

文章编号: 1671-6612 (2022) 01-001-09

我国建筑设计标准中通风开口尺度地域适用性分析

樊新颖^{1,2} 陈 滨¹ 宋晓明¹

(1. 大连理工大学土木工程学院 大连 116023;

2. 黄河勘测规划设计研究院有限公司 郑州 450003)

【摘 要】 通风开口设计与自然通风和室内环境热舒适直接相关。目前,我国现行建筑通风开口尺度涉及的相关设计标准主要借鉴了早期台湾省及日本建筑法规等来确定,一直沿用至今。标准中的通风开口尺度未考虑气候差异性,全国采用统一赋值,该数值确定时重点考虑了是否满足换气次数的要求,较少关注对建筑热环境的影响,故开展了此项工作。首先,系统地回顾了我国通风开口设计标准的发展沿革及通风开口尺度的确定依据。并在此基础上,以多层住宅楼中间层某一南向单侧通风起居室作为典型案例,利用 EnergyPlus 软件模拟分析了通风开口尺度设计值在我国不同气候区 6 个代表性城市的适用性。研究结果表明,我国现行通风开口尺度设计标准能够满足建筑换气次数的要求,但较难满足夏季建筑室内环境热舒适性要求。为此,本研究进一步以案例建筑的换气次数、适应性热舒适指标为优化目标开展了关联研究,得到了各城市案例建筑通风开口面积与地板面积的最佳修正比值,使得室内不舒适百分比有所下降,其中成都地区最为显著。本研究为建立更加符合我国国情的建筑通风开口尺度设计提供了理论参考依据。

【关键词】 通风开口尺度; 建筑设计标准; 换气次数; 适应性热舒适

中图分类号 TU241 文献标识码 A

Research on the Regional Rationality of Ventilation Opening Dimension in Chinese Building Design Standards

Fan Xinying^{1,2} Chen Bin¹ Song Xiaoming¹

(1.School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, 116023;

2.Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou, 450003)

【Abstract】 The ventilation opening dimension design is directly related to natural ventilation and indoor thermal comfort. At present, the current Chinese building design standards related to building ventilation opening dimension are mainly determined with reference to the building regulations of Taiwan Province and Japanese in the early stage, and they have been used until now. The ventilation opening dimension in the standard does not take into account the climatic differences, and a unified value is adopted throughout the country. When determining the value, it focuses on whether the ventilation opening dimension meets the requirements of natural ventilation and less attention is paid to the impact of the ventilation openings dimension on the thermal environment of the building, so this work has been carried out in this paper. Firstly, this study systematically reviews the development history of Chinese ventilation opening design standards and the basis for determining the size of ventilation openings.

基金项目: 国家自然科学基金项目“寒冷地区居住室内环境关联健康影响表征模型研究”(51578103);

“十三五”重点研发计划课题“村镇建筑需求适应性被动太阳能供暖技术研究”(2018YFD1100701-02)

作者简介: 樊新颖 (1988.3-), 女, 博士, E-mail: fanxinying1234@126.com

通讯作者: 陈 滨 (1960.11-), 女, 教授, E-mail: chenbin@dlut.edu.cn

收稿日期: 2021-09-14

And on this basis, this study takes a south-facing single-sided ventilated living room in the middle of a multi-storey residential building as a typical case, and uses EnergyPlus software to simulate and analyze the application of the design values of ventilation openings in 6 sample cities in different climate zones of China. The results of this study reveal that the current building ventilation opening dimension related to Chinese building design standards can meet air change rate requirements. However, it is difficult to meet the thermal comfort requirements of the building indoor environment in summer. To this end, this study further carried out an associated study with the ventilation frequency and adaptive thermal comfort index of the case building as the optimization objective. The best corrected ratio of the ventilation opening area to the floor area of the case buildings in each city was obtained, which results in a decrease in the percentage of indoor discomfort, of which Chengdu is the most restrictive. This research provides a theoretical reference for the establishment of a building ventilation opening size design that is more in line with our national conditions.

【Keywords】 Ventilation opening dimensions; building design standards; air change rate; adaptive thermal comfort

0 前言

建筑通风开口尺度在建筑能耗模拟分析、室内环境舒适性评价、建筑室内气流组织优化和室内空气污染物排放等方面起着举足轻重的作用^[1]。回顾既有建筑通风开口的研究,关注点大致体现在以下主要方面:(1)由通风开口引起的自然通风量研究。由于受到风压和热压的共同作用,通风开口所引起的自然通风量一般较难准确计算^[2]。因此,获得自然通风量的手段主要分为两种:理论推导和实验测试^[3],其中实验方法最受研究者青睐,但在建筑早期设计阶段该方法难以实现^[4,5]。为实现对自然通风量的准确估计,既有研究在开展大量理论研究的基础上得到了考虑热压和风压共同作用下的自然通风量理论推导模型,目前已被 Fluent、COMIS、TRANSYS 等软件广泛使用^[6,7]。(2)自然通风潜力分析。由于自然通风不需要消耗任何能源,并能提供新鲜空气,既有建筑设计规范均推荐利用自然通风以降低能耗。在通风开口引起的自然通风量准确计算的条件下,更多研究集中关注如何更好地利用自然通风降低建筑能源消耗。例如,有研究通过对我国 100 多个城市的建筑自然通风潜力进行评价,结果表明在特定的季节自然通风可以满足 60%~100%的制冷需求^[8]。随着新冠病毒的蔓延,考虑到自然通风的绿色节能特性,已有研究开始关注自然通风如何在公共建筑发挥作用,如医院^[9]、学校^[10]等。(3)通风开口对污染物排除效果的研究^[11]。由于设计通风开口的主要目的是向室内提供新鲜的空气、降低室内污染物,因此大量学者开展了通风开口对污染物去除效果的研究。例如,有研究以空气龄和换气次数作为评价指标,采用

