

上海虹桥站地埋管地源热泵 系统设计与分析

铁道第三勘察设计院集团有限公司 孙兆军[☆] 朱建章

摘要 结合虹桥站土壤源热泵系统的地埋管换热器设置方案,分析了地埋管换热器的换热性能、换热效率,土壤温度变化特性以及系统运行特点与可靠性,阐述了铁路客站工程应用土壤源热泵系统的优势和应注意的系统特性。

关键词 上海虹桥站 土壤源热泵 埋管换热器 换热性能 可靠性

Design and analysis on ground-source heat pump system of Shanghai Hongqiao Hub Station

By Sun Zhaojun★ and Zhu Jianzhang

Abstract Based on the ground heat exchanger setting scheme of ground-source heat pump system of Shanghai Hongqiao Hub Station, analyses the heat exchange capability and efficiency of ground heat exchanger, temperature change characteristics of soil, stability and reliability of system during operation, and expounds the advantages and characteristics of ground-coupled heat pump system in railway station needing attention.

Keywords Shanghai Hongqiao Hub Station, ground-source heat pump, ground heat exchanger, heat exchange capability, reliability

① ★ Third Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin, China



孙兆军

主要设计项目

- 德黑兰地铁4号线
- 上海地铁9号线
- 京沪高铁上海虹桥站
- 虹桥地铁西站
- 虹桥西交通广场

0 引言

近几年,地源热泵系统作为利用可再生能源的节能环保技术,应用越来越广泛。铁路领域应用地源热泵系统,尤其是地埋管地源热泵系统也是逐渐增多,且规模越来越大。上海虹桥站作为特大型铁路车站在冷热源设计中应用了地埋管地源热泵系统,并首次采用站台下埋管方式。作为站台埋管实践的首个案例,设计时就其特点和性能进行了分析论证,以为类似铁路客站工程设计提供思路和参考。

1 项目概况

京沪高速铁路上海虹桥站,含站台在内的占地范围为

南北向 550 m,东西向 420 m。站房主体共 3 层(见图 1),其中地上 2 层,地下 1 层。站房(含辅楼)总建筑面积 24.2 万 m^2 。

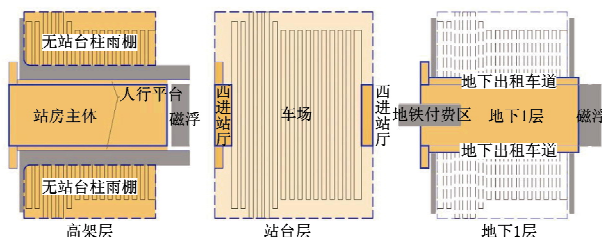


图 1 虹桥站站房建筑平面示意

2 虹桥站冷热源方案

2.1 空调系统冷热负荷及特点

☆ 孙兆军,男,1970年3月生,大学,工学学士,高级工程师
 300251 天津市河北区金沙江路33号增1号铁三院分部建
 筑分院
 (022) 26176413
 E-mail: sunzhaojun@tsdig.com
 收稿日期:2010-03-19

经计算,虹桥站夏季设计日最大冷负荷为 20.64 MW,冬季设计日最大热负荷为 7.03 MW,夏季最大动态冷负荷为 18 MW,冬季最大动态热负荷为 7.1 MW。空调系统夏季动态冷负荷见图 2,冬季动态热负荷见图 3。由图 2,3 可以看出,冷热负荷具有明显的不均衡性,无论是设计日,还是全年,夏季制冷负荷远大于冬季供热负荷,而且夏季供冷周期长,为冬季供暖期的 2 倍。

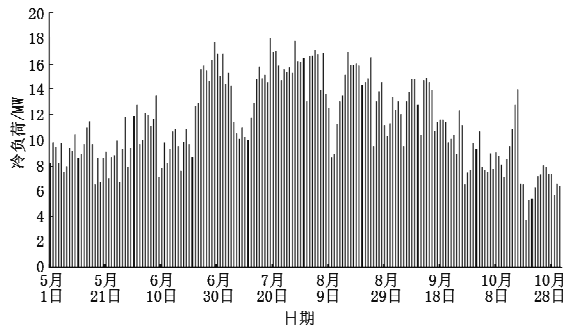


图 2 夏季空调动态冷负荷

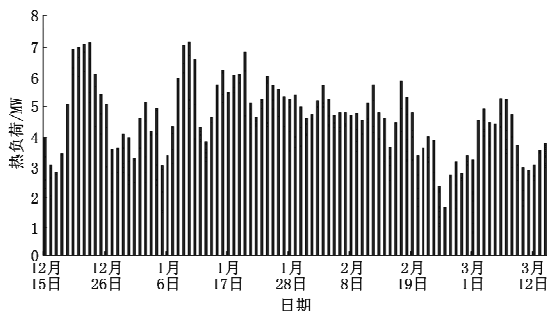


图 3 冬季空调动态热负荷

2.2 冷热源方案

上海市的能源主要为电和天然气。由空调系统的冷热负荷特点可以确定设计空调冷热源系统时应以满足供冷工况为主,同时兼顾供暖工况。首先考虑制冷工况的高效率,同时兼顾制热工况的效率相对较高。单纯考虑制冷工况,传统的电制冷是比较合理的方式。虹桥站的冷负荷总量大,供冷应以高效率的水冷离心式冷水机组为主。结合虹桥站的负荷特点及市政条件和有关政策,可采用的热源方案主要有燃气锅炉、燃气直燃机组和热泵,其中热泵可采用空气源热泵、地埋管地源热泵。通过专题研究,从初投资、节能性、经济性、环保和运行维护等多方面比较得出结论——虹桥站热源采用地埋管地源热泵系统具有明显优势。经勘察,项目建设现场土壤 100 m 深度范围内主要由饱和黏性土、粉性土和砂土组成,具有水平层理。这种地质条件对于采用地埋管地源热泵系统比较适宜,地埋管换热器施工容易、造价低。

