



# 中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 10265—2019

---

## 浅层地热能开发工程勘查评价规范

Exploration specification for shallow geothermal energy development project

2019-11-04 发布

2020-05-01 实施

---

国家能源局 发布

中 华 人 民 共 和 国 能 源  
行 业 标 准  
浅层地热能开发工程勘察评价规范  
NB/T 10265—2019

\*

中国石化出版社出版发行  
地址：北京市东城区安定门外大街 58 号  
邮编：100011 电话：(010) 57512500  
石化标准编辑部电话：(010) 57512453  
发行部电话：(010) 57512575  
<http://www.sinopec-press.com>  
E-mail: [press@sinopec.com](mailto:press@sinopec.com)  
北京艾普海德印刷有限公司印刷  
版权专有 不得翻印

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 38 千字  
2020 年 1 月第 1 版 2020 年 1 月第 1 次印刷

\*

书号：155114·1528 定价：25.00 元  
(购买时请认明封面防伪标识)

目 次

前言.....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 勘查工作内容及要求 ..... 2

6 浅层地热能开发利用评价 ..... 5

7 勘查设计及报告编写 ..... 6

附录 A（规范性附录） 勘查设计编写要求..... 7

附录 B（规范性附录） 勘查报告编写要求..... 8

附录 C（资料性附录） 浅层地热能资源量计算方法..... 9

附录 D（资料性附录） 浅层地热换热功率计算方法 ..... 10

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规定起草。

本标准由能源行业地热能专业标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：北京市地质矿产勘查开发局、北京市地热研究院、北京市华清地热开发集团有限公司、中国地质调查局浅层地温能研究与推广中心、中石化新星（北京）新能源研究院有限公司。

本标准主要起草人：李宁波、杨俊伟、张进平、刘少敏、郑佳、于媛、李翔、李娟、郭艳春、贾子龙、刘爱华、杜境然、李富、王立志、卫万顺、张文秀、李海东、邢罡、林海亮、赵丰年、向烨。

本标准于2019年首次发布。

# 浅层地热能开发工程勘查评价规范

## 1 范围

本标准规定了浅层地热能开发工程勘查评价的基本内容、勘查要求、勘查设计、开发利用评价及报告编写等要求。

本标准适用于浅层地热能开发利用系统，包括地埋管地源热泵系统、地下水地源热泵系统和地表水（含再生水）地源热泵系统工程项目可行性研究及设计前期进行的工程勘查。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB 50027 供水水文地质勘察规范

GB/T 50123 土工试验方法标准

GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收规范

GB/T 50801 可再生能源建筑应用工程评价标准

GB/T 18430.1 蒸气压缩循环冷水(热泵)机组

DZ/T 0225 浅层地热能勘查评价规范

NB/T 10097 地热能术语

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**浅层地热能** **shallow geothermal energy**

从地表至地下200m深度范围内，储存于水体、土体、岩石中的温度低于25℃，采用热泵技术可提取用于建筑物供热或制冷等的地热能。

[NB/T 10097—2018，术语和定义2.1.6]

### 3.2

**复合式地源热泵系统** **compound ground source heat pump system**

加入其他辅助能源，开发利用浅层地热能的热泵系统。

### 3.3

**岩土热响应试验** **rock-soil thermal response test**

利用测试仪器对项目所在场区的测试孔进行一定时间连续换热，获得岩土综合热物性参数及岩土初始平均温度的试验。

[NB/T 10097—2018，定义2.4.32]

### 3.4

**岩土初始平均温度 initial average temperature of the rock-soil**

从自然地表下10m~20m 至竖直地埋管换热器埋设深度范围内, 岩土常年的平均温度。

[GB 50366—2005, 定义2.0.27]

3.5

**浅层地热容量 shallow geothermal capacity**

在浅层岩土体、地下水和地表水中储存的单位温差所吸收或排出的热量, 单位是kJ/℃。

[NB/T 10097—2018, 术语和定义2.4.30]

3.6

**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通过热交换方式所获取的热量。

[NB/T 10097—2018, 术语和定义2.4.35]

