

大空间建筑上部开口节能潜力研究^{*}

上海理工大学 刘 笙[☆] 黄 晨

摘要 利用大空间建筑上部开口自然通风降低室内空调能耗是大空间建筑节能的方向之一,利用上部开口有效利用系数定义了空调切换温度,并以某体育馆为研究对象分析了大空间建筑节能潜力。

关键词 有效利用系数 空调切换温度 节能潜力 上部开口

Energy saving potential of upper openings in large space buildings

By Liu Sheng[★] and Huang Chen

Abstract Using upper opening ventilating to reduce energy consumption of air conditioning is one of energy saving methods in large space buildings. Taking the advantage of the effective utilization coefficient of upper openings, defines the switch temperature of air conditioning, and uses it to study the energy saving potential of a gymnasium.

Keywords effective utilization coefficient, switch temperature of air conditioning, energy saving potential, upper opening

★ University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, China

①

1 研究对象概况

研究对象为上海地区某体育馆比赛主馆,净高约 26 m,主体直径 68 m,屋顶呈扁球体,馆内平面最长处 62 m,最宽处 37 m,空调面积 3 630 m²。可容纳 4 330 名观众。

比赛主馆空调系统送风总管环状布置,送风喷口安装高度为 15 m,以场中心为射流喷射方向四面侧喷送风,座椅均匀回风。建筑上部侧墙设有总面积为 9.18 m² 的多个开口。设计送风量 240 000 m³/h,照明负荷 180 kW,新风比 18%,传热系数:屋顶 2.75 W/(m²·K),外墙 2.48 W/(m²·K),内墙 2.59 W/(m²·K),楼板 2.21 W/(m²·K)。

2 上部开口有效利用系数及分析

为研究上部开口节能潜力,引入上部开口有

效利用系数^[1]。

2.1 室内能流物理模型

图 1 为具有上部开口的大空间建筑能量传递示意图。假设系统为一次回风空调系统,室外新风 G_w 与室内回风 G_h 混合后侧喷送往室内。由于受室外风速等的影响,上部各开口既有进风也有

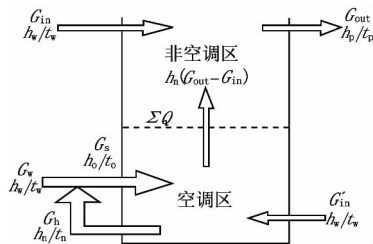


图 1 能量流程示意图

①☆ 刘笙,男,1981 年 2 月生,硕士研究生,工程师
200093 上海理工大学建筑环境与设备工程系
(021) 54832510

E-mail:cornic@tom.com

收稿日期:2007-08-14

^{*} 国家自然科学基金资助项目(编号:50478113),上海市教委重点学科建设项目(编号:J50502)

排风。由于空调房间要求正压,系统总送风量 $G_s > G_h$, 对于具有开口的建筑,开口处的排风一般远大于向外渗透的风量,因此室内空气质量、能量平衡时将排风、渗透风一并考虑为上部开口处的排风,并假定各开口处于同一标高。针对图 1 及上述假定的物理模型,设室内冷(热)负荷为 $\sum Q$, 空调区空气比焓及其温度为 h_n 和 t_n , 上部开口处排风空气比焓及其温度为 h_p 和 t_p , 室外空气比焓及其温度为 h_w 和 t_w , 上部开口处总进、排风量分别为 G_{in} 和 G_{out} , 下部开口进风量为 G'_{in} , 空调送风比焓及其温度为 h_0 和 t_0 。以整个建筑物为控制体,列能量平衡方程如下:

$$\left. \begin{aligned} G_s h_0 + (G_{in} + G'_{in}) h_w + \sum Q &= G_{out} h_p + G_h h_n \\ G_s &= G_h + G_w \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 $\sum Q = Q_w + Q_n$, 为房间的冷(热)负荷,夏季冷负荷为正,冬季热负荷为负, W ; Q_w , Q_n 分别为围护结构负荷及室内人体、设备、照明等冷负荷, W 。

2.2 有效利用系数 ξ 的数学模型

定义上部开口能量有效利用系数 ξ 如下:

$$\xi = \frac{\Delta E}{Q_w + Q_n} = \frac{\Delta E}{\sum Q} \quad (2)$$

式中 ΔE 为上部诸开口因通风渗透引起的能量交换量,带走热量为正值, W 。

上部开口能量有效利用系数实际是通过上部开口排至室外的总能量占整个房间的冷/热负荷的份额。式(2)中 ΔE 可根据图 1 中的非空调区能量平衡由进出口空气比焓与开口处风量计算求得,本文计算时视空气为单相气体,其过程在此不作展开,计算方法可参见文献[1]。 $\sum Q$ 采用与室外温度成线性变化的简化计算方法。