Fluent 软件模拟了不同开窗位置、通风开口面积、层高对室内污染物的去除效果^[12,13]。此外,也有研究以某层住宅建筑为例探究了 12 种不同通风位置对室内流场及空气龄的影响,提出了针对该住宅的 5 种通风优化策略^[14]。鉴于自然通风开口在建筑环境营造方面所具有的重要作用,一般建筑设计标准规定在建筑设计时需要满足一定的通风开口面积,以降低室内污染物、为用户提供新鲜的空气,例如 AHRAE 62.1(2007)^[15]规定通风开口面积与地面面积的比值大于 1/25。随着通风模拟计算手段成熟,最新的 ASHRAE 62.1 (2019)^[16]已规定通风开口面积设计应以保证最小通风换气次数为准,不再给出具体的数值。而在我国,目前相关的建筑设计标准均规定通风开口面积与地面面积的比值大于 1/20,且全国统一使用该值。我国气候多样,主要分为 5 个不同的气候区^[17],采用统一的通风开口尺寸,这可能对建筑能耗、室内热舒适环境造成一定的影响^[18]。针对我国建筑设计标准中通风开口尺寸合理性,还较少有研究深入探究。

基于上述分析,本文针对我国建筑设计标准追溯其确定依据,以换气次数为评价指标研究既有通风开口尺寸的地域适用性,并以中国代表性城市为例,比较分析不同通风开口面积、开口个数和开口位置条件下的自然通风换气率和适应性热舒适温度的影响。

1 我国建筑设计标准中通风开口尺度的确定依据追溯

为此,本文系统追溯了我国现行建筑设计标准中与通风开口尺度有关的几个参数的确定依据和

发展过程(见图 1), 包括采光窗洞口与地板面积比限值、通风开口与地板面积比限值、采光窗洞口下缘距室内地面的高度、通风开口下缘距室内地面的高度。在我国, 涉及通风开口尺度的标准有《住宅建筑设计规范》、《民用建筑设计通则》、《建筑采光设计标准》、《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》。上述标准中涉及的窗户开口尺度有如下规定:

(1) 针对采光窗洞口尺度设计, 我国现行建筑设计规范规定: ①住宅居室采光窗洞口有效面积与房间地板面积的比值不小于 $1/6$ ^[19], 同时还必须满足建筑节能标准要求的窗墙比上限值。②居住空间的窗洞开口宽度不应小于 0.6m ^[20], 我国窗洞口宽度生产标准化尺寸一般为 0.6m 、 0.9m 、 1.2m 、 1.5m 、 1.8m , 其他尺寸的洞口可通过增设、组合专用固定窗处理^[21]。在实际设计阶段, 建筑师多直接采用市面上批量生产的门窗产品, 或优先考虑立面效果, 缺乏通风开口尺度对室内环境影响的定量认识, 在室内环境营造过程中过度依赖空调等主动调

节方式。因此, 可以考虑通过对现行通风开口尺度设计标准的修正, 进一步发挥通风开口对室内环境的调节改善作用。

(2) 针对通风开口尺度设计(建筑通风开口指的是建筑外墙上的采光窗洞口的开启扇部分, 一般采光窗洞口的尺度不会超过房间外墙的尺度, 通风开口尺度不会超过采光窗洞口的尺度), 重要指标限值的规定有: ①住宅居室的直接自然通风开口有效面积不应小于该房间地板面积的 $1/20$ ^[22]; 当开启角度大于 70° 时, 开启扇面积可作为通风开口有效面积^[23]。②夏季自然通风用的进风口下缘距室内地面的高度不宜大于 1.2m ^[22]。

根据上述规定, 可以得到采光窗洞口及通风开口尺度设计的限制条件及二者之间的关系为:

开间 \times 进深 $\times 1/6 \leq$ 采光窗洞口有效面积 \leq 开间 \times 层高 \times 该地区窗墙比限值;

开间 \times 进深 $\times 1/20 \leq$ 通风开口有效面积 \leq 采光窗洞口有效面积 \leq 开间 \times 层高 \times 该地区窗墙比限值。

