

南通站房地埋管地源热泵系统设计*

中铁第四勘察设计院集团有限公司 黄武刚[☆]

摘要 根据工程所在地的客观条件,从环保、节能、设置位置、水文地质、政策允许等方面阐述了南通火车站的空调冷热源方案选择。并从热物性测试、可埋管区域、集管敷设、土壤热平衡措施等方面介绍了地埋管换热器的系统设计及使用效果。

关键词 冷热源 地埋管地源热泵 竖直地埋管换热器 土壤热平衡

Ground-coupled heat pump system design for Nantong Railway Station

By Huang Wugang[★]

Abstract Based on the objective conditions of the project, presents the cold and heat source scheme selection respecting environment protection, energy saving, setting position, hydrogeology and government regulations. Expounds the ground heat exchanger system design and operation effects from the aspects of the thermo-physical property testing, piping area, pipe laying, and soil thermal equilibrium measures.

Keywords cold and heat source, ground-coupled heat pump, vertical ground heat exchanger, soil thermal equilibrium

① ★ China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan, China



黄武刚

主要设计项目

- 武汉长江公路隧道
- 南京长江公路隧道
- 上海南站行车公寓楼
- 南通、盐城、淮安北站房
- 北京地铁6号线一期工程



图 1 南通火车站鸟瞰效果图

1 工程概况

南通站房为既有站房的改扩建工程,站区位于南通港闸区幸福乡,最高聚集人数按 3 000 人设计,是线下式大型站房^[1]。南通站基本站台与广场地面高差约 3.3 m,地上 2 层,局部 1 层和 3 层,主体高度为 23.9 m,长 183.4 m,宽 42.9 m,总建筑面积 11 740 m²,其中主站房建筑面积 10 570 m²。南通火车站鸟瞰效果图如图 1 所示。

* 中铁第四勘察设计院集团有限公司院控科研项目(编号: 2005K20)

2 室内外设计参数

冬季室外空调计算干球温度-5℃,室外空调计算相对湿度 76%;夏季室外空调计算干球温度

①[☆] 黄武刚,男,1977 年 6 月生,工学硕士,工程师
430063 武汉市和平大道 745 号中铁第四勘察设计院集团有
限公司
(010) 83828570 (027) 86711776
E-mail: mozhe_1@163.com
收稿日期: 2010-03-17

33.0℃,室外空调计算湿球温度 28.6℃。夏季空调室内设计温度(27±1)℃,相对湿度<65%;冬季供暖温度:广厅 14℃,其余部位 18℃。新风量标准:普通候车室 12.6 m³/(人·h),贵宾候车室及办公房屋 30 m³/(人·h)。

3 空调供暖系统设置

根据功能和使用情况的需要,车站设备用房、贵宾候车室分别设置多联式空调系统;消防控制室、行包系统机房设变频分体空调器;广厅、普通候车室、母婴候车室、残疾人候车室、售票厅等设置全空气单风道集中空调系统。站房公共区域除走道、卫生间外均设置低温热水地板辐射供暖系统。集中空调面积为 5 325 m²,夏季设计冷负荷为 1 368.3 kW,冬季设计热负荷为 572 kW。

4 冷热源方案

考虑到站房广场是开阔的绿化广场,如按常规制冷机加锅炉的空调系统设计,会导致冷却塔和烟囱均与环境不协调,且不节能环保;而车站的屋盖及外部结构采用拱形钢直接着地,中间主体部分采用空间三角形钢桁架,两侧为弧形实腹巨型矩形钢梁,与主体结构相对脱开。从周边环境效果和站房结构条件来看很难有空气源热泵机组的摆放位置。同时从空气源热泵冷热水机组实际运行的效果看,由于蒸发器结霜及除霜造成机组供热能力下降,在冬季使用效果随室外温度的降低而下降,故在气温偏低且相对湿度较高的地区如长江流域制热运行时不太理想,因此空气源热泵系统也不合适。

