

文章编号: 1671-6612 (2024) 01-097-07

平疫结合社区通风系统 设计及卫生通过风量平衡计算分析

林劲松^{1,2} 乔静^{1,2} 黄凯新³ 李照龙^{1,2} 李建敏^{1,2} 王瑞强^{1,2}

(1. 中国建筑第七工程局有限公司 郑州 450004;

2. 中建中原建筑设计院有限公司 郑州 450004;

3. 中国电子工程设计院股份有限公司 北京 100142)

【摘要】 以河南省郑州市某平疫结合社区为例,介绍了平疫转换涉及的主要建筑功能布局和通风系统设计要求。根据风量平衡公式,计算并分析了在门窗缝隙为0.004m,一脱防护服房间换气次数 20h^{-1} 条件下,卫生通过区相邻相通房间压差对通风量的影响。在穿防护服房间压力为5Pa,更衣室房间压力为10Pa,二脱防护服房间压力为-5Pa,一脱防护服房间压力为-25Pa时,各房间通风量最小,更衣室送风换气次数为 22.9h^{-1} ,穿防护服房间送风换气次数为 3.4h^{-1} ,一脱防护服房间送风换气次数为 6.9h^{-1} ,二脱防护服房间排风换气次数为 4.2h^{-1} 。

【关键词】 平疫结合;通风系统;卫生通过;压差影响

中图分类号 TU241 文献标志码 A

The Analysis of Ventilation System Design and the Air Volume Balance Calculation of Hygiene Passing Through with the Combination of Normal Time with Epidemic Period in a Community

Lin Jinsong^{1,2} Qiao Jing^{1,2} Huang Kaixin³ Li Zhaolong^{1,2} Li Jianmin^{1,2} Wang Ruiqiang^{1,2}

(1.China Construction Seventh Engineering Division Co., Ltd, Zhengzhou, 450004;

2.CSCEC Zhongyuan Architectural Design Institute Co., Ltd, Zhengzhou, 450004;

3.China Electronics Engineering Design Institute Co., Ltd, Beijing, 100142)

【Abstract】 Taking the example of a community with combination of normal time with epidemic period in Zhengzhou, Henan Province, the main building function layout and ventilation system design requirements with epidemic conversion are introduced. According to the equation of air quantity balance, the influence of pressure difference between adjacent rooms in the hygiene passing through on air quantity was analyzed under the conditions that the door and window gap were 0.004m and the air change rate was 20h^{-1} in the first undressed room. When the pressure in the protective clothing dressing room is 5Pa, the pressure in the dressing room is 10Pa, the pressure in the second undressed room is -5Pa, the pressure in the first undressing room is -25Pa, the air quantity of each room is the minimum. The air change rate is 22.9h^{-1} in the dressing room, 3.4h^{-1} in the protective clothing dressing room, 6.9h^{-1} in the first undressing room, 4.2h^{-1} in the first undressing room.

【Keywords】 combination of normal time with epidemic period; ventilation system; hygiene passing through; effect of differential pressure

基金项目: 中建七局基金项目——“平疫结合”建筑项目的设计关键技术研究(项目编号: CSCEC7b-2022-Z-26)

作者简介: 林劲松(1974-),男,本科,高级工程师, E-mail: 849053376@qq.com

通讯作者: 乔静(1993-),女,硕士研究生,工程师, E-mail: qjingyx@163.com

收稿日期: 2023-06-09

0 引言

新冠疫情爆发以来，世界各国不仅在社会、经济、政治等诸多方面受到了前所未有的冲击，还暴露出各国在应对突发公共卫生卫生的不足。为了提高我国应对突发公共卫生事件的能力，国家机关发布了《公共卫生防控救治能力建设方案》^[1]，提出平战结合原则：既满足“战时快速反应”、集中救治和物资保障需要，又充分考虑“平时”职责任务和运行成本。

在新冠疫情期间，一定数量的酒店被征用对国外入境人员、国内密接和次密接人员进行隔离管控，但现有酒店在布局和管控方面存在一定的缺陷，给工作人员和隔离人员带来一定的感染风险，因此，在市郊建立专用隔离社区是解决目前隔离酒店存在问题的有效手段。在后疫情时期，为避免隔离社区闲置，资源浪费，根据社区建筑性质，可作为租赁住房，既解决了住房问题，又带来一定的经济效益。因此，在对平疫结合社区设计时，既要满足两种建筑功能布局需求，又要实现功能的快速转换。

