**中深层地热能开发利用项目建设规范**

Specification for the construction of projects for the development and utilization of

medium and deep geothermal energy

|  |
| --- |
| （征求意见稿） |
|  |

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，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规范。

本文件由中国煤炭学会提出。

本文件由中国煤炭学会归口。

本文件起草单位：陕西小保当矿业有限公司、陕西省煤层气开发利用有限公司、西安交通大学、陕西韩城天久注浆勘探公司、中国科学院地质与地球物理研究所等。

本文件主要起草人：

目 次

[**1** 总则 1](#_Toc156511771)

[**2** 范围 1](#_Toc156511772)

[**3** 规范性引用文件 1](#_Toc156511773)

[**4** 术语和定义 1](#_Toc156511774)

[**5** 地热地质调查与评价 2](#_Toc156511775)

[5.1一般规定 2](#_Toc156511776)

[5.2地热地质条件论证 3](#_Toc156511777)

[**6** 地热换热井施工 4](#_Toc156511778)

[6.1一般规定 4](#_Toc156511779)

[6.2钻完井技术要求 4](#_Toc156511780)

[6.3固井技术要求 5](#_Toc156511781)

[6.4下套管技术要求 6](#_Toc156511782)

[**7** 地热换热系统及机房设计 6](#_Toc156511783)

[7.1一般规定 6](#_Toc156511784)

[7.2地热换热系统设计 6](#_Toc156511785)

[7.3地热换热系统管材与循环介质要求 7](#_Toc156511786)

[7.4地埋管取热性能测试 8](#_Toc156511787)

[7.5热泵机组及辅助设备 9](#_Toc156511788)

[7.6输配及室内末端系统 10](#_Toc156511789)

[7.7机房系统安装与调试 10](#_Toc156511790)

[**8** 监测与控制系统 11](#_Toc156511791)

[8.1一般规定 11](#_Toc156511792)

[8.2运行控制系统 11](#_Toc156511793)

[8.3机房系统安装与调试 12](#_Toc156511794)

[8.4能耗能效监测评估系统 13](#_Toc156511795)

[**9** 系统调试、质量验收及运行维护 14](#_Toc156511796)

[9.1一般规定 14](#_Toc156511797)

[9.2验收 14](#_Toc156511798)

[9.3运行维护 15](#_Toc156511799)

[**附录A** （资料性附录） 中深层换热井取热性能测试系统原理图 16](#_Toc156511800)

[**附录B** （资料性附录） 中深层换热井取热性能测试推荐工况 17](#_Toc156511801)

[**附录C** （资料性附录） 中深层换热井取热性能测试数据记录表 18](#_Toc156511802)

[**附录D** （资料性附录） 中深层换热井取热性能测试工期安排表 19](#_Toc156511803)

中深层地热能开发利用项目建设规范

1. 总则

为促进我国中深层地热能开发利用和建筑节能技术发展，指导中深层地埋管地热供热系统工程的开发与利用，保障项目成功设计实施，保证项目正常高效运行，制定本规范。

1. 范围

本规范规定了中深层地埋管地热供热系统建设过程中涵盖的地热地质调查与评价、地热换热系统、机房供热系统、监测与控制系统、系统调试、质量验收及运行维护等环节的工作内容及相关要求。

本规程适用于新建、改建和扩建的以中深层岩土体为热源，采用地下换热技术进行供热的中深层地埋管地热供热系统工程。

本规程制定工作遵循适用性、合理性和可操作性的原则。

中深层地热地埋管供热系统工程的建设除执行本规程外，尚应符合现行国家、行业有关标准的规定。

1. 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 11615-2010 地热资源地质勘查规范

T/CECS 854-2021 中深层地埋管地源热泵供暖技术规程

DBJ 61/T 166-2020 中深层地热地埋管供热系统应用技术规程

NB/T 10097—2018 地热能术语

DB11/T 2038-2022 中深层地热供热技术规范 井下换热

DB14/T 2386-2021 中深层地热供热工程技术规范

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

4.1中深层取热层medium-deep geothermal reservoir

蕴含于中深层岩土体中，具有开发利用价值的地热资源热储层，深度一般可达2000m~4000m。

4.2地热换热系统geothermal heat exchange system

循环介质通过中深层地热换热器与中深层岩土体进行热交换的换热系统。

4.3中深层地热换热器medium-deep geothermal borehole heat exchanger

深埋地下的密闭循环管组成的换热器，供循环介质与中深层岩土体换热使用。

4.4热源侧循环介质circulating medium in heat source side

中深层地热地埋管供热系统中，通过中深层地热换热器与中深层岩土体进行热交换的一种液体，一般为水或水溶液。

4.5中深层地热热泵机组medium-deep geothermal heat pump unit

以中深层岩土体中蕴含的地热能为热源，以水或水溶液为传热介质，适应中深层地热温度特征的热泵机组。

4.6中深层地热地埋管供热系统medium-deep geothermal borehole heat exchanger heating system

以中深层岩土体为热源，由地热换热系统、机房供热系统、监测与控制系统组成的供热系统。

4.7取热性能测试heat extraction performance test

利用测试仪器设备按照设计工况对地热换热系统进行运行监测，记录循环介质进口、出口温度、流量及压力等参数，分析地热换热系统取热能力的测试。

4.8钻井borehole drilling

为了达到地下特定深度，以便提取地热资源，而在地壳中进行的机械钻探活动。

4.9完井borehole completion

在钻井之后，采取一系列技术和工程措施，使地热井能够安全、有效地提取地热能。这包括井筒的固定、安装生产设备、进行井筒完整性测试等，以确保井的长期稳定性和效率。

4.10能耗能效监测系统energy consumption and efficiency monitoring system

对中深层地热地埋管供热系统的能源供应量、能源效率、能源成本的现状、历史及未来发展趋势的监测平台，用以保证供热系统和机房设备高效稳定运行。

1. 地热地质调查与评价

5.1一般规定

5.1.1 中深层地热地埋管供热系统工程实施前，应对拟开发地段进行地热地质调查，包括地质条件调查和地热状况调查。

5.1.2 地质条件调查是以获取工程所在地地质基本信息为目的，开展地形地貌和地层岩性、地质构造调查，收集已有的水文地质条件及其它相关信息

5.1.3 地热状况调查是以供热为目的，为获得拟开发地段地热资源及可开采情况，查明主要热储层的类型、分布、埋藏条件、地温特征、岩土体热参数、施工场地工程地质条件、地质灾害分布特征、水文地质特征等所开展的工作，调查结果应能为合理设计地热孔（组）的孔位、孔深、孔结构和孔间距提供依据。

