摘要

轨道交通车站具有客流密度高、机电设备种类多、运行环境复杂等特点，火灾、水浸、设备异常温升、有毒有害气体泄漏等风险因素对运营安全构成持续威胁。传统以人工巡检与分散式仪表为主的监测方式存在实时性差、联动能力弱、数据难以统一归档等问题。本文围绕“基于可编程逻辑控制器（PLC）的轨道交通车站安全监测与预警系统”开展工程化设计研究：在明确车站安全监测业务需求与指标约束的基础上，给出分层架构的总体技术方案；结合车站低压配电与现场执行机构特点，对主电路及供电接口进行统筹考虑；以 PLC 为核心控制器，完成模拟量输入等 I/O 资源配置与通道规划；依据 OB1 主程序组织思想，设计周期性扫描、故障诊断与报警输出逻辑；依托人机交互监控主画面实现关键参数可视化与分级预警提示；对通信、冗余与维护性等工程要点进行讨论。设计过程与图纸、程序结构及演示视频资料相互印证，可为同类车站安全监测改造项目提供参考。

关键词：轨道交通车站；安全监测；预警；可编程逻辑控制器；模拟量输入；人机界面

Abstract

Rail transit stations are characterized by high passenger flow density, a wide variety of electromechanical equipment and complex operating environments. Risk factors such as fire, water immersion, abnormal temperature rise of equipment, and leakage of toxic and harmful gases pose a continuous threat to operational safety. The traditional monitoring mode relying mainly on manual inspection and decentralized instruments suffers from poor real-time performance, weak linkage capability, and difficulties in unified data archiving. This paper conducts an engineering design research on the rail transit station safety monitoring and early warning system based on Programmable Logic Controller (PLC). On the basis of clarifying the business requirements and index constraints of station safety monitoring, an overall technical scheme with a hierarchical architecture is proposed. Combined with the characteristics of low-voltage power distribution and on-site actuators of the station, the main circuit and power supply interfaces are overall planned. Taking PLC as the core controller, the I/O resource configuration including analog input and channel planning are completed. Following the organizational concept of OB1 main program, the logic of periodic scanning, fault diagnosis and alarm output is designed. The visualization of key parameters and hierarchical early warning prompts are realized through the main human-computer interaction monitoring screen. Key engineering points including communication, redundancy and maintainability are discussed. The design process is mutually verified with drawings, program structure and demonstration video materials, which can provide a reference for the safety monitoring renovation projects of similar stations.

Keywords: rail transit station; safety monitoring; early warning; programmable logic controller; analog input; human-machine interface

目录

摘要 1

Abstract 2

第 1 章 绪论 6

1.1 研究背景与意义 6

1.1.1 轨道交通车站安全风险特征 6

1.1.2 传统监测手段的局限性 6

1.1.3 PLC 技术应用优势与工程价值 7

1.2 国内外研究与应用现状 7

1.2.1 国外综合监控与安全相关系统发展 7

1.2.2 国内地铁车站机电系统建设特点 8

1.2.3 PLC 在车站级监控体系中的工程定位 9

1.3 本文主要研究内容与章节安排 9

1.3.1 研究内容与资料来源 9

1.3.2 论文结构安排 9

第 2 章 系统需求分析与总体方案设计 10

2.1 功能需求与监测对象分析 10

2.1.1 环境与灾害类监测对象 10

2.1.2 设备状态类监测对象 10

2.1.3 告警记录与上级监控系统接口需求 10

2.1.4 联动控制需求与职责边界 10

2.2 性能指标与设计约束 12

2.2.1 实时性与扫描周期 12

2.2.2 测量精度与量程匹配 12

2.2.3 可用性与供电要求 12

2.3 系统总体架构 14

2.3.1 感知层构成 14

2.3.2 控制层构成 14

2.3.3 监控与信息管理层构成 14

2.4 与相关专业的接口设计 15
2.4.1 与低压配电专业接口 15
2.4.2 与 BAS 子系统接口 15
2.4.3 与火灾自动报警 FAS 子系统的职责划分 15
2.5 通信与可靠性约束 15
第 3 章 监测与控制硬件系统设计 16
3.1 PLC 机型与模块配置选型 16
3.1.1 CPU 与存储器余量 16
3.1.2 电源与背板总线能力 16
3.1.3 编程软件与厂商工程化支撑 16
3.2 模拟量输入回路设计 17
3.2.1 信号制式与模块类型选择 17
3.2.2 接地、屏蔽与布线 18
3.2.3 施工图与竣工资料的符合性校核 18
3.3 数字量输入输出 19
3.3.1 数字量输入信号来源与消抖 19
3.3.2 数字量输出与负载保护 19
3.3.3 失效安全原则与数字量输出保持策略 19
3.4 主电路与供电系统设计 19
3.4.1 主电路典型元件组成 19
3.4.2 UPS 与电池监测接口 20
3.5 控制机柜布置与二次回路布线 20
3.5.1 强弱电分区与散热 20
3.5.2 干扰源隔离与等电位 20
3.6 传感器与现场设备选型 21
3.6.1 温度测量元件 23
3.6.2 湿度测量元件 23
3.6.3 烟雾与可燃气体探测元件 24
3.6.4 液位测量装置 25

3.6.5 声光报警与低压执行元件 25
3.6.6 排水泵与通风执行设备 26
3.6.7 控制器与人机显示设备 27
第 4 章 PLC 控制程序设计 28
4.1 主程序结构与初始化联锁 28
4.2 模拟量通道处理与越限判别 28
4.3 多级预警、声光指示与设备联动 31
4.3.1 多级预警逻辑综合 31
4.3.2 预警等级声光指示输出 31
4.3.3 设备联动与警笛输出 32
4.4 设备故障、系统复位与手自动控制 33
4.4.1 设备故障检测与锁存 33
4.4.2 系统复位与成组清除 34
4.4.3 自动与手动模式及现场点动控制 34
4.5 运行统计、设定值保护、状态指示与急停 36
4.5.1 预警事件与运行时间统计 36
4.5.2 过程参数设定值保护与初值写入 37
4.5.3 运行状态指示与急停联锁 38
第 5 章 人机交互界面与预警联动设计 40
5.1 监控主画面与信息分区 40
5.2 预警分级策略与典型处置 40
5.3 联动方式、权限与安全 42
第 6 章 系统验证与工程保障 43
6.1 通信、可靠性与运维要点 43
6.2 实验室与现场测试验证 43
第 7 章 总结与展望 46
致谢 47
参考文献 48

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 轨道交通车站安全风险特征

城市轨道交通是公共交通体系的骨干，车站作为乘客集散与列车到发的节点，其安全状态直接影响全网运行效率与公共安全。客流在早晚高峰呈现脉冲式集聚，站厅与站台公共区可燃物管理、电缆竖井与设备夹层隐蔽火源、出入口暴雨倒灌与结构渗漏等因素交织，使风险呈现“低概率、高后果”特征。设备用房内 UPS、蓄电池、变频器等热源集中，若通风或温控失效，温升与电气绝缘老化将形成链式隐患。因此，对关键环境参数与设备状态进行连续感知，是运营单位开展精细化风险管理的基础。

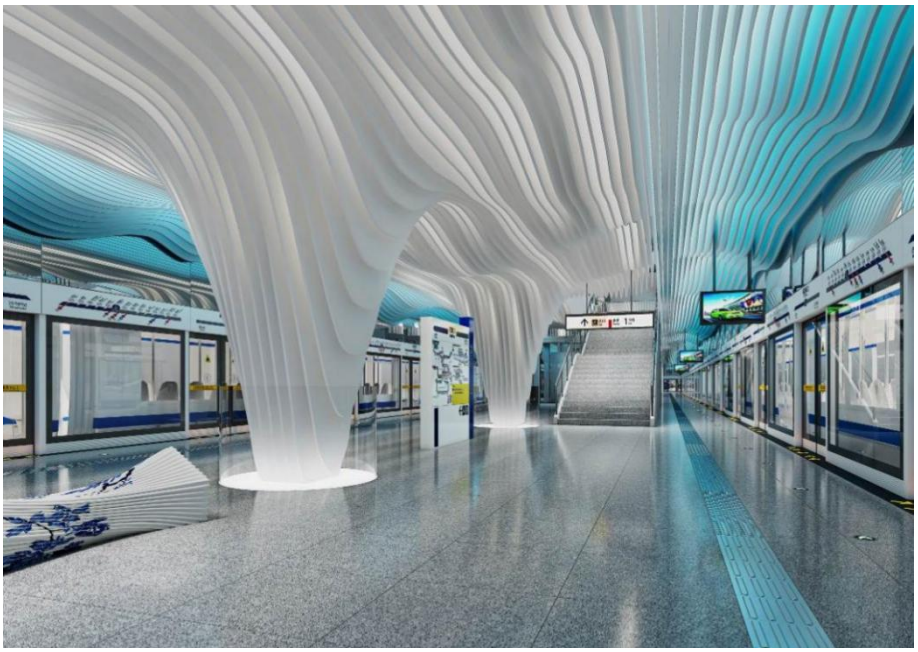


图 1-1 城市轨道交通车站站厅与站台空间图

1.1.2 传统监测手段的局限性

传统以人工巡检与分散式仪表为主的监测方式，存在三方面不足。其一，时间分辨率低，难以及时捕捉短时尖峰或快速温升过程。其二，数据分散在就地仪表或纸质记录中，不利于建立全线统一的历史基线与趋势分析。其三，联动依赖人工电话通报与就地操作，响应链条长，易错过异常处置窗口。随着车站智能化水平提高，以控制器为核心、以标准工业接口汇聚多源信息的架构成为工程趋势。



图 1-2 地铁轨道人工巡检图

1.1.3 PLC 技术应用优势与工程价值

可编程逻辑控制器（PLC）具有抗干扰能力强、模块化扩展方便、编程维护成本相对较低、与现场传感器及继电器、接触器等执行元件接口成熟等优势，在工业自动化与大型公共建筑机电监控领域应用广泛。将 PLC 引入轨道交通车站安全监测，可在不依赖单一厂商封闭系统的前提下，实现采样、报警、记录与部分联动的统一控制；通过以太网或串行接口与综合监控（ISCS）、环境与设备监控系统（BAS）对接，接口透明、便于版本管理与备件策略制定，对既有线改造尤为友好。

1.2 国内外研究与应用现状

1.2.1 国外综合监控与安全相关系统发展

国外轨道交通发达城市普遍建立涵盖火灾自动报警（FAS）、环境与设备监控、乘客信息等子系统的综合平台。控制器侧常见“专用火灾报警控制器 + 通用 PLC 或楼宇控制器”的混合架构：前者满足认证与联动法规，后者承担大量模拟量过程控制与节能优化。平台侧强调 OPC、BACnet 等开放协议与第三方设备接入能力，便于全寿命周期内的扩容与换代。

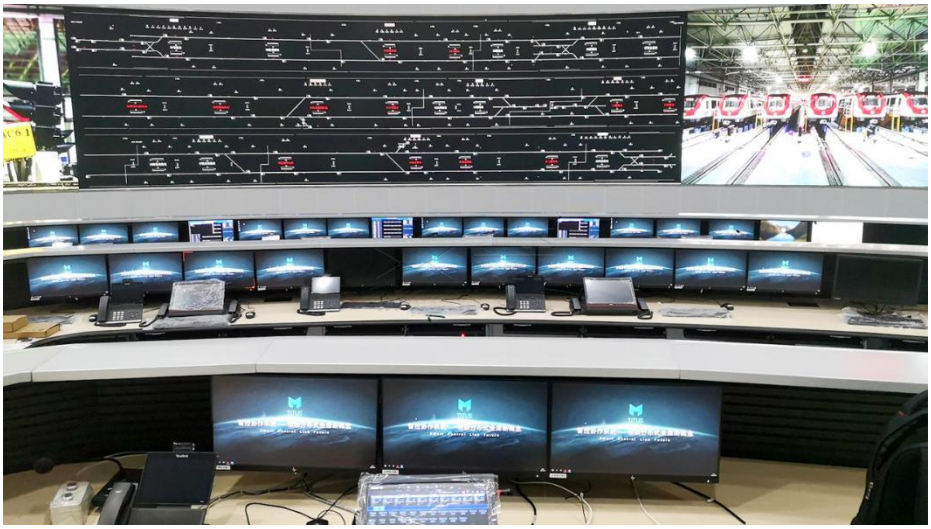


图 1-3 轨道交通综合监控与控制中心应用场景

1.2.2 国内地铁车站机电系统建设特点

国内新建线路在设计阶段即明确各子系统功能边界与接口规范，弱电综合管线、设备用房面积、控制柜布置等一次条件相对完善。部分线路在车站级采用 PLC 作为 BAS 或节能控制核心，实现大风机、水泵、空调水阀等设备的闭环调节。涉及公众生命安全的法定火灾报警与消防联动，仍以通过国家消防电子产品质量监督检验中心认证的产品体系为主流，通用 PLC 通常不承担法定火灾报警主机角色，而以环境参数监测、辅助提示或与非安全类设备联动为主。

