

一种新型的地源热泵与冰蓄冷空调联合运行系统

秘文涛^{1,2}, 张建一¹, 陈天及², 张 艳³

(1. 集美大学, 福建 厦门 361021; 2. 上海水产大学, 上海 200090; 3. 华东理工大学, 上海 200237)

摘要: 分析了目前国内外地源热泵与冰蓄冷空调系统的研究现状、技术优点及存在的问题。进而论述了两者联合运行的必要性,在此基础上构思出了一套以生态理念构建的复合式新型能源系统。最后结合目前国内在建的首个地源热泵及冰蓄冷中央空调系统工程,阐述了该工程冬季供暖,夏季制冷的控制策略,并对该新系统的经济性做了初步的分析。研究表明,该新型的复合式能源系统具有广阔的发展前景。

关键词: 地源热泵;冰蓄冷空调系统;供暖制冷;经济性分析

中图分类号: TB6 **文献标识码:** A

A Novel Heating and Cooling System, Combining Ground Source Heat Pump with the Ice-storage Air-conditioning System

MI Wen-tao^{1,2}, ZHANG Jian-yi¹, CHEN Tian-ji², ZHANG Yan³

(1. Jimei University, Xiamen 361020, China; 2. Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;
3. East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: The current research status of the Ground Source Heat Pump (GSHP) and the Ice-storage Air Conditioning system, their primary technical advantages and existing problems at home and abroad were analyzed. Then a combined energy system is designed based on the fundamental of compatible environment before discussing its necessity. Finally, taking the first project combining the GSHP with the Ice-storage Air-Conditioning System which is under construction in Beijing for example, the operating schemes for the heating mode and the cooling mode are expatiated and the primary economic analysis is illustrated as well. Result shows that the combined new energy system has a good developing prospect.

Key words: ground source heat pump (GSHP); Ice-storage air conditioning system; heating and cooling; economic analysis

1 前言

目前地源热泵技术在北美和欧洲已经非常成熟,是一种广泛采用的供热空调系统。在美国,地源热泵已占整个供暖空调系统的20%;在欧洲,据1999年的统计,地源热泵在家用供热装置中所占的比例:瑞士为96%,奥地利为38%,丹麦为27%^[1]。在国内这项技术虽刚刚起步,但已得到政府部门的大力支持。1997年11月美国能源部和中国科技部签署了中美能源效率及可再生能源合作议定书,其主要内容之一就是大力推广这种具有“绿色建筑”特性的技术。冰蓄冷空调技术主要是为了平衡电网昼夜峰谷差,夜间电力低

谷时蓄冷,日间电力高峰时释冷,是电力部门“削峰填谷”的最佳途径。我国从20世纪90年代开始推广这项新技术,据有关数据显示:至2003年为止,中国国内已建冰蓄冷空调工程304个,且每年均以40%左右的速度增长。

但是这两项新技术各有其局限性。地源热泵技术虽可以供热制冷,但却无法在夜间电力低谷时蓄冷,进而削峰填谷。冰蓄冷技术虽可起到削峰填谷的作用,但却无法在冬季供暖。基于以上考虑,本文将这两项新技术嫁接在一起,“取长补短,优势互补”,设计出的一套以生态理念构建的复合式新型能源系统;并且论述了其联合运行的模式。

2 地源热泵与冰蓄冷空调系统联合运行的必要性

在选择地源热泵机组供热制冷时,要根据不同区域建筑物的基本状况进行设备的选择。但是在我国的南方地区,建筑物冬季的热负荷往往小于夏季的冷负荷,而热泵机组往往都是制热量大于制冷量(通常情况下热泵机组的制热量是制冷量的1.1~1.3倍)^[2]。因此在机组选择的时候,如果按照冷负荷标准选择机组,则会导致机组的制热能力大大超出建筑物的热负荷需求,造成机组投资和运行的浪费;而若按照热负荷标准选择,则会出现夏季制冷量不够,故可以按照冬季热负荷标准进行选择,以冰蓄冷空调系统作补充。这样不仅可以降低地热换热器的初投资,而且还可以实现地源热泵机组的间歇运行,有利于土壤温度场的有效恢复。此外,冰蓄冷技术只能应用于夏季空调季节,起到“削峰填谷”的作用,但却无法在冬季供暖;而地源热泵技术虽然可以供暖制冷,但却无法在夜间电力低谷时蓄冷,起到平衡电

