



中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0225—2009

浅层地热能勘查评价规范

Specification for shallow geothermal energy investigation and evaluation

2009-07-29 发布

2009-07-31 实施



中华人民共和国国土资源部 发布

中华人民共和国地质矿产
行 业 标 准
浅层地热能勘查评价规范
DZ/T 0225—2009

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址: www.spc.net.cn

电话: 68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 38 千字
2009年9月第一版 2009年9月第一次印刷

*

书号: 155066·2-19883 定价 27.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010)68533533



DZ/T 0225-2009

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 区域浅层地热能调查	3
6 场地浅层地热能勘查	5
7 浅层地热能开发利用评价	7
附录 A (资料性附录) 计算方法	9
附录 B (资料性附录) 岩土热物性参数	13
附录 C (规范性附录) 勘查设计编写要求	14
附录 D (规范性附录) 勘查报告编写要求	15
附录 E (资料性附录) 数值模型	16
附录 F (资料性附录) 大地热流确定方法	17
附录 G (资料性附录) 地源热泵水质要求	18

前 言

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

本标准由国土资源部地质环境司提出。

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：中国地质调查局水文地质环境地质部、北京市地质勘察技术院、中国地质调查局浅层地温能研究与推广中心、中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、中国地科院水文地质环境地质研究所、中国地质调查局天津地质调查中心、中国地质环境监测院。

本标准主要起草人：韩再生、冉伟彦、佟红兵、徐光辉、李文伟、刘清晓、于潏、李宁波、杨俊伟、杨旭东、刘志明、王贵玲、孙晓明、殷秀兰、林良俊。

引 言

浅层地热能是地热资源的组成部分。为规范浅层地热能的勘查与评价,合理利用和科学管理浅层地热能资源,特制定本标准。

标准编制中总结了当前浅层地热能勘查评价和开发利用的实践经验,吸收了国内外行之有效的技术和方法。在广泛听取了各方面的意见和建议的基础上,经过反复讨论、修改与完善,编制完成了本标准。

浅层地热能勘查评价规范

1 范围

本标准规定了浅层地热能勘查评价的任务、基本内容、区域浅层地热能调查和场地浅层地热能勘查方法、浅层地热能开发利用评价、勘查资料整理和报告编写等基本内容。

本标准给出了浅层地热能勘查设计书编制、工作布置、浅层地热能计算、报告编写、审批以及浅层地热能利用和管理的依据。

本标准适用于区域浅层地热能调查和场地浅层地热能勘查。

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规范的条款。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 3838 地表水环境质量标准

GB 11615 地热资源地质勘查规范

GB/T 14848 地下水质量标准

GB 50021—2001 岩土工程勘察规范

GB 50027—2001 供水水文地质勘察规范

GB/T 50123—1999 土工试验方法标准

GB 50366—2005 地源热泵系统工程技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

浅层地热能 shallow geothermal energy

蕴藏在地表以下一定深度范围内岩土体、地下水和地表水中具有开发利用价值的热能。

注:是指通过地源热泵换热技术利用的蕴藏在地表以下 200 m 以内,温度低于 25 ℃ 的热能。

3.2

浅层地热容量 shallow geothermal capacity

在浅层岩土体、地下水和地表水中储藏的单位温差热量。

3.3

浅层地热换热功率 heat exchanger power

从浅层岩土体、地下水和地表水中单位时间内交换的热量。

3.4

地下水循环利用量 recycle groundwater circulation

从含水层中抽取利用后,完全回灌到原含水层中的地下水量。

3.5

恒温带 constant temperature layer

地面以下温度常年保持不变的地带。在自然状态下,该层热能受太阳能和大地热流的综合作用,地球内热形成的增温带与上层变温带影响达到平衡,该层温度与当地年平均气温大致相当。

