

六辊可逆冷轧机卷筒典型故障分类分析与控制措施

韩子傲¹ 薄 健¹ 蔡一鸣² 韩巧凤¹ 马 跃¹

1.攀钢集团沈阳钛金属新材料有限公司 辽宁 沈阳 110108

2.鞍钢栗田(鞍山)水处理有限公司 辽宁 鞍山 114000

【摘 要】：六辊可逆冷轧机卷筒是钛带生产的核心卷取设备，集机械涨缩、钳口夹紧、高速旋转、液压驱动于一体，结构精密、交变载荷复杂、运行工况严苛。生产过程中卷筒频繁出现扇形板变形、涨缩机构卡阻、钳口卡滞、卷筒主轴尾端断裂、液压缸内泄、高速旋转接头抱死等典型故障，造成机组非计划停机、带材表面缺陷、备件损耗增加等问题，严重制约产线稳定性与成材率。为实现卷筒设备精细化、预防性管控，本文结合六辊冷轧机组现场运行实际，对卷筒六大高频故障进行系统分类，逐一剖析故障机理与诱发因素，润滑优化、维保机制、隐患预判等方面提出针对性控制措施。实践表明，分类靶向治理可大幅降低卷筒综合故障率，消除重大设备隐患，延长备件使用寿命，实现提质稳产、降本增效，可为冷轧行业同类卷筒设备运维提供工程参考。

【关键词】：六辊可逆冷轧机；卷筒；涨缩机构；故障分类；设备维护

DOI:10.12417/2811-0722.26.08.068

引言

六辊可逆冷轧机凭借压下精度高、板形控制稳定、适配薄带轧制的优势，广泛应用于高端精密带材生产。卷筒作为核心卷取执行装置，依靠四棱锥楔形结构配合液压系统，完成扇形板涨缩、带头夹紧、高速卷取及卸卷作业。设备长期处于高张力、高转速、反复涨缩冲击、介质污染的复杂工况，机械磨损、疲劳累积、液压劣化、操作不规范等因素叠加，导致故障类型多、隐蔽性强、重复性高。传统运维多采用事后抢修模式，缺乏系统性故障归类与长效防控机制，导致卡阻、变形、渗漏、抱死等故障反复出现，不仅增加维修工作量与备件成本。基于现场长期故障跟踪与设备结构机理，本文对卷筒典型故障进行系统梳理分类，精准定位故障根源，建立成套可控、可落地、可固化的维护控制体系，提升卷筒设备运行可靠性。

1 卷筒结构及故障总体分类

1.1 卷筒主要结构组成

六辊冷轧机卷筒主要由四棱锥主轴、楔形锥套、扇形板组件、钳口夹紧机构、涨缩液压缸、钳口液压缸、高速液压旋转接头、主轴支撑轴承及密封油路系统组成。依靠液压推力驱动锥套轴向滑移，实现扇形板径向涨缩，配合钳口机构完成带头固定，满足可逆轧制连续卷取工艺要求。结构如图一所示：

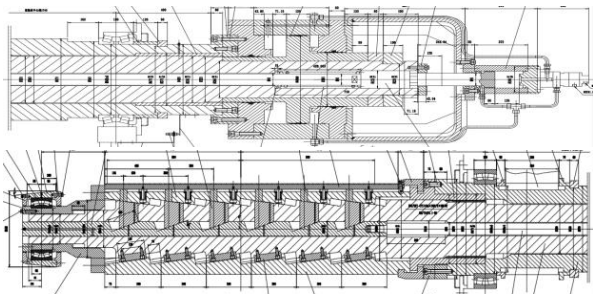


图1 卷取机结构图

1.2 典型故障分类

结合现场设备台账与检修记录，将卷筒高发故障归纳为六类：扇形板塑性变形、四棱锥涨缩机构卡阻、钳口开合卡滞、卷筒主轴尾端断裂、涨缩缸与钳口缸液压内泄、高速旋转接头过热抱死。各类故障相互关联、相互诱发，是影响机组稳定运行的核心短板问题。

2 典型故障成因分析

2.1 扇形板变形故障

扇形板为薄壁弧形承载部件，长期承受径向挤压、局部集中载荷与交变弯曲应力，是卷筒最易出现渐进式失效的部件。主要诱因包括：楔形锥套斜面磨损不均，接触面局部应力集中，造成扇形板中部外鼓、边缘翘曲；涨缩液压压力设定偏高、频繁点动冲击，加速材料疲劳变形；带头搭接区域厚度突变，长期局部压载形成板面凹陷缺陷；并且料带越薄在卷取过程中对卷筒的周向力和径向力就越大，卷筒扇形板变形越严重，扇形板变形直接导致卷筒真圆度超差、机组周期性振动、钢卷内筒压痕、塌芯松卷等质量与设备问题。扇形板变形开裂照片如图二。



