

[环保·安全]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.04.020

冷却塔辅助地源热泵空调系统 夏季运行实验研究

鲁 齐, 蔡颖玲

(上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘 要:上海地区具有夏热冬冷的气候特点,为了消除地源热泵技术应用存在冷热负荷的不平衡,改善热泵机组长期运行性能,在“地源热泵系统实验平台”基础上,加入冷却塔,建成“冷却塔辅助地源热泵空调系统实验平台”,并进行了一系列夏季制冷实验。实验平台以土壤温变特性为出发点,共设计3种不同的运行模式,利用西门子 PLC200 作为下位机,组态软件 WinCC 作为上位机监管软件,完成对现场的控制和数据的采集、归档。对单独地源热泵连续和间歇2种运行模式、以及冷却塔-地源热泵联合运行模式中2种设备不同的耦合方案都进行了研究和比较。实验测试结果表明:间歇模式和联合模式都可减缓土壤温度的上升,联合运行模式减缓的幅度更大。冷却塔的加入,提高了系统制冷能效比和稳定性,减缓了土壤热堆积。

关 键 词:地源热泵;冷却塔;土壤温变特性;制冷能效比

中图分类号:TU831.6

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2017)04-0092-05

Ground Source Heat Pump Aided by Cooling Tower Air Conditioning System

LU Qi, CAI Yingling

(School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: Shanghai is characterized by hot summer and cold winter, in order to eliminate the application of ground source heat pump technology of hot and cold load imbalance, improve the performance of heat pump unit runs for a long time, on the basis of the "experimental platform for ground source heat pump system", the cooling tower was joined to built the "cooling tower auxiliary ground source heat pump air conditioning system experimental platform", and a series of summer cooling experiments were completed. With the starting point of characteristics of soil temperature variation, this experiment platform designed three different kinds of operation mode totally which used the Siemens PLC200 as lower computer and Siemens configuration software WinCC as the host computer supervision software to realize the function of the field control and field data collection and archiving. Two operation modes of continuity and intermission for ground source heat pump were both studied and compared. So did different coupling schemes of two devices in the cooling tower-ground source heat pump coupling operation mode. The experimental test results show that intermittent and coupling modes can reduce the growth of soil temperature. The magnitude of the mitigation is greater to coupling operation mode. The addition of cooling tower can improve the refrigeration energy efficiency ratio and the stability of system operation which can slow down the thermal accumulation of soil.

Keywords: ground source heat pump; cooling tower; characteristics of soil temperature variation; refrigeration energy efficiency ratio

收稿日期:2016-12-12;修回日期:2017-03-15

基金项目:上海市教委科研创新项目(09YZ372)。

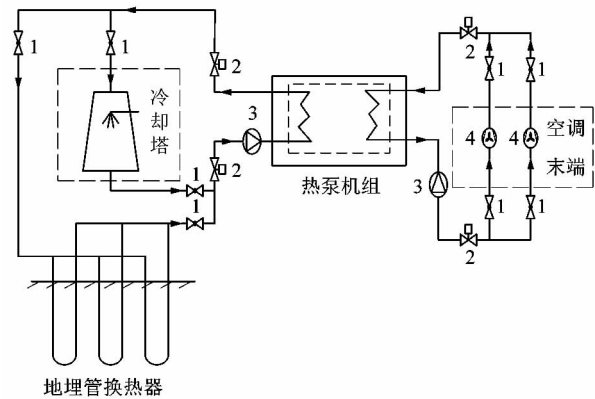
第一作者简介:鲁齐(1992),男,山东淄博人,硕士,主要从事冷却塔辅助地源热泵空调系统的研究。通信作者:蔡颖玲(1964),女,江苏宿迁人,博士,教授,主要研究方向为地源热泵技术。E-mail:caiyling963@126.com

目前,全世界都在关注能源、环境和可持续发展问题,而地源热泵作为一种先进、高效、节能、环保的技术,得到了全球的力捧^[1-2]。但地源热泵技术存在的最大不足是“土壤热不平衡”问题,南方地区以供冷为主,常年向地下注入热量,长年运行后将导致土壤温度失衡,影响周围生态^[3]。例如上海地区,热泵机组夏天向土壤中释放的热量要大于冬天从土壤中吸取的热量,导致地下埋管周围土壤温度升高,机组效率下降,能耗增加。为了消除冷热负荷的不平衡,改善热泵机组长期运行性能,一个切实可行的方法就是增加辅助冷却设备^[4]。在“地源热泵系统实验平台”基础上,加入冷却塔,建成适合夏热冬冷地区气候的“冷却塔辅助地源热泵空调系统实验平台”,既能解决土壤冷热负荷不平衡问题,又能充分发挥各自的节能优势^[5]。