3.6

地源热泵系统 ground-source heat pump system

以岩土体、地下水和地表水为低温热源,由水源热泵机组、浅层地热能换热系统、建筑物内系统组成的空调系统。

3.7

地埋管换热系统 pipe heat exchanger system

传热介质(通常为水或者是加入防冻剂的水)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。

3.8

地下水换热系统 groundwater heat exchanger system

通过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。

3.9

地表水换热系统 surface water heat exchanger system

通过地表水进行热交换的地热能交换系统,分为开式地表水换热系统和闭式地表水换热系统。

3.10

回灌试验 reinjection test

向井中连续注水,并记录水位、水量的变化来测定含水层渗透性和水文地质参数的试验。

3.11

现场热响应试验 in-situ thermal conductivity test; in-situ heat transfer experiments

利用地埋管换热系统采用人工冷(热)源向岩土体中连续加热(冷)并记录传热介质的温度变化和循环量来测定岩土体热传导性能的试验。

3.12

热物性测试 thermophysical properties test

采用人工或天然热源对岩土体样品的热物理参数进行的测试。

3.13

大地热流值 ground heat flux

大地热流是地球内热以传导方式传输至地表的热量,在单位时间内通过单位面积的大地热流为大地热流值。

3.14

容积法 volumetric assessment method

根据地质体的体积进行热容量计算的方法。

3.15

热均衡评价 geothermal balanced evaluation

对在一定时间内浅层岩土体、地下水和地表水中的热能补给量、热能排泄量和储存热量进行的均衡评价。

4 总则

4.1 浅层地热能勘查是对地表以下一定深度范围内岩土体、地下水和地表水中蕴藏的热能进行的地质勘查。本规范是对 GB 11615 的必要补充。

4.2 浅层地热能评价的目的是为合理开发、可持续利用浅层地热能提供地质资料,减少开发风险,取得最大的社会、经济和环境效益。

4.3 浅层地热能勘查的主要任务是采用综合勘查方法,查明浅层地热能地质条件,确定可开发利用的地区及合理利用量,进行浅层地热能开发利用的环境影响预测、经济成本评估,提出可持续开发利用的方案建议。

4.4 浅层地热能勘查分为区域浅层地热能调查和场地浅层地热能勘查两类。

5 区域浅层地热能调查

5.1 通则

5.1.1 区域浅层地热能调查的目的是为浅层地热能开发利用规划和布局提供依据,主要任务是查明开发利用规划区域浅层地热能条件、分布规律,进行适宜性分区和区域浅层地热能评价,为地源热泵工程进行预可行性评价。

5.1.2 区域浅层地热能调查应在充分收集区域地质、水文地质资料的基础上进行,根据实际需要补充适当的地质、水文地质野外调查,在调查区布置钻探、取样测试,开展地温测量、现场热响应试验、抽水试验、回灌试验等专项调查和试验工作。

5.1.3 区域浅层地热能调查设计应在充分论证的基础上编写。设计的主要内容应包括:目的、任务、区域地质研究程度、浅层地热能开发利用现状及存在的主要问题、技术路线、工作布置、实施方案、预期成果、经费预算等。

5.1.4 区域浅层地热能评价内容应包括,划分换热方式适宜区;分区计算换热功率、浅层地热容量;论证采暖期取热量和制冷期排热量的保证程度,进行浅层地热能热均衡评价,并进行浅层地热能开发利用环境影响预测。

5.2 地质调查

5.2.1 收集水文、气象、地质、水文地质、地热地质资料及浅层地热能开发利用成果,并进行分析、整理。

5.2.2 地质、水文地质调查应根据孔隙型、裂隙型和岩溶型含水层的特征确定具体调查内容,调查精度应达到1:200 000~1:50 000的比例尺要求。

5.2.3 调查深度宜控制在地表以下200 m深度内。调查内容应包括:岩土层岩性结构、含水层分布及埋藏条件,地下水水位、水温、水质及动态变化,岩土体的热物理性质参数(热导率和比热容)及岩土体的物理性质参数(孔隙率、含水率、密度),地温场自然分布特征及热响应规律。

5.3 适宜性分区

5.3.1 根据区域地质条件、换热方式及建设成本,进行适宜性分区,宜分为:适宜区、较适宜区和不适宜区。

5.3.2 对于地埋管换热方式,浅层地热能适宜性分区主要考虑岩土体特性、地下水的分布和渗流情况、地下空间利用等因素。竖直地埋管换热系统适宜性分区主要指标见表1。

表1 (竖直)地埋管换热适宜性分区

分 区	分区指标(地表以下200 m范围内)			综合评判标准
	第四系厚度/ m	卵石层总厚度/ m	含水层总厚度/ m	
适宜区	>100	<5	>30	三项指标均应满足
较适宜区	<30 或 50~100	5~10	10~30	不符合适宜区和不适宜区分区条件
不适宜区	30~50	>10	<10	至少二项指标应符合

5.3.3 对于地下水换热方式,浅层地热能适宜性分区主要考虑含水层岩性、分布、埋深、厚度、富水性、渗透性,地下水温、水质、水位动态变化,水源地保护、地质灾害等因素。主要指标见表2。

表 2 地下水换热方式适宜性分区

分 区	单项指标				综合评判标准
	单位涌水量/ [m ³ /(d.m)]	单位回灌量 单位涌水量	地下水位 年下降量/ m	特殊地区	
适宜区	>500	>80%	<0.8	—	三项指标均符合
较适宜区	300~500	50%~80%	0.8~1.5	—	除适宜区和不适宜区以外的其他地区
不适宜区	<300	<50%	>1.5	重要水源地 保护区、地面沉 降严重区	任一项指标符合

5.3.4 地表水换热方式适宜性分区主要考虑的因素如下:水温、水质、流量、水位及其动态变化、湖泊和水库的容积、深度、面积及其动态变化,地表水目前的用途和水源保护要求。

5.4 勘查孔取样、测试及现场热响应试验

5.4.1 取样、测试及现场热响应试验应在地埋管换热适宜区和较适宜区内进行,目的是通过野外和室内热物性测试查明岩土体的热物理参数。

5.4.2 每 100 km² 调查区应不少于 3 个勘查孔,每个勘查孔分别进行现场采样及热响应试验。

5.4.3 勘查孔取样及测试要求:

- a) 岩土层单层厚度大于 1 m 的,每层应取代表性的原状土样(砂、砾石层除外)。
- b) 勘查孔施工按 GB 50021—2001 中 8.2 的规定执行。
- c) 岩土试样测试分析按 GB/T 50123—1999 的规定执行。

5.4.4 现场热响应试验要求:

- a) 在已钻好的勘查孔中埋设换热管并按设计要求回填。现场热响应试验应在测试埋管安装完毕至少 48 h 后进行;
- b) 现场热响应试验时,应进行两次不同负荷的试验。当测试孔深度在 80 m~100 m 时,大负荷宜采用 6 kW~10 kW,小负荷宜采用 3 kW~5 kW;
- c) 现场热响应试验首先做无负荷的循环测试,获取地层初始平均温度。温度稳定(变化幅度小于 0.5 ℃)后,观测时间不少于 24 h;
- d) 在获取初始平均温度后,开始对回路中的传热介质加热(冷)负荷。测试过程中热(冷)负荷和流量应基本保持恒定(波动范围在±5%以内),管内传热介质流速不应低于 0.2 m/s,实时记录回路中传热介质的流量和进出口温度。温度稳定(变化幅度小于 1 ℃)后,观测时间不少于 24 h;
- e) 每次加热(冷)负荷停止后,应继续观测回路的进出口温度,至温度稳定(变化幅度小于 0.5 ℃)为止,观测时间不少于 12 h;
- f) 应对现场测试资料进行综合分析,剔除因试验条件如气温等变化造成的异常数据;
- g) 可在勘查孔周围布置地温观测孔,根据测试数据计算地埋管换热孔合理间距;
- h) 现场热响应试验的仪器设备应定期(每年不少于一次)进行检验和标定。

5.5 抽水及回灌试验

5.5.1 抽水及回灌试验的目的是确定一定区域内地下水循环利用量和抽水井、回灌井的数量和布局。

5.5.2 抽水回灌试验应在地下水换热适宜区和较适宜区内进行,每 100 km² 应不少于 3 处。试验井的位置应具有代表性,试验井可为条件适宜的水井、已建或新建的换热井,不具备上述条件的应专门施工勘查井。

5.5.3 抽水试验按 GB 50027—2001 第 6 章的要求。根据抽水试验数据,分析确定合理的抽水量和井间距。

5.5.4 回灌试验应符合以下要求:

- a) 回灌试验宜采用定流量试验方法。试验前应测量静水位,试验时连续测量动水位,试验停止后,测量恢复水位直到初始状态。水位的观测在同一试验中应采用同一方法和工具,测量精度应读数到厘米。回灌量的测量,采用水表计量时,应读数到 0.1 m^3 ;用堰箱测量时,水面高度应读数到毫米;
- b) 回灌试验时,回灌井水位的稳定时间应不小于 24 h,在稳定期间内,扣除试验前水位日变幅值后的水位波动范围应在 $\pm 10\text{ cm}$ 以内;
- c) 回灌水水质应不低于回灌含水层地下水的水质,含砂量不大于 $1/20\ 000$ (体积比);
- d) 回灌试验结束后,应对井内沉淀物进行处理;
- e) 根据抽水和回灌试验数据,确定灌采比(在抽水水位下降值和回灌水位上升值相同时的回灌水量和抽水水量的比值)以及分析回灌井影响半径。

5.6 区域浅层地热能评价

5.6.1 区域浅层地热能评价的内容包括计算换热功率、浅层地热容量,采暖期取热量和制冷期排热量及其保证程度评价。

5.6.2 计算面积应结合当地的土地利用规划确定,并扣除不宜建设浅层地热能换热系统的面积。

5.6.3 用体积法计算浅层地热容量,计算深度可根据当地浅层地热能利用深度确定,宜为地表以下 200 m 深度以内。在计算浅层地热容量的基础上,可根据当地可利用温差,计算可利用的储藏热量。计算参数可参照附录 B。

5.6.4 应在适宜性分区的基础上计算浅层地热能换热功率,计算方法参照附录 A 和附录 B。

5.6.5 计算地埋管换热适宜区和较适宜区的换热功率,在有地源热泵工程的地区可采取实际工程的平均换热功率,在没有地源热泵工程的地区可采用现场热响应试验取得的单孔换热功率,并确定可开发利用浅层地热能的面积,计算区域换热功率。

5.6.6 计算地下水换热适宜区和较适宜区的换热功率,在有地源热泵工程的地区,可采用实际工程的换热功率;在没有地源热泵工程的地区,可采用抽水和回灌试验取得的水量和合理井距,确定满足技术、经济和环境约束的区域地下水循环利用量,计算区域换热功率。

