

DB61

陕西省地方标准

DB 61/T 1397—2021

浅层地热能勘查与评价技术规程

Technical standards for exploration and evaluation of shallow geothermal energy

2021-01-19 发布

2021-02-19 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 总则.....	3
5 勘查.....	4
6 浅层地热能评价.....	9
7 设计书和成果报告编写.....	13
附录 A（资料性） 计算方法.....	14
附录 B（资料性） 可替代常规能源量计算方法.....	18
附录 C（资料性） 陕西省主要地层岩土热物性参数.....	19
附录 D（资料性） 设计编写提纲.....	21
附录 E（资料性） 报告编写提纲.....	22
附录 F（资料性） 大地热流值确定方法.....	24

浅层地热能勘查与评价技术规程

1 范围

本标准规定了浅层地热能勘查与评价的总则、勘查工作质量要求、浅层地热能评价、设计书和成果报告编写要求。

本标准适用于陕西省境内地下水换热方式和竖直地埋管换热方式的浅层地热能区域勘查与评价。

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，仅该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 11615-2010 地热资源地质勘查规范
- 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 50218-2014 工程岩体分级标准
- GB 50366-2005 (2009年版) 地源热泵系统工程技术规范
- GB/T 2589-2008 综合能耗计算通则
- GB/T 14848-2017 地下水质量标准
- GB/T 50123-2019 土工试验方法标准
- DZ/T 0153-2010 物化探工程测量规范
- 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)

3 术语和定义

GB 50366-2005 (2009年版) 和 DZ/T 0225-2009 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。

[来源：DZ/T 0225-2009，3.2]

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。

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

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。

[来源：DZ/T 0225-2009，3.5]

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。根据地热能交换系统形式的不同，地源热泵系统分为埋管地源热泵系统、地下水地源热泵系统和地表水地源热泵系统。

3.7

竖直埋管换热系统 vertical ground heat exchanger system

传热介质通过竖直埋管换热器与岩土体进行热交换的地热能交换系统。

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。

[来源：DZ/T 0225-2009，3.8]

3.9

竖直埋管换热器 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。

3.10

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]

3.11

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

利用竖直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。

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。

[来源: DZ/T 0225-2009, 3.12]

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称为大地热流值。

[来源: DZ/T 0225-2009, 3.13]

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。

[来源: DZ/T 0225-2009, 3.14]

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。

[来源: DZ/T 0225-2009, 3.15]

3.16

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]

3.17

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。

3.18

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。

4 总则

4.1 编制浅层地热能产业规划前应进行浅层地热能勘查与评价, 勘查与评价应符合本省国民经济建设布局, 围绕城市及其周边地区、重要经济区、综合开发区、重点城镇等地区开展。

4.2 浅层地热能勘查与评价开展前应收集目标区域内地质、水文地质、地热等方面已有研究成果, 编制项目勘查设计书。

4.3 浅层地热能勘查应采用综合手段,适当补充地质、水文地质野外调查,结合工作区特点和地质条件复杂程度,布置物探、钻探、现场试验、地温监测等勘查和试验。

4.4 浅层地热能评价应进行适宜性评价、资源量评价、环境影响预测和经济成本评估,确定可开发利用的地区及合理利用方式、合理利用量。

4.5 勘查与评价工作完成后应编制成果报告并向相关部门提交。

5 勘查

5.1 流程

5.1.1 充分收集工作区地质、水文地质资料,进行综合分析研究,明确工作区气象水文、地质、水文地质、地热地质条件等浅层地热能开发利用条件。

5.1.2 在资料研究分析基础上,根据勘查工作需要,补充开展地质、水文地质等地质调查工作,布置地球物理勘探、钻探、取样等勘查工作,基本查明工作区浅层地热能赋存条件。

5.1.3 开展抽水回灌试验、现场热响应试验、地温监测等专项试验和监测工作,获取工作区地温场特征、水文地质参数、含水层回灌性能、岩土体热物性等参数体系。

5.1.4 在基本查明工作区浅层地热能赋存条件和开发利用条件的基础上,结合专项试验获得的相关参数,开展适宜性评价、资源评价、热平衡评价、环境效益评价、地质环境影响预测等浅层地热能评价工作。

5.1.5 编制开发利用区划。

5.2 内容

5.2.1 关中冲洪积平原区勘查内容主要包括:

- a) 地貌成因类型及特征、分布、组成物质、形成时代;
- b) 地下水类型、埋藏条件、含水层结构、富水性、水化学特征、补径排条件等水文地质条件;
- c) 含水层回灌能力;
- d) 地质构造、岩土层结构、物质组成、热物性特征;
- e) 浅层地温场分布特征;
- f) 岩土综合导热系数;
- g) 开发利用现状。