通过上述分析,并考虑土壤热平衡问题,上海虹桥站冷热源采用复合式地埋管地源热泵系统,由地埋管地源热泵

和水冷离心式冷水机组构成。冬季热源全部由地埋管地源热泵系统提供,夏季以离心机组供冷为主,地埋管地源热泵供冷为辅。

3 虹桥站地埋管换热器设置

地埋管地源热泵系统与常规系统相比最大的不同就是需设置地埋管换热器,地埋管换热器是地埋管地源热泵系统的核心和关键。地埋管换热器占地面积很大,对于一般大型公共建筑,若采用地埋管地源热泵系统,往往很难解决地埋管换热器的设置问题。而铁路站台范围内一般具备地埋管设置条件,尤其是近几年开始广泛采用的无站台柱雨棚设计,使站台范围内基本没有其他构筑物,更有利于在站台下埋管。此外,铁路站台范围内的地下空间一般不会再开发利用,这也有利于地埋管地源热泵系统的持久稳定使用。类似于上海的夏热冬冷地区,冷热负荷极不平衡,冬季热负荷不大,采用复合式系统并以供热负荷为主确定规模的地埋管换热器,基本都可以在站台范围内解决设置问题。

上海虹桥站采用单 U 形管地埋管井,深度为 90 m (—2~—92 m)。经计算,并考虑 10% 的余量,地埋管井总数为 1 960 口,室外地埋管换热器的占地面积约为 39 200 m²。虹桥站站场共设有 16 个站台,其中东西两侧基本站台下是管道走廊,不宜布置地埋管井,而其余 14 个站台宽度均为 12 m,站台长度为 400 m 到 550 m 不等,除去站房覆盖范围内的站台下为地下 1 层空间,不能布置地埋管井外,其余部分的站台(包括短站台端部的部分空地,面积约 47 000 m²)可用于设置地埋管换热器系统,满足设置需求。

虹桥站地埋管井沿站台横向布置的间距为 5 m,考虑到地埋管井要与轨道保持一定的距离,在每个站台板下纵向布置两排埋管,纵向布置间距为 4 m,在站房南北两侧均布置地埋管井,地埋管水平连接管均汇集到站房南北两侧的综合管沟内,并与综合管沟内设置的集分水器连接,再通过供回水干管进入冷热源机房,见图 4。

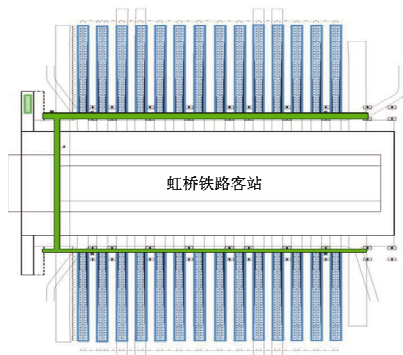


图 4 虹桥站室外地埋管布置总平面示意

图 5 为两个站台下的地埋管井布置示意,每 7 个竖直 U 形管井连接为一个环路,每个站台下设有 10 个环路,共 70 个管井,形成相对独立的换热管群单元,各环路水平管

连接到右侧综合管沟内的集分水器上。

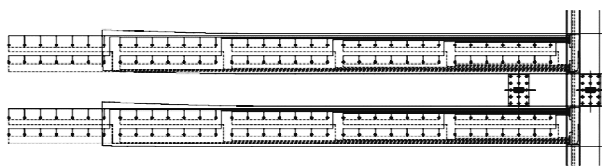


图 5 站台下地埋管布置平面示意

铁路客站站台下敷设地埋管换热器应注意以下几点：

1) 基本站台下不宜设置地埋管井。铁路客站基本站台下一般都敷设有大量的管线,如通信、信号、电力、给排水、消防及暖通等专业管线。施工作业复杂,地埋管施工难度大,且不利于成品保护。而其他站台通常只有一根消防水管,有利于地埋管施工。

2) 要考虑地基处理对地埋管施工的影响。地质条件不理想的铁路站场尤其是高速铁路站场,需要进行地基加固处理。在考虑采用地埋管地源热泵系统前,应与有关专业充分沟通,了解地基处理方案,了解站台下桩的形式和布置以及地埋管施工与桩的施工的关系和影响等因素。地埋管是布置在桩与桩间的,地基处理结束后,大部分桩的位置很难直接看到,因此,在设计时还应与有关专业协调好地埋管井与桩的定位。虹桥站站场不同区域采用了不同的地基处理方式:路基下采用 CFG 桩处理,站台下则采用水泥搅拌桩进行处理。桩的布置密度较大,桩径 0.5 m,桩间最大中心距 1.5 m,地埋管施工有如见缝插针。经与相关专业了解沟通得知,地埋管施工不会对地基处理效果产生大的影响,水泥搅拌桩本身也不会对地埋管施工带来难度,具有可实施性。

