挤干辊换辊装置技术发展综述

王震 曹英强 肖国凯 黄晓慧
中冶京诚工程技术有限公司，中国·北京 100176

摘要：挤干辊作为带钢连续处理产线清洗、钝化等工艺段的关键辊系部件，能否安全高效完成辊体更换，直接关系生产连续性与设备综合运行效率。本文借助专利情报分析手段梳理挤干辊换辊装备的创新演化脉络，对现有技术方案进行拆解归类，归纳出机械轨道滑移式、平衡吊装式、集成自动化式三类主流技术路径。研究结果表明，该领域技术整体由人工离线吊装作业，逐步过渡到机械辅助在线作业，正朝着智能自主维护作业方向演进，技术迭代的核心诉求在于平衡作业效率、人员安全与生产停机损失三者之间的矛盾。文中对不同技术路线专利申请态势、研发热点开展量化统计，对比各类方案的结构特点、性能差异以及适用工况。分析发现现阶段行业主要痛点集中在存量产线改造适配难度大、复杂冶金工况下机电装备稳定性不足、设备造价偏高制约大规模推广。结合智能制造与预测性维护发展趋势，本文预判装备将向着模块化、高柔性、智能化方向演进，提出数字孪生结合协作机器人的潜在解决思路。本次研究可为挤干辊换辊技术研发选型、工程方案落地以及行业产业升级提供情报支撑与决策参考。

关键词：挤干辊；换辊装置；专利情报分析；技术路径；在线换辊；自动化；预测性维护

Overview of the Technological Development of Drying Roll Replacement Devices

Wang Zhen, Cao Yingqiang, Xiao Guokai, Huang Xiaohui
MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., China Beijing 100176

Abstract: As a key roller component in the continuous coil processing line's cleaning and passivation sections, the drying roll's ability to be replaced safely and efficiently directly affects production continuity and overall equipment efficiency. This paper uses patent intelligence analysis to outline the innovative evolution of drying roll replacement equipment, dissects and categorizes existing technical solutions, and identifies three main technology paths: mechanical rail sliding, balanced hoisting, and integrated automation. The study shows that the technology has generally evolved from manual offline hoisting operations to mechanically assisted online operations, moving toward intelligent autonomous maintenance, with the core goal of balancing operational efficiency, personnel safety, and production downtime. The paper also quantifies patent application trends and R&D hotspots for different technical routes, comparing structural features, performance differences, and applicable working conditions. Current industry pain points mainly involve difficulties in adapting to existing production lines, insufficient stability of electromechanical equipment under complex metallurgical conditions, and high equipment costs limiting large-scale adoption. Considering trends in smart manufacturing and predictive maintenance, the paper predicts that equipment will develop toward modularity, high flexibility, and intelligence, and proposes potential solutions combining digital twins with collaborative robots. This study can provide intelligence support and decision-making references for R&D selection, project implementation, and industrial upgrading of drying roll replacement technology.

Keywords: Drying roll; Roll replacement device; Patent intelligence analysis; Technology path; Online roll replacement; Automation; Predictive maintenance

0 引言

热镀锌、酸洗、退火、彩涂等钢铁及有色金属带材连续处理产线中，清洗单元、钝化单元与水淬槽后端均配置挤干辊，该辊组是保障工序正常开展的核心功能设备。挤干辊依靠成对辊体的精准挤压作用，剥离带材表面附着的清洗药剂、漂洗残水以及钝化药液，辊组运行状态直接影响带钢表面洁净程度、涂层结合效果，同时对后续工序的工艺稳定性起到关键约束作用[1]。挤干辊长期工作于高湿度环境，还要承受化学介质腐蚀、持续机械磨损以及带材高速运动带来的冲击，辊体外部橡胶包覆层或者微纤维套筒会逐步出现磨损、老化、表面压痕乃至局部破损问题，因此需要按照 1-3 个月的周期开展计划性更换，同时也要

