

ICS 91.060.99
CCS P30/39

DB32

江 苏 省 地 方 标 准

DB 32/TXXX—2021

桩基埋管地源热泵系统工程技术规程

Technical standard for Ground source heat pump with buried pipe

2021 - XX - XX 发布

2021 - XX - XX 实施

江苏省市场监督管理局 发布

前 言

为了促进地源热泵桩基埋管技术的应用,根据江苏省住房和城乡建设厅《省住房城乡建设厅<关于印发 2014 年度江苏省工程建设标准和标准设计编制、修订计划>的通知》(苏建科[2014]256 号),由南京工业大学等有关单位共同编制了《桩基埋管地源热泵系统工程技术规程》(以下简称《规程》),在全省范围内使用。

本规程共分 8 章,主要内容包括:总则、术语和符号、勘察与测试、材料、设计、施工、检验与验收、运行维护。

本规程由江苏省住房和城乡建设厅负责管理,由南京工业大学负责具体技术内容的解释。

本规程在执行过程中,请各单位注意总结实践经验,积累资料,随时将有关意见和建议反馈给南京工业大学,以便今后修订时参考。

地址:南京市江北新区浦珠南路 30 号交通运输工程学院,邮编:211816

主编单位:南京工业大学

参编单位:南京城镇建筑设计咨询有限公司、昆山建筑工程质量检测中心、上海隧道工程有限公司、中煤长江基础建设有限公司、苏交科集团股份有限公司、上海清隧工程科技有限公司

主要起草人:蒋刚、龚红卫、王琰、史春乐、洪鑫、管超、宗宸锋、王振宇、邵东、王昊、英旭、徐新丽、张忠宇、周游、李志远、吴倩、赵媛、王兵、李福清、孙长建

主要审查人:童小东、张建忠、陈惠宇、钱奕枝、刘雪珠

1 总则

1.1.1 为规范江苏省地源热泵桩基埋管技术应用工程的工程勘察、测试、设计、施工、验收及运行维护等技术工作，使地源热泵桩基埋管工程符合安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、节能环保与减排的要求，制定本规程。

1.1.2 本规程适用于江苏省内采用桩基埋管地源热泵换热系统的建筑工程。

1.1.3 采用本规程进行地源热泵桩基埋管工程勘察、测试、设计、施工、验收及运行维护除执行本规程外，尚应符合国家和江苏省现行其它标准的要求。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 桩基埋管换热器 Pile foundation buried heat exchange pipe

埋设于桩内的密闭循环管组构成的换热器,根据管路安装型式不同,常见的有垂直 U 型桩基埋管换热器、W 型桩基埋管换热器和螺旋型桩基埋管换热器等。

2.1.2 埋管桩基(能源桩) Energy pile

通过在建筑桩基础中埋设换热器装置(即桩基埋管),进行浅层低温地热能交换,起到基础承载和换热的双重功能的桩基础,也称为能源桩。

2.1.3 桩基埋管换热系统 Heat transfer system of buried pipe pile foundation

传热介质通过桩基埋管换热器与岩土体进行热交换的地热能交换系统。

2.1.4 热响应测试 Geo-thermal response test

通过测试仪器,对地埋管换热器或能源桩进行一定时间内的连续加热或取热,以获得岩土体或桩基埋管(能源桩)综合热物性参数的试验。

2.1.5 荷载-温度联合测试 Mechanical-thermo test for energy pile

在埋管桩基静载试验同时进行一定时间内的连续加热或取热,以确定埋管桩基单桩热-力耦合作用承载力的试验方法。

2.1.6 岩土综合导热系数 Geothermal comprehensive thermal conductivity parameter of the earth

通过热响应测试得到的钻孔埋管或埋管桩基(能源桩)穿越岩土层的综合导热系数。

2.2 符号

作用和作用效应:

R_a — 单桩竖向承载力特征值(kN);

Q_{uk}^T — 根据单桩荷载-温度联合试验计入温度作用效应的单桩竖向极限承载力标准值(kN);

材料性能:

λ — 导热系数;

α — 桩周围土壤的热扩散系数(m^2/s);

α_T — 桩身混凝土热膨胀系数;

c_w — 循环工质的热容($J/(kg \cdot K)$);

E_c — 桩身混凝土弹性模量(MPa);

几何参数:

r_0 — 桩的半径(m);

n — 换热桩数量;

h — 埋管桩基的有效桩长(m);

d — 管材外径或埋管桩基外径(m);

换热系统热量计算:

Q_0	—	桩基埋管换热系统取热量(kW);
Q_h	—	建筑设计热负荷, 或由桩基埋管热泵系统承担的热负荷(kW);
Q_k	—	桩基埋管换热系统释热量(kW);
Q_l	—	建筑设计冷负荷, 或由桩基埋管热泵系统承担的冷负荷(kW);
Q	—	桩基埋管换热器最大瞬时换热量 (kW);
q	—	通过热响应试验计算得到的单位延米埋管桩基换热量(取热量或释热量, W/m);
m_w	—	循环工质质量流量(kg/s);
t_{in}	—	循环工质进口温度(K);
t_{out}	—	循环工质出口温度(K);
t_1	—	桩身传热达到准稳态的时间(s);
ΔT	—	桩身温度变化(℃);
$\Delta \sigma$	—	桩身附加温度应力(升温受压为正, 降温受拉为负)(MPa);
N_1	—	热泵机组消耗功率(kW);
N_2	—	桩基埋管系统循环水泵轴功率(kW);
COP_h	—	热泵机组制热性能系数;
COP_c	—	热泵机组制冷性能系数;
计算系数:		
K	—	桩基安全系数;
η_N	—	桩身温度应力系数, 取 0.5~1.0, 端承型桩以及超固结土中的摩擦型桩取高值, 正常固结土中的摩擦型桩取低值;

3 勘察与测试

3.1 一般规定

- 3.1.1 桩基埋管地源热泵系统方案设计之前，应对工程场地状况以及拟建场地浅层地热能的应用条件展开调查和评估。
- 3.1.2 工程场地状况与环境状况调查应包括下列内容：
- 1) 场地规划面积、形状及地表平整度。
 - 2) 场地内已有建筑物和规划建筑物的占地面积及其分布，已有的、计划修建的地下管线和地下构筑物的分布及其埋深。
 - 3) 场地内已有树木植被、池塘、排水沟及架空输电线、电信电缆的分布及规划综合管线分布。
 - 4) 附近类似工程地质条件场地的桩基工程试桩资料和单桩承载力设计参数。
- 3.1.3 桩基埋管地源热泵系统应用条件评估的主要内容包括：
- 1) 当地气候特征与能源供应条件、能源价格及当地政策。
 - 2) 拟采用的浅层地热能类型、品质及其可利用热量与利用方案。
 - 3) 浅层地热能开发利用的环境、卫生与安全评估。
 - 4) 建筑可利用浅层地热能对需求的保证率及补充能源类型。
 - 5) 浅层地热能开发利用寿命周期维护成本、节能量与节省的运行费用及增加投资回收周期。
- 3.1.4 在岩溶、断层破碎带等特殊地质条件地区，应根据场地工程地质条件论证桩基埋管地源热泵系统的技术可行性。

3.2 工程勘察

- 3.2.1 桩基埋管地源热泵系统工程设计前，应进行工程场区的岩土工程勘察和热物性勘察。
- 3.2.2 桩基埋管地源热泵系统工程的岩土勘察应同时满足《岩土工程勘察规范》GB50021 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中相关规定。
- 3.2.3 桩基埋管地源热泵系统工程热物性勘察应包括下列内容：
- 1) 工程水文地质条件：地下水类型、地下水水位及季节性变化、地下水渗流速度与方向等；
 - 2) 地基土受温度影响的工程性质：变温条件下的固结特性及强度等；
 - 3) 岩土热物性试验和热响应测试。
- 3.2.4 桩基埋管地源热泵系统工程的热物性勘察勘探孔应深入桩端平面以下不小于 5m，且数量应符合下列规定：
- 1) 桩基埋管区面积小于等于 2500m² 时，勘探孔数量不少于 1 个；
 - 2) 桩基埋管区面积大于 2500m²、小于等于 10000m² 时，勘探孔数量不少于 2 个；
 - 3) 桩基埋管区面积大于 10000m² 时，每增加 10000m² 增加 1 个勘探孔。
- 3.2.5 热物性勘探孔数为 1 个时，宜布置在桩基埋管区的中部，大于等于 2 个时，应根据桩基埋管区域平面形态和场地状况合理布置。
- 3.2.6 场地初始温度测试应符合下列要求：
- 1) 在地温恢复后进行，地温恢复时间不少于 48h；
 - 2) 测温深度不小于桩基与土壤埋管埋设深度；
 - 3) 测温点间距不大于 10m；
 - 4) 测温允许误差为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。
- 3.2.7 桩基埋管地源热泵系统换热能力的评估应符合《地源热泵系统技术规程》DGJ32/TJ89 中的规定，可根据式(3.2.8)评估桩基埋管系统换热性能：

$$Q=qnh/1000 \quad (3.2.8)$$

式中： Q ——桩基埋管换热器最大瞬时换热量 (kW)；

q ——通过热响应试验计算得到的单位延米埋管桩基换热量(W/m)；

n ——换热桩数量；

h ——埋管桩基的有效桩长(m)

3.2.8 勘察报告应包括以下内容：

- 1)项目概况；
- 2)勘察工作概况；
- 3)拟建工程场区场地条件；
- 4)拟建工程场区地质条件；
- 5)岩土热物性特征与参数；
- 6)结论与建议。

3.3 桩基埋管热响应测试

3.3.1 桩基埋管换热计算采用的热物性参数及换热性能指标，宜通过埋管桩基的现场热响应试验确定。

3.3.2 当地源热泵系统(含桩基与土壤埋管)应用建筑面积小于 5000m² 时，桩基埋管热响应测试桩不应少于 1 个；应用建筑面积大于等于 5000m² 时，桩基埋管热响应测试桩不应少于 2 个，测试桩的位置应考虑场地土层分布的不均匀性。

3.3.3 供暖和供冷两用的地源热泵桩基埋管工程，应进行取热和排热两种条件下的热响应测试。

3.3.4 单桩埋管热响应测试方法及要求应符合本规程附录 A 规定。

3.3.5 埋管桩基单桩的换热量可利用给定进口温度和流量条件下的热响应测试获得，并应记录出口水温随时间的变化。单位延米埋管桩基换热量按下式计算：

$$q = \frac{m_w c_w (t_{out} - t_{in})}{h} \quad (3.3.5)$$

式中： q ——单位延米埋管桩基换热量(W/m)；

c_w ——循环工质的热容(J/(kg·K))；

m_w ——循环工质质量流量(kg/s)；

t_{in} ——循环工质进口温度(K)

t_{out} ——循环工质出口温度(K)

h ——埋管桩基的有效桩长(m)。

3.4 荷载-温度联合测试

3.4.1 桩基设计等级为甲级的埋管桩基，应进行荷载-温度联合测试。

3.4.2 为明确热-力耦合作用下埋管桩基的传热与承载性能，应进行埋管桩基的荷载-温度联合测试。

3.4.3 埋管桩基的荷载-温度联合试验方法按照本规程附录 B 执行。

3.4.4 利用荷载-温度联合测试方法确定埋管桩基(能源桩)承载力，应根据桩基设计确定的单桩承载力特征值 R_a 和单桩竖向极限承载力标准值 Q_{uk} ，分别在设计荷载和极限荷载作用下进行荷载-温度联合测试。

