

文章编号: 1005-0329(2014)02-0047-03

苯乙烯通风系统优化研究

史维秀^{1,2}, 潘利生³

(1. 北京建筑大学 热能与动力工程系, 北京 100044; 2. 北京建筑大学 供热、供燃气、通风及空调工程北京市重点实验室, 北京 100044; 3. 中国科学院力学研究所 高温气体动力学国家重点实验室, 北京 100190)

摘 要: 为了改善生产车间的通风状况, 降低生产过程造成的苯乙烯污染, 新风及排风系统的优化设计显得尤为重要。根据车间污染源分布特点, 运用计算流体动力学(CFD)的数值模拟方法, 对某产生苯乙烯的车间的通风系统进行模拟, 使人体工作环境达标。结果表明, 采用顶部送风, 顶部排风和两侧墙排风的通风方式, 并不能有效降低车间内苯乙烯的浓度。采用增大通风量的方式效果也不明显, 尤其是车间下部浓度超标。根据模拟结果, 采用地面排风口可以提高排风效率, 在另两面侧墙的 2 个模具之间增设排风口也可达到很好的效果。

关键词: 苯乙烯; 通风; CFD; 优化设计

中图分类号: TH43; X962

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1005-0329.2014.02.011

Optimization Study on Ventilation System of Styrene

SHI Wei-xiu^{1,2}, PAN Li-sheng³

(1. Department of Thermal Energy and Power Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Key Lab of HVAC, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 3. State Key Laboratory of High-temperature Gas Dynamics, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: To reduce styrene pollution caused by the production process and improve the ventilation, optimization design of fresh air and exhaust system is particularly important. According to pollution sources of workshop distribution characteristics, computational fluid dynamics (CFD) was used as numerical simulation method to simulate a styrene workshop ventilation system, so that the work environment meet standards. The results show that ventilation, including upward air-supply, upward exhaust and both sides of wall exhaust, can not effectively reduce the concentration of styrene in the workshop. Effect of decreasing concentration by increasing ventilation rate is not obvious, especially excessive concentration in the lower part of the workshop. According to the simulation results, two methods can be improved exhaust efficiency, that are ground exhaust and additional air vents in the side walls between the two molds.

Key words: styrene; ventilation; CFD; optimization design

1 前言

目前, 针对车间中的有害气体, 一般采用通风的方式进行处理。根据工业实际情况, 采用局部通风和全面通风的方式对被污染空气进行处理, 达标后排到室外^[1]。在通风系统的设计中, 采用数值模拟对通风方式的布置, 送风量和排风量的确

定以及设备的优化起到关键作用^[2-11]。本文涉及的车间采用传统叶片生产工艺, 开模工艺, 生产过程中会产生大量苯乙烯等挥发性有毒气体, 该气体为可疑致癌物, 具刺激性, 对眼和上呼吸道粘膜有刺激和麻醉作用, 对水体、土壤和大气可造成污染, 易燃, 其蒸气与空气可形成爆炸性混合物, 有引起燃烧爆炸的危险。在工业生产中, 车间空

收稿日期: 2013-05-24 修稿日期: 2013-09-29

基金项目: 2013 年热能动力工程专业建设项目(04720413003)

气中的苯乙烯最高容许浓度为 $40\text{mg}/\text{m}^3$ ^[12]。根据车间污染源分布特点,考虑到生产需要,不宜采用局部排风,采用全面通风系统。本文运用 FLUENT 进行模拟的方法,对通风效果进行数值模拟。

2 数学模型及计算条件

车间的几何尺寸为 $75\text{m} \times 34.4\text{m} \times 18.5\text{m}$,车间中模具布置见图 1。

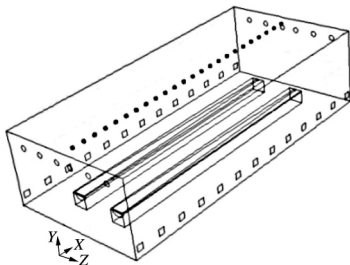


图1 车间布置

2个模具中间均为沟槽,形状与风力发电设计叶片形状相符,工艺过程中需要在沟槽表面涂苯乙烯作为稀释剂,苯乙烯易挥发,对人体有害。在工艺开始后的1.5h内挥发 32.2kg 苯乙烯,1.5h后不挥发。表1为苯乙烯的物理参数。

表1 苯乙烯性质

物理参数	数值
凝固点(°C)	-30.6
沸点(°C)	145
相对密度	0.9059
闪电(°C)	31.11
自燃点(°C)	490
粘度(20°C)(mPa·s)	0.763
体积爆炸极限(%)	1.1~6.1

根据实际操作需要,需通过通风系统,使工作区的苯乙烯浓度在工艺开始后2h达到国家规定的标准。由于工艺需要,不便于在模具上加局部排风罩,因此只考虑全面通风。本文的通风系统布置方式:顶部送风+顶部排风+两侧墙排风,顶部送风采用布袋送风,送风均匀;下部排风口相隔间隔为6m,尺寸为 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$;上部排风口相隔3.0m,尺寸 $R=0.35\text{m}$ 。在车间水平中心,距地面1.5m处设置监测位置(37.5,1.5,17.2),监测此位置的苯乙烯浓度随时间的变化。

模型处理和划分网格在 FLUENT 的前处理软件 GAMBIT 中进行,网格种类和网格数量决定了网格划分的质量。在相同的条件下,网格数量越多质量越好,计算结果越精确,同时对计算机的

配置和计算时间的要求也会随之提高。本模型总网格数为329516个。计算多相模型采用VOF模型,采用隐式格式,湍流模型采用LES大涡模拟模型,Subgrid-Scale Model采用Smagorinsky-Lily模型。网格如图2所示。

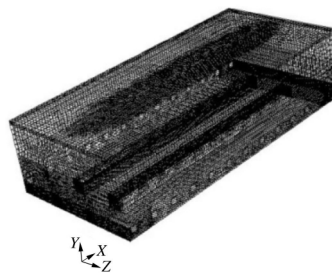


图2 网格划分

3 结果分析

3.1 新风送风量为10次/h

图3为1.5h时车间苯乙烯的浓度场。由图所示,由于苯乙烯不断地产生,当时间为1.5h,在距离地面较近的工作区间苯乙烯浓度仍高于 $40\text{mg}/\text{m}^3$ 。由于两个模具比较高,两模具之间积存大量苯乙烯,无法排除。在侧墙排风口的作用下,侧墙附近高浓度苯乙烯区域相对较少。但由于排风口位置与地面仍然有一段距离,因此仍然有一部分苯乙烯难以排出。此时,车间内苯乙烯含量是最多的时刻。

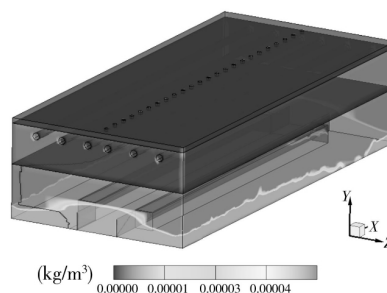


图3 1.5h 车间苯乙烯浓度场($0 \sim 50\text{mg}/\text{m}^3$)

图4和图5为2.0h时车间的苯乙烯浓度云图。

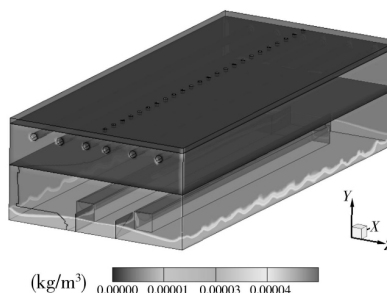
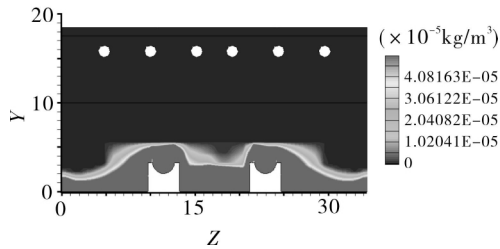
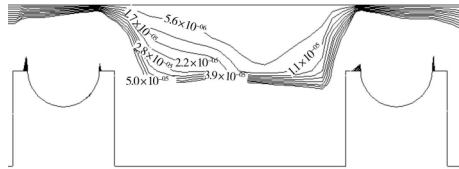


图4 2.0h 车间苯乙烯浓度场($0 \sim 50\text{mg}/\text{m}^3$)



(a) 苯乙烯浓度场截面云图(0~50mg/m³)



(b) 苯乙烯浓度场截面放大等值线

图 5 2.0h 苯乙烯浓度场截面(x=20m)

在 1.5~2.0h 间,不挥发苯乙烯,而通风系统继续工作。随着时间的继续,车间内苯乙烯含量不断降低,苯乙烯浓度高于标准要求的区域不断减小。但从图 4 和图 5 可看出,距离地面较近的区域仍然高于标准要求的 40mg/m³。这是由于苯乙烯浓度是空气浓度的 3.6 倍。侧面及顶部排风,并不能很好地降低紧贴地面区域苯乙烯浓度。

