

ICS 93.020

CCS P 22

团 体 标 准

T/ZEDA 008—2026

T/ZS 0817—2026

静钻根植能源桩技术规程

Technical specification for pre-bored grouted
planted geothermal energy piles

2026—03—20 发布

2026—03—27 施行

浙江省勘察设计行业协会
浙江省产品与工程标准化协会

联合发布

前 言

根据浙江省勘察设计行业协会《关于编制〈静钻根植能源桩技术规程〉的通知》（浙设协〔2025〕38号）和浙江省产品与工程标准化协会《关于〈文物建筑木结构无损检测技术规程〉等6项团体标准的立项公告》（浙产工标协〔2025〕52号）的要求，规程编制组通过广泛调查研究，参考国内外的有关标准，并结合实际工程经验，制定了本规程

规程编制组通过广泛调查研究，参考国内外有关标准，制定了本规程。

本规程共分为9章，主要技术内容包括：总则，术语，基本规定，勘察，测试，构造与材料，设计，施工，验收等。

请注意本规程的某些内容涉及基桩施工方法(ZL201110225964.2)、一种植入法地热能源桩(ZL202321848559.0)等专利。涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与主编单位及专利持有人协商处理，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人及主要审查人：

主编单位：浙江大学建筑设计研究院有限公司
宁波中淳高科股份有限公司

参编单位：宁波市轨道交通集团有限公司
浙江大学
清华大学
浙江华展工程研究设计院有限公司
宁波大学
浙大宁波理工学院
宁波沃弗圣龙环境技术有限公司

中铁十局集团有限公司
余姚中淳高科桩业有限公司
浙江省建筑设计研究院有限公司
宁波市建筑设计院有限公司
宁波市房屋建筑设计研究院有限公司
宁波大学建筑设计研究院有限公司
浙江华汇建筑设计有限公司
宁波宁大地基处理技术有限公司
台州中淳高科桩业有限公司
温州中淳高科桩业有限公司

主要起草人：干 钢 娄 扬 舒佳明 姚燕明 周佳锦
胡光阳 程晓辉 吴才德 邓岳保 方鹏飞
周俊宏 赵豫鄂 金 超 余志锋 潘松法
王继忠 杨 雪 唐超群 鲍巧峰 严天龙
陈洪雨 明 维 张芳芳 张日红 陈松立
黄立波 张静红 程建华 陈 忠 周琼燕
唐彪锋 冯子睿 肖景平 朱侠达 李志高
周 杰 赵 鹏 陈克伟 付 鹏 刘晓钢
邓振京 吴 迪 黄晓峰 潘德洋
主要审查人：楼东浩 胡晓辉 李 瑛 刘恒新 高 俊

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	基本规定	4
4	勘察	6
4.1	一般规定	6
4.2	工程勘察	6
5	测试	8
5.1	一般规定	8
5.2	单桩传热性能测试	8
5.3	热负荷-结构荷载耦合测试	9
6	构造与材料	10
6.1	一般规定	10
6.2	换热器构造	10
6.3	管材与循环工质	11
7	设计	13
7.1	一般规定	13
7.2	结构设计	13
7.3	换热系统设计	15
8	施工	17
8.1	一般规定	17
8.2	换热管路的制作与储运	17
8.3	成桩工艺	18
8.4	环路集管施工	19
8.5	管路压力测试及冲洗	20

9	验收	22
9.1	一般规定	22
9.2	施工前检验	22
9.3	施工检验	23
9.4	桩基工程验收	23
9.5	换热系统验收	25
附录 A	静钻根植能源桩传热性能测试	26
附录 B	静钻根植能源桩热负荷-结构荷载耦合测试	28
附录 C	地热利用型先张法预应力混凝土竹节桩	31
附录 D	静钻根植能源桩施工记录表	39
附录 E	静钻根植能源桩检验批质量验收记录表	41
	本规程用词说明	43
	引用标准名录	44
附：	条文说明	45

1 总 则

1.0.1 为规范静钻根植能源桩的应用,做到安全可靠、技术先进、经济合理、保护环境,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于抗震设防烈度 7 度及以下地区的建筑工程中静钻根植能源桩的勘察、测试、构造与材料、设计、施工和验收。

1.0.3 静钻根植能源桩的应用除应符合本规程外,尚应符合国家和地方现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 静钻根植能源桩系统 pre-bored grouted planted energy pile system

以静钻根植能源桩作为地埋管换热器,传热介质通过静钻根植能源桩与岩土体进行热交换的地热能交换系统。

2.0.2 地埋管换热器 ground heat exchanger

供传热介质与岩土体换热用的,由埋于地下的密闭循环管组组成的换热器,又称土壤换热器。

2.0.3 静钻根植能源桩 pre-bored grouted planted energy pile

采用带搅拌叶片和扩底翼的单轴钻机进行钻孔、扩底,在桩端和桩周分区注入固化浆液并搅拌后,将根植预制桩与密闭循环管道同步植入预钻孔内,形成具有承载和换热双重功能的基桩。

2.0.4 根植预制桩 planted precast pile

地热利用型先张法预应力混凝土竹节桩、先张法预应力混凝土管桩、复合配筋先张法预应力混凝土管桩等按一定形式组合的预制桩。

2.0.5 地热利用型先张法预应力混凝土竹节桩 geothermal prestressed high strength concrete nodular pile

采用先张法预应力离心工艺成型,桩身带有等间隔、非连续节状凸起的环形截面预应力高强混凝土预制桩,并沿桩身设置有纵向凹槽等构造,以便敷设密闭循环管道,实现浅层地热能利用,简称地热竹节桩,代号GE-PHDC桩。

2.0.6 先张法预应力混凝土管桩 prestressed high strength concrete pile

采用先张法预应力离心工艺成型的环形截面预应力高强混凝土预制桩,简称管桩,代号PHC桩。

2.0.7 复合配筋先张法预应力混凝土管桩 prestressed reinforced high strength concrete pile

配置非预应力钢筋的先张法预应力高强混凝土管桩，简称复合配筋桩，代号PRHC桩。

2.0.8 热响应测试 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恒功率连续加热或取热，以获得岩土综合热物性参数及岩土初始平均温度的试验。

2.0.9 热性能测试 thermal performance test

通过测试仪器，保持循环流体进口温度恒定，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，以获得地埋管换热器或能源桩换热功率的试验。

2.0.10 热负荷-结构荷载耦合测试 thermo-mechanical coupled test

通过对能源桩同时施加热负荷与力学荷载，以确定热-力耦合作用下能源桩承载力和传热性能的试验方法。

2.0.11 岩土综合导热系数 comprehensive ground thermal conductivity

通过热响应测试得到的地埋管换热器或能源桩深度范围内岩土层的综合导热系数。

3 基本规定

3.0.1 静钻根植能源桩适用于填土、淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、圆砾、碎（砾）石土、全风化岩、强风化岩以及中风化软质岩等地层。

3.0.2 静钻根植能源桩适用于二 a、二 b 类环境。用于三 a、三 b 类环境或中、强腐蚀环境时，应采取防腐蚀措施，且其耐久性设计应满足国家现行相关规范的要求。

3.0.3 采用静钻根植能源桩作为地源热泵系统工程的地埋管换热器，应根据当地气候特点、场地地质条件、浅层地热能资源分布、建筑地基基础和地下结构设计、建筑环境与能源应用要求等因素，进行工程应用可行性评估，并应包括下列内容：

- 1 项目所在地浅层地热能资源条件分析；
- 2 技术经济性分析；
- 3 环境影响分析；
- 4 项目风险分析。

3.0.4 静钻根植能源桩系统设计与施工前，应具备下列文件：

- 1 场地与环境条件资料：场地规划面积、形状及坡度、邻近建（构）筑物的分布及其地基基础情况、周边地下管线分布情况等；
- 2 建筑结构与基础工程资料：工程总平面布置图、上部结构类型、结构安全等级、荷载分布及性质、桩基设计平面图、桩基的沉降和水平变形的控制要求等；
- 3 建筑供热、空调设计参数：项目全年冷、热负荷特性，气候条件，节能标准等；
- 4 场地施工可行性评估资料：场地机械进出场及现场运行条件、沉桩设备的性能及施工工艺对地质条件的适应性等；

5 工程勘察报告。

3.0.5 静钻根植能源桩系统应按照应用建筑面积或冷热负荷需求划分等级：

1 应用建筑面积小于 1000m^2 ，或冷热负荷小于 100kW 的系统为小型；

2 应用建筑面积不小于 1000m^2 且小于 5000m^2 ，或冷热负荷不小于 100kW 且小于 500kW 的系统为中型；

3 应用建筑面积不小于 5000m^2 ，或冷热负荷不小于 500kW 的系统为大型。

3.0.6 静钻根植能源桩的桩基设计等级应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。

3.0.7 静钻根植能源桩系统应根据系统等级与桩基设计等级确定勘察与测试要求，综合考虑换热需求、桩基承载要求和地层条件，对静钻根植能源桩进行结构与换热设计。

3.0.8 静钻根植能源桩系统投入使用后，应对建筑沉降进行不少于 2 年的监测。

4 勘察

4.1 一般规定

4.1.1 静钻根植能源桩设计前，应进行场地的岩土工程勘察和热物性勘察。

4.1.2 静钻根植能源桩的岩土工程勘察和热物性勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366，以及现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。

4.2 工程勘察

4.2.1 静钻根植能源桩的热物性勘察应包括下列内容：

1 工程水文地质条件，包括地下水类型、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；

3 岩土热物性试验和热响应测试。

4.2.2 热物性勘察的勘探孔数量应符合下列规定：

1 小型静钻根植能源桩系统的勘探孔不应少于 1 个；

2 中、大型静钻根植能源桩系统的勘探孔数量不应少于 2 个；

3 地层条件复杂或分区块布置静钻根植能源桩时，可适当增加勘探孔数量。

4.2.3 勘探孔数量为 1 个时，宜布置在静钻根植能源桩应用区域的中部或代表主要换热地层的点位上；不小于 2 个时，应根据应用区域平面形状和地层条件合理布置。

4.2.4 在满足工程勘察要求的前提下，热物性勘察孔可与普通勘察孔统一布置、结合共用。

4.2.5 场地各层代表性岩土试样的热物性参数,可采用热探针法、热平板法、热线法、热带法或平面热源法等实验室测试法确定。

4.2.6 中、大型静钻根植能源桩系统应通过原位热响应测试确定岩土体初始温度与综合热物性参数。

4.2.7 原位热响应测试宜采用钻孔埋管热响应测试方法进行,测试孔数量不应少于 2 个,测试方法应符合现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的相关规定。

5 测试

5.1 一般规定

5.1.1 桩基设计等级为甲级、乙级的静钻根植能源桩，应进行热负荷-结构荷载耦合测试。热负荷-结构荷载耦合测试宜结合单桩传热性能测试与桩基载荷试验进行。

5.1.2 需进行热负荷-结构荷载耦合测试时，测试桩数量不应少于3根；预计能源桩总数小于50根时，测试桩不应少于2根。

5.1.3 供暖和供冷两用的大型静钻根植能源桩系统应进行向岩土体取热和排热两种工况的测试。

5.2 单桩传热性能测试

5.2.1 单桩传热性能测试可分为单桩热响应测试和单桩热性能测试两种。

5.2.2 若在桩身和桩周岩土体中埋有温度传感器，传感器测得连续3d的温度变化低于0.5℃时，可进行单桩传热性能测试。否则，单桩传热性能测试宜在静钻根植能源桩施工完成21d后进行。

5.2.3 单桩热响应测试和热性能测试应符合附录A的规定。

5.2.4 进行单桩热响应测试时，测试桩应达到传热准稳态要求。数据处理时，应舍弃准稳态之前时间段内的测试数据。桩身传热达到准稳态的时间，可按下式估算：

$$t_1 = \frac{5r_0^2}{\alpha} \quad (5.2.4)$$

式中： t_1 ——桩身传热达到准稳态时间（s）；

r_0 ——静钻根植能源桩的钻孔半径（m）；

α ——土的热扩散率（ m^2/s ）。

5.2.5 根植预制桩长径比不小于 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体综合导热系数;长径比小于 40 时,不宜采用线热源或柱热源模型,可采用有限元或有限体积等数值计算方法进行反分析。

