

# 钢轨打磨车集尘系统设计与试验研究

杨全 何建江

株洲时代电子技术有限公司 湖南 株洲 412007

**摘要:** 针对地铁打磨车的粉尘环境情况和打磨车的作业条件,通过除尘器、清灰控制、吸尘罩、管路、风机等五个部分对打磨车的集尘系统进行了系统的设计,然后针对该系统进行了计算和仿真,最后通过实际的试验数据进行了验证。结果表明该设计的集尘系统有效的实现了除尘效果,满足环境除尘要求,为以后的打磨车除尘系统的设计提供了参考依据。

**关键词:** 集尘系统; 钢轨打磨; 金属粉尘; 粉尘浓度; 波纹管

## 1 引言

钢轨打磨车在对钢轨进行打磨时会产生大量细金属颗粒和少量金属混合气体,主要为三氧化二铝颗粒物以及少量高温火花燃烧铁、碳、硅、锰、磷、硫等氧化物的金属混合气体,这些粉尘气体将会对环境带来严重污染。长期从事打磨作业的人员将含有金属微粒的有害气体吸入体内后,会对肺部产生危害,容易形成矽肺,严重影响生命健康。因而,必须开发出稳定、可靠、高效的打磨车集尘系统以对产生金属颗粒物及有害混合气体进行收集处理,避免在周围空气中扩散,保持环境空气的洁净,最大限度地减少作业人员对有害气体的吸入<sup>[1]</sup>。

## 2 集尘系统设计

本文所设计的打磨车集尘系统主要由除尘器、清灰控制器、管路系统,通风机,出风口,吸尘罩等组成。

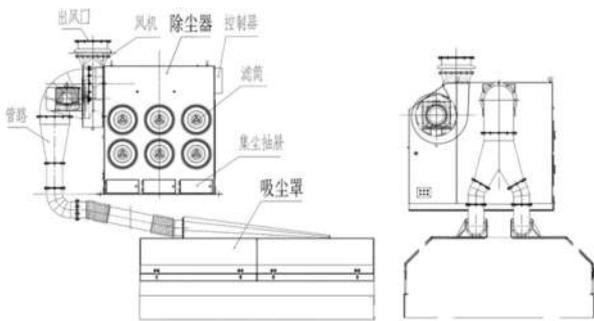


图1 集尘系统结构组成

### 2.1 除尘器

除尘器是除尘系统的核心装置,必须满足处理风量及除尘效率的要求。打磨作业时产生的磨屑由于高温高速,一部份粘在道渣轨枕及防护挡帘上,一部分会飞扬起来,飞扬部份必须收集,对尘粒半径  $\geq 0.3\mu\text{m}$  的粉

尘,除尘系统效率要求达到99.9%。过滤介质为纳米覆膜材料,滤筒采用阵列式水平布置,共有12个滤筒。

### 2.2 清灰控制

由于打磨作业时粉尘量较大,为避免频繁清理过滤网,该系统采用了自动清灰控制系统,利用高压空气进行反吹清灰。主要原理是:含尘空气通过风机产生的负压作用经通风管道进入除尘室,通过滤筒过滤净化后到洁净室经风机作用完成排空。粉尘则被滤芯阻拦在其表面上。被阻拦的粉尘在滤芯外表面不断沉积,当滤筒上积灰过多时,过滤器阻力升高,升高到某种程度,压差达到预先设定值时,脉冲阀释放压缩空气,经喷头、文丘里管整流,反向冲击过滤元件,使得沉积在滤芯上的粉尘颗粒在高压气流的作用下脱离滤芯,过滤器阻力随之回落,恢复到设计阻力范围。反吹开启时,系统按除尘舱室中滤筒的布置从上往下按组依次清灰,每组滤筒清灰时间间隔定为10s。

### 2.3 吸尘罩设计

吸尘罩处在整个除尘系统的最前端,对除尘效果影响很大。取风口设计在打磨区域中心位置,以获得最佳除尘效果。

对应打磨小车四周上部设置防尘挡板,打磨区有8个打磨砂轮,作业时它们以各自的速度、角度对钢轨轮廓打磨,因而它们产生扬尘的方向、强度会不同。罩口中心区域的风速和罩口周边区域的风速相差很大,用罩口的平均风速根据是否有干扰气流及扬尘飞散速度选定为  $2.5\text{m/s}^{[2]}$ 。

