

蒸发冷却与机械制冷 复合空调机组实验研究^{*}

西安工程大学 徐方成[☆] 黄翔[△] 武俊梅

西安井上人工环境有限公司 于优城 唐永骥

摘要 针对我国中湿度及高湿度地区的室外气象条件,设计搭建了蒸发冷却与机械制冷复合空调系统实验台,阐述了其结构与工作原理,进行了性能实验测试,分析了其节能潜力。

关键词 蒸发冷却 机械制冷 空调机组 能效比

Experimental study of evaporative cooling assisting to mechanical refrigeration air conditioning units

By Xu Fangcheng[★], Huang Xiang, Wu Junmei, Yu Youcheng and Tang Yongjian

Abstract In view of the outdoor weather conditions of the mid and high humidity regions, designs and structures a experiment table for the system. Describes its structure and working principle, tests the performance and analyses its energy-saving potential.

Keywords evaporative cooling, mechanical refrigeration, air conditioning unit, energy efficiency ratio (EER)

★ Xi'an Polytechnic University, Xi'an, China

①

针对非干燥地区室外气象条件,设计搭建了蒸发冷却与机械制冷复合空调系统实验台,并作了过渡季节和夏季的实验测试,分析了系统的节能潜力。

1 机组结构及工作原理

设计搭建了将热管间接蒸发冷却、管式间接蒸发冷却以及直接蒸发冷却与采用蒸发式冷凝器的机械制冷系统相结合的机组(如图 1 所示),该机组的特点是复合了基于蒸发冷却的“免费供冷”技术与传统机械制冷^[1-2]。

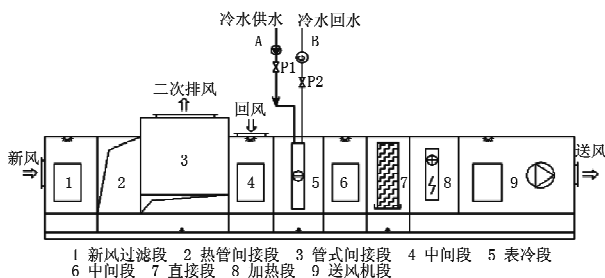


图 1 蒸发冷却与机械制冷复合系统结构示意图

机组由新风过滤段、热管间接段、管式间接段、

中间段、表冷段、直接段、加热段、风机段等组成。可根据不同室内外状态,开启不同功能段来满足室内空调要求。选取夏季及过渡季节(5—10月)为研究对象。

1) 在过渡季节大部分时间,关闭机械制冷主机,阀门 P_1 , P_2 关闭,机组运行功能段为热管间接蒸发冷却段、管式间接蒸发冷却段、直接蒸发冷却段三级蒸发冷却机组,进行“免费供冷”。此时,为全新风工况,一、二次空气均使用室外新风,间接蒸发冷却采用自来水循环喷淋。

2) 夏季,开启阀门 P_1 , P_2 , 将机械制冷制取的冷水通过 A 管送至表冷器。此时机组运行功能段为热管热回收间接蒸发冷却段、管式间接蒸发冷却段及表冷器段,热管及管式间接蒸发冷却段对新风进行等湿预冷降温,来降低机械制冷表冷段所承担的负荷,从而降低机械制冷能耗。

①[☆] 徐方成,男,1982 年 11 月生,在读硕士研究生

[△] 710048 西安工程大学环境与化学工程学院

(029) 82330016

E-mail: huangx@xpu.edu.cn

收稿日期:2009-02-04

修回日期:2009-08-07

^{*} 西安工程大学创新基金资助项目(编号:chx080608)

空调系统实验台见图 2。



图 2 空调系统实验台

2 设备主要参数及测试方案

2.1 设备主要参数(见表 1)

表 1 复合空调机组主要功能段参数

主要参数	
复合空调机组	设计风量 5 000 m ³ /h, 制冷量 40 kW, 设计截面风速 2.5 m/s
热管间接段	外形尺寸(长×宽×高): 1 500 mm×1 021 mm×1 350 mm
管式间接段	外形尺寸(长×宽×高): 1 500 mm×1 021 mm×1 650 mm
表冷段	外形尺寸(长×宽×高): 500 mm×1 021 mm×1 650 mm, 4 排, 额定冷量 25 kW
直接段	外形尺寸(长×宽×高): 500 mm×1 021 mm×1 650 mm, 100 mm GLASdek 无机填料

2.2 测试方案

1) 测试地点

西安

2) 测试内容

① 测试热管冷热回收间接蒸发冷却段和管式间接蒸发冷却段进出风干球温度、相对湿度、温降及效率;

② 测试两级间接蒸发冷却+直接蒸发冷却段总温降效果;

