

高容漆量、高过滤效率漆雾分离纸盒的开发

孔 飞, 韩 俊, 黄 鹏, 赵 剑, 冯日华, 李国民
(中国汽车工业工程有限公司, 天津 300113)

摘要: 使用纸盒作为漆雾分离介质的干式喷房是一种低碳绿色的涂装技术, 已经在国内汽车厂大规模使用。目前市面上常用的漆雾分离纸盒结构存在多种缺陷, 已经不能满足最新的干式喷房系统的需求。本文主要描述了一种新结构高容漆量、高过滤效率漆雾分离纸盒的开发过程, 测试结果表明此漆雾分离纸盒完全达到了设计指标。

关键词: 车身喷涂; 漆雾分离; 容漆量; 过滤效率

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)06-0068-03

Development of High Paint Hold Capacity and High Filtration Efficiency Cardboard Paint Overspray Separation Module

KONG Fei, HAN Jun, HUANG Peng, ZHAO Jian, FENG Ri-hua, LI Guo-min
(Automotive Engineering Corporation, Tianjin 300113, China)

Abstract: The dry spray booth using cardboard paint overspray separation module as paint overspray filtering media is a low-carbon and green coating technology that has been widely used in domestic automobile factories. The commonly used cardboard paint overspray separation module structure on the market currently has various defects and cannot meet the needs of the latest dry spray booth system. This article mainly describes the development process of a new structure, high paint hold capacity and high filtration efficiency cardboard paint overspray separation module, and the test results show that this cardboard paint overspray separation module fully meets the design specifications.

Key words: car body painting; overspray separation; paint hold capacity; filtration efficiency

0 引言

我国基于推动实现可持续发展的内在要求和构建人类命运共同体的责任担当, 于 2020 年宣布了力争 2030 年实现碳达峰、2060 年实现碳中和目标的愿景。根据中国汽车工业协会统计的数据, 我国汽车产销量已经连续 14 年稳居世界第一, 2022 年, 汽车产销分别完成 2 702.1 万辆和 2 686.4 万辆。汽车工业作为一个高能耗、高污染的行业, 它在促进经济发展、提高人类生活质量的同时, 也带来了严重的环境问题, 给人类环境造成了巨大损害。涂装作为汽车整车制造中能耗最

高、碳排放量最大的工艺, 寻找涂装车间的低碳解决方案, 对实现汽车制造碳中和有重要意义。

在过去的几年, 使用纸盒作为过滤介质的干式喷漆室已经大规模应用, 漆雾捕集过程不再产生废水, 也不需要化学试剂, 节约能源消耗量达 38%, 同时, 危废量大幅度降低, 结合循环风技术, 冷热水耗量降低 85%。目前市面上常用的漆雾过滤纸盒结构存在多种缺陷, 已经不能满足最新的干式喷房系统的需求, 开发新结构的漆雾分离纸盒势在必行。

1 雾化喷涂和过喷漆雾

汽车车身面漆涂装主要采用雾化喷涂的方式, 包括喷枪和静电旋杯两种设备, 都是通过将涂料雾化后再使用气流作为载气将雾化颗粒带到车身。气流在接触车身反弹的过程中也会将部分漆雾颗粒带走, 没有被车身吸附的这部分漆雾颗粒被叫做过喷漆雾。干式

收稿日期: 2023-04-25

作者简介: 孔飞(1986—), 男, 本科, 工程师, 主要从事汽车面漆喷涂工艺、材料及设备的应用研究工作。E-mail: kongfei@chinaaie.com.cn。

喷漆室通过将带有过喷漆雾的排风引入漆雾分离纸盒,将大部分的过喷漆雾分离后留在纸盒内。

2 常用纸盒的结构

目前国内外市场上常用漆雾分离纸盒的形式主要有两种,分别是迷宫式和蜂窝式。迷宫式漆雾分离纸盒的优点是容漆量大,不易堵塞,缺点是对直径小的漆雾颗粒吸附差,导致整体漆雾分离效率低,并且分离效率和风阻还会受风量的影响。蜂窝式漆雾分离纸盒的优点是过滤效率高,过滤效率不会受风量的影响,缺点是容漆量一般,而且堵塞之后纸盒压差上升很快。

3 漆雾分离纸盒的开发

3.1 漆雾分离原理

过喷漆雾的分离可以参考化工行业常用的除尘技术,粉尘指因机械过程而产生的微细粒子,粉尘的粒径范围很广,从0.1到数百微米,因此如无特殊说明则用粉尘这一名词作为总称。除尘的原理是利用过滤、离心力、静电吸附、化学反应等方法,将工业生产或生活中产生的粉尘颗粒物从气体中分离出来,达到减少大气污染和保护环境的目的,除尘效果主要受粉尘性质和除尘器设计参数影响,主要有以下几种除尘机理:

1)重力沉降,是利用粉尘的重力效果使其沉淀下降并从气流中分离出来。由于依靠重力分离作用,因此必须分析确定出粉尘的沉降速度,然后根据沉降速度确定沉降室的捕集最小粒径。典型应用如重力沉降室。

2)惯性除尘,是使含有烟、尘的气体进入除尘器内,让气流产生急剧的方向改变或受挡板阻挡、撞击,借助气体中尘粒自身惯性力作用而将其分离的装置。惯性除尘比较适合处理颗粒直径大于20 μm的粉尘,净化效率在15%~65%之间,由于效率太低,一般用在多级除尘结构的最前一级。典型应用如挡板式除尘器、旋风除尘器。

3)静电除尘,是利用带电粉尘颗粒在电场中受到静电力的作用而沉积下来的一种技术。其原理是电源产生高压直流电场,带有相反电极性的金属板,通过高压直流电源供电,形成一个强电场。当含尘气体流经静电除尘器时,其中的粉尘颗粒会带上相反电极性的电荷。由于带电的粉尘颗粒在强电场中受到静电力的作用,会向极板方向移动并沉积在其表面或附近。静电除尘技术具有效率高、能耗低、处理量大等优点,广泛应用于工业生产和环境保护领域。

4)洗涤式除尘,是采用液滴、液膜、气泡等洗涤含尘的烟气和粒子朝向液滴的惯性、阻拦、扩散的捕集作用,以及使尘粒黏附和相互凝集,然后将尘粒进行分离的一种装置。洗涤式除尘器的除尘机理是与液膜的接

触及气体中水分的凝缩作用,尘粒撞击液滴而黏附在液滴上,微粒朝向液滴的惯性、阻拦、扩散作用是往球体上接触捕集。典型应用如水膜除尘器,湿式文丘里。

5)过滤式除尘,是利用纤维、膜等材料制成的过滤介质,将含尘气体通过过滤介质时,粉尘颗粒被过滤介质截留并沉积下来的一种技术。其原理是含尘气体通过纤维或膜等材料制成的过滤介质时,由于介质表面的微小孔隙和毛细作用,粉尘颗粒会被截留在介质表面上形成一层滤饼。过滤式除尘技术具有结构简单、维护方便、处理效率高优点。典型应用如袋式过滤器、板式过滤器等。

除尘器形式的选择应考虑多个方面的因素,如粉尘特性、除尘效率要求、压降、设备投资成本等。

3.2 过喷漆雾特性

过喷漆雾属于粉尘的一种,其特性参数见表1。

表1 过喷漆雾特性参数

项目	指标
外形	球形
粒径/μm	5~100
密度/(g·cm ⁻³)	1.0~1.2
浓度/(mg·m ⁻³)	50~800
黏附性	强
燃烧特性	易燃

3.3 漆雾分离纸盒技术指标

评价除尘器工作性能的主要指标包括:

1)处理效率,指除尘器能够有效地去除气体中的粉尘颗粒物的能力,通常用百分比表示。

2)出口排放浓度,指除尘器出口的气体中粉尘颗粒物的浓度,通常用mg/m³表示。

3)压力损失,指除尘器在运行过程中由于气流通过而引起的压力损失,通常用Pa表示。

4)能耗,指除尘器在运行过程中所需的能源消耗,通常用kW·h表示。

5)适用范围,指除尘器能够处理的气体种类和粉尘颗粒物大小的范围。

6)设备寿命,指除尘器的使用寿命,通常用h表示。

7)维护成本,指除尘器定期进行清灰、更换滤袋等维护工作的成本。

8)容尘量,指到达更换阻力时除尘器捕集的粉尘总质量,捕集的总质量越高,表示除尘器的经济性越好。

根据目前市面上主要漆雾分离纸盒的应用数据,设定开发漆雾分离纸盒技术指标,见表2。

表 2 漆雾分离纸盒技术指标

技术指标	数值
分离效率/%	≥98
风阻/Pa	≤1 000
容漆量/(kg·m ⁻²)	≥100

3.4 漆雾分离纸盒结构设计

根据以上数据,开发了一种具有高容漆量、高过滤效率的漆雾分离纸盒。使用两种漆雾分离原理,惯性和过滤介质捕集。在前端结构设置了折流板,气流在这段区域内通过时,漆雾颗粒由于惯性和折流板碰撞而被吸附。在后端设置的是蜂窝纸网和 G4 滤棉的复合过滤材料,通过过滤介质对剩余漆雾颗粒进行过滤分离。