图2 扇形板变形开裂照片

2.2 扇形板与四棱锥涨缩卡阻故障

涨缩滑梯卡阻属于高频机械故障，主要源于配合面磨损与润滑失效。长期运行后锥套与扇形板滑梯斜面润滑脂老化、干

结、掺杂金属粉末，形成干摩擦拉伤起槽；滑移面积聚油泥、铁屑杂质，阻碍锥套正常滑移；锥套偏磨、配合间隙紊乱，导致滑移轨迹偏移、局部干涉；扇形板变形翘曲，四块板面高低差超标，导向键与键槽干涉卡阻，涨缩过程出现机械卡死；最终表现为卷筒涨不开、收不回、行程不到位、运行异响等故障。四棱锥磨损、扇形块磨损、导向键卡阻如图三。



图 3.4 棱锥磨损、扇形块磨损、导向键卡阻

2.3 钳口卡阻故障

钳口机构承担带头夹紧固定功能，开合动作频繁、冲击负荷大。钳口滑槽积屑、造成滑动阻滞；销轴长期磨损间隙增大，开合动作偏心卡滞；钳口缸压力不稳定、保压性能差，导致开合行程不到位；长期磨损导致升降块、导柱配合精度下降，运动副干涉频发。由于升降块与导柱卡阻使钳口板受力不均匀从而导致钳口板断裂，钳口卡阻直接影响穿带作业，易出现带头打滑、卷取跑偏、无法正常卸卷，造成生产中断。升降块、导向轴磨损、钳口板断裂如图五。



图 5 升降块、导向轴磨损、钳口板断裂

2.4 卷筒主轴尾端断裂故障

卷筒轴头断裂属于重大恶性疲劳故障，风险等级高、停机损失大。主轴长期承受扭转交变应力、弯曲振动载荷，键槽、轴肩位置存在应力集中，微裂纹逐步扩展为疲劳断裂；扇形板变形导致卷筒偏心运转，高速旋转加剧轴头振动冲击；支撑轴承磨损松旷、支撑刚性不足，进一步放大主轴承载荷；违规超张力、超速度轧制，瞬时断带扭矩过载加速疲劳失效；主轴承加工残余应力、长期服役老化，降低结构抗疲劳性能。轴头断裂

可直接造成卷筒报废、机组停机，存在严重设备安全隐患。卷筒主轴尾端断裂如图六。



图 6 卷筒主轴尾端断裂

2.5 涨缩缸、钳口缸内泄故障

液压内泄属于隐蔽性高频故障，初期不易发现、后期影响极大。油缸活塞组合密封长期高压往复运动，出现磨损、老化、弹性衰减；液压油清洁度不达标，固体颗粒拉伤缸筒内壁与密封工作面；系统油温长期偏高，加速密封件老化失效；频繁压力冲击、启停脉动，造成密封疲劳损伤；油缸配合间隙磨损超标，保压腔容积泄漏增大。故障主要表现为涨缸掉压、扇形板自行回缩、钳口夹紧松动、动作滞后无力，严重影响卷取张力稳定性与生产连续性。密封圈损坏如图七。



图 7 密封圈损坏

2.6 高速旋转接头抱死故障

旋转接头是卷筒高速供油回油的核心精密部件，工况严苛、故障率高。高速运行摩擦副冷却润滑不足，局部温升急剧升高造成干磨卡滞；液压油杂质进入动静摩擦副，形成研磨磨损、卡死配合面；旋转接头密封渗漏、缺油运行，加剧摩擦副烧蚀；内部支撑轴承疲劳磨损、卡滞失效；安装同轴度偏差超标，高速旋转偏磨发热，最终导致接头抱死、油路中断、卷筒功能瘫痪。旋转接头抱死如图八。



图 8 旋转接头抱死

3 针对性控制与预防措施

3.1 扇形板变形防控

定期检测径向跳动、板面高低差、整体真圆度，微小变形及时垫片校正、修磨找平；固化涨缩系统标准压力参数，锁定

系统压力上限,杜绝人为超压;维保周期内对四棱锥滑移斜面进行清洗、精磨、换脂,保证贴合均匀、受力均衡;扇形板与主轴相接触的棱锥面进行研配,在 25x25 面积上接触率不少于 80%,优先选用二次去应力热处理工件,杜绝残余应力变形;优化头尾卷取张力过渡曲线,降低局部集中载荷。在生产过程中要求 1mm 及以下的薄料使用套筒进行卷取轧制。

3.2 涨缩机构卡阻治理

执行月度清理油泥、铁屑、旧脂,重新填充耐高温极压润滑脂;建立锥套、扇形板配对使用、配对更换制度,禁止新旧备件混装,保证配合间隙一致;优化设备控制程序,减少频繁涨缩点动操作,降低滑移冲击;建立磨损量化台账,达到磨损阈值及时修复或更换,从源头杜绝滑移卡滞故障。

