

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB XX/ XXXX—XXXX

浅层地源热泵系统工程勘察技术规范

Technical code for engineering investigation of shallow ground source heat pump system

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

2021. 11. 18

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

陕西省市场监督管理局

发 布

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 基本要求..... 3

5 勘察..... 3

6 评价..... 8

7 设计书和勘察报告编写..... 9

附录 A（资料性附录） 计算方法..... 10

附录 B（资料性附录） 陕西省主要地层岩土热物性参数..... 12

附录 C（资料性附录） 设计编写提纲..... 13

附录 D（资料性附录） 勘察报告编写提纲..... 14

附录 E（资料性附录） 地源热泵水质要求..... 15

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由陕西省地质调查院提出。

本文件由陕西省自然资源标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：陕西省水工环地质调查中心、机械工业勘察设计研究院有限公司、陕西工程勘察研究院有限公司、长安大学。

本文件主要起草人：赵智强、王克、周阳、邓军涛、齐均让、杨银科、王璐。

本文件由陕西省自然资源标准化技术委员会负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：陕西省地质调查院地质科技处

电话：029-89650560

地址：陕西省西安市雁塔区西影路25号

邮编：710054

浅层地源热泵系统工程勘察技术规范

1 范围

本文件规定了浅层地源热泵系统工程勘察的基本要求、勘察内容、勘察方法及技术要求、设计书和勘察报告编写要求。

本文件适用于浅层地源热泵系统中的地下水地源热泵系统和竖直地埋管地源热泵系统的工程勘察。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50021-2001（2009年版） 岩土工程勘察规范
GB 50027-2001 供水水文地质勘察规范
GB 50296-2014 管井技术规范
GB 50366-2005（2009年版） 地源热泵系统工程技术规范
GB/T 50123-2019 土工试验方法标准
CJJ/T 291-2019 地源热泵系统工程勘察标准
DZ/T 0225-2009 浅层地热能勘查评价规范
DZ/T 0282-2015 水文地质调查规范（1:50 000）
NB/T 10265-2019 浅层地热能开发工程勘查评价规范
NB/T 10277-2019 浅层地热能钻探工程技术规范
DB61/T 1397-2021 浅层地热能勘查与评价技术规程

3 术语和定义

GB 50366-2005（2009年版）、DZ/T 0225-2009和DB61/T 1397-2021中界定的以下术语定义适用于本文件。

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200m以内，温度低于25℃的热能。

[来源：DZ/T 0225-2009，3.1]

3.2

浅层地源热泵系统 ground-source heat pump system

一般指以地表以下200m深度范围内的岩土体、地下水或地表水为低温热源，由热泵机组、浅层地热能换热系统、建筑物内系统组成的空调系统。根据浅层地热能换热系统形式的不同，浅层地源热泵系统分为地埋管地源热泵系统、地下水地源热泵系统和地表水地源热泵系统。

3.3

浅层地热换热功率 shallow geothermal 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。

[来源: DB61/T 1397-2021, 3.3]

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。

[来源: DZ/T 0225-2009, 3.4]

3.5

竖直地埋管换热器 vertical ground heat exchanger

由埋于竖直钻孔内的密闭循环管组构成，用于传热介质与岩土体换热。

[来源: DB61/T 1397-2021, 3.9]

3.6

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、注水量等水文地质参数的试验。

[来源: GB 50366-2005（2009年版），2.0.23]

3.7

现场热响应试验 in-situ thermal conductivity test

利用竖直地埋管换热系统采用人工热源向岩土体中连续加热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及岩土体初始平均温度的试验。

[来源: DB61/T 1397-2021, 3.11]

3.8

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。

[来源: DZ/T 0225-2009, 3.12]

3.9

岩土综合热物性参数 parameter of the rock-soil thermal properties

是指不含回填材料在内的，竖直地埋管埋设深度范围内，岩土的综合导热系数、综合比热容。

[来源: GB 50366-2005（2009年版），2.0.26]

3.10

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

从恒温带至竖直地埋管埋设深度范围内，岩土常年恒定的平均温度。

[来源: DB61/T 1397-2021, 3.17]

3.11

灌采比 rate of injection to exploitation

回灌试验中单位回灌量和抽水试验中单位涌水量的比值。

[来源: DB61/T 1397-2021, 3.18]

