

新冠肺炎疫情期间我国居民开窗通风频率和时间研究

高菲, 徐翔宇, 郭倩, 曹素珍, 魏佳宁, 王贝贝, 秦宁, 段小丽*

北京科技大学能源与环境工程学院, 北京 100083

摘要: 密闭空间增加了气溶胶传染的几率, 开窗通风对于降低感染风险、维持人体健康需求的新风量具有重要作用. 为了分析新型冠状病毒肺炎(COVID-19, 简称“新冠肺炎”)疫情期间不同地区人群开窗通风行为模式特征, 通过电子调查问卷获取了我国31个省(自治区、直辖市)的7784名居民在新冠肺炎疫情期间的开窗通风频率和通风时间及人口学信息, 分析了不同人群的通风行为及主要影响因素. 结果表明: ①调查中99.7%的居民会开窗通风, 其中有69.2%的居民通风频率大于2次/d, 38.2%的居民通风频率大于3次/d, 不同人群间通风频率差异显著. ②各地区居民的每日通风时间在93~126 min之间, 受疫情影响程度高的地区居民开窗通风时间更长; 与非疫情期间相比, 各地区居民的通风时间在疫情期间均大幅下降. ③疫情期间我国人群开窗通风行为的影响因素主要包括疫情相关因素和非疫情相关因素. 其中, 疫情相关因素主要是小区管控措施和小区周边医院分布情况, 小区实施疫情管控措施及小区周边有定点医院的人群通风频率较高; 非疫情相关因素主要是居民住宅类型、楼层及环境温度, 相比于单元楼或公寓, 居住在平房的人群通风频率较高, 居住在单元楼或公寓的人群通风频率较低. ④居住在单元楼或公寓中层的居民通风时间最长, 居住在低层的居民通风时间则最短. 调查人群的开窗通风频率和通风时间均与环境温度呈显著正相关. 研究显示, 新冠肺炎疫情期间, 99.7%受试者具有开窗通风行为, 各地区居民的每日通风时间在93~126 min之间, 少于非疫情期间.

关键词: 新型冠状病毒肺炎; 疫情期间; 通风频率; 通风时间; 行为模式

中图分类号: X33

文章编号: 1001-6929(2020)07-1668-07

文献标志码: A

DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2020.06.15

Ventilation Frequency and Duration of Chinese Population Opening Window during the COVID-19 Epidemic

GAO Fei, XU Xiangyu, GUO Qian, CAO Suzhen, WEI Jianing, WANG Beibei, QIN Ning, DUAN Xiaoli*

School of Energy and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

Abstract: Confined spaces increase the chance of aerosol infection, and window ventilation plays an important role in reducing the risk of infection and maintaining the fresh air required for human health. In order to analyze the window opening patterns of people in different regions during the COVID-19 outbreak, information on the frequency and duration of window ventilation and the demographic information were obtained through an electronic questionnaire survey, which surveyed 7784 subjects in 31 provinces in China. The ventilation behavior of different population and the main influencing factors were then analyzed. The results shows that: (1) During the COVID-19 epidemic, 99.7% of the subjects opened windows for ventilation; Among them, 69.2% of the subjects had more than two times of daily ventilation, and 38.2% had more than three times of daily ventilation, indicating a significant difference in ventilation frequency between different groups. (2) The daily ventilation duration of residents in each region was in the range of 93-126 min, and the ventilation duration for residents in the affected areas was longer. Compared with the non-epidemic period, the ventilation time of residents in all regions decreased significantly during the epidemic period. (3) The influencing factors of ventilation behavior of Chinese population during the epidemic mainly included the epidemic related factors and non-epidemic related factors. Among them, the epidemic related factors included control measures in the community and the distribution of hospitals around the community. The ventilation frequency was higher for the population, who resided in communities with epidemic control measures and nearby designated hospitals. The non-epidemic related factors included the type of dwelling, floor and ambient temperature. Compared with the units or apartments, the ventilation frequency of

收稿日期: 2020-03-31 修订日期: 2020-05-23

作者简介: 高菲(1996-), 女, 山西忻州人, 15510007937@163.com.

