● 装备技术 Equipment Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.08.020

喷砂房除尘系统设计及测试分析

章基法,刁永发,沈恒根
(东华大学 环境科学与工程学院,上海 201620)

摘　要:落砂工部在喷砂过程中产生大量粉尘,若处理不当,对车间空气品质和工人身心健康影响很大,成为主要污染源。以实际除尘系统改造为案例,通过取消常见的排气烟囱,将净化除尘后的气体重新送入喷砂房,形成送排风循环,进而达到零排,并对系统进行现场测试。结果表明:改造后系统每月空气使用量减少 60.00%~95.83%,每月的粉尘排放量为 7.01~16.96 kg,减少 96%以上;喷砂房四周底部粉尘浓度 PM2.5 平均值为 77.6 μg/m³,低于车间外界浓度 80 μg/m³,运行良好。

关键词:喷砂房;送排风循环;零排;测试

中图分类号:TG234　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)08-0783-05

Design and Test Analysis of Dust Removal System in Sandblast Room

ZHANG Jifa, DIAO Yongfa, SHEN Henggen
(College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: A large amount of dust was produced in the process of sand blasting by the falling sand Department. If it was not handled properly, it would have a great impact on the air quality of the workplace and the physical and mental health of workers, thus becoming the main source of pollution. Taking the transformation of the actual dust removal system as an example, by eliminating the common exhaust chimney, the gas after the dust removal was re-sent to the sandblasting room, forming the air supply and exhaust circulation, and then reaching zero row, and the system was tested on the spot. The results show that the monthly air usage of the modified system is reduced by 60.00%~95.83%, and the monthly dust emission is 7.01~16.96 kg, reducing by more than 96%. The average dust concentration of PM2.5 at the bottom of the sandblasting room is 77.6 g/m³, lower than the concentration outside the workshop of 80 g/m³, which is in good operation.

Key words: sandblasting room; air supply and exhaust circulation; zero discharge; test

21 世纪以来,铸造行业发展迅猛,2018 年总产量达 4 935 万 t[1],但设备智能化程度不是很高,运行过程中会伴随废弃物、有害气体、粉尘等污染物产生。众所周知,喷砂房是铸造工艺流程中一个重要部分,产生的大量粉尘中含有游离的 SiO_2 会顺着呼吸道进入身体,增加尘肺病的发病率[2-6]。随着环保要求的不断提高,控制喷砂房粉尘排放迫在眉睫。

目前国内外针对喷砂房除尘系统优化做了多方面的努力,盛亚光[7]以某公司喷砂房除尘系统为例,通过采取个人防护、分级除尘、优化除尘产品配套设计等方法,使排放至空气中的粉尘指标达到良好级别;刘忠慧等[8]根据某铸铁车间落砂机工艺技术落后,设计组装了半封闭固定式自循环启幕封闭罩,两年后运行良好;宋高举等[9]对某铸钢车间除尘系统进行实测,通过在排风罩左侧加排风口,数值模拟结果显示排尘效果有很大改善;T Mizuki[10]改进除尘设备,尝试将天然硅砂改为呋喃树脂球形人工砂型,大大改善工作环境;Scholz R C [11]对粉尘的产生情况及其控制措施等问题进行讨论,指出使用排风罩等物理屏障可以对产生的粉尘进行隔离,达到减少粉尘的目的;Wies aw Fiebig[12]提出了一种多自由度的主动隔振系统,应用于因振动落砂机的运行、振动幅度和加速度产生的力量所导致的缺陷上,提高了喷砂房的除尘效果。前人对于改善喷砂房除尘系统主要集中在更换老旧设备、设计合理管道和选取合适除尘器等方面,但只是从末端加强粉尘控制,依旧源源不断向大气排放少量粉尘,并未从根本上解决,在创建"绿色铸造"背景下面临严重挑战。

本文作者以某支架车间喷砂房除尘系统改造工程为例,提出取消排气烟囱方法,将年久失修的滤筒除尘器更换为新的袋式除尘器,在气体净化除尘后不排向大气而是重新送入喷砂房循环使用,达到零

收稿日期:2020-05-10
基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC0705300);中央高校基本科研业务费重点项目(2232017A-09)
作者简介:章基法(1994-),安徽绩溪人,硕士在读.研究方向:工业空气污染控制.电话:15755508245,
E-mail:m15755508245@163.com

