



## 多台空调机制冷运行时室内温度场特性研究

吴丹尼 陈伟 萧峰

(广东海洋大学工程学院 湛江 524025)

**摘要** 以中间侧送风,下回风的流场作为实验研究模型,研究两台空调制冷机在不同的摆放位置,以不同的送风速度及不同送风角度运行,对室内气流、温度场和温度下降速率的影响。实验结果表明:两空调机的相对位置对空调房温度下降速率影响最大,其次是送风角度(导风板角度)和送风速度;当两空调机置于房间长边两端,导风板位于 90 度角时(即冷风水平方向送出),这种组合使室内温度下降较快;当两空调机于房间对角放置,室内温度下降总是最慢;导风板位于 120 度角(冷风斜向上送出),其温度场的温差较小。对其机理进行了初步探讨。

**关键词** 工程热物理;房间温度场;正交试验;影响因素

### Room Temperature Field Characteristics with Multi - air - conditioner in Operation

Wu Danni\*, Chen Wei and Xiao Feng

\*Engineering College of Guangdong Ocean University, Guang dong, zhanjiang, 524025, China

**Abstract** The experiments were conducted to determine the influences of some factors on the air flow fields and temperature distributions in an air - conditioned room. The results show that the positioning of the air - conditioners influences the cooling rate dominantly and the air discharging angle and speed also have certain effect. In particular, the average indoor temperature decreases faster when the two air conditioners are at opposite ends of the room long side and the air discharges in the horizontal direction. Moreover, the air temperature drops more slowly when the two air conditioners stand corner to corner in the cross. In addition, the temperature field has the minimum temperature difference when cool air issues at an angle of 120 degrees .

**Keywords** Engineering thermophysics; Room temperature field ; Orthogonal trials; Effect factors

## 1 引言

很多公共场所如会议厅、餐厅、OK 厅等都配置两台以上空调机。空调机运行时,如何使房间快速降温或快速升温,是一个有现实意义的课题,也是目前空调研究的一个热点。那么,对房间内气体流动和温度分布的研究十分必要,因为它影响着室内热量交换和温度变化。正交试验方差分析法对判断考察因素对指标的作用是否显著、优化组合、减少实验次数有着特有的优势。因此,采用正交试验设计,使两台分体落地式制冷空调机(柜式机)在不同的摆放位置,以不同的送风速度及不同的送风角度运行,考察室内温度下降所需时间,测定其温度分布和流场。由分析得出的结论,可验证和补充数值计算的结果,对空调设计及控制空调机制冷运行具有指导意义。

## 2 实验方法及仪器

实验在一个长为 17.53 米,宽为 9.43 米,高为

3.22 米的房间进行。以中间侧送风,下回风的流场作为实验研究模型,采用分体落地式空调机,其制冷量为 12000W,循环风量为 1700m<sup>3</sup>/h,空调机送风口离地 1.8 米,回风口离地 0.89 米。

选用 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交表安排布置实验,控制室内温度于 29.5℃ 做为初始温度,空调机运行后,室内各层面温度降到 25℃ 时所需时间的平均值 t(秒)作为试验指标。把两台空调机的送风角度(导风板旋转角度)、送风风速和摆放位置作为影响试验指标的因素,各因素取值由表 1 示出。

导风板转角如图 1 所示。两空调机摆放位置参看图 2,其中“位置 1”表示 2 号空调机和 3 号空调机同时工作;“位置 2”表示 1 号空调机和 3 号空调机同时工作;“位置 3”表示 1 号空调机和 2 号空调机同时工作。通过布置在房间内各节点的热电偶,测量出每个工况下,室内的温度分布随时间变化情况。用热球风速仪测量各点气体流速。