应对突发损伤带来的抢修作业。

传统挤干辊更换属于劳动密集型维护作业，不仅安全隐患突出，还会打断生产线连续运行节奏[5]。常规作业模式需要产线完全停机，作业人员借助车间桥式起重机完成旧辊吊出与新辊就位工作。作业过程包含重型轴承座盖板的拆装工序，操作人员需要在作业空间狭窄甚至高空条件下完成辊体对中和位置调校等精细操作。该作业模式暴露出多项现实短板：第一，停机造成显著产能损失，单次换辊往往需要数小时，非计划停机直接拉低设备开动水平与实际产出；第二，现场作业风险较高，重物起吊转运、高空操作以及人机交叉作业场景，容易诱发物体打击、机械挤压类安全事故；第三，作业强度大且高度依赖熟练操作人员，整套工序耗费人力，操作质量受人员经验影响明显；第四，装配一致性较差，人工对位精度有限，装配不当会造成辊系振动、带钢跑偏，干扰挤干辊后续正常工作。由此可见，研发一套能够缩短停机时长、保障作业安全、降低人力负担，尽可能实现在线或者短时停机完成辊体更替的专用换辊装备，已经成为行业现实工程需求，也是该领域技术创新的重要方向。

本文依托专利信息分析手段，围绕挤干辊换辊装置开展系统性综述研究。本研究主要目标与应用价值体现在：一是通过专利检索筛选搭建该领域专利分析样本库，梳理技术发展脉络与关键创新节点；二是对各类技术方案进行拆解归纳，提炼出代表性核心技术路线；三是针对各条路线的发展阶段、典型专利方案、优缺点开展对比剖析，识别当前技术发展存在的现实瓶颈；四是结合智能制造行业发展趋势给出前瞻性判断。研究成果能够为装备制造企业、产线设计机构、钢铁企业设备管理部门以及科研团队提供技术参考，助力推动该领域装备向高效化、智能化、高安全性方向迭代升级。

1 研究方法

1.1 专利检索策略

为保障分析样本的完备性与代表性，本研究建立一套规范化专利检索流程，整体工作分为数据库选型、检索关键词构建、检索结果筛选剔除三个环节，完成目标专利数据集的搭建。

1.2 分析框架

完成专利样本筛选之后，本文采用定量统计结合定性解读的综合分析模式开展研究。

1.2.1 定量分析

统计样本专利的申请时间、法律状态、主要专利权人等维度信息，通过可视化图表呈现统计结果，从宏观层面把握该技术领域所处的生命周期阶段，厘清主要创新主体的分布格局。

1.2.2 定性分析

逐篇研读专利文本，包括说明书、权利要求以及附图内容，提取每项专利所要解决的工程痛点、核心实现结构（轨道机构、滑移滑车、夹持组件、驱动形式等）与实际应用效果。在此基础上运用对比、归纳、聚类的分析手段，对专利技术方案进行归类整合，提炼内在机理相近的技术方案集合，划分形成不同的技术路线，完成技术体系梳理[3]。

2 技术路线分类与深入分析

结合专利方案内部机理、硬件结构特征以及装备和产线集成形式，可将挤干辊换辊相关装备划分成三类并行演进的技术路径。

2.1 技术路线 A：机械轨道滑移式 —— 在线换辊的机械实现基础

该类方案核心设计思路是为辊体组件构建专属移动通道。通过在挤干辊轴承座与设备机架、槽体之间增设预制轨道 – 滚轮（滑块）机构，使整套辊组能够沿着轴向从工作工位滑移至设备外侧，再依靠换辊小车等转运设备完成新旧辊体替换，是现阶段实现少停机、在线换辊较为成熟可靠的机械实现方案[4]。

2.1.1 技术演进三阶段分析

第一阶段：简易附属构件加装阶段（大致 2005–2013 年）。该时期专利方案结构相对简约，研发重点在于解决装备有无的基础问题，侧重面向存量设备的低成本改造工作。

第二阶段：轨道载体系统集成阶段（大致 2013–2020 年）。伴随行业对在线维护需求持续提升，相关设计逐步走向系统化集成，轨道与运载机构之间的配合逻辑不断完善。