5.2地热地质条件论证

5.2.1 地质条件调查宜包括地形地貌调查、地层岩性调查、地质构造调查、不良工程地质问题调查与水文地质条件调查。

**【条文说明】**

地形地貌调查应以现场调查为主，并结合遥感影像解译，实地核查拟开发地段地形地貌特征，查明拟开发地段地面高程和地表形态，所处的地貌单元和微地貌类型，以及已有和规划的地面与地下建（构）筑物、树木植被、池塘等分布状况。

地层岩性调查应以资料收集为主，分析和补充调查拟开发地段地层层序、地质时代、成因类型、岩性与岩相特征、产状、厚度和接触关系，并划分热储层系统结构。其中，碎屑岩和碳酸盐岩类宜划分至统或亚统（组），变质岩划分至界或群，岩浆岩宜按岩类结合构造运动期划分，第四纪松散堆积层地层划分至统。

地质构造调查应以资料收集为主，结合遥感解译、人工地震、氡气测量等手段，分析拟开发地段大地构造单元部位、区域构造和新构造运动特征，基本查明地质构造类型、性质、产状、规模、分布、形成时代、活动性及其对地热传导的控制作用。

不良工程地质问题调查应以现场调查为主，实地核查拟开发地段是否存在地面沉降、地裂缝、湿陷性黄土、砂土液化、滑坡、崩塌、泥石流等不良工程地质问题。

水文地质条件调查应以资料收集为主，调查当地具有供水意义的地下水含水层（包括浅层地下水含水层和深层地热水取水层段）的分布特征以及供水水源地分布及保护区划分情况，在地热孔设计时应对其采取相应的保护措施。

5.2.2 地热状况调查宜包括资料搜集与分析、热储结构调查、地温梯度调查、热储参数调查与地热地质勘探。

**【条文说明】**

资料搜集与分析应全面搜集区域地热地质研究报告、相邻地段和相近条件的中深层地埋管钻孔、地热水井或其它类型中深层钻孔资料，并进行综合分析。

热储结构调查应以资料收集为主，结合地质条件调查结果，分析拟开发地段热储地质结构，查明恒温带深度、热储盖层分布以及各热储的岩性、厚度、埋深、分布、相互关系及其边界条件。

地温梯度调查应以资料收集为主，分析拟开发地段地温梯度及地温场特征，查明采热（换热）深度热储层的温度。

热储参数调查应以资料收集为主，结合地质条件调查结果，分析拟开发地段各热储的储层参数，依据相邻地段和相近条件的地热孔参数，确定各热储的导热系数、热扩散系数、比热容等参数。

地热地质勘探应在地热地质资料匮乏和地热地质条件不清楚的空白区，宜采用数值模拟方法预测中深层地热取热能力，或开展地热地质勘探。

5.2.3 地热地质勘探测试宜包括以下内容：

a) 样品采集与测试:对探采结合井取热段每个热储层取1~3组岩心，并进行岩心样密度、孔隙度、导热系数、热扩散系数和比热容参数测试，取岩心的位置、数量和质量符合 GB/T 11615的要求。

b) 对探采结合井进行全井段测温，获取岩体温度和地温梯度。

1. 地热换热井施工

6.1一般规定

6.1.1 钻井设计的基本内容应包括：基本地质数据、工程设计、施工进度计划、材料计划和费用预算，钻井液设计、固井设计、定向井设计和套管柱组合等。

6.1.2 地热钻井的基础条件包括比较详细的岩芯剪接、裂缝等方法，利用采集地岩磨片样和生物化学分析样等手段，通过地层、岩体、生物结构及重要的地貌界线等变化现象，确定前期地热成矿类型，不同的岩层类型对钻井工艺有不同的需求。

6.1.3 钻井设计应贯彻和执行有关健康、安全、环境管理标准和规范，应有明确的健康、安全、环境保护要求。

6.1.4 钻井设计应结合地质特征优选钻井方式，保证钻井质量，提高地热井产量，满足地热田高效开发要求。

6.1.5 钻井设计应体现安全第一原则。对于重大作业和风险较高作业，应制定相应安全应急程序。

6.1.6 井身结构设计是钻井设计的关键内容，宜遵循下述要求：

a) 保证井眼系统压力平衡，不出现喷漏同在一裸眼中，即钻下部高压地层时用的较高密度的钻井液产生的液柱压力，不会压漏上部裸露的地层。

b) 井内钻井液液柱压力和地层压力之间的压差不宜过大，以免发生压差卡钻。

c) 为保证安全钻进，必须套管封住复杂地层井段，如易漏、易垮塌、易缩径和易卡钻等井段。

d) 对钻探多套压力系统的井，应采用多层套管程序，以保护热储层不受钻井液污染和损害。

6.1.7 钻井设计要体现低成本原则。为此，设计应注意三点：一要充分了解各种资料，在安全的前提下，简化井身结构；二要选用先进的工具、设备和技术；三要在满足要求的前提下，优先使用国产材料。

6.1.8 要严格按照要求进行钻孔，如果施工过程中遇到与要求不合或不利于工程进行的情形，应及时调整方案。

6.2钻完井技术要求

6.2.1 中深井以深地热井，宜采用石油（API标准）管材，其机械性能符合钢级J55及以上，管材壁厚应大于6mm。地热井常用井壁管可参照GB/T9808-2008选择。

