

工程实例

九华山庄二期地埋管 地源热泵工程

际高集团有限公司 陈凤君 冯婷婷

摘要 介绍了九华山庄二期地埋管地源热泵系统的设计、施工、调试以及跟踪测试的情况。阐述了选择复合式系统的理由,指出测试土壤热工参数以及进行地下温度模拟的必要性和确保地下热平衡的重要性。分析了地埋管地源热泵系统的测试结果。

关键词 地埋管地源热泵 复合式系统 热工参数 温度模拟 热平衡

Ground-source heat pump system in phase 2 of Jiuhua Hotel project

By Chen Fengjun and Feng Tingting

Abstract Describes the design, construction, commissioning and follow-up testing of the GSHP system in Jiuhua Hotel. Presents backgrounds for using the hybrid system, points out the necessity of measuring the ground thermal parameter and simulating the fluid temperature, and illustrates the importance of keeping thermal balance underground. Analyses testing results of this project.

Keywords ground-source heat pump, hybrid system, thermal parameter, temperature simulation, thermal balance

Hundred Group Co., Ltd., Beijing, China

1 工程概况

北京九华山庄二期酒店工程位于北京市昌平区,是一家涉外四星级庭院式度假酒店,建筑面积共计 131 262 m²,地下 1 层,地上 13 层,建筑高度为 55.2 m。建筑总冷负荷为 13 MW,总热负荷为 10.5 MW。建筑外景如图 1 所示。



图 1 建筑外景

2 冷热源设计方案

本工程冷热源系统采用地埋管地源热泵复合

式系统,地下换热器的数量为 700 个,冬夏季基本负荷由地埋管地源热泵系统承担;峰值负荷冬季由汽水换热系统承担(蒸汽由原有锅炉房提供),夏季由冰蓄冷系统承担,达到削峰填谷、节省运行费用的目的。其中冰蓄冷系统采用部分负荷蓄冰系统,制冷主机和蓄冰设备为串联方式,主机位于蓄冰设备上游。

地埋管地源热泵系统选用 5 台热泵机组,单台制冷量为 1 251 kW,制热量为 1 100 kW;冰蓄冷系统选用 3 台双工况主机,单台制冷量为 1 192 kW,制冰量为 821 kW;蓄冰设备采用蓄冰盘管,总蓄冰量为 28 128 kWh,蓄冰盘管安装在箱形基础内。汽水换热器 2 台,单台装机容量为 2 100 kW。

陈凤君,男,1965 年 4 月生,大学,高级工程师
100028 北京市朝阳区西坝河西里 28 号英特公寓 B 座 20B
(010) 64475028

E-mail: chfj.chen@vip.sina.com

收稿日期:2006-01-24

修回日期:2006-06-05

3 冷热源系统方案的选择

该工程周边无城市蒸汽管网,无其他热源,经业主和众多专家多方论证比较,选择埋管地源热泵系统。

该工程中采用埋管地源热泵可以有两种选择:一种是按设计峰值负荷全部采用埋管地源热泵系统;一种是复合式系统,即埋管地源热泵系统仅承担基本负荷,峰值负荷由其他冷热源补充。

该工程冷热负荷延续时间图见图 2。如按设计峰值负荷全部采用埋管地源热泵系统,会出现以下问题。

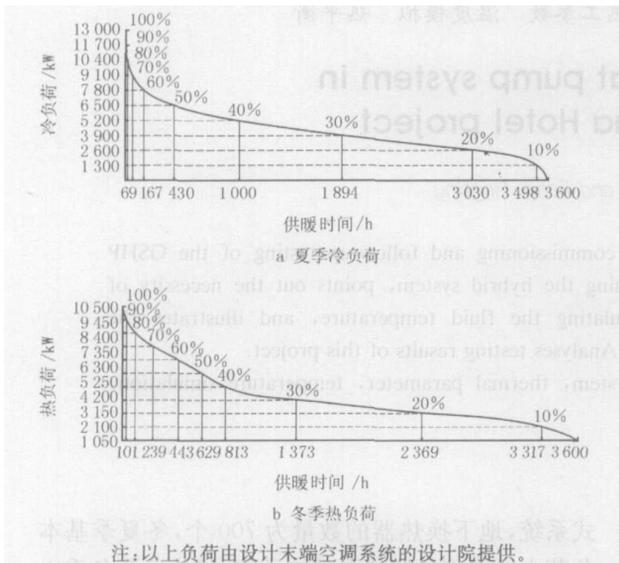


图 2 冷热负荷延续时间图

1) 地下换热器投资高,系统经济性差

该工程夏季设计峰值负荷高于冬季设计峰值负荷,如按夏季设计峰值负荷选配地下换热器,地下换热器数量大,系统投资高,故按冬季热负荷选配地下换热器。从图 2 可以看出,冬季 60% 以上负荷出现时间仅占 12%,故确定冬季峰值热负荷的 60% 为基本负荷,由埋管地源热泵系统承担,超过 60% 的负荷由蒸汽换热器来调峰。