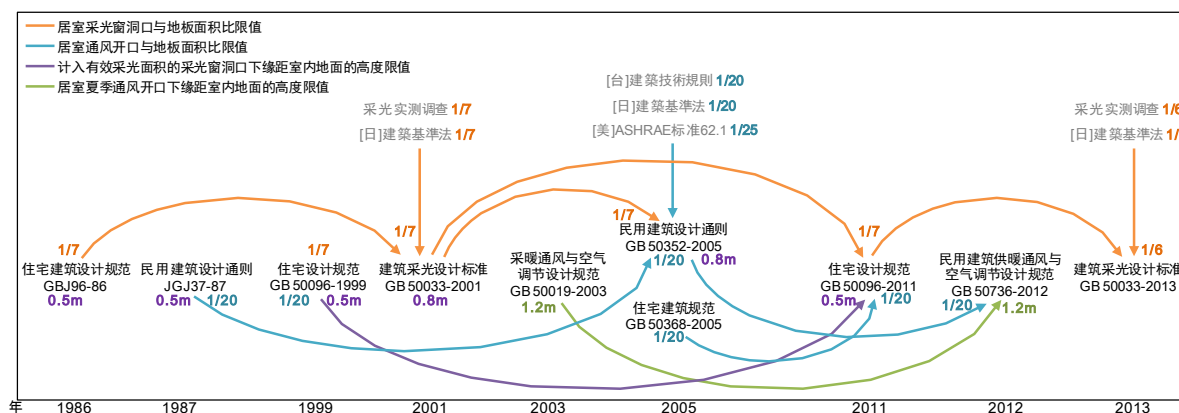


图 1 住宅居室室内环境现行标准对通风开口尺度及相关尺度主要指标限值的规定发展追溯

Fig.1 Development of opening dimensions and related indicators in current Chinese building design standards for the indoor environment of residential rooms

由图 1 可知, 我国采光窗洞口尺度设计标准限值是根据大量实测调查以及参考国内外住宅采光标准而确定^[24]; 通风开口尺度设计标准限值主要参考了我国台湾省法规(1945 年)^[25]及日本建筑法规(1950 年)^[26]中有关规定, 无实测调查依据。由此可知, 我国通风开口有效面积与房间地板面积比值的最小限值几十年来一直沿用台湾省及日本建筑法规中规定的全国统一标准 $1/20$, 而未发现有研究探究该取值是否适合中国不同的气候条件。因此, 下文将深入探究通风开口尺度限值在中国气候

条件下的适用性, 以及讨论是否可以优化该取值以提高室内环境热舒适性, 从而降低建筑能源消耗。

2 不同通风开口尺度条件下建筑环境性能仿真方法

2.1 仿真模拟软件的选取

针对建筑自然通风, 既有研究已开发出 BREEZE、AIRNET、COMIS 模拟软件, 其中 COMIS 应用最为广泛且能够较为准确地仿真建筑自然通风效果, 但上述软件主要适用于绝热建筑,

缺乏对建筑热传递过程的考虑。在此基础上,为实现自然通风与建筑热传递过程很好的耦合,既有研究将 COMIS 软件内嵌于建筑热过程仿真软件,例如 TRNSYS 和 EnergyPlus^[27,28]。但是有研究表明,当计算步长较小时,如 1s、1min、1h 等,TRNSYS 计算控制器会严重失真,计算误差较大^[29]。因此,本研究选择 EnergyPlus 软件来讨论我国建筑设计规范中通风开口尺寸的地域适用性问题。

2.2 代表性城市的选取

为探究我国现行建筑设计标准中通风开口尺度的地域适用性及对室内环境的影响,以气候特征差异较大为原则,参考中国建筑热工分区、有效风功率密度分布及风向频率的分布特征,本文选取了风速很大的哈尔滨(严寒地区)、风速偏大的银川(寒冷地区)、风速适中的南昌和桂林(夏热冬冷地区)、风速很小的成都(夏热冬冷地区)和风速偏小的昆明(温和地区)等 6 个代表性城市,如图 2 所示。本文分析时所用的气象数据为 EnergyPlus 软件自带的典型气象年数据库,典型气象年代表了一个地区的长期气候特征^[17],使得分析结果更具代表性。

2.3 代表性建筑模型的选取

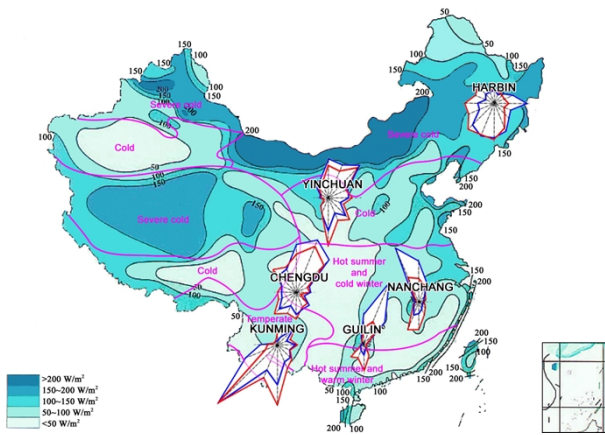


图 2 代表性城市所处气候区、有效风功率密度及风向频率分布

Fig.2 The climatic zones, distribution of effective wind power density, and wind direction frequencies of the analyzed cities

