

湖南省中深层地埋管地源热泵系统供热
技术标准

Technical Standard for Heating of Medium and Deep Geothermal Ground Heat
Exchanger Ground Source Heat Pump System

(征求意见稿)

2026-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

湖南省住房和城乡建设厅
湖南省市场监督管理局

联合发布

湖南省地方标准

湖南省中深层地埋管地源热泵系统供热技术标准

Technical Standard for Heating of Medium and Deep Geothermal Ground Heat Exchanger Ground Source Heat Pump System

DB43/TXXXX—202X

批准部门： 湖南省住房和城乡建设厅
湖南省市场监督管理局

实施日期： X X X X 年 XX 月 XX 日

前 言

为深入贯彻国务院《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》文件精神，根据湖南省市场监督管理局《关于设备更新和消费品以旧换新行动专项地方标准制修订项目立项计划的通知》的要求，编制组参考国内相关标准，广泛征求意见，结合湖南省实际，完成了本标准的编制。本标准的编制旨在规范中深层地埋管地源热泵系统的供热技术应用，提升湖南省清洁能源利用水平，助力实现碳达峰、碳中和目标。

本标准共分7章，主要内容包括：1. 总则；2. 术语；3. 地热地质调查与资源评估；4. 地热换热系统；5. 热泵供热系统；6. 监测与控制系统；7. 调试、验收及运行维护。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由湖南省住房和城乡建设厅提出并归口。

本标准主编单位：中国能源建设集团湖南省电力设计院有限公司

本标准参编单位：北京市工程地质研究所、长沙市城市建设科学研究院、湖南省工程地质矿山地质调查监测所、中航长沙设计研究院有限公司、中国电力工程顾问集团有限公司、湖南能源集团有限公司、湖南大学、湖南工程学院、湖南省建筑环境与能源应用学会。

本标准主要起草人：刘宏超、孙志云、陈贺伟、谢彬、黄凯铭、李俊宇、潘军、卢小龙、韦启珍、王卓卓、崔志恒、刘晓鸥、朱青松、肖书博、叶见玲、李奋强、杨昌智、陈毅兴、唐远程、刘昭成、李文菁、黄亚波。

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 地热地质调查与资源评估	3
4 地热换热系统	5
5 热泵供热系统	9
6 监测与控制系统	11
7 调试、验收及运行维护	12
附 录 A 地热井取热能力测试记录	15
附 录 B 中深层套管式换热器名义取热量	16
附 录 C 同轴套管式中深层地埋管换热器传热模型分析	17
附 录 D 地热井验收内容及标准	19
附 录 E 本标准用词说明	21
附 录 F 引用标准名录	22
附 录 : 条文说明	23

Contents

1. General Provisions	1
2. Terminology	2
3. Geothermal Geological Survey and Resource	3
4. Geothermal heat exchange system	5
5. Heat pump heating system	9
6. Monitoring and Control Systems	11
7. Commissioning, acceptance, operation and maintenance	12
Appendix A Geothermal Well Heat Extraction Capacity Test Record	15
Appendix B specifies that the nominal heat output of the deep-shell heat exchanger	16
Appendix C Analysis of Heat Transfer Model for Coaxial Shell-Type Medium-Deep Buried Pipe Heat Exchanger	17
Appendix D Geothermal Well Acceptance Contents and Standards	19
Appendix E Explanation of Terms Used	21
Appendix F List of Referenced Standards	22
Appendix Explanation of Article	23

中深层地埋管地源热泵系统供热技术标准

1 总则

1.0.1 为推动湖南省地热能的开发与利用，促进建筑节能技术的发展，规范湖南省中深层地埋管地源热泵供热系统工程的设计、施工、运行与维护，制定本标准。

条文说明：本标准的制定旨在响应国家“双碳”战略目标，推动湖南省地热能资源的科学开发与高效利用。湖南省地处亚热带季风气候区，冬季湿冷、夏季炎热，建筑供热需求显著，而中深层地埋管地源热泵技术具有能效高、运行稳定、低碳环保的特点，符合湖南省能源结构调整和建筑节能发展需求。通过规范设计、施工、运行与维护全流程技术要求，可有效避免因技术标准不统一导致的资源浪费、系统效率低下或安全隐患，为湖南省可再生能源在供热领域的规模化应用提供技术支撑。

目前湖南省中深层地埋管地源热泵供暖技术在快速发展的同时，尚存在一些问题：

- (1) 缺乏针对中深层地埋管地源热泵供暖技术的相关标准；
- (2) 缺乏针对湖南省中深层地埋管地源热泵供暖系统的工程地质、地热资源调查及评估及换热孔取热能力评估的技术体系；
- (3) 缺乏指导中深层地埋管换热系统设计依据；
- (4) 缺乏针对中深层地埋管地源热泵供暖系统监测、调试技术要求，导致系统实施效果无法保障等。

1.0.2 本标准规定了中深层地埋管地源热泵供热系统的工程地质调查与地热资源评估、地热换热系统、地源热泵供热系统、监测与控制系统、调试、验收及运行维护。

条文说明：本条明确了本标准的技术内容覆盖中深层地埋管地源热泵供热系统从规划建设到长期运行的全过程管理要求。具体包括：通过工程地质调查与地热资源评估确保项目科学性与可行性；规范地热换热系统与地源热泵供热系统的设计、施工及设备选型；设置监测与控制系统以保障运行安全与能效优化；制定调试、验收及运行维护的技术标准，形成从前期论证、系统实施到后期管理的完整技术链条，确保工程全生命周期的规范性与可靠性。

1.0.3 本标准适用于湖南省以中深层岩土体为热源，采用同轴套管地埋管换热技术进行供热的系统工程。

条文说明：本标准的适用范围聚焦于以下两类场景：

技术类型：以湖南省中深层（通常指埋深大于200米）岩土体为热源，采用闭式同轴套管换热技术的供热系统；

适用对象：包括新建、改建或扩建的公共建筑、居住建筑及区域能源站等供热工程。需特别说明的是，对于地热资源禀赋不足的区域，需结合专项论证确定技术适用性，必要时参照其他相关标准执行。

1.0.4 本标准的制定遵循适用性、合理性和可操作性的原则。

条文说明：本标准的编制遵循以下原则：

适用性：结合湖南省地质特征、气候条件及建筑负荷特征，提出差异化技术要求；

合理性：在技术经济性分析基础上，平衡初投资与运行成本，优先选用成熟可靠的工艺；

可操作性：条文内容与GB 50366等现行国家标准、行业规范衔接，确保技术要求清晰、实施路径明确，并配套推荐性技术指南或计算工具。

1.0.5 中深层地埋管供热系统的建设除遵守本标准外，还应符合现行国家及行业相关技术标准、法规和规定。

条文说明：我国在中深层地埋管地源热泵供暖技术应用领域已取得一定进展，成功实施了多个示范工程。然而受限于地质勘查精度不足、系统设计规范缺失及运维管理体系不完善等因素，部分项目运行能效偏低，导致技术经济优势未能充分显现，制约了该技术的规模化发展。为此，本标准针对中深层地源热泵供暖系统工程实施全流程制定技术标准，重点涵盖地质勘查与资源评估、地热换热装置配置、热泵机组选型、智能监控系统建设，以及工程调试、验收评估和运营维护等关键环节。鉴于该技术体系具有多专业交叉特征，工程实践除应严格执行本标准外，还需同步满足现行国家相关标准对地热能开发、建筑供暖系统及机电设备安装等领域的规范要求。

2 术语

2.0.1 中深层地埋管地源热泵供热系统 (middle and deep borehole geothermal heat pump heating system)

