

# 室内温、湿度对人体热舒适和空调能耗影响的研究

张景玲, 万建武

(广州大学 土木工程学院, 广东 广州 510006)

**摘要:**以采用一次回风集中空调系统的办公建筑为例,就室内温、湿度设计参数对空调房间热舒适环境和空调系统能耗的影响进行了分析。研究表明,在同样的室内人体热舒适环境(等效温度)的条件下,随着室内温度的增加,一次回风系统的需冷量和总的耗能量是增加的。因此,夏季提高空调室内温度是不节能的。在相同热舒适(等效温度)条件下,要减少空调系统的冷负荷,室内设计温、湿度参数在推荐的热舒适区范围内,宜采用较大的室内相对湿度和较低的室内干球温度的组合,或采用较高的等效温度。

**关键词:**等效温度;冷负荷;室内设计温度和设计相对湿度;一次回风集中空调系统

**中图分类号:** TB69 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7329(2008)01-0009-04

## Influence of Indoor Temperature and Humidity on Thermal Comfort and Energy Consumption of Air-Conditioning Systems

ZHANG Jing-ling<sup>1</sup>, WUAN Jian-wu<sup>2</sup>

(College of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangdong 510006, P. R. China,)

**Abstract:** Taking a central air-conditioning system as an example, this paper presents the influence of indoor design temperature and relative humidity on thermal comfort and energy consumption in an office building in Guangzhou, P. R. China. The study shows that under the identical indoor thermal comfort conditions, the air-conditioning system cooling load increases with the increase of indoor temperature. Increasing the indoor temperature can not decrease energy consumption. In order to reduce the energy consumption in a central air-conditioning system meeting the required indoor thermal comfort condition, an indoor design condition with larger relative humidity and lower temperature is recommended.

**Keywords:** effective temperature; cooling load; indoor design temperature and relative humidity; central air-conditioning system with return air

近年来,空调系统和设备的广泛应用,为人们创造了舒适的工作、生活环境,同时,空调能耗也已成为一个引人注目的问题。空调能耗一般占城市建筑能耗60%以上<sup>[1]</sup>,且比例不断增加。城市夏季用电高峰期,空调制冷耗电量占总发电量30%左右<sup>[2]</sup>,有的地区,如广州高达50%~60%<sup>[2]</sup>。为了减少空调能耗,政府要求夏季空调室内温度设置在26℃以上。虽然,室内设计温度的提高可以减少围护结构的温差传热造成的室内冷负荷,但是,不可否认的是会影响到人体的热舒适。图1所示的美国暖通、空调、制冷工程师学会(ASHRAE)提出的有效温度图,图中斜划的一组虚线

称为等效温度线,任何一条等效温度线上各点所表示的空气状态,其干球温度和相对湿度都不相同,但各个点的空气状态给人的冷热感觉是相同的。因此,等效温度的概念表明,当室内空气的流速一定时,如果要满足相同的人体热舒适要求,在提高夏季空调室内设计温度同时需要减少空调房间的室内相对湿度。这就向人们提出了以下问题:①在满足同样的室内人体热舒适环境的条件下,提高夏季空调室内设计温度是否节能?②在满足某一设定的室内人体热舒适环境的条件下,如何通过合理地选取室内设计参数来减少空调系统的能耗?

\* 收稿日期:2007-07-21

基金项目:广州市建设委员会科技发展基金项目(2006)02

作者简介:张景玲(1981-),女,硕士,主要从事制冷与空调节能技术研究,(E-mail)lsylise@yahoo.com.cn.

万建武(联系人),男,教授,博士(E-mail)wanjianwu@126.com.