室内温度用连接于多点自动巡回测温仪的 60 对热电偶来测量,调节测温仪使一个循环的时间为

364 秒。使用前,用定点法、比较法来进行标定,确定其基本误差。在人们主要活动的空间布置热电偶,热电偶布置如图 2 和图 3 所示。

表 1 因素水平表

因素 水平	A(风速)	B(风速)	C(位置)
1	4.5m/s	45°	位置 1
2	5.0m/s	90°	位置 2
3	5.5m/s	120°	位置 3

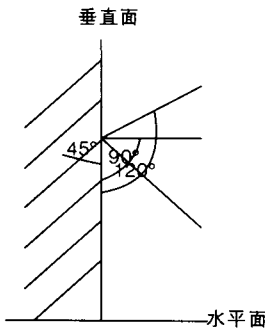


图 1 导风板转角示意图

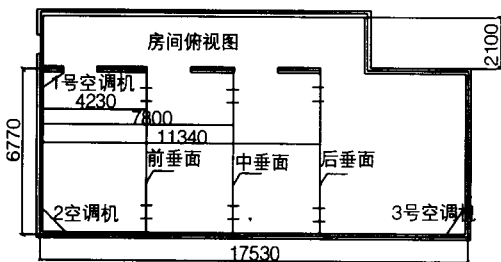


图 2 热电偶布置图

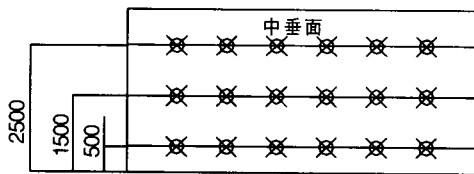


图 3 热电偶布置示意图

### 3 实验结果与分析

按照正交表  $L_9(3^4)$ , 三个送风角度分别与三种风速和三种摆放位置组合搭配做 9 次实验(9 种工况)。处理实验数据时,忽略宽度方向的温差,在同一高度上,取宽度方向各个测点温度值的平均值为这直线某时刻的温度值,这样,计算机整理数据并绘制出二维空间的温度场随时间的变化图,由图 4 至图 12 所示。各

图中曲线的说明,第一个中文字表示所测的垂面,第二个中文字表示该垂面的某一高度处,如“前上”表示前垂面上层(距地面 2.5 米)处,又如“中下”表示中垂面下层(距地面 0.5 米)处,各层高度见图 3。

