

实用新型选煤装置性能评价与工程应用研究

杨旭¹, 王智¹, 陈洋岩¹, 张奔¹, 鲁斌², 米超², 任卫华²

¹ 陕西新能选煤技术有限公司 陕西西安

² 山西汇永青峰选煤工程技术有限公司 山西朔州

【摘要】针对选煤厂振动筛支撑和煤流转运装置在高振动、高冲击、高磨损工况下可靠性不足、维修频繁及适配性差等问题,基于 8 项实用新型装置的试验与工业应用数据,构建减振降噪、耐磨抗冲击、可靠性与寿命、维修便利性、经济与安全效益 5 维性能评价框架。结果表明:振动筛空气悬浮装置振动传递率为 0.21,基础振幅降低 36.5%,24 000 h 等效运行后性能保持率 96.8%;多级缓冲弹性支撑装置使基础振动加速度峰值降低约 35%、噪声降低约 8 dB(A)。煤流转运类装置中,复合耐磨衬板相对耐磨倍数为 6.13、抗冲击寿命为原衬板 3.15 倍;模块化降噪溜槽可使主体振动峰值降低 55%,单节更换时间由 4 h 以上缩短至 15 min。研究形成了按设备负荷、冲击磨损强度和投资维护条件进行分级选型的工程应用模式,为选煤厂实用新型装置评价、改造与推广提供参考。

【关键词】选煤装置;性能评价;振动筛;弹性支撑;耐磨溜槽;工程应用

【收稿日期】2026 年 3 月 2 日

【出刊日期】2026 年 7 月 15 日

【DOI】10.12208/j.jer.20260038

Performance evaluation and engineering application of utility-model coal preparation devices

Xu Yang¹, Zhi Wang¹, Yangyan Chen¹, Ben Zhang¹, Bin Lu², Chao Mi², Weihua Ren²

¹ Shaanxi Xinneng Coal Preparation Technology Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi

² Shanxi Huiyong Qingfeng Coal Preparation Engineering Technology Co., Ltd., Shuozhou, Shanxi

【Abstract】To address the insufficient reliability, frequent maintenance and poor adaptability of vibrating-screen supports and coal-flow transfer devices under high-vibration, high-impact and high-wear conditions, a five-dimensional evaluation framework covering vibration/noise reduction, wear/impact resistance, reliability/life, maintainability, and economic/safety benefits was established based on the test and industrial application data of eight utility-model devices. The air-suspension support exhibited a vibration transmissibility of 0.21, a 36.5% reduction in foundation amplitude and a performance retention of 96.8% after an equivalent 24,000 h test. A multistage mechanical elastic support reduced the peak foundation vibration acceleration by about 35% and noise by about 8 dB(A). For coal-flow transfer devices, the composite liner achieved 6.13 times the wear resistance and 3.15 times the impact life of the original liner; the modular noise-reduction chute reduced the peak structural vibration by 55% and shortened single-section replacement from more than 4 h to 15 min. A graded engineering selection mode based on load, impact/wear severity and maintenance-investment constraints was proposed.

【Keywords】Coal preparation device; Performance evaluation; Vibrating screen; Elastic support; Wear-resistant chute; Engineering application

引言

选煤厂振动筛、转运溜槽及耐磨衬板等辅助装备虽然不直接决定分选工艺原理,但其运行可靠性直接影响生产连续性、筛分稳定性、设备作业率和维护成本。随着大型选煤厂装备数量增加和连续运行时间延长,

传统钢制弹簧、橡胶支座以及整体焊接式溜槽暴露出固定参数难以适应负荷波动、振动和噪声传递较大、局部磨损后需整体检修等问题。大型振动筛故障监测研究也表明,减震弹簧和传动部件是影响非计划停机的重要环节,在线状态监测能够推动维修由事后抢修向

第一作者简介:杨旭(1986-)男,本科,研究方向:煤炭洗选。

预防性维护转变^[1-3]。

另一方面, 煤流转运装置长期承受块煤和矸石的冲击、滑动摩擦与磨粒磨损。转运溜槽磨损具有明显的局部性和工况敏感性, 流速、冲击角度、颗粒特性及衬板材料共同决定高磨损区域及寿命^[4-6]。因此, 选煤设备升级不能仅追求单项材料强度或单个装置参数, 而应同时考虑减振、耐磨、可靠性、可维护性与经济性。