* 责任作者, 段小丽(1977-), 女, 山西交城人, 教授, 博士, 博导, 主要从事环境暴露与健康研究, jasmine@ustb.edu.cn

基金项目: 中国工程院攻关项目(No.2020-ZD-15); 北京科技大学基础科研项目(No.FRF-DF-20-07)

Supported by Key Project of Chinese Academy of Engineering (No.2020-ZD-15); Basic Research Project of University of Science and Technology Beijing, China (No.FRF-DF-20-07)

people living in bungalows was higher than those living in units or apartments. (4) Residents living in the middle floor of a flat or apartment building had the longest ventilation time, while those living on the lower floor had the shortest ventilation time. The window ventilation frequency and duration were positively correlated with the ambient temperature, that is, the ventilation frequency and duration of residents in areas with higher ambient temperature were higher than those in areas with lower ambient temperature. This study indicates that 99.7% of the residents had window ventilation behavior, and the daily ventilation time in various regions was in the range of 93-126 min during the COVID-19 epidemic, which was shorter than that during the non-epidemic period.

Keywords: COVID-19; epidemic period; ventilation frequency; ventilation duration; activity pattern

自新型冠状病毒肺炎(COVID-19,简称“新冠肺炎”)疫情暴发以来,我国各地区普遍采取了严格措施,要求广大居民居家隔离以减少暴露的风险。根据国家卫生健康委员会2020年3月发布的《新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)》,新型冠状病毒的传播途径主要包括经呼吸道飞沫和密切接触传播,还有人群众在相对封闭的环境中长时间暴露于高浓度气溶胶情况下经气溶胶传播的可能^[1],因此居家及隔离人群采取有效通风措施对于降低感染风险、维持人体健康需求的新风量具有重要作用。

已有充分的证据表明建筑物的通风与病毒的传播存在关联^[2-4],而通风是降低感染可能性的重要措施^[5-7]。世界卫生组织发布的有关医疗场所自然通风设计以防控感染的报告强调了通风条件在传染病疫情控制中的重要性^[8]。CHEN等^[9]研究表明,通过自然通风并附加电子排风扇增强通风时,医护人员在病房中感染SARS的风险大大降低。毛宇明等^[10]研究发现家庭加强开窗通风可以降低流感在家庭内的传播风险,孙越霞等^[11]对大学生宿舍通风量和疾病传播的研究得到相同结论。LI等^[4]模拟了香港淘大花园中SARS最严重的E区不同建筑单位之间气流对SARS病毒传播的影响,发现迎风的5号、6号楼人群感染风险明显低于背风面8号楼,表明建筑物通风对高层住宅公寓的感染控制具有积极作用。研究表明,当全部个体的通气率提高1倍和3倍时,人群峰值感染率分别降低65%和83%^[12]。另一方面,不良的室内空气质量会导致多种健康问题甚至疾病^[13-15],保持居室内环境空气的流通、补给新鲜的空气对维持人体基本健康有重要意义。自然通风方式在多数情况下可以满足居民住宅室内的新风量需求,并且相比于机械通风而言具有更好的适应性^[16-17]。开窗通风后再密闭可改善室内空气质量,有利于人体健康^[18-19]。室外环境温度、住宅类型和楼层是影响居民日常通风的主要因素^[20-25]。

此次新冠肺炎疫情期间,人群对新型冠状病毒普遍易感^[1],人群在家中或指定场所封闭隔离需加强通风,防范密闭空间可能的疫情传播风险。然而关于

新冠肺炎疫情期间我国居民通风行为以及疫情是否会影响通风行为尚不明确。该文是“新冠肺炎疫情期间中国人群环境暴露行为模式研究”的一部分,将着眼于新冠肺炎疫情期间不同人群开窗通风行为及其影响因素,研究结果对于了解新冠肺炎疫情期间人群行为模式及后期进行风险评估,采取合理防控措施具有重要的参考意义。

1 研究方法

1.1 调查对象

该研究调查对象为我国31个省(自治区、直辖市)的8330人,研究采用电子问卷调查方式,被调查者自愿参与,在线填写调查问卷,调查日期为2020年2月25日—3月14日。并采取严格的质量控制措施,剔除了填写出现逻辑错误、填写时间过短的人群,最终用于分析的有效样本量为7784份。