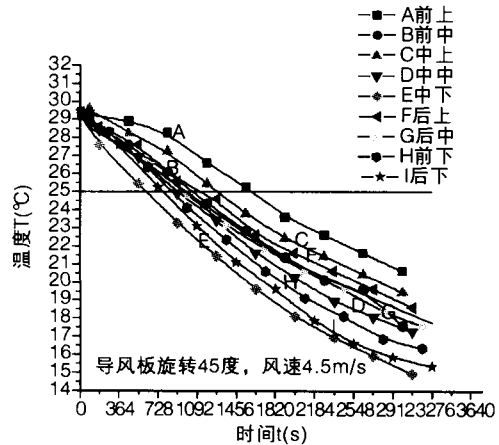


图 4 位置 3 各垂面不同高度的温度变化

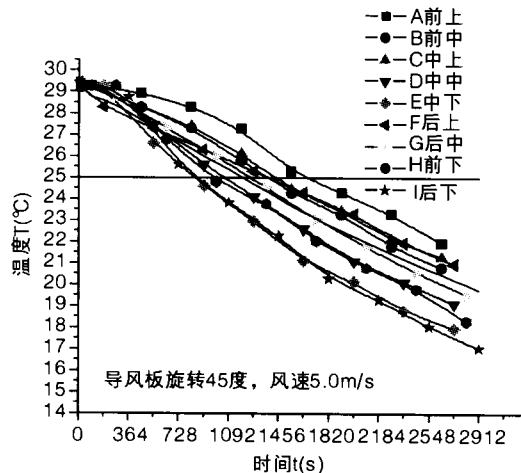


图 5 位置 1 各垂面不同高度温度变化

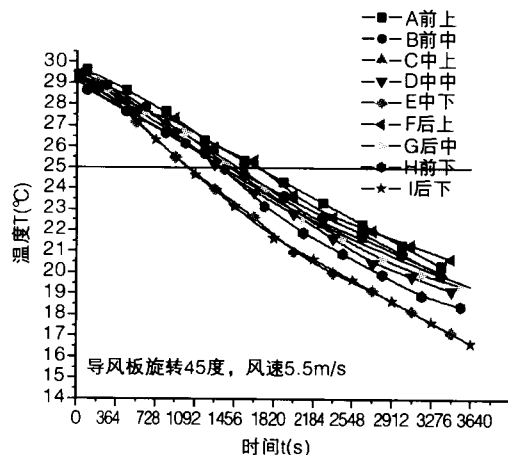


图 6 位置 2 各垂面不同高度温度变化

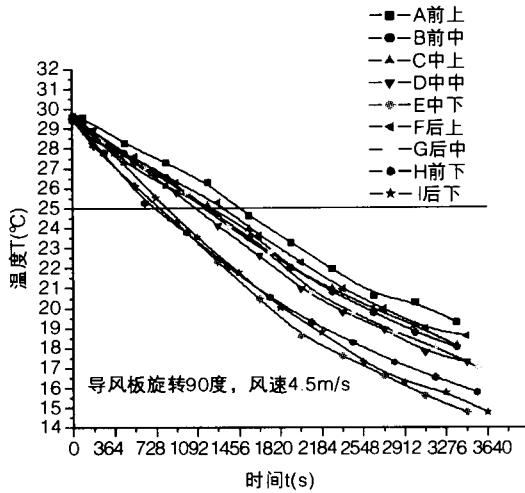


图 7 位置 2 各垂面不同高度温度变化

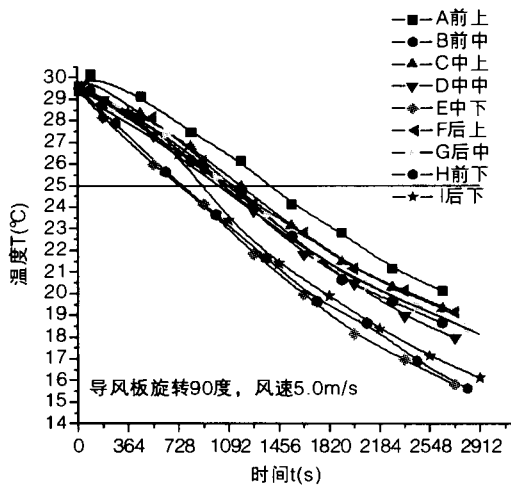


图 8 位置 3 各垂面不同高度的温度变化

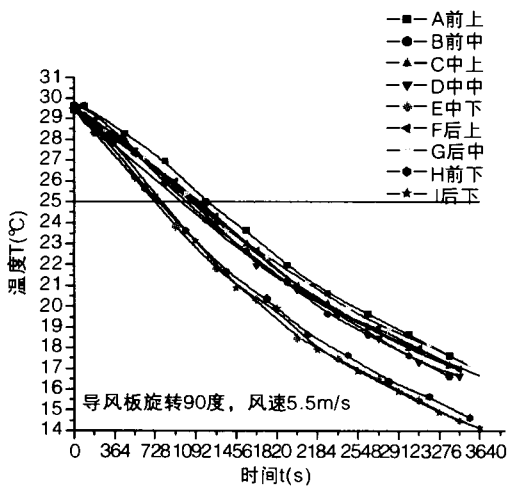


图 9 位置 1 各垂面不同高度的温度变化

5℃降到 25℃时所需的时间 T(S),即试验指标。用方差分析法对正交试验的数据进行分析计算,由表 2 示出。进行各因素显著性检验,列出方差分析表 3。

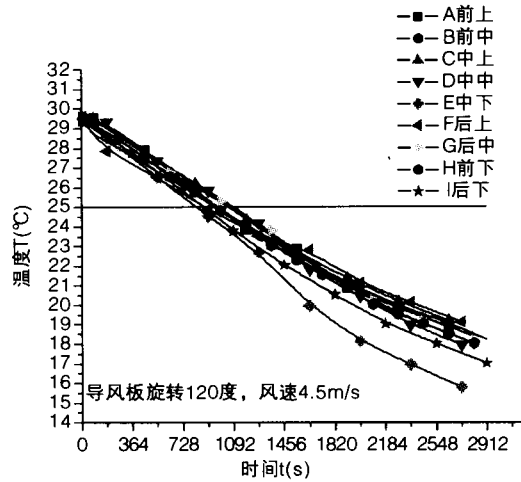


图 10 位置 1 各垂面不同高度的温度变化

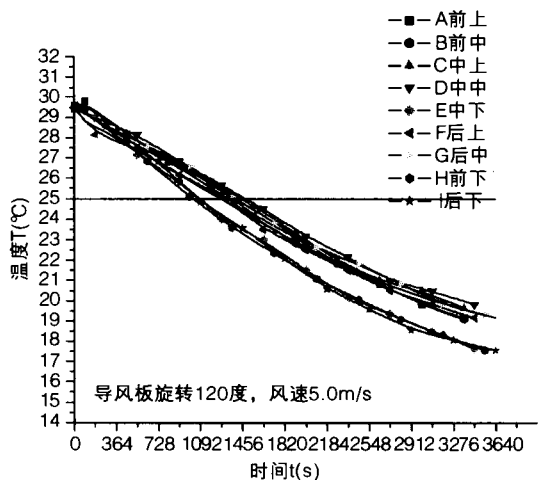


