

空调区人员对空调系统冷负荷的影响

国君杰¹, 余跃进²

(1 南京市建设工程施工图审查管理中心, 江苏 南京 210024; 2 南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 人员冷负荷是空调系统冷负荷的重要组成部分. 为了探究空调区人员对空调系统冷负荷的影响程度, 对几种建筑类型的人员冷负荷进行了计算. 结果表明, 人员是决定空调系统冷负荷大小的主要因素. 适当降低室内舒适度标准, 合理确定计算人员密度, 对科学确定空调系统冷负荷具有实际意义.

[关键词] 空调区, 人员冷负荷, 新风冷负荷, 系统冷负荷

[中图分类号] TU 831.2 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2007) 02-0033-04

Influence of Occupants on Cooling Load of the Air-Conditioning System

Guo Junjie¹, Yu Yuejin²

(1. Nanjing Center of Construction Drawing Design, Nanjing 210024, China)

2. School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract Cooling load gained from the occupants is an important portion in the cooling load of the air-conditioning system. In order to research the influence of the occupants on the cooling load of the system, this paper calculates the cooling load gained from the occupants for some styles of buildings. The result shows that the occupants are the main factor to affect the cooling load of the air-conditioning system. It's significant for designers to determine the cooling load of the system scientifically by properly reducing indoor comfortable standard and reasonably choosing density of the occupants in the air-conditioned room.

Key words air-conditioned room, cooling load gained from the occupants, cooling load of the fresh air, cooling load of the air-conditioning system

0 引言

夏季人员在空调区内活动形成两部分冷负荷: 一是人体散热形成的冷负荷; 二是由于新风进入及室内空气排出形成的新风冷负荷. 前者是空调区冷负荷的组成部分, 后者与空调区冷负荷、水泵温升和风机温升等附加冷负荷一起构成了空调系统冷负荷^[1].

1 人员冷负荷的计算

人体散热形成的冷负荷按下式计算:

$$CL_p = n \cdot (q_1 \cdot C_{cl} + q_2) \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \quad (1)$$

式中, CL_p 为人体散热形成的冷负荷 W ; n 为空调区内的人数 / 人; q_1 为每个成年男子散发的显热量 W ; C_{cl} 为人体显热散热冷负荷系数; q_2 为每个成年男子散发的潜热量 W ; Φ_1 为群集系数, 该系数是对人体间相互吸放热造成的人员个体实际向空调区散热量减少的修正, 人员越密集, Φ_1 越小. Φ_2 为人员构成系数, 由于实测 q_1 和 q_2 值仅适用于成年男子, 而成年女子和儿童的散热量分别为其散热量的 85% 和 75%, 故需对以成年男子为基准计算出的散热量予以修正.

$$\Phi_2 = (a + 0.85b + 0.75c) / (a + b + c) \quad (2)$$

式中, a , b , c 为空调区内男、女、童所占的比例, 根据建筑功能分别取不同的经验数值.

新风冷负荷按下式计算:

收稿日期: 2006-11-28

作者简介: 国君杰(1962-), 高级工程师, 主要从事暖通空调方面的施工图设计和审查工作. E-mail: gjj118@126.com

$$CL_f = n \cdot G \cdot \rho \cdot (i_w - i_N) / 3\,600$$

(3)

式中, CL_f 为新风冷负荷 /kW; n 为空调区内的人数 /人; G 为新风量标准 /($\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$); ρ 为室外空气密度 /(kg / m^3); i_w 为室外空气状态点的焓 /(kJ / kg), 南京地区 $i_w = 91.3$ (kJ / kg); i_N 为室内空气状态点的焓 /(kJ / kg).

舒适性空调夏季室内计算参数一般取 $22 \sim 28^\circ\text{C}$, $40\% \sim 65\%$. 当室内状态点取 $t_{N1} = 25^\circ\text{C}$, $\phi_{N1} = 55\%$ 时, 则 $i_{N1} = 52.8$ kJ / kg 当状态点取 $t_{N2} = 25^\circ\text{C}$, $\phi_{N2} = 60\%$ 或 $t'_{N2} = 26^\circ\text{C}$, $\phi'_{N2} = 55\%$ 时, 则 $i_{N2} \approx i'_{N2} = 55.5$ kJ / kg 当状态点取 $t_{N3} = 26^\circ\text{C}$, $\phi_{N3} = 60\%$ 时, 则 $i_{N3} = 58.5$ kJ / kg 南京地区在以上 3 种情况下的室内外焓差分别为 38.5 kJ / kg 35.8 kJ / kg 和 32.8 kJ / kg 以第一种情况为基准, 则第二种情况可减少新风冷负荷 7.0%, 而第三种情况可减少 14.8%. 可见适当降低室内舒适度标准, 节能效果是明显的. 对于长江以北地区, 由于室内外状态点的焓差较小, 节能效果将更加显著.