5.6.7 计算地表水的换热功率,宜用水量折算法计算区域换热功率。河流的水循环利用量应根据长系列监测数据确定,应小于枯水年枯水季最小流量。湖泊、水库等地表水体水循环利用量应根据其深度、面积确定。

5.6.8 当具有可靠的浅层地热能评价成果的条件下,在浅层地热地质条件类似地区可采用比拟法估算换热功率和浅层地热容量。

5.6.9 根据区域浅层地热换热功率、采暖期和制冷期,确定采暖期取热量和制冷期排热量,并可根据当地单位面积平均热负荷,估算供暖和制冷面积。

5.6.10 应进行区域浅层地热能均衡评价,论证取热量和排热量的保证程度。可分别计算大地热流(大地热流的确定方法参照附录 F)、太阳能、周边热交换等热补给和热排泄量,并与采暖期取热量、制冷期排热量以及区域储藏热量的变化量进行一年或多年期动态平衡论证。

6 场地浅层地热能勘查

6.1 通则

6.1.1 场地浅层地热能勘查的目的是查明工程场地浅层地热能条件,进行场地浅层地热能评价、浅层地热能开发利用评价,为地源热泵工程项目可行性研究及设计提供基础依据。

6.1.2 勘查前应收集建设场地及其周边一定范围内的地质、水文地质资料、已建地源热泵工程勘查和

运行情况等资料,选择适宜的浅层地热能换热方式,确定相应的勘查方法。

6.1.3 勘查范围为地源热泵工程换热系统工程建设场地。勘查技术方法包括物探、钻探、测试、试验等。

6.1.4 场地浅层地热能评价的内容为:计算换热功率、浅层地热容量、采暖期取热量和制冷期排热量,进行地下热均衡评价,论证采暖期取热量和制冷期排热量的保证程度,宜对开采利用情况下地下温度场的变化和储藏热量的变化量进行预测评价。计算评价方法参照附录 A 和附录 E。

6.1.5 场地浅层地热能开发利用评价包括环境影响预测和经济成本评估,并提出开发利用方案。

6.2 地埋管换热方式浅层地热能勘查

6.2.1 主要内容:

- a) 查明岩土层岩性结构,地下水位、地温场分布特征;
- b) 通过勘查孔取样、测试分析获得勘查场地岩土体的天然含水率、孔隙率、颗粒结构、密度、导热系数、比热容等;
- c) 勘查孔应进行现场热响应试验,取得换热孔的有效传热系数、岩土体平均导热系数、地层初始温度等参数,计算确定换热孔的合理间距;
- d) 进行地埋管换热系统场地浅层地热能评价,提出合理的开发利用方案。

6.2.2 勘查要求:

- a) 水平地埋管换热系统工程,工程场地勘查采用槽探或钎探进行。探槽位置和长度应根据场地形状确定,探槽的深度宜超过预计的埋管深度 1 m。竖直地埋管换热系统工程,工程场地勘查采用钻探进行,勘查孔深度宜比预计的埋管深度深 5 m;
- b) 勘查工作量的布置,按表 3 确定。

表 3 探槽和勘查孔工作量

埋管方式	工程热负荷 $q/$ kW	探槽、勘查孔数量/ 个
水平	$q < 25$	1(探槽)
	$q \geq 25$	≥ 2 (探槽)
竖直	$q < 250$	1(孔)
	$250 \leq q < 1\,000$	1~2(孔)
	$1\,000 \leq q < 2\,000$	2~3(孔)
	$q \geq 2\,000$	≥ 3 (孔)

注:工程热负荷取冷、热负荷中较大者。

6.2.3 勘查孔施工、取样及测试应符合 5.4.3 要求。

6.2.4 现场热响应试验应符合 5.4.4 要求。

6.3 地下水换热方式浅层地热能勘查

6.3.1 主要内容:

- a) 查明工程场地范围内地层岩性结构、含水层类型及埋藏条件、地下水位等;
- b) 勘查井应进行抽水 and 回灌试验。通过抽水试验获得单井出水量及相应的降深,水温,通过回灌试验获得单井回灌量及相应的水位上升值;
- c) 在勘查井中取样分析地下水水质,进行地球物理测井;
- d) 根据技术、经济 and 地质环境保护的要求确定合理的地下水循环利用量和地下水抽、灌井距;
- e) 进行地下水换热系统场地浅层地热能评价,提出合理的开发利用方案。

6.3.2 勘查要求:

- a) 当工程场地及其附近已有较详细的水文地质勘查资料时,可根据实际情况适当减少勘查工作量;
- b) 勘查井的布置应根据场地情况确定,工作量按表 4 确定;

表 4 勘查井工作量

工程热负荷 q / kW	勘查井数量 / 个
$q < 500$	1~2
$500 \leq q < 2\,000$	2~3
$q \geq 2\,000$	≥ 3

