

Application and Fault Diagnosis of PLC in Passenger Cableway Automation System

Guanping Li

Kunming Tourism Cableway Development Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650228, China

Abstract

With the rapid development of mountain tourism industry and the deepening of urban three-dimensional transportation system construction, passenger ropeways, as transportation equipment that adapts to scenarios with large altitude differences, strong crossing capabilities, and complex environmental conditions, have played an increasingly important role in national key scenic spots, urban mountain public transportation, and ski resort transportation systems. This article conducts an in-depth analysis of the system architecture, key subsystem control strategies, and typical fault diagnosis mechanisms of PLC in passenger ropeways. It constructs a diagnostic method system based on the integration of logical chains, data chains, and dynamic models, providing theoretical reference and engineering support for the intelligent operation, safety control, and digital operation and maintenance of passenger ropeways.

Keywords

passenger ropeway; PLC; Automated control; Fault diagnosis; safety interlock

PLC 在客运索道自动化系统中的应用与故障诊断

李关平

昆明旅游索道开发有限责任公司, 中国·云南昆明 650228

摘 要

随着山地旅游产业的快速发展以及城市立体交通体系建设的深入推进, 客运索道作为适应高差大、跨越能力强和环境条件复杂等场景的交通装备, 已在国家重点景区、城市山地公共交通以及雪场运输体系中扮演越来越重要的角色。本文围绕 PLC 在客运索道中的系统架构、关键子系统控制策略及典型故障诊断机制展开深入分析, 构建了基于逻辑链、数据链与动力学模型融合的诊断方法体系, 为客运索道智能化运行、安全管控与数字化运维提供理论参考与工程支撑。

关键词

客运索道; PLC; 自动化控制; 故障诊断; 安全联锁

1 引言

客运索道作为典型的高安全等级特殊设备, 其运行过程涉及机械动力传输、钢丝绳受力、乘客换乘行为、极端天气影响以及跨站区协同等多种不确定性因素, 因而对自动化控制系统提出了远高于普通工业装备的可靠性与实时性要求。在此背景下, PLC 以其模块化结构、高速扫描周期、灵活编程方式和可冗余架构, 成为客运索道自动化系统的核心技术。PLC 不仅承担对驱动和制动设备的实时控制, 还实现张紧平衡、运行速度调节、门禁管理、气象联动、客流调度、安全保护与故障自诊断等关键功能, 使索道在复杂外部环境中保持稳定、安全与高效运行。因此, 研究 PLC 在索道自动化系统中的作用机理, 并构建结构化的故障诊断方法体系, 对提升索道本质安全水平和促进智慧索道建设具有

重要理论与工程价值。

2 PLC 在索道关键子系统中的应用设计

2.1 PLC 在张紧系统与载荷监测系统中的应用

客运索道张紧系统是维持钢丝绳受力均衡、保证运行稳定性的重要机械子系统, 其控制复杂程度往往被低估, 但实际上对整条索道的动力学行为、吊厢运行平顺性以及钢丝绳疲劳寿命具有直接影响。传统张紧方式依赖机械配重或固定液压系统, 难以适应现代索道长跨距、大荷载、高风区运行带来的动态张力波动, 因此 PLC 控制体系的引入对于张紧平衡的实时调节和异常识别具有关键意义。PLC 能够对布置在张紧小车、液压缸、配重机构及钢丝绳固定端的多组张力传感器实现同步采集, 通过高速数据刷新与自适应滤波算法抑制风振、温差变化等因素导致的瞬时波动, 从而获得更接近实际受力状态的张力曲线。对于气温快速变化或吊厢集中载荷引起的钢丝绳长度差异, PLC 可动态修正张紧力目标值, 通过调节液压站溢流阀压力、控制液压缸行程速

【作者简介】李关平 (1981-), 男, 中国云南师宗人, 本科, 高级工程师, 从事电气工程及其自动化等研究。

度或启停配重牵引机构,使张紧系统以平滑方式实现力学补偿,避免应力集中区和疲劳裂纹的形成^[1-2]。

在多跨索道中,不同塔架之间的钢丝绳弧垂会随环境条件呈现不均匀变化,PLC通过对各跨张力参数的综合判断,形成数字化“受力场”模型,并将该模型与索道动力学标准曲线进行对比,以识别局部跨距中存在的异常应力区,如果发现某一跨存在持续性张力偏差、突发张力斜率增大或张力波的传播速度异常,PLC会提前触发“张力偏差预警”,提示运行人员进行塔架巡查或钢丝绳外观检查,从而实现由事后处理向预测性维护的转变。载荷监测系统方面,PLC对吊厢底部的应变计、悬挂臂压差传感器、滑轮位移计等信号进行融合处理,构建吊厢-钢丝绳-速度三者之间的动态关联模型。通过实时分析吊厢载荷与运行速度的耦合关系,PLC可判断是否存在乘客集中导致的瞬时增载、站区拥堵导致的换乘停滞、钢丝绳局部结冰导致的阻力增大等潜在风险。当载荷变化速率超过预设阈值时,PLC不仅会向制动系统发送减速或临停命令,还会记录载荷波动序列,用于后续分析钢丝绳运行阻力与机械磨损状况。对于严重偏载、吊厢无法顺利入站或遇到外力阻滞的情况,PLC会立即执行刹车逻辑,防止局部受阻进一步扩散至线路,引发吊厢串碰或钢丝绳局部损伤。

