条件、工程要求参照《供水水文地质勘察规范》GB50027。
- c) 查明工程场地回灌能力。若条件许可,则应查明回灌水温度对地温场的影响。
- d) 提供满足设计施工所需的最大系统循环水量,确定抽灌井的数量和布局。
- e) 应同层回灌。

6.3.3 水文地质勘探孔的布置及主要工作内容

- a) 工程场地及其附近已有详细的水文地质资料,能够满足系统建设运行所需的地质、水文地质回灌能力等资料时,可根据实际情况,直接引用现有资料进行系统设计。
- b) 地下水换热系统供给建筑面积小于 3000m²,应至少布置 1 个勘探孔;供给建筑面积 10000m²,应至少布置 2 个勘探孔。
- c) 勘探孔的深度,宜钻穿有供水意义的主要含水层(带)或含水构造带;
- d) 勘探孔的结构设计执行《供水水文地质勘察规范》GB50027;
- e) 勘探孔施工执行《供水水文地质勘察规范》GB50027、《供水管井技术规范》GB50296。

6.3.4 抽水试验

抽水试验具体工作内容，依据试验目的、工程要求可参照《供水水文地质勘察规范》GB50027中的相关要求。

6.3.5 回灌试验

- a) 回灌试验可按照《供水水文地质勘察规范》(GB50027)中抽水试验的技术要求进行定降深试验或定流量试验，同时参照《供水水文地质手册》中关于地下水人工补给的有关内容。
- b) 通过回灌试验确定合理的回灌方式和回扬频率。
- c) 同一回灌井不同方式回灌试验的顺序为真空回灌、自流回灌和加压回灌，更换回灌方式之前应先让地下水的水位恢复到初始状态，在地下水初始深度小于 10m 的情况下可不进行真空回灌试验。
- d) 回灌水质应优于或等于原地下水水质，含砂量不应超过 1/50000，必须在进行水质验证之后进行回灌试验。
- e) 回灌水位上升幅度不宜超过 5m。

6.3.6 地下水换热系统浅层地热能计算

$$D = mc\rho\Delta T \times 2.78 \times 10^{-4} \quad (6-1)$$

式中: D--地下水地热能利用量 (kW);

m—地下水循环量 (m³/h);

c--水的比热容 (kJ/kg℃);

ρ—水的密度 (kg/m³)

ΔT--水的温差 (℃)。

6.4 地下水质量评价

6.4.1 水试样的采取和试验应符合下列规定:

- a) 水试样应同时采取抽水水样和回灌水样。
- b) 水试样应及时试验，清洁水放置时间不超过 72 小时，稍受污染的水不宜超过 48 小时，受污染的水不宜超过 12 小时。

6.4.2 水质评价

水质分析项目应化验水的化学成分、浑浊度、硬度、矿化度和含砂量，可参照《地下水质量标准》GB/T14848-93 进行评价。

6.4.3 水和土腐蚀性的评价

根据工程要求，参照《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)中有关内容进行评价。

6.5 资料整理和报告编写要求

6.5.1 资料整理要求

- a) 对所有勘查资料进行系统的、综合的整理与分析研究，特别是要加强多年资料的分析整理，综合研究各种资料间的内在联系，及时编制各种图表。对原始资料应分类整理、编目、造册、存档备查；
- b) 必须十分重视资料的准确性和代表性。各种工作告一段落后，应及时提交相应的报告。报告的形式可根据具体情况确定。

6.5.2 勘查设计书编写提纲

编写设计前应现场踏勘，内容见附录 B

6.5.3 勘查报告编写提纲

勘查工作完毕后，应编写勘查报告，对浅层地热能资源条件进行评价，对换热系统方式提出建议，内容见附录 C。

7 浅层地热能资源计算评价

7.1 一般规定

7.1.1 浅层地热能资源评价应计算浅层地热能可利用量和储存量。

7.1.2 浅层地热能资源评价包括地热能资源量评价和地下水质量评价两部分。

7.1.3 区域浅层地热能评价的深度范围为：在恒温带以下至 200m 埋深以内。地源热泵工程浅层地热能评价的深度根据工程的需求而定。

7.1.4 浅层地热能资源一般利用温差在 5~15℃，地下水利用后的温度应在 0℃ 以上。在我国不同地区，可利用温差也不相同。本规程推荐：东北地区可用 5~6℃，华北地区可用 7~8℃，华东地区可用 8~9℃，华南地区可用 10~12℃。

7.2 评价原则

7.2.1 地下水地热能资源评价应在完整的地下水系统分析研究的基础上，以水文地质单元为基本计算单元进行；对于包气带地热能资源评价，应根据包气带岩性结构及组合综合进行岩性分区，并以岩性分区为基本计算单元进行评价。

7.2.2 应在系统分析包气带岩土工程地质条件和地下水水文地质条件、工程地质条件的基础上，研究热（或水热）的补给、运移和排泄规律，研究地热能成因、热传导方式以及地温场特征，建立地热能形成的概念模型，进而建立参数模型和数学模型。

7.2.3 计算模型应符合实际，所选择的计算方法和计算参数合理且符合各勘查阶段的要求，模型的建立和计算方法的采用，应随着勘查程度的提高进行修正和更新。

7.2.4 随着勘查程度的提高，可利用数值法建立浅层地热能的管理模型，提出浅层地热能的可开发利用方案和管理措施。

7.2.5 在浅层地热能资源量评价时，如涉及地下水，则应进行地下水质量评价。

7.3 地热能资源量评价

7.3.1 热流量法

根据大地热流计算浅层地热能可利用量，适用于区域浅层地热能资源评价。公式为：

$$Q_h = aqM \times 10^{-6} \quad (7-1)$$

式中：

Q_h ——浅层地热能可利用量，kW；

a ——浅层地热能可利用系数；

q ——大地热流值，mW/m²。

M ——计算面积，m²

浅层地热能可利用系数 a 为单位面积浅层地热能可利用量与大地热流值之比。该系数与当地的水文地质和地热地质条件有关，浅层地热能可利用系数应根据经开采验证的地源热泵工程中实测的单位面积提取利用的热流量与当地实测大地热流值的比值取得，可用于地热地质条件类似区域浅层地热能可利用量的评价。

计算得出的浅层地热能可利用量是在采暖期的利用热量，在一个水文年达到热均衡的条件下，该热量是可持续利用的。

大地热流值 q 应按照技术要求测定。

7.3.2 热储法

采用热储法计算评价地热能储存量。

在包气带和含水层中，热储法计算地热能储存量的表达式分别如下：

a) 在包气带中，其地热能储存量按下式计算：

$$Q_R = Q_S + Q_W + Q_A \quad (7-2)$$

式中：

Q_R ——地热能储存总量，kJ，(1kcal=4.1868kJ)；

Q_S ——岩土体中的热储存量，kJ；

Q_W ——岩土体所含水中的热储存量, kJ;
 Q_A ——岩土体中所含空气中的热储存量, kJ。
 其中:

$$Q_S = \rho_S C_S (1 - \phi) M d \Delta T \quad (7-3)$$

式中:

ρ_S ——岩土体密度, kg / m^3 ;
 C_S ——岩土体比热容, $\text{kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$;
 ϕ ——岩土体的孔隙率 (或裂隙率);
 M ——计算面积, m^2 ;
 d ——计算厚度, m;
 ΔT ——利用温差, $^\circ\text{C}$ 。

$$Q_W = \rho_W C_W \omega M d \Delta T \quad (7-4)$$

式中:

ρ_W ——水密度, kg / m^3 ;
 C_W ——水比热容, $\text{kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$;
 ω ——岩土体的含水量。

$$Q_A = \rho_A C_A (\phi - \omega) M d \Delta T \quad (7-5)$$

式中:

ρ_A ——空气密度, kg / m^3 ;
 C_A ——空气比热容, $\text{kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 。

b) 在含水层和相对隔水层中, 地热能储存量按下式计算:

$$Q_R = Q_S + Q_W \quad (7-6)$$

式中:

Q_R ——地热能储存总量, kJ;
 Q_S ——岩土体中的热储存量, kJ;
 Q_W ——岩土体所含水中的热储存量, kJ。

其中, Q_S 的计算公式同 (2) 式, Q_W 的计算公式如下:

$$Q_W = \rho_W C_W \phi M d \Delta T \quad (7-7)$$

d 为地下水面至计算下限的岩土体厚度, 包括需要计算的含水层和相对隔水层。

热储法不仅适用于松散岩层分布区的地热能储存量评价, 而且同样适用于基岩地区的地热能储存量评价, 故凡是条件具备的地区, 均应采用此方法评价地热能储存量。

7.3.3 热导率计算法

适用于取得实测热导率等参数后, 计算地埋管地源热泵工程的地热能可利用量。如果没有实测的热导率值, 则利用前人测定和公布的一些地区的热流值和地温梯度值进行计算, 得到计算区的综合热导率 λ 值 ($\text{W} / \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)。在以传导方式进行热传递和热交换达到稳定的条件下, 采用 U 形管进行热交换的单孔地热能可按以下公式近似计算:

$$D = \frac{\Delta T}{R} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{2\pi\lambda L} \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (7-8)$$

式中:

D——单孔地热能 (W);

ΔT ——温差 ($^{\circ}\text{C}$), 即为 U 形管内温度平均值与 r_2 处岩土体温度之差;

R——导热热阻 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$);

λ ——热导率 ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$);

L——单孔 U 形管有效热交换长度 (m), 若热交换孔钻 200m 深, 扣除浅表 10m 太阳能影响的深度, 则 U 形管的有效热交换长度为 190m;

r_2, r_1 ——分别为影响范围半径和 U 形管等效外半径, r_1 为 U 形管外半径的 $\sqrt{2}$ 倍。

上式中 $\Delta T, r_2, r_1$ 的值可根据地源热泵工程实例实测或经验获取, 这样就得到单孔地热能, 然后乘以区域可钻孔数, 钻孔一般按网格布置, 布孔间距根据经验确定, 若按常规 (平均) 情况以 $5\text{m}\times 5\text{m}$ 网格布置热交换孔, 则可钻孔数 = 有效面积 (有效面积为扣除建筑和道路等占地的评价区域面积, 一般情况不在建筑物覆盖和道路下钻孔) $\div 25\text{m}^2$, 即得评价区 (地源热泵工程区) 的总地热能 (W)。

7.3.4 地下水量折算法

适用于地下水地源热泵的地热能可利用量的计算, 计算公式如下:

$$Q_h = q_w \Delta T \rho_w C_w \times 1.16 \times 10^{-5} \quad (7-9)$$

式中:

Q_h ——地热能可利用量, kW;

q_w ——地下水循环利用量, m^3/d ;

ΔT ——地下水利用温差 ($^{\circ}\text{C}$)。

此方法对地下水地源热泵工程浅层地热能资源可利用量的计算结果是准确的。

7.3.5 水热均衡法

水热均衡法主要通过研究区的水、热均衡计算, 了解地下水的水、热储存量和水、热补排情况。

(1) 水均衡

$$q_{win} = q_{wout} + \Delta q_w \quad (7-10)$$

式中: q_{win} ——补给量, m^3/d

q_{wout} ——排泄量, m^3/d

Δq_w ——储存量的变化量, m^3/d

在包气带, 土壤水分的补给项有: 降水入渗量、灌溉入渗量等; 排泄项有: 植物蒸腾量、土面蒸发量、下渗补给地下水的量等。

地下水补给项有: 降水入渗量、灌溉入渗量、渠系入渗量、河流入渗量、侧向补给量、越流补给量等; 排泄项有: 潜水蒸发量、人工开采量、侧向排泄量、泉排泄量、河流排泄量、越流排泄量等。

(2) 热均衡

$$Q_{in} = Q_{out} + \Delta Q \quad (7-11)$$

式中: Q_{in} ——热收入量, kW;

Q_{out} ——热支出量, kW;

ΔQ ——热储存量的变化量, kW。

在包气带, 热的收入项有: 太阳照射热量、大地热流量、地表水 (泉) 向土壤散发的热量, 侧向传导流入的热量等; 支出项有: 向大气散发的热量、向地表水 (泉) 散发的热量、侧向传导流出的热量等。

在地下水中, 热的收入项有: 太阳照射热量、大地热流量、水补给带来的热量、侧向传导流入的热量等; 支出项有: 向大气散发的热量、水排泄带走的热量、侧向传导流出的热量等。

这种方法需要有长期动态监测数据的支撑, 适用于评价地热能资源可利用量的保证程度。在调查评价时, 须注意查明各均衡项情况。恒温带以下, 热收入项中没有太阳照射热量。

7.3.6 类比法

利用已知地区的地热能热资源量来推算地热地质、水文地质条件相似的未知地区的地热能源量。此方法适用于浅层地热能可利用量和储存量的估算。

7.3.7 数值法

数值法适用于地源热泵工程取得了实测的热物理参数和水文地质参数后应用，既适用于地热能资源储存量的计算，也适用于地热能资源可利用量的计算。这种方法需要有长期动态监测数据的支撑。本规程所列数值法中能量平衡方程的一种形式见附录 D，此能量平衡方程还应与水量平衡方程耦合求解。

7.4 地下水质量评价

7.4.1 地下水质量评价的目的是在查明地下水的物理性质、化学成分及其变化规律的基础上，结合地下水地源热泵利用技术，根据我国现行的有关标准进行评价。

7.4.2 地下水水质可参照《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)进行评价。

7.4.3 工业用水评价，应根据地下水的品质特性结合不同工业对水质的要求做出评价。如水源热泵用地下水水质的基本要求是：澄清、水质稳定、不腐蚀、不滋生微生物或生物、不结垢、不阻塞等。地下水对水源热泵机组的有害成分有：铁、锰、钙、镁、二氧化碳、溶解氧、氯离子、酸碱度等。水源热泵用地下水水质参考标准如表 1 所示。

表 1 地下水地源热泵水质要求

序号	项目名称	允许值	序号	项目名称	允许值
1	含砂量	<1/20万 [¶]	9	CaO	<200mg/L [¶]
2	浊度	≤20NTU [§]	10	SO ₄ ²⁻	<200mg/L [¶]
3	PH值	6.5 ~ 8.5 [¶]	11	SiO ₂	≤50mg/L [§]
4	硬度	≤200mg/L [§]	12	Cu ²⁺	≤0.2mg/L [§]
5	总碱度	≤500mg/L [§]	13	矿化度	<3g/L [¶]
6	Fe ²⁺	<1mg/L [¶]	14	油污	<5mg/L [§]
7	Cl ⁻	<100mg/L [¶]	15	游离CO ₂	<10mg/L [§]
8	游离氯	0.5 ~ 1.0mg/L [§]	16	H ₂ S	<0.5mg/L [¶]

注：[¶] 引自《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019)；

[§] 引自赵峰、邵林广、文远高. 2005. 水源热泵空调系统的水质处理技术. 工业安全与环保, 31(12): 15-17.

在此文中矿化度≤500mg/L。

7.4.4 腐蚀评价

应对地下水中由于 C1⁻、SO₄²⁻、CO₃²⁻等的存在导致对金属(如铜)和碳钢的腐蚀性作出评价。另外，地下水对管线和设施的腐蚀影响，一般应在工程中，通过试验(最基本的试验是挂片试验)作出评价，确定不同材料的腐蚀率。可参照工业上用腐蚀系数来衡量地下水的腐蚀性，具体评价方法如下：

若腐蚀系数 $K_k > 0$ ，称为腐蚀性水；

腐蚀系数 $K_k < 0$ ，并且 $K_k + 0.0503 Ca^{2+} > 0$ ，称为半腐蚀性水；

腐蚀系数 $K_k < 0$ ，并且 $K_k + 0.0503 Ca^{2+} < 0$ ，称为非腐蚀性水；

腐蚀性系数的计算：

对酸性水 $K_k = 1.008 (rH^+ + rAl^{3+} + rFe^{2+} + rMg^{2+} - rHCO_3^- - rCO_3^{2-})$ ；

对碱性水 $K_k = 1.008 (rMg^{2+} - rHCO_3^-)$ ；

式中 r 是表示离子含量的每升毫克当量(毫摩尔)数。

7.4.5 结垢评价

地下水中的钙盐是造成空调系统结垢的主要成分。对地热流体中所含钙、镁和铁等组分产生结垢的

可能性作出评价,评述结垢程度。对结垢较严重的地下水,在工程中还应做防垢试验,提出较为经济合理的解决办法。可参照工业用锅垢总量来衡量地下水的结垢性,具体评价方法如下:

- 若锅垢总量 $H_0 < 125$, 称为锅垢很少的地下水;
- 锅垢总量 $H_0 = 125 \sim 250$, 称为锅垢少的地下水;
- 锅垢总量 $H_0 = 250 \sim 500$, 称为锅垢多的地下水;
- 锅垢总量 $H_0 \geq 500$, 称为锅垢很多的地下水。

锅垢总量的计算:

$$H_0 = S + C + 36 r Fe^{2+} + 17 r Al^{3+} + 20 r Mg^{2+} + 59 r Ca^{2+}$$

式中:

- S--地热流体中的悬浮物含量 (mg/L);
- C--胶体含量 $C = SiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3$ (mg/L);
- r--表示离子含量的每升毫克当量数。

对氯离子含量高(超过 25% 摩尔当量)的地下水,可采用拉申指数(LARSON)判断碳酸钙的结垢趋势。拉申指数“ L_i ”按下式计算:

$$L_i = \frac{Cl + SO_4}{ALK} \quad (7-12)$$

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 (mg/L) 表示。
- 当 $L_i > 0.5$, 不结垢;
- $L_i < 0.5$, 可能结垢。

8 浅层地热能利用环境评价

浅层地热能是一种清洁能源。应在查明浅层地热能资源的基础上,根据所选用的开采利用方案进行环境影响评价。

8.1 一般规定

8.1.1 地源热泵浅层地热能勘查应对地源热泵工程进行环境影响评价。

8.1.2 浅层地热能利用环境影响评价的基本任务是评价和预测地源热泵工程可能造成的环境正、负效应。

8.1.3 应提出促进环境改善、防止环境地质问题的对策,保护环境,为建设项目选址决策、工程设计和地质环境的管理提供科学依据。

8.1.4 浅层地热能利用环境影响评价应与地源热泵工程开发方式对应。

8.1.5 浅层地热能利用环境影响评价的范围以能够满足保护地质环境的需要为原则,应依据地源热泵工程的性质、工程规模、布局、生产工艺并结合当地环境、地质条件等因素综合分析确定。

8.1.6 浅层地热能利用不致引发地质灾害为环境影响评价基准。

8.2 浅层地热能开发环境影响评价内容

8.2.1 浅层地热能开发环境影响评价的内容应根据目的、任务和所需要解决的实际问题确定。

8.2.2 地质环境及工程性质等相关资料的搜集。

8.2.3 浅层地热能开发环境影响评价范围内地质环境现状调查。

8.2.4 浅层地热能开发对环境地质的影响评价应包括下列内容:

- a) 对浅层地热能利用所产生的大气环境效益进行评价。
- b) 以地下水换热系统为主开发浅层地热能的过程中应考虑对浅层地下水资源量的影响、排放流体中某些化学成分对地下水环境的影响、可能产生的地面沉降、岩溶塌陷和地裂缝等。
- c) 以地埋管换热系统为主开发浅层地热能的过程中应考虑循环水泄漏对地下水质的影响。
- d) 浅层地热能开发对浅层地温场的影响。

8.2.5 提出防止浅层地热能开发环境影响的措施。

8.3 浅层地热能开发环境影响评价的工作程序

8.3.1 收集整理历史资料, 建立环境影响评价指标体系。

8.3.2 根据浅层地热能相关流体的性质、质量、温度及储存空间按工程要求对流体环境进行评价。

8.3.3 设立长期观测站, 采集现有水质、水位及温度等系统资料。

8.3.4 分阶段进行环境影响评价。

8.3.5 建立环境预测模型及获取模型相关参数。

8.3.6 利用历史资料及本身的观测资料校正模型。

8.4 浅层地热能利用环境影响评价

8.4.1 大气环境影响评价应对工程对减少大气污染、清洁环境的效应, 包括: 减少排放燃烧产物的估算, 如二氧化硫的排放量、氮氧化物排放量、二氧化碳排放量、煤尘排放量等, 做出评价。

8.4.2 地下水环境影响评价应依据地源热泵工程有关水质指标, 对地下水质量现状做出评价。回灌到原含水层中的水质不应有明显的变化。

8.4.3 地质环境影响评价应针对地源热泵工程能否产生地面沉降、岩溶塌陷和地裂缝等地质环境问题做出评价。

8.4.4 工程造成的热污染评价应按在一个水文年内取热层保持地温平衡为原则进行评价, 回灌水的温度不宜大于 25°C 。不影响相邻地区浅层地热开发。

8.4.5 放射性污染评价可参照《放射性保护规定》(GBJ8) 进行。

8.4.6 其它环境影响评价可包括: 地源热泵工程是否引起的原有地质景观的变化, 等。

8.5 浅层地热能开发对地质环境影响预测。

8.5.1 浅层地热能开发对地质环境影响预测任务是根据地质环境现状调查、评价基础上, 对大气环境、地下水环境和地质环境影响程度和范围进行预测, 为浅层地热能开发提供科学依据。

8.5.2 预测方法的选择: 在资料齐全, 参数、数据可靠的条件下进行定量预测宜采用数学模型法; 解决个别特定问题可选择物理模型法; 在勘查程度较低, 无法取得足够参数和数据而只能进行半定量或定性评价的预测时宜采用类比调查法; 对于尚无实用预测方法定量评价的环境因子, 且没有条件进行类比调查时可采用专业判断法。

9 浅层地热能利用经济评价

9.1 地源热泵工程投资估算

9.1.1 主要工程量

浅层地热能开发的具体工程量包括机房设备系统、室外换热系统和室内空调末端系统三部分组成。其中:

a) 机房设备系统包括地源热泵机组、电器自动控制装置、循环泵组、全自动定压仪、软化水与补水系统装置和机房附属设备、管线、阀门等及安装。

b) 室外换热系统安装包括凿井、换热管安装和换热地到机房地面联络管线等及安装。

c) 室内空调末端系统包括室内管道、风道、风机盘管等及安装。

9.1.2 供暖面积计算:

$$S = Q_{\text{供}} / q_{\text{需}} \cdot \eta \quad (9-1)$$

其中:

S—供暖面积(m^2)

$Q_{供}$ —设计场地区可供热量 (w);

$q_{需}$ —建筑物单位面积需热量(w/m^2)

η —换热器产热率 (%)

9.1.3 投资估算：投资主要包括土建工程费用、泵房设备费、凿井费用、前期论证费（设计费、监理费等）、不可预见费等。其中：

a) 土建工程费，根据国家或当地工程勘查和建设取费标准以及埋管长度、方式等计算。

b) 设备费，根据工程设计方案，进行设备选型与配套，按选择的设备型号、数量等进行计费。

c) 凿井费，根据国家或当地凿井取费标准计算。

d) 前期论证费，根据工程规模，可参考国家或当地取费标准计算。

9.2 运行费用估算

9.2.1 计算维持系统正常运行所需的各项费用。

9.2.2 计算理论运行费用。

理论总耗电量 = 建筑物理论上消耗的总热能/COP 系数。根据工程运行经验，COP 系数通常取 3.5—4.4。

9.2.3 冬季采暖时间按当地采暖期计算。

9.2.4 冬季供暖与夏季制冷实际运行费用计算

a) 实际运行费 = (实际消耗电量 × 单位电费) + 其它实际费用

b) 实际消耗电量包括循环泵耗电量、水源热泵耗电量、补水泵耗电量、潜水泵耗电量等。

c) 其它实际费用包括设备折旧费、维修费、大修费、人工费、管理费等。

9.3 经济效益评估

9.3.1 收入计算：根据建筑面积计算出供暖与供冷面积。采暖费和供冷费按当地取费标准计算，计算出每年应收取的总采暖费用和总供冷费用。

9.3.2 效益评估：根据工程项目初投资和年总成本费、年经营成本，采用现金流量表法计算出静态和动态投资回收期。同时，还应计算出投资项目的财务内部收益率、财务净现值与净现值率等经济性参数。全面评估工程项目的投资收益。

9.3.3 效益对比：根据当地油、气、煤等价格，分别估算燃气锅炉供暖、燃煤锅炉供暖和燃油锅炉供暖的初投资和年运行成本，并与地源热泵供暖与供冷的总成本进行效益对比。也可对比电动驱动、燃气驱动、柴油机驱动热泵的总成本和对比采用电锅炉、油锅炉、燃气锅炉和煤锅炉作为辅助锅炉的总成本。

附录 A
(资料性附录)

空气、水和几种常见岩石的比热、密度、热导率和热扩散率

岩石名称	比热 (J/kg℃)	密度 (kg/m ³)	热导率 (w/m℃)	热扩散率 (m ² /d)
花岗岩	794	2700	2.721	0.110
石灰岩	920	2700	2.010	0.070
砂岩	878	2600	2.596	0.098
湿页岩 ^ζ			1.4 ~ 2.4	0.065 ~ 0.084
干页岩 ^ζ			0.64 ~ 0.86	0.055 ~ 0.074
钙质砂(含水率 43%)	2215	1670	0.712	0.017
干石英砂(中-细粒)	794	1650	0.264	0.017
石英砂(含水率 8.3%)	1003	1750	0.586	0.029
砂质粘土(含水率 15%)	1379	1780	0.921	0.032
砂(砂砾石)*			0.77	0.039
粉砂*			1.67	0.050
亚粘土*			0.91	0.042
粘土*			1.11	0.046
砂(饱水)*			2.50	0.079
空气(常压)	1003	1.29	0.023	1.536
冰	2048	920	2.219	0.102
水(平均)	4180	1000	0.599	0.012
回填膨润土(含有 20%~30%的固体) ^ζ			0.73 ~ 0.75	
回填混合物(含有 20%膨润土、80%石英砂) ^ζ			1.47 ~ 1.64	
回填混合物(含有 15%膨润土、85%石英砂) ^ζ			1.00 ~ 1.10	
回填混合物(含有 10%膨润土、90%石英砂) ^ζ			2.08 ~ 2.42	
回填混合物(含有 30%膨润土、70%石英砂) ^ζ			2.08 ~ 2.42	

注：*引自 Ian Gale. 2004. Ground source heat pumps: development of GeoReports for potential site characterization, issue 1.2. British Geological Survey, Commissioned Report, CR/05/217N. 24pp.

^ζ引自《地源热泵系统工程技术规范》(GB 50366-2005)
其它数据引自《地热资源地质勘查规范》(GB11615-89)

附录 B
(资料性附录)
浅层地热能勘查设计书提纲

- 1 前言
 - 1.1 简述工程概况、项目来源、任务、工作起止时间及有关要求
 - 1.2 工作区地理位置、行政区划、自然地理、气候、交通等(附工作区交通位置图)
- 2 工程场地浅层地热能概况
 - 2.1 简述场地以往区域地质-水文地质等工作程度,并对其主要成果和存在问题予以评述
 - 2.2 简述场地及其周边浅层地热能利用现状
- 3 浅层地热能勘查及技术要求
 - 3.1 勘查及质量要求
 - 3.2 试样采取及送样
- 4 预期提交的成果
- 5 人员编制和管理
- 6 实物工作量(附勘探孔布置图)
- 7 经费预算

附录 C
(资料性附录)
浅层地热能勘查报告编写提纲

序言

说明任务的来源及要求，简要评述勘查区以往水文地质工作的程度及浅层地热能开发利用的现状
及简述勘查工作的进程以及完成的工作量。

1. 自然地理及地质概况

1.1 概述勘查区的地形和地貌条件

1.2 简述气象和水文特征

1.3 叙述地层的分布及特征

2. 水文地质条件

2.1 叙述含水层(带)的空间分布及其水文地质特征

2.2 阐述地下水的补给、径流、排泄条件及其动态变化规律

2.3 叙述地下水的水质

3. 勘查工作

结合浅层地热能评价方法的需要，论述勘查工作的主要内容及其布置，提出本次勘察工作的主要
成果。

4. 浅层地热能评价

4.1 论述浅层地热能利用量计算的依据，正确计算浅层地热能

4.2 根据保护资源、合理开发的原则，提出相应的利用方式，论证其保证程度，并预测其可能的
变化趋势

5. 结论和建议

5.1 提出拟建换热系统的方式

5.2 评价浅层地热能的资源条件

5.3 建议系统利用方案

5.4 指出在施工中和运行后应注意的事项

5.5 建议地下水动态观测网点的设置及要求

5.6 指出本次工作的不足和存在的问题

主要附件

1) 勘查工作平面布置图

2) 水文地质图及其剖面图

3) 勘探孔柱状图、测井图、抽水试验综合图

4) 水质分析成果表

5) 地下水动态观测图表

注：编写报告时，应根据工程的不同要求、需水量的大小、场地地质-水文地质条件的复杂程度，
对本提纲的内容进行合理的增、删。论述应突出资源评价，言简意赅。文字与图表相互呼应。

附录 D
(资料性附录)
数值法

1 热传导模型公式

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z}) + Q = \rho_{s+w} C_{s+w} \frac{\partial T}{\partial t}$$

式中:

K_{xx} 、 K_{yy} 、 K_{zz} ——分别为 x 、 y 、 z 方向的热导率;

T 、 t ——分别为温度和时间;

ρ_{s+w} 、 C_{s+w} ——分别为岩土体与水的联合密度和联合比热;

Q ——汇源项。

2 热对流与传导模型公式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z}) - \rho_w C_w \frac{\partial}{\partial x}[(V_x + u_x)T] \\ & - \rho_w C_w \frac{\partial}{\partial y}[(V_y + u_y)T] - \rho_w C_w \frac{\partial}{\partial z}[(V_z + u_z)T] + Q = \rho_{s+w} C_{s+w} \frac{\partial T}{\partial t} \end{aligned}$$

式中:

V_x 、 V_y 、 V_z ——分别为流体沿 x 、 y 、 z 方向的 Darcy 速度;

u_x 、 u_y 、 u_z ——分别为自由对流沿 x 、 y 、 z 方向的速度, 当由温度差异引起的纯自由对流很微弱时可以忽略。

3 边界条件

$$T(t)|_{x,y,z \in \Gamma_1} = T(x, y, z, t)$$

$$K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \cos(n, x) + K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} \cos(n, y) + K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} \cos(n, z)|_{x,y,z \in \Gamma_2} = Q(x, y, z, t)$$

式中:

$T(x, y, z, t)$ ——第一类边界的温度函数;

$Q(x, y, z, t)$ ——第二类边界的热流函数;

$\cos(n, x)$ 、 $\cos(n, y)$ 、 $\cos(n, z)$ ——分别为边界外法线 n 方向与 x 、 y 、 z 方向的夹角余弦。

附录 E
(资料性附录)
大地热流值的确定方法

一、大地热流的定义

单位时间内流经单位面积的热量流称为热流密度(q),也叫大地热流。大地热流是地球内热在地表最为直接的显示,同时又是能反映发生于地球深处的各种作用过程同能量平衡的宝贵信息。因此,在某种意义上也可以说,大地热流是在地球表面“窥测”地球内热的一个窗口。大地热流简称热流,系指地球内热以传导方式传输至地表,尔后散发到太空去的热量。在数值上,热流等于岩层热导率与垂向地温梯度的乘积,即:

$$q = -K \frac{dT}{dZ} \quad (1)$$

式中, K 为岩石热导率; $\frac{dT}{dZ}$ 为地温梯度; q 为热流(单位为: mW/m^2)。

大地热流是一个综合性参数,比其它地热参数(如温度、地温梯度)更能确切地反映一个地区地热场的特征。热流的测定和分析属地热研究的一个基础工作,它对地壳的活动性、地壳与上地幔的热结构及其与某些地球物理场关系等理论问题的研究和对区域热状况的评定、矿山深部地温的预测、以及对地区地热资源潜力的评定、油气生成能力的分析等实际问题的研究都有重要的意义。陆地热流测试一般是在钻井中测量地温和采集相应层段的岩样,然后分别确定其地温梯度和在实验室测定岩层热导率,有了这两个参数可以获得热流值。海上热流的测试则主要根据热流探针来得到。但在实际工作中,要得到可信的热流数据并不容易。首先,在钻孔中所测温度必须是稳态的,因为钻探过程中,钻井温度场受到很大的干扰,只有在停钻、井液循环终止相当长的时间之后,井温与围岩温度达到平衡,这时所得资料才是可靠的;在地下水活动强烈的地区和层段,因受水热对流的影响,所得结果不能反映地球内部传导热流。再次,需要有相当数量的岩芯标本,足以代表钻井或某一研究岩层的热导率。此外,山区地形的急剧起伏,近期内的古气候变化,以及近代的快速沉积或剥蚀,对浅部地温场均可有影响,需对浅孔的测温结果作校正。

二、实测大地热流值

钻孔热流值的计算必须具备地温梯度和相应深度的岩石热导率测量值。在大地热流研究中,把具有系统稳态测温数据和相应层段岩石热导率实测值的井段所得到的大地热流值称为实测大地热流值。它是研究和分析一个地区大地热流分布特征的基础。实测大地热流值必须同时给出热流点的位置、深度范围、地温梯度、岩石热导率和偏差。

在实测大地热流的计算中,地温梯度可由特定深度区间范围的温度-深度确定,岩石热导率(K)可由实验室测量得到。热流值的标准偏差(σ_q)由下式计算:

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{n \sum (q_i - \bar{q})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum (q_i - \bar{q})^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中 q_i 为各点或各井段的热流值; \bar{q} 为算术平均值, n 为热流测点数。

对于一维、稳态的传导热流,也可用下式进行计算:

$$T = T_0 + q \sum \frac{\Delta D_i}{K_i} \quad (3)$$

利用测温资料, 取样深度和样品代表厚度以及岩层热导率值经过整理, 对一系列的 T 和 $\sum \frac{\Delta D_i}{K_i}$ 数据进行回归, 便可求得热流值。该方法主要适用于岩石产状平缓的地区, 其优点是每一组温度-热导率数据可直接与待求的热流值相关, 容易发现一些系统的变化, 从而能找出原因, 获得比较接近实际的热流值。

三、估算大地热流值

在实际研究中, 要获取一个大地热流值是比较困难的。为了分析一个盆地的热流分布特征, 还要借助估算大地热流值。所谓“估算大地热流值”, 就是在缺乏系统测温数据或岩石热导率数据情况下所计算得到的热流值。在实际钻孔的研究中可能存在以下几种情况, 在这些情况下计算得到的热流值都归属于“估算热流值”的范畴:

- (1) 具有系统稳态测温数据但没有实测岩石热导率数据, 借用了临井的热导率值进行热流计算;
- (2) 具有实测岩石热导率值但没有系统稳态测温数据, 借用临井或临区的地温梯度进行热流计算;
- (3) 盆地中一些井有时具有系统测温数据, 但并非稳态的数据。虽然具有实测岩石热导率数据, 但得到的热流也不能称为实测大地热流值。

盆地中由于有大量的测温数据, 往往能得到大批估算的热流值。但在实际研究中必须注意的是, 分析一个地区或盆地的区域热流分布特征时, 必须以实测大地热流值为基础, 估算的热流值在进行误差分析或校正后, 才可以作为热流分布特征分析的参数。

附录 F
(规范性附录)
本规范用词说明

E.1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

E.1.1 表示要准确地符合标准而应严格遵守的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”。

E.1.2 表示在几种可能性中推荐特别适合的一种，不提及也不排除其他可能性，或表示某个行动步骤是首选的但未必是所要求的，或（以否定形式）表示不赞成但也不禁止某种可能性或行动步骤的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

E.1.3 表示在标准的界线内所允许的行動步骤的用词：

正面词采用“可”；反面词采用“不必”。

E.1.4 表示在某种原因导致的可能和能够的用词：

正面词采用“能”；反面词采用“不能”。

规范中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……规定”或“应按……执行”。