6.2.2 钻前准备宜包括以下内容：

a) 中深层地热地埋管在钻探开钻前应根据钻井设计书的要求，制定出该井的施工技术措施。

b) 根据钻井设计书，准备好各类工具、仪器、器材，其规格应符合设计要求，并检查钻具规格，丈量钻具和表层套管长度。

c) 检查各种配合接头的规格，其中包括长度、内径、螺纹类型，并做好原始记录。

d) 准备好各种符合标准的井口工具。准备好井场各种生产用报表。

e) 按技术规定调校好指重表及各种仪表。

6.2.3 设计钻井结构宜按照以下原则：

a) 设计钻井结构时，应依据地热井类型、地热储类型、地层特点、水文地质条件、水量、钻井深度、终孔直径、开采设备、钻井工艺方法等因素综合确定。

b) 地热井钻井结构，宜按二至三级口径设计，各级与其相应深度构成相应井段。口径应满足测井及热交换的要求，终孔口径不宜小于124mm。

6.2.4 地热钻探取心钻进工艺应参照DZ/T0227的规定执行。

6.2.5 全面钻进工艺应根据不同热储类型地层特性采用相应的钻进工艺。

**【条文说明】**

孔隙型地热井钻进工艺：第四系宜采用牙轮钻头、刮刀钻头、金刚石复合片钻头泥浆钻进，穿过砂层、钻遇稳定黏土层下入表管，并进行水泥固井；新近系、古近系（含热储段）宜采用牙轮钻头或金刚石复合片钻头泥浆钻进。

裂隙型地热井钻进工艺：第四系等，宜采用牙轮、合金、金刚石复合片钻进，泥浆作钻井液，钻遇完整基岩下入表层管，并进行水泥固井；深孔段可采用牙轮钻进，泥浆、泡沫作为钻井液，条件允许时可采用气举反循环钻进工艺。

裂隙岩溶型地热井钻进工艺：第四系、新近系、古近系等沉积岩，宜采用铣齿牙轮、金刚石复合片、刮刀钻头泥浆钻进，钻遇完整基岩下入表层管，并进行水泥固井；石炭-二叠系等沉积岩，宜采用镶齿牙轮钻头等进行低固相泥浆钻进，钻遇稳定热储顶板下入井壁管（技术套管）完井。

6.2.6 中深层地热地埋管应全孔段下入井管。井管长度依据热储层换热深度确定。

6.3固井技术要求

6.3.1 表层套管固井时，水泥浆应返至地面；技术套管固井时，水泥浆应返至套管重叠段顶部，技术套管较长时，水泥浆全返具有难度，广泛采用固井作法是在管串底部，井壁与套管的环状间隙内注入一定高度的水泥浆，在管串顶部，井壁与套管的环状间隙内再挤入一定高度的水泥浆。

6.3.2 表层套管固井选用普通水泥，井深2000m以浅且温度不高于75℃时选用普通水泥，其他情况选用油井水泥。

6.3.3 水泥浆要求按GB/T 19139执行。

6.3.4 采用标号以上水泥固井，凝固时间不应小于72h；采用油井水泥固井，凝固时间不应小于48h。

6.3.5 固井质量检测：应进行试压检测，压力不小于3MPa，压力稳定时间不少于10min。

6.3.6 尽量对天花管裸孔或以上段全孔加以固井。

6.4下套管技术要求

6.4.1 为保证安全钻进，必须套管封住复杂地层井段，如易漏、易垮塌、易缩径和易卡钻等井段。

1. 地热换热系统及机房设计

7.1一般规定

7.1.1 中深层地热地埋管供热系统应以地热地质调查与评价结果为依据进行地热换热系统设计与施工。

7.1.2 供热系统设计宜结合市政热力、空气源热泵、储能等多种辅助热源，提高系统全生命周期运行的经济与环境效益。

7.1.3 地热换热系统施工前，应预留未来地下管线所需埋管空间及埋管区域进出重型设备的车道位置，严禁损坏地下既有管线和构筑物。地热换热系统施工后，应在埋管区域标明管线的定位带。

7.1.4 机房供热系统由输配管网、换热器或热泵机组、末端用户组成。

7.1.5 机房供热系统设计宜按如下要求进行：

a) 机房供热系统设计前期应开展必要的可行性研究或初步设计，中深层地热换热器取热量可通过估算确定。

b) 施工图设计或实施阶段，宜按实际测试对地埋管取热量进行修正。

c) 中深层地热换热器与供热末端用户宜分系统设置，当合用系统时应有相应的防护措施。

d) 机房供热系统应按末端形式合理选择用户侧供回水温度和温差，供回水温差宜取5℃ ~10℃。

e) 当条件允许时，机房供热系统应优先选用中深层地热换热器直接供热的形式与运行模式。

7.2地热换热系统设计

7.2.1 地热换热系统应根据建筑物冬季用热负荷和中深层地热地埋管供热系统的供热量进行设计。

7.2.2 中深层地热地埋管供热系统的供热量应满足建筑物冬季用热负荷。

**【条文说明】**

用热负荷的具体计算方法应符合《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB-50736、《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019的有关规定。

7.2.3 设计范围应包括中深层地热井下换热器和井下换热侧循环工质管路及设备。

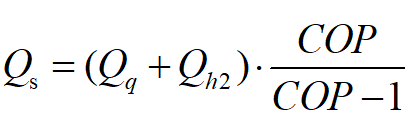
7.2.4 井下换热系统取热量的确定应考虑以下因素：

a) 单个地热换热井连续供热运行时的设计取热功率、供热季设计累积取热量；

b) 地热换热井数量，以及多个换热井间距、排布方式，对单井实际取热量的影响；

c) 井下同轴换热器埋深宜为 2000m~4000m，根据建筑负荷、场地条件和地温梯度确定井下同轴换热器的安装深度。

7.2.5 中深层地热地埋管供热系统机组供热量与中深层地埋管换热器取热量之间满足以下关系：

 （1）

式中：Qs—中深层地热地埋管供热系统机组供热量（kW）；

Qq—中深层地埋管换热器取热量（kW）；

Qh2—热源侧水泵发热量（kW），一般可以忽略不计；

COP—地热热泵机组的制热性能系数；

7.2.6 地热换热系统的水平连接管深度应满足地下交通、景观、绿化、人防等及地面荷载的要求，在湿陷性黄土地区敷设管线还应采取措施防止黄土湿陷对管线可能产生的影响。