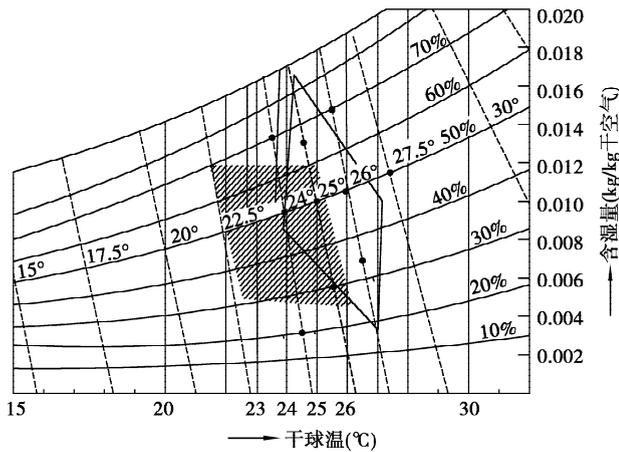


图1 新有效温度

舒适性空调室内设计参数的选择主要是根据人体热舒适需要,同时兼顾地区、经济性和节能要求。目前我国舒适性空调室内设计参数基本都根据设计规范的国家标准或部颁标准进行选择。不同类型的民用建筑对室内设计参数的标准也不同,如办公室,一直沿用《办公建筑设计规范》(JG67-89)规定的室内温度 $26\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度小于 $65\%$ ;《旅游旅馆建筑热工与空气调节节能设计标准》(GB50189-93)规定商场室内温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度小于等于 $65\%$ 等<sup>[3-9]</sup>。但目前已经运行的空调建筑室内设计参数均低于规范要求的数值<sup>[11]</sup>,尤其是夏季炎热潮湿的南方地区差异更大,使空调实际运行能耗增加。因此,室内设计参数的合理选择对于空调房间的热舒适和空调系统节能十分重要。目前,对舒适性空调室内设计参数合理选择方面的研究并不多。文献[10]采用国际标准化组织推荐的ISO7730中的PMV-PPD指标体系,得出空气温度改变对室内热舒适度的影响非常大,而相对湿度变化对室内热舒适的影响很小,又通过工程实例计算得出室内温度对空调能耗影响很小,而相对湿度对空调能耗影响很大,最后得出确定室内设计参数时,温度可以低一些,在一定温度范围通过提高相对湿度的途径减少空调能耗的结论,但没有给出合理选取室内设计参数的具体方法。文献[11]在文献[10]基础上,对空调系统室内设计参数与经济性进行了研究,基于系统经济性提出降低相对湿度可以降低空调系统能耗及初投资,认为在舒适度允许的范围内提高室内干球温度空调系统是节能的,研究结果与文献[10]的观点有所不同。针对目前在满足相同热舒适与节能的条件下,缺乏如何合理选取室内设计参数的研究,本文以广州地区办公建筑采用一次回风集中空调系统时的能耗为例,就室内设计参数对空调房间热舒适环境和空调系统能耗的影响进行分析,并且就如何合理选取室内设计参数提出作者的看法。

## 1 室内设计参数对空调房间热舒适环境和空调系统能耗的影响

此三层办公楼共188人工作。窗为铝合金框单层透明玻璃窗,挂浅色有内遮阳窗帘,南窗面积 $35.6\text{ m}^2$ ,一层无窗(与别的房间相连),东窗 $31.9\text{ m}^2$ ,西面无窗,北窗 $37.3\text{ m}^2$ 。屋面为合成高分子卷材和涂膜防水屋面,面积为 $891\text{ m}^2$ 。外墙为 $180\text{ mm}$ 水泥空心砖墙,南墙面积 $188.8\text{ m}^2$ ,一层无南外墙,西墙面积 $231.3\text{ m}^2$ ,北墙面积 $242.1\text{ m}^2$ ,东墙面积 $192\text{ m}^2$ ,地面面积为 $891\text{ m}^2$ 。

新风量标准是:一般办公室取 $25\text{ m}^3\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ;个人办公室取 $50\text{ m}^3\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ;会议室取 $25\text{ m}^3\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。以室内设计相对湿度取 $50\%$ 为例,采用一次回风集中空调系统,在送风温差不变(本文送风温差 $\Delta t=3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,便于后面的相同热舒适分析)的情况下分析相同热舒适条件下提高室内设计温度空调系统的能耗。表1是不同室内设计温度下的一次回风集中空调系统的能耗情况。

