

12

66-74

改善舞厅室内环境与空调系统的途径

董强 赵希琳 浦至

(城建系) Tu 83 1.3

摘要 作者近年来对重庆市若干营业性舞厅的室内空气状态参数、空气质量、噪声级与照度进行了广泛调查与测试。本文在此基础上介绍舞厅室内环境与空调系统的现状,对导致室内空气质量恶化的原因、室内与新风设计冷负荷指标进行分析,并从我国的实际情况出发,对改善室内环境与节省空调系统能耗的途径进行了探索。

关键词 冷负荷, 新风年耗冷量, 空气质量, 总悬浮颗粒数, 细菌总数, 冰贮冷

舞厅, 空气调节系统, 室内环境

近年来营业性舞厅发展迅速。它的兴起丰富了人们的文化生活,对市场繁荣也起了一定的促进作用。舞厅是一种公共场所,为了顾客的身体与健康与节省能耗,有必要对它的室内环境及空调系统进行现状调查与研究分析。

1 设计负荷

舞厅夏季室内冷负荷主要来自人体散热,进入室内的太阳辐射热及围护结构的传热。

舞厅每天的营业时间常常低于8小时,有些场次人数少,且场次间存在间隔,故人体显热散热的冷负荷系数多半低于0.85。因舞厅内男女人数大致接近,因此群集系数可近似取0.89。若同时跳舞人数按设计人数的60%折算,则人体散热形成的设计冷负荷约为135 W/p。

进入室内的太阳辐射热量与围护结构的传热量差异甚大,因舞厅无需天然采光,故冷负荷多半在40 W/m²以内。设备与灯光散热甚少,其冷负荷通常低于5 W/m²。依据国家规定的人均占地面积不应小于1.5 m²,故舞厅的室内设计冷负荷指标应在135 W/m²之内。

舞厅的新风量是按控制室内CO₂浓度设计的。由于夏季室内参数通常取25~27℃,50~65%,因此我国热湿地区的新风设计负荷可达120~160 W/m²。若计及风机与风道的温升负荷,则热湿地区的空调设计冷量指标可取260~310 W/m²。

2 空调系统

舞厅的室内热湿比通常小于 7000kJ/kg ，为了增大送风温差减少送风量，宜采用一次回风系统。直接蒸发冷却的整体式机组的占地面积小且安装简便，故为设计者广泛选用。

有集中冷源的场合宜采用水冷式空调器。除小型舞厅可采用吊装式机组外，多数场合宜采用柜式或装配式机组，集中设置。

空调系统应设置过滤器与消声器。舞厅内送风要求均匀，过渡季采用全新风送风时也应避免涡流区出现。

3 室内空气温湿度与风速

对很多舞厅的测定表明，多数舞厅夏季室温已低于 28°C ，相对湿度小于 80% ，风速亦控制在 $0.1\sim 0.5\text{m/s}$ 之间。但因气流组织不尽合理，温湿度与风速均存在较大的区域偏差（表1）。鉴于舞厅内人体活动量较大，等效温度宜在 $25\sim 27^\circ\text{C}$ 范围内。位于地下建筑内的舞厅应考虑送风再热，以免相对湿度过高。

表1 重庆部分舞厅的空气温湿度与风速

舞厅编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测定日期	1991.3	1990.4	1990.4	1990.6	1990.7	1988.7	1991.6	1990.7	1991.3	1990.7
温度 $^\circ\text{C}$	20 ~21.5	20.8 ~22.6	16.8 ~21.5	20.8 ~28	28 ~31.6	24 ~25.2	19.2 ~25.4	24 ~24.6	16.6 ~20.8	27.6 ~29.4
相对湿度%	59~63	56~62	59~72	75~83	56~78	77~84	67~78	66~69	45~67	63~69
风速 m/s	0.12 ~0.28	0.03 ~0.12	0.05 ~0.3	0.11 ~0.5	0.42 ~0.7	0.25 ~1.0	0.1 ~0.8	0.05 ~0.33	0.1 ~1.0	0.12 ~0.3

