

基于 HXD3C 电力机车主断路器控制的人机界面智能控制

田国兰¹, 慕锐典²

(1.四川铁道职业学院, 四川 成都; 2.成都地铁运营有限公司, 四川 成都)

摘要: HXD3C 电力机车(涉及司机操纵台的操作采用虚拟仿真操作实现)有 1 个主断路器, 安装在电力机车车内的高压电器柜内。在升弓状态下, 按下扳键开关主断“合”后, 经过一系列逻辑判断后, 控制主断电磁阀得电, 压缩空气进入主断路器使其主触点闭合。按下扳键开关主断“分”, 控制电磁阀失电, 主断路器断开。设有两组独立的辅助电源(UA11、UA12)。UA11 为牵引通风机、冷却塔风机等供电, UA12 为油泵、车体通风机、空气压缩机供电。当某一套辅助变流器发生故障时, 故障转换电磁接触器闭合, 另一套辅助变流器承担机车全部的辅助电动机负载。此时, 该辅助变流器按定频定压方式工作。根据控制要求, 依据列车牵引控制平台, 实现主断路器手动合闸的控制电路设计、PLC 程序设计及触摸屏的智能控制监控设计。

关键词: 主断路器控制; PLC; 触摸屏; 智能控制

中图分类号: U269.6

文献标识码: A

文章编号: 2096-4390(2024)17-0065-05

引言

HXD3C 电力机车系统主要特征^[1], 如交流传动技术、智能控制技术、网络控制技术。代表中国铁路发展的重要成果, 也为中国铁路运输业带来了发展契机。这就需要大量的铁道机车运用与维护人员能操作、会维护, 也需要具有相关专业知识和技术人员的不断改进和提高。职业发展培训在铁路行业中扮演着重要的角色。除了培养具备技术技能的人才之外, 还需要推进技术的创新和更新换代。而主断路器设备涉及到高压电流, 如果操作不当, 可能会导致严重的安全事故。对于初学者来说, 可能会感到困难, 需要花费更多的时间和精力去学习和掌握。目前, 主要依赖于铁路运输模型、运输设备仿真软件、运输设备实验设备等, 但很难完全模拟真实的电力系统环境, 影响到学习者的学习效果。

针对以上问题, 设计基于 HXD3C 电力机车主断路器控制的人机界面智能控制。首先, 系统硬件架构的设计是实现智能控制的基础, 该系统设计主要依赖列车牵引控制平台实现。其次, 软件系统设计是实现智能控制的关键。设计一套高效稳定的 PLC 控制程序

和人机界面, 实现对主断路器的实时监控、即时控制、故障诊断等功能。同时, 为了提升系统的智能化水平, 可以利用人工智能技术对主断路器的运行状态进行预测和决策支持。例如, 通过分析历史数据和实时监测数据, 预测主断路器的寿命和潜在故障, 提前采取相应的维护措施。此外, 安全保障机制同样至关重要。系统应具备安全操作功能, 防止未经授权的访问和恶意破坏, 确保主断路器控制系统的稳定运行。最后, 方案实施需要充分考虑实际运行环境和需求, 进行详细的系统测试, 确保方案的实际效果与预期相符。

综上所述, 基于 HXD3C 电力机车主断路器控制的人机界面智能控制方案需要从硬件架构、软件系统、人工智能技术、安全保障机制和方案实施等多个方面进行全面规划与实现。首先, 技术层面包括硬件架构、电路设计、PLC 程序设计、触摸屏和 PLC 的关联、软硬件联合调试等。其次, 功能层面包括主断路器和触摸屏的功能的实现, 将主断路器的理论控制转换为实际控制操作, 电路设计是关键环节。既要纵观全局, 也要注重细节。触摸屏要实现数据监测有效、即时智能控制, 保证系统安全稳定等。最后, 要考虑人机

项目名称: 以行业竞赛为驱动的 PLC 课程开发与建设, 项目编号: 202131007。

作者简介: 田国兰(1982-), 女, 本科, 讲师, 研究方向: 电气控制及 PLC 应用。

面布局、颜色搭配、图标选取等应遵守工业设计的基本理念,易用性、一致性、美观性等。让学习者在学习原理和操作方法的同时提高自己实践能力、解决问题能力、创新能力。该系统功能实现的具体方案如图1所示。