表1 不同室内设计温度下一次回风集中空调系统的能耗

室内温度 $t_N/{}^{\circ}\text{C}$	室内冷负荷 $Q_{01}/\text{kW}$	新风冷负荷 $Q_{02}/\text{kW}$	再热冷负荷 $Q_{03}/\text{kW}$	总的需冷量 $Q_{00}/\text{kW}$	再热量 $Q_{\text{再热}}/\text{kW}$	总的耗能量 $Q_0/\text{kW}$
23	105.6	120.8	235.0	461.4	235.0	696.4
24	101.6	113.9	225.2	440.7	225.2	665.9
25	97.6	106.8	216.0	420.4	216.0	636.4
26	93.6	99.5	206.6	399.7	206.6	606.3
27	89.6	92.0	196.4	378.0	196.4	574.4
28	85.6	84.1	185.8	355.5	185.8	541.3

现以通过室内设计参数 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 干球温度线, $50\%$ 相对湿度线交点的 $25\text{ ET}^{\circ}$ 等效温度线为室内热舒适基准,在满足 $25\text{ ET}^{\circ}$ 等效温度线室内热舒适条件下,当室内温度变化到 $t_N=24.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $t_N=25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,由图1可知,所要求的室内相对湿度分别是 $\varphi_N=65\%$ 和 $\varphi_N=30\%$ ,所需要的空调系统能耗如表2所示。从表2中的计算结果可知,随着室内设计温度的增加,此一次回风系统的需冷量和总的耗能量是增加的。此分析结果表明,在满足同样的室内人体热舒适环境的条件下,提高夏季空调室内设计温度是不节能的。

取 $24\text{ ET}^{\circ}$ 、 $26\text{ ET}^{\circ}$ 、 $27.5\text{ ET}^{\circ}$ 等效温度线上不同的温度、湿度参数组合下的相同热舒适条件进行计算,其结果如图2所示。从图2中的分析结果可知,在同样的室内人体热舒适环境(等效温度)的条件下,随着室内温度的增加,此一次回风系统需冷量和总的耗能量是增加的。因此,满足同样的室内人体热舒适环境的条件下,提高夏季空调室内设计温度是不节能的。从图2中还可知,当室内温度不变时,提高室内等效温度(即降低室内的热舒适标准)可以减少空调房间的需冷量。

表 2 相同热舒适条件下不同室内设计温度下的空调系统能耗

新有效温度 ET°	房间温度 °C	相对湿度 %	室内冷负荷 kW	新风冷负荷 kW	再热冷负荷 kW	需冷量 kW	再热量 kW	总的耗能量 kW
25.0	24.50	65	99.6	89.3	99.1	288.0	99.1	387.1
	24.75	60	98.6	94.4	134.4	327.4	134.4	461.8
	25.00	50	97.6	106.8	216.0	420.4	216.0	636.4
	25.25	35	96.6	126.8	368.1	591.5	368.1	959.6
	25.50	30	95.6	130.7	427.4	653.7	427.4	1 081.1

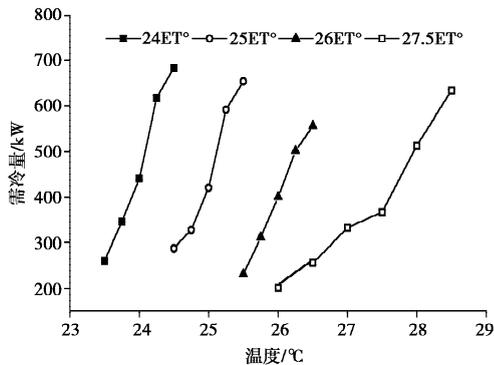


图 2 不同等效温度下,室内温度对空调系统需冷量的影响

## 2 室内温、湿度设计参数对空调系统能耗的影响

众所周知,提高室内设计温度可以减少围护结构的温差传热造成的室内冷负荷,对所讨论的办公楼,经计算,此一次回风系统在  $t_N = 21\text{ }^\circ\text{C} \sim 29\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_N = 50\%$  条件下的需冷量和总耗能量如图 3 所示<sup>[12]</sup>,随室内设计温度提高,一次回风系统的需冷量和总耗能量降低,这也是主张在夏季空调室内温度设置在  $26\text{ }^\circ\text{C}$  以上来减少空调能耗理论依据。但是,从上一节的分析可知,在相同热舒适(等效温度)条件下,提高室内温度会使空调系统的需冷量增加(图 2),这两者似乎相矛盾。实际上,从上一节的分析讨论可以推知:用通过提高室内设计温度、减少围护结构的温差传热造成的室内冷负荷来减少空调房间需冷量的做法,实际上是以降低空调房间的热舒适标准为代价的。因此,减少空调房间需冷量的措施之一应当是如何在满足某一个室内人