3.7

**浅层地热能资源评价 shallow geothermal resources assessment**

在综合分析浅层地热能资源勘查成果的基础上, 运用合理方法对浅层地热容量和换热功率进行的计算与评价。

3.8

**有效传热系数 effective heat transfer coefficient**

反映换热孔换热性能的参数, 为单位长度换热器在单位温差下的换热功率。

3.9

**抽水试验 pumping test**

从井中连续抽水, 并根据其出水量与降深的关系来测定含水层渗透性和水文地质参数的试验。

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

**抽灌井间距 distance between pumping well and reinjection well**

抽水井和回灌井之间的距离。

4 总则

4.1 地源热泵系统方案设计前, 应进行浅层地热能开发工程勘查评价工作。

4.2 勘查完成后, 勘查单位应根据工程勘查结果分析浅层地热能开发的可行性和经济性, 编写勘查评价报告。

5 勘查工作内容及要求

5.1 通则

5.1.1 浅层地热能开发工程勘查目的是查明工程场地浅层地热能地质条件, 进行场地浅层地热能资源评价和开发利用的环境影响预测, 评估经济性和可行性, 为浅层地热能开发工程项目可行性研究及设计提供基础依据。

5.1.2 勘查前应收集建设场地及其周边的地质、水文地质、已建地源热泵系统工程勘查和运行情况、区域其它可利用能源的资源条件等资料, 选择适宜的浅层地热能换热方式, 确定相应的勘查方法。

## 5.2 地埋管地源热泵系统工程勘查

### 5.2.1 勘查工作内容

- 查明工程场地及周边的地形地貌、地下管线布设等场地施工条件；
- 查明工程场地范围内地层岩性结构、地下水位、含水层富水性等水文地质条件以及地温场分布特征；
- 通过勘查孔取样、测试获取勘查场地岩土的天然含水率、孔隙率、颗粒结构、密度、导热系数、比热容等参数；
- 勘查孔应进行岩土热响应试验，取得换热孔的有效传热系数、岩土平均导热系数、岩土初始平均温度等地层换热能力参数；
- 进行浅层地热能开发利用评价，计算浅层地热容量和浅层地热换热功率，确定换热孔的布置数量及布置方式，预测环境影响，对热泵系统工程建设经济性进行分析，提出合理的开发利用方案。

### 5.2.2 勘查孔施工要求

- 勘查孔施工前应先开展工作区地质条件调查；
- 勘查孔的地埋管换热器设置方式、深度和回填方式应与拟建设的工程换热孔保持一致；
- 水平地埋管地源热泵系统工程场地勘查采用槽探或钎探进行，槽探位置和长度应根据场地形状确定，槽探的深度宜超过预计的埋管深度 1m，钎探技术标准参照 GB 50202 的相关规定执行；
- 竖直地埋管地源热泵系统工程场地勘查采用钻探进行，勘查孔的深度宜比预计的埋管深度深 5m，勘查孔施工按 GB 50021 的规定执行；
- 工程场地内地层岩性差异较小时，根据浅层地热能开发工程的服务面积需求，确定勘查工作量，按表 1 确定；
- 工程场地地层岩性差异较大时，宜根据场地内地质条件增加勘查孔数量；
- 竖直地埋管地源热泵系统勘查孔应进行岩心编录、地球物理测井，划分地层结构。

表 1 槽探和勘查孔工作量

埋管方式	工程供暖/制冷面积 $A$ ( $\text{m}^2$ )	槽探、勘查孔数量(个)
水平	$A < 500$	1 (探槽)
	$A \geq 500$	$\geq 2$ (探槽)
竖直	$A < 10000$	1 (孔)
	$10000 \leq A < 20000$	2 (孔)
	$20000 \leq A < 40000$	2~3 (孔)
	$A \geq 40000$	$\geq 3$ (孔)
注：工程供暖/制冷面积取两者面积中较大者。		

### 5.2.3 取样及测试要求

- 勘查孔岩土层单层厚度大于 1m 的，每层应取代表性的原状样品（砂、砾石层除外），细砂粒径以上应取扰动样；
- 岩土试样土工测试指标应包含颗粒分析、密度、导热系数、比热容、孔隙率、天然含水率等参数；
- 岩土试样测试分析按 GB/T 50123 的规定执行。