项目围绕选煤厂筛机空气悬浮自适应结构及溜槽耐磨铠装技术形成 8 项实用新型专利装置, 包括高效耐磨溜槽、具备抗冲击功能的耐磨溜槽、抗冲击耐磨溜槽、可拆卸复合耐磨衬板、块状物料抗噪耐磨溜槽、振动筛弹性支撑装置、振动筛空气悬浮装置和振动筛用弹性支撑座^[7-8]。现有项目文本已分别给出结构设计、试验数据和现场运行结果, 但不同装置的性能指标与适用场景尚缺乏统一比较。为此, 本文不以“专利数量”为评价目标, 而从工程使用需求出发建立分项评价框架, 对 8 类装置的功能定位、性能证据和适用边界进行系统分析。

1 装置分类与性能评价方法

1.1 装置分类

依据作用对象和主要失效模式, 将实用新型装置划分为两类。第一类为振动筛支撑类, 包括空气悬浮装

置、多级缓冲弹性支撑装置和可调弹性支撑座, 主要解决筛机交变载荷下振动传递、支撑失效和工况适配问题; 第二类为煤流转运与耐磨类, 包括高效耐磨溜槽、模块化抗冲击耐磨溜槽、缓冲销式抗冲击耐磨溜槽、块状物料抗噪耐磨溜槽和可拆卸复合耐磨衬板, 主要解决物料冲击磨损、局部损坏及快速维修问题, 性能评价与工程选型框架如图 1 所示。

1.2 评价指标与原则

性能评价设置 5 个维度: ①减振降噪, 评价基础振幅、振动加速度、振动传递率和噪声变化; ②耐磨抗冲击, 评价质量损失率、相对耐磨倍数、冲击寿命及结构缓冲效果; ③可靠性与寿命, 评价等效寿命、性能保持率、长期老化和现场失效情况; ④维修便利性, 评价单次更换时间、人员数量、是否需要整体拆卸以及是否涉及动火; ⑤经济与安全效益, 评价备件利用、停机时间、维护风险和项目分项净效益。

由于不同装置的试验条件、指标量纲和应用规模并不一致, 本文采用“分项定量+工程适用性”的评价方式, 而不强行将所有指标归一化为单一总分。该方法可避免把振动传递率、耐磨倍数、噪声值和维修时间等异质指标合并后产生伪精确, 并更便于工程人员按具体工况进行装置选型, 装置分类及主要评价指标见表 1。

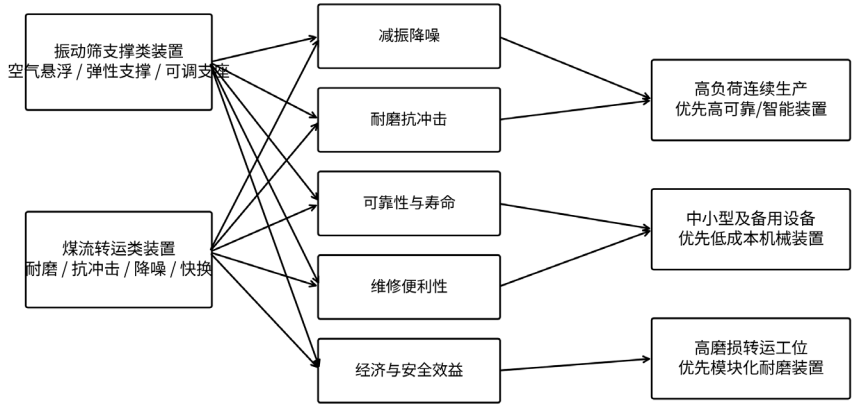


图 1 实用新型选煤装置性能评价与工程选型框架

表 1 实用新型装置分类及主要评价指标

装置类别	代表装置	主要问题	关键评价指标	适用工况
振动筛支撑类	空气悬浮装置	固定刚度、振动传递大	传递率、振幅、承载、寿命	大型、重载、连续运行
振动筛支撑类	多级缓冲弹性支撑	单一弹簧减振不足	加速度峰值、噪声、老化	中小型、备用设备
振动筛支撑类	可调弹性支撑座	倾角/高度适配不足	调节范围、锁紧、调整时间	角度频繁调整、应急备用
煤流转运类	高效耐磨/抗冲击溜槽	磨损、冲击、腐蚀	寿命、磨损、冲击、维修	高磨损、高落差工位
煤流转运类	抗噪模块化溜槽	冲击振动、噪声、整体更换	冲击峰值、噪声、换件时间	大块矸石、落料/弯道
耐磨部件类	可拆卸复合耐磨衬板	局部磨损导致整体报废	耐磨寿命、材料利用、换件时间	直段及中等磨损区域