第三阶段：功能复合与半自动化升级阶段（2020 年至今）。近期公开专利在原有滑移机构基础之上叠加动力驱动模块与电控单元，目的在于缩减人工参与的作业环节。

2.1.2 性能特点与现存技术瓶颈

优势：在线作业能力突出，可以最大程度维持产线生产连续性；机械本体成熟稳定，故障概率低，后期维护工作量小；换辊动作平稳，作业过程不会对辊体与轴承座带来冲击载荷。

劣势：属于侵入式改造方案，实际适配效果受制于产

线建成年代与机架内部空间；前期设备改造成本较高；升级至半自动化版本后，会面临液压介质渗漏、电气控制失效等新增故障风险。

当前该路径面临几类突出技术难点：

（1）通用适配难题：不同建设时期、不同厂商制造的产线机架结构差异较大，难以开发一套标准化滑移模块，做到直接适配现场工况而不用大规模定制改动，制约技术大范围推广。

（2）空间干涉难题：机架内部空间本就十分紧凑，新增轨道与滑行车架极易和原有管路、检测传感器发生位置冲突，对结构集成设计水平提出很高要求。

（3）智能化水平不足：轨道对接精度、滑车锁止状态等关键工况大多依靠人员肉眼判别，缺少传感器自动感知与状态反馈机制，距离全自动作业还有明显差距。

2.2 技术路线 B：平衡吊装式——离线换辊的安全标准化工具

该技术路径并不追求消除产线停机环节，而是聚焦于优化停机状态下辊体拆装、起吊转运全流程。通过开发专用平衡吊具、夹持工装以及辅助执行机构，替代传统钢丝绳搭配行车吊钩的粗放作业模式，把换辊流程工具化、规范化，以此提升作业安全性与整体作业效率[9-11]。

2.2.1 技术演进二阶段分析

第一阶段：简易平衡梁与配重工装阶段（约 2010-2018 年）。这一阶段工装设计思路借鉴起重设备平衡梁结构，重点改善起吊过程辊体受力状态[5]。

第二阶段：专用夹持机构、动力平衡与流程规范化阶段（2018 年至今），该阶段装备设计出现较为明显的技术跃升[10-11]。

2.2.2 性能特点与现存技术瓶颈

优势：通用性强，只要车间配置行车或者叉车即可投入使用，不需要改动原有产线本体；能够有效抑制吊运过程辊体摆动、脱落风险，提升作业安全；降低操作对技工经验的依赖，作业流程更加统一；整体投入成本可控，属于高性价比改造方案。

劣势：无法实现真正意义的在线作业，产线依旧需要停机；换辊作业效率会被车间起重设备调度、运行速度所限制；部分工位空间狭小，起重设备无法抵达，该类工装就难以发挥作用。

现存技术瓶颈主要体现在三方面：

（1）产线自动化衔接断层：平衡吊装属于独立作业工具，并非和产线深度集成的系统。旧辊移出后的转运、新辊输送至作业工位依旧依靠外部物流手段，造成自动化流程断裂。

（2）数据孤立问题：传统工装缺少状态感知与数据交互能力，不能自动留存换辊时长、操作人员、夹持作用力等关键信息，很难对接工厂数字化设备管理平台。

（3）设备自重与作业精度矛盾：挤干辊自重可达数吨，吊具本体需要具备足够结构强度，随之带来工装自重增大的问题；大重量工装进一步加大行车微调对位的操作难度。

2.3 技术路线 C：集成自动化式 —— 面向智能工厂的自主作业单元

该路径代表该领域前沿研发方向。不再局限于提供辅助作业工具，而是打造一套集行走、升降、夹持、搬运、辊体更换于一体的半自主或者全自主智能装备单元，理想状态下可以替代行车与绝大多数人工操作，形成独立的换辊工作站。