#### 5.2.4 岩土热响应试验要求

- a) 岩土热响应试验应在勘查孔施工完成周围岩土温度恢复后进行,对于灌注水泥砂浆的回填方式,岩土恢复时间应不少于 10 天,对于其它的回填方式,应不少于 2 天;
- b) 试验设备与勘查孔的连接应减少弯头、变径,连接管外露部分应保温,保温层厚度不宜小于 20mm。同一管路内,勘查孔孔口水温与试验设备进、出水口水温温差不宜大于 0.2℃;
- c) 岩土初始平均温度测试,可采用埋设温度传感器法、无功循环法或水温平衡法,采用无功循环法测试岩土初始平均温度时,温度稳定(地埋管出水温度连续 12h 变化不大于 0.5℃)后,持续时间不宜小于 12h;
- d) 岩土热响应试验可采用稳定热流测试或稳定工况测试法,岩土热响应测试持续时间不宜小于 48h;
- e) 稳定热流测试方法,宜进行两次不同负荷的试验,当勘查孔深度在 80m~100m 时,大负荷宜采用 5kW~7kW,小负荷宜采用 3kW~4kW,当勘查孔深度在 100m~150m 时,大负荷宜采用 7kW~10kW,小负荷宜采用 4kW~6kW,实际加热功率的平均值与加热功率设定值的偏差不应大于 ±0.2kW,温度稳定(地埋管出水温度连续 12h 变化不大于 1℃)后,持续时间不宜小于 12h;
- f) 稳定工况测试方法,设定工况应为系统的设计运行工况,实际供水温度平均值与供水温度设定值的偏差不应大于 ±0.2℃,温度稳定(地埋管出水温度连续 12h 变化不大于 0.5℃)后,持续时间不宜小于 24h;
- g) 地埋管换热器内传热介质流态应保持紊流,单 U 型地埋管换热器管内流速不宜小于 0.4m/s,双 U 型地埋管换热器管内流速不宜小于 0.2m/s。

#### 5.3 地下水地源热泵系统工程勘查

##### 5.3.1 地下水地源热泵系统工程勘查内容

- a) 开展场地周边水文地质条件调查,根据浅层地热能开发工程的建筑类型、工程场地面积、建筑负荷等浅层地热能利用需求,确定调查范围,查明区域地下水资源状况及其开发利用情况;
- b) 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;
- c) 勘查井应进行抽水试验和回灌试验,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;
- d) 勘查井进行地球物理测井,取样分析地下水水质;
- e) 根据技术、经济和地质环境保护的要求确定合理的地下水循环利用量和抽灌井间距;
- f) 进行地下水地源热泵系统浅层地热能资源评价,提出合理的开发利用方案。

##### 5.3.2 抽水试验及回灌试验

- a) 抽水试验及回灌试验可利用已建井开展,不具备合适水井的应专门施工勘查井,勘查井施工应满足 GB 50027 的要求;
- b) 根据浅层地热能开发工程的建设需求、工作面积、工程负荷,确定勘查井的数量,按表 2 确定;
- 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,宜小于 200m,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) 勘查井的布置应依据地下水流场、渗透率及其他水文地质参数确定;
- e) 抽水试验及回灌试验步骤应满足 GB 50027 和 DZ/T 0225 的要求。



表 2 勘查井工作量

工程供暖/制冷面积 $A/\text{m}^2$	勘查井数量/个
$A < 10000$	1~2
$10000 \leq A < 40000$	2~3
$A \geq 40000$	$\geq 3$
注：工程供暖/制冷面积取两者面积中较大者。	