1.2 调查内容和方法

该研究通过在线电子问卷调查的方式获得了受试者开窗通风行为(包括通风频率和时间)、社会人口学信息(包括年龄、性别、文化程度、疫情期间所属人群)以及住宅类型、楼层、小区新冠肺炎疫情情况和小区周边医院分布等信息。由两组人员独立进行数据清洗并完成比对以保证结果的准确性,最终用于分析的有效样本为7784份,问卷核心问题的应答率为93.45%。在中国气象数据网官方网站(<http://data.cma.cn>)获取各地新冠肺炎疫情期间的平均气温数据。

1.3 数据统计分析方法

该研究利用SPSS 22.0软件针对不同组别中的通风频率和时间进行描述性统计分析,利用《中国人群暴露参数手册(成人卷)》^[26]中的居民每日通风时间数据作为非疫情期间的居民每日开窗通风时间,并与该研究中新冠肺炎疫情期间的居民每日开窗通风时间进行对比分析。利用卡方检验进行不同组别之间通风频率和通风时间的差异显著性检验,利用Spearman等级相关分析温度与居民通风时间和频率的关系。所有图片均采用Origin 9软件绘制。

根据截至2020年3月30日我国31个省(自治区、

直辖市)累计确诊病例数将疫情级别划分为5个等级.其中,新冠肺炎累计确诊病例数小于20例的地区为第一等级,包括西藏自治区和青海省;累计确诊病例数为20~200例的地区为第二等级,包括宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区、甘肃省、吉林省、辽宁省、山西省、天津市、贵州省、海南省、云南省和内蒙古自治区;累计确诊病例数为201~800例的地区为第三等级,包括陕西省、广西壮族自治区、福建省、河北省、上海市、北京市、黑龙江省、四川省、江苏省、重庆市、山东省;除湖北省外,累计确诊病例数大于800例的地区为第四等级,包括湖南省、江西省、安徽省、河南省、浙江省、广东省;第五等级为受疫情影响程度最高的地区,即湖北省.

新冠肺炎疫情期间所属人群包括居家人员和在岗人员,在岗人员分为医护人员、疫区和隔离区工作人员、企业在岗人员、与人群广泛接触人员.其中医护人员包括急诊工作医护人员、疫情相关检测人员和普通病房门诊医护人员.与人群广泛接触人员包括餐饮、快递、交通等服务业人员、安保人员、村委会及街道社区工作人员、公交车、出租车、地铁工作人员、客运、铁路、航空工作人员以及超市、菜市场工作人员,划分依据为《新型冠状病毒肺炎暴露风险防范手册-特殊从业人员》^[27],以上人群均属于新冠肺炎疫情期间的特殊从业人员,为保障大众出行采购生活必需品、保证社会正常运转等,在疫情期间坚守岗位、在工作中需要接触各类人群,因而划分为与人群广泛接触人员.

该研究对楼层数进行了划分,楼层分为1~5层、6~10层、10~19层及20层以上.划分依据为GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》中的风压高度变化系数,在距离地面15 m以内,城市市区建筑群风压高度变化系数均为0.65,则1~5层窗户风压值相同^[28].在距离地面15~30 m以内,城市市区建筑群风压高度变化系数接近,且均小于1,则划分楼层分为6~10层.距离地面30~60 m以内,城市市区建筑群风压高度变化系数接近,均在1左右,由此划分为10~19层.以此楼层数分为1~5层、6~10层、10~19层及20层以上.

2 结果与讨论

2.1 新冠肺炎疫情期间我国居民开窗通风频率

新冠肺炎疫情期间我国调查人群的开窗通风频率如表1所示.由表1可见,99.7%的居民有通风行为,69.2%的居民通风频率大于2次/d,38.2%的居民通风频率大于3次/d.不同人群通风频率差异显著:

男性通风频率达到4次/d的人数比例大于女性,而不同年龄和文化水平的人群中,60岁以上人群和小学及以下的人群通风频率达到4次/d的人数比例各为组内最高.从地区来看,武汉市有50%的人群通风频率仅为1次/d,整体通风频率较低;除武汉市以外的湖北省其他地区人群的整体通风频率较高,其中40.6%的人群通风频率在3次/d以上,其次为除湖北省以外的全国其他地区.受疫情影响程度较小的西藏自治区和青海省,人群进行3次/d以上通风的人数比例高于全国其他地区.从疫情期间所属人群来看,广泛接触人群的人员不开窗和仅开窗通风1次/d的人数比例均高于其他人群;而疫区、隔离区工作人员进行4次/d以上通风的人数比例最高,其次是医护人员.