以200m~3000m深度的岩土体为热源，由中深层地热换热系统、热泵供热系统、建筑物内末端系统等组成。

条文说明：本条明确了中深层地埋管地源热泵供热系统的定义与组成部分。系统采用200m~3000m深度范围内的岩土体作为热源，该范围内岩土体具有相对稳定且较高的温度资源，能有效提高地源热泵系统的运行效率，并显著降低运行能耗。本系统由三个核心组成部分：中深层地热换热系统负责地下热量的提取与传递，热泵供热系统负责热量的转换与供给，建筑物内末端系统则负责将热量输送给室内环境以达到供暖的目的。

2.0.2 岩土体导热率 (thermal conductivity of rocks)

表示岩土体导热能力的大小，即沿热流传递方向，单位长度上温度降低1K时，单位时间内通过单位面积的平均热量。

2.0.3 中深层地埋管换热器 (middle and deep borehole heat exchanger)

以传热介质与中深层岩土体热交换为目的的密闭循环管组成的换热器。

条文说明：中深层地埋管换热器为闭合式循环管道系统，以传热介质（一般为水或水溶液）为载体，通过管壁实现介质与岩土体之间的热量交换，有效避免地下水直接抽取和排放，体现环境友好原则，保障系统运行稳定性。

2.0.4 地下换热装置 (geothermal heat exchange borehole)

用于与地下中深层岩土体进行热交换的井洞和地埋管换热器。

条文说明：地热井即用于实现与地下中深层岩土体热量交换的工程构筑物。地热井不仅包含井洞本体，还包括安装于井洞内的地埋管换热器，井洞本身提供热交换空间，而地埋管换热器则是热量实际传递的媒介，二者共同实现系统的热交换功能。

2.0.5 中深层地热换热系统 (middle and deep borehole heat exchange system)

通过中深层地埋管换热器与周围岩土体进行热交换的系统，包含地热井，热源水管、热源循环泵。

条文说明：中深层地热换热系统通过地热井内设置的中深层地埋管换热器实现与地下岩土体的有效热交换，热源循环泵为系统提供热量循环所需动力，确保热量高效地输送和回收。

2.0.6 地温梯度 (geothermal gradient)

地温随深度增加的增长率。

2.0.7 大地热流值 (geothermal flow)

单位时间内通过地球表面单位面积的热流量。

3 地热地质调查与资源评估

3.1 一般规定

3.1.1 中深层地埋管供热系统工程准备阶段，应开展地质、地热条件调查，并应根据地热资源调查对地热资源进行评估。

条文说明：中深层地埋管供热系统的成功应用依赖于对工程场地的地质条件和地热资源的全面评估。本条规定，在系统设计前，应进行详细的地质和地热条件调查，并基于地热资源调查结果进行资源评估。此举能够确保系统设计科学合理，并依据实际地热资源情况进行优化，避免过度开发或资源浪费。

3.1.2 工程地质调查应由专业队伍完成。

条文说明：工程地质调查要求由专业队伍完成。专业队伍拥有相应的技术手段和经验，能够全面、细致地评估地质和地热条件，为后续的设计提供坚实的数据支持。

3.1.3 项目实施前应进行可行性研究设计。

条文说明：项目实施前，必须进行可行性研究设计。通过可行性研究对地质、资源和技术进行全面评估，确保项目的实施具有技术可行性和经济可行性，项目风险得到有效控制，确保后续工作的顺利开展。

3.2 地质地热调查

3.2.1 地质条件调查应包括下列内容：

1. 地形地貌调查：以现场实地调查为主，结合遥感影像解译。调查内容应包括拟开发区域的高程、坡度、地貌单元，查明地表形态及特征。

2. 地层岩性调查：调查分析拟开发区域的地层层序、地质时代、成因类型、岩性与岩相特征、产状、厚度、接触关系，并划分热储层系统结构。

3. 地质构造调查：调查分析拟开发地段查明地质构造类型、性质、产状、规模、分布、形成时代及活动性等。

4. 不良地质作用调查：现场核查拟开发区域是否存在影响工程安全的地质灾害，如地裂缝、滑坡、崩塌、液化等。

5. 调查和分析拟开发区域地下水分布特性。

6. 调查工程场地状况，包括场地内已有及规划的地面建筑物位置分布、占地面积、树木植被、地下构筑物、管线布置及其它隐蔽工程。

条文说明：在进行地质条件调查时，应重点对拟开发区域的地形地貌进行实地调查，并结合遥感影像解译，收集地面高程、坡度、地表形态和地貌类型等基本信息。其次，在收集和分析资料的基础上，明确区域内的地层层序、地质时代、成因类型、岩性与岩相特征、产状、厚度、接触关系，并划分热储层系统结构。同时，调查并分析地质构造类型、性质、产状、规模、分布、形成时代及活动性等，重点关注对地热传导具有控制作用的大型构造和主干断裂。此外，需现场核查是否存在影响工程安全的地质灾害，如地裂缝、滑坡、崩塌、液化等。还应调查和分析地下水分布特性。在工程场地内或附近已进行过调查的区域，可收集已有的工程调查资料，调查半径宜大于拟定换热区域100m~200m。调查应以收集资料为主，除观察地形地貌外，还应对地下建筑空间、水电管线设施等进行调查，以便后期进行避让。对于中深层地埋管地源热泵供暖系统，需要进行地下钻孔工程。为保障工程安全可靠，应避免在存在地裂缝、湿陷性黄土、砂土液化、滑坡等不良工程地质隐患的区域实施。

3.2.2 地热资源调查应收集已有的地热资源资料，了解拟开采区域地下主要热储类型、空间分布、岩土体温度分布、地温梯度、大地热流值、各热储层导热系数、热扩散系、比热容等关键参数。

条文说明：地热资源调查是地热换热孔取热能力计算的基础，应收集现有地热资源资料，了解拟开采区域地下主要热储类型、空间分布、岩土体温度分布、地温梯度、大地热流值，以及各热储层导热系数、热扩散系、比热容等关键参数。调查内容应包括不同深度的地温变化、大地热流分布，确定恒温带深度、热储盖层的地温梯度和温度特征；分析各热储层的岩性、空间分布、热储盖层岩性和厚度、埋深、相互关系及边界条件，评估其导热系数、热扩散系数、密度、比热容、温度、压力及其变化情况。这些信息有助于明确地下地质条件和地热资源状况，为确定合理开发深度、计算地热储量、指导系统设计提供依据。