排，给工人创造一个良好的车间环境，并在运行一段时间后进行现场效果测试。

1 工程概况

该支架车间喷砂房总长、宽、高分别为 18.0、4.9 和 4.0 m，依次为密闭罩、喷丸室、喷砂及砂料回收系统、除尘系统。工件被顶部行车吊入喷砂房，大门关闭进行喷砂作业，结束后打开大门通过行车吊出。在喷砂过程中，产生大量的灰尘从车间底部缝隙和地沟溢出，且在大门打开，工件被吊出时，粉尘从大门往车间排放。

2 除尘系统优化

2.1 原有除尘系统运行存在的问题

支架车间喷砂房已有的过滤系统总除尘量为 53 000 m^3/h，风机功率 55 kW。目前该套设备的除尘系统采用二次除尘，分别是 4 个旋风式除尘器和 2 台 SLT-40 型滤筒式除尘器，过程具体如下：从喷砂房来的含尘气体经过管道到达 4 个旋风式除尘器，将含尘气体中的较大颗粒进行旋风除尘；经过一级处理后的含尘气体到达滤筒式除尘器，含尘气体从滤筒式除尘器的上部进入混气室，经滤筒过滤后的粉尘落入下部灰斗，处理后的空气从滤筒式除尘器下侧面排出；经过二级除尘后的气体经过风机达到烟囱，最终高空排放。除尘流程如图 1。

经过现场勘查，发现喷砂作业量大，日喷砂量达到 3 000 m^2/ 天。目前该系统滤筒除尘器设备老化，易造成粉尘堵塞滤筒而减小过滤面积，降低过滤效果，导致外溢现象严重，浓度约为 65 mg/m^3，车间工人劳动作业环境恶劣，长时间的话势必对工人的身心健康造成影响。《铸造行业大气污染物排放限值(TCFA030802-2-2017)》[13]中颗粒物排放浓度限值为 20 mg/m^3，该支架车间喷砂房粉尘过滤后通过烟囱直接向大气排放，不符合环保要求，存在大量含尘气体过滤不彻底而外排现象，造成作业过程中排放总量大且不达标，现有过滤系统无法解决根本问题。

2.2 粉尘控制清洁技术措施

支架车间喷砂房任务量大时，需 24 h 连续喷砂，车间粉尘浓度会较高，影响工人健康和工件质量。若采用更换滤筒除尘器，对管道进行优化设计，可在一定程度上降低粉尘浓度达标排放，但还是一直向大气排放，造成污染。为了从根本上解决向大气排放问题，不排或者少排粉尘，考虑更换滤筒除尘器，保留原有旋风除尘器和风机，取消排气立管，设计从风机出口加装消音器及引风管道，将排风口连接至喷砂房和工作区进口，形成喷砂生产工艺送、排风循环工作模式。此模式为生产过程洁净化而非生产末端烟尘治理，超越了普通环保范畴。具体除尘流程为从喷砂房吸风口进入集尘管道、旋风除尘器、袋式除尘器、袋式除尘器管道，风机、回风管道，最后送入喷砂房，如图 2。

经过袋式除尘器过滤后的气体，若达到《工业企业设计卫生标准(GBZ1-2010)》[14]中规定的 5 mg/m^3，则可向车间部分排放，60%~90%进入回风管道循环利用，若不满足(高于 5 mg/m^3 但低于 20 mg/m^3)则继续循环直至最后一次喷砂结束再排放。