### 5.3.3 水样测试

- a) 在勘查井中取样分析地下水，机组热源侧水质应符合 GB/T 18430.1 的要求；
- b) 不符合水质要求的水源应进行特殊处理或采用适宜的换热装置。

### 5.4 地表水（含再生水）地源热泵系统工程勘查

#### 5.4.1 勘查主要内容

- a) 查明地表水（含再生水）源性质、利用现状、深度、面积及其分布；
- b) 查明地表水（含再生水）水温、水质、流量及逐时动态变化；
- c) 查明地表水（含再生水）悬浮物、无机物、有机物、微生物及衍生物的含量；
- d) 确定地表水（含再生水）取回水适宜地点和路线，确定地表水循环利用量；
- e) 查明再生水取水管线下游用户情况，包括用水需求的水量、水温、水质等；
- f) 查明再生水处理厂的维修规律；
- g) 进行地表水地源热泵系统浅层地热能资源评价，提出合理的开发利用方案。

#### 5.4.2 勘查要求

- a) 获取水量、水位、水温和水质动态监测数据，监测数据时间不少于 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、水库等地表水体循环利用量应根据其深度、面积确定，不得影响生态环境；
- e) 再生水可利用量应根据再生水逐时流量及逐时水温数据确定；
- f) 确定水源保证程度。

## 6 浅层地热能开发利用评价

### 6.1 通则

- 6.1.1 浅层地热能开发利用评价内容包括：环境影响预测、投资估算和开发利用方案制定。
- 6.1.2 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。
- 6.1.3 投资估算的任务是论证浅层地热能开发利用工程的建设成本。
- 6.1.4 开发利用方案应以环境影响预测和投资估算为基础，满足区域浅层地热能利用规划和地源热泵工程设计的需要。

### 6.2 环境影响预测

#### 6.2.1 大气环境效应评价：

- a) 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，计算替代常规能源量，估算减少排放的燃烧产物，包括二氧化碳减排量、二氧化硫减排量、粉尘减排量等；
- b) 替代常规能源量和节能减排量计算方法参照 GB/T 50801。

#### 6.2.2 生态环境影响评价：

- a) 地下水地源热泵系统，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进行评价；
- b) 地埋管地源热泵系统，应评价循环介质泄漏对地下水及岩土层的影响；
- c) 地表水地源热泵系统，应评价浅层地热能的开发利用对河流、湖泊、水库、海洋等地表水体的影响，评价回水对水化学特征及生态环境的影响，论证再生水取回水对下游用户的影响。

6.2.3 应对浅层地热能开发过程中地下水、地表水和岩土体中的热平衡进行评价，分析地表水体温度及地下温度场变化趋势及可能造成的影响，提出防治浅层地热能利用产生不利环境影响的措施。

### 6.3 投资估算

6.3.1 应估算浅层地热能开发工程建设初投资。

6.3.2 地埋管地源热泵系统的初投资估算主要考虑埋管深度、管材、孔径、回填材料、地层硬度等因素。

6.3.3 地下水地源热泵系统的初投资估算主要考虑抽灌井的数量、深度、前期勘查钻探及试验成本。

6.3.4 地表水（含再生水）地源热泵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。

### 6.4 开发利用方案

6.4.1 开发利用方案应在浅层地热能资源评价和环境影响预测、投资估算的基础上制定。

6.4.2 开发利用方案内容包括：热源侧换热方式、换热系统规模、取热和排热温差、监测方案等。

6.4.3 对于冷热负荷差别比较大，或者单纯利用地源热泵系统不能满足冷负荷或热负荷需求时，综合考虑场地周边其它可利用能源的资源条件，经技术经济分析论证合理时，可采用复合式地源热泵系统。

## 7 勘查设计及报告编写

### 7.1 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见附录A。

### 7.2 勘查报告编写要求

报告内容包括浅层地热能地质条件、计算浅层地热容量、浅层地热换热功率、采暖期取热量和制冷期排热量及其保证程度评价、环境影响预测、投资估算、开发利用建议，报告编写提纲及要求见附录B，相关参数的计算方法参见附录C、附录D。

附 录 A  
(规范性附录)  
勘查设计编写要求

A.1 设计提纲

- 第一章 前言
- 第二章 工作区地质背景
- 第三章 技术路线及工作方法
- 第四章 勘查内容及工作部署
- 第五章 实物工作量
- 第六章 经费预算
- 第七章 保障措施