如按照夏季峰值负荷选择地下换热器,与复合式系统相比(见图 3),尽管运行费用低 2%,但是地下换热器数量会增加一倍,系统的总投资也提高 35%~40%,但利用效率低。

2) 冷热源系统调节能力差,地下热平衡无法保证

该工程中夏季所需要的冷量比冬季所需的热量大多,即夏季向土壤排放的热量远大于冬季提取的热量,长期运行势必使土壤温度越来越高,所

能取得的冷量逐年减少,使热泵处于不经济的运行状态。为实现长期利用土壤热源的目的,应使土壤每年的取热量和放热量基本达到平衡。

因此,该工程采用复合式系统,从原理上来

讲,如果仅仅为了地下换热器的热平衡,可以按冬季负荷选择地下换热器,夏季采用冷却塔补充的方式。但是综合考虑到初投资以及增加系统可靠性等方面,冬季采用地下换热器+蒸汽换热方式,夏季采用地下换热器+冰蓄冷方式,埋管大小由冬季热负荷来确定,超出从土壤中吸收热量的部分夏季排热量由冰蓄冷系统来提供,这样使得地下的吸放热量平衡。此方案不仅解决了地下热平衡问题,还降低了整个系统的初投资。

4 冷热源设计方法和步骤

4.1 地下换热器系统设计

埋管地源热泵系统的核心是地下换热器的设计,地下换热器的设计与土壤的热工参数、建筑物的负荷情况以及运行时间都有很大关系,不能仅仅根据冷热峰值负荷简单计算埋管长度,要综合考虑热泵机组全年运行的影响。

1) 不同地质情况岩土导热性能有很大差别,岩土的温湿度以及地下水情况等都会影响地下换热器的设计,因此,设计前做热响应试验来获得土壤的导热系数并把它作为设计依据是非常必要的。在九华山庄相应区域打试验用孔,采用进口测试设备,实际测得当地土壤的初始温度为 16.45℃,土壤的导热系数为 1.98 W/(m·K)。

2) 根据热响应试验测出的土壤特性,输入空调负荷,由地下换热器专业计算软件确定工程的埋管形式,竖直埋管的深度,打井数量和分布等情况。该工程共采用 700 个双 U 形地下换热器(分为 10 个区,每个区 70 个),深 100 m。

4.2 地下热平衡模拟

保证地下热平衡是地下换热器系统常年稳定

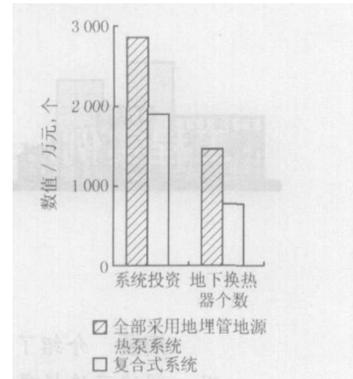


图 3 埋管地源热泵系统与复合式系统投资及换热器数量对比

运行的关键。根据初步确定的系统方案和冬季调峰比例,在充分保证地下热平衡的前提下,确定夏季冰蓄冷的调峰比例,并利用地下换热器设计软件进行模拟计算,依据模拟结果反复调整和优化方案,最终方案的计算结果如图 4、5 所示。

