

# 矿山工程车辆空气滤芯全自动吹扫器的研发与应用 效益分析

程玉印<sup>1,2</sup>, 缪亮<sup>2</sup>, 张雷<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 云南磷化集团海口磷业有限公司, 云南 昆明 650000)

**[摘要]** 针对某磷矿山使用高压风枪人工清洁工程车辆发动机空气滤芯时存在的作业时间长、粉尘浓度高、噪声大、滤芯寿命短及劳动强度大等问题, 运用质量管理工具与方法, 研发了一款整体式全自动空气滤芯吹扫器。该设备由密闭吹扫箱、自动旋转机构、开槽式均匀吹扫管、轴流除尘风机及喷雾降尘系统等构成, 实现了滤芯清洁的自动化和密闭化。应用效果表明: 单次滤芯平均清洁时间由4.93 min缩短至3.33 min; 清洁作业点的粉尘平均质量浓度由7.56 mg/m<sup>3</sup>显著降至3.05 mg/m<sup>3</sup>; 空气滤芯的平均使用寿命由793 h延长至1 356 h, 提升幅度达71.00%。经济效益分析显示, 该设备每年可通过节约滤芯消耗、增加设备有效作业时间产生约27万元的新增效益。此外, 该设备具有显著的安全、环保与职业健康意义, 降低了作业风险与粉尘暴露, 为类似矿山设备的清洁维护提供了可借鉴的技术方案。

**[关键词]** 空气滤芯吹扫器; 自动清洁设备; 矿山机械; 粉尘防治; 设备维护; 质量改进

**[中图分类号]** TD56 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2026) 04-0124-05

## Research and application benefit analysis of fully automatic air filter blowers for mining engineering vehicles

CHENG Yuyin<sup>1,2</sup>, MIAO Liang<sup>2</sup>, ZHANG Lei<sup>2</sup>

(1. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Yunnan Phosphate Group Haikou Phosphorus Industry Co., Ltd., Kunming 650000, China)

**Abstract:** In response to the problems of long operation time, high dust concentration, loud noise, short filter life, and high labor intensity when using high-pressure air guns to manually clean the engine air filter of engineering vehicles in a certain phosphate mine, a comprehensive fully automatic air filter blower has been developed using quality management tools and methods. The equipment is composed of a closed purging box, an automatic rotating mechanism, a slotted uniform purging pipe, an axial flow dedusting fan and a spray dust suppression system, which realizes the automation and sealing of filter element cleaning. The application effect shows that the average cleaning time of a single filter element has been shortened from 4.93 minutes to 3.33 minutes; The average concentration of dust at the cleaning site has significantly decreased from 7.56 mg/m<sup>3</sup> to 3.05 mg/m<sup>3</sup>; The average service life of air filter element has been extended from 793 hours to 1 356 hours, with an increase of 71.00%. Economic benefit analysis shows that the equipment can generate approximately 270 000 RMB Yuan in new benefits annually by saving filter consumption and increasing effective operating time. In addition, the equipment has significant safety, environmental protection, and occupational health significance, reducing operational risks and dust exposure, and providing a reference technical solution for the cleaning and maintenance of similar mining equipment.

**Key words:** air filter blowers; automatic cleaning equipment; mining machinery; dust prevention and control; equipment maintenance; quality improvement

收稿日期: 2025-09-07

作者简介: 程玉印(1991—), 男, 山东菏泽人, 在读博士研究生, 采矿高级工程师, 主要从事矿山安全生产技术管理。

通信作者: 缪亮(1984—), 天津河西人, 自动化与控制高级工程师, 主要从事矿山自动化与控制相关管理。

## 0 引言

矿山设备主要有挖掘机、装载机、压路机、起重机械、重型卡车等<sup>[1-2]</sup>，这些机械设备在不同的工程项目中扮演着不同的角色，发挥着各自独特的功能。然而，在日常运行过程中，需要定期对设备进行检修和保养<sup>[2-5]</sup>，以提高设备的可靠性和使用寿命。

对于工程设备来说最重要的部分就是发动机，而影响发动机性能的因素主要有设计与制造因素、燃油与润滑系统、工作环境、负载与操作方式、冷却与热管理、维护与保养等<sup>[6-8]</sup>，前几项几乎都是固定不可变的，只有维护与保养方面可以进行人工干预，如定期对发动机空气滤芯上的粉尘进行清理<sup>[9]</sup>。