5.2.2 关中黄土台塬区勘查内容主要包括:

- a) 地貌成因类型及特征、分布、组成物质、形成时代;
- b) 地质构造、岩土层结构、物质组成、热物性特征;
- c) 地质灾害发育特征;
- d) 浅层地温场分布特征;
- e) 岩土综合导热系数。

5.2.3 陕南秦巴山地区勘查内容主要包括:

- a) 地貌成因类型及特征、分布、组成物质、形成时代;
- b) 地质构造、岩土层结构、松散层厚度、物质组成、热物性特征;
- c) 地质灾害、山洪灾害发育特征;
- d) 浅层地温场分布特征;
- e) 岩土综合导热系数。

5.2.4 陕南低山丘陵盆地区勘查内容主要包括:

- a) 地貌成因形态类型及特征、分布、组成物质、形成时代；
- b) 地下水类型、埋藏条件、含水层结构、富水性、水化学特征、补径排条件等水文地质条件；
- c) 含水层回灌能力；
- d) 地质构造、岩土层结构、松散层厚度、物质组成、热物性特征；
- e) 地质灾害、山洪灾害发育特征；
- f) 浅层地温场分布特征；
- g) 岩土综合导热系数。

5.2.5 陕北黄土高原区勘查内容主要包括：

- a) 地貌成因形态类型及特征、分布、组成物质、形成时代；
- b) 地质构造、岩土层结构、松散层厚度、物质组成、热物性特征；
- c) 地质灾害发育特征；
- d) 浅层地温场分布特征；
- e) 岩土综合导热系数。

5.2.6 陕北风沙高原区勘查内容主要包括：

- a) 地貌成因形态类型及特征、分布、组成物质、形成时代；
- b) 地质构造、岩土层结构、松散层厚度、物质组成、热物性特征；
- c) 浅层地温场分布特征；
- d) 岩土综合导热系数。

5.2.7 应根据不同区域地质条件复杂程度、已有工作程度，有针对性地布置勘查工作。一般可参照以下内容进行布置：

- a) 关中冲洪积平原区：适当补充地质、水文地质野外调查和抽水试验，布置钻探、取样、现场热响应试验、回灌试验、地温监测等勘查工作；
- b) 关中黄土台塬区：适当补充地质调查，布置钻探、取样、现场热响应试验、地温监测等勘查工作；
- c) 陕南低山丘陵盆地区：适当补充地质、水文地质野外调查和抽水试验，布置物探、钻探、取样、现场热响应试验、回灌试验、地温监测等勘查工作；
- d) 陕南秦巴山地区、陕北黄土高原区、陕北风沙高原区：适当补充地质调查，布置物探、工程地质钻探、取样、现场热响应试验、地温监测等勘查工作。

5.3 勘查精度

5.3.1 浅层地热能勘查宜采用不低于 1:50000 比例尺的地理底图开展工作。

5.3.2 工作区复杂程度分区如下：

- a) 简单地区：地貌类型单一，地层及地质构造简单，地下水补径排条件简单，水化学类型单一；
- b) 中等地区：地貌类型较多样，地层及地质构造较复杂，地下水补径排条件和水化学类型较复杂；
- c) 复杂地区：地貌类型多样，地层及地质构造复杂，地下水补径排条件和水化学类型复杂。

5.3.3 不同区域勘查工作量应按表 1 规定执行：

表1 不同区域浅层地热能勘查每百平方公里工作量

区域	调查点*/个	水位统测点/个	抽水试验/组	回灌试验/组	勘查孔/个	水样/件	岩土样/组	现场热响应试验/组	地温长观孔/个
简单地区	40~55	6~8	3~6	1~2	2~3	8~15	20~30	2~3	2~3
中等地区	55~65	8~10	5~8	1~2	3~4	15~20	30~40	3~4	3~4
复杂地区	65~70	10~14	7~10	1~3	4~5	20~25	40~50	4~5	4~5

注：调查点包括水文地质调查点、环境地质调查点、地质地貌调查点等。

5.4 勘查方法及技术要求

5.4.1 遥感解译

- 5.4.1.1 遥感解译数据宜采用卫星影像，图像分辨率不低于10m。
- 5.4.1.2 遥感解译内容为勘查区内土地利用情况以及浅层地热能可开发的土地利用。
- 5.4.1.3 遥感解译按室内初步解译、建立野外解译标志、室内详细解译、野外验证的程序进行。
- 5.4.1.4 浅层地热能可开发的土地利用解译应将勘查区进行网格划分，划分单元格宜采用1km×1km，分别计算每个单元格的土地利用。
- 5.4.1.5 遥感解译成果应提交镶嵌卫片的解译成果图及说明书等。

