露天爆破钻孔钻机设备改造优化实践研究

孙志崇
易普力股份有限公司　湖南　长沙　410200
易普力（新疆）矿山工程有限公司　新疆　昌吉　831700

摘　要：露天矿山爆破钻孔作业中，钻机设备的运行效率、能耗水平、钻孔精度及环境适应性直接影响爆破效果与采矿综合成本。随着开采条件日益复杂化、环保要求日趋严格，传统钻机设备在动力匹配、钻进控制、除尘降噪及智能化水平等方面逐渐暴露出适应性不足的问题。本文立足于露天爆破钻孔作业的实际需求，系统分析了钻机设备运行中存在的主要问题与性能短板；在此基础上，从动力系统改造、钻进执行机构优化、除尘系统升级、行走机构改进及智能化控制系统集成等方面，全面阐述了钻机设备改造优化的技术路径与实施要点；并从改造方案评估、现场适配调试及维护管理配套等角度提出了改造落地保障措施，旨在为露天矿山钻机设备的技术升级与效能提升提供系统化的思路参考。

关键词：露天爆破；钻孔钻机；设备改造；钻进系统；智能化升级

引言

露天矿山钻孔质量直接决定爆破效果及生产成本。钻机作为核心装备，其性能对精度、效率及能耗至关重要。当前，我国多种类型钻机因长期高负荷运行，面临动力老化、效率下降、故障率高及环保不达标等问题。随着开采向深凹化、大规模化发展，复杂地质条件对钻进能力、自动化及智能化提出更高要求。单纯设备更新投入大、周期长，通过系统性改造优化提升性能、延长寿命并适应新工况，是更现实经济的路径。本文立足工程视角，系统分析钻机改造方向与技术方案，探讨实施关键控制要点，旨在为同类设备升级改造提供技术参考。

1 钻机设备运行现状与改造需求分析

1.1 露天爆破钻机的主要类型与性能特征

露天矿山爆破钻孔常用钻机主要有三种类型。牙轮钻机以牙轮钻头旋转破碎岩石为主要工作方式，配备加压系统和排渣系统，适用于中硬及以上矿岩的大直径深孔钻进（孔径 200～310mm，孔深可达 15～30m），是大型露天铁矿和有色金属矿的主力穿孔设备。潜孔钻机利用冲击器潜入孔底对钻头施加冲击力，配合低速回转实现破碎，适用于硬岩和破碎岩层，孔径范围为 90～200mm，机动性好、适应性强。顶锤式钻机采用液压凿岩机在孔口对钻杆施加冲击与回转动力，适用于中小孔径（76～127mm）的钻孔作业，多用于中小型矿山和石材开采。不同类型钻机的结构特点和作业模式决定了其改造优化的侧重点各有不同。

1.2 长期运行中暴露的典型问题

通过对大量在用钻机设备运行状况的观察分析，普遍存在的问题可归纳为五个方面。一是动力系统性能衰退——发动机功率下降、燃油消耗率上升、排气排放超标，尤其是使用多年的柴油发动机，其经济性和环保性已难以满足现行标准。二是钻进系统磨损严重——回转减速箱齿轮副磨损、加压链条或油缸爬行、钻杆和钻头接头松旷，导致钻孔精度下降和钻进速度降低。三是除尘系统效果不佳——干式除尘器的滤袋堵塞或破损，湿式除尘的水路系统锈蚀堵塞，作业粉尘浓度超标，既影响操作人员健康又面临环保处罚风险。四是自动化程度偏低——多数钻机的钻进参数调节依赖人工经验，无法根据岩层变化自动优化钻进策略，钻进效率的发挥较大程度上受操作人员技能水平的制约[1]。五是整机可靠性下降——液压管路渗漏、电气线路老化、结构件疲劳开裂等故障频发，设备利用率难以保证。

1.3 改造优化的目标导向

钻机设备改造优化的总体目标应定位为“提升性能、降低能耗、改善环保、增强智能”，具体而言：恢复或提升钻进效率至设计指标的 90%以上，将设备综合利用率提升至 85%以上；使燃油消耗率降低 5%～15%；满足国家排放标准和矿区粉尘排放限值要求；操作系统的自动化程度和钻进精度控制能力得到实质性提升。根据不同矿山的设备状况和生产需求，改造目标和实施范围应有针对性地确定，采取分步实施、重点突破的策略。

