

市政桥梁升降检修平台机电控制系统设计

周甲 510525199210084392

摘要

为解决市政桥梁常规人工检修存在的作业效率低、安全风险高、适配性差等问题，本文设计了一款适用于市政桥梁底部及侧部病害检测维护的专用升降检修平台机电控制系统。系统以 PLC 为核心控制单元，搭配称重传感器、位置编码器、急停保护模块等硬件，实现了平台升降调速、位置定位、过载保护、多重安全连锁等功能，同时针对市政作业场景优化了控制逻辑，提升了系统的稳定性与安全性。测试结果表明，该控制系统响应速度快、定位精度高，满足市政桥梁检修的作业要求，能够有效降低检修人员的劳动强度，提升桥梁维护作业的安全水平。

关键词

市政桥梁；升降检修平台；机电控制；PLC 系统

一、引言

市政桥梁作为城市交通网络的核心组成部分，长期承受车辆荷载冲击与自然环境侵蚀，桥梁底部、支座部位易出现混凝土开裂、钢筋锈蚀、支座老化等病害，需要定期开展检修维护作业。传统市政桥梁检修多采用搭建脚手架、挂篮人工作业的模式，不仅作业周期长、成本高，还会占用桥下通行空间，影响城市正常交通，同时高空作业的安全风险较高。近年来，专用升降检修平台逐步应用于桥梁维护领域，但现有多数升降控制系统存在安全连锁不完善、定位精度不足、适配不同桥型能力差等问题，无法完全满足中小市政桥梁灵活检修的需求。基于此，本文针对市政桥梁的作业场景特点，设计一款专用的升降检修平台机电控制系统，满足安全、高效、精准的检修作业需求。

二、升降检修平台整体结构与控制需求分析

2.1 平台整体结构

本文设计的市政桥梁升降检修平台采用附着式结构，主体由行走机架、升降桁架、作业吊篮、驱动机构四部分组成：行走机架依托桥梁防撞护栏实现沿桥纵向移动，升降桁架通过卷扬机构带动作业吊篮实现垂直方向的升降，作业吊篮为

检修人员与工具提供作业空间，整体结构可适配宽度 10m-40m 的常规市政梁式桥，满足桥梁底部、侧部全范围的检修覆盖需求。机电控制系统是平台的核心控制单元，负责实现各动作的协调控制与安全保护。

2.2 控制功能需求

结合市政桥梁检修的实际作业要求，控制系统需要满足以下核心功能需求：第一，运动控制功能，能够实现作业吊篮的平稳升降调速，支持多点位置定位，满足不同高度病害的检修需求，同时可配合行走机架实现纵向位置调整；第二，安全保护功能，针对升降作业中的过载、超速、断电、限位异常等风险设置多重保护，触发异常时能够立即制动并发出报警提示；第三，人机交互功能，操作界面简洁直观，支持手动点动与自动定位两种操作模式，方便现场检修人员快速上手操作；第四，环境适应性，市政桥梁作业多为露天环境，控制系统需要具备防尘、防水、抗干扰能力，适应高低温环境的稳定运行。

三、机电控制系统硬件设计

3.1 核心控制单元选型

本系统选用可编程逻辑控制器（PLC）作为核心控制单元，相比单片机控制，PLC 具备更高的稳定性与抗干扰能力，更适合工业现场露天作业场景。综合 I/O 接口数量与运算性能需求，选用西门子 S7-200 SMART PLC 作为主控单元，该型号 PLC 具备 24 路数字输入、16 路数字输出，支持扩展模拟量模块，满足本系统的接口需求，同时自带以太网通信接口，可方便连接人机触摸屏，程序修改与调试更加便捷。

