

超高压电缆立塔挤塑设备运行稳定性提升研究

翟西贝

(特变电工山东鲁能泰山电缆有限公司, 山东 泰安 271219)

摘要 超高压电缆立塔挤塑设备是超高压电缆绝缘层、护套层成型的核心装备, 其运行稳定性直接决定电缆产品的偏心率、绝缘性能等关键指标, 与电缆生产效率、产品合格率及电网输电安全密切相关。本文从硬件结构优化、工艺参数精准调控、智能监测预警三个维度探讨提升立塔挤塑设备运行稳定性的技术路径, 通过硬件升级、参数优化、智能赋能的协同措施, 解决设备运行中的温度波动、张力不均、挤出偏芯等问题, 推动超高压电缆立塔挤塑设备的长期稳定运行。

关键词 超高压电缆; 立塔挤塑设备; 运行稳定性; 工艺参数; 智能监测

中图分类号: TM8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.10.001

0 引言

随着我国特高压电网建设的持续推进, 对超高压电缆的生产精度和效率提出了更高要求, 立塔挤塑设备的运行稳定性成为制约电缆制造企业发展的关键因素。传统设备稳定性提升多依靠事后维修和人工经验调控, 难以适应超高压电缆精细化、连续化的生产需求。基于此, 从硬件、工艺、智能监测、运维管理多维度开展立塔挤塑设备运行稳定性提升研究, 构建“预防为主、精准调控、智能预警、规范运维”的设备管理体系, 是保障超高压电缆生产质量、推动电缆制造业高质量发展的重要举措。

1 基于硬件结构优化的设备稳定性提升技术

1.1 核心部件精准选型与升级

立塔挤塑设备的挤出机螺杆、模头、温控模块、张力传感器是决定挤出精度和运行稳定性的核心部件, 针对传统部件存在的耐磨性差、测量精度低、抗干扰能力弱等缺陷, 进行精准选型和升级改造^[1]。传统螺杆采用普通合金钢材质, 在高温熔融 XLPE 原料的过程中易出现磨损、塑化不均问题, 更换为双金属合金螺杆, 其表面硬度达 HRC60 以上, 耐磨性提升 3~5 倍, 同时优化螺杆螺距和长径比, 提升原料塑化均匀性, 避免因塑化不均导致的挤出压力波动。在模头结构优化中, 采用可调式偏心模头替代传统固定模头, 通过模头内部的调节螺栓实现对挤出间隙的微米级调控, 有效解决导体偏芯问题, 将电缆绝缘层偏心率控制在 1% 以内, 远优于国标 3% 的要求。在温度控制方面, 将传

统热电偶温控模块替换为光纤光栅温度传感器, 其测量精度达 ± 0.1 °C, 不受电磁干扰影响, 适用于挤出机料筒、硫化管等多区域的精准温控; 在张力测量方面, 选用高精度拉压力传感器, 量程比达 100:1, 实时监测导体放线张力, 避免因张力突变导致的导体偏移。

1.2 传动与张力系统结构优化

立塔挤塑设备的传动系统和张力系统是保障设备连续稳定运行的关键, 传统系统存在传动间隙大、张力调节滞后等问题, 通过结构优化实现传动同步性和张力稳定性的提升。挤出机主传动采用永磁同步伺服电机替代传统异步电机, 配合高精度行星减速器, 传动效率提升至 95% 以上, 转速波动控制在 ± 0.5 r/min 以内, 实现挤出量的精准控制; 放线/收线系统采用多电机同步传动模式, 每个放线盘独立配置伺服电机, 通过电气同步控制实现多导体放线的张力同步^[2]。在导体放线环节增设双级张力缓冲装置(如图 1 所示), 通过机械缓冲配合电气闭环控制, 吸收放线过程中的张

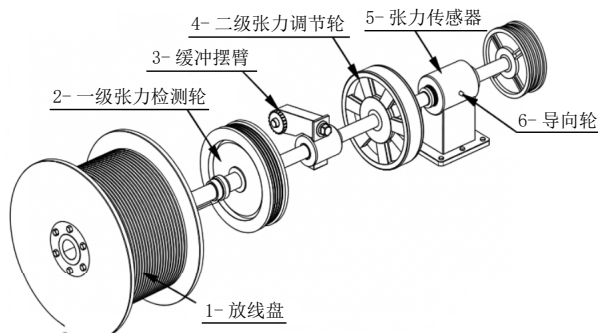


图 1 立塔挤塑设备双级张力缓冲装置结构示意图

作者简介: 翟西贝(1990-), 男, 本科, 研究方向: 电力工程。

力突变,将张力波动控制在 $\pm 5\text{ N}$ 以内;同时在立塔牵引环节采用恒张力牵引装置,实现电缆在交联固化过程中的匀速牵引,避免因牵引速度不均导致的绝缘层厚薄不均。

