

基于医疗废物高温蒸汽处理车间的 通风方案优化及效果预测

张 静¹, 吕文超¹, 李安桂¹, 侯立安²

(1. 西安建筑科技大学 建筑设备科学与工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 火箭军研究院, 北京 100094)

摘要: 医疗废弃物具有传染性、生物毒性、化学毒性等, 若不加以妥善安全的处理, 会严重危害环境与工作人员的健康。本文针对典型医疗废物高温蒸汽处理车间的4种通风方案, 即局部排风、全面排风、竖壁贴附与顶部排风组合、竖壁贴附与局部排风组合等方式, 数值模拟了各自的速度分布、温度分布和污染物排除效果。研究表明, 对本文涉猎的任何带有局部排风的通风方式, 人员呼吸区高度的氯甲烷(CH_3Cl)、氨气(NH_3)平均质量分数均明显低于无局部排风的通风方式, 局部排风系统是有效排出厂房内的污染物的前置性通风条件。此外, 新型竖壁贴附送风方式可实现厂房两侧6 m~10 m工作区范围的新风定向输送, 能更好地保障工作区的空气品质。本研究可为医疗废物处置车间的高效通风气流组织设计提供指导。

关键词: 医疗废物处置车间; 环境控制; 气流组织; 贴附通风

中图分类号: TU 83

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2022)05-0742-11

Optimization and effect prediction of ventilation scheme for medical waste high-temperature steam treatment workshop

ZHANG Jing¹, LÜ Wenchao¹, LI Angui¹, HOU Li'an²

(1. School of Building Services Science and Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. Rocket Force University of Engineering, Beijing 100094, China)

Abstract: Medical waste has infectious, biological and chemical toxicity. If it is not handled properly and safely, it will seriously endanger the environment and the health of staff. In this paper, the velocity distribution, temperature distribution and pollutant removal effect of four ventilation schemes for typical medical waste high-temperature steam treatment workshop, i. e. local exhaust ventilation, general ventilation, combination of vertical wall attachment and top exhaust ventilation, and combination of vertical wall attachment and local exhaust ventilation, are numerically simulated. The research shows that for any ventilation mode with local exhaust discussed in this paper, the average mass fraction of methane chloride (CH_3Cl) and ammonia (NH_3) at the height of respiratory zone is significantly lower than that without local ventilation, which reveals that local exhaust system is the pre ventilation condition for effectively removing pollutants. In addition, the new vertical wall attached air supply mode can realize the directional delivery of fresh air within the 6 m~10 m working area on both sides of the plant, which can better ensure the air quality in the working area. This study can provide guidance for the design of efficient ventilation and air distribution in medical waste disposal workshop.

Key words: medical waste disposal center; environmental control; air distribution; attachment ventilation

目前, 新型冠状病毒肆虐全球, 截止2022年3月, 全球新冠肺炎疫情累计确诊病例高达四亿多人, 累计死亡病例达610多万例^[1]。这不仅给医院、前线的防控防疫工作造成了巨大压力, 同时产生的日均百吨的医疗废物也给医疗废物处置车间带来了一大难题。与其他废弃物相比, 医疗废弃物具有传染性、生物毒性、化学毒性等^[2-4], 对

环境、工作人员的危害远高于一般废弃物。由此给医疗废物处置车间通风系统设计带来了挑战。

目前医疗废物常用的处置技术有焚烧法和非焚烧法(高温蒸汽处理)^[4-9]。为减少烟气排放量、减轻空气污染, 如图1所示的高温蒸汽方式逐步取代了焚烧技术。医疗废物高温蒸汽消毒集中处理过程产生的废气主要来源于高温蒸汽消毒处理及

收稿日期: 2022-04-05

修改稿日期: 2022-10-07

基金项目: 国家科技部、中国工程院新型冠状病毒传播与环境的系统及风险防控项目(编号: 2020-ZD-15)

第一作者: 张 静(1990—), 女, 主要从事工业厂房粉尘污染通风控制方面研究。E-mail: nkdzhangjing@126.com

通信作者: 李安桂(1963—), 男, 主要从事地下环境保障、建筑环境、先进通风等方面研究。E-mail: liag@xauat.edu.cn

处理前后的抽真空、贮存、进出料、破碎等环节^[5], 主要污染物为颗粒物、恶臭、挥发性有机物(VOCs)。其中颗粒物在医疗废物破碎工艺中产生^[10], 引起恶臭的污染物包括氨气、硫化氢、三甲胺等^[11]。此过程中除了蒸汽灭菌废气及医疗废物暂存间产生的废气被有组织地通过相应设备处理后排出以外, 物料粉碎过程、运输过程以及进出高压蒸汽灭菌设备时所产生的废气均为无组织排放。若不加以处理, 医疗废物的废气, 特别是具有传染性的医疗废物所产生的废气, 会严重危害工作人员的健康。如何在妥善的处理好感染性的医疗废物的同时确保一线工作人员的健康, 是医疗废物处置车间通风设计的特殊任务。

截至目前, 有关医疗废物处置车间通风方式的资料甚少, 缺少相应的通风设计手册和规范。医疗废物处置车间目前常见的通风方式有自然通风和混合通风(全面排风及局部排风)两类^[9-10,12]。自然通风初投资与耗能均为最低, 但仅适用于无传染性的少量废物的处理。医疗废物处置车间混合通风方式多采用通过高窗或出入口自然进风, 通过设置局部排风罩将废气排出, 全面通风则将混合有大量室内空气及废气的气体一并排出, 通风量较大。自然通风或混合通风均基于稀释原理^[13-15], 其目的在于短时间内将有害物浓度控制在安全范围。

本文基于医疗废物高温蒸汽处理车间, 针对具有传染性、毒性的医疗废物废气的无组织散发, 提出了一种可以在人员工作区形成有序气流组织的高效通风方式, 以减少有毒有害污染物扩散, 保障一线工作人员的健康。研究分析四种医疗废物处置车间通风系统设计方案, 提出了“局部排风+自然进风”、“全面排风+自然进风”、“竖壁贴附送风+顶排风”, 以及“竖壁贴附加导流板送风+顶排风+局部排风”等四种组合通风方案, 并通过数值模拟进一

步对四种方案的通风效果进行了分析比较。

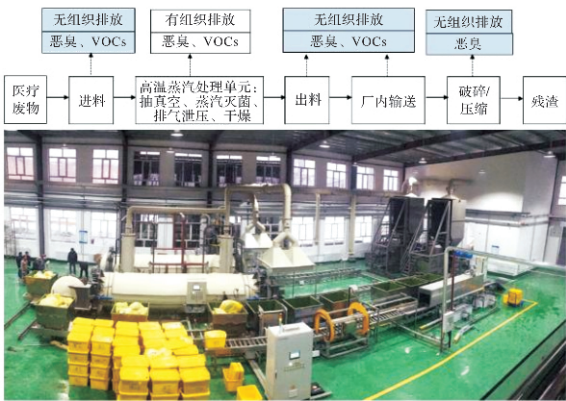


图 1 高温蒸汽工艺流程及废气排放示意图
Fig. 1 Sketch map of high temperature steam process and waste gas emission

