

民用建筑室内设计新风量研究

同济大学 张旭[☆] 周翔 王军

摘要 基于建筑室内设计新风量理论,比较和分析了国内外新风量标准及其体系的差异,指出近年来国际新风量标准在考虑建材污染及其污染程度、人员适应性、吸烟空间、人员主观满意度、CO₂ 指标等方面有所发展。随着当前室内人员污染、建材污染问题的凸显,需要在污染源特征的反映、标准的针对性、低密人群建筑新风量标准、高密人群建筑新风量标准和其他建筑新风量标准的有条件适用性等 5 个方面对现行标准进行修订。介绍了 GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》中对公共建筑、设置新风系统的居住建筑、医院建筑和高密人群建筑等四类建筑的最小新风量的修订。

关键词 新风量 标准 人员污染 建材污染 人员密度

Research on design fresh air requirement for civil buildings

By Zhang Xu[★], Zhou Xiang and Wang Jun

Abstract Compares and analyses the standards of fresh air requirement at home and abroad and their system discrepancy based on design theories of fresh air requirement. The results indicate that some international standards have been developed in consideration of the building material pollution and its intensity, adaptability of occupants, smoking space, subjective satisfaction of occupants and CO₂ index. Considering increasingly obvious pollution issues caused by occupants and building materials, deems it essential to revise the present standards at home from the five aspects of the reflection of the pollutant source characteristics, pertinence of the standards, fresh air requirement of buildings with low and high occupation density and the conditional applicability of the standards for civil buildings. Presents the revisions of minimum fresh air requirement for public buildings, residential buildings with fresh air systems, hospital buildings and high occupation density buildings in the new standard GB 50736—2012 *Code for design of heating ventilation and air conditioning of civil buildings*.

Keywords fresh air requirement, standard, occupant pollution, building material pollution, occupation density

★ Tongji University, Shanghai, China

①

0 引言

向建筑室内引入新风对改善室内空气品质(IAQ)具有积极作用。病态建筑综合症(SBS)、建筑相关疾病(BRI)及化学物质过敏症(MCS)等问题的出现也使人们认识到保证房间新风量是构建健康建筑的基本要求之一^[1]。

纵观人们近 300 年对新风作用及新风量的研究历程,对每人所需最小新风量的讨论涉及两类主要观点:一是消除异味和污染物,保证人的健康舒适;二是尽可能减少疾病传播^[2]。从目前的研究看,建筑新风控制的污染源已从人员污染扩展到建筑装饰材料、建筑设备等建筑污染,污染物控制要求从颗粒物污染控制、化学污染控制扩展到分子污染(气味)控制,控制目的也从满足人

的生理、健康需求扩展到满足人的部分舒适需求。概括起来,向建筑室内引入新风的作用主要有:1) 提供室内人员呼吸代谢所需要的空气;2) 稀释室内污染物,减少各种室内疾病的发生与传播;3) 控制室内异味,提高室内空气品质的可接受度;4) 创造优异的空气环境,提高人员的工作效率;5) 调节室内温湿度;6) 营造室内气流环境等。

①☆ 张旭,男,1955 年 12 月生,博士,教授,博士生导师
200092 上海市四平路 1239 号同济大学机械与能源工程学院暖通空调及燃气研究所
(021) 65983605
E-mail: zhangxu-hvac@tongji.edu.cn
收稿日期:2012-06-04
修回日期:2012-06-06

确定建筑室内新风量的因素主要包括污染物的散发量、室内污染物允许浓度、污染物入室浓度和通风效率等。通常情况下,新风量的增大有利于室内污染物的稀释和控制,有利于减小室内各类污染物对人的生理健康、舒适等方面的影响。自三次石油危机之后,建筑节能问题得到国际普遍关注,降低新风负荷成为主要的节能措施之一。因此合理确定建筑新风量的大小对实现健康建筑和建筑节能的双重控制目标具有重要的现实意义。

为应对该双重控制目标,自 20 世纪 70 年代起,中国、美国、欧盟、加拿大、日本、韩国等国家和地区都相继成立机构组织,开展建立和完善室内空气品质的立法工作,形成了不同体系的 IAQ 控制标准,对一氧化碳(CO)、甲醛(HCHO)、颗粒物等主要室内污染物的限值作出了规定。在此基础上,各国又相继形成了新风量标准及其体系。