5.4.2 地质调查

- 5.4.2.1 收集水文、气象、地质、水文地质、地热地质、环境地质资料及浅层地热能开发利用成果，并进行分析、整理。
- 5.4.2.2 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的比例要求。
- 5.4.2.3 调查深度宜控制在地表以下200m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），地温场分布特征。

5.4.3 地球物理勘探

- 5.4.3.1 应探明勘查区浅层地质结构、覆盖层厚度、风化壳厚度、基岩埋藏深度、地质构造等。
- 5.4.3.2 在地质调查工作难以判断而又需要解决的地段宜布置相应物探工作。
- 5.4.3.3 工作方法应根据勘查区的地质环境条件、工作内容等因素合理选择，工作方法及相关技术要求按DZ/T 0153-2010的规定执行。
- 5.4.3.4 应编制物探报告及解译推断成果图件，并作为勘查评价报告的附件提交。

5.4.4 钻探

- 5.4.4.1 钻探工作在资料收集、地质调查和地球物理勘探的基础上进行布置，应编制钻孔设计书。
- 5.4.4.2 钻探包括水文地质钻探和工程地质钻探。
- 5.4.4.3 水文地质钻探工作宜部署在关中冲洪积平原区和秦巴山区低山丘陵盆地区，钻孔一般布置在水文地质结构不清地段和地下水地源热泵工程主要开发区域。

5.4.4.4 水文地质钻探应探明含水层(组)的数目、埋藏深度、厚度、岩性,钻孔并用于开展抽水试验、回灌试验、采集水样和地下水动态监测。

5.4.4.5 水文地质钻孔的孔径应不小于 500mm,下入口径 300mm 以上管材,孔深一般要求揭露 200m 以浅具有供水意义的主要含水层或含水构造带。

5.4.4.6 水文地质钻探与成孔按 GB 50027-2001 第 5 章的相关要求执行。

5.4.4.7 工程地质钻探应部署在竖直地埋管换热方式适宜或较适宜区,钻孔一般布置在地层结构不清地段、热响应试验和地温观测的区域性控制地段以及地下水地源热泵工程主要开发区域。

5.4.4.8 工程地质钻探应探明浅层地质结构,确定地层、岩性、埋藏深度、厚度,钻孔并用于开展现场热响应试验、采集岩土样和地温场动态监测。

5.4.4.9 工程地质钻孔的孔径应不小于 110mm,钻探深度在陕南秦巴山地区宜钻穿松散层,进入基岩 5m,其余地区一般为 200m。

5.4.4.10 工程地质钻探在包气带中钻进时,应进行干钻。

5.4.4.11 工程地质钻探应全孔取芯,粘性土取芯率应不低于 80%,砂类土取芯率应不低于 60%。

5.4.4.12 工程地质钻探按 GB 50021-2001 (2009 年版) 中 9.2 的规定执行。

5.4.4.13 钻探工作结束后,应提交包括钻孔柱状图、水文地质观测、岩芯记录表、测井曲线、采样及分析结果等原始资料在内的地质成果,水文地质钻探还应编制钻孔综合成果图及成井报告。

5.4.5 抽水及回灌试验

5.4.5.1 抽水及回灌试验应布置在地下水换热方式适宜区和较适宜区,试验井宜选择水文地质钻孔、机民井、已建或新建水源热泵工程的换热井,不具备上述条件的应专门施工试验井。

5.4.5.2 抽水试验宜采用单孔非稳定流抽水试验,应遵守 GB 50027-2001 第 6 章的要求。

5.4.5.3 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。

5.4.5.4 抽水及回灌试验结束后,应根据试验数据,计算灌采比,确定合理的抽水量和井间距,分析回灌井影响半径。

5.4.6 岩土水样测试

5.4.6.1 岩土样采集与测试一般应符合以下要求:

- a) 岩土样在工程地质勘探孔中采集,岩土层厚度大于 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;
- b) 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;
- c) 岩土样测试按 GB/T 50123-2019 的规定执行。

5.4.6.2 水样采集与测试一般应符合以下要求:

- a) 水样采集一般布置在地下水换热方式适宜区和较适宜区；
- b) 水文地质勘探孔中应采集水样，水文地质调查中可在机民井上补充采集水样；
- c) 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。

5.4.7 现场热响应试验

5.4.7.1 现场热响应试验孔布置宜与工程地质勘探孔布置综合考虑，在工程地质勘探孔中开展现场热响应试验。

5.4.7.2 试验管材宜选用竖直地埋管换热器，管材应符合 GB 50366-2005 中 4.2 的相关要求。

5.4.7.3 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。

5.4.7.4 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，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。