取室内设计参数 $t_N = 26^\circ\text{C}$, $\phi_N = 60\%$, 则南京地区处理 $1\text{ m}^3 / \text{h}$ 新风所需冷量为 0.010 9 kW. 对于人均占有使用面积 5 m^2 , 新风量标准 $30\text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$ 的普通办公室而言, 分摊到单位面积上的冷负荷为 65.4 W / m^2 . 这比围护结构传热形成的冷负荷要高得多.

2 几种类型民用建筑的人员冷负荷

以南京地区为例, 室内设计参数取 $t_N = 26^\circ\text{C}$, $\phi_N = 60\%$, 对不同人员密度的人员冷负荷进行计算. 变换 (1) 式, 可得单一人员人体散热形成的冷负荷:

$$CL_{pl} = CL_p / n = (q_1 \cdot C_{e1} + q_2) \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2.$$

(4)

式中, CL_{pl} 为单一人员人体散热形成的冷负荷 /($\text{W} / \text{人}$).

根据不同建筑类型空调区内人员活动强度, 选取适宜的人员构成比例^[3-7], 按 (4) 式计算出单一人员人体散热形成的冷负荷如表 1 所示.

表 1 人体散热形成的冷负荷
Table 1 Cooling load gained from heat emission of human body

建筑类型	办公室	旅馆客房	会议室	商店	餐厅	阅览室
冷负荷 (W / 人)	113.3	134.0	103.7	143.4	149.8	119.6
计算条件	极轻劳动	极轻劳动	静坐	轻度劳动	轻度劳动	极轻劳动
	$C_{e1} = 0.8$	$C_{e1} = 1$	$C_{e1} = 1$	$C_{e1} = 1$	$C_{e1} = 1$	$C_{e1} = 1$
	$\Phi_1 = 1$	$\Phi_1 = 1$	$\Phi_1 = 0.96$	$\Phi_1 = 0.89$	$\Phi_1 = 0.89$	$\Phi_1 = 0.96$
	$a:b:c = 1:1:0$	$a:b:c = 1:0:0$	$a:b:c = 1:1:0$	$a:b:c = 3:5:1$	$a:b:c = 6:3:1$	$a:b:c = 1:1:0$

综合考虑人体散热冷负荷以及按 GB50189-2005《公共建筑节能设计标准》给出的新风量标准^[2]计算出的新风冷负荷, 将南京地区几种建筑类型在不同人员密度条件下计算得到的单位面积人员冷负荷如表 2 所示.

表 2 部分民用建筑的人员冷负荷
Table 2 Cooling load gained from the occupants for some civil buildings

建筑功能	冷负荷指标					备注
办公室冷负荷 /(W / m^2)	人均占有使用面积 /($\text{m}^2 / \text{人}$)					(1) 新风量标准取 $30\text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$. (2) 人均占有使用面积: 普通办公室 /($3\text{ m}^2 / \text{人}$); 研究室 /($4\text{ m}^2 / \text{人}$); 绘图室 /($5\text{ m}^2 / \text{人}$).
	3	4	5	6	8	
	人体散热	37.8	28.3	22.7	18.9	
	新风	109.0	81.8	65.4	54.5	
	合计	146.8	110.1	88.1	73.4	
	55.1					
会议室冷负荷 /(W / m^2)	人均占有使用面积 /($\text{m}^2 / \text{人}$)					(1) 新风量标准取 $20\text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$. (2) 人均占有使用面积: 无桌会议室 /($0.8\text{ m}^2 / \text{人}$); 有桌会议室 /($1.8\text{ m}^2 / \text{人}$).
	0.8	1.5	1.8	2.5	3	
	人体散热	129.6	69.1	57.6	41.5	
	新风	272.5	181.7	121.1	109.0	
	合计	402.1	250.8	178.7	150.5	
	125.4					
商店 (营业部分) 冷负荷 /(W / m^2)	人均占有使用面积 /($\text{m}^2 / \text{人}$)					(1) 新风量标准取 $20\text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$. (2) 人均占有使用面积: 普通营业厅, $1.35\text{ m}^2 / \text{人}$; 自选厅 (可使用推车), $1.70\text{ m}^2 / \text{人}$. (3) 普通商店功能面积分配: 营业厅, 43%; 仓储, 30%; 辅助间, 25%.
	1.35	1.7	2	3	4	
	人体散热	106.2	84.4	71.7	47.8	
	新风	161.5	128.2	109.0	72.7	
	合计	267.7	212.6	180.7	120.5	
	90.4					

