

基于 Airpak 的焊接实训工厂 排烟除尘分析及改造设计

郝 刚^{1,2}, 陈淑花¹

(1. 武汉城市职业学院 机械工程与电气自动化学院, 湖北 武汉 430064;

2. 海军工程大学 动力工程学院, 湖北 武汉 430033)

摘 要: 针对焊接实训工厂, 应用气流组织数值模拟的方法选取合适的模型分别对改造前后的模型进行分析, 利用 Airpak 软件分别对两种方案进行 CFD 模拟, 并根据结果进行效果比较。依据仿真分析的结果确认了实训工厂焊接环境改造方案的效果, 该方法的提出对类似工厂改造提供了一定的借鉴。

关键词: 排烟除尘; Airpak; CFD; 气流组织

中图分类号: X76

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2017) 01-0087-05

一、引言

焊接是现代制造业中最为重要的材料成型和加工技术之一, 已渗透到装备制造业的各个领域, 焊接在国民经济建设中发挥着无可替代的重要作用。下图是我国及世界主要地区近年来焊接材料及其消耗情况的统计信息。

从图 1 来看我国近几年焊接材料的用量逐年递增且递增幅度较大。但是从图 2 我国焊材类型的统计中可以看出用于机动焊焊接的焊材不足 25%, 非机动焊焊材使用率高达 75% 以上。可见手工焊接作业在装备制造中仍占据最主要的地位^[1]。

为了培养符合制造业发展的焊接人才, 目前高等院校在教学中主要以手工焊接作为教育教学的重点。焊接实训工厂的环境建设显得尤为重要, 一方面其要在满足基本教学需求的情况下, 尽可能的节能

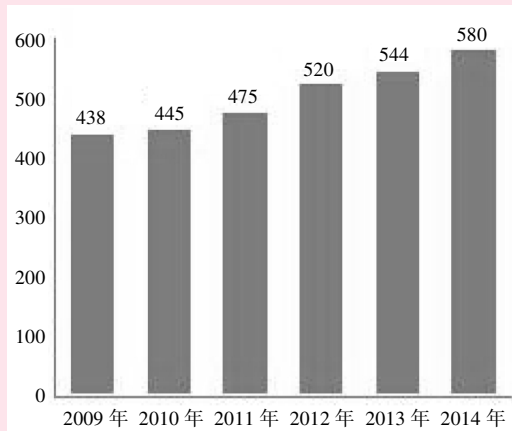


图 1 我国焊接材料用量(万吨)

环保, 以人为本; 另一方面现代环保的理实一体化环境有助于学生树立职业健康的理念, 提高自我保护

收稿日期: 2016-12-10

基金项目: 武汉市属高校产学研及教学研究项目重点课题“构建焊接专业中高职衔接的课程体系研究”(项目编号: 2013045); 湖北技能型人才培养研究中心课题“高等职业院校校园文化建设与创新创业教育推进的关系与作用研究”(项目编号: C2014D015)。

作者简介: 郝刚(1988-), 男, 湖北黄冈人, 武汉城市职业学院助教, 研究方向: 焊接自动化技术、职业教育; 陈淑花(1979-), 女, 山东临沂人, 武汉城市职业学院机械工程与电气自动化学院副院长, 副教授, 研究方向: 焊接自动化技术、职业教育。

的意识。为此本文提出了利用 CFD 仿真模拟提出较为优化的焊接实训工厂改造方案,通过对旧实训工厂改造升级,更好地满足焊接教学的需要。该方法的提出对于焊接工厂的改造升级有一定的借鉴作用。

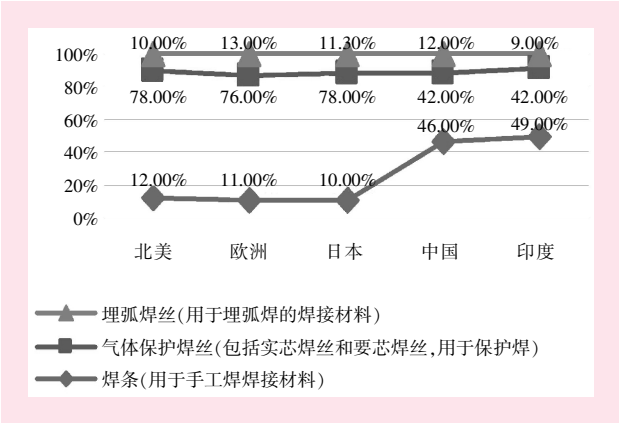


图2 2014年世界主要地区焊接材料消耗情况

二、焊接实训作业的污染和危害

某高校焊接技术及自动化实训工厂始建于2006年,面积约400平方米,16个焊接工位,以手工电弧焊实训为主,每学年承担20个教学班,总共960课时的教学量。

焊接实训作业存在害污染,主要是电弧弧光辐射以及电焊工尘肺(焊接作业主要污染物如表1),由此而引发的职业病危害巨大,有些甚至无法治愈^[2]。普通手工电弧焊接作业时会产生大量的烟尘,打磨作业也会产生大量的粉尘^[3,4],因此,有必要对实训工厂进行升级改造,为此特先期进行仿真模拟的优化设计。

三、焊接实训工厂气流组织数值计算的数学模型基础

焊接实训工厂中的气流组织属于极不规则的气流组织,其具有输运性、耗散性、涡旋性等特性。因此,引入污染源模型模拟焊接过程中产生的有毒污染物;引入湍流模型模拟焊接实训工厂中的气体流动;引入空气龄模型来衡量焊接实训工厂空气质量^[9]。

(一)污染源模型

污染源模型认为在没有焊接作业的情况下,污染物浓度为0。焊接作业开始后,污染物开始散发,室内各点的浓度将逐渐发生变化。若空间任意位置上污染物即时浓度为 $C^p(t)$,则污染源被定义为:

$$A_c^{n,C \cdot P}(\tau) = \frac{\int_0^\tau C^p(t) dt}{C_e \tau}$$

式中, $A_c^{n,C \cdot P}(\tau)$ 为在时段 τ 内第 n_c 个污染源在任意点 p 处的可及性; $C^p(t)$ 为在时刻 t 时 p 点出的污染物浓度; τ 为持续送风时间; C_e 为稳态时排风口的平衡浓度,它和房间通风量 Q 、污染物的散发强度 S^{nc} 存在如下关系:

$$C_e = \frac{S^{nc}}{Q}$$

(二)湍流模型

实际工程应用中,气流在时间和空间上都是极不规则的,常用湍流模型来作为室内空气数值计算的数学模型。湍流模型的提出基于雷诺方程来获得的,湍流模型是一种高度复杂的三维度非稳态、带旋转的不规则流动模型。在湍流模型中,流体的各种物理参数都随时间发生着随机变化。采用湍流模型分析焊接实训工厂的气流组织最为合理。

(三)空气龄模型

空气龄指的是空气在空间内停留的时间,空气龄越小,说明空气越新鲜。对于焊接实训工厂一类的室内环境,空气龄反映了厂房排除污染物的能力:平均空气龄越小说明去除污染物的能力就越强。该指标同样可以作为衡量通风排污设备通风换气能力的重要指标。

综上所述,从数值计算的角度对焊接实训工厂排烟除尘改造问题进行分析,包括:

步骤一,对焊接实训工厂现有情况进行分析,实地测得厂房相关参数。

步骤二,对焊接实训工厂建立相关的模型,包括尺寸模型和数据模型等。

步骤三,利用数学模型进行计算分析,得到相关的改造方案。

步骤四,对改造后的实训厂房模型进行计算分析,得出改造方案的可行性。

表1 焊接作业主要污染物及危害

污染物类型	污染物名称	污染物来源	污染物危害
有毒气体	一氧化碳	焊剂或保护气二氧化碳分解产生	头痛,头晕,神志不清,窒息
	氮氧化物	电弧和等离子弧产生的紫外线与空气中的氮气作用产生	刺激眼、鼻、后呼吸道,致使肺充血及肺损伤
	臭氧	电弧和等离子弧产生的紫外线与空气中的氧气作用产生	头疼,疲倦,刺激呼吸道,肺充血,肺病变
	氟化物	焊条外皮和焊剂	刺激鼻、喉、肺充血、骨骼改变
粉尘	(氧化)铁	钢材切割和焊接烟尘中的主要成分	刺激鼻、喉、肺色素沉着(铁沫沉着症),尘肺病
	镉	金属保护涂层或者焊条外皮	严重刺激肺脏、肺气肿,损害肾脏和肝脏

四、基于 Airpak 的焊接实训工厂烟尘 CFD 模拟及分析

通过对焊接实训工厂现有情况的分析和气流组织数值计算模型的建立, 本文选取成熟的流体分析软件, 利用相关参数对焊接实训工厂建立相关模型, 在此运用 CFD 模拟软件 Airpak 分别对为改造的焊接实训工厂与改造后的焊接实训工厂内污染物浓度进行模拟。Airpak 是面向工程师的专业人工环境分析软件, 它可以精确地模拟所研究对象内的空气流

动、传热和污染等物理现象, 它可以准确地模拟通风系统的空气流动、空气品质、传热、污染和舒适度等问题。具体 CFD 模拟流程如图 3 所示。

(一)边界条件

利用 Airpak 建模功能建模并设置边界条件^[7]。将实际焊接实训工厂模型简化为类似长方体模型, 如图 4 所示, 按实际尺寸添加门、窗、隔板、工业风扇、污染源等, 具体参数如表 2 所示。

对焊接实训工厂的 CFD 模型进行边界条件设定:

表 2 某高校焊接实训工厂模型及相关参数

	改造前	改造后
厂房	20m×15m×10m(长×宽×高)	20m×15m×10m(长×宽×高)
通风扇	数量:6 通风量:32000m³/h	数量:12 通风量:64000m³/h
门	数量:2 通风面积:20m³	数量:2 通风面积:20m³
焊接工位	数量:16 尺寸:2m×1.6×1.5(长×宽×高)	数量:16 尺寸:3m×2.5×1.5(长×宽×高)
污染源模型	浓度:0.0086kg/m³	浓度:0.0086kg/m³
模拟风机	自然风	抽风量:29600m³/h

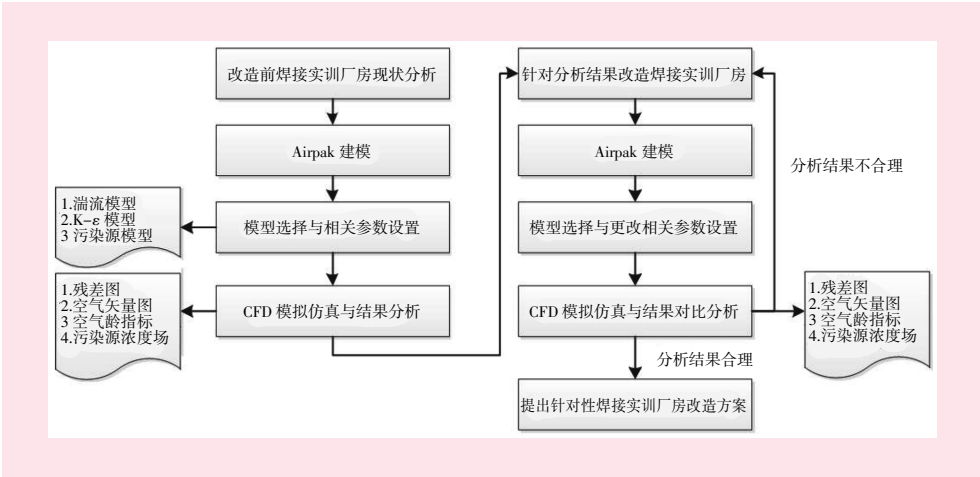
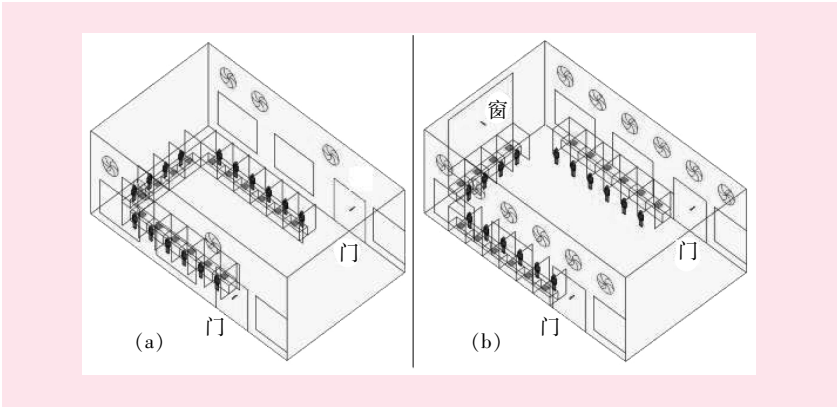


图 3 基于 Airpak 的焊接实训工厂烟尘 CFD 模拟及分析流程图



(a)改造前焊接实训工厂模型(b)改造后焊接实训工厂模型

图 4 基于 Airpak 的焊接实训工厂模型图

- 1.将空气视为连续、不可压缩的理想流体;
- 2.基本流动形式为湍流流动,选用标准双方程模型;
- 3.针对焊接工位作业,引入污染源模型,且污染源浓度为 $0.0086\text{kg}/\text{m}^3$;
- 4.在边界条件中,设定来流的速度模拟相关的设备以及自然风,利用有限元法对模型进行离散求解。

模型边界条件设定后即可利用 Airpak 网格划分的工具,对所建模型进行网格划分。

(二)基于 Airpak 的焊接实训工厂 CFD 模拟仿真与结果分析

1.改造前焊接实训工厂 CFD 模拟仿真与结果分析

利用 Airpak 对焊接实训工厂所建立的模型,根据设定的边界条件对工厂内空气组织进行 CFD 模拟仿真。仿真得到残差图、空气速度矢量图、空气龄云图、污染物浓度场云图如图 5 所示。

残差图:残差图表示 CFD 模型利用所选数学模型及边界条件设定情况下计算的收敛性。从图(a)可以看出改造前焊接实训工厂模型在经过约 400 步迭代后达到稳定收敛。为了确保数学模型计算的收敛性,防止局部最优,本文设置 1000 步的迭代数且仍然收敛,故认为 CFD 计算结果有效,可以进行后处理。

1.5m-空气速度矢量图:从人体工程学的角度考虑,本文取 1.5m 高度处的空气组织进行分析。空气速度矢量图是 CFD 模拟的空气流动的方向图。从图(b)可以看出,CFD 模拟结果显示改造前的焊接实训工厂的大门是主要的进风口和出风口。

1.5m-空气龄云图:从人体工程学的角度考虑,本文取 1.5m 高度处的空气组织进行分析。空气龄云图显示空气组织在该位置停滞的时间,它反映了厂房内空气的新鲜程度,也是作为衡量房间通风换气效果的综合指标。从图(c)可以看出,CFD 模拟结果显示改造前的焊接实训工厂焊接工位的空气龄都较高,只有大门处的进风口和出风口空气龄较低。从空气龄的指标来看,该厂房空气质量较差。

1.5m-污染物浓度场云图:从人体工程学的角度考虑,本文取 1.5m 高度处的空气组织进行分析。污染物浓度场是根据焊接作业过程中产生的烟尘而设置,模拟焊接作业的烟尘扩散。从图(d)可以看出,CFD 模拟结果显示改造前的焊接实训工厂焊接工位处污染物浓度明显比其他区域高,空气的流动对污染物浓度的降低并没有起到明显作用。

2.改造后焊接实训工厂 CFD 模拟仿真与结果分析

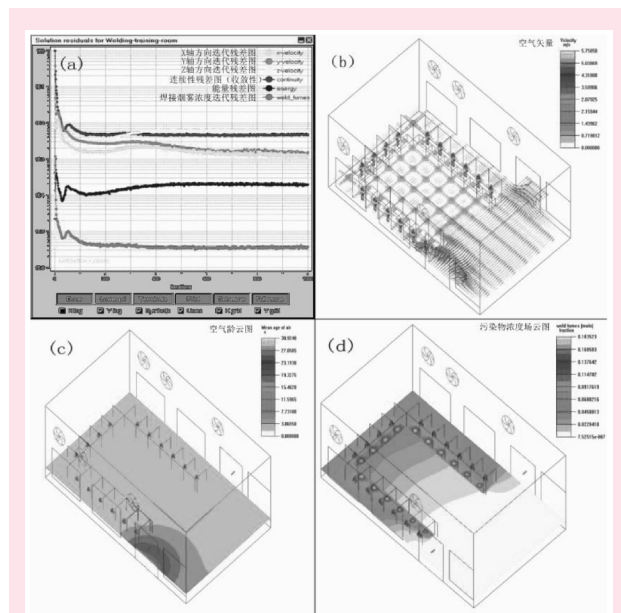
根据以上分析结果,特提出以下改造方案:

①焊接作业工位调整 180° ,而且焊接工位紧靠厂房四周,U 型排列,这样能够利用空气流动降低污染物浓度;

②在污染物浓度较高的方向加装通风换气用工业风扇并加开窗户,增加通风量;

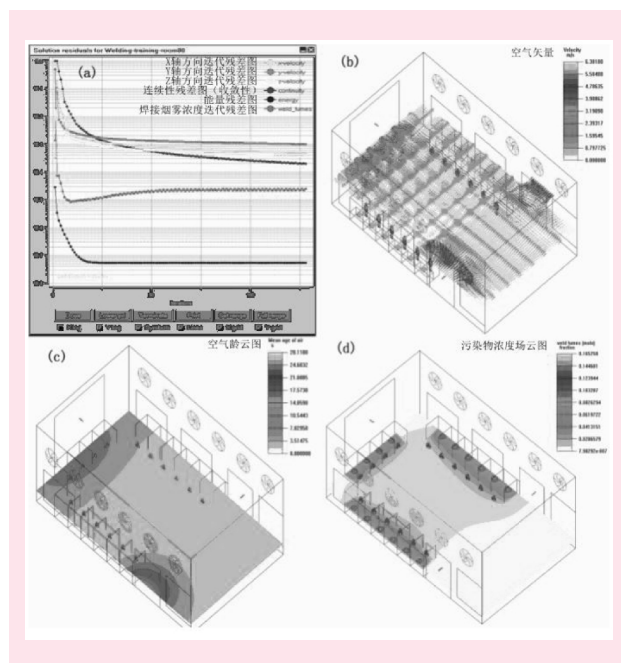
③在污染物浓度较高的方向加装排烟除尘装置,增大抽风量,专业设备排烟除尘。

改造后的焊接实训工厂模型如图 4(b)所示,对改造后的模型进行边界条件设定后,选择相应的计算内核和参数。得到改造后的残差图、空气速度矢量图、空气龄云图、污染物浓度场云图如图 6 所示。



(a)残差图;(b)1.5m-空气速度矢量图;(c)1.5m-空气龄云图;(d)1.5m-污染物浓度场云图

图5 改造前焊接实训工厂 CFD 模拟结果



(a)残差图;(b)1.5m-空气速度矢量图;(c)1.5m-空气龄云图;(d)1.5m-污染物浓度场云图

图6 改造前焊接实训工厂 CFD 模拟结果

残差图:从图(a)可以看出改造前焊接实训工厂模型在经过约 100 步迭代后已达到稳定收敛。故认为改造后的模型 CFD 计算结果有效,可以进行后处理。

1.5m-空气速度矢量图:本文仍取 1.5m 高度处的空气组织进行分析。引入了出风口以模拟增加的排烟除尘设备的效果。从(b)可以看出焊接实训工厂内空气流动方向发生了变化,流态呈现出多样性。

1.5m-空气龄云图:本文仍取 1.5m 高度处的空气组织进行分析。从(c)可以看出改造后的空气龄云图发生了明显的变化,总体的空气龄均有所下降,且焊接作业工位内空气龄显著下降。改造后的焊接实训工厂空气质量有了显著的提高。

1.5m-污染物浓度场云图:本文仍取 1.5m 高度处的空气组织进行分析。从(d)可以看出改造后的污染物浓度场云图发生了较为显著地改变,焊接工位处污染物浓度有所下降,焊接工位周围污染物浓度显著下降,污染情况有显著改善。

五、结束语

本文采用基于 Airpak 对实训工厂环境下焊接烟尘进行 CFD 模拟及分析,在对改造前后模型分别用 CFD 模拟仿真获得空气速度矢量图、空气龄云图、污染物浓度场云图等基础上,进行结果对比分析后确认了改造方案的可行性,改造实施后效果明显。

该分析思路和方法适用于类似问题的解决。

参考文献:

- [1] 姚润钢.我国焊接材料的发展趋势[J].材料开发与应用, 2014,(10):1-5.
- [2] RMStern,ABerlin,AFletcher,etal. International conference on health hazardsand biological effect sof welding fume sandgases[J].Int Arch Occup Environ Health,1986,(57): 237-246.
- [3] Farhang Akbar-Khanzadeh.Short-term respiratory function changes in relation to workshift welding fume exposures [J].Int Arch Occup Environ Health,1993,(64):393-397.
- [4] Martin Lehnert,Tobias Weiss,Beate Pesch,etal.Reduction in weldingfume and metal exposure of stainless steel welders:an example from the WELDOX study [J].Int Arch Occup Environ Health,2014,(87):483-492.
- [5] 周连芳,寿卫国,薛振宇,等.萧山区钢结构企业电焊工职业健康状况分析 [J]. 中国农村卫生事业管理,2013,33 (8):921-923.
- [6] 李先庭,赵彬.室内空气流动数值模拟[M].北京:机械工业出版社,2009:169-172.
- [7] 胡平放,蔡芬.气流组织形式对室内空气环境影响的数值模拟[J].华中科技大学学报,2006,23(2):28-31.

[责任编辑:詹华西]

Analysis and Optimization Design of Smoke and Dust Discharging in Welding Training Factory Based on Airpak

HAO Gang^{1,2},CHEN Shu-hua¹

(1. School of Mechanical Engineering and Electrical Automation,Wuhan City Vocational College,Wuhan 430064, China;2. College of Engineering,Naval University of Engineering, Wuhan 430033,China)

Abstract: According to the method of numerical simulation of airflow organization, the suitable model is used to analyze the model before and after the transformation, and the CFD simulation of the two schemes is carried out by Airpak software, and the effects are compared according to the results. According to the results of the simulation analysis, the effect of the welding environment modification scheme of the training factory is confirmed. The proposed method provides some reference for similar factory renovation.

Key words: smoke and dust discharge; Airpak; CFD; airflow organization