

温湿度独立调节技术 在夏热冬冷地区的应用研究

上海现代建筑设计集团上海建筑设计研究院有限公司 寿炜炜[☆] 张伟程 孙斌

摘要 通过研究分析,认为一体式热泵型溶液调湿热回收型新风机组加干式风机盘管结合埋管地源热泵组成的温湿度独立调节空调系统应用效果较好,节能及节地优势明显,在夏热冬冷地区应用有较大的意义。并通过实例证实了研究结论。

关键词 温湿度独立调节 溶液调湿 埋管地源热泵 节能 节地

Application research of temperature and humidity independent control technology to hot-summer and cold-winter areas

By Shou Weiwei[★], Zhang Weicheng and Sun Bin

Abstract Based on the author's research and analysis, concludes that the temperature and humidity independent control air conditioning system combined with integrated heat pump liquid desiccant fresh air unit with heat recovery, dry fan-coil unit and underground-pipe ground-source heat pump has a good application effect, remarkable energy-saving and land-saving advantages and great significance in hot-summer and cold-winter areas. Proves the research conclusion by an actual sample.

Keywords temperature and humidity independent control, liquid-desiccant-based humidity control, underground-pipe ground-source heat pump, energy-saving, land-saving

★ Shanghai Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shanghai, China

①

0 引言

当前,能源紧缺已经成为严重制约我国经济社会发展的关键问题,建筑节能作为国家能源战略的一个重要组成部分,受到了越来越多的关注。目前大型公共建筑中有将近一半的能耗为空调运行能耗。寻求一种有助于环境保护和节能效果好的空调系统一直是业内人士共同的目标。

笔者将温湿度独立调节空调技术应用在潮湿多雨和建筑物密度较大的江南地区,研究以温湿度独立控制和高温冷水埋管式地源热泵相结合的空调方式在公共建筑中应用的适用性和节能性,提出了应用中的关键技术要求,为夏热冬冷地区应用该节能技术积累经验和数据,同时也证实了该空调系统的适用性。

1 温湿度独立调节空调系统的确定

1.1 传统空调方式存在的问题

目前用于城市办公建筑的空调排热排湿通常是采用表面冷却器对空气进行冷却和冷凝除湿来实现的,也就是使用电或其他能源,通过制冷机获

得较低温度的冷水,利用该冷水同时处理空调房间的冷负荷和湿负荷。该方式往往存在以下问题:

1) 高能耗

为了保证具有较好的除湿效果,夏季空调冷水不得不采用较低的供水温度(7℃左右)。占空调总负荷一半左右的显热负荷,本可采用高温冷水(约16℃)进行处理,现在却需要与除湿处理一起采用7℃左右的低温冷水,造成能源利用品位上的浪费。

2) 难以满足室内热湿比的变化

使用常规空调系统,通过表面冷却器对空气进行冷却和除湿,其处理的显热与潜热之比只能在一定的范围内变化,只能控制温度和湿度两个参数中的一个,难以满足建筑物实际需要的热湿比在较大范围内变化的要求。最终或造成能耗增加,或影响

①☆ 寿炜炜,男,1948年7月生,大学,教授级高级工程师
200041 上海市石门二路258号上海建筑设计研究院有限公司

(021) 62464309

E-mail: shouww@yahoo.com.cn

收稿日期:2012-02-28

人员的舒适性。

3) 室内空气品质问题

冷凝除湿表面冷却器的潮湿表面会成为霉菌、军团菌等危害人体健康的微生物繁殖的场所,会滋生各种病菌,危害人体健康,引发各种“空调病”。同时过滤器积聚的大量灰尘也会成为送风的二次污染源。

1.2 温湿度独立调节空调系统的选择

温湿度独立调节空调技术的核心是把对温度和湿度两个参数的控制由原来常规空调系统的一个处理手段改为两个处理手段,即通过新风除湿来控制室内湿度,高温冷水(16~18℃)降温控制室内温度。该方法能显著提高室内温湿度的控制精度,使空调系统的综合能效比得到进一步提高,达到节能、舒适、提高空气洁净度的目的。