2.2 新冠肺炎疫情期间与非疫情期间我国居民开窗通风时间对比

我国居民在新冠肺炎疫情期间与非疫情期间的开窗通风时间的对比分析如图1所示.结果显示,疫情期,我国居民的每日通风时间在93~126 min之间,整体上疫情等级较低地区的人群通风时间少于疫情等级较高的地区.以《中国人群暴露参数手册(成人卷)》^[26]中居民春季的通风时间作为非疫情期间居民通风时间,并进行对比,结果表明,我国各疫情等级地区居民的通风时间在疫情期均大幅下降,但下降程度有所不同,整体上疫情等级较高地区的人群通风时间下降程度较高.

2.3 新冠肺炎疫情期间我国居民开窗通风行为模式的影响因素

2.3.1 小区疫情情况和管控措施及周边医院分布对人群开窗通风行为模式的影响

表2反映了不同小区疫情情况及管控措施、周边医院分布下我国居民各通风频率的人数比例.对于居住小区内进行了全面消毒、小区隔离(如避免配送食品等)以及进出时测量体温并实名登记3项疫情管控措施的人群,其开窗通风频率显著高于无管控措施人群($P < 0.001$).小区进行了全面消毒的人群中,通风频率仅0~1次/d的人群少于无管控措施人群,而通风2次/d以上的人群(71.6%)则多于所在小区未进行全面消毒的人群(61.3%),进行小区隔离和进出时测量体温并实名登记两项管控措施同样符合此规律.周边无定点医院的人群通风频率少于1次/d的人数较多(32.1%),而小区周边有定点医院的人群中,其中72.7%的人群通风频率在2次/d以上,显著高于小区周边无定点医院的人群(67.9%).小区

表1 新冠肺炎疫情期间我国人群的开窗通风频率

Table 1 Window ventilation frequency of Chinese population during the COVID-19 epidemic

项目	样本量/人	不开窗的人数 比例/%	开窗通风频率的人数比例/%				
			1次/d	2次/d	3次/d	4次/d及以上	
全国合计	7 784	0.3	30.5	31.0	19.7	18.5	
性别*	男	3 364	0.4	28.1	30.1	19.7	21.7
	女	4 420	0.2	32.2	31.7	19.8	16.1
年龄*	<18岁	183	0.0	24.0	26.9	21.1	28.0
	18~30岁	4 626	0.2	32.2	28.8	19.3	19.5
	30~45岁	1 920	0.4	30.7	35.0	19.2	14.7
	45~60岁	952	0.4	23.7	34.9	22.9	18.1
	60岁以上	103	0.0	23.7	28.9	18.6	28.8
文化水平*	小学及以下	76	0.0	24.6	20.3	26.1	29.0
	初中	415	0.5	26.3	29.7	24.3	19.2
	高中 ¹⁾	912	0.1	23.6	33.4	24.0	18.9
	本科或专科	4 740	0.3	29.8	30.4	19.6	19.9
	研究生 ²⁾	1 641	0.3	37.5	32.5	16.4	13.3
地区*	武汉市	89	0.0	50.0	25.6	10.5	13.9
	湖北省(除武汉市以外)	301	0.0	29.1	30.4	17.6	22.9
	全国(除湖北省以外)	7 394	0.3	30.3	31.1	19.9	18.4
疫情等级*	第一等级	511	1.8	16.0	33.3	27.4	21.5
	第二等级	2 465	0.1	27.2	33.8	20.9	18.1
	第三等级	2 792	0.3	34.7	29.6	18.3	17.2
	第四等级	1 331	0.2	32.3	28.7	18.8	20.1
	第五等级	375	0.0	33.9	29.3	16.0	20.8
疫情期间 所属人群*	疫区、隔离区人员	56	0.0	29.6	25.9	20.4	24.1
	医护人员	139	0.0	21.6	40.3	17.9	20.2
	广泛接触人群人员	232	0.4	32.3	35.9	16.1	15.3
	企业在岗人员	874	0.4	25.9	35.6	21.7	16.4
	居家人员	6 053	0.3	31.3	30.3	19.4	18.7
	其他	430	0.5	29.6	27.4	22.6	19.9

注: *表示在0.05显著水平,不同组间通风频率差异显著(双尾检验). 1)高中包括普高、职高、中专; 2)研究生包括硕士研究生和博士研究生.

