

十八星旗花坛地源热泵供暖 工程设计与施工

中南建筑设计院 张银安[★] 章 兰 张亚男

湖北风神净化空调设备工程有限公司 胡志高 李志华

福星惠誉房地产有限公司 陈 剑

摘要 介绍了该工程的空调系统、地板辐射供暖系统和地埋管地源热泵系统的设计及地埋管换热器和地板辐射供暖系统的施工要点。

关键词 地源热泵 地埋管换热器 地板辐射供暖系统 施工

Ground-source heat pump heating engineering design and construction of 18 Star Flag Flower Bed

By Zhang Yin'an[★], Zhang Lan, Zhang Yanan, Hu Zhigao, Li Zhihua and Chen Jian

Abstract Presents design of the air conditioning system, floor radiant heating system and ground source heat pump system with ground heat exchanger and the construction of the ground heat exchanger and floor radiant heating system.

Keywords ground-source heat pump, ground heat exchanger, floor radiant heating system, construction

[★] Central-south Architectural Design Institute, Wuhan, China

①

0 引言

在长江流域以北地区的一些城市广场通常采用盆景、花卉与观赏植物来美化环境及供游人欣赏。而每当寒冬来临,一些不耐寒的花卉品种常常难以安全过冬。对于盆栽花卉通常采用移入室内或温室保暖的防寒避冻措施,如冬季开花的一品红、蟹爪兰及耐寒性较差的花叶芋、花叶万年青,当室外气温在 10℃ 以下时均应移入室内或温室;对大多数畏寒的观叶植物如棕竹及米兰、君子兰等,当室外气温在 5℃ 以下时均应移入室内或温室。块茎类花卉、块根类花卉、鳞茎类花卉通常采用掘异地保温;耐寒性较强的宿根类花卉通常采用就地防冻措施,如在根际地面上覆盖稻草、草席、落叶、马粪、枯草等。以上防寒避冻措施虽然简便、效果较好,但不能保证城市广场一年四季如春的绿色效果及环境卫生。

从以上情况分析,在冬季要保证花卉的正常开放,除自然光照和环境湿度因素外,土壤温度及花卉附近环境温度也有很大的影响。因此,本工程在

冬季通过采用地埋管地源热泵及地板辐射供暖系统提高花卉根部土壤温度及花卉附近环境温度的方法来解决冬季花卉的防寒避冻。

1 工程概况

十八星旗花坛(见图 1)位于武汉市首义中心



图 1 花坛外景

①☆ 张银安,男,1963 年 12 月生,大学,高级工程师
430071 武汉市中南二路 10 号中南建筑设计院
(027) 62308318
E-mail: wuzya@sohu.com
收稿日期:2008-12-24
修回日期:2009-02-04

广场绿化区,中心圆形花坛面积约 2 400 m²,其中花坛水池水体面积 680 m²,实际花卉占地面积约 1 520 m²。中心花坛为开放式花坛,要求一年四季鲜花常开,原则上每三个月根据季节需求更换一批花卉定期摆放,保障花坛一年四季如春的绿色效果,为大众提供优美的环境。

位于首义中心广场北边的首义文化管理用房建筑面积约 1 100 m²,地下 1 层,地上 1 层,根据使用要求需设置集中空调系统,空调总冷负荷为 100 kW,热负荷为 60 kW。

2 地源热泵供暖工程热负荷计算与分析

2.1 系统使用要求

本工程在冬季采用地埋管地源热泵及地板辐射供暖系统,在花卉底部地下 60 cm 处埋设管径为 20 mm 的 PE-X 管,成 W 形分组盘绕,盘管间距 150 mm。当环境温度低于 5 ℃时,由地源热泵机组提供 45 ℃/40 ℃的热水(温度可调)在地板辐射供暖管内循环流动,提高花卉下土壤的温度。通常以土壤温度比气温高 3~6 ℃最为合适^[1]。随着热量的不断释放,使花卉下地表面温度约为 10 ℃,最终在离地面 15 cm 内能形成一定的气流保温层,温度为 5~10 ℃。