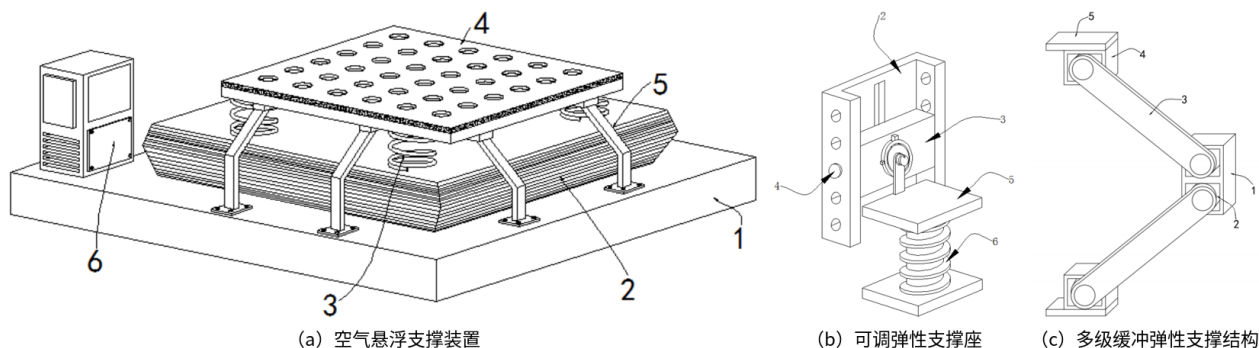


图2 振动筛支撑类代表装置结构

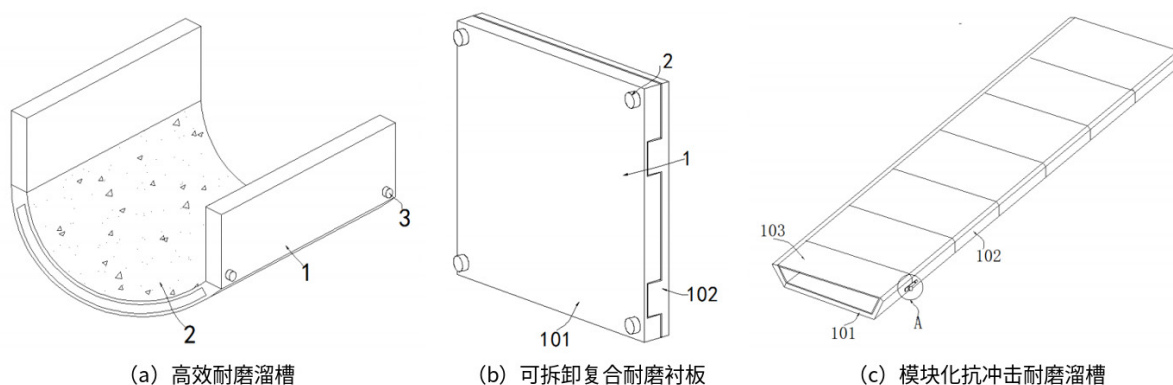


图3 煤流转运与耐磨类代表装置结构

2 振动筛支撑类实用新型装置性能评价

2.1 振动筛空气悬浮装置

空气悬浮装置采用气囊弹性元件替代传统钢制/橡胶弹簧, 气囊性能参照 GB/T 13061—2017^[9], 并与压力调节、温度和振动监测相结合。其工程优势在于支撑刚度可随气压变化调节, 可根据煤量波动在 0.4~0.6 MPa 范围内改变支撑状态。检测结果显示, 在 0.5 MPa、30 kN 载荷条件下振动传递率为 0.21, 基础振幅降低 36.5%; 在 0.4~0.6 MPa 范围内承载力均不低于 30 kN, 未出现异常变形或泄漏。24 000 h 等效运行试验后无结构失效, 性能保持率为 96.8%^[7], 振动筛支撑类代表装置结构如图 2 所示。