### 2.4 管路设计

吸尘罩、除尘器、风机通过通风管道连成一体,成为一个除尘系统。合理设计通风管道,才能保证除尘系统处在正常的工作状态。另外,打磨车会在打磨作业时降落打磨小车,对应的吸尘罩和管路必须随着打磨小车一起降

**通讯作者:** 杨全, 1986.11, 汉、男, 安徽宿州, 株洲时代电子技术有限公司, 设计师, 工程师, 硕士研究生 412007, 轨道工程机械。

落,因此需要补偿管路的升降变形。为了保证粉尘不在管路内沉积,气体流速选定为21m/s。根据吸尘罩口速度及流量要求,计算管道直径等参数。打磨小车降落的位移为250mm,距离较大,此处选用波纹管进行补偿。

### 3 计算与分析

#### 3.1 流体仿真分析

模型采标准k- $\epsilon$ 模型,用在边界条件上,入口边界条件使用质量流入口(mass-flow-inlet)作为边界条件,出口边界条件取为自由出口(outflow)作为边界条件。滤芯过滤过程采用多孔介质来模拟,为了使结果更好地收

敛,采用多孔跳跃(porous-jump)边界条件。多孔跳跃条件本质上是单元区域的多孔介质模型的一维简化,用于模拟已知速度或者压降特征的薄膜。固体滤芯过滤过程采用多孔介质来模拟,对整个集尘系统包括管路和小车集尘罩口进行流体仿真分析。

根据图2的吸尘罩口及管道速度分布云图可以看出,罩口风速集中分布在2-4m/s间,且越靠近间隙的中间,速度越大。罩内风速较低,大部分在4.2m/s以下,管道拐弯处发生突变,速度达到30m/s,主管道及出风口处风速平均值约为20m/s,与设计值相近<sup>[3]</sup>。

