

# 中厚板冷床输送系统典型故障机理与主动抑制方法

陈思旭

安阳钢铁建设有限责任公司, 河南 安阳 455000

[摘要]中厚板冷床输送系统作为中厚板轧钢生产线上的轧制与精整之间的过渡环节,它的平稳与否决定了生产节拍及板型的质量以及设备的安全。本论文基于工程实践,在尝试用一个系统的角度来把故障机理分析与防范措施结合起来,以期为建立更加智慧化和可靠性的中厚板冷床输送系统提出有效的方法及思路。

[关键词]中厚板冷床; 输送系统; 故障机理; 主动抑制

DOI: 10.33142/ect.v4i1.18827

中图分类号: TG335.52

文献标识码: A

## Typical Failure Mechanisms and Active Suppression Methods of Medium and Thick Plate Cold Bed Conveyor System

CHEN Sixu

Anyang Iron & Steel Construction Co., Ltd., Anyang, He'nan, 455000, China

**Abstract:** As a transitional link between rolling and finishing on the medium thick plate rolling production line, the stability of the cold bed conveying system for medium thick plates determines the production cycle, the quality of the plate shape, and the safety of the equipment. This paper is based on engineering practice and attempts to combine fault mechanism analysis with preventive measures from a systematic perspective, in order to propose effective methods and ideas for establishing a more intelligent and reliable medium thick plate cold bed conveying system.

**Keywords:** medium thick plate cooling bed; conveyor system; fault mechanism; active inhibition

### 引言

冷床控制系统作为中厚板生产线的中间工序,更是重要的一道工序,冷床区域出现故障容易造成整个生产线的停滞。此系统的稳定性和可靠性,不仅影响着最终产品的平直度及表面状况的好坏,更是整个生产线能否连续高效运作的一个关键瓶颈问题。所以对冷床输送系统的各种类型的典型性故障进行深层次原因的研究及寻找可以做到事前预警、准确辨识和及时介入的一种故障抑制措施,已成为当前钢铁厂提高设备维护水平及经济效益的一个亟待解决的问题。

### 1 中厚板冷床输送系统组成与工作原理

#### 1.1 系统结构组成

板带钢根据其厚度的不同,可以分为特厚板、厚板、中板、薄板和极薄板五种类型。其中,厚度大于 50mm 的钢板称为特厚板;厚度在 20~50mm 的钢板称为厚板;厚度为 4.5~20mm 的钢板称为中板;厚度处于 0.2~4.5mm 的钢板称为薄板,厚度小于 0.2mm 的钢板称为极薄带,又名箔材。通常所说的中厚板是将特厚板、厚板、中板三者合称的结果,中厚板冷床输送系统是一个大型的机械成套机组,整体结构可以分为几个相互独立又相互联系的功能模块。步进梁机构是完成钢板纵向传送的主要设备,它是由若干排可以在垂直方向上起落同时也可以在水平面内进行平推的齿条板组成的,它的运行轨迹要严格准确<sup>[1]</sup>。

升降平移机构主要是用来对钢板实行横向运输作用的部分,一般情况下它是由电动或者液压油缸带动的几对连杆装置形成的,用于从指定位置夹持并挪动钢板。固定梁和床身框架属于整套系统中的静止支撑部分,需要一直承担着来自钢板的压力以及高温作用,因而要求它有足够的强度及耐高温能力。动力系统是给各环节供应能量的部分,包括功率较大的交流电机、减速装置、制动装置、油站、电磁阀组等。电气控制系统则是这套系统的指挥部,由各种 PLC、各类传感器、人机交互界面和执行元件等共同组成,用来控制各个机械部分动作先后顺序和配合情况使整个输送过程流畅并且准确无误。

