

文章编号:1673-2049(2006)01-0090-05

室内环境与自然通风

朱 唯^{1,2}, 狄育慧^{1,3}, 王万江^{1,4}, 李安桂¹

(1. 西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 长安大学 建筑学院, 陕西 西安 710061;

3. 西安工程科技学院 环境与化学工业学院, 陕西 西安 710048;

4. 新疆大学 建筑工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要:通风的目的是保证室内良好的空气品质, 采用自然通风方式是生态建筑设计的重要内容, 通过良好的自然通风组织减少对空调的利用, 并及时将污染物排出, 改善室内空气品质。在热舒适方面, 自然通风形成的室内热环境有利于人体舒适性。分析了生态建筑中自然通风对室内空气品质与室内热环境产生的影响, 探讨了利用自然通风来改善建筑的室内环境的效果和策略, 并提出了相应的设计方法。研究结果表明: 组织合理的自然通风, 可以有效地改善室内的空气品质和室内热环境。

关键词:自然通风; 室内空气品质; 室内热环境; 热舒适

中图分类号: TU834.1

文献标志码: A

Indoor Environment and Natural Ventilation

ZHU Wei^{1,2}, DI Yu-hui^{1,3}, WANG Wan-jiang^{1,4}, LI An-gui¹

(1. School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, Shaanxi, China;

2. School of Architecture, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China; 3. School of Environment and Chemical Industry, Xi'an University of Engineering Science and Technology, Xi'an 710048, Shaanxi, China;

4. School of Architectural Engineering, Xinjiang University, Ürümqi 830046, Xinjiang, China)

Abstract: The aim of ventilation is to ensure the good characters of the indoor air condition. One of the key issues in the ecological design process of the buildings is the application of natural ventilation. A good natural ventilation system is an effective approach to reduce the dependence of the indoor air condition on the mechanical air conditioning system, drain away the indoor air pollutants efficiently and improve the indoor air quality. The indoor thermal environment operated by the natural ventilation has beneficial effect on the thermal comfort of human beings. Authors presented the study on the influences of natural ventilation in the ecological buildings on the indoor air quality and the indoor thermal environment by investigating a big set of data. The approach to improve the indoor environment in the buildings by the application of natural ventilation was discussed. The appropriate design method was concluded and highlighted. The results show that designing reasonable natural ventilation, the indoor air quality and the indoor thermal environment will be improved effectively.

Key words: natural ventilation; indoor air quality; indoor thermal environment; thermal comfort

0 引 言

建筑环境包括自然资源在内的一切建筑外部环境,同时也涉及到建筑内部环境。建筑如果能充分而有效地利用室内、室外的自然资源环境,可以称之为符合健康且舒适的可持续建筑。由于自然通风涉及建筑形式、热压、风压、室外空气的热湿状态和污染状况等诸多因素,因此设计有效的自然通风是十分困难的。随着科学技术的发展,世界各国如美国、日本、加拿大等对自然通风的标准、设计等进行了改进,现在自然通风设计已有了先进的设计软件和能耗分析软件,并有了自动控制系统,使自然通风设计可以实现趋利避害。

1 影响自然通风的相关因素

通风技术的主要目的是保证室内具有良好的空气品质,而所谓良好的标准是由生活方式与行为模式之间的相互匹配机率制定的,因此制定保证室内环境的要求条件时,首先考虑的无疑是人们的健康和安全。通风扮演的角色是稀释和去除室内的污染物,所以通风技术是保证健康室内环境的基础,因此了解与通风相关的各个因素是如何互相影响是很重要的。图 1 中所总结的各个因素之间的相互影响是那些想提供一个成功通风方案的建筑或设备工程师所必须了解的,此外,建筑物的空间结构布局与组合形式、区域的地理、气候条件等对通风也有着重要的影响^[1]。