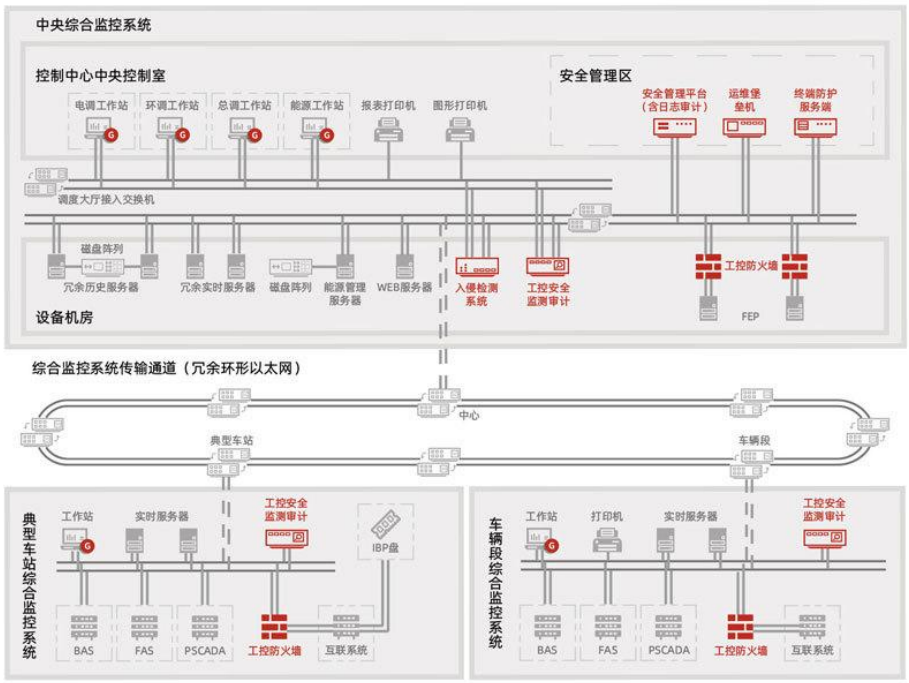


图 1-4 内地铁车站环境与设备监控（BAS）及弱电综合布置示意

1.2.3 PLC 在车站级监控体系中的工程定位

工程上需严格区分“安全监测预警子系统”与“火灾自动报警系统”。前者侧重运行环境异常、设备过热、积水等广义安全风险；后者聚焦国标所定义的火灾探测、报警与消防联动序列。本文所述方案以 PLC 为硬件平台，通过 4～20 mA 等模拟量与数字量接入多类传感器，在监控总貌画面呈现分级预警，其法律边界与接口责任应在设计联络会阶段与消防、低压、BAS 专业书面确认，避免功能越界与验收争议。

1.3 本文主要研究内容与章节安排

1.3.1 研究内容与资料来源

本文以本课题配套工程资料所涉及的图纸、程序及画面为基础，完成系统化的文字论述与方案归纳，主要包括：PLC 模拟量输入施工图、低压主电路施工图、TIA Portal 导出的主程序梯形图、人机界面监控总貌，以及系统运行与报警处置演示视频等。

1.3.2 论文结构安排

全文共分七章：第 1 章绪论；第 2 章系统需求分析与总体方案设计；第 3 章监测与控制硬件系统设计；第 4 章 PLC 控制程序设计；第 5 章人机交互界面与预警联动设计；第 6 章系统验证与工程保障；第 7 章总结与展望。

第 2 章 系统需求分析与总体方案设计

2.1 功能需求与监测对象分析

2.1.1 环境与灾害类监测对象

结合轨道交通车站典型布置，环境与灾害类对象包括：公共区与设备用房温度、湿度；出入口及风亭附近积水水位；电缆沟或低洼区域水位；烟雾浓度或经继电器隔离后的感烟探测器开关量；一氧化碳等有害气体浓度换乘站、隧道口附近尤需关注。该类测点布设应覆盖历史水浸点、排水泵房上下游、新风取风口邻近道路污染源等敏感位置，并在设计说明中写明测点服务半径与代表性与不可监测盲区。

2.1.2 设备状态类监测对象

设备状态类包括：配电柜母排或进出线端子温度；UPS 室、蓄电池室温度；通风空调大电机轴承温升相关测点；电梯机房温度等。此类监测旨在发现过载、接触不良、冷却失效等早期征兆。温度测点安装应避开强电磁辐射源，热电偶或 PT100 的引线与动力电缆分开敷设，防止感应噪声导致虚假温升。

2.1.3 告警记录与上级监控系统接口需求

功能上需支持：模拟量越限、变化率异常、数字量故障组合判断；声光报警驱动；事件顺序记录（SOE）时间戳；与上位机或综合监控的告警上传。接口需求应明确告警编码规则、复位权限、风暴抑制策略（同一根因触发的多条衍生报警是否合并上传），避免 ISCS 侧告警刷屏影响调度判断。

2.1.4 联动控制需求与职责边界

联动类按项目权限与规范界定可包括：非消防专用设备在确认灾害风险前的分区切断或降载；排水泵启停；通风模式切换指令发出等。具体执行必须以 BAS/FAS 及运营规章为准；PLC 侧宜以“请求/允许”握手或干接点脉冲形式与专业系统交互，禁止在未经书面授权时擅自跨系统硬控消防负荷。监测对象与 PLC 过程量的对应关系见表 2-1。

表 2-1　监测对象与 PLC 过程量对应关系

序号	监测对象	模拟量输入地址	工程中间变量（字）	越限标志位	程序对应说明
1	空气温度	%IW10	%MW200	%M1.0	与设定值 %MW10 比较，OB1 网络 3
2	相对湿度	%IW12	%MW210	%M1.1	与设定值 %MW12 比较，OB1 网络 4
3	烟雾（可燃气体）浓度	%IW14	%MW220	%M1.2	与设定值 %MW14 比较，OB1 网络 5
4	积水水位	%IW16	%MW230	%M1.3	与设定值 %MW16 比较，OB1 网络 6
5	区间温湿度、感烟等开关量	%I0.0、%I0.1 等	—	%M80.x 等	与模拟量组合参与预警判别
6	风机、水泵、闸机故障	%I0.6～%I1.0	—	%M2.0～%M2.2	OB1 网络 18～20 故障锁存
7	急停、手动报警、复位	%I0.5、%I0.4、%I1.1	—	%M80.5、%M80.4、	OB1 网络 2、9、17、

序号	监测对象	模拟量输入地址	工程中间变量（字）	越限标志位	程序对应说明
				%M81.1	21、46

2.2 性能指标与设计约束

2.2.1 实时性与扫描周期

关键模拟量采样周期宜不大于 1 s；报警判断与数字量输出延迟宜控制在数百毫秒级，取决于 PLC 扫描周期、程序体量及远程 I/O 网络抖动。若采用 Profinet、EtherNet/IP 等实时以太网，应通过工具检查网络拓扑与交换机设置，避免视频等大流量业务挤占控制 VLAN 带宽。

2.2.2 测量精度与量程匹配

温度类宜按 0.5 级或与传感器证书一致配置；水位类需结合量程、安装高度与介质密度标定，注意超声波盲区与投入式零漂。模拟量模块分辨率应高于现场显示精度要求至少一个数量级，以减少量化台阶在阈值附近造成的抖动。

2.2.3 可用性与供电要求

车站级控制器宜由双电源切换回路或 UPS 供电；重要报警通道宜具备 4～20 mA 断线检测。机柜内应配置防雷端子与浪涌保护器（SPD），并与车站接地系统做法一致。MTBF、备件周转周期等指标宜在招标文件中量化。主要性能指标及设计约束汇总见表 2-2。

表 2-2　主要性能指标及设计约束

序号	指标名称	指标值或约束条件	说明
1	控制器型号	CPU 1214C DC/DC/DC	与所附梯形图程序及硬件组态一致
2	主程序组织块	OB1，程序名 Main，语言 LAD	程序版本 0.1；功能段分布于网络 1～46

序号	指标名称	指标值或约束条件	说明
3	模拟量处理周期	≤1 s	与 OB1 循环扫描周期一致；采样、传送、比较同周期执行
4	报警至数字量输出	≤2 个 PLC 扫描周期（设计目标）	越限比较至 %Q0.0～%Q0.2 预警灯输出路径，见第 4 章
5	模拟量输入地址	%IW10、%IW12、%IW14、%IW16	OB1 网络 28～31 映射至 %MW200～%MW230
6	设定值存储区	%MW10、%MW12、%MW14、%MW16	OB1 网络 38～41 写入初值 30、80、50、20；物理量单位见表 4-1
7	I/O 扩展	SM 1231 四通道占用完毕；扩展槽位 3 预留	与表 3-1 机架配置一致
8	控制器供电	DC 24 V，经 UPS 或双电源切换回路供电	与低压主电路施工图分路设计一致
9	控制网业务隔离	控制 VLAN 与办公、视频等业务隔离	见第 2.5 节

2.3 系统总体架构

2.3.1 感知层构成

感知层包括各类温度、湿度、液位、气体、烟雾传感器及必要的前置变送器、信号隔离器，输出 4～20 mA、0～10 V、电阻型或干接点。对于存在共模干扰或地电位差的场合，选用隔离型变送器或 AI 模块通道间隔离配置，可显著降低地环路引起的读数跳变。

2.3.2 控制层构成

控制层由 PLC 主机架、电源模块、CPU、模拟量输入模块、数字量输入/输出模块、通信模块等组成，完成采样、滤波、标度变换、阈值判断、报警锁存、联动逻辑及对外通信。远程站（如站台端部泵房）可通过光纤以太网或总线型远程 I/O 延伸，减少长距离模拟电缆带来的干扰与压降。

2.3.3 监控与信息管理层构成

展示与管理层在工程资料中常与人机界面（HMI）总貌画面对应，逻辑上归属监控与信息管理层，包括工程师站/操作员站、监控主画面、历史数据库与报表工具，可选 OPC UA、Modbus TCP 等与上级系统互联。历史数据宜采用环形缓冲加定时归档策略，磁盘满或数据库故障时不应阻塞实时报警通道。

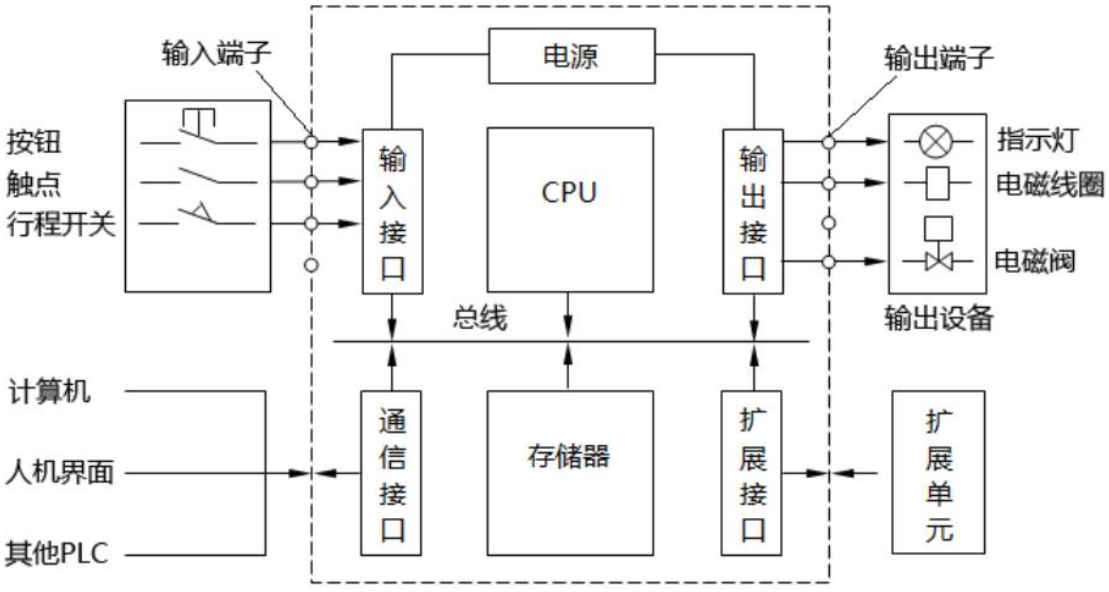


图 2-1 系统总体架构框图

2.4 与相关专业的接口设计

2.4.1 与低压配电专业接口

PLC 控制回路、声光报警器、中间继电器线圈等应由安全监测系统专用回路供电，电压等级与控制电缆截面需与低压主电路施工图一致，避免与消防强切回路、应急照明集中电源出线混淆。分路微型断路器额定电流与脱扣特性应满足浪涌电流与线圈起动电流，避免误跳闸导致控制器失电。