1 通风方案概述

1.1 工程案例

武汉某医疗废物处理工程, 厂房为占地面积 40 m×70 m 的铝合金厂房, 两侧边壁高 5 m, 三角式屋顶最高处距地 10 m, 如下图 2 所示。该医疗废物处置车间共有 6 个大门, 尺寸参数为 5 m×4 m。内置 3 套医疗废物处置系统, 主要包含: 高温蒸汽处理设备、厂内输运设备、破碎处理设备, 结构参数见表 1, 医疗废物处理工程每天可处理 3×10 t 的医疗废物。



图 2 医疗废物处理工程案例
Fig. 2 Medical waste treatment engineering application workshop

表 1 医疗废物处置车间设备结构参数

Tab. 1 Equipment structure parameters of medical waste disposal center

	高温蒸汽处理单元	厂内输运单元	破碎单元
结构参数			
$L(\text{mm})\times W(\text{mm})\times H(\text{mm})$	9 300×2 200×2 280	5 000×1 800×1 000	1 500×2 500×5 000
污染物散发面积/ m^2	5.02	9.00	6.93

表中: L 为厂房长度, mm; W 为厂房宽度, mm; H 为厂房高度, mm。

1.2 设计参数

1.2.1 空气参数分析

(1)室外空气参数分析

该工程地处武汉, 根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50736-2012)^[16]的要求, 夏季空调计算干球温度 35.2℃, 空调计算湿球温度

28.4℃, 空调计算日平均温度 32℃, 通风计算温度 32℃. 冬季空气调节室外计算干球温度: -2.6℃, 冬季采暖室外计算干球温度: -0.3℃, 冬季通风室外计算干球温度: 3.7℃, 冬季最冷月室外计算相对湿度: 77%, 冬季室外平均风速: 1.8 m/s, 冬季大气压: 1 023.5 hPa.

(2) 室内设计参数分析

根据《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50019-2015)^[17], 室内设计参数宜符合下表 2 规定:

表 2 空气调节室内设计参数

Tab. 2 Indoor design parameters of air conditioning

参数	冬季	夏季
温度/℃	18~24	25~28
风速/(m·s ⁻¹)	≤0.2	≤0.3
相对湿度/%	—	40~70

1.2.2 负荷计算

(1) 围护结构和人员负荷. 围护结构做绝热壁面处理, 其负荷可忽略; 处置间人员极少, 人员负荷可忽略.

(2) 设备及照明负荷. 高压蒸汽系统功率 1 kw, 破碎机功率 37 kw, 输运设备额定功率 1 kw, 各 3 台, 负荷为 117 kw. 照明负荷按 0.02 kw/m²^[18] 计算, 该处置车间总面积为 2 800 m², 则照明负荷总量为 56 kw.

(3) 通风量. 根据《综合医院建筑设计规范》GB51039-2014^[19]、《工业建筑供暖通风与空气调节

设计规范》GB50019-2015^[17] 的相关规范标准, 考虑武汉新冠病毒控制特殊情况, 通风量按 12 m³/(h·m²) 计算.

1.3 通风方案

本文针对此医疗废物处理工程的通风及环境控制, 提出了局部排风、自然进风, 机械排风、自然进风, 以及机械送风、机械排风(负压运行, 洁净空气发生和定向输送新风气流组织方案)的通风方案.

本厂房占地面积为 2 800 m², 考虑安全裕量系数 1.15, 则厂房机械排风量为 $Q_e = 12 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2) \times 2\,800 \text{ m}^2 \times 1.15 = 38\,640 \text{ m}^3/\text{h}$, 则对于前两种传统通风方案, 可取机械排风量 40 000 m³/h. 对于维持负压运行的第三种方案, 可取机械送风量为 50 000 m³/h. 具体设计结构及参数如下.

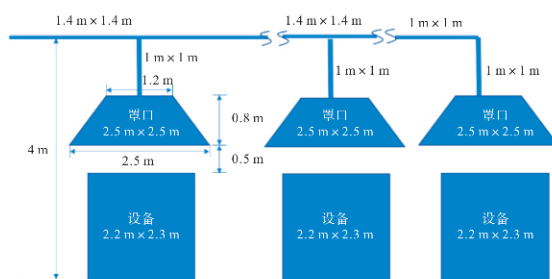
1.3.1 局部排风

局部排风系统是在高温蒸汽处理设备、厂内输运设备、破碎处理设备污染源上部设置局部排风罩, 如图 3 所示, 其结构参数及排风风量如表 3 所示.

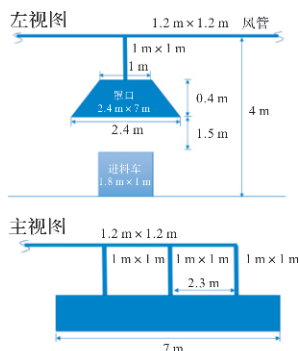
表 3 局部排风系统参数

Tab. 3 Parameters of local exhaust system

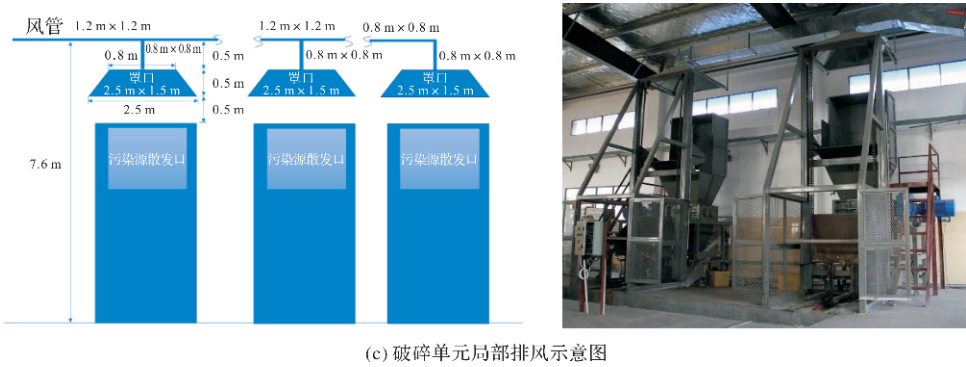
名称	排风罩尺寸 (m)	风量/(m ³ ·s ⁻¹)
	L×W	
高温高压蒸汽设备	2.5×2.5	7.81
输运设备	2.5×7.0	21.88
破碎处理设备	2.7×1.7	5.74



(a) 高温蒸汽处理单元局部排风示意图



(b) 厂内输运单元局部排风示意图



(c) 破碎单元局部排风示意图

图 3 局部排风系统示意

Fig. 3 Sketch map of local exhaust system

1.3.2 全面排风

该系统在厂房侧壁高 4.8 m 处设置 16 个排风口, 位置如图 4 所示. 排风口尺寸为 0.8 m × 0.4 m. 按照 5 次/h 的换气次数设置^[20], 总排风量为 29.17 m³/s, 排风口风速为 5.69 m/s.