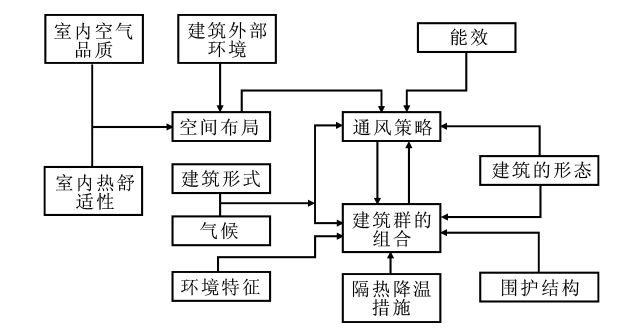


图 1 与自然通风效果相关的因素
Fig. 1 Related Factors of Natural Ventilation Effect

2 自然通风与室内空气品质

室内空气品质(IAQ)直接影响到人们的身心健康和工作效率,特别是对现代密闭办公楼的工作人员,美国采暖、制冷与空调工程师学会 ASHRAE 62-1989R 标准中,将可接受的室内空气品质定义为,空调房间绝大多数人没有对室内空气品质表示

不满意,并且空气中没有已知的污染物达到了可能对人体健康产生严重威胁的浓度;将感受到的可接受的室内空气品质定义为,空调房间绝大多数人没有因为气味或刺激性而表示不满。ASHRAE 62-1989R 标准中对 IAQ 的描述涵盖了客观指标和人的主观感受两个方面的内容,比较科学和全面。

为了解室内空气品质的状况及其影响因素,各国学者对不同类型建筑中的室内空气品质进行了研究,结果表明引起室内空气品质问题的原因可以分为两类:一是暖通空调(HVAC)系统设计与运行不当;二是各类污染源产生的污染物作用。第一类原因包括:① 通风和气流组织问题,如新风量不足,室内气流组织不好等;② 热舒适性问题,当室内未达到希望的温度和湿度时,由于对热状况的不满,人们也会对 IAQ 产生抱怨。第二类原因包括:① 由于室外大气环境的恶化,由新风吸入口或门窗等进入的污染物;② 交叉污染;③ 室内污染;④ 微生物污染。

污染物的种类有多种,它们对人体产生的影响有很大差异;另外每种污染物有其自身的污染源。广义的污染物包括了固体颗粒、微生物和有害气体,其中微生物多依附于固体颗粒和液滴传播。气态污染物种类繁多,除 CO、CO₂、NH₃ 和 Rn 等人们熟知的气体之外,还有各种挥发性有机化合物(VOC),一般认为它们会对人体的呼吸系统等有较大影响。固体颗粒污染物会从室外通风和空调系统带入室内,而各种微生物污染大多跟室内湿度和空调系统冷凝水等状况有关。

新风量和新风清洁度是新风问题中的两个方面,在通风设计中应该充分将它们综合考虑,以保证室内空气品质。传统观念认为,新风是为了清除人们所产生的污染物,所以房间最小新风量仅由每人最小新风量指标 R_p 确定,以单人办公室为例,ASHRAE 62-1989R 标准中 $R_p = 36 \text{ m}^3 \cdot (\text{h} \cdot \text{人})^{-1}$ 。随着科学技术的发展,现代建筑中装饰材料、家具、通风空调系统本身均为污染源,并且其气味强度远远超过人所产生的,因此在 ASHRAE 62-1989R 标准中,认为用以确定新风量的污染物来自人员和室内气体污染源两个方面,故房间最小新风量由每人最小新风量指标 R_p 与每平方米地板所需最小新风量指标 R_b 之和确定,以单人办公室为例,ASHRAE 62-1989R 标准中 $R_p = 10.8 \text{ m}^3 \cdot (\text{h} \cdot \text{人})^{-1}$, $R_b = 1.26 \text{ m}^3 \cdot (\text{h} \cdot \text{人})^{-1}$,最小新风量=人数 $\times R_p$ +地板面积 $\times R_b$ 。ASHRAE 62-1989R 标

准中有关变风量的控制明确指出:在整个变风量运行中,新风量要始终保证在设计新风量的 90% 以上。

在暖通空调和自然通风中,与室内空气品质关系密切的除新风和污染物以外,气流组织的设计至关重要,气流组织得好,不仅可以将新鲜空气有效地输送到工作区,还可以及时地将污染物排出,改善室内空气品质。

对于建筑设计人员,应在建筑设计方案阶段就考虑到空气品质问题,如尽量选择低挥发性材料,控制 HVAC 系统和建筑围护结构的湿度以减少微生物生长,选择合理的自然通风方式以提高房间的通风换气效果等。近年来在国外修建了一些示范建筑,从建筑设计之初便充分考虑 IAQ 问题,避免了对空调和通风设计提出过高要求。