目前我国关于新风量的确定方法或原则主要体现在 GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》^[3](以下简称《旧规》)、GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》^[4]等规范中。该方法是基于二氧化碳(CO₂)浓度控制要求确定新风量,即主要考虑消除室内人员部分的污染。忽略建筑污染可能使住宅等低密人群建筑的新风量计算出现不能满足卫生要求的情况;而对于高密人群建筑,新风量计算结果往往又偏大,导致新风处理能耗过高。在 GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(以下简称《新规》)的制订过程中,重新探讨了适用于我国的新风量的确定方法和原则。

1 国际上确定建筑新风量的理论

从新风量指标的演变过程看,人类对建筑室内新风量指标的认识一直处在变化之中。以 Billings^[5], Yaglou^[6-7], Fanger^[8], Sundell^[9], Jokl^[10]等人为代表的研究人员曾分别从不同角度对新风量指标的影响因素进行了探讨,并形成了相应的新风量理论基础。其中,Yaglou 传统新风理论、Fanger 基于舒适和适应性的新风理论及 Jokl 污染物指标新风理论具有代表性。

1.1 Yaglou 传统新风理论

20 世纪 30 年代,Yaglou 等人通过实验手段研究了在正常条件下人员占有体积、空气处理过程、个人卫生、室内空气品质、室内二氧化碳浓度水平与室内人体气味强度和人员新风量指标之间的关

系。实验包括夏季和冬季工况,实验对象为儿童和成人,实验结果可以推广应用到确定学校教室、办公室、住宅等场所的新风量^[6]。

1.2 Fanger 基于舒适和适应性的新风理论

Fanger 教授认为人的鼻子比化学分析仪器灵敏,因此可以用人作为仪器来分析室内污染源强度。为此他提出用 olf 作为定量污染源的单位,用 decipol 来定量空气品质,并进一步给出新风量指标与人员不满意率之间的关系以及可感受的空气品质与人员不满意率之间的关系,即基于空气品质舒适方程确定新风量。其研究还发现,对于已被污染的建筑空间,人员进出室内时初始感觉最受关注;而对于长时间停留的室内人员,经过初始阶段的适应以后能够适应较高污染水平的环境。因此将适应性理论引入到新风量的确定中^[8,11]。

1.3 Jokl 污染物指标新风理论

Jokl 基于分贝(decibel)的概念,对人所感受的气味强度进行量化,并以 CO₂ 和 TVOC 浓度指标为研究对象,通过建立气味强度与 CO₂ 和 TVOC 浓度指标之间的关系,再结合气味强度与人员不满意率之间的关系,得到特定人员不满意率下的 CO₂ 和 TVOC 浓度限值,并基于此分别确定人员新风量指标和单位建筑面积新风量指标^[10]。

1.4 新风理论的应用

通风空调标准长期以来以 Yaglou 的传统理论为基础,即认为人是民用建筑的主要污染源,这一思想在世界各国标准(包括我国标准)中都有所反映^[12]。通过对照 ASHRAE 推荐新风量和最小新风量与 Yaglou 曲线之间的关系,可以发现 Yaglou 曲线构成了新风量推荐值的下限。

Fanger 提出的基于 olf 和 decipol 概念的新风量需求确定方法在 1992 年成为欧盟 EUR 14449EN 的推荐方法,但却没有被 ASHRAE Standard 61-1989R^[13]接受,原因在于该方法完全依据人体的主观感觉对污染强度进行量化,衡量标准较为模糊,具有很大的局限性。同时指标对于无刺激性但危害较大的室内空气污染物不能表征,或者对于刺激性较大但危害较小的室内污染物给出较大的量化值,因而有时不能真实反映污染程度及污染对人体健康的影响。

Jokl 的分贝新风理论兼顾人员污染和建筑污染,是目前包括美国 ASHRAE Standard 62 系列

标准^[13-15]在内的各国标准倡导的新风量设计原则。该理论的主要局限在于仅以 CO₂ 和 TVOC 浓度作为控制目标,同 Fanger 新风理论一样强调舒适性,但在一定程度上无法保证健康性。