- 3.4.5 利用荷载-温度联合测试方法分析埋管桩基-土热力耦合性能，应以桩身轴线为中心，沿桩长不同深度，沿径向在桩土界面和周边岩土体中安装温度传感器，结合桩基载荷试验过程，选择若干级荷载联合开展热响应测试，测量试验过程中的岩土体温度、桩身温度、桩身应力(应变)及桩顶沉降等变化。
- 3.4.6 荷载-温度联合测试宜分别按测试桩排热和取热两种工况进行，桩顶荷载应维持不变，每一种工况试验持续时间不宜小于 48h。且两种工况间隔亦不宜小于 48h。

4 材 料

- 4.1.1 桩基埋管及管件应符合设计要求，均应明确标明其所用材料、公称外径、壁厚或管材并确保表面应无损伤与划痕，且应有生产厂家合格证和第三方质量检验报告。
- 4.1.2 桩基埋管管材及管件应符合以下规定：
- 1)桩基埋管管材及管件应符合《地源热泵系统用聚乙烯管材及管件》CJ/T317 相关规定。管材宜采用 PE80 或 PE100 的聚乙烯管，管件与管材应为相同材料。
 - 2)管材的公称压力及使用温度应满足工程要求，且管材的公称压力不小于 1.0MPa。桩基埋管外径及壁厚可按《地源热泵系统工程技术规范》GB50366 的规定选用。
 - 3)桩基埋管管材及管路设计使用寿命应满足地源热泵系统的设计使用年限，且不应少于 50 年。
 - 4)桩基埋管管路最小弯曲半径应符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 换热管路最小弯曲半径

安装温度(℃)	PE100/PE100RV 管最小弯曲半径	PE-Xa 管最小半径
20	20d	10d
10	35d	15d
0	50d	25d

注：d 为管材外径

- 4.1.3 管材运输前应包装并加保护帽，保护帽应在换热管和系统连接时去除。
- 4.1.4 换热管在运送、搬运及存储过程中应采用装卸设备，小心轻放，采用柔韧性好的皮带、吊带和吊绳进行装卸，换热管不得被挤压、重摔、拖拽等。
- 4.1.5 换热管应储存在现场的干燥通风地段，不得在阳光下暴晒，摆放应有序，管路存放应有隔离措施，且不应与地面直接接触和被污染。
- 4.1.6 桩基埋管内介质应以水为首选，也可选用符合下列要求的其它介质：
- 1)安全，腐蚀性弱，与埋管管材无化学反应，泄露不会污染环境；
 - 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。
- 4.1.7 在有可能冻结的地区，传热介质应添加防冻剂，添加防冻剂后的传热介质的冰点宜比设计最低运行水温低 3℃~5℃;防冻液的选取应符合《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的规定，桩基埋管换热系统的金属部件应与防冻液兼容。
- 4.1.8 现场灌注桩混凝土设计宜使用高导热的材料。混凝土骨料除应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定外，其导热系数应大于 1.5W/(m k)。
- 4.1.9 预制管桩、钢管桩的制作、起吊、运输、堆放按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中的规定执行。
- 4.1.10 金属水平集管宜采用成品保温管材。桩基埋管换热系统采用的金属管道内壁应有防锈蚀特性。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 地源热泵桩基埋管技术一般适宜于钻孔灌注桩、预制混凝土空心桩、钢制空心桩等桩型。预制混凝土空心桩、钢制空心桩端部应选择闭口型桩尖封闭。

5.1.2 埋管桩基的结构设计应符合《建筑桩基技术规范》JGJ94 中的规定。

5.2 埋管桩基设计

5.2.1 埋管桩基结构设计应根据桩基设计条件及上部荷载要求，进行承载能力计算、稳定性验算、桩基变形计算及耐久性设计。应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和《建筑地基基础设计规范》GB50007 的相关规定。

5.2.2 对设计等级为甲级的建筑桩基，应考虑荷载-温度的耦合效应对埋管桩基结构的影响。

5.2.3 埋管桩基结构设计时，采用的作用效应组合与相应的抗力应符合下列规定：

1) 确定桩数和布桩时应采用传至承台底面的荷载效应标准组合；相应的抗力应采用考虑温度变化影响的基桩或复合基桩承载力特征值。

2) 计算荷载作用下的桩基沉降和水平位移时，应采用荷载效应和桩身温度作用效应准永久组合；计算水平地震作用、风载作用下的桩基水平位移时，应采用水平地震作用、风荷载效应标准组合。

3) 验算坡地、岸边建筑桩基的整体稳定性时，应采用荷载效应标准组合；抗震设防区，应采用地震作用效应和荷载效应的标准组合，以及采用考虑温度效应的岩土体的抗剪强度指标。

4) 在计算桩基结构承载力、确定尺寸和配筋时，应采用传至承台顶面的荷载效应和桩身温度作用效应基本组合。当进行承台裂缝控制验算时，应采用荷载效应标准组合；当进行桩身裂缝控制验算时，应采用荷载效应和桩身温度作用效应准永久组合。

5) 对桩基结构进行抗震验算时，其承载力特征值调整系数(γ_{RE})应按《建筑抗震设计规范》GB50011 取值。

5.2.4 群桩基础设计采用部分桩基埋管时，宜考虑埋管桩基与其它工程桩基的不同工作性能组合，进行埋管桩基-工程桩基-基础-上部结构相互作用分析。

5.2.5 考虑温度作用时，桩身最大附加温度应力标准值可按下式计算：

$$\Delta\sigma = \eta_N \alpha_T \cdot \Delta T \cdot E_c \quad (5.2.5)$$

式中： $\Delta\sigma$ ——桩身附加温度应力(升温受压为正，降温受拉为负)(MPa)；

ΔT ——桩身温度变化(°C)；

α_T ——桩身混凝土热膨胀系数，取温度为 20°C 时的值；

E_c ——桩身混凝土弹性模量(MPa)；

η_N ——桩身温度应力系数，取 0.5~1.0，端承型桩以及超固结土中的摩擦型桩取高值，正常固结土中的摩擦型桩取低值。

5.2.6 考虑荷载-温度耦合效应的埋管桩基竖向极限承载力特征值 R_a ，根据单桩竖向荷载-温度联合试验确定的单桩竖向极限承载力标准值 Q_{uk}^T ，按下式计算：

$$R_a = \frac{Q_{uk}^T}{K} \quad (5.2.6)$$

式中: Q_{uk}^T ——根据单桩荷载-温度联合试验计入温度作用效应的单桩竖向极限承载力标准值(kN);

R_a ——单桩竖向承载力特征值(kN);

K ——安全系数, 取 $K=2.0$ 。

5.2.7 根据荷载-温度联合测试确定考虑温度作用效应的埋管单桩极限承载力, 测试桩数量不宜少于 2 根, 试验应符合下列规定:

1) 对测试桩宜进行不少于 1 次温度循环的荷载-温度联合试验, 应符合本规程附录 B 的规定, 且取热工况桩身进口温度保持在设计温度最低值或相对于地基初始温度降低 10°C ; 排热工况桩身进口温度保持在最大升温状态, 维持不小于 12h 后, 进行单桩荷载试验, 换热持续时间不低于 48h;

2) 桩基荷载-温度联合测试除应符合本规程附录 B 的规定外, 尚应符合《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的相关规定。

5.3 桩基埋管换热系统设计

5.3.1 桩基埋管换热系统设计应进行建筑物全年动态负荷分析, 并对土壤热平衡进行分析计算, 优化设计与运行模式, 实现地下岩土热平衡, 最小计算周期宜为 1 年; 计算周期内, 地源热泵系统总释热量宜与总吸热量不平衡率不宜大于 10%。当地源热泵系统总释热量与总吸热量不平衡率大于 10%时, 宜增设辅助热源或冷却塔。

5.3.2 桩基埋管换热系统的规格与数量应根据建筑桩基布置与数量、换热器承担的建筑冷热负荷、场地水文地质工程地质条件、岩土体热物性及热泵机组性能等参数确定。也可按《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 附录 B 的方法进行计算。

5.3.3 当桩内埋管折算换热量不能满足建筑物冷热负荷时, 宜采用土壤钻孔埋管补充。土壤钻孔埋管应满足《地源热泵系统技术规程》DGJ32/TJ89 的规定, 且土壤孔与埋管桩基的间距宜不小于 4.5m。

5.3.4 埋管桩基的间距应充分考虑换热需要。采用螺旋型埋管的桩间距不宜小于 5.5m, 采用垂直 U 型埋管的桩间距不宜小于 4.5m。

5.3.5 桩基埋管换热器应根据换热效率等因素确定埋管型式。埋管桩基为预应力混凝土空心桩时, 宜采用垂直 U 型埋管型式; 埋管桩基为灌注桩时, 宜采用螺旋型埋管型式; 螺旋型埋管施工确有难度时, 宜采用垂直 U 型埋管型式。采用垂直 U 型埋管型式时, 宜优先采用双 U 型埋管型式。

5.3.6 桩基埋管换热器管内流体应保持紊流流态, 根据桩基换热能力和系统运行能耗综合考虑管内流速控制。

5.3.7 水平环路集管距地面不宜小于 1.5m, 且应在冻土层以下 0.6m。水平环路集管敷设坡度不应小于 0.2%, 以满足桩基埋管换热器排气与强化换热要求。桩埋管环路两端应分别与供、回水环路集管相连接, 且宜同程布置。每对供、回水环路集管连接的桩埋管环路数宜相等。供、回水环路集管间距不应小于 0.6m。

5.3.8 桩基埋入承台时, 换热管路的设计长度应计入承台的高度尺寸。

5.3.9 桩基埋管外的管路设计布置以及循环水泵、热泵机组选型设计等应满足《地源热泵系统技术规程》DGJ32/TJ89 的规定。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 桩基埋管工程施工的前期准备工作应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94 及《地源热泵系统技术规程》DGJ32/TJ89 中有关规定。