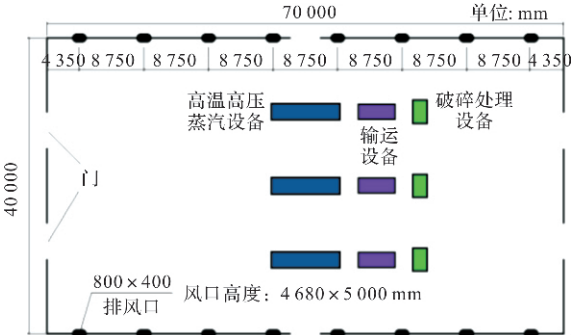


图 4 全面排风示意图

Fig. 4 Sketch map of general ventilation system

1.3.3 新型竖壁贴附送风

如图 5(a)、(b)所示, 新型竖壁贴附送风系统是将室外新鲜空气自厂房两侧的条缝送风口送入厂内, 通过导流板直接送至工作人员呼吸区(站姿高度), 两侧送风气流不断向厂房中心区域蔓延, 同时借助厂房内的热浮力作用向上流动, 最终从厂房上部排风口排出. 该送风系统结构参数及送风参数见表 4. 该送风方式下, 送风气流首先经过人员呼吸区, 稀释人员呼吸区的污染物, 为工作区提供新鲜空气, 有效改善工作区空气品质. 在污染物浓度较高处的厂房上侧负压排风, 使污染空气有组织收集处理.

表 4 新型竖壁贴附送风系统参数设置

Tab. 4 Setting of parameters of new wall attached

ventilation system			
名称	尺寸 L×W /m	风速 /(m·s ⁻¹)	总风量 /(m ³ ·s ⁻¹)
条缝送风口 (16 个)	1.50×0.10	6	14.40
排风口 (8 个)	1.25×0.80	3.75	29.17

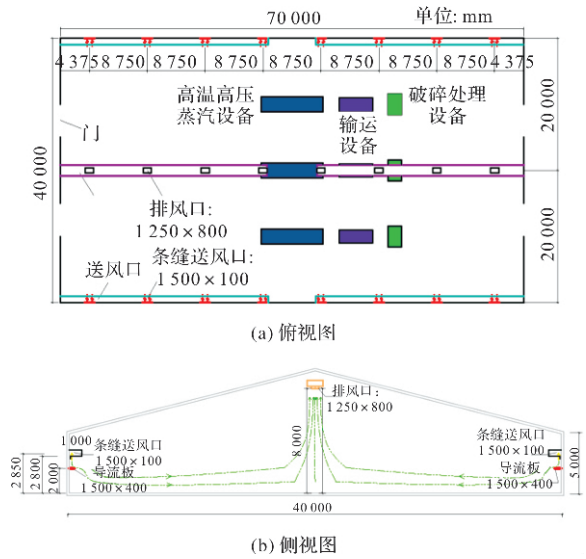


图 5 贴附通风系统示意图

Fig. 5 Sketch map of wall attached ventilation system

2 通风效果模拟

本文采用 CFD 数值模拟, 对传统的局部排风, 全面排风, 新型竖壁贴附送风加导流板与顶部排风组合的方式, 新型竖壁贴附送风加导流板与顶部排风、局部排风相结合的方式, 这四种通风工况下厂房内的气流组织及污染物浓度分布等情况进行了研究.

2.1 模型建立

基于 1.1 节中对工程概述的描述, 建立了如图 6 所示的厂房模型, 其布局及各设备污染物散发源如图 6(b)、6(c)所示.

2.2 控制方程和湍流模型及其验证

厂房内气流速度相对较低, 故假设气体为不可压缩气体^[21]. 厂房内的气流用质量、动量、能量和物质运输的基本方程来描述^[22]. 文献[23]指出 SST $k-\omega$ (k 为比湍动能, m²/s², ω 为比湍流耗散率, 1/s)湍流模型计算得到的竖壁贴附射流通风

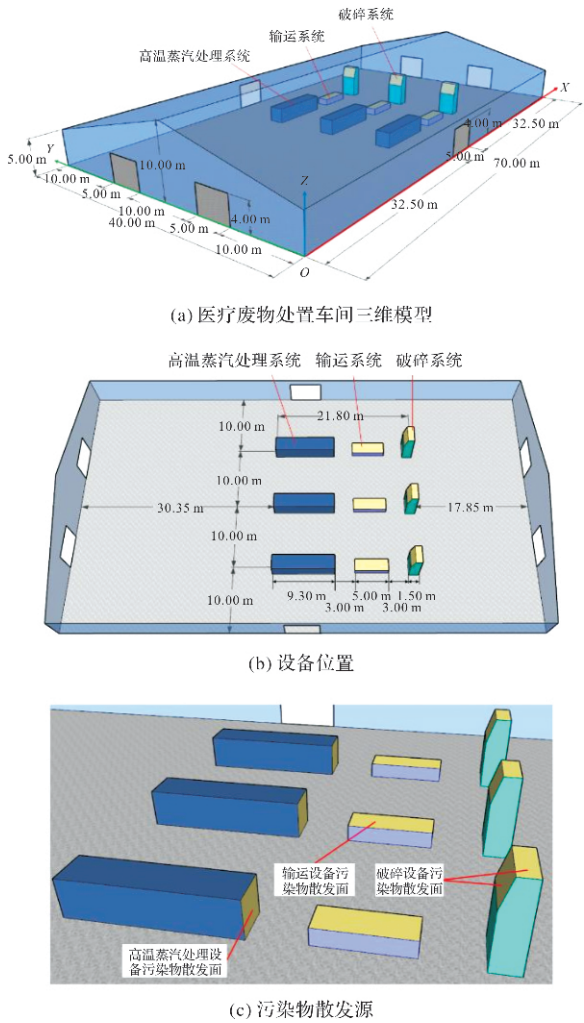
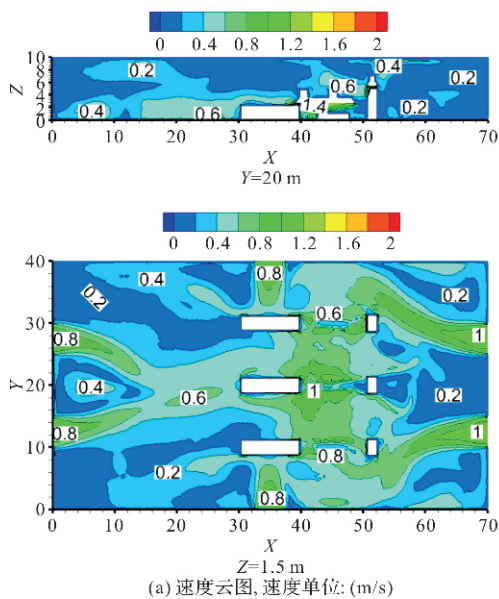


图6 医疗废物处置车间模型示意图

Fig.6 Model of medical waste disposal center

流场与全尺寸实验结果较为接近,刘旺兴^[24]等人在研究竖壁贴附射流加导流板送风呼吸区气流组织时,



也验证了 SST $k-\omega$ 模型在研究此种通风方式时的适用性及准确性.

2.3 参数设置

根据选取的医疗废物处理设备参数信息,设置医疗废物处置车间污染物散发量如表5所示.