4 基本要求

- 4.1 浅层地源热泵系统工程建设前应进行勘察, 勘察单位应具备相应专业技术能力。
- 4.2 建设单位应编制勘察委托书, 明确勘察目的、任务。
- 4.3 浅层地源热泵系统工程勘察分为可行性研究阶段勘察和施工图设计阶段勘察, 可行性研究阶段勘察可参考已有类似工程勘察资料, 施工图设计阶段勘察应根据工程规模和场地复杂程度等级, 确定勘察等级, 进行勘察。
- 4.4 勘察单位应编制勘察方案, 经浅层地源热泵系统工程建设单位认可后, 方可勘察。
- 4.5 浅层地源热泵系统工程勘察中的试验孔(井)应按照探采结合的原则设计、施工, 完成勘察任务后, 转为生产孔(井)。
- 4.6 勘察工作中, 钻探、试验工作完成后, 建设单位应组织单项工程专项验收。
- 4.7 勘察工作结束后, 勘察单位应编制勘察报告和相关图件, 报送建设单位组织审查。

5 勘察

5.1 勘察阶段

5.1.1 可行性研究阶段勘察

5.1.1.1 可行性研究阶段勘察应基本查明拟建场地浅层地热能开发利用条件, 对拟建工程开发利用浅层地热能的方式做出适宜性评价, 估算单孔(井)换热能力。

5.1.1.2 可行性研究阶段勘察以资料收集和分析为主, 开展场地状况调查, 宜布置少量勘探和测试工作。

5.1.1.3 资料收集主要包括以下方面:

- a) 区域地质、场地岩土工程勘察、浅层地热能调查评价成果, 气象水文、地形地貌、周边浅层地热能开发利用现状;
- b) 对地下水地源热泵工程, 应重点收集场区周边水文地质条件、地下水补径排条件、动态特征、抽水试验、回灌试验成果等资料;
- c) 对竖直地埋管地源热泵工程, 应重点收集场地地层岩性、周边岩土体常规物理指标及热物理参数, 岩土热响应试验成果等资料。

5.1.1.4 场地状况调查应包括以下主要内容:

- a) 场地面积、形状、坡度;
- b) 场地内已有建筑物及拟建建筑物分布、基础形式和地基处理方式等情况;
- c) 场地内植被、排水沟(渠)、输电线、电信电缆等分布情况;
- d) 场地内已有及拟建地下管线分布及埋藏情况;
- e) 场地内已有水井分布、用途、开采层段、运行状况等。

5.1.1.5 当需要布置勘探和测试工作时, 可参考本文件 5.2 和 5.3 执行。

5.1.2 施工图设计阶段勘察

5.1.2.1 施工设计阶段勘察应通过钻探、岩土水样测试、抽水试验、回灌试验、现场热响应试验等措施，查明拟建工程场地浅层地热能开发利用条件，提供岩土热物性参数、水文地质参数、单井涌水量和回灌量、单孔换热量等参数。

5.1.2.2 施工设计阶段勘察应在场地状况调查的基础上，根据可行性研究确定的浅层地热能开发利用方式，选用合理的勘察方法，进行勘察。

5.1.2.3 施工设计阶段勘察根据工程规模和场地复杂程度，划分为甲级、乙级和丙级三个勘察等级，勘察等级划分依据见表 1。

表 1 勘察等级划分表

勘察等级		场地复杂程度		
		复杂	中等	简单
工程规模	大型	甲级	甲级	乙级
	中型	甲级	乙级	丙级
	小型	乙级	丙级	丙级

5.1.2.4 场地复杂程度划分为复杂场地、中等复杂场地和简单场地，场地复杂程度划分标准见表 2。

表 2 场地复杂程度划分表

场地复杂程度	复杂	中等复杂	简单
场地条件	地面建筑物、地下构筑物占地面积达到场地面积 2/3（含）以上。	地面建筑物、地下构筑物占地面积在场地面积的 1/3（含）~2/3 之间。	地面建筑物、地下构筑物占地面积小于场地面积的 1/3。
岩土体结构	岩土种类多，岩性差异大，分布不均匀；严重湿陷、膨胀等特殊岩土。	岩土种类较多，岩性差异较大，分布较均匀；中等程度湿陷、膨胀等特殊岩土。	岩土种类较单一，岩性差异较小，分布均匀；无特殊岩土。
水文地质复杂程度	复杂	中等	简单
注：1. 只要符合上述一项条件，则场地复杂程度确定为该等级。 2. 水文地质复杂程度参考《水文地质调查规范（1:50 000）》（DZ/T0282-2015）。			

