

Analysis of the Cause of Tension Fluctuation and Control Optimization of the Repeatedly Unwinding Unit

Haiyang Wang

Shandong Iron and Steel Group Rizhao Co., Ltd., Rizhao, Shandong, 276800, China

Abstract

Tension fluctuations in continuous rolling mills are critical factors affecting both operational stability and product quality. This study investigates the underlying mechanisms of tension variations through equipment, process, control, and material dimensions. Analysis reveals that insufficient equipment precision, process parameter deviations, delayed control system response, and material performance fluctuations are primary contributing factors. Based on these findings, the research explores control system response mechanisms and feedback strategies, while identifying existing optimization opportunities. By integrating production data and engineering practices, the paper proposes an optimized control model to enhance dynamic compensation capabilities, upgrades automated systems to improve response speed, and modifies key component performance to strengthen equipment stability. These targeted measures aim to effectively suppress tension fluctuations, reduce strip breakage risks, and provide theoretical support and technical references for achieving efficient and stable operation of continuous rolling mills.

Keywords

Tandem reactor; Tension fluctuation; Control system; Process optimization; Stability enhancement

连退机组张力波动原因分析及控制优化

王海阳

山东钢铁集团日照有限公司, 中国·山东日照 276800

摘要

连退机组张力波动是影响其稳定运行与产品质量的关键因素。本文针对该问题,从设备、工艺、控制及材料维度剖析了张力波动的深层机理。分析表明,设备精度不足、工艺参数失调、控制系统响应滞后及材料性能波动是主要诱因。在此基础上,探讨了控制系统的响应机制与反馈策略,并指出了当前存在的优化空间。结合生产数据与工程实践,提出了优化控制模型以提升动态补偿能力,升级自动化系统以提高响应速度,并改进关键部件性能以增强设备基础稳定性。这些针对性措施旨在有效抑制张力波动,降低断带风险,为连退机组实现高效、稳定运行提供理论支撑与技术参考。

关键词

连退机组; 张力波动; 控制系统; 工艺优化; 稳定性提升

1 引言

连退机组作为钢铁企业中典型的连续式生产设备,在实现板带钢的组织均匀化与性能提升方面发挥着重要作用。机组内部的带钢传递过程依赖多个机架、卷取区与活套区的协同运行,张力调控贯穿整个生产流程,其稳定性决定了带钢在机组内的受力状态及形变过程。一旦张力出现波动,会直接干扰带钢运动节奏,使工艺区温度分布、变形抗力与冷却效率发生变化,引发产品缺陷甚至设备故障。因此,如何准确识别张力波动的来源、理解其传播机制,并构建高效的调控模型,是提升连退机组自动化水平的重要课题。尽管已有研究从机理建模、自动控制和工艺匹配等角度提出多种方

案,但在实际生产中仍普遍存在响应滞后、调节精度不足及设备耦合干扰较强的问题,使张力控制难以达到理想效果。基于此,本文系统分析连退机组张力波动产生的关键因素,并结合控制理论与工程应用探讨优化路径,以促进设备运行的可靠性和生产一致性的全面提升。

2 连退机组张力波动的主要影响因素

2.1 设备结构与机械系统特性对张力的不稳定影响

连退机组由多个机架、活套、传动辊及张力辊组成,机械系统的刚度、惯性和传动间隙对张力稳定具有直接影响。当传动系统中存在间隙或齿轮磨损时,带钢在速度调节过程中产生瞬时响应差异,进而引发张力跳变。部分老化设备由于轴承间隙增大或连接部件松动,会导致带钢在运动过程中出现微循环变速,使张力呈周期性波动。此外,活套区作为缓冲带钢长度变化的重要结构,对张力稳定具有关键作

【作者简介】王海阳(1996—),男,中国辽宁沈阳人,本科,助理工程师,从事材料成型及控制工程研究。

用,活套高度调节不稳定或响应迟滞均可能使张力在短时间内快速偏离设定值。辊面磨损、润滑条件恶化或辊径变化亦会影响轧制速度一致性,使辊间带钢受力分布出现不均衡,从而加剧张力波动。设备结构因素的复杂性决定了张力波动往往呈现多源叠加的特征,需要在精细化设备管理与实时监测中同步解决^[1]。

2.2 工艺参数变化与带钢物理特性对张力的影响

连退机组内部的温度分布、带钢厚度变化、冷却速度及加热工艺均会对张力产生显著影响。带钢进入不同温区后,其弹性模量与热膨胀系数发生变化,若控制模型未充分考虑温度变化对材料力学性能的影响,则实际张力会偏离设定值。带钢厚度的小幅变化也会导致受力差异,在轧制速度不变的情况下产生张力失衡。此外,钢材内部组织不均或表面摩擦条件的变化会使其在机组中的运行阻力发生轻微波动,张力随之改变。退火气氛控制、炉内压力波动及卷取张力设定的变化也会引起整体张力链的调整,使波动呈现连续性和累积性。工艺参数的变化大多与材料本身特性耦合,使张力控制需要融合材料模型与实时检测数据,以避免过度依赖经验调节。