2.2 热负荷计算与分析

地板辐射供暖系统的传热问题属于半无限大多层平壁的非稳态导热和地面的表面传热问题,工程中一般根据实际情况直接将问题简化为稳态导热和简单的表面传热问题进行计算。

实际导热过程涉及到 PE-X 管、土壤及水泥隔层等多层导热,如图 2 所示。管壁上细石混凝土的导热系数 $\lambda_1 = 1.84 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,密度 $\rho_1 = 2\,344 \text{ kg}/\text{m}^3$,比热容 $c_1 = 0.75 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,厚度 $\delta_1 = 80 \text{ mm}$;水泥涂层隔板的导热系数 $\lambda_2 = 0.93 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,密度 $\rho_2 = 1\,800 \text{ kg}/\text{m}^3$,比热容 $c_2 = 0.84 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,厚度 $\delta_2 = 20 \text{ mm}$;土壤层的导热系数 $\lambda_3 = 1.41 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,密度 $\rho_3 = 1\,850 \text{ kg}/\text{m}^3$,比热

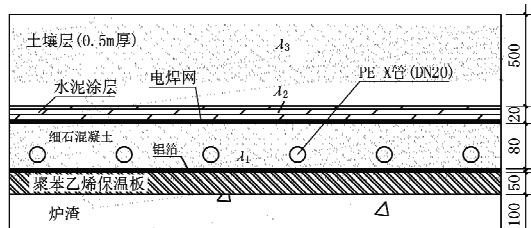


图 2 地板辐射供暖断面图

容 $c_3 = 1.84 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,厚度 $\delta_3 = 500 \text{ mm}$;聚苯乙烯的导热系数为 $0.027 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

初步设定以下参数:花卉下土壤表面温度为 10 ℃;若管内提供 45 ℃热水,设管外壁土壤温度稳定为 45 ℃;PE-X 管向下导热损失附加系数为 1.1,四周导热损失附加系数为 1.05。

简化模型为一维稳态导热,热流密度为

$$q = \frac{\Delta t}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \quad (1)$$

式中 q 为热流密度, W/m^2 ; Δt 为温差, $^\circ\text{C}$ 。

代入数据计算得导热所需热流密度 $q = 83 \text{ W}/\text{m}^2$ 。综合考虑导热损失附加系数后,得导热热流密度为 $96 \text{ W}/\text{m}^2$ 。由实际面积 $1\,520 \text{ m}^2$,确定总负荷为 146 kW。

3 空调系统、地板辐射供暖系统设计

3.1 冷热源设计

本工程采用地埋管地源热泵及地板辐射供暖系统,夏季为首义文化管理用房供冷,冬季为花坛区域及首义文化管理用房供暖。根据冬季花坛地板供暖系统热负荷及首义文化管理用房冷、热负荷计算结果,选用 1 台制冷量为 184 kW、制热量为 203 kW 的地源热泵机组,夏季提供 7 ℃/12 ℃冷水给首义文化管理用房空调使用,冬季提供 45 ℃/40 ℃热水给首义文化管理用房供暖系统及室外花坛区域地板辐射供暖系统使用。地源热泵机组设置于首义文化管理用房地下 1 层设备用房内,夏季及冬季的季节转换通过机组内置的四通换向阀实现。

3.2 首义文化管理用房空调系统设计

首义文化管理用房采用风机盘管+新风系统,空调水系统采用一次泵变流量系统,采用隔膜式定压罐定压。

3.3 花坛区域地板辐射供暖系统设计

为准确测量花卉底部土壤的温度,在花坛区域设置了 6 个温度数据采集点,每个采集点处距土壤表面 +200, +100, -100, -200, -300, -400 mm 各设有一个土壤温度传感器,测量土壤温度及花卉附近地表面的温度,所有测量数据传输至首义文化管理用房控制室。系统图见图 3。

