冶金关键设备机械结构改进及节能改造实践

刘激光
云南云铝海鑫铝业有限公司　云南　昭通　657000

摘　要：现代冶金行业正向高效化、绿色化、低能耗的方向持续转型，冶金生产体系中的各类关键设备是工业生产的核心载体，其结构性能与运行能耗水平直接决定生产线整体生产效率与能源消耗指标。本文以冶金关键设备为研究对象，围绕机械结构改进与节能改造两大核心内容展开系统性研究。从结构轻量化、传动间隙优化、机架刚度提升、关键零部件耐磨改造等方面完成设备机械结构改良。同时结合设备运行工况，搭建包含传动系统优化、极端工况下设备结构改进与节能改造、余热回收利用、通风散热改良在内的全套节能改造方案，从硬件结构与运行模式双重维度解决传统设备能耗偏高的问题。

关键词：冶金；关键设备；机械结构；改进；节能改造

引言

现阶段大量在用冶金设备沿用传统设计理念，结构设计冗余过高，整体构造偏重粗放。设备传动系统、支撑机架、核心零部件均存在不同程度的设计缺陷。在长期重载、高温、连续运行的工况下，设备振动形变明显，机械摩擦损耗大，动力匹配不合理，产生大量无效能耗。同时设备原有散热与余热处理方式较为粗放，大量余热资源被直接排放，能源利用率偏低，无法适配现代冶金绿色生产的发展需求。目前行业内多数研究多集中在单一节能技术应用或局部结构整改，缺少结构改进与节能改造相结合的系统性研究体系，无法形成完整、可落地的设备优化方案。

1 冶金关键设备机械结构改进设计

1.1 结构轻量化优化设计

冶金关键设备长期处于高负荷连续运行状态，传统设备结构设计大多偏向保守冗余的设计思路。为了保障设备运行安全，设计阶段会预留过大的结构余量，整体构件壁厚偏大，机架整体体积笨重。这种传统设计方式虽然能够满足设备强度与运行安全的基本要求，却会造成设备整体自重过大的问题，进一步增加设备运行过程中的无效能耗[1]。多余的结构自重会提升传动负载，加剧电机输出功率损耗，长期运行下会形成持续性的能源浪费，也会加快零部件磨损速度。（1）结构轻量化优化设计需要在严格遵守设备强度、刚度及稳定性设计标准的前提下开展，全程不降低设备整体的安全储备与生产适配能力。优化工作首先需要对冶金设备机架、支撑构件、辅助承载结构进行全面受力核算。结合设备实际运行工况中的荷载变化规律，剔除结构设计中多余的冗余部分。通过调整构件截面形态、优化腔体布局与壁厚参数，在保证受力均衡的基础上缩减无效结构体积，有效降低设备整体自重。（2）轻量化改造并非单纯缩减结构尺寸，还需要结合结构力学特性进行整体改良。针对设备受力集中的关键区域，通过局部补强、结构倒角过渡、应力分散设计等方式改善受力状态。针对低负荷、非关键承载区域，合理精简结构配置。这种差异化的优化方式可以有效避免局部应力集中问题，提升结构受力均匀性。

1.2 传动机构结构改良与间隙优化设计

（1）传动机构的结构改良需要立足于设备实际运行工况，对传统传动构件的整体构造进行针对性优化。原有传动构件部分结构设计较为单一，受力集中区域缺乏缓冲与卸力结构。改良过程中可以优化传动构件的外形构造与受力分布形式，改善动力传递过程中的应力集中现象。提升传动构件整体的结构韧性与抗疲劳性能，让动力传递过程更加平稳顺畅，减少结构形变带来的运行故障与能量损耗。（2）间隙优化是传动系统节能增效的关键环节，不合理的配合间隙是造成传动能耗浪费的主要原因之一。间隙过小将增加构件摩擦阻力，提升设备运转的机械损耗。间隙过大会引发传动抖动、空程转动，导致大量动力无效消耗，同时加速零部件磨损老化。通过精准测算设备不同传动部位的运行形变参数，分级调整各构件的配合间隙数值。根据重载、轻载、静态、动态的不同工作状态设置差异化间隙标准，适配设备全方位运行需求。经过结构改良与间隙优化后的传动机构，能够有效降低构件之间的摩擦损耗与动力损耗。有效规避传动抖动、动力滞后等问题，提升整体传动效率。同时可以延缓零部件磨损速度，稳定设备运行状态，减少设备故障停机频次与后期维修成本，实现冶金

