重庆市工程建设标准

地埋管地源热泵系统技术规程

Technical regulation for ground-coupled heat pump system

DBJ50-199-2014

主编单位:重　庆　大　学
重　庆　市　设　计　院
批准单位:重庆市城乡建设委员会
施行日期:2014 年 11 月 1 日

2014　重　庆

重庆市城乡建设委员会文件

渝建发[2014]67号

重庆市城乡建设委员会
关于发布《地埋管地源热泵系统技术规程》
的通知

各区县(自治县)城乡建委,两江新区、北部新区、经开区、高新区、万盛经开区、双桥经开区建设管理局,有关单位:

现批准《地埋管地源热泵系统技术规程》为我市工程建设强制性标准,编号为DBJ50-199-2014,自2014年11月1日起施行。其中,第3.1.1条为强制性条文,通过住房和城乡建设部审查与备案,备案号为J12719-2014,必须严格执行。

本规程由重庆市城乡建设委员会负责管理和强制性条文的解释,重庆大学负责具体技术内容解释。

重庆市城乡建设委员会

二〇一四年七月二十二日

关于同意重庆市地方标准《地埋管地源热泵系统技术规程》备案的函

建标标备[2014]133 号

重庆市城乡建设委员会：

你委《关于工程建设地方标准＜地埋管地源热泵系统技术规程＞申请备案的请示》(2014 年 3 月 23 日)收悉。经研究，同意该标准作为“中华人民共和国工程建设地方标准”备案，其备案号为：J12719-2014。其中，同意第 3.1.1 条作为强制性条文。

该项标准的备案号，将刊登在国家工程建设标准化信息网和近期出版的《工程建设标准化》刊物上。

附件：重庆市地方标准《地埋管地源热泵系统技术规程》强制性条文

住房和城乡建设部标准定额司

二〇一四年六月二十六日

前　言

为促进和规范重庆地区地埋管地源热泵系统的应用和推广，完善地埋管地源热泵系统设计标准体系，提高我市地埋管地源热泵系统的设计水平，实现节能减排的战略目标，重庆大学和重庆市设计院根据重庆市城乡建设委员会的《关于下达2009年建设科技计划项目的通知》，会同有关单位共同完成本规程的编制工作。

本规程编制组在广泛调查研究、认真总结实践经验、参考了有关国际标准和国内其他省市的相关标准的基础上，经过反复讨论、修改并在充分征求意见的基础上制定了本规程。

本规程主要技术内容是：1.总则；2.术语；3.工程勘测；4.地埋管换热系统设计；5.冷热源及室内系统设计；6.系统计量与监控；7.施工安装；8.系统调试与验收；9.附录。

本规程中以黑体字标志的第3.1.1条为强制性条文，必须严格执行。本条内容与国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB50366-2005(2009版)中强制性条文第3.1.1条、国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012中强制性条文第8.3.4(1)条等效。

本规程由重庆市城乡建设委员会负责管理和对强制性条文的解释，重庆大学、重庆市设计院负责具体技术内容的解释。本规程在执行过程中如发现需要修改和补充之处，请将意见和有关资料寄送重庆大学(重庆大学B区城市建设与环境工程学院，邮政编码：400045，传真：65120773，邮箱：yanglulu@cqu.edu.cn)以供修编时参考。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主 编 单 位：重庆大学
重庆市设计院

参 编 单 位：昆山台佳机电有限公司
重庆美的通用制冷设备有限公司
重庆星能建筑节能技术发展有限公司

主要起草人：卢　军　吴　波　董孟能　姜　涵　周　强
冷艳锋　彭清元　王卫民　陈金华　王　勇
丁　勇　杨露露　刘　琪　何　丹　叶　强
梁昌祝　廖袖锋　张　军　梁怀庆　赵本坤
刘　方　陈改芳　朱　峰　王长青　刘　静
魏映彦　邓凤玲　李百战　李　楠　谢　玲
尉　强　邢鼎鼎　杨　柳　黄光勤　曾利悦
陈士凌　高小龙　李钱松　李配银　施润亮
孙芸雅　刘宗晟

审 查 专 家：艾为学　吴祥生　刘宪英　谭　平　李　全
(按姓氏笔画排序)李　钉　徐光芬

目　次

Contents

1 总 则

1.0.1 为了使重庆市地埋管地源热泵系统工程的勘察、设计、施工及验收工作，做到经济合理、安全适用、以及更好地发挥节能效益，以保证质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于重庆市内新建、改建和扩建的以岩土体为低温热源，以水或添加防冻剂的水溶液为传热介质，采用蒸气压缩热泵技术进行供暖、空调及生活热水供应的地埋管地源热泵系统工程的勘察、设计、施工及验收。

1.0.3 地埋管地源热泵系统工程的设计应包括建筑物内的供暖、空调、生活热水供应系统设计和地下换热系统设计两个部分。

1.0.4 地埋管地源热泵系统工程的勘察、设计、施工及验收除应符合本规程外，尚应符合国家及重庆市现行有关标准。

2 术 语

2.0.1 地源热泵系统 ground-source heat pump system

以岩土体、地下水或地表水为低温热源，由水源热泵机组、地热能交换系统、建筑物内系统组成的供暖、空调或生活热水供应系统。根据地热能交换系统形式的不同，地源热泵系统分为地埋管地源热泵系统、地下水地源热泵系统和地表水地源热泵系统。

2.0.2 地埋管地源热泵系统 ground-coupled heat pump system

以地表浅层岩土体为低温热源，由水源热泵机组、地埋管换热系统、建筑物内系统组成的供暖、空调或生活热水供应系统。

2.0.3 复合式地源热泵系统 hybrid ground-source heat pump system

以冷却塔、冷水机组或锅炉等辅助冷（热）源＋地源热泵作为冷热源的供暖、空调或生活热水供应系统。

2.0.4 水源热泵机组 water-source heat pump unit

以水或添加防冻剂的水溶液为低温热源的热泵。通常有水/水热泵、水/空气热泵等形式。

2.0.5 地热能交换系统 geothermal exchange system

将浅层地热能资源加以利用的热交换系统。

2.0.6 浅层地热能资源 shallow geothermal resources

地表以下一定深度范围内（一般为恒温带至 200 m 埋深），温度低于 25℃，在当前技术经济条件下具备开发利用价值的蕴藏在浅层岩土体、地下水或地表水中的热能资源。

2.0.7 传热介质 heat-transfer fluid

地源热泵系统中，通过换热管与岩土体、地下水或地表水进

行热交换的一种液体。一般为水或添加防冻剂的水溶液。

2.0.8 地埋管换热系统 ground heat exchanger system

传热介质通过地埋管换热器与岩土体进行热交换的地热能交换系统，又称土壤热交换系统。

2.0.9 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构成的换热器，又称土壤热交换器。根据管路埋置方式不同，分为水平地埋管换热器和竖直地埋管换热器。

2.0.10 水平地埋管换热器 horizontal ground heat exchanger

换热管路埋置在水平管沟内的地埋管换热器，又称水平土壤热交换器。

2.0.11 竖直地埋管换热器 vertical ground heat exchanger

换热管路埋置在竖直钻孔内的地埋管换热器，又称竖直土壤热交换器。

2.0.12 环路集管 circuit header

连接各并联环路的集合管，通常用来保证各并联环路流量相等。

2.0.13 含水层 aquifer

导水的饱和岩土层。

2.0.14 岩土体 rock-soil body

岩石和松散沉积物的集合体，如砂岩、砂砾石、土壤等。

2.0.15 岩土热响应试验 rock-soil thermal response test

通过测试仪器，对项目所在的场区内的测试孔进行 48h 以上的连续加热/冷却，获得岩土综合热物性参数及岩土初始平均温度的试验。

2.0.16 岩土综合热物性参数 parameter of the rock-soil thermal properties

是指不含回填材料在内的，地埋管换热器深度范围内，岩土的综合导热系数、综合比热容。

2.0.17 岩土初始平均温度 initial average temperature of rock-soil 从自然地表下10～20m至竖直地埋管换热器埋设深度范围内，岩土常年恒定的平均温度。

2.0.18 测试孔 vertical testing exchanger 按照测试要求和采用的成孔方案，将用于岩土热响应实验的竖直地埋管换热器称为测试孔。

2.0.19 监测孔 monitor holes

按照监测要求和采用的成孔方案，将用于地埋管换热系统地温监测的竖直钻孔。

3 工程勘察

3.1 一般规定

3.1.1 地埋管地源热泵系统方案设计前，应进行工程场地状况调查，并应对工程场区内岩土体地质条件进行工程勘察。

3.1.2 地埋管地源热泵系统工程勘察应在收集气象水文资料、拟建建筑物功能特点、拟建场地岩土工程勘察报告及工程经验的基础上，查明场地工程地质条件，确定岩土参数，作出项目可利用浅层地热能资源评价。

3.1.3 工程勘察工作应根据工程及场地特点，采用工程地质勘探、岩土体热物性测试、监测等方法。

3.1.4 工程勘察完成后，应绘制工程场区钻孔地质综合柱状图，编写工程勘察报告，并对资源可利用情况提出建议。

3.2 工程场地状况调查

3.2.1 工程场地状况调查应包含以下内容：

1 场地规划面积、形状及地形地貌特征；

2 场地内已有建筑物和规划建筑物的占地面积及其分布、基础型式及埋深；

3 场地内已有树木植被、水体、排水沟及架空输电线、电信电缆、市政管网、交通设施、历史文化遗迹的分布及规划综合管线分布；

4 场地内已有的、计划修建的地下管线和地下构筑物的分布及其埋深；

5 交通道路状况及施工所需的电源、水源情况。

3.3 地埋管地源热泵系统勘察

3.3.1 地埋管换热系统勘察应包括以下内容：

1 岩土体的结构；

2 岩土体热物性；

3 岩土体温度；

4 地下水静水位、水温、水质及分布；

5 地下水径流方向、速度；

6 冻土层厚度。

3.3.2 当地埋管地源热泵系统的应用建筑面积 $3000m^2 \leqslant A < 5000m^2$ 时，宜进行岩土热响应试验。

3.3.3 当地埋管地源热泵系统的应用建筑面积 $A \geqslant 5000m^2$ 时，应进行岩土热响应试验；应用建筑面积大于 10000 m^2 时，应至少进行两个测试孔的热响应实验。勘察测试孔应位于埋管范围内，两个或两个以上测试孔，应选取在岩层特征不同的位置。

3.3.4 勘察涉及区域应大于埋管边界范围 1m，勘察深度应大于埋管深度 5m。

3.3.5 岩土热响应测试方法应符合附录 A 的规定，测试仪器仪表应具有有效期内的检验合格证、校准证书或测试证书。

4　地埋管换热系统设计

4.1　一般规定

4.1.1　地埋管换热系统设计前，应根据工程勘察结果评价地埋管换热器实施的可行性与经济性。

4.1.2　地埋管换热器的设计应按场地规划、埋管换热负荷、埋管形式、地埋管长度设计和水力平衡及承压能力计算步骤进行。

4.2　地埋管管材与传热介质

4.2.1　地埋管及管件应符合设计要求，且应具有质量检验报告和生产厂的合格证。

4.2.2　地埋管管材及管件应符合下列规定：

1　地埋管应考虑岩土体和地下水的化学性质采用化学稳定性好、耐腐蚀、导热系数大、流动阻力小的塑料管材及管件，如聚乙烯管（PE80 或 PE100）、聚丁烯管（PB）或 PPR 管，不宜采用聚氯乙烯（PVC）管。管件与管材宜为相同材质材料。