图 6 为监测点浓度随时间的变化曲线。

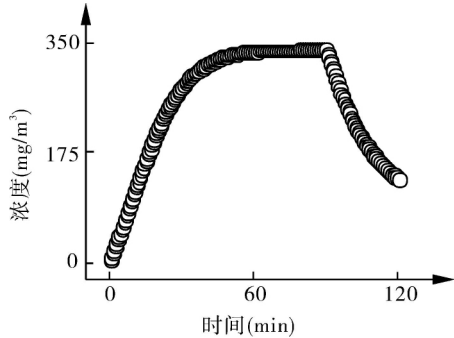


图 6 监测点浓度随时间的变化

从图 6 中可以看出,在 1.5h 之前,污染源一直释放苯乙烯,倒置监测点浓度随时间的增加而增大。在 1.5~2.0h,由于空气通风继续,而苯乙烯释放停止,苯乙烯浓度呈下降趋势。但是 2h 后浓度仍然大于 40mg/m³。

3.2 新风送风量为 20 次/h

图 7 和 8 分别为 2.0h 时苯乙烯的浓度场云图和截面云图。从图中可以看出,通风量的增大,导致苯乙烯的浓度变低,高于要求值的区域相对减少,但在靠近地面处,仍然有较大区域高于要求值。模具中间高于要求浓度区域减小,主要是由于在大的排风量的作用下,空气受到较强的抽吸作用而从模具两侧流出,排出车间。因此,增大通

风量,在一定程度上能够缓解车间空气质量,降低苯乙烯浓度,但是不能从根本上解决车间内污染物超标的现状。解决方式应着眼于通风方式的设计。

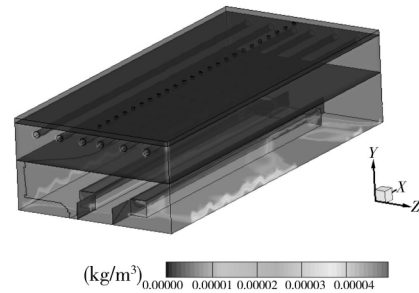


图 7 2.0h 车间苯乙烯浓度场(0~50mg/m³)

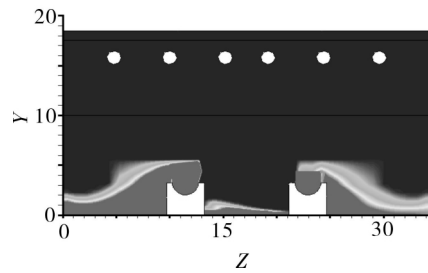


图 8 苯乙烯浓度场截面云图(0~50mg/m³)

4 结语

采用有效的通风方式,能够有效地排出工业车间产生的废热和污染性气体,对确保工业设备的安全高效运行、良好的工作环境及人体的健康有着重要作用。本文基于 CFD 技术,改变通风量,对车间的通风系统进行模拟计算,得出 2 种方案下苯乙烯的浓度随时间的衰减变化规律。结果表明,采用顶部送风,顶部排风和两侧墙排风的通风方式,当新风送风量为 10 次/h,并不能有效降低车间内苯乙烯的浓度,当送风量增加到 20 次/h,苯乙烯的浓度相对降低,但仍高于标准要求。采用增大通风量的方式不能从根本上解决空气质量问题。

根据模拟结果,通风方式应进行改进,采用地面排风口提高排风效率,考虑到两个较高的磨具中间极易积存苯乙烯,模具之间设置排风也可达到很好的效果。本文的研究结果,可供相关车间的通风设计参考。计算流体力学作为数值分析工具,将在建筑通风设计中起到重要作用,其应用有着广泛的前景。

(下转第 66 页)

口温度的降低,机组的 COP 增加越快;

(3) 冷却水进口温度一定,随蒸发器进口温度降低,蓄冷机组 COP 逐渐降低,并且在接近机组的极限制冷温度附近时效率迅速减小。冷却水进口温度越低,随着蒸发器进口温度的降低,机组 COP 减小越快;

(4) 试验采用双级复叠来降低冷却水进口温度,可有效提高蓄冷机组的制冷效率,蒸发器进口温度一定时,系统存在最佳冷却水进口温度;

(5) 采用双级复叠可充分利用改造后冷水机组,节省改造费用,提高机组效率以及对于系统在不同蓄冷工况下选择适宜冷却水温有重要意义。

参考文献

- [1] 赵庆珠. 蓄冷技术与系统设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 5.
- [2] 彦启森, 赵庆珠. 冰蓄冷系统设计[M]. 全国蓄冷空调节能技术工程中心, 2001. 5.
- [3] Chen Sih-Li, Chen Chin-Lung, Tin Chun-Chuh, et al. An experimental investigation of cold storage in an encapsulated thermal storage tank [J]. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2000, 23: 133-144.
- [4] Ames D A. The past, present and future of eutectic salt storage systems [J]. *ASHRAE Journal*, 1989, (5): 26-28.
- [5] 上禾谷能源科技(北京)有限公司. 复叠式冰蓄冷空调系统和利用该系统对空调供冷的方法[P]. 中国

专利: 102155772, 2011. 8. 17.