是否存在确诊或疑似病例并不显著影响人群的开窗通风频率($P=0.227$).

2.3.2 住宅类型和楼层对新冠肺炎疫情期间人群开窗通风行为模式的影响

图2为居住在不同住宅类型的人群在各通风频率的人数比例.由图2可见,住宅类型为无独立院子平房的居民通风频率最高,住宅类型为单元楼或公寓的居民通风频率最低($\chi^2=63.23, P\leq 0.001$).住宅类型为无独立院子平房的居民进行高频通风(≥ 3 次/d)的人数比例(53.0%)高于其他住宅类型.居住在单元楼或公寓的居民进行低频通风的人数比例最高.

图3为位于不同建筑楼层(单元楼或公寓)人群在不同单次通风时间下的人数比例.结果显示,1~5层低楼层居民的通风时间最短,其次为20层以上高层居民,而中层居民通风时间最长,且中层居民中位于6~10层的居民通风时间长于11~19层($\chi^2=25.06, P=0.015$).

由Spearman相关性分析可知,居民开窗通风频率、通风时间均与地区平均气温呈显著正相关(相关性系数分别为0.066、0.275, P 均小于0.001).

新冠肺炎疫情期间我国各疫情等级地区人群开窗通风时间均较非疫情期间出现下降,各地应鼓励和

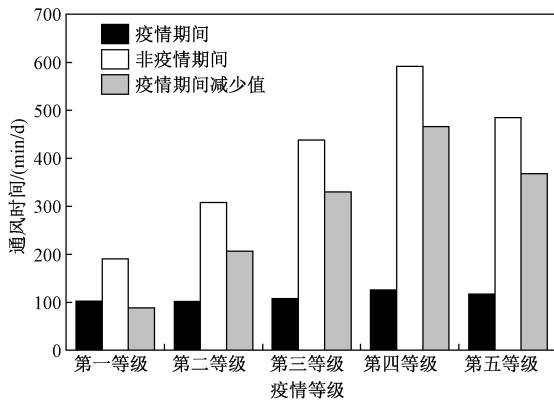


图1 新冠肺炎疫情期间我国不同疫情等级地区人群的通风时间

Fig.1 Ventilation duration of the Chinese population in areas with different epidemic levels during the COVID-19 epidemic

表2 新冠肺炎疫情期间小区疫情情况、管控措施和小区周边医院分布下调查人群的开窗通风频率

Table 2 Window ventilation frequency of population under different epidemic situation and control measures in community and hospital distribution around community during the COVID-19 epidemic

项目	样本量/人	通风频率/(次/d)			χ^2	P
		0~1	2~3	≥ 4		
是否有确诊病例	是 441	33.4	46.8	19.8	2.85	0.241
	否 7 343	30.6	51.0	18.4		
是否有疑似病例	是 564	33.9	47.7	18.4	2.96	0.227
	否 7 220	30.5	51.0	18.5		
是否进行全面消毒	是 6 007	28.4	53.4	18.2	79.51	<0.001
	否 1 777	38.7	41.9	19.4		
是否控制人员进出频率	是 7 092	30.4	51.1	18.5	4.62	0.099
	否 692	34.2	47.3	18.5		
是否进行小区隔离	是 3 420	26.6	53.9	19.5	46.85	<0.001
	否 4 364	34.0	48.4	17.6		
是否进出测体温并登记	是 6 759	29.7	51.9	18.4	29.25	<0.001
	否 1 025	37.8	43.6	18.6		
周边是否有定点医院	是 3 105	27.3	54.1	18.6	18.0	<0.001
	否 ¹⁾ 4 679	32.1	49.5	18.4		

注: 1) 无定点医院是指无发热门诊以及有发热门诊但非定点医院两种情况.