2　地埋管质量应符合国家现行标准中的各项规定。管材的公称压力及使用温度应满足设计要求，且管材的公称压力不应小于工作压力的 1.2 倍。

3　地埋管外径及壁厚可按本规范附录 D 的规定选用。

4　聚乙烯管应符合《给水用聚乙烯（PE）管材》GB/T13663 的要求。聚丁烯管应符合《冷热水用聚丁烯（PB）管道系统》GB/T 19473.2 的要求。

4.2.3　传热介质应以水为首选，也可选用符合下列要求的其他

介质：

1 安全，腐蚀性弱，与地埋管管材无化学反应；

2 较低的冰点；

3 良好的传热特性，较低的摩擦阻力；

4 易于购买、运输和储藏。

4.2.4 在有冻结可能的管路系统，传热介质应添加防冻剂。防冻剂的类型、浓度及有效期应在充注阀处注明。

4.2.5 添加防冻剂后，传热介质的冰点宜比设计最低运行水温低3～5℃。选择防冻剂时，应同时考虑防冻剂对管道与管件的腐蚀性，防冻剂的安全性、经济性及其对换热的影响。

4.3 地埋管换热器设计

4.3.1 地埋管换热器设计时应明确埋管区域内各种地下管线的种类、位置、深度并避开埋管区域进出重型设备的车道位置。

4.3.2 地埋管换热器应避让室外排水设施，宜靠近机房或以地埋管地源热泵机房为中心进行设计。

4.3.3 地质条件为岩石的埋管区域，宜采用竖直埋管换热器形式。

4.3.4 地埋管换热系统设计应基于全年动态负荷计算，预测全年地埋管换热器的动态温度变化，最小计算周期不应少于1年，宜按10～50年为周期计算。

4.3.5 地埋管换热系统动态负荷计算周期内，地埋管地源热泵系统总释热量宜与其总吸热量相平衡，全年总释热量和总吸热量的比值≤0.8～1.25。地下水径流流速较大的地埋管区域，不考虑平衡。在经济技术合理时，可采用辅助热源或热汇与地埋管并用的调峰方式。

4.3.6 地埋管换热器长度应通过计算确定。计算时应考虑负荷特征、管材性质、岩土体及回填材料热物性的影响，宜采用专用软

件进行，竖直地埋管换热器设计计算可按照附录B的方法进行。

4.3.7 当地埋管地源热泵系统的应用建筑面积在 $5000m^2$ 以上，或实施了岩土热响应试验的项目，应利用岩土热响应试验结果进行地埋管换热器的设计，且宜符合下列要求：

1 制冷运行期间，地埋管换热器出口最高温度宜低于30℃；

2 供暖运行期间，不添加防冻剂的地埋管换热器进口最低温度宜高于4℃。

4.3.8 热物性测试得到的单位延米换热量应作为初步设计的参考，施工图设计应严格按照动态计算结果确定埋管长度。

4.3.9 设计地埋管换热器时，环路集管不应包括在地埋管换热器总长度内。

4.3.10 地埋管换热器内传热介质的流态应为紊流，单U形埋管流速不宜小于0.6 m/s，双U形埋管流速不宜小于0.4m/s。

4.3.11 地埋管换热系统设计时应根据所选用的传热介质的水力特性进行水力计算，地埋管压力损失可按附录C计算。在此基础上，合理地确定循环水泵的流量和扬程。

4.3.12 地埋管换热系统宜进行分区设计，保证地埋管运行的间歇性和地温的恢复。

4.3.13 地埋管换热器应根据可利用地面面积、岩土体地质勘察结果及经济因素确定具体埋管方式，并基于岩土的热物性参数确定埋管长度与间距。

4.3.14 结构桩基埋深大于8米的建筑物优先采用桩基埋管和换热桩技术。

4.3.15 水平埋管换热器可不设坡度。最上层埋管顶部应在冻土层以下0.4m，且距地面不宜小于1.2m.，可分层埋设，分层间距不小于1m，也可水平管沟埋设，水平管沟间距不小于1.2m。竖直地埋管换热器埋管深度应大于恒温层深度，埋管深度宜取50～150m；水平连接管的深度宜在距地表1.5m以下；竖直地埋管间距应满足换热要求，并应考虑系统连续运行或间歇运行的特

点。相邻钻孔中心间距取 3～6m 为宜。单 U 形埋管钻孔孔径不宜小于 110mm，双 U 形埋管钻孔孔径不宜小于 130mm。

4.3.16 地埋管换热系统应根据水文地质特征确定回填材料。回填材料的导热系数宜不低于周围岩土体的导热系数。对桩基埋管换热器，回填材料还应满足桩基强度的要求。

4.3.17 竖直地埋管换热器的出水立管宜保温，宜采用自带保温材料的管材。

4.3.18 地埋管环路两端应分别与供、回水环路集管相连接，且宜采取同程式布置。每对供回水环路集管连接的地埋管环路数宜相等，供回水环路集管的间距不宜小于 0.6m，并应在各分区环路的接口处设置检查井，井内设置相应的阀门。水平环路集管的坡度应保证系统的排气要求，且坡度宜不小于 0.002。

4.3.19 地埋管换热系统应设定压、自动充液、防冻保护及泄漏报警装置。

4.3.20 地埋管换热系统的承压能力应满足系统最大承压，若建筑物中系统压力超过地埋管换热器的承压能力时，应设中间换热器与建筑物内系统分开。

4.3.21 地埋管换热系统宜具有反冲洗功能，冲洗流量宜为工作流量的 2 倍。

4.3.22 地埋管换热系统宜采用变流量设计。

4.3.23 与地埋管换热器连接的水泵、阀门、管道附件等选择应符合国家现行相关规范的要求。

4.3.24 对于建筑密度低的单层、多层建筑，经技术经济比较分析后，可以采用水平埋管、桩基埋管和换热桩技术。

4.3.25 水平地埋管换热器分为四种形式：水平直管式、垂直排圈式、水平排圈式、水平螺旋式，设计时可根据不同的地域条件选择其中的一种形式。

4.3.26 水平地埋管换热器长度应通过计算确定。计算时应考虑负荷特征、管材性质、岩土体及回填材料热物性的影响，宜采用

专用软件进行。

4.3.27 水平地埋管换热器设计前应对现场岩土体热物性进行测定作为设计计算的参考。

4.3.28 水平地埋管换热器宜进行分组连接，每组换热器管长不宜大于5000m，各组换热器形成的地埋管环路两端应分别与供、回水环路集管连接，应采取同程式布置，并应在各环路的总接口处设置检查井，井内设置相应的阀门。

5 冷热源及室内系统设计

5.1 一般规定

5.1.1 冷热源系统和室内空调系统的设计应符合现行国家标准《采暖通风与空气调节设计规范》GB50019 和《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736 的规定。

5.1.2 施工图设计阶段，应对空气调节区进行热负荷及逐项逐时的冷负荷计算。

5.1.3 室内空气调节系统应根据使用功能、使用时间、温湿度基数和允许变化范围、洁净度要求、噪声要求、空气中所含易燃易爆物质等因素划分系统。

5.1.4 空间较大、人员较多、温湿度允许波动范围小、噪声或洁净度标准较高的区域宜采用全空气系统，并应考虑过渡季节全新风运行条件。新回风的控制宜通过新回风的焓值比较实现工况自动转换。

5.1.5 空气调节区较多、且各调节区要求单独调节，宜采用风机盘管加独立新风系统。经处理后的新风应独立送至室内。

5.1.6 辐射空调系统宜设置直接利用地埋管换热的措施，当室外气温较低，负荷较小时，可直接利用地下换热器供冷，以延迟热泵机组开启的时间。

5.1.7 采用过渡季节可调新风或全新风运行的全空气系统，应设置机械排风设施。

5.1.8 建筑内设计集中排风系统时应考虑设置排风热回收装置。

5.1.9 室内空调系统应具备室温自动调节装置和水流量自动调

节装置，并考虑实行分区冷热计量。

5.2 冷热源设备

5.2.1 水源热泵机组应为获得生产许可证的企业生产，且机组的冷量应在许可证规定的范围内，水源热泵机组应按地埋管换热器全年工况进行校核选型。

5.2.2 地埋管地源热泵机组按照使用侧换热设备的形式分为冷热风型地源热泵机组和冷热水型地源热泵机组。

5.2.3 地埋管地源热泵机组应按照国家标准《水源热泵机组》GB/T 19409 进行设计、生产、检验和运输，其性能指标应满足该标准规定。

5.2.4 节能型地埋管地源热泵机组应符合《水源热泵机组节能产品认证技术要求》CSC/T46 或其它相关节能标准规定。

5.2.5 带热回收的地埋管地源热泵机组，厂家应分别提供热回收工况和名义工况的测试报告。节能型地埋管地源热泵机组性能参数应为在热回收不工作的情况下机组的运行参数。

5.2.6 地埋管地源热泵机组应具有能量调节功能。

5.2.7 地埋管环路中添加防冻液时，应对采用的地埋管地源热泵机组的制冷量、制热量和换热器阻力进行修正。机组的蒸发器和冷凝器应具有良好的抗腐蚀能力。

5.2.8 制冷工质应遵照国家相关淘汰规定，符合节能环保要求。

5.2.9 地埋管地源热泵机组应具有完善的保护功能。

5.2.10 地埋管地源热泵机组出厂时，蒸发器、冷凝器及其它低温管道和部件应做好保温.

5.2.11 地埋管地源热泵机组宜采用制冷剂换向。

5.3 冷热源系统设计

5.3.1 冷热源系统涉及生活热水或其他热水供应部分，应符合现行国家标准《建筑给水排水设计规范》GB50015 的规定。

5.3.2 集中布置的地埋管地源热泵机组台数的选择，应能适应空气调节负荷全年变化规律，满足季节及部分负荷要求，一般不宜少于 2 台。分散布置的小型地埋管地源热泵机组，应选调节性能优良的机组。

5.3.3 用于生活热水供应的水源热泵热水机，机组数量不宜少于 2 台；当只选用一台机组时，宜采用多压缩机、多制冷剂回路热泵热水机组。

5.3.4 热泵机组应按设计运行参数修正制冷量、制热量及电机输入功率。采用温湿度独立控制系统的主机宜选用高温型水源热泵机组。

5.3.5 冷热源系统应根据建筑的特点及使用功能确定水源热泵机组的设置方式。

5.3.6 在热泵机组外进行冷、热转换的地埋管地源热泵系统应在水系统上易于操作的区域设冬、夏季节的功能转换阀门，转换阀门应实现严密关闭、杜绝泄露，并在转换阀门上做出明显标识。

5.3.7 地埋管地源热泵系统在具备供热、供冷功能的同时，宜优先采用热回收机组提供（或预热）生活热水，不足部分由其他方式解决。热泵系统提供生活热水时，应经过技术经济比较确定采用直接供水系统或采用换热设备间接供水系统。

5.3.8 冷热源系统设计时，应通过技术经济比较后，增设辅助热源、蓄热（冷）装置或其他节能设施。

5.3.9 当冬夏季吸放热不平衡时，宜采用辅助热源或热汇与地埋管换热器并用的复合式地源热泵系统，并保证地下岩土体温度在全年使用周期内得到有效恢复。热汇采用冷却塔时宜采用闭式冷却塔，如采用开式冷却塔应加中间换热器。

1 对于建筑密度低的单层、多层建筑，宜取冷/热负荷中的高值作为热泵机组的选型依据，可不考虑其他辅助冷热源。

2　对于大中型建筑，宜取冷/热负荷中的低值作为热泵机组的选型依据。如热负荷大于冷负荷，冬季采用地埋管地源热泵加辅助热源联合供热；如冷负荷大于热负荷，夏季采用地埋管地源热泵加常规制冷方式联合供冷。

5.3.10　大型地埋管系统宜采取分/集水器连接方式，分集水器应有平衡和调节各地埋管环路流量的措施。各环路宜具备自动控制功能，以实现部分负荷时，室外地下换热器轮流间歇运行，保证其有充足的恢复期，保证系统高效正常运行。

5.3.11　供暖与空调水管路应进行详细的水力计算，减少并联环路之间的压力损失的相对差额，当超过15%时，应采取水力平衡措施，同时确定合理的空调冷热水泵的流量和扬程，并选择水泵的设计运行工作点处于高效区。末端装置选用二通阀变流量系统时，其系统循环泵应采用变速控制。