6.1.2 桩基埋管工程的施工组织方案应包含桩内埋管的专项施工组织内容。

6.1.3 当室外环境温度低于 0℃时，不宜进行桩基埋管换热器的施工。

6.1.4 换热管路安装前应对换热管外观、标签和证书进行检查。

6.1.5 换热器管路安装前、换热管路与环路集管装配完成后、埋管换热系统全部安装完成后，都应对管道进行带压冲洗，冲洗压力不小于 1.0MPa，并应符合下列规定：

- 1)埋管桩基浇筑达到 7d 龄期后，或预制空心桩、钢管桩内埋管插入完成后，应进行第一次管道冲洗；
- 2)桩基埋管与环路水平埋管连接完成，在与分、集水器连接之前，应进行第二次管道冲洗；
- 3)环路水平管道与分、集水器连接完成后，地源热泵换热系统应进行第三次管道冲洗。

6.1.6 桩内埋管换热器连接应符合以下规定：

1)换热器连接应采用热熔或电熔连接。聚乙烯管道连接应符合《埋地聚乙烯给水管道工程技术规程》CJJ 101 的有关规定。

2)桩基埋管换热器的 U 型弯管接头，宜选用定型的 U 型弯头成品件或利用成品弯头热熔对焊制作，不宜采用直管道煨制弯头。

3)桩基埋管换热器 U 型埋管的组对长度应满足与环路集管连接的要求，组对好的 U 型埋管的两开口端部应及时密封。

4)换热管除连接弯头外，竖直换热管应采用整根管材。若采用分段连接，应用直接头连接，并对连接后的换热管进行水压试验，检验连接效果，有损坏时应及时替换。

6.2 预制空心桩、钢管桩基埋管施工

6.2.1 竖直 U 型埋管应在混凝土预制空心桩成桩后立即安装。U 型管内宜注水带压下管，并应沿深度按不大于 2.0m 间距安装定位支架以保证 U 型管两支管处于分开状态。

6.2.2 换热管下管完成后应机械灌浆封井，灌浆回填料应根据地质条件确定，回填料宜采用膨润土和细砂(或水泥)的混合浆或专用灌浆材料，导热系数不宜低于钻孔外岩土体的导热系数。

6.3 混凝土灌注桩基埋管施工

6.3.1 混凝土灌注桩的施工要求按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中规定执行。

6.3.2 换热管路绑扎安装前后，应在管内注水保压，换热管路安装应避免机械损坏和焊接损伤。

6.3.3 桩基钢筋笼采用焊接连接时，应对换热管采取有效的防高温保护措施，宜采用耐火材料对钢筋笼焊接连接段的换热管进行包裹保护。

6.3.4 换热管管脚以及换热管路之间的间距宜不小于 200mm。

6.3.5 换热管在灌注桩钢筋笼内侧安装时，绑扎材料宜采用塑料扎带，且绑扎间距不宜大于 500mm，应符合下列规定：

1)换热管用扎带顺钢筋笼内侧竖向主筋扎紧扎顺，防止弯折、变形。

2)螺旋型埋管安装时，螺旋段管路绑扎在钢筋笼内侧，直管段管路绑扎在钢筋笼外侧，并沿主筋扎紧扎顺。桩端处换热管路的直管段和螺旋段应用 90°弯头连接。

3)混凝土浇筑导管桩内下放时应避免碰撞换热管路，混凝土浇筑宜缓慢，导管提升应缓慢匀速。

6.3.6 换热管在灌注桩钢筋笼外侧安装时，换热管路绑扎材料宜采用塑料扎带，且绑扎间距不宜大于 500mm，应符合下列规定：

1)换热管用扎带在钢筋笼外侧顺竖向主筋与箍筋的节点处扎紧扎顺，防止弯折、变形。

2)螺旋型埋管安装时,螺旋段管路绑扎在钢筋笼外侧,直管段管路绑扎在钢筋笼内侧,并沿主筋扎紧扎顺。桩端处换热管路的直管段和螺旋段应用 90°弯头连接。

6.3.7 换热管路不绑扎垂直下放时,应利用混凝土导管在钢筋笼内下放,过程中应避免换热管与钢筋笼的碰撞。同时应有换热管与混凝土导管的分离措施,混凝土导管提升时,应匀速缓慢,避免换热管上浮。

6.3.8 钢筋笼顶部的换热管路应加装金属套管保护,长度应不小于 2.0m,出露桩顶以上长度应不小于 1.5m。

6.3.9 桩身混凝土浇筑应采用泵送自密实混凝土,混凝土浇筑完成后应检查换热管路的最终位置。

6.3.10 当灌注桩较长,钢筋笼与换热管采用同步分段绑扎时,桩孔位现场的钢筋笼和换热管路应同步连接、同步下放。

6.3.11 现场灌注大直径摩擦型桩基埋管时,宜采取桩端注浆等措施保障桩基承载力。

6.4 环路集管施工

6.4.1 在灌注桩桩头浮浆去除、基坑开挖、破桩过程中以及承台施工中,应对混凝土凿除范围内的换热管路加装金属套管保护,桩顶标高以下不宜小于 0.5m,标高以上不宜小于 1.5m。

6.4.2 在破桩后和水平环路集管铺设前应应对换热管路进行水压试验。

6.4.3 桩基埋管换热系统的环路集管施工按以下要求进行:

1)集管沟槽开挖应根据表层土性和地下水位埋深合理确定开挖方案,开挖深度大于 2m 时,应采取必要防护措施,防止沟壁滑塌;

2)采用双 U 型换热管路时,环路集管与换热管路连接前应进行管路组对检验;

3)承台钢筋绑扎前应将换热管路从承台侧面位置引出,引出后管路应沿承台边缘沟槽铺设,不应有折断、扭结等现象,转弯处应光滑,且应采取固定措施。承台钢筋绑扎应避免破坏管路,防止石块等重物撞击破坏管路。

4)埋管与环路集管装配安装完成后,应进行水压试验,确认无泄漏后再浇筑混凝土或回填;

5)环路集管铺设前,沟槽底部应铺设 20mm~30mm 厚的细砂;管道两侧和上部在回填前宜采用中粗砂充填、覆盖,管道上部覆盖厚度不小于管径。沟槽所用回填土应细小、松散、均匀,且不含石块及土块等杂物。回填土应采用人工逐层均匀压实,每层厚度不宜大于 0.3m。回填土应与管道外壁紧密接触,且不得损伤管道;

6)环路集管穿越基础底板时,应采用金属套管进行保护,金属套管埋入钢筋混凝土结构部分应沿套管纵向设置止水钢板,并对换热管和套管之间的间隙进行灌浆处理。

6.4.4 承台混凝土应一次浇注完成,浇筑过程不宜过快,防止换热管路破损。桩体及其主筋埋入承台的长度应符合设计及相关技术规范要求。

7 检测与验收

7.1 一般规定

7.1.1 桩基常规检测包括单桩竖向抗拔、竖向抗压、水平静载试验及桩身完整性检测，按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中的规定执行。

7.1.2 桩基埋管管路系统连接完成后，应按设计要求进行水压试验。

7.1.3 埋管桩基的管路材料、质量检测项目和方法应符合《地源热泵系统工程技术规范》GB50366 和《埋地聚乙烯给水管道工程技术规范》CJJ101 等技术规范的相关规定。

7.2 桩基埋管管路水压试验

7.2.1 桩基埋管施工，应分阶段对管道进行水压试验；管道系统施工完成后，应对系统进行水压试验，检查管道通畅性和气密性。不得以气压试验代替水压试验。

7.2.2 桩基埋管系统安装完成后，应进行流量、压力测试并符合下列规定：

1) 根据桩基埋管换热器的规格大小，对地源热泵系统进行整体或者部分的流量测试。

2) 测试得到的系统压降应和设计值比较。当流速超过系统设计流速时，应测量最小流速及水头损失。测得数据和相同流速下的设计值进行比较，以排查堵塞或弯折的管路。

3) 水头损失测量应通过压力测量设备测得。

7.2.3 水压试验宜采用手动泵缓慢升压，升压过程中应随时观察与检查，不得有渗漏。

7.2.4 水压试验压力应符合下列规定：

1) 当工作压力不大于 1.0MPa 时，试验压力应为工作压力的 1.5 倍，且不应小于 0.6MPa；

2) 当工作压力大于 1.0MPa 时，试验应为工作压力加 0.5MPa。

7.2.5 桩基埋管的水压试验步骤应满足《地源热泵系统技术规程》DGJ32/TJ89 有关要求，还应符合以下要求：

1) 空心桩换热管路下孔前应做第一次水压试验，在试验压力下稳压不少于 15min，稳压后压力降不应大于 3%，且无渗漏，将其密封后，在有压状态下插入孔内，完成回填之后保压 1h。灌注桩换热管路在钢筋笼绑扎完成前或垂直下管前，应做水压试验，在试验压力下稳压不少于 15min，稳压后压力降不应大于 3%，且无泄漏，即为合格。密封保存后带压下放钢筋笼，完成混凝土浇筑。

2) 埋管桩基桩头破除且桩顶标高以上金属套管切除后，应进行冲洗和水压试验。应采用 1.0MPa 水压冲洗管路至无泥沙等杂物后再进行第二次水压试验。在试验压力下，稳压时间应不少于 15min。稳压后压力降不大于 3%，且无渗漏，即认为合格。

3) 桩内埋管与环路集管装配完成后，在地下室底板装饰层施工前应进行第三次水压试验。在试验压力下，稳压时间应不少于 30min，稳压后压力降应不大于 3%，且无渗漏，即认为合格。

4) 环路集管与分集水器连接完成后，在地下室底板装饰层施工前应进行第四次水压试验。在试验压力下，稳压时间应不少于 2h，且无渗漏，即认为合格。

5) 桩基埋管地源热泵系统工程安装完毕，且冲洗、排气及回填、浇筑完成后，应进行第五次水压试验。在试验压力下，稳压时间应不少于 12h，稳压后压力降应不大于 3%，且无渗漏，即认为合格。

7.3 桩基埋管换热系统的验收

7.3.1 桩基埋管换热系统安装完成后，应进行现场专项检验，并提供检验报告。检验内容应符合以下规定：

1) 管材、管件等材料应符合国家行业标准的规定；

2) 管路的连接方式和安装位置、换热管间距、换热管长度及与桩顶桩底间距、换热管与钢筋笼绑扎应符合设计要求；

3) 混凝土预制空心桩、钢管桩的回填料及其配比应符合设计要求；

4) 管路热熔连接应符合设计要求；

5) 水压试验应合格；

- 6)各环路流量应平衡，且应满足设计要求；
- 7)防冻剂和防腐剂的特性及浓度应符合设计要求；
- 8)循环水流量及进出水温差均应符合设计要求。

7.3.2 管路系统安装完毕后，应按《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的有关规定进行管路冲洗，冲洗可结合水压试验进行。水压试验应按设计要求及本规程第 7.2 节的规定进行。待以上工序全部合格后再循环运行 2h 以上，且在水质正常后才能与机组连接。

