



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计（论文）

电气控制实训装置的设计与应用

**Design and Application of Electrical Control Practical
Training Device**

姓 名 李强

学 院 智能制造学院

专 业 自动化

指导教师 王鹏

职 称 副教授

完成时间 2020.05.20



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

毕业设计（论文）

电气控制实训装置的设计与应用

姓 名 李强

学 院 智能制造学院

专 业 自动化


指导教师 王鹏

职 称 副教授

完成时间 2020.05.20

天津中德应用技术大学智能制造学院

毕业设计（论文）课题申报表


课题名称	电气控制实训装置的设计与应用		
教师姓名:	王鹏	学生专业:	自动化
课题类型	A-生产实践; B-工程设计; C-实验研究; D-理论分析; E-理论应用; F-项目设计 ; I-其它_____		
<p>课题说明（意义、目的）:</p> <p>此课题主要针对电工工艺学这门课程进行设计制作,传统上课方式在网孔板上安装电气元件,不利于实际操作,并且接线方式与实际联系不紧密,工具存取不方便。本课题在传统的方式上加以改进,实现三维立体教学,工件安装与调试贴切实际的工程情况,工具存取方便,给课程教学带来了更大的直观性与便利性。真实模拟现场施工情况,最终提高课堂教学效率,促进学生的工作实践能力。</p>			
<p>课题主要内容:</p> <p>电气控制实训装置设计安装与调试主要设计并完成柜体内布局设计,在掌握电气控制原理和电工工艺学基础上,各线路接线按照国家标准,完成柜内布线、接线。对各线路进行检查调试,排除故障。完成故障盒与触摸屏的 Modbus 通讯程序设计,对整套装置进行调试,使之达到预期的功能。最后根据项目任务实施过程总结资料完成毕业论文的撰写。</p>			
<p>完成该课题是否需要耗材: <input type="checkbox"/>是 <input checked="" type="checkbox"/>否</p> <p>主要耗材和预计资金:</p>			
<p>课题预计成果:</p> <p>毕业论文一篇; 改造装置一台。</p>			
<p>毕业设计指导小组意见:</p> <p style="text-align: center;">同意申报</p> <p style="text-align: right;">盖章（签字） </p>			

天津中德应用技术大学毕业设计（论文）任务书

题目	电气控制实训装置的设计与应用				
学生姓名	李强	院（系）名称	智能制造学院	专业班级	16 自动化 4 班
课题类型	项目设计				
课题意义	<p>此课题主要针对电工工艺学这门课程进行设计制作，传统上课方式在孔板上安装电气元件，不利于实际操作，并且接线方式与实际联系不紧密，工具存取不方便。本课题在传统的方式上加以改进，实现三维立体教学，工件安装与调试贴切实际的工程情况，工具存取方便，给课程教学带来了更大的直观性与便利性。真实模拟现场施工情况，目的为提高课堂教学效率，促进学生的工作实践能力。</p>				
任务要求	<p>电气控制实训装置设计安装与调试主要设计并完成柜体内布局设计，在掌握电气控制原理和电工工艺学基础上，各线路接线按照国家标准，完成柜内布线、接线。对各线路进行检查调试，排除故障。进行相应的程序设计，在原有的电工工艺学基础上进行改善和提高，完成整套实训装置的安装和调试。主要任务如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 电气控制柜加工图、电气原理图、布局图、设备接线图设计。 2. 硬件安装与接线。 3. 单片机与 MCGS 触摸屏程序设计。 4. MCGS 触摸屏和故障盒设置故障点设计。 5. 整套系统调试。 				
推荐参考资料	<p>[1] 单片机应用入门[M]. 化学工业出版社, 龙威林, 2008 [2] 单片机应用实训教程[M]. 清华大学出版社, 张永枫, 2008 [3] 电机拖动实验装置的常见故障处理[J]. 程志超. 河南科技. 2014(06) [4] MCGS 工控组态技术及应用[M]. 华中科技大学出版社, 朱益江, 2017</p>				
起止日期	2019 年 12 月 16 日-2020 年 5 月 15 日				
备注					

指导教师： 王鹏 教研室（系）主任： 范其明 主管院长： 王素英

天津中德应用技术大学
毕业设计（论文）开题报告表

姓名	李强	学院（系）	智能制造学院	专业班级	16 自动化 4 班
题目	电气控制实训装置的设计与应用			指导教师	王鹏
一、与本课题有关的国内外研究（应用）情况、课题的目的、意义及主要内容 见附页					
二、进度及预期结果					
起止日期	主要内容			预期结果	
2019.12.16-2020.01.10	通过图书馆和网络搜集与课题相关的资料、文献			确定课题设计内容与 技术路线	
2020.02.20-03.10	电气原理图、布局图、设备接线图设计及硬件安装与接线			完成各种图纸的设计 及硬件安装与连接	
2020.03.11-04.01	单片机与 MCGS 触摸屏程序设计故障点设计及论文初稿			完成程序设计、故障点 设计及论文初稿	
2020.04.02-04.20	整套系统调试及撰写、修改论文			完成整套系统调试	
2020.04.21-05.15	完成论文定稿			完成课题论文	
完成课题的 现有条件	电气控制实训装置、MCGS 触摸屏、STC89C52 单片机、41K25GN-Y 电动机、西门子 MicroMaster440 变频器、各类低压电器以及各类软件。				
审查意见	对课题掌握程度较好，进度安排合理，目前工作条件已基本具备，同意开题。 指导教师： <u>王鹏</u> 2020 年 1 月 10 日				
学院（系） 意见	 主管领导： <u>王鹏</u> 2020 年 2 月 28 日				

1. 研究的目的地意义

纵观当今世界的教育发展现状，世界各国都非常重视国民素质教育的提高和教育技术装备的发展，越是发达国家对实训、实验以及实习的课程开设的比例占比就越大，如日本占 50%，美国占 63%，英国占 70%，同时各个国家每年都在增加教育技术装备方面的资金投入。可以说，新型先进的学生学习实训装置对培养本国优秀的技术人才起着十分重要的作用。

目前，电气控制实训装置是许多院校电气专业学生实习实训的主要设备，也是维修电工技能等级考证的重要装置。通过本课题研究的目的就是要解决实训与考证中存在的设备装置问题，并结合院校的发展实际设计出一套能基本满足电气技术应用专业学生技能实训和维修电工技能考证要求的价格适中、体积合理和功能完备的实用型电气控制实训装置。针对传统实训台架布局设计存在的问题，并且深入分析目前电气控制实践课和维修电工课程情况，结合传统授课方式中安装电气元件、接线等等不足和现场实际操作情况，对原有电气控制实训装置进行升级改造。采用立体机柜式设计、正面放置主令电气和执行机构，背面进行网孔板器件安装接线的方式，单独增加故障点设置环节，设立工具器件和短接线放置仓，增强了系统的可扩展性，对实践课授课和维修电工高级考核有很强的指导意义，为课程教学带来了更大的直观性与便利性。真实模拟现场施工情况，提高课堂教学效率，促进学生的工作实践能力。

2. 国内外研究的历史和现状（文献综述）

经过调研，发现目前国内流行的实训装置种类繁多，质量参差不齐，以天煌科仪、亚龙科仪为代表的教学设备生产商，拥有 145 大系列的 3500 多种产品。

浙江天煌科技实业有限公司生产的维修电工技能实训考核装置 THWD-1C 型。学生可以根据厂家提供的实训指导手册或学校教材中实验实训手册进行元器件的选择与安装，学生通过该装置的实操训练，可以培养学生电机控制方面的基本操作技能和动手能力。但该类开产品功能过于简单，只能作初级维修电工的实训装置。

浙江亚龙教育装备股份有限公司生产的亚龙 YL-158GA1 现代电气控制系统安装与调试。该实训考核设备主要是针对各类院电类专业学生实习实训的需要而开发的，功能齐备，但价格过于昂贵，只适于国家专项经费扶持的实训室。

德国费斯托公司生产研制的 MPS 模块化电气综合实训装置，单元化的设计方式被广泛的使用。在装置的容量和结构上尽量小型化，而功能上多样化，融合了计算机技术、

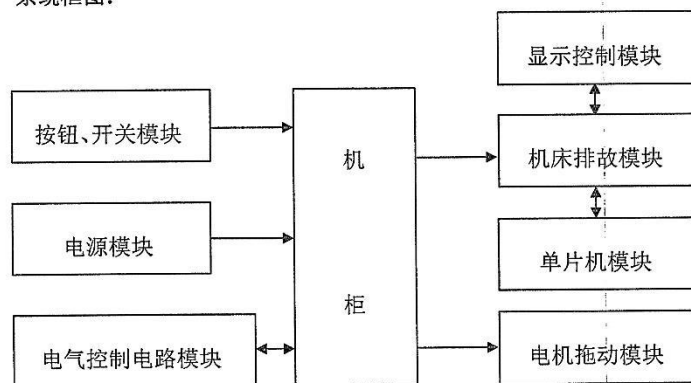
可编程控制技术、变频调速技术、电力拖动自动化技术、现场总线通讯技术等，用以模拟实际工业生产中大量复杂的控制工程，具有模块化、综合性和易扩充等特点。强大的功能也导致了较高的价格，而且，对于要求综合性功能不那么高的电气控制类课程，也有些大材小用。因此，设计一款实用型电气控制实训装置可以弥补国内同类产品的不足。

3. 主要研究内容

基本思路：

1. 查阅相关资料，了解学生实训方案及中高级维修电工考核标准。
2. 查阅相关文献，分析目前实训装置的功能和系统存在的问题。
3. 分析实训装置的硬件性能，完成硬件电路的设计、选型。
4. 硬件安装、接线以及软件系统的设计。
5. 根据各种实训项目的要求完成系统调试和改进。

系统框图：



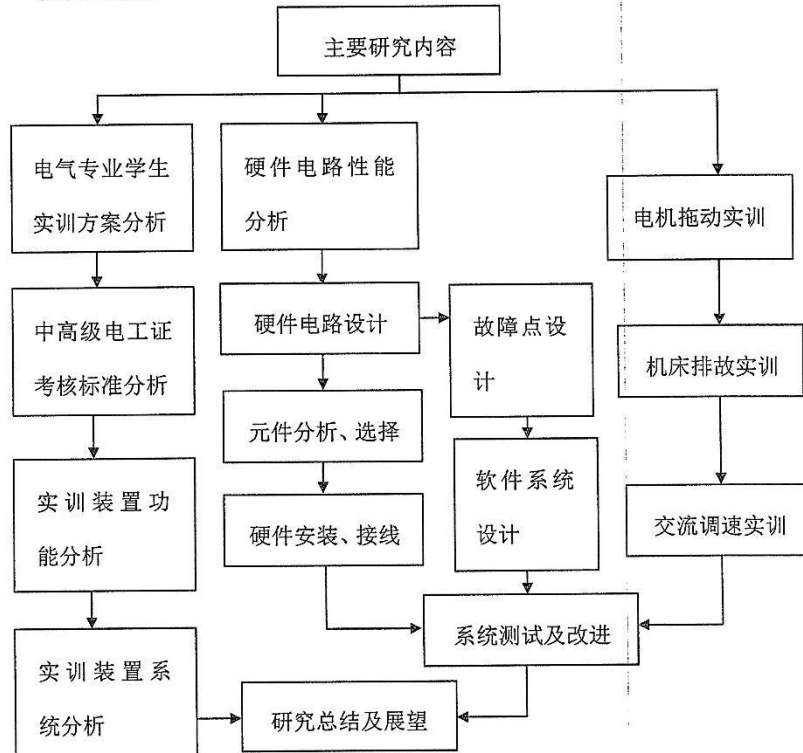
主要研究方式：

系统对原有维修电工课程的故障检修电气控制系统进行改造，深入分析目前电气控制实践课和维修电工高级考核中存在的问题，结合实际项目工作的情况，将其升级改造为电气控制实训系列装置，并在原有的基础上开拓许多新功能。根据实训项目在实训过程中所用器件、所要实现的功能，主要提出电气控制电路模块、显示控制模块、电机拖动模块、单片机模块、机床排故模块的五大功能模块设计方案。

通过实际生产设备工作过程和常见故障的分析，确定电路设计，提出故障点位置方案，使实训更接近生产实际。系统采用立体柜式结构，正反面切换使用的方式，加强了

项目的真实性。增加故障箱及 MCGS 触摸屏设置故障，能够在不拆解线路的情况下，快速有效的设置故障点，使课程的教授方多样化。其中器件装置的可拆卸设计，可以选择不同的配置、调整系统参数，从而达到控制系统需求，扩展性强。

技术路线图：



4. 课题的准备情况

对于课题的完成已有一些知识储备，如《可编程控制技术》、《MCGS 组态制作》、《嵌入式系统编程与实现》、《电气工程制图》等。

电气控制实训柜框架已具备。

本课题准备的低压电器主要包括空气开关、熔断器、灯具、接触器、热继电器、变压器、整流桥、电磁吸盘、继电器、按钮等，均采用正泰产品进行组合。电机拖动模块：电动机采用 41K25GN-Y 型号 9A /380V 交流三相异步电动机。显示控制模块：采用的型号为 MCGS TPC7062K 触摸屏，能够提供简单完整的动画解决方案，可以与单片机连接实