5.1.2.5 工程规模划分为大型、中型和小型规模，工程规模划分标准见表 3。

表 3 工程规模划分表

工程规模	大型	中型	小型
应用建筑面积（S）	$S \geq 20000\text{m}^2$	$5000 \leq S < 20000\text{m}^2$	$S < 5000\text{m}^2$

5.2 勘察内容

5.2.1 浅层地源热泵系统工程勘察范围以地源热泵工程换热系统建设场地为主，适当外延。

5.2.2 勘察工作的内容和工作量，应根据开发利用方式、勘察阶段、勘察等级、区域研究程度等因素确定。

5.2.3 地下水地源热泵工程勘察内容包括以下方面：

- 地形地貌、地质构造、地层岩性结构；
- 地下水类型、含水岩组特征、含水层富水性、渗透性、径流方向，与地表水的水力联系；
- 地下水水温、水质特征，地下水动态变化特征；
- 根据水质分析结果，评价地下水、岩土体对地下管道的腐蚀性；
- 开展抽水回灌试验，查明含水层出水能力和回灌能力；
- 根据技术、经济和地质环境保护的要求，推荐合理的开发利用方案，包括地下水静水位、循环量，地下水抽、灌井距。

5.2.4 地下水地源热泵工程勘察工作量布置按表 4 确定：

表 4 地下水地源热泵系统工程勘察工作量布置表

勘察等级	勘查井/个	抽水试验/处	回灌试验/处	水样/件
甲级	≥3	≥3	≥2	≥3
乙级	2	2	1~2	2
丙级	1	1	1	1

注：可行性研究阶段勘察工作量可参照该标准酌情减少。

5.2.5 竖直埋管地源热泵系统工程勘察内容包括以下方面：

- 地形地貌、冻土层厚度；
- 地质构造、岩土层结构、岩土体常规物理性质及热物理性质；
- 地下水静水位、径流方向；
- 开展现场热响应试验，查明岩土初始平均温度、岩土综合导热系数；
- 进行埋管换热系统场地浅层地热能评价，推荐合理的开发利用方案，包括换热器形式、间距、孔深、换热量，评估埋管侧冷热平衡，提出解决冷热不平衡的技术措施。

5.2.6 竖直埋管地源热泵系统工程勘察工作量布置按表 5 确定：

表 5 竖直埋管地源热泵系统工程勘察工作量布置表

勘察等级	勘探孔/个	现场热响应试验/处	岩土样/件
甲级	≥3	≥3	单层厚度大于 1m 的岩土层，每层应取样。
乙级	1~2	1~2	单层厚度大于 1m 的岩土层，每层应取样。
丙级	1	1	单层厚度大于 1m 的岩土层，每层应取样。

注：可行性研究阶段勘察工作量可参照该标准酌情减少。

5.3 勘察方法及技术要求

5.3.1 钻探

5.3.1.1 在资料收集、场地状况调查的基础上布置钻探勘探线和钻孔位置，应编制钻孔设计书。

5.3.1.2 勘探线应垂直地貌单元、地质构造和地层界限布置，每个地貌单元内均应布置钻孔。

5.3.1.3 地下水地源热泵工程勘察钻探工作应符合以下要求：

- 查明含水层(组)的数量、埋藏深度、厚度、岩性；
- 查明换热深度范围内地下水水温、出水量、水质；
- 钻探与成孔应符合 GB 50027-2001 第 5 章的相关要求；
- 钻探工作结束后，应提交包括钻孔柱状图、水文地质观测、测井曲线、采样及分析结果等原始资料在内的地质成果，并应编制钻孔综合成果图及成井报告。