8 运行维护

8.1 一般规定

- 8.1.1 桩基埋管地源热泵系统的运行、调试、监控和管理应符合《地源热泵系统工程技术规范》GB50366 和《地源热泵系统运行管理规程》DGJ32/TJ141 中的规定。
- 8.1.2 应根据全年土壤热平衡模拟计算结果或往年运行实测结果制定地源热泵系统全年运行预案，进行土壤热平衡控制，并保证热泵系统的运行效率。
- 8.1.3 当系统按部分负荷运行时，桩基埋管地源热泵系统应能分组控制，与地源热泵主机相对应实行部分负荷下的分组交替运行。
- 8.1.4 受地源热泵系统运行影响范围内的岩土体，宜定期监测岩土体温度、地下水位、水质、地基沉降等变化。

8.2 运行监测与维护

- 8.2.1 桩基埋管地源热泵系统的总分集水器的各支路上应分别设置供回水温度传感器、供回水压力传感器。运行过程中应监测换热系统的运行状态参数，运行状态参数包括下列内容：
- 1)地源侧供/回水温度、流量及压力；
 - 2)用户侧供/回水温度、流量及压力。
- 8.2.2 宜在桩基埋管地源热泵系统应用建筑范围内、外分别设置土壤温度监测孔，监测孔数量宜根据桩基埋管地源热泵系统的规模、布置方式确定，单项工程监测孔数量不宜小于 3 个。单个监测孔内测点布置不宜少于 3 个，测点的分布密度应反映不同深度地层的温度分布特征及变化情况。土壤温度监测深度不宜小于埋管桩基深度。
- 8.2.3 建筑面积大于等于 20000m² 的公共建筑以及建筑面积大于等于 50000m² 的居住小区，采用桩基埋管地源热泵系统时应设置建筑设备管理系统进行智能化监控管理。
- 8.2.4 地源热泵系统运行过程中应对埋管桩基的受力和沉降进行长期监测，评估系统运行对埋管桩基承载性能的影响。埋管桩基的监测应符合《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关要求。
- 8.2.5 应对桩基埋管地源热泵系统长期运行引起的桩周岩土体年平均地温值的变化趋势进行评定，分析温度变化对地质环境的影响。当年平均场地土壤温度值达到或超过限定值时，应发出预警。

附录 A 桩基埋管热响应试验

A.1 一般规定

- A.1.1 埋管桩基热响应试验应在桩基施工完成，场地岩土温度恢复后进行，试验期间，加热功率应保持恒定。
- A.1.2 埋管桩基热响应试验中，桩基内埋管方式、长度、回填方式、管内换热介质流速等，应与方案设计一致。
- A.1.3 热响应现场应具备稳定电源等可靠的试验条件，对测试设备进行外部连接时，应遵循先接水后通电的原则。
- A.1.4 测试仪器与埋管桩基的连接长度不宜大于 3m，且应采取保温措施，保温宜采用致密性闭孔橡塑材料，厚度不应小于 20mm。
- A.1.5 桩基埋管热响应试验过程应遵守国家和地方有关安全、防火、环境保护方面的规定。
- A.1.6 初始平均温度的测试应采用布置温度传感器的方法。测点的布置宜在桩埋管换热器埋设深度范围内，且间隔不宜大于 10m；以各测点实测温度的算术平均值作为埋管桩基的初始平均温度。

A.2 单桩埋管热响应测试 (TRT)

A.2.1 单桩埋管换热器热响应测试时，测试桩应达到传热准稳态要求，该时间段内的测试数据在后续实验数据处理时应舍弃，达到传热准稳态时间可按下式估算：

	$t_1 = \frac{5r_0^2}{\alpha}$	(A.2.1)
--	-------------------------------	---------

式中： t_1 ——桩身传热达到准稳态时间(s)；

r_0 ——桩的半径(m)；

α ——桩周围土壤的热扩散系数的参考值(m^2/s)。

- A.2.2 当桩径大于 1000mm，且热交换管设在桩的中心时，可利用钻孔埋管的热响应测试的方法测试桩的混凝土导热系数。测得的混凝土导热系数可用于计算桩的热阻或桩传热分析。
- A.2.3 单桩埋管热响应测试开始时间宜在桩身混凝土浇筑完成 21d 后，或打入桩静置 7d 后。
- A.2.4 在浇筑混凝土前，可在桩顶 0.5m 以下的钢筋笼上安装温度传感器。浇筑完混凝土后，温度传感器连续 3d 的温度读数的差别不超过 0.5℃时，可进行热响应测试。
- A.2.5 在测试桩施工中，应以桩身轴线为中心，沿径向在桩中心、桩土界面和周边岩土地基中安装温度传感器，在热响应测试中，应读取各测点的温度随时间的变化值，测试时间宜按式 A.2.1 计算。埋管单桩和场地岩土的综合热传导系数可根据测试结果，利用 A.5.2 式计算。
- A.2.6 根据埋管单桩的热响应测试数据，当桩长与桩径之比不小于 40 时，可采用线热源或柱热源分析方法计算获得桩身热阻和岩土地基热阻或导热系数；当桩长与桩径之比小于 40 时，不宜采用线热源和柱热源模型，可采用有限元或有限体积等数值计算方法进行反分析。
- A.2.7 在一定循环工质、特定进口流量与温度条件下的换热功率，可在埋管单桩上进行换热量测试获得。该换热量仅用于可行性研究和初步设计论证，不应作为单桩埋管换热器工程设计计算依据。

A.3 单桩埋管热响应试验方法及技术要求

A.3.1 单桩热响应试验应遵循以下步骤：

- 1)测试岩土初始温度；
- 2)平整试验场地，提供水、电接驳点；
- 3)测试仪器与桩内埋管连接；

- 4)水、电等外部设备连接完毕后，对测试设备及外围设备的连接进行检查；
- 5)对桩内换热管道进行清洗、排气；
- 6)启动测试设备，运转稳定后开始读取、记录试验数据；
- 7)试验结束后，做好桩内埋管的保护工作。

A.3.2 单桩热响应试验应符合以下要求：

- 1)测试桩的深度应与实际工程桩的深度相一致。
- 2)试验期间，加热功率应保持恒定；
- 3)桩基埋管换热器内的流体流速应确保流体处于紊流状态，流速宜控制在 0.3m/s；
- 4)单桩热响应试验采集数据应包括循环水流量、加热功率、进出水水温，数据采集的时间间隔不大于 5min；
- 5)桩基埋管换热器的出口水温稳定后，该温度宜与岩土初始平均温度相差 5℃以上，且维持时间应不少于 12h，排热试验时出口水温不宜高于 33℃，取热试验时出口水温不宜低于 4℃。

A.3.3 热响应试验前应尽量减少对测试桩周岩土体初始地温的影响，重新进行热响应试验时应在桩周岩土温度恢复后进行。

A.4 测试精度要求

- A.4.1 温度测量允许误差为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。
- A.4.2 流量测试允许误差为 $\pm 1\%$ 。
- A.4.3 功率测量允许误差为 $\pm 1\%$ 。
- A.4.4 埋管深度测量允许误差为 $\pm 0.5\%$ 。

A.5 试验数据处理

- A.5.1 试验结束后，应提取试验数据计算单桩和岩土综合导热系数。
- A.5.2 单桩综合导热系数可采用参数估计法或斜率法计算。斜率法计算公式：

$$\lambda_s = \frac{Q}{4\pi \cdot K \cdot H} \quad (\text{A.5.2})$$

式中： λ_s ——单桩综合导热系数 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ；

Q ——桩内埋管换热器换热功率(W)；

K ——桩内埋管近出水平平均温度与时间对数关系线性拟合直线的斜率；

H ——桩内埋管的深度(m)。

附录 B 荷载-温度联合测试方法

B.0.1 测试宜结合建筑桩基单桩静载试验同步进行。进行埋管桩基荷载—温度联合测试的桩基应在施工时按设计要求安装换热管及温度、应变等传感器，沿桩身布设的传感器应采取有效措施固定在测试桩钢筋笼上。

B.0.2 换热管穿出桩时应采取保护措施，可采用倒 L 型钢套管对换热管路进行保护，换热管应从桩身侧面穿出，且钢套管穿出桩身侧面位置与桩顶承压面的距离不宜小于 1.0m。

B.0.3 桩身温度传感器布设的竖向间距不宜大于 5.0m，且每一个测温断面不宜少于 2 个。应变传感器布设的竖向间距不宜大于 5.0m，且每一个监测断面不宜少于 3 个，其中 2 个应为沿桩身竖向布置，1 个应为水平向布置。

B.0.4 分析荷载与温度联合测试对岩土体温度场的影响，宜在距试桩中心 4m 内或桩与桩间距布设测温探孔 3 个，并在竖向布设温度传感器，布设间距宜按 B.0.3 要求执行。

B.0.5 静载试验步骤应符合下列规定：

1) 试验加载装置宜采用液压千斤顶。当采用多台千斤顶加载时，应并联同步工作，且符合下列规定：

- a) 采用千斤顶型号、规格应相同；
- b) 千斤顶的合力中心通过试桩中心。

2) 荷载测量可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定当通过并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压并换算荷载时，应根据千斤顶率定曲线进行荷载换算。荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度优于或等于 0.5 级。试验用压力表、油泵、油管在最大加载时的压力不应超过规定压力的 80%。

3) 每级荷载加载后维持 1h，按 5、10、15、30、45、60min 测读桩顶沉降量，即可施加下一级荷载；对最后一级荷载，加载后沉降测读方法及稳定标准按慢速荷载法执行。

4) 卸载时每级维持 15min，测读时间为第 5、15min，即可卸下一级荷载。卸载至零后应测读稳定的残余沉降量，维持时间为 2h，测读时间为 5、15、30min，以后每隔 30min 测读一次。

5) 沉降相对稳定标准：每小时内沉降量不得超过 0.1mm，并连续出现两次(从分级荷载施加后的第 30min 开始，按 1.5h 连续三次每 30min 的沉降量观测值计算)。

6) 当出现下列情况之一时，抗压静载试验可终止加载：

- a) 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下的沉降量的 5 倍，且沉降总量超过 40mm；
- b) 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下的沉降量的 2 倍，且 24h 尚未达到建筑桩基检测技术规范》JGJ 106 附录 B.1.5 第 5 款相对稳定标准；
- c) 已经达到设计要求的最大加载值且桩顶沉降达到相对稳定标准；
- d) 荷载-沉降曲线呈缓变型时，可加载至桩顶总沉降量 60mm~80mm，当桩端阻力尚未充分发挥时，可加载至桩顶累计沉降量超过 80mm。

7) 当出现下列情况之一时，抗拔静载试验可终止加载：

- a) 在某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级上拔荷载作用下的上拔量 5 倍；
- b) 按上拔量控制，累计桩顶上拔量超过 100mm；
- c) 按钢筋抗拉强度控制，钢筋应力达到钢筋强度设计值，或某根钢筋拉断；
- d) 对于工程桩验收检测，达到设计或抗裂要求的最大上拔量或上拔荷载值。

B.0.6 荷载-温度联合测试步骤应符合下列规定：

1) 试桩分级加载应符合《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106 的规定，考虑温度变化对单桩承载性能的影响，加载反力装置能提供的最大反力宜适当提高至预估最大试验荷载的 1.5 倍。