注：1.表中舞厅编号表示重庆市劳动人民文化宫舞厅等10家舞厅。

2.温度、湿度与风速均为晚场瞬时值。

4 室内空气质量

舞厅内最主要的有害气体是 CO_2 与 CO ， CO_2 主要来自人体，香烟烟雾中亦有 CO_2 与 CO 的散发物。舞厅空气中 CO 与 CO_2 的容许浓度分别为 10mg/m^3 与 0.15% ，对数十家舞厅的测定表明，实际浓度通常低于容许值（表2）。

确定新风量时应考虑室外空气中的 CO 与 CO_2 浓度。测定表明，清晨 CO 浓度常小于 0.15mg/m^3 ， CO_2 体积浓度常在 $0.034\sim 0.038\%$ 范围内，但由于大城市市中心人流密集、汽车流量多，故9时后可能上升至 $1.8\sim 3.0\text{mg/m}^3$ 与 $0.035\sim 0.06\%$ 之间。

二氧化硫与甲醛也是舞厅空气中的常见物质。 SO_2 为具有辛辣性与窒息性气体， 1.5mg/m^3 为绝大多数人的嗅觉阈。大气中的 SO_2 主要来自高硫煤的燃烧。据环保部门统计，重庆城区近年来 SO_2 的年排放量约 $28\sim 35$ 万吨，年日平均浓度为国家标准 0.1mg/m^3 的4.3倍，其最大日均值可达 1.14mg/m^3 。因空调系统通常对 SO_2 未作处理，试验表明室内 SO_2 浓度常在

表2 重庆部分舞厅空气中的CO与CO₂浓度

舞厅编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CO mg/m ³	早场	2.4 ~3.6	1.2	0.7~2.1	3.6~3.8	0.5~1.5	<6.25	3.2~3.5	2.7~2.9	2~2.3	2.1~2.3
	午场	2.1 ~3.2			3.8~6.3	1.6~2	<6.25	3.2~5.6	2.4~2.7	1.6~3	1.4~1.9
	晚场	2~2.3	3.1 ~4.9	3.1~4.8	5.5~7.3	0.9~1.5	<6.25	2.7~5.7	2.5~2.8	2.5~3.3	1.9~2.1
CO ₂ 10 ⁻² %	早场	3.2~4	4.2 ~4.5	3.8~4.2	3~4.8	3~4.8	4.2~4.8	4.8~5.8	3.8~4.2	3.4~6.5	3~3.8
	午场	9.2 ~14			3.8~7	3~5	5.8~7	7~9	6~8.8	6.5~8.5	3.2~6.2
	晚场	6.2 ~8.5			4.2~7.5	3~4.4	5.8~6.8	3.2~5.6	5.4~7.2	6.2~9.6	6~7.0

注：早场人数在32人以内。

0.2~0.8mg/m³之间。

舞厅空气中的甲醛主要来自香烟的烟雾、脲醛树脂泡沫塑料、人造板及其粘结剂的挥发物。甲醛在低浓度下对人体有明显的嗅觉与刺激作用，通常认为对人体的嗅觉阈为0.055~1.75mg/m³，刺激界限在0.011~5.5mg/m³之间。

舞厅的甲醛浓度应低于0.1mg/m³，但通风状态下新装修后的舞厅空气中甲醛测定浓度常在0.1~0.55mg/m³之间，长期使用后其浓度可逐渐降至0.01mg/m³。氨熏处理是降低甲醛浓度的有效方法，但用无机材料作装饰材料将是更佳的选择。