现信号数据的传输，用于设置故障并可监控单片机的内部地址。单片机模块：采用 STC89C52 单片机，可与 MCGS 触摸屏通过 Modbus 协议连接输入程序控制电动机。

软件平台已搭建好。

通过与指导老师的充分沟通，对课题设计内容有了比较清晰的了解，所需资料已基本收集完成。

5. 参考文献

- [1] 赵杰. 机床电气故障检修实训装置的设计与实现[J]. 科技经济导刊, 2016(02):75.
- [2] 付占敏. 基于电气自动化专业实验教学的综合实训装置的开发与应用[J]. 中国新通信, 2019, 21(16):221.
- [3] 周瑜, 周磊磊, 田会峰. 电气工程及自动化专业实训基地构建[J]. 实验技术与管理. 2016(09)
- [4] 李力, 赵敏. 电气控制智能化实训系统研究与设计[J]. 长沙航空职业技术学院学报. 2019(03)
- [5] 李静, 郑午. 电气自动化综合实训考核装置的研制与应用[J]. 科技创新导报, 2018, 15(35):39+41.
- [6] 王永江. 实用型维修电工技能实训考核装置的研制[D]. 浙江工业大学, 2016.
- [7] 胡飞跃. 新型电机控制实训考核装置的研究应用[J]. 科技经济导刊, 2018, 26(33):179.
- [8] Aisin Aw Co. Ltd.; Patent Issued for Rotating Electrical Machine Control Device (USPTO 9948219)[J]. Energy Weekly News. 2018
- [9] Johor Baharu, Malaysia. Development and application of electrical automation comprehensive training assessment device [J]. 2018
- [10] Zhu Shang bai. Electrical and electronic practical teaching in Colleges and universities [J]. Nan fang agricultural machinery. 2018 (14)

天津中德应用技术大学
本科生毕业论文（设计）的声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名：李强

2020年05月20日

本人声明：该学位论文是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过论文的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

学位论文指导教师签名：王鹏

2020年05月20日

摘 要

电气控制实训装置是许多工科院校重要的教学装置，同时也广泛应用于电工中高级考证中，其性能的好坏对教师的教学质量和学生的专业能力有很大的影响。本课题研究的目的就是针对传统实训装置价格昂贵、功能简单，缺乏与实际应用的有机结合等问题，对原有电气控制实训装置进行升级改造，提出立体机柜挂件式设计，加入五大控制模块的设计方案，使实训装置功能趋于多样化，布局更加贴合实际工作环境，体积更加适中。主要内容如下：

首先，通过分析实训装置的功能要求以及传统实训装置结构布局存在的问题，确定实训装置整体系统设计方案。提出电源模块、实验电路模块、主令电器模块、执行机构模块、机床排故模块的五大功能模块设计方案。运用电气控制相关知识理论，对各个模块电路设计、硬件选型进行详细分析与阐述。

其次，根据传统实训装置排故系统设故障较难、隐蔽性不强等缺点，提出基于 Modbus 协议的 51 单片机、MCGS 和故障箱组合排故的方式，重点对本实训装置的排故系统进行设计改造。

最后，将实训装置应用于经典的项目中，进行综合的调试和完善。对整个实训装置进行分析总结并给出改进建议。

关键词：立体机柜；挂件式；Modbus；单片机；MCGS

ABSTRACT

Electrical control training device is an important teaching device in many engineering colleges and universities. It is also widely used in electrical middle and senior examination. Its performance has a great impact on the teaching quality of teachers and the professional ability of students. The purpose of this research is to upgrade the original electrical control training device, aiming at the problems of the traditional training device, such as high price, simple function, lack of organic combination with practical application. Put forward the hanging design of three-dimensional cabinet, add the design scheme of five control modules, so that the training device functions tend to be diversified, the layout is more suitable for the actual working environment, and the volume is more moderate. The main content is as follows:

First of all, by analyzing the functional requirements of the training device and the problems existing in the structure layout of the traditional training device, the overall system design scheme of the training device is determined. The five functional modules of power module, experimental circuit module, master electric module, actuator module and machine tool troubleshooting module are proposed. Based on the theory of electrical control, the circuit design and hardware selection of each module are analyzed in detail.

Secondly, according to the shortcomings of traditional training device troubleshooting system, such as difficult to set up faults and weak concealment, the paper puts forward a combined troubleshooting method of 51 single chip microcomputer, MCGS and fault box based on Modbus protocol, focusing on the design and transformation of the troubleshooting system of the training device.

Finally, the training device is applied to the classic project for comprehensive debugging and improvement. Analyze and summarize the whole training device and give suggestions for improvement.

Key words: Stereo cabinet; Pendant type; Modbus; Single chip; MCGS

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外相关研究历史及现状	1
1.3 研究内容	2
第二章 电气控制实训装置系统设计	3
2.1 实训装置系统功能要求	3
2.2 实训装置结构设计	4
2.2.1 传统实训装置结构设计及问题	4
2.2.2 实训装置结构设计	4
2.3 实训装置排故系统设计	6
2.3.1 故障点诊断与维修认知	6
2.3.2 排故系统设计	6
2.4 实训装置系统设计方案	7
第三章 电气控制实训装置硬件设计	8
3.1 电源模块	8
3.1.1 航空插头	9
3.1.2 空气开关	9
3.1.3 开关电源	9
3.2 主令电器模块	10
3.2.1 按钮	10
3.2.2 指示灯	10
3.2.3 急停按钮	11
3.2.4 双档旋钮开关	11
3.3 实验电路模块	11
3.4 执行机构模块	12
3.5 机床排故模块	12
3.5.1 机床排故模块介绍	12
3.5.2 机床排故模块器件电路介绍	14
第四章 电气控制实训装置软件设计	16
4.1 单片机与触摸屏的通讯	16
4.1.1 Modbus 串行链路通讯协议介绍	16
4.1.2 Modbus-RTU 报文	16

4.2 MCGS 组态设计	17
4.2.1 MCGS 设备组态	17
4.2.2 组态设计	18
4.3 单片机软件	20
4.3.1 单片机软件设计流程	20
4.3.2 程序设计	20
第五章 电气控制实训装置的应用	24
5.1 M7130 平面磨床介绍	24
5.2 M7130 平面磨床电气控制电路分析	24
5.3 M7130 平面磨床工作流程	25
5.4 M7130 平面磨床实际接线及调试	27
5.5 M7130 平面磨床电气线路故障点诊断与维修实例	28
5.5.1 故障点介绍	28
5.5.2 故障点功能调试	28
5.6 电气控制实训装置实物照片	29
第六章 总结与展望	30
6.1 课题研究结论	30
6.2 未来展望	30
参考文献	31
附录一 单片机程序	32
附录二 元器件清单	42
致 谢	44

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

纵观当今世界的教育发展现状，世界各国都十分重视教育技术装备的发展，越是发达国家对实训、实验以及实习的课程开设的比例占比就越大，如日本占 50%，美国占 63%，英国占 70%，同时各个国家每年都在增加教育技术装备方面的资金投入。可以说，拥有新型先进的学生实训设备对本国教育起着十分重要的作用。

目前，许多院校电气专业学生实训和电工考核时广泛使用电气控制实训装置，因此实训装置性能的好坏对学生的专业知识能力有很大的影响。本课题研究主要针对传统电气实训装置功能简单、价格昂贵和体积偏大等问题，结合传统授课方式中学生实训操作时安装电气元件、接线与实际工作环境不符，以及存取器件困难等情况，深入分析目前自动化专业实训课和电工考核标准，结合教学过程中的实际情况，对原有电气控制实训装置进行升级改造。设计出一套功能多样化，体积和价格合理，并且整体性能符合实训要求的新型电气控制实训装置。针对上述存在的问题，本装置主要采用立体机柜挂件式设计，正面安装主令器件和执行机构，背面放置挂式网孔板，增加储物仓，用于放置工具和各种器件。整体增强了系统的可扩展性和功能多样性，真实模拟现场施工情况，为课程教学带来了更大的直观性与便利性，对实训课授课和电工中高级考核实训装置的设计与开发工作有很强的指导意义。

1.2 国内外相关研究历史及现状

经过调研，发现目前国内外流行的实训装置种类繁多，质量参差不齐。浙江天煌科仪、亚龙科仪等教学仪器公司占据着国内的主要市场^[1]，国际市场中，费斯托公司的实训装置占有较大的份额。

浙江天煌教仪公司生产的电工实训考核装置 THWD-1C 型，学生可以根据厂家提供的实训指导书或学校的实训手册进行项目实训，通过该装置进行实训，可以培养学生基础的电气相关知识。但是功能相对简单，许多实训项目无法开展。

浙江亚龙生产的电气控制 YL-158GA1 型实训设备，这种实训装置是专门针对电气专业学生实训课程研制的，功能十分齐全，但是价格昂贵，许多院校经费不足以购买这类实训装置。

德国费斯托公司生产研制的 MPS 模块化电气综合实训装置，单元化的设计方式被广泛的使用。在装置的容量和结构上尽量小型化，而功能上尽量多样化，融合了许多现代电气控制技术的特点，广泛用于实验实训项目的研究。强大的功能也导致了较

高的价格，而且对于要求综合性功能不那么高的电气控制入门类课程，也有些大材小用。

综上所述，开发一款实用价廉的电气控制实训装置可以弥补国内外同类产品的市场空白。

1.3 研究内容

本项目通过深入分析目前电气控制实训课和电工考核中存在的问题，结合实际项目的工作情况，针对原有电气控制课程的电气控制实训装置进行改造，将其升级改造为电气控制实训系统装置，并在原有的基础上开拓了许多新功能。

系统采用立体柜式结构，正反面切换使用的方式，加强了项目的真实性；其中器件装置的可拆卸设计，可以选择不同的配置、从而达到控制系统需求，扩展性强；增加故障箱及 MCGS 触摸屏设置故障，能够在不拆解线路的情况下，快速有效的设置故障点，使课程的讲授方式多样化。本课题所做主要工作如下：

- 1) 查阅相关资料，了解学生实训方案和中高级电工考核标准。
- 2) 查阅相关文献，分析目前实训装置的功能和系统存在的问题。
- 3) 分析实训装置的硬件性能，完成硬件电路的设计和选型。
- 4) 器件安装、接线以及故障设置系统软件设计。
- 5) 根据各种实训项目的要求完成系统的调试和改进。

在硬件方面，分析各类实训装置的优缺点，采用有效的设计方案，在传统实训装置的基础上进行改进，提出五大模块的设计方案，并且模块之间能够灵活切换使用，元器件可以自由拆装，体积缩小但功能更加全面，能满足传统继电控制和现代可编程控制器控制的实训要求。

在软件方面，引入单片机和 MCGS 触摸屏配套使用的方案，深入研究单片机编程和 MCGS 组态，结合 Modbus 通讯协议，实现排故模块软件系统的开发。

第二章 电气控制实训装置系统设计

2.1 实训装置系统功能要求

详细了解电气类专业实训课程内容得出，电气类专业学生需要使用电气控制实训装置完成的实训内容主要分为三个方面：三相异步电动机常用控制电路安装与维护、PLC 可编程控制器的应用、变频器的应用^[2]。

电工考核内容主要包含：电气线路的安装与调试、电气线路故障诊断与维修、生产设备运行与维护等^[3]。因此电气控制实训装置需要完成上述相应的实训项目与考核内容，其具体要求完成内容如表 2-1 所示：

表 2-1 电气专业主要实训内容

主要方面	实训内容
三相异步电动机常用控制电路安装与维护	按钮点动控制电路
	正反转启/停控制电路
	自锁控制电路
	接触器互锁正反转控制电路
	按钮互锁正反转控制电路
	双重互锁正反转控制电路
	Y-△启动控制电路
PLC 可编程控制器的应用	降压启动控制电路
	PLC 控制三相异步电动机启/停
	PLC 控制三相异步电动机正反转启/停
	PLC 控制三相异步电动机 Y-△启动
变频器的应用	PLC 控制三相异步电动机限位自动往返
	变频器参数设置
	变频器控制三相异步电动机正反转
	变频器控制三相异步电动机多段速运行
	变频器无极调速
机床控制电路的安装与维护	机床工作台自动往返控制
	磨床电气控制线路故障检修
	铣床电气控制线路故障检修
	镗床电气控制线路故障检修

2.2 实训装置结构设计

2.2.1 传统实训装置结构设计及问题

传统实训装置的功能模块分为固定功能模块和挂件式功能模块。柜式的实训装置大多数采用固定式结构方式，台式则大多数采用挂件式功能模块的结构方式。

传统实训装置存在许多问题，如下所述：

1) 传统的台式实训装置，大多数体积偏大，过多占用教室面积，不利于学生实训操作。

2) 传统柜式固定功能模块，总体造价偏低，占地面积小，但功能相对单一，性能大大降低，许多实训项目难以实现^[4]。

3) 传统台式挂件式实训装置，使用挂件式功能模块的设计，增强了整体性能，但造价随之升高，同样价格偏高。

4) 实际作业环境中，按钮开关安装在控制柜门上，接线是在柜内完成，而台式实训装置是将所有元器件集中在一个平面，不符合实际工作情况。

2.2.2 实训装置结构设计

鉴于上述传统实训装置结构存在的问题，本课题提出的电气控制实训装置采用双面立体机柜的设计，正面包含储物柜、按钮开关、电动机、变频器和 MCGS 显示屏，背面主要包含电源、网孔板和短接线放置仓。将装置最大化地利用，使用方式灵活多变。正面和背面的器件可以使用导线从柜体中间穿过进行连接，整体美观易于操作。其正反面结构布局设计如图 2-1 所示。采用双面柜的方式，可以扩大装置的利用率，方便学生进行实训操作，并且采用柜式结构更加贴切实际的工作环境，联系实际更加紧密。