以额定流量 Q 计算，假设一小时喷砂次数 n 为 3，喷砂房每天作业时间 t 为 8 h，每月工作天数 d 为 20，则环境空气使用量 L 为：

$$L=Q\cdot t\cdot d\cdot(1-\mu) \tag{1}$$

其中 μ 为循环风量百分比；

若现系统一直不停循环至喷砂结束，则一天只用一次环境空气，使用量最小，为：

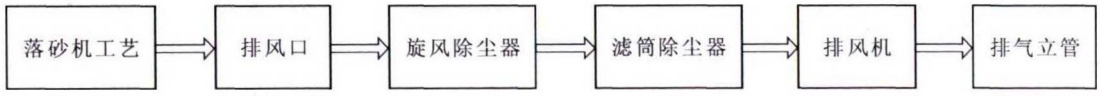


图 1 喷砂房原有除尘流程

Fig.1 Original dust removal process of sandblast room

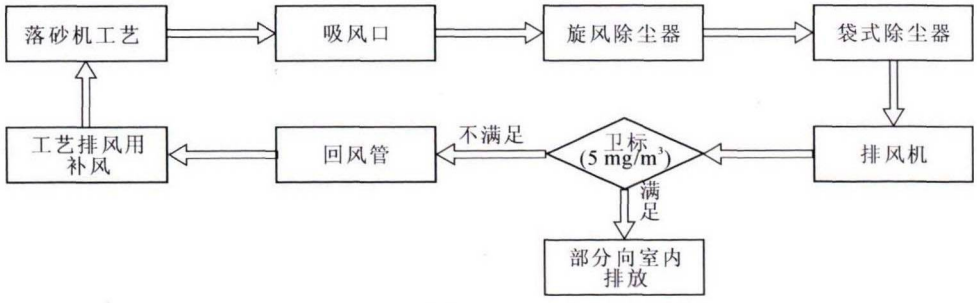


图 2 设计后新的送排风循环除尘流程

Fig.2 The new air supply and exhaust circulation dust removal process is designed

$$L_{现系统\ mix}=\frac{Q\cdot d}{n} \tag{2}$$

支架车间喷砂房总除尘量 N 为 53 000 m³/h，，假定最后一次粉尘排放 C 为 20 mg/m³，则每月粉排放量 G 为：

$$G=N\cdot t\cdot d\cdot a\cdot(1-\mu) \tag{3}$$

在原系统中，取 a 为粉尘浓度溢出值 65 mg/m³，改进之后满足卫生标准，a=5 mg/m³；若系统不停循环至喷砂结束，则一天只排放一次粉尘，粉尘排放量达到最小，为：

$$L_{现系统\ mix}=\frac{N\cdot C\cdot d}{n} \tag{4}$$

将数据代入对应公式中，选取 3 种特殊情况，即原系统、现系统全循环和 60%风量循环，它们的每月空气使用量、粉尘排放量及其减少量如表 1。

表 1 每月空气使用量和粉尘排放量情况

Tab.1 Monthly air usage and dust emission

状况		空气使用量/(m³/月)	使用量减少(%)	粉尘排放量/(kg/月)	排放量减少(%)
原系统	立管直排	6.47×10^6	/	551.2	/
现系统	全循环	2.7×10^5	95.83	7.01	98.7
	60%循环	2.59×10^6	60	16.96	96.92

通过表 1，看出与立管直排相比，采用现系统效果有很大的改善，每月空气使用量为 2.59×10^6~ 2.7×10^5 m³，减少 60.00%~95.83%；每月的粉尘排放量为 7.01~16.96 kg，减少 96%以上，对于保护赖以生存的大气环境和节能减排具有十分重要意义。

3 污染物控制系统优化效果测试

3.1 测试方案设计

该喷砂房粉尘主要在密闭罩四周溢出，因此在除尘系统改造完成投入生产后用 TSI 8530 粉尘浓度测定仪(精度：±0.001 mg/m³)和 B5W 激光测霾仪(精度：±读数×15%)进行测试，选取管道检测孔和车间内部等重点部位布置测点，同时为了检验新系统除尘效果，选择车间外进行参考。检测孔处测量断面的选择按照《工业通风》[15] 中的要求选。喷砂房四周粉尘浓度测点位置见图 3 所示，测点和所在位置如表 2。

表2 喷砂房四周测点和所在位置

Tab.2 Measuring points and positions around the sandblast room

测点编号	A	B	C	D	E	F
测点位置	大门北	大门南	排风罩中部	袋式除尘器南	尘器北车间外	袋式除
备注	A、B、C、D、E 均离物体 8 m 远处					

3.2 袋式除尘器颗粒除尘效果测试分析

袋式除尘器出口检测孔离除尘器顶部有一段距离，隔着栏杆，操作不便。测量时，先打开 TSI8530 粉尘浓度测定仪校零，开始测试后将橡皮管深入回风管检测孔，待读数稳定后(大约 3~4 min)拿出橡皮管，关闭仪器。PM10 粉尘质量浓度 3 次测量结果分别如图 4。