注:工程热负荷取冷、热负荷中较大者。

- c) 勘查井的深度,应根据含水层或含水构造带埋藏条件确定,一般宜小于 200 m,当有多个含水层组且无水质分析资料时,应进行分层勘查,取得各层水化学资料;
- d) 勘查井施工应符合 GB 50027—2001 第 5 章要求;
- e) 抽水试验应符合 GB 50027—2001 第 6 章要求;
- f) 回灌试验应符合 5.5.4 要求。

6.4 地表水换热方式浅层地热能勘查

6.4.1 主要内容:

- a) 查明地表水水源性质、利用现状、深度、面积及其分布;
- b) 查明地表水水温、流量及动态变化;
- c) 查明地表水悬浮物、无机物、有机物、微生物及衍生物的含量;
- d) 开式系统利用方式需进行过滤系统、换热系统、自清洗系统试验,闭式系统利用方式需进行水下换热器的热响应试验。相似水源条件工程可采用类比法;
- e) 确定地表水取水和回水适宜地点及路线;确定地表水循环利用量;
- f) 进行地表水换热系统场地浅层地热能评价,提出合理的开发利用方案。

6.4.2 勘查要求:

- a) 应进行水量、水位、水温和水质动态监测工作,观测资料时间应不少于 1 个水文年;
- b) 试验测试工作应在采暖期或制冷期的最不利的水源条件下进行;
- c) 河流的水循环利用量应根据长系列监测数据所做的水文分析成果确定;
- d) 湖泊、水库等地表水体水循环利用量应根据其深度、面积确定,应不影响生态环境;
- e) 确定水源保证措施。

6.5 勘查设计和报告编写要求

6.5.1 勘查设计编写要求

编写设计前应进行现场踏勘,设计编写提纲及要求应按附录 C 执行。

6.5.2 勘查报告编写要求

勘查工作完成后,应编写勘查报告,报告编写提纲及要求应按附录 D 执行。

7 浅层地热能开发利用评价

7.1 通则

7.1.1 浅层地热能开发利用评价内容包括:环境影响预测、经济成本评估和开发利用方案制定。

7.1.2 环境影响预测的任务是评价和预测浅层地热能开发可能带来的生态环境效应和环境地质问题。

7.1.3 经济成本评估的任务是论证浅层地热能不同开发方式的建设和运行成本及经济性。

7.1.4 开发利用方案应以环境影响预测和经济成本评估为基础,以满足区域浅层地热能利用规划和地源热泵工程设计的需求。

7.2 环境影响预测

7.2.1 主要内容:计算替代常规能源量和节能减排量,评价浅层地热能利用所产生的大气环境效应;评价浅层地热能开发对地下温度场的影响;根据地源热泵工程的换热方式评价相应的生态环境影响;提出防治浅层地热能利用产生不利环境影响的措施。

7.2.2 大气环境效应评价,可定量评价开发浅层地热能对减少大气污染、清洁环境的效应,估算减少排放的燃烧产物,包括: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。

7.2.3 对地下水换热系统,应评价回灌水对地下水环境的影响,并对能否产生地面沉降、岩溶塌陷和地裂缝等地质环境问题评价。

7.2.4 对地埋管换热系统,应评价地埋管对地下空间利用的影响,评价循环介质泄漏对地下水及岩土层的影响。

7.2.5 对地表水换热系统,应评价浅层地热能开发利用中对河流、湖泊、水库、海洋等地表水体的影响,评价回水对水环境的影响,评价对水生生物等生态环境的影响。

7.2.6 应对浅层地热能开发过程中地下水和土壤中的热平衡进行评价,分析地下温度场变化趋势及对生态环境可能造成的影响。

7.2.7 应依据地源热泵工程有关水质指标(见附录 G),对进入水源热泵机组的水质做出评价,包括腐蚀评价和结垢评价。对抽水和回灌到原含水层中的水质可参照 GB/T 14848 进行分析、评价。对引水和排放到地表水体中的水质可参照 GB 3838 进行分析、评价。

7.3 经济成本评估

7.3.1 应分别估算地下换热系统不同开采方案的初投资及运行成本。

7.3.2 地埋管换热系统的初投资估算主要考虑埋管深度、管材、孔径和孔内结构、回填材料、地层的硬度及钻孔成本等因素;

7.3.3 地下水换热系统的初投资估算主要考虑抽灌井的数量、深度及钻探试验成本;

7.3.4 地表水换热系统的初投资估算主要考虑取水口的远近、水质对换热管材、换热器的影响、取热方式等因素。

7.4 开发利用方案

7.4.1 开发利用方案应在场地浅层地热能勘查和环境影响预测、经济成本评估的基础上制定。

7.4.2 开发利用方案内容包括:换热方式、换热系统规模、取热和排热温差、长期监测孔的设置和制订监测方案等。

附 录 A

(资料性附录)