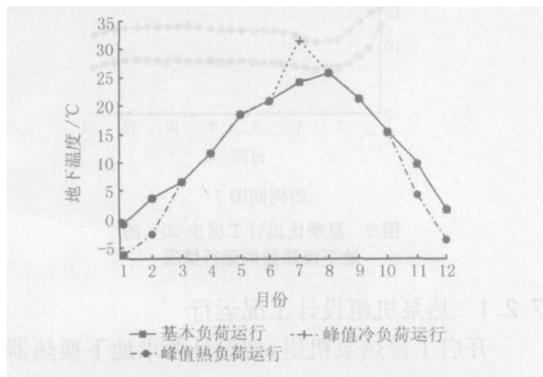


图 4 采用复合式系统第 25 年地下温度变化情况

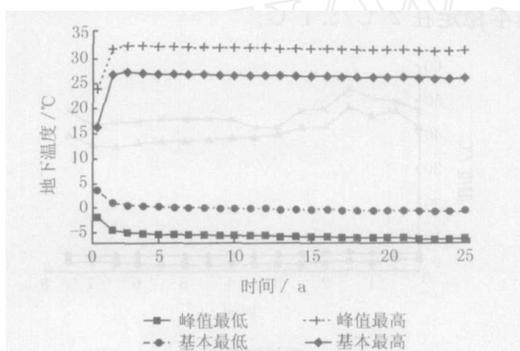


图 5 采用复合式系统地下温度 25 年变化情况

从图 4、5 可以看出,采用复合式系统,地下换热量冬夏季达到了热平衡,地下温度变化不大,第 25 年地下温度在 $-5.5 \sim 32$ 之间变化,可以保证热泵机组经济高效地运行。

5 地下换热器施工关键问题及解决措施

5.1 埋管技术

采用双 U 形埋管技术,可有效地提高单孔换热能力,减少打孔数量。

5.2 专用回填料

回填料的热工性能直接影响到地下换热器的换热性能。根据地质情况选择不同配方的回填料,确定回填料的配比,保证换热效果。回填料在施工完成后必须与地下换热器紧密接触。回填料除考虑传热外,还要考虑其凝固强度等级,因地质结构不同、膨胀能力不同,产生的挤压力差别也很大,因此选择合适的回填料还可以防止挤压破坏地下换

热管。

5.3 回填技术

回填是地下换热器施工中的关键问题,回填料灌料时,若人工从上边回填,会因压力不够,井内空气排不出来造成填料与井壁及换热器之间空隙较多,严重影响传热效果。该工程采用从地下返浆回填的方法(见图 6)解决了此问题。

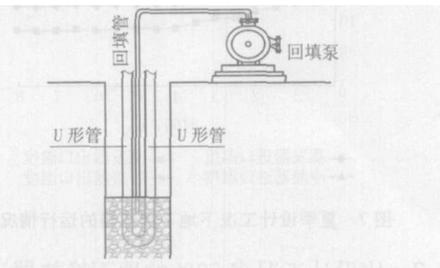


图 6 返浆回填示意图

6 调试及运行

2004 年冬季,该工程埋管地源热泵系统施工完毕,具备了调试条件。但是由于该建筑并未正式投入使用,无法进行测试。自 2005 年 4 月下旬开始运行至今,测试结果表明,运行情况达到了设计要求。

在调试过程中应该注意以下问题:

1) 在热泵机组试运行之前,应对地下系统进行水力平衡调试,确定系统总循环流量、各分支流量达到设计要求,否则水力不平衡会导致地下温度不稳定,不利于地下换热;

2) 并不是地下换热器开启越多换热效果越好,如果开启过多,而没有增加系统的流量,会导致地下换热器的流量均达不到设计值,雷诺数低于 2300,处于层流状态,地下温度上升或下降较快,也不利于地下换热。

7 测试结果及分析

2005 年夏季及 2006 年 1 月,笔者所在公司组织了九华山庄二期埋管地源热泵工程测试小组,对九华山庄的埋管地源热泵系统运行工况进行了跟踪测试。为了掌握埋管地源热泵机组在不同工况下的运行情况,不但测试了其在设计工况下的运行情况,还分别增加和减少地下换热器数量进行测试。

7.1 夏季测试结果

7.1.1 热泵机组设计工况运行

开启 1 台热泵机组,按设计要求地下换热器开

启 2 个区,运行情况如图 7 所示,地下换热器进/出水温度基本稳定在 31.3 / 27.4 ,与设计参数基本相符。

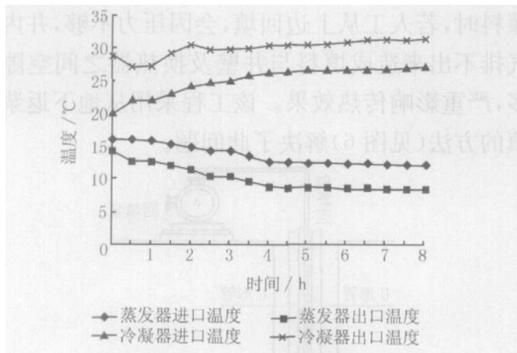


图 7 夏季设计工况下地下换热器的运行情况

7.1.2 比设计工况多 50 %的地下换热器运行

开启 1 台热泵机组,地下换热器开启 3 个区,当机组正常运行后,调整冷水、冷却水流量至设计值,地下换热器进/出水温度基本稳定在 29.2 / 24.6 (见图 8),低于设计参数。