该装置更适合大型直线振动筛及高负荷连续运行设备。项目在 10 台大型直线振动筛上的工业对比表明, 空气悬浮支撑改造后振动传递量平均降低 35% 以上, 运行噪声降低 10% 以上, 综合能耗降低 22%~25%, 设计使用寿命不低于 3 年^[8]。其主要代价是系统复杂度和初始投资高于纯机械支撑, 因此对气源稳定性、密封可靠性和维护能力有一定要求。

2.2 多级缓冲弹性支撑装置

多级缓冲弹性支撑装置采用橡胶弹性球、缓冲弹簧和支撑弹簧三级不同刚度元件, 使低刚度大变形、中刚度中行程和高刚度小行程缓冲机制形成互补。装置无复杂电子元件, 结构紧凑, 可直接替换部分传统支撑座。小型及备用振动筛试验结果显示, 传递至基础的振动加速度峰值降低约 35%, 运行噪声降低约 8 dB(A); 连续运行 2 000 h 后橡胶弹性球无明显老化开裂, 支撑弹簧刚度衰减小于 5%^[7]。

与空气悬浮装置相比, 该装置不具备在线刚度调节和智能控制功能, 但采购和维护门槛较低, 对粉尘、潮湿环境适应性较好。因此其工程定位不是替代所有空气悬浮支撑, 而是作为投资敏感型中小设备、备用筛和非核心工位的低成本减振方案。

2.3 可调弹性支撑座

可调弹性支撑座通过转筒、螺杆、卡槽环、贯穿杆及弹簧支座实现高度和角度调节, 转筒可 360° 旋转并分级锁定, 可适配振动筛 ±15° 以内倾斜调节需求^[7]。现场试用时, 两名操作人员可在 15 min 内完成 4 组支撑座的高度和角度调节, 调整后支撑弹簧受力均匀, 未出现支撑失稳或异常噪声。

该装置的价值主要体现在“适配性”而非极限减振性能。对于因产品方案、物料变化而需要调整筛面倾角的设备, 可调支座能减少重新加工基座和更换支撑件的工作量; 在空气悬浮系统检修或不具备气源条件时, 也可作为冗余和应急支撑。

3 煤流转运与耐磨类实用新型装置性能评价

3.1 高效耐磨溜槽与可拆卸复合耐磨衬板

煤流转运与耐磨类代表装置结构如图 3 所示。高效耐磨溜槽采用耐磨层、缓冲层、防腐层和高强基体协同结构, 兼顾磨粒磨损、物料冲击和潮湿腐蚀。项目示范工况运行 12 个月后, 氧化铝陶瓷衬里仅表现为轻微磨损, 未出现脱落或碎裂, 橡胶缓冲层无明显老化, 防腐涂层和基体保持完整; 同期普通钢制溜槽已出现多处磨穿和锈蚀穿孔^[7]。单件溜槽本体更换由传统动火切割、焊接约 4 h 缩短至约 20 min, 体现出显著的维护优势。

可拆卸复合耐磨衬板将长期使用的基板与消耗型耐磨层分离, 采用卡条一卡槽、定位螺钉及弹性胶层实现可拆卸连接。实际应用中, 衬板有效寿命达到 18 个月以上, 而原整体式高锰钢衬板约 8 个月; 首次更换时基板保持完好, 仅更换衬板, 材料成本降低 55%, 2 人约 25 min 即可完成单块更换, 无需动火及大型起重设备^[7]。

此外, 项目对复合耐磨陶瓷开展了独立检测: 质量损失率为 40.0 mg/h, 而原衬板为 245.0 mg/h, 相对耐磨倍数 6.13; 落锤冲击平均失效次数 37 800 次, 原衬板 12 000 次, 相对寿命倍数 3.15; 平均剪切强度 12.14 MPa, 表面粗糙度 Ra 平均 1.86 μm^[7]。上述数据说明, 耐磨装置性能提升不仅来自结构快换, 也来自材料层面的磨损与界面性能改善。