本文以河南省郑州市某平疫结合社区为例，介绍了涉及平疫转换的主要建筑功能空间布局和通风系统设计要点，分析了压差对卫生通过各房间通风量的影响，为今后平疫结合社区的设计提供参考。

1 平疫结合社区主要建筑功能空间设计

该社区位于河南省郑州市，总建筑面积 277674.17m²。平时使用时，主要建筑功能包括租赁住房、幼儿园、老年人日间照料中心、物业管理用房及社区服务等配套用房；在疫情状态下，为避

免交叉感染，按使用功能被划分为污染区、半污染区和清洁区，主要包括隔离观察用房、工作人员宿舍及办公用房、库房、医废暂存间、消毒间等设备用房。平疫结合社区根据其在疫情防控中项目规划定位，设计时既要满足建筑房间在平时和疫时功能需求，又要兼顾平时居民生活的便利性与疫时人员流动线路的合理性，图 1 为平疫转换涉及的主要建筑功能空间及布局。



图 1 平疫转换涉及的主要建筑功能空间及布局

Fig.1 The main building function space and layout involved in the epidemic transformation

(1) 公寓平时作为租赁住房，疫情时转换为隔离观察用房。房间总套数 5114 套，全部为单人住房，其中可合并为两室一厅住宅共 608 套，其余 3898 套为单人住房，合并后套房可实现家庭按户隔离，为家庭老人和小孩看护提供便利。疫情使用时，一层值班室转换为卫生通过，一层平面布局如图 2 所示。

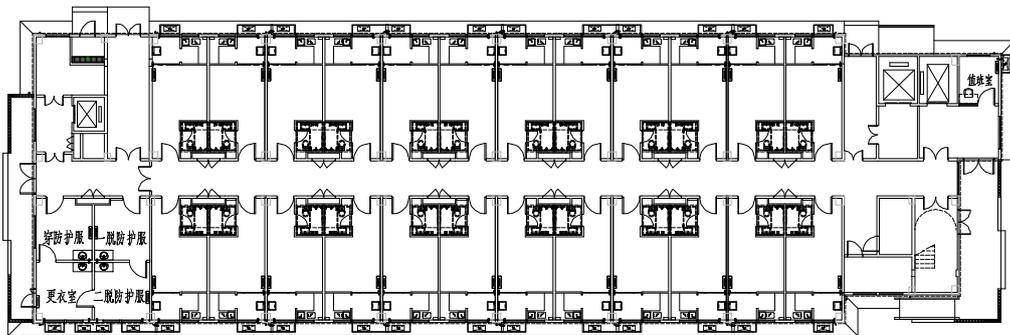


图 2 隔离观察用房一层平面布局

Fig.2 The ground floor layout of the isolated observation room

(2) 便利店、物业管理用房处于社区的商业区, 平时使用时, 一层作为便利店为住户提供生活娱乐服务, 二层、三层作为物业管理用房, 在疫情时该建筑位于半污染区, 全部转换为员工宿舍, 一