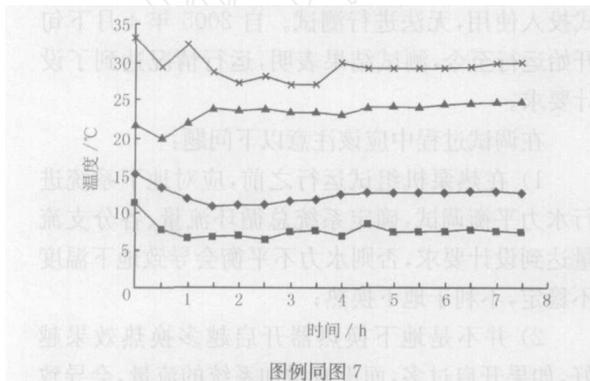


图 8 夏季比设计工况多 50 %的地下换热器的运行情况

7.1.3 比设计工况少 50 %的地下换热器运行

为了测试地下换热器设计不足的情况,开启 1 台热泵机组,地下换热器开启 1 个区,地下换热器进/出水温度稳中有升,机组满负荷运行 14 h,停机时地下换热器进水温度超过 37 (见图 9),证明地下换热器超负荷运行,机组效率下降,不能达到经济运行的目的。

7.1.4 测试小结

目前测试结果表明,地埋管地源热泵机组按设计工况运行,其制冷能力和冷水、冷却水侧供回水温度均能满足设计要求。

7.2 冬季测试结果

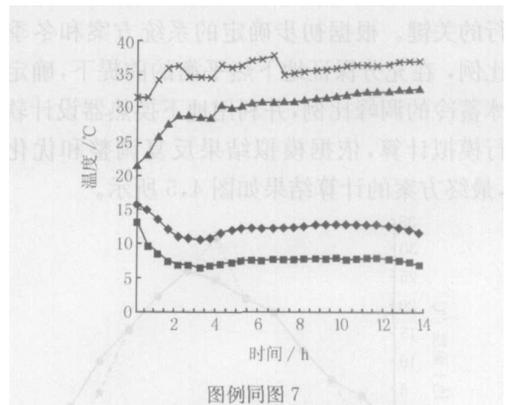


图 9 夏季比设计工况少 50 %的地下换热器的运行情况

7.2.1 热泵机组设计工况运行

开启 1 台热泵机组,按设计要求地下换热器开启 2 个区,如图 10 所示,地下换热器进/出水温度基本稳定在 2 / 5.1 。

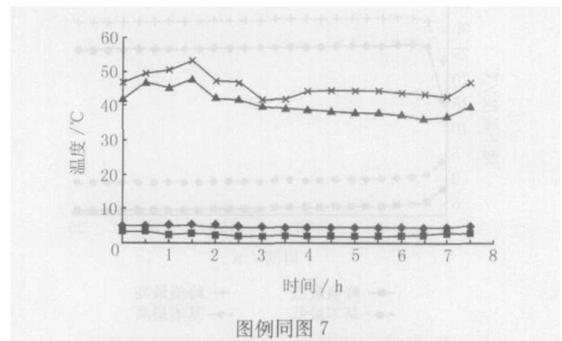


图 10 冬季设计工况下地下换热器的运行情况

7.2.2 比设计工况多 50 %的地下换热器运行

开启 1 台热泵机组,地下换热器开启 3 个区,当机组正常运行后,调整冷水、冷却水流量至设计值,地下换热器进/出水温度基本稳定在 3.3 / 5 (见图 11)。

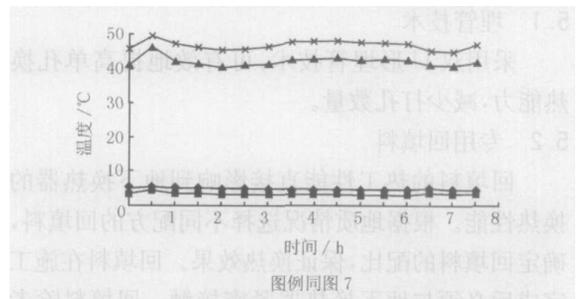


图 11 冬季比设计工况多 50 %的地下换热器的运行情况

7.3 土壤温度的测试

为了检测土壤温度,施工时在地下换热器之间

专门设置一个检测井,每隔 5 m 埋设一个热电阻,可用来读取土壤温度,且保持检测井所在区域地下换热器一直运行。经统计,九华山庄夏季累计排热量为 5 530 MWh,冬季累计吸热量为 5 740 MWh,能维持地下热平衡。对土壤温度进行检测的结果如图 12 所示,图中 2005 年 6 月曲线为供冷期开始 1 个月后的土壤温度;2006 年 1 月曲线为供暖期结束后的土壤温度。