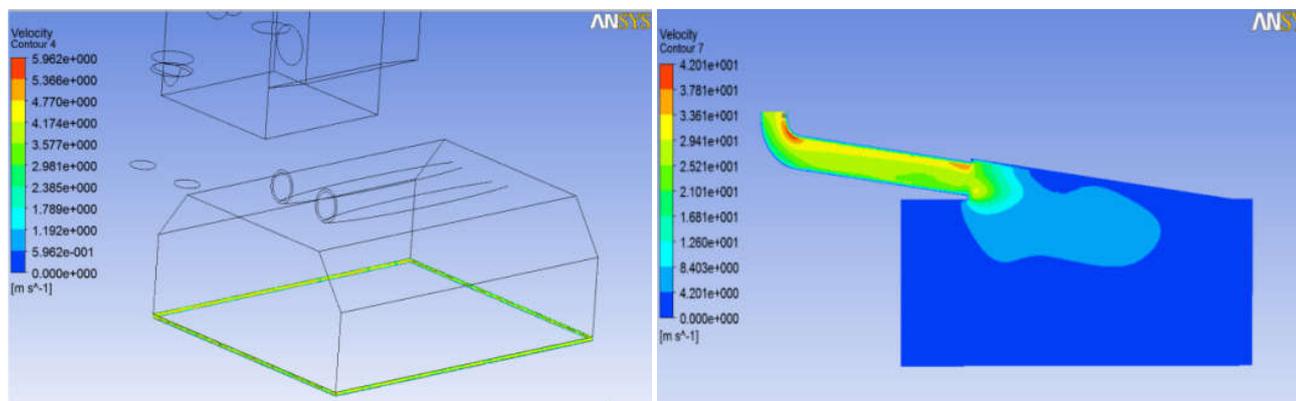


图2 吸尘罩口速度云图

#### 3.2 波纹管仿真分析

波纹管在管路中可用来进行连接和补偿、降低噪声,还可以吸收管路的振动,起到减振的作用。但由于

薄壁结构与不规则形状,应力分布较为复杂,波纹管性能受几何参数影响较大。为了得到波纹管的性能需要对波纹管进行径向变形分析,并结合试验进行验证。

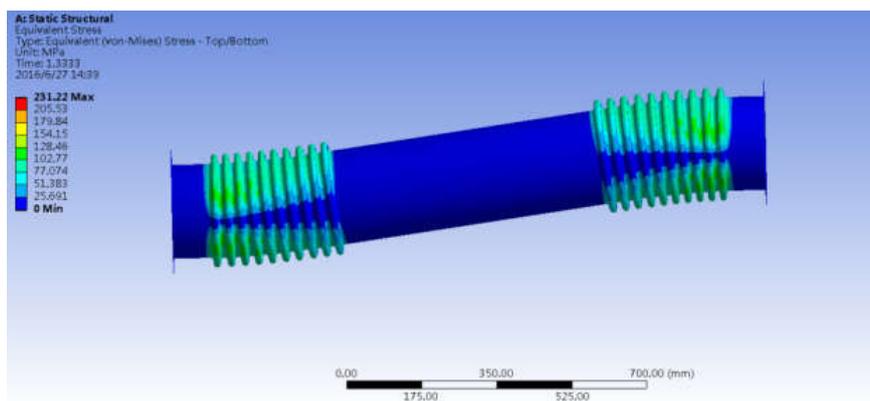


图3 波纹管补偿器应力云图

经分析可以看出波纹管的受力比较均匀,主要变形区域在两端波纹处,最大应力231MPa,径向拉伸反力为849N,最大反力矩为587.5N·m。满足设计需要。

### 4 试验及结论

为了检验设计的风速是否满足要求,需要对集尘器关键部位进行风速测量。同时为了验证集尘系统的除尘

效果,需要检测钢轨打磨时,未开启、开启集尘系统时空气中的粉尘浓度,对测试的数据进行对比。这里选择具有代表性的A、B、C、D、K(打磨小车前后左右及风机排风口)共5个位置进行了粉尘浓度测试。测试结果A、B、C、D、K平均风速分别为2.34、2.73、4.28、2.73、22.74,吸尘罩罩口风速大小及风机出风口处的

风速大小及风量与设计值较接近，满足设计要求。

#### 4.1 粉尘浓度对比试验

根据表1的测试结果所示，在集尘系统关闭情况下进行打磨时，A、C点相对粉尘浓度较低，主要原因是钢轨挡住了吸尘罩内气体的扩散，而钢轨打磨位置在地面以上较高的位置，粉尘溢出少；B、D点粉尘浓度较高，粉尘主要沿车道前后方向溢出，主要因为前后方向防尘布与地面间距离较大，无阻挡。K点粉尘浓度较高是因为整

个实验室是封闭状态，K点是风机的出风口，排除的是过滤后的气体，距离尘源距离较远，因此相对其他位置点的粉尘浓度较低。另外通过试验数据可以明显看出在关闭除尘系统进行打磨作业时，0~30分钟时间内，粉尘浓度随时间进行快速增加。

开启集尘系统时，粉尘浓度明显降低，与不打磨时原环境中的粉尘浓度相当，且粉尘浓度随着时间的延续基本无增长。

表1 粉尘浓度测试结果

位置 工况	A点浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	B点浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	C点浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	D点浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	K点浓度 (mg/m <sup>3</sup> )
环境中粉尘浓度	4.460	4.355	4.460	4.460	4.565
集尘关，打磨开10min	8.19	32.75	13.23	51.45	6.35
集尘关，打磨开20min	12.60	45.15	10.50	64.78	6.09
集尘关，打磨开30min	7.770	66.255	20.160	129.15	6.740
集尘开，打磨关	6.195	5.565	5.460	5.355	4.145
集尘开，打磨开10min	5.04	5.145	4.935	5.04	4.045
集尘开，打磨开20min	4.885	5.41	4.790	4.990	4.990
集尘开，打磨开30min	5.20	5.45	4.92	5.06	4.76

#### 4.2 波纹管性能试验

试验采用instron一维动态加载试验机，为保证试验工况和实际工况相同，设计了固定和导向用试验工装，保证补偿器的连接方式和平动加载与实际工况完全相同。

试验现场如图4所示。测得最大加载力为960N，补偿器成功通过3万次疲劳试验，试验过程中补偿器表面无明显裂纹，屈服，破坏等现象。



图4 补偿器疲劳性能试验现场

结论：通过试验结果可以看出实际测量的风速及风量值与设计值相近，波纹管的强度及疲劳性能均满足实际需求。此处设计的集尘系统的实测除尘效果比较理想，粉尘浓度得到了有效的降低，并为以后的相关打磨车除尘系统的设计提供了参考依据。

#### 参考文献

- [1]周宏,高顺平.长钢轨焊接接头打磨除尘装置研究[J].铁道技术监督.2011.39(7):44~46
- [2]轻轨列车底部电器移动式除尘系统设计[J].
- [3]袋式除尘器气流分布均匀性测试与数值模