7.2.7 地热换热系统的安装位置应靠近供热用户，与附近水井间的距离应满足项目所在地地下水管理条例的相关要求。

7.2.8 地热换热系统位置宜靠近热泵机房和供热建筑，当设有多个地热井时，应依据地质条件和场地条件对排布方式与井间距进行评估与设计。

7.2.9 地热孔一般选用水泥作为回填材料的基料。当地热换热系统需穿透含水层时，应选用符合环保要求的回填材料。

7.2.10 地热换热系统的管道水力计算应根据实际要求的流量和实际选用的传热介质的水力特性进行管道水力计算。

**【条文说明】**

地热换热系统循环阻力，应结合地热换热器构造、流通截面、地热换热器内、外管道材质及粗糙度以及地热热泵机组热源侧水阻等因素计算确定，并作为地热换热系统循环水泵的选型依据。

7.2.11 地热换热系统各单井应独立设置温度、流量、压力等测量仪器。

7.3地热换热系统管材与循环介质要求

7.3.1 地热换热系统的管材及管件应采用相同材料，且应具有化学稳定性好、耐腐蚀、导热系数大、流动阻力小等特性。

**【条文说明】**

中深层地热换热器的管材一般采用可耐压的特制钢管，管材宜符合《中深层地埋管地源热泵供暖技术规程》TCECS 854-2021的要求；同轴套管换热器的内管应采用高热阻管材，且其强度、耐温性及耐久性应满足设计和使用要求。

7.3.2 循环介质的材料要求：循环介质应选用环保、性能稳定、导热率高的换热介质。

**【条文说明】**

循环介质宜符合《蒸气压缩循环冷水（热泵）机组第1部分：工业或商业用及类似用途的冷水（热泵）机组》GB/T18430.1的要求，也可选用符合下列要求的其他介质：

1 安全，腐蚀性弱，与中深层地埋管管材无化学反应；

2 较低的冰点；

3 良好的传热特性，较低的摩擦阻力；

4 易于购买、运输和储藏。

7.3.3 为防止因泄露等原因对地层造成污染，循环介质中不得加注乙二醇等添加剂。

7.4地埋管取热性能测试

7.4.1 地埋管取热性能测试主要针对中深层同轴套管型地埋管地热供热项目，旨在于测试校核中深层地埋管换热器取热能力大小，从而为未来同类中深层地埋管换热器设计提供可行性参考建议。

7.4.2 测试原理为引入施工场地现场自来水管线，将冷却塔、循环水泵与中深层地埋管换热器耦合进行换热，通过采集中深层地埋管进出口温度及流量数据以评估计算单井换热能力。

7.4.3 测试系统设计原理图参照附录A。

**【条文说明】**

中深层地埋管换热器进出水管路分别与测试系统的进出水管路相连接，由测试系统内的循环水泵驱动水流，通过测试系统内的冷却塔进行换热，施工厂区内自来水引入测试系统补水通道，对实验系统进行补水。

7.4.4 测试系统宜通过变频控制器对循环水泵进行控制，并利用自控系统进行数据收集。

**【条文说明】**

1 在测试中，通过测试系统内的循环水泵变频控制水流量，试验不同流量条件下的中深层地埋管换热器换热进出口温度、流量、压力。不同工况的测试流量，通过循环水泵的开启台数及变频控制器进行调节。

2 测试系统内地热井进出水、冷却塔进出水管及补水管各设一个电磁流量传感器及温度传感器，并在循环水泵前后设有压力监测采用压力表。

3 以上数据通过自控系统自动传输至自控平台，试验结束后提取数据进行后续分析研究

7.4.5 测试系统数据采集宜包括流量计、温度传感器、压力传感器和环境监测装置。

**【条文说明】**

1 流量计：地热井进水管路流量传感器、地热井出水管路流量传感器、冷却塔进水管路流量传感器、冷却塔出水管路流量传感器、补水管路流量传感器；

2 温度传感器：地热井进水管路温度传感器、地热井出水管路温度传感器、冷却塔进水管路温度传感器、冷却塔出水管路温度传感器、补水管路温度传感器；

3 压力传感器：循环水泵泵前压力传感器、泵后压力传感器；

4 环境监测装置：环境温度、环境湿度。

7.4.6 测试前应保证拥有稳定可靠的测试条件。

**【条文说明】**

1 测试现场应提供稳定的电源、水源，具备可靠的测试条件。

2 测试系统运至现场后，需由吊车运至井口旁平整场地，便于管路连接。

3 地热井与测试系统管路连接应减少弯头、变径，连接管外露部分应保温，保温层厚度不应小于25mm。

4 测试系统应遵循先接水后接电的原则。

5 测试过程应遵守国家和地方有关安全、劳动保护、防火、环境保护等方面的规定。

6 测试推荐工况如附录B所示。

7.4.7 测试步骤宜包含以下内容：

a) 平整测试孔周边场地，提供水电接驳点；

b) 测试系统器与测试孔管道连接；

c) 水电等外部设备连接完毕后，对测试设备本身以及外部设备的连接进行检查；

d) 启动测试系统内循环水泵，通过螺旋除污器对测试孔进行排气除污，同时记录测试孔进出水温度，待进出水温度稳定一致后即获得近似的测试孔初始温度；

e) 测试孔除污完成且获取到稳定的初始温度后，调整循环水泵以满足测试工况设计流量，随后开启测试系统内冷却塔进行换热，记录各项试验数据，每个测试工况至少持续72h；