表5 医疗废物处置车间污染物散发量 (kg/h)

Tab.5 Pollutant emission rates of the medical waste disposal center (kg/h)

污染物种类	高温高压蒸汽设备(0~3 min)	运输设备(2~5 min)	破碎处理设备(3~15 min)
氯甲烷 kg/h	0.001 2	0.001 2	—
氨气 kg/h	0.000 6	0.000 6	0.024
合计 kg/h	0.001 8	0.001 8	0.024

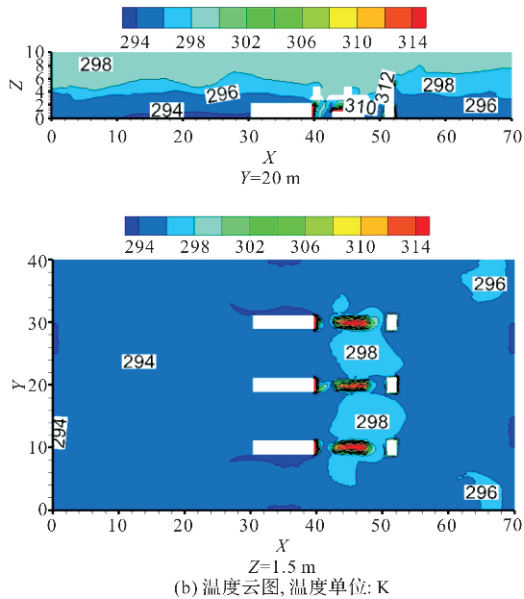
根据前人的研究^[25],对高温蒸汽杀菌室排出气体进行分析后发现 VOCs 中氯甲烷(CH_3CL)的浓度最高,臭味气体中氨气(NH_3)浓度最高.因此,本文选取氯甲烷(CH_3CL)为医疗废物散发的 VOCs 组分代表,选取氨气(NH_3)为医疗废物散发的臭味代表.污染物的散发温度取为 $50\text{ }^\circ\text{C}$ ^[19].

3 结果与讨论

3.1 传统通风方式

3.1.1 局部排风

图7给出了局部排风工况下,医疗废物处置车间的纵向中心截面 $Y=20\text{ m}$ 、水平高度截面 $Z=1.5\text{ m}$ 处的速度场、温度场以及氯甲烷、氨气质量分数浓度场.



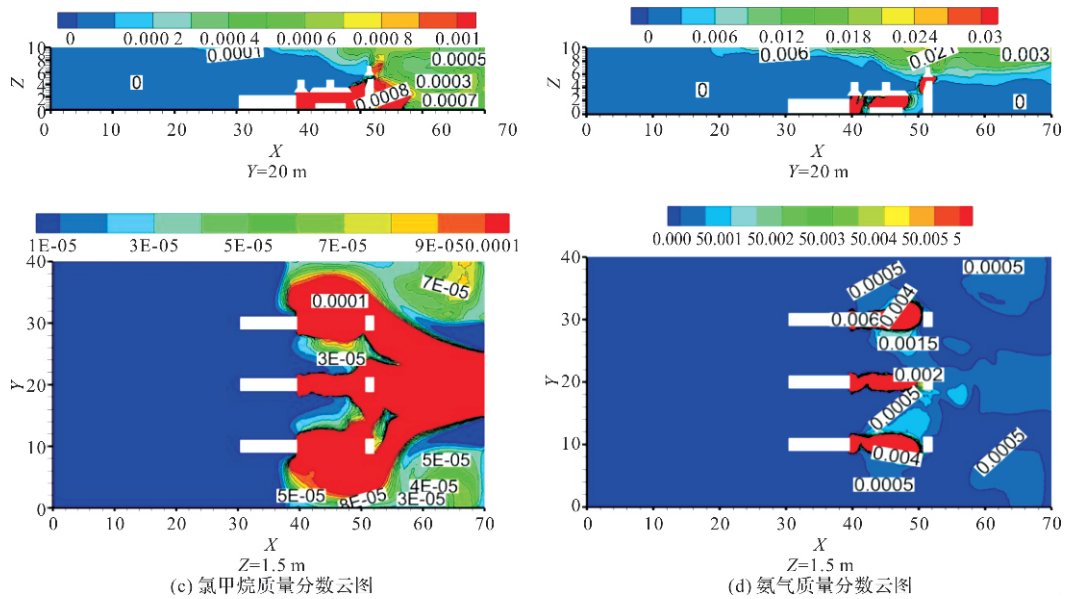


图 7 中心纵截面 $Y=20$ m 和水平高度截面 $Z=1.5$ m 的云图

(图中, 速度单位: m/s, 温度单位: K, 坐标轴的长度单位: m. 图 8、9、10 同.)

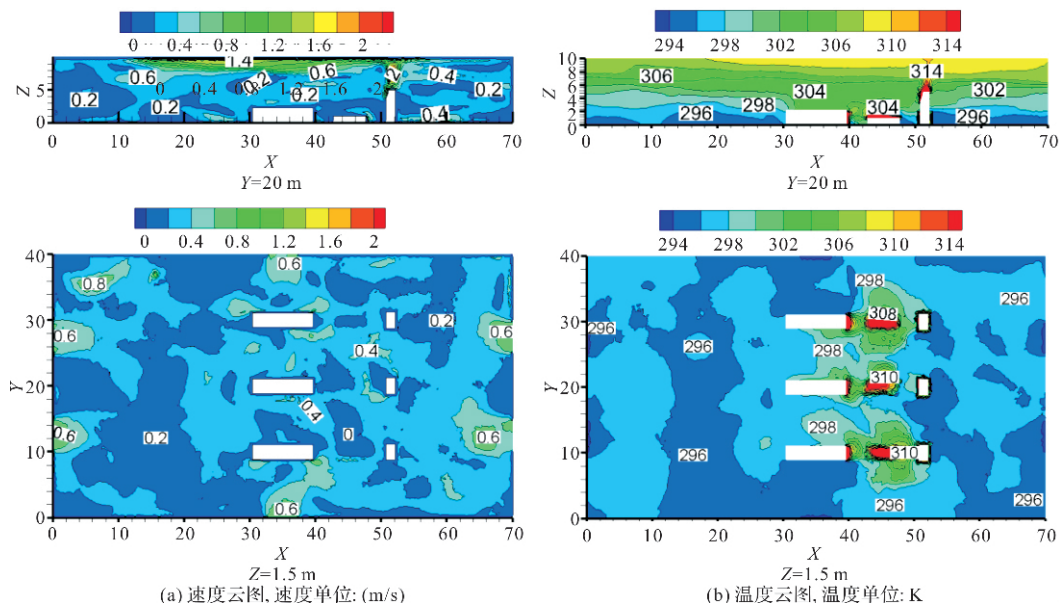
Fig. 7 Contour of vertical section along the axis $Y=20$ m and section of horizontal height $Z=1.5$ m (velocity unit: m/s, temperature unit: K, axis length unit: m. Figures 8, 9 and 10 are the same.)