5.3.12　空调冷热水的循环水泵宜分别设置，当循环水泵共用时，应核对循环泵的流量和扬程是否匹配。

6 系统计量与监控

6.1 一般规定

6.1.1 地埋管地源热泵系统的监测及控制系统设计应符合现行《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736、《公共建筑节能设计标准》GB50189、《自动化仪表工程施工及验收规范》GB50093、重庆市《公共建筑节能（绿色建筑）设计标准》DBJ50-052 等标准的规定。

6.1.2 地埋管地源热泵系统应设置监测与控制系统，其内容包括运行参数检测、参数与设备状态显示、用能分项计量等监测功能以及调节与工况转换、设备连锁与自动保护等监控与管理措施等，具体内容应根据建筑功能、相关标准、系统类型等通过技术经济比较确定。

6.1.3 地埋管地源热泵系统宜采用集中监控系统并具有数据上传的功能；未采用集中监控系统的，宜采用就地的自动控制系统。采用集中空调系统，宜设置分楼层、分室内区域、分用户的冷热量计量装置，并对冷热计量与分摊方式进行说明。

6.2 系统运行监测与计量

6.2.1 地埋管地源热泵系统应在热泵机房附近设置室外温、湿度传感器，并对传感器进行必要保护。

6.2.2 系统在运行中应对地下换热器的分、集水器进行压力和温度监测，应对连接在分集水器上的回水管支路进行温度监测，宜设置温度高（低）限和压力高（低）限报警。

6.2.3 系统在运行中应对地下换热器循环水总流量和热量进行监测。宜对地下换热器各分组循环水流量进行监测。

6.2.4 系统在运行过程中宜监测岩土温度的变化，建筑面积超过 10000m^2 的项目，温度监测井不少于 2 个。

6.2.5 系统在运行中宜根据换热器的分组情况选择典型位置换热器，监测地下换热器的运行状态。

6.2.6 系统在运行中应对系统机组、循环水泵功率进行分项计量和监测。

6.2.7 对于复合式地埋管地源热泵系统的监测和计量除应满足上述条文规定外，辅助热源(汇)系统应进行压力、温度、流量和用电量的监测，并满足相关规范监测控制的要求。

6.2.8 采用集中监控系统时，监控管理系统应能以与现场测量仪表相同的时间间隔和测量精度连续记录各种系统运行参数和设备状态；应计算和定期统计系统各部分的能量消耗、各台设备连续运行和累计运行时间。其数据库应能保证记录连续一年以上的运行参数，并可以以多种方式进行查询。

6.3 传感器

6.3.1 温度传感器的设置应满足测量范围为测定温度范围的 1.2～1.5 倍，传感器测量范围和精度应与二次仪表匹配，并高于工艺要求的控制可测量精度；安装位置考虑辐射等可能影响因素，并作保护措施。

6.3.2 压力传感器的设置应满足工作压力大于该点可能出现最大压力的 1.5 倍，量程应为该点压力正常变化范围的 1.2～1.3 倍；同一水系统上安装的压力传感器宜处于同一标高。

6.3.3 流量传感器的设置应满足量程为系统最大工作流量的 1.2～1.3 倍；流量传感器安装位置前后应有保证产品所要求的直管段长度或其他安装条件；应选用具有瞬态值输出的流量传感

器;传感器的安装按现行相关规范要求。

6.3.4 功率计量设备的功率范围应依据测量设备或者系统确定,应满足测量范围要求,但不得小于测量设备或者系统额定功率的1.5倍,安装位置和环境条件应满足设备的正常运行。

6.3.5 耗电量计量设备应具有监测和计量三相(单相)有功电能和数据远传的功能,安装位置和环境条件应满足设备的正常运行。

6.4 系统控制

6.4.1 地埋管换热器应能分组控制并设置电动开断阀门,能在水源热泵机组对应的部分负荷下分组交替运行。

6.4.2 复合式地埋管地源热泵系统的辅助散热/加热装置应能够独立控制并单独运行,在部分负荷下具备地埋管换热器与辅助散热/加热装置灵活转换运行的能力。

6.4.3 系统设备自动方式运行时,系统中的相关设备及附件应与热泵机组进行电气连锁,顺序启停,应设置必要的措施防止所有热泵机组同时启动。

6.4.4 水源热泵机组运行时,宜根据地埋管进、出水的温度对地埋管换热器组群、辅助热源(汇)的切换和启停进行控制。地源侧循环泵宜采用温差控制变流量运行。

7 施工安装

7.1 一般规定

7.1.1 地埋管换热系统施工前应具备以下条件：

1 完成有关报建手续。

2 完成场区三通一平，地埋管地源热泵系统工程勘察报告。

3 施工组织方案和经施工图审查合格的设计文件。

7.1.2 地埋管换热系统施工前，应了解埋管场地内已有地下管线、电缆、地下构筑物的功能及其准确位置，如有文物古迹应予以保护。

7.1.3 地埋管换热系统安装过程中必须进行水压试验，试验合格后方可进入下一步施工工序。

7.2 地埋管管材及管件

7.2.1 施工过程中，应严格检查并做好管材保护工作。

7.2.2 管材规格应符合设计要求。

7.2.3 施工所用地埋管及管件应具有质量检验报告和生产厂家的合格证；埋管内外表面应清洁、光滑，不应有气泡、明显的划伤、凹陷、杂质、颜色不均等缺陷；管端头应切割平整，并与管轴线垂直。

7.2.4 地埋管应按设计长度要求成捆供应，中间不应有接头。

7.2.5 地埋管接头部位易于密封和防漏。

7.2.6 管材和管件存放、搬运和运输过程中，应小心轻放，排列整齐，采用柔韧性好的皮带、吊带或吊绳进行装卸，不得随意抛摔

和沿地拖拽。

7.2.7 夏季施工应预防管道受热发生热变形，未安装的管道不应受太阳直射。

7.2.8 竖直埋管管材的抽检：应用建筑面积在 $3000m^2$ ～ $10000m^2$ 范围时，应进行埋管管材的抽检；应用建筑面积大于 $10000m^2$ 应至少进行两组埋管管材的抽检。经有检测资质的单位检测合格后方可使用。

7.2.9 管道连接应符合下列规定：

1 埋地管道应采用热熔或电熔连接。聚乙烯管道连接应符合国家现行标准《埋地聚乙烯给水管道工程技术规程》CJJ101 的有关规定；

2 竖直地埋管换热器的 U 弯管接头，应选用专门的厂家生产的定型的 U 形弯头成品件；

3 竖直地埋管换热器 U 形管的组对长度应能满足插入钻孔后与环路集管连接的要求，组对好的 U 形管的两开口端部，应及时密封。

7.3 地埋管换热系统施工

7.3.1 地埋管换热器系统施工前应根据工程勘察报告，明确埋置区域内已有地下管线、地下构筑物的功能及其准确位置，并应进行地面清理，平整地面。

7.3.2 水平管网应在竖直埋管完成后进行，并采取措施保护好埋管半成品。

7.3.3 竖直地埋管钻孔施工应符合以下规定：

1 钻孔过程中，做好钻孔记录，包括地下岩层情况、地下水情况。

2 钻孔的开孔及终孔宜采用同一设计口径，如遇回填土、卵石层、流砂带、破碎带等复杂地层，应采取水泥砂浆护壁或埋设套

管护壁，护壁套管内径应与设计钻孔口径一致。当钻孔孔壁不牢固或者存在孔洞、洞穴等导致成孔困难时，应设护壁套管或用钻孔泥浆护壁。

3 实际钻孔孔深宜大于设计孔深 1～2m。

4 宜采用跳孔施工顺序，下管灌浆完成后 24h 内不宜进行相邻孔钻孔施工。

5 钻孔施工应及时清除孔口残渣，设置排水沟和泥浆池等设施，以过滤、储存钻孔浆液。

6 钻进成孔后下管前，采用压缩空气或清水进行清孔，孔底沉渣不大于 0.5m。

7 钻孔孔位偏差不应大于 0.1m，钻孔的垂直偏差不应大于 1.0%，钻孔终孔孔径不应小于设计孔径。

7.3.4 竖直地埋管换热器的安装应遵循以下要求：

1 竖直地埋管换热器 U 形管安装应在钻孔钻好且孔壁固化后立即进行。

2 当钻孔完成后下管前，应先将 U 形换热管按设计要求组装好，并对 U 形换热管进行水压试验。

3 下管过程中，U 形管内宜充满水，水压试验合格后将换热管下入孔内。下管时应连续缓慢放入孔内，并宜采取措施使 U 形管两支管处于分开状态。下管深度与设计深度误差不超过0.5m。

4 下管完毕后 U 形管上端应高出地面，管端应作好临时封闭措施，防止进入杂物。

7.3.5 竖直地埋管回填灌浆应遵循以下要求：

1 灌浆应密实，无空腔；

2 竖直地埋管换热器安装完毕后应立即灌浆回填封孔；当埋管深度超过 40m 时，灌浆回填应在周围临近钻孔均钻凿完毕后进行；施工过程应连续保压，全程监控；灌浆材料应搅拌均匀后方可使用；灌浆回填过程中，应注意观察竖直埋管周围回填物的沉降情况，必要时需采用多次灌浆回填，确认稳定后方可结束该工

序；

3　地下水位低于设计孔深一半的钻孔（干孔），宜采用水泥基料孔底灌浆，其中膨润土、水泥、砂的含量宜取5～10%、5～10%和15～25%；地下水位高于设计孔深一半的钻孔，宜采用膨润土和细砂组成的混合物进行灌浆，膨润土的比例宜占5-10%；

4　采用孔底灌浆情况时，灌浆管和U形管一起下入孔中，灌浆管内径不小于20mm，灌浆管底端宜设防堵堵头，且灌浆时应能够将其冲开，灌浆管下入深度以距U形端头0.3～0.5m为宜，灌浆设备应选用专用注浆泵。

7.3.6　竖直地埋管水平管网部分埋设应遵循以下要求：

1　水平管网施工在竖直埋管完成后进行，水平管沟开挖应保护好U形换热管，应防止损坏U形换热管或管内进入杂物；

2　水平管沟开挖完成，沟底应铺设100mm厚细砂；

3　安装前后应进行管道水冲洗，保持管道内壁及接口清洁，充注防冻和防腐液前，应进行排气；

4　所有埋地管道应采用热熔或电熔连接；

5　地埋管系统水平集管与地埋管换热器的连接：当管径小于De90时，宜采用电熔套筒连接；当管径大于De90时，宜采用热熔对接方式；

6　水平埋管在挖沟转弯处须用圆角，避免90°直角转弯，或安装合适的弯管接头；

7　水平沟槽所用回填土应细小、松散、均匀，剔除回填材料中边角锋利的石头，以防损伤管道；回填土应采用人工逐层均匀压实，每层厚度不宜大于0.3m。回填土应与管道紧密接触。

7.3.7　地埋管换热器安装竣工后，应在竣工总平面图上标示出其具体位置，并在水平埋管区域做出标志或标明管线的定位带，并应采用2个现场的永久目标进行定位。

7.3.8　水平地埋管换热器铺设前，沟槽底部应先铺设相当于管径厚度的细砂。水平地埋管换热器安装时，应防止石块等重物撞

击管身。管道不应有折断、扭结等问题，转弯处应光滑，且应采取固定措施。

7.3.9 水平地埋管换热器回填料应细小、松散、均匀，且不应含石块或土块。回填压实过程应均匀，回填料应与管道接触紧密，且不得损伤管道。

7.4 冷热源系统安装

7.4.1 水源热泵机组、附属设备、管道、管件及阀门的型号、规格、性能及技术参数等应符合设计要求，并具备产品合格证书、产品性能检验报告及产品说明书等文件。

7.4.2 地埋管地源热泵系统机组、水泵、管路应有明显的标识并在管路上标注水流方向。

7.4.3 地埋管地源热泵系统冬、夏季转换阀门应设在易于操作的区域，并标注说明。

7.4.4 水源热泵机组及建筑物内系统安装应符合现行国家标准《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》GB50274、《通风与空调工程施工质量验收规范》GB50243 的规定、《通风与空调工程施工规范》GB50738 和《建筑节能工程施工质量验收规范》GB50411。