续表							备注
建筑功能		冷负荷指标					
餐厅冷负荷 $/(W \cdot m^2)$	人均占有使用面积 $/(m^2 /人)$					(1)新风量标准取 $20m^3/(h \cdot 人)$. (2)人均占有使用面积: 低档饭店, $0.85 \sim 1.0m^2/人$; 中档饭店, $1.1 \sim 1.3m^2/人$.	
	0.85	1	1.3	2	3		
	人体散热	176.2	149.8	115.2	74.9		49.9
	新风	256.5	218.0	167.7	109.0		72.7
	合计	432.7	367.8	282.9	183.9		122.6
阅览室冷负荷 $/(W \cdot m^2)$	人均占有使用面积 $/(m^2 /人)$					新风量标准取 $20m^3/(h \cdot 人)$.	
	1	1.5	2	3	4		
	人体散热	119.6	79.7	59.8	39.9		29.9
	新风	218.0	145.3	109.0	72.7		54.5
	合计	337.6	225.0	168.8	112.6		84.4
旅馆客房冷负荷 $/(W \cdot 间)$	客房标准 $/(人 \cdot 间)$				新风量标准: 单人间, $50m^3/(h \cdot 人)$; 双人间, $40m^3/(h \cdot 人)$; 三、四人间, $30m^3/(h \cdot 人)$.		
	1	2	3	4			
	人体散热	134.0	268.0	402.0		536.0	
	新风	545.0	872.0	981.0		1530.0	
	合计	679.0	1140.0	1383.0		1844.0	

3 人员冷负荷在系统冷负荷中的比重

下面为两个实例,通过对空调区冷负荷的计算^[8],说明人员冷负荷在系统负荷中所占的比重.为简化计算,围护结构的传热系数按 GB50189-2005《公共建筑节能设计标准》中规定的低限取值^[2],并忽略风机、水泵温升和其它扰量导致的附加冷负荷.

例 1 南京地区某写字楼标准层南向办公室,层高 3.9m,开间 8.7m,进深 8.7m,南立面窗墙面积比 0.7.外墙传热系数 $1.0W/(m^2 \cdot K)$,外窗传热系数 $2.5W/(m^2 \cdot K)$,木内门传热系数 $2.9W/(m^2 \cdot K)$.室内设计参数 $t_N = 26^{\circ}C$ 、 $\phi_N = 60\%$.

计算得到的围护结构冷负荷为 2731W,单位面积冷负荷为 $36.1W/m^2$,该负荷出现在下午 2 时.办公室各项负荷(未计入照明散热形成的冷负荷)汇总如表 3 所示.

例 2 南京地区某政府办公楼标准层南向会议室,层高 3.9m,开间 18m,进深 13.2m.南向及东西两侧凸出部分外墙面积 $82m^2$,传热系数 $1.0W/(m^2 \cdot K)$.南外窗面积 $36m^2$,内设浅色遮阳窗帘,传热系数 $2.5W/(m^2 \cdot K)$.木内门传热系数 $2.9W/(m^2 \cdot K)$.室内设计参数 $t_N = 26^{\circ}C$ 、 $\phi_N = 60\%$.

计算得到的围护结构冷负荷为 5438W,单位面积合 $22.9W/m^2$,该负荷出现在下午 2 时.照明配功率按 $11W/m^2$ 计^[12],冷负荷系数取 0.74,单位面积照明形成的冷负荷 $8.1W/m^2$.会议室各项冷负荷汇总如表 4 所示.

表 3 办公室冷负荷
Table3 Cooling bad in an office

项目		人均占有使用面积 $(m^2 /人)$				
		3	4	5	6	8
人员	冷负荷 $/(W/m^2)$	146.8	110.1	88.1	73.4	55.1
	占总冷负荷比例 $\%$	55.2	52.8	50.6	48.6	45.0
	电脑冷负荷 $/(W/m^2)$	83.3	62.5	50.0	41.6	31.3
围护结构	冷负荷 $/(W/m^2)$	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1
	占总冷负荷比例 $\%$	13.6	17.3	20.7	23.9	29.5
	总冷负荷 $/(W/m^2)$	266.2	208.7	174.2	151.1	122.5

注: 人均一台台式电脑,冷负荷按 250W/台计,同时使用.

表 4 会议室冷负荷
Table 4 Cooling bad in a meeting room

项目		人均占有使用面积 $/(m^2 /人)$				
		0.8	1.5	1.8	2.5	3
人员	冷负荷 $/(W/m^2)$	402.1	250.8	178.7	150.5	125.4
	占总冷负荷比例 $\%$	92.8	89.0	85.2	82.9	80.2
	照明冷负荷 $/(W/m^2)$	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
围护结构	冷负荷 $/(W/m^2)$	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9
	占总冷负荷比例 $\%$	5.7	8.1	10.9	12.6	14.6
	总冷负荷 $/(W/m^2)$	433.1	281.8	209.7	181.5	156.4

注: 表中未考虑使用电脑、投影仪等电气设备形成的冷负荷.