2 干湿分离空调方式与设备的确定

2.1 调湿型新风机组的确定

目前,常用的新风除湿方式主要有三种:冷凝除湿、固体吸附除湿(转轮除湿)、液体吸湿除湿(溶液除湿),新风处理过程的 $h-d$ 图如图 1 所示,三种新风处理方式的比较见表 1。

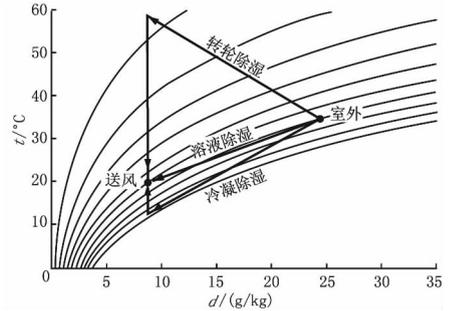


图 1 三种不同空气处理方式的 $h-d$ 图

表 1 三种新风处理方式的比较

夏季新风处理过程		特点
冷凝除湿	冷凝除湿处理后再加热	制冷系统效率低;需要再热,能耗大;温湿度难以同时精确调节;影响室内空气品质
固体吸附除湿	吸附除湿后再冷却降温	可以实现温度与湿度的独立控制,但运行能耗高
溶液除湿	与室内排气进行多级热湿交换后再进一步除湿降温	可以实现温度与湿度的独立控制;机组效率高;可有效防止交叉污染和二次污染

由图 1 和表 1 可知,在这三种方式中,溶液除湿具有很大的优势。同时根据有关产品的资料,热泵式溶液调湿新风机组在江南潮湿地区的除湿能力可以达到 16.6 g/kg,机组 COP 达 5.0 以上,完全能满足夏热冬冷地区新风处理的需求。

2.2 调温空调显热处理末端设备形式的确定

目前常用的空调显热处理末端装置主要有四种形式:辐射墙(顶)、辐射吊顶、埋管式辐射地板、干式风机盘管。表 2 是这四种末端设备的应用特征。

表 2 常用的空调显热处理末端设备特征

冷负荷密度/(W/m ²)	特征	结论	
埋管式辐射地板	40 左右	适用于空调显热负荷密度不大的场所,如高级办公室(15 m ² /人)	很难满足常规公共建筑负荷要求
辐射墙(顶)	65 左右	结露时易产生霉变	潮湿地区慎用
辐射吊顶	60~100	价格高,性价比低	潮湿地区及电器安全要求高的场合慎用
干式风机盘管	120 左右	价格适中,带有凝水盘时可以准干工况运行;需要供电运行	潮湿地区较适用

由表 2 可知,干式风机盘管是一种制冷量范围较大、基本可满足常规建筑需求、运行和控制系统简单、技术可靠、价格相对低廉的显热空调末端装置。当然干式风机盘管的供冷负荷密度较大的原因是有风机辅助换热,因此需要耗费电力,好在直流变速电动机技术已经成熟,其耗电功率已降到常规风机盘管的一半以下。

2.3 高温冷水源的确定

对于中小型建筑,为了减少设备投资,简化系统,用于温湿度独立调节空调系统的能源也不希望由另外设置的燃气锅炉或电加热装置等来提供。从热源和热汇的角度考虑,可用于制取高温冷水及

热水的设备主要有两种:水源机组和空气源机组,见图 2。冷却塔冬季通常不具备供热条件;绝大多数夏热冬冷地区不允许抽取地下水;同时,除较大的江河外,地表水一般来说流速都很小,水深也只有 3~4 m,蓄热和散热能力有限,很难利用。因此,适合提供高温冷水同时可兼作空调热源的只有地理管地源热泵机组和空气源热泵机组。