8　系统调试与验收

8.1　一般规定

8.1.1　地埋管地源热泵系统交付使用前，应进行整体运转、调试与验收。

8.1.2　地埋管地源热泵系统验收前，应进行制冷、制热工况运行测试，并对地源热泵系统的实测性能做出评价。

8.1.3　地埋管地源热泵系统整体运转、调试及验收除应符合本规程规定外，还应符合现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB50366、《通风与空调工程施工质量验收规范》GB50243、《建筑节能工程施工质量验收规范》GB50411 和《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》GB50274 的相关规定。

8.1.4　回填过程的检验应与地埋管换热器的安装同步进行。

8.2　调　试

8.2.1　地埋管换热系统安装过程中，应进行现场检验，并应提供检验报告。检验内容应符合下列规定：

1　管材、管件等材料应符合国家现行标准的规定；

2　钻孔、水平埋管的位置和深度、地埋管的直径、壁厚及长度均应符合设计要求；

3　回填料及其配比应符合设计要求；

4　施工各个阶段应进行相应水压试验且应合格；

5　各环路流量应平衡，且应满足设计要求；

6　防冻剂和防腐剂的特性及浓度以及循环水流量及进出水

温差均应符合设计要求。

8.2.2 地埋管地源热泵系统调试前应具备下列条件：

1 仪器仪表进行校核，确保读数准确；

2 水系统管路转换阀门的工况正常；

3 水系统阀门及仪表安装合理；

4 土壤初始温度记录。

8.2.3 地埋管地源热泵系统整体运转与调试应符合下列规定：

1 整体运转与调试前应制定整体运转与调试方案，并报送专业监理工程师审核批准；

2 水源热泵机组试运转前应进行水系统平衡调试，确定系统循环流量、各分支流量及末端设备流量均达到设计要求；

3 水力平衡调试完成后，应进行水源热泵机组的试运转，并填写运转记录，运行数据应达到设备技术要求；

4 水源热泵机组运转正常后，应进行连续 48h 的系统试运转，并填写运转记录；

5 地埋管地源热泵系统调试应分冬、夏两季进行，且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，并提交甲方确认后存档。

8.3 验 收

8.3.1 水压试验应符合下列规定：

1 试验压力：当工作压力小于等于 1.0MPa 时，应为工作压力的 1.5 倍，且不应小于 0.6MPa；当工作压力大于 1.0MPa 时，应为工作压力加 0.5Mpa。

2 水压试验步骤：

1)竖直地埋管换热器放入钻孔前，应做第一次水压试验。在试验压力下，稳压至少 15min，稳压后压力降不应大于 3%，且无泄漏现象；将其密封后，在有压状态下插入钻

孔，完成灌浆之后保压1h。水平地埋管换热器放入沟槽前，应做第一次水压试验。在试验压力下，稳压时间不应少于15min，稳压后压力降不应大于3%，且无泄漏现象。

2)竖直或水平地埋管换热器与环路集管装配完成后，回填前应进行第二次水压试验。在试验压力下，稳压时间不应少于30min，稳压后压力降不应大于3%，且无泄漏现象。

3)环路集管与机房分集水器连接完成后，回填前应进行第三次水压试验。在试验压力下稳压至2h，且无泄漏现象。

4)地埋管换热系统全部安装完毕，且冲洗、排气及回填完成后，应进行第四次水压试验。在试验压力下，稳压至少12h，稳压后压力降不应大于3%。

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；不得以气压试验代替水压试验。

8.3.2 地埋管地源热泵系统的验收应填写“地埋管地源热泵系统验收记录表”，存档备案。

附录 A　岩土热响应试验

A.1　一般规定

A.1.1　在岩土热响应实验之前，应对测试地点进行实地的勘察，根据地质条件的复杂程度，确定测试孔的数量和测试方案。地埋管地源热泵系统的应用建筑面积大于或等于 10000m^2 时，测试孔的数量不应少于 2 个。对 2 个及以上测试孔的测试，其测试结果应取算术平均值。

A.1.2　在岩土热响应实验之前应通过钻孔勘察，绘制项目场区钻孔地质综合柱状图。

A.1.3　岩土热响应试验应包括下列内容：

1　岩土初始平均温度；

2　地埋管换热器的循环水进出口温度、流量以及实验过程中向地埋管换热器施加的加热功率。

A.1.4　岩土热响应实验报告应包括下列内容：

1　项目概况；

2　测试方案；

3　参考标准；

4　测试过程中参数的连续记录，应包括：循环水流量、加热功率、地埋管换热器的进出口水温；

5　项目所在地的岩土柱状图；

6　岩土热物性参数；

7　测试条件下，钻孔单位延米换热量参考值。

A.1.5　测试现场应提供稳定的电源，具备可靠的测试条件。

A.1.6　在对测试设备进行外部连接时，应遵循先接水后接电的

原则。

A.1.7 测试孔的施工应由具有相应资质的专业队伍承担。

A.1.8 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 10mm。

A.1.9 岩土热响应的测试过程应遵守现行国家和地方有关安全、劳动保护、职业卫生、消防、环境保护等方面的规定。

A.2 测试仪表

A.2.1 在输入电压稳定的情况下，加热功率的测量误差不应大于+1%。

A.2.2 流量的测量误差不应大于+1%。

A.2.3 温度的测量误差不应小于+2%。

A.3 岩土热响应测试方法

A.3.1 岩土热响应试验的测试过程，应遵循下列步骤：

1 制作测试孔；

2 平整测试孔周围场地，提供水电接驳点；

3 测试岩土初始温度；

4 测试仪器与测试孔的管道连接；

5 水电等外部设备连接完毕后，应对测试设备本身以及外部设备的连接再次进行检查。

6 启动电加热、水泵等实验设备，待设备运转稳定后开始读取记录试验数据；

7 岩土热响应实验过程中，应做好对实验设备的保护工作；

8 提取实验数据，分析计算得出岩土综合热物性参数；

9 测试试验完成后，对测试孔应做好防护工作。

A.3.2 测试孔的深度应与实际的用孔相一致。

A.3.3 岩土热响应试验应在测试孔完成并放置至少 48h 以后进行。

A.3.4 岩土初始平均温度的测试应采用布置温度传感器的方法。测点的布置宜在地埋管换热器埋设深度范围内，且间隔不宜大于 10m；以各测点温度的算术平均值作为岩土初始平均温度。

A.3.5 岩土热响应试验测试过程应符合下列要求：

1 岩土热响应试验应连续不间断，持续时间不宜少于 48h；

2 试验期间，加热功率应保持恒定；

3 地埋管换热器的出口温度稳定后，其温度宜高于岩土初始平均温度 5℃以上且维持时间不应少于 12h。

A.3.6 地埋管换热器内流速不应低于 0.2m/s。

A.3.7 实验数据读取和记录的时间间隔不应大于 10min。

A.4 勘察报告样例

1 测试内容

1） 测试项目所在地岩土原始平均温度。

2） 测试项目所在地岩土层综合导热系数。

2 测试设备及方案

1） 仪器介绍

2） 仪表标定

3） 计算模型

3 测试条件

1） 测试孔基本参数

表 1 测试孔基本参数表

项目	参数	项目	参数
埋管深度(m)		钻孔直径(mm)	
埋管形式		埋管材质	
埋管内径(mm)		埋管外径(mm)	

2） 勘察区地质环境条件

3） 岩石物理力学参数

表 2 岩石物理力学参数

名称	含水率（%）	块体密度（g/cm³）			孔隙率（%）	吸水率（%）	单轴抗压强度（MPa）	
		天然	干	饱和			干	饱和
平均值								

4） 岩样热物性参数

表 3 岩样热物性参数

岩样名称	测试电阻温度（K）	芯样密度（kg/m³）	热导率（W/m·K）	热扩散系数（$10^{-6}m^2/s$）	比热（KJ/Kg·K）
平均值					

5） 测试要求

6） 测试方法

7） 测试过程

8） 参考标准

4 测试参数及数据处理

1） 岩土初始平均温度

(1)测试参数

(2)数据处理

2） 岩土综合导热系数

(1)测试参数

(2)数据处理

3） 恒温法/恒功率法测试

5 测试结果

表 4 标准测试孔测试结果汇总

序号	测试参数	测试结果
1	岩土原始平均温度,℃	
2	岩土综合导热系数,W/(m·K)	

表 5 恒温法测试结果汇总

序号	测试参数	测试结果
1	单位延米试验孔换热量参考值(双 U 埋管,放热工况),w/m	

附录 B　竖直地埋管换热系统设计计算

B.0.1　竖直地埋管换热器的热阻计算宜符合下列要求：

1　传热介质与 U 形管内壁的对流换热热阻可按下式计算：

$$R_f = \frac{1}{\pi d_i K} \qquad (B.0.1\text{-}1)$$

式中：R_f　传热介质与 U 形管内壁的对流换热热阻(m(K/W)；

d_i　U 形管的内径(m)；

K　传热介质与 U 形管内壁的对流换热系数[W/(m²(K)]。

2　U 形管的管壁热阻可按下列公式计算：

$$R_{pe} = \frac{1}{2\pi\lambda_P}\ln\left(\frac{d_e}{d_e-(d_o-d_i)}\right) \qquad (B.0.1\text{-}2)$$

$$d_e = \sqrt{n}\, d_o \qquad (B.0.1\text{-}3)$$

式中：R_{pe}　U 形管的管壁热阻(m(K/W)；

λ_P　U 形管导热系数[W/(m(K)]；

d_o　U 形管的外径(m)；

d_e　U 形管的当量直径(m)；对单 U 形管，n=2；对于双 U 形管，n=4。

3　钻孔灌浆回填材料的热阻可按下式计算：

$$R_b = \frac{1}{2\pi\lambda_b}\ln\left(\frac{d_b}{d_e}\right) \qquad (B.0.1\text{-}4)$$

式中：R_b　钻孔灌浆回填材料的热阻(m(K/W)；

λ_b　灌浆材料导热系数[W/(m(K)]；

d_b　钻孔的直径(m)。

4　地层热阻，即从孔壁到无穷远处的热阻可按下列公式计算：

对于单个钻孔：

$$R_s = \frac{1}{2\pi\lambda_s} I\left(\frac{r_b}{2\sqrt{a\tau}}\right) \quad (B.0.1\text{-}5)$$

$$I(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-s^2}}{s} ds \quad (B.0.1\text{-}6)$$

对于多个钻孔：

$$R_s = \frac{1}{2\pi\lambda_s}\left[I\left(\frac{r_b}{2\sqrt{a\tau}}\right) + \sum_{i=2}^{N} I\left(\frac{x_i}{2\sqrt{a\tau}}\right)\right] \quad (B.0.1\text{-}7)$$

式中：R_s 地层热阻(m(K/W)；

I 指数积分公式，可按公式(B.0.1-6)计算；

λ_s 岩土的平均导热系数[W/(m(K)]；

a 岩土体的热扩散率(m^2/s)；

r_b 钻孔的半径(m)；

τ 运行时间(s)；

x_i 第 i 个钻孔与所计算钻孔之间的距离(m)。

5 短期连续脉冲负荷引起的附加热阻可按下式计算：

$$R_{sp} = \frac{1}{2\pi\lambda_s} I\left(\frac{r_b}{2\sqrt{a\tau_p}}\right) \quad (B.0.1\text{-}8)$$