图 4 中第一幅图所示为上午 10:03 未喷砂系统

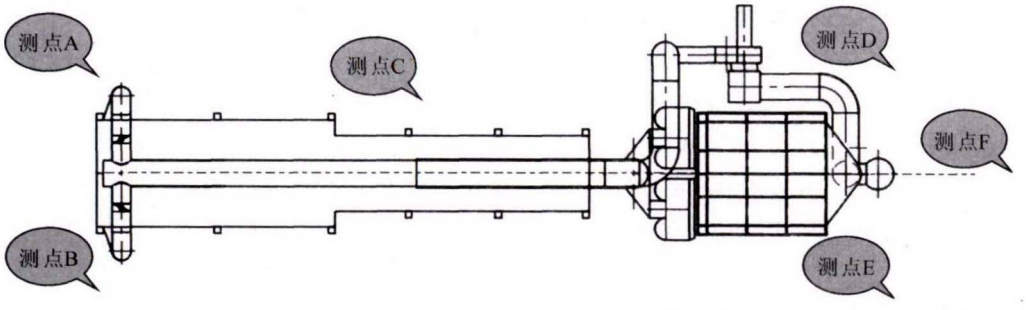
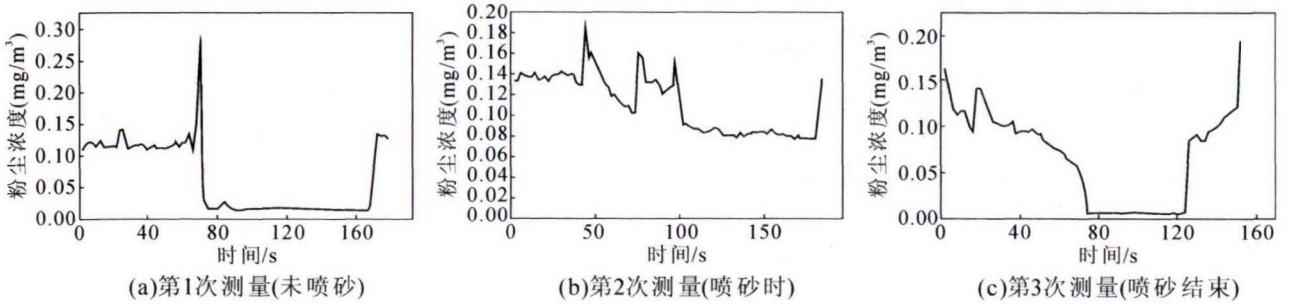


图 3 喷砂房四周粉尘浓度测点图

Fig.3 Dust concentration measurement points around the sandblast room



(a)第1次测量(未喷砂)　(b)第2次测量(喷砂时)　(c)第3次测量(喷砂结束)

图 4 PM10 粉尘质量浓度测量结果

Fig.4 Measurement results of PM10 dust mass concentration

运行时粉尘浓度变化情况。一开始在外部就打开仪器开始测量，粉尘浓度较高，随后将橡皮管深入检测孔后，浓度急剧下降，在一段时间内保持基本不变状态。将橡皮管取出，浓度又急剧上升，达到与开始浓度相近；第二幅图所示为上午 10:11 进行喷砂时粉尘浓度变化情况。在 48 s 处开始测量管道内浓度，数字急剧下降，经历一个短暂波动后进入基本稳定期，取出橡皮管，浓度急剧上升；第三幅图所示为上午 10:20 喷砂结束 1 min 后粉尘浓度变化情况。与前两者类似，粉尘浓度先下降，经历一个基本稳定期后再上升。通过三幅图我们可以看到最高粉尘浓度处于开始或结尾段，在管道内部都会经历一个稳定期，取稳定值作为最后管内粉尘质量浓度值。根据数据，可整理检测孔粉尘浓度测量情况如表 3。

表3 袋式除尘器检测孔粉尘PM10浓度
Tab.3 PM10 concentration of dust in test hole of bag filter

次数	时间	最高粉尘浓度 /(mg/m³)	最低粉尘浓度 /(mg/m³)	平均值 /(mg/m³)	稳定值 /(mg/m³)	测点数	备注
1	10:03	0.28	0.014	0.065	0.017	89	未喷砂
2	10:11	0.185	0.077	0.111	0.084	92	喷砂
3	10:20	0.194	0.006	0.068	0.009	76	喷砂结束

在未喷砂和喷砂时分别用测霾仪检测袋式除尘器顶部 PM2.5 浓度(高度约为 10 m)，每隔两分钟记录一次，结果如表 4。

表4 袋式除尘器顶部空气环境PM2.5浓度
Tab.4 PM2.5 concentration in the air at the top of bag filter

次数	1	2	3	4	5	6	7
粉尘浓度 /(μg/m³)	74	78	79	79	83	82	81
平均值 /(μg/m³)		77			81.3		
备注		未喷砂			喷砂时		