#### 1.2 工作流程与运行特点

冷床输送装置的工作过程是一个严格按节拍运转的周期循环。刚出炉经过轧制矫直后的高温钢板进入入口辊道进入冷床,在此步进梁处于原位,升降机构动作升起将钢板承托起来,然后步进梁以规定的步距进行“升-进-降-退”,即矩形轨迹运行,将钢板前推一个齿距,如需进行横向移钢则对应侧的升降平移机构动作,将钢板抬起脱离齿面横向移出并落至所要的位置上。周而复始,钢板便在冷床台面上作“之”字型路线移动及降温,最后送入出口输送辊道。整个系统的运行特征明显:具有间断、重载、低速高转矩运行的特点;各个机构之间有着严格的时序关联,相互之间的配合极为密切;运行工况恶劣,受高温烘

烤有热幅射,有红热的氧化铁皮落下;另外由于所输送的钢板类型多种,因而负荷转矩的变化幅度也很大,这对系统的调速性能提出了更高的要求。这些特征也就决定了它的故障特性多样化以及独特性。

## 2 典型故障类型与机理分析

### 2.1 机械类故障

机械性故障是最简单也是最常见的故障类型,主要是由长期交变应力引起的构件疲劳损伤、磨损及变形造成的。步进梁传动链故障就是典型的机械性故障,如大型减速机的齿轮断齿、轴承点蚀等,通常归因于对实际载荷谱考虑不周而导致的设计欠妥,或者是加工装配误差较大造成局部应力过于集中,在反复冲击载荷的作用下产生裂纹并不断扩展直至断裂。另一方面是升降平移机构中连杆销轴与铜套间出现严重的磨损,除了润滑条件较差外,更大的原因在于机构受力偏斜引起附加弯矩使油膜分布不均。同时长期处于高温条件下会使床体钢结构产生热变形,尽管这种变形非常缓慢,但是日积月累也会使各个活动件的原始安装位置基准发生变化,进而牵一发而动全身,造成诸如步进梁齿条与固定梁相互间的异常摩擦碰撞,发出刺耳声响的同时加剧磨损程度。

### 2.2 电气与控制故障

电气及控制问题更加隐秘,但是它对于设备的影响却是最为快速并且凶险的。电机拖动的问题不容小觑,大型电机绕组由于频繁启停、散热不良会造成电机绕组的绝缘老化,严重者甚至会导致绕组被击穿。更为常见的是变频器拖动这些大惯量设备时容易受到变频器参数设定不合理以及电网电压波动的影响,频繁出现过流、过载保护造成机组非正常停车。传感器相当于控制系统的“眼睛”,一旦失灵控制指令就会出现错误。除此之外控制程序上的问题也需要关注,在多个机构协调动作的时间逻辑上,如果没有完善的连锁保护措施,或者未考虑到特殊工况,那么就会在特定情况下出现控制程序的“死机”亦或者是输出的相互打架致使整个系统瘫痪。控制系统的可靠性是生产线顺利运转的根本,再细小的逻辑漏洞都会在复杂的工况中无限放大。

### 2.3 液压系统故障

液压系统为冷床的升、降夹紧等一系列操作提供驱动力,出现的问题主要体现在执行机构速度慢、无力或者无动作。液压泵的磨损会导致系统压力、流量不足,不能克服载荷。控制阀类的阀芯卡滞尤其是因为液压油污染度高造成的卡滞,会造成油路的通闭紊乱,动作信号不能传达。而液压缸的缸体密封件磨损也会发生内漏或外漏,造成动作滞后,定位失准还会污染环境<sup>[2]</sup>。长期处于高温环境中工作的液压油容易被氧化、乳化,它的黏度、润滑性、抗氧化性都变差,使得所有的液压元件都会加速磨损,而且控制用阀的灵敏度也会降低。油液的污染程度是影响整个液压