5.3.1.4 竖直埋管地源热泵工程勘察钻探工作应符合以下要求：

- 查明浅层地质结构，确定地层、岩性、埋藏深度、厚度；
- 查明含水层(组)的数量、埋藏深度、厚度、岩性；
- 钻孔孔径应不小于 110mm，钻孔深度应大于预计孔深 5m；
- 应全孔取芯，粘性土取芯率应不低于 80%，砂类土取芯率应不低于 60%；
- 钻进方法宜采用岩芯钻进，地下水位以上宜干钻；
- 钻探应符合 GB 50021-2001（2009 年版）中 9.2 的相关要求；
- 钻探工作结束后，应提交包括钻孔柱状图、简易水文地质观测、岩芯记录表、采样及分析结果等原始资料在内的地质成果。

5.3.2 抽水及回灌试验

5.3.2.1 抽水试验可采用单孔或群孔抽水试验，宜布置观测孔。

5.3.2.2 抽水试验宜采用非稳定流抽水试验，应遵守 GB 50027-2001 第 6 章的要求。

5.3.2.3 回灌试验应符合以下要求：

- a) 回灌试验井间距应大于影响半径；
- b) 回灌试验的回灌层位应与抽水试验的抽水层位为相同含水层；
- 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 1/20000(体积比)；
- d) 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，测量数据应精确到 1cm。回灌量的测量，采用水表计量时，水表读数应精确到 0.1m³；用堰箱测量时，水面高度测量数据应精确到 1mm；
- e) 回灌试验时，回灌井水位的稳定延续时间应不小于 24h，在稳定延续时间内，扣除水位日变幅值后的水位波动范围应在 ±10cm 以内；
- f) 回灌试验结束后，应对井内沉淀物进行处理。

5.3.2.4 抽水及回灌试验结束后，应根据试验数据，计算水文地质参数、灌采比，确定合理的抽水量和井间距，分析回灌井影响半径。

5.3.3 现场热响应试验

5.3.3.1 试验管材应符合 GB 50366-2005 中 4.2 的相关要求。

5.3.3.2 试验管材安装前应进行水压试验，水压试验应符合 GB 50366-2005 中 4.5.2 的相关要求。

5.3.3.3 试验管材安装时应带压安装，随时观察压力表变化，防止安装过程中管材出现破损现象，试验管材安装完成后应进行灌浆回填，试验管材安装和灌浆回填应符合 GB 50366-2005 中 4.4 的相关要求。

5.3.3.4 现场热响应试验设备应为经过相关部门认证的合格产品，应定期（每年不少于一次）进行检验和标定。

5.3.3.5 现场热响应试验在试验管材安装完毕且灌浆回填密实至少 48h 后进行。

5.3.3.6 现场热响应试验应测试岩土初始平均温度、地埋管换热器侧的循环水进出口温度、流量、加热功率，计算岩土的综合导热系数。

5.3.3.7 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，采用无功循环法时，温度稳定（在不少于 12h 的时间内，地埋管出口温度变化幅度小于 0.5℃）后，观测时间不少于 24h。

5.3.3.8 现场热响应试验可采用稳定热流测试法或稳定工况测试法，地埋管内循环介质流速不应低于 0.2m/s，循环介质流速波动范围在 ±5% 以内。

5.3.3.9 稳定热流测试法应符合以下要求：

- a) 宜进行两次不同负荷的加热试验，每次试验期间加热功率应保持恒定，加热功率波动范围在 ±5% 以内；
- b) 当测试孔深度在 80m~100m 时，大负荷试验加热功率宜采用 50W/m，小负荷试验加热功率宜采用 30W/m；
- c) 在温度稳定（在不少于 12h 的时间内，地埋管出口温度变化幅度小于 1℃）后，持续观测时间不少于 24h。

5.3.3.10 稳定工况测试法应符合以下要求：

- a) 试验设定工况应为系统设计运行工况，试验供水温度与设计供水温度值波动范围在 ±0.2℃ 以内；
- b) 在温度稳定（在不少于 12h 的时间内，地埋管出口温度变化幅度小于 0.5℃）后，持续观测时间不少于 24h。

5.3.3.11 每次试验停止后,应继续观测地埋管的进出口温度,至温度稳定(在不少于12h的时间内,地埋管出口温度变化幅度小于0.5℃)为止,观测时间不少于12h要求。