2.3.1 技术演进二阶段分析

第一阶段：多功能集成换辊小车阶段（约 2018-2023 年），早期集成化装备大多以重型多功能换辊小车作为硬件载体。

第二阶段：精密轨道导航与自适应执行机构阶段（2023 年至今）。为改善定位精度与现场环境适应能力，近年公开专利出现大量结构更加精巧的创新方案[13]。

2.3.2 性能特点与现存技术瓶颈

优势：自动化水平最高，人力投入可以压缩至最低限度；装备作业独立性强，不依赖车间起重设备，调度灵活可控；换辊动作精度高，作业质量一致性好；支持运行数据采集，便于接入数字化工厂体系。

劣势：系统组成复杂，研发周期漫长，单台设备购置成本高昂；对现场运维人员专业能力提出更高要求；冶金车间高温、高湿、粉尘振动的恶劣条件，会严重考验传感器与电气元器件长期运行可靠性。

主要技术瓶颈归纳为三点：

（1）经济性约束：高昂采购价格使得该装备很难在中小型企业以及预算有限的产线上普及；如何依靠模块化、标准化、规模化生产压低制造成本，是实现产业化落地的最大阻碍。

（2）恶劣工况适应性不足：电机、驱动器、激光类传感元件需要抵御现场振动、高温蒸汽、导电粉尘以及电磁干扰，装备防护等级、无故障运行时间实现难度较大。

（3）智能处置能力有限：现有装备大多采用示教编程或者固定程序运行，智能化处理异常工况的能力不足。当

遇到辊轴轻微形变、轴承座卡入异物等意外工况，装备无法像熟练技师一样柔性处置，容易诱发设备卡滞甚至零部件损坏。

3 综合讨论：技术路线的交叉、比较与演进逻辑

3.1 三条技术路线的交叉融合趋势

实际创新研发过程当中，三类技术路径并不是完全相互割裂，已经出现多项技术互相借鉴融合的创新案例。

“A+C”组合模式：部分新建产线在设计之初预留标准化滑轨接口，继承轨道滑移方案高可靠性优势，同时配置可自动对接滑轨、完成夹持作业的智能换辊机器人。该方案兼顾机械机构稳定优势与智能装备自动化能力。

“B+C”组合模式：部分专利在平衡吊工装基础之上增设电动驱动模块与简易程序控制，赋予工装半自动化作业能力，工具装备和简易机器人的边界逐步模糊。这类融合方案具备较好工程应用价值：依靠标准化模块化接口保证机械基础可靠性，依托智能执行单元提升作业效率，同时将平衡吊装路线中的安全设计与人机工程理念融入整套装备交互体系。

3.2 技术选型逻辑

企业在开展装备选型时，需要综合多维度现场条件做出决策：新建产线或者开展大规模产线改造，预算充足且追求生产效率最大化，优先选用预设滑移轨道的 A 类方案，或是高配置 C 类轨道型智能装备，在源头实现高效换辊维护。

针对建成时间较早的存量产线，预算有限，改造首要目标为提升作业安全性、规范作业流程，B 类平衡吊工装是投入少、见效快的精益改造选项。

部分工位空间极度局促，起重设备无法抵达作业区域，可以选用轻量化紧凑型 C 类自动化单元，或是高度集成的微型内置滑道 A 类方案。

3.3 技术演进内在逻辑

梳理整个技术发展历程可以得到清晰演化逻辑：生产连续性需求与设备维护停机之间构成现实矛盾，行业核心诉求指向压缩停机时间；为实现该目标催生出轨道滑移实现在线维护；进一步发展需要降低人力投入、消减安全风险，推动平衡吊装类工装不断迭代；行业长期终极目标是实现少人乃至无人维护，由此带动集成自动化装备持续研发。该演化规律也是制造业升级的缩影：技术迭代首先解决装备有无的可用性问题，接着持续优化实际使用体验，最后需要平衡装备经济性与智能化水平。