随着我国经济的发展和室内环境要求的提高,需要发展能够保证室内人员的健康和舒适、防止疾病的发生和传播、同时兼顾建筑节能的新风量理

论,来制订我国的新风量标准。

2 国内外新风量标准的比较

2.1 国内外新风量标准的构成

目前国内外新风量相关标准规范如表 1 所示^[2]。在《新规》实施之后,其新风量条款将替代《旧规》中的相应条款。在国外新风量标准中,ASHRAE Standard 62 系列标准最具代表性。

表 1 国内外新风量相关标准和规范

我国新风量相关标准规范		国外新风量相关标准规范	
GB/T 18883—2002	室内空气质量标准	美国	ASHRAE Standard 62 系列标准
GB 50325—2010	民用建筑室内环境污染控制规范	德国	DIN 1946 Part II 通风与空调:技术上的卫生要求
GB 50019—2003	采暖通风与空气调节设计规范	英国	CIBSE 1993 设计中的环境原则
GB 50189—2005	公共建筑节能设计标准	欧盟	CEN prENV 1752—1996 建筑通风:考虑室内环境的设计准则
JGJ 134—2010	夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准	北欧	NKB-61 北欧导则
GB 9663~9673—1996	公共场所卫生标准	日本	1986 空气调节手册
GB/T 17226—1998	中、小学校教室换气卫生标准		建筑 and 建筑设备的节能——设计、管理技术的基础和应用
GB 16153—1996	饭馆(餐厅)卫生标准 ^[16]		HEAS-02—2004 医院空调设备的设计与管理指南 ^[17]
JGJ 62—90	旅馆建筑设计规范		
JGJ 67—89	办公建筑设计规范		
GB 50333—2002	医院洁净手术部建筑技术规范 ^[18]		
民用建筑空调设计手册			

2.2 ASHRAE 新风量标准的特征与启示

在 ASHRAE Standard 62 系列标准发展中,ASHRAE Standard 62-1989R 具有极为重要的作用。该标准的不吸烟假定和以已适应者为基准使其高密人群建筑的最小新风量远低于 ASHRAE Standard 62-1989 的推荐值。

此外自 ASHRAE Standard 62-1989R 起,ASHRAE Standard 62 系列标准开始强调对化学污染物的控制并一直沿用至今。在 ASHRAE Standard 62.1-2010 中指出“可用基于质量守恒方程的性能设计法或规定设计法(prescriptive design ventilation)确定新风量”,ASHRAE 推荐采用后者确定新风量,即按式(1)计算^[15]:

$$V_{bz} = R_p P_z + R_a A_z \tag{1}$$

式中 V_{bz} 为呼吸区设计新风量,L/s; R_p 为每人所需新风量,L/(人·s); P_z 为室内人数,人; R_a 为单位地板面积所需新风量,L/(m²·s); A_z 为建筑面积,m²。

上述 ASHRAE 新风量标准对我国新风量设计的主要启示在于同时考虑了人员污染和建筑污染,并对不同人员密度的建筑设定不同的建筑新风量设计方法。本质上规定设计法需要有足够多的实验数据积累方才可靠。ASHRAE 现阶段也仅以办公建筑为对象进行人体暴露实验,以受试者主

观评价和专家经验判断来确定不同类型和功能建筑的 R_a 值^[19]。目前我国还不能完全参照这种叠加计算的方法确定新风量。

2.3 近年来国外新风量标准发展所提出的问题

通过对比现有新风量标准及其体系,可以发现国外新风量标准近年来的发展,在以下 6 个方面存在一些差异^[12,20]。

1) 人员部分污染与建筑部分污染:ASHRAE Standard 62-1989R,CEN prENV 1752 和 NKB-61 将人员部分污染与建筑部分污染相加(考虑“显效性”);DIN 1946 取人员部分污染与建筑部分污染的最大值;CIBSE Guide A 和 ASHRAE Standard 62-1989 只考虑人员部分污染。

2) 未适应者与已适应者:ASHRAE Standard 62-1989,CEN prENV 1752,DIN 1946,CIBSE Guide A 和 NKB-61 的最小新风量需求基于未适应者,即刚刚进入空间的人;只有 ASHRAE Standard 62-1989R 的最小新风量需求基于已适应者或称室内人员,即已处于某空间的人,但该标准也允许针对未适应者进行设计,方法是增加每人所需的新风量。