在通风设计方面,设计人员应正确选择最小新风量和换气次数,由于建筑物内窗户会影响围护结构的气密性、建筑的压力分布和气体平衡等,因此应充分考虑建筑内窗户的影响,维持建筑内合理的压力分布,保证室内合理的通风换气效果。

3 自然通风与热舒适

热舒适在研究人体对热环境的主观热反应时已被广泛采用。在 ASHRAE 55-1992 标准中对热舒适有明确定义,即热舒适是对热环境表示满意的认识状态。Houghton、Yaglou、Gagge 和 Fanger 等认为:热舒适和热感觉是相同的,或者说,热感觉处于中性(不冷不热)就是热舒适。甚至可将微凉(Slight Cold)到微暖(Slight Warm)主观反应区称为热舒适区。当然,在具有这些热感觉的同时,空气湿度应适当,风速应维持在小于 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的状况下。Gagge 解释热舒适为一种对环境既不感到热也不感到冷的舒适状况,也就是人们在这种舒适状态下会有中性的热感觉^[2]。

自然风的流动一般没有规律,因此可以使人产生新鲜感,只有达到一定的风速时人才会产生爽快感,而空气流动大多是紊乱的。Hinze 认为:紊流的基本特征在于其具有随机性质的涡旋结构,由于这些涡旋在流体内部的随机运动而引起流速度脉动,所以脉动强度和频谱特征是描述紊流不可缺少的指标。对于相同平均速度、不同脉动强度和频率分布的气流,会影响到人体与周围环境的热交换,以及皮肤表面的温觉感受器,使人体产生不同的热感觉。

在热环境的舒适度方面,多数研究集中在房间

温度对人体热感觉的作用方面。这是因为一方面温度比空气流速对人体的热感觉有更大的影响;另一方面在空调房间内,气流流速通常比较小。Schiller 在夏季对典型的办公建筑的调研中发现,气流平均速度为 $0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;Dear 在调查中发现,空调房间的气流平均速度为 $0.13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;自然通风房间的气流平均速度为 $0.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

许多学者对不同环境下不同吹风模式进行了比较详细的研究。Dear 和 Fountain 针对不同使用者对房间气流的感觉进行了详细的讨论,他们对澳大利亚北部 12 座空调系统办公楼的 836 名工作人员进行了调查,大多数对周围热环境不满的人,虽然处于 ASHRAE 55-1992 标准定义的舒适环境中,但仍然抱怨气流速度过小,空气有些沉闷。相比之下,对由于气流引起的吹风感到抱怨的则要少得多^[3]。

Bauman 等对美国旧金山的办公建筑进行了调查研究,对安装空调前后的物理工况进行测量,同时又调查了传统空调环境中的对照组,有关风速调查结果表明:当温度高于 23.5°C 后,在传统空调环境中 67% 的工作人员希望加大风速;安装工位空调后,受试者选择的平均风速要大于安装前他们所处的风速状况。研究结果表明:如果给使用者自主调节其环境风速的自由,他们将会选择大于 ASHRAE 55-1992 标准中规定的风速,同时可使热舒适区随之加宽。

在实际生活中人们通常会利用各种吹风方式的冷却效应创造一个热舒适环境^[4]。清华大学的研究人员对人们在不同环境下对吹风的不同主观感受进行了调研,发现人们对随机及不确定的自然风的感受与对单调的机械风(风扇吹风)的感受有较大的不同。除睡眠时间外,任何时候都喜欢自然风的人数占被调查者总数的 75.5%;最喜欢自然风吹风方式的占 88.3%;最喜欢有自然风的凉爽环境的占 93.4%;与有空调的凉爽环境相比,有 84% 的被调查者宁可呆在有点热但有自然风的环境下。调查结果显示:人们对自然风的偏爱显而易见,即使在有点热的环境中,只要有自然风,人们大多数还是选择自然环境而不是空调环境。调查中人们对自然风常用空气清新、风速变化随机无规律、柔和、吹风有新鲜感等来描述,而对电风扇吹风除了凉爽的描述外主要集中于吹风单调、长时间吹风不舒适等^[5]。

试验结果表明:在 $15^\circ\text{C} \sim 18^\circ\text{C}$ 范围内,测定人体感知风速的最低值为 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 30°C 时人体感知风速的最低值为 $0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,因此环境温度愈

高,人体的有感风速就越大。在冬季,入侵室内的风速超过 $0.25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,人体就会感觉不舒服。

在室内进行一般作业时,理想风速应控制在 $1.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以内。当风速超过 $1.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,气流则会干扰纸张作业,这时必须控制风量及风流经过的路径,风压较大时人会产生不舒适感(表 1)。表 2 为某一欧洲建筑穿堂风与无烟囱效应的单侧通风通风率的比较。

表 1 风速对人体作业的影响

风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	对人体作业的影响
0~0.25	不易察觉
0.25~0.5	愉快,不影响工作
0.5~1.0	一般愉快,但是需提防纸张被吹散
1.0~1.5	稍微有风击以及令人讨厌的吹袭,桌面上的纸张会被吹散
>1.5	风吹明显,如若维持良好的工作效率及健康条件,需改善通风量和控制通风路径

表 2 欧洲住房的通风率

通风形式	房间规格	参考风速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	通风量/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	通风率/ ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)
穿堂风	体积 $6\text{ m}\times 8\text{ m}\times 3\text{ m}$,窗面积 8 m^2 ,开启面积 4 m^2	2.7	8.6	215
无烟囱效应的单侧通风	参考英国标准协会的 BS 5925 Cd 12.4 条款	2.7	1.7	43

4 自然通风与室内环境的改善

自然通风的动力因素对建筑的影响是不同的,甚至随着地区和地形的不同、建筑的布局和周边环境状况的差异、室内使用情况等产生很大的差异^[6-7]。通风的主要手段在于利用可感气流的风量、风速和通风路径。在一般民用建筑中,室内外的温度差不大,进、排气口的高度相近,难以形成有效的热压,主要靠风压组织自然通风。如果室外的风速较小或者没有风时,建筑内部通风将难以通畅,因此在建筑中要善于利用自然通风原理,合理进行建筑的总体布局和建筑的开口设计,并采取必要的建筑设计和技术手段来改变环境中各气候要素对建筑的影响,形成诱导通风,使通风成为改善室内热环境的有利因素。

用被动式措施改善室内生态环境,主要是解决好太阳辐射和自然通风问题。

4.1 针对太阳辐射采取的措施

太阳辐射对于建筑既有利又有弊:一方面增加进入室内的太阳辐射可以充分利用昼光照明,减少电气照明的能耗,也可减少照明引起的夏季空调冷负荷及冬季供暖负荷;另一方面增加进入室内的太阳辐射又会引起空调日照冷负荷的增加。

(1)选用节能玻璃窗,如在供暖为主的地区,选用内层有低辐射 Low-E 镀膜、中间充惰性气体的双层玻璃窗,能有效地透过可见光,遮挡室内长波辐射,发挥温室效应;在供冷为主的地区,选用外层有 Low-E 镀膜的玻璃或单层镀膜玻璃窗,能有效地透过可见光,遮挡直射日照和室外长波辐射。

(2)采用通风窗技术,将空调回风引入双层窗夹层空间,带走由日照引起的中间层内百叶温度升高的对流热量。中间层百叶在光电控制下自动改变角度,遮挡直射阳光、透过散射可见光。

(3)最简单易行但又最有效的方法是设置建筑外遮阳板,也可将外遮阳板与太阳能电池(又称光伏电池)结合,不但降低空调负荷,而且还能为室内照明提供补充能源。

4.2 针对自然通风采取的措施

由于自然通风涉及建筑形式、热压、风压、室外空气的热湿状态和污染情况等诸多因素,设计有组织的自然通风是十分困难的。当然,依靠先进的设计工具,特别是计算流体力学(CFD)软件和能耗分析软件,通过自动控制系统,能使自然通风设计得以实现。

(1)建筑中若外窗能够部分开启,将会大大提高居住者对室内环境的主观评价,这首先是在心理上满足了人们亲近自然的需求。清华大学的研究结果表明:自然风与机械风在频谱、湍流度等物理特性上有很大差别,因此给人带来的舒适感也不同;另外,经过漫长的风道、空气处理装置、风口进入室内的新风,其新鲜度肯定不及从窗户直接进入的自然风。

(2)高层建筑中可利用建筑中庭的热压作用实现自然通风,如德国法兰克福商业银行总部大楼是欧洲最高的超高层建筑,其高度为 300 m ,50 层,总建筑面积为 $120\,736\text{ m}^2$ 。在其塔楼三角形平面中间有一个直通到顶的中庭,三角形的每一边上各设计了 4 个 12 层高的单元,每个单元带有一个 4 层高的共享空间。共享空间里栽种各种植物,形成空中花园。通过中庭和共享空间组织实现自然通风。共享空间的设置,能引入室外新鲜空气、阳光和绿色植物,充分体现了绿色建筑亲近自然、回归自然的设计