图 11 位置 2 各垂面不同高度的温度变化

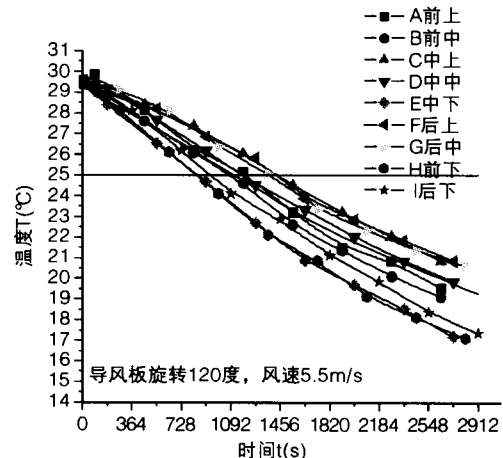


图 12 位置 3 时各垂面不同高度的温度变化  
由方差分析表中 F 值可见,因素 A, B 和 C 对室

从图 4~图 12 中,分别在各个工况下,取九个层面温度曲线与 25℃线交点的横坐标,即温度达到 25℃的时间,求其平均值,便获得每个工况下,室内温度从 29.

内温度下降速率的影响程度不同,他们的主次顺序为:主→次;C、B、A

即两空调机的相对位置对室内温度下降速率的影响最大,其次是导风板转角和送风速度。9 次实验中,第 7 次实验温度下降所需时间最短,其组合为  $C_1 A_1 B_3$ ,其次是第 6 次,组合是  $C_1 A_3 B_2$ 。分析表 2 计算结果,选取指标最好的水平,组成的较优方案为: $C_1 A_1 B_2$ 。综合以上的结果,可以得出结论:当两

空调机以位置 1 摆放,(矩形房长边两端),导风板角度为 90 度的工况,室内温度降低都较快。

为了直观地对比各种工况下的室内平均温度下降速率,从图 4 至图 12 中,分别求得室内平均温度随时间变化曲线,由图 13 至图 15 示出。这三个图表明,在同一送风角度下,当两空调机按位置 2 摆放时,(即房间的对角放置),室内平均温度下降总是最慢。