3) 吸烟与不吸烟:鉴于越来越多的商业和公共建筑中严格限制或禁止吸烟,包括 ASHRAE Standard 62-1989R 在内的一些标准的通风标准都

是在假定不吸烟的情况下得到的。若必须考虑吸烟,DIN 1946 规定不论吸烟量多少,统一在每人所需的新风量指标上加一附加值;其他各标准则要求按提高每人所需的新风量或提供附加值的方法对吸烟区域进行设计。

4) 低污染建筑与非低污染建筑:CEN prENV 1752 依据 TVOC, HCHO, NH_3 和致癌化合物四类污染物的散发量将建筑物分为低污染建筑和非低污染建筑两大类,并给出不同的新风量。其他标准未对建筑物分类,但考虑建筑部分的新风量指标时可参考 CEN prENV 1752 中的低污染建筑。

5) 关于室内空气品质与满意率:ASHRAE Standard 62 标准中有两个室内空气品质的定义——可接受的室内空气品质(acceptable indoor air quality)和可接受的可感室内空气品质(acceptable perceived indoor air quality)。CIBSE 关于可接受的室内空气品质定义与舒适有关,并未考虑对人体健康有潜在危险却无异味的物质,如氡等。CEN 标准将通风要求分为 A、B 和 C 三级。DIN 标准中的分析方法也将通风要求分为三个水平。

6) 是否需要关注 CO_2 : CO_2 先是作为体臭的指标,进而发展为整个室内空气品质的指标。ASHRAE Standard 62-1989 在规定 0.1% 为 CO_2 稳定体积分数限值时,明确指出该体积分数“并不是从危害健康的角度考虑,而是人体舒适感(臭气)的一种表征”。研究表明,假定新风中的 CO_2 体积分数为 0.3%,典型成年人静坐情况下,7.5 L/(人·s)的新风量能使 80% 的来访者满意。但目前 CO_2 体积分数超过 0.1% 会导致人困倦的观测数据仍未得到实验证实。

2.4 我国现行新风量标准修订原则

随着当前室内人员、建材污染问题的凸显,需要在污染源特征的反映、标准的针对性、低密人群建筑新风量标准、高密人群建筑新风量标准和其他建筑新风量标准的有条件适用性等 5 个方面对现行标准进行修订^[2,21]。

1) 对污染源特征(数量和强度)的反映方面:我国民用建筑室内卫生要求的最小新风量主要是针对 CO_2 浓度控制要求而确定的^[3],即主要考虑了人员污染部分。该方法的基础是把人作为民用建筑的主要污染源。然而随着大量新型建筑材料、装饰材料、清洁剂和粘接剂等的使用,建筑污染问

题变得越来越突出,应当通过新风同时控制建筑污染和人员污染。

2) 标准的针对性:目前虽已给出不同类型建筑的人员所需最小新风量指标,但所给出的指标相对单一,无法反映室内人员相关因素(人的适应性、人员不满意水平等)对新风量指标的影响特性,而忽视这一影响对室内人员健康要求和建筑节能要求都会带来不合理性,高密人群建筑新风量的确定尤其应当重视这一问题。

3) 低密人群建筑的新风量标准:对于人员密度很低的建筑(如居住建筑),其建筑污染部分所需新风量的比例一般要高于人员污染部分对新风量的要求^[22]。按照传统仅考虑人员污染不考虑建筑污染的思路所确定的新风量不能保证始终满足室内卫生要求^[23]。

4) 高密人群建筑的新风量标准:对于人员密度高的建筑(如影剧院、音乐厅、商场、超市、歌厅、酒吧、体育馆、幼儿园等),我国现行新风量指标没有考虑室内人员适应与非适应的差别,其基础数据来源于普通办公建筑或住宅的研究结果,缺乏针对性。按照我国现行设计规范和标准,高密人群建筑的新风负荷在其空调负荷中的比例可达 20%~40%,不利于建筑节能。

5) 其他建筑新风量标准的有条件适用性:我国新风量标准对客房、办公室、多功能厅、游艺厅、宴会厅、餐厅、咖啡厅所作出的规定值在特定人均使用面积的情况下与 ASHRAE Standard 62.1-2007(或 ASHRAE Standard 62.1-2010)的对应结果相吻合,而各建筑所对应的特定人均使用面积能够反映当前这些建筑在通常情况下的实际使用状况。值得指出的是,与 ASHRAE Standard 62.1 相比,我国现行新风量标准对美容室和理发室的规定值分别偏低和偏高,应根据人均使用面积的实际情况选择合适新风量。