空气中的尘埃与细菌是传播疾病、影响人体健康的重要因素，因其在公共建筑内污染严重，故已引起普遍重视。

公共建筑的人员在室率高，人流量大，故人体产尘量大。据测定重庆商场空气中总悬浮颗粒数与可吸入颗粒数常分别在0.3~3.9mg/m³与0.23~2.1mg/m³之间。舞厅的人流较商场稳定，地面与人体衣着亦易保持整洁，故人体产尘量较商场低，但尽管如此，空气中的可吸入颗粒数仍多半在0.15mg/m³以上（表3）。目前舞厅空调系统的净化能力普遍很低，测定表明计数浓度可达3.2×10⁵粒/L，粒径≥1μ的尘埃亦有8×10⁴粒/L（图1）。

表3 重庆部分舞厅空气中的颗粒数 (mg/m³)

舞厅编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
可吸入颗粒数	0.36	<0.1	<0.1	0.12	0.14	0.19	0.12	0.14 ~0.25	0.32	0.1 ~0.28
总悬浮颗粒数	0.71	<0.2	<0.2	0.25	0.25	0.26	0.37	0.2 ~0.35	0.56	0.14 ~0.53

室外空气中的尘埃已成为影响室内空气质量的重要因素。近年来重庆城区灰尘的年排放量约14~15.2万吨，年日平均浓度达国家3级标准0.3mg/m³的2.1倍。大城市市中心人员与车辆流动频繁，据测定总悬浮颗粒浓度常达1.2mg/m³，可吸入尘也常在0.5mg/m³以上。

我国舞厅内的细菌污染严重。如表4所示，除舞厅2与3外其余舞厅下午与晚上室内空气中的平均细菌总数均在(1.2~1.6)×10⁴个/m³之间。空气中的细菌主要来自人体，带菌

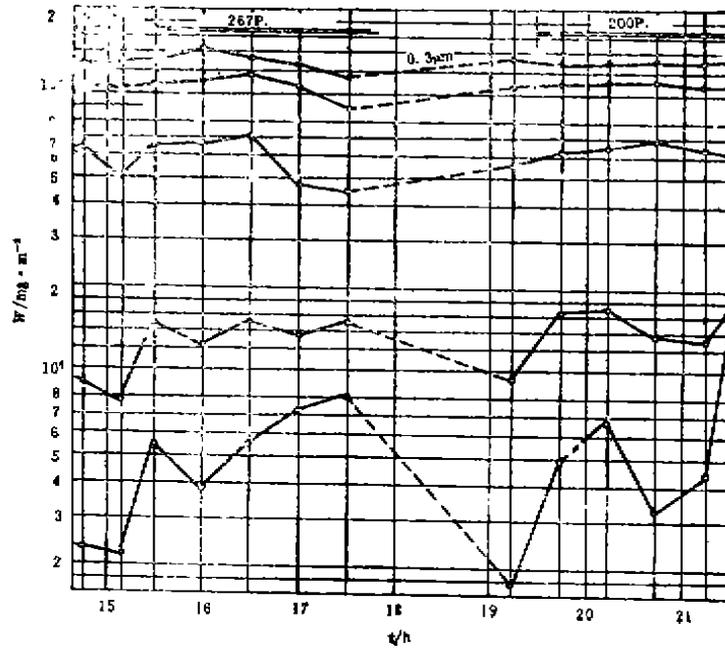


图1 某舞厅空气中的尘埃计数浓度 (送风量15000m³/h)

者说话、咳嗽及喷嚏时喷出的飞沫使室内空气受到污染。上午室内人数少，故多数舞厅空气中的细菌总数低于容许值4000个/m³。舞厅内的紫外光甚少，细菌易繁殖。室内气流组织与空气过滤器的维护不良均会导致细菌总数上升。

人体服装、新风与渗入空气均可将室外细菌带入室内，污秽的室外空气与地面也是室内空气污染的重要因素。据测定重庆闹市区清晨室外空气中的细菌总数多半在 (2~9.5) × 10³个/m³之间，9时后可达 (3.1~90) × 10³个/m³。绿色溶血性链球菌数与细菌总数有关，清晨约 0~1300个/m³，9时后常在65~3700个/m³之间。