3) 站台下地埋管布置应与站台设计密切配合,合理的布置才有利于其实施。应与有关专业沟通,建议埋管区域的站台采用挡墙加填土方式,这有利于水平管的敷设和施工。地埋管井的布置应避开站台挡墙基础,在满足基本埋深要求的前提下,水平管的埋深应在挡墙基础之上,从图 6 可以看出虹桥站地埋管与站台及桩基位置的相互关系。

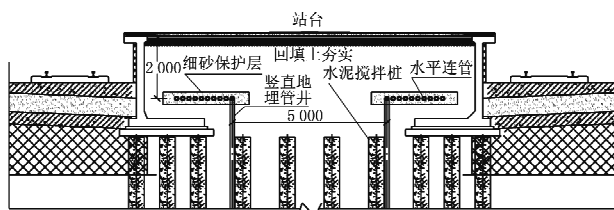


图 6 虹桥站站台下地埋管布置剖面示意

4) 布置站台下地埋管时应注意其与其他管线的关系。虹桥站地埋管井的设置首先避开了管线众多的基本站台。而其他站台只有消防水管和消防栓井,管线间干扰少,有利于施工,但前提是各种管线要合理布局。主要包括地埋管

井、水平连管要避开消防栓井的位置,水平连管与消防栓管道在水平或竖向尽可能错开。这就需要和相关专业提前进行协调、规划。

5) 站台下设置地埋管不同于一般空地埋管,施工作业项目较多。主要包括地基处理、站台基础和侧墙施工、地埋管打井施工、回填土、消防管道及消防栓井施工、回填土夯实,铺装站台面等。因此,设计阶段还应充分考虑各个施工环节的相互关系。其中,为保证回填土夯实时不损坏水平管,尤其是水平管与竖直管接口,设计采用细砂保护措施。

4 虹桥站地埋管换热器性能分析

4.1 分析的目的和前提

地埋管地源热泵的核心是地埋管换热器,其性能与地埋管的布置方案、施工质量有直接关系。地埋管井布置间距是由其传热半径决定的,而地埋管井单位长度的换热量、连续运行时间及土壤的热物性决定了地埋管井传热半径的大小。理想情况是地埋管井间距应大于连续运行时其 2 倍传热半径。在地质条件和使用条件相同的情况下,不同的地埋管布置形式对地埋管换热器的性能有不同的影响。

虹桥站地埋管换热器布置形式不同于传统方式。地埋管沿站台纵向布置间距为 4 m,横向布置间距为 5 m,每个独立管群单元的地埋管数目为 70 根,南、北两个地块各布置了 14 个单元,地埋管总数为 1 960 根。

根据本项目地埋管布置图(见图 5)可知,不同站台下的管群布置形式相同,每个站台下地埋管群自然形成相对独立的埋管单元,且相邻埋管单元之间相距 16 m 以上,因此可不考虑相邻单元间的热干扰,这也是铁路站台下布置埋管的特点之一。

为了考察虹桥站这种特有的地埋管换热器布置形式的换热性能、换热效率、土壤温度变化特性以及系统长期运行的稳定性、可靠性,采用计算机数值模拟手段进行研究论证(考虑到模型的对称性,选取任一单元的一半进行研究)。在其他条件相同的情况下,分别对以下 3 种地埋管布置方案进行对照分析。

方案 1: 站台下布管,纵向管间距 4 m,横向管间距 5 m,每个单元的地埋管数目为 70 根,这是虹桥站设计最终采用的方案。

方案 2: 站台下布管,纵向管间距 5 m,横向管间距 5 m,每个单元的地埋管数目为 54 根,为方案 1 的 77%。研究该方案的目的是为优化站台下布管、考察埋管间距对管群换热性能的影响。

方案 3: 集中均匀布管,纵向管间距 5 m,横向管间距 5 m,这是传统布管方式,研究目的是考察站台下布管与传统布管的换热器性能优劣。

相关参数如下。

通过现场测试并试验取得数据:土壤导热系数为 $1.4 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, 密度为 1925 kg/m^3 , 比热容为 $1154 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ 。土壤初始温度取 17.8°C ; 地埋管夏季散热量为 45 W/m , 冬季取热量为 35 W/m 。

系统运行时间:空调运行季为 5 月 1 日至 10 月 31 日 (6 个月, 计 180 d), 供暖运行季为 12 月 15 日至次年 3 月 15 日 (3 个月, 计 90 d), 其余月份为土壤温度恢复期。

夏季动态冷负荷如图 2 所示, 冬季动态热负荷如图 3 所示。对每日逐时空调负荷范围进行统计, 统计结果如表 1, 2 所示, 可作为地源热泵系统运行的参考依据。

表 1 虹桥站夏季空调负荷时间频数

时间频数/%	负荷率/%									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	0.7	4.3	10.0	18.5	19.7	16.7	13.0	10.4	5.5	1.2