2.3 自动控制系统的响应性能与干扰因素

连退机组张力控制依赖速度控制系统、张力反馈系统及活套调节系统的协同工作,自动控制系统的精度直接决定张力的稳定性。在实际运行中,反馈信号存在采样延迟、传感器漂移或噪声干扰,导致控制系统无法及时对张力偏差作出准确调整。当控制算法对扰动变化的敏感度不足时,系统会呈现滞后补偿,从而引发二次波动。同时,复杂的生产工况中常存在多变量耦合,如速度调整影响活套状态、材料温度变化影响张力反馈,使控制模型在高动态条件下难以保持稳定。设备之间信息交互不充分、控制器参数未根据实际生产进行自适应优化,也会减弱调控效果,使张力在较长时间内处于非稳定区间。由此可见,控制系统的响应特性与模型适应性是张力稳定控制的核心环节。

3 张力波动的传播规律与系统耦合分析

3.1 张力波动沿带钢传递的链式反应机制

当某一工位出现速度波动、摩擦变化或材料参数突变时,张力偏差会沿带钢方向迅速传递,并在多个工位之间形成链式扰动。由于连退机组为连续传输设备,各工位之间的应力变化具有空间关联,局部张力的改变往往引发相邻区域的同步调整,使整体张力场呈现连续波动的特征。若系统无法及时消除该扰动,波动会在带钢内部积累并进一步放大,最终导致难以控制的张力失稳。不同传动区间的惯量差异、活套缓冲能力及张力反馈延迟等因素都会影响波动的传播速度与幅度,使波动呈现复杂的动力学特征。理解波动传播规律,有助于在控制策略中加入预测性调节,以抑制扰动在全线上扩散。

3.2 张力与速度控制之间的耦合关系

连退机组的速度控制与张力调节具有显著耦合特性,速度变化会直接影响带钢在各区域的受力状态。若速度控制系统对扰动响应不足,速度微变会转化为张力突变,并在不同速度段之间形成非线性耦合。此外,工艺温度、钢带刚度与辊间摩擦条件变化都会通过影响速度匹配,使张力难以维持在设定范围内。活套的加入虽然具有缓冲作用,但在控制系统滞后的情况下,活套高度变化会反向放大速度扰动,使张力波动更加复杂。速度-张力耦合的多变量特性决定了控制系统需采用模型化协同调节策略,而非简单依赖独立反馈回路^[2]。

3.3 张力控制系统中反馈与前馈机制的动态失衡

张力控制通常依赖反馈调整与前馈补偿的组合,但两者之间若缺乏协调,会引发动态失衡。反馈控制具有稳定性好、能自动修正偏差的优势,但其在高速工况下的响应速度有限,存在天然滞后。前馈控制可提前对工艺变化进行补偿,但依赖预测模型的准确性,一旦模型误差加大,补偿量会直接形成扰动源。在实际运行中,反馈调节过于敏感会造成系统频繁震荡,过度平滑则会削弱控制能力。前馈补偿若与反馈矫正存在相位差,张力调节曲线会出现明显波动,这也是连退机组张力不稳定的常见原因之一。动态失衡的本质是控制策略缺乏对复杂扰动的全局协调,需要通过优化控制结构来实现两者的融合匹配。

4 张力波动控制策略的优化方向

4.1 基于精细化建模的张力调控优化路径

要提升张力控制效果,必须构建更贴合实际工况的动力学模型,包括带钢弹性模型、速度-张力耦合模型及传动系统惯量模型等。传统模型对工况变化的适应性有限,而精细化建模可将温度变化、带钢材质差异及设备磨损情况纳入变量,使控制参数随工况实时更新。结合数据驱动算法,可构建具有自适应特性的混合模型,从而提升预测能力与动态补偿精度。在模型基础上,通过参数辨识技术实时校正关键控制量,使张力控制系统对扰动具有更强的抵抗力。建模精度的提升不仅有助于提高控制性能,也为故障预测与设备健康管理奠定基础。

4.2 自动控制算法的升级与智能化发展

连退机组张力控制已逐步从传统PID调节向智能控制算法转变。通过引入模糊控制、自适应控制或模型预测控制(MPC),系统能够根据实时反馈自动调整参数,提高对非线性扰动的处理能力。尤其是MPC,可在未来时间窗口内预测张力变化趋势,提前进行调节,使系统能在复杂工况下保持稳定。此外,结合大数据与深度学习技术,可对影响张力的多源数据进行融合分析,构建智能化调控模型,实现对波动源的精确识别。随着工业互联网技术的发展,控制系统可通过边缘计算实现高速响应,使自动化水平显著提升。

