

燃煤电厂石子煤高效分选与资源化利用的多元效益研究

李为刚 何亮 李健杰 温强 刘国瑞

呼和浩特科林热电有限责任公司 内蒙古自治区 呼和浩特 010000

摘要: 随着煤炭市场的变化及环保要求的日益严格,燃煤电厂面临燃料成本攀升与环境治理的双重压力。磨煤机排放的石子煤,传统上作为废弃物处理,不仅造成高热值煤炭资源的浪费,其堆放带来的自燃、扬尘、渗滤液等环境与安全问题也日益突出。本文以呼和浩特科林热电有限责任公司“激荡式石子煤分选系统”的成功应用为典型案例,结合相关技术资料,系统分析了石子煤分选技术在安全、环保、经济及社会四个维度产生的综合效益。研究表明,该技术通过“悬浮液分层+机械激荡”原理,可高效分离石子煤中的可用燃煤、煤矸石与石子,实现“变废为宝”。实践数据证明,该技术能显著消除安全隐患、达成污染物近零排放、创造可观经济效益并履行企业社会责任,是一条符合循环经济与绿色发展理念的可行路径,对同类型火电企业具有重要的借鉴与指导意义。

关键词: 石子煤分选; 激荡式分选机; 资源化利用; 安全效益; 环保效益; 经济效益; 社会效益

1 引言

在我国以煤为主的能源结构背景下,燃煤火力发电仍占据电力供应的主导地位。电站锅炉制粉系统核心设备——中速磨煤机在运行中,因原煤中混入的矸石、石块等高硬度杂质难以磨碎,会以“石子煤”的形式被排出。据统计,单台350MW机组磨煤机石子煤排放量可达设计出力力的0.1%~1%,全国火电厂每日产生的石子煤总量巨大。

长期以来,石子煤因成分复杂、热值不稳定,常被视作工业废渣,处理方式以厂内临时堆放后外运填埋为主。这种粗放的处理模式引发了多重问题:首先,石子煤中通常含有30%~42%的高热值煤粒,直接废弃造成了宝贵的煤炭资源浪费,推高了发电煤耗与成本;其次,堆放石子煤因含硫和残碳,极易发生自燃,释放二氧化硫等有害气体,污染大气并存在火灾安全隐患;再次,运输与填埋过程不仅增加运营成本,也存在遗撒、扬尘等二次污染风险,频频引发周边居民投诉与环保部门的关注。

因此,探索并实施石子煤的高效分选与资源化利用技术,已不再是单纯的技术改造选项,而是火电企业实现降本增效、绿色转型和可持续发展的迫切需求。本文旨在通过剖析一项已成功投运的工程实践,全面论证石子煤分选技术所带来的多元综合效益。

2 石子煤问题成因与分选技术原理

2.1 石子煤产量大、含煤量高的成因分析

根据技术资料,石子煤排放量异常及含煤量高的原因多元且复杂,主要可归纳为以下五点:(1)煤质偏离设计:采购煤种与锅炉设计煤种差异大,杂质(矸石、矿石)含量高。(2)入炉煤粒度超标:输煤系统破碎机故障导致大颗粒(>30mm)煤块进入磨煤机,未及研

磨即被甩出。(3)运行调整不当:在煤湿或给煤量大时,风温、风量调整不及时,煤粉干燥与携带效果差,导致小颗粒煤被排出。(4)检修质量不佳:磨辊与磨瓦间隙、节流环间隙等关键参数调整不当,影响研磨效率与一次风携带能力。(5)设备磨损:磨辊与磨瓦磨损后间隙增大,碾压力减弱,制粉效率下降。这些因素共同导致大量本应参与燃烧的煤粒随矸石、石块一同排出,形成了“资源性废弃物”。

2.2 激荡式石子煤分选技术原理

针对石子煤物理特性(密度差异),呼和浩特科林热电厂采用了“激荡式石子煤分选系统”。其核心分选设备为激荡式石子煤分选机,技术原理基于流体动力学与重力分选^[1]。

系统工作时,以煤水沉淀池的循环水(或专用悬浮液)作为分选介质。其核心过程分为两步:(1)密度分层:石子煤混合物进入分选槽后,被上升水流承托。在重力与浮力作用下,物料按密度自然分层:密度最小的可用煤粒位于最上层,密度中等的煤矸石位于中层,密度最大的石块沉于最底层。(2)激荡分离:核心技术在于“机械激荡”装置。通过驱动激波板产生特定频率与振幅的波浪,强化分选过程。在动态水流作用下,上层煤粒被水平流推向精煤出口;中层煤矸石在特定区域富集;底层石块则因重量大、回落快,汇集于专门的石块排口。通过多段分选设计,最终实现煤、矸石、石头的精准分离^[2]。

