

Optimization Strategies and Practices for Improving Coke Oven Mechanical Operation Efficiency: A Case Study Based on the Reliability Improvement of Push Rods in RJ70 Heat-Recovery Coke Ovens

Kecheng Li

Taiyuan Heavy Industry Co., Ltd., Technology Center, Taiyuan, Shanxi, 030024, China

Abstract

The operational efficiency and reliability of coke oven machinery are directly related to the stability and profitability of the entire coking production line. This paper takes the typical fault of “front and rear section detachment” occurring in the RJ70-type heat-recovery coke oven pusher rod in actual application as the entry point and conducts an in-depth analysis of the fundamental reasons restricting the operational efficiency of the equipment. The study reveals that structural design defects of the equipment, inadequate transmission accuracy of key components, and the lack of welding quality control during the production process are the key factors leading to unplanned shutdowns and affecting operational efficiency. In response to these issues, this paper systematically proposes a comprehensive optimization strategy centered on structural optimization, transmission system upgrades, and the improvement of quality control systems, and validates these measures through practical cases, demonstrating their significant effectiveness in enhancing equipment reliability, reducing downtime due to faults, and thereby ensuring and improving the overall operational efficiency of coke oven machinery. This study provides a practical reference path for improving the efficiency and reliability design of similar large-scale industrial equipment.

Keywords

coke oven machinery; operational efficiency; coke pusher rod; structural optimization; reliability

提升焦炉机械作业效率的优化策略与实践——基于 RJ70 型热回收焦炉推焦杆可靠性改进的案例分析

李克成

太原重工股份有限公司技术中心, 中国·山西太原 030024

摘 要

焦炉机械的作业效率与运行可靠性直接关系到整个焦化生产线的稳定与效益。本文以 RJ70 型热回收焦炉推焦杆在实际应用中出现的“前后段脱落”典型故障为切入点, 深入剖析了制约设备作业效率的根本原因。研究揭示, 设备结构性设计缺陷、关键部件传动精度不足以及生产过程中的焊接质量管控缺失, 是导致非计划停机、影响作业效率的关键因素。针对这些问题, 本文系统性提出了以结构优化、传动系统升级、质量控制体系完善为核心的综合性优化策略, 并通过实践案例验证了这些措施在提升设备可靠性、减少故障停机时间、从而保障和提升焦炉机械整体作业效率方面的显著成效。本研究为同类大型工业设备的效率提升与可靠性设计提供了具有借鉴意义的实践路径。

关键词

焦炉机械; 作业效率; 推焦杆; 结构优化; 可靠性

1 引言

在现代化焦化生产中, 焦炉机械作为生产的核心装备, 其运行状态的稳定性、作业的连续性以及维护的高效性, 是决定焦炭产量、质量与生产成本的关键。任何关键部件的故

障都可能导致整条生产线停滞, 造成巨大的经济损失。因此, 提升焦炉机械的作业效率, 已从单纯的设备运行速度优化, 转变为对设备可靠性、可维护性及运行平稳性的综合追求。

RJ70 型热回收焦炉机械是为适应市场需求而开发的大容量新型设备, 其煤饼重量由 50 吨提升至 70 吨, 对设备的结构强度与驱动系统提出了更高要求。然而, 该设备在福建三钢、唐山佳祥、河北太行等多个项目中相继发生了推焦杆前后段脱落的严重故障, 导致设备非计划停机, 严重影响

【作者简介】李克成 (1973-), 男, 中国山西运城人, 硕士, 高级工程师, 从事焦炉机械设计研究。

了焦炉的正常生产节奏与作业效率。这一反复出现的问题表明,其背后存在着深层次的设计与制造共性原因^[1]。

本文旨在通过对 RJ70 型推焦杆脱落故障的深入分析,将一次具体的设备质量事故,转化为一个关于如何系统性提升焦炉机械作业效率的典型案例研究。通过从“结构-传动-质量”三个维度提出并实施优化策略,为从根本上保障设备长期稳定运行、提升综合作业效率提供一套可验证的解决方案。