2) 分级荷载加载下桩顶沉降测试应符合《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106 的相关规定。沉降稳定后对桩身进行热响应测试，换热过程中应维持桩顶荷载不变，桩顶沉降的测试记录和沉降稳定标准按《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106 的要求执行。

3)桩身埋设有温度和应变测试传感器，热响应测试开始前和试验过程中应持续采集桩身各测点的温度值和应变值；测试桩基周围有测温探孔时应同步进行温度测试。

4)热响应测试结束后应对试桩进行卸载，卸载分级与操作控制要求按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的规定执行，并应同步测试卸载过程中桩身温度、应变及桩顶沉降数据。

B.0.7 试验成果应包括下列内容：

- 1)测试桩在排热和取热两种工况下的换热功率；
- 2)测试桩在荷载和温度联合作用下的桩基承载力、桩顶沉降、桩身应力-应变特征。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，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”。

引用标准名录

1. 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
2. 《岩土工程勘察规范》GB 50021
3. 《混凝土结构设计规范》GB 50010
4. 《建筑抗震设计规范》GB50011
5. 《给水用聚乙烯(PE)管材》GB/T 13663
6. 《地源热泵系统工程技术规程》GB 50366
7. 《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243
8. 《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T438
9. 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
10. 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
11. 《建筑变形测量规范》(JGJ 8)
12. 《埋地聚乙烯给水管道工程技术规程》CJJ 101
13. 《地源热泵系统用聚乙烯管材及管件》CJ/T 317
14. 《地源热泵系统用聚乙烯管材及管件》CJ/T31
15. 《地源热泵系统工程技术规程》DGJ 132/TJ89
16. 《地源热泵系统工程技术规程》DG/TJ08
17. 《地源热泵系统运行管理规程》DGJ32/TJ1

江苏省地方标准

地源热泵桩基埋管应用技术规程

条 文 说 明

制 订 说 明

在本规程制定过程中，编制组进行了广泛、深入的调查研究以及检测试点，总结了昆山项目工程实践经验，同时参考了地源热泵系统国家技术标准以及外省（市）地源热泵系统技术标准，取得了江苏省地源热泵桩基埋管技术从勘察、设计、施工、检测与验收以及运行维护一系列的重要参数。

为便于采用桩基埋管工程的相关人员能正确理解和执行条文规定，《桩基埋管地源热泵系统工程技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

南京工业大学、南京城镇建筑设计咨询有限公司、昆山建筑工程质量检测中心、上海隧道工程有限公司、中煤长江基础建设有限公司、苏交科集团股份有限公司、上海清隧工程科技有限公司等单位，在本标准编制过程中提供了技术支持。

目 次

1 总则 24

2 术语和符号 25

 2.1 术 语 25

3 勘 察 与 测 试 26

 3.1 一般规定 26

 3.2 工程勘察 26

 3.3 桩基埋管热响应测试 26

 3.4 荷载-温度联合测试 27

4 材 料 28

5 设 计 29

 5.1 一般规定 29

 5.2 埋管桩基设计 29

 5.3 桩基埋管换热系统设计 29

6 施 工 32

 6.1 一般规定 32

 6.2 预制空心桩、钢管桩基埋管施工 32

 6.3 混凝土灌注桩基埋管施工 32

 6.4 环路集管施工 33

7 检 测 与 验 收 34

 7.1 一般规定 34

 7.2 桩基埋管管路水压试验 34

 7.3 桩基埋管换热系统的验收 34

8 运 行 维 护 35

 8.1 一般规定 35

 8.2 运行监测与维护 35

 A.1 一般规定 36

 A.2 单桩埋管热响应测试(TRT) 36

 A.3 单桩埋管热响应试验方法及技术要求 37

 A.4 测试精度要求 37

 A.5 试验数据处理 37

附录 B 荷载-温度联合测试方法 39

1 总则

1.1.1 本条明确了制定本规程的宗旨。地源热泵系统利用浅层地热能资源进行供热与供冷，具有良好的节能和环境效益，与桩基结合的地源热泵桩基埋管技术，近几年在包括江苏省内的许多地方得到了初步应用。为了进一步规范地源热泵桩基埋管系统的设计、施工、验收及运行管理，使地源热泵桩基埋管系统安全可靠、经济合理并发挥其节能效益，制定本规程。

1.1.2 本条规定了本规程的适用范围，其中工业与民用建筑桩基形式包含:竖向抗压、竖向抗拔和水平受荷的桩基。

1.1.3 本规程为地源热泵桩基埋管系统工程的专业性技术规程，是根据国家工程建设标准和规范编制的有关规定制定的，为简化规程内容，凡国家和江苏省其它标准、规范已有明确规定的内容，除有必要外本规程不再另加条文。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1~2.1.3地源热泵系统埋管可以采用土壤内钻孔埋管方式,也可以利用建筑桩基材料在工程桩基内埋管,形成桩基埋管地源热泵系统。在桩基内埋置的换热管路称之为桩基埋管换热器,根据建筑桩基施工方法和材料可以分别采用垂直 U 型埋管、螺旋型埋管等形式。根据管路安装型式不同,常见的有垂直 U 型桩基埋管换热器、W 型桩基埋管换热器和螺旋型桩基埋管换热器等



图 1 桩基埋管型式示意图

桩基埋管换热器与地源热泵机组、循环水泵等组成桩基埋管地源热泵系统。其中,建筑桩基内埋置换热管路后,具有承担上部结构荷载和与土壤进行热交换的双重功能,也称之为能源桩。

3 勘察与测试

3.1 一般规定

3.1.1 工程场地状况及浅层地热能资源特点是能否应用地源热泵桩基埋管系统的先决条件，详尽可靠的调查及勘察情况是桩基埋管地源热泵系统项目顺利实施的保障。根据勘察结果，对桩基埋管换热系统实施的适宜性进行评估，明确该地区是否适宜采用桩基埋管地源热泵系统。

3.1.2 本条文所列桩基埋管地源热泵系统工程的场地现状调查内容。

3.1.3 在确定采用桩基埋管地源热泵系统之前，对浅层地热能的节能潜力、运行保证率和可靠性、投资经济性、环境影响等多因素进行综合分析评估是十分必要的前期决策步骤，以避免不顾条件，盲目上马，既不能达到节能目的，又增加了投资。项目实施前，应由相关技术部门在实际勘察分析的基础上提供地源热泵应用的综合分析评估报告。

3.1.4 在岩溶、断层破碎带等特殊地质条件地区，常规的地源热泵埋管技术受地质条件影响的安全性和耐久性不明确，所以不宜采用地源热泵技术，但桩基埋管有桩身材料保护，桩基埋管地源热泵系统在岩溶、断层破碎带等特殊地质条件地区的技术可行性宜由桩基工程的技术安全性确定。

3.2 工程勘察

3.2.1 桩基埋管地源热泵系统以岩土体为低温冷热源，查明岩土体分布特征及变化规律、不良地质作用和地质灾害，正确反映工程地质条件，是工程设计的前提条件。因此，岩土工程勘察和热物性勘察是地源热泵桩基系统工程建设的一项重要工作。

3.2.2~3.2.3 地基土体的传热性能是影响桩基埋管换热性能的关键因素。与其他导热材料不同，岩土是水-气-固多相多孔介质材料，其热物性参数主要受土体的矿物组成、孔隙率、含水率和饱和度等因素影响。因此，桩基埋管地源热泵系统工程的岩土工程勘察，在满足《岩土工程勘察规范》GB50021 的相关规定基础上，应加强对岩土体热物性的现场勘察。

地下水渗流会对埋管桩基的换热性能有明显影响，可以降低埋管桩基与地基土体之间的温差，有利于提高埋管桩基的换热性能和改善埋管桩基的热-力耦合受力性能。可以根据工程场地地质条件增加桩基长度范围内地下水渗流大小和方向的勘察，为评估地下水渗流影响和优化埋管桩基设计方案提供依据。

3.2.4~3.2.6 为保证大中型地源热泵桩基埋管技术的安全运行和节能效果，符合《桩基地热能利用技术》JGJ/T 438、《地源热泵系统工程技术规程》DG/TJ08 并充分考虑到工程场地特征结合地源热泵系统要求作出相应规定。

3.2.7 桩基埋管地源热泵系统换热能力的评估尚无合适的理论计算依据。根据昆山埋管桩基热响应测试效果，埋管桩基的换热能力主要取决于桩长，本条文采用《地源热泵系统技术规程》DGJ32/TJ89 中的条文 4.2.5 给出的方法评估桩基埋管换热能力。其中，式 4.2.5 中的换热井数量改为埋管桩基数，换热井有效深度改为埋管桩基的有效桩长，得到式(3.2.8)估算埋管桩基的换热性能。式(3.2.8)用于埋管桩基换热性能的估算还有待更多的工程实践验证。

3.3 桩基埋管热响应测试

3.3.1 中、小型桩基埋管系统，热物性参数及综合热响应性能参数可取经验值或参考值进行设计；当建筑面积大或现场岩土热物性不确定时，宜进行现场传热性能测试。

3.3.2 桩基埋管由于桩型多样，埋管换热器型式各异，根据桩基埋管换热系统的工程规模和场地工程地质条件，应确定不同桩基埋管热响应测试数量。

3.3.3 考虑取热与排热条件下热响应测试所获得的岩土体和桩基平均导热系数和换热性能的差别，以及现场热响应测试受多种因素干扰的特点，为提高供暖和供冷两用的桩基埋管换热系统设计的针对性，应进行取热和排热两种条件下的热响应测试。

3.3.5 换热功率试验在埋管桩基进口水温恒定的条件下进行。换热功率试验主要为获取在地基初始温度场条件下的桩基埋管换热器的瞬时换热功率。如果测试时间足够长，出口水温随时间变化小(24h 不超过 0.5℃)，利用换热功率试验可以获得准稳态的换热器换热功率。

3.4 荷载-温度联合测试

3.4.1~3.4.2 本条给出了开展埋管桩基(能源桩)荷载-温度联合试验的条件，可根据桩基工程设计等级要求，以及获得荷载与传热条件下埋管桩基的承载性能和换热参数的需要，进行荷载-温度联合测试。

3.4.4 本条规定了利用荷载-温度联合测试确定热力耦合作用下埋管桩基的承载力时，埋管桩基(能源桩)荷载-温度联合测试的荷载作用取值状态。

3.4.5 全面分析埋管桩基(能源桩)的承载性能及其影响因素，宜根据能源桩的极限承载力将能源桩荷载按极限承载力的 0%、25%、50%、75%、100%分为若干级荷载水平，分别在相应竖向荷载作用下进行荷载-温度联合试验。分析比较不同荷载水平状态下能源桩受温度影响的承载性能。