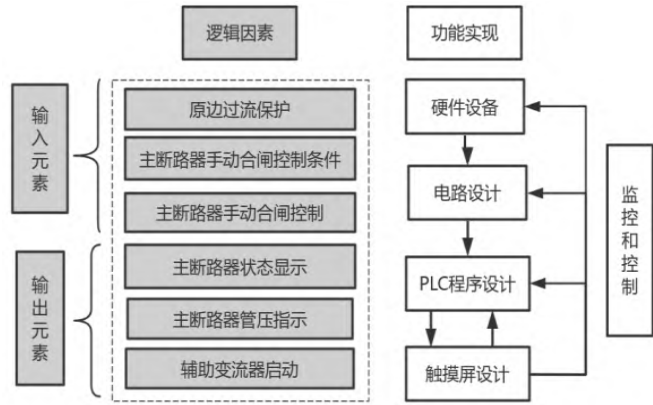


图1 系统功能实现的具体方案

1 硬件及电路设计

1.1 硬件架构

该系统依赖列车牵引控制台,其集成 CCBII 空气制动控制仿真单元、低压电气控制仿真单元,内置 PLC 编程单元和相关信息系统。可以操作的元器件的布局和作用与真车一致。

1.2 电路设计及实现的功能

电路设计是智能控制的先决条件。在进行 PLC 设计之前,首先需要完成电路设计,以便为 PLC 提供必要的输入和输出信号。即电路设计确定了输入和输出信号的种类、规格和数量,以及它们与 PLC 之间的连接方式。电路设计合理、准确无误,才能确保 PLC 的正

常运行和性能,确保其准确性和可靠性。另外,为实现电路的局部保护、分段检修、简化电路和增加冗余性等目的,主断路器控制分两端(I 端和 II 端)。主断路器的逻辑电路设计如图2所示。

主要设计事项从以下三个方面入手:

(1) I 端(II 端)主断路器闭合使 PLC 指令端有效。其控制回路电路应包括器件有" 司机控制 I 端(II 端)"自动开关、I 端(II 端)电钥匙、I 端(II 端)主断路器扳键开关、I 端(II 端)自动制动状态手柄。相关器件状态为 I 端(II 端)电钥匙置“闭合”位置,I 端(II 端)主断路器扳键开关置“合”位置,且 I 端(II 端)自动制动状态手柄不在“紧急”位置。

设计时,应该注意先闭合电钥匙端对应的控制电路有效,即只有一端控制电路有效。I 端紧急制动按钮和操作台 II 端紧急制动按钮任何一路激活(激活时按钮断开,未激活时闭合)时,主断路器控制回路电路无电。

(2) 输入端口需采集的信号有 PLC 模块能够采集 I 端调速手柄和 II 端调速手柄的 3 个状态(牵引、0、制动),主断截断塞门的状态,原边过流继电器的状态,模块“DIb.5”采集 I 端控制电路发送的主断路器闭合信号。模块“DIb.6”采集 II 端控制电路发送的主断路器闭合信号。另外,还采集实训板上的模拟量输出 AQ_1 模拟量(主断路器管路的压力值),满量程 1 000 kPa(0~20 mA 模拟量)。

(3) 输出端口输出的信号包括模拟量和数字量,PLC 模块输出模拟辅助变流器共两个可调占空比

的脉冲输出信号(本文简称为 APU1、APU2)。其中 APU1 向 PLC 实训扩展板(PI_1)输出可调占空比脉冲输出信号,APU2 向 PLC 实训扩展板(PI_2)输出可调占空比脉冲输出信号。当 APU1 或 APU2 发生故障时,电磁接触器闭合,实现通过一路辅助变流器同时向 PI_1 和 PI_2 输出可调占