3.2 模块化抗冲击耐磨溜槽

模块化抗冲击耐磨溜槽采用分溜板拼接、底部耐磨衬板以及侧向缓冲板/限位弹簧组合结构。当大块物料横向冲击侧板时, 缓冲板后移并压缩弹簧, 将部分冲击动能转化为弹性势能; 相邻分溜板则通过卡块/卡槽、插杆/插孔、调节螺杆和挡板等多重连接保持整体稳定。运行 6 个月后, 底部衬板仅出现轻微磨损纹路, 侧板缓冲机构未发生塑性变形; 一次大块矸石冲击使缓冲板后移约 8 mm 后自行复位, 侧板无永久变形。单块分溜板磨损后现场 15 min 即可完成更换^[7]。

该装置适合受料点、高落差落料段和局部冲击集中区域, 其设计逻辑是将“高磨损”和“高冲击”从主体结构中解耦: 耐磨板承担摩擦消耗, 侧向弹性元件承担冲击, 模块化连接承担快速维修, 从而降低溜槽主体损伤和停机时间。

3.3 块状物料抗噪耐磨溜槽

针对大块矸石落料引起的结构冲击与噪声, 块状物料抗噪耐磨溜槽采用阻尼弹簧、弹簧阻尼器和弹簧减震器三级吸能, 并在溜槽主体内设置降噪橡胶。结构试验与现场应用表明, 三级缓冲可使峰值冲击力降低 60%以上, 整体噪声较传统溜槽降低 10~15 dB(A); 在输送约 300 mm 大块矸石时, 溜槽主体振动加速度峰值较传统固定式溜槽降低 55%, 距溜槽 1 m 处噪声由 98 dB(A)降至 85 dB(A)^[7], 煤炭筛分破碎车间噪声治理和微穿孔板降噪技术也有相关应用研究^[10]。

其模块化插接结构支持单节独立拆换, 现场单节更换约 15 min, 而传统整体更换需 4 h 以上, 按相同作业范围折算维修时间降幅约 93.75%。因此, 该装置对于落料冲击和噪声同时突出的工位具有较高工程价值。

4 综合性能比较与工程应用

表 2 主要实用新型装置性能及工程应用结果

装置	核心功能	代表性能	维修特征	现场验证	推荐场景
空气悬浮装置	可调刚度/隔振	传递率 0.21; 基础振幅-	状态监测, 系统化维护	10 台大型筛应用	大型、重载、核心振动筛
		36.5%; 24 000 h 保持率 96.8%			
多级缓冲弹性支撑	纯机械多级吸能	基础加速度峰值约-35%; 噪声约-8 dB (A)	部件可单独更换	2 000 h 试验	中小型/备用筛
可调弹性支撑座	角度与高度适配	±15°倾角; 4 组 15 min 调节	人工快速调节	部分振动筛试用	可调倾角/应急备用
可拆卸复合衬板	耐磨+局部快换	寿命≥18 个月; 材料成本-55%	2 人 25 min; 无动火	批量应用	直段及中等磨损区
高效耐磨溜槽	耐磨/缓冲/防腐	12 个月后可见无明显结构损伤	单件约 20 min 更换	高湿腐蚀工况	高磨损高湿区
模块化抗冲击溜槽	侧向缓冲+分块快换	冲击后缓冲板 8 mm 复位	单块约 15 min	运行 6 个月	高落差受料点
抗噪耐磨溜槽	三级缓冲+降噪	冲击峰值-60%; 振动-55%; 98→85 dB (A)	单节 15 min	300 mm 大块矸石	高冲击高噪声区