矿山机械工作环境粉尘浓度极高，空气滤芯的清洁效率直接影响发动机寿命，据统计，1 g粉尘进入气缸可导致缸套磨损增加50 μm<sup>[10]</sup>。当前对矿山机械发动机空气滤芯清扫常用的方法主要有人工清扫方法（如压缩空气反吹和手动拍打除尘）和机械化清扫方法（如脉冲反吹自动清洁系

统、旋风预分离+滤芯清扫一体机和超声波清洗机等等），针对不同的作业环境使用不同的清扫方法<sup>[11]</sup>。

某矿山使用高压风枪清洁空气滤芯时，单次清洁时间较长，工人劳动强度大，清洁作业环境中粉尘浓度高，清洁过程噪声大，严重影响操作人员的身体健康。为了达到改善作业环境、提升清洁效率、降低工作环境粉尘浓度和噪声、保障劳动者健康权益等目标，某矿山QC小组运用质量管理工具和方法研发了新的空气滤芯吹扫器，不仅树立了绿色低碳的品牌形象，也积极推动国家环保法规落地实施。

## 1 空气滤芯吹扫器方案选择

### 1.1 整体方案选择

首先对研制类型提出了4种方案，并分类整理归纳，同时根据使用情况、经济效益等情况进行打分评判。然后根据各项打分，最终确定了方案2（整体式全自动空气滤芯吹扫器），具体方案对比见表1。

表1 空气滤芯吹扫器方案对比

Table 1 Comparison of air filter blowers scheme

方案	空气滤芯吹扫器类型	操作性		安全性		经济性		密封性		综合得分
		描述	得分	描述	得分	描述	得分	描述	得分	
1	整体式半自动	需要控制气管及气流大小,气流不均匀	3	气管需要人为控制,有反作用力	1	钢材530 g	5	吹扫箱无门,密封差	1	10
2	整体式全自动	空气滤芯自动旋转,气流均匀	5	清洁时滤芯放于吹扫箱中,不需要控制气管	5	钢材580 g	3	吹扫箱设计为密闭式,密封好	5	18
3	分体式半自动	需要控制气管及气流大小,气流不均匀	3	气管需要人为控制,有反作用力	1	钢材750 g	1	吹扫箱无门,管路易损坏漏灰,密封差	1	6
4	分体式全自动	空气滤芯自动旋转,气流均匀	5	清洁时滤芯放于吹扫箱中,吹扫箱质量轻	3	钢材820 g	1	吹扫箱与除尘箱分开,密封好,管路易损坏	3	12

### 1.2 设备备品、备件方案选择

设备备品、备件方案对比见图1。

1) 万向轮 万向轮的选择方案对比：(1) 万向轮+50方钢方案，制作简单（方钢焊接简单），投

入共计4 500元（万向轮200元，方钢2 000元，辅材1 000元，人工费1 300元），坚固、可长期使用；(2) 万向轮+50角钢方案，制作较困难，框架需要焊接多条拉杆和加强筋（角钢焊接需要修边

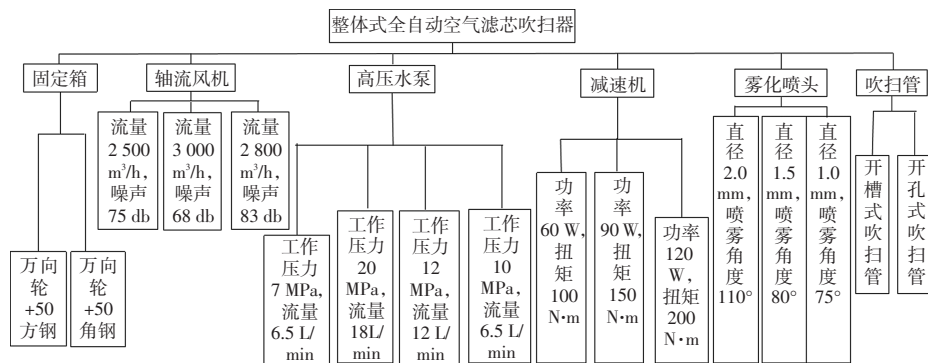


图1 设备备品、备件方案对比

Fig. 1 Comparison of equipment spare parts and spare parts plans

角),投入共计5 700元(万向轮200元,角钢3 000元,辅材1 000元,人工费1 500元),不坚固、框架摇晃。经过组装后的结果和价格对比,采用万向轮+50方钢方案更坚固、更稳定,价格更合理,因此最终选择万向轮+50方钢方案。