1.3 关键系统冗余配置设计

为避免因单点故障导致的设备停机,针对立塔挤塑设备的供电系统、温控系统、核心控制器采用冗余配置,构建“故障—安全”型硬件架构,提升设备的容错能力。通过配置UPS不间断电源与工业市电双路供电,设置自动切换装置,切换时间 $< 10\text{ ms}$,当市电中断时,UPS电源无缝衔接,确保设备控制系统、传感系统的连续供电,避免因突然断电导致的原料碳化、模头堵塞。在挤出机料筒、硫化管等关键温控区域采用双传感器冗余配置,当其中一个传感器失效时,系

统自动切换至备用传感器,同时发出报警信号,确保温控精度不受影响。设备主控制器采用PLC双机热备模式,主控制器正常运行时执行控制逻辑,备用控制器实时追踪主控制器的运行数据和状态,当主控制器故障时,系统无扰切换至备用控制器,保障设备连续运行^[3]。

2 基于工艺参数精准调控的设备稳定性提升技术

2.1 挤塑工艺参数分区优化

立塔挤塑工艺分为原料塑化、挤出成型、交联固化三个核心阶段,各阶段的工艺参数需根据电缆截面规格、原料特性进行分区优化,制定标准化的参数区间。以XLPE绝缘料超高压电缆($1\ 200\sim 2\ 000\text{ mm}^2$)生产为例,确定各阶段核心工艺参数的优化区间,如表1所示。

表1 超高压电缆立塔挤塑核心工艺参数优化区间

工艺阶段	核心参数	1 200 ~ 1 600 mm ² 电缆	1 600 ~ 2 000 mm ² 电缆	调控要求
原料塑化	挤出机料筒一区温度	55 °C	50 °C	波动 $\pm 1\text{ °C}$ 以内
	挤出机料筒二区温度	86 °C	86 °C	波动 $\pm 1\text{ °C}$ 以内
	挤出机料筒三区温度	98 °C	98 °C	波动 $\pm 1\text{ °C}$ 以内
	挤出机料筒四区温度	120 °C	124 °C	波动 $\pm 1\text{ °C}$ 以内
	模头温度	133 °C	135 °C	波动 $\pm 0.5\text{ °C}$ 以内
挤出成型	挤出机螺杆转速	15 ~ 18 r/min	12 ~ 15 r/min	转速稳定 $\pm 0.5\text{ r/min}$
	挤出压力	0.8 MPa	1.0 MPa	波动 $\pm 0.05\text{ MPa}$ 以内
	导体放线张力	80 ~ 100 N	100 ~ 120 N	波动 $\pm 5\text{ N}$ 以内
交联固化	硫化管一区温度	345 °C	350 °C	波动 $\pm 2\text{ °C}$ 以内
	交联压力	0.8 MPa	1.0 MPa	波动 $\pm 0.05\text{ MPa}$ 以内
	牵引速度	1.2 ~ 1.5 m/min	1.1 ~ 1.3 m/min	速度稳定 $\pm 0.05\text{ m/min}$

从表1可见,不同截面规格的电缆,其塑化温度、挤出压力、牵引速度等参数存在明显差异,通过分区优化,使工艺参数与电缆生产需求精准匹配,避免因参数统一导致的设备运行负荷不均、产品质量波动。同时,在原料塑化阶段,XLPE绝缘料的熔融指数控制在 $1.65\sim 1.7\text{ g}/10\text{ min}$ (138 °C 测试条件),确保原料塑化均匀性,为挤出成型奠定基础。

2.2 基于PID智能整定的参数调控

PID控制是立塔挤塑设备参数调控的核心算法,传统PID参数采用人工经验整定,存在整定效率低、适应性差的问题,易导致参数调控滞后、系统振荡。引

入基于模型预测控制(MPC)的PID智能整定算法,实现工艺参数的自适应调控。以挤出温度、挤出压力、牵引速度为被控对象,通过采集设备历史运行数据,构建被控对象的数学模型,预测参数变化趋势。基于模型预测控制算法,在全局范围内搜索最优PID参数组合,根据设备运行工况的变化实时调整PID参数,提升参数调控的响应速度和精度。