3 《新规》最小新风量设计

依据我国国情,《新规》对公共建筑、设置新风系统的居住建筑、医院建筑和高密人群建筑等四类建筑的最小新风量进行了新的规定。鉴于现阶段尚无法参照 ASHRAE 的规定设计法按叠加计算的方式确定新风量,《新规》以每人所需最小新风量或房间换气次数的形式给出了考虑人员污染和建筑污染对人员健康的综合影响的最小新风量指标。

3.1 公共建筑

《新规》对公共建筑主要房间每人所需最小新风量的规定见表 2。

表 2 公共建筑主要房间每人所需最小新风量

	$\text{m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$
	新风量
办公室	30
客房	30
大堂、四季厅	10

表 2 给出的公共建筑主要房间每人所需最小新风量在《新规》中属于强制性条款,主要参考标准包括 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》、GB 16153—1996《饭馆(餐厅)卫生标准》、美国 ASHRAE Standard 62. 1-2007 等。对表 2 中未作出规定的其他公共建筑人员所需最小新风量,可按照国家现行卫生标准中的容许浓度进行计算确定,并应满足国家现行相关标准的要求。

3.2 设置新风系统的居住建筑和医院建筑

《新规》对设置新风系统的居住建筑设计最小新风量的规定见表 3,对医院建筑设计最小新风量的规定见表 4。

表 3 居住建筑设计最小新风量(换气次数) h^{-1}

人均居住面积 F_p	换气次数
$F_p \leq 10 \text{ m}^2$	0. 70
$10 \text{ m}^2 < F_p \leq 20 \text{ m}^2$	0. 60
$20 \text{ m}^2 < F_p \leq 50 \text{ m}^2$	0. 50
$F_p > 50 \text{ m}^2$	0. 45

表 4 医院建筑设计最小新风量(换气次数) h^{-1}

	换气次数
门诊室	2. 0
急诊室	2. 0
配药室	5. 0
放射室	2. 0
病房	2. 0

一般居住建筑均属于低密人群建筑,同医院建筑一样,其建筑污染部分所占的比例一般要高于人员污染部分,按照现有人员新风量指标确定的新风量没有体现建筑污染部分的差异,从而不能保证始终完全满足室内卫生要求。综合考虑这两类建筑中的建筑污染与人员污染的影响,以换气次数的形式给出所需最小新风量。其中,居住建筑的换气次数参照 ASHRAE Standard 62. 1-2007 确定,考虑低密人群建筑特性,对人均居住面积较大的建筑设计较小的最小新风量;医院建筑的换气次数参照 HEAS-02—2004《医院空调设备的设计与管理指南》确定;医院中洁净手术部相关规定参照 GB 50333—2002《医院洁净手术部建筑技术规范》。

3.3 高密人群建筑

高密人群建筑的主要特征是人员污染所需新风量的比例高于建筑污染所需新风量的比例。按我国现有新风量指标,往往导致计算得到的新风负荷很大。此外,人员污染和建筑污染的比例随人员密度的改变而变化,而且高密人群建筑的人流量变化幅度大,出现高峰人流的持续时间短,受作息时间、节假日、季节、气候等因素影响明显。故应根据不同人员密度条件设计新风量指标,否则建筑污染部分所需新风量将会出现重复累加的问题,同时应重视室内人员的适应性等因素对新风量指标的影响。

为此,对高密人群建筑新风量的设计参考 ASHRAE Standard 62. 1-2007 的规定,对不同人员密度条件下的人均最小新风量分别作出规定。通常会议室(这里指中、小型会议室)在舒适度要求上要比大会厅(即大型会议室)高,但只从健康要求角度考虑,二者对新风要求没有明显差别。在具体设计中,中、小型会议室的人均新风量要大于大型会议室。《新规》对高密人群建筑每人所需最小新风量的规定见表 5。