4.3 关键设备性能提升与系统协同优化

除了控制系统优化,设备本体性能提升同样重要。提高辊系刚度、优化传动链结构、改善润滑条件可显著降低机械扰动源。活套系统的响应速度与调节精度直接决定张力缓冲能力,可通过升级伺服系统与采用高精度传感器提高其有效性。在系统级优化中,通过对各工位速度设定进行协调,使速度分配更符合理想张力曲线,有助于减少耦合扰动。工艺系统(温度、气氛、冷却速度等)与控制系统的协同管理亦能增强整体稳定性,使张力控制更具预见性与全局性。通过设备性能与自动控制的双向优化,可显著提升机组运行的连续性与一致性。

5 连退机组张力控制优化的工程实践路径

5.1 基于实时监测的动态调整机制构建

构建高效的实时监测系统是连退机组张力控制优化的核心环节。在连续化生产环境中,张力变化常呈现快速性与隐蔽性并存的特点,仅依靠传统周期性采样难以实现有效调控。因此,在关键工位布置高精度张力传感器、速度监测装置与位移采集模块,可实时捕捉带钢受力状态,为判断波动趋势提供高频数据支持。通过建立实时监测平台,实现数据采集、解析与可视化的即时处理,使操作者能够及时识别潜在异常。在此基础上,构建动态调整机制,使控制系统能够依据实时张力偏差自动修正速度匹配、活套高度或辊速分配,从而避免波动在传输链中扩散。同时结合工业数据库开展历史波动特征分析,可识别出具有规律性的扰动源,并通过数据模型构建预测端口,使系统具备前瞻性调整能力^[3]。实时监测与动态调节系统的融合不仅提升张力控制的敏捷性,也为后续智能化控制奠定数据基础。

5.2 工艺参数协调与多维度协同管理

连退机组张力控制与工艺区运行具有高度耦合性,工艺参数的稳定性直接影响材料在传输过程中的受力状态。因此,有必要将温度控制、气氛调节、冷却速度及带钢物理性能管理纳入张力调控体系,从系统层面实现协同优化。温度波动会导致材料弹性模量与延伸特性的改变,若不及时调整张力设定值,往往会引发受力突变。通过实时监测炉温与带钢表面温度,可动态修正张力控制区间,使带钢在不同温度段均处于合理应力水平。此外,不同钢种因组织结构和成形特性不同,张力设定条件应随钢种变化而调整,以提升控制的针对性与可靠性。冷却策略、气氛组成及炉压变化亦可能对运行阻力产生影响,因此需要建立多维度工艺协同机制,

减少外部扰动对张力系统的冲击。稳定的工艺区运行不仅有助于确保材料性能的一致性,也为空间与时间维度上的张力稳定提供重要保障。

5.3 基于预测性维护的设备管理模式

设备因素是引发张力波动的重要隐性来源,尤其是辊系磨损、轴承间隙增大及传动系统衰减均会在无明显外部表现的情况下影响张力稳定性。因此,构建基于预测性维护的设备管理模式尤为关键。通过布置振动监测装置,可捕捉辊系运行平稳度变化;利用热成像技术能够识别轴承及传动构件的异常热分布;噪声分析则有助于判断传动链磨损程度。上述监测结果可输入健康评估模型,预测潜在故障的发展趋势,使维护活动从“事后修复”转向“事前干预”。在此基础上,建立设备健康档案,对关键部件如活套系统、驱动电机、张力辊进行周期性评估,根据磨损趋势制定最优检修周期,避免设备性能下降造成的张力扰动^{[4][5]}。预测性维护模式不仅提升设备运行效率,还能显著降低因故障导致的张力失稳风险,为连退机组长期稳定运行提供可靠的工程保障。

6 结语

连退机组张力波动的形成与设备结构、材料特性、工艺条件及控制策略等多因素密切相关,其复杂性使张力控制成为生产过程管理的核心难点。通过对波动来源、传播规律及系统耦合特性的深入分析,可为控制策略优化提供方向。随着建模技术、智能控制算法及设备监测能力的不断提升,连退机组张力调控正向精细化、智能化方向发展。未来,建立基于大数据驱动的控制体系、完善设备健康管理机制、推动工艺与控制协同优化,将是提升机组稳定性的重要路径。通过持续的技术迭代与工程实践,连退机组有望实现更高水平的稳定运行,为钢铁企业提升产品质量与生产效率提供坚实保障。

参考文献

- [1] 唐智雁,李辉.宝钢1220mm连退机组炉内张力控制系统研究[J]. 宝钢技术,2016,(02):25-30.
- [2] 李洁,庄严,孙燕京,等.冷轧连退机组光整机张力波动的解析[J]. 自动化博览,2013,30(06):82-85.
- [3] 常生财,吕庆秋,赵志坚.连退机组炉区张力控制的研究与应用[J]. 设备管理与维修,2022,(17):20-23.
- [4] 孙晓梅.冷轧连退机组张力控制与应用[J]. 信息记录材料,2021, 22(11):119-120.
- [5] 肖至勇,俞鸿毅,崔熙颖.连退机组入口活套张力控制与位置控制方法研究[J]. 机械工程与自动化,2020,(01):139-140.