表 2 虹桥站冬季空调负荷时间频数

时间频数/%	负荷率/%									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	3.2	7.1	11.3	15.4	16.7	17.5	15.0	8.5	3.5	1.8

4.2 地埋管换热器性能对比分析

4.2.1 方案 1

4.2.1.1 夏季运行工况

图 7 给出了 5 月到 10 月的 6 个月间, 地埋管换热器向土壤散热的过程中, 土壤温度逐月升高的温度场。在空调季运行期间, 管群所在土壤温度上升较快, 逐渐呈现出连片状云图, 周围无地埋管换热器的土壤的温度则维持在初始温度 17.8°C , 对换热十分有利。经过一个空调季的运行, 土壤月平均温度最高约 27°C , 显然不会对系统稳定性造成显著影响, 且为恢复期后的冬季运行提供了热量, 在一定程度上实现了夏季部分热量移冬季使用。

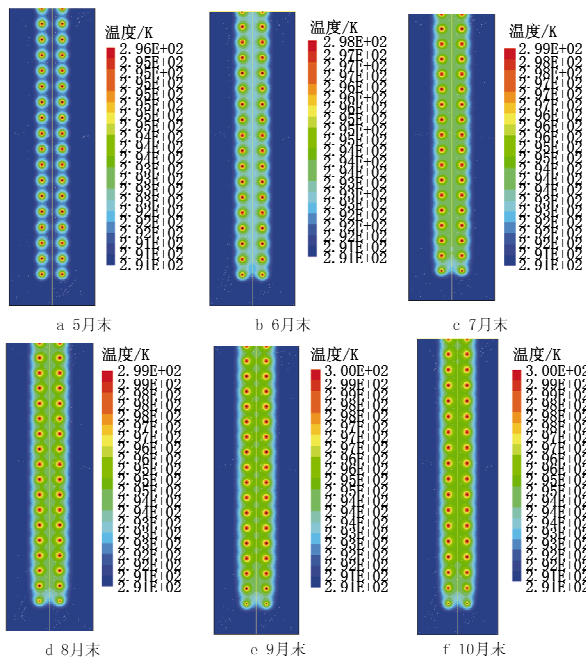


图 7 方案 1 空调季土壤温度场计算结果

4.2.1.2 冬季运行工况

图 8 给出了秋末和春末过渡季土壤温度变化情况以及 12 月中旬到 3 月中旬 3 个月供暖期间, 地埋管换热器从土壤吸取热量的过程中, 土壤温度逐月降低的温度场。

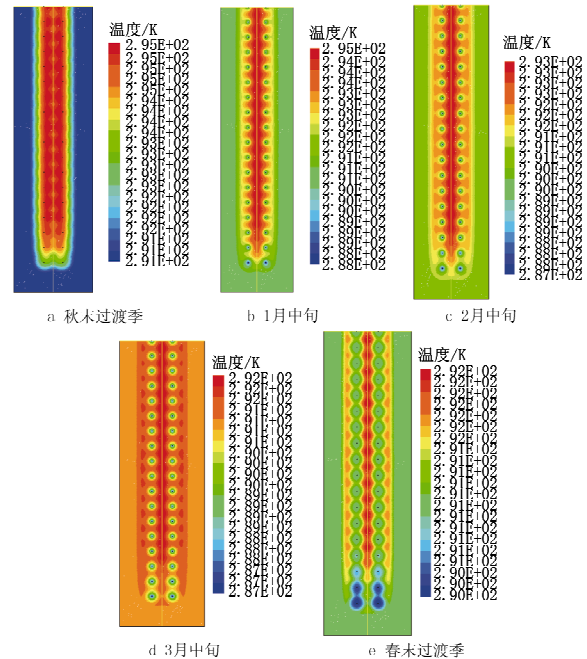


图 8 方案 1 过渡季和供暖季土壤温度场计算结果

4.2.1.3 土壤温度变化特性及地埋管性能

图 9 所示为方案 1 土壤 (该区域的四周与钻孔中心的距离均为 1 m) 平均温度的月变化曲线。在空调季, 6 个月运行期满后, 土壤平均温度升高了约 5.13°C 。地埋管换热器的传热效率随着土壤温度的升高而降低, 因此, 实际运行时的负荷将低于设计值。按照 6 个月平均的土壤温度可估算得到实际传热效率约 79.3% , 而最低效率则低于 71% , 见图 10。在供暖季, 3 个月运行期满后, 土壤平均温度降低了 4.47°C 。因为夏季负荷比冬季大, 所以冬季温度降低值小于夏季空调运行时的温升值。此时, 地埋管换热器的传热效率会随着土壤温度的降低而有所降低。同样, 根据 3 个月平均的土壤温度可估算得到实际传热效率约为 109% , 而最低效率则为 99% , 见图 11。