5.4.7.5 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。

5.4.7.6 现场热响应试验应符合以下要求：

- a) 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；
- b) 现场热响应试验宜进行两次不同负荷的试验，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) 现场热响应试验前应先做无负荷的循环测试，获取地层初始平均温度。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；
- d) 在获取初始平均温度后，开始对不同负荷的加热试验。试验期间加热功率应保持稳定，热负荷和流量波动范围在 ±5% 以内，管内传热介质流速不应低于 0.2m/s。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，观测时间不少于 24h；
- e) 每次加热试验停止后，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；
- f) 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。

5.4.7.7 试验数据处理前应对现场测试数据进行综合分析，剔除因试验条件（如气温等）变化造成的异常数据。试验数据处理参照以下计算公式。

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：

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

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 ——土壤的平均热导率，W / (m·℃)；

a ——热扩散率， m^2 / 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， $\text{m} \cdot \text{℃} / \text{W}$ ；

T_o ——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:

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

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

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

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

式中:

绘制 T_f 随 $\ln t$ 的变化曲线, 求取其斜率, 可以计算得到土壤的平均热导率 λ 。再根据土壤的体积比热容 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 。

5.4.8 动态监测

5.4.8.1 动态监测包括地下水监测和地温监测, 地下水监测项目包括水位、水温、水质等。

5.4.8.2 地下水监测应符合以下要求:

- 地下水监测点密度应与区域水文地质复杂程度、地下水开采程度等相适应。主要含水层或开采层的监测密度宜为2~3个/100k m², 其它层位的监测密度根据具体情况适当控制;
- 地下水位的监测设备, 宜采用电测水位仪。当观测孔为自流井且压力水头很高时, 可安装压力表; 当压力水头不高时, 可用接长井管的方法观测承压水位;
- 设置的监测点均应利用高精度GPS测量坐标、地面标高及固定点标高;
- 水位、水温宜同步监测, 监测频率宜为每5日监测一次; 水质监测频率宜为一年2次, 在每年的丰枯季各取一次水样, 作水质全分析。

5.4.8.3 地温监测应符合以下要求:

- 在地温监测工作开始前应对区域地温进行统测, 确定勘查区恒温带位置;
- 地温监测宜在热响应试验孔中开展, 监测密度应符合表1相关要求;
- 地温监测实行分层监测, 监测设备宜采用温度传感器, 温度传感器之间的间距不宜大于10m;
- 地温监测频率宜为每10日监测一次。

6 浅层地热能评价

6.1 适宜性评价

6.1.1 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、较适宜区和不宜区。

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和层次分析法。

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 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*/ [m³/(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

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 3。

表 3 （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 50~100	5~10	10~30	不符合适宜区和不适宜区条件
不适宜区	30~50	>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。