5.3.3.12 可在试验孔周围布置地温观测孔,根据观测数据计算地埋管换热孔合理间距。

5.3.3.13 现场热响应获得的试验数据处理前应进行综合分析,剔除因试验条件(如气温等)变化造成的异常数据。

5.3.3.14 岩土的综合导热系数计算可参照以下公式。

根据线热源理论,流入与流出地埋管的水温平均值的计算式为:

$$T_f = \frac{Q_{\text{heat}}}{4\pi\lambda H} \left(\ln \frac{4at}{r^2} - \gamma \right) + \frac{Q_{\text{heat}}}{H} R_b + T_0 \dots \dots \dots (1)$$

式中:

T_f ——埋管内流体平均温度(取入口与出口的平均值),℃;

Q_{heat} ——加热功率,W;

λ ——岩土的综合导热系数,W/(m·℃);

a ——热扩散率,m²/s;

t ——测试时间,s;

r ——钻孔半径,m;

γ ——欧拉常数,取0.5772;

R_b ——钻孔热阻,m·℃/W;

T_0 ——岩土远处未受扰动的温度,℃;

H ——钻孔深度,m。

上式可写为线性形式,即:

$$T_f = k \ln t + m \dots \dots \dots (2)$$

$$k = \frac{Q_{\text{heat}}}{4\pi\lambda H} \dots \dots \dots (3)$$

$$m = \frac{Q_{\text{heat}}}{H} \left[\frac{1}{4\pi\lambda} \left(\ln \frac{4a}{r^2} - \gamma \right) + R_b \right] + T_0 \dots \dots \dots (4)$$

$$c = \lambda / a \dots \dots \dots (5)$$

绘制 T_f 随 $\ln t$ 的变化曲线,求取其斜率,可以计算得到岩土的综合导热系数 λ 。再根据岩土的体积比热容 c ,计算得到热扩散率 a 。再根据 T_f 随 $\ln t$ 的变化曲线的截距,可计算出单位深度钻孔总热阻 R_b 。

5.3.4 岩土水样采集测试

5.3.4.1 岩土样采集与测试一般应符合以下要求:

- 岩土样在竖直地埋管地源热泵工程勘察钻孔中采集,岩土层单层厚度大于1m的,每层应采取代表性岩土样。砂土采取扰动样,其他岩土样应采取原状样;
- 岩土样质量等级应不低于Ⅱ级,样品采集应符合GB 50021-2001(2009年版)中9.4的相关要求;
- 岩土样应进行常规物理性质和热物理性质测试,测试参数主要包括天然重度、干重度、孔隙度、含水率、饱和度、比热容、导热系数、热扩散率等;
- 岩土样测试按GB/T 50123-2019的规定执行。

5.3.4.2 水样采集与测试一般应符合以下要求：

- a) 应采集钻孔中水样，水样应代表天然状态下的客观水质情况；
- b) 水样测试应进行水质全分析测试以及 Cu^{2+} 、油污、 H_2S 单项测试。

注：水质全分析测试项目参照DZ/T 0282-2015中8.7.1.2的相关规定。

6 评价

6.1 可行性阶段勘察评价

6.1.1 可行性勘察阶段应根据场地地质条件、水文地质条件、换热方式，进行适宜性评价，宜分为：适宜、较适宜和不适宜。

6.1.2 适宜性评价应分别对地下水换热方式和地埋管换热方式进行评价，评价方法可采用指标法。

6.1.3 采用指标法进行适宜性评价应从以下方面综合评判：

- a) 对于地下水换热方式，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，水位动态变化，水源地保护、地质灾害等因素，主要指标见表1；

表1 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 q / [$\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$]	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	>500	$>80\%$	<0.8	--	三项指标均符合
较适宜	$300 \sim 500$	$50\% \sim 80\%$	$0.8 \sim 1.5$	--	除适宜区和不适宜区以外的其他地区
不适宜	<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

注：单位涌水量计算时，按照统一管径273mm进行计算。

- b) 对于地埋管换热方式，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等因素，主要指标见表2。

表2 竖直地埋管换热方式适宜性分区

分区	分区指标（地表以下200m范围内）			综合评判标准
	松散层与软质岩*厚度 /m	卵石层厚度/ 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 $50 \sim 100$	$5 \sim 10$	$10 \sim 30$	不符合适宜区和不适宜区条件
不适宜区	$30 \sim 50$	>10	<10	至少二项指标应符合