层各房间外门封闭, 禁止人员自由出入, 员工宿舍一层平面布局如图 3 所示。

(3) 幼儿园、养老服务用房、党建办公疫情时作为库房用来储存防疫物资, 位于清洁区。

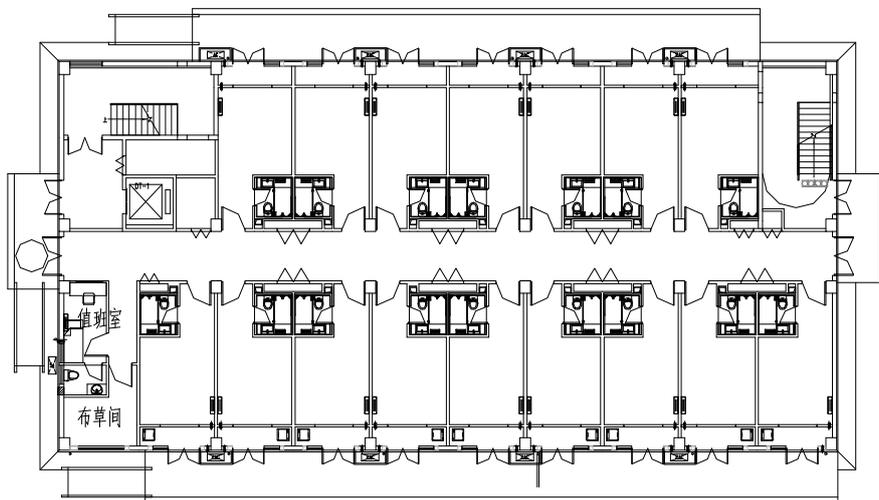


图 3 员工宿舍一层平面布局

Fig.3 The ground floor layout of the staff dormitory

2 主要建筑功能空间通风系统设计

清洁区的办公用房平疫转换前后使用功能相同, 按照常规设计满足人员对环境需求即可。员工宿舍在平疫转换前后, 对房间环境无特殊要求, 仅卫生间满足换气次数不小于 10h^{-1} 。库房主要储存防疫物资, 采用带中效过滤的全热交换新风机组机械通风, 既能满足平时作为幼儿园使用时对新风的需求, 又能保障疫情期间库房物资对室内洁净度的要求。隔离观察用房处于污染区, 为防止气流交叉污染, 增加工作人员和隔离人员的感染风险, 需要采取一定的通风措施。

2.1 隔离房间通风系统设计

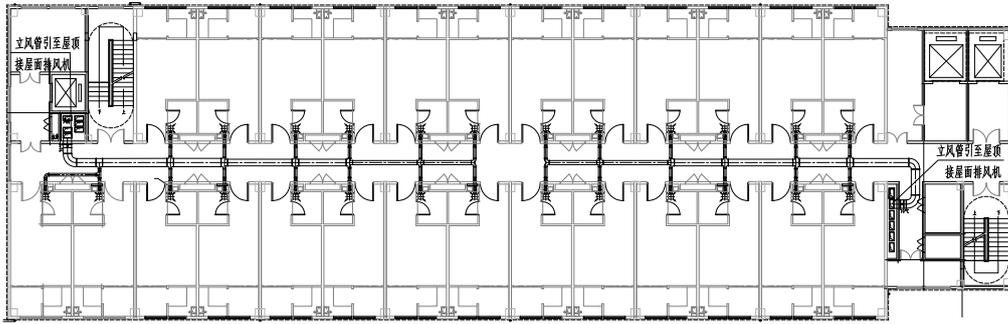
隔离房间用于密接和次密接人员的隔离安置, 人员入住时, 为减小相邻房间气流交叉感染的风险, 房间需要采取一定的通风措施。ASHRAE 认为换气次数保持在 3h^{-1} 可以将空气中致病颗粒物浓度降低 95%^[2]; 李翔等人采用 CFD 技术模拟客房混合通风下气流组织, 结果表明室外气体经外窗流入室内, 由卫生间排气扇排出房间, 流动路径明显, 混合通风效果良好^[3]。表 1 为不同标准对隔离房间通风要求。根据平疫结合建筑功能需求, 为实现系统安全节能运行, 隔离房间采用混合通风, 即

隔离房间不单独设置机械送风, 仅卫生间设置排气扇机械排风, 通过门窗缝隙自然补风, 考虑室内空气品质, 每天需开窗自然通风。卫生间排风需统一收集后由屋顶排风机排至室外, 卫生间排风收集方式, 一种是由每个卫生间排风总立管收集, 另一种为同层收集后由独立通风立管排至室外, 相比于前者收集方式, 后者在疫情时期低入住率情况下, 可按层分配人员入住并开启对应通风机, 既方便了人员管理又减少了风机的运行台数, 实现了建筑的低能耗运行。该隔离用房卫生间排风每层收集后经通风立管由屋顶排风机排至室外。隔离房间排风系统示意图如图 4 所示。