实训装置可以搭配许多现代控制设备，根据实际的布局设计和完成的功能，将实训装置划分为主令电器模块、实验电路模块、执行机构模块、机床排故模块和电源模块。在实训中学生可以自由组合元器件完成不同的实训内容，适用于大多数院校的实训教学和考核测评。

实训装置具备优点如下：

1) 实训装置采用立体双面柜式结构，汲取传统实训装置中的优点，可以在实训装置的两面进行操作，这种设计方式很大程度上符合实际的现场施工情况，以达到最大的实训效果。

2) 实训装置系统设计五个模块，整体功能多样化。学生在实训过程中能够快速选择元器件和执行机构，根据实训课题要求组合使用各个模块，提高实训效率。

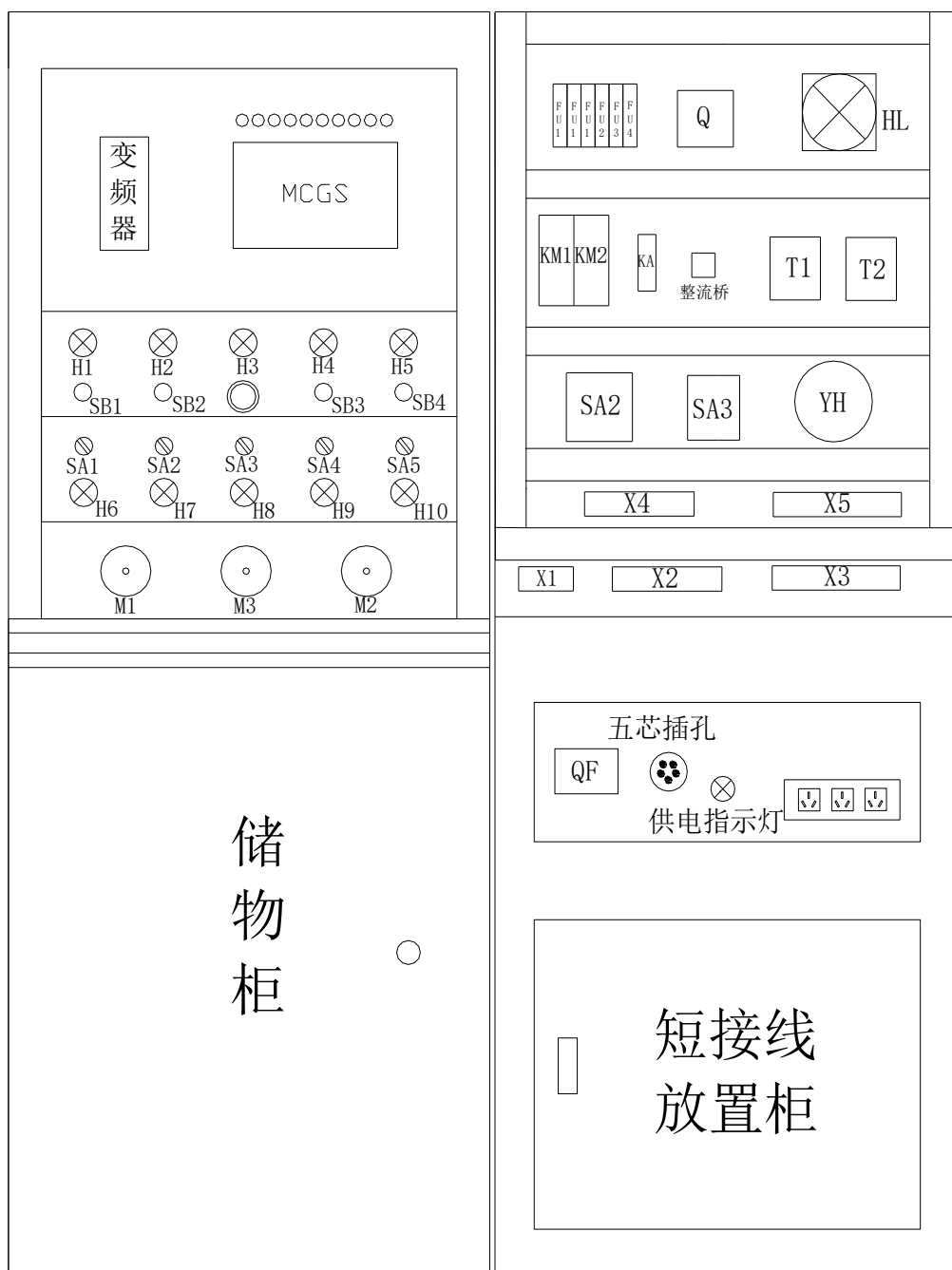
3) 电气控制电路模块由一块挂式网孔板组成，所有元器件都可安装于网孔板上，学生根据实训要求在网孔板上布置线槽，通过接线端子实现各个模块之间的接线和布

线。元器件在网孔板内可以快速、便捷的拆装，为整个实训装置增加了很大扩展空间。

4) 实训装置可以满足多种实训项目与考核内容，机床排故系统的设计也满足机床故障诊断与维修的要求。

5) 实训装置设计各种过压、过载和短路保护，实时保护学生的人身安全。

6) 实训装置整体造价合理，约 3000 元左右，较之动辄数万的实训设备，更能满足大多数院校的经费要求。



a. 正面结构

b. 背面结构

图 2-1 实训装置正反面结构图

2.3 实训装置排故系统设计

2.3.1 故障点诊断与维修认知

目前，机床排故可分为三种：整车实训排故模式、断线式排故模式、开关式模拟排故模式^[5]。

整车实训模式，利用完整的机床进行故障点的维修与诊断，无需开发教学辅助工具，但这种方式故障设计不方便，实训效果不佳，同时完整的机床也难以得到保障；断线式模拟机床实训模式，使用工具将线路切断的方式进行故障设置，这种方式安全性大大降低，实训效果不佳；开关式模拟机床实训模式，在电路中串联开关，利用开关的通断进行故障点设置，这种方式使用效率高，但机床故障点显示效果不直观，有很大的局限性。

鉴于上述问题，本装置排故系统提供了一种全新的机床排故方式，克服传统设置故障的局限性和效果不佳等问题，使得实训过程中设故、排故更加快速灵活，能够更加直观的显示电路故障点，增强培训和考核的效果^[6]。

2.3.2 排故系统设计

本装置排故系统设计思路：

- 1) 保持原控制系统电气操作方式。
- 2) 保持原电气系统组件数量（包括继电器、接触器、按钮等）。

3) 使用单片机、触摸屏、故障箱，既可通过软件设计设置故障点，设置密码保证设故隐蔽性，也可使用故障箱开关进行手动设置故障。

本装置排故系统的设计包括 MCGS 触摸屏、51 单片机和故障箱，触摸屏使用串口线与单片机连接，单片机管脚连接控制箱内的继电器模块。触摸屏既能实现故障点的显示又能进行操作控制，使得故障点设置更加方便和直观，进一步提高排故系统的隐蔽性和有效性。

如图 2-2 所示为本装置排故系统结构图，两种故障点设置方式，当使用触摸屏设置时，触摸屏与单片机之间通过 Modbus 协议传输数据信息，故障点信息发送至单片机，单片机输出管脚控制继电器模块通断，达到设置故障点的目的。

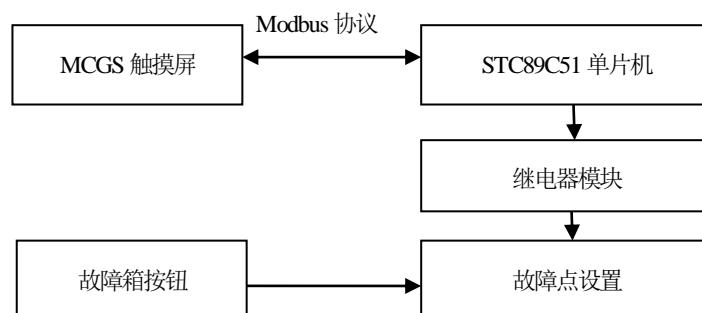


图 2-2 排故系统结构图

第三章 电气控制实训装置硬件设计

根据实际运行环境和现有设备实际情况，确定本装置性能参数如下：

- 1) 输入电压：三相五线制 $\sim 380V \pm 10\%/50HZ$ ；
- 2) 装置最大工作电流： $\leq 10A$ ；
- 3) 外形尺寸： $1560mm \times 640mm \times 600mm$ ；
- 4) 工作环境：温度范围 $-10^{\circ}C \sim +40^{\circ}C$ ；相对湿度 $< 80\%$ （ $20^{\circ}C$ ）；海拔 $< 3000m$ 。

本电气控制实训装置提出五大模块的设计方案，本章主要对以上性能参数要求下的各模块硬件设计和选型做具体介绍。

3.1 电源模块

本装置的供电系统各环节统称为电源模块，由航空插头/插座、空气开关、开关电源、指示灯和外供插座等组成，供电端口外观如图 3-1 所示。



图 3-1 电源模块供电端口外观图

工作时，由电网取用三相五线制的 $380V$ 交流电，经由航空插头、空气开关、指示灯和开关电源，并引出到插座可为外围设备供电，然后由航空插座引出，为实验电路模块供电。开关电源输出直流 $24V$ 和 $5V$ 电压，分别为单片机和触摸屏供电。整个电源模块接线图如图 3-2 所示。

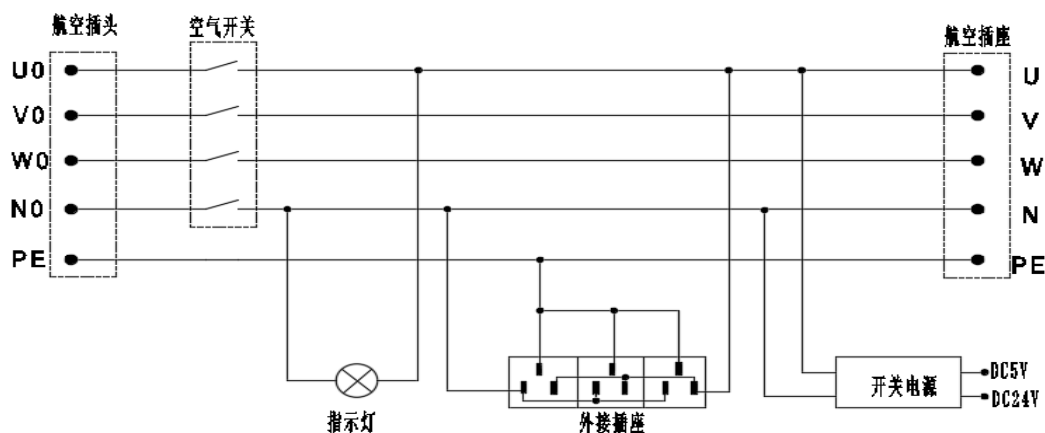


图 3-2 电源模块接线图

3.1.1 航空插头

航空插头起源于军工行业，用于连接和断开电路的作用。其应用领域广泛，种类繁多，可以根据频率、用途、外形等进行分类。如图 3-3 所示，本装置使用工业航空插头和插座，规格为：5 芯三项五线制 380V/32A；防护等级：IP67。具有良好的防水、防尘和防漏电保护作用。

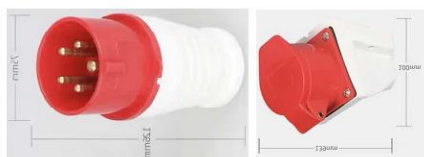


图 3-3 工业航空插头和插座

3.1.2 空气开关

空气开关是断路器的一种，主要作用是完成电路的接触和断开，同时具备电流过载、短路保护功能，在出现故障时会触发脱扣器动作自动切断电源。如图 3-4 所示为电源模块使用的空气开关，品牌：正泰电工；接线方式：三相四线电；额定电压：400V；额定电流：32A/63A。



图 3-4 空气开关

3.1.3 开关电源

开关电源是电源供应器的一种，是将输入电压经过特定的方式转换成需要的电压或电流的装置。开关电源用途广泛，在各行各业都有使用。开关电源主要分为直流和交流两种，如图 3-5 所示，本装置使用的是德力西直流开关电源，是将电网电压转换成满足设备要求的高质量直流电压。型号：SA-50W；输入电压：200~240V（AC）；输出电压/电流：24V/1A 和 5V/5A（DC）；



图 3-5 开关电源

3.2 主令电器模块

主令电器的作用是闭合或者断开控制电路，发出指令或做程序控制的开关电器。如图 3-6 所示，主令电器模块将按钮、开关和指示灯集成至控制柜中，作为一块单独的模块，指示灯不算做主令电器，但为了方便，也一同集成至主令电器模块中。学生在进行实训时需要使用按钮、开关或灯时可直接选择并接线。