5.2.6 静钻根植能源桩在给定循环流体进口温度和流量条件下的换热功率可通过单桩热性能测试获得。测试中循环流体进口温度和流量应保持恒定,并应记录循环流体出口温度随时间的变化。

5.2.7 静钻根植能源桩的每延米换热量可按式(5.2.7)计算:

$$q = \frac{m_w c_w (T_{out} - T_{in})}{L} \quad (5.2.7)$$

式中: q ——单桩每延米换热量 (W/m);

m_w ——循环流体的质量流量 (kg/s);

c_w ——循环流体的热容 (J/(kg·K));

T_{in} ——循环流体的进口温度 (°C);

T_{out} ——循环流体的出口温度 (°C);

L ——桩长 (m)。

5.3 热负荷-结构荷载耦合测试

5.3.1 热负荷-结构荷载耦合测试应进行不小于 1 次的温度循环。温度循环的最低温度应为设计温度最低值或相对于地基初始温度降低 10°C,温度循环的最高温度应为能源桩可能受到的最高温度,无地区经验时可取 40°C。每个温度循环应先进行升温,后进行降温,每次循环升温和降温时间均维持不小于 48h。温度循环作用结束后,应继续维持降温状态并进行单桩静载试验。

5.3.2 热负荷-结构荷载耦合测试应按附录 B 进行。需要明确桩身热-力学响应时,可在桩身内部埋设温度、应变等传感器。

6 构造与材料

6.1 一般规定

6.1.1 静钻根植能源桩构造与材料均应满足与岩土体进行热交换的功能，不应影响桩基结构安全和正常使用，且不应対场地生态环境造成不利影响。

6.1.2 静钻根植能源桩的管材与管件应满足地源热泵系统的设计工作年限，且在其工作年限内应满足稳定性要求。桩基结构性能应满足上部结构设计工作年限要求。

6.1.3 静钻根植能源桩的桩基构造与材料应符合国家和地方现行相关规定。预制桩的混凝土强度等级不宜低于 C80。用于拌制桩端水泥浆、桩周水泥浆的水泥，其强度等级不宜低于 42.5 级。

6.1.4 水泥浆的水灰比和设计用量应符合下列规定：

1 桩端水泥浆的水灰比宜取 0.6~0.7，扩底时其体积宜取扩底部位体积，不扩底时宜取桩端 3m 范围的钻孔体积；

2 桩周水泥浆的水灰比宜取 1.0~1.2，其体积不宜小于有效桩长范围内的钻孔体积减去桩端水泥浆体积及预制桩桩身体积后的 30%。

6.2 换热器构造

6.2.1 静钻根植能源桩的换热管回路可布置于预制桩外侧或内部。

6.2.2 换热管回路布置于预制桩外侧时，静钻根植能源桩的钻孔直径应大于预制桩外径，钻孔直径与预制桩外径之差不宜小于 100mm 且不应大于 150mm。

6.2.3 静钻根植能源桩的换热管回路形式可分为垂直单 U 型、垂直双 U 型等多种形式。封闭循环管道的形式与数量应根据桩径和

桩间距确定。单桩可均匀布置 1 个~2 个密闭 U 型换热管，且应采取 措施使 U 型换热管的两支管处于分开状态。多组 U 型换热管可通过串联或并联的方式连接。

6.2.4 密闭换热管回路可从承台底部引至集管，也可穿越基础底板布置。选择穿越基础底板时，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环或止水钢板，并对换热管和套管之间的间隙进行灌浆处理，或应采取其他可靠的防水措施。

6.2.5 静钻根植能源桩的换热管回路与水平总管连接时，宜采用并联连接。

6.3 管材与循环工质

6.3.1 静钻根植能源桩换热管回路的管材与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，管材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。

6.3.2 静钻根植能源桩换热管回路的管材与管件应符合下列规定：

1 管材及管件应符合现行行业标准《地源热泵系统用聚乙烯管材及管件》CJ/T 317 的相关规定，管材宜采用聚乙烯管，且管件应与管材材料相同；

2 管材的公称压力及使用温度应满足工程要求，其公称压力不小于 1.6MPa，且管外径及壁厚应符合现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的相关规定；

3 管材及管路设计使用寿命应满足地源热泵系统的设计工作年限，且不应少于 50 年；

4 管路最小弯曲半径应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 换热管路最小弯曲半径

安装温度 (°C)	PE100/PE100RC 管	PE-Xa 管
20	$20d$	$10d$
10	$35d$	$15d$
0	$50d$	$25d$

注： d 为管材外径。

6.3.3 静钻根植能源桩换热管回路内循环工质及防冻液的选取应符合现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的相关规定。

7 设计

7.1 一般规定

7.1.1 静钻根植能源桩系统应进行桩基结构与换热系统设计。桩基结构设计应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和地方现行相关规定。换热系统设计应符合现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的相关要求。

7.1.2 静钻根植能源桩系统初步设计所需资料应包括下列内容：

- 1 建筑全年冷热负荷需求；
- 2 地基土的热物性参数、地下水位及渗流情况；
- 3 桩基结构布置形式、可利用的桩数。

7.1.3 静钻根植能源桩的选型应符合下列规定：

- 1 最下节桩应采用 GE-PHDC 桩；
- 2 主要承受竖向压力时，最上节桩宜采用 PHC 桩或 PRHC 桩；
- 3 承受较大竖向拔力或较大水平荷载时，最上节桩宜采用 PRHC 桩。

7.1.4 静钻根植能源桩的规格与数量应根据建筑桩基布置与数量、桩基承担的建筑冷热负荷、场地水文地质条件、岩土体热物性及热泵机组性能等参数确定。

7.1.5 静钻根植能源桩的桩间距应充分考虑换热需要。群桩热干扰过大时，宜采用隔桩布置或分区布置等措施。

7.2 结构设计

7.2.1 静钻根植能源桩结构设计建议考虑热负荷-结构荷载耦合作用，根据桩基设计条件及上部荷载要求，进行桩基承载能力计算、稳定性验算、桩基变形计算和耐久性设计，且应符合现行国

家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。

7.2.2 静钻根植能源桩结构设计时，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；

3 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；进行承台裂缝控制验算时，应采用荷载效应标准组合；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；

4 桩基稳定性及抗震验算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。

7.2.3 群桩基础中采用部分能源桩设计时，宜考虑静钻根植能源桩与其他常规桩的不同工作性状，进行“能源桩-常规桩基-承台-上部结构”相互作用分析。

7.2.4 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：

$$\Delta\sigma = \eta_N \alpha_T \cdot \Delta T \cdot E_c \quad (7.2.4)$$

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

ΔT ——桩身温度变化量（ $^{\circ}\text{C}$ ）；

α_T ——桩身混凝土热膨胀系数，取 20°C 时的值（ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ）；

E_c ——桩身混凝土弹性模量（MPa）；

η_N ——桩身温度应力系数，取 $0.3\sim 0.85$ ，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。

7.2.5 根据单桩竖向热负荷-结构荷载耦合测试确定的静钻根植能源桩竖向承载力特征值 (R_a) 应按下式计算:

$$R_a = \frac{Q_{uk}^T}{K} \quad (7.2.5)$$

式中: Q_{uk}^T ——通过热负荷-结构荷载耦合测试计入温度作用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 2.0。

7.3 换热系统设计

7.3.1 中、大型静钻根植能源桩系统应根据原位热响应测试结果进行换热系统设计。

7.3.2 静钻根植能源桩系统进行建筑全年动态负荷分析与地基热平衡计算, 并应符合下列规定:

1 最小计算周期宜为 1 年。计算周期内, 系统总释热量宜与其总吸热量基本平衡, 两者比值宜在 0.8~1.25 之间。两者相差较大时, 宜增加辅助热源或冷源。

2 大型静钻根植能源桩系统的计算周期不应少于 10 年, 并应分析能源群桩之间的热干扰及桩周土的温度响应。

3 场地地下水流速不小于 $0.5 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 时, 可不进行地基热平衡计算。

7.3.3 静钻根植能源桩换热系统的进、出口温度应符合下列规定:

1 夏季工况下, 能源桩出口最高温度宜低于 33°C ;

2 冬季工况下, 能源桩进口最低温度宜高于 4°C 。

7.3.4 静钻根植能源桩系统的换热量不能满足建筑冷负荷或热负荷的要求时, 宜采用钻孔地埋管补充, 钻孔地埋管应满足现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的相关要求。若不具备布设钻孔地埋管的条件, 应采用增设辅助冷热源或采用与

其他冷热源系统联合运行的方式。

7.3.5 计算静钻根植能源桩系统换热功率时，环路集管不应包括在系统换热长度内。

7.3.6 静钻根植能源桩的换热管内流体应保持紊流流态，管内流速应根据系统换热能力和运行能耗综合考虑。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 静钻根植能源桩系统施工前应具备相应的工程勘察资料、设计文件和施工图纸，并应编制专项施工方案。施工方案除应包含常规静钻根植桩的施工内容外，尚应包括下列内容：

- 1 换热管材及管件的进场验收与存放保护措施；
- 2 随桩植管的具体施工工艺；
- 3 换热管在施工各阶段的保护措施；
- 4 水平环路集管与静钻根植能源桩的连接及沟槽回填方案；
- 5 各工序节点的试压、检漏及冲洗方案；
- 6 异常情况的应急预案。

8.1.2 施工前应进行技术交底，进行管道连接的施工人员应经专业技术培训后方可上岗。

8.1.3 桩基施工单位与水平环路集管的安装单位应建立工序交接与配合机制。静钻根植能源桩完成管路压力测试后，方可交接进行水平环路集管施工。

8.1.4 静钻根植能源桩系统的施工除应符合本规程规定外，尚应符合国家、行业和地方现行相关标准。

8.1.5 静钻根植能源桩施工记录应按本规程附录 D 的要求填写。

8.2 换热管路的制作与储运

8.2.1 换热管材的运输与储存应符合下列规定：

- 1 换热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；
- 2 换热管材在运送、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；

3 换热管材和管件应储存在现场干燥通风地段，不应在阳光下暴晒，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。

8.2.2 施工前应对换热管材外观、标签和证书进行检查。

8.2.3 静钻根植能源桩施工前应完成待埋设 U 型换热管制作，且符合下列规定：

1 换热管应采用热熔或电熔连接，并不应造成管径缩小。聚乙烯管道连接应符合现行行业标准《埋地塑料给水管道工程技术规程》CJJ 101 的相关规定；

2 换热管的 U 型弯管接头，宜选用定型的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 除 U 型弯管接头外，换热管应为整根管材，中间不应拼接；

4 U 型换热管的组对长度应满足与环路集管连接的要求，组对好的 U 型换热管的两开口端部，应及时密封；

5 U 型换热管制作完成后应依据现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的要求进行水压试验。

8.3 成桩工艺

8.3.1 静钻根植能源桩的施工应先按照设计要求进行钻孔和扩底，然后注入桩端水泥浆和桩周水泥浆，最后将换热管与根植预制桩一同植入已成孔内至设计标高。

8.3.2 采用焊接接桩时，除应符合相关标准规定外，尚应符合下列规定：

1 焊接应采用 CO₂ 气体保护焊；

2 焊接时，应防止焊接飞溅物烫伤或高温损坏换热管；

3 焊接完成后，桩接头应自然冷却后方可继续沉桩，自然冷却时间不应少于 5min，严禁用水冷却或焊好即沉桩；

4 沉桩时，桩焊缝与换热管接触部位应采取隔热防护措施，

换热管不应直接接触高温焊缝。

8.3.3 植桩下管应同步进行，且符合下列要求：

- 1 植桩应和注浆保持连续，植桩应在桩端水泥浆初凝前完成；
- 2 植桩前，待埋设的 U 型换热管宜注水保压；
- 3 植桩前，应将待埋设的 U 型换热管的弯管接头与预制桩固定，然后随桩同步植入已成孔内；
- 4 植桩时，宜采用依靠预制桩自重沉桩方式，压桩力不应大于 60t，沉桩速度应根据土层与试桩情况确定；
- 5 植桩时，应每隔 2m~4m 安装固定支架将 U 型换热管与预制桩身固定，并将 U 型换热管两支管分开；
- 6 植桩时，应采用检测尺对桩进行定位，桩位允许偏差为 30mm；
- 7 植桩时，桩的垂直度允许偏差为 0.5%；
- 8 应采用专用工具将已沉桩节固定，后吊装上节桩；
- 9 最后一节桩沉至地面附近时，应采用送桩器将桩进行固定、校正和送桩；
- 10 送桩前，应对换热管进行封堵，将管头固定于桩身，并采取可靠保护措施，换热管头宜略低于桩顶。