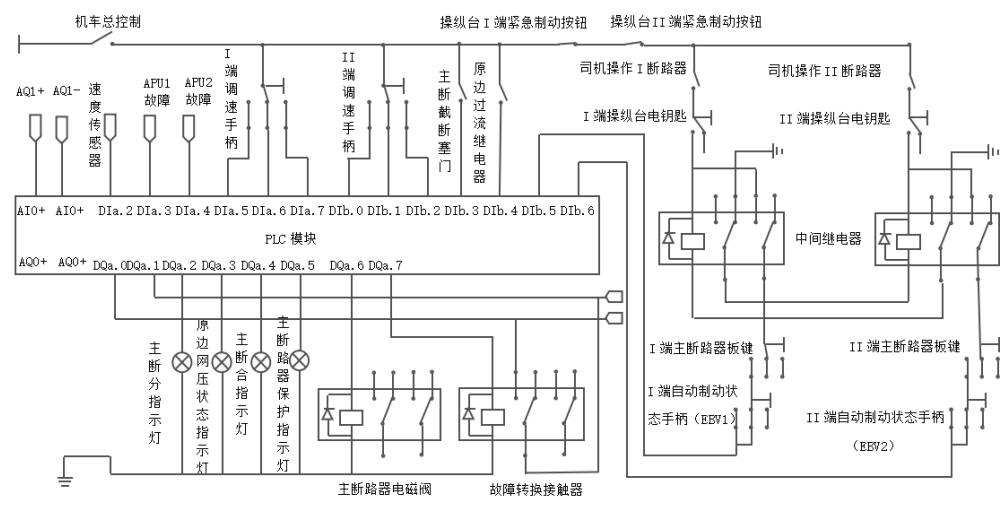


图2 主断路器的逻辑电路设计

空比脉冲输出信号。数字量的控制信号包括主断路器电磁阀的闭合与断开。主断路器管路压力指示灯、主断路器状态指示灯、主断路器保护指示灯、故障保护指示灯（闪烁示警）。

2 软件设计

2.1 PLC 程序设计

根据控制需求、规模、通信及现有的电路，详细地分析其工作原理和功能，选择西门子 S7-200smart ST60 型 PLC，它具有高速处理能力，通信功能强大，支持多种通信协议，如 MPI、MODBUS 和以太网等，可以实现与上位机和其他智能设备的通信。主要步骤如下：

（1）梳理电路与 PLC 之间的连接关系和信号传递（包括定义输入信号的处理方式、逻辑运算以及输出信号的控制对象）。按照电路控制原理进行 PLC 控制设计。主要包括 I/O 端口配置、电气布线、PLC 程序设计、联机调试。

（2）I/O 端口配置。根据控制所需，进行 HXD3C 电力机车主断路器控制系统输入、输出端子配置，如表 1 所示。

（3）PLC 程序设计。根据 HXD3C 电力机车主断路器控制系统控制要求，结合逻辑电路，设计出主断路器逻辑关系控制^[2-5]如图 3 所示，遵循这一张逻辑关系图来编写 PLC 的控制程序。

辅助变流器启动具体逻辑如下：

当主断路器闭合后，若监控辅助变流器 APU1 不工作，辅助变流器 APU2 投入运行。此时 PLC 向 PLC 扩展板通道输出可调占空比脉冲信号，频率为 50 Hz，占空比为 50%的定频定压方式向油泵、车体通风机、空调压缩机等装置供电。当 PLC 检测到 APU1 信号故障，关闭 APU2 输出，同时故障转换接触器闭合，辅助变流器 APU1 投入运行，PLC 向 PLC 扩展板通道输出

表 1 HXD3C 电力机车主断路器控制系统 I/O 端口配置

输入			输出		
输入继电器	输入元件	作用	输出继电器	输出元件	作用
AIO+	AQ-1+	管路压力检测端+	DQa.0	PI-1	接受 APU1 输出的脉冲信号
AIO+	AQ-1+	管路压力检测端-	DQa.1	PI-2	接受 APU2 输出的脉冲信号
DIa.2	PQ-1	速度传感器脉冲	DQa.2	L04	主断“分”指示灯
DIa.3	APU1	故障信号	DQa.3	L03	原边网压状态指示灯
DIa.4	APU2	故障信号	DQa.4	L01	主断“合”指示灯
DIa.5	S21	I 端手柄牵引位	DQa.5	L02	主断路起保护指示灯
DIa.6	S21	I 端手柄 0 位	DQa.6	K01	主断路器电磁阀
DIa.7	S21	I 端手柄制动位	DQa.7	K02	故障转换接触器
DIb.0	S22	II 端手柄牵引位			
DIb.1	S22	II 端手柄 0 位			
DIb.2	S22	II 端手柄制动位			
DIb.3	S02	主断截断塞门			
DIb.4	S05	原边过流继电器			
DIb.5		I 端条件有效端			
DIb.6		II 端条件有效端			