设备传动系统稳定性与节能性的双重提升。

1.3 支撑结构、机架结构刚度与稳定性改进

结构稳定性不足不仅会影响设备整体运行精度，还会增大机械摩擦损耗，产生不必要的能耗损失。（1）针对机架与支撑结构的刚度改进，需要结合设备整体受力特点开展精细化优化。通过重新校核设备整体荷载分布情况，对受力薄弱的支撑点位进行结构补强处理。可以通过增设辅助支撑构件、优化主梁与次梁的布置形式，改善整体结构的承载体系[2]。合理调整机架构件的截面布局，提升整体抗弯性能和抗形变能力，避免设备在动态运行过程中出现持续性弹性形变，从结构基础上提升整体刚度水平。（2）稳定性优化主要针对设备运行过程中的振动问题开展改良工作。原有机架结构阻尼性能较弱，设备运转产生的振动无法快速消散，会形成持续性共振现象，加剧零部件磨损和动力损耗。优化过程中可以调整机架整体结构的对称布局，平衡各区域受力状态，弱化振动传递路径。对结构连接位置进行加固处理，提升整体结构的整体性与紧固度，减少松动位移带来的运行偏差。

1.4 关键零部件结构重塑与耐磨结构优化

（1）关键零部件结构重塑以设备实际受力状态为核心依据，对原有不合理的构件造型进行调整与改良。针对传统构件存在的锐角结构、突变截面等缺陷进行优化处理，采用平滑过渡的结构形式改善局部受力状态。有效分散长期运行产生的集中应力，减少构件疲劳损伤与微变形问题。同时结合零部件的工作运动轨迹，优化构件外形尺寸与接触结构，让构件配合状态更加贴合实际工况，减少无效摩擦与运行卡滞问题。（2）耐磨结构优化是提升零部件使用寿命、降低设备能耗的重要手段。传统构件仅依靠基础材质实现耐磨防护，整体耐磨性能提升空间有限。优化工作可在不改变构件核心受力结构的前提下，对高频摩擦区域进行耐磨结构强化。通过改良摩擦接触面的结构形态，优化接触配比，弱化相对运动带来的硬性磨损。同时优化构件表面防护结构，提升构件抗冲刷和抗磨损能力。这不仅可以降低零部件更换与设备检修的成本，还能保障冶金设备长期平稳高效运行，从构件细节层面实现设备提质与节能的双重改造目标。

2 冶金关键设备节能改造方案与实施策略

2.1 基于结构优化的机械能耗降低改造

（1）基于结构优化的节能改造，核心思路是剔除设备结构中的多余能耗诱因，在保证生产能力与结构安全的基础上精简无效耗能环节。前期通过对整机受力状态、运行形变规律和摩擦损耗位置进行全面梳理，精准定位造成高能耗的结构短板。针对设备自重冗余问题，通过轻量化结构改造降低设备运转惯性，减少动力系统的输出负荷，规避超重结构带来的持续性动力能耗浪费。（2）针对传动与配合结构的能耗问题，依托间隙优化和构件结构重塑的方式，改善零部件之间的配合状态。消除构件卡顿、空程转动和局部摩擦过大等问题，让动力传递过程更加顺畅稳定，大幅降低机械传动过程中的摩擦损耗与动力损耗[3]。同时优化机架与支撑结构的整体稳定性，减少设备运行中持续产生的振动形变，避免振动现象转化为无效热能与机械能损耗。（3）此类节能改造区别于外部节能设备加装，属于根本性的设备提质降耗手段。通过全方位的结构改良，可以有效减少冶金设备运行中的各类机械损耗。设备动力输出利用率能够得到稳步提升，无需额外缩减生产负荷即可实现节能效果。同时结构优化后的设备运行更加平稳，零部件磨损速率显著降低，有效减少设备检修频次和停机损耗，兼顾设备生产效率、运行稳定性与长期节能效益。

2.2 传动系统节能改造与动力损耗控制

（1）传动系统的基础节能改造，重点围绕原有传动结构的不合理配置开展整改优化。老旧设备的传动构件普遍存在结构适配性差的问题。构件接触贴合度不足，传动运行过程中容易出现滑动摩擦、空转偏移和动力滞后等现象。大量电机输出的动力无法有效作用于生产作业，而是以摩擦热能、机械震动的形式消耗流失。通过改良核心传动构件的外形结构与接触形式，可以提升传动啮合的贴合程度，弱化无效滑动摩擦。让动力传递过程更加线性平稳，大幅降低传动环节的基础机械损耗。（2）配合结构与运行间隙的精细化调整，是控制动力损耗的关键步骤。长期运行造成的间隙扩大会破坏传动系统的运行平衡，引发设备抖动和负荷波动[4]。设备运行时需要持续消耗额外动力来抵消不稳定工况带来的阻力。结合设备动态运行特性对传动间隙进行精准校正，根据不同负荷状态调整适配间隙标准。可以有效消除传动空程与冲击荷载，减少因结构配合偏差产生的动力浪费，稳定设备的实际运行负荷。（3）传动系统的能耗优化还包含运行匹配状态的整体调控。传统传动设计普遍存在动力参数与实际生产工况不匹配的问题。动力输出余量过大，会造成轻载高耗的不良工况。通过调整传动配比、优化动力输出机制，可以让电机输出功率贴合实际生产负荷需求。避免长期过载冗余运行带来的能源浪费。