8.4 环路集管施工

8.4.1 在水平环路集管施工前应对静钻根植能源桩的换热管路进行水压试验，检验管路密闭性。

8.4.2 水平环路集管施工应符合下列要求：

- 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 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。

3 换热管路与环路集管装配完成后，应进行水压试验，确认无泄漏后再浇筑混凝土或回填。

4 环路集管铺设前，沟槽底部铺设的细砂厚度应大于管径；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。

5 换热管路穿越基础底板时，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，或应采取其他严格的防水措施。

8.4.3 承台混凝土应一次浇筑完成，浇筑过程不宜过快，且应避免混凝土直接冲击换热管路；桩体及锚固钢筋埋入承台的长度应符合设计要求。

8.5 管路压力测试及冲洗

8.5.1 静钻根植能源桩系统管道施工时，应根据现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的要求，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。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；不得以气压试验代替水压试验。水压试验压力应符合下列规定：

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

2 工作压力大于 1.0MPa 时，试验压力应为工作压力加 0.5MPa。

8.5.2 水压试验步骤应符合下列规定：

1 换热管随桩植入前，应做第一次水压试验。试验压力下稳压至少 15min，稳压后压力降不大于 3%，且无泄漏现象；将其密封后，在有压状态下随桩植入钻孔内，完成换热管埋设。

2 承台施工前，应对能源桩的换热管路进行冲洗和水压试验，采用一定压力的水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，稳压时间不少于 15min；稳压后压力降不大于 3%，且无渗漏，即认为合格。

3 能源桩换热管路与环路集管装配完成后，回填前应进行第三次水压试验。在试验压力下，稳压时间不少于 30min，稳压后压力降不大于 3%，且无渗漏，即认为合格。

4 环路集管与机房分集水器连接完成后，回填前应进行第四次水压试验。在试验压力下，稳压时间不少于 2h，且无渗漏，即认为合格。

5 静钻根植能源桩换热系统安装完毕，冲洗、排气、回填、浇筑完成后，应进行第五次水压试验。在试验压力下，稳压时间不少于 12h，稳压后压力降不大于 3%，即认为合格。

8.5.3 静钻根植能源桩系统安装完成后，应进行流量、压力测试，并应符合下列规定：

1 根据静钻根植能源桩系统的规格大小，应对系统进行整体或部分的流量测试。

2 测试得到的系统压降应和设计值比较。当系统实测流量未达设计要求或水头损失异常增大时，应测量各支路的流量及压降，以排查是否存在堵塞或严重弯折的管路。

3 水头损失测量通过压力测量设备测得。

8.5.4 静钻根植能源桩系统安装完成后，应对系统进行冲洗。

9 验收

9.1 一般规定

9.1.1 静钻根植能源桩系统的检查与验收应分为施工前检验、施工检验、桩基工程验收与换热系统验收四个阶段。

9.1.2 静钻根植能源桩系统的管路质量检测项目和方法应符合现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366和《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243、现行行业标准《埋地塑料给水管道工程技术规程》CJJ 101的相关规定。

9.1.3 静钻根植能源桩的检验批质量验收应按照本规程附录E进行。

9.1.4 静钻根植能源桩的质量验收除应符合本规程外，尚应符合现行国家、行业与地方标准的相关规定。承台的验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的相关规定。

9.2 施工前检验

9.2.1 进入施工现场的管路、管件材料检验应包括下列内容：

- 1 管材、管件的质量合格证书；
- 2 管材、管件压力检测报告；
- 3 管材、管件的尺寸和外观。

9.2.2 进入施工现场的预制桩、水泥等材料检验应包括下列内容：

- 1 预制桩出厂合格证；
- 2 预制桩进场验收记录；
- 3 水泥合格证及质检报告。

9.3 施工检验

9.3.1 桩位经放线定位后，打桩应对桩位复核。沉桩过程中，应随时检查桩位标记的保护，防止桩位标记发生错乱和移位。

9.3.2 沉桩记录应齐全、真实、清晰，经相关人员签字确认后，方可作为有效的施工记录。

9.3.3 静钻根植能源桩管路安装过程中应进行检验，检验应符合下列规定：

1 管路材质、管径、壁厚应符合设计要求，表面无损伤与划痕；

2 管路连接方式和安装位置、换热管间距、换热管长度应符合设计要求；

3 换热管连接质量应符合设计要求；

4 换热管现场压力测试应符合本规程规定。

9.3.4 环路集管安装过程中应符合下列规定：

1 沟槽的宽度、深度应满足设计要求；

2 环路集管安装位置、间距应满足设计要求；

3 沟槽回填材料满足设计要求，沟槽底部细砂厚度应大于管直径，管路上部和左右水平向的砂土厚度或宽度不应小于管直径。

9.4 桩基工程验收

9.4.1 静钻根植能源桩的工程验收应由建设单位会同设计、施工、监理等单位共同进行验收，其检验批应单独组批进行；承载力施工质量应纳入地基与基础分部工程。

9.4.2 静钻根植能源桩施工完成后，应逐根冲洗桩内换热管路，并进行流量、水压测试。

9.4.3 静钻根植能源桩换热管回路的管材与管件质量的检查数量与方法应按照现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的相关要求进行。

9.4.4 静钻根植能源桩应进行单桩承载力检测，检测方法 & 检测数量应符合下列规定：

1 桩基设计等级为甲级、乙级的静钻根植能源桩，应通过静载荷试验进行检测；

2 检测数量不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根；总桩数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根；

3 当工程中包含静钻根植能源桩和常规静钻根植桩，且同一条件下两者设计承载力相同时，可将两者合并为一个检测批进行承载力检验，但能源桩受检数量不应少于总检测数量的 50%。

9.4.5 出现下列情况之一时，静钻根植能源桩应进行热负荷-结构荷载耦合测试检验单桩承载力：

1 桩基设计等级为甲级、乙级的静钻根植能源桩，前期未进行热负荷-结构荷载耦合测试时，应采用工程桩进行测试；

2 静钻根植能源桩的规格和管路类型对比前期进行热负荷-结构荷载耦合测试的试桩发生了较大的变化；

3 设计提出热负荷-结构荷载耦合测试专项要求。

9.4.6 静钻根植能源桩验收时应包含下列资料：

1 图纸会审记录、设计变更通知单和竣工图；

2 管材、管件、预制桩、水泥等主要材料的出厂合格证和进场验收记录；

3 静钻根植能源桩的施工记录与桩位复核签证单；

4 静钻根植能源桩内管路压力试验记录、冲洗试验记录；

5 接桩隐蔽验收记录；

6 经批准的施工组织设计或专项施工方案及技术交底资料；

7 设计等级为甲级、乙级的静钻根植能源桩的热负荷-结构荷载耦合测试报告；

8 桩基结构验收资料及其他相关文件。

9.5 换热系统验收

9.5.1 静钻根植能源桩系统应按照现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 和《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的相关规定进行管路冲洗和压力测试，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 8.5 的规定进行，待以上工序全部合格后再循环运行 2h 以上，确认水质正常后方可与机组连接。

9.5.2 静钻根植能源桩系统安装完成后，应进行现场专项检验，并提供检验报告。检验应包含下列内容：

- 1 静钻根植能源桩的验收应合格；
- 2 环路集管的管材、管件等材料应符合国家行业标准的规定；
- 3 环路集管的位置和深度均应符合设计要求；
- 4 环路集管的回填料符合设计要求；
- 5 水压试验应合格；
- 6 各环路流量应平衡，且满足设计要求；
- 7 防冻剂和防腐剂的特性及浓度应符合设计要求；
- 8 循环水流量及系统压力损失应符合设计要求。

附录 A 静钻根植能源桩传热性能测试

A.1 一般规定

A.1.1 静钻根植能源桩传热性能测试应在基桩施工完成，场地岩土温度恢复后进行。

A.1.2 测试桩的换热管设置方式、长度和数量应与工程桩保持一致，具有代表性。

A.1.3 测试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 测试仪器与测试桩的连接长度不宜大于 3m，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 20mm。

A.1.5 静钻根植能源桩传热性能测试可采用恒热流的热响应测试或恒定进水温度的热性能测试。

A.1.6 岩土初始平均温度可通过无负荷的换热管回路内流体循环或埋设温度传感器方式得到。

A.1.7 若桩身与桩周土体中埋有温度传感器，可将各测点的平均值作为岩土初始平均温度。

A.2 测试仪表

A.2.1 温度测量允许误差为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，流量测量允许误差为 $\pm 1\%$ ，功率测量允许误差为 $\pm 1\%$ 。

A.2.2 测试设备的测量仪表每年至少应进行一次标定。

A.3 测试方法和技术

A.3.1 静钻根植能源桩传热性能测试前应尽量减少对测试岩土体初始地温的影响，重新进行测试时应在岩土温度恢复后进行。

A.3.2 静钻根植能源桩传热性能测试应连续不间断，测试持续时

间应符合下列规定：

1 采用热响应测试时，测试桩出水温度连续 12h 变化量不大于 1.0°C ，且持续时间不小于 12h 时，可认为温度稳定终止测试，但总测试时间不应小于 48h；

2 采用热性能测试时，测试桩出水温度连续 12h 变化量不大于 0.5°C ，且持续时间不小于 24h 时，可认为温度稳定终止测试，但总测试时间不应小于 48h。

A.3.3 热响应测试时，测试桩加热功率应保持恒定。

A.3.4 热性能测试时，测试桩进水温度应保持恒定，设定进水温度应为具有代表性的系统设计运行温度。

A.3.5 静钻根植能源桩传热性能测试时，测试桩出水温度稳定后，其温度与岩土初始平均温度的温差宜在 5°C 以上，且维持时间不应少于 24h。

A.3.6 静钻根植能源桩内单管流速不应低于 0.2m/s 。

A.3.7 测试采集数据应包括流量、功率、进出水温度，数据采集的时间间隔不应大于 10min。

附录 B 静钻根植能源桩热负荷-结构荷载耦合测试

B.1 一般规定

B.1.1 测试宜结合建筑桩基单桩静载试验进行，并同时测定能源桩极限承载力和传热性能。

B.1.2 需要测试桩身温度和应变时，可在预制桩桩身埋设温度传感器和应变传感器。传感器应采取有效固定保护措施，防止在预制桩制作过程中损坏。桩身温度传感器和应变传感器宜成对布置于同一位置，并沿桩身截面对称布置。应变传感器应具备温度补偿功能。

B.1.3 需要分析测试对岩土体温度场的影响时，可在距测试桩中心 4m 内或桩与桩间距内布设测孔，测孔深度不应小于桩长。

B.1.4 传感器线缆穿出桩时应采取保护措施，可采用倒 L 型钢套管对线缆进行保护，且保护措施不应干扰静载试验加载。

B.1.5 桩身换热管外露部分应采取保温措施，保温层厚度不应小于 20mm。

B.2 测试仪表

B.2.1 施加温度负荷的测试设备应符合附录 A 的相关规定。

B.2.2 单桩静载试验测试设备应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的相关规定。

B.2.3 静载试验设备宜具备伺服控制系统，可施加稳定的桩顶荷载。

B.2.4 桩身应变传感器分辨率应不小于 $1\mu\epsilon$ ，桩身与测孔内的温度传感器分辨率应不大于 0.1°C 。

B.3 测试方法和技术

B.3.1 测试可分为无载变温阶段和静载试验阶段，无载变温阶段可不安装加载装置，但应测量桩顶位移、进出口水温与流量。

B.3.2 测试桩在无载变温阶段应注意控制变温速度，采用换热功率控制法时，单桩换热功率不宜超过 50W/m。

B.3.3 测试桩在进入静载试验阶段之前，应完成无载变温阶段测试，并在整个静载试验阶段维持测试要求的目标温度或功率。静载试验阶段的试验方法应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的相关规定。