表 2 正交试验结果计算表

	A (风速)	B (角度)	C (位置)	e (误差)	实验指标:时间(秒)
1	1 (低)	1 (45 度)	位置 3 3	2	1020
2	2 (中)	1 (45 度)	位置 1 1	1	1204
3	3 (高)	1 (45 度)	位置 2 2	3	1373
4	1 (低)	2 (90 度)	位置 2 2	1	1081
5	2 (中)	2 (90 度)	位置 3 3	3	1033
6	3 (高)	2 (90 度)	位置 1 1	2	979
7	1 (低)	3 (120 度)	位置 1 1	3	969
8	2 (中)	3 (120 度)	位置 2 2	2	1274
9	3 (高)	3 (120 度)	位置 3 3	1	1146
I	3070.00	3597.00	3152.00	3431.00	T = 10079
II	3511.00	3093.00	3728.00	3273.00	T * T = 101586241.00
III	3498.00	3389.00	3199.00	3375.00	T <sup>2</sup> / 9 = 11287360.11
I <sup>2</sup>	9424900.00	12938409.00	9935104.00	11771761.00	
II <sup>2</sup>	12327121.00	9566649.00	13897984.00	10712529.00	
III <sup>2</sup>	12236004.00	11485321.00	10233601.00	11390625.00	
I <sup>2</sup> + II <sup>2</sup> + III <sup>2</sup>	33988025.00	33990379.00	34066689.00	33874915.00	
(I <sup>2</sup> + II <sup>2</sup> + III <sup>2</sup> ) / 3	11329341.67	11330126.33	11355563.00	11291638.33	
(I <sup>2</sup> + II <sup>2</sup> + III <sup>2</sup> ) / 3 - T <sup>2</sup> / 9	41981.56	42766.22	68202.89	4278.22	

表 3 方差分析表

方差来源	变动平方和	自由度	平均变动	F 值	显著性
A	41981.56	2	20990.78	9.81	有一定影响
B	42766.22	2	21383.11	9.99	有一定影响
C	68202.89	2	34101.45	15.94	有一定影响
误差	4278.22	2	2139.11		
$F_{\alpha}$	$F_{0.1}(2,2) = 9.00$			$F_{0.05} = 19.00$	

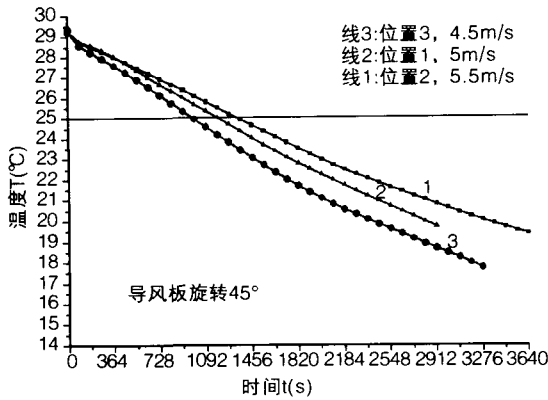


图 13 室内平均温度的变化

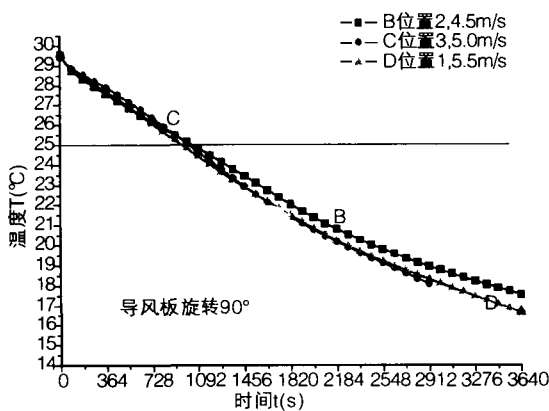


图 14 室内平均温度的变化

摆放时(即矩形房长边两端摆放),温度下降较快,运行 1820 秒时,室内温度较低。认为,两空调机的摆放位置不同,两股射流的方向不同,使房间气流组织和气体流动状态改变所致。当两空调机于房间对角放置时,两股冷射流是相对着,方向相反,当喷口喷出射流时,产生压力波在射流方向上,以音速传递,其对另一机的射流是起阻碍运动、抑制扰动的作用,从而削弱紊流射流的横向脉动与周围介质之间的动量和热量交换,致使温度下降慢。当两空调机按位置 1 放置,两机送出的两股射流同向,但不一定平行向前运动,在某处相交汇合,彼此间相互推进,互相扰动,增强射流横向脉动从而加强与周围介质之间的动量、热量交换,使温度下降较快。