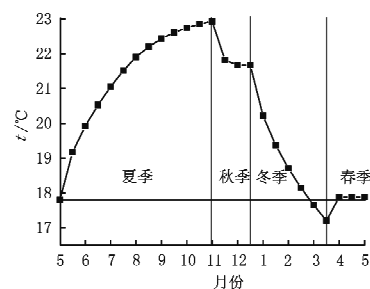


图 9 方案 1 全年土壤平均温度变化情况

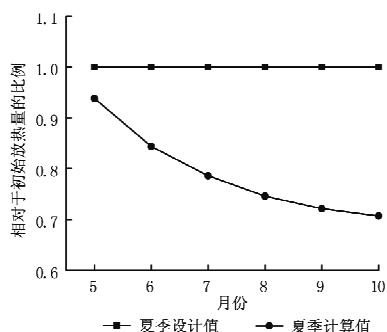


图 10 根据土壤温度修正的方案 1 夏季放热量

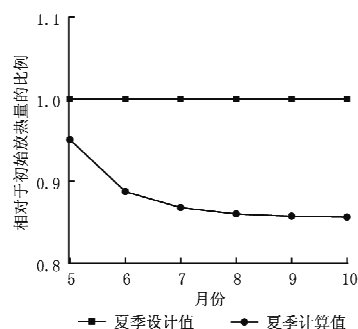


图 13 根据土壤温度修正的方案 2 夏季放热量

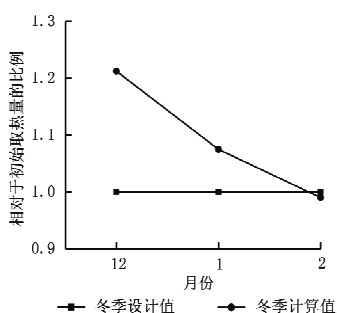


图 11 根据土壤温度修正的方案 1 冬季取热量

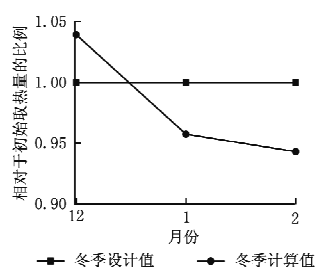


图 14 根据土壤温度修正的方案 2 冬季取热量

4.2.2 方案 2

模拟结果显示,经过一个空调季的运行,土壤温度最高约 24 °C。

图 12 所示为方案 2 土壤平均温度的月变化曲线。空调季 6 个月运行期满后,土壤平均温度升高了约 2.48 °C。地埋管换热器实际传热效率约 88.2%,而最低效率则低于 85.6%,见图 13。在供暖季,3 个月运行期满后,土壤平均温度降低了 2.13 °C,根据 3 个月平均的土壤温度可估算得到实际传热效率约 98.2%,而最低效率则为 94.3%,见图 14。

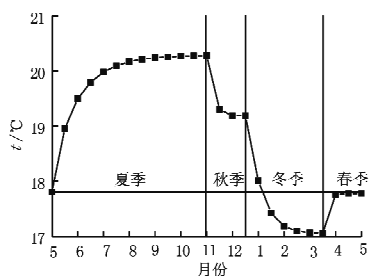


图 12 方案 2 全年土壤平均温度变化情况

4.2.3 方案 3

4.2.3.1 夏季运行工况

图 15 给出了 5 月到 10 月的 6 个月间,地埋管换热器向土壤散热的过程中,土壤温度逐月升高的温度场。经过一个空调季的运行,土壤温度最高约 32 °C,不利于换热,严重影响热泵机组的运行和使用。