f) 测试过程中，做好对测试设备、水、电的保护工作；

g) 测试完毕后，提取测试系统中记录的试验数据，分析计算得出岩土综合热物性参数及单井换热量。测试记录表如附录C所示。

7.4.8 测试过程中，每个设计工况的换热测试应连续不间断，各工况之间应间隔足够长的时间。

**【条文说明】**

1 换热测试应在测试孔完成中心下管及安装井口装置后进行。

2 初始温度的测试采用无功循环法，即仅在循环水泵开启的情况下，测得的平均温度。

3 每个设计工况的换热测试应连续不间断，持续时间不宜少于72h。

4 各工况之间应间隔足够长的时间（大于等于每个设计工况测试时长），测试工况流量宜按照从小到大的顺序进行。

5 试验期间，冷却塔的散热量应保持恒定，地热井进出水温度保持恒定（浮动温差小于1℃）不少于48h。

6 试验数据读取和记录的时间间隔不应大于1分钟。

7 一个工况测试结束后，地温需恢复至无功循环初始地温的90%以上才可进行下一个工况测试。地温测定可由两种方式测得：对于埋设测温光纤且可获取稳定数据的地热井，根据测温光纤数据比对地温是否恢复至初始地温的90%，判断是否进入下一工况测试工作；对于未埋设测温光纤或无法取得光纤数据的地热井，一个工况结束至少96h后，由测试系统切换至无功循环模式，获取地下温度数据，判断是否进入下一工况测试工作。

8 测试工期安排如附录D所示。

7.4.9 通过原位测试取得的实验数据，代入中深层地埋管换热器物理模型及数学模型中，可对区域地层的岩土热物性参数以及单井换热量给出评价预测。

**【条文说明】**

推荐使用OpenGeoSys、FLUENT、FEFLOW、COMSOL等具有业内认可度的模拟软件开展中深层地埋管换热计算并结合测试数据处理进行模型匹配及性能评价。

7.5热泵机组及辅助设备

7.5.1 用于中深层地热地埋管供热系统的热泵机组，热源侧进水温度应按20 ℃~55 ℃设置，不应低于4 ℃。进出水温差宜按10 ℃~20℃选取，设备容量与参数应根据项目设计工况适时选用。

7.5.2 应考虑建筑尖峰供热工况、部分负荷工况下的供回水温度和流量，选择合适的热泵机组容量和高效运行工作区。

7.5.3 热泵机组应能调节负荷，适应热负荷变化，建议采用变频压缩机。

7.5.4 通常应配备不少于2台热泵机组，确保一台故障或维修时，剩余机组的供热能力不低于设计总供热能力的65%。

7.5.5 热泵机组冷凝器供水温度设计值宜为45 ℃~55 ℃，运行调节时可在40 ℃~60 ℃范围内调节，冷凝侧进出水温差不宜大于 10 ℃。

7.5.6 热泵机组制热性能系数不宜低于5.0。

7.5.7 水泵应配合地热换热系统或供热末端系统及要求分别选用，系统宜优先选用具有变频调节功能的水泵。

7.6输配及室内末端系统

7.6.1 输配系统及设备应满足保温与承压要求。

**【条文说明】**

1 供热管道宜采用合适的保温措施，尽量减小热损；

2 井下换热系统独立设置定压补水系统，补水水箱与其他系统共用；

3 地热换热井出口至热泵侧的管网热损失率不应超过1 %；热泵至末端供热管网的热损失率应符合CJJ/T 34的相关标准。

4 井下换热系统板换及阀门附件承压不低于1.6 MPa；当井下同轴换热器与热泵机组直接连接时，相关管道设备及附件承压也不低于1.6 MPa。

7.6.2 供热系统的供水温度应根据系统能效、末端供热与空调系统方案综合确定，热泵供热温度不宜超过60 ℃。

7.6.3 供热末端设备应优先考虑低温供暖方式，如辐射供暖、风机盘管、钢制板型散热器等；辐射地板、钢制板型散热器的设计供回水温度为45/35 ℃，毛细管辐射末端为40/35 ℃，风机盘管为45/40 ℃。

7.7机房系统安装与调试

7.7.1 供热末端系统依据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736要求，进行安装与调试。

7.7.2 热泵与水泵的安装应根据周围环境要求，设置相应的隔振与消音装置。

7.7.3 为保障产品整机质量、节省机房占地，热泵、水泵宜采用一体化装配式装置。

7.7.4 为保证系统整体质量、节省工期以及减少设备用地，设备机房内系统安装宜采用装配式机房。

7.7.5 系统辅助热源设计应不影响供热系统正常使用。

**【条文说明】**

1 中深层地热地埋管供热系统的供热量应满足建筑物冬季采暖要求的基础负荷，辅助热源作为调峰手段进行使用；

2 多能耦合供热方案确保满足建筑物的不同供热需求，同时兼顾经济性；

3 辅助热源使用时不应影响中深层地热系统的正常运行，包括压力、流量、温度和水质；

4 避免辅助热源与中深层地热供热直接混水，根据建筑实际需求采用串联、并联混水等设计方案和调节策略。

7.7.6 供热管线需采取有效防冻措施，避免停机维修期间水管冻结风险。

7.7.7 供热系统配电设计应保证不间断供电，开停机时需平稳调速，防止流量或压力变化导致井内管路损伤。

7.7.8 机房消防安全设计宜符合以下规定：

a) 供热机房内的水路系统管道、电气系统导线等应使用耐火阻燃材料，严禁堆放易燃易爆物品。

b) 机房内应配备灭火器、消火栓等消防设施，设置自动报警和灭火装置。

c) 供热机房应设置防火门、疏散通道、安全出口，并在入口、电梯口、防火门等处明显标示安全逃生路线和消防设施使用方法。

1. 监测与控制系统

8.1一般规定

8.1.1 中深层地热地埋管供热系统应在便于观察到的位置设置现场监测仪表，以监测重要参数。

8.1.2 中深层地热地埋管供热系统除设置现场监测仪表外，宜采用集中监控系统。

8.1.3 流量、温度、压力传感器的测量范围和精度应与二次仪表匹配。

8.2运行控制系统

8.2.1 中深层地热地埋管供热系统应采用智能控制系统，实现对中深层地热地埋管供热系统中的地热热泵机组、换热设备、输配水泵、供热系统主要末端等设备的监测与控制，以及对设备仪表的信息采集和处理。