1 实验平台与实验方案

1.1 硬件平台的设计

本实验平台是一套辅助冷却塔复合式地源热泵系统,其中硬件设备主要包括:热泵机组、室外地下换热器、闭式冷却塔、SIMATIC S7-200 PLC (programmable logic controller,以下简称 PLC)、末端风机盘管、安捷伦数据采集器,其系统原理图如图 1 所示。



1—球形阀;2—电动阀;3—循环泵;4—风机盘管。

图 1 系统原理图

Figure 1 System Schematic

地埋管和冷却塔采用并联的结构模式,通过手动球阀实现冷却塔和地埋管换热器之间流量配比的调节。其中,冷却塔为闭式冷却塔,配备电控箱,实现风机、喷淋泵的手动和自动控制;地埋管换热器采用 3 组单 U 竖直埋管,根据地源热泵施工规范要求选择了 SDR11 高聚乙烯 PE 管^[6-8],管道每隔 15 m 处布置一个 K 型热电偶,采集土壤实时温度。在源侧和负荷侧,分别设立冷却水泵和冷冻水泵各 1 台,通过 H2000

系列变频器实现对 2 个水泵的变频控制。实验期间,系统中阀门、水泵的开关由西门子公司的 SIMATIC S7-200 PLC 控制^[9];温度、流量等基础参数的采集由安捷伦和热泵机组自带采集系统完成。主要硬件设备的参数如表 1 所示。

表 1 主要硬件设备性能参数

Table 1 Performance parameters of major hardware devices

设备名称	型号	主要参数
热泵机组	MSR-L052	额定制冷量 9.9 kW, 制冷范围 3.0 ~ 15.0 kW
冷却/冷冻水循环泵	CH4-40	额定电压 380 V; 额定功率 0.966 kW
地埋管换热器		钻孔间距 4 m; 有效孔深 90 m; 数量 3 根; 钻孔直径 110 mm
冷却塔	FBN-6T	冷却能力 34.89 kW; 流量 6 m ³ /h; 额定功率 1.3 kW

1.2 软件平台的设计

本实验采用西门子公司的 SIMATIC WinCC 7.0 (windows control center,以下简称 WINCC)组态软件作为上位机监管软件(HMI 人机界面)完成对系统的监控。通过此软件,我们可以实现实验模式的远程切换和动态数据的实时监测、异常报警、数据归档和导出、在线报表、动态趋势显示等工作^[10-11]。监控系统的结构组成如图 2 所示。

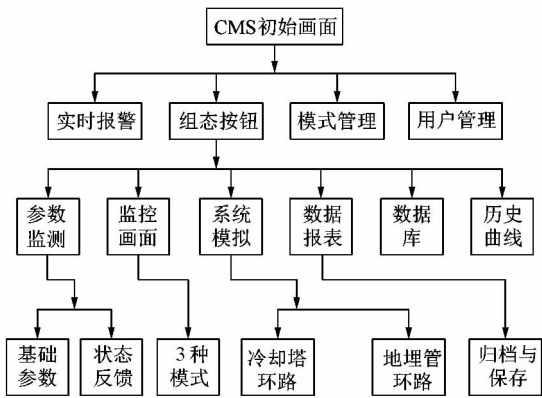


图 2 监控系统的界面组成

Figure 2 Interface components of monitoring system

2 实验系统的运行模式

在制冷工况下,随着地埋管换热器不断向土壤传递热量,土壤温度会持续升高,地下换热器与周围土壤进行换热的过程是非稳态的。为了研究这一现象、寻找合理的运行方案、优化机组运行工况,本实现平台

设立3种运行模式如表2所示。

表2 实验模式

Table 2 Experimental modes

模式	实验运行方案
单独地源热泵连续制冷	只开启地源热泵,共运行3 d,每天运行24 h
单独地源热泵间歇制冷	只开启地源热泵,共运行3 d,每天9:30到21:30运行
冷却塔-地源热泵联合制冷	同时开启地源热泵和冷却塔,冷却塔和地埋管换热器流量配比为1:1,1:2,2:1各运行1 d,每天运行24 h

其中,单独地源热泵间歇制冷模拟大型商场、写字楼的运行模式,每天9:30到21:30开机运行,在热泵机组不工作期间,土壤依靠自然恢复能力进行温度恢复。对于冷却塔-地源热泵联合制冷模式,冷却塔和地埋管换热器以并联的方式连接,在其各自支路,都设有手动球阀,通过调节手动球阀设定2者流量配比。