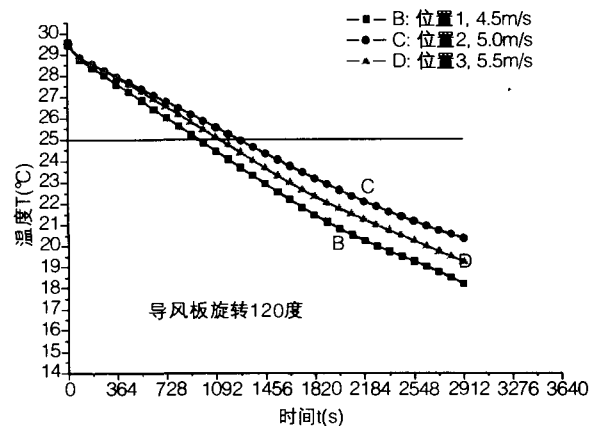


图 15 室内平均温度的变化

## 4 讨论

由图 4~图 12 整理统计出一组时间和温度的平均值,列于表 4 和表 5。

### 4.1 两空调机摆放位置对室内气流及温度场的影响

从表 4 和表 5,可以看到,在同一送风角度下,当两空调机按位置 2 摆放时,(即房间的对象放置),室内平均温度从 29.5℃ 降到 25℃ 时所需的时间最长,并且运行 1820 秒时,室内温度最高;而按位置 1

### 4.2 送风角度对室内气流及温度场影响

从图 4~图 12 可见,在三种不同的送风角中,当送风角为 120 度时,各温度线紧拢;当送风角为 45 度时,各温度线疏散;而送风角为 90 度时,其温度线分布介于前两者之间。说明导风板角度较大时,在同一时刻,室内各层面温度相差小,室内温度分布比较均匀。

表 4 温度自 29.5℃ 下降到 25℃ 所需时间(秒)

送风角度	45°			90°			120°		
	4.5m/s 位置 3	5m/s 位置 1	5.5m/s 位置 2	4.5m/s 位置 2	5m/s 位置 3	5.5m/s 位置 1	4.5m/s 位置 1	5m/s 位置 2	5.5m/s 位置 3
距地面 2.5 米高度	1332	1488	1611	1330	1229	1138	975	1363	1351
距地面 1.5 米高度	978	1227	1385	1142	1074	1046	1046	1399	1212
距地面 0.5 米高度	750	898	1121	771	798	756	886	1061	874
室内平均温度	1020	1204	1373	1081	1033	979	969	1274	1146

表 5 运行 1820 秒时各处的平均温度 $^{\circ}\text{C}$ 

运行 1820 秒时各处的平均温度 $^{\circ}\text{C}$									
导风板角度	45 度			90 度			120 度		
风速 摆放位置	4.5m/s 位置 3	5m/s 位置 1	5.5m/s 位置 2	4.5m/s 位置 2	5m/s 位置 3	5.5m/s 位置 1	4.5m/s 位置 1	5m/s 位置 2	5.5m/s 位置 3
距地面 2.5 米	22.99	23.99	24.30	23.03	22.33	21.98	21.69	23.34	22.97
距地面 1.5 米	21.42	22.69	23.61	22.15	21.24	21.65	21.28	23.49	22.51
距地面 0.5 米	19.56	20.93	22.15	19.97	19.46	19.67	20.24	22.10	20.62
室内平均温度	21.33	22.54	23.35	21.72	21.01	21.10	21.07	22.97	22.03
回风温度	20.4	21.60	21.94	20.72	20.37	20.24	20.96	22.02	21.10