根据地质专业的勘察,南通火车站地处长江冲积三角洲平原上,地层结构为典型二元相结构,上部颗粒较细,下部逐渐变粗,从上至下地层依次为:1)人工杂填土,色杂,主要由混凝土块、砖块、建筑垃圾、生活垃圾组成,该层厚度为 4 m 左右。2)粉砂夹粉土,灰色,含腐殖土及云母碎片,呈饱和、中密状态,为富含水层,该层厚度为 26 m 左右。3)细砂,青灰色,含水云母碎片,呈饱和、中密状态,为富含水层,该层厚度为 25 m 左右。4)卵石夹粗砂,灰色至灰白色,呈饱和、密实状态,富含地下水,该层厚度为 13 m 左右。5)卵石层,杂色,该层厚度为 5 m 左右。本区域内地下水丰富,但地质情况复杂,钻井施工时需要先将表层杂填土中混凝土块清除,卵石层钻进困难,对钻井施工技术要求较高。

虽地下水丰富,但根据修订后的《江苏省水资源管理条例》第 29 条中的规定:“在城市、集镇等建筑物密集的地区禁止开采浅层地下水用于水温空调”,因此地下水地源热泵系统也不合适。而车站站前广场有大片可埋管区域,可采用地埋管换热系统,既符合国家提出的建设节约性社会的政策及节能减排的号召,又体现了铁道部对新型站房提出的“功能性、系统性、先进性、文化性、经济性”要求。因此,系统夏季提供 7℃冷水,冬季提供 45℃热水,冬、夏季工况通过水管路的电动阀门相互转换。根据设计负荷选用 2 台 PRSHH2202 地源热泵机组,在标准工况下,制冷量为 844.3 kW,输入功率为 168.6 kW,蒸发器流量为 144.2 m³/h,冷凝器流量为 173.3 m³/h;制热量为 909.4 kW,输入功率为 203.5 kW,蒸发器流量为 123.6 m³/h,冷凝器流量为 158.1 m³/h。根据文献[2]及设计负荷,计算得出地埋管换热器夏季放热量为 1 890 kW,冬季吸热量为 482 kW。

5 室外地埋管换热系统设计

5.1 场地热物性测试

获取可靠的当地地埋管换热器的传热数据是地源热泵设计成功的基础。在施工单位进场前甲方组织地埋管专业测试厂家对拟埋管的区域进行了地埋管换热器传热性能测试。测试时构建了两口试验井,有效井深 73 m,管径 De25,埋设单 U 形和 W 形地埋管的试验井各一口。回填料为黄沙+膨润土。测试数据见表 1、2^①。

表 1 U 形及 W 形换热器放热分析

	进水温度/℃	流量/(m³/h)	温差/℃	单位井深放热量/(W/m)
U形管换热器	35.9	0.85	4.2	59.15
U形管换热器	39.2	0.86	4.8	67.89
W形管换热器	35.9	0.829	5.37	72.96
W形管换热器	39.2	0.833	5.95	81.13

表 2 U 形及 W 形换热器取热分析

	进水温度/℃	流量/(m³/h)	温差/℃	单位井深取热量/(W/m)
U形管换热器	5.1	0.52	5.57	47.46
U形管换热器	5.9	0.76	3.07	38.17
W形管换热器	5.1	0.50	7.26	59.44
W形管换热器	5.9	0.75	3.94	48.45

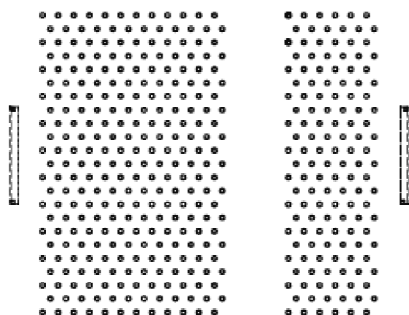
在消除水平连接管道的影响后,放热运行模式下,单 U 形地埋管的放热能力为 60 W/m; W 形地埋管的放热能力为 75 W/m。取热运行模式下,单