网负荷的功效。因此,地源热泵和冰蓄冷技术的联合运行,既可使用户使用到冬季廉价的地热能资源,又可使用户使用到具有良好舒适性的冰蓄冷空调制冷。这样既减轻了采用常规能源带来的环境压力,还为平衡电网负荷做出了贡献,可谓一举多得。

3 联合运行新系统设计

3.1 新系统构成

地源热泵与冰蓄冷空调联合运行系统主要由以下系统构成:室内供热系统、三工况热泵机组工质循环系统、冰蓄冷空调系统和地热换热系统。在夏季电力低谷时段,启动热泵机组制冷工况蓄冰,将冷量储存在蓄冰槽中,白天用电高峰时段释冷。如果日间冷负荷需求较小,单独采用冰蓄冷空调制冷;若日间冷负荷需求较大,开启三工况热泵机组制冷工况,由地源热泵机组和冰蓄冷联合制冷。在冬季,采用地源热泵系统供给室内采暖。联合运行原理如图1所示。

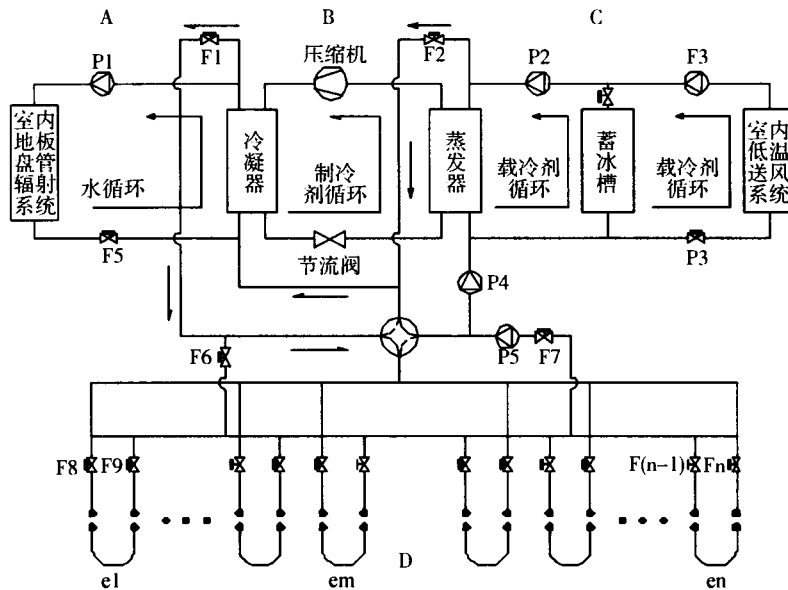


图1 地源热泵与冰蓄冷空调系统联合运行原理

P1~P5. 循环水泵. F1~Fn 阀门. el~en 地热换热器

3.2 新系统工作流程

3.2.1 夏季供冷系统流程

如图2所示,夏季冰蓄冷空调系统是由冷却循环、制冷循环、蓄冰循环和供冷循环四个子系统组成。

(1)冷却循环。从冷凝器出来的热水进入地

热换热器中进行热交换,将热量排放。

(2)制冷剂循环。热泵中的制冷剂将蒸发器中的热量吸收,在冷凝器中与冷却循环中的水进行热交换,将热量从热泵系统中转移出去。

(3)蓄冰循环。热泵系统中的蒸发器向蓄冰槽充冷,蓄冰槽蓄冷。

(4) 供冷循环。蒸发器或蓄冰槽向空调换热器供冷,提供室内的低温送风。

其中在供冷循环中又可以分为三种供冷方式:1) 常规空调供冷。此时蓄冰槽不工作,蒸发

器单独供冷。2) 联合供冷。此时蒸发器和蓄冰槽联合运行向空调换热器供冷。3) 单蓄冷供冷。此时三工况热泵机组制冷工况停止运行,空调负荷全部由蓄冰槽提供^[3]。

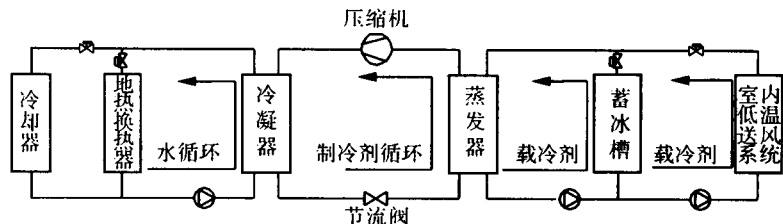


图2 夏季地源热泵与冰蓄冷空调系统联合运行流程

在此运行流程中,地热换热器可起到常规冷却塔的作用。在夏季空调日负荷不太高时,夜间三工况热泵机组蓄冷工况采用地热换热器为“冷却塔”。文献[4]指出,如果设计合理,地热换热器的冷却效果要远好于传统空调系统中的冷却塔。在空调日负荷较高时,夜间热泵机组蓄冷,日间启动三工况热泵机组的制冷工况和蓄冷设备同时供冷。这样设计可使蒸发温度及冷凝温度波动不大,从而保证了热泵机组的稳定运行。

3.2.2 冬季供热系统流程