图 4 显示袋式除尘器顶部空气中粉尘浓度PM10约为 128 μg/m³，联系表 3 和表 4，我们可以知道：除尘器顶部 PM2.5 为 77 μg/m³，开始喷砂后粉尘随气流上升，空气中浓度略有提高，说明现系统送排风循环流畅，外溢情况明显好转；在未喷砂时，经袋式除尘器过滤后检测管内粉尘浓度 PM10 为 17 μg/m³ 和 9 μg/m³，而除尘器顶部空气中粉尘浓度为 128 μg/m³，远高于管内值，除尘效果好；根据 GB3095-2012《环境空气质量标准》[16]规定，环境空气中 24 h 平均 PM10 达到 50 μg/m³ 以下为优秀，50~150 μg/m³ 为良。喷砂时，稳定后管内粉尘浓度为 84 μg/m³，达到空气质量标准良。

3.3 喷砂房附近粉尘浓度测试结果分析

根据原系统粉尘外溢现象较严重部位，在喷砂时选取喷砂房附近六处位置作为测点，采用 B5W 激光测霾仪进行 PM2.5 测量，待数字稳定之后读取，6 次测量结果如表 5。

表5 喷砂房附近粉尘浓度测试结果
Tab.5 Test results of dust concentration near the sandblasting room

测点	A	B	C	D	E	F
浓度 /(μg/m³)	82	87	66	79	74	80
平均浓度 /(μg/m³)			77.6			80

通过表 5 测量数据我们可以知道：冬季陕西处于用煤时期，车间外 PM2.5 粉尘质量浓度为 80 μg/m³，属于轻度污染；车间内喷砂房大门南北两侧浓度最高，略高于车间外浓度，这是由于大门密闭性不强，喷砂时粉尘从缝隙间溢出；车间 C、E 两处测点环境空气质量为良，整个设备周边环境 8 mPM2.5 粉尘浓度平均值为 77.6 μg/m³，低于外界，工人工作环境得到直接明显改善；车间底部粉尘浓度 PM2.5 值(77.6 μg/m³)与高 10 m 处粉尘浓度(77 μg/m³)基本相等。

4 结论

(1)针对喷砂房粉尘排放超标，提出取消排气烟囱，将净化过滤后空气重新送回喷砂房重新使用，形成喷砂生产工艺送、排风循环工作模式，达到超低排放甚至零排。此模式为生产过程清洁净化而非生产末端烟尘治理，超越了环保范畴，从根本解决问题。

(2)与原有除尘系统相比，现系统每月空气使用量减少 60.00%~95.83%，每月的粉尘排放量为 7.01~16.96 kg，减少 96%以上，对保护大气质量、减少对空气使用和节能减排具有十分重要意义。

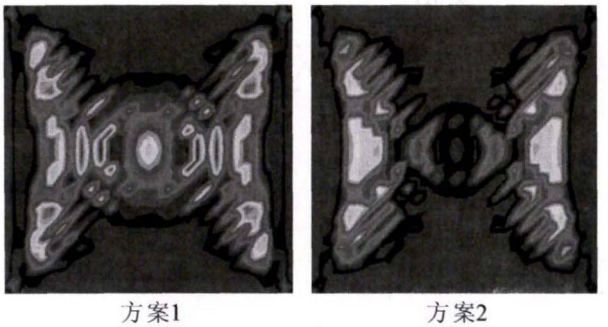
(3)运行效果测试显示，在未喷砂时，除尘器顶部空气中粉尘浓度 PM10 为 128 μg/m³，远高于经袋式除尘器过滤后检测管内粉尘浓度 17 μg/m³ 和 9 μg/m³ 管内值；喷砂房四周底部粉尘浓度 PM2.5 平均值为 77.6 μg/m³，低于车间外界浓度 80 μg/m³，系统运行良好，外溢情况明显好转。

参考文献：

[1] 中国铸造协会. 2018 年中国铸件产量数据发布 [J]. 铸造设备与工艺,2019(02):6.

[2] Jardin C, Wallaert B. Chapter 51-Silicosis and Coal Worker's

(下转第 789 页)



方案1　　方案2

图 3 不同二冷方案铸坯断面应力集中情况
Fig.3 Stress concentration of billet section in different secondary cooling schemes

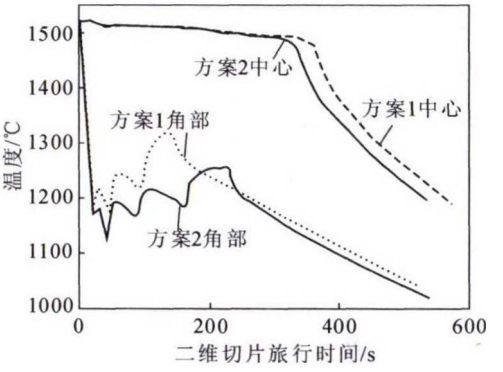


图 4 不同二冷方案铸坯表面中点及铸坯中心温度对比
Fig.4 Comparison of surface mid point and billet center temperature of different secondary cooling schemes