3.2 检测与执行部件配置

为实现系统的状态检测与动作执行，配置如下关键硬件部件：（1）位置检测：在卷扬机卷筒轴上安装绝对值编码器，实时采集卷筒转动角度，换算得到作业吊篮的实时升降高度，定位误差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内，满足作业定位要求；同时在上极限、下极限位置分别安装行程限位开关，作为编码器失效后的备用位置保护。（2）称重检测：在作业吊篮的四个吊点分别安装拉压力传感器，采集吊篮的实时总载荷，当载荷超过额定载荷（额定载荷 500kg）的 10% 时触发过载保护。（3）速度检测：在升降驱动轴上安装超速检测开关，当升降速度超过额定速度（额定速度 5m/min）的 1.2 倍时触发超速保护，切断驱动电源。（4）执行部件：升降驱动采用三相异步电机搭配变频器，通过 PLC 输出控制信号调节变频

器频率，实现升降速度的无级调速；制动器选用电磁失电制动器，断电状态下自动抱闸，防止断电时吊篮下坠。

四、机电控制系统软件设计

4.1 控制程序整体框架

控制系统软件基于 PLC 编程软件开发，整体分为初始化模块、主循环控制模块、位置采集计算模块、安全检测模块、运动控制模块、人机交互模块六个部分，系统上电后首先执行初始化程序，完成 IO 端口配置、编码器零点校准、参数初始化，之后进入主循环，依次完成状态检测、逻辑判断、动作输出，周期控制在 20ms 以内，保证系统的响应速度。

4.2 核心控制逻辑设计

升降控制逻辑采用闭环控制策略，PLC 实时采集编码器的高度信号，与目标高度对比，通过 PID 算法调节变频器输出频率，当吊篮接近目标位置时自动降低运行速度，实现平稳停靠，避免启停冲击导致吊篮晃动，提升作业舒适度与安全性。操作模式支持手动与自动两种：手动模式下，操作人员通过按钮控制吊篮升降，松开按钮即停止，适合近距离作业调整；自动模式下，操作人员预先输入目标高度，系统自动控制吊篮运行至指定位置，适合长距离升降作业，提升操作效率。

4.3 安全保护逻辑设计

安全保护逻辑采用优先级控制，异常信号的优先级高于正常动作控制，只要任意安全保护触发，立即切断升降驱动电源，启动制动器抱闸，并在触摸屏显示对应故障信息，方便检修人员快速排查故障。具体保护逻辑如下：过载保护，当实时载荷超过额定值，禁止启动升降动作，若运行过程中发生过载则立即停止；超速保护，检测到转速超过阈值立即制动；限位保护，运行至极限位置自动停止，仅允许反向动作；断电保护，系统断电后电磁制动器自动抱闸，防止吊篮下滑，重新上电后需要手动复位才能重新启动，避免误动作。

五、系统测试与结果分析

控制系统设计完成后，进行了实验室模拟测试与现场实机测试，测试结果如下：功能测试方面，系统所有控制功能与保护功能均正常实现，手动升降、自动

定位、急停制动、过载报警等动作均符合设计要求；性能测试方面，吊篮升降运行平稳，无明显卡顿晃动，定位误差最大为 8mm，满足设计要求；安全测试方面，模拟过载、超速、限位触发、断电等异常场景，系统均能在 0.3s 内触发制动，保护动作响应及时。

六、结论

本文针对市政桥梁检修作业的实际需求，设计了一款基于 PLC 的升降检修平台机电控制系统，完成了硬件选型配置与软件逻辑设计，设置了多重安全保护机制，系统具备定位精度高、运行稳定、安全性强的特点。实际测试表明，该系统能够满足中小市政桥梁的检修作业要求，为桥梁维护作业提供了安全高效的技术支撑，具备较好的推广应用价值。后续可进一步增加远程监控功能，实现平台运行状态的远程监测与故障预警，进一步提升系统的智能化水平。

参考文献

- [1] 张方涛, 李黎, 刘清杰. 桥梁检测作业升降平台控制系统设计[J]. 制造业自动化, 2021, 43(05): 146-149.
- [2] 王健, 赵伟. 附着式桥梁检修升降平台的设计与控制[J]. 工程机械, 2019, 50(08): 45-49+7.
- [3] 廖常初. S7-200 SMART PLC 应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.