该技术配套高频振动筛对分选出的精煤进行脱水,并使悬浮液循环利用,同时设有三级沉淀池处理煤泥,实现了水资源的闭环使用与所有产物的资源

化。该技术已获得国家发明专利与实用新型专利授权(ZL202011354913.5, ZL202022790140.7), 技术成熟度达到TRL7级^[3]。

3 石子煤分选的多元效益分析

3.1 安全效益: 从隐患源头到本质安全

石子煤的传统处置方式存在严重的安全和环境污染风险。分选技术的应用, 从根本上解决了相关的安全问题。(1) 消除火灾与自燃风险: 石子煤长期堆放, 内部残碳与硫分在空气作用下易氧化积热, 引发自燃。自燃不仅产生明火危险, 还释放大量的SO₂、CO等有毒有害气体, 威胁厂区及周边安全。分选系统实现石子煤“即排即选”, 物料不落地、不堆积, 彻底消除了自燃的物质条件和空间条件, 将火灾隐患降为零。(2) 改善作业环境, 保障人员健康: 石子煤自燃产生的刺激性硫化物气味和粉尘, 严重损害运行与检修人员的健康。分选系统通常在封闭厂房内运行, 并配有降尘系统, 极大改善了工作环境, 降低了职业健康风险。(3) 提升设备运行安全性与可靠性: 文档指出, 分选系统投运后, 回收的煤炭重新入炉, 降低了燃料成本。间接地, 企业有更强的经济动力去采购更接近设计标准的煤种, 从源头减少硬质杂质进入制粉系统, 有利于减轻磨煤机磨损, 降低因磨煤机故障导致的非计划停运风险, 提升机组整体运行安全水平。

3.2 环保效益: 从被动治理到近零排放

石子煤分选项目是一项典型的“末端治理”转向“过程资源化”的环保升级, 其环保效益立体而显著。(1) 大气污染防治: 直接杜绝了因石子煤自燃产生的SO₂等大气污染物无组织排放。文档中明确提到, 系统投运后, “没有发生过周围居民向环保局举报事件”, 环保投诉清零。这满足了日益严格的环保督查要求, 规避了环保处罚风险。(2) 固体废物减量与资源化: 技术将传统的单一废弃物(石子煤)转化为三种资源化产品: 高热值煤、低热值煤矸石、建筑用石子。实现了固体废物的“吃干榨净”和“零排放”目标。煤矸石可售往矸石电厂发电, 石子可作为工程垫料, 避免了填埋对土地的占用和潜在污染^[4]。(3) 水循环与粉尘控制: 系统采用闭环水循环设计, 分选用水经沉淀处理后回用, 节约了水资源。封闭厂房与降尘系统的配置, 有效控制了分选过程中的粉尘逸散, 实现了清洁生产。

3.3 经济效益: 从成本中心到利润增长点

经济效益是驱动技术推广的核心动力。根据提供的运行数据, 石子煤分选创造了直接且可观的经济回报。(1) 直接资源回收收益: 以呼和浩特科林热电厂2020年7

月至12月的运行数据为例, 处理石子煤12031吨, 分选出可用燃煤5075吨(回收率42.2%)、煤矸石2987吨、石子3477吨、煤泥492吨。按当时市场价估算, 仅回收煤炭一项就产生巨大价值。文档另一处年处理3万吨的测算显示, 年可回收煤炭约1万吨, 节约燃煤采购成本约260万元; 销售煤矸石和石子可再获利约70万元。(2) 成本节约收益: 1) 节省运输与填埋费: 无需外运填埋, 年可节省此项费用约80万元至120万元。2) 降低设备维护成本: 如前所述, 从源头改善煤质预期, 可延长磨煤机磨辊、磨瓦的使用寿命, 降低检修频率和备件费用。文档证实, 投运后磨煤机大修间隔从4500小时延长至约8000小时。(3) 投资回报率高: 该项目总投资约在75万元至88万元之间。而年综合收益(资源回收+成本节约)根据不同测算可达330万元至618.6万元。这意味着投资回收期极短, 仅在1至3个月, 后续将成为电厂稳定的利润贡献点。

3.4 社会效益: 从社区矛盾到和谐共生

企业的可持续发展离不开社会的认可。石子煤分选技术的社会效益虽间接, 却深远。(1) 履行企业社会责任, 改善社区关系: 解决石子煤自燃臭味和粉尘污染, 直接提升了电厂周边居民的生活环境质量, 化解了长期存在的“邻避效应”矛盾。从“污染源”转变为“环保实践者”, 极大改善了企业的社会形象和品牌美誉度。(2) 促进资源循环, 贡献循环经济: 该技术是对“无废城市”和“循环经济”理念的生动实践。它将电力行业的废弃物转化为其他行业(建材、矸石发电)的原料, 实现了跨产业的资源循环, 提高了全社会的资源利用效率^[5]。(3) 提供可复制的绿色技术方案: 该项目的成功实施, 为全国面临类似问题的火电厂提供了一个技术可靠、经济可行、效益全面的解决方案。北方联合电力已在旗下包头三电厂、达拉特电厂等进行推广, 证明了其广泛的应用价值和社会推广意义。