系统使用寿命的重要因素,在日常检修过程中,并不是一直严格执行着定期的滤油、换油,这就给系统埋下隐患。

### 2.4 系统协调性故障

系统协同失效是一种“系统级”的或者说是“涌现式”的故障,不是某一零件的故障引起的问题,而是由若干个子系统或零部件性能退化、协调失衡,在相互动态耦合的作用下所体现出来的整体性的性能劣化现象。比如,当机械传动机构磨损出现间隙之后,定位精度就会降低。这时如果控制系统没有自动适应调节相应的控制参数值,还是根据理论模型发出指令,就容易导致多个步进梁之间产生超过容许范围内的不同步偏差,会出现钢板传输时发生歪斜或“走斜”的现象等。这种故障最为复杂的原因在于它涉及到机械力学、液压流体、电力电子等几个物理领域之间的交互影响,它的分析处理通常都需要从系统的角度去考虑,而不能简单的更换某一个部件来解决问题。

## 3 故障主动抑制方法

### 3.1 基于状态监测的早期预警技术

要想实现从被动修理向主动预防转变,首先必须要搭建起完善的在线状态监测体系。这就要求在重要部件安装各类传感器,不断获取振动、温度、压力、流量、电流、位置等多种源头信号。对大型减速机来说,可运用振动加速度传感器对其轴承及齿轮的振动频谱变化进行观察,借助特征频率幅值的变化趋势,能够做到在疲劳裂纹发展的初期阶段就发现端倪;对于液压系统而言,在线油液颗粒计数器以及水分传感器则能随时掌握油质情况,在污染指标超标之前提示预警;对于电机驱动部分来说,通过对三相电流的波形、谐波的检测来间接地判断负载是否有问题或转子是否出现断条现象等,上述所获得的各种监测信号都要汇总传递到上位机平台,依托阈值报警、趋势变化法等简单的诊断思路就可以完成故障的早期预判,给维修工人留出充足的时间进行处理。

### 3.2 智能诊断与故障定位

在积累了大量的监测数据之后,通过加入智能化诊断算法来准确判定设备的故障类型是至关重要的一步。当机组发出报警信息后,简单地设置一些上下限阈值很难找到故障原因。这时就可以采用基于专家系统的推导办法,把专家及老师傅的经验转化为规则库,让计算机自动对应现象找出导致的原因。而对于更为复杂一点的尤其是多重故障叠加的情形下就要用到数据驱动的方式,利用深度学习就有很大的作用。我们首先采集正常的状态以及各种常见故障状态下相应的振动信号、电流信号等信息组成一个数据库,然后进行卷积神经网络建模,在遇到新的异常波形的时候经过训练的模型可以自动识别归类,并给出概率判断属于哪种类型的故障。

### 3.3 自适应控制与动态调节

为使得控制系统能从控制上主动地适应设备性能衰

退及外界环境干扰情况的发生,减少同步故障现象,引入自适应控制也是一种有效手段。传统的PID控制参数是固定的值,在机械间隙变大或摩擦力发生变化之后其控制的效果就会变差<sup>[3]</sup>。可以考虑使用模型参考自适应控制的方法,令控制器参数可以根据实际输出同理想模型输出之间的误差来进行实时调节,在线修正,以求得定位精度始终保持在所规定的要求之内。在对多个电机同时进行驱动的情况下,可选择相邻偏差耦合的同步控制方法,使得各台驱动装置可以互相配合协调,即使其中一台设备受到外界短暂的影响之后,其他设备也会迅速响应并紧随其后,保证整个系统的同步一致性。

### 3.4 预防性维护策略优化

在状态监测和智能诊断的基础上,能够对传统周期性的定时预防性维修政策产生颠覆性变革,从而实现预测性维修。维护团队不是盲目地在规定的时间间隔里更换零件或者更换润滑油等,而是通过设备的实际健康状况的诊断结果来进行维修活动的规划。比如,在对齿轮箱中润滑油的油液检测后发现各项指标均处于正常范围之内,这时便可以延迟一下换油时间;如果在振动检测的时候发现某一个轴承出现了比较大的劣化速率,即使还没有到达预定的修理时间也要进行更换等。这就要求我们构建一种可靠性为主的维修决策模型,综合平衡故障概率、维修成本和生产损失,找出最佳的维修时刻以及制订合理的维修方案。