2 推焦杆故障对作业效率的影响分析

推焦杆是焦炉机械中执行推焦任务的核心部件,其可靠性直接决定了推焦工序能否顺利完成。RJ70 型推焦杆前后段的连接失效,对作业效率造成了多方面的负面影响。

直接导致非计划停机,对生产连续性造成严重冲击。推焦杆作为焦炉机械的核心动作部件,一旦在运行过程中发生脱落或严重开裂,整个推焦工序必须被强制中断,生产线随之停滞,直至完成检修。这种停机完全处于计划之外,无法通过常规的生产调度进行弥补。在河北太行项目的实际运行中,设备投用仅 5 个月便发生了推焦杆故障,生产线被迫紧急中断。这种突发性事件彻底打乱了既定的生产节奏与排产计划,导致当班乃至后续数个班次的焦炭产量直接损失,其影响是即时且显性的。非计划停机的危害不仅在于当次的产量损失,更在于它对整个生产链条稳定性的破坏,使得原料供应、能源平衡与后续工序都陷入混乱,恢复秩序需要额外的时间与成本。

大幅增加维修时间与综合成本,给运营带来沉重负担。推焦杆本体结构庞大笨重,且其工作位置深入焦炉内部,导致现场维修环境极为恶劣,存在高温、粉尘与空间高度受限等诸多不利因素。修复一处开裂的焊缝或更换损坏的部件,绝非简单的现场作业,而是一项复杂的系统工程。它通常需要等待设备足够冷却、搭建安全的维修平台、调用大型起重设备进行繁琐的拆卸、将故障件运出后进行专业的焊接或机加工修复、最后再重新安装并经过精细调试才能恢复运行。这一系列环节耗时费力,直接导致维修周期被显著拉长,并伴随着高昂的人工、机械台班与物料成本。唐山佳祥项目的案例更具警示意义:其推焦杆故障发生在投用两年半之后,这表明即使设备度过了初期运行阶段,潜在的设计与制造缺陷依然会在长期交变应力下集中爆发。此类中期故障不仅单次维修成本高,更预示着设备全生命周期的维护费用被显著抬高,严重影响了项目的长期经济效益。

引发显著的生产安全与产品质量风险,威胁企业稳健运营。推焦杆在高速运行中突然脱落,是一个具有高破坏性的动态事件。其巨大的动能可能使其成为失控的撞击物,对焦炉内部的炉墙、炉门、导轨以及其他精密设备造成严重的二次撞击损坏,这种连带损失往往比推焦杆本身的修复代价更为巨大,并极易引发火灾、触电等次生安全事故,直接威

胁现场人员与设备的安全。同时,推焦过程的意外中断会导致焦饼被不完整地推出或卡滞在炭化室内。这种“尾焦”或“难推”现象,不仅使得本次推出的焦炭质量不合格,更会直接影响后续炼焦炉次的正常装煤操作与加热制度,导致成焦均匀性变差、焦炭成熟度不足等一系列质量问题,最终损害最终产品的整体质量稳定性和一致性,对企业的市场信誉与品牌形象构成潜在威胁。

3 制约作业效率的根源性问题诊断

根据故障说明文件的分析,制约 RJ70 型推焦杆乃至整个焦炉机械作业效率的根源,可归结为以下三个层面:

3.1 结构设计存在薄弱环节

推焦杆分段式设计的“双销轴连接”虽然便于运输,但存在固有的设计缺陷,这些缺陷严重影响了其结构稳定性和使用寿命。首先,连接焊缝存在应力集中的问题,由于后段销轴孔座腹板与推焦杆本体腹板的连接结构限制,只能采用三面焊缝搭接的方式,这导致焊缝处不仅成为应力集中的点,而且还要承受推焦过程中产生的巨大轴向推力、扭力和循环交变应力,这些应力共同作用使得焊缝承受着极大的压力。其次,抗疲劳能力不足,原始设计的角焊缝在冷热交替的恶劣工况和循环载荷的长期作用下,容易产生疲劳裂纹,并随着裂纹的逐渐扩展,最终可能导致连接失效,这正是唐山佳祥项目出现故障的根本原因^[2]。最后,设计冗余度不足的问题也相当突出,随着从 RJ50 到 RJ70 负载能力的近 40% 提升,原有的连接结构设计冗余度可能已经接近临界点,未能充分考虑到载荷增大后对连接部位极限要求的提高,这进一步加剧了连接结构的脆弱性^[3]。

3.2 传动系统精度引发冲击载荷

推焦杆采用齿轮齿条传动的方式,但在 RJ70 型设备中,齿条的模数有所增大。文件指出,在齿面采用精铸工艺后,随着模数与齿宽的增大,出现了铸造精度不足、齿距不均、齿形变形等问题,这些问题直接影响了齿轮齿条的传动性能。由于铸造精度不足,齿条上的齿距不均,齿形存在变形,导致齿轮啮合过程中产生了偏载和剧烈的冲击。这种冲击载荷会通过齿条传递至整个推焦杆体,对连接焊缝这一结构薄弱点形成持续的、不可预测的交变冲击应力,加速了焊缝疲劳裂纹的产生和扩展,从而影响了推焦杆的结构完整性和使用寿命。此外,传动过程中的冲击与振动本质上是一种能量的无效损耗,它会降低传动效率,并将能量转化为对设备本身的破坏性力量^[4]。

3.3 制造与检验质量控制缺失

在对福建三钢和河北太行设备故障的分析中,文件一致指出了一种显著的质量管理问题:“图纸有要求,实际上检验记录表中没有该项内容”。这一现象凸显了质量要求与检验实践之间存在严重的脱节。具体来说,虽然设计图纸对关键连接角焊缝的焊脚尺寸有着明确的规定,但在实际的

《重要部件焊缝检验记录表》中却惊人地遗漏了这一关键指标。这种脱节不仅暴露了质量管理体系中的漏洞，还导致了不合格的焊接质量被放行至下一生产环节，增加了设备故障的风险。此外，检验标准的不完善也是问题的一个重要方面。设计图纸上对于这些关键受力角焊缝没有提出无损探伤的要求，而仅仅依赖于外观检查。这种做法使得焊缝内部的潜在缺陷，如气孔、夹渣、未熔合等，无法得到有效检测，为设备的长期稳定运行埋下了严重的安全隐患。最后，过程控制的失效进一步加剧了这一问题^[9]。

4 提升作业效率的综合性优化策略与实践

4.1 结构性强化与抗疲劳设计

核心目标是消除薄弱环节，提升连接部位的固有强度和抗疲劳能力。焊缝形式升级：将后段销轴孔座腹板与推焦杆本体腹板的连接焊缝从角焊缝改为坡口焊接。坡口焊能够实现焊缝的全熔透，显著增加焊缝的有效承载面积和强度，从根本上杜绝了从焊缝根部启裂的风险。增加机械冗余：在连接部位增设双轴加强结构，相当于为连接提供了第二重物理保险。即使焊缝出现极端情况下的失效，该加强结构也能提供暂时的强制连接，为系统报警和有序停机争取时间，避免灾难性的脱落事故。效率提升效果：结构优化直接提升了设备的可靠性和平均无故障时间，大幅减少了因结构性故障导致的停机，为连续、高效作业奠定了坚实基础。