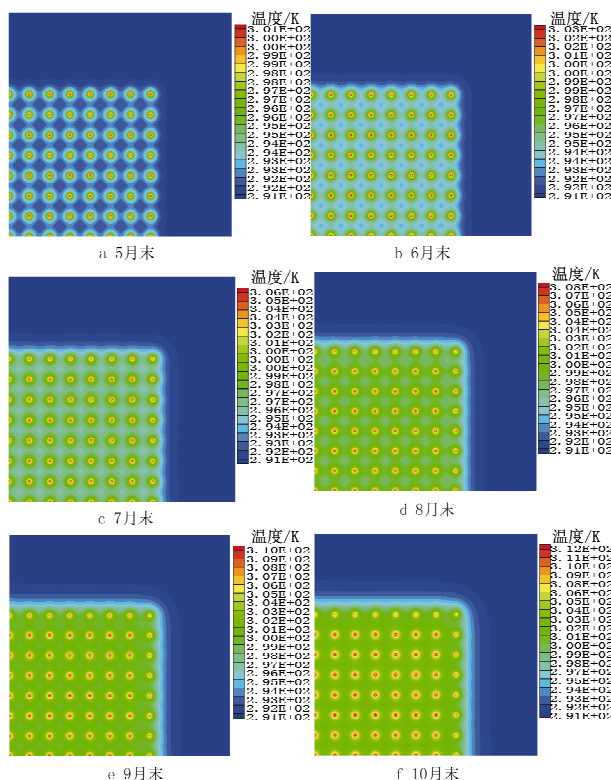


图 15 方案 3 空调季土壤温度场计算结果

4.2.3.2 冬季运行工况

图 16 给出了 12 月到 3 月期间地埋管换热器从土壤吸取热量的过程中,土壤温度逐月降低的温度场,由图可见,越靠近钻孔,温度下降越快。

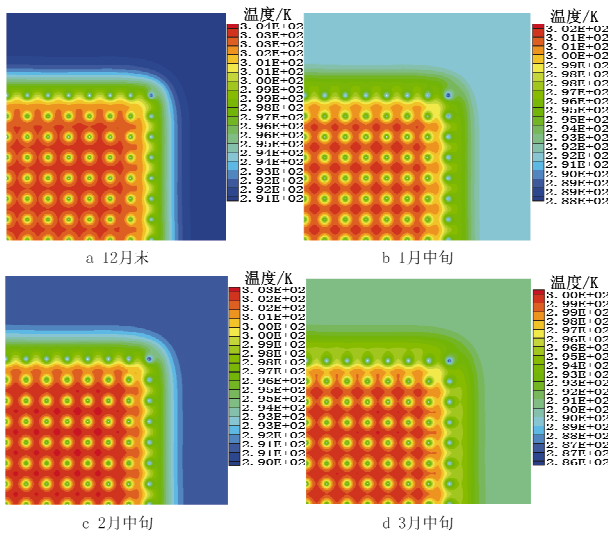


图 16 方案 3 供暖季土壤温度场计算结果

4.2.3.3 土壤温度变化特性及地埋管性能

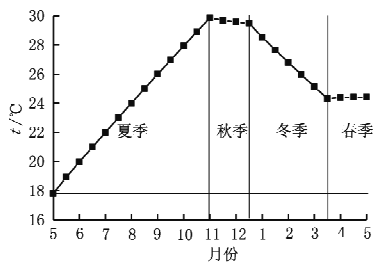


图 17 方案 3 全年土壤平均温度变化情况

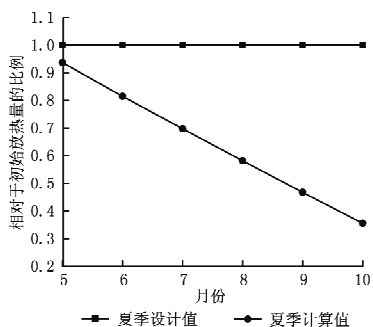


图 18 根据土壤温度修正的方案 3 夏季放热量

图 17 所示为方案 3 土壤温度月平均变化曲线。在空调季,6 个月运行期满后,土壤平均温度升高了约 12.05℃,土壤温度达到 29.8℃左右,地埋管换热器的传热效率严重降低,地源热泵无法正常运行。按照 6 个月平均的土壤温度可估算得到实际传热效率约 64.2%,最低效率仅为 35.5%,此时地源热泵无法正常工作,结果如图 18 所示。在供暖季,3 个月运行期满后,土壤平均温度降低了 5.17℃。由于夏季运行时间长,夏季储存的热量大于冬季提取

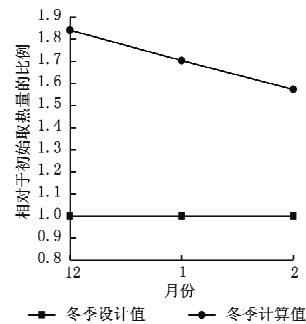


图 19 根据土壤温度修正的方案 3 冬季取热量

的热量,所以该温度降低值小于夏季空调运行时的温升值。此时,地埋管换热器的传热效率会随着土壤温度降低而有所降低。同样,根据 3 个月平均的土壤温度可估算得到实际传热效率约 175%,最低效率为 157%,结果如图 19 所示。

4.2.4 对比分析

从表 3 可看出,不同布管方案下地埋管换热器性能会有较大差别。以土壤温度变化特性的模拟为基础,对地埋

表 3 地埋管换热器性能对照表

埋管方案	夏季				冬季			
	土壤月平均最高温度/℃	土壤平均温升/℃	实际传热效率/%	最低效率/%	土壤平均温降/℃	实际传热效率/%	最低效率/%	
方案 1	27	5.13	79.3	70.7	4.47	109.3	99.0	
方案 2	24	2.48	88.2	85.6	2.13	98.2	94.3	
方案 3	32	12.05	64.2	35.5	5.17	175	157	

管的传热效率进行了修正,方案 1 夏季传热效率从设计值 93.8%衰减为 70.7%,平均值为 79.3%;冬季传热效率从设计值 121.2%衰减为 99.0%,平均值为 109.3%。方案 2 夏季传热效率从设计值 95.1%衰减为 85.6%,平均值为 88.2%;冬季传热效率从设计值 104.0%衰减为 94.3%,平均值为 98.2%。可见,方案 1 夏季运行的稳定性略差于方案 2,但由于土壤的蓄能作用,方案 1 冬季的运行性能要优于方案 2。此外,由于方案 1 每个地埋管群单元可布置的地埋管数目为 70 根,方案 2 每个地埋管群单元布置的地埋管数目为 54 根,较方案 1 减少近 23%,综合考虑运行效率和布置方式而言,方案 1 夏季的总放热量比方案 2 高 16.4%,冬季总取热量比方案 2 高 44.5%。因此,虹桥站采用方案 1 布管方案。

在全年运行过程中,方案 1 土壤夏季温升为 5.13℃,冬季温降为 4.47℃;方案 2 夏季温升为 2.48℃,冬季温降为 2.13℃;方案 2 的恢复性能较好。可见,在布管站面积足够的情况下,应适当加大布管的纵向间距,以改善地埋管换热器性能。