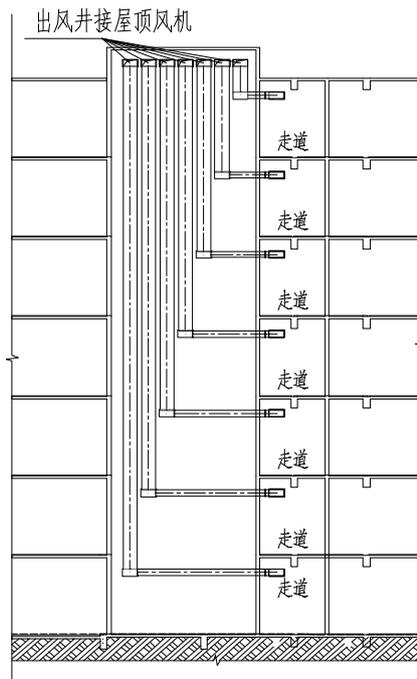
表 1 不同标准对隔离房间通风要求

Table 1 Ventilation requirements of different standards for isolated room

标准	排风要求	新风要求	过滤要求
关于印发集中隔离点设计导则(试行)的通知 ^[4]	大于房间新风量 $150\text{m}^3/\text{h}$	若设置, 新风量 $30\sim 50\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$	否
集中隔离观察点设置标准及管理技术指引(第八版) ^[5]	10h^{-1}	每天至少 2 次, 每次至少 30 分钟	是



(a) 排风系统平面图



(b) 排风系统竖向图

图 4 隔离房间排风系统示意图

Fig.4 The exhaust system layout of the isolated observation room

根据《洁净室及其受控环境设计》^[6]中的渗透风量计算公式,可计算出在一定压差下通过门窗缝隙的渗透风量,见式(1)。

$$Q = 3600 \times 0.65 \times A \times \Delta P^{0.5} \quad (1)$$

式中: Q 为渗透风量, m^3/h ; A 为门窗缝隙面积, 缝隙宽度一般取 $0.002 \sim 0.004m$; ΔP 为压差, Pa 。

该隔离房间面积 $28.6m^2$, 卫生间面积 $3m^2$, 层高 $3.1m$, 该房间有两个平开窗, 窗型为 C1315 和 C1115, 单扇门 M1121。为避免相邻房间空气相互流窜, 房间需保持负压状态, 由式(1)可计算出房间内压差与通风量的关系, 如图 5 所示。

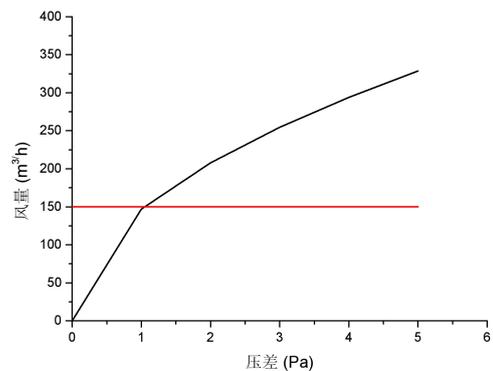


图 5 隔离房间风量随压差的变化

Fig.5 Variation of ventilation quantity with differential pressure in the isolated room

由图 5 可知, 当室内外压差由 1Pa 增大至 5Pa 时, 通风量由 147m³/h 增至 328.6m³/h。总风量的大小影响排风机选型以及排风管的尺寸, 风管尺寸大, 占用走道空间, 影响走道净高, 且排风机及风管尺寸的大小影响初投资, 因此卫生间排风量仅需满足房间微负压要求即可, 参考表 1 中标准[4]和标准[5]对排风的要求, 确定通风换气量为 150m³/h 时, 换气次数约为 16h⁻¹。

2.2 卫生通过区通风系统设计

卫生通过区是工作人员穿脱防护服进出污染区的必经通道, 为避免工作人员在该区域感染, 需要保证气体定向流动, 气流方向为: 更衣室 → 二脱房间 → 一脱房间; 更衣室 → 穿防护服间 → 走道, 图 6 为隔离人员用房的卫生通过区气体流向图。