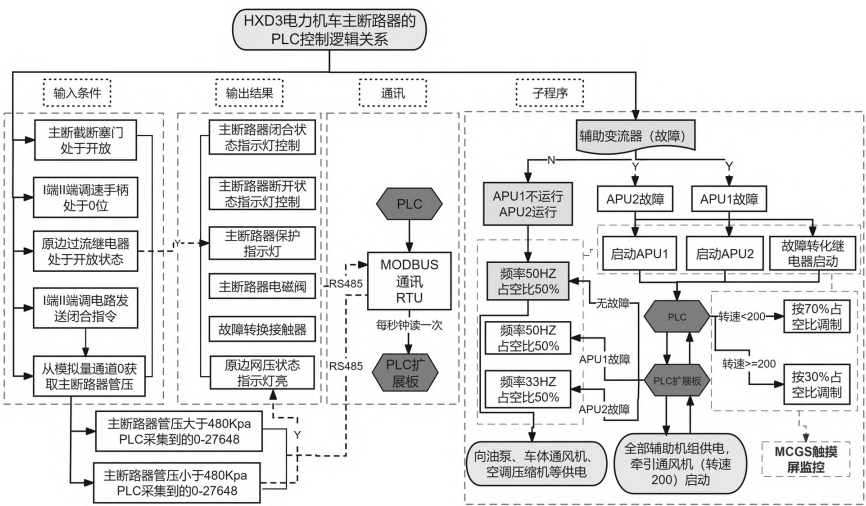


图 3 主断路器的 PLC 控制逻辑关系

可调占空比脉冲信号，频率为 33 Hz，占空比为 50%的定频定压方式对全部辅助机组供电，牵引通风机启动。当 PLC 检测到 APU1 信号故障，关闭 APU1 输出，同时故障转换接触器闭合，辅助变流器 APU2 工作，PLC 向 PLC 扩展板输出可调占空比脉冲信号，频率为 50 Hz，占空比为 50%的定频定压方式对全部辅助机组供电，牵引通风机启动。

牵引通风机启动后，以额定频率运行，系统回传牵引通风机电机转动脉冲数，触摸屏检测显示其当前转速与目标转速，当前转速小于目标转速时，PLC 控制输出按 70%占空比进行脉宽调制，当前转速大于等于目标转速时，PLC 控制输出按 20%占空比进行脉宽

调制。触摸屏显示速度的历史曲线和实时曲线,监控牵引通风机的运行情况。

完成硬件连接和软件编程后,进行整机调试。这包括模拟运行和实际运行两种方式,以确保 PLC 能够正确地接收和处理信号,并按照预期工作。

2.2 MCGS 监控界面及功能设计

模仿 TCMS 控制系统的 HMI 的界面设计^[3],本文选用 MCGS 昆仑通泰触摸屏作为人机界面,HXD3C 电力机车主断路器控制系统界面包括登录界面、电路验证界面、控制监控界面、安全与故障界面。

登录界面是保护系统的数据和资源,通过合理的界面设计和权限设计,防止未经授权的访问者恶意破坏。触摸屏登录界面满足用户的基本登录需求,如输入用户名和密码、用户管理、修改密码等。提高用户使用的便捷性。

电路验证界面主要用于监控电路的状态,按照图 2 所示,设计出相对应的触摸屏界面。用户可以直观地查看 HXD3C 电力机车主断路器的工作原理,提高用户的理解 and 操作效率。能够实时显示电路的工作状态,使用户及时了解电路的运行情况,这对于故障排查、调试和优化电路非常有帮助。另外,有助于降低用户的学习成本和提高工作效率。

控制监控界面是人机界面设计的重点,如图 4 所示,主要实现主断路器手动合闸的智能(触摸屏)控



图 4 控制监控界面

制,包括机车控制总闸、I 端和 II 端的紧急制动按钮、I 端和 II 端调速手柄等数字量逻辑按键。其次,进行相关信息采集与监控,包括速度传感器的脉冲、风压值的显示,APU1 和 APU2 的工作情况,PLC 向 PLC 扩展板通道输出可调占空比脉冲信号的频率值等。另外是一些输出状态显示指示灯和故障转换继电器。

系统故障诊断与监控是确保系统稳定运行的关键。涉及系统运行过程中不断收集牵引通风机速度和主断路器管压的运行数据,以便发现潜在的故障。历史数据的故障诊断可以跟踪设定时间段内的异常情况。提高系统安全运行的可靠性,同时提醒操作者及时发现并解决问题。MCGS 系统安全及故障监控界面见图 5。