从图 7 (a)可以看出, 局部排风方式下, 排风罩直接作用在设备上方, 使得设备区风速相对较大, 最高可达约 1.4 m/s, 局部卷吸气流使得厂房内部存在较高的负压, 从而有大量新风从大门涌入, 提高了人员工作区空气品质. 从图 7 (b)可以看出, 从整体上看, 靠近厂房下部空间温度较低, 上部空间温度较高, 出现热分层现象, 这是由于散发源为非等温污染源, 在热羽流的驱动下, 热空气上升, 聚集在上部空间. 污染源附近区域温度最高, 除此之外, 其他区域温度相对均匀, 空间上下区域温差约为 6°C . 从图 7 (c)、(d)可以看出, 逸散到厂房内的氯甲烷(CH_3Cl)、氨气(NH_3)主要集中在设备附近, 且在厂房的右半边

区域, 这是由于右侧大门涌入大量新风, 与厂房内部空气剧烈掺混, 使得污染物在右侧区域有较强的逸散, 而在远离设备的左半边区域, 污染物的浓度几乎为零. 在 $Z=1.5$ m 平面上, 其平均质量分数分别约为 0.0054 , 0.0028 , 这说明局部排风对于污染物的排除效果较为显著, 能较好的控制污染物的逸散.

3.1.2 全面排风

图 8 给出了全面排风工况下, 医疗废物处置车间的纵向中心截面 $Y=20$ m、水平高度截面 $Z=1.5$ m 处的速度场、温度场以及氯甲烷、氨气质量分数浓度场.



(a) 速度云图, 速度单位: (m/s)

(b) 温度云图, 温度单位: K

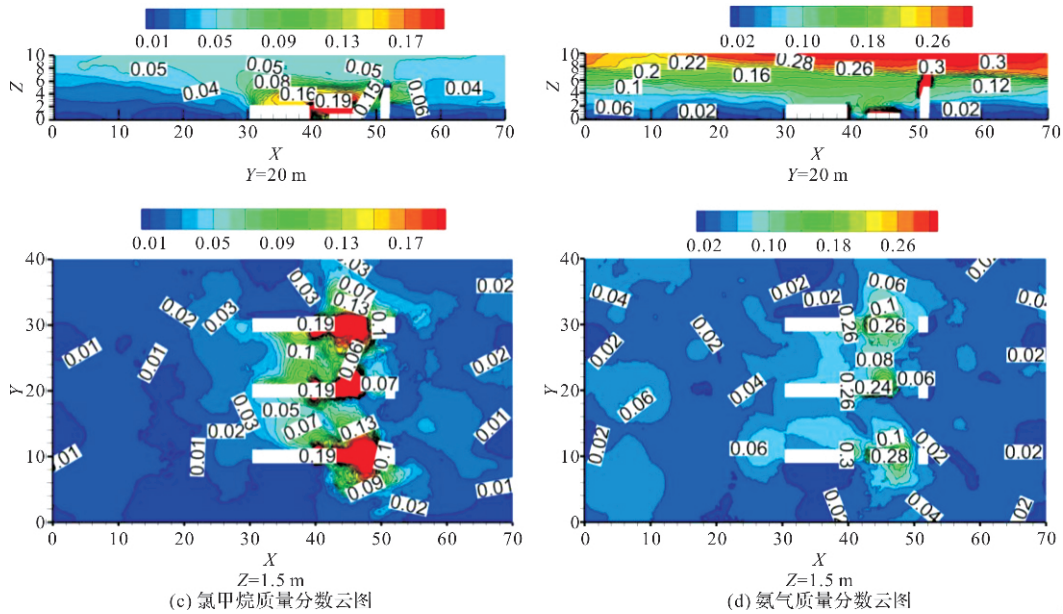


图8 全面排风, 中心纵截面 $Y=20$ m 和水平高度截面 $Z=1.5$ m 的云图

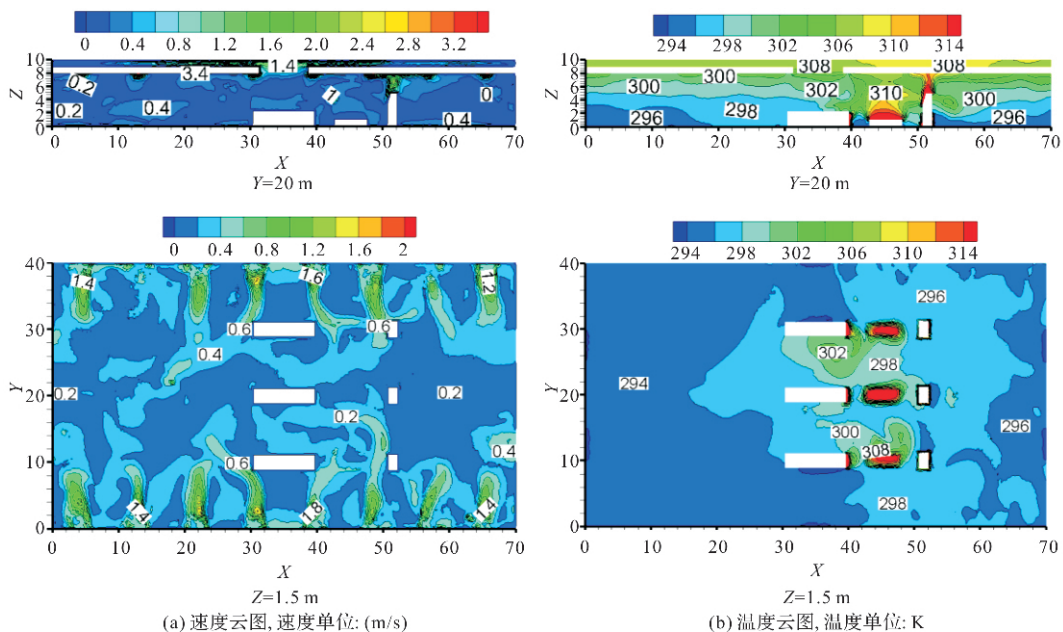
Fig. 8 Contour of vertical section along the axis $Y=20$ m and section of horizontal height $Z=1.5$ m in general ventilation

从图8(a)可以看出, 全面排风方式下, 厂房上部空间空气速度相对较高, 屋脊下风速最高可达约 1.4 m/s. 其他区域风速较低, 从室外涌入的新风量也较少, 厂房内的气流组织较为杂乱. 从温度分布图可以看出, 设备区外侧 2 m 以下区域空气温度较低, 约低于 23 $^{\circ}\text{C}$, 空气温度随高度增加而升高, 上下空间温差可高达 $10\sim 18$ $^{\circ}\text{C}$, 存在较高的温度梯度. 从图8(c)、(d)可以看出, 全面排风方式下, 设备两侧均有较高浓度的污染物, 污染物逸散范围明显增大. 由于氯甲烷(CH_3CL)相对分子质量较高, 氨气(NH_3)相对较小, 故前者在设备区附近下部空间浓度较高, 后者在设备

区附近及上部空间浓度较高. 水平高度截面 $Z=1.5$ m 处的氯甲烷(CH_3CL)、氨气(NH_3)平均质量分数分别约为 0.034 、 0.038 , 比局部排风时均高出了 10 倍左右, 说明相较于直接作用于源头的局部排风方式, 全面排风对于污染物的排除效果较弱.

3.2 竖壁贴附送风与顶部排风组合通风方式

图9给出了新型竖壁贴附送风与顶部排风组合通风方式下, 医疗废物处置车间纵向中心截面 $Y=20$ m、水平高度截面 $Z=1.5$ m 处的速度场、温度场以及氯甲烷、氨气质量分数浓度场.