式中：R_{sp} 短期连续脉冲负荷引起的附加热阻(m(K/W)；

τ_p 短期脉冲负荷连续运行的时间，例如 8h。

B.0.2 竖直地埋管换热器钻孔的长度计算宜符合下列要求：

1 计算：

$$L_c = \frac{1000Q_c[R_f + R_{pe} + R_b + R_s \times F_c + R_{sp} \times (1 - F_c)]}{(t_{max} - t_{\infty})} \left(\frac{EER + 1}{EER}\right) \quad (B.0.2\text{-}1)$$

$$F_c = \frac{T_{c1}}{T_{c2}} \quad (B.0.2\text{-}2)$$

式中：L_c 制冷工况下，竖直地埋管换热器所需钻孔的总长度(m)；

Q_c　水源热泵机组的额定冷负荷(kW)；

EER　水源热泵机组的制冷性能系数；

t_{max}　制冷工况下，地埋管换热器中传热介质的设计平均温度，通常取33～36℃；

t_{∞}　埋管区域岩土体的初始温度(℃)；

F_c　制冷运行份额；

T_{c1}　一个制冷季中水源热泵机组的运行小时数，当运行时间取一个月时，为最热月份水源热泵机组的运行小时数；

T_{c2}　一个制冷季中的小时数，当运行时间取一个月时，为最热月份的小时数。

2　供热工况下，竖直地埋管换热器所需钻孔的总长度(m)：

$$L_h = \frac{1000Q_h\left[R_f + R_{pe} + R_b + R_s \times F_h + R_{sp} \times (1 - F_h)\right]}{(t_{\infty} - t_{min})} \left(\frac{COP - 1}{COP}\right) \qquad (B.0.2\text{-}3)$$

$$F_h = \frac{T_{h1}}{T_{h2}} \qquad (B.0.2\text{-}4)$$

式中：L_h　供热工况下，竖直地埋管换热器所需钻孔的总长度(m)；

Q_h　水源热泵机组的额定热负荷(kW)；

COP　水源热泵机组的供热性能系数；

t_{min}　供热工况下，地埋管换热器中传热介质的设计平均温度，通常取-2～6℃；

F_h　制冷运行份额；

T_{h1}　一个供热季中水源热泵机组的运行小时数，当运行时间取一个月时，为最冷月份水源热泵机组的运行小时数；

T_{h2}　一个供热季中的小时数，当运行时间取一个月时，

为最热月份的小时数。

B.0.3 为便于工程计算，可采用专用软件。目前，重庆大学编制了地源热泵设计模拟软件。该软件嵌入了 Excel 数据接口，可以直接、快捷地导入 DeST 软件生成全年动态负荷文件，而避免了大量数据手动输入所带来的麻烦；软件提供了地源热泵传热模型选择模块，钻孔内模型有一维、二维、准三维三种模型可供选择，钻孔外模型含有限长、无限长线热源两种模型可供选择。软件可输出机组地源侧换热量、地埋管总换热量、地埋管延米换热量、钻孔壁温、地埋管进出口水温、平均水温、热泵机组能效、系统能效、钻孔内热阻、本孔外阻、近孔外阻、远孔外阻、机组功率、地源侧水泵功率、用户侧水泵功率、地源侧总流量、单孔总流量等参数。

软件主要分为以下几个模块：

1 地埋管系统设计模块：软件具有地埋管系统设计模块，按规范中计算方法确定地埋管设计管长。

2 无辅助冷源的地源热泵系统模拟模块：软件可模拟无辅助冷源条件下，地源热泵系统的性能特性。

3 辅助冷源的复合式地源热泵系统模拟模块：软件可模拟存在冷水机组与地源热泵机组的复合式地源热泵系统性能特性；软件也可模拟机组全部为地源热泵机组，通过添加冷却塔作为辅助散热设备的系统性能特性。

4 地埋管分区运行模拟模块：软件可模拟不同控制策略下的地埋管分区运行性能特性。

附录C　地埋管压力损失计算

C.0.1　地埋管压力损失宜按以下方法进行计算：

1　确定流量 G(m^3/h)，公称直径和流体特性；

2　根据公称直径，确定管道的内径(m)；

3　计算管道的断面面积 A(m^2)；

4　计算流速 V(m/s)：$V=\dfrac{G}{3600\times A}$；

5　计算管道的雷诺数(Re)，Re 应该大于 2300 以确保紊流：

$$\mathrm{Re}=\frac{\rho V d_j}{\mu}$$ 。

式中：Re　　管内流体的雷诺数；

ρ　　管内流体的密度(kg/m^3)；

μ　　管内流体的动力黏度(Pa(s)。

6　计算管段的沿程阻力损失 P_Y(Pa/m)：

$P_Y=P_d\times L$；

$P_d=0.158\times\rho^{0.75}\times\mu^{0.25}\times d_j{}^{1.25}\times V^{1.75}$。

式中：P_d　　单位管长的摩擦阻力损失，P_a；

L　　计算管段的长度，m。

7　计算管段的局部阻力损失 P_J(Pa)：$P_J=P_d\times L_j$。

式中：Lj　　计算管段中局部阻力的当量长度，m。见表 C.0.2

8　计算管段的总阻力损失 P_Z(P_a)：$P_Z=P_Y+P_J$

C.0.2　管件当量长度可按表 C.0.2 计算。

表 C.0.2 管件当量长度表

名义管径		弯头的当量长度(m)				T形三通的当量长度(m)			
		90°标准型	90°长半径型	45°标准型	180°标准型	旁流三通	直流三通	直流三通后缩小1/4	直流三通后缩小1/2
3/8"	dn10	0.4	0.3	0.2	0.7	0.8	0.3	0.4	0.4
1/2"	dn12	0.5	0.3	0.2	0.8	0.9	0.3	0.4	0.5
3/4"	dn20	0.6	0.4	0.3	1.0	1.2	0.4	0.6	0.6
1"	dn25	0.8	0.5	0.4	1.3	1.5	0.5	0.7	0.8
5/4"	dn32	1.0	0.7	0.5	1.7	2.1	0.7	0.9	1.0
3/2"	dn40	1.2	0.8	0.6	1.9	2.4	0.8	1.1	1.2
2"	dn50	1.5	1.0	0.8	2.5	3.1	1.0	1.4	1.5
5/2"	dn63	1.8	1.3	1.0	3.1	3.7	1.3	1.7	1.8
3"	dn75	2.3	1.5	1.2	3.7	4.6	1.5	2.1	2.3
7/2"	dn90	2.7	1.8	1.4	4.6	5.5	1.8	2.4	2.7
4"	dn110	3.1	2.0	1.6	5.2	6.4	2.0	2.7	3.1
5"	dn125	4.0	2.5	2.0	6.4	7.6	2.5	3.7	4.0
6"	dn160	4.9	3.1	2.4	7.6	9.2	3.1	4.3	4.9
8"	dn200	6.1	4.0	3.1	10.1	12.2	4.0	5.5	6.1

附录D　地理管外径及壁厚

D.0.1　聚乙烯(PE)管外径及公称壁厚应符合表D.0.1的规定。

表D.0.1　聚乙烯(PE)管外径及公称壁厚(mm)

公称外径 De	平均外径		公称壁厚/材料等级		
	最小	最大	公称压力		
			1.0MPa	1.25 MPa	1.6 MPa
20	20.0	20.3			
25	25.0	25.3		$2.3^{+0.5}$/ PE80	
32	32.0	32.3		$3.0^{+0.5}$/ PE80	$3.0^{+0.5}$/ PE100
40	40.0	40.4		$3.7^{+0.6}$/ PE80	$3.7^{+0.6}$/ PE100
50	50.0	50.5		$4.6^{+0.7}$/ PE80	$4.6^{+0.7}$/ PE100
63	63.0	63.6	$4.7^{+0.8}$/PE80	$4.7^{+0.8}$/ PE100	$5.8^{+0.9}$/ PE100
75	75.0	75.7	$4.5^{+0.7}$/PE100	$5.6^{+0.9}$/ PE100	$6.8^{+1.1}$/ PE100
90	90.0	90.9	$5.4^{+0.9}$/ PE100	$6.7^{+1.1}$/ PE100	$8.2^{+1.3}$/ PE100
110	110.0	111.0	$6.6^{+1.1}$/ PE100	$8.1^{+1.3}$/ PE100	$10.0^{+1.5}$/ PE100
125	125.0	126.2	$7.4^{+1.2}$/ PE100	$9.2^{+1.4}$/ PE100	$11.4^{+1.8}$/ PE100
140	140.0	141.3	$8.3^{+1.3}$/ PE100	$10.3^{+1.6}$/ PE100	$12.7^{+2.0}$/ PE100
160	160.0	161.5	$9.5^{+1.5}$/ PE100	$11.8^{+1.8}$/ PE100	$14.6^{+2.2}$/ PE100
180	180.0	181.7	$10.7^{+1.7}$/ PE100	$13.3^{+2.0}$/ PE100	$16.4^{+3.2}$/ PE100
200	200.0	201.8	$11.9^{+1.8}$/ PE100	$14.7^{+2.3}$/ PE100	$18.2^{+3.6}$/ PE100
225	225.0	227.1	$13.4^{+2.1}$/ PE100	$16.6^{+3.3}$/ PE100	$20.5^{+4.0}$/ PE100
250	250.0	252.3	$14.8^{+2.3}$/ PE100	$18.4^{+3.6}$/ PE100	$22.7^{+4.5}$/ PE100
280	280.0	282.6	$16.5^{+3.3}$/ PE100	$20.5^{+4.1}$/ PE100	$25.4^{+5.0}$/ PE100
315	315.0	317.9	$18.7^{+3.7}$/ PE100	$23.2^{+4.6}$/ PE100	$28.6^{+5.7}$/ PE100
355	355.0	358.2	$21.1^{+4.2}$/ PE100	$26.1^{+5.2}$/ PE100	$32.2^{+6.4}$/ PE100
400	400.0	403.6	$23.7^{+4.7}$/ PE100	$29.4^{+5.8}$/ PE100	$36.3^{+7.2}$/ PE100

D.0.2　聚丁烯(PB)管外径及公称壁厚应符合表D.0.2的规定。

表 D.0.2 聚丁烯(PB)管外径及公称壁厚(mm)

公称外径 De	平均外径		公称壁厚
	最小	最大	
20	20.0	20.3	$1.9^{+0.3}$
25	25.0	25.3	$2.3^{+0.4}$
32	32.0	32.3	$2.9^{+0.4}$
40	40.0	40.4	$3.7^{+0.5}$
50	49.9	50.5	$4.6^{+0.6}$
63	63.0	63.6	$5.8^{+0.7}$
75	75.0	75.7	$6.8^{+0.8}$
90	90.0	90.9	$8.2^{+1.0}$
110	110.0	111.0	$10.0^{+1.1}$
125	125.0	126.2	$11.4^{+1.3}$
140	140.0	141.3	$12.7^{+1.4}$
160	160.0	161.5	$14.6^{+1.6}$

本规程用词说明

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 条文中指明应按其它有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

重庆市工程建设标准

地埋管地源热泵系统技术规程

DBJ50-199-2014

条文说明

2014　重　庆

目　次

1 总 则

1.0.1 制定本规程的宗旨。地埋管地源热泵系统可利用浅层地热能资源进行供暖与空调，具有良好的节能与环境效益，近年来在重庆市得到了日益广泛的应用。但是针对重庆市自身的气候地质条件，并没有相关细化的规程进行约束，地埋管地源热泵系统的推广呈现出盲目性。为了规范地源热泵系统的设计、施工及验收，确保地埋管地源热泵技术安全可靠的运行，以及更好的因地制宜的发挥其节能效益，制定本规程。

1.0.2 规定了本规程适用的范围。

1.0.3 本规程为地埋管地源热泵系统工程的专业性重庆市通用技术规程。本规程的目的是强调在执行本规程的同时，还应注意贯彻执行相关标准、规范等的有关规定。

3 工程勘察

3.1 一般规定

3.1.1 地埋管地源热泵项目地质条件勘察要求。强制性条文。本条内容与国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB50366-2005(2009 版)中强制性条文第 3.1.1 条、国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012 中强制性条文第 8.3.4(1)条等效。

工程场地状况及岩土地质条件是能否应用地埋管地源热泵系统的基础。浅层地热能勘察是查明工程场地浅层地热能条件，进行场地浅层地热能评价，为地埋管地源热泵工程项目可行性研究及设计提供基础依据。

岩土体地质条件勘察可参照《岩土工程勘察规范》GB50021 及《供水水文地质勘察规范》GB50027 进行。

3.1.2 收集已建地埋管地源热泵工程勘察、工程施工和运行情况等资料，确定相应勘察方法。浅层地热能资源评价包括：计算换热功率、浅层地热容量、供暖期取热量和制冷期排热量等。