A.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，简述工程场地及周边地质-水文地质条件、场地条件以及浅层地热能资源利用现状。

第三章，根据项目规模和勘查工作方向确定勘查技术路线，选用勘查工作方法。

第四章，根据勘查目的任务以及技术路线，部署勘查工作内容、进度安排、组织机构及人员安排等。

第五章，实物工作量。

第六章，编制经费预算。

第七章，明确质量、安全等方面的保障措施。

**附 录 B**  
**（规范性附录）**  
**勘查报告编写要求**

**B.1 报告提纲**

- 第一章 前言
- 第二章 浅层地热能资源赋存条件
- 第三章 浅层地热能开发工程勘查
- 第四章 浅层地热能资源量评价
- 第五章 浅层地热能开发利用评价
- 第六章 结论及建议

**B.2 报告编写要求**

第一章，说明任务来源及要求，建设项目的规模、功能及冷热负荷需求；勘查区以往地质工作程度及浅层地热能开发利用现状；勘查工作的进程及完成的工作量。

第二章，概述工作区自然地理条件、气象和水文特征；详细阐述工作区地质、水文地质条件，包括地层分布特征、含水层、富水性、地下水水化学特征、水位动态特征和补径排条件等，岩土体热物性参数特征，分析浅层地热能资源赋存条件。应根据工程场地浅层地热能资源赋存条件，分析不同开发利用方式的适宜性。

第三章，详细论述开展的勘查孔钻探、岩土取样及测试、岩土热响应试验、抽灌试验、地表水水量及温度监测等工作，并对获取的资料和数据整理分析，为浅层地热能资源评价和开发利用方案制定奠定工作基础。

第四章，按照附录C中的公式计算浅层地热容量，按照附录D中的公式计算浅层地热换热功率。

第五章，浅层地热能开发利用评价内容包括环境影响预测、投资估算和开发利用方案制定。

第六章，结论及建议，施工中和运行后应注意的事项。

附 录 C  
(资料性附录)  
浅层地热能资源量计算方法

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:

$$Q_R = Q_S + Q_W + Q_A \quad \text{..... (C.1)}$$

$$Q_S = \rho_S C_S (1 - \phi) M d_1 \quad \text{..... (C.2)}$$

$$Q_W = \rho_W C_W \omega M d_1 \quad \text{..... (C.3)}$$

$$Q_A = \rho_A C_A (\phi - \omega) M d_1 \quad \text{..... (C.4)}$$

式中:

$Q_R$  —— 浅层地热容量, kJ/°C;  
 $Q_S$  —— 岩土中的热容量, kJ/°C;  
 $Q_W$  —— 岩土所含水中的热容量, kJ/°C;  
 $Q_A$  —— 岩土中所含空气中的热容量, kJ/°C;  
 $\rho_S$  —— 岩土密度, kg/m<sup>3</sup>;  
 $C_S$  —— 岩土骨架的比热容, kJ/(kg·°C);  
 $\phi$  —— 岩土的孔隙率;  
 $M$  —— 计算面积, m<sup>2</sup>;  
 $d_1$  —— 包气带厚度, m;  
 $\rho_W$  —— 水的密度, kg/m<sup>3</sup>;  
 $C_W$  —— 水的比热容, kJ/(kg·°C);  
 $\omega$  —— 岩土的含水率;  
 $\rho_A$  —— 空气的密度, kg/m<sup>3</sup>;  
 $C_A$  —— 空气的比热容, kJ/(kg·°C)。

b) 在饱水带中,浅层地热容量按下式计算:

$$Q_R = Q_S + Q_W \quad \text{..... (C.5)}$$

$$Q_W = \rho_W C_W \phi M d_2 \quad \text{..... (C.6)}$$

式中:

$Q_R$  —— 浅层地热容量, kJ/°C;  
 $Q_S$  —— 岩土骨架的热容量, kJ/°C;  
 $Q_W$  —— 岩土所含水中的热容量, kJ/°C;  
 $d_2$  —— 潜水位至计算下限的岩土厚度, m。