2.4.2 与 BAS 子系统接口

建议以通信方式交互模式字与状态字，寄存器地址表双方签章锁定；硬接线联动仅保留在规范明确要求或通信失效时的保底路径。接口调试阶段应进行长时间拷机与断网恢复试验，验证状态机不会进入死锁。

2.4.3 与火灾自动报警 FAS 子系统的职责划分

本系统若定位为“辅助监测”而非认证火灾报警控制器，则不应承担法定火灾报警主机功能；火警确认与消防联动应以 FAS 为准，本系统可提供环境参数与预警信息支撑。若将感烟干接点引入 PLC，须在设计说明中写明用途为“环境监视或辅助提示”，并通过消防审查。

2.5 通信与可靠性约束

车站级控制层与人机界面、综合监控系统之间宜采用以太网互联，并通过虚拟局域网划分将控制业务与办公、视频等业务隔离。与上级系统的数据交换应在设计联络阶段确定 Modbus TCP 或 OPC UA 等规约形式，固化点表、刷新周期及异常码含义，并完成双方专业会签。控制器侧宜配置不间断电源、看门狗及通信超时诊断等措施；应用程序与点表变更应纳入版本管理。竣工资料中应包含端子表、网络拓扑图及程序备份载体。

第 3 章 监测与控制硬件系统设计

3.1 PLC 机型与模块配置选型

3.1.1 CPU 与存储器余量

CPU 应满足 I/O 点数与程序规模余量程序内存与数据内存均保留不低于 30% 扩展空间，支持所需模拟量模块数量及积分时间设置；支持以太网、串口等既定通信方式；工作温度范围覆盖车站设备用房夏季高温。固件版本宜与仿真软件版本匹配，避免“在线下载失败”类现场风险。

3.1.2 电源与背板总线能力

电源模块容量按各模块功耗之和并考虑浪涌与扩展余量，一般不低于 20% 选取；核算 5 V 背板电流与 24 V 传感器供电分配。若外接大量继电器线圈，优先由独立 DC 开关电源供电，避免 PLC 本体 24 V 输出过载。

3.1.3 编程软件与厂商工程化支撑

编程软件、授权、仿真器、版本库（如 Git LFS 或厂商 PDM）应在项目启动时统一规划。选型阶段可对比：在线修改能力、跨平台 HMI 兼容性、备件供货周期、本地技术支持响应等软指标。本课题 PLC 机架、电源及扩展模块配置见表 3-1。

表 3-1 PLC 机架模块及电源配置

序号	配置项	模块名称	订货号	规格及用途简述
1	柜内供电	PM1207	6EP1332-4BA00	输入 AC 120/230 V，输出 DC 24 V、2.5 A；供 CPU、现场变送器及继电器线圈前级，不占用 CPU 右侧扩展槽位编号
			6ES7	集成 14 点 DI、10 点 DO、2

2	槽位 1	CPU 1214C DC/DC/DC	214-1AG40-0XB0	点 AI（本课题未使用机载 AI）；Profinet 口连接 HMI 及上位；装载 Main[OB1]
3	槽位 2	SM 1231 模拟量输入	6ES7 231-4HD32-0XB0	4 路电压/电流输入；过程映像输入起始地址 %IW10，通道 0～3 依次为 %IW10、%IW12、%IW14、%IW16
4	槽位 3	预留	—	预留 1 个扩展槽位，用于远期增配数字量或通信模块

3.2 模拟量输入回路设计

3.2.1 信号制式与模块类型选择

车站安全监测大量依赖连续量测量。模拟量输入模块需根据传感器输出类型选择电压型或电流型；4～20 mA 电流环因抗干扰能力强、便于断线检测，在工业现场应用最广。通道数应覆盖各防火分区、重要设备房、集水坑等测点，并预留 10%～15% 扩展槽位，避免后期加装传感器时无可用通道。本课题四路模拟量测点与 SM 1231 通道的对应关系见表 3-2。

表 3-2　模拟量测点与 SM 1231 通道配置

序号	AI 地址	模块通道	监测量名称	现场信号	输入量程（软件组态）	中间变量
1	%IW10	通道 0	空气温度	DC 4～20 mA	内部码 0～27648 对应变送器量程（如 0～50 ℃）	%MW200

序号	AI 地址	模块通道	监测量名称	现场信号	输入量程（软件组态）	中间变量
2	%IW12	通道 1	相对湿度	DC 4～20 mA	内部码 0～27648 对应 0～100 %RH	%MW210
3	%IW14	通道 2	烟雾（可燃气体）浓度指数	DC 4～20 mA	内部码 0～27648 对应 0～100（无量纲工程指数）	%MW220
4	%IW16	通道 3	积水水位	DC 4～20 mA	内部码 0～27648 对应液位量程（如 0～500 cm）	%MW230

3.2.2 接地、屏蔽与布线

多路模拟量共用参考地时，应注意传感器供电与接地方式，避免地环路引入测量噪声。长距离电缆应采用屏蔽双绞线，屏蔽层单端接地原则与车站接地网设计一致；柜内分线端子应标识清晰，与 PLC 模拟量输入施工图线号表一一对应。

3.2.3 施工图与竣工资料的符合性校核

PLC 模拟量输入施工图反映模拟量模块端子分配、传感器回路接线、隔离器或安全栅（若应用于危险场所边界）布置等工程细节。实施阶段应逐点核对线号、端子排号与竣工资料一致；上电前使用兆欧表按规程检测绝缘，防止误接线损坏模块。

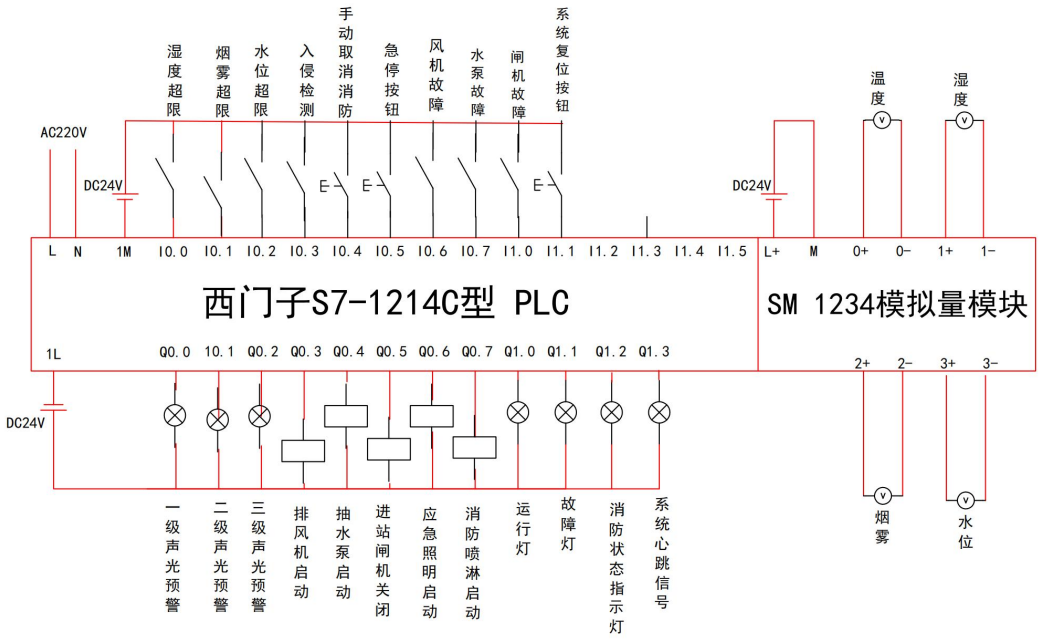


图 3-1 PLC 模拟量输入原理与端子接线图

3.3 数字量输入输出

3.3.1 数字量输入信号来源与消抖

数字量输入用于接收感烟/感温探测器（经继电器模块）、液位开关高高位、设备故障触点等。软件侧可对机械触点设置 20～50 ms 消抖滤波；对快速脉冲型信号慎用过长滤波以免丢失事件沿。

3.3.2 数字量输出与负载保护

数字量输出用于驱动声光报警器、中间继电器、运行指示灯等。所有 DO 回路应串联适当熔丝或微型断路器保护，线圈侧并联浪涌抑制器件；对交流接触器类负载宜经中间继电器隔离，避免 DO 直驱大电流线圈导致模块寿命缩短。

3.3.3 失效安全原则与数字量输出保持策略

对于“通信中断时是否保持当前输出”等问题，应在安全分析中按最坏工况定义默认状态；通常报警类输出宜为失电不报警或失电保持需与运营方一致，并在图纸备注。

3.4 主电路与供电系统设计

3.4.1 主电路典型元件组成

低压主电路施工图通常包含进线断路器、双电源切换元件、分路微型断路器、

UPS 接口、SPD 布置等。PLC 机柜建议采用独立分路，与冷冻泵、排烟风机等大功率设备分路，降低起动压降造成 PLC 复位的概率。

3.4.2 UPS 与电池监测接口

若配置 UPS，可将 UPS 故障干接点、电池欠压、旁路状态等引入 DI，纳入监控总貌与报警列表，便于电源故障与过程报警关联分析。

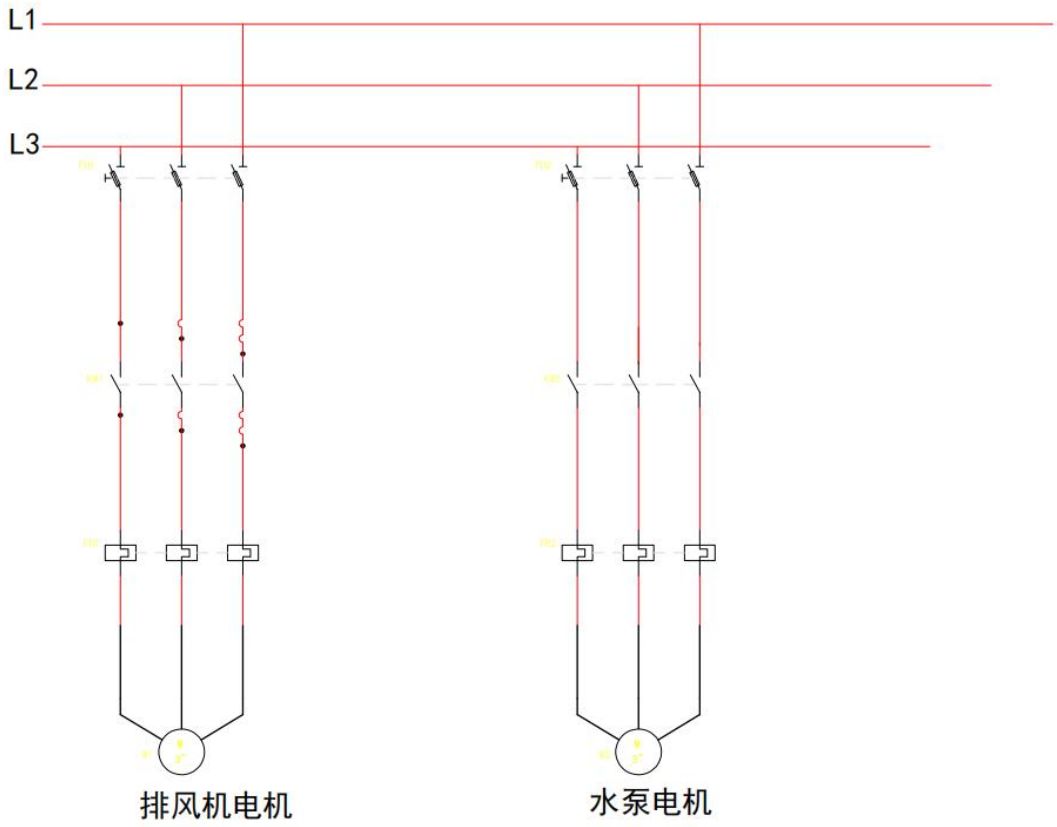


图 3-2 车站安全监测与预警系统主电路

3.5 控制机柜布置与二次回路布线

3.5.1 强弱电分区与散热

PLC 机柜内应区分强电区与弱电区，交流动力线与信号线分层桥架敷设；柜顶风扇或空调气流组织应避免直吹 PLC 表面冷凝。温湿度较高的电缆夹层，机柜防护等级与密封材料应满足环境等级。