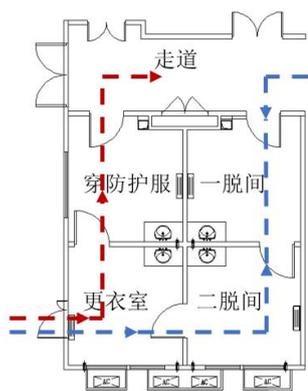


图 6 隔离人员用房的卫生通过区气体流向图

Fig.6 Airflow direction of the hygiene passing through quarantine room

自新冠疫情爆发后, 各地针对隔离观察点和方舱医院发布了相应的导则和标准, 对卫生通过区通风系统作了规定, 表 2 为不同标准下卫生通过区通风要求对比。为保证气体定向流动, 一些标准规定更衣室和脱防护服间通风量按 30h⁻¹ 换气次数计算, 相邻隔间采用对角设置方式设置 D300 的通风短管[7,9], 但该种方案会存在气流反向流动的可能, 有些项目管理人和医疗队建议增加排风口, 便于控制相通房间压力梯度。气流组织采用上送风、下排风, 房间内送排风支管上设置多工况风量调节阀, 以保证房间风量和压力的要求。

送排风机采用一体化数字变频离心风机, 并自带控制柜。每个新排风系统的变风量控制、监测报警独立完成, 并预留 RS485 通讯接口接入 BA 系统。更衣室门口处设卫生通过送排风机手动控制按钮,

送排风机启动顺序为: 污染区排风-清洁区送风-污染区送风-清洁区排风, 关闭顺序则相反。

表 2 卫生通过区通风要求对比

Table 2 Comparison of ventilation requirements in hygiene passing through

标准	排风要求	新风要求	净化要求
关于印发集中隔离点设计导则(试行)的通知 ^[2]	一脱房间 20h ⁻¹	——	否
集中隔离观察点设置标准及管理技术指引(第八版) ^[3]	脱防护服房间 20h ⁻¹	——	高空排放或净化
关于印发方舱医院设计导则(试行)的通知 ^[8]	一脱房间 20h ⁻¹	——	净化消毒
方舱医院设计和改建的有关技术要求(修订版) ^[9]	脱防护服房间 30h ⁻¹ 或 系统服务区 域不小于 6h ⁻¹	一次更衣 室 30h ⁻¹	排风加装初中高效过滤器

3 卫生通过风量平衡计算

通过表 2 可知, 卫生通过区通风总要求为控制气体流向一脱房间, 但房间通风量要求不同, 风量不仅影响气体流向, 还决定送排风系统的设置和风机型号的选取。本节以公寓建筑卫生通过区布局为例, 研究各房间通风量与相邻房间压差的关系, 为后疫情时代卫生通过设计提供参考。卫生通过区各房间面积 14m², 房间净高 3.1m, 房间布局如图 6 所示, 房间门窗均为非密闭门窗, 其型号参数如表 3 所示。门窗气密性满足《钢门窗》^[10]相关规定。

表 3 卫生通过房间门窗参数表

Table 3 Door and window parameters in hygiene passing through

房间	门	窗
更衣室	M1221(双扇门)	C1315(平开窗)
	M1121(单扇门)	C1115(平开窗)
穿防护服房间	M1121(单扇门)	C2115(平开窗)
一脱防护服房间	M1121(单扇门)	——
二脱防护服房间	M1121(单扇门)	C1315(平开窗)
		C1115(平开窗)

为方便分析各房间风量与压差之间的关系，定义净通风量为该房间送风量与排风量之差，该值为正时，送风量大于排风量；该值为负时，排风量大于送风量。根据风量平衡关系：排风量 + 渗出风量 = 新风量 + 渗入风量，可得出净通风量 = 渗出风量 - 渗入风量。

由风量平衡关系式可得出净通风量计算公式：

$$\Delta G = 3600 \times 0.65 \times \left(\sum_{i=1}^n A_{oi} \times \Delta P_{oi}^{0.5} - \sum_{i=1}^n A_{ji} \times \Delta P_{ji}^{0.5} \right) \quad (2)$$

式中：ΔG 为净通风量，正值代表渗出风量大于渗入风量，负值代表渗入风量大于渗出风量，m³/h；下标 o、j 分别代表渗出，渗入。

卫生通过区仅要求气流定向流动，但对相邻房间压差未做要求，国内外相关研究表明，5Pa 的正压可以满足关门状态下，外部空气不能渗入室内，但最高不超过 30Pa，因为压差过大会对人耳产生影响^[1]。当一脱房间排风量为 20h⁻¹，缝隙宽为 0.004m，相邻相通房间维持 5Pa 的压差时，根据风量平衡计算出各房间的压差和风量，结果见表 4。