图 3-6 主令电器模块外观图

3.2.1 按钮

如图 3-7 所示，模块内包含 4 个按钮，颜色为两红两绿，型号：NP4-11BN；额定电压：AC220V；自由发热电流：10A；防护等级：IP40。



图 3-7 按钮

3.2.2 指示灯

如图 3-8 所示，模块中包含 8 个纯色 LED 指示灯，颜色包含红、绿、蓝三种颜色，型号：ND16；工作电压：AC220V；工作电流 $\leq 50\text{mA}$ ；防护等级：IP40。



图 3-8 指示灯

3.2.3 急停按钮

如图 3-9 所示，模块内包含 1 个急停按钮，型号：NP4-11ZS；额定电压：660V；自由发热电流：10A；防护等级：IP40；



图 3-9 急停按钮

3.2.4 双档旋钮开关

如图 3-10 所示，模块内包含 4 个双档旋钮开关，型号为：NP4-11X/21；额定电压：660V；自由发热电流：10A；防护等级 IP40。



图 3-10 双档旋钮开关

3.3 实验电路模块

如图 3-11 所示，实验电路模块主要由一块挂式的网孔板组成，尺寸为：长 75cm 宽 60cm。主要完成控制电路的搭建，学生可根据实训要求中的电气控制原理图完成线路的布局、安装与接线操作。供电、主令电器的信号、执行机构的控制以及故障点等均由实验电路模块的底端端子排连接，尽可能简化模块间的连接方式。



图 3-11 实验电路模块外观图

3.4 执行机构模块

如图 3-12 所示，执行机构模块由三台 9A/380V 三相异步电动机组成，型号均为 41K25GN-Y。三台电机相互独立，实训时可使用导线连接相应电机后部的电源线，正面可安装扇叶作为指示信号。



图 3-12 执行机构模块外观图

3.5 机床排故模块

3.5.1 机床排故模块介绍

机床电气控制线路检测与维修是电气专业学生必备的知识技能。为了使故障点设置更加具备直观性和便利性，因此将故障点设置分为两种模式：硬件模式和软件模式^[7]。故障箱外观图如图 3-13 所示。

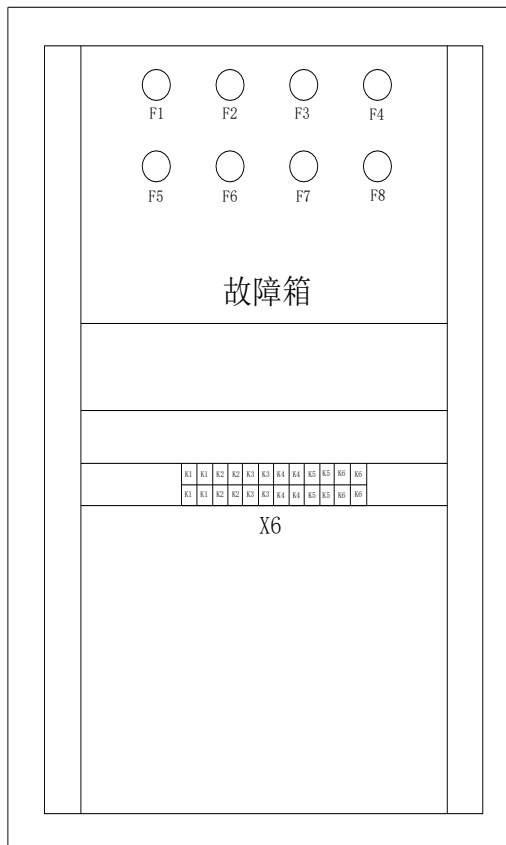


图 3-13 故障箱外观图

1) 器件选型介绍

排故模块主要使用 STC89C51RC 单片机、TPC7062K 型 MCGS 触摸屏和故障箱，故障箱内包含一个 8 路继电器模块和 8 个按钮。

(1) 单片机介绍

如图 3-14 所示，单片机型号为 STC89C51RC，该型号单片机采用 8051 核系统可编程芯片，片内含 4K Bytes 的可反复擦写 1000 次的 Flash 只读程序存储器^[8]。该系列单片机价格低廉，性能稳定并且通用性强。



图 3-14 STC89C51 单片机实物图

(2) MCGS 触摸屏介绍

如图 3-15 所示，MCGS 触摸屏采用昆仑通态 TPC7062K 型触摸屏。高 7 英寸，分辨率为 800×480。采用高性能、低功耗 CPU 为核心的高亮度电阻式液晶显示屏^[9]。



图 3-15 MCGS 触摸屏实物图

(3) 继电器模块介绍

如图 3-16 所示，8 路继电器模块工作电压为 5V。触点最大承受电压：250V AC/30V DC。最大电流：交流 10A，直流 10A。接口说明：VCC 接 5V 电源电压；GND 接地；IN 接单片机的控制端口，高电平吸合，低电平释放。



图 3-16 继电器模块实物图

2) 硬件故障设计

硬件设置故障主要由故障箱内部的自锁式按钮完成，故障箱安装于柜体的侧面(如图 3-13)，内部安装有 8 个自锁式按钮，连接其常闭触点，松开时为常闭状态，电路接通正常运行。将故障箱按钮与下方端子排 X6 对应连接，在进行故障点设置时，根据机床电路故障点分布图，将控制电路需要设置故障点的位置连接至对应的端子排，当按下按钮时相当于断开电路，达到设置故障的目的，再次按下按钮即可取消故障点。

3) 软件故障设计

故障箱内部同时安装了 8 路继电器模块，其常闭触点分别与 8 个自锁按钮常闭触点串联，同时每个继电器线圈分别与单片机的 P0.0 至 P0.7 口相对应连接，通过触摸屏与单片机通讯的方式，改变单片机 P0 口的状态，从而改变与之连接的继电器通断状态，即可达到软件设置故障点的目的。

3.5.2 机床排故模块器件电路介绍

继电器和按钮的常闭触点分别串联，单片机的 P0 口与继电器线圈的一端对应连接，继电器线圈另一端接 GND。为方便操作，将 8 个故障点引出至 X6 端子排，同时连接网孔板上的 X3 端子排，使用时可以直接连接至电路中。具体接线如图 3-17 所示。

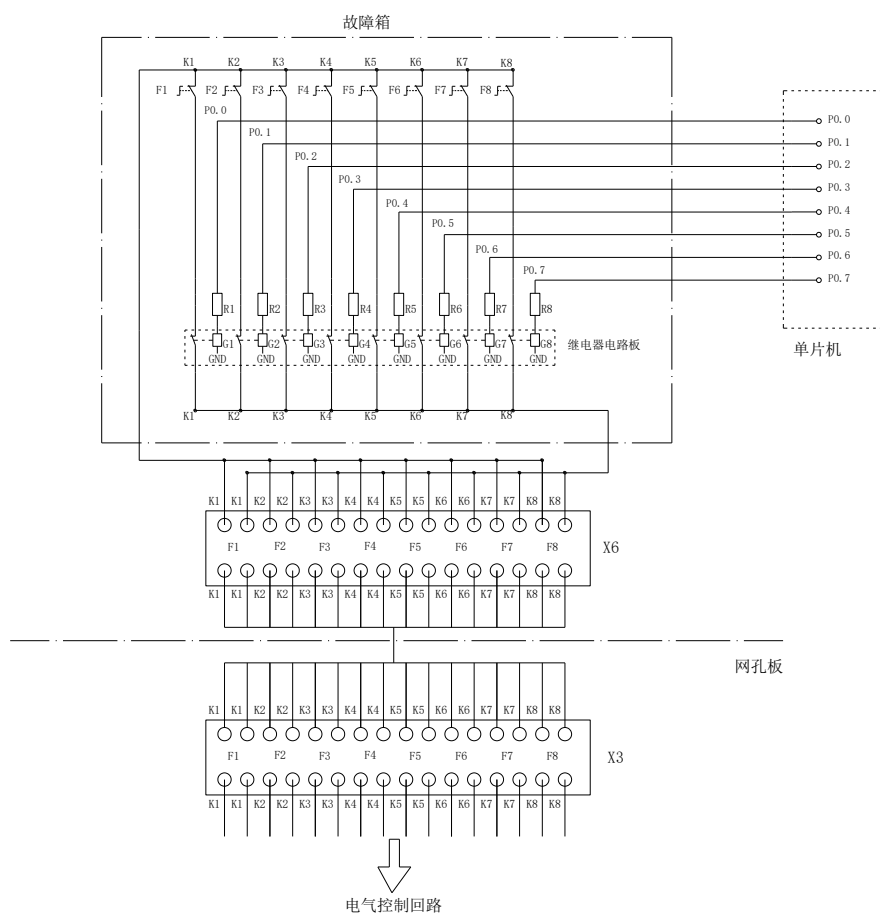


图 3-17 故障箱接线图

触摸屏与单片机之间通过串口通讯的方式进行数据传输，其连接示意图如图 3-18 所示。

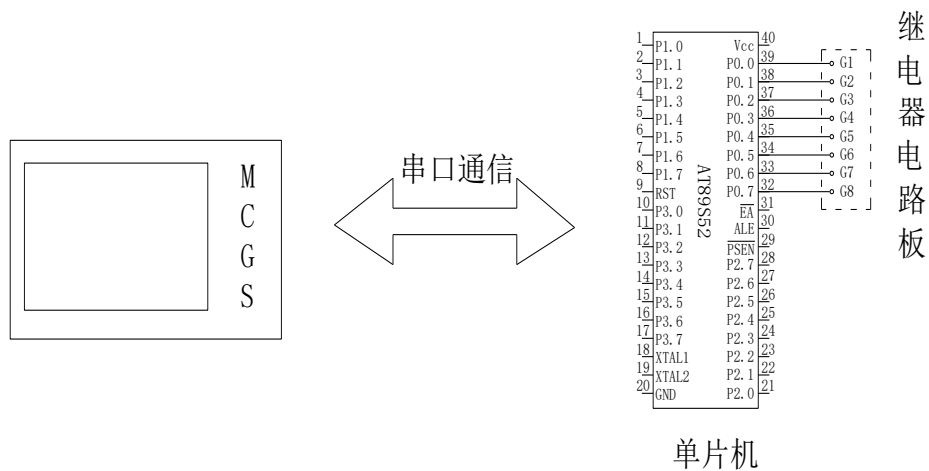


图 3-18 单片机与 MCGS 连接示意图

第四章 电气控制实训装置软件设计

4.1 单片机与触摸屏的通讯

4.1.1 Modbus 串行链路通讯协议介绍

Modbus 由 Modicon（如今的施耐德电气）公司于上世纪七十年代发布。如今 Modbus 协议已是现代工业控制常用的通讯方式之一。

Modbus 协议可在串行链路中实现，也可以在 TCP/IP 网络中实现。通过定义每个设备的地址，并且分析主设备地址发送的数据，形成相应的动作。回应信息时，从设备产生的回应数据，通过 Modbus 协议传回主设备。同一时间只能有一个主设备和一个或多个子设备处于通信网络中^[10]。Modbus 通讯周期如图 4-1 所示。

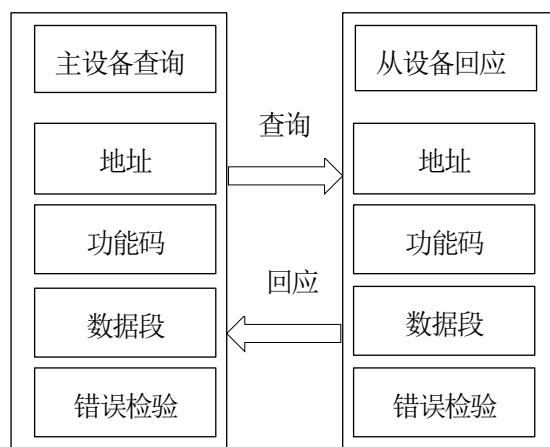


图 4-1 Modbus 通讯周期

4.1.2 Modbus-RTU 报文

Modbus 串行链路通讯协议有 ASCII 和 RTU 两种传输模式，RTU 模式最为常用，在 MCGS 中很容易实现，故本实训装置机床排故模块采用 Modbus-RTU 的形式进行数据传输。

Modbus-RTU 报文是由一组完整的十六进制数组形式进行传输的，如表 4-1 所示，这段数组是主机读取 01 号从机（仪表）0200H 地址开始的 1 个寄存器的值。

表 4-1 Modbus-RTU 报文

01	03	02 00	00 01	84 0A
从机地址	功能号	数据地址	寄存器个数	CRC 校验

功能号是表明对数据进行的详细操作，常用功能号及其具体含义如表 4-2 所示。CRC 校验是判断发送来的数据是否为正确，通过查表法，根据数据计算得到 CRC 校

验码，若计算之后的校验码与接收到的校验码一致，则数据正确，否则数据错误^[11]。

表 4-2 常用功能号含义

功能号	含义
01	读线圈
02	读离散量输入
03	读保持寄存器
04	读输入寄存器
05	写单个线圈
06	写单个寄存器

4.2 MCGS 组态设计

4.2.1 MCGS 设备组态

MCGS 提供了多种设备组态方式，可以以直接调用的方式进行使用，方便与各种设备进行连接通讯^[12]。本实训装置机床排故模块 MCGS 配置 Modbus-RTU 的具体操作如下：