针对不同的建筑类型,我国有对应的建筑设计标准。由于本文上述标准追溯中主要是以居住建筑为例,故本文此处仍然以居住建筑为例进行案例分析。此外,为使本研究的结果可直接应用于指导设

计,因此以符合现行建筑设计标准并具有适用性的房间作为研究模型,设定房间模型为多层住宅楼中间层南向起居室,其建筑尺寸信息如图 3 所示。

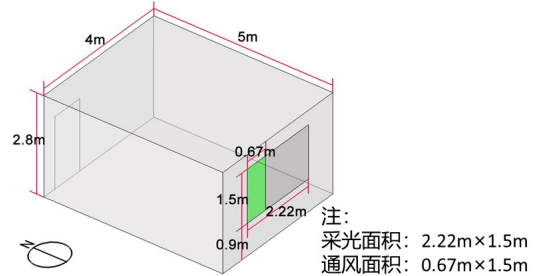


图 3 某多层住宅楼中间层起居室物理模型

Fig.3 Physical model representing a living room in the middle floor of a multi-storey residential building

该建筑模型的窗洞口尺寸确定依据为: (1) 现行规范规定住宅层高宜为 2.8m, 起居室使用面积不应小于 10m², 布置家具的墙面直线长度宜大于 3m^[20]。故起居室尺寸设为开间 4m×进深 5m×层高 2.8m, 房间北墙内门宽 1m×高 2m。(2) 现行规范规定起居室的采光窗洞口有效面积不应小于该房间地板面积的 1/6, 且必须符合各气候区节能标准要求的窗墙比上限值要求; 夏季自然通风用的进风口下缘距室内地面的高度不宜大于 1.2m。根据上述具体要求, 本文计算得到该房间采光窗洞口面积在各气候区的取值范围如表 1, 统一取值 3.33m², 设采光窗洞口开口宽 2.22m×高 1.5m, 窗台高 0.9m。(3) 现行规范规定起居室的自然通风开口有效面积不应小于该房间地板面积的 1/20, 为讨论通风开口尺度标准限值合理性, 取下限值 1m², 该外窗通风开口尺寸为宽 0.67m×高 1.5m。

表 1 不同气候区的窗户通风及采光面积

Table 1 Ranges of glazing area of the room for different climatic zones

气候区	窗户(m ²)		通风开口(m ²)
	下限值	上限值	下限值
严寒地区		5.04	
寒冷地区		5.60	
夏热冬冷地区		5.04	
温和地区	南部地区	3.33	5.60
	中部地区		6.16
	北部地区		5.04
夏热冬暖地区		4.48	

关于室内人员基本情况, 本研究模拟工况参考 Building Research Establishment 2015 中可用于数值模拟的 National Calculation Methodology (NCM) 行为数据库中室内家庭休息空间的人员使用情况、新陈代谢率和着衣情况, 如表 2 所示。

表 2 室内人员使用情况、新陈代谢率和着衣情况

Table 2 Simulated conditions of occupancy, metabolic rate and clothing

	人员密度 (人/m ²)	0.0188
室内人员	00:00~16:00	0
	16:00~18:00	0.5
	18:00~22:00	1
	22:00~23:00	0.66667
	23:00~24:00	0
新陈代谢率	人员活动	饮食
	系数 (男性=1.00, 女性=0.85, 儿童=0.75)	0.9
	CO ₂ 产生率 (m ³ /s·W)	0.0000000382
着衣情况	冬季 (clo)	1.0
	夏季 (clo)	0.5

该建筑模型采用自然通风模式, 不考虑照明、空调系统设备及其他冷热源等。考虑到当夏季室外气温大于室内气温或冬季室外气温比室内气温低 15℃或更冷时, 居住者通常不会一直将窗户全部打开, 由于此时间歇开关窗通风行为具有不确定性, 所以本研究假设默认当室内温度与室外温度差值大于 15℃或小于 0℃时, 用户会关窗将通风开口尺寸减小至 5%。此外, 对于房间的通风路径组织形式 (如房门的开关状态等) 无明确规定, 中国现行住宅通风开口尺度相关设计标准仅规定了通风开口开向室外的有效面积。关于通风路径的设置, 应在不违反现行规范的基础上考虑到通风路径组织最不利情况。因此本研究必须考虑单侧通风这种最不利的情况, 模拟工况中默认内侧门关闭。