3 试验结果与分析

3.1 单独地源热泵连续和间歇制冷模式的实验结果对比

在上海市松江区夏季典型工况下进行实验。连续模式——3 d外界最高、低温度分别为34℃、27℃,34℃、28℃,34℃、26℃;间歇模式——3 d室外最高、低温度分别为35℃、28℃,34℃、27℃,34℃、26℃。对于实验中采用的3根90 m深单U型竖直埋管,选取其中一根管道的数据进行分析。此管道在埋深30 m处土壤温度的变化曲线如图3所示,从中可以看出,在单独地源热泵间歇制冷模式下,每天9:30到21:30系统运行期间,土壤温度持续上升并达到峰值,随后进行自然温度恢复。第2、3天土壤温度曲线较前一天整体都有所上升,但趋势减缓;对于连续制冷模式,土壤温度持续上升,由于没有恢复的时间,其第2、3天的温度曲线整体位于间歇模式之上,最终温度涨幅也高于间歇制冷模式。

土壤温度直接影响冷凝温度的高低。在本实验中,2种模式的冷凝温度如图4所示,其冷凝温度的关系和土壤温度完全对应。

在热泵循环中,蒸发温度越高,冷凝温度越低,则制冷能效比越高。为通过实验验证这一点,获取了2种模式蒸发温度曲线,如图5所示,并求得2种模式制冷能效比,作图6。从结果可以看出,间歇制冷模式的蒸发温度始终高于连续制冷模式,而冷凝温度低于连续制冷模式,其制冷能效比除了机组启动初始阶段较