1) 如图 4-2 所示，在 MCGS 设备窗口中进行设备组态，首先添加通用串口父设备，在其下方添加 Modbus 串口数据转发设备（设备 0）。

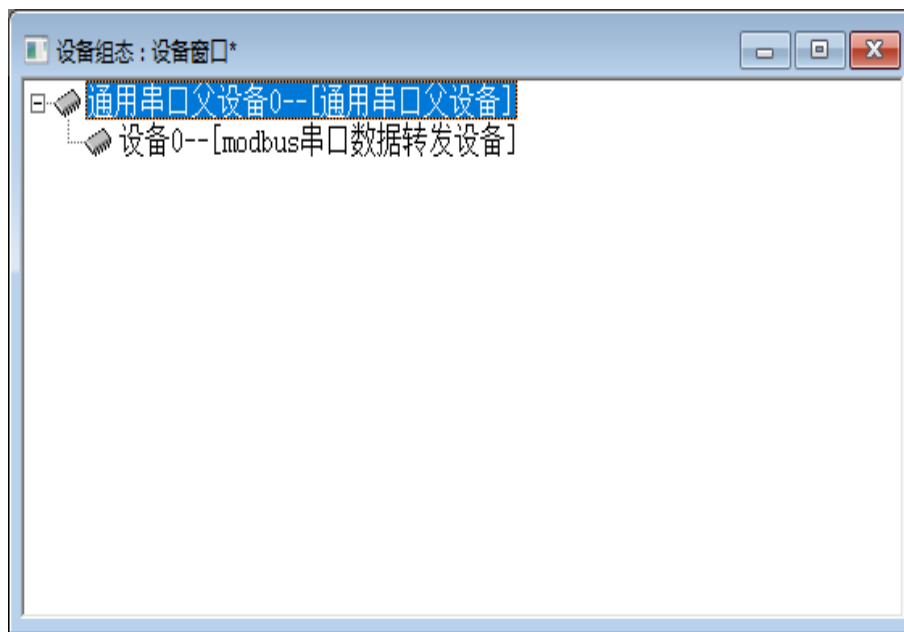


图 4-2 配置设备窗口

2) 双击设备 0 打开设备编辑窗口，如图 4-3 所示，增加 1 个设备通道。选择读写状态的输出寄存器，数据类型为 16 位无符号二进制数，通道个数为 1。创建之后只需要连接数值型变量（如本项目的故障点数值型变量 Fault），便会按一定格式自动发送

代码至下位机。

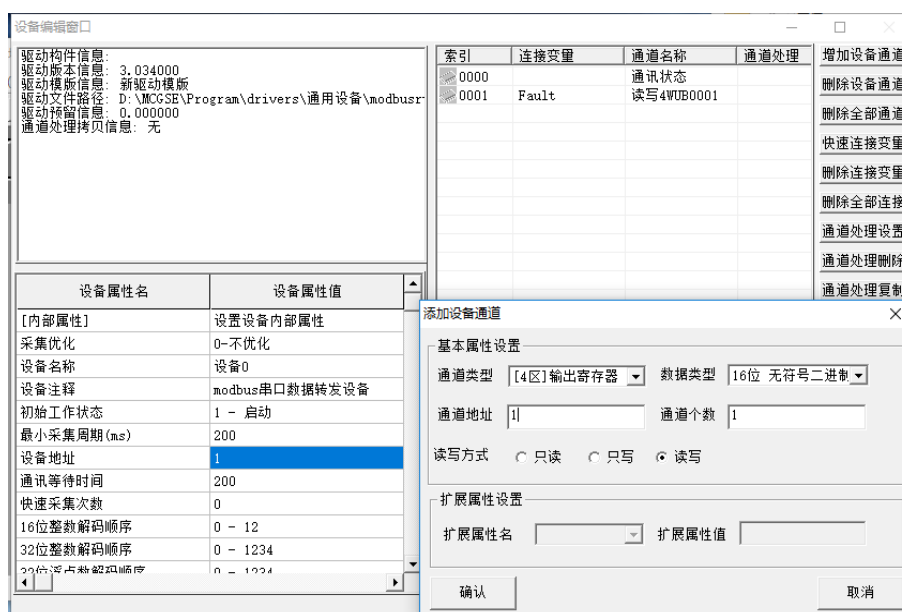


图 4-3 添加设备通道

4.2.2 组态设计

MCGS 触摸屏的组态设计主要包括组态画面设计、按钮脚本设计和指示灯脚本设计 3 部分。先将画面设计完，将其中的按钮和灯的脚本语言设计好，再与对应的变量进行连接即可。

1) 组态画面设计

如图 4-4 所示，在用户窗口中进行设备组态，本例的画面设计根据 M7130 平面磨床故障检修实例进行编写：

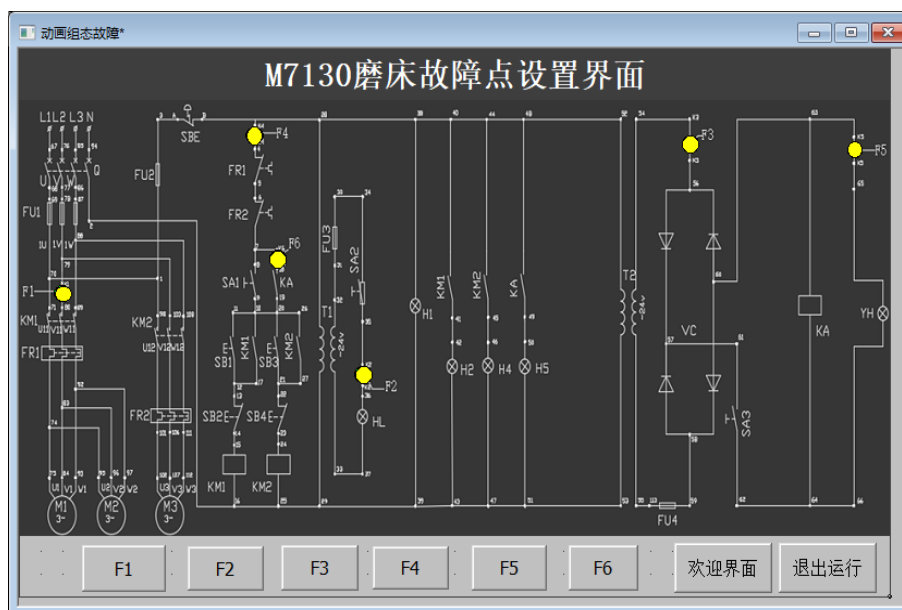


图 4-4 M7130 磨床故障点组态设计

2) 按钮按下脚本语言设计

选用适当样式的按钮，命名为 F1-F6（表示故障点 1-6），编写按下脚本语句依次如下：

F1: Fault=!BitXor(Fault,1);

F2: Fault=!BitXor(Fault,2);

F3: Fault=!BitXor(Fault,4);

F4: Fault=!BitXor(Fault,8);

F5: Fault=!BitXor(Fault,16);

F6: Fault=!BitXor(Fault,32)。

以故障点 F1 的脚本语言“Fault=!BitXor(Fault,1)”为例，语句具体含义为：将 8 位变量 Fault 和“1”按位异或，当按下一次按钮时，Fault 和 1 便会按位异或一次，将新的值赋给 Fault。由于异或指令的特点，任何数与“1”异或都会被取反，故 Fault 的第 0 位便会被取反一次并重新赋值到 Fault 中。例如：Fault 初值为 0000 0000，按下一次 F1 按钮，0000 0000 和 1 异或一次，得到新的 Fault 值为 0000 0001。Fault 的值通过 Modbus 协议被发送至单片机，即完成写数据的操作。

3) 指示灯脚本语言设计

F1-F6 对应指示灯脚本程序如下：

!BitTest(Fault,0) = 0;

!BitTest(Fault,1) = 0;

!BitTest(Fault,2) = 0;

!BitTest(Fault,3) = 0;

!BitTest(Fault,4) = 0;

!BitTest(Fault,5) = 0。

如图 4-5 所示，“!BitTest(Fault,0)=0”含义为检测 Fault 的第 0 位是否为 0，当表达式成立时，则 F1 对应指示灯图符可见为黄色。

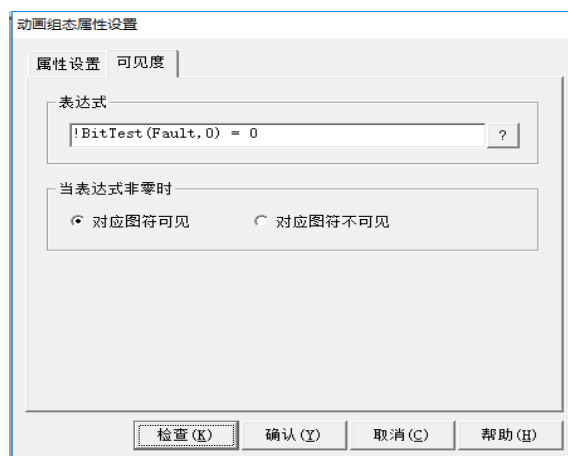


图 4-5 指示灯动画组态

4.3 单片机软件

单片机控制电路在机床排故模块中的作用是作为从机接收主机（即触摸屏）下发的 Modbus 指令并翻译出主机的正确意图，从而控制继电器作通断控制回路的操作。单片机软件即围绕着这一思想进行编写。

4.3.1 单片机软件设计流程

STC89C51 单片机采用方式 1 的通信方式，波特率为 9600baud。Modbus RTU 协议采用 CRC-16 校验^[3]，首先读取串行口的缓存区的数据，判断地址是否为本机地址，正确则继续进行 CRC 校验，CRC 校验正确，继续读取功能码，准备应答数据，通过接收数据计算 CRC 校验码，之后准备发送数据。单片机软件设计流程如图 4-6 所示。

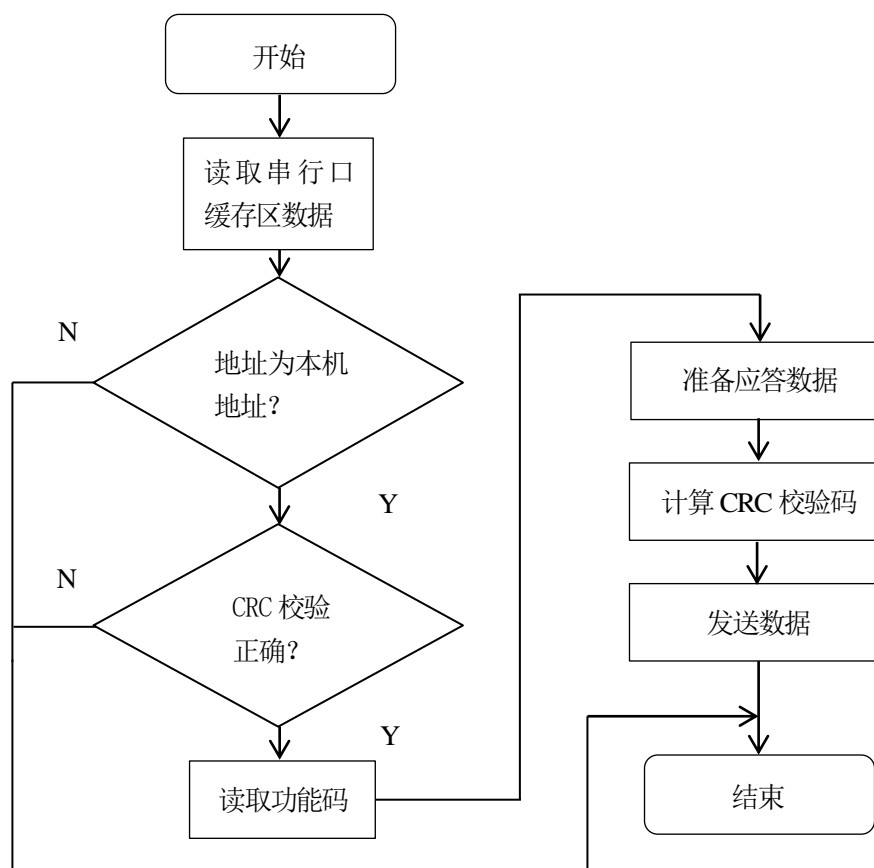


图 4-6 单片机程序设计流程图

4.3.2 程序设计

单片机程序包含主函数、Modbus-RTU 函数、定时函数和串口通讯函数，详细程序见附录一。

本实训装置机床排故模块只使用了上位机对下位机的写操作，即当 MCGS 对单片机进行写操作时，如表 4-3 中所示为按下故障点按钮 F1 所下发的报文：单片机经过地址判断和 CRC 校验均无误之后，则在保持寄存器中写入数据 0x0001，这个数据同步传输到 P0 口，完成了 P0.0 对继电器的加电操作，继电器得电常闭触点断开，完成了

一个故障点的生成，这样就完成了一次写数据通讯。

表 4-3 报文数据

01	06	00 00	00 01	48 0A
从机地址	功能号	数据地址	数据	CRC 校验

1) 主函数介绍

如下程序所示，主函数完成定时器初始化、串口数据初始化和 P0 口状态初始化，并循环检测时钟中断和 Modbus 数据帧。

```
#include "Project.h"
void main(void)
{
    UINT nCounter = 0;
    UCHAR ucLedIndex = 0;
    SYSTEM_DISABLE_INTERRUPT;
    TimerInit();
    UartInit();
    SYSTEM_ENABLE_INTERRUPT();
    P0 = 0x00;
    while(1)
    {
        timerProc();
    }
}
```