分析表 4 和表 5 的数据,可以知道,在同一种摆放位置下,空调机以三种不同的送风角送风,当导风板位于  $90^{\circ}$  角时,室温从  $29.5^{\circ}\text{C}$  下降到  $25^{\circ}\text{C}$  所需时间较短,且运行 1820 秒时,室内温度较低。从统计数据分析见表 2,对比因素 B 的 I、II、III 数值大小,可以知道,导风板位于  $90$  度角时,室内温度由  $29.5^{\circ}\text{C}$  冷却到  $25^{\circ}\text{C}$  所需的时间最短,其次是  $120$  度,  $45$  度时最长。

#### 4.3 出口风速对室内气流及温度场的影响

从理论上讲,送风速度高,室内温度降低快。因为风速高,单位时间向室内空间送入的冷空气量增多,同时,风速度越大,强制对流作用大,室内气流热交换也强烈,使室内空间冷却的速度加快,这在单机实验中,都能得到验证。但两空调机运行,不一定如此,如当两机按照位置 2 放置(房间对角放置)时,送风速度越大,室内空间冷却的速度反而慢,见表 4。原因可能两方面。1)这种情况下两股射流的方向相反、对着流动,其压力波传递方向也是相反且互相抑制流动,送风速度越大,抑制越强,从而削弱了紊流射流的横向脉动与周围介质之间的动量和热量交换,使温度下降变慢;2)送风角度对温降速率的影响程度大于送风速度。所以,两空调机运行,其送风速度对室内温度下降速率的影响有赖于两空调机的相对位置和送风角度。

#### 4.4 不同高度温度分布的差异:

由图 4 ~ 图 12 可见,在各个工况下,三个垂面同一高度的温度曲线都非常接近,下层温度下降最快,曲线较陡,温度曲线位于下方;中层温度次之,温度曲线位于中间;上层温度下降最慢,曲线较平坦,温度曲线位于上方。这说明房间内下层面温度先下降,而上层面温度下降较缓慢,室内温度差主要在高度方向上,呈现下冷上热的分层现象。从表 4 和表

5 中的数值也清楚地表明了这种现象,其原因是冷空气温度低,密度大,下沉到底层所致。

## 5 结 论

经过实验和分析讨论,可得如下结论:

1)空调机制冷运行时,两空调机的相对位置对于室内温度降低速率影响最大,其次是送风角度和送风速度。

2)室内温度降低较快的优化组合是两空调机摆放于矩形房长边两端,导风板角度为  $90$  度(即冷风水平方向送出)的工况。当两空调机于房间对角放置时,室内温度的下降都较慢,

3)在空调机制冷运行时,室内温度分层分布明显,室内温度差主要在高度方向上,呈现下冷上热的分层现象。导风板角度为  $120^{\circ}$ (即送风斜向上)时,或送风速度大时,室内不同高度层面的温度变化曲线间的温差小,温度分布相对比较均匀。

#### 参考文献

- 1 郑正泉. 热能与动力工程测试技术. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001
- 2 严兆大. 热能与动力机械测试技术. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 3 吴贵生. 试验设计与数据处理. 北京: 冶金工业出版社, 1997
- 4 丁汉哲. 试验技术. 北京: 机械工业出版社, 1982
- 5 连之伟, 陈宝明等. 热质交换原理与设备. 北京: 中国建设工业出版社, 2001
- 6 杨世铭, 陶文铨. 传热学. 北京: 高等教育出版社, 1998
- 7 费祥麟. 高等流体力学. 西安: 西安交通大学出版社, 1989
- 8 蔡增基, 龙天渝. 流体力学泵与风机. 第 4 版. 北京: 中国建设工业出版社, 1999
- 9 王蓉孙, 严震. 流体力学和气体动力学. 北京: 国防建设工业出版社, 1979