2.2 PLC在站区门禁系统、乘客安全保护与调度管理中的控制功能

索道站区区域作为游客上下车密集、人员行为复杂且与索道运行状态直接耦合的关键空间,其安全管理要求极高。PLC在站区的应用不仅局限于门机控制,而是构成“客流组织—运行速度—吊厢定位—门禁动作”四者之间的联动闭环,确保乘客行为与索道机械运动在任意时刻均处于合理匹配状态。站区门禁系统中,PLC通过对站区区域多点布置的光电开关、位置开关、激光扫描器和吊厢定位传感器的数据实时融合,实现吊厢与站区门的精准联锁。当吊厢尚未进入安全停靠区或吊厢仍处于缓冲区减速段时,PLC自动锁闭站区门机并禁止人工强制开启;在吊厢完全锁定并通过速度闭环确认零速状态后,PLC依据门机开闭逻辑控制电机启动,使栅栏门、侧门或导流门安全开启。若开门过程中检测到风力异常、门机阻滞、门体偏移等情况,PLC立即中断动作并触发报警,避免乘客误入危险区域^[3]。

在安全保护方面,PLC可通过行为识别系统(如客流扫描器、红外阵列、视频分析模块)获取区域内的乘客密度与运动趋势。当系统识别到站区接近拥堵临界值时,PLC会自动降低索道运行速度,以延长吊厢在站厅停靠时间,缓解换乘压力。对于老年乘客、儿童或大件行李乘客的进出站,PLC可通过识别信号自动启动辅助延时,提高乘客友好性。在调度管理层面,PLC与上位机调度系统形成双层调控结构:上位机负责全局运行策略,如“逐步增速—稳态运行—峰值调度—低速返程”等模式,而PLC根据实时参数执行底层

动作细化。

3 PLC在客运索道系统中的故障诊断机制

3.1 索道系统常见故障特征与PLC诊断需求分析

客运索道运行过程中所面临的故障类型具有多源耦合性、跨系统传播性与动态演化性,其复杂度远高于普通工业装备。其故障不仅表现为机械磨损、电气老化、传感器漂移等传统问题,还受到温度梯度、风振效应、冰雪负荷、雨雾腐蚀等环境因素的叠加影响,呈现出“机械—电气—环境—行为”四维耦合的复杂特征。以抱索器滑移为例,其诱因可能同时来自钢丝绳张力不足、抱索器磨损、轨道润滑度变化与载荷突变,而PLC需要在毫秒级的时间窗口中捕获滑移率异常并触发制动链路,其诊断难度显著大于普通工业传动系统。驱动系统的故障亦具有相似的耦合特性,变频器过载可能源于吊厢受阻、风力扰动导致的阻力上升、钢丝绳结冰造成弧垂变化或电机内部绕组温升异常等,PLC必须依托多传感器数据融合逻辑进行综合判断,才能形成准确决策。传感器故障在索道系统中具有突发性与隐蔽性,速度编码器脉冲丢失、张力传感器信号漂移、液压压力传感器输出扰动均可能直接影响控制逻辑的可靠性。通讯故障则是长距离索道常见风险,大范围高海拔地区受电磁干扰、雷击、电源波动等影响,可能导致远程I/O站丢包、环网切换或链路延迟上升。此类问题如果未被及时识别,可能导致安全PLC错误触发或逻辑判断滞后,对运行安全构成威胁。

因此,索道的PLC诊断体系必须满足三个核心要求。一是具备跨系统的关联分析能力,可识别多源因素共同导致的复合故障;二是具备毫秒级事件捕获能力,通过高速扫描周期追踪故障触发链路;三是具备自恢复、自校验与自学习能力,通过历史数据与模型对比实现趋势判断与智能预警,为索道安全运营提供前馈式保障^[4]。

3.2 基于逻辑链条与数据融合的PLC故障诊断方法

现代索道PLC诊断体系在结构上呈现出从“规则驱动”向“数据驱动”与“模型驱动”并行发展的趋势,其核心是构建基于逻辑链、事件链、数据链与动力学模型的四维诊断框架。逻辑链条诊断以故障树模型为基础,PLC将速度超限、制动异常、张力失衡、电机过载等重大故障拆解为多个基本事件,并通过实时数据与逻辑条件比对识别故障根因。数据融合方法在索道系统诊断中作用更加突出。PLC通过对速度、张力、电流、扭矩、温度、振动等多维数据进行实时采集,并采用均值滤波、数字微分、滑动窗口趋势分析等方法,识别部件性能衰减趋势。逻辑序列跟踪法是索道紧急事件复盘的重要工具。PLC通过毫秒级记录制动过程中的电气事件、压力变化、速度衰减曲线与编码器脉冲变化,形成完整的事件链条。在发生误制动、通讯中断或站厅门禁误动作等问题时,逻辑序列可作为“电子黑匣子”,帮助运维人员快速还原事故链路,实现故障定位。