6.1.4 采用层次分析法进行适宜性评价时，评价体系层次结构由以下指标层组成：

a) 对于地下水换热方式，适宜性分区主要考虑的因素有：地质、水文地质条件、地下水动力场、水化学场、地质环境、政策法规等，评价体系层次结构模型见图 1；

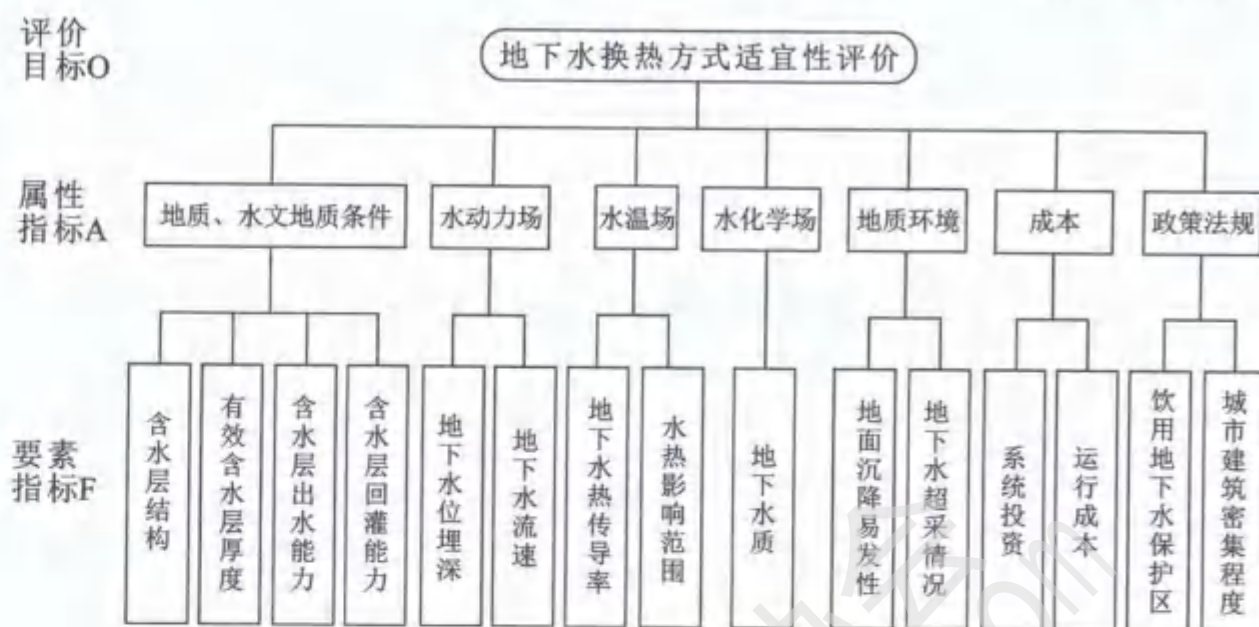


图1 地下水换热方式适宜性评价层次分析法结构模型示意图

- g) 对于地埋管换热方式, 适宜性分区主要考虑的因素有: 地质、水文地质条件、地层属性、地层热物性参数、施工条件、经济合理性等, 评价体系层次结构模型见图2。

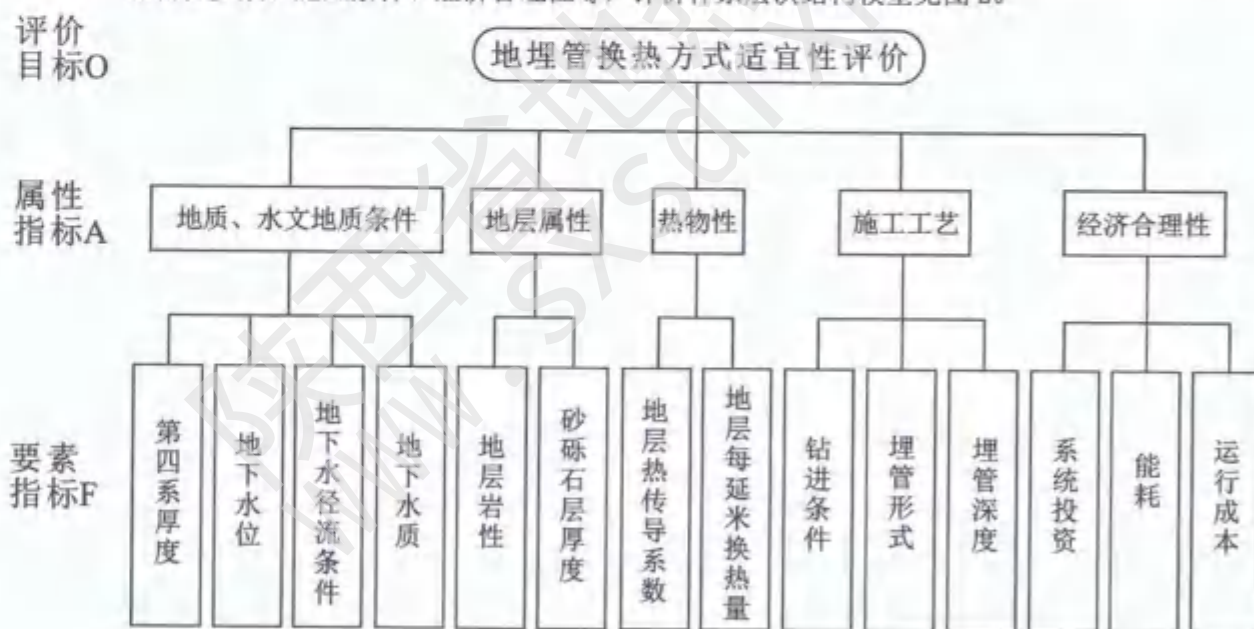


图2 地埋管换热方式适宜性评价层次分析法结构模型示意图

6.2 资源评价

6.2.1 区域浅层地热能资源评价的内容包括计算浅层地热容量、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。

6.2.2 评价区面积应结合当地的土地利用率确定, 并扣除不宜建设浅层地热能换热系统的面积。

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 浅层地热能热容量计算采用容积法，计算方法参照附录 A.1，计算参数可参考附录 C。在浅层地热能热容量计算的基础上，根据当地可利用温差，计算可利用的储藏热量。
- 6.2.5 在适宜性分区的基础上，分别计算各适宜区和较适宜区的浅层地热能换热功率。
- 6.2.6 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，计算区域换热功率。计算方法参照附录 A.2。
- 6.2.7 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单孔换热功率，计算区域换热功率。计算方法参照附录 A.3。
- 6.2.8 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浅层地热能热容量和换热功率。
- 6.2.9 根据区域浅层地热能换热功率、采暖期和制冷期，确定采暖期取热量和制冷期排热量，并可根据当地建筑物热指标和冷指标，估算供暖和制冷面积。