采用方案 3,供冷季结束时土壤温度升高约 12.05℃,供冷季的平均传热效率为设计工况时的 64.2%,最后 1 个

月的传热效率仅为设计值的35.5%;供热季结束时,土壤温度下降 5.17℃,供热季的平均传热效率为设计工况的175%。地埋管夏季负荷高、持续时间长导致系统夏季无法正常运行,冬夏季冷热负荷不平衡率较大,反倒有利于冬季运行。因此,要改善其性能,则必须在实际运行时严格控制热泵夏季连续运行的时间,增加间歇时间作为恢复期,严格控制其冬夏负荷不平衡率,根据冬夏季运行时间,合理调控冬夏季的负荷强度。但这往往不符合实际需求。这种传统布管方式的优点是节省占地,适合于没有大量空余土地的情况。

从上述分析可以看出,在铁路客站站台下布置地埋管换热器,自然形成相对独立的换热管群单元,由于每个换热管群单元的间距大,使得地埋管周围的热量能更快地扩散到土壤远端,降低地埋管附近的温度,有利于提高机组的传热效率,其换热性能总体好于传统布管方式,具有一定优势。

5 虹桥站复合式地埋管地源热泵系统可靠性分析

5.1 系统全年运行的可靠性

在地埋管地源热泵的运行过程中,土壤温度不断变化,对热泵机组的运行性能造成影响,使其总体效率越来越低。因此有必要考察冷热源系统的全年供冷供热能力是否满足全年动态负荷的需求。

夏季供冷时,系统向土壤中不断释放热量,随土壤温度升高,地埋管换热器的传热效率会不断降低,从而导致热泵的制冷量随之降低。虹桥站采用复合式地埋管地源热泵系统,供冷主要是由离心机组承担的,热泵主要用于补峰运行或在冷量需求较小的情况下运行,由图 10 可以计算出土壤升温后热泵的制冷量,加上常规离心机组的制冷量可以得到夏季运行实际的制冷量,其与夏季动态空调负荷的对比

如图 20 所示。随着土壤温度的升高,地源热泵效率逐渐下降,导致系统总制冷量从 20.7 MW 衰减为 18.7 MW,结合夏季逐时冷负荷变化曲线可知,系统的出力完全可满足制冷使用要求。

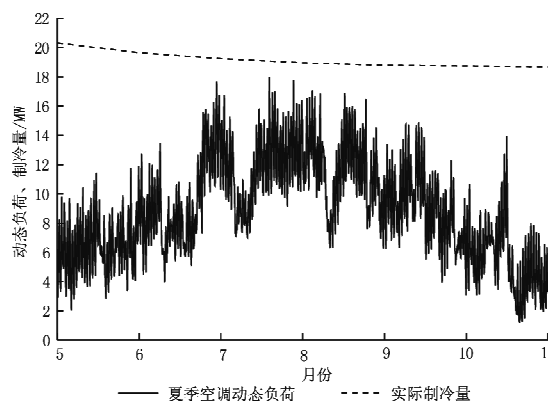


图 20 土壤升温后系统实际总制冷量与动态冷负荷的对比

冬季供暖时,由图 11 可知,由于夏季供冷时土壤蓄热,所以冬季传热效率虽然随土壤温度的降低而降低,但是总体上均高于 100%,因此机组出力是能够满足供暖使用要求的。但前提是有夏季供冷在先,土壤进行了蓄热,才能保证冬季供热的高效率。

上述分析说明,虹桥站冷热源采用复合式地埋管地源热泵系统可以满足全年的供冷供热需求。

5.2 地埋管地源热泵运行特点与可靠性

系统全年运行过程中,地埋管井周围的土壤温度场经历“升温→降温→升温”的周期性变化过程。从图 21 可以看出,管井周边不同位置的温度场差异主要反映在振幅变化以及相位变化上。

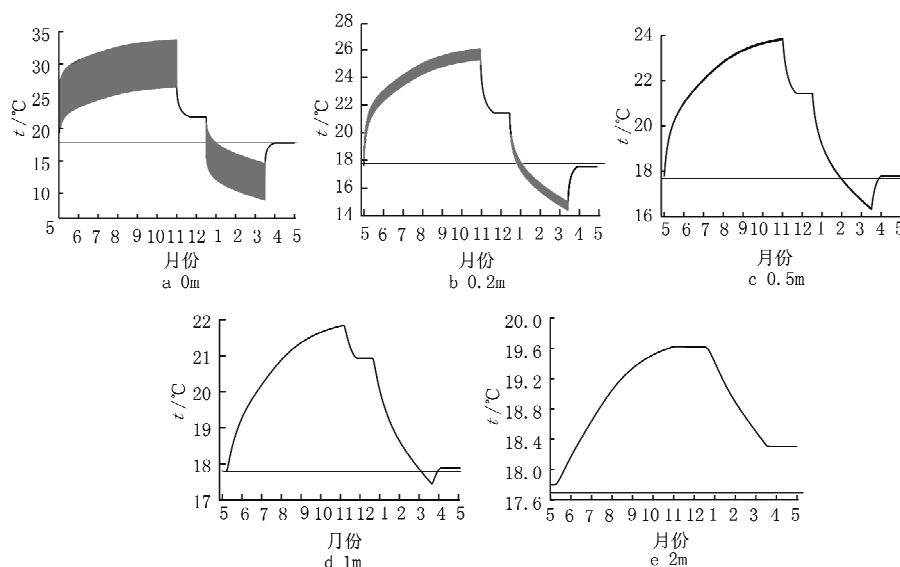


图 21 距管井 0~2 m 不同间距土壤全年温度变化曲线

土壤的温度变化特性表明,热量在土壤中传递速度较慢,温度波幅的衰减和时间的延迟较大。因此,设计埋管地源热泵系统时应考虑这种特点,必须给热量在土壤中适当的传递时间即恢复期,才能保证系统以较高的效率运行。每天都应给机组留一定的恢复时间,这一运行特性是埋管地源热泵系统有别于常规系统的显著特征。为此,设计虹桥站过程中对埋管地源热泵以及采用的埋管方案进行了间歇运行的可靠性分析:分析系统以设计日负荷连续运行 12, 18, 24 h 时的效率和可靠性。