3.3 地热资源评估

3.3.1 根据地热地质调查结果，结合热储层的分布和性质，计算区域的热储量。

条文说明：当无单井稳定产量数据时，地热资源评估中单孔允许开采量可按开采100年、消耗15%左右地热储量计算，并以满足地埋管换热器取热需求为依据确定合理的孔间距。

采用体积法计算单孔热储层热储量，可按下列式计算：

$$Q=AHC_v(T_p-T_c)$$

式中：Q——热储量（J）；

A——单孔取热面积（m²）；

H——热储层厚度（m）；

C_v——热储层体积比热容[J/(m³·℃)]；

T_p——热储层平均温度（℃）；

T_c——基准温度（℃）；基准温度可取15℃，或取孔口保温层底部的温度。

地热传热介质由岩石颗粒（固相）和水（液相）组成，其比热容可按下列式计算：

$$C_v=\rho_w C_w \phi + \rho_s C_s (1-\phi)$$

式中：C_v——热储层平均体积比热容[J/(m³·℃)]；

C_w——水比热容[J/(kg·℃)]；

C_s——岩土体比热容[J/(kg·℃)]；

ρ_w——水密度（kg/m³）；

ρ_s——岩土密度（kg/m³）；

φ——孔隙率。

通过对地热换热孔监测，可获得地热换热孔地层分层数据，通过分层计算热储层比热容及热储量，进而获得单孔地热储量。

3.3.2 地热井完成后应进行取热能力测试，并应符合下列规定：

1 应现场测试循环介质进出口温度、流量等参数，并应计算地热井取热能力；

2 现场测试应按不同流量分三次进行，每次试验的持续时间不少于120 h，两个工况之间时间间隔应大于15 d；

3 地热井取热能力测试记录应符合本标准附录A规定。

条文说明：地热换热孔取热能力测试应详细记录换热孔的位置、类型、结构、深度和地层剖面；检测循环介质在不同流量条件下的进出口温度和流量等参数，并绘制进出口温度和流量随时间变化的关系曲线。现场测试应分三次进行，每次测试流量变化应超过20%，持续时间不少于120小时，且两次测试之间的时间间隔应超过15天。在实际测试中，可采用恒定功率法或恒定进水温度法，本标准推荐使用恒定功率法。由于测试时间有限，所得结果主要用于评估换热孔的短期取热能力。若需评估长期取热能力，应结合浅层埋管换热能力评估方法，通过测试数据和数学模型拟合，确定中深层换热器的关键参数，进而计算地热孔的长期取热能力。

3.4 环境恢复与治理

3.4.1 井场清理与恢复

1 钻井施工结束后，应及时撤除施工场地和项目驻地的设备、不再使用的临建房屋及水电管线等设施，回收并清理各种宣传牌、标示牌、警示牌、防滑防压网、土工布等固体废弃物及生活垃圾。

2 施工现场清理出的固体废弃物，应按照GB 18599规定处置；项目驻地及现场清理出的生活垃圾，应按照GB 50869规定处置；放射性废物应按照GB 15848规定处置。对现场不能处置的有毒有害废物应外运至特定处置场所进行处理。

3 新建道路应按设计要求尽量恢复至原地形地貌，宜与周边自然环境相协调，场地平整不应产生新的挖损和压占破坏。

3.4.2 井场覆土

1 新建道路及场地复原后，应将开挖前的表土均匀地覆盖在底土之上，草地、林地有效覆土厚度应大于0.3 m；耕地、园地有效覆土厚度应大于0.4 m。

2 仅压占但未受到挖损、污染的场地，宜采取深翻、松土、培土等方式使表土达到复垦要求。

3.4.3 复垦复绿

1 移植的林木应全部回植，未成活的应进行补植，新种植的林木应结合当地气候环境条件选择适宜的品种，宜与周边生态相协调。

2 剥离的草皮应全部复植，将原剥离的根系腐殖土铺垫在覆盖的表土后，再将剥离养护的植被依次铺平复植；植被复植后应浇水养护，宜与开挖前状态相协调。

3 植被恢复，应做好事前规划、事中养护，应对损坏或检查不合格的工程进行修补和返工处理，恢复治理达到验收标准。

4 恢复治理应符合设计要求，复垦质量应符合TD/T 1036规定；井场应做到无污染、植被恢复趋势良好、生态环境协调。

4 地热换热系统

4.1 一般规定

4.1.1 地热换热系统的设计与施工应以地热地质调查与资源评估结果为依据。

条文说明：地热地质调查需明确岩土体热导率、地温梯度、热储层分布等关键参数，资源评估应分析地热资源的可持续性与经济性。设计前应通过地热钻孔测温、岩土热响应试验等获取数据，确保系统设计符合实际地质条件，避免盲目施工导致效率低下或资源枯竭。

4.1.2 地热勘查井和开采井均应进行地质设计、钻井工程设计、施工组织设计等，作为钻井施工和完井验收的依据。

条文说明：地热井的设计工作需结合地质调查成果，制定详尽的钻井工程设计方案，确保钻井作业的安全，施工过程中，设计方案应作为所有钻井施工和验收的依据，保障工程质量。

4.2 设计

4.2.1 地热换热系统的设计范围应包括以下内容：

- 1 地热井钻完井方案设计；
- 2 中深层地埋管换热器设计；
- 3 地热源侧相应管路及设备设计。

条文说明：地热换热系统设计是对地热源侧整体工艺的设计，包括但不限于以下内容：

- (1) 地热井钻井方案设计需明确井深、井径、井身结构及固井工艺，确保成井质量。
- (2) 中深层地埋管换热器设计包括管材选型、埋深、流速及换热能力计算等。

(3) 地热源侧管路及设备设计含循环泵选型、管路保温、阀门布置等，需满足变流量与大温差运行需求。

4.2.2 地热井钻井设计方案应符合下列规定：

1 钻完井设计方案应符合NB/T 10266和SY/T 5431的相关规定，不限于钻井用途、钻井深度、井身结构、钻井（组）布置等；

2 地热井应布置在靠近机房，避让建（构）筑物、市政管网及其他设施；

3 多组地热井布置应避免相互热干扰，井口位置设计应满足场地布置及施工要求；

4 钻完井应采用环保材料，成井材料应满足承压、导热及设计使用年限要求。

条文说明：钻井设计方案应根据施工场地地热地质调查情况确定；设计多个换热井时，须考虑井位之间的热干扰。通常选定一个代表井进行详细设计，其余井位通过数值模拟或热传导模型进行合理规划。换热井之间的热流相互影响应纳入设计考虑，以避免系统性能下降。

4.2.3 地热换热系统设计应基于地热井动态变化进行取热量计算，计算周期不少于5年，并对地热换热系统进行热平衡分析。

条文说明：由于中深层地埋管换热系统单向取热，因此需要计算五个以上的供暖季对比分析埋管换热能力的前后变化。

中深层地埋管地源热泵供暖系统供暖负荷与中深层地埋管换热器取热量之间关系按下列公式进行计算：

$$Q_s = Q_q \frac{COP}{COP-1} \quad (3)$$

$$Q_q = \sum Q_i \quad (4)$$

式中： Q_s ——供暖负荷（kW）；

Q_q ——中深层地埋管换热器取热量（kW）；

Q_i ——单个中深层地埋管换热器取热量（kW）；

COP——热泵机组的制热性能系数，在运行工况下不宜低于5.0。

$$COP_s = \frac{Q_s}{N_s} \quad (5)$$

式中： N_s ——系统总输入功率（kW），包括地源热泵机组、地热源侧水泵及用户侧水泵功率；

COP_s ——系统的制热性能系数，在运行工况下不宜低于4.0。

4.2.4 地热换热器的型式宜采用同轴套管式，地热井设计参数应根据场地面积、岩土结构、地温梯度、钻井成本等因素综合确定。

条文说明：地热换热系统是决定中深层地埋管地源热泵供暖系统供暖能力的基础，其设计过程中应充分结合项目条件优化设计方案和工艺。中深层地埋管换热系统设计时，应结合可使用地面面积、岩土结构、岩土竖向温度分布、钻孔成本等因素确定换热器型式，同轴套管式换热器具有经济性好。