6.3 热平衡评价

- 6.3.1 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值（大地热流值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。
- 6.3.2 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。热均衡分析评价方法参照附录 A.4。

6.4 环境效益评价

- 6.4.1 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和节能减排量，估算减少排放的燃烧产物，包括：二氧化碳排放量、二氧化硫的排放量、氮氧化物排放量、粉尘排放量等，进而计算节省的环境治理费用。
- 6.4.2 每年利用浅层地热能可替代常规能源量的计算参考附录 B。
- 6.4.3 每年利用浅层地热能的减排量及节省的环境治理费用计算参照《地热资源地质勘查规范》（GB/T11615-2010）计算，具体见表 4。

表 4 浅层地热能开采一年相当节煤量的减排量及节省治理费用

项目	二氧化碳（CO ₂ ）	二氧化硫（SO ₂ ）	氮氧化物（NO _x ）	悬浮物粉尘	煤灰渣 ^a
单位	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a
计算式	(1) =2.386M _热	(2) =1.7%M _热	(3) =0.6%M _热	(4) =0.8%M _热	(5) =10%M _热
单位治理费用	0.1 元/kg ^b	1.1 元/kg	2.4 元/kg	0.8 元/kg	运输费
注1：煤灰渣不属于大气排放，属于固体废物排放。					
注2：清洁开发机制CDM国际碳汇市场价格略低于此价。					

6.5 地质环境影响预测

- 6.5.1 应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。

6.5.2 应评价浅层地热能开发对地下温度场的影响,根据不同换热方式评价相应的生态环境影响,提出不利环境影响的防治措施。

6.5.3 对地下水换热方式,应评价抽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。

6.5.4 对地埋管换热方式,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。

6.5.5 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 G。

6.6 开发利用区划

6.6.1 应在调查评价、环境影响预测和经济成本评估的基础上编制开发利用区划。

6.6.2 开发利用区划内容包括:不同换热方式分区、开采深度、灌采比、孔间距、换热参数等。

6.6.3 经济成本评估主要论证浅层地热能不同开发方式的建设成本、运行成本及经济性,估算地下换热系统不同开采方案的初投资及运行成本。

6.6.4 不同地下换热方式初投资一般从以下方面进行估算:

a) 地下水换热系统的初投资估算主要考虑抽灌井的数量、深度及钻探成本;

b) 竖直地埋管换热系统的初投资估算主要考虑埋管深度、管材选型、回填材料及钻孔成本等因素。

6.6.5 不同地下换热方式运行成本一般从以下方面进行估算:

a) 地下水换热系统的运行成本主要考虑热泵机组运行耗电、抽水泵耗电、回灌泵耗电、人工费等;

b) 竖直地埋管换热系统的运行成本主要考虑热泵机组运行耗电、循环水泵耗电、人工费等。

7 设计书和成果报告编写

7.1 设计书编写

编写设计前应进行现场踏勘,设计书编写提纲及要求应按附录D执行。

7.2 成果报告编写

勘查评价工作完成后,应编写勘查评价报告,报告编写提纲及要求应按附录E执行。

附 录 A
(资料性附录)
计算方法

A.1 浅层地热能热容量计算

采用体积法计算浅层地热能热容量，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，浅层地热能热容量按下式计算：

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

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

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

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

式中： Q_R ——浅层地热能热容量，kJ/℃；

Q_S ——岩土体中的热容量，kJ/℃；

Q_W ——岩土体所含水中的热容量，kJ/℃；

Q_A ——岩土体中所含空气中的热容量，kJ/℃；

ρ_S ——岩土体密度，kg/m³；

C_S ——岩土体骨架的比热容，kJ/kg·℃；

ϕ ——岩土体的孔隙率（或裂隙率）；

M ——计算面积，m²；

d_1 ——包气带厚度，m；

ρ_W ——水密度，kg/m³；

C_W ——水比热容，kJ/kg·℃；

ω ——岩土体的含水量；

ρ_A ——空气密度，kg/m³；

C_A ——空气比热容, $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$;

b) 在饱水带中, 浅层地热能热容量按下式计算:

$$Q_R = Q_S + Q_W \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中: Q_R ——浅层地热能热容量, $\text{kJ}/^\circ\text{C}$;

Q_S ——岩土体骨架的热容量, $\text{kJ}/^\circ\text{C}$;

Q_W ——岩土体所含水中的热容量, $\text{kJ}/^\circ\text{C}$ 。

Q_W 的计算公式如下:

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

式中: d_2 ——潜水面至计算下限的岩土体厚度, m 。

Q_S ——计算公式参照A.2中计算式, 但厚度采用 d_2 。

A.2 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:

$$Q_q = Q_h \times n \times \tau \dots\dots\dots (\text{A.7})$$

$$Q_h = q_w \Delta T \rho_W C_W \times 1.16 \times 10^{-5} \dots\dots\dots (\text{A.8})$$

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;

τ ——为土地利用率。

q_w ——地下水循环利用量, m^3/d ;

ΔT ——地下水利用温差, $^\circ\text{C}$ 。

A.3 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:

$$D = \frac{2\pi L |t_1 - t_4|}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_4}{r_3}} \quad (\text{A.9})$$

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：

$$D = \frac{T_f - T_g}{R} \quad R = \frac{\ln \left(\frac{4at}{r_b^2} \right) - 0.5772}{4\pi\lambda_s L_1} + \frac{R_0}{L_1} \quad (\text{A.10})$$

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；

\$\lambda_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，m\$^2\$/h；

R_0 ——为单位深度钻孔总热阻, $(\text{m}\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$ 。

c) 根据 U 形地埋管换热器传热系数 k_s , 计算单孔换热功率。

$$D = K_s \times L \times |t_1 - t_4| \dots\dots\dots (\text{A.11})$$

式中: K_s ——地埋管换热器传热系数, $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$, 即单位长度换热器、单位温差换热功率。

d) 根据 U 形地埋管单孔换热功率, 计算评价区换热功率。

$$Q_h = D \times n \times 10^{-3} \dots\dots\dots (\text{A.12})$$

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。

A.3.1 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, 具体内容如下:

- a) 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。
- b) 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。

A.3.1.1 在一个时段中的热均衡可以用下式表示:

$$Q_{in} - Q_{out} = \Delta Q \dots\dots\dots (\text{A.13})$$

式中: Q_{in} ——热补给量, kJ ;

Q_{out} ——热排泄量, kJ ;

ΔQ ——储存热量的变化量, kJ 。

A.3.1.2 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。

A.3.1.3 在地下水中, 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、水排泄带走的热量、侧向传导流出的热量等。

A.3.1.4 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。在勘查中, 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)
可替代常规能源量计算方法

B.1 浅层地热能开发利用的总能量

根据实际工程建筑夏、冬季计算冷负荷量、热负荷量，夏季制冷时间、冬季供热时间，计算出每年夏季、冬季建筑通过热泵获取的浅层地热能总能量。

$$Q = g + h \quad (\text{B.1})$$

$$g = 0.0036 \times a \times c \times d \times (1 + 1/\text{EER}) \quad (\text{B.2})$$

$$h = 0.0036 \times b \times e \times f \times (1 - 1/\text{COP}) \quad (\text{B.3})$$

式中：Q——建筑物获取的浅层地热能总能量（GJ）；

g——建筑物夏季获取的浅层地热能（GJ）；

h——建筑物冬季获取的浅层地热能（GJ）；

a——建筑物夏季冷负荷（kW）；

b——建筑物冬季热负荷（kW）；

c——热泵机组夏季制冷运行天数（天）；

e——热泵机组冬季供热运行天数（天）；

d——热泵机组夏季每天运行小时数（h）；

f——热泵机组冬季每天运行小时数（h）；

EER——热泵机组制冷能效比；

COP——热泵机组制热能效比。

B.2 每年利用浅层地热能可替代标煤量

根据《综合能耗计算通则》（GB/T2589—2008），计算每年利用浅层地热能可替代标煤量。

$$M_B = 0.7143M \quad (\text{B.4})$$

$$M = Q / (H_L \times K) \times 10^6 \quad (\text{B.5})$$

式中：M_B——折合标煤量（kg/a）；

M——替代原煤量（kg/a）；

H_L——原煤平均低位发热量，取20908kJ/kg；

K——热效比（按燃煤锅炉的热效率0.6计算）；

0.7143——原煤折合标准煤系数。

附录 C

(资料性附录)

陕西省主要地层岩土热物性参数

C.1 主要地层岩土热物性参数见表C.1。

表 C.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
陕南地区	页岩	2581.2	0.00339	2.10	0.89
	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
引自《浅层 地热能勘察 规范》(DZT 0225-2009)	泥岩	2561.22	0.00193	1.47	1.07
	千枚岩	2646.4	0.00434	2.55	0.81
	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 D
(资料性附录)
设计编写提纲