3 结论

(1)小方坯凝固过程中，角部应力最大，二冷方案优化前其角部应力最大值为 185.7 MPa，优化后为 182.1 MPa。

(2)在 2 m/min 拉速下，二冷优化前最大回温值为 103 ℃，二冷优化后最大回温值为 71 ℃。

(3)优化后的二冷方案减轻了铸坯断面的应力集中，减少了铸坯表面回温幅度，提高了产品质量。

参考文献：

[1] 伍帅，岳峰，魏勇，等. 连铸工艺参数对高碳钢小方坯凝固组织的影响[J]. 铸造技术, 2017, 38(11): 2687-2690.

[2] 徐旺，刘增勋，肖鹏程，等. 方坯表面纵裂的数值模拟研究[J]. 炼钢, 2020, 36(2):48-52.

[3] 刘 伟，莫志英，于兴旺，等. 板坯二冷配水优化研究[J]. 铸造技术, 2019, 40(8): 48-52.

[4] 孙立根，李晓斐，朱立光，等. 基于二冷配水优化的 65Mn 板坯内部品质控制研究[J]. 铸造技术, 2017, 38(2): 372-376.

[5] 崔立新，张家泉，陈素琼，等. 连铸板坯在结晶器内凝固行为的研究[J]. 炼钢, 2003, 19(3): 22-25.

[6] 李东辉，刘相华，邱以清，等. 方坯连铸机结晶器凝固传热的数学模型[J]. 东北大学学报, 2004, 25(8): 774-777.

[7] 康丽，王恩刚，赫冀成. 连铸结晶器温度场及热变形的数值模拟[J]. 材料与冶金学报, 2006, 3(5):190-194.

[8] 刘俊平，张朝晖，冯璐，等. 连铸坯凝固过程的数值模拟研究[J]. 铸造技术, 2020, 41(4): 379-380.

[9] 干勇，倪满森，于志祥，等. 现代连续铸钢实用手册[M]. 北京：冶金工业出版社，2010

(上接第 786 页)

Pneumoconiosis [M]. Clinical Respiratory Medicine (Fourth Edition), Agustí S G S A, Philadelphia:W.B.Saunders, 2012, 637-644.

[3] Dr. Ki P L K, Korhonen O, Mattsson T, et al. Lung contamination among foundry workers[J]. International Archives of Occupational and Environmental Health. 1979, 43(2):85-91.

[4] Jeong I, Ryu I, Kim B, et al. Two Cases of Lung Cancer in Foundry Workers[J]. Annals of Occupational and Environmental Medicine. 2013: 1-5.

[5] Kuo H W, Chang C L, Lai J S, et al. Prevalence of and factors related to pneumoconiosis among foundry workers in central Taiwan [J]. Science of The Total Environment. 1998, 222(3): 133-139.

[6] Rosenman K, Reilly M, Rice C, et al. Silicosis among foundry workers [J]. American Journal of Epidemiology. 1996, 144 (9): 890-900.

[7] 盛亚光. 大型喷砂房除尘系统的优化设计 [J]. 北京工业职业技术学院学报, 2015, 14(4):117-120.

[8] 刘忠慧，韩晋. 落砂机除尘系统设计 [J]. 中国铸造装备与技术, 2000(4):44-44.

[9] 宋高举，秦洪建，杨磊. 某铸造车间除尘系统实测与分析[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2010, 9(2):30-35.

[10] Tohru Mizuki, Toshitake Kanno. Establishment of Casting Manufacturing Technology by Introducing an Artificial Sand Mold with Furan Resin and Realizing a Clean Foundry[J]. International Journal of Metalcasting, 2018, 12(4):1-7.

[11] Scholz R C, Jr. Euvrard L. Dust off your foundry's silica control measures[J]. Modern Casting. 2001, 91(11): 45-48.

[12] Fiebig W , Wró bel, Jakub. Two stage vibration isolation of vibratory shake-out conveyor [J]. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2017, 17(2):199-204.

[13] TCFA030802-2-2017 铸造行业大气污染物排放限值[S].

[14] GBZ1-2010 工业企业设计卫生标准[S].

[15] 孙一坚，沈恒根. 工业通风(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010.

[16] GB3095-2012 环境空气质量标准[S].