3.2 工程场地状况调查

3.2.1 工程场地可利用面积应满足埋设水平或竖直地埋管换热器(地埋管换热系统)的需要。同时应满足置放和操作施工机具及埋设室外管网的需要。场地内及周边已有设施及规划建设设施，将影响到地下埋管的施工及运行。

3.3 地埋管地源热泵系统勘察

3.3.1 采用水平地埋管换热器时，地埋管换热系统勘察采用槽探、坑探、或钎探进行。槽探是为了了解构造线和破碎带宽度、地层和岩性界限及其延伸方向等在地表挖掘探槽的工程勘察技术。探槽应根据场地形状确定。探槽的深度一般超过埋管深度 1m。

采用竖直地埋管换热器时，地埋管换热系统勘察采用钻探进行。钻探方案应根据场地大小确定，勘探孔深度应比钻孔至少深 5m。

岩土体热物性指岩土体的热物性参数，包括岩土体导热系数、密度及比热等。除埋管区域已有数据外，否则应进行岩土体导热系数、密度及比热等热物性测定。测定方法可采用实验室法及现场测定法。

1 实验室法：对勘探孔不同深度的岩土体样品进行测定，并以其深度加权平均，计算该勘探孔的岩土体热物性参数；对探槽不同水平长度的岩土体样本进行测定，并以其长度加权平均，计算该探槽的岩土体热物性参数。

2 现场测试法：即岩土热响应试验，岩土热响应实验详见附录 A。

重庆多数地区为基岩山区，岩层蕴藏着较丰富的构造裂隙水，地下水补给区与排泄区的相对位置与高差决定着地下水径流的方向与径流速度；含水层的补给条件与排泄条件愈好、透水性愈强，则径流条件愈好。地下水赋存状况对地下温度场的变化有较大影响，应查明埋管区域内地下水赋存状况。

3.3.2 应用建筑面积是指在同一个工程中，应用地埋管地源热泵系统的各个单体建筑面积的总和。

3.3.3 对应用面积较大的地源热泵项目热响应测试的要求。

考虑到重庆市的地质特征及地埋管地源热泵系统的应用特点，结合国外已有的经验，为了保证大中型地埋管地源热泵系统

的安全运行和节能效果，作此规定。

3.3.5 测试仪器所配置的计量仪表，如流量计、温度传感器等，应满足测试精度与要求。

4 地埋管换热系统设计

4.1 一般规定

4.1.1 岩土体的特征对地埋管换热器施工进度和初投资有很大的影响。坚硬的岩土体将增加施工难度及初投资，而松软岩土体的地质变形对地埋管换热器也会产生不利的影响。为此，工程勘察完成后，应对地埋管换热系统实施的可行性及经济性进行评估。

4.2 地埋管管材与传热介质

4.2.2 聚乙烯管应符合《给水用聚乙烯(PE)管材》GB/13663 的要求。聚丁烯管应符合《冷热水用聚丁烯(PB)管道系统》GB/T 19473.2 的要求。聚乙烯(PE)和聚丁烯(PB)管柔韧性好，强度高，尤其是 PPR 管做成的地下换热器可使用 40 年以上，而且它的重量轻、耐腐蚀、造价低。管道柔韧性好，可以通过加热熔合形成比管道自身强度更好的连接接头；使用铝塑管时，应特别注意：铝塑管与水接触的是塑料，不易在管道中发生腐蚀，但在铝塑管与铝塑管的接头处及铝塑管与金属接头处均露出了铝材质，暴露出来的铝材质易腐蚀，造成泄漏，因此系统采用铝塑管时要慎重；而 PVC(聚氯乙烯)管的导热性差且可塑性不好，因此在地埋管地源热泵系统中不推荐用 PVC 管；为了强化地下埋管的换热，国外有的提出采用薄壁(0.5mm)的不锈钢钢管，但目前实际应用不多。

4.2.3 传热介质的安全性包括毒性、易燃性及腐蚀性；良好的传热特性和较低的摩擦阻力是指传热介质具有较大的导热系数和

较低的粘度。可采用的其他传热介质包括氯化钠溶液、氯化钙溶液、乙二醇溶液、丙醇溶液、丙二醇溶液、甲醇溶液、乙醇溶液、醋酸钾溶液及碳酸钾溶液。

4.2.4 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、乙醇；

4 钾盐溶液：醋酸钾和碳酸钾。

4.2.5 添加防冻剂后的传热介质的冰点宜比设计最低使用水温低 3～4℃，是为了防止出现结冰现象。

地埋管换热系统的金属部件应与防冻剂兼容。这些金属部件包括循环泵及其法兰、金属管道、传感部件等与防冻剂接触的所有金属部件。

4.3 地埋管换热器设计

具体设计步骤可参考本节末尾所附流程图。

4.3.1 地埋管埋设区域可能会承重，而地埋管测压能力有限，必须考虑其承受荷载；建筑和市政管线的关系紧密，不考虑未来的管线施工，会导致部分地埋管无法施工，达不到设计要求。

4.3.2 地埋管换热系统一般要与供水或排水管道保持至少 70cm 的间距，远离室外给排水设施，这样做的目的是为了减少相互影响，以免造成冻结或热污染；靠近机房或以机房为中心设计是为了缩短供、回水集管的长度，减少管路的热损失和水泵耗功。

4.3.4 全年冷、热负荷平衡失调，将导致地埋管区域岩土体温度持续升高或降低，从而影响地埋管换热器的换热性能，降低地埋管换热系统的运行效率。因此，地埋管换热系统设计应考虑全年冷热负荷的影响。

供冷工况下释放至循环水中的总热量 Q(kW)包括：

1)各空调分区内水源热泵机组释放到循环水中的热量(空调负荷和机组压缩机功率)Q_1(kW);

2)循环水在输送过程中得到的热量 Q_2(kW);

3)水泵释放到循环水中的热量 Q_3(kW);

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = \sum[q_1 \cdot (1 + 1/EER)] + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

式中:q_1　　各分区的空调冷负荷(kW);

EER　　机组的能效比。

供热工况下循环水的总吸热量 Q'(kW)包括:

1)各空调分区内水源热泵机组释放到循环水中的热量(空调负荷和机组压缩机功率)Q_1'(kW);

2)循环水在输送过程中得到的热量 Q_2'(kW);

3)水泵释放到循环水中的热量 Q_3'(kW);

$$Q' = Q_1' + Q_2' - Q_3' = \sum[q_1' \cdot (1 - 1/COP)] + Q_2' - Q_3' \quad (2)$$

式中:q_1'　　各分区的空调冷负荷(kW);

COP　　机组的性能系数。

4.3.5　对于地下水径流流速较大地埋管区域,地源热泵系统总释热量和总吸热量可以通过地下水流动(带走或获取热量)取得平衡。地下水的径流流速的大小区分原则:1 个月内,地下水的流动距离超过沿流动方向的地埋管布置区域的长度,为较大流速;反之为较小流速。

4.3.7　利用岩土热响应试验进行地埋管换热器的设计,是将岩土综合热物性参数、岩土初始平均温度和空调冷热负荷输入专业软件,在夏季工况和冬季工况运行条件下进行动态耦合计算通过控制地埋管换热器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,进行地埋管换热器的设计。

条文中对冬夏运行期间地埋管换热器进出口温度的规定,是出于对地埋管地源热泵系统节能性的考虑,同时保证热泵机组的安全运行。夏季,如果重庆地区地埋管换热器出口温度高于30℃,地埋管地源热泵系统的运行工况与常规的冷却塔相当,无

法充分体现地埋管地源热泵系统的节能性；在冬季，制定地埋管换热器出口温度限值，是为了防止温度过低，机组结冰，系统能效比降低。

为了便于设计人员采用，本规程分别规定了冬夏期间地埋管换热器进出口温度的限制，通常地埋管地源热泵系统设计时进出口温度限值的确定，还应考虑对全年运行能效的影响；在对有利于提高冬夏全年运行能效和节能量的条件下，夏季运行期间地埋管换热器出口温度和冬季运行地埋管换热器进口温度可适当调整。

4.3.8 热物性测试得到的单位延米换热量，仅限于测试工况的数据。计算软件应为市建委组织技术专家鉴定通过了的计算软件。动态计算的目的是要根据负荷特征结合热物性测试得到的岩土参数来进行埋管长度的计算。

4.3.9 引自加拿大地源热泵系统设计安装标准《Design and Installation of Earth Energy Systems for Commercial and Institutional Buildings》CAN/CSA-C448.1

4.3.10 根据重庆市单U和双U管的工程测试和技术经济分析，双U管的单位价值换热量要高于单U，因此宜优先双U换热器。

4.3.13 对于负荷较大的建筑，埋管量大，热积累的可能性也越大。采用分区调节，可以保证在部分负荷时，某些分区埋管的岩土温度得到一定程度的恢复，保证地埋管的长期稳定运行。

4.3.14 重庆市为山地城市，建筑用地内多存在回填区，回填区内结构桩基埋深常常在8～30m。地埋管可以和桩基相结合，减少地埋管系统钻孔成本，所以宜优先采用桩基埋管。该项技术在欧洲地区、我国的贵州、上海、武汉均得到成功应用。

4.3.15 埋深应以不受外界气温日变化为宜。为保证换热效果，管间距不宜过小。竖直地埋管深度不宜大于150m，主要是考虑下管和回灌的难度。

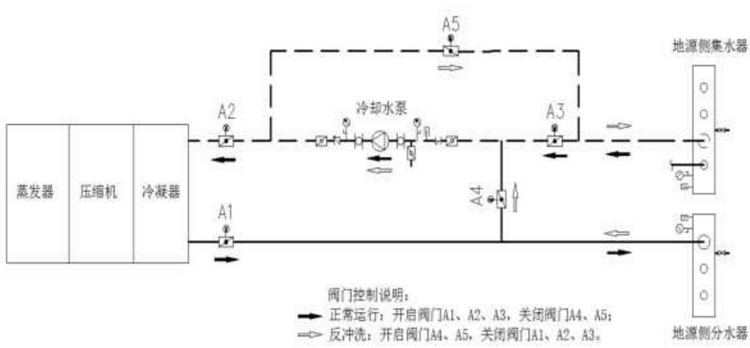
4.3.17 由于长期运行的地埋管过度加热或冷却了进水段的岩土，地埋管换热器的出水管温度将受到该部分岩土的影响，换热后的冷量或热量无法顺利“带出”，因此应进行出水段的保温。保温厚度应根据负荷特性进行计算分析。

4.3.18 利于水利平衡及降低压力损失，保证换热效果和利于排气。供、回水环路集管间距不小于0.6m，目的是减少热作用半径内因供回水管之间传热而造成的损失。

4.3.19 目的在于增加系统的安全性、可靠性。一般在集水器上预留充液管。

4.3.20 由于无中间换热器，高层建筑的高度所带来的静压要由竖直埋管换热器来承担，这将导致埋管所要求的承压能力过大。

4.3.21 反冲洗目的在于防止地埋管换热系统堵塞。反冲洗时，可分环路冲洗，冲洗水不应通入机组内。系统工作原理如下图所示：



4.3.22 地埋管换热系统根据建筑负荷变化进行流量调节，可以节省运行电耗。

4.3.25 当地表面积较大，浅层岩土体的温度及热物性受气候、雨水、埋设深度影响较小时，宜采用水平地埋管换热器。

5 冷热源及室内系统设计

5.2 冷热源设备

5.2.1 生产许可证不仅规定了设备生产厂家是否有资格生产该类型的机组，且规定了机组的冷热量范围。

5.2.5 部分热回收机组，在热回收系统工作时，机组的能效比比热回收系统不工作时的能效比高。

5.2.10 为了防止机组在冬天制热运行时冷凝器散失热量，除了常规的对蒸发器进行保温外，冷凝器也应保温。

5.3 冷热源系统设计

5.3.4 不同地区岩土体温差较大，设计时应按实际水温参数进行设备选型。末端设备应适合水源热泵机组供、回水温度的特点，保证地埋管地源热泵系统的应用效果，提高节能率。