8.2.2 现场控制器宜在脱离主控或分控计算机控制后仍能维持掉线前的控制状态，并独立完成各种控制及监测工作。

8.2.3 热源侧水泵和用户侧水泵应采用变频控制装置。

8.2.4 宜设置视频监控系统，将主要设备参数及水位信号等远传至控制中心。

8.2.5 控制系统软件宜包括但不限于：运行系统、数据库管理、通信控制、操作人员接口、程序调度、时间与联锁程序等部分。

**【条文说明】**

1 控制系统可根据运行状态预设，并根据系统实际制热量、温度、水量等需要对中深层地热地埋管供热系统进行调节，实现与运营区域相关设备的控制和管理。

2 所有受控设备在启动时，凡可能危及到设备和操作人员安全时，应设有手动/自动转换开关，在中央控制器上显示上述设备的运行状态和手动/自动状态及故障报警显示。

3 控制系统宜具备多级操作权限的级别设置和用户口令，只有经过授权的操作人员才能完成系统有关程序和运行参数的增删和修改。

4 工作站提供彩色动态图像显示，实时显示设备的运行状态，一旦发生故障，会立即报警，便与运营人员日常管理维护。

5 控制系统宜提供实时24小时在线帮助功能，以便操作人员及时获得处理疑难状况所需资源。系统应集中监控和管理机电设备的工作状态，及时诊断、显示设备的故障，对所有监视、控制点位的状态、运行数据、故障报警等历史记录进行存储、统计和打印。

8.2.6 中深层地热地埋管供热系统各种机电设备控制柜应给自动控制系统预留硬连接接口，并提供电气二次回路需预留的监视和控制接点。

**【条文说明】**

中深层地热热泵机组应在厂家成套控制柜内预留RS485硬连接通信接口，通信协议可采用市场主流的MODBUS RTU或BACnet MSTP通信协议；各种水泵控制柜电气二次回路预留水泵运行状态、故障状态、手自动状态和远程启停干接点接口，如果是变频泵，还需要提供变频控制及频率反馈接口。

8.2.7 各系统分级控器宜采用冗余设计。

8.3机房系统安装与调试

8.3.1 地热热泵机组应监控的内容宜包括：

a) 运行状态，开启或停止；

b) 故障报警；

c) 用户侧热水供回水温度以及供热量；

d) 地热换热系统进出口温度以及取热量；

e) 机组运行电流、电功率、累计耗电量以及机组能效比；

f) 机组蒸发器饱和温度、压力，冷凝器饱和温度、压力。

8.3.2 热源侧系统和设备应监控的内容宜包括：

a) 热源侧水泵耗电量；

b) 地热换热系统设备流量，进出口温度，进出口压力或压降。

8.3.3 用户侧输配系统和设备应监控的内容宜包括：

a) 用户侧水泵耗电量；

b) 用户侧干管及主要支路的流量、回水温度、压力、供热量；

c) 用户侧末端换热器、热源侧和用户侧的流量、进入口温度、压力以及热源侧供热量和用户侧换热量，换热器热损失及换热器效能；

d) 用户侧输配管网供水温度沿程降低量，从供热站出口到最远端供热末端换热器或建筑物入口。

8.3.4 其他需监控的系统和设备运行基本状态：

a) 水泵工作状态，启动或停止；

b) 水泵变频器工作状态，手动或自动，变频器控制频率和反馈频率；

c) 电动阀门工作状态，阀门开度控制值和反馈值；

d) 软水器、除氧器等供热水处理设备工作状态。

8.4能耗能效监测评估系统

8.4.1 能耗能效监测评估系统的目标是使管理者对中深层地热地埋管供热系统的能源供应量、能源效率、能源成本的现状、历史及未来发展趋势有准确的掌握；通过设备运行效率数据，使得管理者充分了解中深层地热地埋管供热系统和设备实际运行效率，保证系统和设备的始终运行在有条不紊、协调一致的绿色节能、清洁供热状态。

8.4.2 运行能效评估指标宜包含瞬时取热量、累积取热量、瞬时电功率、累积耗电量、耗电量数据、瞬时供热量、累积供热量、热泵机组性能系数、热泵机组季节性能系数、热源侧季节性能系数与平均供热成本。