4.2.5 方案设计阶段，同轴套管式中深层地埋管换热器名义取热量应根据地温梯度、地埋管换热器埋深以及岩土体热导率，按附录B进行估算。

4.2.6 施工图设计阶段，地热井换热能力应根据换热器结构、地温梯度、岩土体热导率、大地热流值等关键参数，采用专业设计软件或按附录C计算。

4.2.7 地热井循环介质应具有环保、稳定、导热率高的特点，应以水为主，不应添加乙二醇等添加剂。

条文说明：循环介质建议采用软化水，并采取除氧处理。循环介质应符合GB/T 18430.1等相关标准和附录D的规定，选用其他介质时，应符合下列规定：

(1) 安全可靠，腐蚀性低，与地埋管内外管材均无化学反应；

- (2) 冰点低；
- (3) 良好的传热性能，较低的比摩阻；
- (4) 易于运输和储藏。

考虑保护地下环境，防止污染地层，同时避免对管道、管件的腐蚀性影响地热换热系统安全性，循环介质中不应添加乙二醇等防冻作用添加剂。通常情况下，中深层地埋管换热系统无防冻需求。

4.2.8 地埋管换热器管材及管件应采用相同材料，且应符合下列规定：

- 1 应采用化学性稳定、耐腐蚀、耐承压、耐高温、比摩阻小的管材及管件；
- 2 套管式地埋管换热器外管应采用导热系数大的材料；内管应采用导热系数小的材料。

条文说明：中深层地埋管换热器的外管一般采用耐压特制钢管，导热系数不宜小于 $40W/(m \cdot K)$ ，承压应高于 $16MPa$ ；内管管材应具有高热阻性能，导热系数不宜大于 $0.4W/(m \cdot K)$ ，同时考虑管材的耐温性能。

4.2.9 地热井设计深度宜为 $2000m \sim 3000m$ 。

4.2.10 地热换热系统宜采用大温差、变流量设计。

条文说明：为减少输送能耗和提高热泵机组性能，中深层地埋管换热系统一般可采用以下两种大温差设计方法：

(1) 中深层地埋管换热器循环水侧，设置两台大温差地源热泵机组，串联运行，拉大地埋管换热器循环介质的进出口温差。

(2) 在机房系统设计中，增设调蓄水箱（水池）。在地埋管换热器与调蓄水箱之间、调蓄水箱与热泵机组之间形成不同温差的循环水系统。地埋管换热系统与调蓄水箱之间采用小流量大温差或常规流量大温差运行模式，提高单个地埋管换热系统取热量，减少地热换热孔数量，同时降低地埋管换热系统循环水泵输送能耗；在调蓄水箱与热泵机组之间采用常规水源热泵机组 $5\text{ }^{\circ}C$ 温差或 $7\text{ }^{\circ}C$ 大温差运行模式，形成调蓄水箱（水池）与中深层地埋管热泵供暖系统联合运行模式。由于调蓄水箱存在冷水、热水混合问题，因此应采取有效措施保持调蓄水箱的冷热水分层，减少混层发生。

4.2.11 地热换热系统设计时，应进行水力计算，并应考虑自然压头作用。

条文说明：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。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。

由于中深层地埋管比较长且循环介质流量大，循环泵能耗比较大，因此地热换热系统宜采用变流量设计，根据建筑负荷变化采用恒定温差进行流量调节，节约运行电耗。地热换热系统设计时应根据循环介质特性和流量进行水力计算。中深层地埋管换热器埋深多为 $2000m \sim 3000m$ ，竖向平均温差产生的自然压头可抵消一部分循环阻力，进而降低水泵扬程。因此，在地热换热系统设计时应考虑自然压头的影响。表1给出了同轴套管换热器的管道推荐比摩阻，其中传热介质为水，流量范围为 $18m^3/h \sim 27m^3/h$ 。

表 1 同轴套管换热器的管道推荐比摩阻 (Pa/m)

内管径 (mm)	外管径 (mm)		
	$\phi 177.8 \times 9.19$	$\phi 193.7 \times 8.33$	$\phi 244.5 \times 10.3$
$\phi 90 \times 8.2$	184.07~284.10	172.98~266.54	164.45~253.09
$\phi 110 \times 10$	111.86~217.34	79.95~153.74	63.08~120.34

4.3 施工

4.3.1 地热换热系统施工前，应进行下列施工前准备：

- 1 应掌握施工场地地下所有管线及构筑物的功能及位置，并做好标记；
- 2 应确保建设项目施工前完成通水、通电、通路和平整场地；
- 3 应预留重型设备及运输进出施工区域的车道位置；
- 4 地热井钻井设备和设施各项污染物排放应符合GB 18918、GB 12523、GB 18599的规定。

条文说明：地热换热系统施工时，考虑当地气候条件和拟施工地点地上存在的或可能出现的承重情况，主要为了防止地热换热系统地下水平埋管中循环介质发生冻结现象，确保地下埋管不会因地表承重而受损。

地热换热孔施工过程中污水排放、施工噪声及固体废弃物存贮应符合GB 18918、GB 12523、GB18599等相关标准的规定，同时还需满足项目所在地的环保要求。

4.3.2 单个钻井施工井场大小应满足钻井作业的要求，石油钻机、水文钻机的井场布置按SY/T 5466规定执行。岩心钻机的井场布置按DZ/T 0227规定执行。

条文说明：1 地热井施工设备通常采用石油系统和地质勘探系统的钻井施工设备，设备的型号和尺寸大小有所不同。

2 井口距高压线及其它永久性设施不小于75m；距民宅不小于100m；距铁路、高速公路不小于200m；距学校、医院和大型油库等人口密集性、高危性场所不小于500m；井筒与采掘坑道、矿井通道之间的距离不小于100m。

3 井场方向以钻井（深孔钻探）平台的井（孔）口为原点，以平台底座的两条垂直平分线的延长线为准线，划分井场功能区域；井场大门方向应符合井控安全要求，井场周围应设置两处临时安全区，应保持一个位于当地季节风的上风方向。在井场入口、临时安全区、井架上、钻台上、循环系统、防喷器远控台、液气分离器排气口和放喷管线出口100m处，应设置风向标。

4 防喷器远程控制台摆放在面对井架大门左侧、距井口应大于25m的位置。压井管汇坑设置在井场左侧，节流管汇坑设置在井场右侧，方井与节流、压井管汇坑的连接沟尺寸应不小于700mm（宽）×800mm（深）。

5 发电房、油罐区距井口不小于30m，发电房与油罐区相距不小于20m，柴油机排气管出口不能指向油罐区。高架水罐、油罐、发电房宜布置在井场外。

4.3.3 地热井钻井作业应符合下列规定：

- 1 钻井作业应符合DZ/T 0260、SY/T 5088的规定；
- 2 钻井液材料应符合GB/T 5005的规定；
- 3 钻井作业环境保护做法应符合SY/T 6629的规定；
- 4 探采结合井按设计进行分段取心并符合SY/T 5347的相关要求，按设计要求进行相关的热物性参数测试；生产井宜捞砂取样，现场鉴别岩性应符合SY/T 5788.3的要求，做好记录。

条文说明：钻孔液要求使用清水聚合物泥浆，其性能指标应满足钻孔防垮塌、有足够的携砂能力、环保无污染等要求

4.3.4 地热井固井作业应符合下列规定：

- 1 固井作业应符合SY/T 5374.1、SY/T 6592等相关标准的规定；
- 2 地热井应设计要求进行固井；固井材料配方应由专业实验室确定；固井材料基料宜选用高强度水泥；
- 3 固井应采用延迟水泥固井技术，并应封固套管外部环形空间；延迟固井水泥应选用无毒、稠化时间长且流动性好的材料；
- 4 固井地面管汇现场试压，按施工最高泵压的150%清水试压，稳压10min，压降小于0.5MPa为合格；
- 5 固井应在裸眼井作业结束后24h内完成。

条文说明：延迟固井也称先注水泥后下套管固井工艺，是指先用钻具向井眼底部注入一定量的水泥浆，然后取出钻具，再把套管下入水泥浆中待凝的一种固井工艺。该工艺一般在小环空间隙或超大环空间隙的套管固井中使用，延迟固井工艺主要有以下特点：

- (1) 水泥浆在环空间充满率高，充注水泥流动阻力小不易漏失；
- (2) 水泥浆与钻井液掺混少；
- (3) 水泥浆稠化时间长且流动性好。

地热换热系统应根据地质特征确定固井材料配方，通常情况下，选用水泥作为固井材料的基料，固井填料的材质及配比应考虑以下因素：

- (1) 取热段固井材料的导热系数不应低于钻孔外热储层岩土体的热导率；
- (2) 当穿透含水层时，应采取措施防止地下水串层，避免对地下水造成污染。

4.3.5 地热井钻井完成后应进行下套管作业，并应符合下列规定：

1 下套管作业前应进行检验，并应做检验记录；检验项目包括套管材料、套管外径、套管壁厚、接头型式等，并应符合SY/T 5396的相关规定；

2 下套管作业应符合SY/T 5412的相关要求。

3 应在外管下入并静置48h后进行钻井深度和温度测试，再下入内管。

4.3.6 完井应做好井口保护，完善井口装置，包括：安装流量控制阀，进出水口流量计、压力表、温度计等。

条文说明：完善井口装置包括：控制阀门、进（出）口流量计、温度计、压力计等。完善井口装置主要满足地热换热孔循环介质流量、温度监测需求，同时为后续管道作业做好准备。

4.3.7 地热井施工完成后，应对地热井井位及直埋管道进行永久标识。

条文说明：地热换热系统施工完成后，应用位置标识带标明地下埋管区域管线位置、走向；并应采用2个永久目标对钻孔及埋管进行定位。

5 热泵供热系统

5.1 一般规定

5.1.1 热泵供热系统主要由热泵机组、换热器、循环水泵、控制系统、输配管网、阀门阀件等组成。

条文说明：热泵供热系统由热泵机组、换热器、循环水泵、控制系统、输配管网及阀门阀件等核心部件构成。热泵机组负责从低温热源中提取热量并提升温度，换热器实现热量传递，循环水泵驱动传热介质流动，控制系统保障各部件协调运行，输配管网与阀门阀件则承担热量输送与分配功能。各组件需通过合理选型与集成设计，确保系统高效稳定运行，满足用户供热需求。

5.1.2 湖南省中深层地源热泵供热系统宜采用由辅助热源和蓄热设备组成的复合式供热系统。

条文说明：湖南省气候特征表现为夏季高温高湿、冬季湿冷，中深层地源热泵系统在极端低温天气下可能存在供热量不足的风险。采用复合式供热系统时，辅助热源（如燃气锅炉、电加热设备）可在极端工况下补充热量，保障供热可靠性；蓄热设备（如水蓄热罐、相变蓄热装置）通过“削峰填谷”调节负荷波动，降低热泵机组频繁启停造成的能耗，延长设备寿命，同时提升系统对动态负荷的适应性。

5.1.3 热泵供热系统的设计方案应根据项目的供热负荷、供热系统形式、地热换热系统工程造价以及热源侧运行特性等因素综合考虑。

条文说明：热泵系统设计需统筹技术性与经济性。供热负荷计算需结合建筑围护结构、使用功能及当地气候参数；系统形式选择应兼顾地热资源条件、场地限制及投资成本；地热换热系统工程需评估地质构造、钻孔深度及换热效率，避免长期运行导致的冷热堆积；热源侧运行特性分析包括机组能效比（COP）随负荷率的变化规律、地温场年际平衡等，确保系统在全生命周期内保持高效稳定。

5.2 设计

5.2.1 热泵供热系统设计应根据建筑负荷、末端形式和运行方式确定供回水温度。

条文说明：热泵供热系统设计应依据建筑负荷特性、末端散热形式及系统运行方式，确定末端供回水温度；末端供回水温度直接影响热泵机组 COP 与末端散热效率，不同末端参考温度分别为地面辐射供暖供水 30~35℃、风机盘管供水 40~45℃、暖气片供水 50~60℃，设计需结合建筑热工性能、末端设备选型及用户习惯，通过负荷模拟优化水温，兼顾供热效果与系统节能。

5.2.2 热泵供热系统应制定控制策略，防止热源侧出水温度过高。

条文说明：热源侧出水温度较高时，宜采用直接供热与热泵供热结合的梯级利用形式；热源侧出水温度过高可能导致机组冷凝压力超限、压缩机功耗激增甚至设备损坏。控制策略包括：设置水温阈值自动切换至辅助热源；采用梯级利用方式，将高温段热量直接供应高区用户，低温段由热泵二次提热；或通过混水调节阀降低进入热泵的介质温度。此外，需定期监测地温变化，避免长期取热导致地温下降引发的效率衰减。

5.2.3 热泵供热系统应设置温度、流量、压力等参数的监测装置。

条文说明：温度监测可实时反映换热器效能及末端供热均衡性；流量监测用于诊断管网水力失调或堵塞；压力参数则关乎水泵运行状态及系统密封性。数据应接入中央控制系统，通过历史曲线分析优化运行策略，并在异常时触发报警。例如，蒸发器侧流量骤降可能提示过滤器堵塞，需及时维护以避免机组低压保护停机。

5.2.4 中深层地埋管地源热泵机组应符合GB/T 19409等相关标准的规定，并应满足系统设计的要求。

条文说明：《水源热泵机组》GB/T 19409规定了机组的性能系数、噪声限值、耐压试验等关键技术指标。中深层地埋管系统因地下工况复杂，机组需额外满足高承压能力、耐腐蚀材质及宽温差适应性要求。选型时需核实地埋管侧设计流量、进出水温差等参数，确保机组满负荷与部分负荷工况下均能高效运行。

5.2.5 中深层地埋管地源热泵机组蒸发器设计出水口温度不宜低于10℃。

条文说明：地埋管换热器循环介质经热泵机组蒸发器吸收热量后流入地埋管换热器，设定地埋管换热器出口水温最低限制，目的是避免因循环介质温度过低导致蒸发压力降低，进而使压缩机功耗增加、COP显著下降。设计时应通过加大地埋管换热面积、优化钻孔间距或增设防冻液等措施，确保蒸发侧水温处于高效区间（10~25℃），兼顾系统运行安全性与经济性。

5.2.6 室内末端设备宜采用地面辐射供热、低温散热器或风机盘管等低温型供热末端设备。

条文说明：低温型末端设备与热泵特性高度匹配：地面辐射供热利用大面积低温散热，室内温度分布均匀；风机盘管在低水温下仍可通过提高风速满足热舒适性。相比传统散热器，可降低热泵供水温度5~10℃，提升COP约15%~30%。设计时需校核末端散热量与热泵供热量时序匹配，避免短时高负荷需求导致机组频繁启停。

5.2.7 热泵机组与室内末端设计应符合GB 50736、GB 55015等相关标准的规定。

5.3 施工

5.3.1 热泵机组与室内末端施工应符合GB 50738、GB 50243等相关标准的规定。

5.3.2 中深层地热地埋管供热绝热防腐系统设计应符合GB 50264、GB 50736、GB 50019、CJJ 34等相关标准的规定。

条文说明：本条绝热防腐设计应基于全生命周期成本确定。中深层地热供热系统运行周期长，绝热层厚度与防腐等级的选定，需统筹考虑初期投资与长期运行能耗及维护费用。通过计算在经济使用寿命内的总费用，确定技术经济最优的绝热方案与防腐措施，以确保系统在全寿命期内安全、高效、经济运行。

6 监测与控制系统

6.1 一般规定

6.1.1 中深层地埋管地源热泵供热系统宜配备实时集中监控系统。

条文说明：中深层地埋管地源热泵供热系统工况复杂，实时集中监控系统可对地热井、热泵机组、循环水泵等核心设备进行多维度数据采集与动态调控。通过集成化监控平台，运维人员可远程查看设备运行状态、调节运行参数、诊断故障原因，降低人工巡检强度，提升系统响应速度。同时，集中监控有助于实现数据互联互通，为后续能效优化、负荷预测及设备寿命管理提供基础支撑。

6.1.2 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。

条文说明：传感器与二次仪表的匹配是确保数据准确性的关键。流量传感器量程应覆盖系统最大设计流量的1.2~1.5倍，精度不低于±1.5%；温度传感器需误差≤±0.5℃；压力传感器耐压等级应高于系统最高工作压力的1.5倍，精度±0.5%FS。安装时需避免电磁干扰、机械振动及介质腐蚀对测量的影响，并定期校准以维持长期稳定性。

6.2 监测与控制

6.2.1 监控系统应包含下列内容：

- 1 地热井、热泵机组、循环水泵等设备状态及故障报警、运行参数；
- 2 自动调节与控制、工况自动转换、设备联锁与自动保护；
- 3 能耗监测、能效评估等。

条文说明：控制系统需覆盖设备状态监测、运行调控与能效管理三大核心功能。设备状态监测包括热泵机组压缩机启停频率、循环水泵振动值、地热井水位变化等；运行调控通过PID算法自动调节阀门开度、水泵频率，实现负荷跟随；能效管理则基于供热量、耗电量及地热取热量数据计算系统COP、季节性能系数（SPF），生成能效对标报告，为运维决策提供量化依据。

6.2.2 集中监控系统管控的设备应配备就地手动控制装置，并支持通过远程（就地）转换开关进行远距离与就地手动控制之间的转换。

条文说明：就地手动控制装置是系统安全运行的冗余保障。当集中监控系统故障或通信中断时，可通过就地控制柜直接启停设备，确保紧急工况下的基础运维。远程/就地切换开关需采用机械互锁设计，防止误操作导致控制冲突。切换状态信号应接入监控系统，实时显示当前控制模式，并记录切换事件日志，便于事后追溯分析。对于热泵机组、地热井、循环水泵等设备，系统应实现全天候的监控。监控内容应包括设备的运行状态、流量、温度、压力、电流等关键参数，并及时记录设备的运行数据。监控系统应具备故障定位功能，当出现异常时，能够快速定位到具体的设备或参数，辅助维修人员进行准确修复。

6.2.3 集中监控系统应符合下列规定：

- 1 应分别对地上能源站系统与地下地埋管系统的运行参数进行同步监测与记录；
- 2 各项参数记录应同步进行，记录时间间隔不宜大于10min，并应存储连续3年以上的运行记录；

3 控制系统应预先设定中深层地埋管地源热泵供暖系统运行工况；地热换热孔取热量应根据建筑负荷需求、水温、系统流量进行调节；

- 4 控制系统应设立操作者权限控制等安全机制；
- 5 控制系统应包括运行系统、数据库管理、通信控制等；
- 6 控制系统应具备数据监测分析功能和监测控制参数导出；
- 7 控制系统宜设置与其他弱电系统数据共享的集成接口。

条文说明：集中监控系统需满足数据完整性、控制可靠性与扩展性要求：支持CSV、Excel格式导出；控制策略预设应包括夏季蓄热、冬季供热、过渡季停机等模式，根据地温恢复速率动态调整取热量；系统架构宜采用B/S模式，支持OPC、Modbus协议与其他楼宇自控系统（如BA、EMS）无缝对接。

6.2.4 中深层地埋管地源热泵供暖系统各个设备控制柜应预留通信接口。

6.2.5 传感器、执行机构的安装位置、方式应符合GB 50736等相关标准的规定。

6.2.6 集中监控系统数据采集设备每年应进行校核。

6.2.7 地热换热系统宜进行监测，监测地层温度、地热井进出口温度及取热量。

条文说明：地热换热系统监测需涵盖热源侧与地温场平衡：地层温度监测孔深度应达到换热区以下5m，间距 $\leq 30m$ ，采用分布式光纤测温技术；地热井进出口温度监测点距井口1m处，取热量通过流量与温差积分计算，精度 $\pm 5\%$ 。监测数据用于评估地温年际变化趋势，防止长期取热导致地层冷堆积。

6.2.8 能耗能效监控评估系统应具备以下功能：

- 1 采集并监测供热系统的电能消耗、供热量、地热换热量等数据；
- 2 对能效指标进行实时评估和存储；
- 3 支持数据分析、存储、报告生成和优化建议。

条文说明：能耗能效监测系统应具备实时采集系统各环节的能耗数据，包括电力消耗、地热获取量、供热量等。所有数据应实时上传至监控中心，并形成数据存档。系统应对采集到的能效数据进行实时评估和分析，通过计算能效比（COP）等指标，对系统的运行效率进行评价，确保系统在节能、降耗方面达到预期目标。能效评估结果应定期生成报告，并通过分析报告向管理者提供优化建议，帮助调整系统运行模式或维修保养周期。系统应能够跟踪能效变化趋势，基于历史数据进行预测，及时预警能效降低或异常波动，帮助运维人员尽早采取干预措施。能效监测系统应与建筑能效管理平台兼容，确保数据的互联互通，并能够支持后续的能效优化和节能改造计划。

7 调试、验收及运行维护

7.1 一般规定

7.1.1 中深层地埋管供热系统在交付使用前应进行完整的试运行、系统调试及验收。

7.1.2 系统调试、试运行与验收过程应符合GB 50243和GB 50411等相关标准的规定。

7.1.3 中深层地埋管供热系统调试与验收结果应填写验收记录并存档备案。

7.2 调试

7.2.1 中深层地埋管供热系统的整体调试应符合下列规定：

- 1 在调试前应制定详细的调试方案并报专业监理工程师审核批准；
- 2 热泵机组、循环水泵、末端等设备应进行单机试运转；
- 3 单机试运转完成并满足要求后，应开展设备性能调试，设备性能应满足设计要求；
- 4 设备性能调试完成并满足要求后，应进行水系统平衡调试，各支路水量应满足设计要求；

5 联合运行调试应对系统各项控制功能和综合效果进行验证。

条文说明：地热热泵机组试运转正常后，应进行连续24小时的系统试运转，期间填写运转记录。

7.2.2 调试结果应达到设计要求，调试完成后应编写调试报告及运行操作规程，并提交建设方确认后存档。

条文说明：在中深层地埋管供热系统的试运行期间，应进行以下测试与调整：

- 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、流量等参数应符合设计要求；
- 3 系统运行应平稳，消除不合理的管道阻力，水泵效率、电机功率等参数应符合设计要求；
- 4 控制与监测系统的传感器、执行器、通讯系统应正常工作，满足监控、控制及自动调节的要求；
- 5 所有监测数据应定期记录，并存储于监控系统的服务器或云端存储，存储时间不得少于15分钟。

7.3 验收

7.3.1 中深层地埋管供热系统的验收由建设单位组织实施，验收合格后应出具正式验收报告。

条文说明：验收由建设单位组织设计、施工、监理及检测单位共同参与，依据合同技术附件逐项核查。验收报告需载明系统性能参数实测值、设计符合性结论及整改建议，加盖各单位公章后生效。

7.3.2 地热井验收应符合下列规定：

- 1 地热井验收应现场进行；
- 2 钻井结构应满足设计要求；
- 3 施工单位应提供钻井施工记录、套管进场复验资料及下井记录；
- 4 井口地面应封闭硬化；
- 5 应按设计要求安装井口装置及相应的测量仪表；
- 6 钻井验收结束后，应提交验收报告；
- 7 应提交钻完井成井报告。

条文说明：报告文字说明包括设计与合同的工程要求、钻井结构、钻井地层概况、热储层情况、成井质量、套管、换热器管材、施工说明等，报告内容应客观、详实，数据要真实、准确，应全面反映钻井施工和地质情况。报告附件应有钻井平面位置图、综合柱状图，钻井班报表，钻井岩屑记录表、钻井泥浆进出口测温记录表，测井曲线以及工程管理文件。

7.3.3 地热井验收内容应符合本标准附录D的规定。

条文说明：中深层地埋管地源热泵供暖系统地下换热工程验收包括中深层地埋管孔位、钻孔质量、地埋管套管、换热器管材质量、中深层地埋管下入深度、回填及换热孔固井质量、中深层地埋管换热孔检查井质量、施工完毕场地清理恢复、中深层地埋管换热孔孔口保护及标识等。

7.3.4 在整体验收前应进行换热能力测试，并对系统实际的换热性能进行评估。

条文说明：具体评估包括地热热泵机组性能、室内供热效果、地热换热系统对环境的影响以及系统能效等方面。

7.3.5 中深层地埋管地源热泵供暖系统验收合格后应出具验收合格报告。

条文说明：验收过程中，系统应在典型供热日进行连续24小时的测试，测试期内的系统负荷率应不低于设计要求的50%。

测试期间的条件应符合以下要求：

- 1 系统在测试前运行稳定，平均负荷率不小于50%；
- 2 测试周期应与采暖季同步，短期测试时间不得少于3天；
- 3 测试期间，地热热泵机组应在接近额定工况下运行，系统能效比应接近设计工况。

测试仪器应符合相关标准的规定，准确测量流量、功率、温度等参数，且具有足够的精度和稳定性。

7.4 运行维护

7.4.1 中深层地埋管热泵供暖系统运行应符合下列规定：

- 1 应制订运行维护手册，并完成运行前的检查；
- 2 应按运行维护手册规定运行；
- 3 应进行运行监控与运行管理记录。

7.4.2 运行管理人员宜根据自控系统采集的数据进行能耗分析、节能诊断。

条文说明：基于实际运行数据的分析是实现可持续优化运行的重要基础，因此应形成基于数据的分析、诊断、再优化的良性循环。中深层地埋管热泵供暖系统运行工况复杂多变，基于历史数据的运行优化显得尤为重要。

7.4.3 中深层地埋管地源热泵供暖系统验收后，应对系统运行能效进行评估，运行能效评估等级应符合表2的规定，且不应低于3级要求。

表 2 运行能效评估等级

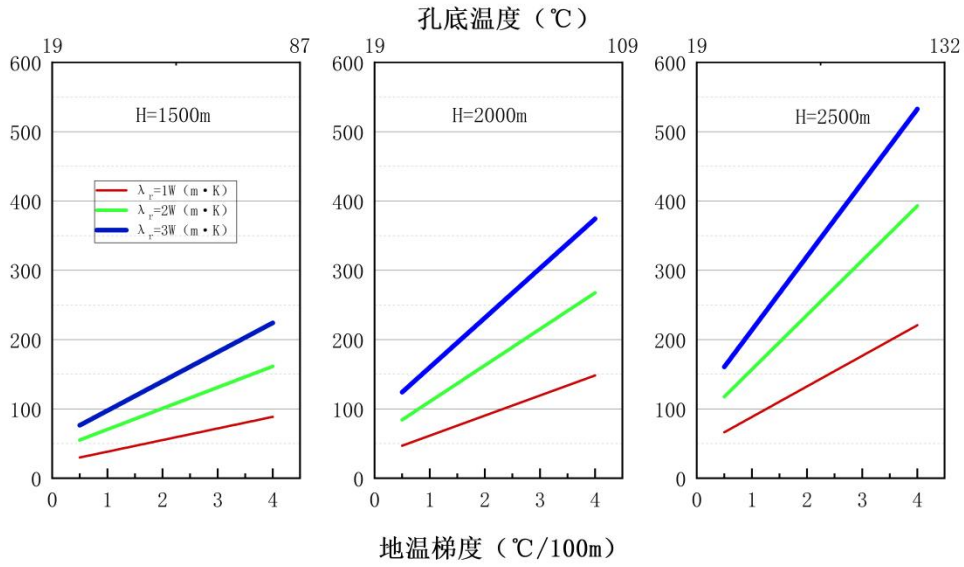
等级	热泵机组性能 COP	系统性能 COP _{sys}
1级	$COP \geq 7.0$	$COP_{sys} \geq 5.5$
2级	$6.0 \leq COP < 7.0$	$4.5 \leq COP_{sys} < 5.5$
3级	$5.0 \leq COP < 6.0$	$4.0 \leq COP_{sys} < 4.5$

附录 A 地热井取热能力测试记录

基本信息					
项目名称			测试日期		
地热井编号			测试负责人		
地理位置			测试方法		
测试工况参数					
测试轮次	流量 (m/h)	持续时间 (h)	测试开始时间	测试结束时间	间隔天数
第一次		≥120			—
第二次		≥120			≥15
第三次		≥120			≥15
注：相邻两次测试流量变化应≥20%。					
实时监测数据记录					
日期时间	循环介质进	循环介质出	流量	热功率	累计取热量
202X-XX-XX 08:00					
202X-XX-XX 08:30					
...
测试结果分析					
参数	第一次测试	第二次测试	第三次测试	单位	
平均取热功率				kW	
单位井深取热量				W/m	
岩土体综合热导率				W/(m·K)	
地温恢复速率（停泵15天后）				°C/d	
签字确认					
角色	姓名	单位	签名	日期	
测试人员					
监理工程师					
施工单位负责人					

附录 B 中深层套管式换热器名义取热量

单个同轴套管形式的中深层地埋管换热器取热量可依据地温梯度与中深层地埋管换热器安装深度进行估算，可参照附图快速查找。



附录 C 同轴套管式中深层地埋管换热器传热模型分析

C.1 同轴套管式中深层地埋管换热器传热分析模型应符合下列规定：

1 同轴套管式中深层地埋管换热器的传热分析模型可按下列公式计算：

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \quad (\text{C-1})$$

$$\sigma = \ln \left(\frac{r}{r_0} \right) \quad (\text{C-2})$$

2 流动方式为内进外出时，内管流体的能量控制方程可按下式计算：

$$C_2 \frac{\partial t_{r2}}{\partial \tau} = \frac{t_n - t_{r2}}{R_2} + C \frac{\partial t_{r2}}{\partial z} \quad (\text{C-3})$$

3 流动方式为内进外出时，外管流体的能量控制方程可按下式计算：

$$C_1 \frac{\partial t_{fl}}{\partial \tau} = \frac{t_{r2} - t_{fl}}{R_2} + \frac{t_b - t_{fl}}{R_1} + C \frac{\partial t_{fl}}{\partial z} \quad (\text{C-4})$$

4 流动方式为外进内出时，内管流体的能量控制方程可按下式计算：

$$C_2 \frac{\partial t_r}{\partial \tau} = \frac{t_1 - t_2}{R_2} + C \frac{\partial t_r}{\partial z} \quad (\text{C-5})$$

5 流动方式为外进内出时，外管流体的能量控制方程可按下式计算：

$$C_1 \frac{\partial t_r}{\partial \tau} = \frac{t_r - t_{r1}}{R_1} - \frac{t_{r2} - t_{r1}}{R_2} + C \frac{\partial t_r}{\partial z} \quad (\text{C-6})$$

6 外管流体与钻孔壁之间单位长度的热阻可按下式计算：

$$R = \frac{1}{\frac{1}{\pi \Gamma_1 \pi_2} + \frac{1}{\pi \Gamma_2} \ln \frac{\theta_0}{\theta_1} + \frac{1}{\pi \Gamma_2 \pi_1}} \quad (\text{C-7})$$

式中： d_{1i} ——内管内径；

d_{2a} ——外管外径；

h_1 ——外管流体与管壁间对流换热系数；

h_2 ——内管流体与管壁间对流换热系数；

λ_2 ——内管导热系数。

公式C.0.1-8

$$C_1 = \frac{\pi}{4} (d_{10}^2 - d_{11}^2) \rho_1 c_1 + \frac{\pi}{4} (d_{20}^2 - d_{21}^2) \rho_2 c_2 \quad (\text{C-8})$$

式中： d_{10} ——外管外径；

d_{2i} ——内管内径；

ρ_1 ——密度；

ρ_2 ——密度；

c_1 ——比热容；

c_2 ——比热容。

公式C.0.1-9

$$C_2 = \frac{\pi d_{20}^2}{4 d_{20}} \rho_2 c_2 \quad (\text{C-9})$$

公式c.0.1.10

$$C = \frac{p_3 c_2}{1 + \frac{1}{1+p_2} + \frac{1}{1+p_3} \ln \frac{2\pi}{4i} + \frac{1}{1+p_2+1}} \quad (\text{C-10})$$

参数说明部分：

热扩散率 a : 单位 m^2/s

外管流体温度 t_n : 单位 $^\circ\text{C}$

内管流体温度 t_{i2} : 单位 $^\circ\text{C}$

钻孔壁面温度 t_b : 单位 $^\circ\text{C}$

外管导热系数 λ_1 : 单位 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

内管导热系数 λ_2 : 单位 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

回填材料导热系数 λ_g : 单位 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

外管流体与管壁间对流换热系数 h_1 : 单位 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

内管流体与管壁间对流换热系数 h_2 : 单位 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

外管外径 d_{1o} : 单位 m

外管内径 d_{1i} : 单位 m

内管外径 d_{2o} : 单位 m

内管内径 d_{2i} : 单位 m

循环介质热容量流量 C : 单位 $\text{J}/(\text{s}\cdot\text{K})$

单位长度的外管中流体以及管壁的热容量 C_1 : 单位 $\text{J}/(\text{m}\cdot\text{K})$

单位长度的内管中流体以及管壁的热容量 C_2 : 单位 $\text{J}/(\text{m}\cdot\text{K})$

循环介质的体积比热容 ρ_c : 单位 $\text{J}/(\text{mm}^3\cdot\text{K})$

外管材料的体积比热容 ρ_{1cl} : 单位 $\text{J}/(\text{mm}^3\cdot\text{K})$

附录 D 地热井验收内容及标准

D.1 井身质量要求

D.1.1 井身质量要求井斜、方位、垂深、全角变化率、靶心半径指标应达到设计要求。

D.1.2 井径扩大率要求：针对套管固井射孔成井的地热井目的层井段平均井径扩大率宜小于15%。

D.1.3 直井井斜、全角变化率及井底水平位移考核指标宜参考并执行表D-1。

表D-1 直井井斜、全角变化率及井底水平位移要求表

井深 (m)	探井			生产井		
	井倾角 (°)	全角变化率 (°/30m)	井底水平位移 (m)	井倾角 (°)	全角变化率 (°/30m)	井底水平位移 (m)
0~300 (泵室段)	≤1	≤2.00	≤5	≤1	≤2.00	≤5
300~1000	≤3	≤2.50	≤30	≤3	≤2.50	≤30
1000~2000	≤7	≤3.00	≤50	≤6	≤3.00	≤50
2000~3000	≤9	≤4.00	≤80	≤8	≤4.00	≤75
3000~4000	≤11	≤4.50	≤120	≤10	≤4.50	≤90
4000~5000	≤13	≤5.00	≤160	≤12	≤5.00	≤120

D.1.4 定向井的最大全角变化率以钻杆防疲劳破坏的全角变化率限定值和套管柱抗弯曲强度的全角变化率限定值中的最小值为准。

D.1.5 常规定向井的最大全角变化率宜不超过5°/30m，如果连续三个测点的全角变化率超过5°/30m为全角变化率超标，常规定向井的靶区半径按设计目标点的不同垂直深度确定，宜符合表D-2要求。

表D-2 定向井靶区半径数据表

井段 (m)	探井 (m)	生产井 (m)
0~1000	≤20	≤20
1000~2000	≤30	≤30
2000~3000	≤50	≤50
3000~4000	≤75	≤70
4000~5000	≤100	≤90

D.1.6 丛式井井眼轨道间距不宜小于4m。

D.1.7 对于其他特殊要求的定向井，应在设计中明确要求。

D.2 固井质量要求

固井后各层套管都应进行试压，套管试压值不应小于6MPa，稳压30min，压降不大于0.5MPa。

D.3 取心质量要求

D.3.1 地热井取心质量应达到设计要求，可按照SY/T 5593执行。

D.3.2 常规地层取心收获率不小于75%；破碎、松散地层取心收获率不小于50%。

D.4 成井报告的内容

地热井成井报告至少包括但不限于如下内容：

1 概况

1.1 目的与任务

1.2 位置和地理

2 基本数据

3 钻井工程

3.1 钻井设备

3.2 钻井工程施工

3.3 钻井技术措施

- 4 地质录井
- 5 固井
 - 5.1 固井基本数据
 - 5.2 固井作业施工
- 6 洗井与内管下放
 - 6.1 洗井
 - 6.2 内管下放
- 7 环境保护
- 8 结论与建议

附录 E 本标准用词说明

1为便于在执行本标准条文时区别对待对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”

2条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”

附 录 F 引用标准名录

《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523
《铀矿地质勘查辐射防护和环境保护规定》GB 15848
《蒸汽压缩循环冷水（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/T

18430.1

《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599
《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918
《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019
《公共建筑节能设计标准》GB 50189
《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243
《工业设备及管道绝热工程设计规范》GB 50264
《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366
《建筑节能工程施工质量验收标准》GB 50411
《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736
《通风与空调工程施工规范》GB 50738
《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》GB 50869
《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB 55015
《钻孔液材料规范》GB/T 5005
《水（地）源热泵机组》GB/T 19409
《城镇供热管网设计规范》CJJ 34
《地热钻探技术规程》DZ/T 0260
《地质岩心钻探规程》DZ/T 0227
《地热井钻井工程设计规范》NB/T 10266
《钻井井身质量控制规范》SY/T 5088
《钻井取心作业规程》SY/T 5347
《固井作业规程第1部分：常规固井》SY/T 5374.1
《石油套管现场验收与运输》SY/T 5396
《下套管作业规程》SY/T 5412
《井身结构设计方法》SY/T 5431
《钻前工程及井场布置技术要求》SY/T 5466
《井筒取心质量规范》SY/T 5593
《油气井地质录井规范》SY/T 5788.3
《固井质量评价方法》SY/T 6592
《陆上钻井作业环境保护推荐作法》SY/T 6629
《中深层地埋管地源热泵供暖技术规程》T/CECS 854-2021
《土地复垦质量控制标准》TD/T 103

条文说明