3.5.2 干扰源隔离与等电位

模拟信号线与变频器动力线避免长距离平行走线；变频器接地、PLC 接地、机柜接地汇流至接地排后单点接入车站接地网。等电位连接不良是现场疑难杂症的常见根因，应在隐蔽工程验收阶段拍照存档。

3.6 传感器与现场设备选型

车站安全监测对象主要包括空气温湿度、烟雾或可燃气体浓度、积水液位以及设备故障触点等。本节在工程常用范围内给出传感器与外围设备的型式选择原则及参考品类，具体型号与数量应以招标技术规格书及设计院设备表为准。插图占位中给出**百度搜索推荐词**，定稿时可在百度图片（https://image.baidu.com）检索后选用清晰、无水印且版权合规的示意图或产品外形图，并在图题下方注明图片来源与检索日期。主要传感器与执行器选型见表 3-3。

表 3-3　传感器与执行器选型

序号	对象名称	型式与主要规格	信号形式及 PLC 地址	安装或布置部位
1	空气温度	铠装 Pt100 与导轨式温度变送器组合；量程 0～50 ℃，输出 DC 4～20 mA；准确度 0.25 级	DC 4～20 mA→%IW10→%MW200	站厅公共区吊顶或环控机房回风道
2	相对湿度	管道式电容湿度变送器；量程 0～100 %RH，输出 DC 4～20 mA	DC 4～20 mA→%IW12→%MW210	新风井与站厅回风汇合段
3	烟雾及可燃气体	点型光电感烟（经继电器隔离）及催化燃烧式可燃气体变送器；甲烷量程 0～100 %LEL，输出 DC 4～20 mA，在 PLC 侧作浓度指数处理	DC 4～20 mA→%IW14→%MW220；干接点可接入 %I0.0	电缆夹层入口、公共区（最终以消防审查意见为准）

序号	对象名称	型式与主要规格	信号形式及 PLC 地址	安装或布置部位
4	积水水位	投入式静压液位变送器；量程 0～5 m 水柱，输出 DC 4～20 mA；电缆护套耐介质腐蚀	DC 4～20 mA→%IW16→%MW230	站台层集水坑泵房
5	区间开关量	感温电缆故障、液位高位浮球等	%I0.0、%I0.1 等	区间泵房、电缆沟
6	设备故障	风机、水泵、闸机热继电器及接触器辅助触点	%I0.6～%I1.0	环控电控柜、排水泵控制箱
7	声光及预警灯	DC 24 V 工业声光报警器及三色预警指示灯	%Q0.0～%Q0.2（OB1 网络 10～12）	车控室操作台、PLC 机柜门
8	人机界面	西门子 KTP700 Basic PN 或同规格 7 in 触摸屏	Profinet，与 CPU 1214C 组网	车控室综合后备盘附近

3.6.1 温度测量元件

公共区与设备用房宜优先选用 Pt100 铂热电阻配合温度变送器输出 4～20 mA，或选用一体化温度变送器以简化接线；电缆夹层等狭窄空间可采用铠装热电阻加长引线。选型应核对量程、精度等级（如 A 级或 B 级）、套管材质与插入深度，并与 PLC 模拟量输入量程匹配。



图 3-3 铠装 Pt100 或一体化温度变送器

3.6.2 湿度测量元件

车站相对湿度监测多采用电容式湿度敏感元件的工业温湿度变送器，输出 4～20 mA 或 0～10 V。安装方式分为管道式与壁挂式，应按风道或房间布置选取，并注意探头耐污与校准周期。



图 3-4 MPK200 工业温湿度变送器

3.6.3 烟雾与可燃气体探测元件

公共区火灾早期探测应以通过消防认证的感烟、感温探测器及火灾报警控制器为核心，本系统若仅作环境辅助提示，可选用工业点型光电感烟探测器经继电器隔离接入 PLC 数字量，或与 FAS 通信接口取得状态。可燃气体监测宜选用催化燃烧式或电化学式探测器，量程与气体种类（如 CO、甲烷）须与车站风险分析一致。



图 3-5 西门子 OP720-CN 点型光电感烟火灾探测器

3.6.4 液位测量装置

集水坑、电缆沟水位可采用超声波液位计、雷达液位计或投入式静压液位变送器。超声波对泡沫与蒸汽较敏感，安装应满足盲区与防波管要求；投入式需注意电缆透气与介质腐蚀性。输出以 4～20 mA 为主，便于与本章前述模拟量输入回路统一。



图 3-6 超声波液位计

3.6.5 声光报警与低压执行元件

预警输出常驱动声光报警器、警铃及中间继电器，再由接触器控制风机、水泵等动力回路。声光器件应满足车站环境噪声与防护等级；继电器、接触器容量应大于负载额定电流并保留余量，线圈侧配置浪涌抑制与熔丝保护。



图 3-7 海湾声光报警器 GST-HX-240B 编码型消防火灾报警器

3.6.6 排水泵与通风执行设备

水位联动常涉及潜水排污泵或立式排水泵及通风机。论文中可给出额定流量、扬程、电源制式及与软启动/变频器的接口说明，外形图仅作示意。



图 3-8 潜水排污泵

3.6.7 控制器与人机显示设备

PLC 主机与扩展 I/O、触摸屏式人机界面为系统核心硬件。选型应 CPU、模块点数及通信口一致；触摸屏尺寸、防护等级与安装方式应满足车控室人机工程学要求。



图 3-9 西门子触摸屏



图 3-10 10 寸西门子触摸屏

第 4 章 PLC 控制程序设计

本章控制软件以西门子 TIA Portal 环境下导出的 Main[OB1] 梯形图（LAD）为技术载体，控制器选型为 CPU 1214C DC/DC/DC，程序由若干顺序排列的程序网络构成。下文按“初始化与运行许可—模拟量处理—预警与联动—故障与模式管理—运行统计与安全保护”等功能主线归纳设计思想；

4.1 主程序结构与初始化联锁

组织块 OB1 承担循环扫描主程序职能。程序前段完成上电初始化与首次循环判别，并处理急停、运行允许等联锁条件，形成系统运行许可，使能后续模拟量与预警分支；与加计数器（CTU）、接通延时定时器（TON）等指令关联的数据块实例用于计时与统计（实例分配以竣工程序为准）。建议在工程中增设全局数据块，用于记录程序版本、修改履历及与人机界面侧配方参数的同步信息，以满足运维审计需要。

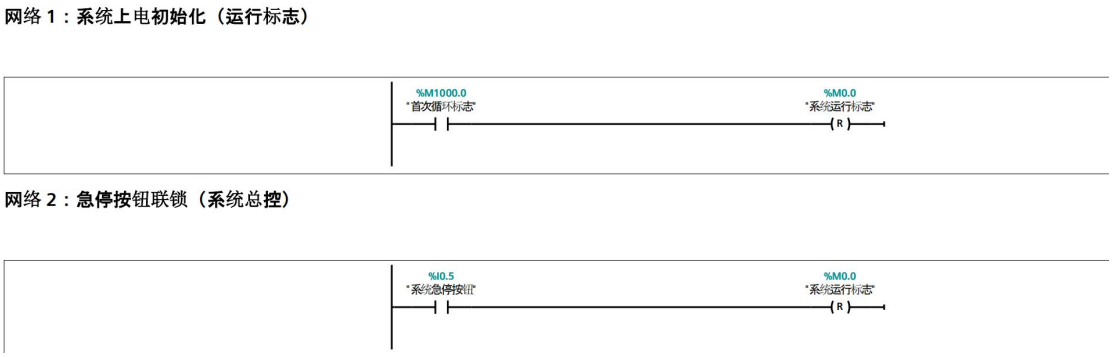


图 4-1 Main[OB1] 程序块属性及网络

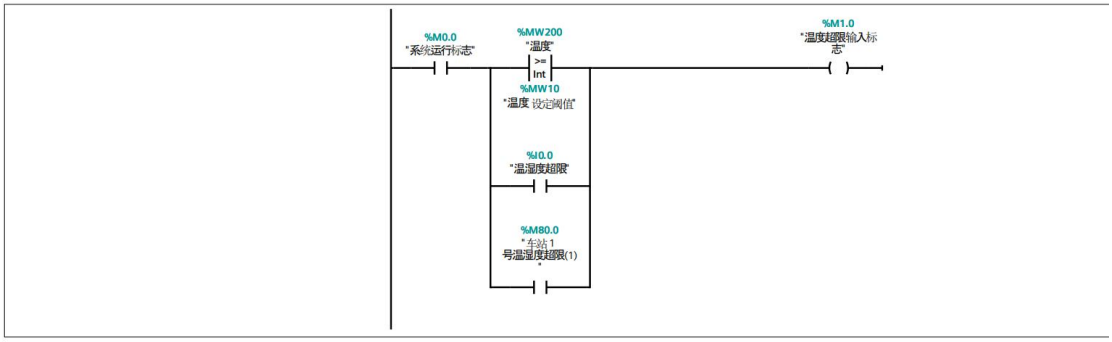
4.2 模拟量通道处理与越限判别

模拟量处理链路中，首先通过数据传送类指令将模拟量输入通道映射为工程中间变量，再与温度、湿度、可燃气体浓度及水位等设定阈值进行数值比较，得到各路越限判别结果，并与必要的数字量条件进行逻辑组合。若工程上需抑制测量抖动或实现断线检测，可在上述链路下游以独立功能块扩展，本文从略。越限比较所用设定初值及量纲见表 4-1。

表 4-1　过程参数设定初值及量纲

序号	监测量	设定值存储地址	程序初值	量纲	关联 AI 及中间变量
1	空气温度	%MW10	30	℃	%IW10，%MW200
2	相对湿度	%MW12	80	%RH	%IW12，%MW210
3	烟雾（可燃气体）浓度指数	%MW14	50	无量纲	%IW14，%MW220
4	积水水位	%MW16	20	cm（相对集水坑底零点）	%IW16，%MW230

网络 3：温度模拟量阈值比较



网络 4：湿度模拟量阈值比较

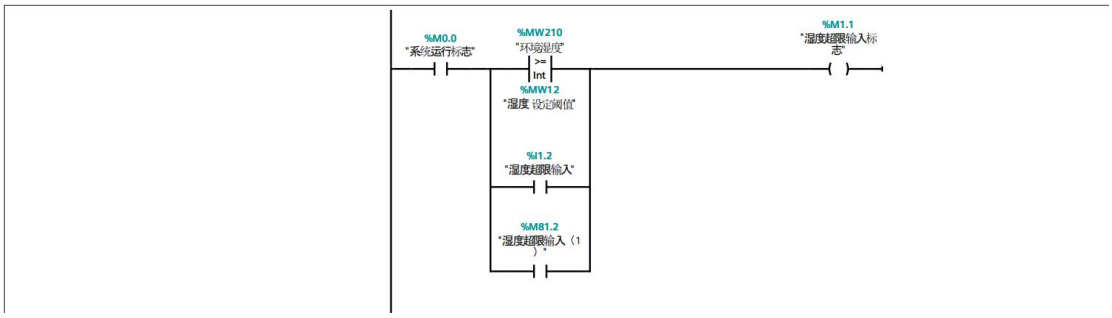
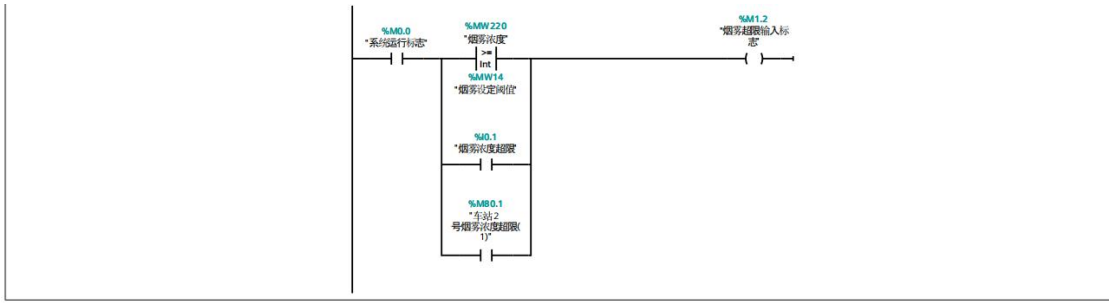


图 4-2 模拟量 MOVE 与越限比较



网络 6：水位模拟量阈值比较

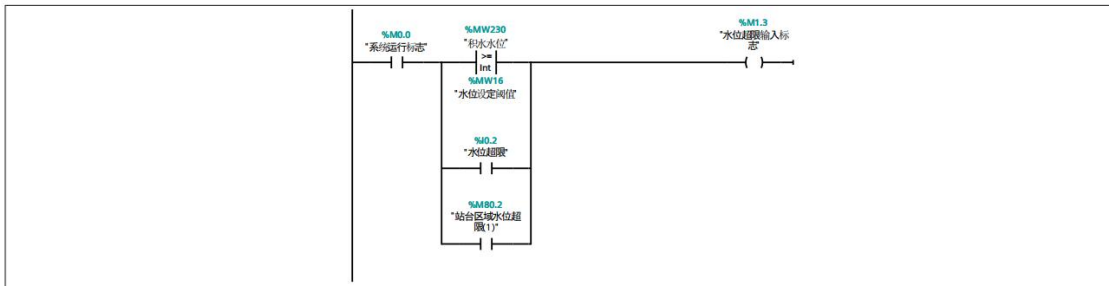
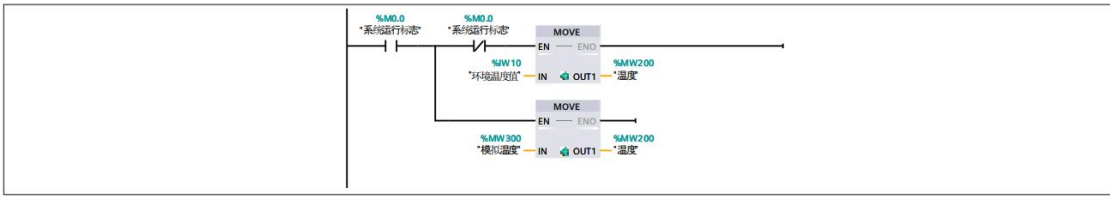
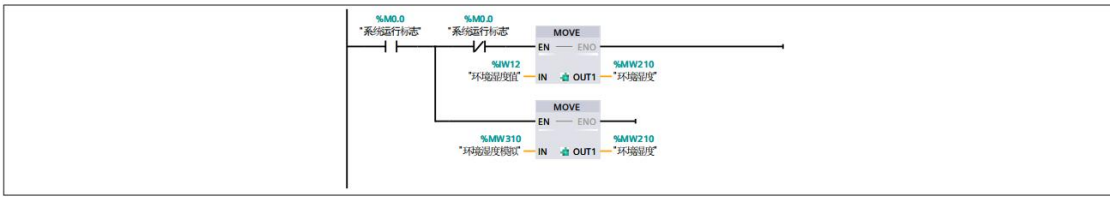


图 4-3 模拟量 MOVE 与越限比较

网络 28：温度数据



网络 29：湿度数据



网络 30：烟雾数据

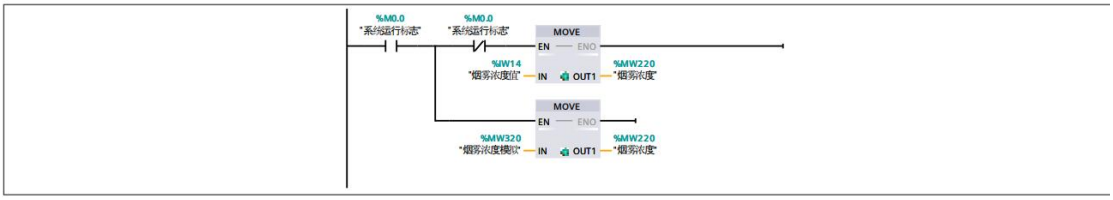


图 4-4 模拟量 MOVE 与越限比较

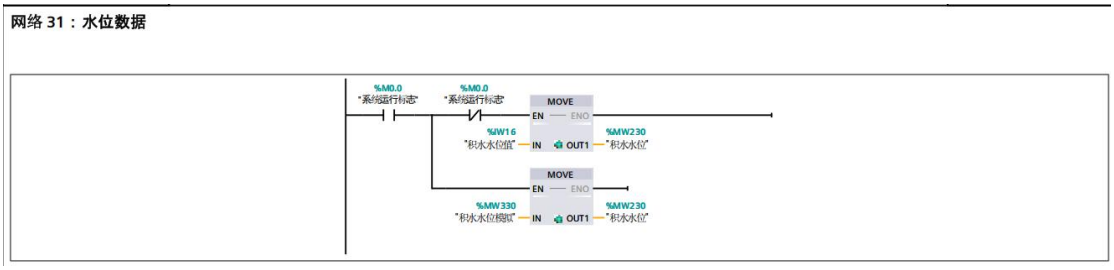


图 4-5 模拟量 MOVE 与越限比较

4.3 多级预警、声光指示与设备联动

本节对应 Main[OB1] 中由过程越限到声光指示、再到通风与排水等执行输出的完整预警链，体现“状态综合—就地指示—联动执行”的分层设计。

4.3.1 多级预警逻辑综合

程序将温度、湿度、烟雾浓度、积水水位及手动报警按钮等输入进行逻辑综合，分别形成一级、二级、三级预警内部状态。该段体现“多参量、分级递进”的判别思想：较低级别侧重环境舒适性或单一越限，较高级别在组合条件满足时置位，以避免单一噪声测点导致最高等级误动。

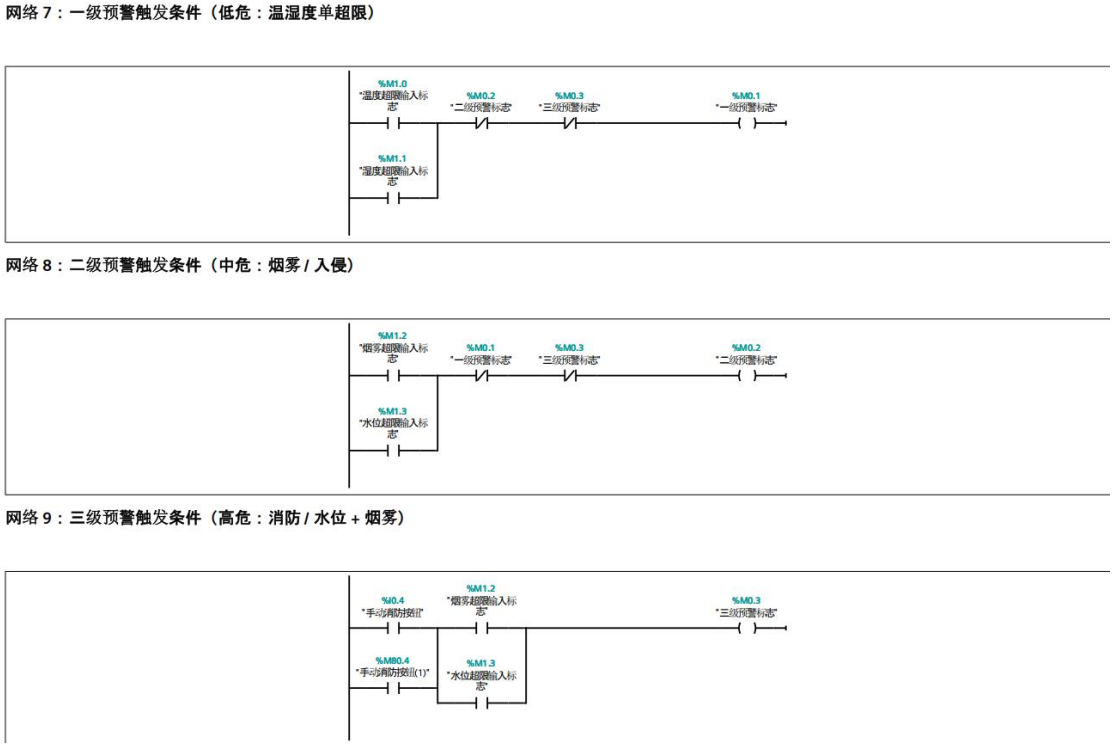


图 4-6 多级预警逻辑综合

4.3.2 预警等级声光指示输出

在预警内部状态建立后，程序驱动一级至三级预警灯等离散量输出，为车控室或机柜面板提供直观的等级指示；该输出可作为声光报警器、继电器线圈等的

前级，具体负载接线见第 3 章主电路与 DO 保护设计。

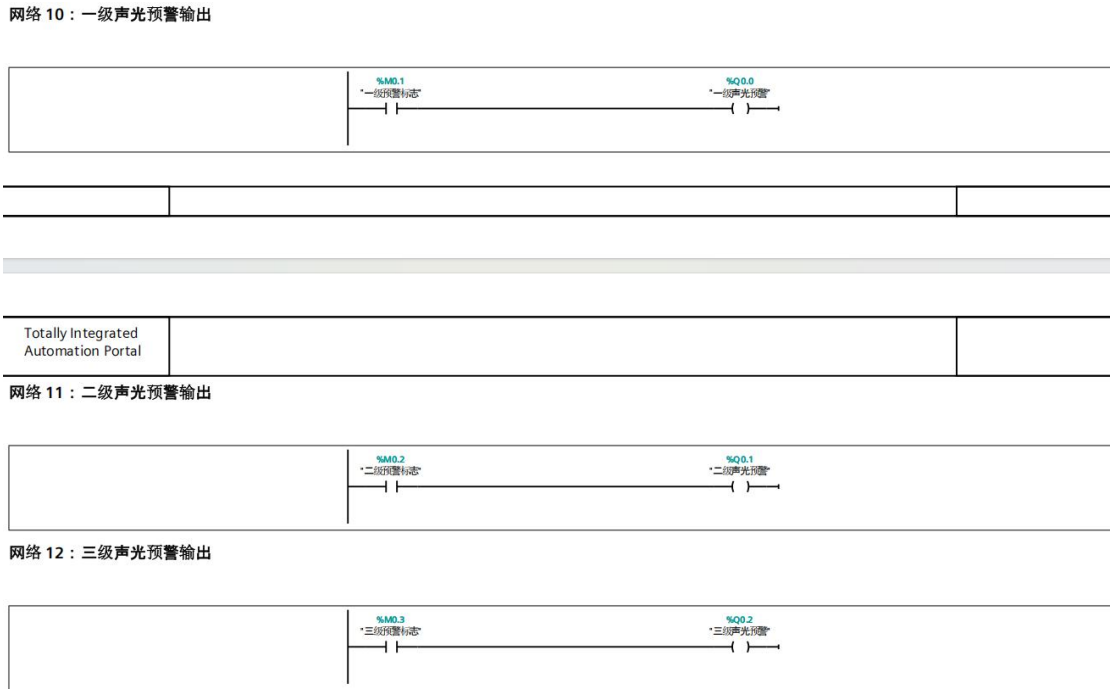
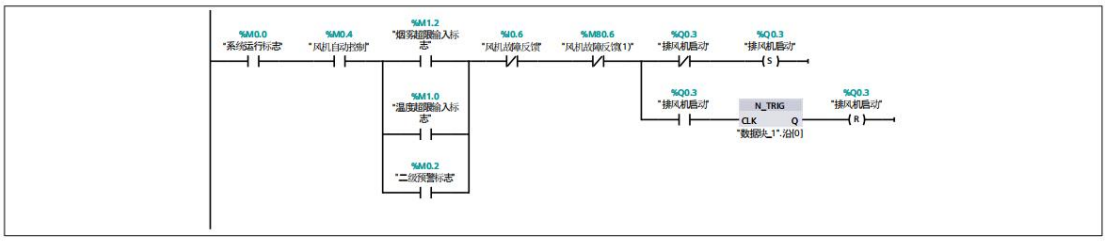


图 4-7　预警等级指示灯输出

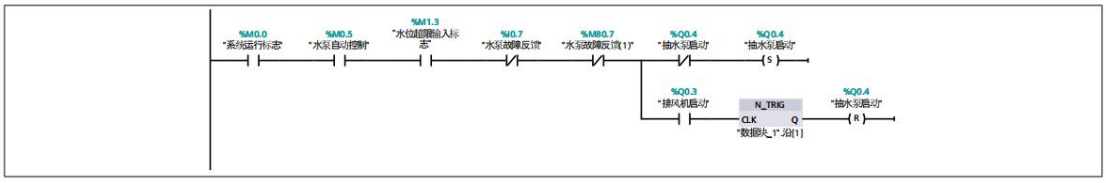
4.3.3 设备联动与警笛输出

在系统运行许可及各级预警、故障等条件满足时，程序按设计策略接通通风、排水泵、闸机关闭、应急广播等执行通路，并保留警笛类声讯输出；各回路之间通过互锁与边沿检测（如 N_TRIG）避免重复触发与振荡。联动权限与运营规章、BAS/FAS 职责划分须在设计联络阶段书面固化。

网络 13：排风机自动启动（温度 / 烟雾 / 二级预警）



网络 14：抽水泵自动启动（水位超限）



网络 15：进站闸机关闭（三级预警）

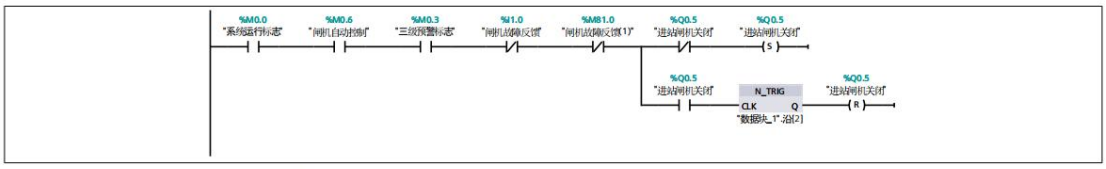


图 4-8 通风、排水、闸机、广播及警笛联动

网络 16：应急照明启动（三级预警 / 断电）



网络 17：消防喷淋启动（手动消防按钮）

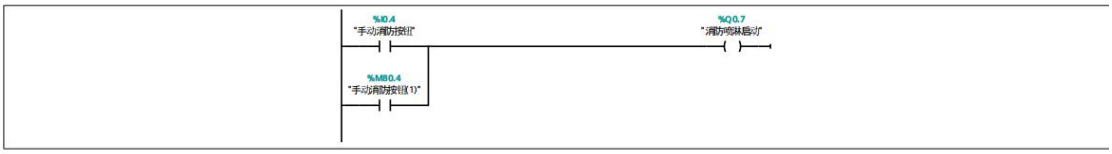


图 4-9 通风、排水、闸机、广播及警笛联动

4.4 设备故障、系统复位与手自动控制

本节实现现场设备故障的可视化提示、运行中的人工复位以及自动与手动控制的无扰切换，是保障“故障可诊断、操作可干预、模式可切换”的关键程序段。

4.4.1 设备故障检测与锁存

风机、水泵及闸机等机电设备故障信号经数字量输入进入 PLC 后，由置位与锁存逻辑保持故障状态，直至维护人员排除故障并履行复位流程。边沿检测用于产生脉冲式提示，便于在人机界面上触发弹窗或事件记录，避免故障状态在扫

描周期内被误清除。

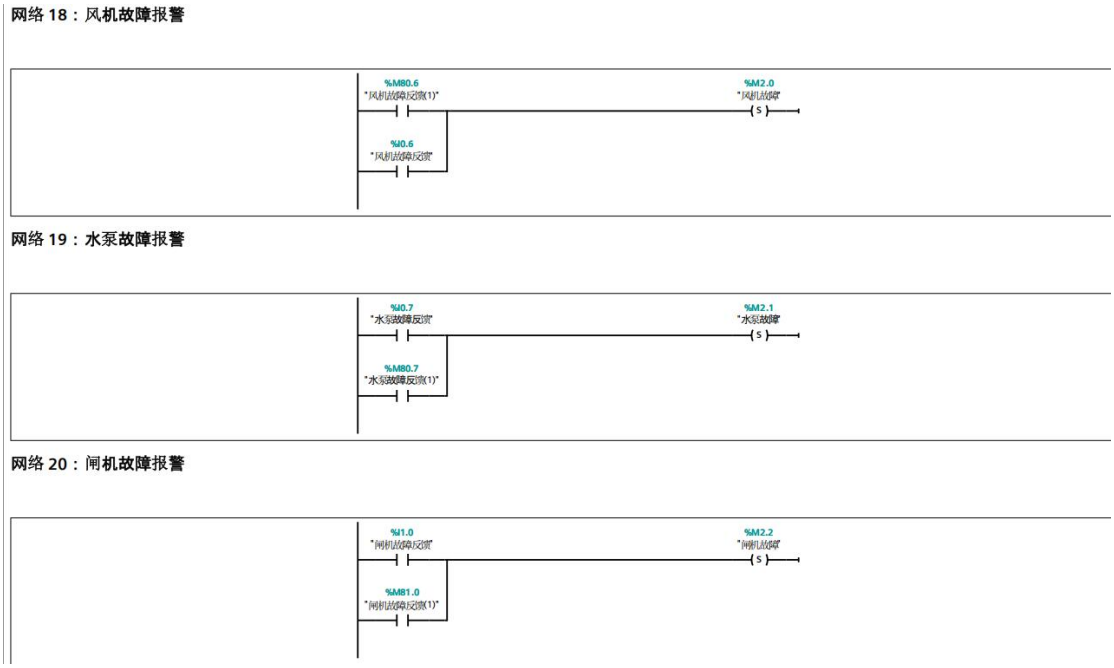


图 4-10 设备故障检测与锁存

4.4.2 系统复位与成组清除

在复位按钮等授权条件满足时，程序对一级预警标志、计数区及相关内部位实施成组清除（如 RESET_BF 指令应用段），使系统回到可监视的初始逻辑区，为再次监测腾出状态空间。复位范围应在出厂前通过仿真与现场试验确认，防止误清除与安全相关的保持位。

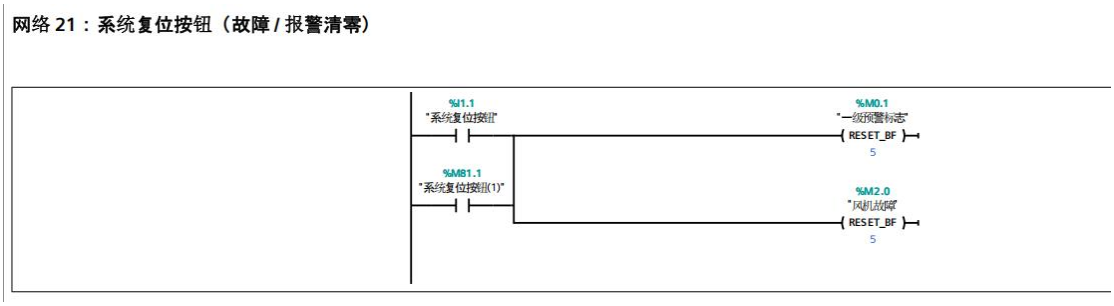


图 4-11 系统复位与成组清除

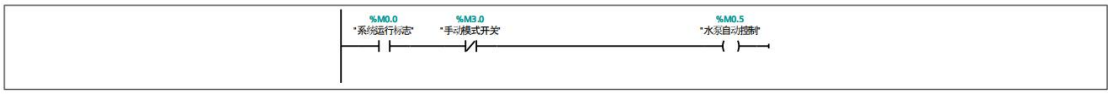
4.4.3 自动与手动模式及现场点动控制

在系统运行许可前提下，通风、排水与闸机等子回路通过模式选择变量区分自动与手动路径；手动侧采用置位、复位及脉冲类指令配合数据块数组下标，实现对输出的点动或保持式控制，并与自动逻辑互锁，防止双通道同时有效。该结构满足日常自动运行与检修点动的双重需求。

网络 22：自动 / 手动模式切换（风机）



网络 23：自动 / 手动模式切换（水泵）



网络 24：自动 / 手动模式切换（闸机）

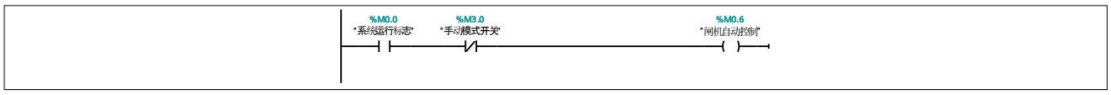
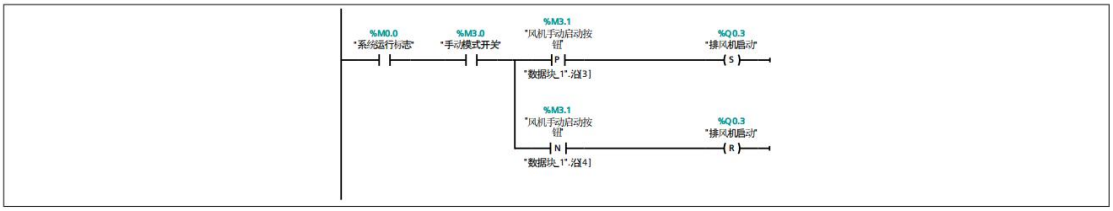


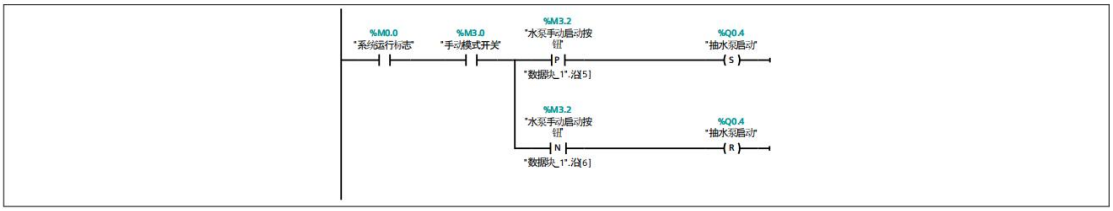
图 4-12　自动/手动切换与手动点动控制

网络 25：手动控制风机启动

Totally Integrated Automation Portal



网络 26：手动控制水泵启动



网络 27：手动控制闸机关闭

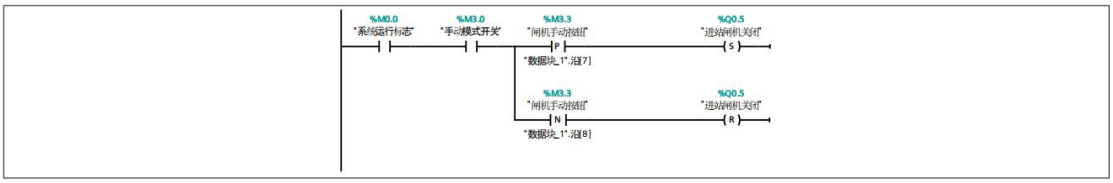


图 4-13　自动/手动切换与手动点动控制

4.5 运行统计、设定值保护、状态指示与急停

本节从运行数据记录、过程参数约束、就地状态显示及紧急停机四个方面完善程序闭环。

4.5.1 预警事件与运行时间统计

程序利用加计数器对各级预警发生次数进行累计，并结合接通延时定时器与加计数器对通风、排水及闸机等执行机构的运行时间进行统计，为维保计划、能耗分析及寿命评估提供量化依据。统计上限与复位条件应在数据块中参数化，便于后期调整。

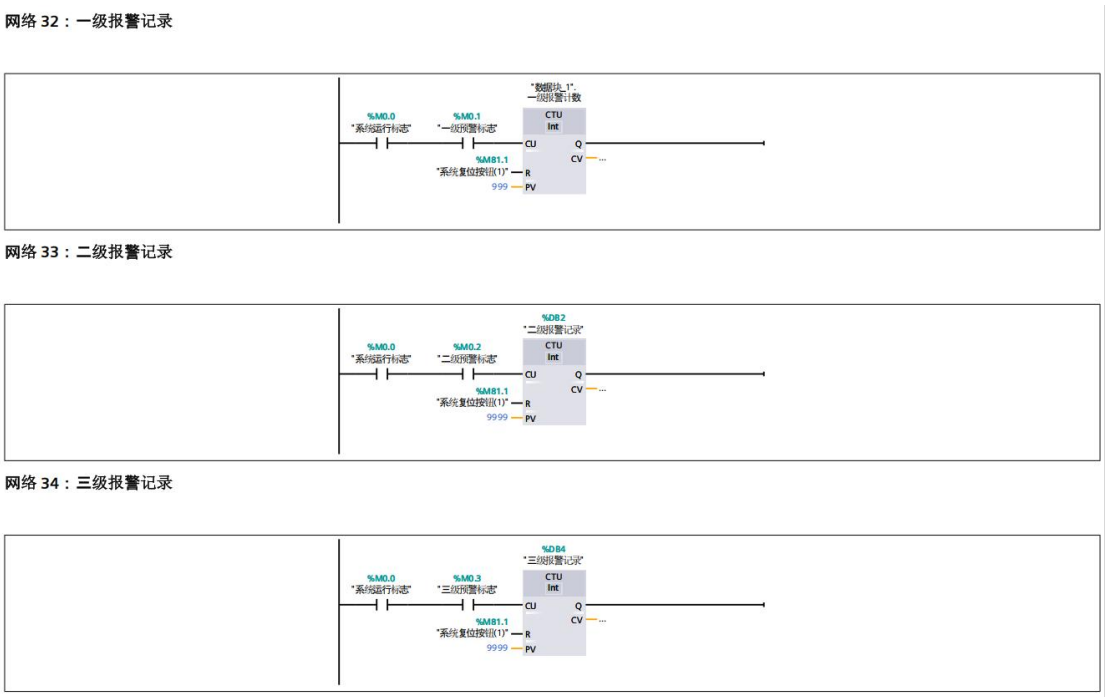
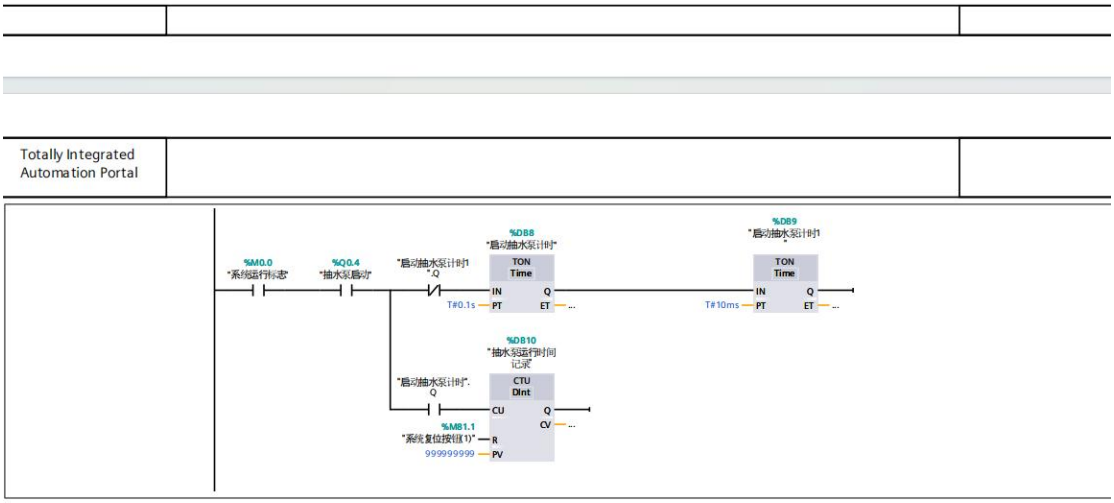


图 4-14　预警次数与运行时间统计

网络 36：水泵运行时长统计



网络 37：闸机关闭时长统计

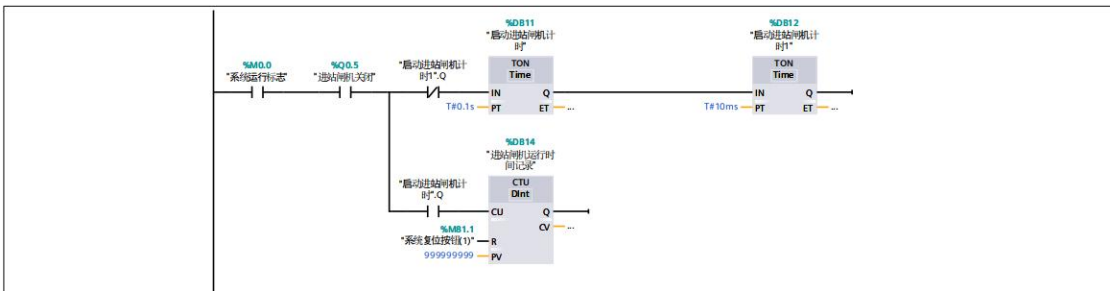


图 4-15　预警次数与运行时间统计

4.5.2 过程参数设定值保护与初值写入

程序对温度、湿度、可燃气体及水位等设定值进行限幅比较与数据传送，实现工程上下限保护与演示初值写入，防止异常配方或通信干扰导致阈值越出安全窗口。该段与第 3 章传感器量程及人机界面配方应一致，变更须履行审批与双端同步。

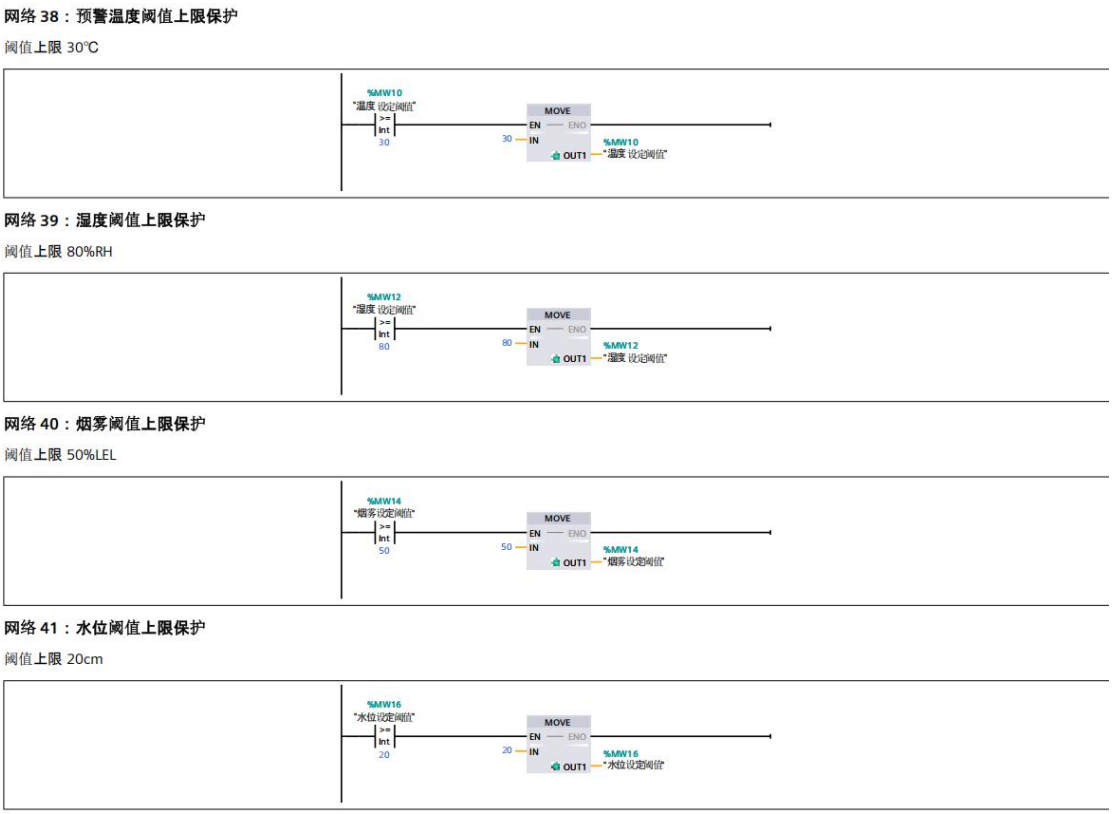
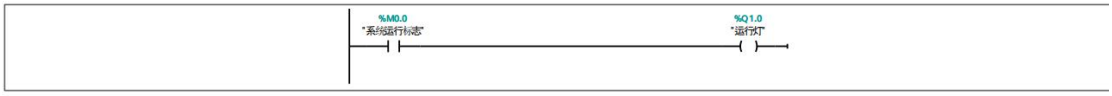


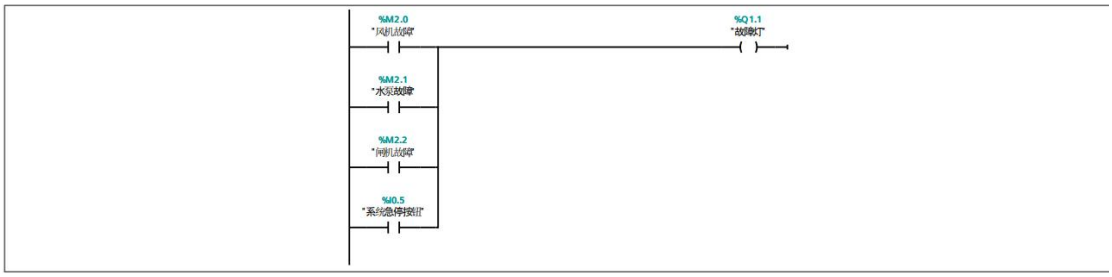
图 4-16 设定值限幅与初值写入

4.5.3 运行状态指示与急停联锁

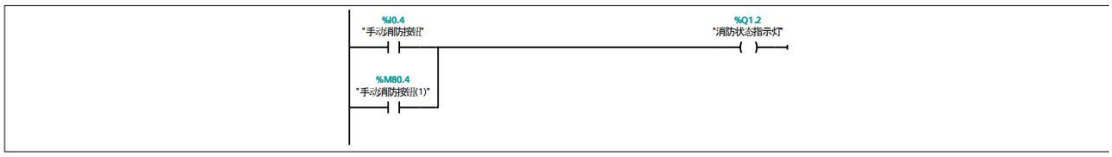
程序驱动运行、故障及告警等指示灯输出，并以定时闪烁等方式给出系统运行心跳；急停路径在紧急情况下对联锁相关输出实施批量复位，优先保障人身与设备安全。指示灯含义应在人机界面图例与现场张贴标识中统一。



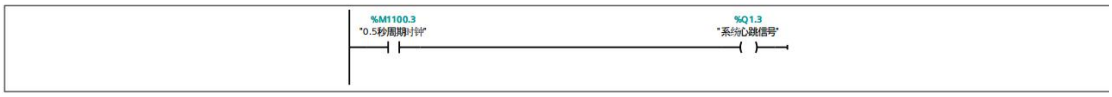
网络 43：故障状态指示灯



网络 44：消防状态指示灯



网络 45：系统心跳信号（监控在线）



网络 46：急停

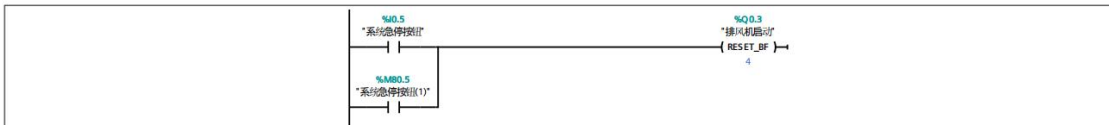


图 4-17 状态指示灯与急停输出切断

第 5 章 人机交互界面与预警联动设计

5.1 监控主画面与信息分区

人机交互监控主画面应在一屏内呈现车站总貌或平面图、实时报警条、关键模拟量与通信状态，并提供消音、确认等操作入口。图元风格宜与综合监控系统保持一致，以降低误读。HMI 总貌画面可作为排版与配色的工程参照。

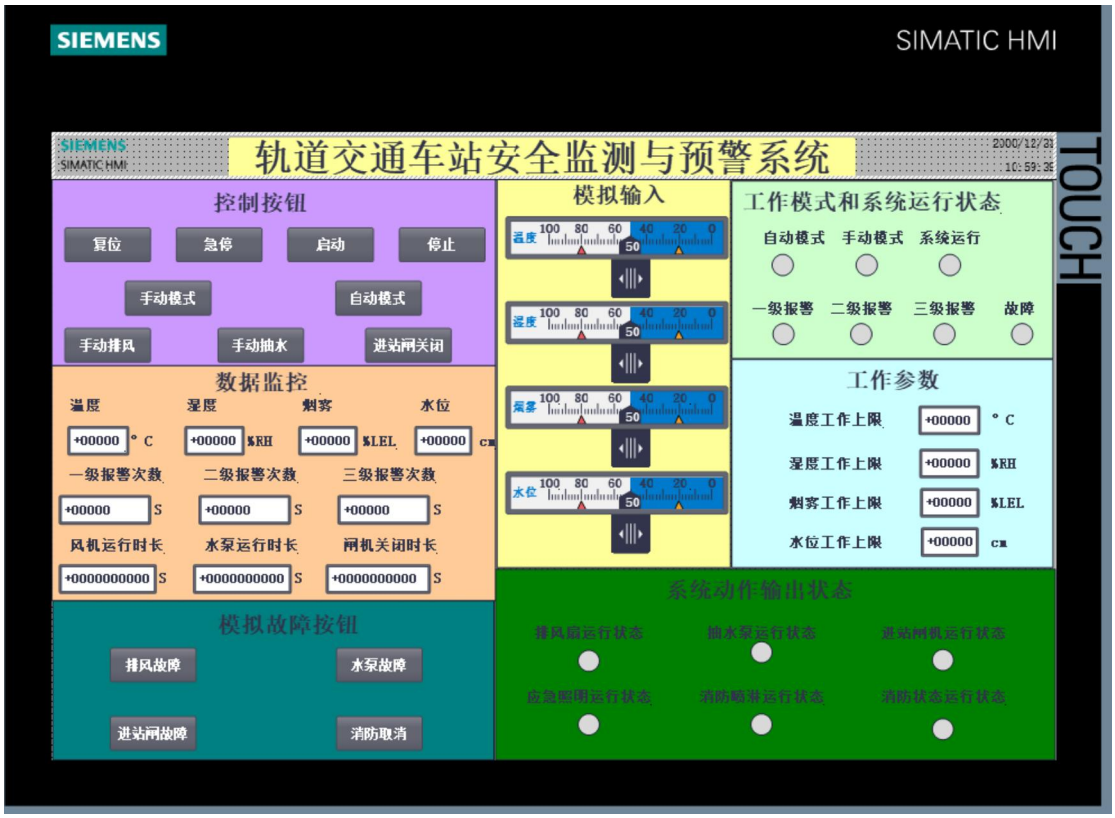


图 5-1 机交互监控主画面

5.2 预警分级策略与典型处置

工程上可采用绿—黄—橙—红四级色标，阈值与迟滞在试运期按基线数据整定。典型工况包括：电缆沟与集水坑水位分级启泵与上报；配电柜温升与多点关联提示电气风险；有害气体与通风、列车到发时段关联以抑制误报。阈值变更应走审批流程，PLC 与 HMI 同步更新。人机显示与 PLC 输出之间的分级对应关系见表 5-1。

表 5-1 预警分级与人机显示及 PLC 输出对照

序号	预警等级	人机界面色标	梯形图程序段	预警灯输出	触发含义概述	值班处置要点
0	正常	绿色	OB1 网络 7～9 条件均未满足	%Q0.0～%Q0.2 均为 0	过程量未越限或组合条件未成立	例行监视，关注 %MW200～%MW230 趋势
1	一级预警	黄色	OB1 网络 7（一级预警）	%Q0.0=1（网络 10）	单一参量越限或初级组合条件	核对测点及 %MW10～%MW16 设定，加强观察
2	二级预警	橙色	OB1 网络 8（二级预警）	%Q0.1=1（网络 11）	多参量组合或越限程度加重	现场核查，按规章通报环控及机电调度
3	三	红	OB1	%Q0.2=1（网络	高危	启动应急预案，请求支援，

序号	预警等级	人机界面色标	梯形图程序段	预警灯输出	触发含义概述	值班处置要点
	级预警	色	网络 9（三级预警）	12）	组合或手动报警等最高等级	记录事件顺序（SOE）

5.3 联动方式、权限与安全

联动可采用硬接线干接点与网络通信（Modbus TCP、OPC 等）相结合，说明书须写明通信中断时的默认动作。HMI 侧实行值班员、维护员、管理员分级口令；消防及行车安全相关禁止仅靠软按钮替代硬联锁。对重要联动输出可简要做 FMECA 提示（线圈开路、触点粘连等）及缓解措施。

第 6 章　系统验证与工程保障

6.1　通信、可靠性与运维要点

车站级宜采用星形以太网，控制网与办公网、视频网 VLAN 隔离；与 ISCS 约定寄存器地址、字节序与质量码。硬件上可选用 UPS、双网或冗余电源（按投资等级）；软件上对通信超时、模块拔出、电源跌落等设诊断位置位与降级策略。运维侧应建立程序备份、备件清单与季检制度，竣工资料含端子表、拓扑图、标定记录与 FAT 报告。

6.2 实验室与现场测试验证

实验室用过程校验仪注入 4～20 mA 验证 AI 线性；现场完成传感器逐点比对、声光与联动时序录波、断电及断网恢复试验，每项不少于三次并归档。主要验证项目及合格判据见表 6-1。

表 6-1　系统验证项目及合格判据

序号	验证项目	试验方法及记录要求	合格判据
1	四路模拟量刻度	过程校验仪向 SM 1231 各通道注入 DC 4、8、12、16、20 mA；同步记录 %IW10、%IW12、%IW14、%IW16 及 %MW200～%MW230	每路不少于 5 个校准点；线性换算后示值误差不大于 ±1.0 %FS（或合同规定值）；示值单调、无跳码
2	越限判	调节注入电流使中间变量相对表 4-1 设定值呈现越限/复归（如 %MW200 相对 %MW10）	%M1.0～%M1.3 仅在测量值大于设定值时置位；故障消除后可靠复归；与

序号	验证项目	试验方法及记录要求	合格判据
	别		OB1 网络 3～6 一致
3	分级预警输出	在系统允许运行且未急停条件下，分别使 OB1 网络 7～9 成立	%Q0.0、%Q0.1、%Q0.2 分别与一级、二级、三级预警逻辑一致；级间无互锁冲突
4	联动与警笛	在序号 3 条件下触发 OB1 网络 13～17 各执行支路	各数字量输出动作顺序与竣工梯形图一致；边沿指令无振荡；连续 3 次试验结果一致
5	设备故障锁存	依次短接 %I0.6～%I1.0 中故障输入触点	%M2.0～%M2.2 按 OB1 网络 18～20 锁存；故障排除并完成规定复位流程后方可清除
6	系统复位	在 %I1.1 等复位条件允许时执行 OB1 网络 21（RESET_BF 段）	一级预警及相关内部位、指定计数区按设计范围清除；急停、消防相关保持位不被误清除
7	通	断开并恢复 Profinet 电缆，或停止 HMI	通信超时诊断及报警提示

序号	验证项目	试验方法及记录要求	合格判据
	信与人机	运行工程	符合说明书；恢复后 %MW10～%MW16 及过程量刷新正常
8	电源跌落	分路断开 PM1207 交流进线或模拟 UPS 切换	控制器程序不丢失；重新上电后 OB1 自网络 1 进入预定监视状态

第 7 章 总结与展望

本文面向轨道交通车站安全监测与预警工程需求，完成了从系统需求与总体方案、监测控制硬件（含模拟量输入回路、主电路与机柜布线）、以 PLC Main[OB1] 为核心的控制程序，到人机监控主画面与分级预警联动、通信与可靠性约束及测试验证的连贯论述；设计过程与 PLC 模拟量输入施工图、低压主电路施工图、所附主程序梯形图电子版、HMI 总貌画面及演示视频等资料相互对应，形成了可实施、可扩展、便于与 BAS/ISCS 协同的技术路线，将环境参量监测、分级预警与受控联动统一在开放 PLC 平台上，有利于既有线改造与备件管理。

后续可在符合等级保护的前提下，引入边缘侧轻量级异常检测与全线告警大数据分析，与现有规则报警互补；结合 BIM 与数字孪生开展空间定位与应急演练可视化。工程上宜在试点站积累长周期运行数据，在人工确认闭环内优化阈值整定策略，并持续厘清与法定火灾报警系统的职责边界，推动安全监测子系统与综合监控的标准化接口落地。

致谢

时光荏苒，数载求学岁月悄然落幕，回望这段充实且难忘的求学旅程，心中满是感慨与万般谢意。首先谨向我的指导老师致以最诚挚的敬意与最衷心的感谢，从最初确定研究方向、搭建整体研究框架，到研究过程中攻克各类难题，再到论文反复修改完善，老师始终悉心教导、倾囊相助。每当我陷入思路瓶颈、心生迷茫之时，老师总能精准点明问题核心，给出切实可行的改进建议。老师严谨求实的治学理念、精益求精的科研精神以及谦和沉稳的行事作风，不仅指引我顺利完成学业研究，更在潜移默化中塑造我的处事态度，成为我未来学习与工作中终身学习的榜样。同时由衷感谢在校期间所有任课教师，各位老师深耕专业领域，以渊博的学识讲授专业课程，耐心传道授业解惑，夯实我的专业理论基础，拓宽我的学术视野，为本次课题研究奠定了坚实牢靠的学识根基。

深深感恩至亲家人长久以来无微不至的关怀、包容理解与默默坚守。一路走来，家人始终无条件支持我的学业追求，包容我求学路上的忙碌与奔波，在我疲惫失意之时给予暖心安慰，在我奋力前行之时给予无限底气，用最朴素无私的爱意为我筑起安稳温暖的港湾，让我能够抛开外界纷扰，专心投入学习与研究之中。此外，十分感谢朝夕相处的同窗好友与身边挚友，求学路上我们并肩前行，平日里相互交流学习心得、探讨学术问题，遇到困难彼此扶持鼓励，闲暇之时相伴畅谈理想，一同度过无数充实欢乐的校园时光。行文至此，学业之旅即将告一段落，往后我定会怀揣这份沉甸甸的感恩之心，铭记师长教诲、不负亲友期许，始终保持初心奋勇前行，以踏实进取的姿态奔赴人生新征程，在未来道路上脚踏实地、砥砺前行。

参考文献

[1]吴波. 探究 PLC 实现设备运行状态的实时监控与预警系统设计[J].粘接,2026,53(04):1195-1198.

[2]张果霞,刘之涵. 化工生产现场安全监测预警系统设计与应用要点[J].中国石油和化工标准与质量,2026,46(07):193-195.

[3]陈中强,戴月,杨岫锟. 矿山开采过程中的智能监测与预警系统设计[J].世界有色金属,2026,(07):109-111.

[4]张宇坤,龚圣涵. 长输燃气管道第三方破坏风险评估与智能预警系统设计[J].中国化工贸易,2026,18(09):154-156.

[5]曹昌奉. 数字化转型下固定资产智能盘活与风险预警系统设计[J].中国商界,2026,(06):282-284.

[6]马明. 煤矿水害风险预警系统的设计与应用[J].内蒙古煤炭经济,2026,(05):109-111.

[7]全国轨道交通电气设备与系统标准化技术委员会(SAC/TC 278).轨道交通机车车辆　无轨电车的电气安全:GB/T 47161-2026[S].中国标准出版社,2026.

[8]敖琦峰. 城市轨道交通电力调度安全风险及防控策略研究[J].运输经理世界,2026,(06):10-13.

[9]刘辉. 市政通道长距离上跨轨道交通和下穿铁路安全影响分析[J].山东交通科技,2026,(01):76-80+89.

[10]张媛,周俊全,周强,等. 城市轨道交通初期运营前安全评估时钟接口测试项的风险分析与对策[J].人民公交,2026,(04):87-89.

[11]董伟光,吴天斌,刘通,等. 多场景道路交通安全防控预警系统设计与应用[J].智能城市,2026,12(02):17-21.

[12]高婷慧. 矿井供电系统智能监测与故障预警系统设计[J].矿业装备,2026,(02):122-124.

[13]张华臣. 开关柜母线温度在线监测与预警系统设计[J].中国设备工程,2026,(05):125-127.

[14]王正明. 风电与光伏设施智能化故障预警系统设计[J].光源与照明,2026,(01):108-110.

[15]杨晋,吴思海,李丹丹. 农村公路智能边坡安全监测预警系统设计与实现[J].智能城市,2026,12(02):27-31.

[16]毛林. PLC 技术在城市轨道交通自动化控制系统中的应用[J].人民公交,2024,(10):73-75.

[17]陈剑兴.基于 WinCC OA 的隧道监控系统研究[D].福州大学,2021.

[18]金瑞蒙,沈青,刘虹,等. 安全可信 PLC 在轨道交通工控系统中的应用研究[J].华东科技,2021,(06):60-63.

[19]赵学武,吴学文,郭爱涛,等. PLC 在高速公路隧道监控系统中的应用[J].工程技术研究,2021,6(01):65-66.

[20]刘林飞.基于 PLC 的群控电梯设计[D].华东交通大学,2020.