表4 重庆部分舞厅内空气中的细菌总数

舞厅编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
人流量 P	上午	13	32			16	30	13			
	下午	252	225	110		84	140	100	210		
	晚上	139	180	230		410	180	70	230	368	
细菌总数 10 ³ 个/m ³	上午	0.78 ~8	1~5.4	0.45 ~1.6	0.26 ~1.6	1~5.5	2.6~6	1.8 ~23.7	0.26 ~2.3	0.52~7	0.26 ~0.78
	下午	4.7 ~16		22~560	0.78~78	1~6	14~35	2.6 ~74.4	1~4.4	1.6~10	1.5~2.1
	晚上	0.78 ~4.7	5.1 ~150	54~100	1.3~4.7	1.3~9.1	20~39	7.8 ~85.3	0.52 ~2.3	4.2~23	3.1~6.5

注：舞厅No1位于9层，舞厅No8,10位于公园内。

5 噪声与照明

调查表明很多空调系统的消声性能不理想,一些舞厅的隔声能力差,加之换气扇的运行噪声,致使室内的静态噪声在47.5~72.5dB(A)之间。

舞厅除用乐队伴奏外,也常用音响设备播放录音。尽管国家规定舞厅的照度不应低于5 Lux,室内总声压级不应超过85dB(A),但因顾客的文化素质差异显著,经营者为迎合顾客心理需求,往往随意地降低室内照度,加大声源的声功率(表5)。

表5 重庆部分舞厅内的照度与噪声

舞厅编号		1	2	3	5	6	7	8	9
声源		乐队	乐队	乐队	雷射音响	乐队	录音	录音	录音
噪声 dB(A)	静态	54.5~56	50	47.5~52	66.5		55~6.8	55~68	69.5~72.5
	动态	87~91	92.5	91.5~96.5	84~86	91.5~95	85~93	84~94	80~85
照度 Lux	上午	0.8~15.1		0.3~10.7		10~15	5~8		0.8~2.9
	下午	0.2~18.6		0.1~26.6	0.6~3.9	<0.2	13~27	0.5~4.4	1.9~57.6
	晚上	0.8~16.5	0.0~3.2	0.2~41.4		<0.2	0~2	0.1~5.8	

6 空调工程中的常见弊端

限于投资及其它原因,不少舞厅的空调系统的净化效能不够理想,并常见下列问题出现:1)设备容量不足。有些系统的送风量与制冷量只有所需值的0.5~0.75,致使经营者常藉减少新风量的方法来维持室温。

2)新、回风常仅藉机组上的尼龙网经滤,致使室内空气中的含尘浓度与细菌总数过高。

3)新风口常设置在主要街道附近,从而使室外空气中的大量尘埃、细菌、NO₂与SO₂等带入室内。

4)为减小机房面积、便于接管与节省投资,常采用集中回风且藉机房与新风混合的空调方式。且因常未设新、回风阀与回风消声器而导致室内噪声高,新风量难以控制,而且易将机房的污秽物带入空气。

5)舞厅内设置排风扇。它运行时常将室外、厕所与休息室的有害物带入室内。

6)气流组织不良,难以及时排出污染物。

7)过渡季在室外空气严重污染的闹市区亦采用自然通风。

8)使用流经地下通道内的污秽空气向室内送风。

7 空气过滤器的选用

室内空气中的尘埃主要来自人体与室外空气，因此它的浓度可按下述换气方程确定：

$$C_n = \frac{LC_s + L C_w + M}{\left(n + \frac{V_s}{H}\right)V} \left\{ 1 - \exp\left[-\left(n + \frac{V_s}{H}\right)t\right] \right\} + C_0 \exp\left[-\left(n + \frac{V_s}{H}\right)t\right] \quad \text{mg/m}^3 \quad (1)$$