③ 测试两级间接蒸发冷却段+机械制冷表冷段总的温降、出风相对湿度, 单位时间内表冷器水流量, 进而计算其效率和能耗。

3) 测量仪器

温湿度利用 RHLOG 系列自记仪和干湿球温度计来测定, 热管及管式间接蒸发冷却段二次风机由变频器调节, 夏季表冷器中冷水流量由水表测得。实验前测量仪器均进行了校正, 主要参数见表 2。

表 2 主要测试仪器参数

型号	参数	备注
温湿度自记仪	RHLOG 基本误差、温度±0.3℃, 相对湿度±5%	各功能段后空气温度、相对湿度
干湿球温度计	精度 0.1℃	测试二次空气入口干湿球温度
变频器	SB60 380 V, 5.5 A	调节风机风量(二次/一次风量比)
水表	LXS40E Δp<0.1 MPa	测量表冷器水流量

3 测试结果及分析

在进行测试结果分析之前, 先进行相关参数的说明。间接蒸发冷却湿球效率^[3-4]:

$$\eta_{wb} = \frac{t_g - t_s}{t_g - t_{sw}} \quad (1)$$

式中 t_g 为一次风进口干球温度, °C; t_s 为一次风出口干球温度, °C; t_{sw} 为二次风进口湿球温度, °C。

能效比 EER:

$$EER = \frac{\text{总的制冷量}}{\text{总的输入功率}} \quad (2)$$

3.1 热管间接段

测试时间为 2008 年 8 月 11 日, 机组总送风量保持 5 000 m³/h 不变, 热管段热端淋水密度不变时, 通过变频器调节二次风量与一次风量之比, 计算其湿球效率。二次/一次风风量比(M_2/M_1)对热管间接段湿球效率的影响如图 3 所示。由图 3 可以看出, 湿球效率在 M_2/M_1 为 0.9 时和 0.65 时达到较高值, 其中 $M_2/M_1=0.9$ 时效率最高, 达到 74%。

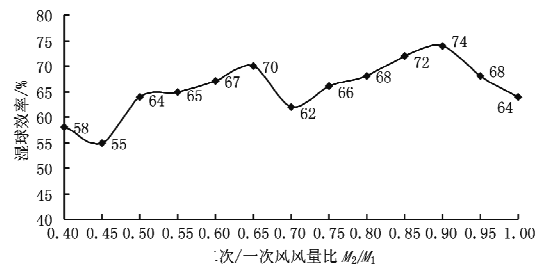


图 3 二次/一次风风量比对热管间接段湿球效率的影响

当变频调节二次风机转速, 使得 M_2/M_1 为 0.9 时, 热管间接段温降测试数据见图 4。

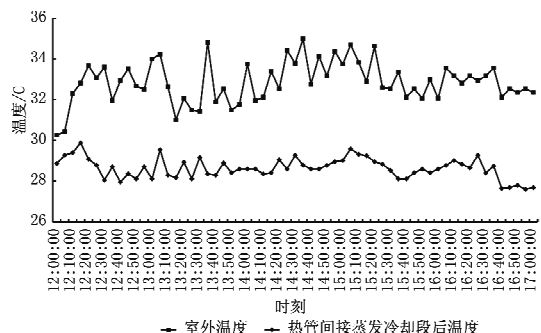


图 4 M_2/M_1 为 0.9 时热管间接段温降测试数据

从测试结果可以看出, 当室外新风入口温度在 31~35 °C 变化时, 热管间接段出风空气温度为 28~29 °C, 平均温降达到 5 °C 左右。

3.2 管式间接段

管式间接段测试时间为 2008 年 8 月 15 日, 测

试条件同上。通过变频器调节 M_2/M_1 , 计算湿球效率。 M_2/M_1 对管式间接段湿球效率的影响如图 5 所示。由图 5 可以看出, 湿球效率在 M_2/M_1 为 0.85 时和 0.6 时达到较高值, 其中 $M_2/M_1=0.85$ 时效率最高, 达到 80%。