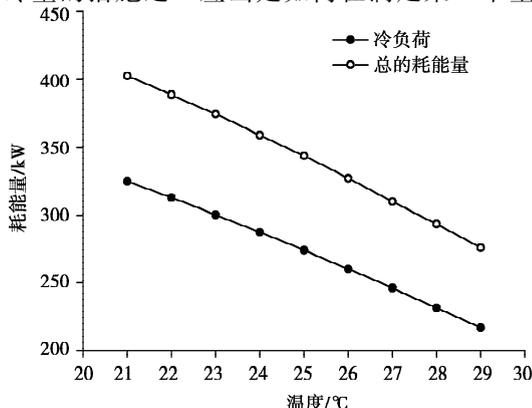


图 3 室内温度对空调系统能耗量的影响

体热舒适标准的条件下,合理地选取室内设计参数。

为便于分析,在图 4 中做出了不同等效温度和室内相对湿度条件下,室内温度对空调系统需冷量的影响。从图中结果可知:(1)在相同热舒适(等效温度)条件下,空调房间的室内设计参数应当位于该等效温度下空调系统需冷量(图 2)变化曲线,与某一室内设计相对湿度下的室内温度—空调系统需冷量变化曲线(图 3)的交点,此交点(这里称为“最佳室内设计状态点”)确定的室内干球温度和室内相对湿度,就是在满足所要求的室内热舒适(等效温度)条件下,使需要的空调系统冷负荷最小的室内设计参数。(2)在相同热舒适(等效温度)条件下,空调系统冷负荷随着室内相对湿度减小而增加、随着室内干球温度的增加而增加。因此,要减少空调系统的冷负荷,最佳室内设计状态点应当采用较大的室内相对湿度和较低的室内干球温度的组合;(3)室内相对湿度一定时,空调系统的冷负荷随着等效温度的增加而减少。因此,为了减少空调系统的冷负荷,最佳室内设计状态点宜采用较高的等效温度,即较低的室内热舒适标准。

从图中结果还可知,在某一室内相对湿度下,提高室内设计温度可以减少围护结构的温差传热造成的室内冷负荷,但是空调房间的等效温度增加。此结果表明,通过提高室内设计温度来减少空调房间的需冷量做法,实际上是以降低空调房间的热舒适标准为代价的。

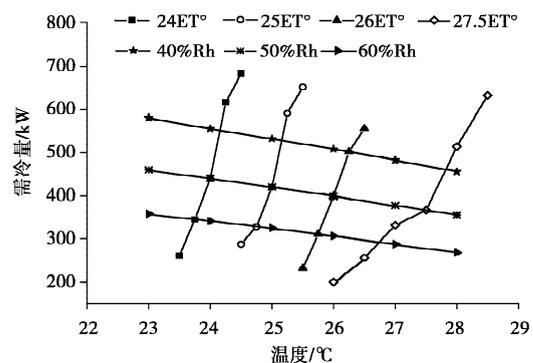


图 4 不同等效温度和室内相对湿度下,室内温度对空调系统需冷量的影响

从以上的分析讨论可知,在满足室内热舒适(等效

温度)的条件下,空调系统冷负荷由最佳室内设计状态点(等效温度—空调系统需冷量变化曲线、与某一室内相对湿度下的室内温度—空调系统需冷量变化曲线的交点)所决定。要减少空调系统的冷负荷,最佳室内设计状态点应采用较大的室内相对湿度和较低的室内干球温度的组合。但需要注意的是,为了便于比较,以上的分析讨论都是基于相同的送风温差下的计算结果。对于具体选择的最佳室内设计参数,可以在设计中采取较大的送风温差可进一步减少空调系统的冷负荷。图5是在24ET\*和26ET\*的等效温度线上,当所讨论的一次回风集中空调系统在不同室内温度和相对湿度组合下的室内状态,送风温差对空调系统需冷量的影响。