式中 C_0, C_n ——0 与 t 时的室内空气含尘浓度， mg/m^3 ；

C_s, C_w ——送风与新风含尘浓度， mg/m^3 ；

L, L' ——机械通风送风量与渗入风量， m^3/h ；

M ——室内产尘量， mg/h ；

V ——室内空气容积， m^3 ；

V_s ——灰尘沉降速度， m/h ；

H ——顶棚高度， m ；

n ——换气次数， $\text{次}/\text{h}$ 。

其中沉降速度 V_s 系灰尘浓度为 1 mg/m^3 时的沉降量 ($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)。因舞厅的换气次数通常超过 10 次/h，故送风 20 分钟后 $\exp\left[-\left(n + \frac{V_s}{H}\right)t\right] < 0.05$ 。又因室内维持正压状态， $L = 0$ 。

若不计尘粒的沉降作用，且系统按图 2 方式设置空气过滤器，则式 (1) 可简化为：

$$C_n = \frac{L_{wp} C_w (1 - \eta) + m_p}{n V_p \eta + L_{wp} (1 - \eta)} \quad (2)$$

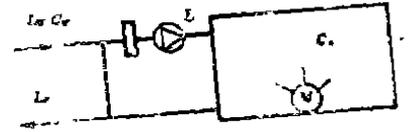
式中 L_{wp} ——每人新风量 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{p}$ ；

m_p ——每人产尘量 $\text{mg}/\text{h} \cdot \text{p}$ ；

V_p ——每人所占室内容积 m^3/p ；

η ——过滤器的过滤效率。

依据式 (2) 即可描绘 $L_{wp}, C_w, \eta, m_p, V_p, n$ 与 C_n 之间的相互关系 (图 3, 4)。



2 图系统示意图

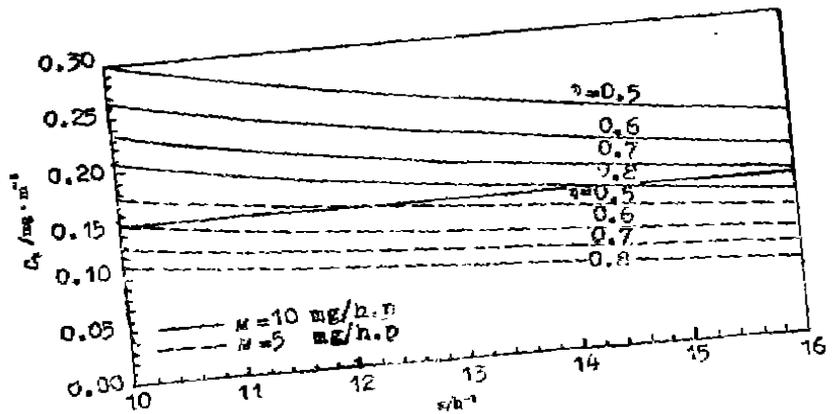


图 3 过滤效率与换气次数对室内空气含尘浓度的影响
($C_w = 0.2 \text{ mg/m}^3, L_{wp} = 20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{p}, V_p = 6 \text{ m}^3/\text{p}$)

舞厅的产尘量变化甚大,一般按 $m_p = 5 \sim 10 \text{ mg/h} \cdot p$ 估计。当 $m_p = 5 \text{ mg/h} \cdot p$ 、 $V_p = 6 \text{ m}^3/p$ 时,若采用 $\eta = 0.5$ (大气尘) 的过滤器,则所需换气次数应大于12次。显然采暖通风和空气调节设计规范所规定的“每小时不宜小于5次”是不尽合理的。若 $m_p = 10 \text{ mg/h} \cdot p$,欲使 $C_n \leq 0.15 \text{ mg/m}^3$,一级过滤难以实现。

我国居住建筑的空气含尘浓度也较高,为此普通舞厅的容许含尘浓度可暂定为 $0.25 \sim 0.3 \text{ mg/m}^3$,以便在 $n \geq 12$ 次/h时用 $\eta \approx 0.5$ (大气尘) 的过滤器实现。但等级较高的舞厅应采用二级过滤。