B.3.4 测试全过程宜持续测量桩顶位移、进出口水温与流量。测试桩身与桩周测孔布置有传感器时，应同步测量并记录各测点结果。

B.3.5 通过热负荷-结构荷载耦合测试确定能源桩传热性能应符合附录 A 的相关规定，放热和取热两种工况可结合温度循环过程进行，每一种工况持续时间不宜小于 48h。

B.3.6 测试结束后应绘制荷载-位移曲线、位移-时间对数曲线等分析曲线，计入温度作用的单桩竖向极限承载力的判定标准应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的相关规定。

B.3.7 为设计提供依据时，计入温度作用的单桩竖向极限承载力的统计取值应符合下列原则：

1 参加统计的测试桩，满足其极差不超过平均值的 30%时，可取其平均值为单桩竖向极限承载力；极差超过平均值的 30%时，应分析原因，结合工程具体情况综合确定极限承载力，不能明确极差过大的原因时，宜增加试桩数量；

2 测试桩数量小于 3 根或桩基承台下的桩数不大于 3 根时，应取低值。

B.3.8 单桩竖向承载力特征值应按单桩竖向极限承载力的 50% 取值。

B.3.9 测试成果应包括下列内容：

- 1 测试桩在放热和取热两种工况下的传热性能；
- 2 计入温度作用的单桩竖向极限承载力及竖向承载力特征值。

附录 C 地热利用型先张法预应力混凝土竹节桩

C.0.1 地热利用型先张法预应力混凝土竹节桩（以下简称地热竹节桩）按节外径及桩身直径（mm）可分为 500-390、550-400、600-450、650-500、700-550、800-600、900-700、1000-800 和 1200-1000 等型号。

C.0.2 地热竹节桩按混凝土有效预压应力值可分为 A 型、AB 型、B 型和 C 型。

C.0.3 地热竹节桩编号规则，如图 C.0.3 所示。若地热竹节桩节外径 650mm、桩身外径 500mm、壁厚 100mm、AB 型、桩顶扩头端的桩径为 600mm、桩底扩头端的桩径为 500mm、长度为 13m、桩身混凝土强度为 C80，则标记为：GE-PHDC 650-500(100)AB-500/600-13 C80。

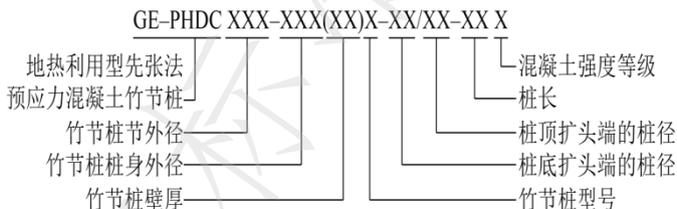


图 C.0.3 地热利用型先张法预应力混凝土竹节桩编号示意图

C.0.4 地热竹节桩的结构形式与配筋示意图，如图 C.0.4 所示。

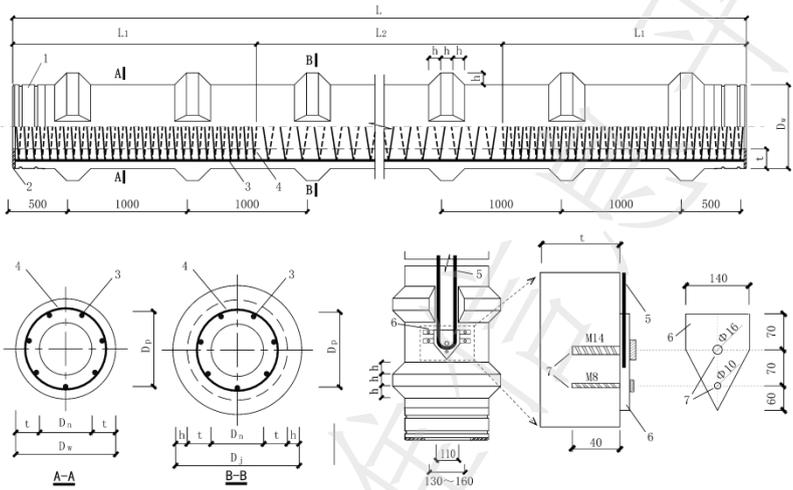


图 C.0.4 地热利用型先张法预应力混凝土竹节桩结构形式与配筋示意图

- 1—裙板；2—端板；3—预应力钢筋；4—螺旋箍筋；
 5—换热管；6—固定盒；7—固定螺栓；L—桩长；
 L₁—桩端加密区长度；L₂—非加密区长度；t—壁厚；
 h—竹节凸起高度；D_j—竹节外径；D_n—桩身内径；
 D_w—桩身直径；D_p—预应力钢筋分布圆直径

C.0.5 地热竹节桩（GE-PHDC）的桩身配筋及力学性能宜符合表 C.0.5-1~表 C.0.5-2 的要求。

表 C.0.5-1 地热利用型先张法预应力混凝土竹节桩 (GE-PHDC) 桩身配筋及力学性能表 (混凝土强度等级为 C80)

节 外 径 (mm)	桩身 外径 (mm)	壁 厚 (mm)	型 号	预应力 钢筋配筋	螺旋 箍筋 规格	单节 桩长 (m)	混凝土 有效预压应 力计算值 (MPa)	桩身 开裂弯矩 标准值 $M_{cr,k}$ (kN·m)	桩身 极限弯矩 标准值 $M_{u,k}$ (kN·m)	桩身 开裂剪力 标准值 $V_{cr,k}$ (kN)	桩身 受弯承载 力设计值 [M] (kN·m)	桩身 受剪承载 力设计值 [V] (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 [M] (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响)[R] (kN)	按标准组合 计算的桩身轴 向抗裂拉力 $N_k \leq$ (kN)
500	390	90	AB	9Φ ^D 9.0	Φ ^b 4	7~14	5.65	63	104	185	78	150	489	2588	493
			B	9Φ ^D 10.7			7.64	74	140	207	105	169	688		674
			C	12Φ ^D 10.7			9.74	87	176	228	131	188	918		871
550	400	95	AB	7Φ ^D 10.7	Φ ^b 4	7~14	5.75	69	115	200	87	163	535	2777	539
			B	10Φ ^D 10.7			7.87	83	157	226	118	185	765		747
			C	13Φ ^D 10.7			9.81	95	194	247	144	203	994		942
600	450	95	AB	8Φ ^D 10.7	Φ ^b 4	7~15	5.66	94	154	229	116	185	612	3233	617
			B	8Φ ^D 12.6			7.56	111	205	255	154	208	850		833
			C	12Φ ^D 12.6			10.61	138	282	292	209	241	1275		1192
600	450	110	AB	9Φ ^D 10.7	Φ ^b 4	7~15	5.73	99	167	260	126	211	688	3585	693
			B	9Φ ^D 12.6			7.66	117	222	290	167	237	956		936
			C	12Φ ^D 12.6			9.76	137	280	319	208	263	1275		1209
650	500	100	A	11Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.74	116	173	253	131	204	598	3834	610
			AB	11Φ ^D 10.7			6.45	136	235	283	177	230	841		838
			B	11Φ ^D 12.6			8.58	161	310	316	232	259	1168		1129
			C	13Φ ^D 12.6			9.86	177	353	334	263	275	1381		1308

续表C.0.5-1

节 外 径 (mm)	桩身 外径 (mm)	壁 厚 (mm)	型 号	预应力 钢筋配筋	螺旋 箍筋 规格	单节 桩长 (m)	混凝土 有效预压应 力计算值 (MPa)	桩身 开裂弯矩 标准值 M_{crk} (kN·m)	桩身 极限弯矩 标准值 $M_{u,k}$ (kN·m)	桩身 开裂剪力 标准值 V_{crk} (kN)	桩身 受弯承载 力设计值 [M] (kN·m)	桩身 受剪承载 力设计值 [V] (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 [M] (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响)[R] (kN)	按标准组合计 算的桩身轴向 抗裂拉力 $N_k \leq$ (kN)
650	500	125	A	12Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.44	121	180	299	135	240	652	4493	669
			AB	12Φ ^D 10.7			6.06	142	245	334	184	271	918		920
			B	12Φ ^D 12.6			8.07	168	326	372	244	305	1275		1241
			C	15Φ ^D 12.6			9.74	190	390	401	289	330	1593		1512
700	550	110	A	12Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.31	148	210	297	158	239	652	4639	670
			AB	12Φ ^D 10.7			5.88	172	287	331	216	269	918		922
			B	12Φ ^D 12.6			7.86	204	381	369	286	302	1275		1245
			C	15Φ ^D 12.6			9.48	230	456	398	340	327	1593		1518
700	550	125	A	14Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.56	159	237	337	178	271	761	5092	779
			AB	14Φ ^D 10.7			6.21	186	323	376	243	306	1071		1071
			B	14Φ ^D 12.6			8.28	221	428	420	320	344	1487		1443
			C	17Φ ^D 12.6			9.74	246	500	448	371	369	1806		1713
800	600	110	A	14Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.50	189	271	333	205	268	761	5167	780
			AB	14Φ ^D 10.7			6.13	221	370	372	279	302	1071		1072
			B	14Φ ^D 12.6			8.17	261	491	415	368	340	1487		1446
			C	17Φ ^D 12.6			9.62	291	573	443	427	364	1806		1717
800	600	130	A	16Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.53	203	300	385	226	310	870	5857	891
			AB	16Φ ^D 10.7			6.18	237	409	429	307	349	1224		1225
			B	16Φ ^D 12.6			8.23	281	542	479	405	393	1700		1651
			C	20Φ ^D 12.6			9.92	319	647	517	480	425	2125		2010

续表C.0.5-1

节 外 径 (mm)	桩身 外径 (mm)	壁 厚 (mm)	型 号	预应力 钢筋配筋	螺旋 箍筋 规格	单节 桩长 (m)	混凝土 有效预压应 力计算值 (MPa)	桩身 开裂弯矩 标准值 M_{crk} (kN·m)	桩身 极限弯矩 标准值 $M_{u,k}$ (kN·m)	桩身 开裂剪力 标准值 V_{crk} (kN)	桩身 受弯承载 力设计值 [M] (kN·m)	桩身 受剪承载 力设计值 [V] (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 [M] (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响)[R] (kN)	按标准组合计 算的桩身轴向 抗裂拉力 $N_k \leq$ (kN)
900	700	110	A	12Φ ^D 10.7	Φ ^b 6	7~15	4.51	279	392	397	297	320	918	6221	940
			AB	24Φ ^D 9.0			6.20	327	540	445	408	362	1305		1306
			B	24Φ ^D 10.7			8.35	390	721	499	541	409	1836		1780
			C	24Φ ^D 12.6			10.95	469	928	557	687	459	2550		2372
900	700	130	A	13Φ ^D 10.7	Φ ^b 6	7~15	4.29	296	414	451	313	362	994	7103	1021
			AB	26Φ ^D 9.0			5.92	346	572	505	431	410	1414		1420
			B	26Φ ^D 10.7			7.98	412	768	566	576	463	1989		1939
			C	26Φ ^D 12.6			10.49	494	994	632	737	520	2762		2589
1000	800	110	A	15Φ ^D 10.7	Φ ^b 6	7~15	4.79	398	570	472	432	380	1147	7276	1170
			AB	15Φ ^D 12.6			6.44	464	767	525	579	427	1593		1589
			B	30Φ ^D 10.7			8.83	561	1041	593	779	487	2295		2208
			C	30Φ ^D 12.6			11.54	676	1330	662	982	546	3187		2936
1000	800	130	A	16Φ ^D 10.7	Φ ^b 6	7~15	4.48	423	597	533	451	429	1224	8349	1254
			AB	16Φ ^D 12.6			6.04	491	805	593	608	481	1700		1704
			B	32Φ ^D 10.7			8.30	592	1100	669	824	548	2448		2375
			C	32Φ ^D 12.6			10.89	711	1418	747	1049	616	3400		3166
1200	1000	130	A	32Φ ^D 9.0	Φ ^b 6	7~15	4.87	759	1092	706	826	569	1740	10842	1774
			AB	32Φ ^D 10.7			6.62	891	1482	789	1118	642	2448		2434
			B	32Φ ^D 12.6			8.79	1059	1951	881	1461	722	3400		3274
			C	32Φ ^D 14.0			10.44	1190	2291	944	1701	778	4188		3930