表 4 各房间在一定压差下的通风量

Table 4 The ventilation quantity of each room under a certain pressure difference

房间	压差 (Pa)	新风量 (m³/h)	渗入量 (m³/h)	排风量 (m³/h)	渗出量 (m³/h)
一脱防护服间	-10	544.6	323.4	868	—
二脱防护服间	-5	—	449.7	315.7	134
更衣室	10	993.5	—	—	993.5
穿防护服	5	146.5	134	—	280.5

一脱防护服间为负压，渗出量为 0，当室内换气次数为 20h⁻¹ 时，房间内还需设送风系统维持风量平衡。二脱防护服间渗入量大于渗出量，房间内需设排风系统。更衣室、穿防护服间为正压，渗出量均大于渗入量，房间内仅需设送风系统，由于更衣室相对相邻相通房间均为正压，渗出风量较大，在相对更衣室 5Pa 的压差下，通风换气量为 993m³/h，相当于房间换气次数为 22.9h⁻¹。

3.1 压差对更衣室、穿防护服房间净通风量的影响

由表 4 计算可知，更衣室、穿防护服房间仅设

送风系统即可满足气体定向流动要求，因此在设计过程中两房间可以共用一套送风系统。房间送风量即为净通风量，通过研究两房间净通风量之和与压差的关系，可为工程设计提供参考。在门窗缝隙为 0.004m，二脱防护服房间压力为 -5Pa，穿防护服房间压力为 5Pa 时，代入式 (2) 可得出两房间净通风量之和与压差的关系，见式 (3)。

$$\Delta G = 59.9\sqrt{\Delta P + 10} + \sqrt{\Delta P + 5} + 280.4 \quad (3)$$

式中：ΔG 为净通风量，m³/h；ΔP 为更衣室与穿防护服房间之间的压差，为减小压差对人耳的影响，取值范围为 5~20Pa，Pa。

对式 (3) 求导可知 ΔG' > 0，即两房间送风量之和随压差增大而增大，当压差由 5Pa 增至 20Pa 时，两个房间送风量之和增加了 28.79%。在穿防护服房间压力为 5Pa，两房间压差为 5Pa 时，两个房间送风量之和最小，此时更衣室换气次数为 22.9h⁻¹，穿防护服房间换气次数为 3.4h⁻¹。因此通过减小两房间压差，既能满足气体定向流动，又能减小送风机型号，减少工程初投资。

3.2 压差对一脱、二脱防护服房间净通风量的影响

由 3.1 节可知，在穿防护服房间压力为 5Pa，更衣室与穿防护服房间压力差为 5Pa 时，两房间送风量之和最小，因此在穿防护服房间压力为 5Pa，更衣室房间压力为 10Pa，二脱防护服房间压力为 -5Pa 时，研究一脱防护服房间、二脱防护服房间净通风量随压差的变化，结果如图 7 所示。

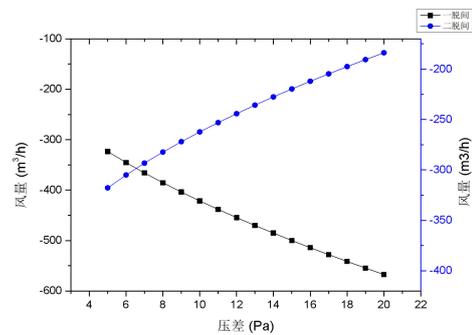


图 7 一脱防护服房间和二脱防护服房间风量随压差的变化

Fig.7 Variation of ventilation quantity with differential pressure in the first undressed room and the second undressed room