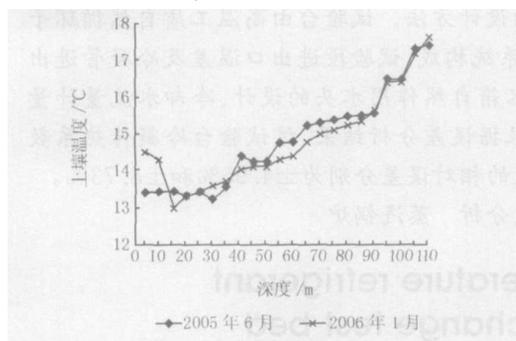


图 12 土壤温度测试结果

7.4 制定合理的运行策略

埋管地源热泵系统的成功运行,除了合理的设计,还必须制定合理的运行策略,并依此指导运行管理,尤其是在埋管地源热泵复合式系统中更

为重要。制定合理的运行策略需要充分理解设计的意图,用专用软件进行模拟,合理分配各系统负担负荷的比例,并有成功运行经验作指导,以及结合项目的调试运行和测试情况,才能制定出一个保证地下换热器系统热平衡,使系统长期稳定运行的策略。

8 节能效果

该工程采用了冰蓄冷系统来共同承担夏季冷负荷,减少了埋管地源热泵机组的数量,降低了初投资,也减少了电力装机容量 849 kW,夏季转移高峰电量 216 547 kWh,转移平峰电量 394 023 kWh,缓解了用电紧张状况,起到了移峰填谷的作用。经过测试,该工程运行费用夏季为 17 元/m²,冬季为 12 元/m²。采用埋管地源热泵复合式系统,比常规电制冷机组+燃气锅炉系统每年可节省 30%~40% 的运行费用,节约 40% 左右的一次能源,同时大大降低了城市大气污染。

参考文献

- [1] 徐伟,路宾,邹瑜,等. 地源热泵工程技术指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001
- [2] 陈凤君,杨劲松,冯婷婷,等. 土壤热泵设计施工探讨[J]. 工程建设与设计,2004(4)

(上接第 48 页)

内能够按统一指标和方式进行,从而能对各省、市的住宅建筑能耗情况进行统一分析比较。但目前住宅建筑能耗统计工作还处于方法研究阶段,具体指标、报表等内容还有待完善。怎样科学地选取调查对象,也需要深入研究并在实际工作中不断摸索。此外,为使统计标准化,各种型号的能耗设备还需进行统一编码,并设置相关的设备数据库。充实和加强能源统计队伍,提高能源统计人员的业务水平,也是一项重要的工作。

参考文献

- [1] 胡平放,向才旺,丁学俊,等. 中国建筑能耗现状特征[J]. 武汉城市建设学院学报,1998,15(2):39-43
- [2] 左现广,唐鸣放. 国内外建筑能耗调查与统计研究[J]. 重庆建筑,2003(2):16-18
- [3] The Ove Partnership. Building design for energy economy [M]. Great Britain: The Pitman Press Bath, 1981
- [4] Oktay Ural. Energy resources and conservation related to built environment [M]. Volume 1.

Florida: Miami Beach,1980

- [5] Landsberg D R, Ronald S. Improving energy efficiency in buildings [M]. Albany:State University of New York Press,1980
- [6] Haerl J, Sparks R, Culp C. Exploring new techniques for displaying complex building energy consumption data[J]. Energy and Buildings,1996,24(1):27-38
- [7] 赵加宁,俞英鹤,郭骏,等. 建筑能耗统计中的几个问题[J]. 统计与决策,2003(2):32-33
- [8] Chen Shuqin, Li Nianping, Guan Jun, et al. A study on thermal environment and energy consumption of urban residential buildings in hot summer and cold winter climate of China [J]. Environmental Informatics Archives,2005,3:379-386
- [9] 江亿,薛志峰. 北京市建筑用能现状与节能途径分析[J]. 暖通空调,2004,34(10):13-16
- [10] 江亿. 我国建筑耗能状况及有效的节能途径[J]. 暖通空调,2005,35(5):30-40
- [11] 中国建筑科学研究院. GB 50176—93 民用建筑热工设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,1993
- [12] 全国统计专业技术资格考试用书编写委员会. 统计基础知识和实务[M]. 北京:中国统计出版社,2005
- [13] 陈上珠. 应用统计[M]. 北京:经济科学出版社,1987