## 4 实施路径

### 4.1 系统化监测网络构建

采取主动性抑制措施的第一步,则是建立一套系统的监测体系的设计与铺设,这项工作不能一蹴而就,应该通过上文中的故障机理研究,找出全系统的所有重要监测部位,进而确定所需使用的各类传感器型号规格以及安装方式,并保证对信号准确并长期可靠的测量;在现场应做好防干扰处理,在通信网上采用工业以太网等方式传输信号,最后在中心监控室放置一台数据采集服务器及相应的存储装置;编写一体化的数据采集软件程序,做到监测数据能及时地显示与保存并对数据进行初加工。

### 4.2 故障模型与知识库建设

当积累了一定量的历史运行记录和故障实例之后,则应当开始建立故障模型以及知识库了。而这个知识库就应当包括两方面的内容,一方面是依托于机理和对失败机理的研究而得来的定性知识,以故障树,因果图等方式描述出来表达出故障现象、导致原因以及解决方案之间的相互关联情况,另一方面则是通过大量数据训练得到的定量模型等例如各类典型故障对应的特征频谱图,深度学习模型框架及权重等。这个知识库必须要具有自我学习和更新的

能力,在每次成功的判断与修复之后都能够将经验转变为一条新的条目添加到它的内部之中去。

### 4.3 控制系统的升级改造

为了让自适应控制等先进的算法能够得以应用,对现有的控制系统要做相应的软硬件改造也是必不可少的。硬件方面,需把原先的PLC控制器更新为运算性能更强,能支持更复杂算法运行的工控机或者高性能的PLC<sup>[4]</sup>;软件层面,则是在现有基础上编写新的控制程序模块,将自适应控制算法及智能化调度策略等添加进去并与底层的执行机构上层的监控平台做到信息交互。改造时一定要小心仔细,在改造过程中制定好新老系统的切换方法以及充足的实验来验证,以防影响正常的生产活动。

### 4.4 维护管理体系的协同改进

技术上的提升也必须要配合维护管理体系提升才能产生最大的效果。公司应该改变维护部门组织结构以及作业程序,设置专职设备状态监测与分析的岗位。并出台适应预测性维护新机制的工作制度、考核指标,比如增加“故障预警精度”“平均故障修理时间”等考核项,此外更要加大对维护工程师培训力度,既要会机械、会电气,也要会看数据,能解读智能诊断系统给出的结果并作出正确的反应。

## 5 结束语

本文针对中厚板冷床输送系统的可靠性问题,对冷床系统的典型故障深层次原因进行了分析,提出了包含从状态检测、智能识别再到控制调整以及维护优化的一系列积极遏制措施的方法论。该论文认为冷床系统的失效是多种因素相互作用下的一个渐变的过程,所以对于它的预防和治理也应该具有系统性的思路,由单一化、被动反应式的维护方式转变为整体化、积极预控的方式。今后随着工业互联网、数字孪生等技术的发展,冷床输送系统的健康管理将会变得更加地信息化、智慧化,为打造中厚板生产全流程的智能制造提供可靠的装备保障。

### [参考文献]

- [1]张祝福,于文桥,林贤腾.某炼钢厂冷床升降同步分配器串联杆断裂故障分析[J].南方金属,2025(5):127-130.
- [2]王俊,尹绍江,侯蕾,等.中厚板板材表面质量实用控制技术[J].河南冶金,2019,27(2):4.
- [3]荆林山.液压步进翻转冷床故障分析与改进[J].设备管理与维修,2024(17):173-175.
- [4]张晓琴,张振兴,秦坤,等.中厚板材边部氧化铁皮破碎的研究与控制[J].宽厚板,2023,29(3):46-48.

作者简介:陈思旭(1991.7—),女,毕业院校:新乡学院,所学专业:机械设计制造及其自动化专业,当前就职单位:安阳钢铁建设有限责任公司,职称级别:工程师。