3 结果讨论与分析

3.1 现行通风开口尺度条件下建筑换气次数及适应性热舒适评价

(1) 换气次数

为判断现行标准将通风开口有效面积与房间地板面积的比值限值设定为 1/20 是否能够满足不同的地域气候条件下的通风量需要, 根据第 2 节所

述模拟方法分别输入哈尔滨、银川、成都、南昌、昆明、桂林的典型气象年逐时气象数据, 对该代表性建筑模型进行全年自然通风模拟, 得到了夏季换气次数不满足率分别为 5%、17%、3%、26%、46%、43% (见图 4)。可以看出, 除了因室外气温过低而不能正常开窗通风的冬季外, 模拟对象在各个城市的单侧通风条件下大部分时间可以满足现行标准中起居室换气次数 ≥ 1 ac/h 的要求^[30]。

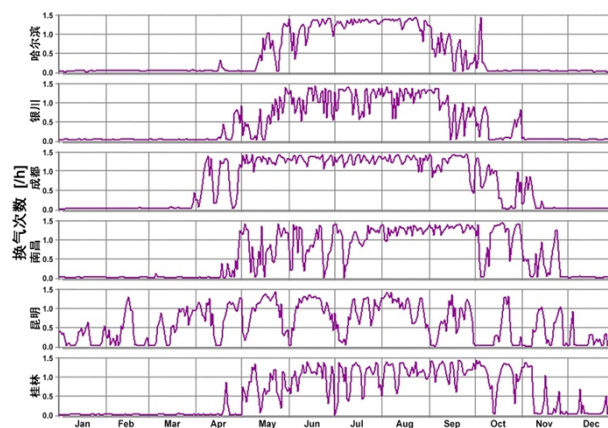


图 4 模拟对象的逐日换气次数

Fig.4 Daily air change rates of the simulated room described in Section 3.3 for different cities

(2) 夏季室内热湿环境舒适性

为判断现行标准将通风开口有效面积与房间地板面积的比值限值设定为 1/20 是否能够满足不同的地域气候条件下调节夏季室内热湿环境舒适性的需要, 根据第 2 节所述模拟方法分别输入哈尔滨、银川、成都、南昌、昆明、桂林的典型气象年逐时气象数据, 对该代表性模型进行自然通风模拟, 计算时间为 Apr.1~Sep.30。

室内热湿环境模拟结果按照我国现行《民用建筑室内热湿环境评价标准》中对于自然通风建筑环境评价规定的预计适应性平均热感觉指标 (aPMV) 为评价依据。aPMV 模型考虑了人们的心理和行为上的适应性, 用自适应系数 λ 来修正用 Fanger PMV 方法产生的偏差, 计算公式为: $aPMV = PMV / (1 + \lambda \times PMV)$ 。在 aPMV 模型中, 自适应系数 λ 与当地环境、人的适应性等因素有关, 在《民用建筑室内热湿环境评价标准》中给出了不同气候区、不同类型建筑适应性系数 λ 的取值^[31]。

标准规定 I 级热湿环境 ($-0.5 \leq aPMV \leq 0.5$) 为 90% 以上人群满意的热湿环境, II 级热湿环境 ($-1 \leq aPMV < 0.5$ 或 $0.5 < aPMV \leq 1$) 为 75%~90% 人群满意的热湿环境, III 级热湿环境 ($aPMV < -1$ 或 $aPMV > 1$) 为 75% 以下人群满意的热湿环境^[31]。《健康住宅评价标准》T/CECS 462-2017 规定住宅室内热湿环境应符合 I 级或 II 级的要求, 即 $-1 \leq aPMV \leq 1$ ^[32]。

通过模拟及计算得到各城市计算时间内模拟对象不符合健康住宅热湿环境要求的时间的年百分比如表 3 所示。在依据现行标准通风开口尺度限值设计的条件下, 除昆明以外的 5 个城市存在热湿环境不符合健康住宅评价标准要求的时间段, 说明仅依靠通风开口调节作用不能满足夏季热湿环境舒适要求, 需要对通风开口尺度进行调整, 或使用空调等其他主动式降温措施, 以减小该时段的不舒适比率。

表 3 不同城市不符合健康住宅热湿环境要求所占时间的年百分比

Table 3 Annual percentage of the time that the simulated room does not provide a healthy residential thermal environment during the simulated period for the test cities

城市	年百分比
哈尔滨	4%
银川	8%
成都	24%
南昌	28%
昆明	0%
桂林	33%

3.2 通风开口尺度限值修正的可能性探讨

为修正通风开口尺度限值, 本研究针对第 2.3 节的建筑模型, 探究了通过调整通风开口尺度来改善夏季室内热湿环境的可能性。考虑工业生产及人体工程学角度的易于实现性, 在保持外窗位置及尺寸不变的状态下, 可从两个方面调整通风开口尺度 (见图 5)。