模型驱动诊断以索道动力学与多体耦合分析模型为核心,通过理论模型与实际数据偏差判断运行是否异常。如当理论弧垂曲线与实测张力场偏差超过阈值时,可判断钢丝绳存在非均匀磨损;当电机输出功率与运行速度之间的函数关系发生偏移时,则可能存在机械阻力突增或抱索器阻力升高。此类模型的引入使 PLC 具备“主动识别能力”,由传统被动监测转向主动预警,有效提升索道智能诊断水平。

4 PLC 在索道运维管理中的智能化应用

4.1 面向索道全寿命周期的 PLC 智能运维系统

在索道智能化运维体系中,PLC 不仅是运行控制核心,更是全寿命周期管理的数据入口、状态监测中心与健康评估平台。通过与 SCADA 系统、物联网平台、云端分析平台以及数字孪生系统的深度对接,PLC 已从传统的“动作执行器”转变为“状态感知—健康分析—寿命预测”的智能运维节点。PLC 采集的速度、电流、扭矩、振动、温度、张力、液压压力等数据可直接输入健康诊断算法,形成驱动系统、制动系统、张紧系统、站区系统与安全防护系统的实时健康指数^[9]。

在长期运行中,PLC 逐步积累大量历史运行数据,通过对比设备在不同时间段的性能指标,可构建关键部件如减速箱齿轮、轴承、电机定子绕组、抱索器滚动部件等的“疲劳轨迹”模型。当某部件的振动峰值出现持续上升趋势,或制动器动作时间呈现周期性延长时,PLC 会提前生成维护建议,使检修由事后维修转向预测式维修。在数字孪生平台中,PLC 实时数据能驱动虚拟索道模型,实现故障模拟、运行仿真、载荷分析与极端工况预测,提高运维效率与决策能力。

4.2 基于 PLC 的安全冗余机制与网络安全防护体系

客运索道作为特种设备,任何控制链路的的中断或逻辑异常都有可能导导致吊厢脱离控制、制动失效或站厅误动作,因此 PLC 冗余设计是实现系统本质安全的重要保障。现代索道普遍采用双 CPU 冗余、双通道制动链冗余、双环网通信冗余等三级冗余结构。PLC 主备之间通过高速同步协议实时比对内部寄存器状态,若主 PLC 出现逻辑错误、硬件故障或运算滞后,备 PLC 可在数毫秒内实现无缝接管,确保安全逻辑不间断。

通讯网络亦采用工业环网冗余、链路自动切换与时间

敏感网络(TSN)架构,保证远程 I/O 站即使出现局部链路中断仍能保持稳定通信。安全 PLC 则基于功能安全标准(SIL2/SIL3),对速度、张力、位置与制动等关键参数进行独立运行判断,形成“纵深防护机制”,避免单点故障导致整套系统失控。在网络安全方面,随着索道控制系统与互联网、云平台深度融合,PLC 面临网络攻击、远程入侵与数据篡改风险。为此,索道系统通过工业防火墙、白名单控制、PLC 固件签名校验、加密通讯、访问权限分级、双因素认证等措施构建网络安全防护体系。任何外部设备连接 PLC 前,都必须经过可信认证与网络隔离策略,确保控制系统不受恶意软件、病毒或操作错误的影响。基于实时日志审计的监测系统可对异常访问、越权操作或数据包异常进行记录并触发报警,为索道运行提供数字安全屏障。

5 结语

PLC 技术已经成为现代客运索道自动化系统的核心基础,其高可靠控制能力、灵活模块化结构与强大的扩展、冗余以及实时处理性能,使其能够适应索道跨距大、环境复杂、安全等级高的运行需求。通过在驱动、制动、张紧、门禁与安全联锁等关键子系统深度应用,PLC 显著提升了索道系统的运行稳定性与智能化水平。与此同时,基于逻辑链、数据链与模型驱动的故障诊断体系,使索道从传统的被动式维修模式向预测性维护、健康管理与全寿命周期运维转型,有效降低停运风险与维护成本。如今随着数字孪生、人工智能和网络安全技术的深度融合,PLC 将在索道智慧化运行、风险治理与安全决策中发挥更加关键的作用,推动索道行业向更安全、更高效、更智能的方向持续发展。

参考文献

- [1] 张杰. PLC技术在索道动态监控系统中运用分析[J]. 中国图片(中英文),2024(18):210-211.
- [2] 张顺,谢石. PLC技术在电气工程自动化控制中的应用[J]. 百科论坛电子杂志,2023(9):22-24.
- [3] 李海明. PLC和变频器控制系统在索道运矿系统中的应用[J]. 中国金属通报,2022(6):203-205.
- [4] 叶正海. 矿山架空乘人索道安装施工工艺和安全技术要求[J]. 工程机械与维修,2024(7):22-24.
- [5] 孙安国,陈虎,冯显宗,等. 客运索道数据系统设计[J]. 起重运输机械,2023(14):40-44.