2 钻机设备改造优化的关键技术路径

2.1 动力系统改造——节能减排与动力提升

动力系统改造是钻机升级的核心内容之一。对于仍在使用老旧柴油机的钻机，可考虑以下几种方案：一是发动机再制造——对原发动机进行大修级再制造，更换活塞环、缸套、喷油器等关键部件，恢复压缩比和燃烧效率，同时加装尾气后处理装置（如柴油氧化催化器、颗粒捕集器等），使其排放指标达到国 III 或更高标准。二是整机更换为新型电控高压共轨发动机，新发动机在燃油经济性、动力特性和排放水平上均有明显提升，且可与后续的智能控制系统更好地匹配。三是对于有条件接入电网的大型固定式钻机，可考虑电动化改造——以电动机替代柴油机作为动力源，可大幅降低运行能耗和维护成本，同时实现零排放[2]。在动力改造的同时，应同步检查并优化动力传动系统，更换磨损严重的联轴器、传动轴万向节和液压泵，确保动力传递效率。散热系统的改造也不可忽视——增大散热器面积或优化风道布局，可有效解决改造后功率提升带来的热负荷增加问题。

2.2 钻进执行机构优化——提升效率与精度

钻进执行机构是直接决定钻孔质量和钻进速度的核心部分。回转机构方面，针对回转减速箱齿轮磨损导致的扭矩不足和运转不平稳问题，可更换高精度硬齿面齿轮，并优化齿轮箱的润滑系统和密封结构，延长使用寿命。加压机构方面，将老旧的链条加压方式改造为液压油缸-钢丝绳加压方式，可显著改善加压的平稳性和控制的精确性，有效减少钻杆弯曲和孔斜。对于液压系统驱动的钻机，更换高效变量泵和比例控制阀组，可实现钻进压力和回转速度的精准无级调节，使钻机能够根据不同岩层自动匹配最佳钻进参数。此外，钻杆连接方式的改进（如采用高强度螺纹接头和防松结构）可减少钻杆脱落和接头损坏故障，降低辅助作业时间。

2.3 除尘系统升级——满足环保刚性要求

粉尘治理是钻机环保改造的重点和难点。干式除尘系统的改造思路是：更换高效覆膜滤袋，提高过滤精度和抗结露性能；优化脉冲喷吹清灰系统的参数（喷吹压力、间隔时间和脉宽），确保滤袋阻力稳定在合理范围内；改进集尘罩的设计，提高孔口粉尘捕集率，减少逸散。对于因空间限制而难以有效改造干式除尘的钻机，可改为湿式除尘系统——在钻杆内设置注水通道，向孔底注入高压水雾，使岩屑在排出过程中被润湿沉降[3]。湿式除尘虽然增加了用水量，但在抑制呼吸性粉尘方面效果显著，且设备改造相对简单。对于特别严苛的环保区域，可采用干湿结合的两级除尘方案，在源头润湿和逸散捕集两个环节共同作用，将作业点粉尘浓度控制在国家标准限值以下。

2.4 行走机构与底盘改进——提升机动性与安全性

钻机的行走机构在采场频繁转场中承受剧烈的振动和磨损，是影响设备出动率的重要因素。针对履带行走机构常见的履带板断裂、支重轮漏油、驱动轮齿面磨损等问题，可采取以下改造措施：采用高强度合金钢铸造履带板代替铸造普通钢履带板，提高抗冲击和耐磨性能；将支重轮和引导轮的密封结构改为浮动油封，提高密封可靠性，延长润滑周期；加强行走减速机的承载能力，选用承载能力更高的行星减速机替代原减速机。对于需要在陡坡作业的钻机，可考虑加装辅助制动和防溜装置，提升坡道作业的安全性。

2.5 驾驶室与人机环境改善——保障操作效能

驾驶室是操作人员长时间工作的场所，其舒适性和便捷性直接影响作业效率和操作质量。改造内容包括：更换减震效果更好的驾驶室悬挂装置，隔离底盘振动；安装密封性更好的门窗，减少粉尘和噪声侵入；加装冷暖空调系统，改善温度环境；重新布置操作面板，按照人机工程学原理优化操纵杆和按钮的位置与操作力。操作界面的改进应同步考虑为后续智能控制系统的操作终端预留安装空间和接口。

3 智能化改造与控制系统升级

3.1 钻进参数自动监测与记录

智能化改造的起点是实现钻机运行参数的可视化和可记录化。在钻机上安装压力传感器、流量传感器、转速传感器、温度传感器和深度编码器等，实时采集回转压力、推进压力、钻速、扭矩、孔深和空气压力等关键参数，通过车载显示屏直观呈现，并记录保存为作业日志。操作人员可依据实时数据判断钻进工况是否正常，设备管理者可远程查看钻机运行状态，实现基本的设备状态管理。

3.2 自动调压与智能防卡钻控制

在参数监测的基础上，引入闭环控制功能是智能化改造的进阶阶段。根据回转压力和推进压力的实时反馈，由控制器自动调节推进速度和回转转速，维持钻进功率的最优匹配。当检测到回转压力突然升高或波动异常（预判为卡钻前兆）时，系统自动降低推进速度或短暂反转，防止钻头卡滞[4]。智能防卡钻功能不仅能减少钻具损坏，还可大幅降低对操作人员经验的要求，使新