表C.0.5-2 地热利用型先张法预应力混凝土竹节桩（GE-PHDC）桩身配筋及力学性能表（混凝土强度等级为C100）

节 外 径 (mm)	桩身 外径 (mm)	壁 厚 (mm)	型 号	预应力 钢筋配筋	螺旋 箍筋 规格	单节 桩长 (m)	混凝土 有效预压应 力计算值 (MPa)	桩身 开裂弯矩 标准值 M_{crk} (kN·m)	桩身 极限弯矩 标准值 $M_{u,k}$ (kN·m)	桩身 开裂剪力 标准值 V_{crk} (kN)	桩身 受弯承载 力设计值 [M] (kN·m)	桩身 受剪承载 力设计值 [V] (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 [M] (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响)[R] (kN)	按标准组合 计算的桩身轴 向抗裂拉力 $N_k \leq$ (kN)
500	390	90	AB	9Φ ^D 9.0	Φ ^b 4	7~14	5.67	63	104	192	78	155	489	3165	494
			B	9Φ ^D 10.7			7.67	75	140	215	105	175	688		676
			C	12Φ ^D 10.7			9.79	87	176	236	131	194	918		873
550	400	95	AB	7Φ ^D 10.7	Φ ^b 4	7~14	5.77	69	115	208	87	168	535	3396	540
			B	10Φ ^D 10.7			7.91	83	157	234	118	191	765		748
			C	13Φ ^D 10.7			9.87	96	194	256	145	210	994		945
600	450	95	AB	8Φ ^D 10.7	Φ ^b 4	7~15	5.67	94	154	237	116	192	612	3953	617
			B	8Φ ^D 12.6			7.59	111	205	264	154	216	850		835
			C	12Φ ^D 12.6			10.68	139	283	303	210	249	1275		1196
600	450	110	AB	9Φ ^D 10.7	Φ ^b 4	7~15	5.75	99	167	270	126	218	688	4384	694
			B	9Φ ^D 12.6			7.69	117	222	300	167	245	956		938
			C	12Φ ^D 12.6			9.81	137	281	331	209	272	1275		1212
650	500	100	A	11Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.76	116	173	263	131	212	598	4689	611
			AB	11Φ ^D 10.7			6.48	136	235	294	177	239	841		840
			B	11Φ ^D 12.6			8.62	162	310	328	232	268	1168		1131
			C	13Φ ^D 12.6			9.92	177	354	347	263	285	1381		1310
650	500	125	A	12Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.45	122	180	311	135	249	652	5495	670
			AB	12Φ ^D 10.7			6.08	142	246	346	185	281	918		921
			B	12Φ ^D 12.6			8.11	168	326	386	244	316	1275		1243
			C	15Φ ^D 12.6			9.79	190	390	416	290	342	1593		1516

续表C.0.5-2

节 外 径 (mm)	桩身 外径 (mm)	壁 厚 (mm)	型 号	预应力 钢筋配筋	螺旋 箍筋 规格	单节 桩长 (m)	混凝土 有效预压应 力计算值 (MPa)	桩身 开裂弯矩 标准值 M_{crk} (kN·m)	桩身 极限弯矩 标准值 $M_{u,k}$ (kN·m)	桩身 开裂剪力 标准值 V_{crk} (kN)	桩身 受弯承载 力设计值 [M] (kN·m)	桩身 受剪承载 力设计值 [V] (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 [M] (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响)[R] (kN)	按标准组合计 算的桩身轴向 抗裂拉力 $N_k \leq$ (kN)
700	550	110	A	12Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.32	148	210	309	158	248	652	5673	671
			AB	12Φ ^D 10.7			5.90	173	287	344	216	278	918		924
			B	12Φ ^D 12.6			7.89	204	381	383	286	313	1275		1247
			C	15Φ ^D 12.6			9.54	230	457	413	340	339	1593		1522
700	550	125	A	14Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.57	159	237	350	179	282	761	6227	780
			AB	14Φ ^D 10.7			6.24	186	323	390	243	317	1071		1073
			B	14Φ ^D 12.6			8.32	221	428	435	320	356	1487		1446
			C	17Φ ^D 12.6			9.79	246	500	465	372	382	1806		1718
800	600	100	A	14Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.51	189	272	346	205	278	761	6318	781
			AB	14Φ ^D 10.7			6.16	221	371	386	279	313	1071		1074
			B	14Φ ^D 12.6			8.21	262	491	430	368	352	1487		1449
			C	17Φ ^D 12.6			9.68	291	574	459	427	377	1806		1721
800	600	130	A	16Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	7~15	4.55	203	300	400	226	321	870	7162	892
			AB	16Φ ^D 10.7			6.20	238	409	445	308	362	1224		1227
			B	16Φ ^D 12.6			8.27	282	543	497	406	407	1700		1654
			C	20Φ ^D 12.6			9.98	319	648	535	481	440	2125		2015
900	700	110	A	12Φ ^D 10.7	Φ ^b 6	7~15	4.52	279	392	413	297	332	918	7608	941
			AB	24Φ ^D 9.0			6.22	328	540	462	408	375	1305		1308
			B	24Φ ^D 10.7			8.39	390	722	517	542	423	1836		1784
			C	24Φ ^D 12.6			11.02	469	929	577	688	476	2550		2379

续表C.0.5-2

节 外 径 (mm)	桩身 外径 (mm)	壁 厚 (mm)	型 号	预应力 钢筋配筋	螺旋 箍筋 规格	单节 桩长 (m)	混凝土 有效预压应 力计算值 (MPa)	桩身 开裂弯矩 标准值 M_{crk} (kN·m)	桩身 极限弯矩 标准值 $M_{u,k}$ (kN·m)	桩身 开裂剪力 标准值 V_{crk} (kN)	桩身 受弯承载 力设计值 [M] (kN·m)	桩身 受剪承载 力设计值 [V] (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 [M] (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响)[R] (kN)	按标准组合计 算的桩身轴向 抗裂拉力 $N_k \leq$ (kN)
900	700	130	A	13Φ ^D 10.7	Φ ^b 6	7~15	4.30	296	415	469	313	376	994	8686	1022
			AB	26Φ ^D 9.0			5.94	346	572	524	432	425	1414		1423
			B	26Φ ^D 10.7			8.02	412	768	587	576	480	1989		1943
			C	26Φ ^D 12.6			10.56	495	995	655	737	539	2762		2596
1000	800	110	A	15Φ ^D 10.7	Φ ^b 6	7~15	4.80	398	571	490	432	395	1147	8897	1172
			AB	15Φ ^D 12.6			6.47	464	767	544	579	443	1593		1591
			B	30Φ ^D 10.7			8.88	562	1042	615	780	504	2295		2213
			C	30Φ ^D 12.6			11.62	677	1332	686	983	566	3187		2945
1000	800	130	A	16Φ ^D 10.7	Φ ^b 6	7~15	4.49	423	598	554	452	445	1224	10210	1255
			AB	16Φ ^D 12.6			6.06	491	806	615	608	499	1700		1707
			B	32Φ ^D 10.7			8.34	592	1102	694	825	568	2448		2382
			C	32Φ ^D 12.6			10.96	712	1420	775	1050	638	3400		3175
1200	1000	130	A	32Φ ^D 9.0	Φ ^b 6	7~15	4.88	760	1093	733	827	591	1740	13258	1776
			AB	32Φ ^D 10.7			6.64	892	1484	818	1119	665	2448		2439
			B	32Φ ^D 12.6			8.83	1060	1954	913	1463	748	3400		3281
			C	32Φ ^D 14.0			10.50	1192	2295	979	1703	806	4188		3940

附录 D 静钻根植能源桩施工记录表

表 D 静钻根植能源桩施工记录表

工程名称						
施工日期				桩 号		
预制桩组合方式						
自然地面标高			钻孔深度			
钻孔直径			扩底高度			
扩底直径			桩顶标高			
管道规格与材质			管道深度			
植桩前管道试压	试验压力: ___ MPa; 稳压时间: ___ min; 压降: ___ %					
钻孔、修孔、扩孔及拔杆过程记录						
项 目	开始时间			完成时间		
钻孔过程						
修孔过程						
扩底过程						
拔杆过程						
植桩下管过程记录						
序号	桩型	接桩开始时间	接桩完成时间	沉桩开始时间	沉桩完成时间	沉桩管道压力
1						
2						
总桩长		桩校正完成时间		管道终压		管道封堵情况
备注:						

续表 D

桩端水 泥设计 用量 (kg)	桩周水 泥设计 用量 (kg)	桩端水 泥实际 用量 (kg)	桩周水 泥实际 用量 (kg)	水泥设 计用量 合计 (kg)	水泥实 际用量 合计 (kg)	桩端 水灰比	桩周 水灰比
专业监理工程师： 年 月 日		专业质量检查员： 年 月 日			记录： 年 月 日		

附录 E 静钻根植能源桩检验批质量验收记录表

表 E 静钻根植能源桩检验批质量验收记录表

单位工程			分部工程			分项工程		
施工单位			项目负责人			检验批容量		
分包单位			分包单位项目负责人			检验批部位		
施工依据				验收依据				
验收项目			设计要求及规范规定		最小/实际抽样数量	检查记录	检查结果	
			单位	数值				
主控项目	1	水泥质量	合格					
	2	换热管材、管件质量	合格					
	3	预制桩性能	合格					
	4	桩身完整性	按基桩检测技术规范					
	5	桩位偏差	mm	符合相关规范				
	6	冲洗、水压试验	见本规程 8.5					
	7	承载力	见本规程 9.4					
一般项目	1	预制桩外观质量、尺寸偏差	符合相关规范					
	2	钻孔深度	mm	+300 0				
	3	钻孔直径	mm	+20 0				
	4	扩底直径	mm	+50 0				
	5	扩底高度	mm	+150 0				

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

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
《岩土工程勘察规范》GB 50021
《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243
《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366
《埋地塑料给水管道工程技术规程》CJJ 101
《地源热泵系统用聚乙烯管材及管件》CJ/T 317
《建筑桩基技术规范》JGJ 94
《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

团体标准

静钻根植能源桩技术规程

Technical specification for pre-bored grouted
planted geothermal energy piles

T/ZEDA 008 -2026

T/ZS 0817—2026

条文说明

全国团体标准信息平台

全国团体标准信息平台

目 次

1	总 则	50
3	基本规定	51
4	勘察	52
4.1	一般规定	52
4.2	工程勘察	52
5	测试	54
5.1	一般规定	54
5.2	单桩传热性能测试	55
5.3	热负荷-结构荷载耦合测试	57
6	构造与材料	58
6.1	一般规定	58
6.2	换热器构造	59
6.3	管材与循环工质	61
7	设计	62
7.1	一般规定	62
7.2	结构设计	63
7.3	换热系统设计	65
8	施工	67
8.1	一般规定	67
8.2	换热管路的制作与储运	68
8.3	成桩工艺	68
8.4	环路集管施工	69
8.5	管路压力测试及冲洗	69
9	验收	70

9.1	一般规定	70
9.2	施工前检验	70
9.3	施工检验	70
9.4	桩基工程验收	71
9.5	换热系统验收	71

1 总 则

1.0.1 地源热泵系统利用浅层地热能作为建筑供热与制冷，是一种重要的建筑绿色节能技术。近年来，建筑桩基兼作地源热泵系统埋管换热器的做法逐渐发展，称为能源桩技术。目前，能源桩技术在包括浙江省内的许多地区得到初步应用。静钻根植桩是近十年来在浙江等地发展成熟的一种桩基技术，它结合了钻孔灌注桩无挤土与预制桩桩身质量可控的优势。将静钻根植桩作为能源桩技术载体，其先钻孔搅拌注浆、后植入高强预制桩的施工方式为换热管高质量快速埋设提供了可靠的技术路径，可助力地源热泵技术与能源桩技术进一步推广应用，为建筑领域节能减排提供技术支撑。本规程对静钻根植能源桩的勘察、测试、构造与材料、设计、施工和验收进行了规定，为静钻根植能源桩技术的工程应用提供了技术指导与质量控制依据。

1.0.2 本条规定了本规程的适用范围和区域抗震设防烈度要求。建筑工程桩基形式包含竖向抗压、竖向抗拔与水平受荷的桩基。因浙江地区无抗震设防烈度高于7度区域，故本规程中按不高于7度控制。对于市政、桥梁、铁路、公路、港口、水利等工程的静钻根植能源桩，也可参考本规程使用，但应符合国家和地方现行有关标准的规定。

3 基本规定

3.0.1 本条明确了静钻根植能源桩适用的地层。静钻根植能源桩依托静钻根植桩施工设备进行施工。根据目前静钻根植桩施工设备条件以及工程经验，在本条提及的土层或岩层中均能够保证良好的成孔质量。

静钻根植能源桩在施工过程中，通过钻孔过程将土体切削并搅拌成流塑状态的水泥土，植桩过程中预制桩与换热管进行固定，并依靠桩的重力沉入孔内，流塑状态的水泥土从孔口溢出，且填充换热管与预制桩之间的间隙，无需后续回填。施工过程不会对周围土体产生扰动。

为避免换热管损坏，当需要穿越圆砾层或卵石层时，宜采取保护措施。对于圆砾、碎（砾）石土、全风化岩、强风化岩以及中风化软质岩作为持力层的情况，宜适当上移换热管 U 型头固定位置避开持力层。

3.0.2 静钻根植能源桩由静钻根植桩发展而来，主要由预制桩、换热管与水泥土组成。预制桩与换热管被水泥土包裹，该水泥土层能够有效延迟各种腐蚀介质的侵蚀作用，提高桩身的耐久性。

国家建筑标准设计图集《建筑结构设计规范应用图示》13SG108-1 中第 6.12 条规定“在腐蚀性等级为中、强腐蚀时，建议可采用静钻根植法施工的预制桩”。国家建筑标准设计图集《先张法预应力混凝土管桩》23G409 中第 2.2 条规定“本图集管桩适用于二 a、二 b 类环境，当用于三 a、三 b 类环境或中、强腐蚀环境时，应采取防腐蚀措施，并应符合相关规范的要求”。因此，静钻根植能源桩的适用环境等级与常规静钻根植桩一致。

3.0.3 静钻根植能源桩是地源热泵系统的地理管换热器，采用地源热泵系统之前，需对其技术可行性与经济性进行评估。浙江省多山地和丘陵、河网湖泊纵横、海岸线绵长，具有较复杂的地源热泵应用条件，不同功能的建筑物其负荷特性差异也较大，地源

热泵系统的设计和施工只有在综合考虑气候特点、地质条件和建筑用能特点的前提下才能取得良好的技术和经济效果。

3.0.5 应用建筑面积是指在同一工程中，应用静钻根植能源桩的各个单体建筑面积的总和。参考行业标准《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438-2018 的相关规定，将应用建筑面积为 5000m² 及以上或负荷 500kW 及以上的系统定义为大型静钻根植能源桩系统。

3.0.7 静钻根植能源桩具备承担结构荷载和浅层地热能交换的双重功能，其服役状态与受力机理较常规静钻根植桩更为复杂，在前期勘察测试与设计时应兼顾承载与换热两方面需求。由于不同项目的规模、重要性及地质复杂程度存在差异，应按照系统等级和桩基设计等级分类确定勘察与测试要求，并依据勘察与测试结果进行结构与换热设计。

3.0.8 工程实践表明，温度变化对桩基沉降的影响通常在前 2 个季节循环中较为显著。因此在静钻根植能源桩投入使用的前 2 年，应进行建筑沉降监测。

4 勘察

4.1 一般规定

4.1.1 静钻根植能源桩利用地下浅层地热能，既是建筑桩基，又是换热器。场地岩土工程条件决定了成桩的可行性与承载力，而岩土体热物性参数（如导热系数、比热容、初始平均温度等）则是换热系统设计与能效评估的核心依据。因此，静钻根植能源桩需要进行岩土工程勘察与热物性勘察。

4.2 工程勘察

4.2.1 岩土体是三相多孔介质材料，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，在满足国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009年版）的相关规定基础上，应加强对岩土体热物性的现场勘察，查明岩土层的结构、岩土体的温度、岩土体的热物性参数和地下水条件（静水位、水温、水质、分布、渗流方向与流速等）。

地下水渗流对静钻根植能源桩的传热性能有显著影响。静钻根植能源桩与岩土体的热交换有热对流与热传导两种形式。在砂土、碎石土等高渗透性地层中，地下水渗流产生的热对流能显著提高换热效率，并有助于缓解由于长期取热/排热导致的地温失衡，减小桩身的热-力响应。进行场地内地下水渗流速度与方向的勘察，可为评估地下水渗流影响和优化静钻根植能源桩设计方案提供依据。

静钻根植能源桩运行引起的土体温度变化可能会改变桩周土的工程性质。特别是对于饱和软黏土，温度升高会导致土骨架与孔隙水热膨胀，产生超静孔隙水压力，进而引发土体热固结和不可恢复变形。鉴于静钻根植能源桩常应用于深厚软土地区，大型系统的勘察阶段宜关注温度变化对土体固结特性与强度的影响，具体可参照行业标准《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438-2018的相关规定执行。

4.2.2 为保证静钻根植能源桩系统的安全运行和节能效果，本条参考行业标准《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438-2018及国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366-2005（2009年版），并充分考虑场地特征，结合地源热泵系统工程特点进行相应规定。勘探孔深度应满足国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009年版）和国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366-2005（2009年版）的相关规定。小型系统规模较小，勘探主要为揭示地层分布与基本物理性质，其土层热物性参数可参照相关规范确定。中、大型系统规模较大，单一孔数据可能无法代表整个场地的综合热物性水平，故规定勘探孔数量不应

少于 2 个。当地质条件复杂或静钻根植能源桩分区域设置时，建议增加勘探孔数量。若已有可靠的热物性参数，可直接采用已有数据，否则应进行岩土体热物性参数的测定。

4.2.3、4.2.4 勘探孔应均匀分布且具备场地代表性。为了节约工程成本，在满足取样和测试要求的前提下，热物性勘察孔可与岩土工程勘察孔共用。

4.2.5 本条列举了岩土试样热物性参数的实验室测试方法。由于地层通常是成层分布的，应针对不同土层分别取样测试。在获得各层土的热物性参数后，设计时通常需要计算深度范围内的加权平均值，作为岩土体的综合热物性参数。

4.2.6、4.2.7 实验室测试的土样通常受到扰动，且无法反映地下水渗流和地层原位应力状态对传热的影响，计算出的综合热物性参数往往与实际存在偏差。原位热响应测试能够直接反映场地岩土体的综合换热能力（包括热传导和热对流的综合作用），数据更加真实可靠。因此，投资较大、对系统能效要求较高的中、大型静钻根植能源桩系统，应进行原位热响应测试。需要说明的是，此阶段是为了获取岩土体综合热物性参数，故宜采用钻孔埋管进行，而非直接利用静钻根植能源桩进行测试。

5 测试

5.1 一般规定

5.1.1 静钻根植能源桩在服役期间因冷热循环交替会产生热胀冷缩，引起桩-土界面侧摩阻力分布变化并诱发桩身附加温度应力，从而影响基桩承载特性。目前国内外对于能源桩承载性能与沉降变形的温度效应认识尚不统一。对于考虑温度效应的单桩极限承载力计算仍处于探索阶段，单桩载荷试验仍是最可靠的确定方法。

根据浙江省工程建设标准《静钻根植桩基础技术规程》DB33/T

1134-2017 的相关规定，设计等级为甲级、乙级的静钻根植桩应通过单桩载荷试验确定承载力。因此，对于设计等级为甲级、乙级的静钻根植能源桩，应通过热负荷-结构荷载耦合测试获得计入温度作用的基桩承载力。该测试主要依托工程的设计试桩进行，其核心目的是为设计阶段确定基桩承载力提供直接、可靠的依据。

热负荷-结构荷载耦合测试的原理，是通过对比试桩施加温度变化和力学荷载，从而获得计入温度作用后的单桩承载力和换热性能。该测试相比单桩传热性能测试，或常规单桩载荷试验更为复杂，需要时间和经费投入。对于设计等级为丙级的静钻根植能源桩，考虑到工程规模较小且扩底工艺具备一定的承载力安全储备，可不进行热负荷-结构荷载耦合测试。需要指出的是，若工程按相关规范无需进行设计试桩，则无需专门进行单桩传热性能测试。能源桩的传热设计可依据工程勘察阶段获得的热物性参数结果或地区可靠经验值。

5.1.2 测试桩的布置应具有代表性。测试桩数量应符合行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014 中相关规定。

5.1.3 夏季向地下排热和冬季从地下取热是两种不同的传热过程，受流体粘度、对流换热系数及岩土体温度梯度的影响，静钻根植能源桩在取热和排热工况下的换热效率通常存在差异。大型系统对地温场的平衡和运行能效要求较高，仅进行单一类型的工况测试可能导致设计偏差，应进行两种工况测试。

5.2 单桩传热性能测试

5.2.1 本条明确了单桩换热性能测试的两种基本类型及其使用目的。单桩热响应测试采用恒定换热功率模式，目的是获取综合导热系数和热阻，为后续的桩基设计提供热物性参数。单桩热性能测试采用恒定进水温度模式，可直接测定在特定进水温度和流量下的单桩换热功率。

5.2.2 本条规定了测试前的休止时间要求。静钻根植能源桩施工

工艺涉及大量的桩周注浆和桩端扩底注浆。水泥浆液的水化反应会影响桩身及周围土体的温度。若在水化热未充分消散前进行测试，会导致岩土初始平均温度测定偏高，影响测试精度。对于埋设有温度传感器的桩，以实测温度变化率（连续 3d 变化 $<0.5^{\circ}\text{C}$ ）作为判据。对于未埋设传感器的桩，根据工程经验及水化热消散规律，规定了 21d 的休止期，以确保桩身温度恢复至与岩土体初始温度基本一致。

5.2.4、5.2.5 单桩热响应测试，首先要提供足够的测试时长，使热流能够克服桩身热阻，穿透到周围岩土地基中。静钻根植能源桩进入准稳态传热的时间明显大于钻孔埋管。以宁波为代表的深厚滨海软土地区，根植预制桩直径 400mm~600mm 的静钻根植能源桩进入准稳态传热的时间超过 36h，而钻孔埋管进入准稳态传热的时间大约为 15h。在实际测试中，应根据实测出水温度结合附录 A 相关规定综合确定测试时长，也可通过观察流体平均温度与时间的对数关系曲线出现线性段的时刻来辅助判定准稳态起始时间。

热响应测试数据分析一般采用线热源模型。静钻根植能源桩的换热管位于预制桩外侧，当预制桩长径比小于 40，桩基热响应传热过程与线热源或柱热源假定相差较大，不能用于进行数据分析。其他的理论模型对于静钻根植能源桩的适用性还需要进一步研究与讨论。有限元瞬态传热分析程序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）的有力工具。

5.2.6、5.2.7 单桩热性能测试与热响应测试不同。单桩热性能测试是在能源桩进口水温恒定的条件下进行的。例如冬季工况可采用进口水温为 5°C ，夏季工况可采用进口水温为 33°C 的测试工况。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°C ），本项测试可以获得准稳态换热功率。单桩热性能测试的准稳态换热功率，一般与进口水温成线性比例关系。

5.3 热负荷-结构荷载耦合测试

5.3.1、5.3.2 能源桩同时受上部结构荷载和温度耦合作用下的承载力计算，国内外尚未取得一致的认识。为保证桩基安全，建议采用热负荷-结构荷载耦合测试确定静钻根植能源桩的承载力。

典型重塑黏土的热固结试验结果表明，正常固结粘性土在正常荷载作用下，经受3次温度循环后其固结压缩量趋于稳定，且首个循环产生的压缩量最大。规定进行温度循环下的热负荷-结构荷载耦合测试，旨在模拟能源桩运行过程中的温度循环对桩-土界面产生累积塑性变形。

在不排水条件下，快速的温度变化对土体剪切强度最为不利。过高的变温幅度和过快的变温速率会导致桩-土界面处超静孔隙水压力急剧积聚，进而降低有效应力和界面剪切强度。因此，测试中应控制变温幅度与速率。无地区经验时，建议最低温度取地基初始温度降低 10°C ，最高温度取 40°C 。考虑到静钻根植能源桩的实际换热能力，采用恒热流法测试时，单桩换热功率不宜超过 50W/m 。