3.3 钳口卡阻预防

开展钳口机构清洁保养,清除滑槽积屑、杂物,保证滑动顺畅;周期检查导柱、升降块磨损量,超差及时更换配件;定期标定钳口缸工作压力,校验保压性能,保证开合动作稳定;规范穿带操作,超厚料强行夹持,避免机械卡死;对钳口板进行材质工艺改进增加氮化处理,使其硬度达到 HV530-550。

3.4 卷筒主轴尾端断裂防控

建立主轴季度无损探伤机制,重点排查轴肩、键槽、轴头位置疲劳裂纹,实现隐患早发现早处置;严格执行轧制工艺参数,杜绝超张力、超速度超负荷运行;及时校正卷筒圆度缺陷,避免偏心高速运转产生振动冲击;卷筒直径 $\Phi 610$,在扇形板斜面紧贴主轴斜面时,其圆柱度为 0.03mm,对主轴 $\Phi 393f7$ 和 $\Phi 330f7$ 公共轴线的不同轴度为 0.08mm。周期更换支撑轴承,保证主轴支撑刚性、回转精度,降低交变疲劳载荷。对断裂处进行改进增加倒角减少应力集中,在满足设计要求前提下螺孔深度进行减小。断裂处改造如图 9。

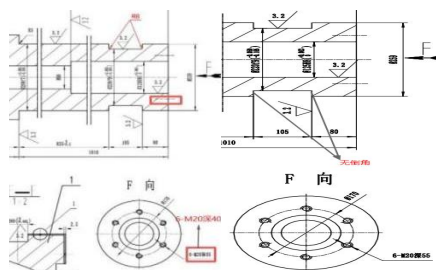


图 9 断裂处改造

参考文献:

- [1] 王健.冷轧卷取机卷筒故障分析与维护策略[J].工程技术研究,2023(11):65-67.
- [2] 李军.六辊可逆轧机卷筒涨缩机构卡阻故障治理[J].冶金设备,2024(02):89-91.
- [3] 张伟.液压旋转接头高温抱死原因及改进措施[J].设备管理与维修,2023(08):41-43.
- [4] 刘刚.冷轧机卷筒扇形板变形机理与预防对策[J].机械工程与自动化,2024(03):156-158.
- [5] 陈亮.轧机液压缸内泄故障分析与预判技术[J].冶金工程,2023(S2):77-79.

3.5 液压油缸内泄管控

严格执行密封组件周期更换制度,提前规避老化渗漏风险;加强液压油过滤与定期化验,严控油液颗粒度、水分、粘度指标,避免介质劣化拉伤油缸;优化冷却系统运行状态,控制油温在合理区间,延缓密封老化;建立油缸保压测试机制,定期检测保压压降值,提前预判隐性内泄故障。

3.6 旋转接头抱死防控

每次检修检查旋转接头进出油通畅性,保证摩擦副冷却润滑充足;杜绝偏磨发热;周期更换内部轴承与动静密封件,消除老化隐患;强化油液精密过滤,防止硬质颗粒进入摩擦副;开机前执行空载试转、温升检查,发现异响、发热异常及时停机处置,杜绝高速抱死事故。旋转接头材质上从钢-钢配对、改为钢-铜配对;摩擦副采用轴体钢材、壳体摩擦环选用铜合金材质,可以大幅度降低抱死概率;钢对钢最容易出现抱死、咬合粘死,坚决避免钢-钢摩擦副搭配,结合冷轧卷筒高速旋转接头工况,改进方案为钢轴-铜合金摩擦副(主轴 42CrMo 调质淬火,摩擦环选用锡青铜 ZCuSn10Pb1)。

4 应用效果

通过对卷筒六大典型故障实施分类识别、机理溯源、靶向治理、闭环管控,机组运维质量显著提升。卷筒综合故障率下降 85%以上,扇形板变形、机构卡阻、油缸内泄等重复性故障基本清零;彻底杜绝旋转接头抱死、轴头断裂等重大恶性停机事故;卷筒备件使用寿命大幅延长,检修频次显著降低;卷取圆度稳定、张力均匀,钛带塌芯、松卷等质量缺陷大幅减少,有效实现稳产提质、降本增效的管理目标。

5 结论

六辊可逆冷轧机卷筒故障诱因复杂、类型多样、耦合性强,传统单一维修模式无法实现长效治理。本文通过系统梳理扇形板变形、涨缩卡阻、钳口卡滞、轴头断裂、油缸内泄、旋转接头抱死六类核心故障,明确各类故障发生机理,建立覆盖机械精度、润滑保养、液压系统、工艺操作、隐患预判的成套防控体系。分类精细化管控模式贴合冷轧现场工况,投入成本低、治理效果稳定、可长期固化执行,能够显著提升卷筒设备运行可靠性,降低停机损失与备件消耗,对冷轧机组精密卷取设备的精益运维具有良好的推广应用价值。