4 室外地埋管换热系统设计

4.1 室外地埋管换热器设计

室外地埋管按室外花坛区域地板辐射供暖负

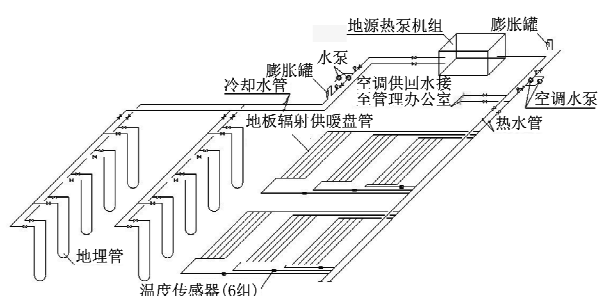


图 3 地埋管地源热泵及地板辐射供暖系统图

荷及首义文化管理用房供暖负荷之和确定。室外地埋管敷设在广场西北部靠近湖北剧场侧的 $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ 区域内。为取得可靠的土壤热物性参数数据,在地埋管区域布置了 3 个测试孔,采用现场测试系统测试土壤热物性参数。测试孔主要参数为:孔间距 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$,孔深 32 m ,孔径 150 mm ,单 U 形,管径 32 mm 。测试结果为:在地埋管进口温度 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$,出口温度 $32.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,钻孔深度 32 m 时,单位井深放热量为 52 W/m ;在地埋管进口温度 $5.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,出口温度 $9.55\text{ }^{\circ}\text{C}$,钻孔深度 32 m 时,单位井深取热量为 40 W/m 。

根据测试结果,地埋管换热器设计参数为:孔间距 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$,孔深 32 m ,孔径 150 mm ,单 U 形,管径 32 mm ,管内水流速 0.7 m/s ,钻孔 156 口。

4.2 埋管形式

采用竖直埋管,管材及配件采用高密度聚乙烯 PE 管(承压 1.25 MPa)。选用化学稳定性好、耐腐蚀、导热系数大、流动阻力小的塑料管及管件。

4.3 地埋管水系统形式

采用一次泵定流量系统,隔膜式定压罐定压,管道采用同程敷设方式,水平干管敷设在地面下 2.5 m ,均避开室外其他设备管线。

4.4 土壤热平衡措施

查阅《中国建筑热环境分析专用气象数据集》,武汉地区日平均温度低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时间为 32 d ,日最低温度低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时间为 75 d 。经计算,全年累计总热负荷(地板辐射供暖及文化管理用房供暖)为 170 MWh ,夏季空调累计总冷负荷(向土壤总释热量)为 156 MWh ,二者相差较小,基本达到土壤热平衡。考虑到空调实际运行情况可能与理论计算不一致,为了对空调实际运行管理进行指导,实现全年土壤热平衡,在地埋管水系统供、回水总管上设有温度、流量传感器,对全年地埋管换热器夏季

释热总量、冬季取热总量进行计量,根据计量结果调节地源热泵机组夏季及冬季运行时间,使夏季释热总量与冬季取热总量相当。

4.5 室外地埋管区域土壤温度数据采集系统设计

为了保证全年土壤热平衡,本工程同时设有一套土壤温度数据采集系统。在室外地埋管区域选择 4 个采集点,每个点竖直方向每隔 6 m 设置 1 个土壤温度传感器,共 16 个,对地埋管区域的土壤温度进行全年的采集分析,以对空调系统实际运行方案及土壤热平衡措施进行科学的指导。

5 室外地埋管换热器施工要点

5.1 室外地埋管换热系统的主要施工工序

孔位放样→钻孔→U 形换热器的组装、试压→U 形换热器的下放→U 形换热器的二次试压、保压→注浆→U 形换热器冲洗→开挖环路集管沟槽→抄平沟槽、回填砂子→环路集管的制作、安装→第三次试压→回填砂子及原土并夯实→第四次试压。

5.2 孔位放样

首先采用经纬仪确定埋管平面,采用钢卷尺按照室外孔位图纸进行平面定位,在各孔位作好标记及控制点。采用水准仪测出各孔位的地面高程,根据环路集管的埋深确定钻孔深度。

5.3 钻孔

钻孔是室外换热系统的主要施工工序之一,为保证成孔率,减少施工成本,加快施工进度,在钻孔过程中应采取如下措施:1) 选用性能好的钻孔设备(钻机、空气压缩机)。2) 保证钻孔的竖直精度,应小于 1° 。钻机安装应稳固可靠;开孔时应低速低压确保竖直度;孔深 5 m 以内孔斜应严格控制;开孔前必须用水平尺校正钻机,固定好后方可开孔。3) 钻孔要连续,尽量缩短钻孔时间,以防塌孔。4) 钻孔至设计深度后,提钻前应进行洗孔,保证成孔的有效深度。

5.4 U 形换热器的组装、试压应采取的措施

1) 应测量换热器的实际长度,看是否满足要求,对应的回路应作好标记。2) 检查管卡的间距及数量是否满足要求。3) 检查注浆管的长度及管径是否满足要求。三项检查合格后应贴上合格标签,然后才能进行下道工序。

5.5 注浆工序中为保证注浆的密实应采取的措施

1) 注浆应在成孔且下放 U 形换热器后立即进行,以防塌孔。2) 注浆应从下向上灌注,注浆管

的提取速度应与注浆泵的流量相匹配。3) 注浆材料及水灰比应满足设计要求。4) 注浆应多次补注,确保到达环路集管处。

5.6 保证 U 形换热器的有效长度应采取的措施

U 形换热器下管的有效长度应满足一定要求(下管有效长度应为设计长度的 0.95~1.05 倍)。U 形换热器的定管长度为设计长度 $\times 1.05 + 3.0$ m。钻孔深度为设计长度 $\times 1.05 + 1.0$ m。

5.7 环路集管制作、安装过程中应采取的措施

1) 环路集管沟槽开挖前应对 U 形换热器进行清洗、试压,完成钻孔与环路施工的交接。2) 环路集管沟槽开挖后,槽地应抄平、垫砂,高程应满足环路集管的高程要求。3) 管底及管顶砂层的厚度应满足设计或技术规程的要求。4) 为避免其他管道开挖、施工对环路集管或 U 形换热器的损坏,环路集管及 U 形换热器砂层上面应铺设警示带。5) 管材采用 PE 管材,管径大于等于 $\phi 63$ 的管道采用热熔对接连接,管径小于 $\phi 63$ 的管道采用热熔承插连接。

5.8 为避免环路集管施工过程中被破坏应采取的措施

1) 设计中应注意避让雨水、污水管线,在平面上与雨水、污水管线的距离宜大于 1.5 m,在竖直方向上应比雨水、污水管道深 1~1.5 m。2) 施工过程中,为避免其他管道开挖、施工时损坏环路集管,环路集管应接至机房且对系统注水、打压,有专人看守,被破坏时能及时发现,及时修复。3) 与室外其他工序施工协调、配合好,被破坏时能及时发现,及时通知,及时修复。

5.9 系统试压细节及步骤

1) PE 管运至工地后应进行水压试验、检漏。2) U 形管连接完毕下井前应作第一次水压试验,试验压力应为工作压力的 1.5 倍,且不应小于 1.0 MPa。在试验压力下稳压 1 h,观察其压降,若压力可以稳定在一定范围不下降,则认为合格。此次试压的目的是测试热熔连接。3) U 形管下井后应作第二次水压试验,试验压力应为工作压力的 1.5 倍,在试验压力下稳压 15 min,观察其压降,若压降不大于 0.1 MPa,则认为合格。4) 第二次水压试验完毕后进行机械灌浆,完成导管灌浆后再稳压 0.5 h,若压降不大于 0.1 MPa,则认为合格。5) 装配环路集管与管线前应进行第三次水压试验,试验压力应为工作压力的 1.5 倍,在试验压力下稳压

