

武汉中华奇石馆地源热泵空调系统设计

武汉市建筑设计院 陈焰华[☆]

摘要 介绍了该工程场地的热物性测试、地埋管换热器和空调系统的设计及地埋管换热器的施工,并就地埋管换热器设计和施工的关键技术问题进行了分析和探讨。

关键词 热物性测试 地埋管换热器 系统设计 地源热泵

Ground-source heat pump air conditioning system design for Zhonghua Qishi Museum in Wuhan

By Chen Yanhua[★]

Abstract Presents the thermal property test of the soil in situ, the design of ground heat exchanger and air conditioning system, and the construction of ground heat exchanger for the project. Analyses and discusses the key technical issues in design and construction of ground heat exchangers.

Keywords thermal property test, ground heat exchanger, system design, ground-source heat pump

① [★] Wuhan Architectural Design Institute, Wuhan, China



陈焰华

主要设计业绩

- ▶ 武汉东湖宾馆
- ▶ 武汉瑞通广场
- ▶ 武汉群光广场
- ▶ 武汉销品茂商城
- ▶ 武汉塔子湖全民健身中心

1 工程概况

武汉中华奇石馆位于武汉汉阳翠微路,与归元寺隔街相望,是一个以收藏、展示各类观赏石、古生物化石、盆景为主要内容,以丰富人们科学知识和文化生活为主要功能的公益性城市景观艺术展馆。原展馆占地面积 6 700 m²,建筑面积 2 712 m²。本次在南侧的停车场内扩建建筑面积为 5 066 m² 的新展馆,新展馆地上 3 层(建筑面积 3 488 m²),地下 1 层(建筑面积 1 578 m²)。扩建展馆建筑风格沿袭原馆园林建筑模式,并与归元寺旅游文化区构成和谐的整体建筑景观。扩建展馆效果图见图 1。

经多方案比选,确定采用竖直埋管的地源热泵空调系统,以满足该地域对整体建筑景观和环境保护的严格要求。该工程 2006 年 7 月完成设计,现已完成施工调试,于 2009 年 5 月竣工投入使用。

2 场地热物性测试

据工程地质勘测报告,本工程场地上部为一般黏性土



图 1 武汉中华奇石馆扩建展馆效果图

层,中、下部为第四系更新统沉积厚层状老黏性土层,底部为志留系泥岩。基岩顶板埋深在自然地面下 27.8 m,从上往下依次为强风化泥岩、中风化泥岩、弱风化泥岩。岩体较完整,结构面不发育,不具备赋存裂隙水体条件,覆盖层中也未见赋存地下水体的砂、砾、卵石层埋藏分布。

热物性测试主要进行了钻孔温度和钻孔埋管换热性能的测试,钻孔温度测试采用的是对井液进行点测的方式,测试结果表明,1.5~59.0 m 井段,温度整体呈下降趋势,由

①[☆] 陈焰华,男,1963 年 11 月生,大学,学士,教授级高级工程师,暖通总工程师

430014 武汉市汉口四唯路 8 号武汉市建筑设计院

(027) 82739230

E-mail: chenylh918@yahoo.com.cn

收稿日期:2009-04-01

修回日期:2009-04-10

22℃ 不规律下降至 19.1℃; 59.0~102.0 m 井段, 温度整体呈上升趋势, 由 19.1℃ 不规律上升至 20.8℃。

钻孔埋管换热性能的测试采用华中科技大学自行研制的热物性测试仪。在本场地内共测试了两个钻孔, 双 U 形管, 管径 de32, 夏季平均排热量 1 号井为 78 W/m, 2 号井为 88 W/m; 冬季平均取热量 1 号井为 50 W/m, 2 号井为 56 W/m。

场地现场热物性测试时, 测试流量、流速、进出水温度等都会对换热结果产生一定影响, 应根据场地条件、同类型工程运行情况对测试工况进行合理设置, 并辅助其他计算手段对测试数据进行修正和调整。