2) 轴流风机 轴流风机的选择方案对比见表2。经过组装后的结果和价格对比,方案2采用的应达品牌的轴流风机具有流量大,噪声低,电机功率大的优点,因此最终选择方案2。

3) 高压水泵 高压水泵的选择方案对比见表3。经过组装后的结果和价格对比,方案2采用的黑猫品牌的轴流风机具有功率适中、节能、工作压力及流量能满足要求的优点,因此最终选择方案2。

4) 减速机 减速机的选择方案对比见表4。经过组装后的结果和价格对比,减速机方案2采用功率为90 W的减速机具有扭矩适中、转速可调

节、运行时不会导致滤芯损坏、能满足滤芯转动需求的优点,因此最终选择功率为90 W的方案2。

5) 雾化喷头 雾化喷头的选择方案对比见表5。经过综合评价,方案1采用喷孔直径2.0 mm、流量4.9 L/min和喷雾角度110°具有雾化效果最佳、喷雾角度大、能达到降尘效果的优点,因此最终选择方案1。

6) 吹扫管 吹扫管的选择方案对比见表6。经过综合评价,采用开槽式类型的吹扫管具有高压气体经过缝隙时出气均匀、不会吹坏空气滤芯滤纸的优点,因此最终选择方案1。

设备各部件的最终参数确定为固定箱采用万向轮+50方钢,轴流风机流量3 000 m<sup>3</sup>/h、噪声68 dB,高压水泵工作压力20 MPa、流量18 L/min,减速机功率90 W、扭矩150 N·m,雾化喷头喷孔直径2 mm、喷雾角度110°,采用开槽式吹扫管。

表2 轴流风机的选择方案对比

Table 2 Comparison of selection schemes for axial flow fans

方案	品牌	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	电机功率/kW	流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	噪声/dB	价格/(元·台 <sup>-1</sup> )	优缺点
1	上玺	2 800	0.25	2 500	75	550	优点,成本低;缺点,噪声大,功率小,流量小
2	应达	2 800	0.37	3 000	68	600	优点,流量大,噪声低,电机功率大;缺点,成本高
3	润玺	2 800	0.25	2 800	83	600	优点,流量大;缺点,噪声大,功率小,成本高

表3 高压水泵的选择方案对比

Table 3 Comparison of selection schemes for high-pressure water pumps

方案	品牌	额定功率/W	工作压力/MPa	流量/(L·min <sup>-1</sup> )	净质量/kg	价格/(元·台 <sup>-1</sup> )	优缺点
1	图耐得	600	≤7	≤6.5	5	350	优点,质量轻,价格便宜;缺点,功率小,流量小,工作压力低,不能满足雾化需求
2	黑猫	2 000	≤20	≤18.0	8	560	优点,功率适中,节能,工作压力及流量能满足要求;缺点,价格略微偏高
3	普兰迪	3 000	≤12	≤12.0	10	500	优点,功率高;缺点,工作压力低,流量较小,质量重
4	莱本	2 000	≤10	≤6.5	9	430	优点,价格略低,功率适中;缺点,流量小,工作压力低

表4 减速机的选择方案对比

Table 4 Comparison of gearbox selection schemes

方案	功率/W	减速比	容许扭矩峰值/(N·m)	调速开关	价格/(元·台 <sup>-1</sup> )	优点	缺点
1	60	5GN-75k	100	无	380	成本低	功率小,扭矩小,无调速器开关
2	90	5GN-75k	150	有	420	扭矩适中,转速可调节,运行时不会导致滤芯损坏,90 W功率能满足滤芯转动需求	成本适中
3	120	5GN-75k	200	无	520	扭矩较大,功率高	成本较高

表5 雾化喷头的选择方案对比

Table 5 Comparison of selection schemes for atomizing nozzles

方案	喷孔直径/mm	2 MPa压力下的流量/(L·min <sup>-1</sup> )	喷雾角度/(°)	综合评价
1	2.0	4.9	110	雾化效果最佳,喷雾角度大,能达到降尘效果
2	1.5	4.1	80	喷孔直径小,雾化效果较差,喷雾角度达不到降尘作用
3	1.0	3.0	75	喷孔直径较小,雾化角度小

表6 吹扫管的选择方案对比

Table 6 Comparison of selection schemes for blowing pipes

方案	类型	优点	缺点
1	开槽式	高压气体经过缝隙时出气均匀,不会吹坏空气滤芯滤纸	加工难度较大
2	开孔式	加工容易	出气气流不均匀,容易吹坏滤芯,有吹扫盲区,清洁不彻底

## 2 使用效果评判

### 2.1 清洁时间

应用前清洁空气滤芯平均需要4.9 min,清洁时间较长。应用后清洁空气滤芯平均需要3.33 min,节省了1.6 min。

### 2.2 清洁空气滤芯场所粉尘浓度

应用前后清洁空气滤芯场所粉尘浓度见表7、表8(采样体积300 L,采样流量20 L/min)。

表7 应用前空气滤芯清洁点粉尘浓度

Table 7 Dust concentration in the air filter cleaning point before the experiment

监测日期	气温/°C	相对湿度/%	风速/(m·s <sup>-1</sup> )	ρ(粉尘)/(mg·m <sup>-3</sup> )
2022-01-20	17.7	43.8	3.4	7.38
2022-02-25	22.8	45.0	2.3	6.99
2022-03-16	20.7	44.6	5.6	7.98
2022-04-18	22.5	40.5	4.3	7.98
2022-05-20	25.8	39.3	3.2	7.57
2022-06-28	27.4	40.3	2.3	7.98
2022-07-26	28.7	49.5	2.5	7.28
2022-08-23	26.6	50.2	3.4	6.89
2022-09-26	25.4	49.3	2.7	7.39
2022-10-24	23.5	45.5	2.3	7.84
2022-11-23	19.3	48.6	1.2	7.87
2022-12-22	17.3	47.6	0.8	7.58

表8 应用后空气滤芯清洁点粉尘浓度

Table 8 Dust concentration in the air filter cleaning point after the experiment

监测日期	气温/°C	相对湿度/%	风速/(m·s <sup>-1</sup> )	ρ(粉尘)/(mg·m <sup>-3</sup> )
2023-06-10	25.6	48.1	2.8	3.10
2023-07-25	22.8	45.2	2.3	3.12
2023-08-16	20.7	41.3	2.1	3.00
2023-09-18	22.5	40.5	1.5	2.98

由表7可知,应用前清洁空气滤芯时,空气滤芯清洁点粉尘浓度较大,平均质量浓度为7.56 mg/m<sup>3</sup>。

由表8可知,应用后清洁空气滤芯时,空气滤芯清节点中,粉尘浓度较小,平均质量浓度由原来的7.56 mg/m<sup>3</sup>下降至3.05 mg/m<sup>3</sup>。

### 2.3 使用寿命

应用前空气滤芯平均使用寿命为793 h,未达到厂家实验室寿命1 000 h的要求。应用后空气滤芯平均使用寿命提高至1 356 h,寿命提高幅度高达71.00%。

## 3 效益分析

### 3.1 经济效益分析

#### 3.1.1 节约成本

由于新设备的投入使用,大大增加了滤芯的使用寿命,降低了更换滤芯的频次,因此可节约一定的成本。试验前后各矿山机械设备空气滤芯节约数量及节约的成本见表9。

表9 空气滤芯节约数量及节约的成本

Table 9 Quantity and cost savings of air filter cartridge

设备	年消耗滤芯/个		单价/(元·个 <sup>-1</sup> )	年节约成本/元
	应用前	应用后		
挖掘机	32	22	2 002	20 020
铰卡	95	69	987	25 662
推土机	18	12	567	3 402

由表9可知,每年可节约成本49 084元。

#### 3.1.2 提产收益

由于增加了空气滤芯的使用寿命,即减少了更换空气滤芯的频次,因此增加了各设备的有效作业时间。增加的有效时间及带来的经济效益见表10。

表10 全年增加的有效时间及带来的经济效益

Table 10 Effective time and economic benefits of annual increase

全年增加作业时间/h	小时产量/m <sup>3</sup>	全年增加土方量/m <sup>3</sup>	单价/(元·m <sup>-3</sup> )	新增收益/元
19	1 217	23 123	9.7	224 293.1

由表10可知,每年可新增有效作业时间19 h,全年增加土方量23 123 m<sup>3</sup>,年新增收益224 293.1元。

#### 3.1.3 新增效益

每次吹扫平均耗电2.5 kW·h,电价格为0.55元/(kW·h),因此年耗电费用为501.87元。应用后,每年预计新增效益272 875.23元。

### 3.2 其他意义分析

1) 安全意义 应用后,能够保护操作人员,避免高压风枪对人员和滤芯造成伤害。

2) 环境意义 首先,空气滤芯达到清洁要

求,提高发动机的进气量,使燃料能充分燃烧,有助于降低碳排放量,间接支持碳达峰的目标。其次,在清洁空气滤芯的过程中,减少了扬尘,降低了粉尘的排放。

3) 职业意义 应用后的自动吹扫器可以做到一键启停,降低了工人的劳动强度,同时也降低工人吸入粉尘的浓度,因此,对呼吸系统相关的职业病起到了有效的预防作用。

#### 4 结论

确定了整体式全自动空气滤芯吹扫器制作方案,固定箱采用万向轮+50方钢,轴流风机流量 $3\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ 、噪声68 dB,高压水泵工作压力20 MPa、流量18 L/min,减速机功率90 W、扭矩 $150\ \text{N}\cdot\text{m}$ ,雾化喷头喷孔直径2 mm、喷雾角度 $110^\circ$ ,采用开槽式吹扫管。

应用效果:清洁空气滤芯平均需要3.33 min,比试验前节省了1.6 min;空气滤芯清洁点粉尘平均质量浓度由原来的 $7.56\ \text{mg}/\text{m}^3$ 下降至 $3.05\ \text{mg}/\text{m}^3$ ;空气滤芯平均使用寿命由原来的793 h提高至1 356 h,寿命提高幅度高达71.00%。每年预计新增效益约27万元。

设备的成功研制具有安全意义、环境意义和职业意义。

#### [参考文献]

- [1] 胡云燕.露天开采矿山作业环境与安全管理[D].重庆:重庆大学,2006.  
HU Y Y. The working environment and safety control of opencast mine[D].Chongqing: Chongqing University, 2006.
- [2] 宋玉鹏.矿山工程施工中矿用机械开挖工艺和技术应用[J].中国高新科技,2023(19):82-84.  
SONG Y P. Mining machinery excavation technology and its application in mining engineering construction [J]. China High and New Technology, 2023(19): 82-84.
- [3] 朱东烈,王成.挖掘机用干式空气滤清器的维护保养方法[J].工程机械,2016,47(1):58-61.  
ZHU D L, WANG C. Maintenance of dry type air filter in excavator[J]. Construction Machinery and Equipment, 2016, 47(1): 58-61.
- [4] 雷兴,崔海生,邹德东.矿用机械设备状态监测诊断系统研究[J].煤矿机械,2022,43(9):181-183.  
LEI X, CUI H S, ZOU D D. Research on condition monitoring and diagnosis system for mining mechanical equipment[J]. Coal Mine Machinery, 2022, 43(9): 181-183.
- [5] 秦小丽.矿用机械式采掘设备故障自动监测系统[J].世界有色金属,2020(20):147-148.  
QIN X L. Design of automatic fault monitoring system for mining mechanical mining equipment[J]. World Nonferrous Metals, 2020(20): 147-148.
- [6] 龚呈.重型车空气滤清器自清洁性能分析及优化研究[D].马鞍山:安徽工业大学,2022.  
GONG C. Analysis and optimization study on self-cleaning performance for heavy-duty vehicle air filter[D]. Maanshan: Anhui University of Technology, 2022.
- [7] 白涛,牛一群,冯建儒.一种自清洁式空气滤清器设计研究[J].时代汽车,2022(10):141-142.  
BAI T, NIU Y Q, FENG J R. Design and research of a self-cleaning air filter[J]. Auto Time, 2022(10): 141-142.
- [8] 龚呈,钱付平,徐志成,等.重型车空气滤清器脉冲清灰数值模拟分析[J].中国粉体技术,2021,27(5):47-57.  
GONG C, QIAN F P, XU Z C, et al. Numerical simulation of pulse cleaning for heavy duty vehicle air filter[J]. China Powder Science and Technology, 2021, 27(5): 47-57.
- [9] 宋常伟.装载机空气滤清器的应用设计与可靠性开发[D].天津:天津大学,2017.  
SONG C W. Application and reliability of air filter for loader [D].Tianjin: Tianjin University, 2017.
- [10] 王阳.金属矿山作业场所职业危害风险分级研究[D].北京:中国地质大学(北京),2019.  
WANG Y. Study on risk classification of occupational hazards in workplaces of metal mines[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2019.
- [11] 刘近报,史美丽,胡伟,等.矿用多级复合空气滤清器设计改进[J].内燃机与动力装置,2021,38(3):89-92.  
LIU J B, SHI M L, HU W, et al. Study on risk classification of occupational hazards in workplaces of metal mines[J]. Internal Combustion Engine & Power Plant, 2021, 38(3): 89-92.