表 5 高密人群建筑每人所需最小新风量

	$\text{m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$		
	人员密度 P_F		
	$P_F \leq 0. 4$ 人/ m^2	$0. 4 \text{ 人}/\text{m}^2 < P_F \leq 1. 0$ 人/ m^2	$P_F > 1. 0$ 人/ m^2
影剧院、音乐厅、大会厅、多功能厅、会议室	14	12	11
商场、超市	19	16	15
博物馆、展览厅	19	16	15
公共交通等候室	19	16	15
歌厅	23	20	19
酒吧、咖啡厅、宴会厅、餐厅	30	25	23
游艺厅、保龄球房	30	25	23
体育馆	19	16	15
健身房	40	38	37
教室	28	24	22
图书馆	20	17	16
幼儿园	30	25	23

4 展望

建筑室内设计新风量标准的制订涉及到对我国建筑污染现状与特征、我国人员对室内污染在舒适健康方面的反映特性、新风控制低浓度污染的有效性等科学问题的掌握,是一项有待深入研究且不能完全依赖国外经验的长期性任务。当务之急是继续积累和完善我国建筑污染特征、人员舒适健康反映、新风效应等问题的基础数据,进一步完善确定我国建筑室内设计新风量的理论依据。

参考文献:

- [1] Sundell J. On the history of indoor quality and health [J]. Indoor Air, 2004, 14(7): 51-58
- [2] 王军. 高密度人群建筑空间新风量指标的基础研究 [D]. 上海: 同济大学, 2012
- [3] 中国有色工程设计研究总院. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2004
- [4] 中国建筑科学研究院, 中国建筑业协会建筑节能专业委员会. GB 50189—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005
- [5] Billings J S. The principles of ventilation and heating: and their practical application [M]. New York: The Engineering & Building Record, 1889
- [6] Yaglou C P, Riley E C, Coggins D I. Ventilation requirements [G] // ASHVE Trans, 1936, 42 (1): 133-162
- [7] Yaglou C P, Witheridge W N. Ventilation requirements (part 2) [G] // ASHVE Trans, 1937, 43 (2): 423-436
- [8] Fanger P O. The new comfort equation for indoor air quality [J]. ASHRAE J, 1989, 31(10): 33-38
- [9] Sundell J. On the association between building ventilation characteristics, some indoor environmental exposures, some allergic manifestations and subjective symptom reports [J]. Indoor Air, 1994, 4 (S2): 1-49
- [10] Jokl M V. Evaluation of indoor air quality using the decibel concept based on carbon dioxide and TVOC [J]. Building and Environment, 2000, 35(8): 677-697
- [11] Fanger P O. Olf and decipol: new units for perceived air quality [J]. Building Services Engineering Research and Technology, 1988, 9(4): 155-157
- [12] Olesen B W. International development of standards for ventilation of buildings [J]. ASHRAE J, 1997, 39 (4): 31-39
- [13] ASHRAE. ASHRAE Standard 62-1989R Ventilation for acceptable indoor air quality [S]. Atlanta: ASHRAE Inc, 1989
- [14] ASHRAE. ASHRAE Standard 62. 1-2007 Ventilation for acceptable indoor air quality [S]. Atlanta: ASHRAE Inc, 2007
- [15] ASHRAE. ASHRAE Standard 62. 1-2010 Ventilation for acceptable indoor air quality [S]. Atlanta: ASHRAE Inc, 2010
- [16] 辽宁省卫生防疫站, 中国预防医学科学院环境卫生检测所, 广州市卫生防疫站. GB 16153—1996 饭馆(餐厅)卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996
- [17] 日本医疗福利设施协会. HEAS-02—2004 医院空调设备的设计与管理指南[S], 2004
- [18] 中国卫生经济学会医疗卫生建筑专业委员会. GB 50333—2002 医院洁净手术部建筑技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2002
- [19] Taylor S T. Determining ventilation rates; revisions to standard 62-1989 [J]. ASHRAE J, 1996, 38 (2): 52-58
- [20] Stanke D. The 'new' ventilation rates in standard 62. 1-2004 [J]. IAQ Publication, 2006, 7: 9-11
- [21] 王军, 张旭. 建筑室内人员有效新风量及其特征性分析 [J]. 洁净与空调技术, 2011(3): 10-13
- [22] 王军, 张旭. 建筑室内人员密度对新风量指标的影响特征分析 [J]. 流体机械, 2010, 38(2): 61-66
- [23] 隋学敏, 张旭. 夏热冬冷地区住宅空调设计最小新风量探讨 [J]. 暖通空调, 2008, 38(10): 99-104