正常固结粘性土中的能源桩升温会引起桩-土界面孔隙水压力上升，降低有效应力；而随后的降温过程会导致桩身收缩，使桩-土界面法向应力减小，导致侧摩阻力降低。对于摩擦型静钻根植能源桩，经历升温、降温循环后，在维持降温状态下进行单桩静载试验是最不利工况。因此，本条规定在此工况下进行单桩静载试验，以确保安全储备。

根据宁波地区经验，桩身及桩周土体进入传热准稳态的时间通常超过 36h 。考虑到测试时间成本，规定每次循环的升温和降温维持时间均不小于 48h 。需要注意的是，每次循环的升温和降温维持时间也应该满足单桩传热性能测试持续时间的要求。

静钻根植桩承载力的发挥与桩端扩底部位水泥土、桩周水泥土的强度具有较高的相关性。水泥土强度判断的标准龄期通常为

90d, 以 28d 作为测试龄期偏于安全。为平衡测试成本与工期, 规定在水泥土龄期达到 28d 后方可进行静载测试, 但允许在龄期满 21d 后提前开展温度循环测试, 以优化工期安排。在条件具备时, 可适当延长试验休止时间和增加温度循环次数。

在工程实践中, 绝大多数热负荷-结构荷载耦合测试是为了验证基桩在温度与荷载耦合作用下的承载力与传热性能, 通过采集循环流体进、出口温度、流量、桩顶荷载与沉降量等数据, 即可满足要求, 无需在桩身内部埋设传感器。当需要具体掌握桩身内部温度场分布、热致侧摩阻力演化、中性点位置或桩身附加热应力时, 才需在桩身内部预埋温度、应变等传感器。设计人员可根据项目的重要性及数据需求, 选择是否埋设传感器。

6 构造与材料

6.1 一般规定

6.1.1 地基和地下水温度的年内变化幅度宜控制在 5°C 以下。这是因为过大的地下水温度变化会导致地下水诸多物理化学性质, 如 pH 值, 钙、氧气和二氧化碳的溶解度等的变化, 同时也会显著影响微生物的活性和生态平衡。

6.1.2 静钻根植能源桩中的换热管是埋设在桩周水泥土中的隐蔽工程, 一旦损坏无法修复或更换, 因此管材与管件应具有与地源热泵系统设计寿命相匹配的耐久性及稳定性。静钻根植能源桩换热系统的运行及报废均不得影响上部结构的正常使用。

6.1.3、6.1.4 静钻根植能源桩是基于静钻根植桩技术发展而来的, 其桩基构造与材料应符合浙江省工程建设标准《静钻根植桩基础技术规程》DB33/T 1134-2017 的规定。基于宁波余姚、慈溪等地的工程实践经验与相关测试研究成果, 常规静钻根植桩对水泥强度等级和水灰比的控制要求, 能够满足能源桩换热性能需求。实

测表明，水泥土的导热系数在 $1.6\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})\sim 1.8\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 之间，通常高于原位地基土的导热系数，不会成为桩-土热交换的传热瓶颈。

6.2 换热器构造

6.2.1 本条规定了换热管的布置位置。静钻根植桩采用“先钻孔注浆搅拌，后植入预制桩”的工艺。在将预制桩植入已成孔的过程中，预制桩的内、外侧均被流动状态的水泥土填充。利用这个特点，将换热管与预制桩固定并共同植入已成孔即可快速完成换热管埋设，水泥土自然形成导热介质与保护层，无需再次注浆回填。这是静钻根植能源桩区别于其他能源桩的特征和优势。考虑到施工便捷性，一般推荐换热管布置于预制桩外侧。必要时也可将换热管置于预制桩内部，同样无需注浆回填。

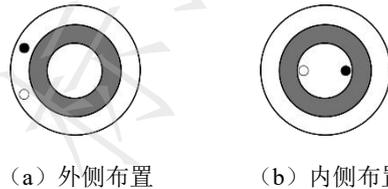


图 6-1 静钻根植能源桩换热管回路布置位置

6.2.2 本条规定了钻孔直径与预制桩外径之间的关系，旨在确保换热管安装空间与植桩质量。当换热管布置于预制桩外侧时，为防止预制桩植入过程中换热管与孔壁发生刮擦损坏，必须保证有足够的空间。规定钻孔直径与预制桩外径之差不少于 100mm （即单侧间隙不小于 50mm ），是为了容纳换热管（通常外径 $25\text{mm}\sim 32\text{mm}$ ）及固定配件，并确保换热管外侧有足够厚度的水泥土层。间隙也不宜过大，根据浙江省工程建设标准《静钻根植桩基础技术规程》DB33/T 1134-2017 的要求，规定钻孔直径与预制桩外径之差不应大于 150mm 。

6.2.3 本条列举了换热管回路的主要形式及布置原则。静钻根植能源桩的换热管回路可根据桩径大小和换热需求，灵活选用垂直单 U 型、双 U 型等形式。为减少管间热干扰，提高换热效率，应采取措施将 U 型管的两支管分开。

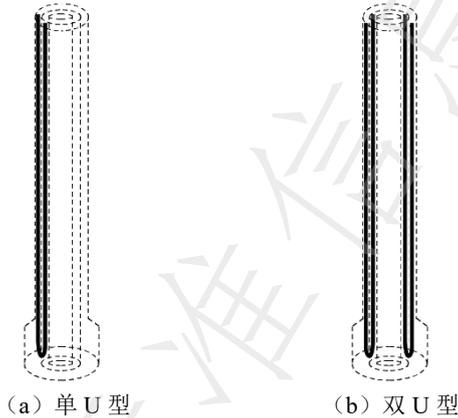


图 6-2 静钻根植能源桩换热管回路形式

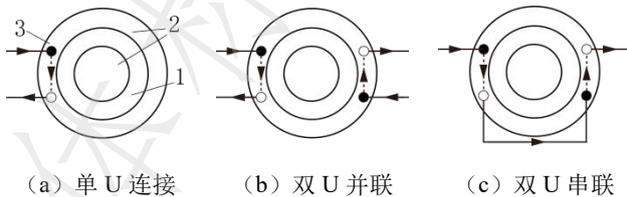


图 6-3 换热管回路连接方式

1—预制桩；2—水泥石；3—换热管

6.2.4 密闭换热管回路选择穿越基础底板时，应采取可靠防水措施。

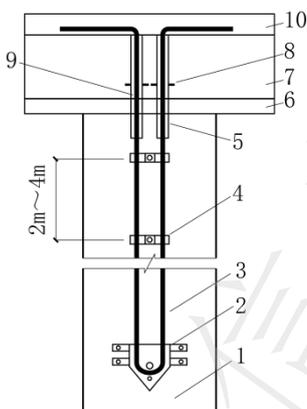


图 6-4 换热管固定与出桩节点构造

- 1—桩体；2—固定盒；3—换热管；4—固定支架；5—套管；
6—垫层；7—底板；8—止水环；9—灌浆密封；10—装饰层

6.3 管材与循环工质

6.3.1、6.3.2 管材的质量对静钻根植能源桩换热系统非常重要，采用的管材与管件均应满足地源热泵系统的设计工作年限，且不应少于 50 年。考虑到换热管随预制桩植入钻孔的过程中，存在换热管与钻孔壁刮擦的风险，聚乙烯管宜采用高密度材质，并将公称压力提高至不小于 1.6MPa，以提供更高的安全储备。

6.3.3 管内循环工质推荐采用水，有防冻要求的可添加防冻液。

7 设计

7.1 一般规定

7.1.1 静钻根植能源桩作为建筑结构基础和地源热泵换热器的结合体，设计时不能仅考虑单一功能，必须同时满足结构承载力极限状态、正常使用极限状态的要求，以及地源热泵系统的换热性能要求，确保结构安全与能源高效利用。

7.1.2 本条规定了初步设计阶段所需的资料。建筑负荷是确定静钻根植能源桩数量的依据；地基土热物性与水文条件是计算单桩换热能力的依据，特别是地下水渗流对静钻根植能源桩的换热影响显著，设计时应予以考虑。能源桩首先是桩基，受上部结构荷载和桩位布置限制。在初步设计阶段，必须明确可利用的桩基总数、长度及平面分布，以此评估是否满足建筑冷热负荷需求，或是否需要补充辅助冷热源。

7.1.3 本条规定了静钻根植能源桩的选型与配桩原则。GE-PHDC 桩具有特有的竹节状构造及沿桩身纵向设置的凹槽。将换热管嵌入凹槽内，可利用竹节凸起对管路进行保护，有效降低植桩过程中换热管与孔壁刮擦受损的风险。此外，采用 GE-PHDC 桩可发挥竹节与水泥土的嵌固作用，使预制桩与桩端扩底部位共同工作，有效提高桩端抗压及抗拔性能。因此，规定最下节桩应采用 GE-PHDC 桩。上节桩及中段桩可根据抗压、抗拔、水平承载力的需求进行选配，抗压时上节桩、中段桩可配置 PHC 桩或 PRHC 桩，抗拔、受水平荷载作用时，上节桩宜采用 PRHC 桩。同时，PHC、PRHC、GE-PHDC 桩组合使用时，宜根据荷载传递规律考虑侧摩阻力对桩身轴力的递减作用，进行合理配桩。PRHC 桩通过增配非预应力主筋，提高了桩身配筋率，增强了桩身抗弯承载力，改善了桩身延性，在受水平荷载作用时，上节桩宜优先选用。

对 GE-PHDC 桩的 A 型桩以及 PHC 桩的 A 型桩，因有效预压应力较低，配筋率较低，抗弯和抗剪承载力低，且延性差容易出现脆性破坏现象，承受水平荷载作用时不应选用。

7.1.5 桩间距首先应符合结构设计及浙江省工程建设标准《静钻根植桩基础技术规程》DB33/T 1134-2017 的规定。根据宁波等地工程实测及模拟分析，预制桩直径 400mm~600mm 的静钻根植能源桩，其显著热影响半径约为 1m，在 3m 处热干扰基本可忽略。

7.2 结构设计

7.2.1~7.2.3 与常规桩基相比，能源桩除了承受上部建筑荷载外，还受到较为显著的温度变化作用。因此，在其结构设计计算和确定桩的埋深与尺寸时，建议考虑如下结构-温度耦合效应：

1 温度变化会改变土体的抗剪强度、刚度及桩-土界面特性。宁波地区开展的温控三轴试验和温控压缩固结试验研究表明，不同土性对温度的敏感性差异显著。粉质黏土敏感性较高，粘质粉土次之，而砂质粉土受温度影响较小。对于饱和黏土，CU 试验显示围压越低，温度对剪切应力-应变的影响越显著。因此，对于穿越深厚软弱土或以粘性土为持力层的静钻根植能源桩，建议设计人员考虑温度作用对桩基沉降稳定性的影响；

2 温度变化引起的桩体径向和纵向胀缩受到周围岩土约束所引起的桩身附加温度应力。附加温度应力对能源桩身结构一致性的影响需要考虑。根据宁波等地工程实测，升温状态下引起的桩身附加温度应力会高于降温状态，但降温可能会引起桩身断面出现附加拉应力。因此，对于冬夏两用的静钻根植能源桩，设计时需要考虑附加温度应力对预制桩本身和承台的影响；

3 在实际工程中，常采用能源桩与常规桩基混合布置的形式，需考虑能源桩-常规桩基-承台-上部结构分析。能源桩受温度变化而产生附加变形，而常规桩仅受力变形，两者在承台约束下会产生不协调变形，导致承台内力重分布或产生微小倾斜。宁波等地

的工程实测与研究表明，承台的刚度能有效协调这种差异，且混合布置通常对控制整体沉降有利。但鉴于常规群桩分析理论难以量化温度效应，为确保重要结构的安全性，建议对设计等级为甲级的大型静钻根植能源桩系统进行相互作用分析，可通过数值模拟等手段评估相互作用的影响，并通过合理的设计、构造和限温措施保证结构安全。

静钻根植能源桩结构设计的目标是在给定的结构和变温荷载共同作用下，仍然满足建筑桩基规程规定的承载力极限状态设计和正常使用极限状态设计。静钻根植能源桩的结构设计目标和主要内容应包括：