小外,其余时间都大于连续制冷模式,且波动相对较小。

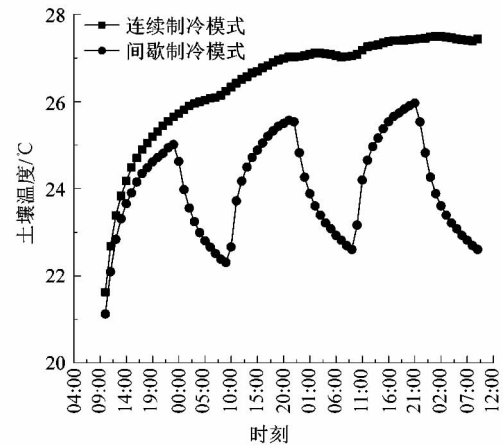


图3 地下30 m土壤温度

Figure 3 30 meters underground soil temperature

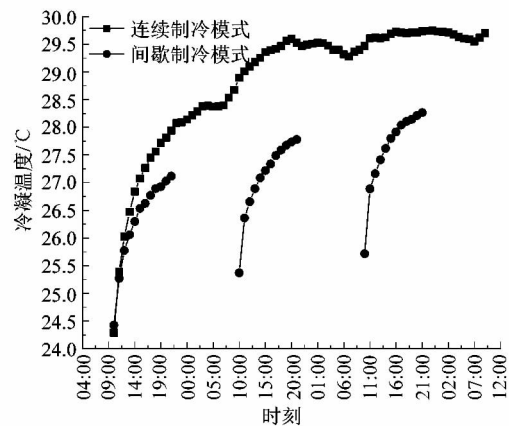


图4 冷凝温度

Figure 4 Condensing temperature

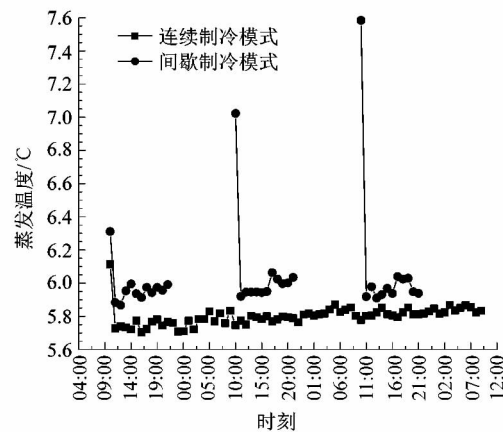


图5 蒸发温度

Figure 5 Evaporation temperature

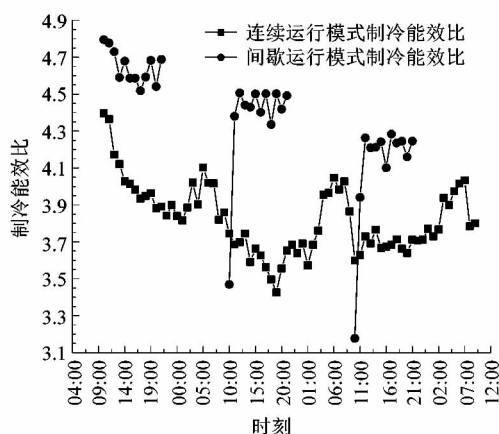


图6 制冷能效比

Figure 6 Refrigeration energy efficiency ratio

以土壤温变特性为出发点,基于对冷凝温度、蒸发温度和制冷能效比的3条曲线的分析,得出了单独地源热泵间歇制冷模式的制冷能效比高于连续制冷模式的结论,并验证了:冷凝温度越低,蒸发温度越高,制冷能效比越高。

3.2 冷却塔-地源热泵联合制冷模式各耦合方案的实验结果对比

除了让地源热泵系统间歇运行,引进辅助冷却设备也可以减缓土壤温度的上升。本实验平台引进闭式冷却塔1台,与地埋管换热器以并联的方式连接,共同承担冷负荷。

在冷却塔-地源热泵联合制冷模式中,设计3种耦合方案,如表3所示。

表3 3种耦合实验方案

Table 3 List of three coupling schemes

方案	实验运行方案
A	冷却塔与地源热泵 1:2耦合
B	冷却塔与地源热泵 1:1耦合
C	冷却塔与地源热泵 2:1耦合

对于3种耦合方案,进行系统向土壤的排热分析,如图7所示。并做出每种耦合方案的土壤温度曲线,如图8所示。

从图7可知,随着冷却塔流量分担比例的增加,系统向土壤排放的热量逐渐减小。相较于方案A,方案B向土壤排放热量减小14.1%;相较于方案B,方案C向土壤排放热量减少5.1%。与之相对应,图8中方案C土壤温度曲线上升最平缓,上升幅度最小,这是因为冷却塔分担了更多的冷负荷,并且在此方案运行中,土壤温度曲线在21:00达到峰值后逐渐降低,冷却塔已完全承担所有冷负荷,并同时起到向地下补冷的

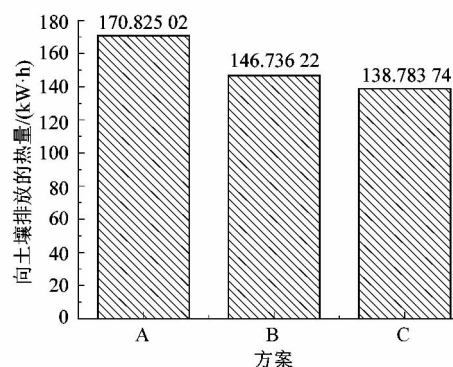


图7 系统排热分析

Figure 7 System thermal analysis

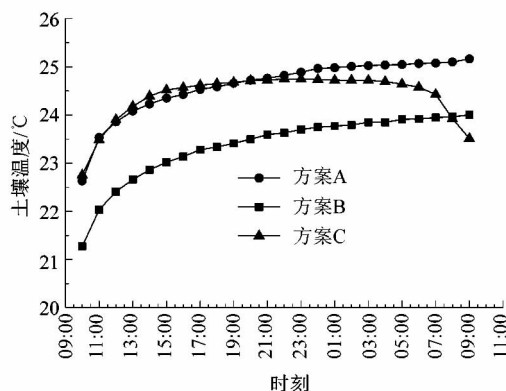


图8 地下30 m土壤温度

Figure 8 30 meters underground soil temperature

作用。可见冷却塔的加入对减缓地埋管周围土壤温度的升高有显著的作用。

4 结论

通过实验,以土壤的温变特性为基点,设计3种实验模式,对所采集数据进行分析 and 比较得出以下结论:

1) 相比单独地源热泵连续制冷模式,间歇制冷模式利用土壤的自然恢复能力,可有效地减缓地埋管周围土壤温度的升高,降低系统基本稳定时埋管内循环水的温度,使机组工作工况得到优化,可以在不增加投入的基础上使系统效率得到提升。

2) 通过对连续制冷和间隙制冷模式下的蒸发温度、冷凝温度、制冷能效比3条曲线联合分析,得出了冷凝温度越低,蒸发温度越高,制冷能效比越高的结论。

3) 在原有地源热泵系统的基础上加入冷却塔,建成符合上海夏热冬冷特点的冷却塔辅助地源热泵空调系统实验平台,随着冷却塔流量分担比例的增加,土壤

(下转第100页)