2) Modbus 函数介绍

(1) CheckComm0Modbus 检测数据帧函数。如下程序所示，当 receCount 接收数据字节个数大于等于 8 时，关闭接收中断。开始判断地址是否等于本机地址 localAddr，地址正确则执行 CRC 校验，校验正确，则判断功能码即 receBuf[1]的值，数值为 3 时进行读取保存寄存器的操作，值为 6 时进行写单个寄存器的操作。

```
void checkComm0Modbus(void)
{
    UINT16 crcData;
    if (receCount >= 8)
    {
        UART_DISABLE_INTERRUPT();
```

```

if (receBuf[0] == localAddr)
{
    ModbusDelay (10);
    crcData = crc16(receBuf, 6);
    if (crcData == receBuf[7] + (receBuf[6] << 8))
    {
        if (receBuf[1] == 3)
        {
            readRegisters();
        }
        else if (receBuf[1] == 6)
        {
            presetSingleRegister();
        }
    }
}
RI = 0;
receCount = 0;
UART_ENABLE_INTERRUPT();
}
}

```

(2) presetSingleRegister 设置寄存器值函数。如下程序所示，例如 MCGS 对单片机写入数组：01 06 00 00 00 01 48 0A 时，首先将 receBuf[3]即数组内第 4 个数值 00 赋给临时地址 tempaddr，将数组内第 5 个数左移 8 位加第 6 个数的值赋给临时数据 tempdata，此时 tempdata 的值为 00 01，并且将临时地址和临时数据的值记录在 setRegisterVal 中。通过 setRegisterVal 函数将临时数据 00 01 写入寄存器 Register0 中，并赋给 P0，完成数据的写入操作。

同时单片机也会回复 MCGS 一串数组，第 1 个数值为 localAddr 即本机地址 01，第 2 个数值为 06，第三个数值为地址 addr 右移 8 位，第 4 个数值为 addr 和 $0 \times ff$ 与运算得到的新值，第 5 个数值和第 6 个数值皆等于接受数组内对应位置的数值，此时 setCount 发送字节个数等于 6，进行 CRC 校验码计算，第 7 个数值和第 8 个数值为计算得到的 CRC 校验码，此时发送字节个数为 8，可以开始发送^[14]。

```

void presetSingleRegister(void)
{

```

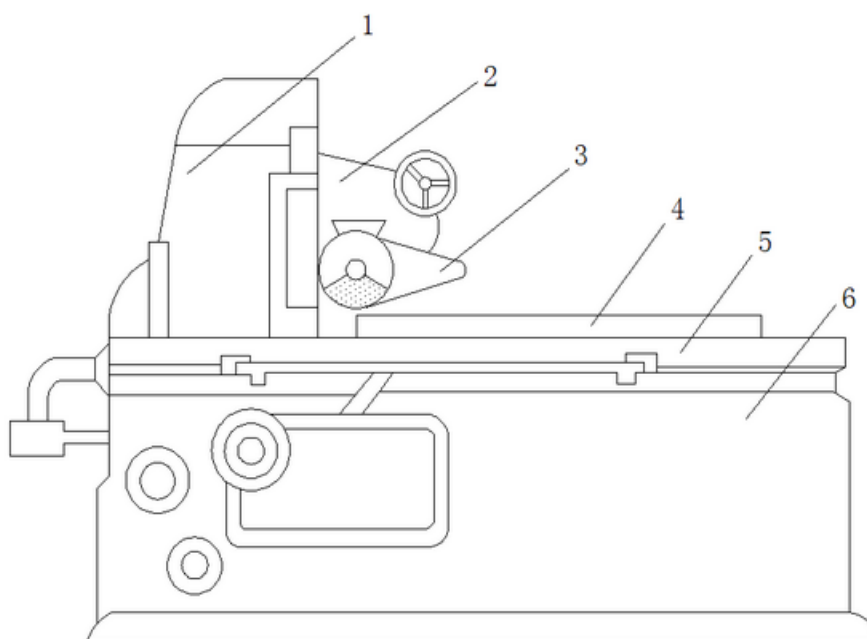
```
U8 addr;
U8 tempAddr;
U8 setCount;
U16 crcData;
U16 tempData;
addr = receBuf[3];
tempAddr = addr;      //& 0xff
tempData = ( receBuf[4]<<8 ) + receBuf[5];
setRegisterVal(tempAddr,tempData);
sendBuf[0] = localAddr;
sendBuf[1] = 6;
sendBuf[2] = addr >> 8;
sendBuf[3] = addr & 0xff;
sendBuf[4] = receBuf[4];
sendBuf[5] = receBuf[5] ;
setCount = 6;
crcData = crc16(sendBuf,6);
sendBuf[6] = crcData >> 8;
sendBuf[7] = crcData & 0xff;
sendCount = 8;
beginSend();
}
```

第五章 电气控制实训装置的应用

本章以电工考证中常见的 M7130 型平面磨床控制电路为例，讲解电气控制实训装置的使用方式。

5.1 M7130 平面磨床介绍

磨床的工作原理是通过磨具的旋转来对工件进行磨削，达到平整光滑的要求。经过许多年的发展，磨床种类越来越多，其中 M7130 平面磨床是最为普遍的一种，主要由立柱、滑座、砂轮箱、电磁吸盘、工作台和床身组成^[15]，其结构如图 5-1 所示。



平面磨床结构图

1-立柱；2-滑座；3砂轮箱；4-电磁吸盘；5-工作台；6-床身

图 5-1 M7130 平面磨床结构图

5.2 M7130 平面磨床电气控制电路分析

M7130 平面磨床电路由控制电路和主电路组成，其电气原理电路图如图 5-2 所示。

1) 主电路分析

空气开关 Q 为电源总开关；熔断器 FU1 为短路保护；热继电器 FR1、FR2 为过载保护。接触器 KM1 主触点控制电机 M1 与 M2 的启停，接触器 KM2 主触点控制电机 M3 的启停。三台电机均采用直接启动的方式。

2) 控制电路分析

单相 220V 交流电压经过熔断器 FU2 为 M7130 控制电路提供电源，FR1、FR2 的

常闭触点接入控制电路，当三台电机长时间过载运行时切断控制电路达到过载保护的作用。通过 SA1 切换工作模式，KA 作为欠磁保护。SB1、SB2 为 M1、M2 的启停按钮，SB3、SB4 为电机 M3 启停按钮。变压器 T1 将交流 220V 降压为 24V，为灯 HL 提供电源，同时 FU3 作为整个照明路的短路保护。

3) 电磁吸盘控制电路分析

M7130 电磁吸盘控制电路包含变压器、整流桥和短路保护组成，作为磨床安全工作的欠磁保护机制。

5.3 M7130 平面磨床工作流程

1) 按下 SA1 按钮，系统进入“对刀”工作方式。

(1) 按下启动按钮 SB1，KM1 主触点闭合并且自锁，电动机 M1 和 M2 转动，指示灯 H2 点亮。

(2) 按下停止按钮 SB2，KM1 主触点断开，电动机 M1 和 M2 停转，指示灯 H2 熄灭。

(3) 按下启动按钮 SB3，KM2 主触点闭合并且自锁，M3 开始工作。工作台开始进给，指示灯 H4 点亮。

(4) 按下停止按钮 SB4，KM2 主触点断开，M3 停转，工作台停止进给，指示灯 H4 熄灭。

2) 局部照明：相对独立的部分。变压器 T1 输出 24V 交流电压，经过开关 SA2 控制工作台照明灯 HL，FU3 作短路保护。

3) 电磁吸盘工作电路

变压器 T2 输出 24V 交流电，经过全波桥式整流装置，整流为 24V 直流电，供给电磁吸盘。

闭合开关 SA3，KA 线圈得电常开触点闭合，指示灯 H3 点亮。电磁吸盘 YH 得电产生磁场吸牢工件，此时欠磁保护已经开启，可以进行工件的磨削加工。

当需去磁取下工件时，打开开关 SA3 即可。（注：“对刀”工作方式只是用于测试砂轮电动机、冷却泵电动机和液压泵电动机状态时所选择的一种工作方式，此状态下由于电磁吸盘没有工作，故严禁在此种状态下进行磨削工作！）

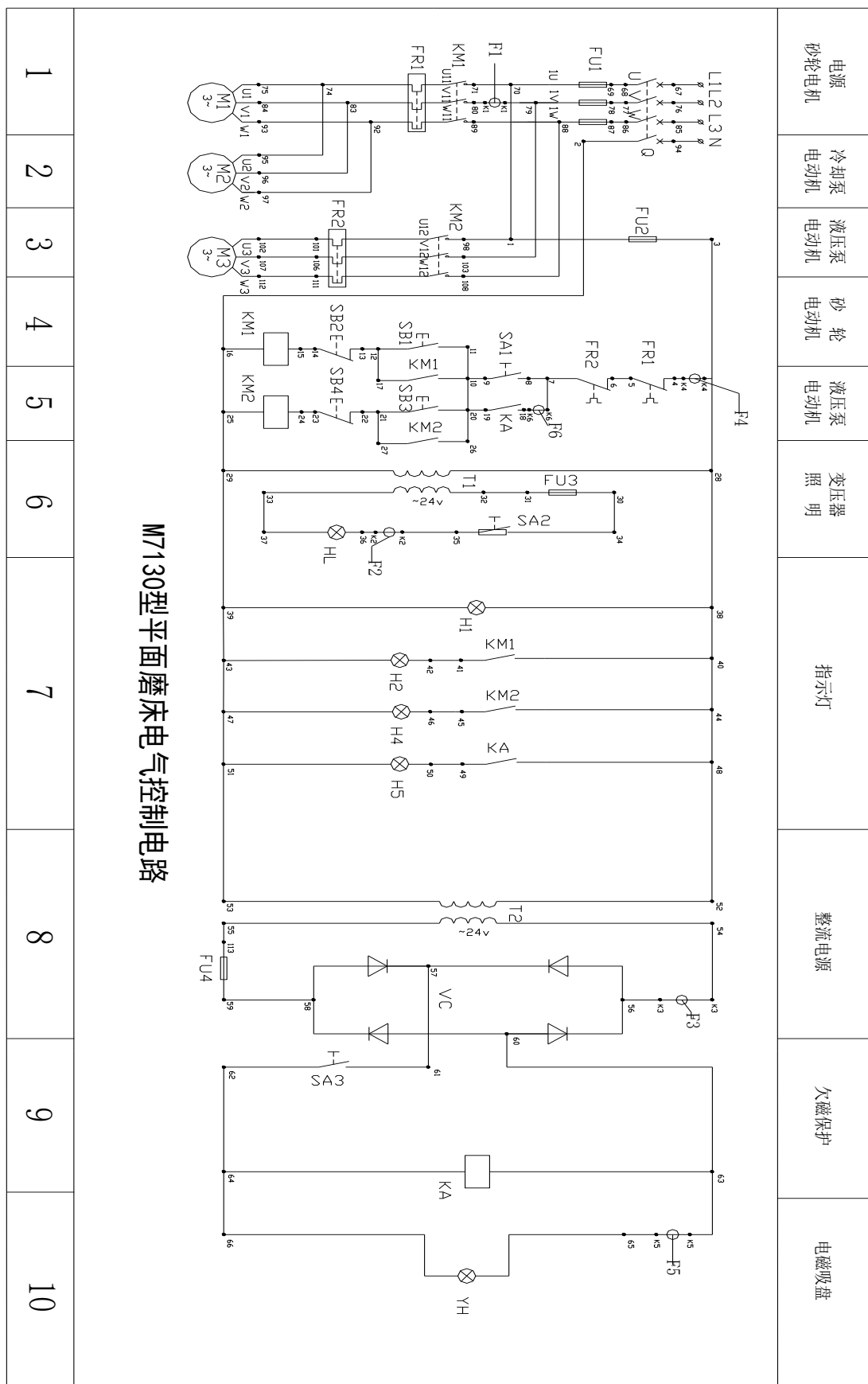


图 5-2 M7130 平面磨床电路原理图

5.4 M7130 平面磨床实际接线及调试

M7130 平面磨床电气控制线路安装所使用的元器件清单，详见附录二。

控制柜连接电源后、闭合空气开关、整个电路带电，电源指示灯 H1 点亮。

1) 转动 SA1 至闭合，按下 SB1，M1、M2 转，H2 亮；按下按钮 SB2，M1、M2 停转，H2 灭；按下按钮 SB3，M3 转动，H4 亮；按下 SB4，M3 停转，H4 灭。

2) 转动 SA1 至断开状态，转动 SA3 至闭合状态，磁铁 YH 吸合（可听到吸合的声音），H3 灯亮，同时进行上述操作，现象相同；断开 SA3，磁铁 YH 失磁打开，H3 灯灭。