注：软质岩等级的划分按现行国家标准《工程岩体分级标准》（GB50218-2014）执行。
在无制冷需求的地区均不适宜建设

6.2 施工设计阶段勘察评价

6.2.1 场地浅层地热能评价的内容包括计算单井换热功率，单井出水量和回灌量，根据冷热负荷需求，评价其资源保证程度。

6.2.2 评价面积为拟建场地内可供利用的实际面积。

6.2.3 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200m深度以内。

6.2.4 地下水换热功率计算时，在有地下水地源热泵工程的地区，可采用实际工程的单井换热功率；在没有地下水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，计算换热功率。计算方法参照附录A.1。

6.2.5 地埋管换热功率计算时，在有地埋管地源热泵工程的地区，可采用实际工程的平均单孔换热功率；在没有地埋管地源热泵工程的地区，可采用现场热响应试验取得的参数，计算换热功率。计算方法参照附录 A.2。

6.2.6 应依据地源热泵工程有关水质指标，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评价可参照 GB/T 14848，地源热泵循环水质评价参照附录 E。

7 设计书和勘察报告编写

7.1 设计书编写

编写设计书前应进行现场踏勘，设计书编写提纲及要求应按附录C执行。

7.2 成果报告编写

勘察工作完成后，应编写勘察报告，勘察报告编写提纲及要求应按附录D执行。

附 录 A
(资料性附录)
计算方法

A.1 地下水方式换热功率计算

适用于取得地下水循环利用量后，计算换热功率，公式如下：

$$Q_q = Q_h \times n \times \tau \dots\dots\dots (A.1)$$

$$Q_h = q_w \Delta T \rho_w C_w \times 1.16 \times 10^{-5} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：\$Q_q\$——为评价区地下水换热功率，kW；

\$Q_h\$——为单井换热功率，kW；

\$n\$——为计算面积内可钻孔数量；

\$\tau\$——为土地利用率。

\$q_w\$——地下水循环利用量，m³/d；

\$\Delta T\$——地下水利用温差，℃。

A.2 地埋管方式换热功率计算

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：

$$D = \frac{2\pi L |t_1 - t_4|}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_4}{r_3}} \dots\dots\dots (A.3)$$

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\$——换热孔周围岩土体的平均热导率，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 管为管内径 \$\sqrt{2}\$ 倍，双 U 管为管内径的 2 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，可通过现场热响应试验时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体的温度，℃。

- b) 在层状均匀的土壤或岩石中，当 $at/rb^2 \geq 5$ 且为排热时，非稳定传热条件下 U 形地埋管的单孔换热功率可按下式计算：

$$D = \frac{T_f - T_g}{R} \quad R = \frac{\ln\left(\frac{4at}{r_b^2}\right) - 0.5772}{4\pi\lambda_s L_1} + \frac{R_0}{L_1} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中： T_f ——地埋管进、出口温度平均值，℃；

T_g ——岩土体远边界温度，℃；

r_b ——钻孔半径，m；

λ_s ——周围岩土体的导热系数，W/m·℃；

L_1 ——钻孔深度，m；

t ——时间，h；

a ——土壤的热扩散率，m²/h；

R_0 ——为单位深度钻孔总热阻，(m·℃)/W。

- c) 根据 U 形地埋管单孔换热功率，计算评价区换热功率。

$$Q_h = D \times n \times 10^{-3} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中： Q_h ——换热功率，kW；