**【条文说明】**

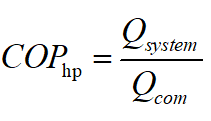
1 瞬时取热量，包括多个换热井中每个井的取热量及总取热量；

2 累积取热量，涵盖小时累积量、日累积量、月累积量、投入使用以来的累积量；

3 热泵机组、井下换热侧循环水泵、用户供热侧循环水泵等设备的瞬时电功率和累积耗电量；

4 耗电量数据，包括小时累积量、日累积量、月累积量、投入使用以来的累积量；

5 热泵机组性能系数COPhp：

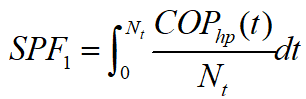
 （2）

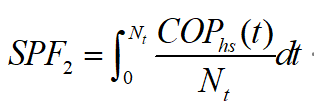
式中：

Qsystem—中深层地热地埋管供热系统热泵机组供热量/kW；

Qcom—中深层地热地埋管供热系统热泵机组压缩机功耗/kW。

6 中深层地埋管换热器在供暖季中的换热具有非稳态特性，故为评价其在整个供暖季中的换热性能，可用热泵机组季节性能系数与热源侧季节性能系数进行评估：

 （3）

 （4）

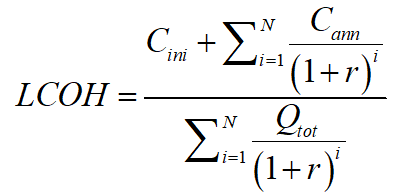
式中：

SPF1—热泵机组季节性能系数；

SPF2—热源侧季节性能系数；

Nt—每年取热阶段的总时长。

7 平均供热成本概念LCOH表示中深层地埋管地热供热系统全生命周期每提供单位千瓦时热量所付出的成本代价：

 （5）

式中：

Cini—中深层地埋管地热供热系统初投资/元；

Cann—中深层地埋管地热供热系统年运行成本/元；

Qtot—中深层地埋管地热供热系统年度总供热量/kWh；

N—全生命周期时长，一般取15年；

r—贴现率。

1. 系统调试、质量验收及运行维护

9.1一般规定

9.1.1 中深层地热地埋管供热系统交付使用前应进行完整的系统调试、试运行与验收，其中供热系统部分的机房和设备验收流程参照相关国家标准或行业标准。

9.1.2 中深层地热地埋管供热系统试运行期间的测试与调整应符合相关设计要求。

**【条文说明】**

1 中深层地热换热系统的换热介质压力、温度、流量等技术参数应符合设计要求；

2 地面供热系统末端的介质压力、温度、流量等技术参数应符合设计要求；

3 中深层地热换热系统和地面供热系统实现连续运行平稳，水管阻力、阀门阻力和水泵效率、电机功率应符合设计要求，消除不合理的管道阻力；

4 控制与监测系统的计量和检测传感器、执行器的工作正常、通讯正常，满足对中深层地热供热系统进行监测和控制的设计要求，能正确显示监测结果，实现设备连锁、自动调节、自动保护等功能；

5 控制和监测系统检测的数据、设备状态，应按一定时间间隔（不长于15分钟一次）进行记录，并将记录结果自动存储于控制和监测系统的服务器存储器或云端存储器中，以备随时查验；

6 中深层地热地埋管供热系统验收调试后应形成调试报告，包括调试前的准备记录、水力平衡、机组及系统试运转的全部测试数据和现场图像记录。

9.2验收

9.2.1 中深层地热地埋管供热系统的验收应填写系统验收记录表，存档备案，相关数据记录表可参照附录。

9.2.2 中深层地热地埋管供热系统工程质量由区县以上建设行政主管部门委托的建设工程质量监督机构（如区、县建设工程质量监督站）实施监督管理及工程备案。

9.2.3 中深层地热地埋管供热系统验收宜满足相关设计要求。

**【条文说明】**

1 中深层地埋管换热器出水温度和取热量应符合设计要求；

2 地埋管取热系统的换热媒介压力、温度、流量等技术参数应符合设计要求，各循环管路水流量应平衡；

3 取热系统应连续稳态运行，管路阻力、阀门局部阻力、循环水泵功率符合设计要求；

4 监控系统各监测传感器、动作执行器应工作正常，满足监测和控制需求；

5 监控中心应能正确显示监测结果，自动调节和保护功能正常；

6 监控系统各监测设备工作状态应正常，至少每 15 分钟记录一次监测数据，并将数据存储于监控单元中、远传至数据监测机房或长传至系统监测云平台，以便导出、查验和分析。

9.2.4 中深层地热地埋管供热系统调试、试运行与验收除应符合本规范规定外，还应符合现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB50243和《建筑节能工程质量验收规范》GB50411的相关规定。

9.3运行维护

9.3.1 应通过电动阀实现地埋管换热器的分区分组控制，确保分区运行的顺利实现。

9.3.2 供热季前地埋管取热系统检查宜满足以下要求：

a) 控制柜内设备应正常工作。

b) 电动阀门、水泵等设备调控应正常。

c) 热量表、温度变送器、压力变送器等仪表工作应正常。

9.3.3 供热运行初期，本地监控站宜采用手动控制模式，随着供热升温，逐步切换至自动控制模式。

9.3.4 应定期检查和维护地埋管取热系统的硬件设备和设施，以保证系统的长期稳定运行。

9.3.5 冬季运行期间，应定期测试实际运行状态，包括供热建筑室内环境参数和供热系统运行的能耗能效。

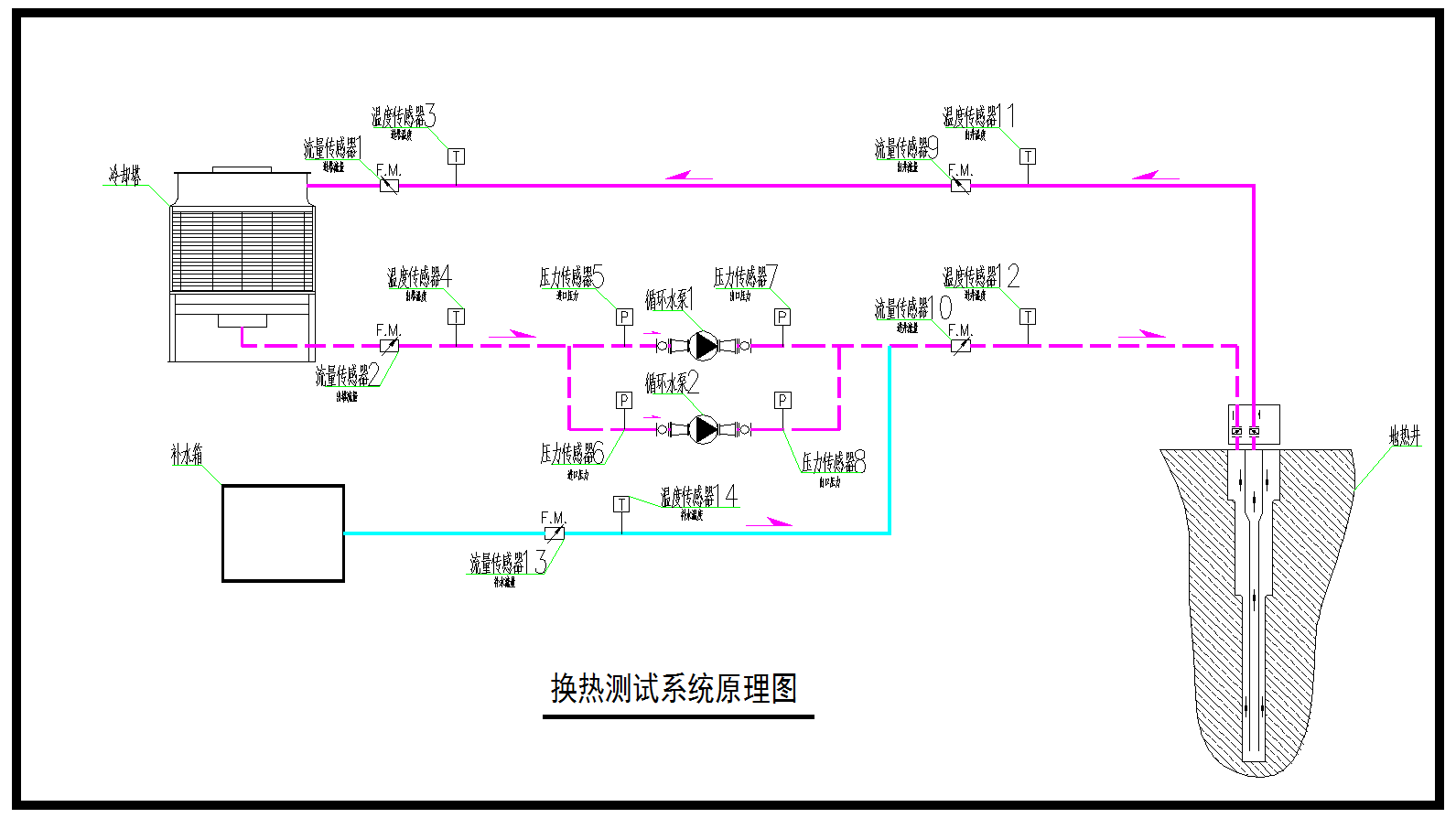
9.3.6 供热系统运行能耗测试应涵盖中深层地源热泵机组、地源侧和用户侧循环水泵，以及供热末端设备的电耗、实际取热量和供热量。