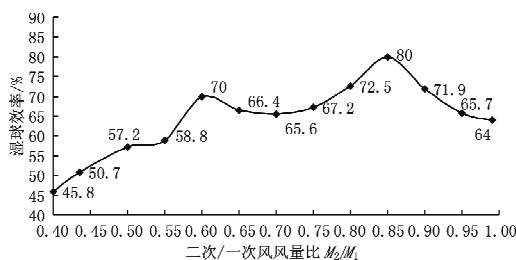


图 5 M_2/M_1 对管式间接段湿球效率的影响

对于间接蒸发冷却器最佳风量比的研究, 王玉刚等人在干热的新疆地区的实验结果为 M_2/M_1 为 0.4~0.6 时管式间接蒸发冷却湿球效率最高^[5]。本次西安地区的实验测试结果进一步验证了无论热管间接段还是管式间接段其 M_2/M_1 在 0.6 左右均能达到较高的冷却效率; 同时由于地区的差异, 在西安地区 M_2/M_1 在 0.8~0.9 时冷却效率达到最佳。分析其原因为: 在干热地区, 二次空气湿球温度低, 空气含湿量小, 一次空气入口干球温度与二次空气入口湿球温度温差大, 制冷的推动力大, 当二次风量为一次风量的 40%~60% 时, 二次空气即可带走管外水分蒸发所产生的潜热和部分显热, 达到理想的冷却效率; 而在中湿度的西安地区, 二次空气的含湿量较大, 其与管外水膜直接接触换热时, 容纳、携带水蒸气的能力降低, 所以要加大风量才能更好地带走管外水膜蒸发形成的显热和潜热。所以, 在西安地区二次风量有所增大。

变频调节二次风机转速, 使得 M_2/M_1 为 0.85 时, 管式间接段温降测试结果如图 6 所示。

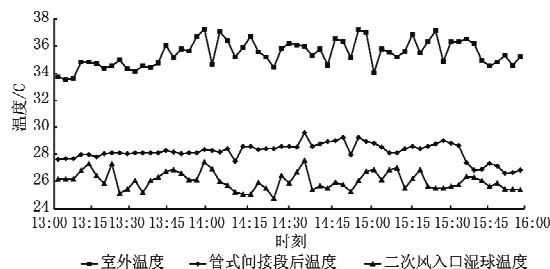


图 6 M_2/M_1 为 0.85 时, 室外干球温度、热管间接段出口温度及二次空气入口温度随时间的变化

从测试结果可以看出, 当室外新风入口温度在 34~37℃ 范围内变化时, 管式间接段出口空气温

度为 28~29℃, 平均温降达到 6~7℃ 左右。

3.3 两级间接段+直接段

通过对热管间接段、管式间接段的测试, 获得了其各自的最佳二次/一次风风量比, 当机组各功能段联合运行总送风量(一次风量)不变时, 变频调节热管及管式间接段二次机转速, 改变风量, 使热管间接段 M_2/M_1 为 0.9, 管式间接段 M_2/M_1 为 0.85。测试结果见图 7。当室外平均干球温度为 33℃、湿球温度为 26℃ 时, 热管间接段出口平均干球温度为 29℃, 管式间接段出口平均干球温度为 26℃, 直接段出口干球温度达 24.5℃ 左右, 低于二次空气入口湿球温度 1.5℃。说明空气经过三级蒸发冷却处理, 总的温降达 10℃ 左右, 而且低于二次空气湿球温度。

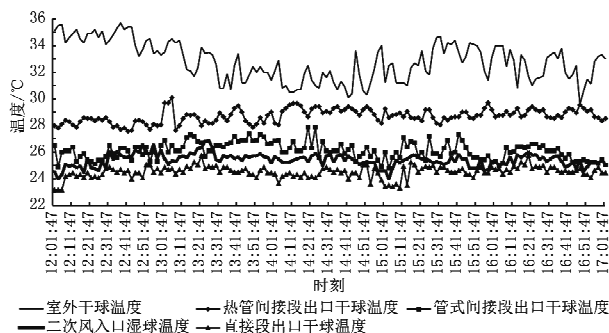


图 7 各功能段前后干球温度及二次风入口湿球温度随时间的变化

当总送风量为 5000 m³/h 时, 三级蒸发冷却总制冷量及其能效比 EER 随时间的变化如图 8 所示。从图 8 可以看出, 三级蒸发冷却总的制冷量为 15~18 kW, 其 EER 平均值高达 16.3。

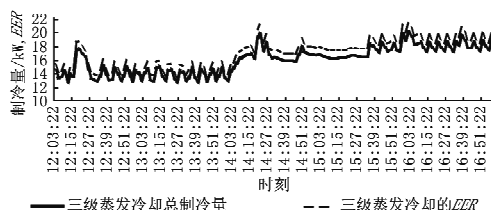


图 8 送风量为 5000 m³/h 时, 三级蒸发冷却实际制冷量及 EER 随时间的变化

3.4 两级间接段+表冷段

如图 9、10 所示, 室外空气平均干球温度为 33℃, 平均相对湿度为 38% 时, 两级间接段出口温度下降到 24℃ 左右, 平均相对湿度达 70%, 温降达 9℃, 再经过机械制冷表冷器(通 10℃ 冷水, 流量 0.83 kg/s)处理后平均温度达到 16.5℃, 平均送