5.3.5 根据水源热泵机组的设置方式不同，分为集中、水环和分体热泵系统。水环热泵系统是小型水/空气热泵机组并联在一起，构成以回收建筑物内部余热为主要特征的热泵供热、供冷系统。水环热泵系统机组的进风温度不应低于10℃或高于32.2℃。当进风温度低于10℃时，应进行余热处理。对于冬季间歇使用建筑物，宜采用分体热泵系统，以防止停止使用时设备冻损。末端空调系统可采用风机盘管系统、冷暖顶/地板辐射系统或全空气系统。

5.3.6 地埋管地源热泵系统采用水路进行冬、夏季工况转换，转换阀门应设在易于操作的区域，并做好明显的标注说明，管道水

流方向应指示明确，系统维修时易于辨认。

5.3.8 为达到节能目的，可采用水侧或风侧节能器，且根据实际情况设置蓄能水箱。对于平均水温低于 10℃的地区，由于供热量大，地埋管换热器出水温度较低，为节省能量，此时宜在水侧或风侧设置热回收装置对排热进行回收；或者根据室外气象条件及系统特点采用过渡季增大新风量等节能措施。

6 系统计量与监控

6.1 一般规定

6.1.2 为了节省运行中的能耗，供热与空调系统应配置必要的监测与控制。但实际情况错综复杂，作为一个总的原则，设计时要求结合具体工程情况通过技术经济比较确定具体的控制内容。

6.1.3 地埋管地源热泵系统各部分关联紧密，采用集中监控系统，便于工况转换和运行调节，可以减少运行维护工作量，提高管理水平；有利于系统可以合理利用能量，实现节能运行；可以有效防止事故，保证设备和系统运行安全可靠。目前多数大、中型工程都是以 DDC 控制系统为基本的控制系统形式。

6.2 系统运行监测与计量

6.2.1 当有多个地埋管地源热泵机房时，选择典型机房并设计室外温湿度传感器，温、湿度传感器应安装在空气流通，能反映被测区域空气状态的位置。对室外温度的监测可以为系统的运行提供评价依据，也为辅助散热设备的启停控制提供依据。

6.2.2 对地下换热器循环水温度和压力的监控，可以了解地下换热器的换热效率，监视地下换热器的工作状况，通过计算可以间接了解换热器内部是否结垢，可以及时发现换热器内部的堵塞，为换热器的运行管理、维修及辅助设备的启停提供依据。

6.2.3 对地下换热器循环水流量的监测除随时间变化的瞬态流量外，还宜监测循环水的积累流量，可以了解地下换热器的实际换热量，对平衡地下岩土热负荷，地下换热器及辅助散热/加热设

备的运行管理提供依据。

6.2.4 温度监测井宜布置在埋管场地(布置超过两个测点须等面积分区)对角线的交叉点上,位于相邻换热井的几何中心,井深与换热井相当,测点的布置宜在地埋管换热器埋设深度范围内,且间隔不宜大于10m。埋入岩土的温度传感器应有防腐蚀措施。

6.2.5 根据换热器的分组情况选择典型位置换热器,在换热器管壁外表面布置温度传感器,测点的布置宜在地埋管换热器埋设深度范围内,且间隔不宜大于10m,温度传感器应有防腐蚀措施。

6.2.6 在地埋管地源热泵系统的配电系统设计有独立的配电回路时,应在总配电回路输入端设计功率传感器或电能表。当地埋管地源热泵系统的配电回路分散设计时,需要根据配电系统的实际情况确定电能表的设计数量及位置。

6.2.7 对复合式系统中辅助设备监测相关参数,是为制定合理的运行管理策略,系统节能运行控制提供参数。

6.2.8 通过记录系统运行参数、定期的统计系统的能量消耗,为系统改进运行性能提供依据。

6.3 传感器

6.3.1 温度传感器的设置宜保证以下测量范围和精度。水温度测量范围:0℃～100℃,测量准确度:≤＋0.2℃,测量分辨率:≤＋0.1℃;室外温度测量范围:-40℃～＋80℃,测量准确度:≤＋0.5℃,测量分辨率:≤＋0.1℃;表面温度传感器测量范围:-20℃～100℃,测量准确度:≤＋1.0℃,测量分辨率:≤＋0.1℃。

6.3.3 流量传感器的设置宜保证以下测量范围和精度。测量范围:依据测量设备或者系统循环流量确定。测量准确度:≤2%,测量分辨率:≤0.1m^3/h。

6.3.4 功率计量设备的设置宜保证以下测量精度要求。测量准确度:≤1%,测量分辨率:≤1W;工作环境:电源为单相交流

220V,50Hz;安装位置的条件满足设备的正常运行。

6.3.5 耗电量计量设备的精确度等级不宜低于1.0级。

6.4 系统控制

6.4.1 应根据全年岩土热平衡模拟计算结果或根据往年运行实测结果制定地埋管地源热泵系统全年运行预案,使地埋管换热器交替运行,进行岩土热平衡控制,保证热泵系统的运行效率。地下换热器局部漏水时,使用关断阀门将漏水部分与系统其他部分隔离。

6.4.2 辅助热源(汇)用于分担地下换热器的负荷,它的运行方式主要是用于调峰,也可以在夜间或低负荷条件下运行以平衡岩土热量,须具备独立控制并单独运行的能力。

6.4.3 本条的目的是为了保护热泵机组的安全运行,保证机组在启动时有足够的水量流过蒸发器和冷凝器,防止水源热泵机组同时启动对供电系统造成冲击,以提高设备运行的可靠性,避免事故发生。

6.4.4 水源热泵机组运行时,冷却水的供水温度对制冷机组的运行效率影响很大,同时也会影响到机组的正常运行,故必须加以控制。由于随着地埋管换热器运行时间增加,周围岩土温度升高/降低,热交换性能减弱,故应对地埋管换热器组群、辅助散热/加热装置的运行时间进行控制。

7　施工安装

7.3　地埋管换热系统施工

7.3.3　竖直地埋管钻孔施工应遵循以下要求：

2　采用同一设计口径是防止下管时损伤地下换热管。复杂地层中下入护壁套管，保护钻孔孔壁，防止钻孔垮塌，确保换热器下入孔内。

护壁套管为下钻孔中用以保护钻孔孔壁的套管。钻孔前，护壁套管应预先组装好，施钻完毕应尽快将套管放入钻孔中，并立即将水充满套管，以防孔内积水使套管脱离孔底上浮，达不到预定的埋设深度。

3　考虑钻孔孔内未清除干净的沉渣及孔内水上浮力影响，实际钻孔孔深宜大于设计孔深1～2m，确保换热器下至设计深度。

4　重庆属于基层山区，岩石裂隙较为发育，钻孔时跳孔施工，以防止冲洗液或空气串孔，影响相邻钻孔。施工时，应注意观察已完成钻孔，如有串孔现象发生，已完成钻孔应重新清孔。

7.3.4　竖直地埋管换热器的安装应遵循以下要求：

3　下管时，可采用每隔2～4m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。

7.3.5　竖直地埋管回填灌浆要求。

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，使灌浆液自下而上灌注封孔，确保钻孔灌浆密实，无空腔，否则会降低传热效果，影响工程质量。

U形管安装完毕后，应立即灌浆回填封孔，隔离含水层。灌

浆即使用泥浆泵通过灌浆管将混合浆灌入钻孔中的过程。泥浆泵的泵压足以使孔底的泥浆上返至地表，当上返泥浆密度与灌注材料的密度相等时，认为灌浆过程结束。

重庆属于基层山区，岩石裂隙较为发育，都有一定的地下水位，且地下水处于流动状态，地下水的流动有利于增强地下换热器换热效果。为保持地下水的流动性，增强对流换热效果，不宜采用水泥基料灌浆。

当采用水泥基料孔底回填灌浆，在灌浆结束后 24h 内，不宜进行周围邻近钻孔施工；采用膨润土和细砂组成的混合物回填灌浆宜在周围邻近钻孔均钻凿完毕后进行。以免相邻钻孔施工时，循环液或高压空气串孔，影响灌浆效果。

当埋管深度超过 40m 时，灌浆回填宜在周围临近钻孔均钻凿完毕后进行，目的在于一旦孔斜将临近的 U 形管钻伤，便于更换。

7.3.6 回填料应采用网孔不大于 15mm×mm 的筛进行过筛，保证回填料不含有尖利的岩石块和其他碎石。为保证回填均匀且回填料与管道紧密接触，回填应在管道两侧同步进行，同一沟槽中有双排或多排管道时，管道之间的回填压实应与管道和槽壁之间的回填压实对称进行。各压实面的高差不宜超过 30cm。管腋部采用人工回填，确保塞严、捣实。分层管道回填时，应重点作好每一管道层上方 15cm 范围内的回填。管道两侧和管顶以上 50cm 范围内，应采用轻夯实，严禁压实机具直接作用在管道上，使管道受损。

系统冲洗是保证地埋管换热系统可靠运行的必须步骤，在地埋管换热器安装前、地埋管换热器与环路集管装配完成后及地埋管换热系统全部安装完成后均应对管道系统进行冲洗。

7.3.9 回填料应采用网孔不大于 15mm×15mm 的筛进行过筛，保证回填料不含有尖利的岩石块和其它的碎石。为保证回填均匀且回填料与管道紧密接触，回填应在管道两侧同步进行，同一沟槽中有双排或多排管道时，管道之间的回填压实应与管道和槽

壁之间的回填压实对称进行。各压实面的高差不宜超过30cm。管腋部采用人工回填,确保塞严、捣实。分层管道回填时,应重点做好每一管道层上方15cm范围内的回填。管道两侧和管顶以上50cm范围内,应采用轻夯实,严禁压实机具直接作用在管道上,使管道受损。

7.4 冷热源系统安装

7.4.1 地埋管地源热泵系统设备安装前,应对设备进行开箱检查,核对设备各项参数是否与设计参数相符,同时检查随机文件是否齐全。

7.4.2 在地埋管地源热泵系统安装过程,应对所使用的管道、管件及阀门等关键部位进行抽检,抽检分批次进行。大型设备安装前应检查厂家提供的资料是否与设备到货参数相符,不合格产品不予验收及使用。

7.4.3 地埋管地源热泵系统采用水路进行冬、夏季工况转换,转换阀门应设在易于操作的区域,并做好明显的标注说明,管道水流方向应指示明确,系统维修时易于辨认。

8 系统调试与验收

8.1 一般规定

8.1.2 地埋管地源热泵系统的节能验收要求。

地埋管地源热泵系统投资高，系统复杂，如不重视验收测试环节，会造成投资浪费，达不到预期的节能效果。由第三方检测单位开展冬、夏两季运行测试并对系统节能性进行评价。

8.2 调 试

8.2.3 地埋管地源热泵系统试运转的测定与调整应符合下列规定：

1 地下换热系统的介质压力、温度、流量等技术数据应符合有关技术文件的规定；

2 末端系统的介质压力、温度、流量等技术参数应符合设计要求；

3 系统连续运行应达到正常平稳；水泵的压力和水泵电机的电流不应出现大幅波动；

4 各种自动计量检测元件和执行机构的工作应正常，满足建筑设备自动化系统对被测定参数进行检测和控制的要求。

5 控制和检测设备应能与系统的检测元件和执行机构正常通讯，系统的状态参数应能正确显示，设备连锁、自动调节、自动保护应能正确动作。

6 调试报告应能包括调试前的准备记录、水路平衡、机组及系统试运转的全部测试数据。

附录 A　岩土热响应试验

A.1　一般规定

A.1.1　工程场地状况及浅层地热能资源条件是能否应用地埋管地源热泵系统的前提。地埋管地源热泵系统方案设计之前，应根据实地勘察情况，选择测试孔的位置及测试孔的数量，确定钻孔、成孔工艺及测试方案。如果在打孔区域内，由于设计需要，存在有成功方案或成孔工艺不同，应各选出一孔作为测试孔分别进行测试；此外，对于地埋管换热器埋设面积较大，或地埋管换热器埋设区域较为分散，或场区地质条件差异较大的情况，应根据设计和施工的要求划分区域，分别设置测试孔，相应增加测试孔的数量，进行岩土热物性参数的测试。