理念。

自然通风可以在过渡季节提供新鲜空气和实现降温,也可以在空调供冷季节利用夜间通风,降低围护结构和家具的蓄热量,减少第二天空调的启动负荷。试验结果表明:充分的夜间通风可使白天室温降低 $2^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。

(3)在外窗不能开启和有双层或 3 层玻璃幕墙的超高层建筑中,可以利用间接自然通风,即将室外空气引入玻璃间层内,再排到室外。这种结构不同于一般玻璃幕墙,其双层玻璃之间留有较大的空间,被称为“会呼吸的皮肤”。冬季,双层玻璃间层形成阳光温室,能提高建筑围护结构表面温度;夏季,利用烟囱效应在间层内通风,能将间层内热空气带走。

4.3 建筑室内生态环境的改善

某些大规模高层建筑,特别是超高层建筑由于规模大、内部使用情况复杂,在多数气候区不可能完全靠被动式方法保持良好的室内环境品质,因此要采用机械和电气的手法,在节能和提高能效的前提下,按照以人为本的原则,改善室内生态环境。在既要节能,又要保证室内环境品质的前提下,风量可调的置换式送风系统、冷辐射吊顶系统、结合冰蓄冷的低温送风系统以及除湿空调系统,在国外智能化办公建筑中已成为首选的空调方案。

5 结 语

(1)充分的通风是保证健康室内环境的基础,借助自然通风能稀释和去除空间的污染物。

(2)有效的自然通风能改善室内热环境,提高室内的舒适性。

(3)采取针对性的设计方法,合理组织自然通风,有利于改善室内生态环境。

(4)随着人们对居住和工作环境要求的提高,通风节能的重要性日益突显,在生态建筑中,通过自然通风和多元通风创造一个舒适的室内环境,充分利用自然资源,有利于节约能源,保护人体健康和生态环境。

参考文献:

References:

[1] 李安桂. 自然通风技术控制进展[D]. 西安:西安建筑

科技大学,2004.

LI An-gui. Natural Ventilation Technology Control Progress[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology,2004.

[2] 赵荣义. 关于“热舒适”的讨论[J]. 暖通空调,2000,30(3):25-26.

ZHAO Rong-yi. Discussion on Thermal Comfort[J]. Heating Ventilating and Air Conditioning, 2000, 30(3):25-26.

[3] 夏一哉,牛建磊,赵荣义. 空气流动对热舒适影响的实验研究:总结与分析[J]. 暖通空调,2000,30(3):41-44.

XIA Yi-zai, NIU Jian-lei, ZHAO Rong-yi. Effects of Air Movement on Thermal Comfort: a Literature Review[J]. Heating Ventilating and Air Conditioning, 2000,30(3):41-44.

[4] 洗京晖,倪振华,谢壮宁,等. 城市广场环境风场分析及控制[J]. 建筑科学与工程学报,2005,22(2):79-82.

XIAN Jing-hui, NI Zhen-hua, XIE Zhuang-ning, et al. Analysis and Control of Urban Plaza Wind[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2005,22(2):79-82.

[5] 贾庆贤,赵荣义,许为全. 吹风对舒适性影响的主观调查与客观评价[J]. 暖通空调,2000,30(3):15-17.

JIA Qing-xian, ZHAO Rong-yi, XU Wei-quan. Survey of the Impact of Air Movement on Thermal Comfort and Its Objective Assessment[J]. Heating Ventilating and Air Conditioning,2000,30(3):15-17.

[6] 刘 静,俞炳丰,高振生. 低温送风系统的研究进展[J]. 建筑科学与工程学报,2005,22(3):70-74.

LIU Jing, YU Bing-feng, GAO Zhen-sheng. Study Progress of Cold Air Distribution Systems[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2005, 22(3):70-74.

[7] 霍小平,葛翠玉. 建筑室内热环境测试与分析[J]. 建筑科学与工程学报,2005,22(2):75-78.

HUO Xiao-ping, GE Cui-yu. Analysis and Test of Thermal Environment Data in Buildings[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2005, 22(2):75-78.