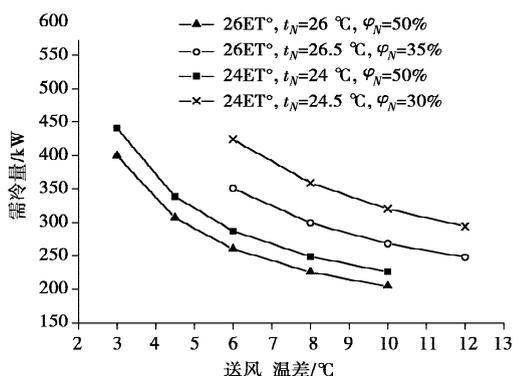


图5 不同等效温度条件下,送风温差对空调系统需冷量的影响

从图中结果可知,提高送风温差对减小空调系统的需冷量具有很显著的效果。不过,提高送风温差会使机器露点降低,制冷机效率降低,增加系统能耗。为了避免机器露点过低,使制冷机效率降低、能耗增加,可采用文献[12]所讨论的热管式空调机组,利用热管回收的热量进行再热。这不仅可以提高送风温度,提高制冷机效率和降低制冷机能耗,而且通过预冷新风,减少空调系统的冷量和制冷系统的装机容量,节省设备投资和运行费用。

### 3 结论

本文以广州地区办公建筑的一次回风集中空调系统为例,就室内设计参数对空调房间热舒适环境和空调系统能耗的影响进行了分析。研究结果表明:

1)在同样的室内人体热舒适环境(等效温度)的条件下,一次回风系统的需冷量和总的耗能量随着室内温度的增加而增加。因此,夏季提高空调室内温度是不节能的。当室内设计相对湿度不变时,提高室内设计温度来减少空调房间能耗的做法,实际上是以降低空调房间的热舒适标准为代价的。

2)在同样的室内人体热舒适环境(等效温度)的条件下,一次回风系统的需冷量随着室内相对湿度的增加而减小。

3)在相同热舒适(等效温度)条件下,某一室内相对湿度下的空调系统的最小冷负荷由“最佳室内设计状态点”(等效温度—空调系统需冷量变化曲线与室内温度—空调系统需冷量变化曲线的交点)确定。要减少空调系统的冷负荷,最佳室内设计状态点宜采用较大的室内相对湿度和较低的室内干球温度的组合,或采用较高的等效温度。

### 参考文献:

- [1] 黄虎,束鹏程,李志浩. 中央空调系统的节能与能源合理利用[J]. 节能,1998,(8):18-21.  
HUANG Hu, SHU Peng-cheng, LI Zhi-hao. Energy saving and reasonable using of central air-conditioning system [J]. Energy Saving, 1998,(8):18-21.
- [2] 马昌. 关于冰蓄冷空调的几个问题的浅见[J]. 制冷学报, 1996,(1):38-41.  
MA Chang. Analysis of several problems about ice-storage air-conditioning [J]. Journal of Refrigeration, 1996,(1):38-41.
- [3] GBJ 19-87 采暖通风与空气调节设计规范[S].
- [4] JGJ 62-90 旅馆建筑设计规范[S].
- [5] JGJ 67-89 办公建筑设计规范[S].
- [6] JGJ 48-88 商店建筑设计规范[S].
- [7] JGJ 64-89 饮食建筑设计规范[S].
- [8] GB 9670-88 商场(店)、书店卫生标准[S].
- [9] GB 50189-93 旅游旅馆建筑热工与空气调节节能设计标准[S].
- [10] 闫斌,郭春信,程宝义,等. 舒适性空调室内设计参数优化[J]. 暖通空调, 1999,29(1):44-45.  
YAN Bin, GUO Chun-xin, CHENG Bao-yi. Optimization of indoor design conditions [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 1999,29(1):44-45.
- [11] 殷平. 室内空气计算参数对空调系统经济性的影响[J]. 暖通空调, 2002,32(2):21-25.  
YIN Ping. Effects of indoor air design conditions on first investment and operating costs of air conditioning systems [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2002,32(2):21-25.
- [12] 张景玲,万建武. 热管式空调机组在空调系统的节能应用研究[J]. 广州大学学报(自然科学版),2006,5(6):81-85.  
ZHANG Jing-ling, WAN Jan-wu. The study of energy saving in air-conditioning system using heat pipe air-conditioner [J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition), 2006, 5(6):81-85.

(编辑 陈 蓉)