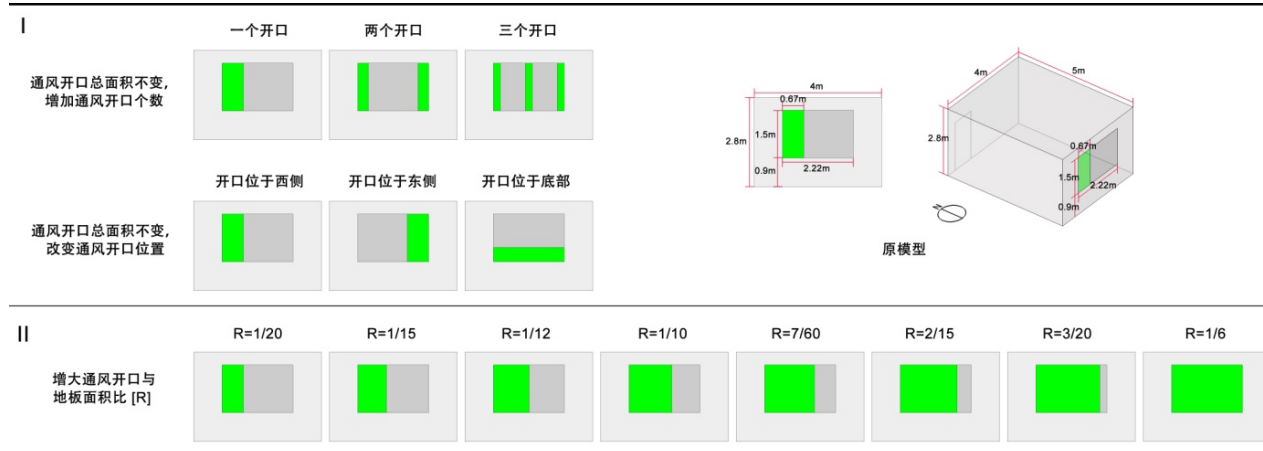


图 5 调整通风开口尺度方案

Fig.5 Two schemes for modifying the ventilation opening dimension.

(1) 通风开口总面积不变, 通过改变开启扇形式、增加通风开口个数或改变通风开口位置。因现行标准规定夏季自然通风用的进风口下缘距室内地面的高度不宜大于 1.2m, 故排除开启扇位于窗上部的开窗方式, 仅比较开启扇位于西侧、东侧和下部的情况。

(2) 通过增加开启扇个数、增大开启扇面积或通风开口面积。根据第 2 节所述模拟方法分别输入哈尔滨、银川、成都、南昌、桂林的典型气象年逐时气象数据, 对经过以上修改后的建筑对象进行

Apr.1~Sep.30 自然通风模拟并计算 aPMV, 得到了各城市不符合健康住宅热湿环境要求的时间占全年的百分比, 如表 4 和表 5 所示。可以看出: 在保持通风开口总面积不变的前提下, 增加通风开口个数对减小该百分比有一定作用, 改变通风开口的位置作用不明显; 增大通风开口面积的作用最明显。对于哈尔滨地区, 通风开口面积与地板面积的比值增大至 3/20, 将使室内热湿环境不符合健康住宅评价标准要求的时间由 4% 减至 1%; 对于银川地区, 通风开口面积与地板面积的比值增大至 2/15, 将使

该时间由 8% 减至 4%; 对于成都地区, 通风开口面积与地板面积的比值增大至 1/6, 将使该时间由 24% 减至 15%; 对于南昌地区, 通风开口面积与地板面积的比值增大至 7/60, 将使该时间由 28% 减至 24%; 对于桂林地区, 通风开口面积与地板面积的比值增大至 3/20, 将使该时间由 33% 减至 28%。

表 4 基于图 5 方案(I)不同城市计算时间内不符合住宅热湿环境要求所占时间的年百分比

Table 4 Annual percentage of the time that the simulated room does not provide a healthy residential thermal environment during the simulated seasons of the cities based on scheme (1) in Fig.5

城市	调节方式			通风开口位置		
	1	2	3	西侧	东侧	底部
哈尔滨	4%	4%	4%	4%	4%	4%
银川	8%	7%	6%	8%	8%	8%
成都	24%	23%	23%	24%	24%	24%
南昌	28%	28%	27%	28%	28%	28%
桂林	33%	32%	32%	33%	33%	33%

表 5 基于图 5 方案(II)不同城市计算时间内不符合住宅热湿环境要求所占时间的年百分比

Table 5 Annual percentage of the time that the simulated room does not provide a healthy residential thermal environment during the simulated seasons of the cities based on scheme (2) in Fig.5

城市	调节方式							
	通风开口面积与地板面积的比值							
	1/20	1/15	1/12	1/10	7/60	2/15	3/20	1/6
哈尔滨	4%	3%	2%	2%	2%	2%	1%	1%
银川	8%	6%	5%	5%	5%	4%	4%	4%
成都	24%	21%	21%	20%	19%	17%	16%	15%
南昌	28%	26%	26%	26%	24%	24%	24%	24%
桂林	33%	32%	30%	30%	30%	29%	28%	28%

各城市在计算时间内, 不同城市气候条件及相对于通风开口设计标准适当增大相应面积所可能最大减少的不符合健康住宅热湿环境要求所占时间的年百分比如图 6 所示。可以看出, 在夏季高温高湿、日照很少、风速很小的成都地区, 增大通风开口面积与地板面积的比值对于改善室内热湿环境的效果最明显。从传统民居营造经验来看, 成都

