

从通风保障效果全面认识 房间通风量概念*

清华大学 梁超[☆] 蒋选 王鲁平 邵晓亮 李先庭[△]

摘要 通常采用名义通风量指标描述房间整体的通风情况,然而实际室内环境多为非均匀环境,仅用名义通风量很难有效评价房间真实的通风效果。从实际通风效果的角度出发,定义名义通风量、有效通风量和局部通风量 3 类新风量指标,并通过算例说明 3 类指标的区别。建议采用有效风量代替名义风量用于评价房间的整体通风效果;而在评价局部区域通风效果时,采用局部纯净风量和局部通风量指标。

关键词 通风 名义通风量 有效通风量 局部纯净风量 局部通风量

Understanding of ventilation rate based on ventilation effect

By Liang Chao[★], Jiang Xuan, Wang Luping, Shao Xiaoliang and Li Xianting

Abstract The nominal ventilation rate are normally applied to evaluation of the overall ventilation effect. However, it is difficult to perform effective evaluation by using this index because of the non-uniform characteristics of indoor environment. Demonstrates three ventilation indices, i. e. the nominal ventilation rate, effective ventilation rate and local ventilation rate from the actual ventilation effect angle, and indicates their difference with a case study. Suggests that the effective ventilation rate, in place of nominal ventilation rate, be used to evaluate the overall ventilation effect while local net flow rate and local ventilation rate be used to evaluate the local ventilation effect.

Keywords ventilation, nominal ventilation rate, effective ventilation rate, local net flow rate, local ventilation rate

★ Tsinghua University, Beijing, China

①

0 引言

通风是保障室内环境的重要手段。通过向建筑物内输送一定量的新风,达到改善室内空气质量的目的。传统室内通风主要基于均匀混合假设^[1],认为送入房间的新风能均匀输送至房间各处。因此,新风量成为通风设计中判断房间空气质量好坏的关键指标。国内外很多通风标准都对房间新风量取值有规定^[2-3]。但在一些实际工程中,经常会发现虽然新风量按照标准设计,但房间通风效果较差,例如,由于送风口和回风口位置不当造成的新回风短路^[4]。除机械通风房间外,自然通风也存在通风效果较差的情况,例如,一个单侧通风的房间,有时室外空气从窗户下部进入,但很快从上部流出,新风并不能有效输送到房间内部。而且自然通风量往往处于变化状态,房间的换气效果难以把握。

以上问题与气流组织密切相关。由于气流组织的输运特征,导致实际房间环境并非均匀混合,而是一个非均匀的分布环境,此时,新风对各区域的换气能力不同,房间有效利用的新风量并不等于送入的新风量。从房间保障效果看,不应仅关注从通风系统送入房间多少新风,而更应关注房间最终有效利用了多少新风。此外,在一定的气流组织下,新风对房间不同局部区域的换气能力也是不同的,当室内人员仅占据房间局部某区域时,更应关注人员占据的局部区域的新风换气情况。

由于目前工程界普遍存在仅关注送入通风房间的名义新风量的情况,而对有效风量和局部风量

① ☆ 梁超,男,1990年7月生,在读博士研究生

△ 李先庭(通信作者)

100084 北京市海淀区清华大学建筑技术科学系

E-mail: xtingli@tsinghua.edu.cn

收稿日期:2013-09-06

修回日期:2013-10-07

* 国家杰出青年科学基金资助项目(编号:51125030),“十二五”国家科技支撑计划课题(编号:2012BAJ02B07)

认识不深入,因此,本文将在归纳梳理国内外已有通风量指标基础上,对稳态通风情况下的房间名义通风量、有效通风量和局部通风量等概念进行介绍,期望通过正确理解各类通风量指标以提高室内环境的保障质量。鉴于新风量变化时有效通风量存在时间维度和空间维度的变化,属于更复杂的问题,本文不包含这部分内容。

1 房间整体的通风量

1.1 名义通风量

目前常用的房间通风量(或新风量)^[5-8]实为传统意义上的名义通风量,即从外界进入房间的总空气流量。当房间内均匀混合时,名义通风量越大,则房间整体的通风效果越好,反之则通风效果越差。因此,对于均匀混合房间,名义通风量是一个可以评价房间整体通风效果的指标,它与名义换气次数和名义时间常数的关系为

$$Q = NV = \frac{V}{\tau_n} \quad (1)$$

式中 Q 为房间的名义通风量, m^3/s ; N 为房间的名义换气次数, s^{-1} ; V 为房间体积, m^3 ; τ_n 为房间的名义时间常数, s 。

然而实际工程中室内环境并非均匀混合,室内参数存在非均匀分布。对于这种场景的评价,仅使用集总意义上的名义风量不能考虑气流组织对换气或者排污的影响,因此无法评价房间整体的通风效果。

此外,作为集总意义上的指标,名义通风量必须以“集总”的方式才能准确测量。这种“集总”的处理方式要求房间内部空气均匀混合,当室内空气存在非均匀分布时,常用的示踪气体下降法无法准确测得名义通风量^[9]。

1.2 有效通风量

有效通风量可综合考虑名义通风量和气流组织对通风效果的影响。以换气为目的的通风,其有效通风量(称作“换气有效风量”)可定义如下^[10]:

$$Q_e = N_e V = \frac{V}{\bar{\tau}} \quad (2)$$

$$Q_e = 2Q\eta_a \quad (3)$$

式(2), (3)中 Q_e 为房间的有效通风量, m^3/s ; N_e 为房间的有效换气次数, s^{-1} ; $\bar{\tau}$ 为房间的体平均空气龄, s ; η_a 为房间的换气效率,即活塞流下房间平均空气龄与实际通风条件下房间平均空气龄的比值, $\eta_a = \tau_n / (2\bar{\tau})$ 。

换气有效风量由名义通风量和换气效率综合决定,名义通风量一定时换气效率越高则有效通风量越大。活塞通风的有效通风量是名义通风量的2倍,理想混合通风的有效通风量与名义通风量相等。因此,换气有效风量的物理意义为送入房间的名义通风量在某种气流组织下相对于理想混合通风的换气效果。

以排污为目的的通风,其有效风量(称作“排污有效风量”)可定义为^[11]

$$Q'_e = Q\epsilon \quad (4)$$

式中 Q'_e 为排污有效风量; ϵ 为排污效率, $\epsilon = C_{er} / \bar{C}$, 其中 C_{er} 为出口污染物质量浓度, kg/m^3 , \bar{C} 为房间污染物平均质量浓度, kg/m^3 。

由于排污效率既受气流组织影响,也与室内污染源的分布有关,因此排污有效风量由名义通风量、气流组织和污染源分布三种因素综合决定。需要说明的是,由于空气龄场的分布与室内均匀等强度源形成的污染物浓度场的分布完全一致,换气有效风量事实上是排污有效风量的一种特殊形式。

采用示踪气体下降法虽然无法测得名义通风量,但合理布点获得的多点测量数据可计算出较准确的房间体平均空气龄,从而得到房间的有效通风量。因此,相比于名义通风量,有效通风量的另一个优点是存在相对较准确的测量方法。

2 房间局部的通风量

由于多数情况下建筑室内的空气参数(污染物浓度、温度、湿度等)是非均匀分布的,而室内不同区域的参数需求也是不一样的,因此通风设计与优化中不能忽视室内局部区域的通风情况。

2.1 局部纯净风量

假设在小控制体内,污染源以一定的速率连续散发,测量离开控制体内的污染物浓度,则可得到局部纯净风量,如下^[12-13]:

$$Q_{u,p} = \frac{S_p}{C_{pe}(\infty)} \quad (5)$$

式中 $Q_{u,p}$ 为局部纯净风量, m^3/s ; S_p 为单位时间内污染物的产生/释放量, kg/s ; $C_{pe}(\infty)$ 为出口污染物的稳定质量浓度, kg/m^3 。

局部纯净风量可通过示踪气体实验定义和测量,但与污染物的种类、强度或浓度无关,是流场本身固有特性的描述。图1所示为上送上回的通风房间,通风量为 Q , 其中呼吸区域的局部纯净风量

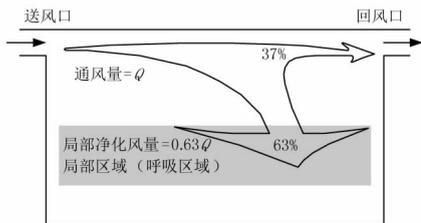


图1 局部纯净风量的概念图^[14]

为 $0.63Q$, 亦即对呼吸区域产生的污染物的排出起有效作用的通风量占送风量的 63%, 剩余 37% 的风量对局部区域污染物的排出不起作用, 相当于该部分风量被直接排至室外。

2.2 局部通风量

局部通风量是换气场景下局部区域的有效风量, 其在形式上与房间整体的换气有效风量类似, 通过局部区域的体平均空气龄定义得到^[12,15]:

$$Q_{l,p} = N_p V_p = \frac{V_p}{\bar{\tau}_p} \quad (6)$$

式中 $Q_{l,p}$ 为局部通风量, m^3/s ; N_p 为局部换气次数, s^{-1} ; V_p 为该局部区域的体积, m^3 ; $\bar{\tau}_p$ 为该局部区域的体平均空气龄, s 。

局部通风量是以通风效果来定义的有效通风量概念, 它不是风口送入对象区域的真实风量^[10]。因为除送风口外, 送入房间其他位置的空气均不可能是完全的新鲜空气。在污染物于整个空间内均匀释放的场景下, 将进入某局部区域的通风量视为一股污染物浓度等于区域平均浓度的空气和一股污染物浓度为零的空气, 则局部通风量即等于后者对应的空气量。

3 讨论

3.1 通风量指标的应用场合

根据上述对几种通风量概念的介绍, 不同通风量指标建议在以下不同场合应用:

1) 名义通风量。用于均匀混合情况下对房间整体通风性能评价。

2) 有效通风量。气流组织引起的非均匀情况下, 对房间整体排污或换气性能评价, 大多数通风房间属于此情况。评价排污能力时, 采用排污有效风量指标; 评价换气能力时, 采用换气有效风量指标。

3) 局部有效风量。用于局部关注区域的通风性能评价。评价局部关注区域排污能力时, 采用局部纯净风量指标, 它与流场分布一致, 适用于室内

关注区域存在源而在关注区域之外不存在同类源的场景; 评价局部关注区域换气能力时, 采用局部通风量指标, 它与空气龄分布基本对应, 适用于室内存在均匀等强度源的场景。

下面举例分析各通风量指标的应用。假设有一个办公室, 办公室内平均划分为 9 个工位, 每个工位上坐一个人, 办公室采用壁挂式分体空调。

当 9 个人中只有一个人抽烟时, 判断 9 个人中哪个人抽烟所产生的烟气对自己的影响最小。此时是一个评价局部区域排污能力的问题, 局部纯净风量能较好地解决这类问题。计算各个工位的局部纯净风量, 局部纯净风量最大的工位上的人, 他抽烟所产生的烟气对自己影响最小。

当 9 个人都同时抽烟时, 判断哪个工位上烟气最少。此时可认为污染源等强度均匀分布, 因此是一个评价局部区域换气能力的问题, 局部通风量能较好地解决这类问题。局部通风量最大的工位上烟气最少。

当有多个人同时抽烟时, 则关注的是办公室的整体烟气水平。此时是一个评价房间整体排污能力的问题, 排污有效风量能较好地解决这类问题。排污有效风量越大, 办公室内的平均烟气水平越低, 通风效果越好。

当抽烟的人数不确定时, 即污染源分布不确定时, 此时关注的是办公室的整体换气能力, 因此换气有效风量能较好地评价其整体换气能力。换气有效风量越大, 则气流组织效率越高, 换气能力越强。

3.2 各通风量指标的算例

为便于理解各种通风量指标的区别, 本节以一模拟房间为例加以说明。模拟房间尺寸为 $4\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高), 各壁面绝热, 无内热源, 假设人员占据 $0 \sim 1.25\text{ m}$ 高度范围, 人员可能的分布位置共 3×3 个。基于不同的气流组织形式, 共设计 2 个算例, 均为稳态工况, 每个算例都只有 1 个送风口和 1 个排风口, 建立的房间模型见图 2。算例 1 中气流组织为侧上送顶回形式, 送风口和排风口尺寸均为 $0.2\text{ m} \times 0.2\text{ m}$; 算例 2 中气流组织为侧下送顶回形式, 送风口尺寸为 $1.0\text{ m} \times 0.4\text{ m}$, 排风口尺寸为 $0.2\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ 。两算例均为等温送风工况, 房间名义通风量均为 $216\text{ m}^3/\text{h}$ 。

采用 CFD 模拟软件 STACH-3 进行模拟。

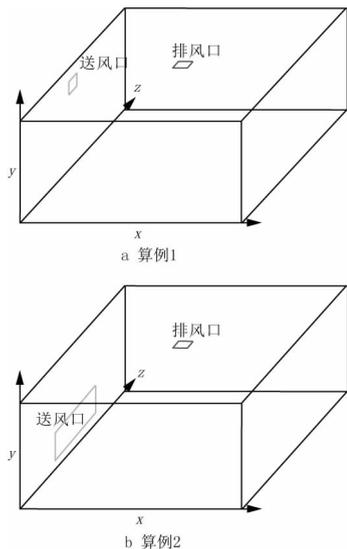


图2 房间模型图

湍流模型选用室内零方程模型,采用有限体积法对雷诺时均 Navier-Stokes 方程和连续性方程进行离散,差分格式选用幂指数格式,迭代算法为 SIMPLE 算法。图3为典型断面速度矢量分布。

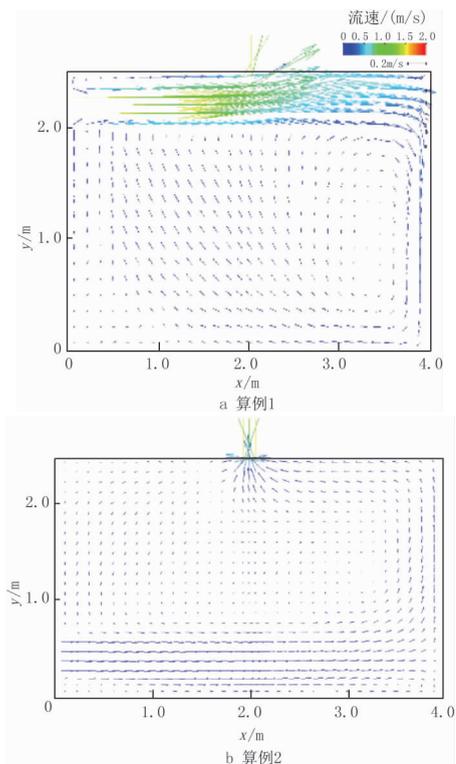


图3 流场分布图(z=1.5m)

根据式(2)计算得到房间换气有效风量,见图4。

可以看出,虽然两算例的名义通风量相等,但有效风量差别较大。算例1的有效风量明显

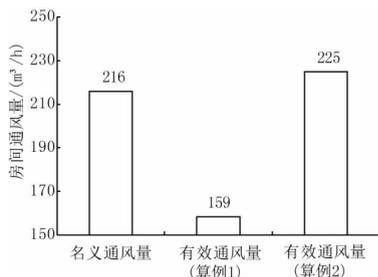


图4 不同算例下房间有效通风量结果

小于名义通风量,这表明送入房间的新风实际有效利用程度较低,新风对房间的通风换气效果较差。从图3a的流场分布可知,新风传输过程中,在排风口处发生气流短路。因此,如果房间采用这种气流组织形式,则需要适当加大名义通风量,以确保换气效果达标。算例2的有效通风量大于名义通风量,表明新风的有效利用程度高于理想均匀混合情况,新风对房间的换气效果较好。因此,若采用该种气流组织,可适当减小名义通风量,同时可减少由新风负荷引起的能耗。通过对换气有效风量的分析,可对设计名义通风量能否保障良好的通风换气进行判断。排污有效风量的计算需要已知污染源的位置,此处不对该指标进行计算。

图5给出了两种气流组织下,人员占据区域内(0~1.25m高度范围)局部纯净风量的计算结果。

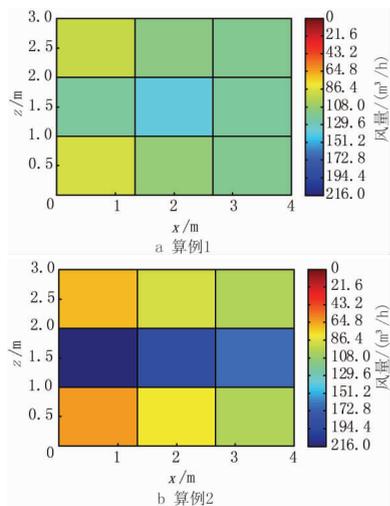


图5 人员占据区域内局部纯净风量分布图

可以发现,不同区域的纯净风量值存在差异,因此,当仅需保障局部区域时,对特定区域局部纯净风量的考察十分重要。算例1中,工作区内各区域的局部纯净风量整体差别较小,仅左侧两墙角区域纯净风量相对较小,中间区域纯净风量相对较大。因

此,当污染物在中间区域释放时,通风对污染物的排除能力较强;而污染物在左侧墙角释放时,通风对污染物的排除能力较弱。从排污角度看,室内人员占据中间区域时,受到污染物危害的程度相对较低。算例2中,中间3个区域的局部纯净风量明显高于其他区域。因此,当污染物在中间3个区域释放时,通风对污染物的排除能力较强;而污染物在其他区域释放时,通风对污染物的排除能力较弱。通过对局部关注区域纯净风量的分析,就可对初步设计的名义通风量和气流组织能否满足局部关注区域的排污需求进行判断,从而指导通风设计。

图6给出了两种气流组织下,人员占据区域内局部通风量的计算结果。

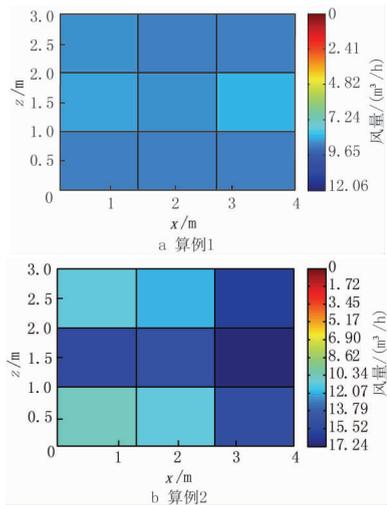


图6 人员占据区域内局部通风量分布图

可以发现,不同区域的局部通风量值也存在差异。算例1中,工作区内各区域的局部通风量差别较小,说明在该气流组织形式下,各区域空气的混合程度较高。因此,当房间内无明显超标污染物,而主要进行局部区域的通风换气时,室内人员停留在任意区域内所感受到的空气质量差别较小,即不存在相对保障更好的区域。而算例2中,各区域的局部通风量差别较大,中间3个区域和右侧两墙角区域的局部通风量明显大于其余4个区域,这表明该气流组织对部分特定区域的通风换气能力更强。因此,当重点对房间进行通风换气时,人员占据中间3个区域或右侧墙角区域对应的通风保障效果更好。同样地,通过对关注区域局部通风量的分析,就可对初步设计的名义通风量和气流组织能否满足局部关注区域的通风换气需求进行判断,从而

指导通风设计。

4 结论

本文介绍了名义通风量、有效通风量和局部通风量的定义,给出了3类指标的应用场合。对于房间整体通风效果的评价,建议采用有效通风量代替名义通风量;而由于流场和需求分布的非均匀性,在评价局部区域通风效果时,应采用局部纯净风量和局部通风量等局部通风指标。针对实际需保障区域及通风目标,采取适当的通风量指标进行评价,将有利于确定更合理的名义新风量和气流组织。

参考文献:

- [1] Yaglou C P, Witheridge W N. Ventilation requirements, part 2[G]//ASHRAE Trans, 1937, 43(2): 423-436
- [2] ASHRAE. ASHRAE Standard 62-1999 Ventilation for acceptable indoor air quality [S]. Atlanta: ASHRAE, 1999
- [3] 孙一坚. 简明通风设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- [4] 宋金良. 嵌入式空调室内机气流短路改善[D]. 上海: 上海交通大学, 2009
- [5] 辽宁省卫生防疫站. GB/T 18204.18-2000 公共场所室内新风量测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000
- [6] 中国建筑科学研究院. GB 50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012
- [7] 朱颖心. 建筑环境学[M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- [8] 赵荣义. 空气调节[M]. 4版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- [9] 蒋选. 房间通风量的测量与室内局部区域通风效果的评价[D]. 北京: 清华大学, 2013
- [10] 邵晓亮, 蒋选, 马晓钧, 等. 通风空调工程中的新风量概念解析[J]. 建筑热能通风空调, 2011, 30(增刊): 1-6
- [11] 罗志文, 赵加宁. 改进的通风性能评价指标——实际新风换气次数[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(6): 912-915
- [12] Sandberg M, Sjöberg M. The use of moment for assessing air quality in ventilated rooms[J]. Building and Environment, 1983, 18(4): 181-197
- [13] Zvirin Y, Shinnar R. Interpretation of internal tracer experiments and local sojourn time distributions[J]. International Journal of Multiphase Flow, 1976, 2(5/6): 495-520
- [14] 村上周三. CFD与建筑环境设计[M]. 朱清宇, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- [15] ISO. BS/ISO 16000-8-2007 Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions[S]. London: BSI, 2007