3) 转动转换开关 SA2 至闭合状态，照明灯 HL 点亮；断开 SA2，照明灯 HL 熄灭。M7130 平面磨床实际接线图如图 5-3 所示。

按如上操作，验证正常工作时，电气控制实训装置工作正常。

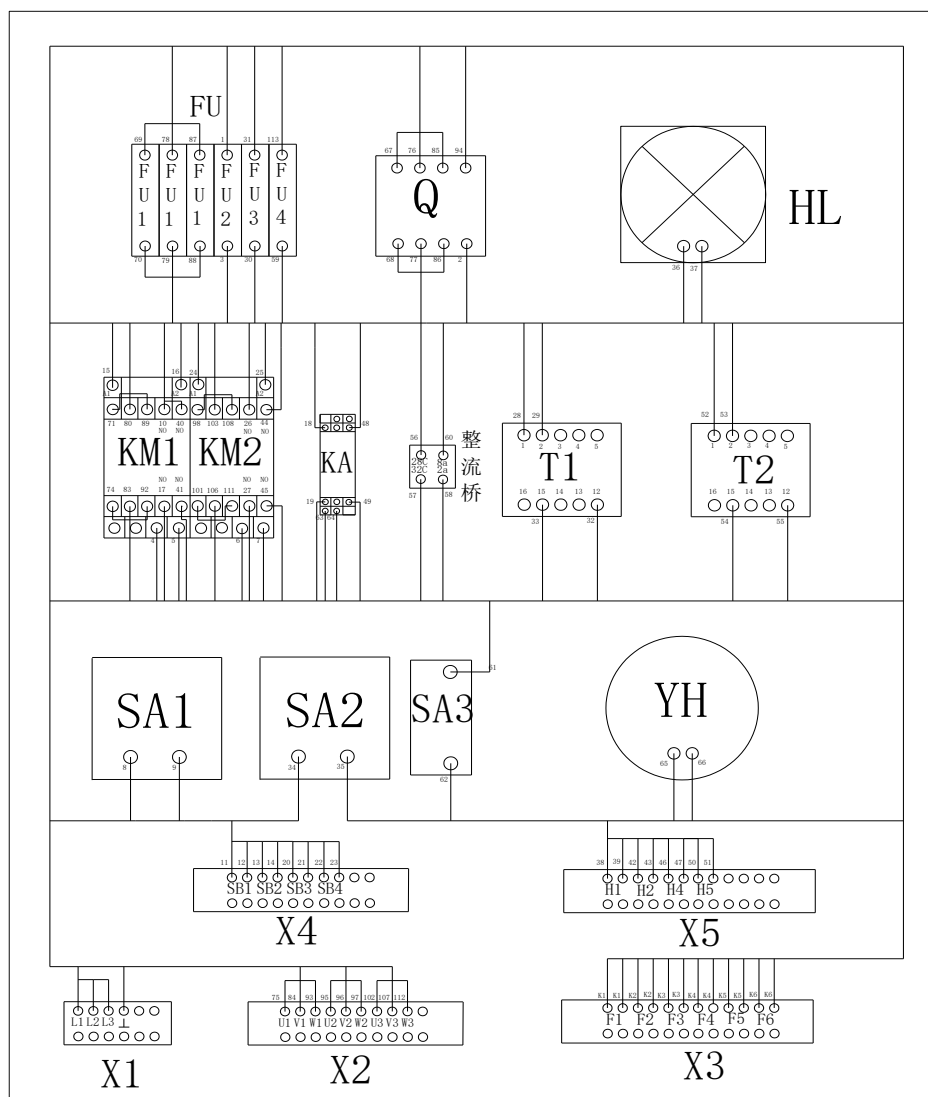


图 5-3 M7130 平面磨床实际接线图

5.5 M7130 平面磨床电气线路故障点诊断与维修实例

5.5.1 故障点介绍

本实训装置设置了 6 个故障点（如表 5-1）来模仿 M7130 平面磨床常见故障诊断与维修。

表 5-1 M7130 故障点

故障点	故障现象	原因
F1	按下启动按钮 SB1 时，电机转动存在噪音	主回路断路，三相电动机缺相
F2	按下 SA2 时，灯泡不亮，其他功能正常	控制灯泡的回路断路
F3	按下 SA3 时，KA 接触器不吸合，电磁吸盘不吸合	变压器输出回路断路
F4	按下 SB1 或者 SB3 时，继电器的主线圈不吸合，电机控制电路不起作用	控制电路主电路断路
F5	当按下 SA3 时，KA 接触器动作，电磁铁不吸合	电磁吸盘回路断路
F6	当 SA3 闭合时，KA 动作，电磁铁 YH 动作；当按下 SB1 或者 SB3 时，电机不转，但按下 SA1 按钮，切换到“对刀”状态时电机运行正常	对刀模式运行正常，但其他模式不正常，即与 SA1 并联电路出现故障

5.5.2 故障点功能调试

将 6 个故障点接入 M7130 平面磨床控制电路之后，对实训装置排故系统进行了综合调试，其故障点分布图如图 5-4 所示。

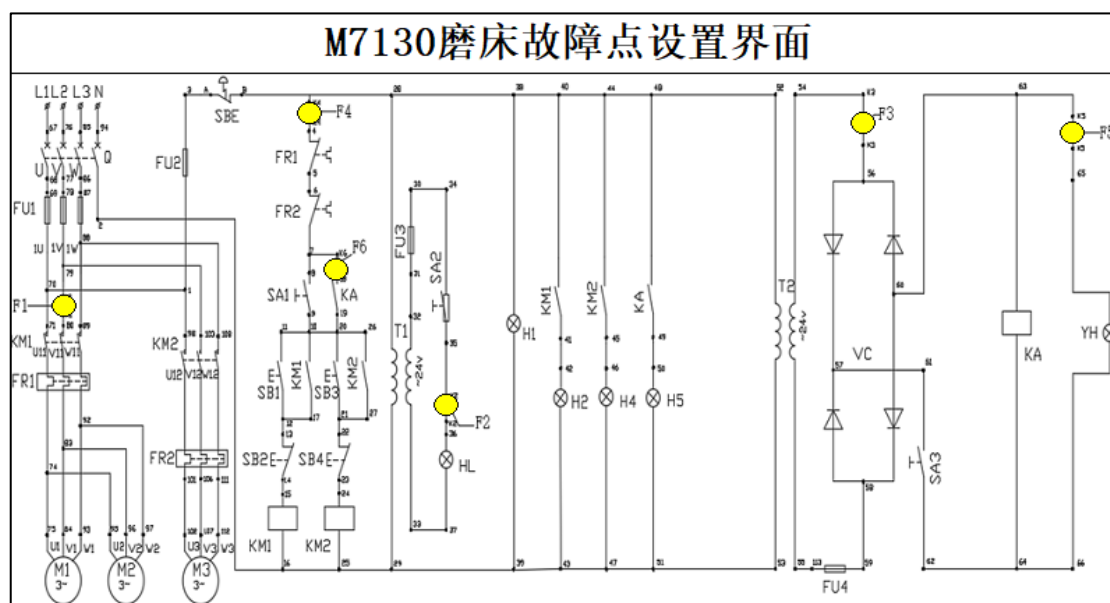


图 5-4 M7130 平面磨床故障点位图

1) 使用按钮设置故障

使用按钮设置故障点时，F1 至 F6 故障现象均与表 5-1 所述相同。

例如：当按下 F1 自锁按钮时，M1、M2 电动机转动速度降低，且声音异常。分析得知为电动机缺相导致，主电路出现故障。复位 F1 按钮，M1、M2 电动机恢复正常运行。

2) 使用触摸屏设置故障

使用触摸屏设置的 6 个故障点，调试效果均与表 5-1 所述相同。如图 5-5 所示，触摸屏可增加登陆界面，保证故障点设置的隐蔽性。



图 5-5 登陆界面

5.6 电气控制实训装置实物照片

如图 5-6 所示,实训装置正面照片 (a)、侧面照片 (b) 和背面照片 (c)。



a.正面

b.侧面

c.背面

图 5-6 实训装置实物照片

第六章 总结与展望

6.1 课题研究结论

本文将电气控制实训装置作为研究对象，新型立柜式与模块挂件组合，结合机床排故系统的设计思路，完成了实训装置系统设计，硬件电路的选型和安装、软件系统的设计和实际应用。通过运行和不断地调试，电气控制实训装置达到了预期的效果。研究结论如下：

1) 系统设计。根据电气专业实训标准和电工考核的要求，详细研究了国内外相关的实训装置发展情况和存在问题，本课题提出了立体机柜挂件式设计的设计方案。

2) 硬件设计。根据电气专业实训方案和电工考核要求，实训装置分为五大模块，模块与模块之间配合使用的方式，达到预期的实训效果。并且对各个功能模块进行详细的硬件分析、选型和电路分析。

3) 软件设计。软件系统主要针对新型的机床排故系统而设计，详细分析目前存在的实训排故系统所存在的问题，排故实训项目的目标与要求。采用将 MCGS 作为上位机，单片机作为下位机，硬件和软件设计故障点的方式，使得故障点的设置和排除能够更加简便直观。

4) 运行与调试。根据 M7130 平面磨床控制电路的模拟运行和 M7130 磨床电气线路故障点诊断与维修实例对本装置进行了运行测试，能够有效的完成相应的实训项目。

6.2 未来展望

本课题对电气控制实训装置进行了设计研究，并取得了一定的成果。但许多工作由于条件的限制未能完成，具体改进意见如下所述：

1) 控制柜底部可加装万向轮，方便移动。

2) 控制柜中间导线可用穿线管作为保护，防止导线摩擦破损，造成安全隐患，并且能够使得装置更加整洁。

3) 可在控制柜上增加一块单独区域，放置 PLC 控制模块。

参考文献

- [1] 王永江. 实用型电工技能实训考核装置的研制[D]. 浙江工业大学, 2016.
- [2] 付占敏. 基于电气自动化专业实验教学的综合实训装置的开发与应用[J]. 中国新通信, 2019, 21 (16): 221.
- [3] 周山虎. 高级维修电工应用型人才培训研究[J]. 亚太教育, 2016, (05): 244-245.
- [4] 李海峰. 现代电工实训系统的开发与应用[D]. 西安工业大学, 2014.
- [5] 赵杰. 机床电气故障检修实训装置的设计与实现[J]. 科技经济导刊, 2016, (02): 75.
- [6] 梁刚, 蒙雪兰. 基于 PLC 触屏式铣床电路排故实训装置的设计[J]. 装备制造技术, 2019, (09): 137-142.
- [7] 李静, 郑午. 电气自动化综合实训考核装置的研制与应用[J]. 科技创新导报, 2018, 15 (35): 39+41.
- [8] Jun Hai Jiang, Ming Hui Liu. A Study on Speed Control System Based on STC89C51[J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 3744.
- [9] Li Jian Zhang, Shan Yong Liu, Jin Lan Zhang. Development and Application of the Driving Components for 51 Series MCU under MCGS Platform[J]. Advanced Materials Research, 2014, 3181.
- [10] 许波. Modbus 通信协议的研究与实现[D]. 安徽大学, 2010.
- [11] 母才莘. 基于 Modbus RTU 协议的 MCGS 应用系统与单片机通信设计[J]. 自动化应用, 2017, (07): 49-51.
- [12] 沈林晖. Modbus RTU 串口通信在工业自动化系统中的应用[J]. 化工自动化及仪表, 2014, 41 (02): 207-211.
- [13] Qing Hua Si, Hai Bo Xu, Jun Xu, Gao Yang Xu, Zhen Feng Ye. Application of Modbus Protocol in the Automatic Safety Device[J]. Advanced Materials Research, 2015, 3701.
- [14] 刘青, 任晓芳, 马慧霞. 基于 Modbus 协议的单片机与触摸屏通信研究[J]. 电气应用, 2018, 37 (16): 83-85.
- [15] 梁煜辰, 张静之, 胡迎杰, 张泽河. M7130 平面磨床排故系统设计[J]. 数字技术与应用, 2015, (01): 12-13+38.