位于四川盆地, 该地区的典型传统民居为通透开放的“干栏式”建筑, 常利用可拆卸门窗以便于灵活组织不同季节的通风, 也证明了这一点。

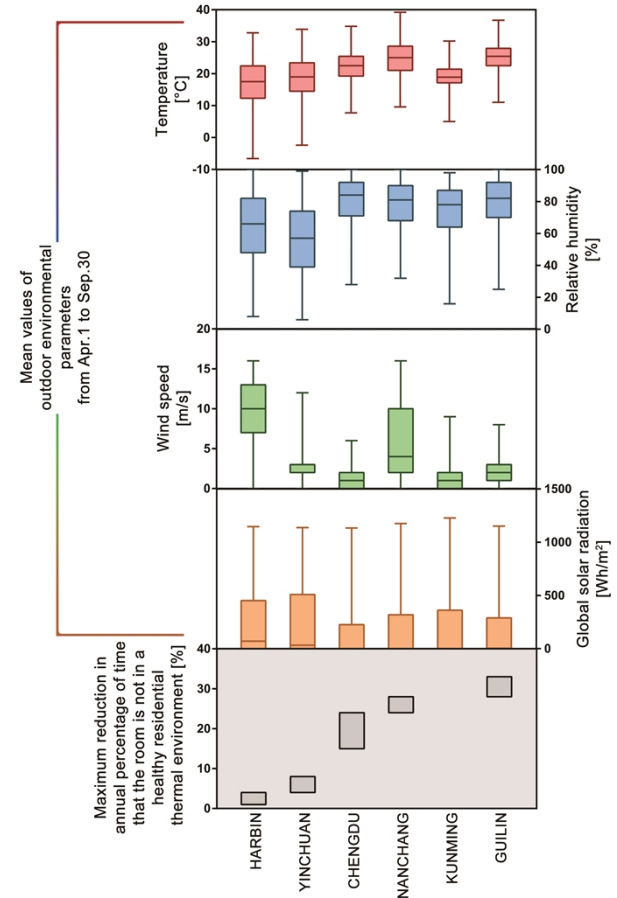


图 6 不同城市气候条件及相对于通风开口设计标准适当增大相应面积所可能最大减少的不符合健康住宅热湿环境要求所占时间的年百分比

Fig.6 Regional climatic conditions and maximum reduction in the annual percentage of the time that the simulated room does not provide a healthy residential thermal environment during the simulated seasons of the test cities by increasing the ratio of ventilation opening area to floor area compared with the current standard limits

如第 1 节所述, 考虑增大通风开口面积时, 应注意不能超过该地区节能标准要求的窗墙比限值; 同时从窗扇工业生产的角度来看, 增加开启扇的总面积意味着增加窗框的数量和缝隙的总长度, 对气密性能设计提出更高的要求, 势必增加生产成本。因此在考虑增大通风开口面积时, 应权衡利弊, 选择适宜的形式和分格尺寸。

需要特别注意的是,房间内人体活动区域的气流及热湿环境参数的分布状态对舒适健康环境的营造起重要作用。本研究对于房间换气次数及夏季热湿环境舒适性的评价基准为中国现行室内环境评价标准。而此标准对于房间内气流及热湿环境参数的空间分布状态,目前尚无明确规定。如第2节所述,通风开口尺度设计应结合通风路径的组织以发挥更充分作用。在当前房地产市场环境下,大进深一梯多户集合住宅所导致的单侧通风户型与通风路径组织之间的矛盾逐渐突出。

4 结论与展望

通过对中国现行住宅设计标准中通风开口尺度相关规定的发展进行追溯与分析,并以多层住宅楼中间层某一南向单侧通风起居室作为典型案例,对现行标准限值的通风开口尺度的地域适用性及对室内环境的影响进行了比较分析,并定量研究了通风开口尺度修正与室内环境改善程度的关联性,可以得到以下结论:(1)我国现行建筑设计标准中通风开口尺度主要借鉴了台湾省及日本建筑法规,通过验证分析结果表明该通风开口尺度限值能满足我国不同气候区各代表性城市的建筑换气次数的要求,但无法满足部分城市夏季室内适应性热舒适要求。(2)在满足换气次数的条件下,进一步通过通风开口尺度设计提升建筑室内适应性热舒适性要求。本文以某代表性建筑模型为例,对比分析了通风开口面积、开口位置、开口个数对室内热环境的影响。研究表明,在保持通风开口总面积不变的前提下,增加通风开口个数对减少夏季不符合健康住宅热湿环境要求的时间有一定作用,其中改变通风开口位置的作用不明显;增大通风开口面积的作用最明显。

本研究以我国6个代表性城市为例进行案例研究,结果表明通风开口尺度设计除了需考虑建筑换气次数的要求还需重点考虑对室内适应性热舒适的影响,未来有待在我国更多的城市进一步验证分析。今天,自然通风已成为一种绿色节能的被动式环境营造策略,本文分析了自然通风对热舒适的影响,而在建筑能耗分析方面还未涉及。此外,本研究仅采用了某居住建筑单个房间进行了分析,而未对整体居住建筑进行分析,有待未来进一步扩展研究。