提倡居民加强通风. 而小区进行全面消毒、小区隔离(如避免配送等)以及进出时体温测量并实名登记3项疫情管控措施的人群开窗通风频率较高,我国各地区可重点加强小区相关防疫措施. 居住单元楼和公寓的人群通风频率低于居住在平房的人群,而居住在

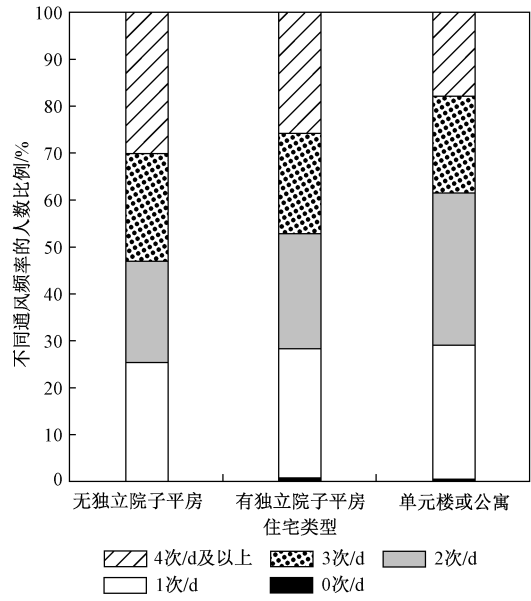


图2 新冠肺炎疫情期间不同住宅类型人群开窗通风频率的人数比例

Fig.2 The proportion of population living in different residences under different window ventilation frequency during the COVID-19 epidemic

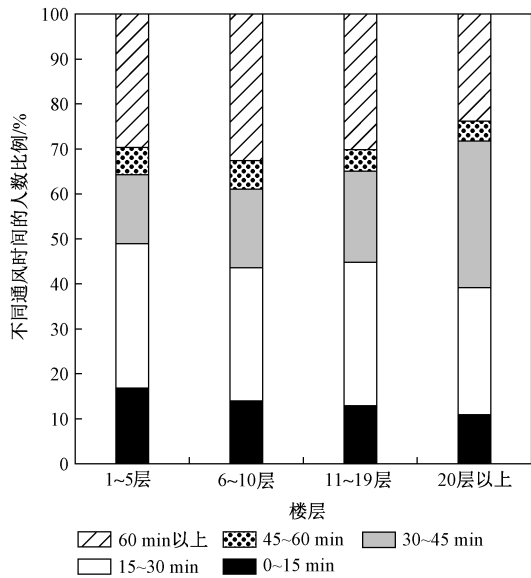


图3 新冠肺炎疫情期间不同建筑楼层人群开窗通风时间的人数比例

Fig.3 The proportion of population living in different floors under different window ventilation duration during the COVID-19 epidemic

低楼层单元楼人群的通风时间又较短,可见居住在单元楼或公寓的低楼层人群存在通风不足的问题. 王伟^[29]对学生宿舍自然通风下不同楼层的室内环境进行模拟分析,结果表明,高楼层宿舍通风环境优于低楼层宿舍,3层以下宿舍需要结合强制送风或排风来

改善室内环境. 李陆明等^[30]研究了居室楼层和厨房通风条件对学龄儿童肺功能的影响,结果表明,居住在1层的人群呼吸系统发病率比居住在5层以上的人群高3.61倍,这与低楼层通风情况不利导致油烟暴露及底层污染物暴露有关.因此,低楼层住户需重视通风问题,特别是在疫情期间,应尽量多通风,争取配备机械通风设备以保证新风量.此外,人群开窗通风的频率和时间均与温度呈显著正相关,这与已有研究结论^[31]一致.