2.3 多参数协同调控策略

立塔挤塑设备的运行是多参数协同作用的过程,单一参数的优化难以实现设备整体稳定性的提升,需构建多参数协同调控体系,实现温度、压力、速度、

张力的联动控制。通过数据分析明确各参数之间的耦合关系,如挤出机螺杆转速与挤出压力正相关、牵引速度与导体张力负相关,建立参数耦合矩阵。在控制系统中设置联动控制逻辑,当某个参数出现变动时,其他相关参数会自动进行适应性校准。例如:一旦检测到挤出压力上升,系统会自动下调螺杆转速,同时保持牵引速度与挤出量相一致,防止因压力过大损坏模头;若导体张力突然发生变化,系统会同步调节放线速度与牵引速度,使张力迅速达到稳定状态。

3 基于智能监测预警的设备稳定性提升技术

3.1 工业互联网多维度监测平台构建

基于工业互联网技术搭建针对立塔挤塑设备的全维度运行监测平台,实现设备运行数据的实时采集、传送、存储和可视化展示。

在设备的挤出机、模头、硫化管、放线/收线系统、牵引系统等关键部位装设温度、压力、转速、张力、振动、电流等传感器,收集设备运行过程中的工艺参数及状态参数,采集频率达 10 Hz,确保数据具有实时性^[4]。在 5G+ 工业以太网的传输路径中,数据传输的速率大于 100 Mbps,能够实现海量数据的零延迟传输,同时运用边缘计算技术,在设备端完成部分数据的前期加工,降低云端计算压力。

通过搭建云端数据管理平台,实现数据的可视化呈现方式、历史情况查找、趋势深入分析,运维人员可在电脑、手机等终端实时查看设备的运行情况,掌握参数变化趋势。

3.2 人工智能故障诊断算法应用

为提高设备故障诊断的精度,通过采用机器学习、深度学习等人工智能算法实现对设备故障精准辨认与定位,解决传统故障诊断依赖人力、精准度低的问题。基于支持向量机(SVM)相关算法,构建设备故障诊断模型,根据设备运行数据进行训练,精准辨认传感器漂移、螺杆磨损、模头堵塞、张力不均等常见故障^[5]。采用 BP 神经网络算法,应对多因素形成的复杂故障,如温度与压力共同波动引起的塑化不良现象,提升复杂故障的诊断实力。采用长短时记忆网络(LSTM)算法,对设备运行的时间序列数据进行分析,预测设备未来的运行情况,实现故障的早期报警。例如:通过分析螺杆振动数据的变化趋势,判断螺杆的磨损程度,提前进行检修预警,防止因螺杆过度磨损引起的设备故障。

3.3 设备故障分级预警机制

根据监测平台的数据分析与故障诊断结果构建设备故障分级预警体系,根据故障严重度把预警分为三级,采用不同的处理方式保障故障得到及时处理。一级预警归为轻微故障,设备参数出现小规模波动,对生产质量没有影响,如当温度偏差处于 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围间,系统自动发出声光类报警,同时自动调整参数,无需人工干涉。一般故障会触发二级预警,设备参数的波动超出了正常区间,可能会影响产品质量,如张力波动处于 $\pm 10\text{ N}$ 的范围,系统发出的报警信号,同时把故障信息推送至运维人员的终端,提示人工核对并处理。三级预警体现为严重故障,存在导致停机及设备损坏的可能,如模头压力快速大幅上升、电机电流超出负荷,系统立即发出紧急报警信号,同时启动设备保护机制,防止故障进一步扩大。

4 结束语

超高压电缆作为我国特高压电网建设的核心装备,立塔挤塑设备运行的稳定性直接影响超高压电缆的生产质量和效率。随着超高压电缆向更高电压等级、更大容量迈进,立塔挤塑设备稳定性的提升成为电缆制造行业的关键研究方向。本文围绕硬件结构优化、工艺参数精准调控、智能监测预警三个方面,提出超高压电缆立塔挤塑设备运行稳定性增强的技术路径,通过核心部件升级、冗余配置设计、分区优化工艺参数、整定智能 PID、搭建工业互联网监测平台等路径,解决设备运行过程中温度波动、张力不均、故障预警迟缓等问题,实现设备运行稳定性的大幅提高,推动我国电缆制造行业的高质量发展。

参考文献:

- [1] 夏定友,刘守亮,何栋,等.高落差超高压电缆设计及敷设技术[J].四川水力发电,2025,44(05):62-65.
- [2] 乔文涛,裴震宇.超高压电力电缆选型及敷设技术应用[J].电力设备管理,2025(12):240-242.
- [3] 王阳.超高压电缆料基料的升温淋洗分级及链结构研究[J].齐鲁石油化工,2025,53(02):103-109,117.
- [4] 刘芝楠.大截面超高压排管敷设电缆温升特性及载流量提升措施研究[D].西安:西安理工大学,2025.
- [5] 林玮.超高压电力电缆选型及敷设技术探析[J].电力设备管理,2024(24):222-224.