9.3.7 根据本文件 8.4 建立能耗能效监测评估系统，定期测评系统运行能效，并根据结果调整运行策略以提升能效。

9.3.8 能效提升措施包括但不限于：根据实际供热需求设定地热井数量、循环水流量和地下换热器入口水温；调节热泵的供水温度，避免过量供热；根据供热需求和管网平衡状况调节供热侧水泵台数和频率，使供回水温差达到设计值。

9.3.9 如存在峰谷电价或可再生能源电价优惠政策，应在运行中充分考虑以降低系统运行成本。

**附录A**（资料性附录）  
中深层换热井取热性能测试系统原理图



**附录B**  
（资料性附录）  
中深层换热井取热性能测试推荐工况

根据测试项目地热井井身结构以及地热井供能设计流量，结合测试需求，针对中深层地埋管地热供热项目实际情况，测试全过程一般设计5个测试工况，具体如下：

无功循环（定流量）：记录各数据采集点的温度、流量、压力，获得近似的测试孔初始温度。

变流量工况运行测试工况设置如下（可根据不同管径尺寸通过环腔流速计算出合理流量工况设置条件）：

设计工况1：在流量20 m3/h下，连续运行72小时，记录各数据采集点的温度、流量、压力。

设计工况2：在流量30 m3/h下，连续运行72小时，记录各数据采集点的温度、流量、压力。

设计工况3：在流量40 m3/h下，连续运行72小时，记录各数据采集点的温度、流量、压力。

设计工况4：在流量50 m3/h下，连续运行72小时，记录各数据采集点的温度、流量、压力。

间歇运行工况测试工况设置如下：

依照常见建筑负荷特性设置以下四种间歇运行测试工况模式：

（1）每天8 h：早9：00-晚5：00 （事业单位）

（2）每天12 h：早10：00-晚10：00 （企业写字楼）

（3）每天16 h：早8：00-晚12：00 （商业综合体）

（4）每天24 h：全天运行 （住宅）

以上模式均以相同流量（如25 m3/h）连续运行72 h，工况间隔96 h以便进行地温恢复。

**附录C**  
（资料性附录）  
中深层换热井取热性能测试数据记录表

**表1中深层换热井换热实验数据记录表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称： | | | | | | 施工单位： | | | | | | |
| 测试地点： | | | 测试日期： | | | 测试周期（h）： | | | | 测试持续时间（h）： | | |
| 换热井编号： | | | 井深（m）： | | | 设备名称： | | | | 设备编号： | | |
| 时间 | 循环介质流量（m³/h）  实测值 | 换热井侧（循环介质）  进出口温度（℃） | | 冷却设备侧（循环介质）  进出口温度（℃） | | 换热井  井口压力（Pa） | | 补给水 | | 环境（湿球）温度（℃） | 换热井取热量（KW） | 换热设备换热量（KW） |
| 进口温度 | 出口温度 | 进口温度 | 出口温度 | 进口 | 出口 | 水温  （℃） | 水量  （m³/h） |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 平均值 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 测试人： 记录人： 核查人： | | | | | | | | | | | | |

**附录D**  
（资料性附录）  
中深层换热井取热性能测试工期安排表

**表2中深层换热井取热性能测试工期安排表**

典型中深层地埋管地热供热系统测试（变流量工况）工期共计38天，包括测试系统运输进场、井口与测试系统管路连接、现场水电连接、测试系统运转调试及无功循环、四个试验工况及地温恢复、撤场，具体工期安排如下表：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 工作内容 | | 时长（天） |
| 1 | 测试系统运输进场 | | 1 |
| 2 | 井口与测试系统管路连接 | | 3 |
| 3 | 现场水电连接、消冰 | | 2 |
| 4 | 测试系统运转调试及无功循环 | | 4 |
| 5 | 测试工况1 | | 3 |
| 6 | 地温恢复 | | 4 |
| 7 | 测试工况2 | | 3 |
| 8 | 地温恢复 | | 4 |
| 9 | 测试工况3 | | 3 |
| 10 | 地温恢复 | | 4 |
| 11 | 测试工况4 | | 3 |
| 12 | 撤场工作 | | 4 |
| 合计工期 | | 38 | |

注：实验需要保持连续运转，故上述时间为不发生任何突发情况的工期计划，突发情况包括：管道结冰、突然断电、环境恶劣等因素。