(a) 速度云图, 速度单位: (m/s)

(b) 温度云图, 温度单位: K

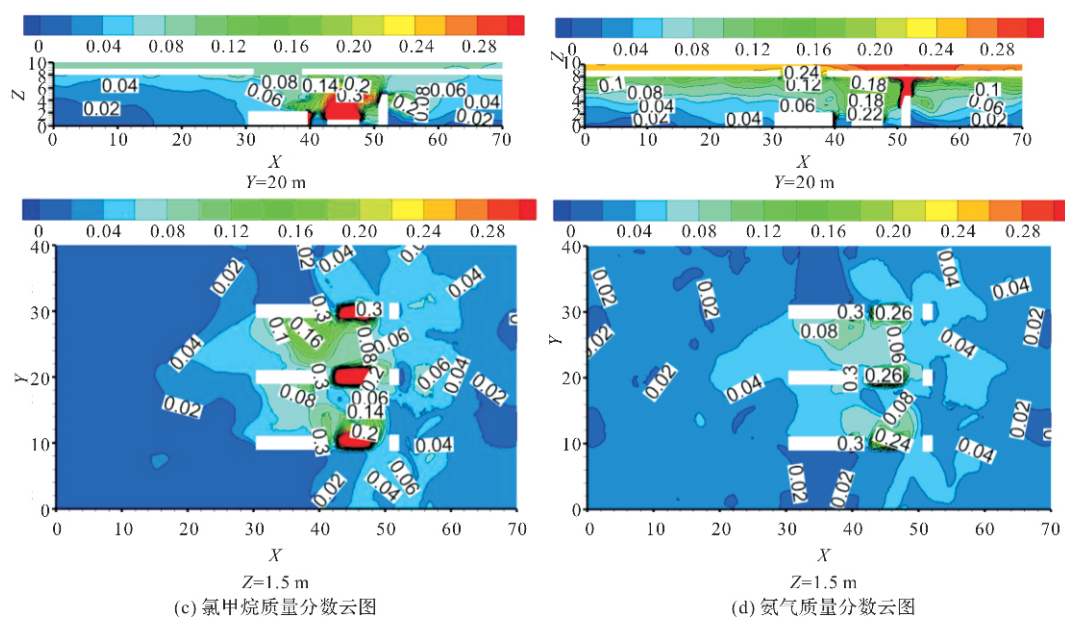


图9 新型竖壁贴附送风与顶部排风组合方式下, 中心纵截面 $Y=20\text{ m}$ 和水平高度截面 $Z=1.5\text{ m}$ 的云图

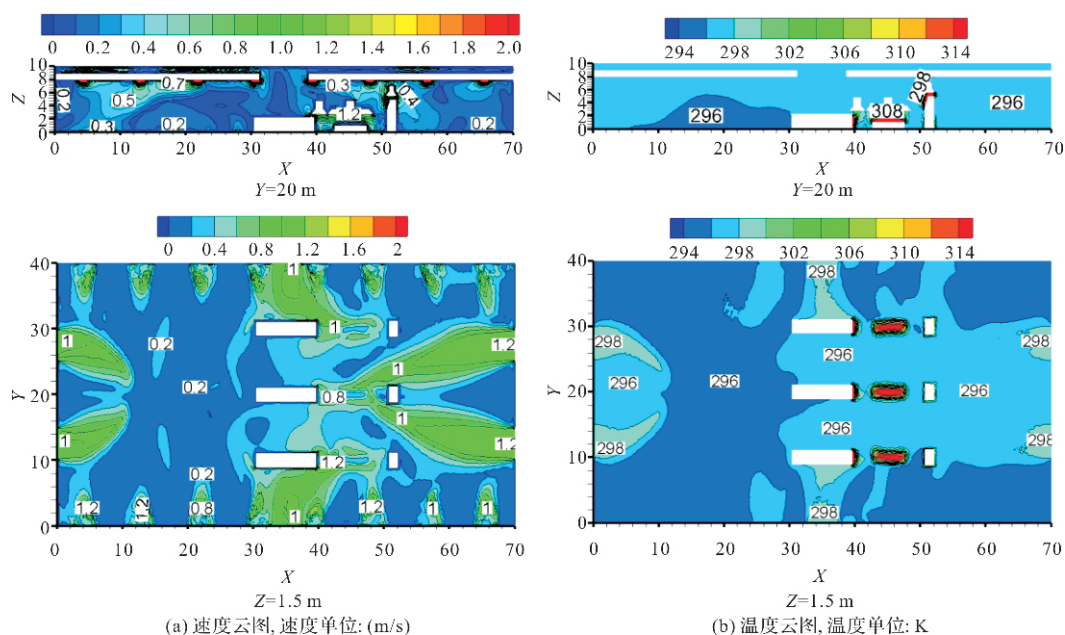
Fig. 9 Contour of vertical section along the axis $Y=20\text{ m}$ and section of horizontal height $Z=1.5\text{ m}$ in combined ventilation of new wall attached ventilation and top exhaust ventilation

从图9(a)可以看出, 该通风方式下, 贴附气流到达区域及屋脊附近区域风速较大, 贴附气流送入工作区, 可有效调控厂房两侧 10 m 范围内的工作区气流组织, 风速可达 $0.6\text{ m/s} \sim 1.8\text{ m/s}$, 较只有排风工况时, 贴附送风使得厂房内部压力增大, 从大门涌入的新风量下降, 厂房中心区域风速减小. 从9(b)可以看出, 由于大量新风的涌入, 厂房两侧 10 m 范围内对应的 2 m 以下空间温度较低, 约为 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, 厂房上部空间及设备附近区域空气温度较高, 上下空间温差约为 $4\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$, 较全面排风时温度分布相对均匀. 从图9(c)、(d)可以看出, 该组合式通风方式下, 污染物浓度分

布与全面排风相似, 水平高度截面 $Z=1.5\text{ m}$ 处的氯甲烷(CH_3Cl)、氨气(NH_3)平均质量分数分别约为 0.0364 、 0.0353 , 也与全面排风模式下相当, 说明在该研究条件下, 贴附送风对于污染物的排除效果不甚明显.

3.3 竖壁贴附送风、顶部排风及局部排风组合方式

图10给出了新型竖壁贴附送风、顶部排风及局部排风组合通风方式下, 医疗废物处置车间的纵向中心截面 $Y=20\text{ m}$ 、水平高度截面 $Z=1.5\text{ m}$ 处的速度场、温度场以及氯甲烷、氨气质量分数浓度场.