D.1 提纲

- D.1.1 第一章 前言
- D.1.2 第二章 以往地质工作程度及勘查成果
- D.1.3 第三章 区域地质背景
- D.1.4 第四章 工作部署
- D.1.5 第五章 工作方法和技术要求
- D.1.6 第六章 实物工作量
- D.1.7 第七章 预期成果
- D.1.8 第八章 组织机构与人员安排
- D.1.9 第九章 经费预算
- D.1.10 第十章 质量保障与安全措施
- D.1.11 主要图件内容如下：
 - a) 交通位置图
 - b) 地质、水文地质研究程度图
 - c) 区域地质图、水文地质图
 - d) 浅层地热能勘查评价工作部署图

D.2 要求

- D.2.1 第一章 简述目的任务、工作区自然地理、工作区社会、经济发展与水资源需求等。
- D.2.2 第二章 阐述以往区域基础地质工作情况、水工环地质工作、已进行的其它调查工作等。
- D.2.3 第三章 工作区地质概况、水文地质概况、存在的主要水文地质问题、浅层地热能勘查程度以及开发利用中存在的主要问题等。
- D.2.4 第四章 简述部署原则、工作重点、工作计划、时间安排。
- D.2.5 第五章 简述本项勘查设计采用的调查方法、精度要求以及侧重解决的地质问题。对水文地质测绘、遥感解译、水文地质钻探、物探、野外试验、室内试验、资源计算等各项工作提出具体的技术要求。
- D.2.6 第六章 为完成目标任务设计实物工作量（附实物工作量一览表）。
- D.2.7 第七章 项目的最终提交的报告、图件及信息系统；分阶段提交的报告和图件。
- D.2.8 第八章 组织管理，项目组主要成员及在项目中分工和每年参加项目工作时间等。
- D.2.9 第九章 经费预算，按照有关要求编制。
- D.2.10 第十章 保障项目完成，提高工作质量的具体措施；安全及劳动保护措施；项目全面质量管理办法及措施。

附录 E (资料性附录) 报告编写提纲

E.1 提纲

E.1.1 第一章 序言

E.1.2 第二章 自然地理概况与区域地质背景

E.1.3 第三章 浅层地热能赋存条件

E.1.4 第四章 浅层地热能开发利用适宜性分区

E.1.5 第五章 浅层地热能资源评价

E.1.6 第六章 浅层地热能开发利用及环境效益评价

E.1.7 第七章 浅层地热能开发对地质环境的影响

E.1.8 第八章 结论与建议

E.1.9 主要图件内容如下：

- a) 实际材料图
- b) 潜水综合水文地质图
- c) 承压水综合水文地质图
- d) 地下水埋藏条件及矿化度图
- e) 地下水地源热泵适宜性分区图
- f) 地埋管地源热泵适宜性分区图

E.1.10 主要插图：

- a) 地质地貌图
- b) 松散层厚度分区图
- c) 回灌能力分区图
- d) 地下水腐蚀性、结垢性分区图
- e) 地质灾害分布图
- f) 地温、地温梯度分布图
- g) 热容量计算分区图
- h) 地下水、地埋管换热功率计算分区图
- i) 地下水、地埋管地源热泵潜力评价图

E.1.11 要求

E.1.12 第一章 总结和阐述项目的由来、目标任务、工作区范围、研究程度、工作方法、完成的主要实物工作量、质量评述、主要成果等。

E.1.13 第二章 阐述地理概况、构造特征、地层等

E.1.14 第三章 阐述浅层地质结构特征、水文地质条件、岩土体热物性特征、浅层地温场特征、环境地质条件等。

E.1.15 第四章 主要阐述浅层地热能开发利用适宜性分区，包括地下水地源热泵适宜性分区和地埋管地源热泵适宜性分区

- E.1.16 第五章 进行浅层地热能容量和浅层地热能换热功率计算，并结合当地的土地利用规划以及供暖、制冷削峰负荷，计算当地的可供暖和制冷面积，进行浅层地热能潜力评价。
- E.1.17 第六章 分析浅层地热能开发利用的特点，统计浅层地热能开发利用现状，分析浅层地热能开发利用存在问题；从经济和社会效益两个方面分析浅层地热能开发利用的效益；根据国民经济发展规划，提出浅层地热能开发利用区划。
- E.1.18 第七章 阐述浅层地热能开发利用对地质环境影响、浅层地热能开发利用动态监测网建设、浅层地热能动态监测系统技术方法和内容、综合防治措施等。
- E.1.19 第八章 结论与建议。

附 录 F
(资料性附录)
大地热流值确定方法

F.1 大地热流值确定方法

F.1.1 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 ——大地热流 (mW/m^2)；

K ——岩石热导率；

$\frac{dT}{dZ}$ ——地温梯度。

F.1.2 把具有系统稳态测温数据和相应层段岩石热导率实测值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。

陕西省地热协会
www.sxsdrxh.com