附录一 单片机程序

1.Main.c

```
#include "Project.h"
void main(void)
{
    UINT nCounter = 0;
    UCHAR ucLedIndex = 0;
    SYSTEM_DISABLE_INTERRUPT();
    TimerInit();
    UartInit();
    SYSTEM_ENABLE_INTERRUPT();
    P0 = 0x00;
    while(1)
    {
        timerProc();
        checkComm0Modbus();
    }
}
```

2.Timer.c

```
#include "Project.h"
UINT8 idata c10ms;
bit      b1ms, bt1ms, b10ms, bt10ms, b100ms, bt100ms;
void TimerInit(void)
{
    TMOD = 0x51;
    TH0 = TIMER_HIGHT;
    TL0 = TIMER_LOW;
    TR0 = 1;
    ET0 = 1;
    TH1 = 0;
    TL1 = 0;
    TR1 = 0;
    ET1 = 1;
}
```

```
IT0 = 1;
IT1 = 1;
EX0 = 0;
PX0 = 1;
EX1 = 0;
}
void timerProc(void)
{
    static UINT8 c200ms;
    b1ms = 0;
    b10ms = 0;
    b100ms = 0;
    ET0 = 0;
    dwTickCount = dwIntTick;
    ET0 = 1;
    if(bt1ms)
    {
        bt1ms = 0;
        b1ms = 1;
        if(receTimeOut>0)
        {
            receTimeOut--;
            if(receTimeOut==0 && receCount>0)
            {
                receCount = 0;
                checkoutError = 0;
            }
        }
    }
    if(bt100ms)
    {
        bt100ms = 0;
        b100ms = 1;
    }
}
```

```
    if(bt10ms)
    {
        bt10ms = 0;
        b10ms = 1;
        c200ms++;
        if(c200ms >= 20)
        {
            c200ms = 0;
        }
    }
}
void timer0IntProc() interrupt 1
{
    TLO = TIMER_LOW;
    TH0 = TIMER_HIGHT;
    dwIntTick++;
    bt1ms = 1;
    c10ms++;
    if(c10ms >= 10)
    {
        c10ms = 0;
        bt10ms = 1;
    }
}
void counter1IntProc(void) interrupt 3 using 1
{
}
```

3.Uart.c

```
#include "Project.h"
#include "Uart.h"
#include "BaseTypes.h"
UINT32 dwTickCount,dwIntTick;
UINT8  idata sendBuf[16], receBuf[16];
UINT8  idata checkoutError;
```

```
UINT8 idata receTimeOut;
UINT8 sendCount;
UINT8 receCount;
UINT8 sendPosi;
void UartSendByte (UCHAR ucByte)
{
    SBUF = ucByte;
    while (!TI);
    TI = 0;
}
void UartSendBytes (UCHAR *buf,UINT nLen)
{
    UINT i;
    for (i = 0;i < nLen;i ++)
        UartSendByte (buf[i]);
}
void UartInit ()
{
    IE=0x90;
    TMOD = (TMOD & 0X0F) | 0X20;
    TH1 = -22118400L/12/32/9600;
    TL1 = -22118400L/12/32/9600;
    TR1 = 1;
    SCON = 0X50;
    PCON |= 0X80;
}
void commIntProc(void) interrupt 4
{
    if (!RI) return;
    RI = 0;
    receTimeOut = 20;
    receBuf[receCount] = SBUF;
    receCount ++;
    receCount &= 0x0f;
```

```
}
```

4.Modbus.c

```
#include "Project.h"
```

```
const UINT8 code auchCRCHi[] = {
```

```
    0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0,  
    0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,  
    0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0,  
    0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40,  
    0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1,  
    0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,  
    0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1,  
    0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,  
    0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0,  
    0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40,  
    0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1,  
    0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40,  
    0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0,  
    0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,  
    0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0,  
    0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40,  
    0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0,  
    0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40,  
    0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1,  
    0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,  
    0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0,  
    0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40
```

```
};
```

```
const UINT8 code auchCRCLo[] = {
```

```
    0x00, 0xC0, 0xC1, 0x01, 0xC3, 0x03, 0x02, 0xC2, 0xC6, 0x06,  
    0x07, 0xC7, 0x05, 0xC5, 0xC4, 0x04, 0xCC, 0x0C, 0x0D, 0xCD,
```

```
0x0F, 0xCF, 0xCE, 0x0E, 0x0A, 0xCA, 0xCB, 0x0B, 0xC9, 0x09,
0x08, 0xC8, 0xD8, 0x18, 0x19, 0xD9, 0x1B, 0xDB, 0xDA, 0x1A,
0x1E, 0xDE, 0xDF, 0x1F, 0xDD, 0x1D, 0x1C, 0xDC, 0x14, 0xD4,
0xD5, 0x15, 0xD7, 0x17, 0x16, 0xD6, 0xD2, 0x12, 0x13, 0xD3,
0x11, 0xD1, 0xD0, 0x10, 0xF0, 0x30, 0x31, 0xF1, 0x33, 0xF3,
0xF2, 0x32, 0x36, 0xF6, 0xF7, 0x37, 0xF5, 0x35, 0x34, 0xF4,
0x3C, 0xFC, 0xFD, 0x3D, 0xFF, 0x3F, 0x3E, 0xFE, 0xFA, 0x3A,
0x3B, 0xFB, 0x39, 0xF9, 0xF8, 0x38, 0x28, 0xE8, 0xE9, 0x29,
0xEB, 0x2B, 0x2A, 0xEA, 0xEE, 0x2E, 0x2F, 0xEF, 0x2D, 0xED,
0xEC, 0x2C, 0xE4, 0x24, 0x25, 0xE5, 0x27, 0xE7, 0xE6, 0x26,
0x22, 0xE2, 0xE3, 0x23, 0xE1, 0x21, 0x20, 0xE0, 0xA0, 0x60,
0x61, 0xA1, 0x63, 0xA3, 0xA2, 0x62, 0x66, 0xA6, 0xA7, 0x67,
0xA5, 0x65, 0x64, 0xA4, 0x6C, 0xAC, 0xAD, 0x6D, 0xAF, 0x6F,
0x6E, 0xAE, 0xAA, 0x6A, 0x6B, 0xAB, 0x69, 0xA9, 0xA8, 0x68,
0x78, 0xB8, 0xB9, 0x79, 0xBB, 0x7B, 0x7A, 0xBA, 0xBE, 0x7E,
0x7F, 0xBF, 0x7D, 0xBD, 0xBC, 0x7C, 0xB4, 0x74, 0x75, 0xB5,
0x77, 0xB7, 0xB6, 0x76, 0x72, 0xB2, 0xB3, 0x73, 0xB1, 0x71,
0x70, 0xB0, 0x50, 0x90, 0x91, 0x51, 0x93, 0x53, 0x52, 0x92,
0x96, 0x56, 0x57, 0x97, 0x55, 0x95, 0x94, 0x54, 0x9C, 0x5C,
0x5D, 0x9D, 0x5F, 0x9F, 0x9E, 0x5E, 0x5A, 0x9A, 0x9B, 0x5B,
0x99, 0x59, 0x58, 0x98, 0x88, 0x48, 0x49, 0x89, 0x4B, 0x8B,
0x8A, 0x4A, 0x4E, 0x8E, 0x8F, 0x4F, 0x8D, 0x4D, 0x4C, 0x8C,
0x44, 0x84, 0x85, 0x45, 0x87, 0x47, 0x46, 0x86, 0x82, 0x42,
0x43, 0x83, 0x41, 0x81, 0x80, 0x40
};
UINT8 localAddr = 1;
UINT16 Register;
UINT16 crc16(const UINT8 *puchMsg, UINT16 usDataLen)
{
    UINT8 uchCRCHi = 0xFF ;
    UINT8 uchCRCLo = 0xFF ;
    UINT32 uIndex ;
    while (usDataLen--) {
        uIndex = uchCRCHi ^ *puchMsg++ ;
```

```
        uchCRCHi = uchCRCLo ^ auchCRCHi[uIndex];
        uchCRCLo = auchCRCLo[uIndex];
    }
    return (uchCRCHi << 8 | uchCRCLo);
}
void beginSend(void)
{
    UartSendBytes (sendBuf, sendCount);
}
void readRegisters(void)
{
    UINT8 addr;
    UINT8 tempAddr;
    UINT16 crcData;
    UINT8 readCount;
    UINT8 byteCount;
    UINT16 i;
    UINT16 tempData = 0;
    addr = receBuf[3];
    tempAddr = addr;
    readCount = receBuf[5];
    byteCount = readCount * 2;
    for (i = 0; i < byteCount; i += 2, tempAddr++)
    {
        getRegisterVal(tempAddr, &tempData);
        sendBuf[i+3] = tempData >> 8;
        sendBuf[i+4] = tempData & 0xff;
    }
    sendBuf[0] = localAddr;
    sendBuf[1] = 3;
    sendBuf[2] = byteCount;
    byteCount += 3;
    crcData = crc16(sendBuf, byteCount);
    sendBuf[byteCount] = crcData >> 8;
```

```
byteCount++;
sendBuf[byteCount] = crcData & 0xff;
sendCount = byteCount + 1;
beginSend();
} //void readRegisters(void)
void presetSingleRegister(void)
{
    U8 addr;
    U8 tempAddr;
    U8 setCount;
    U16 crcData;
    U16 tempData;
    addr = receBuf[3];
    tempAddr = addr;           //& 0xff
    tempData = ( receBuf[4]<<8 ) + receBuf[5];
    setRegisterVal(tempAddr,tempData);
    sendBuf[0] = localAddr;
    sendBuf[1] = 6;
    sendBuf[2] = addr >> 8;
    sendBuf[3] = addr & 0xff;
    sendBuf[4] = receBuf[4];
    sendBuf[5] = receBuf[5] ;
    setCount = 6;
    crcData = crc16(sendBuf,6);
    sendBuf[6] = crcData >> 8;
    sendBuf[7] = crcData & 0xff;
    sendCount = 8;
    beginSend();
}
UINT16 getRegisterVal(UINT16 addr, UINT16 *tempData)
{
    UINT16 result = 0;
    UINT16 tempAddr;
    tempAddr = addr & 0xffff;
```

```
switch(tempAddr)    //& 0xff
{
    case 0:
        *tempData = Register0 = P0;
        break;
}
return result;
}
UINT16 setRegisterVal(UINT16 addr, UINT16 tempData)
{
    UINT16 result = 0;
    UINT16 tempAddr;
    tempAddr = addr & 0xffff;
    switch(tempAddr)    //& 0xff
    {
        case 0:
            P0 = Register0 = ~tempData;
            break;
    }
    return result;
}
void ModbusDelay (unsigned int nDelay)
{
    volatile unsigned int i, j;
    for (i = 0; i < nDelay; i++)
        for (j = 0; j < 10; j++);
}
void checkComm0Modbus(void)
{
    UINT16 crcData;
    if (receCount >= 8)
    {
        UART_DISABLE_INTERRUPT();
        if (receBuf[0] == localAddr)
```

```
{
    ModbusDelay (10);
    crcData = crc16(receBuf, 6);
    if (crcData == receBuf[7] + (receBuf[6] << 8))
        {
            if (receBuf[1] == 3)
                {
                    readRegisters();
                }
            else if (receBuf[1] == 6)
                {
                    presetSingleRegister();
                }
        }
    }
    RI = 0;
    receCount = 0;
    UART_ENABLE_INTERRUPT();
}
}
```

附录二 元器件清单

序号	名称	符号	型号	规格	作用	数量
1	砂轮电动机	M1	41K25GN-Y	380V/220V 25W 1300/1600/min	砂轮转动	1
2	冷却泵电动机	M2	41K25GN-Y	380V/220V 25W 1300/1600/min	冷却泵运转	1
3	液压泵电动机	M3	41K25GN-Y	380V/220V 25W 1300/1600/min	液压泵运转	1
4	交流接触器	KM1	CJXZ-9	690V/25A	控制 M1、M2	1
5	交流接触器	KM2	CJXZ-9	690V/25A	控制 M3	1
6	热继电器	FR1	JRS1-09-25	380V/0.95A	M1 过载保护	1
7	热继电器	FR2	JRS1-09-25	380V/0.95A	M3 过载保护	1
8	熔断器	FU1	RT18-32X	380V/32A	主电路短路保护	3
9	熔断器	FU2	RT18-32X	380V/32A	控制电路保护	1
10	熔断器	FU3	RT18-32X	380V/32A	照明电路保护	1
11	熔断器	FU4	RT18-32X	380V/32A	降压整流保护	1
12	空气开关	Q	DZ47-60	400V/4000A	进户总开关	1
13	变压器	T1	BK-50	380V/220V50VA	照明灯 HL 供电	1
14	变压器	T2	BK-50	380V/220V50VA	继电器 KA 供电	1
15	整流桥	VC	-	-	为电磁吸盘 YH 供电	1
16	电磁吸盘	YH	FMZ1-45	24V/50HZ	吸持工件	1
17	继电器	KA	MY2NJ	5A/28VDC	欠磁保护	1
18	按钮开关	SA1	-	-	“对刀”开关	1
19	按钮开关	SA2	JZ24-40	24V/40W	照明回路开关	1
20	按钮开关	SA3	-	-	控制充磁去磁	1
21	工作台照明	HL	-	-	加工时照明	1
22	按钮	SB1	A008375	-	M1、M2 启动	1
23	按钮	SB2	A008375	-	M1、M2 停止	1
24	按钮	SB3	A008375	-	M3 启动	1

25	按钮	SB4	A008375	-	M3 停止	1
26	指示灯	H1	A009397	-	电源信号灯	1
27	指示灯	H2	A009397	-	M1、M2 运行指示	1
28	指示灯	H3	A009397	-	充磁指示	1
29	指示灯	H4	A009397	-	M3 运行指示	1
30	MCGS 触摸屏	MCGS	TPC7062K	24V DC/300mA	-	1
31	线槽	-	-	380cm	-	7
32	电气控制柜	-	-	156×64×60cm	-	1
33	端子排	-	-	-	-	6
34	导线	-	-	1.0mm	-	150m

致 谢

转眼间四年的大学生活即将告于段落，在论文完成之际，我想对我的导师和所有帮助过我的老师、同学、朋友们表达真挚的感谢。

首先，我要感谢我的导师王鹏教授，在论文研究期间遇到困难和挫折时，王老师总是孜孜不倦的为我答疑解惑，帮助我度过难关。他丰富的教学经验，渊博的专业知识以及认真负责的敬业精神不断激励着我，使我受益匪浅。再次向王老师表示诚挚的感谢，愿以后师生情谊长存，愿王老师以后的工作和生活一切顺利！

感谢天津中德应用技术大学提供的优异的学习环境和有利的研究条件，特别是在疫情期间，学校作出许许多多的努力，为我们创造宝贵的学习时间和学习条件。再次感谢天津中德应用技术大学，愿母校的发展日新月异！蒸蒸日上！

同时感谢一起度过四年大学时光的同窗好友，是他们的关照和友情，让我倍感家的温暖和踏实。在此还要特别感谢我的家人，你们辛勤的工作和源源不断的关怀，给予我前进的动力，使我在学习的道路上能够不断前行。

最后，衷心的感谢所有关心和帮助过我的人！