3 上部开口的全年节能潜力分析

上部有效利用系数随室外温度变化或正或负,为此进一步深入研究上部开口的节能潜力对充分有效利用上部开口有重要意义。

3.1 空调切换温度与节能潜力

定义空调供冷切换温度为 t_{wc} 、空调供热切换温度为 t_{wh} 。当上部有效利用系数 $\xi = 1$, 即排风热量正好能带走室内负荷时,可利用自然冷源来满

足室内舒适要求,可以确定此时的室外温度 t_w 为系统启停空调的切换点。假定室内舒适性温度范围为 $t_{nh} \sim t_{nc}$, 则 t_{wc} 为上限室温 t_{nc} 停止空调供冷的切换温度, t_{wh} 为下限室温 t_{nh} 开启空调供热的切换温度。 $t_{wh} \sim t_{wc}$ 范围越大,全年利用自然冷源、关闭空调的时间越长,利用自然冷源向室内供冷的节能潜力就越大。

现利用上海地区 BIN 参数中负荷计算方法简化 $\sum Q$ 计算^[3]。房间负荷一般包括围护结构日射负荷及温差传热负荷、内部负荷等。因体育馆无外窗,所以窗户日射负荷不计。限于篇幅,以下简述之。

1) 温差传热负荷

$$TCL = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i K_i) (t_w - t_i)}{A_t} = 5.07 t_w - 145.61 \quad (3)$$

式中 TCL 为温差传热负荷, W ; A 为围护结构传热面积, m^2 ; K 为传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; A_t 为体育馆面积, m^2 ; t 为室内温度, $^{\circ}C$; 下标 i 表示不同位置。

2) 不稳定传热负荷

根据建筑结构特点,仅考虑屋顶及外墙部分因太阳辐射形成的不稳定传热。

根据文献[3-4]可知,7月份日照率 $FPS_7 = 0.54$; 1月份 $FPS_1 = 0.42$ 。屋顶和外墙的颜色修正系数 KC 分别为 0.5 和 1, 7月的日射冷负荷温差 $CLTDS_7$ 分别为 $12.78^{\circ}C$ 和 $6.14^{\circ}C$, 1月的 $CLTDS_1$ 分别为 $4.35^{\circ}C$ 和 $4.39^{\circ}C$ 。高峰冷负荷温度 t_{pc} 为 $36^{\circ}C$, 高峰热负荷温度 t_{ph} 为 $-6^{\circ}C$ 。则有

$$TSCL_7 = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times K_i \times CLTDS_7 \times KC \times FPS_7)}{A_t} \quad (4)$$

$$TSCL_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times K_i \times CLTDS_1 \times KC \times FPS_1)}{A_t} \quad (5)$$

$$M = \frac{TSCL_7 - TSCL_1}{t_{pc} - t_{ph}} \quad (6)$$

$$TSCL = M(t - t_{ph}) + TSCL_1 = 0.825 t_w + 30.97 \quad (7)$$

式(4)~(7)中 $TSCL$ 为不稳定传热负荷。

3) 内部负荷

照明设备:考虑各种因素,取单位空调面积负荷为 $Q'_{n1}=47.58 \text{ W/m}^2$;人员负荷:按满座率 50% 计,夏季为 $Q'_{n2}=79.7 \text{ W/m}^2$ 。

4) 单位面积房间冷负荷

单位面积房间冷负荷按下式计算:

$$CLQ = TCL + TSCL + Q'_{n1} + Q'_{n2} \\ = 5.26t_w - 13.82 \quad (8)$$

采用上式计算结果及房间面积便可求得 $\sum Q$ 。

在满足舒适性基本要求的前提下,取室内设计温度冬夏季分别为 18°C 和 28°C ,即室内舒适性温度范围为 $18\sim 28^\circ\text{C}$ 。根据 $\xi=1$ 可利用自然能源的概念,通过上述公式计算可得到空调供冷切换温度 $t_{wc}=14.91^\circ\text{C}$,空调供热切换温度 $t_{wh}=4.85^\circ\text{C}$ 。现利用上海地区一班制 BIN 参数^[3]计算过渡季(温度 $4.85\sim 14.91^\circ\text{C}$ 所对应时间)室内负荷,为简化计算取 $4\sim 14^\circ\text{C}$ 温频参数。由表 1 计算结果可知,此时房间负荷 $\sum Q=37.9 \text{ kWh/m}^2$ 。