4 实施关键与推广建议

基于石子煤分选技术的成功应用经验, 为确保该技术在各火电企业高效落地、发挥最大综合效益, 推动其广泛有序推广, 需重点关注以下实施关键与推广建议, 兼顾技术适配性、运行稳定性与长远发展性。

4.1 精准诊断, 方案定制

技术推广的核心前提是贴合电厂实际, 杜绝“一刀切”模式。实施前需组织专业技术团队, 对本厂石子煤进行全面系统检测, 详细分析其煤质成分、含煤率、颗粒级配、排放量及产生根源, 明确是煤质偏离设计、设备磨损还是运行调整不当等核心问题。同时, 结合厂内现有布局, 重点考量与煤场、煤水沉淀池的距离, 优化

设备安装位置,缩短管道铺设长度与物料运输路径,最大限度降低安装施工成本与后期运行能耗。针对不同机组容量、磨煤机型号,定制分选系统的处理能力与工艺参数,确保系统与电厂现有制粉、输煤系统高效衔接,避免设备兼容不畅、产能浪费等问题,实现性价比最大化。

4.2 关注冬季运行与防堵设计

北方地区推广该技术,需重点破解低温运行与煤泥堵塞两大难题。在设备厂房设计阶段,配套完善的保温与供暖系统,对分选机、输送管道、沉淀池等关键设备及部件进行全方位保温处理,配备专用供暖装置,确保冬季厂房内温度稳定在5℃以上,防止管道冻裂、设备结冰,保障系统连续稳定运行。同时,优化管道设计,严格控制管道坡度,确保煤泥水顺畅流动、避免滞留沉积;在管道关键节点配置高压冲洗系统,定期开展冲洗作业,及时清除煤泥堆积,防范堵塞故障。此外,可在分选系统前端增设预处理装置,过滤大颗粒杂质,进一步降低堵塞风险。

4.3 强化运行与维护规范

系统长期稳定运行的关键在于标准化操作与常态化维护。项目移交后,需结合设备特性与电厂运行实际,及时编制详细的运行操作规程和检修维护规程,明确操作人员岗位职责、操作流程、安全注意事项,以及日常巡检、定期维护的频次与标准。加强对操作人员的专业培训,使其熟练掌握设备操作技巧、常见故障判断与应急处理方法,杜绝违规操作导致的设备故障。同时,建立易损件储备机制,提前储备激波板、筛网、密封件等易损部件,确保故障发生时能够快速更换,减少停机时间,保障系统持续发挥效益。

4.4 探索智能化升级

顺应火电行业智能化发展趋势,在现有PLC自动控制基础上,进一步推进石子煤分选系统智能化升级,提升运行效率与管理水平。引入物联网技术,在分选机、振动筛、输送管道等关键设备上安装传感器,实时采集运行参数、设备状态等数据,实现数据实时传输与远程监控。依托大数据技术,对采集的数据进行深度分析处理,

精准判断分选效率、设备运行状态,实现分选过程参数的实时优化,提升资源回收效率;探索应用预测性维护技术,通过数据分析预判设备故障隐患,提前开展维护工作,降低非计划停运风险,推动分选系统从“被动维修”向“主动防控”转变。

5 结论与展望

本研究通过对具体工程案例的深度剖析,系统论证了激荡式石子煤分选技术是一项兼具安全性、环保性、经济性与社会性的优秀实践。它将困扰火电企业的“废物处理难题”,转化为“资源回收机遇”,实现了从“投入性环保”到“盈利性环保”的转变。

安全效益上,它根除了自燃隐患;环保效益上,它实现了固废资源化与近零污染;经济效益上,它创造了显著的直接收益与成本节约,投资回收期极短;社会效益上,它和谐了企地关系,贡献了循环经济。该技术成熟可靠,实施周期短(约2~3个月),适应性强,具有极高的行业推广价值。

展望未来,在“双碳”目标背景下,火电企业的绿色、低碳、循环转型势在必行。石子煤分选此类“小切口、大效益”的技改项目,正是火电企业提质增效、履行社会责任、实现可持续发展的重要抓手。建议行业内进一步加强此类技术的交流与标准化推广,让更多的“黑色废渣”变身成为“绿色资源”,共同推动能源行业的高质量发展。

参考文献

- [1]呼和浩特科林热电有限责任公司.石子煤筛选方案[D].2020.
- [2]李为刚.激荡式石子煤分选机及分选设备项目汇报[R].2025.
- [3]呼和浩特科林热电有限责任公司.激荡式石子煤分选系统研究与应用项目简介[Z].2022.
- [4]吴文平.磨煤机石子煤量异常增多原因与处理技术[J].南方能源观察,2024,3(7):81-84.
- [5]宋振兴.煤电机组制粉系统石子煤量减排的研究与实践[J].产业经济,2023,24(11):147-149.