3 地埋管换热器设计

本工程场地狭小, 地埋管换热器采用竖直钻孔埋管的方式, 竖埋管井设于地下车库下。基坑开挖完毕后, 先进行地埋管施工, 地埋管施工完毕, 再进行地下车库底板施工。根据地质勘测报告和热物性测试资料确定地埋管换热器热干扰半径为 4.5 m 左右, 钻孔间距为 4.7 m×4.8 m, 共钻孔 64 个, 孔径为 $\phi 150$, 钻孔深度为 91 m, 有效利用深度为 90 m, 地埋管换热器夏季排热量为 490 kW, 冬季吸热量为 280 kW。竖埋管换热器采用双 U 形管, 埋管采用高密度聚乙烯管 (HDPE100), 双 U 形管底部采用定制沉箱连接。

为确保地埋管换热器的可靠性, 每个竖直钻孔的供回水管均直接接至二级分、集水器, 共设有四个二级分、集水器。二级分、集水器设有检修、调试小室。各二级分、集水器供回水管上均设有调节阀、温度计及压力表, 分、集水器供回水管汇总后接入地源热泵机房。竖直钻孔的供回水管采用二级分、集水器单井连接而非常用的水平集管连接模式, 能最大限度地减少地埋管的接头数量, 降低施工难度, 进一步提高管道连接的可靠性, 地埋管换热系统的保证度和可靠性也会大大提高。采用单井独立控制, 其流量平衡和调节性能将大大提高, 虽增加了水平埋管的长度, 但增加的工程造价有限。

地埋管换热器夏季排热量和冬季吸热量存在一定差异, 长时间运行会影响地下岩土体热平衡, 故采用部分热回收地源热泵机组并配设 1 台辅助冷却塔, 减少夏季排热量。因地埋管换热器地下热阻、运行份额、连续脉冲负荷引起的附加热阻、岩土体热扩散等因素的影响会造成岩土体温度变化, 本工程在地埋管部分选择 4 个钻孔埋设 20 个铂电阻温度探测器, 实时监测岩土体温度变化, 以便采取必要措施保证岩土体总体热平衡。地埋管总平面图见图 2。

4 空调系统设计

本工程空调系统计算冷负荷为 440 kW, 计算热负荷为 340 kW。采用 1 台 LWP1800 型地源热泵机组, 夏季提供 7℃/12℃ 冷水, 冬季提供 50℃/45℃ 热水。为保持地埋管换热器冬夏季热平衡, 地源热泵机组选用部分热回收机组, 可在供冷供暖的同时供应生活热水, 同时配置 1 台 SR-50

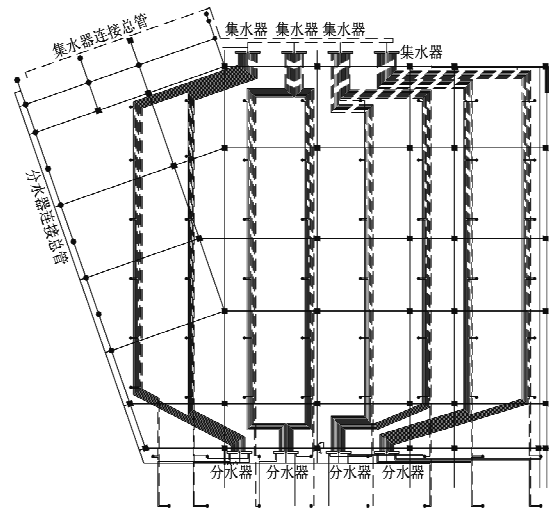


图 2 地埋管总平面

型低噪声冷却塔。地源热泵机房管道系统见图 3。根据全年热平衡计算, 本工程夏季排热量约为冬季取热量的 2 倍。因本工程的空调系统具有典型的间歇性使用特征, 根据同类型工程的使用经验, 本工程具有较好的地下热恢复特性, 在采取了可靠的热平衡措施后, 有利于地埋管换热器的长期稳定运行。

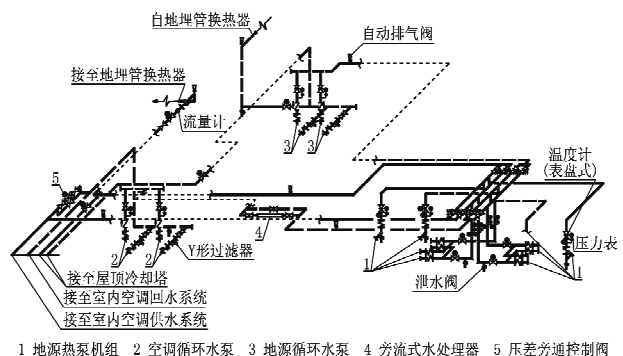


图 3 地源热泵机房管道系统图

空调水循环泵、地源水循环泵均采用 2 台, 一用一备。循环水泵均配置智能型变频控制装置, 既适应地源热泵系统冬夏季水路转换的需要, 又能充分降低能源消耗。空调循环水系统均配有旁流水处理器, 以保持水路系统的输送能力。

地源热泵机组可由自带的电脑控制器根据室内空调负荷变化自动调节运行。冬季供应热水时可以根据空调用热水需要量及生活用热水需要量进行自动调节。

空调末端部分除少量办公室采用风机盘管外, 展厅均采用立式空调机组单风道低速送风系统, 在空调机房吊顶上设置集中回风口。送风口根据装修形式采用铝合金贴附型方形散流器或双层百叶侧送风口。

地下车库及设备用房均按要求设置送排风设施, 空调风管采用不燃玻纤复合风管, 厚度 25 mm, 风管柔性短管及消声材料均采用不燃材料制作。空调水管保温采用难燃

B1 级闭孔橡塑材料。空调水循环系统及地埋管换热器系统均采用高位膨胀水箱定压及补水的方式,方便可靠。

5 地埋管换热器施工

地埋管换热器的施工是地埋管地源热泵系统成功与否的关键,钻孔和埋管一定要由有相关施工经验的施工单位施工,施工过程中一定要严格按照相关的施工规范和施工程序进行操作。

本工程钻孔采用 300 型迴转钻机,高峰时共有 7 台钻机同时施工。竖直地埋管换热器安装在钻孔形成且孔壁固化后立即进行。下管过程中,U 形管已按规范要求进行过水压试验并充满水,每隔 4 m 设固定管卡使 U 形管四个支管处于分开状态,避免各支管间的热量回流。U 形管安装完毕后,立即用备好的灌浆材料回灌封孔。灌浆回填时,应将灌浆管和 U 形管一起插入孔中,直至孔底。

换热系统应根据地质特征确定回填料配方,回填料的导热系数应不小于钻孔外岩土体的导热系数,以确保地埋管换热器的长期换热效果。本工程在 25 m 以下的岩层回填料为钻孔原浆和水泥砂浆,在 25 m 以上的黏性土层灌浆材料采用膨润土、细砂或水泥的混合浆。当埋管深度超过 40 m 时,回灌应在周围邻近钻孔均钻凿完毕后进行,对回填过程的检验应与安装地埋管换热器同步进行,并一定要确保灌浆回填的密实度。

地埋管及管件必须根据强度计算及设计要求确定,且应具有质量检验报告和生产厂家的合格证。选用地埋管管材时,应通过强度计算选定管材强度级别,在满足使用压力的前提下,尽量选择低强度级别和壁厚小的管材,以降低工程造价。

竖直埋管工作压力可按公式 $p=0.01(H_1+H_2+H_3)$ 确定。其中 p 为埋管工作压力; H_1 为水泵扬程,m; H_2 为埋管侧回路膨胀水箱液面至室外埋管地面的竖直距离,m; H_3 由地下水对管道的径向压力和管道中水对管壁的径向压力两因素综合确定,当地下水稳定水位高于竖直地埋管换热器底部时, H_3 为地下水稳定水位距埋管地面的深度,m,当地下水稳定水位低于竖直地埋管换热器底部时, H_3 为竖直地埋管埋深,m。水平连接管工作压力按公式 $p=0.01(H_1+H_2+H_4)$ 计算。其中 H_4 为水平连接管的埋深,m。

水平连接管埋地后在各种不利荷载的共同作用下会产生

生竖向变形,在水温发生变化时会产生轴向变形,因聚乙烯管道线膨胀系数较大,其轴向变形量远大于钢管。因此,水平连接管埋地敷设时应尽可能利用其管路弯曲进行自然补偿,不用设置伸缩器;但较大口径的管道应通过计算确定是否需要设置伸缩器,为防止水平连接管与竖直埋管的相对移动,应在管沟内设固定支墩。这也更加体现了上述竖直钻孔的供回水管采用单井连接而非水平集管连接模式在施工方面的优势。

另外在施工过程中,应严格检查并做好管材保护工作。地埋管换热器的 U 形弯管接头宜选用定型的 U 形弯头成品件,不宜采用直管道煨制弯管接头。组对好的 U 形管的两开口端部应及时密封。

地埋管换热器安装过程中应严格按照规范要求进行水压试验,因 PE 管伸缩性较大,进行水压试验时一定要根据压力下降情况缓慢补压,直到压力稳定后才读取相关试压数据。地埋管换热系统应设自动充液及泄漏报警装置,本工程在二级分、集水器及机房内均设有相应的装置和检测仪表。

水平连接管的埋设深度应根据工程场地情况综合确定,一是要考虑与其他管线的交叉,不能形成竖向 U 形弯,以免形成气堵;二是埋设深度处的地下温度应使水平连接管可不作保温处理;三是由管道的稳定计算和竖向变形计算校核其埋设深度。敷设在地下室下的水平埋管还应设有相应的防护装置,以防止施工过程中的意外损伤。本工程的水平汇总管埋深为室外地面下 1.2 m,采用成品保温管;敷设在地下室下的水平埋管埋深为地面下 5.5 m,没有采取保温措施。水平连接管还应校核计算其管壁截面的环向稳定性,即在竖向土压力、地面车辆荷载或地面堆积荷载等影响下管道的安全可靠,必要时应采取可靠的保护措施。

整个空调水路系统施工完毕后,应先关闭所有设备的进出口阀门,进行旁通循环,对管路进行彻底清洗,直到管路系统的水清澈为止,以防止空调设备和水系统管路的堵塞。

参考文献:

- [1] 美国制冷空调工程师协会. 地源热泵工程技术指南[M]. 徐伟,等,译. 北京:中国建筑业出版社,2001
- [2] 刁乃仁,方肇洪. 地埋管地源热泵技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006
- [3] 中国建筑科学研究院. GB 50366 2005 地源热泵系统工程技术规范[S]. 北京:中国建筑业出版社,2005

• 简讯 •

2009 设计选型面对面暨建筑节能技术交流会(北京站)召开

2009 年 5 月 15 日,由中国设计师网主办,并由中国勘察设计协会建筑环境与设备分会北京市委员会协办的“2009 设计选型面对面暨建筑节能技术交流会(北京站)”于北京世纪国建宾馆隆重召开。此次会议以实现建筑节能,推广最新节能环保技术与产品以及推荐产品选型软件为主,吸引了来自首都各大建筑设计研究院的 200 多位设计师到场参会。中国勘察设计协会建筑环境与设备分会的

主要领导人及北京委员会的主要负责人均亲临大会现场。20 多家暖通企业也派代表出席了会议。

通过现场暖通专家和企业负责人关于暖通节能技术与项目应用的演讲,与会设计师对于建筑节能技术的应用有了更深入的了解与认识,促进了专家、企业与设计师们的沟通,为广大的设计师提供了一个交流和学习的平台。

(陈 薪)