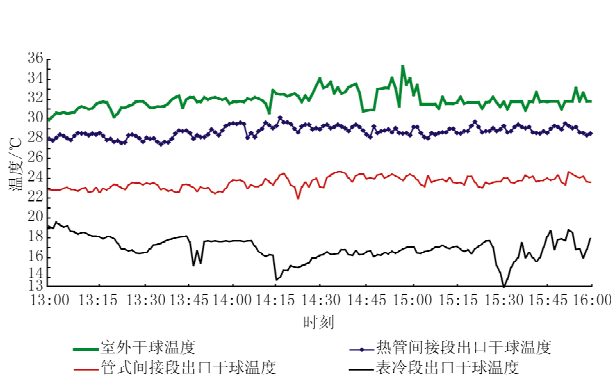


图9 室外干球温度、两级间接段及表冷段出口干球温度随时间的变化

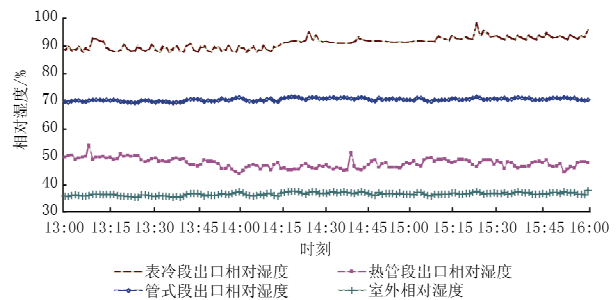


图10 室外相对湿度、两级间接段出口及表冷段出口相对湿度随时间的变化

风相对湿度达 91%。选取典型测试数据计算,与传统机械制冷机组的比较见表 3。

表3 两级间接段+表冷段与传统机械制冷机组实验结果比较

	室外新风温度/℃		室内送风温度/℃		间接段预冷量/kW	表冷段制冷量/kW	总制冷量/kW	冷水流量/(kg/s)	总 EER/(kW/kW)
	干球	湿球	干球	湿球					
两级间接段+表冷段	33.2	25.7	16.5	12.9	4.6	25.8	30.4	0.83	4.7
传统机械制冷机组	33.2	25.7	16.4	12.6		30.4	30.4	1.5	3.3

与传统机械制冷相比,当室外气象参数相同,达到相同制冷量和室内送风状态时,由于两级间接蒸发冷却的预冷作用,减小了机械制冷 15% 的冷负荷,复合空调机组较传统机械制冷系统节约冷水量 0.67 kg/s,压缩机能耗减少约 35%,总的输入功率为 6.5 kW,机组整体 EER 提高 42.4%。

4 结论

4.1 实验表明,机组热管间接段在热端淋水密度不变情况下,改变二次/一次风风量比,当 M_2/M_1 为 0.9 时,蒸发冷却效率最高,达 70% 以上。

4.2 管式间接段在淋水密度不变情况下,改变二次/一次风风量比,当 M_2/M_1 为 0.85 时,其效率最高,达 80% 左右。

4.3 通过不同季节功能段的切换使用,春秋季节开启蒸发冷却功能段进行“免费供冷”,使机械制冷处于“冬眠”状态,可完全满足舒适性空调要求。机组能效比 EER 高达 16.3。

(上接第 107 页)

法》(GB/T 7107—2002)中规定的 4 级塑钢窗时,一般房间室内换气次数仅约 0.2 h^{-1} 。

4.4 文中提出塑钢窗冷风渗透耗热量计算方法,通过计算结果与实验结果的对比分析,可看出其符合实际,可供设计参考。

参考文献:

- [1] 贺平,孙刚. 供热工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993
- [2] 中国有色工程设计研究总院. GB 50019—2003 采

4.4 夏季利用两级间接段对新风进行预冷,在满足相同送风温度要求条件下,复合空调机组较传统机械制冷系统节约冷水量 0.67 kg/s,当新风比为 30% 时,减少机械制冷系统 15% 以上运行负荷。机组整体 EER 提高 42.4%。

参考文献:

- [1] 徐方成,黄翔,武俊梅. 蒸发冷却与机械制冷复合空调系统分析[J]. 西安工程大学学报,2008,22(6):741-745
- [2] Lain M, Duška M, Matejiček K. Application of evaporative cooling techniques in the Czech Republic [C] // Proceeding International Congress of Refrigration 2003,2003;1-8
- [3] 吉仕福,余霞,王文. 间接蒸发冷却用于空调新风预冷的实验研究[J]. 暖通空调,2006,36(4)
- [4] 黄翔. 空调工程[M]. 北京:机械工业出版社,2006
- [5] 王玉刚. 提高管式间接蒸发冷却器热质交换的实验研究[D]. 西安:西安工程科技学院,2006
- [6] 暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003
- [7] 中国建筑科学研究院,中国建筑业协会建筑节能专业委员会. GB 50189—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [8] 中国建筑科学研究院. GB/T 7107—2002 建筑外窗气密性能分级及检测方法[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002
- [9] 陆耀庆. 供暖通风设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1986
- [10] 中国建筑科学研究院. JGJ 26—95 民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1996