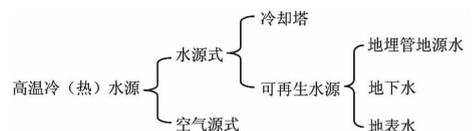


图 2 高温冷(热)水源的几种方法

显然,地埋管地源热泵机组的效率比空气源热泵机组高得多,它是一种高效、节能、可减少碳排放的设备,可采用与热泵型溶液调湿新风机组联合运行的方法用于江南地区。

采用螺杆式地源热泵机组为空调系统提供高温冷水(16℃),与常规的7℃冷水相比水温提高了9℃。冷水温度的提高意味着蒸发温度的提高,通常蒸发温度每提高1℃,机组效率可提高3%左右,因此总的机组效率可提高25%以上。

2.4 小结

通过以上分析可知,在夏热冬冷地区应用温湿度独立调节空调技术,采用热泵式溶液调湿新风机组和干式风机盘管末端,在使用安全性、节能性上都有优势。

3 干湿分离空调方式与地源热泵集成的优势

3.1 节能优势

1) 传统空调系统的冷热源

传统空调系统的冷热源有两种:空气源热泵机组和水冷冷水机组加燃气热水锅炉。显然后者效率高于前者,这里采用后者作为对照对象。

以一台879 kW制冷量的螺杆式制冷机($COP=4.3$)为例,并配置相应的冷却塔、水泵进行核算。计算得到夏季制冷系统的 $SCOP=3.439$ 。

冬季采用效率为90%的燃气热水锅炉和循环水泵,天然气单价为3.2元/ m^3 ,热值为35.6 MJ/ m^3 ,电价为0.91元/(kW·h),计算得到热价为0.370元/(kW·h)。

2) 干湿分离空调方式与地源热泵集成的冷热源

新风处理采用一体式热泵型溶液调湿热回收新风处理机组。该机组技术鉴定证书中标明,夏季制冷工况时其 COP (相当于系统 $SCOP$)不小于5;冬季运行 COP 约为7.0,换算得出热价为0.13元/(kW·h)。

地埋管地源热泵机组夏季供高温冷水(14℃/19℃),冬季供空调热水(45℃/40℃)。夏季地埋管的进出水温度为30℃/35℃,高温冷水的进出水温度为19℃/14℃时,根据机组技术资料,机组 COP 为5.99左右。考虑冷水、冷却水循环水泵的能耗后制冷系统 $SCOP=4.283$ 。

地埋管的进水温度研究表明,冬季供暖季机组出水温度最低约为10.5℃,最高在22℃左右。因此可以认为,冬季平均供水温度在15℃以上。根

据机组技术资料,热水出水温度为45℃时的平均性能系数可以达到5.30。考虑热水、地源水循环水泵的能耗后制冷系统 $SCOP=4.31$ 。可以计算出热单价为0.211元/(kW·h)。

由此得到对比结果,见表3。虽然实际运行过程中显热冷负荷不可能全部由地源热泵机组承担,但由表3也可看出,溶液除湿加地源热泵冷热源的节能率达25%以上。

表3 溶液除湿加地源热泵与常规空调冷热源的节能性比较

空调冷热源形式		夏季制冷 SCOP	冬季热单价/ (元/(kW·h))
传统系统	水冷机组加燃气热水锅炉	3.439	0.370
溶液除湿加地源热泵	溶液调湿新风机组	5.000	0.130
	地源热泵	4.283	0.211
	(计权后)	4.590	0.165

注:办公楼夏季室内显热负荷权重为0.57,新风负荷权重为0.43;冬季室内显热负荷权重为0.43,新风负荷权重为0.57。

3.2 节地优势

采用地埋管地源热泵必须有一定面积的土地用于埋设换热管道。而夏热冬冷地区大都为我国较富饶地区,土地利用率高,很多项目往往因为没有合适的埋管区域而放弃采用地源热泵。采用干湿分离空调方式时,地源热泵只需要承担室内显热负荷,必定会减少用于埋管的土地面积。为了了解能减少的程度,这里以办公建筑为例进行计算。

目前夏热冬冷地区的常规做法往往是依据建筑物冬季全部的计算热负荷和当地的埋管热效应试验数据来确定埋管数量,夏季冷量不足部分由水冷冷水机组提供。而采用热泵型溶液调湿新风机组与地埋管地源热泵相结合的空调冷热源方式时,是依据建筑物冬季室内显热计算热负荷和当地的埋管热效应试验数据来确定埋管数量。