表 1 过渡季能耗计算结果

BIN	时间/h	CLQ/(W/m ²)	冷(热)量/(kWh/m ²)
14	174	59.8	10.4
12	194	49.3	9.6
10	204	38.8	7.9
8	189	28.3	5.3
6	181	17.7	3.2
4	202	7.2	1.5
合计			37.9

3.2 节能潜力特性分析

图 2 为空调切换温度随室内满座率 m 的变化曲线,由图 2 可知,空调切换温度与满座率基本成线性关系,随满座率增大切换温度降低, $t_{wc}\sim t_{wh}$ 则基本保持在 6°C 左右,满座率每上升 0.1 切换温度就下降约 2°C 。这一经验数值对现场实际控制有一定的指导意义。由于不同气温出现的时间不

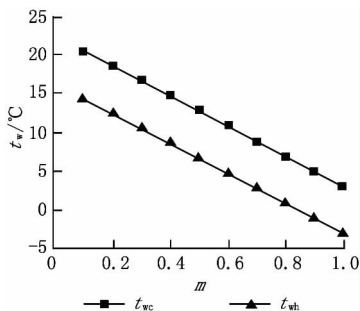


图 2 满座率对切换温度的影响

同,因此尽管切换温差相同且不随时间而变化,但其反映的过渡季节时间段长短是不同的,过渡季节节能量也是不同的。

图 3 为不同满座率下过渡季节通风期室内负荷总值,即过渡季节利用自然能源所减少的空调能耗总值。计算表明,满座率为 0.8 时节能量达到最大值。

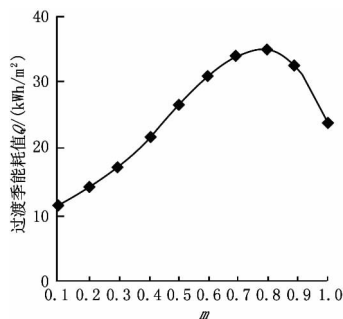


图 3 满座率对节能潜力的影响

图 4 是室外风速对空调切换温度的影响,小于 3 m/s 时切换温度基本保持不变。当风速大于 3 m/s 时切换温度随着室外风速的增大有所提高。但空调切换温差基本保持不变,因此如何根据室外风速指导空调设备以及开口的运行状态,是系统节能运行应考虑的另一因素。

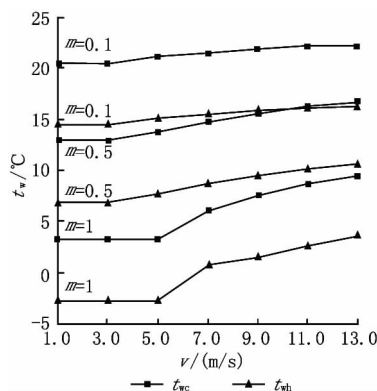


图 4 室外风速对切换温度的影响

图 5 所示曲线为冬夏季不同室内设计温度对切换温度的影响。从图中曲线可以看出,降低室内设计标准, $t_{wc}\sim t_{wh}$ 将增加,即过渡季时间延长,这意味着充分利用过渡季自然冷量、全年空调能耗减少量增加。例如,取室内设计温度冬夏季分别为 18°C 和 28°C ,此时切换温差最大,为 10.06°C (即: $14.91^\circ\text{C}-4.85^\circ\text{C}$)。

由上述分析可知,空调切换温差是衡量全年

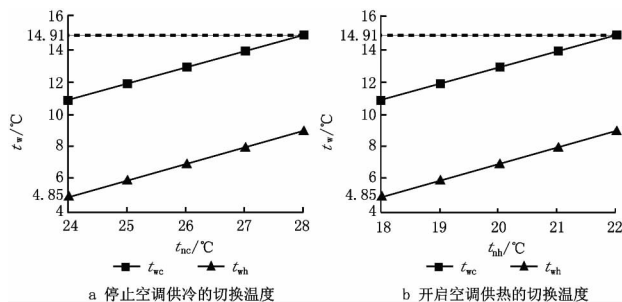


图5 设计温度对切换温度的影响

节能量大小的重要因素,为此,以不同的冬季室内设计参数为基础,改变空调切换温差,计算关闭空调时可利用的自然冷量即节能量大小,其结果绘于图6。计算结果表明,节能量与冬夏季室内设定