由图7可知,随着一脱与二脱防护服房间压差增大,一脱防护服房间净通风量减小,当该房间仅设排风系统时,排风量由 $323.36\text{m}^3/\text{h}$ 增大至 $567.38\text{m}^3/\text{h}$,相当于换气次数由 7.5h^{-1} 增大至 13h^{-1} ,均小于表2中所列标准对该房间通风要求,为方便工程设计及保证现场调试效果,一脱防护服房间排风换气次数取值为 20h^{-1} ,此时房间需设送风系统,经计算可得,压差由 5Pa 增大至 20Pa 时,送风量由 $544.6\text{m}^3/\text{h}$ 减少至 $300.62\text{m}^3/\text{h}$,减少了44.8%;由于二脱防护服房间仅设排风系统,二脱房间净通风量与压差的关系即为排风与压差的关系,当压差由 5Pa 增大至 20Pa 时,排风量由 $315.7\text{m}^3/\text{h}$ 减少至 $183.32\text{m}^3/\text{h}$,减少了42%。由此可见,通过增大一脱、二脱防护服房间的压差,可减小送排风机组风量。在二脱防护服房间压力为 -5Pa ,一脱防护服房间压力为 -25Pa ,一脱防护服房间排风换气次数取值为 20h^{-1} 时,一脱防护服房间送风换气次数为 6.9h^{-1} ,二脱防护服房间排风换气次数为 4.2h^{-1} 。

4 结论

本文以河南省郑州市某平疫结合社区为例,介绍了平疫转换涉及的主要建筑功能布局和通风控制要求。为研究压差对风量的影响,引入净通风量的概念,根据风量平衡理论,计算并分析了卫生通过区压差对通风量的影响,为今后此类工程通风设计提供参考,结论如下:

(1) 在门窗缝隙为 0.004m ,一脱防护服房间 20h^{-1} 换气次数条件下,为满足气体定向流动,一脱防护服房间需设送排风系统,二脱防护服房间设排风系统,更衣室和穿防护服房间设送风系统。

(2) 在门窗缝隙为 0.004m ,二脱防护服房间压力为 -5Pa ,穿防护服房间压力为 5Pa ,穿防护服房间和更衣室压差为 5Pa 时,两房间送风量之和最小,此时更衣室换气次数为 22.9h^{-1} ,穿防护服房间换气次数为 3.4h^{-1} 。

(3) 在穿防护服房间压力为 5Pa ,更衣室房间压力为 10Pa ,二脱防护服房间压力为 -5Pa ,一脱防护服房间排风换气次数取值为 20h^{-1} 时,一脱与二脱防护服房间压差由 5Pa 增至 20Pa 时,一脱防护服房间送风量减少了44.8%,二脱防护服房间排

风量减少了42%,因此通过增加一脱与二脱防护服房间的压差,可减小送排风量。

参考文献:

- [1] 国家发展和改革委员会. 公共卫生防控救治能力建设方案[EB/OL]. [2020-05-31]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202005/t20200522_1228686.html
- [2] ASHRAE. Building readiness[S]. Atlanta,GA:American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, 2020.
- [3] 李翔,胡晨炯,黄碧,等. 集中隔离社区多空间尺度通风设计案例分析[J]. 暖通空调, 2022, 52(12): 34-40.
- [4] 国家卫生健康委办公厅, 国家发展改革委办公厅, 住房城乡建设部办公厅, 等. 关于印发集中隔离点设计导则(试行)的通知[EB/OL]. [2022-07-21]. <http://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/s7824/202208/c39ec03b45724d91aa05fddea056b0c4.shtml>
- [5] 北京市疾病预防控制中心. 集中隔离医学观察点设置标准及管理技术指引[EB/OL]. [2022-04-21]. https://www.beijing.gov.cn/ywtdt/zwdt/yqfk/kpzs/202204/t20220421_2683701.html
- [6] 许钟麟. 洁净室及其受控环境设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [7] 浙江省住房和城乡建设厅. 方舱式集中收治临时医院技术导则(试行)[EB/OL]. [2020-06-22]. http://jst.zj.gov.cn/art/2020/2/13/art_1229159347_48452710.html
- [8] 国家卫生健康委办公厅, 国家发展改革委办公厅, 住房城乡建设部办公厅. 关于印发方舱医院设计导则(试行)的通知[EB/OL]. [2022-08-12]. <http://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/s7824/202208/1f16df5c140b4ad587381184ce51c317.shtml>
- [9] 湖北省住房和城乡建设厅. 方舱医院设计和改建的有关技术要求(修订版)[EB/OL]. [2020-03-30]. https://zjt.hubei.gov.cn/zfxgk/zc/gfxwj/202002/t20200206_2020080.shtml
- [10] GB/T 20909-2017, 钢门窗[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [11] GB 50333-2013, 医院洁净手术部建筑技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.