计算中应先按热负荷的要求确定机组规格,然后按该机组夏季工况条件确定冷凝器的散热量,再按此散热量确定埋管数量。这里要说明的是,如果直接按冬季取热量确定埋管数量,则会比夏季少很多,只能满足夏季需求量的70%~90%,机组在夏季就不能正常运行。计算过程见表4。

可以看出,在办公建筑中,采用一体式热泵型溶液调湿热回收型新风机组结合地埋管地源热泵的温湿度独立控制空调系统,地埋管用地面积只有传统地埋管地源热泵加水冷冷水机组的空调系统的一半左右。因此在用地面积十分紧张的夏热冬

表4 两种空调方法的埋管占地面积计算

热负荷/kW	常规空调方法	温湿度独立控制方法
	全热负荷: 989.3	显热负荷: 423
制热	热水温度/℃ 40/45	32/27
	蒸发器水温/℃ 10/5	10/5
制冷	冷水温度/℃ 7/12	14/19
	冷凝器水温/℃ 30/35	32/37
主机制冷量/kW	928.9	465.5
制冷时 COP	5.16	5.76
埋管散热量/kW	1 108.9	546.3
100 m 长单 U 形管数	233	115
埋管占地面积/m ²	4 718	2 329
相对比率/%	100	49.3

冷地区更应推广这一技术,其节地意义重大。

4 应用实例

4.1 空调系统简介

上海虹桥产业楼由1号楼和2号楼组成,地下1层、地上6层,建筑高度24 m。该项目主要功能为地上部分的办公,总建筑面积达2.5万 m²,地上建筑面积为17 727 m²。其中2号楼立面图见图3。



图3 上海虹桥产业楼2号楼立面图

经计算,该项目地上办公区域的夏季总冷负荷(含新风)为1 753.1 kW,其中室内显热负荷为1 003.3 kW;冬季总热负荷为989.3 kW,其中室内热负荷为423.7 kW。冷热源采用热泵式溶液调湿新风机组、地埋管地源热泵和水冷冷水机组。热泵机组按冬季负荷配置,水冷机组按补足夏季冷负荷要求配置。采用冷却塔加水冷冷水机组来保证土壤热平衡。主机主要参数见表5。

表5 主机主要参数

设备参数	数量
螺杆式地源热泵机组(双机头)COP = 5.33/6.31	1
制热量 479 kW,输入功率 83 kW; 冷水进出水温度 19 ℃/14 ℃; 冷却水进出水温度 32 ℃/37 ℃	
螺杆式水冷冷水机组(双机头)COP = 6.15	1
制热量 435.3 kW,输入功率 69 kW; 热水进出水温度 27 ℃/32 ℃; 地下侧进出水温度 10 ℃/5 ℃	
制冷量 596.8 kW,输入功率 97 kW; 冷水进出水温度 19 ℃/14 ℃; 冷却水进出水温度 32 ℃/37 ℃	

新风系统采用了12台热泵式溶液调湿新风机组,每层1台。机组要求承担新风负荷和室内湿负荷,新风处理到室内状态点的等温线上。

空调水管路为两管制、闭式循环二级泵系统,一、二级循环水泵均采用变流量运行;其中二级循环水系统同时还有混水控温作用,保证空调末端设备夏季供回水温度为16 ℃/19 ℃、冬季供回水温度为30 ℃/27 ℃。水系统原理图见图4。