3 结论

a) 在新冠肺炎疫情期间我国7 784名调查人群中,有99.7%的居民有通风行为,69.2%的居民通风频率大于2次/d,38.2%的居民通风频率大于3次/d.不同人群通风频率差异显著,武汉市人群的整体通风频率较低,而除武汉市以外的湖北省其他地区人群通风频率较高;疫情期间所属人群中,广泛接触人群的居民总体通风频率低,而疫区、隔离区工作人员具有较高的通风频率.

b) 新冠肺炎疫情期间,我国居民的每日通风时间为93~126 min,疫情等级较低地区的人群通风时间少于疫情等级较高的地区.总体上,居民的通风时长在疫情期间均大幅下降.

c) 影响人群开窗通风行为的疫情相关因素为小区防疫措施、小区周边医院分布情况.小区采取疫情管控措施的人群,开窗通风频率显著高于无管控措施人群.小区周边有定点医院的人群中,其中72.7%的人群通风频率在2次/d以上,显著高于小区周边无定点医院的人群(67.9%).影响人群开窗通风行为的非疫情相关因素为居民住宅类型、楼层及环境温度.住宅类型为无独立院子平房的居民通风频率最高,通风频率为3次/d及以上的人数达到53.0%,而住宅类型为单元楼或公寓的居民通风频率最低.居住在1~5层低楼层居民的单次通风时间最短,而6~10层中楼层居民则最长.

参考文献 (References):

[1] 国家卫生健康委员会.新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)[EB/OL].北京:国家卫生健康委员会,2020-03-04[2020-03-08].
<http://www.nhc.gov.cn/zygj/s7653p/202003/46c9294a7dfe4cef80dc7f5912eb1989/files/ce3e6945832a438eaae415350a8ce964.pdf>.

[2] LUONGO J C, FENNELLY K P, KEEN J A, et al. Role of mechanical ventilation in the airborne transmission of infectious agents in buildings[J]. *Indoor Air*, 2016, 26(5): 666-678.

[3] MAO Jiachen, GAO Naiping. The airborne transmission of infection between flats in high-rise residential buildings: a review [J]. *Building and Environment*, 2015, 94(2): 516-531.

[4] LI Y, DUAN S, YU I T S, et al. Multi-zone modeling of probable SARS virus transmission by airflow between flats in block E [J]. *Indoor Air*, 2005, 15(2): 96-111.

[5] YUEN P L, YAM R, YUNG R, et al. Fast-track ventilation strategy to cater for pandemic patient isolation surges [J]. *Journal of Hospital Infection*, 2012, 81(4): 246-250.

[6] QIAN Hua, LI Yuguo, SETO W H, et al. Natural ventilation for reducing airborne infection in hospitals [J]. *Building and Environment*, 2010, 45(3): 559-565.

[7] ZHANG Nan, HUANG Hong, SU Boni, et al. A human behavior integrated hierarchical model of airborne disease transmission in a large city [J]. *Building and Environment*, 2018, 127: 211-220.

[8] ATKINSON J, CHARTIER Y, PESSOA-SILVA C L, et al. Natural ventilation for infection control in health-care settings [R]. Geneva: World Health Organization, 2009.

[9] CHEN Weiqing, LING Wenhua, LU Ciyong, et al. Which preventive measures might protect health care workers from SARS? [J]. *BMC Public Health*, 2009. doi: 10.1186/1471-2458-9-81.

[10] 毛宇明, 沈福杰, 张焕珠, 等. 上海市黄浦区流行性感冒家庭内传播的影响因素 [J]. *职业与健康*, 2015, 31(20): 2799-2801.

MAO Yuming, SHEN Fujie, ZHANG Huanzhu, et al. Influencing factors of household transmission of influenza in Huangpu District of Shanghai [J]. *Occupation and Health*, 2015, 31(20): 2799-2801.

[11] 孙越霞, 侯静, 王攀, 等. 宿舍通风量对感冒疾病传播的影响 [J]. *暖通空调*, 2016, 46(2): 37-40.

SUN Yuexia, HOU Jing, WANG Pan, et al. Effect of dormitories' ventilation rates on spread of common cold [J]. *Heating Ventilating and Air Conditioning*, 2016, 46(2): 37-40.

[12] GAO Xiaolei, WEI Jianjian, COWLING B J, et al. Potential impact of a ventilation intervention for influenza in the context of a dense indoor contact network in Hong Kong [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 569(1): 373-381.

[13] BERGLUND B, BRUNEKREEF B, KNOPPEL H, et al. Effects of indoor air pollution on human health [J]. *Indoor Air*, 1992, 2(1): 2-25.