15 min,观察其压降,若压降不大于 0.1 MPa,则认为合格。试验合格后进行装配,以此次试压为报验标准。6) 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 12 h,压降不应大于 3%,合格后方可回填地沟。回填全部完成后方可拆除压力检验装置,有条件的可以保留以备随时检测。7) 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;不宜以气压试验代替水压试验。8) 管道分段试压合格后应对整条管道进行冲洗消毒。冲洗水应清洁,浊度应小于 5 NTU,冲洗流速应大于 1.0 m/s,直至冲洗水的排放水与进水的浊度一致为止。冲洗完毕,在地埋管换热系统中充注防冻和防腐液前应排净空气。9) 冷水管主管试压可采用电动试压泵,试验压力为 1.0 MPa,15 min 后压降小于 0.05 MPa 则为合格。

6 室外花坛地板辐射供暖系统施工要点

6.1 材料要求

1) 根据使用年限、热水温度和工作压力等因素,敷设于地面填充层内的加热管应采用非交联耐热聚乙烯(PE-RT)管。2) 加热管下部的隔热层应采用轻质、吸湿率低、有一定承载力和阻燃性的高效保温材料,设计采用 C10 的细石混凝土,然后在基层上用刮尺刮平并找平,厚度为 200 mm,夏季 24 h、冬季 72 h 禁止入现场。3) 隔热层采用聚苯乙烯泡沫塑料时厚度不应小于 20 mm,其物理性能应符合下列要求:① 表观密度为 18 kg/m^3 ,② 导热系数为 $0.041 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$,③ 压缩强度应大于等于 100 kPa,④ 吸水率不应大于 4%,⑤ 氧指数不应小于 30。4) 固定加热管应采用专用固定架。5) 分水器采用铸铁、镀锌钢管或 PE 管,集、分水器一共 22 组。

6.2 施工要求

1) 地板供暖基础部分按施工图安装,每个面层敷设允许少量的误差。2) 地板供暖安装工程施工前应具备以下条件:设计图纸及其他技术文件齐全,经批准的施工方案或施工组织设计已进行技术交底,施工力度和机具等能保证正常施工,施工现场水、电、材料储放场地等能满足施工要求。3) 施工时室外环境温度应在 5°C 以上。4) 加热管的配管和敷设:按设计图纸要求现场定出管路的基准线并配管,同一环路的加热管应保持水平。加热管的弯曲半径,塑料管不应小于管道外径的 8 倍,复合

管不应小于管道外径的 5 倍。填充层内的加热管不应有接头。应采用固定卡子将加热管直接固定在敷有复合面层的隔热板上或卡在隔热层表面的专用管架或管卡上。加热管固定点的间距,直管段不应大于 700 mm,弯曲管段不应大于 350 mm。加热管穿出地板处应设柔性套管或进行保温处理。加热管每回路长度不宜超过 100 m。5) 分(集)水器:当水平安装时,一般分水器在上,集水器在下,中心距宜为 200 mm,集水器中心距地面应不小于 300 mm;当竖直安装时,分、集水器中心距地面应不小于 150 mm。总供、回水管和每一供、回水分支路均应配置阀门,总供水管阀门的内侧应设置不低于 60 目的过滤器。加热管与分(集)水器固定连接后,应对每一环路逐个进行冲洗,至出水清洁为止。6) 隔热层:隔热层与墙体或壁面交接处应填充厚度大于等于 10 mm 的保温材料,贴壁的保温材料高度约为 20 cm。面积超过 30 m² 或长度超过 6 m 时,应设置间距小于等于 6 m、宽度大于等于 6 mm 的伸缩缝。加热管穿越伸缩缝处应设长度不小于 100 mm 的柔性套管。在填充层浇筑和养护过程中,系统应保持不小于 0.4 MPa 的压力。填充层的养护周期应不小于 48 h,在填充层养护期满后,方可进行面层的施工。