计 算 方 法

A.1 浅层地热容量计算

采用体积法计算浅层地热容量,应分别计算包气带和饱水带中的单位温差储藏的热量,然后合并计算评价范围内地质体的储热性能。

a) 在包气带中,浅层地热容量按下式计算:

$$Q_R = Q_S + Q_W + Q_A \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$Q_S = \rho_S C_S (1 - \phi) M d_1 \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$$Q_W = \rho_W C_W w M d_1 \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$Q_A = \rho_A C_A (\phi - w) M d_1 \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

Q_R ——浅层地热容量,单位为千焦每摄氏度(kJ/℃);

Q_S ——岩土体中的热容量,单位为千焦每摄氏度(kJ/℃);

Q_W ——岩土体所含水中的热容量,单位为千焦每摄氏度(kJ/℃);

Q_A ——岩土体中所含空气中的热容量,单位为千焦每摄氏度(kJ/℃);

ρ_S ——岩土体密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

C_S ——岩土体骨架的比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·℃)];

ϕ ——岩土体的孔隙率(或裂隙率);

M ——计算面积,单位为平方米(m²);

d_1 ——包气带厚度,单位为米(m);

ρ_W ——水密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

C_W ——水比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·℃)];

w ——岩土体的含水量;

ρ_A ——空气密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

C_A ——空气比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·℃)]。

b) 在饱水带中,浅层地热容量按下式计算:

$$Q_R = Q_S + Q_W \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

Q_R ——浅层地热容量,单位为千焦每摄氏度(kJ/℃);

Q_S ——岩土体骨架的热容量,单位为千焦每摄氏度(kJ/℃);

Q_W ——岩土体中所含水的热容量,单位为千焦每摄氏度(kJ/℃)。

Q_W 的计算公式如下:

$$Q_W = \rho_W C_W \phi M d_2 \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

d_2 ——潜水面至计算下限的岩土体厚度,单位为米(m)。

Q_S 的计算公式参照(A.2)式,但厚度采用 d_2 。

A.2 地埋管换热功率计算

根据现场热响应试验取得的热导率或地埋管换热器传热系数等基础数据,计算单孔换热功率。在浅层地热能条件相同或相近区域,根据单孔换热功率和浅层地热能计算面积,计算地埋管换热功率。

a) 在层状均匀的土壤或岩石中,稳定传热条件下 U 形地埋管的单孔换热功率按下式计算:

$$D = \frac{2\pi L |t_1 - t_4|}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_4}{r_3}} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

- D ——单孔换热功率,单位为瓦(W);
- λ_1 ——地埋管材料的热导率,单位为瓦每米摄氏度 [$W/(m \cdot ^\circ C)$], PE 管为 $0.42 W/(m \cdot ^\circ C)$;
- λ_2 ——换热孔中回填料的热导率,单位为瓦每米摄氏度 [$W/(m \cdot ^\circ C)$];
- λ_3 ——换热孔周围岩土体的平均热导率,单位为瓦每米摄氏度 [$W/(m \cdot ^\circ C)$];
- L ——地埋管换热器长度,单位为米(m);
- r_1 ——地埋管束的等效半径,单位为米(m),单 U 为管内径的 $\sqrt{2}$ 倍,双 U 为管内径 $\sqrt{4}$ 倍;
- r_2 ——地埋管束的等效外径,单位为米(m),等效半径 r_1 加管材壁厚;
- r_3 ——换热孔平均半径,单位为米(m);
- r_4 ——换热温度影响半径,单位为米(m),可通过现场热响应试验时设观测孔求取或根据数值模拟软件计算求得;
- t_1 ——地埋管内流体的平均温度,单位为摄氏度($^\circ C$);
- t_4 ——温度影响半径之外岩土体的温度,单位为摄氏度($^\circ C$)。



图 A.1 地埋管热功率计算示意图

b) 根据地埋管换热器传热系数 k_s , 计算单孔换热功率。

$$D = k_s \times L \times |t_1 - t_4| \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

k_s ——地埋管换热器传热系数,单位为瓦每米摄氏度 $W/(m \cdot ^\circ C)$,即单位长度换热器、单位温差换热功率;

- c) 根据地埋管单孔换热功率,计算评价区换热功率。

$$Q_h = D \times n \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

Q_h ——换热功率,单位为千瓦(kW);

D ——单孔换热功率,单位为瓦(W);

n ——计算面积内换热孔数。

- d) 地层的平均导热系数和地埋管换热器传热系数的应用:

通过现场热响应试验装置,连续以固定功率向测试孔加热(或吸热),得到一条完整的地埋管进出口温度时延曲线,用这条曲线可以求取地层的平均导热系数 $\lambda[W/(m \cdot ^\circ C)]$, [式(A.7)中的 λ_s]。也可以求取地埋管换热器传热系数 $k_s[W/(m \cdot ^\circ C)]$ 。

地层平均导热系数 λ [式(A.7)中的 λ_s] 可以用来进行设计工况下的动态耦合计算,得出地埋管的进出水温度和换热器的设计参数,并可以代入式(A.7)求得 D 。