D ——单孔换热功率，W；

n ——计算面积内换热孔数。

附 录 B
(资料性附录)
陕西省主要地层岩土热物性参数

B.1 主要地层岩土热物性参数见表B.1。

表 B.1 岩土热物性参数表

区域位置	岩土名称	密度 (kg/m ³)	热扩散率 (m ² /h)	热导率 [w/(m·℃)]	比热容 [kJ/(kg·℃)]
关中地区	粘性土	1984.7	0.00327	1.44	1.19
	粉土	2027.2	0.00263	1.61	1.10
	黄土	1984.5	0.00230	1.50	1.20
	粉细砂	1941.9	0.00309	1.69	1.04
	中粗砂	1951.7	0.00319	1.67	0.98
	砂岩	2303.1	0.00347	1.99	0.92
	泥岩	2151.2	0.00253	1.64	1.10
陕北地区	粘性土	2043.5	0.00235	1.50	1.15
	粉土	1951.9	0.00258	1.46	1.04
	黄土	1933.4	0.00236	1.40	1.13
	粉细砂	1952.3	0.00276	1.55	1.08
	中粗砂	1915.8	0.00208	1.63	1.17
	砂岩	2340.6	0.00411	2.29	0.88
	泥岩	2341.5	0.00311	1.79	0.91
	页岩	2581.2	0.00339	2.10	0.89
陕南地区	粘性土	1969.8	0.00207	1.38	1.24
	粉土	1965.1	0.00263	1.55	1.11
	粉砂	1976.2	0.00351	2.04	1.07
	细砂	2158.2	0.00191	1.46	1.26
	中砂	1901.7	0.00300	1.74	1.11
	粗砂	1977.6	0.00319	1.92	1.12
	砂岩	2630.6	0.00317	2.37	1.03
	泥岩	2561.22	0.00193	1.47	1.07
	千枚岩	2646.4	0.00434	2.55	0.81
引自《浅层 地热能勘查 规范》(DZT 0225-2009)	花岗岩	2700	0.00458	2.721	0.794
	石灰岩	2700	0.00292	2.010	0.920
	空气(常压)	1.29	0.064	0.023	1.003
	冰	920	0.00425	2.219	2.048
	水(平均)	1000	0.00050	0.599	4.180
	回填膨润土(含有 20%~30%的固体)			0.73~0.75	
	回填混合物(20%膨润土、80%石英砂)			1.47~1.64	
	回填混合物(15%膨润土、85%石英砂)			1.00~1.10	
	回填混合物(10%膨润土、90%石英砂)			2.08~2.42	
	回填混合物(30%膨润土、70%石英砂)			2.08~2.42	

附 录 C
(资料性附录)
设计编写提纲

C.1 提纲

- C.1.1 第一章 前言
- C.1.2 第二章 工程场地浅层地热能概况
- C.1.3 第三章 浅层地热能勘察及技术要求
- C.1.4 第四章 预期成果
- C.1.5 第五章 人员编制和管理
- C.1.6 第六章 实物工作量
- C.1.7 第七章 经费预算

C.2 要求

- C.2.1 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）。
- C.2.2 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察工作方向。
- C.2.3 第三章 根据项目规模和勘察工作方向确定、部署勘察工作，选用的勘察技术方法及质量要求，现场测试及试样的采取、送样要求。
- C.2.4 第四章 预期成果。
- C.2.5 第五章 人员编制和管理。
- C.2.6 第六章 实物工作量，应附勘察孔布置图及进度安排。
- C.2.7 第七章 经费预算，按照有关要求编制。

附 录 D
(资料性附录)
勘察报告编写提纲

D.1 提纲

- D.1.1 第一章 前言
- D.1.2 第二章 自然地理及地质概况
- D.1.3 第三章 勘察工作
- D.1.4 第四章 浅层地热能评价
- D.1.5 第五章 结论和建议
- D.1.6 主要附件：
 - a) 勘察工作平面布置图；
 - b) 地质图及其剖面图；
 - c) 钻孔综合柱状图、测井曲线、抽水试验综合图；
 - d) 分析成果表。

D.2 要求

- D.2.1 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；简要评述勘察区以往地质工作的程度及浅层地热能开发利用的现状；简述勘察工作的进程以及完成的工作量。
- D.2.2 第二章 概述勘察区的自然地理条件；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。
- D.2.3 第三章 论述勘察主要内容及其布置，工作的主要成果。
- D.2.4 第四章 根据现场热响应试验结果或地下水源井抽水、回灌试验结果，计算浅层地热能单井换热量，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。
- D.2.5 第五章 简述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；指出本次工作的不足和存在的问题。

注：编写报告时，宜根据勘察阶段和勘察等级不同，对本提纲的内容进行合理的增、删。

附 录 E
(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 E. 1。

表 E.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	<1/200000	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	0.5~1.0 mg/l	16	H ₂ S	<0.5mg/l