4 结论与展望

4.1 主要结论

本文基于挤干辊换辊装置领域专利情报开展系统分析，得到如下研究结论：

第一，该技术领域整体处于创新活跃的成长期，国内已经成为主要创新来源，大型钢铁企业及其工程技术子公司是最主要创新主体。

第二，行业分化出三类并行发展的技术路径：依靠机械轨道滑移方案夯实在线换辊的硬件基础；借助平衡吊装工装提升离线维护作业安全性与流程规范性；依靠集成自动化装备探索面向未来的无人智能维护模式。各类方案均存在自身性能边界与适配工况。

第三，技术整体由被动适配现场工况、简单工具辅助，向着系统集成、智能驱动方向演变。现阶段技术难点已经不再局限于基础功能能否实现，更多集中在存量产线改造兼容能力、智能机电系统复杂工况稳定性，以及控制成本实现规模化推广等现实问题。

4.2 未来展望

结合专利反映出的创新趋势，联系智能制造、工业物联网与预测性维护的行业发展潮流，对该领域后续发展方向做出预判[2]。

（1）模块化与接口标准化发展方向：后续技术突破重点不在于单台装备过度集成，而在于建立挤干辊轴承座和机架之间统一的快速换辊机械接口规范。如同集装箱标准推动物流行业变革，一套被行业广泛接纳的机械、电气、数据通信接口标准，可以实现不同厂商轨道组件、执行机器人、转运装备互相兼容，大幅降低系统集成难度与项目成本。

（2）智能化与作业柔性进一步提升：新一代换辊装备会深度结合机器视觉检测、力觉传感与边缘计算技术。依靠视觉识别轴头状态、检测对接偏差；依靠力反馈完成柔顺装配，规避过载损坏零部件；依托数字孪生模型完成换辊动作仿真与工艺优化，使装备可以处理一定程度装配偏差、微小异物干扰等非理想工况，趋近熟练技工处置水平。

（3）装备服务化转型，深挖数据应用价值：换辊装备未来将演变成为挤干辊状态维护的综合终端。除了完成辊体拆装作业，还可以在抽出旧辊过程中采集辊面磨损、轴承振动、密封部件健康状态等信息，上传至云端平台，为预测性维护提供原始数据。换辊作业耗时、能耗等运行数据，同样能够用来迭代优化设备维护计划[2]。

（4）新型机器人解决方案拓展狭小空间工况：针对空

间受限的作业场景，协作机器人搭配可变形伸缩导轨将成为潜在研究方向。轻量化协作机器人搭载专用末端执行机构，可以依托可展开轻型导轨进入狭窄设备内部，完成辊体拆装等精密维护操作。

总体来看，挤干辊换辊装备的迭代升级，是国内高端装备制造业由传统制造向智能制造转型的典型缩影。未来装备发展是精密机械设计、智能感知控制、数字化运维管理多学科深度融合的结果，最终为带钢连续生产线提供低停机、高安全、成本可控的智能化维护保障手段。

参考文献：

[1] 姚养库，夏泽旭，吴万勇等. 酸洗线挤干辊换辊车装置改进方案[J]. 重型机械，2022 (05):109-113.

[2] 余琼，丁增阳，陆万齐等. 酸洗纠偏装置自适应控制模式开发与应用[J]. 冶金动力，2025 (05):78-82.

[3] 张逸，王健. 基于专利分析的冶金装备技术演进研究方法与实践[J]. 情报杂志，2021,40 (S1):128-133.

[4] 宏旺控股集团有限公司. 一种挤干辊及其酸洗槽挤干系统：中国，CN107604373B [P]. 2019-08-16.

[5] 唐山建龙实业有限公司. 一种更换挤干辊吊具：中国，CN202449713U[P]. 2012-09-26.

[6] 上海宝冶集团有限公司. 一种配重换挤干辊小车：中国，CN212863871U[P]. 2021-04-02.

[7] 北京首钢股份有限公司. 一种挤干辊的换辊结构及换辊方法：中国，CN118978081A [P].2024-11-19.

[8] 王军. 一种便于更换的挤干辊：中国，CN223345864U [P].2025-09-16.