手也能达到接近熟练操作工的作业水平。

3.3 钻孔定位与孔深自动控制系统

钻孔定位精度和孔深控制是影响爆破质量的重要因素。通过安装双轴倾角传感器和 GPS 定位模块，结合预设的钻孔设计坐标，引导钻机准确移动至孔位，并辅助控制钻孔角度。采用电子测深装置（如钢丝绳编码器或超声波测距），实现孔深的实时测量和自动停止，避免超深或欠深。对于多排孔作业，该系统可引导钻机按预设顺序和孔位依次作业，减少漏孔和重孔。

3.4 远程监控与数据管理平台

将钻机控制系统接入矿山的物联网平台，实现远程监控和数据管理，是智能化的最终目标。通过无线通信模块将钻机的运行数据、作业进度和故障报警信息实时上传至调度中心，管理人员可在办公室查看各台钻机的工作状态、钻进效率和故障情况，合理安排维修保养计划。积累的钻进参数和对应地质条件的数据还可用于建立“岩层-钻进参数”匹配数据库，为后续的自动钻进算法优化提供数据基础。

4 改造实施策略与保障措施

4.1 改造方案的评估与比选

在确定改造方案前，需要对设备的剩余价值、改造投入、预期效益和停机时间进行综合评估。评估内容包括：设备主体结构的剩余寿命评估（车架、钻塔等主要结构件的疲劳状况）；各子系统改造的技术可行性和经济性分析（改造费用与购置新设备的性价比对比）；改造期间的生产影响评估及替代方案。对于主体结构已严重锈蚀或多次修复的钻机，不宜进行大规模改造，应报废更新。对于主体状况良好但子系统性能退化的设备，则应按“缺什么补什么”的原则制定针对性改造方案，避免大拆大建造成浪费。

4.2 改造实施的组织管理与质量管控

改造实施应采用项目制管理，明确技术负责人、质量检验人和进度协调人。制定详细的改造实施方案和质量验收标准，对每个改造项目的施工工艺、检验方法和验收指标作出明确规定。在改造过程中，严格执行过程检验制度——重要环节（如发动机安装对中、液压系统管路焊接、电气系统接线）完成后应进行专项检验，合格后方可转入下一工序。改造完成后进行整机联调和试运行，测试各系统在额定工况下的性能指标是否达到改造目标。

4.3 改造后的适配调试与操作培训

设备改造后，由于系统参数和控制逻辑发生变化，必须进行充分的现场适配调试。调试工作应分步进行：先进行空载调试，检查各运动机构的动作是否正常、有无干涉和异常噪声；再进行负载调试，在实际钻孔条件下验证钻进效率和钻孔质量是否达到预期。调试过程中需对控制参数进行精细整定，使各子系统达到最佳匹配状态。同时，应对操作人员和维护人员进行系统培训，使其掌握新系统、新操作界面和维护要求的要领，确保改造后的设备能够被正确使用和保养。

4.4 改造效果的跟踪评价与持续改进

改造并非一次性活动，而应是持续改进循环中的一环。设备改造重新投入使用后，应建立不少于 3 个月的跟踪评价期，系统收集钻进效率、燃油消耗、故障停机时间、钻孔质量等关键性能数据，与改造前进行对比分析，验证改造目标的实现程度。对于未达到预期效果的改造项目，应及时分析原因并采取补救措施。将改造经验教训记录在案，为后续设备的改造提供参考和借鉴，形成“评价—改造—再评价—再优化”的良性循环。

5 结语

露天爆破钻机改造优化是延长设备寿命、提升效能的关键系统工程。针对动力衰退、钻进劣化、环保不达标及智能化低等痛点，本文提出涵盖动力、钻进、除尘、行走及智能控制的技术路径，并构建从评估到跟踪的落地保障体系。核心观点认为：改造应以问题为导向、目标为牵引，遵循“技术可行、经济合理、安全可靠”原则；非简单零部件更换，而是多子系统协调匹配的系统性提升；智能化需因地制宜、分步推进。实践证明，合理规划与精心实施的改造，能以远低于新购设备的投入获得显著的经济与社会效益，是露天矿山设备管理的重要策略。

参考文献

[1] 杨绍普, 刘永强, 顾晓辉. 大型露天矿牙轮钻机动力系统改造与节能技术研究 [J]. 矿山机械,2023,51(6):12-18.

[2] 王庆五, 李国平, 张健. 潜孔钻机液压系统升级改造关键技术 [J]. 液压与气动,2022(8):89-95.

[3] 刘峰, 张建平, 赵伟. 钻机除尘系统的现状分析与改造方向 [J]. 矿山环保,2023,44(3):34-40.

[4] 张明, 李亮, 王海. 基于 PLC 的露天钻机智能钻进控制系统设计 [J]. 矿业研究与开发,2024,44(2):156-162.