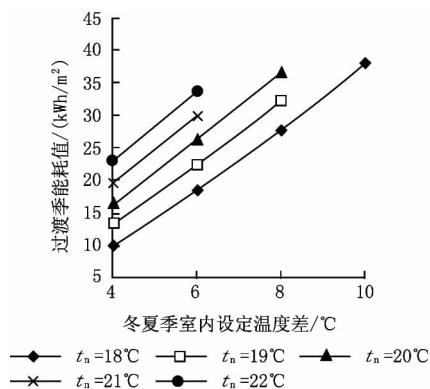


图6 设定温度对节能潜力的影响

温差有良好的线性关系,每增加 1 $^{\circ}\text{C}$ 温差,全年节能量增加约 4.65 kWh/m²,其节约量非常可观。同样的室温波动范围,高温段和低温段的节能量也不尽相同,如冬夏季室内设定温差 4 $^{\circ}\text{C}$,如 22~26 $^{\circ}\text{C}$,21~25 $^{\circ}\text{C}$,20~24 $^{\circ}\text{C}$,19~23 $^{\circ}\text{C}$,18~22 $^{\circ}\text{C}$ 5 种组合中,最大、最小相差为 12.8 kWh/m²。同时可以看到,过渡季节能耗与节能潜力之间有着

(上接第 54 页)

要环节。保温层厚度不是越厚越好,要经过技术经济比较,为减少管道散热损失,最小保温厚度应按经济厚度的方法计算,并且散热损失不得超过运行工况允许的最大散热损失。

4 结论与建议

4.1 随着热源的合理布局,抽汽压力的提高,保温性能的改善以及管道的合理布置,热电厂的供热范围将扩大,扩大热电厂的供热范围既有社会效益又有经济效益;热电厂供热范围的确定是政

相当紧密的联系,过渡季节充分利用自然冷源后可以最大限度地延长通风期, $t_{wc} \sim t_{wh}$ 的增加直接导致开启空调时间的减少,则全年空调能耗下降,节能潜力得到有效的挖掘。

4 结论

4.1 利用 $\xi=1$ 引入空调切换温度,可以指导空调系统设备与上部开口节能运行模式。以文中讨论的某体育馆为例,当室内满座率为 0.5 时,冬夏季室内设定温度分别为 18 $^{\circ}\text{C}$,28 $^{\circ}\text{C}$ 时,冬夏季启停空调的切换温度分别为 4.85 $^{\circ}\text{C}$ 和 14.91 $^{\circ}\text{C}$ 。过渡季节空调节能量约为 13.76 万 kWh。

4.2 由上海地区一班制 BIN 参数计算可知,体育馆满座率为 0.8 时,过渡季节利用自然冷量降低空调能耗值最大,其节能量为 35 kWh/m²。

4.3 室外风速小于 3 m/s 时,风速对有效利用系数及切换温度的影响不大,室外风速大于 3 m/s 时,风速增大,有效利用系数减小,切换温度上升。室外风速变化对节能潜力影响不大。

4.4 冬夏季室内设定温差是影响节能潜力的主要因素,每增加 1 $^{\circ}\text{C}$ 温差,全年节能量约增加 4.65 kWh/m²。同样的室温波动范围,高温段比低温段的节能量要大。

参考文献:

- [1] Huang Wugang, Chen Huang. The effective utilization of the upper openings in large space[C]// 2003 International Conference on Energy and the Environment, Shanghai, 2003: 1496-1501
- [2] 黄晨,李美玲,邹志军,等. 大空间建筑室内热环境现场实测及能耗分析[J]. 暖通空调,2000,30(6): 52-55
- [3] 龙惟定. 用 BIN 参数作建筑物能耗分析[J]. 暖通空调,1992,22(2): 6-11
- [4] ASHRAE. ASHRAE handbook fundamentals[M]. Atlanta, 1985

策性问题,是重大方案原则问题,影响方案成败。

4.2 供热范围的确定与以下主要因素有关:热源布局、输送方式、热媒温降和压降。应引导技术人员细致考虑影响因素,根据工程的具体情况去灵活处理。

参考文献:

- [1] 李善化,康慧. 实用集中供热手册[M]. 北京:中国电力出版社,2005
- [2] 郭震文. 试论较远距离集中供热[J]. 区域供热,2004(5): 13-20
- [3] 贺平,孙刚. 供热工程[M]. 3 版. 北京:中国建筑工业出版社,1993