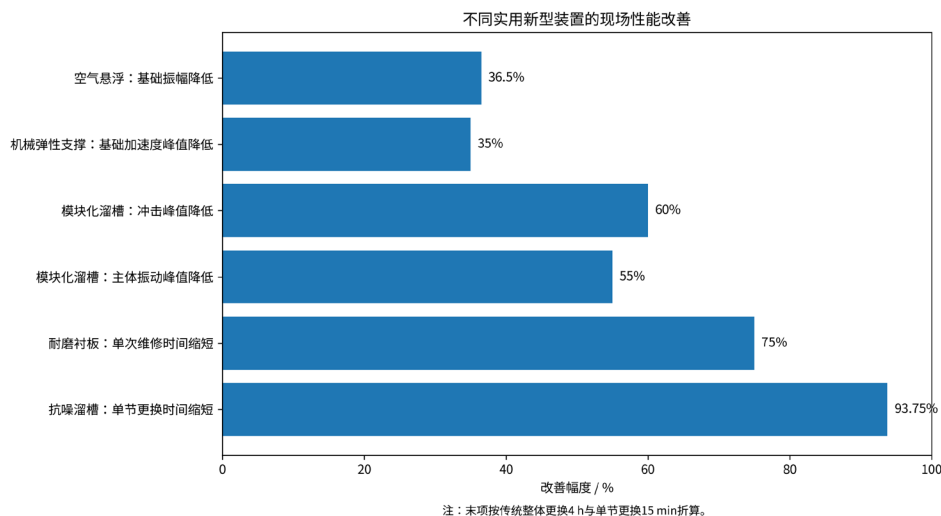


图4 不同实用新型装置的现场性能改善

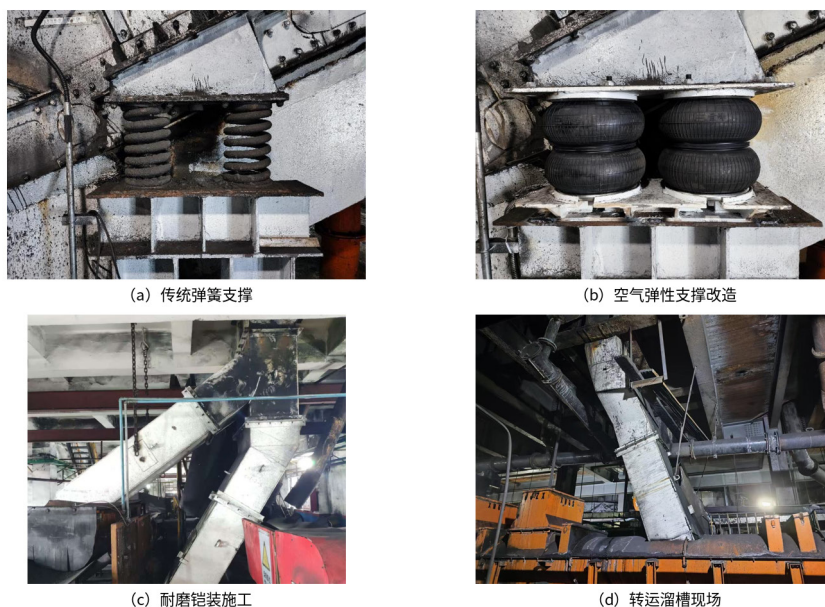


图5 实用新型装置工程应用现场

4.1 工程应用效果

主要实用新型装置性能及工程应用结果见表2, 不同装置的现场性能改善如图4所示。项目总体实施阶段在文家坡选煤厂完成10台大型直线振动筛空气悬浮支撑改造, 并累计完成383.1 m²溜槽耐磨铠装施工。项目总结报告显示, 改造后振动筛运行平稳, 溜槽未发生明显磨损和漏煤, 设备故障率降低; 模块化连接使局部磨损部件可以独立更换, 减少了整体设备停机和拆装工作量^[8], 实用新型装置工程应用现场如图5所示。

4.2 经济与安全效益

选煤装置经济性不能仅以初始采购价格评价, 更应关注备件寿命、停机损失、维修人员投入和安全作业

成本。空气悬浮装置虽然初始系统复杂度较高, 但通过降低振动、减少故障和优化运行能耗形成长期收益; 模块化溜槽和可拆卸衬板则通过延长使用寿命、减少整件报废和缩短检修窗口降低全生命周期成本。项目总结报告分项测算中, 振动筛空气悬浮装置支撑系统年净效益为244万元, 溜槽复合耐磨技术年净效益为30.15万元^[8]。

需要说明的是, 两份项目文本对“综合年净效益”的统计口径存在不一致, 因此本文不采用综合值进行二次推算, 仅引用项目总结报告中明确列出的两类系统分项净效益, 以避免不同统计范围造成经济评价偏差。

安全效益同样是实用新型装置的重要价值。可拆卸衬板、模块化溜槽和快速锁紧结构减少了焊接、切割和大范围起吊, 尤其降低受限空间动火、触电和有害气体暴露风险。空气悬浮与多级缓冲装置降低基础振动和噪声, 也有助于改善设备周边作业环境。