3.4.6 利用荷载-温度联合测试方法分析埋管桩基-土热-力耦合性能时，可沿桩径向 0.6D、1.5D、3.0D、5.0D 等距离，沿桩长 0.1L、0.25L、0.5L、0.75L、1.0L、1.5L 等深度处岩土体中埋置温度传感器。

3.4.7 埋管桩基荷载-温度联合测试是一个对岩土缓慢加热直至达到传热平衡的测试过程，现有研究认为埋管桩基与土体的热传导达到准稳态的时间一般大于钻孔埋管热响应测试所要求的 48h。考虑测试时间成本，确定测试时间应不小于岩土热响应测试所要求的换热持续时间 48h。

4 材 料

4.1.2 由于桩基内埋管属于隐蔽工程，施工完毕后无法进行二次维修，因此应采用使用寿命长的高质量管材，应符合《给水用聚乙烯(PE)管材》GB/T 13663 和《地源热泵系统用聚乙烯管材及管件》CJ/T 317 的相关规定，聚乙烯管材的期望使用寿命为 50 年。

4.1.3~4.1.5 换热管路在运输、搬运、储存、堆放等环节应考虑相应的保护措施，避免管材受损。

4.1.6 防冻液宜考虑对钢筋混凝土低腐蚀要求，可选择防冻剂包括：

1)盐类：氯化钙和氯化钠；

2)乙二醇：乙烯基乙二醇和丙烯基乙二醇；

3)酒精：甲醇，异丙基，乙醛；

4)钾盐溶液：醋酸钾和碳酸钾。

4.1.7 桩基埋管换热系统的金属部件应与防冻液兼容，包括循环泵及其法兰、金属管道、传感部件等与防冻液接触的所有金属部件。

4.1.8 桩身混凝土配合比需要综合考虑整体结构、施工能力以及桩的换热需求。普通混凝土导热系数一般为 $1.3\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，为提高导热性能，可选用导热系数比较高的骨料，如石英砂代替普通砂等措施。

4.1.9 《建筑桩基技术规范》JGJ94 对混凝土预制管桩、钢管桩的制作、起吊、运输、堆放有详细的技术要求和规定。

4.1.10 成品保温钢管抗挤压、保温防腐能力强。桩基埋管系统金属管道内壁应做防锈防腐处理，以避免铁锈进入换热器。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定了埋管桩基适宜的桩基类型。为避免预制混凝土空心桩、钢制空心桩开口施工的桩端土塞效应造成后期能下放的换热管长度明显减小，要求预制混凝土空心桩、钢制空心桩选择闭口型桩尖压桩施工。

5.2 埋管桩基设计

5.2.1~5.2.4 埋管桩基除了承受上部建筑荷载外，温度变化还可能会对埋管桩基的结构性能带来影响。埋管桩基的结构设计，应保证在给定的结构和温度影响下仍能满足《建筑桩基技术规范》JGJ94 规定的承载力极限状态和正常使用极限状态设计要求。地源热泵系统换热对埋管桩基承载力及沉降性能的温度效应，国内外对此的研究认识尚不统一，为考虑桩基结构安全，对设计等级为甲级的建筑桩基，应考虑荷载-温度的耦合效应分析：

1)温度变化对桩周土体力学性质(土体抗剪强度、刚度)和桩土界面特性的影响，将导致埋管桩基荷载传递特征和承载性能的变化。软弱土中的埋管桩基工程，应分析评估周期性循环温度作用下埋管桩基的沉降稳定性。

2)温度变化导致的桩身径向和纵向胀缩受到周围岩土约束，会引起桩身附加温度应力。附加温度应力对埋管桩基结构一致性的影响需要考虑。

3)群桩条件下埋管桩基的设计和运行，应综合考虑温度变化影响下的埋管桩基-工程桩基-基础与上部结构的相互作用，鉴于现有的群桩或桩筏基础的分析理论一般不能反映桩基的温度效应，应进行专门的分析研究。

4)如果埋管桩基是冬夏两用的，应着重评估冬季工况下桩身断面可能出现的附加温度拉伸应力、桩-土界面的弱化等引起的桩身稳定性问题，通过合理的设计、构造和限温措施，保证埋管桩基的稳定性。

5.2.5 桩身最大附加温度应力标准值计算取决于桩基承载类型与桩顶约束效应。埋管桩基受温度变化引起的变形会受桩周土体、桩端岩土体、及桩顶约束影响，根据约束效应的强弱，桩身附加温度应力随之变化。对于端承桩及桩顶受约束时，温度引起的变形在桩端受到完全约束，可忽略桩侧摩阻力的约束作用，则桩身温度附加轴力沿桩长均匀分布，其最大附加温度应力标准值通过式(5.2.5)确定。对于摩擦桩，温度引起的桩身变形一般无法由侧摩阻力完全约束，在桩顶约束不强时，变形的发展将引起桩身附加应力的降低，其折减程度受桩周地基土软弱程度的影响。对于正常固结或轻微超固结地基，因其约束桩温度变形能力弱，折减近 50%；而对于超固结地基而言，其约束力增加，可不进行折减。本条提出附加温度应力系数大小与桩土界面性能和桩端约束强弱密切相关。其中桩身温度应力系数 η_N 取值，按《桩基地热能利用技术规范》JGJT438 建议取值，待积累工程实践经验再行细化。

5.2.6 埋管桩基同时受上部结构荷载和温度耦合作用下的承载力确定，国内外尚未取得一致的认识，为保证桩基的安全，建筑桩基设计等级为甲级的埋管桩基，应通过荷载-温度联合试验确定桩基竖向极限承载力特征值。

5.2.7 本条文给出埋管桩基进行荷载-温度联合测试的温度取值与持续时间要求。现有研究认为埋管桩基与土体热传导达到准稳态时长大于钻孔埋管热响应测试所需要的时间，考虑测试时间成本，本条文规定测试持续时间不小于 48h，有待更多工程实践经验积累。

5.3 桩基埋管换热系统设计

5.3.1 桩基埋管换热系统所需的取热/放热量分别按以下方式计算。按冬季设计热负荷确定的桩基埋管换热系统取热量可按式(5.3.1)计算。

$$Q_0 = Q_h - N_1 - N_2 \quad (5.3.1)$$

式中： Q_0 -桩基埋管换热系统取热量(kW)； Q_h -建筑设计热负荷，或由桩基埋管热泵系统承担的热负荷(kW)； N_1

-热泵机组消耗功率(kW)； N_2 -桩基埋管系统循环水泵轴功率(kW)；

若忽略循环水泵轴功率，则可按式(5.3.2)计算

$$Q_0 = Q_h(1 - 1/COP_h) \quad (5.3.2)$$

式中， COP_h -热泵机组制热性能系数。

按夏季设计冷负荷确定的桩基埋管换热系统释热量可按式(5.3.3)计算。

$$Q_k = Q_l + N_1 + N_2 = Q(1 + 1/COP_c) \quad (5.3.3)$$

式中， Q_k -桩基埋管换热系统释热量(kW)； Q_l -建筑设计冷负荷，或由桩基埋管热泵系统承担的冷负荷(kW)；

N_1 -水源热泵机组消耗功率(kW)； N_2 -桩基埋管系统循环水泵轴功率(kW)； COP_c -水源热泵机组制冷性能系数。

5.3.2 埋管桩基的规格与数量的确定，需综合考虑与供热/制冷系统相关的多个影响因素。其中最为重要的因素包括：

- 1)工程水文条件；
- 2)埋管桩基(能源桩)的分布、数量与几何特征；
- 3)由位于建筑基础底板内的水平总管产生的热损耗(需考虑基础底板是否有必要设隔热层)；
- 4)建筑的冷热负荷；
- 5)同时满足能源需求和桩基结构功能。

5.3.3~5.3.4 《地源热泵系统工程技术规范》DGJ32/TJ89 第 5.3.4 条规定：竖直地埋管换热器埋管深度宜大于 20m，小于 120m。钻孔孔径不宜小于 0.110，间距应满足换热需要，宜为 4.5~8m。《建筑桩基技术规范》JGJ94 规定：常规桩基设计桩基间距宜为 3.0d~4.0d，其中 d 为圆桩直径或方桩边长。埋管桩基间距的布置设计，应结合地源热泵换热量需求、桩内埋管型式、桩基间距综合考虑适宜的埋管桩基间距。根据昆山工程实践及桩基埋管后期运行效率，桩直径为 600mm 时，并联双螺旋型桩基埋管换热器的热作用半径可以达到距离桩中心 6m 处，距离桩 4m 处测点的温度变化比距离桩 6m 处测点温度变化大 65.1%。因此，为了满足换热需要，减少热堆积现象，采用桩基埋管一体化设计时，宜根据结构设计确定的桩基数量与布置，对埋管桩基的间距按不小于 4.5m 布置，以及需要补充的土壤孔埋管与桩基埋管间距均按不小于 4.5m 布置。

5.3.5 根据昆山工程不同埋管型式(单 U 型、并联双 U 型地埋管，串联双 U 型、并联双 U 型、单 U 型预制管桩埋管，并联双 U 型、并联双螺旋型灌注桩埋管)的桩基埋管热响应测试结果比较发现：对于同一型式的埋管(如：均为预制桩基埋管或均为灌注桩基埋管)，埋管的管长越长，埋管的平均换热量越大，埋管的单位管长平均换热量越小；埋管有效深度相等的情况下，并联双 U 型埋管的平均换热量均大于其他种埋管型式的平均换热量。埋管总长和埋管深度两个设计参数的取用，要结合换热效率和工程项目的经济性综合考虑。当埋管桩基桩径较大、桩长较短时，可充分利用桩周面积设计换热管路型式，提高单位桩长内的换热管长度。U 型埋管换热器施工简单，当埋管桩基桩长较长且螺旋埋管施工有难度时可采用。

5.3.6 根据昆山工程单 U 型、串联双 U 型、并联双 U 型、并联双螺旋型四种桩基埋管型式的热响应测试，桩基埋管换热性能随着管内介质流速的增大，其效率越来越低，管内流体流速在 0.25~0.3 m/s 区间左右时，换热能力最佳，运行能耗最经济，因此，建议管内流速控制在 0.3 m/s 左右。

5.3.7~5.3.9 埋管桩基管路在桩身外的设计要求，与土壤钻孔埋管一致，均应满足地源热泵系统技术要求，应符合《地源热泵系统技术规程》DGJ32/TJ89 规定。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1~6.1.3 施工前应了解埋管场地内已有地下管线、其它地下构筑物的功能及其准确位置，并进行地面清理，铲除地面杂草、杂物和浮土，平整地面。

与一般的工程桩施工相比，桩内埋管施工涉及桩基施工与换热管路安装的交叉作业，应在工程桩的施工组织基础上增加换热管路安装的施工组织，明确不同桩型换热管路安装与桩基施工工序上的衔接与配合，特别是灌注桩施工方案中，应明确换热管路绑扎与桩基钢筋笼绑扎的衔接、绑扎换热管路的钢筋笼下孔保护、混凝土浇筑时对换热管路的保护以及桩顶浮浆凿除对换热管路的保护等措施。