3 结论

通过设计实现 HXD3C 电力机车主断路器的控制电路、PLC 的控制程序、MCGS 的人机界面设计与列

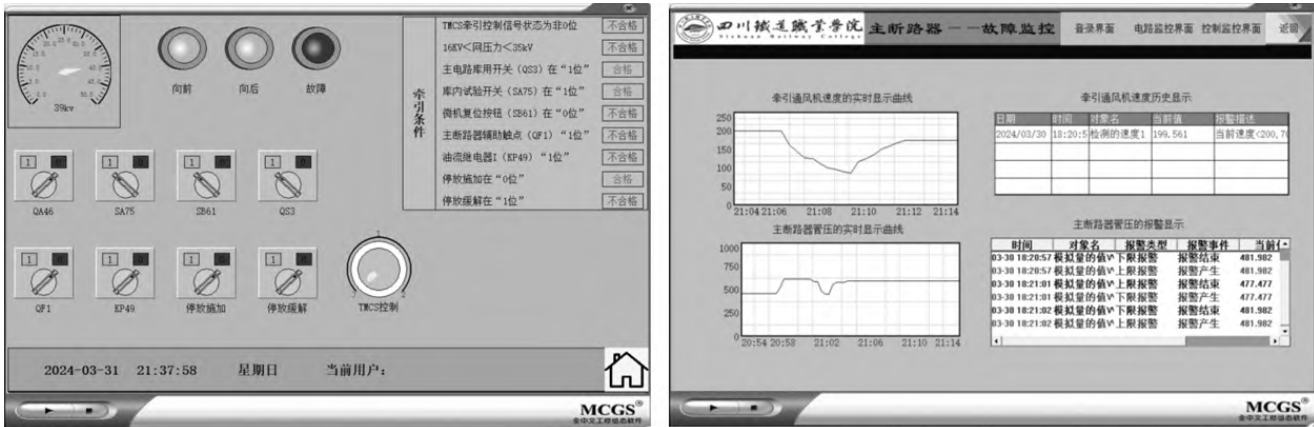


图 5 MCGS 系统安全及故障监控界面

车牵引控制平台结合,确定目标受众,开发智能实践仿真系统。解决初学者的带电操作顾虑,减少学习者因操作不当的安全问题。利用触摸屏作为视觉辅助工具,模拟了现场的真实控制环境,如主断路器的控制电路原理、发生故障情况、检测气路塞门状态等,使其变得通俗易懂。另外,通过此操作系统,让学习者不仅获得专业知识,还可以提升实践能力、创新能力和就业竞争力,引导学习者在学术上和铁路行业中拓宽思维边界创意创新。

参考文献

- [1]李艳霞.HXD3C 型交流传动机车变频调速的控制策略及实现技术分析[J].科技风,2015(15):102.
- [2]王勇,杨肖委,王一达.基于 PLC 的预应力智能张拉控制系统[J].机械工程与自动化,2018(207):152-156.
- [3]刘琦,赵磊,徐惠林,等.国产化列车控制及监控系统的监控设计改进[J].城市轨道交通研究,2013(10):64-67+88.
- [4]苏奋,曹争争,刘会勇.HXD3CD 型电力机车主断路器无法闭合的故障分析 [J]. 现代工业经济和信息化,2021(4):174-176.
- [5]吴卫国,邓旭辉,杨城浩,等.智能电池电芯卷绕机控制系统的设计与分析 [J]. 机电产品开发与创新,2013(4):110-115.

Intelligent Control of Human-machine Interface Based on the Control of Main Circuit Breaker of HXD3C Electric Locomotive

Tian Guolan¹, Mu Ruidian²

(1.Sichuan Railway Vocational College, Chengdu, China;

2.Chengdu Metro Co., Ltd., Chengdu, China)

Abstract: HXD3C electric locomotive (its operation on the driver's console is achieved by adopting virtual simulation operation) is equipped with one main circuit breaker, which is installed in the high-voltage electrical cabinet inside the electric locomotive. While the pantograph is in the ascending state, press the switch key to switch the main break "close". And after a series of logical judgments, the solenoid valve controlling the main break is connected to power and the compressed air will flow into the main circuit breaker to make its main contact closed. Press the switch key to switch the main break "off", the control solenoid valve loses power, and the main circuit breaker is disconnected. There are two independent auxiliary power supplies (UA11 and UA12). UA11 supplies power to traction fans, cooling tower fans, etc. UA12 supplies power to oil pumps, car body fans, and air compressors. When a certain set of auxiliary converter fails, the fault conversion electromagnetic contactor is closed, and the other set of auxiliary converter can bear all the auxiliary motor load of the locomotive. At this time, the auxiliary converter works according to the fixed frequency and fixed voltage mode. According to the control requirements and train traction control platform, the control circuit design, PLC program design and intelligent control and monitoring design of touch screen are realized.

Key words: main circuit breaker control; PLC; touch screen; intelligent control