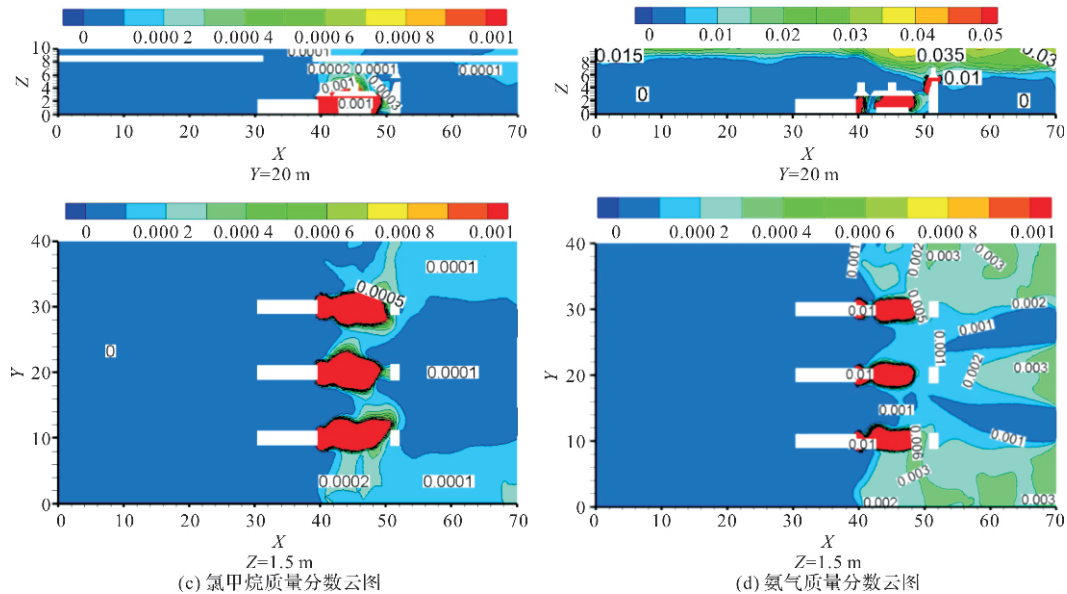


图 10 新型竖壁贴附送风、顶部排风及局部排风组合通风方式下, 中心纵截面 $Y=20\text{ m}$ 和水平高度截面 $Z=1.5\text{ m}$ 的云图

Fig. 10 Contour of vertical section along the axis $Y=20\text{ m}$ and section of horizontal height $Z=1.5\text{ m}$ in combined ventilation of all the three ventilation modes

从图 10(a)可以看出, 该通风方式下, 设备区局部排风系统附近风速较大, 可达到 1.2 m/s , 顶部排风系统下方附近区域速度约为 $0.5\sim 0.7\text{ m/s}$, 其他区域速度较低. 贴附气流送入工作区, 可有效调控厂房两侧 6 m 宽的工作区气流组织. 此外, 大量室外空气通过厂房大门渗入, 风速可高达 $1.0\sim 1.2\text{ m/s}$. 从图 10(b)看出, 三种通风方式相结合的通风方案, 厂房内部整体温度较低, 最低出现在竖壁贴附区约为 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, 且分布更为均匀, 上下空间温差约为 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. 从图 10(c)、(d)可以看出, 厂房内污染物浓度均低于其他三种通风方案, 氯甲烷(CH_3CL)在设备区附近及下部空间浓度较高, 而氨气(NH_3)在设备区附近及上部空间浓度较高. 其中, 水平高度截面 $Z=1.5\text{ m}$ 处的氯甲烷(CH_3CL)、氨气(NH_3)平均质量分数分别约为 0.0043 、 0.0029 , 与局部排风工况下浓度相当.

3.4 几种方案通风效率比较

文献[26]中给出了进风、排风和人员活动区(或更确切的说 是人员呼吸区)环境空气中所含污染物的浓度之间的关系式, 如式(1)所示, 称为通风效率. 本小节进一步利用此指标来评价四种气流组织形式对医废处置车间污染物的排除效果, 结果如图 11 所示.

$$\epsilon = \frac{c_e - c_s}{c_o - c_s} \quad (1)$$

式中: c_e 为排气中污染物浓度; c_s 为进气中污染物浓度; c_o 为室内呼吸区空气污染物浓度.

由图可看出, 与其他两种通风方案相比较,

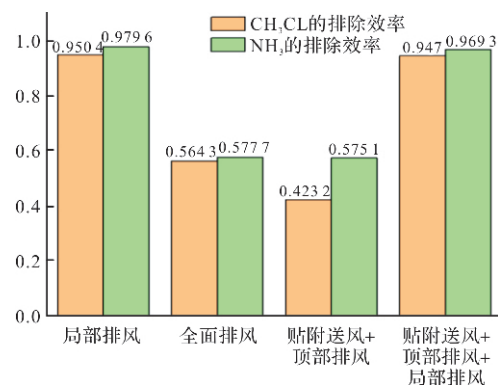


图 11 不同通风方案的通风效率

单独的局部排风以及新型竖壁贴附送风与局部排风相结合的通风方式的通风效率均较高, 可达 97% , 说明局部排风系统对污染物的排出效果显著, 这与其直接从源头排出污染物的作用方式有关, 有效的阻止了污染物逸散到人员作业区.

4 结论

以典型医疗废物处置车间为例进行研究, 针对此医疗废物处理工程的通风及环境控制, 首先在理论计算的基础上提出了 3 种设计方案, 分别为机械排风结合局部排风、自然进风, 机械排风、自然进风, 以及机械送风、机械排风(负压运行, 洁净空气发生和定向输送新风气流组织方案). 并进一步分析了局部排风、全面排风、新型竖壁贴附送风与顶部排风组合、新型竖壁贴附送风与顶部排风及局部排风组合等四种通风方式的污染物

排除效率及厂房内气流组织、污染物浓度分布情况。结果表明:

(1)采用局部排风方式、新型竖壁贴附送风与顶部排风及局部排风方式下,水平高度截面 $Z=1.5\text{ m}$ 处的氯甲烷(CH_3CL)、氨气(NH_3)平均质量分数明显低于其他两种工况,分别下降约 $84.12\%\sim 88.19\%$ 、 $91.78\%\sim 92.76\%$,它们对于这两种污染物的排除效率高达 97% ,说明局部排风系统可以有效排出污染物,从源头上有效阻止污染物进入厂房内;

(2)另外,新型竖壁贴附送风系统可实现厂房两侧 $6\sim 10\text{ m}$ 距离范围内人员活动区的新风定向输送,为人员活动提供洁净、有序的气流组织,从而更好地保障工作区空气品质;

(3)在设计医疗废物处置车间这种特殊场合的通风系统时,建议采用机械送风与机械排风相结合的送风方式,如本文中第四种新型通风方式,一方面可以创造较高的通风排污效率,同时能够保障工作区环境,为呼吸区提供定向、洁净的气流,保证工作人员健康;