- 1 承载力极限状态设计。应考虑变温对地基土力学性质影响；
- 2 正常使用极限状态设计。应考虑变温引起的桩体附加温度应力，还应妥善考虑季节性循环温度效应对桩体内力和沉降的影响。

7.2.4 桩身最大附加温度应力标准值计算取决于桩基受荷特点与桩身约束。桩基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。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。

本条提出桩身温度应力系数 η_N 的大小与桩-土界面性能和桩端约束强弱密切相关。表 7-1 汇总了多种工况下静钻根植能源桩的最大桩身应力系数试验值。综合多项实测数据，静钻根植能源桩的最大桩身温度应力系数主要分布在 0.3~0.85 之间。文献调研显示，国内外其他类型能源桩的最大桩身温度应力系数也主要分布在 0.36~0.86 之间。因此，建议静钻根植能源桩的桩身温度应力系数 η_N 的设计取值范围为 0.3~0.85。

表 7-1 静钻根植能源桩最大桩身温度应力系数试验值

项目名称	桩长 (m)	桩径 (mm)	持力层	桩顶荷载与约束	运行工况	最大桩身温度应力系数	备注说明
余姚中淳拌合楼	45	400	细砂	自由	连续升温	0.37 (0.46)	单桩无承台， 括号内表示 另一根试桩
					连续降温	0.24 (0.35)	
				静载	连续升温	0.67 (0.63)	
					连续降温	0.48	
宁慈线龙山车辆基地	60	600	砂质粉土	静载	连续升温	0.67	单桩无承台
				自由	连续升温	0.55	五桩承台中 单桩运行
						7层建筑	0.81
				7层建筑	连续降温	0.85	五桩承台中 单桩运行
						0.79	五桩承台中 四桩运行

7.3 换热系统设计

7.3.1 对于中、大型系统，其投资规模大、对地温场影响显著，因此要求根据原位热响应测试结果进行换热设计，以确保系统运行的可靠性和经济性。小型系统可按经验方法进行设计。

7.3.2 静钻根植能源桩换热系统全年总释热量与总吸热量失衡，将导致岩土体温度持续升高或降低，从而影响静钻根植能源桩的换热性能，降低换热系统的运行效率。因此，设计时应尽量保持两者平衡，比值控制在 0.8~1.25 之间。对于存在长期热不平衡风险的项目，需设置辅助冷热源进行调节。

对于大型系统,仅计算 1 年的冷热负荷无法反映土壤长期的温度漂移趋势。进行 10 年以上的动态负荷与地基热平衡计算,旨在评估长期运行后桩周土体温度的变化场,确保系统在全寿命周期内的换热性能稳定,并防止长期温度变化对桩基承载力产生不利影响。具体负荷计算方法可参照国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366-2005 的相关规定。

静钻根植能源桩的长期换热性能受地下水渗流的影响非常大,设计前需明确场地内地下水渗流情况。当地下水流速不小于 $0.5 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 时,地下水会带走多余的热量或冷量,可不进行地基热平衡计算。

7.3.3 岩土综合热物性参数、岩土初始平均温度、空调冷热负荷、夏季运行期间出口最高温度和冬季运行期间进口最低温度是静钻根植能源桩换热设计计算的必要参数。从换热系统的节能性与热泵运行的安全性考虑,在夏季,如果能源桩出口温度高于 33°C ,地源热泵系统的运行工况与常规的冷却塔相当,无法充分体现地源热泵系统的节能性;在冬季,如果能源桩进口温度低于 4°C ,有可能造成机组结冰,系统不能安全运行。

能源桩系统正常与合理运营时,桩与地基土温度变化对桩承载力的影响是可以忽略的。但黏土和粉土比砂土中的桩基受到的这种温度影响更大;有机软土的热敏感性也比较高。一般来说,通过工程桩从地基土中适量汲取热能,为房屋供热,可能导致桩周围土的温度从 $13^\circ\text{C} \sim 18^\circ\text{C}$ 降低至 $7^\circ\text{C} \sim 13^\circ\text{C}$ 。但过度的汲取,可能导致地基土出现冻融循环,严重影响桩基的承载能力,必须避免。相反的过程,即房屋制冷,桩与地基土的升温,则对建筑桩基稳定性影响较小。如果是供热和制冷交替进行,温度变化导致的地基土的变形则需要叠加考虑。数值分析表明,温度变化导致的建筑物的沉降变形可以达到静态荷载下变形的 10%,然而实际观测值要更小一些。因此,从桩基安全角度考虑,也应对能源桩进、出口温度进行限制。

7.3.4 静钻根植能源桩换热系统设计的目的是对建筑桩基进行换热管优化设计，而非满足建筑全部的冷热负荷需求。从工程实践来看，建筑桩基仅能满足建筑部分冷热负荷或基础负荷。因此在进行设计前，应明确能源桩可承担的建筑冷热负荷比例，以及是否需要增加钻孔埋管或其他辅助冷热源与能源桩共同承担建筑冷热负荷。

7.3.5 水平环路集管通常埋深较浅，受地表气温影响大，换热不稳定，且水平管间距较密，热干扰大，一般建议将环路集管作为换热富余量考虑。

7.3.6 为确保系统及时排气和加强换热，换热管内流体应处于紊流状态。当流体处于紊流状态后，继续提高流速对整体换热性能提高不大，还会提高水泵能耗。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 与常规静钻根植桩相比，静钻根植能源桩施工增加了随桩植管的工序，且基桩施工完毕后需进行水平集管安装的交叉作业。因此，施工单位应专门编制包含换热系统安装内容的专项施工方案。方案中应重点细化随桩植管工艺（如管材绑扎方式与间距）、各阶段的管路保护措施（特别是桩头露出部分的保护），以及多节点的试压检漏程序，做到事前控制，降低施工风险。

8.1.2 静钻根植能源桩系统的换热管道埋入地下后，若发生泄漏，排查和检修非常困难。换热管道连接是极易出现渗漏的薄弱环节。本条强调施工人员应经专业技术培训后，使施工人员进场前掌握管道安装特点和注意事项，熟悉各设备性能和操作方法。

8.1.3 在工程实践中，静钻根植能源桩施工与水平环路集管安装往往由不同单位负责。本条要求建立工序交接机制，明确界定各

单位成品保护的责任边界。

8.2 换热管路的制作与储运

8.2.1、8.2.2 进入现场的换热管材及管件应逐件进行外观检查，破损和不合格产品严禁使用。存放时，不得在阳光下曝晒。搬运和运输时，应小心轻放，采用柔韧性好的皮带、吊带或吊绳进行装卸，不应抛摔和沿地拖曳。

8.2.3 换热管的承压能力薄弱点在接头处，热熔连接的承压值约为 1.0MPa，电熔连接的承压值约为 1.6MPa。U 型接头处承受的压力较大，宜采用电熔连接方式或采用定型的成品件。

8.3 成桩工艺

8.3.2 本条重点强调了焊接接桩过程中应注意保护换热管，避免高温造成换热管损坏。

8.3.3 本条规定了预制桩与换热管同步植入的具体技术要求，是静钻根植能源桩施工中最关键的工序。

若注浆后未及时植桩，一旦水泥浆进入初凝状态，孔内阻力将急剧增加，此时强行植桩不仅难以到位，还极易损坏换热管。因此，必须强调工序的紧凑性和连续性。

植桩前对换热管注水保压，一方面是为了抵抗地下深处水泥浆液的静压力，防止管材变形。二是作为即时检漏手段，在换热管准备阶段可通过注水保压确认换热管的密闭性，在随桩植管过程中若发现压力骤降，表明管路受损，便于统计换热管成活率，并采取后续措施。

将换热管 U 型头固定于桩端，可防止随桩植管过程中换热管受到孔壁阻力与预制桩脱离或损坏。

静钻根植能源桩属于非挤土桩，主要依靠预制桩自重植入钻孔或较小的辅助压力下沉。若沉桩阻力过大，说明孔壁坍塌、浆液过稠或桩身倾斜，强行增压会导致桩身挤土和换热管破裂。因此，

必须严格控制压桩力。随桩植管过程中，沉桩速度过快会增加对换热管的压力，应予以控制。

设置固定支架不仅是为了防止换热管在沉桩过程中脱落或扭曲，更是为了防止换热管贴靠出现热短路，保证静钻根植能源桩的传热性能。

桩位和垂直度的控制要求与浙江省工程建设标准《静钻根植桩基础技术规程》DB33/T 1134-2017 保持一致，这是保证桩基结构受力性能的基本要求。

规定换热管头略低于桩顶，主要是为了在后续开挖桩头过程中，保护换热管。

8.4 环路集管施工

8.4.3 基础底板或承台混凝土浇筑时，应避免混凝土直接冲击换热管路造成损坏。

8.5 管路压力测试及冲洗

8.5.1~8.5.4 参考《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366-2005（2009年版）中关于换热管试验压力的有关规定。静钻根植能源桩的冲洗和压力测试根据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。

9 验收

9.1 一般规定

9.1.1 本条强调了加强静钻根植能源桩过程控制和检验的重要性。

9.1.2~9.1.4 静钻根植能源桩是建筑桩基和换热器两种功能叠加的工程构件。作为地下换热器构件，应满足国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366-2005（2009年版）和国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243-2016以及行业标准《埋地塑料给水管道工程技术规程》CJJ 101-2016的相关规定。作为建筑桩基，应满足国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300-2013、国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202-2018、国家标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014和浙江省工程建设标准《静钻根植桩基础技术规程》DB33/T 1134-2017中的检查和验收规定。

9.2 施工前检验

9.2.1 工程材料检验是工程施工中不可或缺的环节，本条对于换热管的检验规定作了更明确的要求。

9.3 施工检验

9.3.3 换热管路材料质量、连接和焊接施工质量以及压力测试成果的可靠度是静钻根植能源桩的重要质量控制环节。本条进一步强调了静钻根植能源桩管路安装的控制要点。

9.3.4 本条强调了水平环路集管安装的控制要点，尤其是对回填料提出了要求。

9.4 桩基工程验收

9.4.2 静钻根植能源桩施工完成后，必须逐根测试换热管路完整性，清除管内可能残留的泥沙杂物，防止后期堵塞。

9.4.3 静钻根植能源桩换热管路属于地源热泵系统的地下换热器部分，因此其验收检查数量和方法应符合国家现行标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的相关要求。

9.4.4 对于桩基设计等级为甲级、乙级的静钻根植能源桩，应在前期设计阶段通过热负荷-结构荷载耦合测试确定计入温度效应的单桩承载力。工程桩可通过常规单桩静载荷试验进行验收。在同一场地与设计条件下，若静钻根植能源桩的常温单桩承载力检测结果满足设计要求，且不低于常规静钻根植桩时，可判定其承载力满足验收要求。当静钻根植能源桩与常规静钻根植桩合并为一个检测批进行承载力检验时，考虑到静钻根植能源桩包含换热管路，静钻根植能源桩受检数量不应少于总检测数量的 50%。

9.4.5 热负荷-结构荷载耦合测试可同时测定静钻根植能源桩的承载力与换热性能，较常规静载荷试验结果更具代表性。由于其测试成本高、时间长，本条仅对三种情况进行了要求。若桩基设计等级为甲级、乙级的静钻根植能源桩未通过热负荷-结构荷载耦合测试确定计入温度效应的单桩承载力，则需要抽取工程桩进行热负荷-结构荷载耦合测试，以复核计入温度作用后的单桩承载力是否满足要求。

9.5 换热系统验收

9.5.1 本条规定了静钻根植能源桩换热系统与地上机房热泵主机连接前的最终测试与水质要求。静钻根植能源桩换热管路庞大且接头众多，易混入泥沙、杂质或热熔残渣。因此，在换热系统管路安装完成后，需完成管路冲洗和水压试验。

9.5.2 静钻根植能源桩换热系统的验收属于地源热泵系统埋管

换热器的系统性验收，应在桩基工程验收合格，且水平环路集管全部安装、连接完成后方可开展。检验对象以水平环路集管及其管网状态为主。重点核查环路集管的材料与施工质量，并检验管网系统的密闭性及水力平衡特性，从而确保整个地下换热网络满足设计及地源热泵主机接入的要求。