热泵经过夏季的运行,地热换热器不断将热量排入到土壤中,地温逐渐升高。同时,地表浅层作为一个巨大的太阳能集热器在夏季不断的吸收太阳辐射的能量而蓄积起来。这样冬季地下温度相对较高,通过输入少量的高品位电能,就可把土壤中的低品位能搬运出来,经过热泵机组提高温度后,供给室内采暖。冬季地源热泵供热系统运行流程如图3所示,由载热剂循环、制冷剂循环、水循环三个子循环组成。通过三个循环系统,地热能被“取”出,通过室内地板盘管辐射系统将热量释放出来。

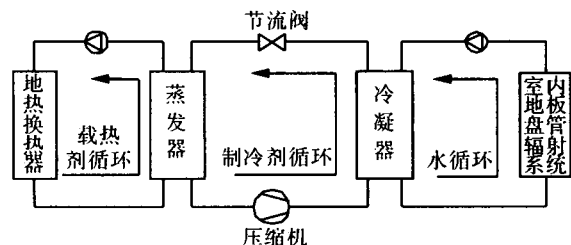


图3 冬季地源热泵供热系统运行流程

4 新系统模型的工程应用及经济性分析

目前国内外还没有完整的地源热泵与冰蓄冷空调联合运行的样板工程,国内的首个示范工程

是华清集团在建的北京用友软件园地源热泵及冰蓄冷中央空调系统。现以该工程为例,介绍该新型复合式能源系统模型的工程应用。

4.1 工程应用概况

北京用友软件园位于北京中关村,整个软件园占地面积45.52公顷,总建筑面积为29.6万 m^2 。一期工程总建筑面积18.4万 m^2 ,总热负荷量13391kW,总冷负荷量15784kW。冬季采暖和夏季制冷方案如下。

4.1.1 冬季采暖方案

根据软件园冬季空调设计热负荷总量13391kW,按照复合式系统的设计思路和设计原则,以一期工程最高热负荷的60%为标准。选用机组制热量为1676kW的三工况地源热泵机组(制热工况、制冷工况和制冰工况)4台,制热量为2100kW的燃气锅炉4台,这样就可满足设计日负荷的采暖要求。

4.1.2 夏季制冷方案

由于整个软件园建筑形式多样、功能各异,空调冷负荷分配比较复杂。分析空调设计日逐时冷负荷分布可知:负荷主要集中在8:00—21:00,其中电力高峰段为6h,电力平断为7h。根据项目特点,冰蓄冷系统的方式选用负荷均衡的部分蓄冷。由于夜间有部分供冷负荷,故单独设置机载冷机(离心式冷水机组)。其制冷方案如表1所示。

4.2 工程的经济性分析

4.2.1 北京市电价政策

4.2.2 夏季运行费用

以北京市建筑的空调供冷期140天(6月初到10月中旬)来计算,各时段的空调运行费用如表3所示。夏季空调运行总电费为261.5万元,单位面积的空调运行费用约为 $261.5/18.4 = 14.2$ 元/ m^2 。

表 1 夏季空调冷负荷设计方案

空调设计日负荷		制冷方案	控制策略
典型设计日负荷	100% 负荷段	三工况热泵机组 + 蓄冷设备 + 机载主机	夜间利用机载主机供冷,利用热泵机组的制冷工况电力低谷时段满负荷蓄冷;日间电力高峰时段同时运行。同上,但只在日负荷最大时段启用热泵机组的空调工况,据日间冷负荷需求合理分配负荷。电力高峰时段由热泵机组和蓄冷设备共同承担,其它时段由蓄冷设备承担。
非典型设计日负荷	70% 负荷段	三工况热泵机组 + 蓄冷设备 + 机载主机	
	40% 负荷段	三工况热泵机组 + 蓄冷设备	

表 2 北京市电网峰谷分时电价

时段	时间范围	电价[元/(kW·h)]
高峰段	8:00 - 11:00 18:00 - 23:00	0.8643
平段	7:00 - 8:00 11:00 - 18:00	0.5513
低谷段	23:00 - 7:00	0.2583

323.3 万元,单位面积的采暖运行费用为 $323.3/18.4 = 17.6$ 元/m²。

表 3 夏季运行费用

时段	日耗电量(kW·h)	日运行费用(元)	运行天数(天)	运行费用(元)
100% 负荷段	61203	34335.3	10	343353
70% 负荷段	42981	22443.4	70	1571040
40% 负荷段	25314	11675.8	60	2614944

4.2.3 冬季运行费用

以北京市建筑的冬季采暖期为 120 天(11 月中旬到次年 3 月中旬)来计算,冬季各时段采暖运行费用如下表 4 所示。冬季总运行费用约为

表 4 冬季运行费用

时段	日耗电量(kW·h)	日耗气量(m ³)	日运行费用(元)	运行天数(天)	运行费用(元)
100% 负荷段	53017	7037	43668.6	10	436686
60% 负荷段	43657	2792	31096.4	60	1865786
30% 负荷段	26600	1551	18610.6	50	930530

4.2.4 跟其它供热制冷方案的比较

根据京价(商)字[2003]454 号文件,目前由北京市热力集团提供的用于民用及工业用的供暖价格为 24 元/m²;用于工业建筑用的燃煤锅炉供暖价格为 19 元/m²、燃油/燃气/电锅炉供暖价格为 35 元/m²。文献[5]对当前北京市建筑用能现

状的统计表明:北京市大型公共建筑的全年电耗平均为 150 kW·h/m²,空调用电占总量的 30%~60%。如果电费价格取平段时的 0.5513 元/(kW·h),则北京市单位面积制冷空调用电费用为 24.8~49.6 元。不同供热制冷方案单位面积费用比较如下。

表 5 不同供热制冷方案下费用比较

供热方案	新型复合式系统	燃煤锅炉系统	燃油/燃气/电锅炉系统
费用(元/m ²)	17.6	19	35
制冷方案	新型复合式系统	常规空调系统	
费用(元/m ²)	14.2	24.8~49.6	

由上表比较可知,工程由于采用了地源热泵与冰蓄冷中央空调系统联合运行新模式,其经济节能效果明显。在供热模式下,相对于燃煤锅炉供热,可为用户可节省 7.4%;相对于燃油/燃气/电锅炉供热,可为用户节省 50%。在制冷模式下,相对于常规空调系统可为用户节省 42.7%~71.4%。

季、冬季运行模式的阐述,证明了该新型复合式能源系统在理论上是可行的。

最后,结合目前国内在建的首个地源热泵与冰蓄冷中央空调系统工程,阐述了该新系统在实际工程应用中不同模式下的控制策略。

通过对该项目的经济性分析得出:在供热模式下,相对于燃煤锅炉供热,可为用户节省 7.4%;相对于燃油/燃气/电锅炉供热,可为用户节省 50%。

在制冷模式下,相对于常规空调系统,可为用户节省 42.7%~71.4%。

5 结语

通过以上对地源热泵与冰蓄冷空调系统联合运行的必要性分析,以及对该新型能源系统在夏

由此可见,该新型的复合式能源供给系统的运行是经济的,并且具有明显的节能潜力。此外,这两项技术的强强联合不仅在一定程度上解决了污染问题,而且还为平衡电网负荷做出了贡献。相信只要扬长避短、优化设计,地源热泵与冰蓄冰空调联合构建的复合式新型能源系统将具有广阔的发展前景。

所与山东建筑学会热能动力专业委员会联合发起并承办“国际地源热泵新技术报告会”,2003.

- [2] 张晋阳,端木琳,舒海文. 三工况热泵机组利用冰蓄冷进行空调运行的经济评价方法[J]. 制冷空调, 2004, 25(6):57-59.
- [3] 俞炳丰. 中央空调新技术及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [4] Yu M Z, Diao N R, Su D C, et al. A Pilot Project of the Closed-Loop Ground-Source Heat Pump System in Chi-