- [6] 周必安. 冰片滑落式冰蓄冷制冷系统及其制冷方法[P]. 中国专利: 102384550, 2012. 03. 21.
- [7] 贾胜辉, 曹亚丽, 顾小雷. 埋管地源热泵系统在宿迁地区的应用分析[J]. *流体机械*, 2012, 40(11): 85-87.
- [8] 张姝, 郝茂余. 空气源蓄热式土壤源热泵系统模拟研究[J]. *流体机械*, 2012, 40(8): 69-74.
- [9] 钱中. 微型换热器瞬态传热分析[J]. *压力容器*, 2011, 28(9): 30-33.
- [10] 陈建中, 金苏敏, 王伟. 冰蓄冷空调系统实验台的研制[J]. *实验技术与管理*, 2007, 24(1): 57-60.
- [11] 吴逸飞, 陈杨华. 冰蓄冷空调系统运行特性的仿真实验研究[J]. *制冷*, 2005, 24(3): 11-14.
- [12] 方修睦. 建筑环境测试技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. 11.
- [13] 郁庆庆, 章学来. 冰蓄冷工程测试分析与评估[J]. *上海海事大学学报*, 2005, 26(3): 14-17.
- [14] 刘冬华, 符永正, 石三平, 等. 冰蓄冷空调系统的评价方法及应用[J]. *暖通空调*, 2009, 39(3): 102-106.

作者简介: 梁幸福(1989-), 男, 在读硕士生, 主要从事地源热泵方面的理论与实验研究。

通讯作者: 杨卫波(1975-), 男, 工学博士(后), 副教授, 硕士生导师, 主要从事地源热泵利用方面的研究, 联系地址: 江苏扬州市扬州大学水利与能源动力工程学院建筑环境与设备工程教研室。

(上接第 49 页)

参考文献

- [1] 孙一坚, 沈恒根. 工业通风[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [2] 田太阳, 王亮, 常金秋. 基于 Airpak 的大型车间污染物消散的数值模拟研究[J]. *安全与环境学报*, 2012, 12(6): 31-35.
- [3] 李永兵, 张华玲. 重庆地区某居住建筑的通风模拟研究[J]. *制冷与空调*, 2009, 23(2): 32-36.
- [4] 黎娇, 郝小礼, 王海桥, 等. 某工业设备间通风方案的数值模拟与优化[J]. *工业建筑*, 2011, 41(s1): 21-24.
- [5] 陈建平. 船舶密闭舱室热工作业温度变化及通风计算的仿真分析[J]. *船海工程*, 2010, 39(3): 60-62.
- [6] 谢军龙, 许范, 钟小普, 等. 基于 CFD 的多翼离心换气扇整流罩的改进设计[J]. *流体机械*, 2012, 40(12): 15-19.

- [7] 张明辉, 万全喜, 吴家龙. 基于 Matlab 与 Solidworks 方法的风叶片优化设计[J]. *流体机械*, 2012, 40(12): 41-45.
- [8] 吴生, 黄翔, 李成成, 等. 高压喷气 + 直接蒸发冷却在工业厂房的应用[J]. *流体机械*, 2012, 40(5): 82-86.
- [9] 刘畅, 张旭, 唐凯, 等. 辐射吊顶与置换通风复合系统夏季运行策略的探讨[J]. *流体机械*, 2011, 39(5): 81-84.
- [10] 齐洪洋, 高磊, 张莹莹, 等. 管壳式换热器强化传热技术概述[J]. *压力容器*, 2012, 29(7): 77-82.
- [11] 王洋, 孟炯, 李晓东. 钠滤在乳品工业中纯化乳糖的应用[J]. *包装与食品机械*, 2010, 28(8): 66-69.
- [12] TJ36—79, 工业企业设计卫生标准[S].

作者简介: 史维秀(1983-), 女, 讲师, 博士, 主要从事强化传热、建筑通风及节能等方向的研究工作, 通讯地址: 100044 北京市西城区展览馆路 1 号北京建筑大学环境与能源工程学院。