2.3 极端工况下设备结构改进与节能改造

（1）高磁场环境会持续对设备金属构件产生电磁扰动作用，交变磁场会在金属结构内部形成感应涡流，引发构件细微形变与低频振动，逐步造成传动部件、紧固构件的疲劳磨损。磁场干扰还会打乱设备传动系统的运行平衡，造成运行负载频繁波动，产生大量无效能耗，让设备在正常作业状态下持续增加电力消耗，长期运行会显著提升生产能耗与设备维护成本。（2）持续高温热辐射与热传导环境，会让设备金属结构长期处于反复热胀冷缩的状态，逐步产生热疲劳损伤与结构形变偏移。设备密封结构、传动配合间隙会出现不可逆变化，直接影响设备运行精度。（3）高粉尘工况带来的磨损与堵塞问题同样突出，冶金生产产生的硬质细微粉尘渗透能力较强，极易侵入设备轴承缝隙、散热通道和传动结构内部。粉尘堆积会直接堵塞设备散热通道，弱化设备自主散热能力，进一步放大高温环境带来的负面影响。（4）基于上述极端工况带来的各类设备问题，针对性开展机械结构优化与节能改造具备极强的现实意义。通过升级抗磁减震结构、更换耐高温耐磨材质、优化全封闭防尘密封设计，完善设备散热与传动结构布局，能够全方位提升设备对极端工况的适应能力。有效降低环境因素造成的结构损耗与无效能耗，减少设备故障停机次数，延长设备使用寿命，最终实现冶金设备安全稳定运行与生产节能降耗的双重提升。

2.4 余热利用、通风散热节能辅助改造

（1）余热利用改造需要结合设备产热的温度等级与热量释放规律开展设计。改造前期需要梳理设备各个部位的产热规模与热量释放形式，区分高温余热与低温余热的分布特点。在不干扰设备主体生产流程的基础上搭建热量回收路径，把原本直接排放的余热进行收集转运。回收得到的热能可以用于生产流程内的辅助供热环节，替代原本需要外部能源供给的加热工序。减少额外能源的投入，把废弃余热转化为可复用的生产资源[5]。余热回收改造需要控制热量采集过程对设备本体造成的影响，不能改变设备原有作业流程，避免热量回收结构干扰设备正常运转。（2）通风散热系统改造主要优化设备内部热量散出的实现方式。原有散热通风体系往往按照极端高温工况进行配置，风机风量预留余量偏大。设备多数运行时段不需要满负荷散热，通风装置依旧维持高功率运转，造成持续的电力消耗。散热改造会优化设备内部风道布局，改善热空气流动路径，减少设备内部热量滞留形成的局部高温区域。优化通风结构之后可以提升自然散热的贡献占比，降低强制通风设备的工作负荷。（3）改造过程中还要兼顾散热与余热回收之间的相互协调。做好热量流向的统筹安排，优先对可回收的余热资源进行收集，剩余无法回收的热量再通过通风系统向外排出。避免余热回收和散热工作出现相互冲突。完成改造之后还需要持续监测设备各部位温度变化，防止出现散热不足造成设备过热损坏的情况。

结束语

综上所述，整套改造方案突破了单一改造方式的局限性，实现了结构提质与节能降耗的双向结合，能够在不降低设备生产能力与安全储备的前提下，显著降低设备机械损耗与能源浪费，减少设备故障概率与后期运维投入。未来，研究可结合新型耐磨材料、智能参数调控技术、余热深度利用技术，进一步完善冶金设备智能化与低碳化改造体系，持续推动冶金行业绿色高效发展。

参考文献

[1]程志勇.基于机械工程原理的储运设备节能改造设计与实践[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(24):19-21.

[2]赖道文.立磨机在冶金物料粉磨中的性能优化与节能策略研究[J].冶金与材料,2025,45(10):163-165.

[3]周翔,王宪辉.冶金机械设备的节能降耗技术及其应用[J].冶金与材料,2026,46(4):94-96.

[4]褚国杨.冷轧关键电气节能改造技术及工程实践[J].冶金工程,2026,13(2):71-76.

[5]王国斌.智能制造背景下机电设备节能改造技术与实践[J/OL].中国科技期刊数据库 工业B,2026,(4):106-109.