地埋管换热器传热系数 k_s 可依据式(A.8)计算特定换热温差下单孔的最大换热功率 D ,为计算换热器总长度提供依据(静态)。

A.3 地下水和地表水换热功率计算

适用于取得地下水或地表水循环利用量后,计算换热功率,公式如下:

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

式中:

Q_h ——换热功率,单位为千瓦(kW);

q_w ——地下水或地表水循环利用量,单位为立方米每天(m^3/d);

ΔT ——地下水或地表水利用温差,单位为摄氏度($^\circ C$)。

A.4 热均衡分析评价

可采用以下两种方法,对浅层地热能的热均衡进行分析评价。方法 a) 分析了热泵的取热量和排热量;方法 b) 考虑了所有的热补给量和热排泄量

- 按照热泵效率和运行状况,进行采暖期总能耗分析,计算换热系统在一个采暖期的总取热量;进行制冷期总能耗分析,计算换热系统在一个制冷期的总排热量;进行全年动态分析,分析热恢复状况,进行系统的热恢复预测。
- 在地质、水文地质和浅层地热能勘查资料具备的区域,可以进行浅层地热能的热均衡评价,确定浅层岩土体、地下水和地表水中热的补、排状况和储存热量的变化。可以采用数值模型进行热均衡评价。

在一个时段中的热均衡可以用下式表示:

$$Q_{in} - Q_{out} = \Delta Q \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

式中:

Q_{in} ——热补给量,单位为千焦(kJ);

Q_{out} ——热排泄量,单位为千焦(kJ);

ΔQ ——储存热量的变化量,单位为千焦(kJ)。

在岩土体中,热量补给项有:热泵工程排热量、太阳照射热量、大地热流量、地表水和地下水向土壤散发热量,侧向传导流入热量等;热量排泄项有:热泵工程取热量、向大气散发热量、向地表水和地下水散发热量、侧向传导出热量等。

在地下水和地表水中,热量补给项有:热泵工程排热量、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;热量排泄项有:热泵工程取热量、向大气散发的热量、水排泄带走热量、侧向传导流出的热量等。

可以按采暖期、制冷期和恢复期等不同时段进行热均衡计算。可以进行一个典型年或多年均衡计算。均衡计算需要有长期动态监测数据的支撑,适用于评价浅层地热能取热量的保证程度。在调查中,须定量查明在天然状态和开发状况下浅层地热能各均衡项情况。

附 录 B
(资料性附录)
岩土热物性参数

表 B.1 为空气、水和几种常见岩土的比热容、密度、热导率和热扩散率。

表 B.1 岩土热物性参数表

岩石名称	比热容/ [kJ/(kg·℃)]	密度/ (kg/m ³)	热导率/ [W/(m·℃)]	热扩散率/ (m ² /d)
花岗岩	0.794	2 700	2.721	0.110
石灰岩	0.920	2 700	2.010	0.070
砂岩	0.878	2 600	2.596	0.098
湿页岩 ^b			1.4~2.4	0.065~0.084
干页岩 ^b			0.64~0.86	0.055~0.074
钙质砂(含水率 43%)	2.215	1 670	0.712	0.017
干石英砂(中-细粒)	0.794	1 650	0.264	0.017
石英砂(含水率 8.3%)	1.003	1 750	0.586	0.029
砂质粘土(含水率 15%)	1.379	1 780	0.921	0.032
砂(砂砾石) ^a			0.77	0.039
粉砂 ^a			1.67	0.050
亚粘土 ^a			0.91	0.042
粘土 ^a			1.11	0.046
砂(饱水) ^a			2.50	0.079
空气(常压)	1.003	1.29	0.023	1.536
冰	2.048	920	2.219	0.102
水(平均)	4.180	1 000	0.599	0.012
回填膨润土(含有 20%~30%的固体) ^b			0.73~0.75	
回填混合物(含有 20%膨润土、80%石英砂) ^b			1.47~1.64	
回填混合物(含有 15%膨润土、85%石英砂) ^b			1.00~1.10	
回填混合物(含有 10%膨润土、90%石英砂) ^b			2.08~2.42	
回填混合物(含有 30%膨润土、70%石英砂) ^b			2.08~2.42	

^a 引自 Ian Gale 2004 年编著的《地源热泵：潜在地点地质报告发展的描述》，英国地质调查局出版，1.2 期，CR/05/21/217N，24 页。

^b 引自《地源热泵系统工程技术规范》(GB 50366—2005)，其他数据引自《地热资源地质勘查规范》(GB 11615—1989)。

附 录 C
(规范性附录)
勘查设计编写要求

C.1 设计提纲

- 第一章 前言
- 第二章 工程场地浅层地热能概况
- 第三章 浅层地热能勘查及技术要求
- 第四章 预期成果
- 第五章 人员编制和管理
- 第六章 实物工作量
- 第七章 经费预算

C.2 设计编写要求

第一章,简述工程概况、项目来源、任务、工作起止时间及有关要求;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)。

第二章,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简述场地及其周边浅层地热能利用现状,并根据地质条件和利用情况决定勘查工作方向。

第三章,根据项目规模和勘查工作方向确定、部署勘查工作,选用的勘查技术方法及质量要求现场测试及试样的采取、送样要求。

第四章 预期成果。

第五章 人员编制和管理。

第六章 实物工作量,应附勘查孔布置图及进度安排。

第七章 经费预算,按照有关要求编制。

附 录 D
(规范性附录)
勘查报告编写要求

D.1 报告提纲

第一章 序言

第二章 自然地理及地质概况

第三章 勘查工作

第四章 浅层地热能评价

第五章 结论和建议

主要附件：

- (1) 勘查工作平面布置图；
- (2) 地质图及其剖面图；
- (3) 孔柱状图、测井图、抽水试验综合图；
- (4) 分析成果表；
- (5) 水动态观测图表；
- (6) 换热试验成果图。

D.2 报告编写要求

第一章 说明任务的来源及要求,建设项目的规模、功能及冷热需求;简要评述勘查区以往地质工作的程度及浅层地热能开发利用的现状;简述勘查工作的进程以及完成的工作量。

第二章 概述勘查区的自然地理条件;简述气象和水文特征、区域地质条件,地层分布特征;叙述含水层(带)的空间分布,地下水的水质、水位动态特征及补给、径流、排泄条件。

第三章 论述勘查主要内容及其布置;工作的主要成果。

第四章 现场热响应试验结果或地下水源井抽水、回灌试验结果;论述浅层地热能利用量计算的依据,正确计算浅层地热能,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。

第五章 评价浅层地热能的资源条件;提出拟建换热系统的方式;建议换热系统的初步方案;指出在施工中和运行后应注意的事项;建议地温场动态观测网点的设置及要求;指出本次工作的不足和存在的问题。

注:编写报告时,应根据工程的不同要求、换热量的大小、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 E
(资料性附录)
数 值 模 型

E.1 传导模型公式

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q = \rho_{s+w} C_{s+w} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \cdots \cdots \cdots (E.1)$$

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。

E.2 对流与传导模型公式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xz} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{yx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{yz} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \\ & \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{zx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{zy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \rho_w C_w \frac{\partial}{\partial x} [(V_x + u_x) T] - \rho_w C_w \frac{\partial}{\partial y} [(V_y + u_y) T] - \\ & \rho_w C_w \frac{\partial}{\partial z} [(V_z + u_z) T] + Q = \rho_{s+w} C_{s+w} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \cdots \cdots \cdots (E.2) \end{aligned}$$

式中:

D_{xx} 、 D_{xy} 、 D_{xz} 、 D_{yx} 、 D_{yy} 、 D_{yz} 、 D_{zx} 、 D_{zy} 、 D_{zz} 为热扩散系数张量 $[D]$ 的分量,由热导率、热弥散度等换算得到。

E.3 边界条件

$$T(t) |_{x,y,z \in \Gamma_1} = T(x,y,z,t) \quad \cdots \cdots \cdots (E.3)$$

$$K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \cos(n,x) + K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} \cos(n,y) + K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} \cos(n,z) |_{x,y,z \in \Gamma_2} = Q(x,y,z,t) \quad \cdots (E.4)$$

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 F
(资料性附录)
大地热流确定方法

地球内热以传导方式传输至地表并散发热量,单位时间内流经单位面积的热量称为热流密度(q),也叫大地热流。大地热流是地球内部热量在浅部地层中最为直接的显示,反映了发生的各种作用过程及热能的信息。大地热流在数值上,等于岩层热导率与垂向地温梯度的乘积,即:

$$q = -K \frac{dT}{dZ} \dots\dots\dots (F.1)$$

式中:

q 为大地热流(mW/m^2); K 为岩石热导率; $\frac{dT}{dZ}$ 为地温梯度。

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。在缺乏系统测温数据或岩石热导率数据情况下估算的热流值,在进行误差分析或校正后才可以作为热流特征分析的参数。

附 录 G
(资料性附录)
地源热泵水质要求

地源热泵机组循环水水质要求见表 G.1。

表 G.1 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	$<1/200\ 000$	9	CaO	$<200\text{ mg/L}$
2	浊度	$\leq 20\text{ NTU}$	10	SO_4^{2-}	$<200\text{ mg/L}$
3	pH 值	6.5~8.5	11	SiO_2	$\leq 50\text{ mg/L}$
4	硬度	$\leq 200\text{ mg/L}$	12	Cu^{2+}	$\leq 0.2\text{ mg/L}$
5	总碱度	$\leq 500\text{ mg/L}$	13	矿化度	$<3\text{ g/L}$
6	Fe^{2+}	$<1\text{ mg/L}$	14	油污	$<5\text{ mg/L}$
7	Cl^-	$<100\text{ mg/L}$	15	游离 CO_2	$<10\text{ mg/L}$
8	游离氯	0.5~1.0 mg/L	16	H_2S	$<0.5\text{ mg/L}$