从表 3 和表 4 中可以看出,围护结构散热形成的冷负荷占总冷负荷的比例相对较小,会议室不足 15%,即使在人员密度相对较小的办公室,围护结构冷负荷占总冷负荷的比例也不足三成.与之相反,人员负荷是构成系统冷负荷的主要组成部分.在人员较密集的会议室,人员冷负荷占了总冷负荷八~九成的份额.计算人员密度越大,单位面积冷负荷越高.因此空调区计算人数的选取合理与否直接影响了人员冷负荷乃至系统冷负荷的大小,也决定了计算出的系统冷负荷是否能作为可采信的设计依据.对办公室而言,计算人数的增加,不仅给空调区带来了人员冷负荷,同时人手一台电脑也是很可观的散热源.

设计人员在工程设计中, 如何合理地选取空调区计算人数不是一件简单的事情. 若按建筑专业设计的额定人数取值, 很可能出现设计冷负荷偏大的现象, 势必造成投资和运行费用的提高. 如同在工业建筑空调设计中, 设备有“同时使用率”问题, 民用建筑也存在一个“满员率”(即空调区实际人数与设计额定人数之比)的问题. 笔者在设计一个政府办公楼时, 请教过一位曾在县、市、省级机关工作过的业主. 据介绍, 平时省级机关办公室的“满员率”约为 70% ~ 80%, 市级机关约为 65% ~ 75%, 而县级机关至多为 60% ~ 70%. 需要指出的是, 不同职能的办公室“满员率”也不尽相同. 像财务部门就高而接待部门则相反.

对于人员密集场所, 为避免计算人数过多而导致的新风冷负荷过大的现象出现, 美国 ASHRAE 62-2001 中规定“对于出现最多人数的持续时间少于 3h 的房间, 所需新风量按室内的平均人数确定, 该平均人数不应少于最多人数的 1/2”

在具体工程设计中, 怎样合理地选取计算人数除需对建筑物地点、功能、服务对象进行详细分析外, 也需对同类建筑使用情况进行广泛地调研, 以获取合理的计算人数. 使空调设计达到既能满足人们舒适性要求, 又能最大程度地节能的目的.

4 小结

通过以上分析可得到如下结论:

- (1) 人员冷负荷是影响空调系统冷负荷的主要因素, 合理地确定空调区计算人数对降低系统冷负荷具有重要意义.
- (2) 在不影响舒适感的条件下, 适当降低室内设计标准可得到较客观的节能效果.

[参考文献] (References)

- [1] 建设部工程质量安全监督与行业发展司, 中国建筑标准设计研究所. 全国民用建筑工程设计技术措施——暖通空调·动力 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
Department of construction quality safety supervision and construction industry development Ministry of construction P. R. C, China institute of building standard design & research National technical measures for design of civil construction-Heating ventilation and conditioning [S]. Beijing China Planning Press, 2003 (in Chinese)
- [2] 浙江省建筑设计院. JGJ 67-89 13850, 1989, 办公建筑设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
Zhejiang province architectural design institute JGJ 67-89, 13850, 1989, Design code for office building [S]. Beijing China Architecture & Building Press, 1990 (in Chinese)
- [3] 建设部建筑设计院. JGJ 62-90 1990 旅馆建筑设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
Architectural design institute Ministry of construction JGJ 62-90 1990 Design code for hotel building [S]. Beijing China Architecture & Building Press, 1990 (in Chinese)
- [4] 中南建筑设计院. JGJ 48-88 29522, 1988, 商店建筑设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
Central-south architectural design institute JGJ 48-88 29522, 1988, Design code for store building [S]. Beijing China Architecture & Building Press, 1989 (in Chinese)
- [5] 中国建筑东北设计院, 辽宁省食品卫生监督检验所. JGJ 64-89 1989, 饮食建筑设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
China northeast building design institute Liaoning provincial food hygiene monitoring tests JGJ 64-89 1989, Design code for catering building [S]. Beijing China Architecture & Building Press, 1990 (in Chinese)
- [6] 中国建筑西北设计院. JGJ 38-99 1999 图书馆建筑设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
China northwest building design institute JGJ 38-99 1999 Code for design of library building [S]. Beijing China Architecture & Building Press, 1999 (in Chinese)
- [7] 中华人民共和国建设部. GB 50189-2003 10228, 2005, 公共建筑节能设计标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
Ministry of construction P. R. C. GB 50189-2003 10228, 2005, Design standard for energy efficiency of public buildings [S]. Beijing China Architecture & Building Press, 2006 (in Chinese)
- [8] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995: 692-734.
Lu Yaoqing Practical Design Manual for Heating and Conditioning [M]. Beijing China Architecture & Building Press, 1995 692-734 (in Chinese)

[责任编辑: 刘健]