**附录 D**  
(资料性附录)  
**浅层地热换热功率计算方法**

**D.1 地埋管换热功率计算**

根据岩土热响应试验取得的热导率或地埋管换热器有效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（见图D.1）。

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：

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

式中：

$D$  —— 单孔换热功率，W；

$\lambda_1$  —— 地埋管材料的热导率，W/(m·℃)，PE 管为 0.42W/(m·℃)；

$\lambda_2$  —— 换热孔中回填料的热导率，W/(m·℃)；

$\lambda_3$  —— 换热孔周围岩土的平均热导率，W/(m·℃)；

$L$  —— 地埋管换热器长度，m；

$r_1$  —— 地埋管束的等效半径，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，m，等效半径  $r_1$  加管材壁厚；

$r_3$  —— 换热孔平均半径，m；

$r_4$  —— 换热温度影响半径，m，可通过岩土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，℃；

$t_4$  —— 温度影响半径之外岩土的温度，℃。

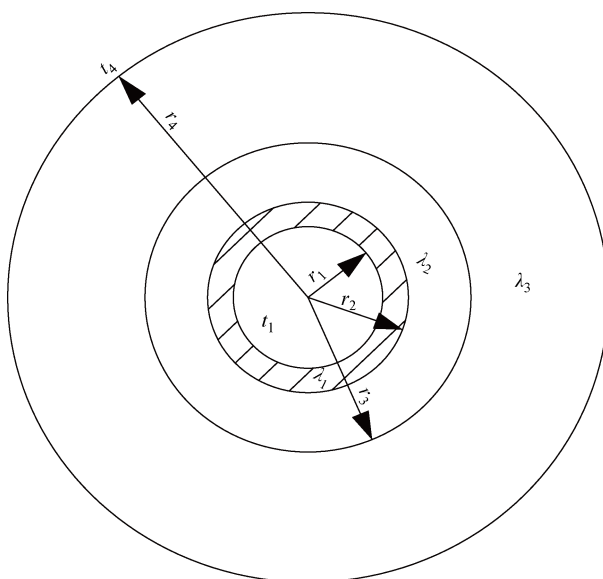


图 D.1 地埋管换热功率计算示意图

b) 根据地埋管换热器有效传热系数  $K_S$ , 计算单孔换热功率:

$$D = K_S \times L \times |t_1 - t_4| \quad \text{..... (D.2)}$$

式中:

$K_S$  —— 埋管换热器有效传热系数,  $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ , 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:

$$q_h = D \times n \times 10^{-3} \quad \text{..... (D.3)}$$

式中:

$q_h$  —— 换热功率,  $\text{kW}$ ;

$D$  —— 单孔换热功率,  $\text{W}$ ;

$n$  —— 计算面积内换热孔数。

d) 地层的平均导热系数和埋管换热器有效传热系数的应用:

通过岩土热响应试验装置, 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  $\lambda$  ( $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ ), (D.1 式中的  $\lambda_3$ )。也可以求取地下换热器的有效传热系数  $K_S$  ( $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ )。

地层平均导热系数  $\lambda$  (D.1 式中的  $\lambda_3$ ) 可以用来进行设计工况下的动态耦合计算, 得出埋管的进出水温度和换热器的设计参数, 并可以代入 D.1 式求得  $D$ 。

换热器的有效传热系数  $K_S$  可依据 D.2 式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)。

## D.2 地下水、地表水或污水 (再生水) 换热功率计算

适用于取得地下水、地表水或污水 (再生水) 利用后, 计算换热功率, 公式如下:

$$q_h = q_w \times \Delta T \times \rho_w \times C_w \quad \text{..... (D.4)}$$

式中:

$q_h$  —— 换热功率,  $\text{kW}$ ;

$q_w$  —— 地下水、地表水或污水 (再生水) 利用量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\rho_w$  —— 地下水、地表水或污水 (再生水) 的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$C_w$  —— 地下水、地表水或污水 (再生水) 的比热容,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ , 液态水为  $4.18 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\Delta T$  —— 地下水、地表水或污水 (再生水) 利用温差,  $^\circ\text{C}$ 。