[14] SUNDELL J. On the history of indoor air quality and health [J]. *Indoor Air*, 2004, 14(S7): 51-58.

[15] JEDRYCHOWSKI W, MAUGERI U, JEDRYCHOWSKA-BIANCHI I, et al. Effect of indoor air quality in the postnatal period on lung function in pre-adolescent children: a retrospective cohort study in Poland [J]. *Public Health*, 2005, 199(6): 535-541.

[16] 安晶晶, 燕达, 周欣, 等. 机械通风与自然通风对办公建筑室内环境营造差异性的模拟分析 [J]. *建筑科学*, 2015, 31(10): 124-133.

AN Jingjing, YAN Da, ZHOU Xin, et al. Simulation analysis on differences between mechanical ventilation and natural ventilation on indoor environment in office buildings [J]. *Building Science*, 2015, 31(10): 124-133.

[17] FENNELLY K P, MARTYNY J W, FULTON K E, et al. Cough-generated aerosols of mycobacterium tuberculosis: a new method to study infectiousness [J]. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2004, 169(5): 604-609.

- [18] 周佳佳,徐宝萍.基于室内空气质量和节能的通风策略研究[J].建筑热能通风空调,2019,38(12):27-32.
ZHOU Jiajia,XU Baoping.Study on ventilation strategies based on integrated analysis of indoor air quality and energy saving[J].Building Energy and Environment,2019,38(12):27-32.
- [19] SUNDELL J,LEVIN H,NAZAROFF W W,*et al.*Ventilation rates and health:multidisciplinary review of the scientific literature[J].Indoor Air,2011,21(3):191-204.
- [20] SHI Shanshan,ZHAO Bin.Occupants' interactions with windows in 8 residential apartments in Beijing and Nanjing,China[J].Building Simulation,2016,9(2):221-231.
- [21] PARK J,CHOI C S.Modeling occupant behavior of the manual control of windows in residential buildings[J].Indoor Air,2019,29(2):242-251.
- [22] HOU Jing,ZHANG Yufeng,SUN Yuexia,*et al.*Occupants' windows opening behaviour in residences during heating season in Tianjin,China[J].Procedia Engineering,2017,205:2744-2748.
- [23] PINTER-WOLLMAN N,JELIC A,WELLS N M.The impact of the built environment on health behaviours and disease transmission in social systems[J].Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences, 2018. doi: 10.1098/rstb.2017.0245.
- [24] 陈高翔,安嫒娟.庭院式高层办公建筑自然通风研究:以宁波大学科技服务大楼为例[J].宁波大学学报(理工版),2019,32(5):110-114.
CHEN Gaoxiang, AN Huajuan. Natural ventilation of courtyard office building: a case study of Ningbo University science and technology service building [J]. Journal of Ningbo university (NSEE), 2019, 32(5): 110-114.
- [25] 王珍吾,高云飞,孟庆林,等.建筑群布局与自然通风关系的研究[J].建筑科学,2007,23(6):24-27.
WANG Zhenwu, CAO Yunfei, MENG Qinglin, *et al.* Study on relationship between building group distribution and natural ventilation[J].Building Science,2007,23(6):24-27.
- [26] 环境保护部.中国人群暴露参数手册(成人卷)[M].北京:中国环境出版社,2014.
- [27] 段小丽,赵晓丽.新型冠状病毒肺炎暴露风险防范手册-特殊从业人员[M].北京:中国环境出版社,2020.
- [28] 中国工程建设标准化协会.GB 50009—2012 建筑结构荷载规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [29] 王伟.模拟分析学生宿舍自然通风下不同楼层的室内环境[J].工程建设与设计,2013(2):83-88.
WANG Wei. Simulation and analysis of the dormitory indoor environment of different floors under natural ventilation [J]. Architectural and Structural Design,2013(2):83-88.
- [30] 李陆明,周亚清,陈云巨.居室楼层和厨房通风条件对学龄儿童肺功能等的影响[J].浙江预防医学与疾病监测,1993(5):28-29.
- [31] YAO Mingyao,ZHAO Bin.Window opening behavior of occupants in residential buildings in Beijing[J].Building and Environment, 2017,124:441-449.

(责任编辑:周巧富)