若 $C_w > C_n$,为了在过渡季采用全新风,应要求 $C_n > \frac{m_p}{nV_p}$,且过滤器效率应按下式确定。

$$\eta \geq 1 - \frac{1}{C_w} \left(C_n - \frac{m_p}{nV_p} \right) \quad (3)$$

8 工作区的含尘浓度系数

室内空气中的含尘浓度并不是均匀分布的。为了描述工作区的平均含尘浓度,可引用下述系数 A 来表达

$$A = \frac{\text{工作区的平均含尘浓度}}{\text{回风的平均含尘浓度}}$$

当空调房间采用散流器平送,侧墙下部回风口回风时,若房间高 2.6 m ,换气次数约 20 次/h ,则含尘浓度状态如表6所示,可见 A 约在 0.9 左右。系数 A 与气流组织型式,换气次数、尘源分布等有关,适当地降低 A 值有利于在工作区获得较低的含尘浓度。

表6 工作区与回风口处的平均尘粒数

尘埃粒径 μ		5	2	1	0.5	0.3	合计
平均尘粒数 个/L	工作区	38	376	9535	56326	98042	164317
	回风口	42	495	12082	63326	106659	182604
比值		0.91	0.76	0.79	0.89	0.92	0.90

注:人员在室率约 $0.12 p/\text{m}^3$ 。

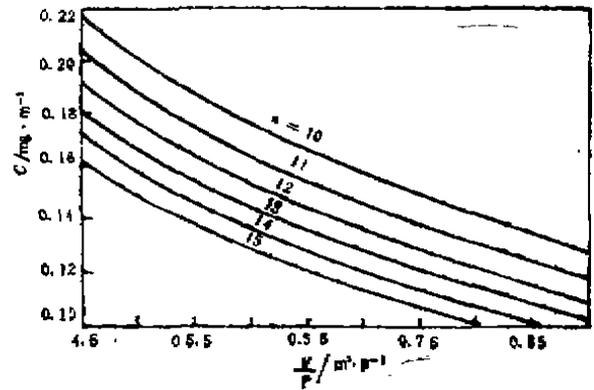


图4 每人占有容积对室内空气含尘浓度的影响
($C_w = 0.2 \text{ mg/m}^3$, $L_{wp} = 20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot p$,
 $m_p = 5 \text{ mg/h} \cdot p$, $\eta = 50\%$)

9 节能途径

我国国土辽阔、各地气象特征差异甚大。长江中下游地区全年湿球温度 $\geq 21^{\circ}\text{C}$ 的累计小时数多半超过2000小时，南方地区常达3000小时以上。又因舞厅各场人数变化甚大，故控制新风量有助于减少它的耗冷量。

新风耗冷量亦与室内参数有关。如 28°C 、50%时重庆的新风年耗冷量比同温度下65%时大3.74倍；若室内参数采用 25°C 、50%，则新风年耗冷量将增加6.5倍。

舞厅主要藉灯光照明，减少玻璃窗面积对减少建筑能耗有利。

除三北地区外，我国很多地区室外空气焓值 $h_w \leq 10\text{kJ/kg}\cdot\text{干空气}$ 的时间低于10%的全年小时数，因此新风含湿量很少低于 $3\text{g/kg}\cdot\text{干空气}$ ，加之室内人体散湿，故空调设备可不设蒸汽加湿器。

舞厅每天的营业时间常常只有5~8小时，平均人数往往只有高峰时的40~60%，故有利于贮冷技术的采用。据作者分析，舞厅中采用直接蒸发式冰系统的初投资不超过采用恒温机组空调系统时的10%（表7）。即使在白天与夜晚民用电价相同的情况下，因其减小了制冷机的装机功率，亦可节省20%左右的变压器运行费用。

近年来我国一些城市已开始限制白天民用空调用电，并按装机容量征收建设费，这均给冰贮冷系统的采用提供了有利条件。

表7 某工程两种空调方式的工程概算(万元)