7 室外花坛温度测试结果与分析

在花坛区域设置了 6 个温度数据采集点,每个采集点处距土壤表面 +200 mm(测点 1)、+100 mm(测点 2)、-100 mm(测点 3)、-200 mm(测点 4)、-300 mm(测点 5)、-400 mm(测点 6)各设有一个土壤温度传感器,测量土壤温度及花卉附近地表温度,12 月 30 日~1 月 2 日的测试结果见图 4~7。从测试结果可以看出,距土壤表面 200 mm 处的温度均可维持在 5℃ 以上,可以满足花卉正常生长的温度需求。

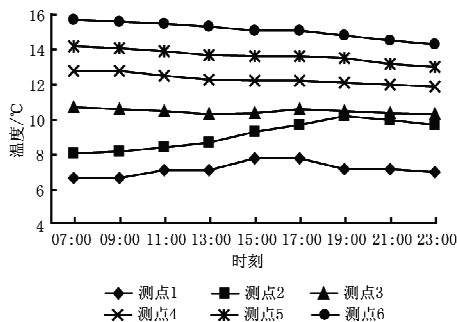


图 4 12 月 30 日温度变化曲线(室外温度 3.8~9.7℃)

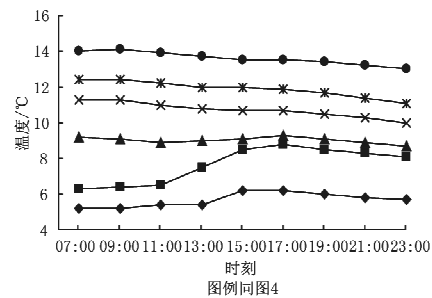


图 5 12 月 31 日温度变化曲线(室外温度 2.3~6.8℃)

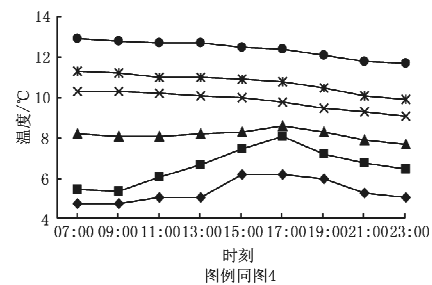


图 6 1 月 1 日温度变化曲线(室外温度 3.1~8.2℃)

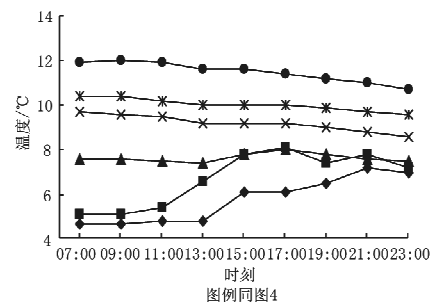


图 7 1 月 2 日温度变化曲线(室外温度 1.6~14.1℃)

8 结论

2007 年冬季实践证明,通过采用地埋管地源热泵及地板辐射供暖系统提高花卉根部土壤温度及花卉附近环境温度的方法来解决冬季花卉的防寒避冻效果理想,保证了广场一年四季如春的绿色效果,同时节约了高品位的一次能源。

参考文献:

- [1] 谢国文. 园林花卉学[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2002:18-20
- [2] 美国制冷空调工程师协会. 地源热泵工程设计指南[M]. 徐伟,路宾,邹瑜,等,译. 北京:中国建筑工业出版社,2001
- [3] 中国有色工程设计研究总院. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2004
- [4] 中国建筑科学研究院. GB 50366—2005 地源热泵系统工程规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [5] 章熙民,任泽霁,梅飞鸣. 传热学[M]. 4 版. 北京:中国建筑工业出版社,2001:53-108
- [6] 中国建筑科学研究院. JGJ 142—2004 地面辐射供暖技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2004:10-12