3.5 流场仿真

漆雾分离纸盒使用 Inventor 进行建模,使用 CFD 软件进行流场仿真。

3.5.1 参数设置

漆雾颗粒的参数按表 1 中数据进行设置。根据生产线实际情况,漆雾分离纸盒入口风速设置 1.7 m/s。入口和出口的湍流强度设置为 5%,水力直径设置为 0.5 m。入口边界条件设置为压力出口,出口边界条件设置为速度入口,设置值为风速。壁面设置为光滑、非滑移和绝热壁面。漆雾颗粒是有黏性的圆形小颗粒,在纸盒过滤器内部与壁面发生碰撞时,默认 100% 全部被壁面捕获。颗粒在入口防止因为逃逸影响计算结果,将入口边界条件设置为反弹,出口面边界条件设置为逃逸,在过滤器前后的管道壁面设置为反射,在过滤器内部壁面设置为捕获,其他参数设置见表 3。

表 3 初始参数设置

主要参数	数值
空气温度/°C	23
空气密度/(kg·m ⁻³)	1.25
颗粒温度/°C	23

采用基于压力的求解器,稳态流场。离散相采用稳态追踪,设置相间耦合,与连续相同时计算进行耦合求解。压力项、动量、湍动能和湍流耗散率全都采用精度较高的二阶迎风离散格式。

模拟采用离散相模型(DPM),计算完成后使用后处理功能计算入口压力 P_i 和出口压力 P_e ,过滤器前后压差 $\Delta P = P_i - P_e$ 。

使用 Particle track 功能对典型颗粒进行追踪,得到追踪的颗粒总数 n_t ,异常颗粒数 $n_m = 0$,以及捕获颗粒数量 n_i 和逃逸的颗粒数量 n_e ,过滤效率 $\eta = n_i/n_e$ 。

3.5.2 仿真结果

仿真结果见图 1。可以看出,漆雾分离纸盒内部气流均匀,纸盒前后压差低,漆雾分离效率高,基本达到设计要求,说明纸盒结构设计合理,可以进行下一步的验证和测试。

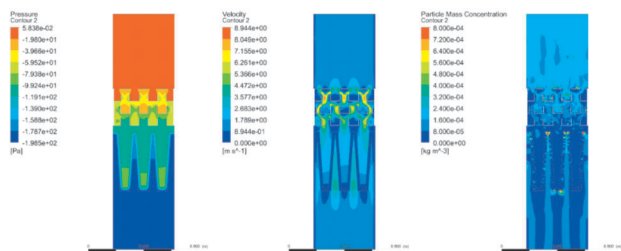


图 1 漆雾分离纸盒剖面压力、风速和漆雾浓度云图

3.6 样件制作

根据结构原理图设计工程制作图纸,制作若干套样件。样件制作需要满足以下要求:1)所有制作材料必须通过第三方检测机构的 EN 13501-1:2007+A1:2009《建筑材料及制品燃烧性能》中 B1 级难燃等级认证;2)所有制作材料必须不含有硅酮等能够导致喷涂缺陷的物质;3)结构合理,拼装时省时省力。

3.7 台架喷涂测试

设计制作纸盒测试台架,并对漆雾分离纸盒进行喷涂测试。测试参数参考实际生产线的数值,使用固体含量为 35% 的白色水性漆喷涂,喷枪使用 Graco Airpro 288931,纸盒前后压差使用 Testo 512 手持压差计测量,纸盒后漆雾浓度使用 DUSTTRAK II 8530 台式粉尘检测仪进行测量。

台架喷涂测试结果见表 4。测试结果表明,漆雾分离纸盒的性能完全达到了设计指标。

表 4 台架喷涂测试结果

测试项目	数值
分离效率/%	98.5
风阻/Pa	800
容漆量/(kg·m ⁻²)	110

4 结语

高容漆量、高漆雾分离效率的漆雾分离纸盒能够大幅度提高干式喷房的效率,进一步降低喷房的能耗、危废量以及运营成本。本文开发的新结构漆雾分离纸盒,在多项指标上已经达到了先进水平。为了验证油漆材料、喷涂设备和工艺参数对漆雾分离模块性能的影响,还需要在不同的生产线上进行应用测试,并根据测试结果对模块的结构持续优化。◆