参考文献:

- [1] H Zhang, D Yang, VWY Tam, et al. A critical review of combined natural ventilation techniques in sustainable buildings[J]. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2021,141(7):110795.
- [2] H E Feustel. COMIS-an international multizone air-flow and contaminant transport model[J]. *Energy Build.*, 1999,30(1):3-18.
- [3] T A. Building, Quantification of Air Change Rate by Selected Methods in a Typical Apartment Building[J]. *Buildings*, 2021, 174(11):11040174.
- [4] Y Choi, D Song. How to quantify natural ventilation rate of single-sided ventilation with trickle ventilator? [J]. *Build. Environ.*, 2020,181(15):107119.
- [5] H Wang, Q Chen. A new empirical model for predicting single-sided, wind-driven natural ventilation in buildings [J]. *Energy Build.*, 2012,54(11):386-394
- [6] T Yang, NG Wright, DW Etheridge, et al. A comparison of CFD and full-scale measurements for analysis of natural ventilation[J]. *Int. J. Vent.*, 2006,4(4):337-348.
- [7] NRM Sakiyama, L Mazzaferro, JC Carlo, et al. Natural ventilation potential from weather analyses and building simulation[J]. *Energy Build.*, 2021,231(2):110596.
- [8] W Li, Q Chen. Design-based natural ventilation cooling potential evaluation for buildings in China[J]. *J. Build. Eng.*, 2021,41(9):102345.
- [9] D Aviv, KW Chen, E Teitelbaum, et al. A fresh (air) look at ventilation for COVID-19: Estimating the global energy savings potential of coupling natural ventilation with novel radiant cooling strategies[J]. *Appl. Energy*, 2021,292(12):116848.
- [10] S Park, Y Choi, D Song, et al. Natural ventilation strategy and related issues to prevent coronavirus disease 2019 (COVID-19) airborne transmission in a school building[J]. *Sci. Total Environ.*, 2021,789(40):147764.
- [11] 杨云春,彭赟,漆晨宇,等.自然通风策略对高校宿舍室内空气品质的影响[J].*制冷与空调*,2021,35(2):175-181.
- [12] 岳雪.西安地区高层住宅室内自然通风研究[D].西安:西安建筑科技大学,2020.
- [13] 吕书强.窗户位置和尺寸对住宅室内自然通风的影响及效果评价[D].天津:天津大学,2010.
- [14] O Strategy, O Mode, N Ventilation, et al. Simulation,

- Study on the optimization strategy of opening mode on natural ventilation of residence using CFD simulation[J]. *Build. Sci.*, 2021,37(1):120-125.
- [15] A. STANDARD, ASHRAE 62.1: Ventilation for acceptable indoor air quality[M]. 1971 Tullie circle NE, atlanta, GA 30329, 2007.
- [16] A. STANDARD, ASHRAE 62.1: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality[M]. 1971 Tullie circle NE, atlanta, GA 30329, 2019.
- [17] X Fan, B Chen, C Fu, et al. Research on the influence of abrupt climate changes on the analysis of typical meteorological year in China[J]. *Energies*, 2020,13(24): 6531.
- [18] 陈敏,余贞贞,周传辉.湖北农村自然通风住宅热舒适调查研究[J].*制冷与空调*,2020,162(34):59-64.
- [19] GB 50033-2013, 建筑采光设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2012.
- [20] GB 50096-2011, 住宅设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2011.
- [21] CECS437-2016, 工业化住宅建筑外窗系统技术规程[S]. 北京:中国计划出版社,2016.
- [22] 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.
- [23] GB 51251-2017, 建筑防烟排烟系统技术标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2017.
- [24] GB 50352-2005, 住宅设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2011.
- [25] Construction and Planning Agency of Minister of the Interior (CPAMI), Building Technical Regulations[S]. Taipei: Mao Rong Books Inc., 1945.
- [26] GB 50352-2005, 民用建筑设计通则[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2005.
- [27] P Sahlin. On the effects of decoupling airflow and heat balance in building simulation models[J]. *Trans. Soc. Heat. Refrig. AIR Cond. Eng.*, 2003,109(2):788-800.
- [28] W Wu, JM Han, A Malkawi. Simplified direct forcing approach for dynamic modeling of building natural ventilation[J]. *Build. Environ.*, 2021,188(2):107509.
- [29] A Haas, A Weber, V Dorer, et al. COMIS v3.1 simulation environment for multizone air flow and pollutant transport modelling[J]. *Energy Build.*, 2002,34(9):873-882.
- [30] GB/T 18883-2002, 室内空气质量标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2002.
- [31] GB/T 50785-2012, 民用建筑室内热湿环境评价标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [32] T-CECS 462-2017, 健康住宅评价标准[S]. 北京: 中国计划出版社,2017.