项 目	恒温机组	柜式空调器 与贮冰箱	项 目	恒温机组	柜式空调器 与贮冰箱
柜式空调器		3.4	冷冻水泵		0.15
制冷压缩冷凝机组		2.8	冷却水泵	0.2	0.15
恒温机组	9.5		冷冻水系统		1.2
风道与部件	2.6	2.4	冷却水系统	1.2	0.6
消声器	0.9	0.7	制冷剂系统		1.2
空气过滤器	0.6	0.6	空压机及其连接管道		0.5
贮冰箱		1.5	制冷剂		0.2
冷却塔	0.7	0.5	合 计	15.7	15.9

注：未列入施工管理、运输、税收与调试费。

10 结论与意见

通过调查与分析，作者提出下述结论与意见：

1) 舞厅宜采用集中式一次回风定风量空调系统。因舞厅各场人数变化大，且新风设计负荷常占空调负荷的40~55%，故新风量宜作控制。

2) 据现有几个舞厅测定分析，空调耗冷量可按 $260\sim 310\text{W/m}^2$ 设计。

3) 舞厅的CO浓度通常小于 10mg/m^3 ，CO₂浓度亦多半在0.15%以下。因我国大城市市区大气中的SO₂浓度高，常使室内浓度在 0.2mg/m^3 以上。室内甲醛含量与用人造板作装饰材料有关，宜用无机材料取代。

4) 我国舞厅的尘埃与细菌污染严重。宜禁止人员吸烟, 在舞厅与室外之间设过渡地带, 以减少人体进入舞厅的带尘量。

5) 舞厅容积应大于 $6 \text{ m}^3/p$, 空调系统宜按换气次数 ≥ 12 次/h 确定送风量, 等级较低的舞厅可暂按含尘容许浓度 0.3 mg/m^3 设计。

6) 室外含尘浓度较高时, 宜全年采用机械送风, 维持室内正压。

7) 冰贮冷系统有助于节省舞厅空调系统的全年运行费。

参 考 文 献

- 1 董 强. 长江中下游地区高层建筑空调设计的剖析. 四川制冷, 1991, (1, 2)
- 2 李 焜, 史济德. 公共场所从业人员卫生知识教材. 上海翻译出版公司, 1989年1月
- 3 E. 罗发埃尔. 人造板和其它材料的甲醛散发. 1982
- 4 涂光备. 大中型商场空调设计的一些问题(二)——解决空气污浊的方式与方法. 暖通空调, 1991, (4)
- 5 董 强, 陈宗范, 黄 旭. 直接膨胀式贮冰系统的研制. 全国暖通空调制冷1992年学术年会论文集, 1992年10月.
- 6 张启生. 武汉市五所舞厅甲醛污染监测报告. 环境与健康, 1989, (2)
- 7 邱富园. 重庆市中区大气污染与肺癌发病关系研究. 环境与健康, 1989, (6)

(编辑: 刘家凯)

THE WAYS FOR IMPROVING INDOOR ENVIRONMENT AND AIR-CONDITIONING SYSTEMS IN DANCLING HALLS

Dong Qiang

(Chong Institute of Architecture and Engineering)

Zha Yilin

(Chongqing Sanitary and Anti-Epidemic Station, Chongqing)

Pu Zhi

(Chongqing Institute of Architecture and Engineering)

ABSTRACT Since 1988, air temperature, humidity, air quality, noise level and intensity of illumination in lots of dancing halls in China have been investigated and tested. This paper introduces the present situation of indoor environment and air conditioning systems in dancing halls of China. The design indexes of cooling load for room and outside air are recommended. The reasons for indoor environment deterioration have been found out. From the actual situation of China, the ways for improving indoor environment and approach of energy conservation in air-conditioning systems are explored.

KEY WORDS cooling, the annual cooling exhaustion of fresh air, air quality, total of floating particles, total of germ, ice cooling storage