① 新长铁路南通站地源热泵项目地埋管换热器传热性能试验研究报告[R]. 测试单位:上海昊能实业有限公司,协作单位:东南大学动力工程系,2006

U 形地埋管的取热能力为 40 W/m ; W 形地埋管的取热能力为 50 W/m 。

5.2 钻孔井设置、钻井数和埋管面积

在现场与站前广场规划设计单位密切配合后,本着尽量使所有埋管靠近冷水机房的原则,避开高架桥的柱子及其承台、与车站连通的预留地道、站前广场上的基础构筑物(公厕和公共设施)、整个工程临时主要运输通道,分集水器窗井、检修井盖避开水景及喷泉且与景观协调布置,同时让水平埋管埋深在城市广场的水景、喷泉下方,整片埋管区域尽量不被规划道路完全隔开,最后埋管区域如图 2 所示。通过计算,地埋管的热干扰半径为 4.5 m ,最后按钻孔井间距 $4.5 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$ 进行布置。表 1 显示出 W 形换热器单位井深放热能力比 U 形换热器高 $10\% \sim 30\%$ 。表 2 显示 W 形换热器单位井深取热能力比 U 形换热器高 20% 以上。根据可埋管区域地埋管换热器夏季放热量,选择 W 形埋管,钻孔深度为 71 m ,有效利用深度为 68 m ,孔径 130 mm ,管径 $\text{De}32 \text{ mm}$,总钻孔 414 个,总占地面积为 $115 \text{ m} \times 85 \text{ m}$ 。地埋管平面布置示意图 2。



注:中间空白部分为临时主要运输通道,东西两侧为窗井

图 2 地埋管平面布置示意图

5.3 集管敷设

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分、集水器,共设 23 组二级分、集水器,每组二级分、集水器负责 18 口地源井。各二级分、集水器供回水管上均设有调节阀、温度计、压力表及泄水阀。分、集水器供回水管汇总后接入地源热泵机房,干管用螺旋焊钢管现场发泡 90 mm 保温层。为了便于调试,在供水干管将进入窗井之前增设过滤器及 $\text{DN}80$ 的泄水阀。

竖直埋管的供回水管采用二级分、集水器单井连接而非惯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,检修方便,在单个能源井出现泄漏的情况下,关闭该回路即可,不影响其他回路正常使用,进一步提高了管道连接的可靠性,地埋管换热系统的保证度和可靠性也会大大提高。同时采用单井独立控制,完全同程式布置,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。在站前广场景观施工的过程中,就出现过单井管路被破坏的情况,通过及时发现及热熔连接,保证了钻孔井的成功率。

5.4 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,水平干管敷设在站前广场设计地面下 2.0 m ,均避开室外其他设备管线,同时不影响站前广场的水景、喷泉等景观布置。

5.5 回填料

根据工程所在地的地质情况,地埋管换热器采用膨胀率为 50 倍的膨润土和黄沙混合料进行回填,比例为 $1:4$ 。

5.6 土壤热平衡措施

根据文献[3-4],全年热平衡对系统运行的影响程度与地下水径流、钻井的回填工艺及材料有关。项目所在地的底层结构为第四系——富水性好且水流动性强,回填材料热阻小且渗透性好,地埋管换热性能良好,由热泵系统排入土壤的冷、热量会随着换热器周围地下水的流动很快散失,此时,热平衡对系统运行影响不明显。同时根据工程实测,系统间歇运行效果优于连续运行。在地下水比较丰富、流动比较大的地区可不考虑岩土体的热平衡。南通火车站东面有秦河,距车站约 610 m ,西面有通杨运河,距车站约 3.5 km ,南面有长江水系的通吕运河,距车站约 3.5 km 。秦河和通杨运河是通吕运河的分支,而通杨运河与通吕运河的汇合点距长江约 3.6 km ,全年运河的水位低于地面 $3.5 \sim 4 \text{ m}$,竖直埋管区域地面 4 m 以下常年处于水饱和岩土体中。而通吕运河与长江的汇合点距长江入海口约 138 km ,感潮程度强,潮汐为非正规半日浅海潮,潮位每日有两涨两落,日潮不等现象明显^[5],故南通站没有考虑岩土体的热平衡性。