(4)本文对于医疗废物处置车间通风方案的设计较为合理,可为此种需要采取有序、定向气流组织形式以降低空气中致病微生物传播致病几率的场所,提供气流组织设计依据。

参考文献 References

- [1] World Health Organization. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. [EB/OL]. (2022-4-1) [2022-4-1]. <https://covid19.who.int/>
- [2] 中国法制出版社. 医疗废物管理条例[M]. 北京:中国法制出版社,2003.
China Legal Publishing House. Regulations on the Management of Medical Waste [M] Beijing: China Legal Publishing House, 2003
- [3] 罗春,蒋湛,马立实,等. 武汉地区医疗废物处理现状及对策分析[J]. 环境与发展,2007,19(4): 111-112.
LUO Chun, JIAN Zhan, MA Lishi, et al. Analysis on the current situation and countermeasures of medical waste treatment in Wuhan[J]. Environment and Development, 2007, 19 (4): 111-112.
- [4] 环境保护部. 医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南: HJ-BAT-8[S/OL]. 2011 [2011-03-09]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201103/t20110317_207072.htm.
Ministry of Environmental Protection Guidelines on the best feasible technologies for pollution prevention and control in medical waste treatment and disposal: HJ-BAT-8[S/OL]. 2011 [2011-03-09]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201103/t20110317_207072.htm.
- [5] 生态环境部. 医疗废物高温蒸汽消毒集中处理工程技术规范: HJ 276-2021[S/OL]. 2021 [2021-04-30]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/202106/t20210616_839122.shtml.
Ministry of Ecology and Environment. Technical specification for centralized treatment of medical waste by high-temperature steam disinfection: HJ 276-2021[S/OL]. 2021 [2021-04-30]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/202106/t20210616_839122.shtml.
- [6] 国家环境保护总局. 医疗废物集中焚烧处置工程技术规范: HJ/T177-2005[S/OL]. 2005 [2005-05-24]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/200505/t20050524_67082.shtml.
State Environmental Protection Administration. Technical specification for centralized incineration of medical waste: HJ/T177-2005[S/OL]. 2005 [2005-05-24]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/200505/t20050524_67082.shtml.
- [7] 生态环境部. 医疗废物化学消毒集中处理工程技术规范: HJ 228—2021[S/OL]. 2021 [2021-04-30]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/202106/t20210616_839119.shtml.
Ministry of Ecology and Environment. Technical Specifications for Centralized Chemical Disinfection Treatment of Medical Waste: HJ 228—2021[S/OL]. 2021 [2021-04-30]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/202106/t20210616_839119.shtml.
- [8] 生态环境部. 医疗废物微波消毒集中处理工程技术规范: HJ 228—2021[S/OL]. 2021 [2021-04-30]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/202106/t20210616_839121.shtml.
Ministry of Ecology and Environment. Technical specification for centralized treatment of medical waste by microwave disinfection: HJ 228—2021[S/OL]. 2021 [2021-04-30]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/202106/t20210616_839121.shtml.
- [9] 陈静. 中小城市医疗废物处置技术研究:以宝鸡市医疗废物处置车间为例[D]. 西安:西北大学,2015.
CHEN Jing. Research on medical waste disposal technology in small and medium-sized cities: take Baoji medical waste disposal workshop as an example[D]. Xi'an: Northwest University, 2015.
- [10] 王旭光. 某市危险废物及医疗废物集中处置工程方案设计[D]. 济南:山东大学,2017.
WANG Xuguang. Scheme design of hazardous waste

- and medical waste centralized disposal project in a city [D]. Jinan: Shandong University, 2017.
- [11] 刘双柳, 张箐, 孙宁. 医疗废物高温蒸汽处理工艺的二次污染控制: 以孝感市医疗废物处置车间为例[J]. 环境保护科学, 2016, 42(4):5.
- LIU Shuangliu, ZHANG Zheng, SUN Ning. Secondary pollution control of high temperature steam treatment process for medical waste: taking Xiaogan medical waste disposal workshop as an example[J]. Science of Environmental Protection, 2016, 42 (4): 5.
- [12] 乔毅. 医疗废物处置车间设计探析[D]. 天津: 天津大学, 2011.
- QIAO Yi. Analysis on the design of medical waste disposal workshop [D]. Tianjin: Tianjin University, 2011.
- [13] 樊越胜. 工业通风[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
- FAN Yuesheng. Industrial ventilation [M]. Beijing: China Machine Press, 2020.
- [14] 李安桂, 张莹, 韩欧等. 隔离病房的环境保障与气流组织有效性[J]. 暖通空调, 2020, 50(6):9.
- LI Angui, ZHANG Ying, HAN Ou, et al. Effectiveness of environmental protection and air flow organization in isolation wards[J]. HVAC, 2020, 50 (6): 9.
- [15] 徐春雯, 刘文冰, 迟进华, 等. 新冠肺炎肺炎防控的通风策略: 潜力与挑战[J]. 建筑科学, 2021, 37(4):8.
- XU Chunwen, LIU Wenbing, CHI Jinhua, et al. Ventilation strategies for prevention and control of neocoronavirus pneumonia: potential and challenges [J]. Building Science, 2021, 37 (4): 8.
- [16] 住房和城乡建设部. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范: GB50736-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- MOHURD. Code for Design of Heating Ventilation and Air Conditioning of Civil Buildings: GB50736-2012 [S]. Beijing: China Architecture Press, 2012.
- [17] 住房和城乡建设部. 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范: GB 50019-2015 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
- MOHURD. Code for Design of Heating Ventilation and Air Conditioning of Industrial Buildings: GB 50019-2015[S]. Beijing: China Planning Press, 2016.
- [18] 查显顺, 陈鹏云, 郭建辉. 某低中放废物处置洞室通风方案分析及优化[J]. 暖通空调, 2018, 48(11):4.
- ZHA Xianshun, CHEN Pengyun, GUO Jianhui. Analysis and optimization of ventilation scheme for a low and intermediate level radioactive waste disposal cavern [J]. HVAC, 2018, 48 (11): 4.
- [19] 住房和城乡建设部. GB51039-2014. 综合医院建筑设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- MOHURD. Code for Design of General Hospital Buildings: GB51039-2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [20] 李勇. 常德市澧水流域医疗废物处置车间新建日处理10 t 医疗废物高温蒸煮项目环境影响报告书[R]. 长沙: 湖南省环境保护科学研究院. 2016.
- LI Yong. Environmental impact statement of the new 10t/d high temperature cooking project for medical waste treatment workshop in Lishui Basin, Changde City two thousand and sixteen. Changsha: Hunan Research Academy of Environmental Sciences, 2016.
- [21] DEHNE T, LANGE P, VOLKMANN A, et al. Vertical ventilation concepts for future passenger cars[J]. Building and Environment, 2017, 129(2):142-153.
- [22] NIU J Q, ZHOU D, LIANG X F, et al. Numerical study on the aerodynamic pressure of a metro train running between two adjacent platforms[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2017, 65: 187-199.
- [23] YIN H G, LI A G. Study of attached air curtain ventilation within a full-scale enclosure: comparison of four turbulence models[J]. Indoor Built Environ, 2016, 25(6):962-975.
- [24] 李安桂, 刘旺兴, 要聪聪, 等. 竖壁贴附射流加导流板呼吸区送风气流组织 CFD 及试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2016, 48(5):7.
- LI Angui, LIU Wangxing, YAO Congcong, et al. CFD and experimental study on air distribution in breathing area of vertical wall attached jet and deflector [J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2016, 48 (5): 7.
- [25] 郭焕祖. 医疗废物蒸汽灭菌装置尾气分析及光催化降解的研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- GUO Huanzu. Analysis of tail gas from medical waste steam sterilization device and study on photocatalytic degradation[D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.
- [26] Anonymous. New UK guidance on the prevention and control of transmission of HIV related and drug resistant tuberculosis [J]. Communicable Disease Report weekly, 1999, 9(6):49.

(编辑 桂智刚)