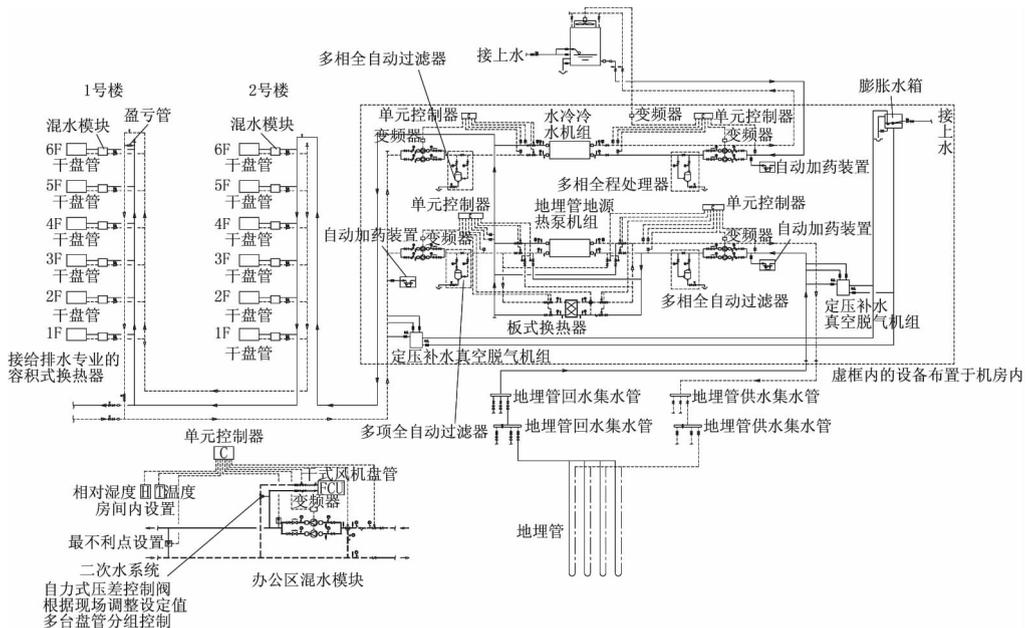


图4 水系统原理图

4.2 节能评价

采用 DeST 软件计算得到建筑全年冷热负荷,采用 TRNSYS 软件对空调系统部件的控制过程进行仿真,基于计算和仿真结果得到全年逐时空调能耗。同时依据同样的建筑条件,对采用空气源热泵机组作为空调系统冷热源的方案的能耗也进行了计算,计算能耗对照结果见表 6。

表 6 能耗对照结果

	设计建筑 耗电量/ (kW·h)	空气源热泵 系统耗电量/ (kW·h)	节能率/ %
地源热泵优先运行,首年	498 098	824 086.4	69.78
冷水机组优先运行,首年	520 468	824 086.4	68.42
地源热泵优先运行,第 10 年	517 288	824 086.4	68.61
冷水机组优先运行,第 10 年	526 809	824 086.4	68.04

由此可见,热泵式溶液调湿新风机组、干式空调末端与地源热泵冷热源集成的空调系统节能效果非常明显,计算节能率达 68% 以上。

目前该工程因用户迟迟未能入住,还未能拿到使用实测数据;但系统经调试和运行,基本达到了设计要求。

5 结语

在夏热冬冷地区的公共建筑中,采用一体式热泵型溶液调湿热回收型新风机组、干式风机盘管结合地理管地源热泵技术,节能及节地效果明显,在

夏热冬冷地区应用意义较大。

公共建筑中采用温湿度独立调节空调系统时,宜优先选用热泵型溶液调湿热回收型新风机组作为处理新风负荷和湿负荷的手段。

在江南潮湿地区采用温湿度独立调节空调系统时,宜选用干式风机盘管作为显热处理末端设备。显热末端空调设备的高温冷源(兼热源)宜采用地理管地源热泵机组。

这次笔者所在单位对温湿度独立控制加地源热泵空调系统的实践,投资相对较大,回收期较长。原因是溶液调湿新风机组价格较常规设备高,尤其是采用地理管地源热泵系统后,地理管的投入比例很大。随着技术的成熟与应用工程项目的增多,造价一定会不断降低。从设计角度讲,还需要不断总结经验,降低投资,以取得更好的经济与社会效益。

参考文献:

- [1] 刘晓华,江亿. 温湿度独立控制空调系统[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2006
- [2] 李震,江亿,陈晓阳,等. 溶液除湿空调及热湿独立处理空调系统[J]. 暖通空调,2003,33(6):26-29,33
- [3] 刘晓华,李震,江亿. 溶液全热回收装置与热泵系统结合的新风机组[J]. 暖通空调,2004,34(11):98-102