南通站目前开通了 7 对列车,一般只在 $7:30 \sim 18:00$ 开冷暖空调,属于空调间歇运行和季节性间歇运行。虽然全年空调日负荷具有显著的不平

衡性,但具有良好的水文地质条件(属于富含水层),不会因地源热泵系统全年总释热量和总吸热量不平衡引起岩土体温度的升高。但考虑因地埋管换热器地下热阻、运行份额、连续脉冲负荷引起附加热阻、土壤热扩散等因素造成土壤温度多少有些变化,本工程在埋管部分选择 10 个钻孔埋设 20 个温度探测器实时监测土壤温度变化,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管理及土壤热平衡措施进行科学的指导,采取必要措施保证土壤热平衡,使埋管区域岩土温度恒定。2007 年 5 月 19 日制冷空调试运行,土壤最低温度为 15.1℃,经过 3 个冷、热空调周期后,2010 年 4 月土壤垂直平均温度为 15.5℃,土壤温度基本保持不变。

5.7 地埋管换热器施工要点

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。同时设计人员的现场技术交底也尤其重要,根据工程所在地的特点提醒施工单位需要注意的重点问题:场地既有标高及设计标高的校核,工厂定制的盘管长度、下管注意事项、回填材料及质量(含二次回填)、成品保护等。而场地的平整、管道连接、水压试验等应严格按照文献[1]中的“4.4 地埋管换热系统施工”、“4.5 地埋管换热系统的检验及验收”条文执行。

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,在地埋管不接入二级集分水器之前应对供回水干管开始开式冲洗,彻底清洗后,再将地埋管接入系统,对设备进行旁通循环,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。

6 结语

南通站房于 2007 年 4 月 18 日建成通车,至今已运行 3 年多,运行稳定。经测试,在空调效果、能耗水平和运行费用、环保等方面达到了设计要求,获得了用户的一致好评。南通站房及新长铁路盐城、淮安北站房(也采用了地埋管地源热泵系统)获得中国铁道建筑总公司 2008 年度优秀工程勘察设计三等奖。

参考文献:

- [1] 铁道第三勘察设计院集团有限公司. GB 50226—2007 铁路旅客车站建筑设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2007:4
- [2] 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:中国建筑工业出版社,2005
- [3] 陈燕明,张文秀. 浅析地源热泵空调系统之土壤换热[J]. 工程建设与设计,2007(1):14-18
- [4] 刘冬生,孙友宏,庄迎春. 增强地源热泵竖直埋管地下换热器换热性能的研究[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2004,34(4):648-652
- [5] 徐海卿. 长江南通河段新大码头水域冲淤成因研究[D]. 南京:河海大学,2006:11-12

(上接第 101 页)

参考文献:

- [1] de Dear R J, Auliciems A. Validation of the predicted mean vote model of thermal comfort in six Australian field studies [G] //ASHRAE Trans, 1985, 91(1): 452-468
- [2] Schiller G E. A comparison of measured and predicted comfort in office buildings [G] //ASHRAE Trans, 1990, 96 (1): 609-622
- [3] 纪秀玲,王保国,戴自祝,等. 江浙地区非空调环境热舒适研究[J]. 北京理工大学学报,2004,24(12): 1100-1103
- [4] 江燕涛,杨昌智,李文菁,等. 非空调环境下性别与热舒适的关系[J]. 暖通空调,2006,36(5):17-21
- [5] de Dear R J, Brager G S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE

Standard 55 [J]. Energy and Buildings, 2002, 34 (6): 549-561

- [6] Brager G S, de Dear R J. A standard for natural ventilation [J]. ASHRAE J, 2000, 42 (10): 21-28
- [7] Cao Bin, Zhou Xiang, Huang Li, et al. Field survey of human thermal adaptability in transition season and heating supply period [C] //Proceedings of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 2008
- [8] 朱颖心,张寅平,李先庭,等. 建筑环境学 [M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [9] 朱颖心,周翔,曹彬,等. 偏热环境下操作温度、服装热阻、季节对人体热感觉影响的实验研究[J]. 暖通空调,2008,38(增刊):112-118