6.1.5 埋管桩基在桩基施工完成、桩基埋管与环路集管连接后，环路集管与分、集水管路连接，均应对管道进行带压力冲洗，一方面清除进入管路的砂石颗粒等异物，一方面检查管路的密封性，保障系统连接后的安全和高效运行。

6.1.6 本条第2款中，桩内埋管的U型弯头应保证连接可靠和通畅光滑、断面积均匀不受影响，目的是减小局部阻力，避免颗粒物沉积。U型弯管接头可采用成品件或利用成品弯头热熔焊接加工而成，严禁利用直管道煨制。采用的成品件应有水压试验报告与产品合格证明，并符合相关要求。工程桩钢筋笼需分段连接时，相应换热管路也需分段连接。为避免钢筋笼连接交叉施工对换热管的损伤，可采用橡塑保温材料或钢管进行包裹保护。

6.2 预制空心桩、钢管桩基埋管施工

6.2.1 桩基施工完毕应尽快将套管放入桩内空心管壁中，并立即将水充满套管，以防孔内积水使套管脱离孔底上浮，达不到预定埋设深度。下管时，可采用每隔2m~4m设一弹簧卡(或固定支卡)的方式将U形管两支管分开，以提高换热效果。

6.2.2 U形管安装完成后，应立即进行回填料灌注。回填料灌注宜采用专用设备进行灌浆，灌浆压力应足以使孔底的泥浆上返至地表。灌浆时，应保证灌浆的连续性，应根据机械灌浆的速度将灌浆管逐渐抽出，保证自下而上灌注封孔，确保桩孔内灌浆密实，无空腔，否则会降低传热效果，影响工程质量。灌浆回填料一般为膨润土和细砂(或水泥)的混合浆或其他专用灌浆材料，强化U型换热管与预制空心桩壁之间的传热。膨润土的比例宜占4%~6%。

6.3 混凝土灌注桩基埋管施工

6.3.2 充压时，将换热管灌水后加压至1.0MPa，待其稳定后(15min压力下降小于3%)检查各接头，连接处是否有渗漏。

6.3.3 钢筋笼焊接时因电焊温度过高或有火花飞溅易损伤换热管，应对换热管采取防高温保护措施，可使用湿麻袋、石棉等耐火材料保护换热管，当钢筋笼焊接完成并冷却之后，再将换热管上耐火材料去除后进行绑扎，分段绑扎的埋管则需在钢筋笼焊接完成后进行热熔连接和绑扎。

6.3.4~6.3.6 埋管施工与桩基施工工序上相互交叉，施工组织既要保证桩基施工质量与安全，也要确保埋管施工的质量与安全。换热管路在钢筋笼内侧绑扎时，钢筋笼实际内径减小，浇筑混凝土的导管在下放时易碰撞换热管使其损坏，导管的下放提拉应缓慢匀速，防止损坏换热管。

灌注桩桩基埋管宜在钢筋笼内侧绑扎换热管。工程实践发现，在桩径小于300mm时，换热管绑扎于钢筋笼内侧，进水管与出水管距离较近不利于换热。另外，桩径小于400mm时，采用螺旋型埋管，在钢筋笼内侧绑扎不易施工，上述情况下可采取换热管路在钢筋笼外侧绑扎。

对于桩径1000mm以下的桩基埋管考虑安装在钢筋笼外侧对换热管保护更可靠，外侧绑扎灌注桩换热管的钢筋笼的吊装、下孔应注意对绑扎管路的保护，避免机械碰撞损坏换热管路。对于不绑扎垂直下放的换热管路，利用混凝土导管下放时，下放过程中应避免与钢筋笼的碰撞。

- 6.3.7 考虑工程桩剔除桩头浮渣和截桩对换热管的保护要求，可采用一定长度的钢制套管对桩头位置伸出地面的换热管加以保护。为防止钢制套管对换热管造成磨损，采用半圆锉或磨光机等工具将套管两端端面打磨光滑。
- 6.3.8 灌注桩混凝土的浇筑应匀速缓慢，避免孔内换热管路上浮。浇筑完成后检查确认换热管路的最终位置。
- 6.3.9 对 40m 以上的超长灌注桩，换热管路随钢筋笼同步分段绑扎，吊装下放时也应做到同步连接、同步下放。
- 6.3.10 考虑冬季供热工况运行的大直径埋管桩基，温度降低将引起桩径的收缩变形，有可能引起桩周侧摩阻力的降低。国内外现有理论分析尚缺乏一致的认识，为保证大直径埋管桩基的承载力不受明显影响，宜采取桩端注浆等增大承载力的措施。

6.4 环路集管施工

- 6.4.1~6.4.2 埋管桩基的桩头处理和截桩等施工作业很容易造成换热管的损伤，需要桩基现场施工人员应在拟破除混凝土范围布置金属套管等有效的保护措施，以减少对换热管路的损坏。水压试验是对换热管路损伤检查的重要环节。
- 6.4.3 环路集管沟底回填材料一般建议采用细砂。有桩基埋管的工程中发现地下室基础底板出现渗漏，主要是换热管路穿越基础底板时，工程措施不当引起。《桩基地热能利用技术规程》JGJ/T438 建议对换热管和金属套管之间的空隙进行灌浆处理。
- 6.4.4 基础底板或承台的混凝土浇筑应注意桩头与承台连接浇筑时对换热管路的保护。

7 检测与验收

7.1 一般规定

7.1.1 埋管桩基施工涉及桩基施工与埋管施工，且施工工艺相互有交叉，但不应影响桩基工程质量。涉及桩基施工质量的单桩竖向抗拔、竖向抗压、水平静载试验及桩身完整性检测与验收等内容、方法和技术要求仍应遵守《建筑桩基技术规程》JGJ94 等要求。

7.1.2 应符合江苏省行业标准《地源热泵系统技术规程》DGJ32/TJ89 和《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T438 的有关规定，考虑桩基埋管的冲洗和水压试验比一般土壤地埋管工程复杂，在桩基埋管地源热泵系统施工工艺流程中，通过多次水压试验检验管路施工质量与密封性。

7.1.3 施工中采用的埋管材料质量保证，管材等质量检测项目和方法应符合《地源热泵系统工程技术规范》GB50366 和《埋地聚乙烯给水管道工程技术规范》CJJ101 等技术规范与标准的要求。

7.2 桩基埋管管路水压试验

7.2.1~7.2.5 桩基埋管的水压试验要求符合《地源热泵系统工程技术规范》GB50366 和《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438 中的相关规定。埋管桩基的冲洗和压力测试要比一般的钻孔埋管工程复杂。《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438 中根据其工艺流程分为五次水压试验，且随着换热系统总装程度提高，其稳压时间逐步加长。相应规定主要是强调，在换热系统逐步形成的每一个环节中，通过水压试验加强过程控制。

7.3 桩基埋管换热系统的验收

7.3.1 换热管路施工的现场检验内容应分别包含管路的连接、绑扎、热熔和填料回填等环节是否符合设计要求。

7.3.2 本条规定了系统管路安装完成后，管路冲洗和水压试验后与管路与机组连接的要求。

8 运行维护

8.1 一般规定

8.1.2~8.1.4 地源热泵系统的能效发挥与系统后期的运行控制和管理密切相关。桩基埋管作为地源热泵系统一部分，换热管路的运行状态及其场地土壤温度，对指导地源热泵系统的运行，提高系统能效有重要作用。同时，地源热泵系统运行引起的场地土壤和埋管桩基温度的周期性变化，对桩基工程的安全性和建筑物的长期沉降变形的影响，还有待工程实践积累更多认识。因此，为保证桩基埋管地源热泵系统的合理运行，应定期对场地岩土体温度、埋管桩基性能参数等进行监测分析，以优化埋管桩基地源热泵系统的运行方式，同时，通过相关工程实践地源热泵系统运行的测试数据积累，分析地源热泵系统运行对埋管桩基与建筑的承载和长期沉降的影响。

8.2 运行监测与维护

8.2.1 本条针对桩基埋管地源热泵系统的运行状态监测，提出了相应的运行状态监测参数。

8.2.2~8.2.3 本条针对服务于建筑面积小于 20000m² 的地源热泵系统，给出了土壤温度监测孔的布置数量。服务于建筑面积大于等于 20000m² 的地源热泵系统，其桩基埋管数量和热泵主机数量一般都较多，设置建筑设备管理系统进行管理，可以提高地源热泵系统的运行效率，保障热泵系统的安全运行。

8.2.4 地源热泵系统的长期周期性运行，温度变化会引起场地岩土体和埋管桩基的热胀冷缩变形，因此有必要开展岩土体和埋管桩基的温度和变形监测，以保证建筑物的运行安全，当出现异常情况时，应及时发出预警。埋管桩基础的变形监测，可以根据建筑类型和功能要求，确定桩基变形检测方法、精度等级和测量仪器设备。

8.2.5 桩基地热能利用系统运行期间，如果长期提取和注入的热量不平衡，将会导致桩基地热能利用系统所在区域地温的持续升高(降低)，一方面会影响桩基地热能利用系统的运行效率，另一方面也会改变原生态土壤的温度分布，从而影响当地地表生态系统。

桩基地热能利用系统运行期间，如果长期提取和注入的热量不平衡，将会导致桩基地热能利用系统所在区域地温的持续升高(降低)，一方面会影响桩基地热能利用系统的运行效率，另一方面也会改变原生态土壤的温度分布，从而影响当地地表生态系统。过度的地下水冷却会提高水的 pH 值，降低钙的溶解度，提高气相二氧化碳的溶解度；而过度的地下水加热将导致相对较大的氧气溶解度，会加速含氮有机化合物的矿化和有机残体的分解，也会使地下水不适合饮用。温度是土中微生物最重要的环境因素之一，许多微生物的存活收到了温度的严格影响，尤其是在-10℃时，细菌微生物的活性将显著降低。当土壤温度高于 30℃时，植物的根系生长会受到抑制，引起植物早衰。

附录 A 桩基埋管热响应试验

A.1 一般规定

A.1.1 岩土温度对热响应试验结果有较大影响。试验结果表明，施工过程会引起岩土温度波动，温度恢复到初始状态需要一定时间，故热响应试验前应预留充足的地温恢复时间。在试验过程中，如果改变加热功率，则需要停止试验，待测试桩温度恢复至与岩土的初始平均温度一致时，才能进行热响应试验。

A.1.2 现场埋管桩基热响应试验的主要目的是为了获得拟设计桩基埋管换热器的综合热物性参数，为后期设计计算提供依据。因此，热响应测试桩应与方案设计保持一致，如果试验桩与实际埋管桩基相差过大，应当按照实际埋管桩基的要求，重新制作试验桩。

A.1.3 测试现场应提供满足测试仪器所需的、稳定的电源。对于输入电压受外界影响有波动的，电压波动的偏差不应超过 5%；测试现场应为测试仪器提供有效的防雨、防雷电等安全防护措施。