采用夏季和冬季设计日的负荷作为边界,埋管地源热泵每天连续运行 12 h 和 18 h 两种模式,对其效率进行计算,结果如图 22 所示。12 h 连续运行时,夏季的实际运行平均传热效率为 60%,冬季的实际运行平均传热效率为 90%;18 h 连续运行时,夏季的实际运行平均传热效率为 56.2%,冬季的实际运行平均传热效率为 86.2%。

若埋管地源热泵系统 24 h 连续运行,会出现土壤温度无法恢复的问题,在空调季,土壤温度过高会导致冷凝器超压,机组无法正常运行。

分析表明,虹桥站埋管地源热泵机组每天的运行时间应控制在 12~18 h,不可使机组全天 24 h 都开启。虹桥站采用复合式系统,夏季供冷以离心机为主,埋管地源热泵补峰或低负荷运行,处于间歇运行的状态中;在冬季时,由动态负荷曲线可知,平均供暖负荷为 4 MW 左右,因此,可以采用多台热泵机组交替运行实现间歇运行。

6 结论

6.1 铁路客站都有站场和站台,比较容易解决埋管换热器设置问题,并保证其可持久使用。这是铁路客站采用埋管地源热泵系统的优势之一。

6.2 站台设置埋管换热器,应注意其环境特点。应事先了解区域内地基处理的方案并与有关专业沟通,以确定其可实施性。应与有关专业协调使埋管的布置与地基处理桩的布置更合理,才有利于施工。埋管的设计还应与站台设计密切配合,处理好与其他专业管线和设施的关系,合理布置埋管井和水平连管,保证其可实施性,减小施工难度。此外,站台下设置埋管不同于一般空地埋管方式,施工作业项目较多,设计阶段就应充分考虑各个施工环节的相互关系。

6.3 铁路客站站台下布置埋管换热器,换热管群单元的间距较大,使得埋管周围的热量能更快地扩散到土壤远端,降低埋管附近的温度,有利于提高机组的运行效率,其换热性能总体好于传统布管方式,具有一定优势。

6.4 埋管地源热泵系统需要间歇运行,这是其有别于常规系统的典型之处,设计和运行管理都应充分考虑这一特性。

6.5 站房的负荷特点必须和埋管地源热泵系统间歇运行的特性相适应,必要时应采取辅助冷源或热源,才能保证

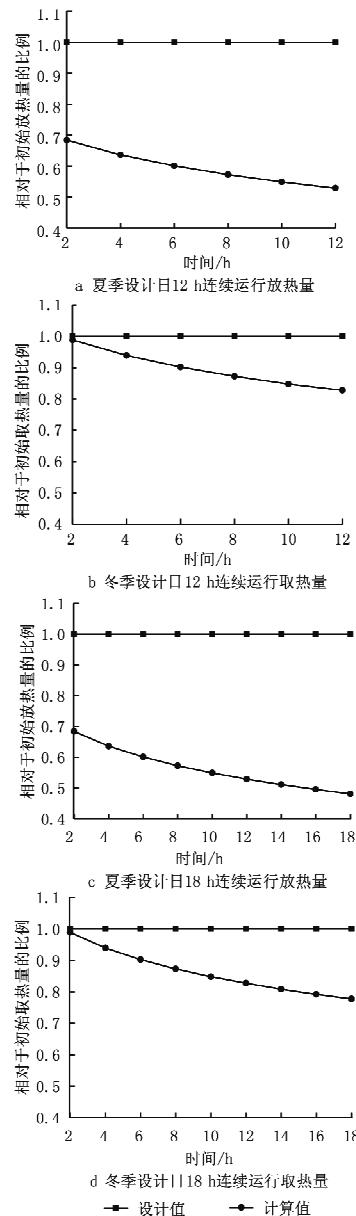


图 22 不同运行模式下冬夏季设计日修正放热量与取热量

埋管地源热泵系统的高效率和可靠性。

6.6 从上述研究中可知,先夏季运行,可为冬季储存热量,提高冬季运行时蒸发器的性能;相反先冬季运行,可为接下来的夏季储存冷量,可提高夏季运行时冷凝器的性能。然而改善蒸发器性能比改善冷凝器更有利,所以在系统实际运行时,宜提倡先制冷后供暖的模式。

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:中国建筑工业出版社,2001
- [2] 方肇洪,刁乃仁,苏登超,等. 竖直 U 型埋管地源热泵空调系统的设计与安装[M]//现代空调(第 3 辑),2001