4.2 传动系统精准化与平稳性升级

齿条制造工艺升级：将推焦齿条的齿面从“铸造齿面”改为“铸造后机加工齿面”。通过精加工，可以彻底消除铸造缺陷，保证齿距精度和齿形一致性。提高传动精度：机加工齿条能确保与驱动齿轮实现平稳、精准的啮合，极大减少运行中的偏载、卡涩和冲击现象。效率提升效果：传动平稳性带来多重收益：一是显著降低了作用于推焦杆的冲击载荷，保护了主体结构；二是减少了传动过程中的能量损耗，提升了推焦驱动的能量效率；三是降低了设备运行噪音和振动，改善了整体工作环境。

4.3 全流程质量管控体系完善

检验标准细化与强化：修订《重要部件焊缝检验记录表》，将推焦杆所有关键连接部位的焊脚尺寸、焊缝外观作为必检项纳入。同时，对于承受交变载荷和冲击载荷的关键角焊缝，提升检验等级，增加无损探伤要求。建立重点焊缝工艺档案：由分公司制定统一的《重点焊缝工艺检验记录表》，对焊工信息、焊接参数、检验结果进行全程记录，实现质量责任可追溯。加强工艺纪律检查：定期对制造过程中的焊接工艺执行情况进行监督审核，确保操作规范得到严格遵守。效率提升效果：严格的质量控制直接减少了“早期失效”和“随机失效”。它提升了设备出厂时的初始质量，降

低了现场调试和保运阶段的故障率，同时也减少了设备在整个生命周期内的维护需求，提升了可维护性。

5 结语

通过对 RJ70 型热回收焦炉推焦杆故障的案例剖析与优化实践，可以得出以下结论：提升焦炉机械作业效率是一项系统工程，必须从设备可靠性设计的源头着手，单纯追求运行速度而忽视结构强度与传动平稳性，将不可避免地引发更多非计划停机，最终损害综合效率。针对性的结构优化、关键部件的精度升级以及全过程质量管控，构成了提升大型工业设备作业效率的有效三位一体策略，三者分别从“强身健体”、“舒经活络”和“防微杜渐”的角度共同保障设备长期稳定运行。将故障分析转化为预防性改进，是持续提升设备管理水平的根本路径，本案例通过对多项目故障数据的共性分析，识别出设计与制造中的系统性缺陷，并以此驱动产品迭代升级，这种基于实证的优化模式具有推广价值。展望未来，焦炉机械作业效率的提升还应聚焦于以下方向：智能化运维，如在推焦杆连接处加装应力与振动传感器，实现设备状态的实时监测与预测性维护，变被动维修为主动干预；数字化双胞胎，即建立关键部件数字模型，通过仿真计算不同载荷下的应力分布，在设计阶段预测并优化潜在薄弱环节，从而缩短研发周期、提高设计成功率；全生命周期管理，通过打通设备从设计、制造、安装、运行到维护的全流程数据，构建统一的效率分析与决策支持平台，实现效率提升的闭环管理。总之，本次 RJ70 推焦杆的优化实践表明，只有将技术改进与质量管理深度融合，才能从根本上解决制约作业效率的瓶颈问题，推动焦炉机械装备技术向着更高效、更可靠、更智能的方向持续发展。

参考文献

- [1] 梁淑蓉. 智能化焦炉机械设备电气系统特点探究 [J]. 山西冶金, 2025, 48 (07): 238-239+259. DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1167/2025.07.083.
- [2] 咎美英. 焦炉机械四大车的稳定运行研究 [J]. 机械管理开发, 2025, 40 (07): 289-290+326. DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1134/2025.07.103.
- [3] 贺小龙. 基于参数改进的井下双滚筒装煤机性能优化研究 [J]. 机械管理开发, 2025, 40 (03): 161-163. DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1134/2025.03.056.
- [4] 张煜. 焦炉车辆的结构和功能以及发展前景分析 [J]. 山西冶金, 2025, 48 (03): 114-116. DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1167/2025.03.039.
- [5] 张博, 薛天英. 基于数据分析的焦炉机械故障预测与诊断系统研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2025, 61 (03): 45-48. DOI:10.16107/j.cnki.mmt.2025.0154.