A.1.4 为减小环境温度对试验的影响，测试仪器应尽可能的靠近热响应试验桩，同时减少水平连接管段的长度以及连接过程中的弯头、变径；外露管道及试验装置中的管路和水力组件也应充分隔热进行保温处理。因测试场地限制，测试仪器与试验桩连接管道超出 3m 时应考虑连接管段的热损失。

A.1.6 随着埋管桩基深度内岩土性质的不同，各个深度的岩土初始温度也会有所不同。采用灌注桩基埋管时，待钻孔结束，钻孔内岩土温度恢复至岩土初始温度后，可采用钻孔内不同深度分别埋设温度传感器(如铂电阻温度探头)。如果采用预制桩基埋管，可在预制桩施工到设计标高后，向管桩孔内注满水的 PE 管中，插入温度传感器的方法获得桩身与岩土初始的温度分布。

A.2 单桩埋管热响应测试 (TRT)

A.2.1 单桩埋管热响应测试，首先要提供足够的测试时长，一般远大于钻孔埋管测试所要求的 48h，使热流能够克服桩身热阻，穿透到周围岩土地基中。一般的热响应测试数据分析的理论模型是线热源模型。当桩长与桩径之比小于 40，或在测试时长小于 t_1 的时间内，埋管桩基的热响应传热过程与线热源或柱热源假定相差较大，因而不能用于进行数据分析。其他的理论模型的适用性还需要进一步研究与讨论。对于一根直径为 400mm 的埋管桩基， t_1 大约需要 40h~50h。

A.2.2 对于桩径大于 1000mm 的单桩热响应测试，虽然可以用来测定桩身混凝土的导热系数，但不可以直接用来确定桩的热阻。主要原因是在这个较短测试时间内能源桩还没有达到准稳态，无法得到桩热阻正确结果。

A.2.3 一般来说，混凝土浇筑 21d 后，混凝土水化热消散基本完成，桩身内温度与周围岩土温度达到热平衡，热响应测试才能得到合理的换热管内平均温度随时间变化曲线。

A.2.4 浇筑完混凝土后，当温度传感器连续 3d 的温度读数的差别不超过 0.5℃时，可以认为混凝土水化热消散完毕，桩土温度达到平衡。这样可以缩短热响应测试等待时间。

A.2.5 本条给出了通过安装桩和地基埋深内部的温度传感器，直接量测温度场并通过理论方法获得能源桩热阻和岩土地基热阻的方法。该方法最早由瑞典 Lund 大学提出，被称为多极组合圆柱(multipole method in a composite cylinder)模型。是一种给出不同材料组合而成的内外圆柱模型，当内圆柱内设有多个换热管时的准稳态条件下温度分布的计算方法。通过该方法，在参考已有导热系数的基础上，利用实测的场内准稳态的温差，计算桩和地基的热阻，从而用于大型桩基地热能利用工程的初步设计计算。

A.2.6 由于桩基埋管换热器构造型式多样且复杂，传统钻孔埋管现场热响应测试的理论分析方法，诸如线热源或柱热源理论的假定与简化有可能不再有效。在这方面，有限元瞬态传热分析程序，具有比计算流体力学程序更高的计算效率，同时可以达到足够的工程计算精度，是岩土和暖通工程师进行构造复杂单桩或群桩传热分析(动态、长期)的有利工具。

热阻是指物体对热流传导的阻碍能力，与传导路径长度成正比，与通过的截面面积成反比，且与热传导系数成正比，表达式如下：

$$\theta = \frac{L}{\lambda \cdot S}$$

式中: L ——导热路径长度(m);

λ ——导热系数;

S ——截面面积(m²)。

A. 2. 7 换热功率测试的主要目的是了解换热器的瞬时换热功率,而且是在地基处于初始温度场条件下获得的。如果测试时间足够长,出口水温随时间变化很小(24h 不超过 0.5℃),本项测试可以获得准稳态的换热器换热功率。

A. 3 单桩埋管热响应试验方法及技术要求

A. 3. 2

1)测试孔的深度相比实际的用孔过大或过小都不足以反映真实的岩土热物性参数;如果测试孔与实际的用孔相差过大,应当按照实际用孔的要求,制作测试孔;或将制成的实际用孔作为测试孔进行测试。

2)为减小试验误差,加热功率应保持恒定。在试验过程中,如果改变加热功率,则需要停止试验,待测试孔内温度恢复至与岩土的初始平均温度一致时,才能进行热响应试验。

3)为强化换热,有效测定项目所在地岩土热物性参数,测试开始前应对流量进行合理化设置并满足方案设计流速要求,地埋管换热器内流速应能保证流体始终处于紊流状态。根据昆山桩基埋管测试经验,桩基埋管随着流速的增大,其效率越来越低,在 0.25~0.3 m/s 区间附近,换热能力最佳,运行能耗最经济,因此,建议管内流速控制在 0.3m/s 左右。

5)桩基埋管换热器出口温度稳定,是指在不少于 12h 的时间内,其温度的波动小于 1℃。加热功率大小的设定,应使换热流体与岩土保持一定的温差。在桩基埋管换热器的出口温度稳定后,其温度宜与岩土原始平均温度相差 5℃以上,并宜使出口温度接近机组设计进水温度要求。根据江苏省的气候特点,夏季工况设计流体平均温度宜为 33℃~36℃,冬季工况设计流体平均温度宜为 0℃~6℃。如果不能保持一定的温差,试验过程将变得缓慢,影响试验效果,不利于计算岩土热物性参数。加热功率大致为实际换热器高峰负荷值,初步设定时,对于单 U 垂直埋管,一般可按埋管钻孔深度取 40W/m~60W/m 选取。

A. 3. 3 热响应试验过程中对仪器进行调试、断电或同一试验孔进行两次试验等情况发生时,会对岩土温度造成较大的影响,为减小试验孔周围地温扰动引起的试验误差,作出本条规定。

A. 4 测试精度要求

A. 4. 1~A. 4. 3 本条文是根据目前常用测试仪器的精度以及对导热系数计算结果的影响程度提出的。对测试仪器仪表的选择,在选择高精度等级的元器件同时,应选择抗干扰能力强,在长时间连续测量情况下仍能保证测量精度的元器件。

A. 4. 4 实际埋管深度对导热系数的计算结果有明显影响,本条特做此条规定。

A. 5 试验数据处理

A. 5. 1 岩土综合导热系数用于设计工况下的动态耦合计算和静态下换热器总长度的设计计算。

A. 5. 2 线热源斜率法导热系数算例:100m 深单 U 管试验孔在加热功率状态下得到的管内流体平均温度 T_f 与测试时间 τ 的变化曲线如图 1,舍去初期 10h 数据后得到 $T_f \sim \ln \tau$ 关系曲线如图 2,经直线拟合得到 $K=2.235$,平均加热功率 $Q=5.183 \text{ kW}$,最终计算得到该孔综合导热系数 $\lambda_s=1.85 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

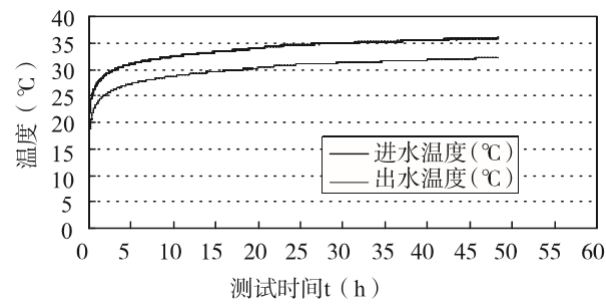


图1 热响应试验进、出水温变化曲线

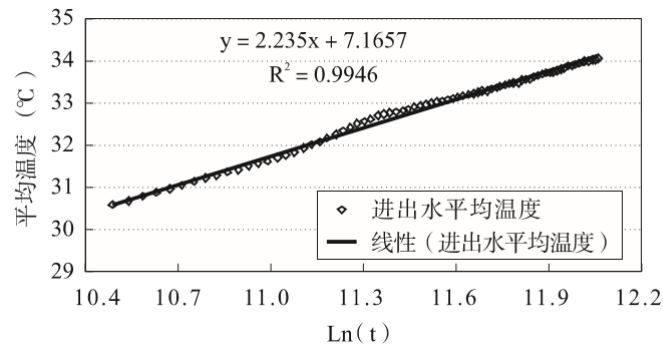


图2 热响应试验出水平均温度时间对数变化曲线

附录 B 荷载-温度联合测试方法

B.0.1~B.0.4 温度传感器的选择需要满足以下几点:灵敏度高、工作温度范围宽、体积不宜过大、稳定性强。建议采用铂电阻,其在高温下物理、化学性质都较稳定,有较高的电阻率。电阻的引线方式尽可能选用四线制,以完全消除引线的电阻影响。温度传感器可沿桩身均匀布置,桩周土体的温度传感器的布设位置应与桩身温度传感器的位置一致。

应力、应变传感器的选择应满足强度高、精度高、耐腐蚀,满足在能源桩中长期使用的要求。另外区别于常规的应力、应变测试,在埋管桩基测试过程中,桩身温度的改变较大,可能对传感器的性能及工作状态产生改变,因此传感器应具有温度自动补偿功能,应力、应变传感器布置宜结合场地的土层分布特征和能源桩特征综合考虑。

当需要研究埋管桩基-土热交换过程中周围岩土体的温度场分布和变化,分析岩土体热交换中对埋管桩基承载性能的影响,可在桩周土体一定范围内设置温度监测孔。

B.0.5 考虑埋管桩基荷载-温度联合测试静载试验的方法和技术要求均按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中慢速维持荷载法要求执行。

B.0.5~B.0.6 工程测试中,桩基测试大多利用堆载做反力,千斤顶加载的方式,埋管桩基测试也可采取堆载方式。其实质仍为应变控制式加载。但埋管桩基由于桩土热交换的影响,排热过程桩身受热膨胀,桩顶向上隆起,导致桩顶的荷载逐渐增大;取热过程相反,桩身受冷收缩导致桩顶荷载值减小。因此测试前设定测试过程中的容许超载或掉载量,不宜超过设定荷载的 5%,当超载或掉载量达到设定荷载的 5%时立即泄压或补压,以保证桩顶荷载值的稳定。

B.0.7 根据埋管桩基现场测试的目的,可分别拟定不同的现场测试方法和测试要求:

1)确定埋管桩基的承载力,根据桩基静荷载试验与桩内埋管的热响应测试,获得热交换过程影响的埋管桩基的极限承载力和承载力特征值,可以与单一荷载作用下埋管桩基承载力进行比较。

2)为明确周围岩土体的热交换过程中对埋管桩基承载性能的影响,可进一步在埋管桩基桩周岩土体内布置温度传感器,测试荷载-温度联合测试过程中,桩周围岩土体的温度分布和变化,分析岩土体传热特性对埋管桩基承载性能的影响。