5 工程选型模式与推广建议

5.1 按设备重要度分级配置

对主洗系统中的大型、高负荷振动筛, 应优先采用空气悬浮和在线状态监测等高可靠性方案, 其优势在于参数可调、状态可感知和长周期运行; 对备用筛、小型筛或投资敏感设备, 可采用多级机械弹性支撑, 以较低成本获得明显减振效果; 对于倾角变化频繁或需要应急支撑的设备, 可叠加可调弹性支撑座提高适配性。

5.2 按磨损—冲击强度分区配置

溜槽不宜采用“全线同一种衬板”的简单配置。高落差落料点应优先使用抗冲击缓冲结构和高耐磨层, 弯道区应兼顾导流、冲击和磨粒磨损, 直段区可使用可拆卸复合衬板以降低材料成本。项目中落料区、弯道区、直段区差异化铠装的做法表明, 分区配置有助于将高性能材料集中于高风险位置, 并提高维护资源利用效率。

5.3 建立“实用新型+运行数据”迭代机制

实用新型专利能够快速固化结构改进成果, 但专利授权本身不能替代工业性能验证。后续推广中应建立装置编码、运行工况、故障次数、备件消耗、振动/温度/磨损数据和维修工时档案, 使每一种装置形成可追溯的生命周期数据。结合选煤厂现有智能监测平台(选煤厂智能化建设实践也表明数据平台对运行优化具有支撑作用), 可进一步从“结构创新”转向“结构创新+数据验证+持续优化”, 提高不同煤质和不同处理量条件下的可复制性。

6 结论

(1) 基于 8 项实用新型选煤装置, 建立了减振降噪、耐磨抗冲击、可靠性与寿命、维修便利性、经济与安全效益 5 维分项评价框架。不同装置试验条件和功能目标差异较大, 不宜简单合成为单一总分, 分项评价更适合工程选型。

(2) 振动筛支撑类装置形成了高端可调空气悬浮、低成本多级机械缓冲和角度/高度可调支座的分层技术体系。空气悬浮装置振动传递率 0.21, 基础振幅降低 36.5%, 24 000 h 等效运行性能保持率 96.8%; 多级机械弹性支撑可使基础振动加速度峰值降低约 35%。

(3) 煤流转运与耐磨类装置形成了耐磨材料、抗冲击缓冲、降噪和模块化快换协同方案。复合耐磨衬板相对耐磨倍数 6.13, 冲击寿命为原衬板 3.15 倍; 块状物料抗噪耐磨溜槽使冲击峰值降低 60%以上、主体振动峰值降低 55%, 单节更换由 4 h 以上缩短至 15 min。

(4) 工程应用表明, 实用新型装置的价值不仅体现在单项性能提升, 更体现在减少非计划停机、延长部件寿命、降低动火维修风险和改善材料利用率。后续应按设备重要度和磨损冲击强度分级选型, 并通过运行数据持续验证和迭代。

参考文献

- [1] 刘德洋, 彭利平, 王浩宇, 等. 附加气室空气弹簧隔振的振动筛动力学建模与分析[J]. 煤炭学报, 2020, 45(5): 1901-1908.
- [2] 郭宣, 龚国龙, 李旭东, 等. 振动筛智能监测诊断系统在小保当选煤厂的应用[J]. 选煤技术, 2025, 53(4): 83-91.
- [3] 王喜升. 选煤厂振动筛运行状态监测及故障诊断研究[J]. 当代化工研究, 2022(21): 104-107.
- [4] OU T, CHEN W. On accurate prediction of transfer chute wear using a digital wear sensor and discrete element modelling[J]. Powder Technology, 2022, 407: 117680.
- [5] YE F, QIANG Y, JIANG W, et al. DEM-FEM coupling simulation of the transfer chute wear with the dynamic calibration DEM parameters[J]. Processes, 2021, 9(10): 1847.
- [6] ROBERTS A W, WICHE S J. Development of design criteria for reducing wear in iron ore transfer chutes[J]. Wear, 2019, 434-435: 202986.
- [7] GB/T 13061—2017, 商用车空气悬架用空气弹簧技术规范[S].
- [8] 杨阳. 煤炭筛分破碎车间噪声治理及智能监测研究[J]. 选煤技术, 2024, 52(2): 80-87.
- [9] 丁慧霞, 张剑, 刘志强. 微穿孔板在选煤厂刮板机的应用与评估[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025(3): 120-122.
- [10] 张彦霞, 翟海涛. 米家沟选煤厂智能化建设实践与探索[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(14): 151-153.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS