

基于 PLC 的起重机安监管管理系统设计

文/宝钢股份武钢有限炼钢厂 李 毅 陈 松

介绍了基于西门子 S7-300 系列 PLC 的起重机安监管管理系统设计方案, 阐述了安监管管理系统组成架构与功能设计、信号采集、PLC 程序设计和人机界面设计等方面内容。该系统应用于起重机设备管理, 实现了设备状态监控、运行数据记录及分析等功能, 大幅提高了起重机运行的安全性。

武汉钢铁有限公司 450 t 冶金铸造起重机是吊运高温液态金属罐的起重设备, 由主起升机构、副起升机构、主小车机构、副小车机构和大车机构组成。450 t 冶金铸造起重机的安全性至关重要, 仅依靠传统的设备点巡检及制度、流程管理, 很难实现设备长期安全、稳定运行。

通过整合西门子 S7-300 系列 PLC 技术、无线网络技术以及工控组态软件技术, 武汉钢铁有限公司在 450 t 起重机上设计应用了基于 PLC 的安监管管理系统, 可对起重机设备进行本地、远程 24 h 安全监控和运行管理, 实现了人与设备的高度协同作业, 降低了故障率和事故率, 提高了设备运行的安全性。

安监管管理系统总体架构

安监管管理系统的架构分为四个部分: ①设备层, 包括电气驱动设备、控制设备及传感器设备, 如电动机、继电器、互感器和编码器等。②控制采集层, 采用西门子 S7-300 系列 PLC 系统, 在原有的起重机控制 PLC 系统基础上, 新增一个用于监控的 PLC 机站。③本地监控层, 包含起重机驾驶室内

HMI 设备和电气舱内触摸屏 PC 机。④地面管理层, 包括远程服务器、计算机硬件和工厂局域网等。安监管管理系统架构如图 1 所示。

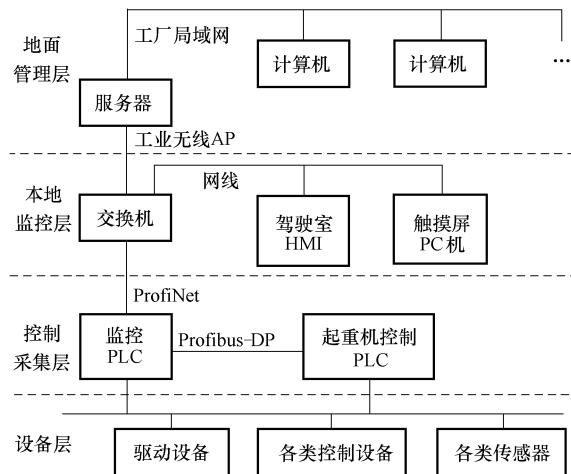


图 1 安监管管理系统架构框图

安监管管理系统功能设计

为了满足对现场设备运行状态进行监控及对运行数据显示、报警、记录和查询等要求, 安监管管理系统要完成以下功能的开发设计。

(1) 状态监测功能

系统能显示并记录起重机主要控制设备的开关量状态、电动机工作电压和电流、机构运行速度、吊物重量和机构运行位置等信息，实时显示起重机各设备状态的运行动画。

(2) 状态回放功能

管理者能访问起重机本地 PC 机和服务器中的记录数据，追溯查看设备在过去某一段时间的所有数据信息。

(3) 故障报警功能

设备发生异常时，系统自动弹出故障报警提示。管理者能查看历史故障报警记录，系统能统计显示某一设备、某一段时间内故障发生次数。

(4) 运行诊断功能

系统能统计主要设备的运行时间及动作次数，并根据管理者设定的预警值提示对相应设备进行检查及检修。另外，系统具有诊断常见设备故障及异常的功能。

(5) 安全监控功能

系统能显示各机构安全运行区间，当运行机构碰撞任何一个安全极限时进行提示。在危险状态时，系统具有终止设备运行的能力，如卷扬溜钩的监测保护。

安监系统 PLC 控制方案

1. PLC 硬件配置及通信

由于 450 t 起重机原有的 PLC 控制系统采用的是西门子 S7-300 型号，所以安监系统也使用 S7-300 系列 PLC。

在起重机电气舱增加监控系统电控箱，内置一个 PLC 机站，其模块配置为：①电源模块，选用型号 6ES7307-1EA00-0AA0。②CPU 模块，选用型号 6ES7315-2AH14-0AB0。③以太网模块，选用型号 6GK343-1EX21-0XE0。④定位模块，选用型号 6ES7338-4BC01-0AB0。⑤模拟量输入模块，选用型号 6ES7331-7KF02-0AB0。⑥预留扩展开量输入输出模块，选用型号 6ES7323-1BH01-0AA0。

安监系统 PLC 通过 CPU 模块的 Profibus-DP 接口与起重机控制 PLC 连接通信，通过 CP343 以太网

模块的 ProfNet 接口及交换机与上位机系统进行通信。

2. PLC 信号采集

(1) 信号采集类别

根据现场需求，主要采集五类监控信号：①起重机各机构主令控制器、紧停和选择开关等操作指令信号。②起重机各机构电源开关、接触器和继电器等逻辑状态信号。③起重机各机构安全极限、制动器等安全装置逻辑状态信号。④起重机各机构电动机的电流、电压等检测信号。⑤起重机主副起升机构的高度、大小车机构的位置及主副起升机构的载重量等检测信号。

(2) 信号采集方式

对于上述第①~③类逻辑信号，因 450 t 起重机原有的 PLC 控制系统已采集了这些信号，所以可以直接从原 PLC 中进行读取。

对于上述第④、⑤类中的电流、电压、高度、位置和载重量等检测信号，要安装相应的传感器。在电气舱各机构电动机的动力线路上安装电流互感器和电压互感器，将电流和电压互感器信号分别接入电流变换器和电压变换器，输出为标准的 4~20 mA 电流，用于采集各机构电动机的电流和电压信号。在主副小车的端头（静止端）安装激光测距仪，在主副小车的移动端安装激光反射板，测距仪输出为标准的 4~20 mA 电流，用于采集主副小车的位置信号。在主副起升机构的定滑轮组底座下分别安装压力传感器，输出为标准的 4~20 mA 电流，用于采集主副起升机构的载重量信号。将电流、电压、小车位置和载重量信号接入 PLC 的模拟量输入模块。

在主副起升机构的钢绳卷筒轴承端部同轴安装绝对值编码器，用于采集高度信号。在大车箱体下安装随动轮，在随动轮中心同轴安装绝对值编码器，用于采集大车位置信号。将所有绝对值编码器信号接入 PLC 的 SM338 定位模块。

3. PLC 程序结构

安监系统 PLC 程序主要实现起重机各机构实际运行数据的采集计算及起重机控制系统的故障诊断等功能，PLC 程序结构如图 2 所示。

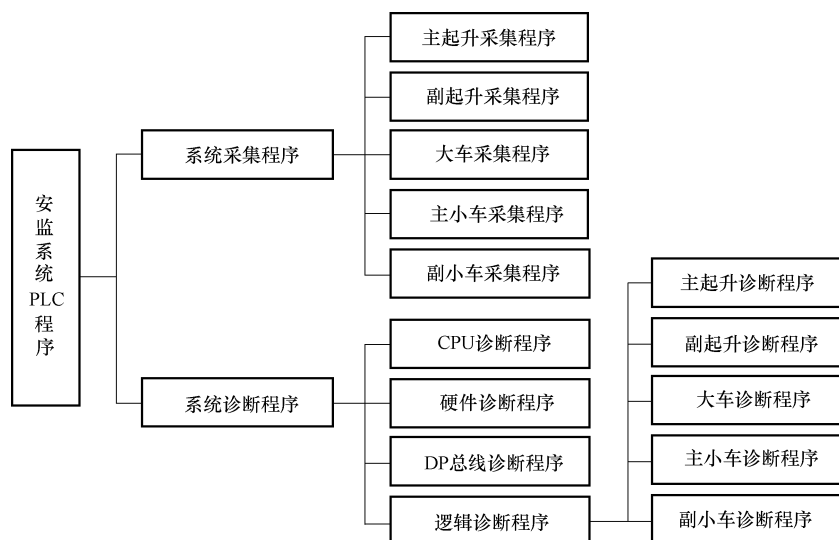


图2 安监系统 PLC 程序结构框图

安监系统 PLC 程序 (FC100): 只调用起重机主起升数据采集程序 (FC101)、副起升数据采集程序 (FC102)、大车数据采集程序 (FC103)、主小车数据采集程序 (FC104)、副小车数据采集程序 (FC105) 及系统诊断程序 (FC106)。

各机构数据采集程序 (FC101-FC105): 实现数字量、模拟量等采集信号的转换和计算。

系统诊断程序 (FC106): 只调用 CPU 诊断程序 (SFC51)、硬件诊断程序 (OB82、OB86、OB87 和 OB122)、DP 总线诊断程序 (SFC13) 和各机构逻辑诊断程序 (FC201~FC205)。

CPU 诊断程序 (SFC51): 通过读取 CPU 系统状态列表, 诊断 CPU 系统状态。

硬件诊断程序 (OB82、OB86、OB87 和 OB122): 通过调用中断组织块, 防止 PLC 系统因干扰等发生停机, 并通过上位机系统显示、记录。

DP 总线诊断程序 (SFC13): 诊断 DP 网络中设备连接状态, 并通过上位机系统显示、记录。

各机构逻辑诊断程序 (FC201~FC205): 根据起重机各机构运行逻辑, 编写程序诊断异常运行状态, 并通过上位机系统显示、报警和记录。

4. PLC 程序实现方法

4.1 采集程序

在 PLC 程序中建立 DB 数据块及各机构数据采集功能块 FC101~FC105, 在功能块中将原起重机控

制 PLC 程序中对应机构需要监视的 I/O 点传送到 DB 数据块地址中, 而电流、电压、重量、高度、位置和速度等实际数据的采集则须通过编程转换和计算获得, 方法如下。

(1) 电流、电压和重量数据

$$\text{Data} = \frac{\text{工程量上限} - \text{工程量下限}}{\text{模拟量上限} - \text{模拟量下限}} \times (\text{模拟量输入} - \text{模拟量下限}) + \text{工程量下限} \quad (1)$$

式中, Data 为实际的电流、电压和重量值, 因 PLC 模拟量输入为 4~20 mA, 所以要将模拟量信号转换成实际的工程量数据, 按照式 (1) 在 PLC 程序中编程。

(2) 主、副起升高度数据

$$H_{\text{act}} = \frac{(\text{卷筒直径} - \text{绳槽深度} \times 2 + \text{钢丝绳直径}) \times \pi}{\text{滑轮组倍率}} \times \text{编码器圈数} \quad (2)$$

式中, H_{act} 为实际起升高度值, 根据现场实际需求确定零高度参考点 H_0 , 对应的编码器圈数为 T_{us0} ; 编码器圈数是相对于 T_{us0} 的变化值, 即编码器圈数 = 当前圈数 - T_{us0} 。因 PLC 输入是编码器的脉冲信号, 所以当前圈数和 T_{us0} 由编码器脉冲数计算得出 (本设计方案中采用的编码器一圈对应 4 096 个脉冲)。按照以上公式在 PLC 程序中编程即可。

(3) 主副小车位置数据

定义主副小车运行至最靠近激光测距仪时, 测

距仪的读数为位置计算的参考点（即最小位置）。因 PLC 输入也是 4~20 mA 的模拟量信号，所以按照电流、电压和重量数据的计算公式在 PLC 程序中编程即可。

（4）大车位置数据

$$L_{\text{act}} = \text{测速轮直径} \times \pi \times \text{编码器圈数} \quad (3)$$

式中， L_{act} 为实际大车位置值，根据现场实际需求确定零位置参考点 L_0 ，对应的编码器圈数为 T_{u10} ；编码器圈数是相对于 T_{u10} 的变化值，即编码器圈数 = 当前圈数 - T_{u10} 。因 PLC 输入是编码器的脉冲信号，所以当前圈数和 T_{u10} 由编码器脉冲数计算得出（本设计方案中采用的编码器一圈对应 4 096 个脉冲）。

因大车运行距离长，为了保证测量准确度，需消除大车往复运行过程中产生的位置积累误差，方法是位置自动校正，即在大车行走路径上的定点位置设置感应装置，当大车运行通过该位置时，程序自动校正位置值。按照上述公式和策略在 PLC 程序中编程即可。

（5）机构运行速度数据

$$V_{\text{act}} = \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

式中， V_{act} 为实际速度值，其中 L_2 和 L_1 分别是时间点 t_2 和 t_1 ($t_2 > t_1$) 的机构位置值，对于起升机构就是高度值。速度具有方向性，定义远离参考位置为正方向，上述计算结果即可反映机构的运行方向。按照以上公式在 PLC 程序中编程即可。

4.2 诊断程序

在 PLC 程序中建立 SFC13、SFC51、OB82、OB86、OB87 和 OB122 系统功能块及各机构逻辑诊断功能块 FC201~FC205，在 FC201~FC205 功能块中根据起重机设备运行原理及对现场安全运行状态的理解编写诊断程序，如开关量动作逻辑错误、运行不同步及起升机构抱闸失灵等。

安监管理系统人机界面设计方案

安监管理系统上位机使用 MCGS 工控组态软件进行组态，人机界面采用模块化设计的方法，将主画面设计为设备信息总览、设备运行画面、历史数据查询、故障报警查询、操作信息查询及系统管理六大模块。

在设备信息总览模块中设计以下子模块：配电系统状态、主起升设备工作状态和副起升设备工作状态、大车设备工作状态、主小车设备工作状态和副小车设备工作状态。每个子模块的画面显示当前所选设备的各个开关量逻辑状态、设备运行时间和工作循环次数等。

在设备运行画面模块中设计以下子模块：PLC 系统网络运行画面、主起升运行画面、副起升运行画面、大车运行画面、主小车运行画面和副小车运行画面。各机构运行画面包含主令控制器、电动机和机构位置等状态的动画显示及电流、电压、载重量、位置和速度等数据的数值显示。

历史数据查询、故障报警查询和操作信息查询模块设计成报表模式显示，可根据时间、机构等进行分类查询和统计，报表可导出保存。

系统管理模块设计为权限管理功能，按照不同等级权限人员设置对应级别的登录权限，使各级人员进行不同等级的操作，系统自动记录登录人员的信息和时间，管理者可进行查询。

结束语

450 t 冶金铸造起重机的结构和工作性质决定了它是具有高危特性的设备，起重机安监管理系统通过对起重机设备和工作过程进行实时监控，并对重要运行数据和安全状态进行记录、管理，有利于早期发现设备故障和安全隐患，预防重大设备事故和人身事故，提高了起重机运行的安全性。EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告