A.1.2　对岩土层分布、各层岩土土质以及地下水情况的掌握，为热泵系统的设计方案遴选提供依据。钻孔地质综合柱状图是指通过现场钻孔勘察，并综合场区已知水文地质条件，绘制钻孔揭露的岩土柱状分布图，获取地下岩土不同深度的岩性结构。

A.1.4　作为地埋管地源热泵设计的指导文件，报告内容应明晰准确。

参考标准是指在岩土热响应试验的进行过程中(含测试孔的施工)，所遵循的国家或地方标准。

由于钻孔单位延米换热量是在特定测试工况下得到的数据，受工况条件影响很大，不能直接用于地埋管地源热泵系统的设计。因此该数值仅可用于设计参考。

报告中应明确指出，由于地质结构的复杂性和差异性，测试结果只能代表项目所在地岩土热物性参数，只有在相同岩土条件

下，才能类比作为参考值使用，而不能片面的认为测试所得结果即为该区域或该地区的岩土热物性参数。

A.1.5 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.1.6 先连接水管和地埋管换热器等外部非用电的设备，在检查完外部设备连接无误后，最后再将动力电连接到测试仪器上，以保证施工人员和现场的安全。

A.2 测试仪表

A.2.3 对于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.3 岩土热响应测试方法

A.3.1 测试仪器的摆放应尽可能的靠近测试孔，摆放地点应平整，便于有关人员进行操作，同时应减少水平连接管段的长度以及连接过程中的弯头、变径，减少传热损失。

在测试现场，应搭设防护措施，防止测试设备受日晒雨淋的影响，造成测试元件的损坏，影响测试结果。

岩土热物性参数作为一种热物理性质，无论对其进行放热还是取热试验，其数据处理过程基本相同。因此本规范中只要求采用向岩土施加一定加热功率的方式，来进行热响应试验。

现有的主要计算方法，是利用反算法推导岩土热物性参数，其方法是：从计算机中取出试验测试结果，将其与软件模拟的结

果进行对比，使得方差和取得最小值时，通过传热模型调整后的热物性参数即是所求结果。其中，$f=\sum_{i=1}^{N}(T_{cal,i}-T_{\exp,i})^2$，$T_{cal,i}$ 为第 i 时刻由模型计算出的埋管内流体的平均温度；$T_{\exp,i}$ 为第 i 时刻实际测量的埋管中流体的平均温度；N 为试验测量的数据的组数(即采样点数)。也可将试验数据直接输入专业的地源热泵岩土热物性测试软件，通过计算分析得到当地岩土的热物性参数。

重庆大学编制了热响应测试岩土热物性计算软件，该软件采用 C# 程序语言，基于 Visual Studio 2008 开发平台进行开发。软件包括了对地埋管每延米换热量(q_l)、岩土导热系数(λ_s)和体积比热($\rho_s c_s$)的计算以及在已知岩土比热的情况下对钻孔热阻(R_b)的计算。软件采用的地埋管传热模型为本规范中提出的模型。

1 钻孔内传热过程及热阻

钻孔内两根埋管单位长度的热流密度分别为 q_1 和 q_2，根据线性叠加原理有：

$$T_{f1}=T_b=R_1q_1+R_{12}q_2 \tag{1}$$

$$T_{f2}=T_b=R_{12}q_1+R_2q_2 \tag{2}$$

式中：T_{f1} ，T_{f2} —— 分别为两根埋管内流体温度(℃)；

T_b —— 钻孔壁温度(℃)；

R_1 ，R_2 —— 分别看作是两根管道独立存在时与钻孔壁之间的热阻(m(K/W)；

R_{12} —— 两根管道之间的热阻(m(K/W)。

在工程中可以近似认为两根管道是对称分布在钻孔内部的，其中心距为 D，因此有：

$$R_1=R_2=\frac{1}{2\pi\lambda_b}\left[\ln\left(\frac{d_b}{d_o}\right)+\frac{\lambda_b-\lambda_s}{\lambda_b-\lambda_s}\cdot\ln\left(\frac{d_b^2}{d_b^2-D^2}\right)\right]+R_p+R_f \tag{3}$$

$$R_{12}=\frac{1}{2\pi\lambda_b}\left[\ln\left(\frac{d_b}{D}\right)+\frac{\lambda_b-\lambda_s}{\lambda_b+\lambda_s}\cdot\ln\left(\frac{d_b^2}{d_b^2+D^2}\right)\right] \qquad (4)$$

其中埋管管壁的导热热阻和关闭与循环介质对流换热热阻分别为：

$$R_p=\frac{2}{2\pi\lambda_p}\cdot\ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right),R_f=\frac{1}{\pi d_i K} \qquad (5)$$

式中：d_i　　埋管内径(m)；

d_o　　埋管外径(m)；

d_b　　钻孔直径(m)；

λ_p　　埋管管壁导热系数[W/(m^2(K)]；

λ_b　　钻孔回填材料导热系数[W/(m^2(K)]；

λ_s　　埋管周围岩土的导热系数[W/(m^2(K)]；

K　　循环介质与U形管内壁的对流换热系数[W/(m^2(K)]。

取 q_l 为单位长度埋管释放的热流量，根据假设有：$q_1=q_2=q_{l/2}$，$T_{f1}=T_{f2}=T_f$，则式(1)(2)则可表示为：

$$T_f-T_b=q_l R_b \qquad (6)$$

由式(3)～(6)可推得钻孔内传热热阻 R_b 为：

$$R_b=\left\{\frac{1}{2\pi\lambda_b}\left[\ln\left(\frac{d_b}{d_o}\right)+\ln\left(\frac{d_b}{D}\right)+\frac{\lambda_b-\lambda_s}{\lambda_b+\lambda_s}\cdot\ln\left(\frac{d_b^4}{d_b^4-D^4}\right)\right]+\frac{1}{2\pi\lambda_p}\cdot\ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)+\frac{1}{\pi d_i K}\right\} \qquad (7)$$

2　钻孔外传热过程及热阻

当孔外传热视为以组孔壁为柱面热源的无限大介质中的非稳态热传导时，其传热控制方程，初始条件和边界条件分别为

$$\frac{\partial T}{\partial \tau}=\frac{\lambda_s}{\rho_s c_s}\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right),\frac{d_b}{2}\leqslant r<\infty,\tau>0 \qquad (8)$$

$$T=T_{ff},\frac{d_b}{2}<r<\infty,\tau=0 \qquad (9)$$

$$-\pi d_b\lambda_s\frac{\partial T}{\partial r}\bigg|_{r=\frac{d_b}{2}}=q_l,\tau>0 \qquad (10)$$

$$T - T_{ff}, r \to \infty, \tau > 0 \tag{11}$$

式中：c_s　　埋管周围岩土的平均比热容[J/(kg(℃)]；

T　　孔周围岩土温度(℃)；

T_{ff}　　无穷远处土壤温度(℃)；

ρ_s　　岩土周围岩土的平均温度(kg/m³)

τ　　时间(s)。

由上述方程可求的时刻钻孔周围土壤的温度分布。其公式非常复杂，求值十分困难，需要采取近似计算。

当加热时间较短时，柱热源和线热源模型的计算结果有显著的差别；而当加热时间较长时，两模型计算结果的相对误差逐渐减小，而且时间越长差别越小。一般国内外通过实验推导钻孔传热性能及热物性所采用的普遍模型是线热源模型的结论，当时间较长时，线热源模型的钻孔壁温为：

$$T_b - T_{ff} + q_l \cdot \frac{1}{4\pi\lambda_s} \cdot Ei\left(\frac{d_b^2 \rho_s C_s}{16\lambda_s \tau}\right) \tag{12}$$

式中：$Ei(x) - \int_x^{\infty} \frac{e^{-s}}{S} dS$ 是指数积分函数。

当时间足够长时，$E_i\left(\frac{d_b^2 \rho_s C_s}{16\lambda_s \tau}\right) \approx$ ，γ 是欧拉常数，$\gamma \approx$ 0.577216。$R_s - \frac{1}{4\pi\lambda_s} \cdot Ei\left(\frac{d_b^2 \rho_s c_s}{16\lambda_s \tau}\right)$ 为钻孔外的岩土热阻。

由式(6)和式(12)可以导出时刻循环介质平均温度，为：

$$T_f - T_{ff} + q_l \cdot \left[R_b + \frac{1}{4\pi\lambda_s} \cdot Ei\left(\frac{d_b^2 \rho_s c_s}{16\lambda_s \tau}\right)\right] \tag{13}$$

式(7)和式(13)构成了埋管内循环介质与周围岩土的换热方程。式(13)有 2 个未知参数，周围岩土导热系数和容积比热容，利用该式可以求得上述两个未知参数。

A.3.2　测试孔的深度相比实际的用孔过大或过小都不足以反应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；或将制成的实际的用孔作为测试孔进行测试。

A.3.3 通过近年来对多个岩土热响应试验的总结，由于地质条件的差异以及测试孔的成孔工艺不同、深度不一，测试孔恢复至岩土初始温度时所需时间也不一致，通常在48h后测试埋管的状态基本稳定；但对于采用水泥基料作为回填材料的，由于水泥在失水的过程中会出现缓慢的放热，因此对于使用水泥基料回填材料的测试孔，测试孔应放置足够的时间（宜为10d以上），以保证测试孔内岩土温度恢复至与周围岩土初始平均温度一致；此外，测试孔成孔完毕后，要求将测试孔放置48h以上，也是为了使回填料在钻孔内充分地沉淀密实。

A.3.4 随着岩土深度以及岩土性质的不同，各个深度的岩土初始温度也会有所不同。待钻孔结束，钻孔内岩土温度恢复至岩土初始温度后，可采用在钻孔内不同深度分别埋设温度传感器（如铂电阻温度探头）或向测试孔内注满水的PE管中，插入温度传感器的方法获得岩土初始的温度分布。

A.3.5 岩土热响应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，因此需要有足够的时间来保证这一过程的充分进行。在试验过程中，如果要改变加热功率，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，才能再进行岩土热响应试验。

对于采用加热功率的测试，加热功率大小的设定，应使换热流体与岩土保持有一定的温差，在地埋管换热器的出口温度稳定后，其温度宜高于岩土初始平均温度5℃以上。如果不能保持一定的温差，试验过程就会变得缓慢，影响试验结果，不利于计算导出岩土热物性参数。

地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℃。

A.3.6 为有效测定项目所在地岩土热物性参数，应在测试开始前，对流量进行合理化设置；地埋管换热器内流速应能保证流体始终处于紊流状态，流速的大小可视管径、测试现场情况进行设定，但不应低于 0.2m/s。

附录 B　竖直地埋管换热器的设计计算

表 B　重庆地区主要岩土的热物性参数

参数 类型	k 导热系数 W/m·℃	α 热扩散率 10～6 m²/s	ρ 密度 kg/m³	c 比热容 kJ/kg·℃
花岗岩	2.721	1.26	2700	0.794
石灰岩	2.1	0.86	2650	0.92
第三系砂泥岩	1.67	0.74	2600	0.87
粘土(饱水)	1.31	0.476	1980	1.379
粉细砂(饱水)	1.55	0.48	1920	1.7
软土(饱水)	1.2	0.32	1680	2.225
20%粘土+80%细砂	1.47～1.64	0.52～0.52	1820～1900	1.60～1.70
碎石(饱水)	1.56	0.57	1650	1.5
干石英砂	0.264	0.13	1285	0.794

注:根据本市地热勘察部门资料整理。

附录D　地理管外径及壁厚

D.0.1　表中数值引自《给水用聚乙烯(PE)管材》GB/T13663。

D.0.2　表中数值引自《冷热水用聚丁烯(PE)管道系统》GB/T19473.2。