沈 阳 航 空 航 天 大 学

课程设计说明书

设计题目_____

班　　级_____

学　　号_____

姓　　名_____

指导教师_____

年　　月　　日

说明书内容包括：

封面

任务书

摘要

目录

正文

参考文献

摘　要

为解决传统立体库操作效率低、误差大、劳动强度高等问题，本设计构建了以西门子 S7-1200PLC 为控制核心的自动化立体库控制系统。系统采用“触摸屏+PLC+变频器+电机”架构，实现堆垛机 X、Y、Z 三轴独立运动，完成左右两侧 10 层货架共 80 个工件的自动存取与智能化管理。硬件方面，完成元器件选型、主电路与 PLC 控制接线设计，配置限位开关、接触器、热继电器等实现短路、过载、限位保护；软件基于 TIAPortalV15.1 编写模块化梯形图程序，涵盖启停、急停、位置速度控制等功能，通过 MOD 运算实现左右货架交替存取，采用归一化与缩放函数保障速度平滑调节。系统支持手动/自动双模式，定位精度达±0.1mm，X、Y、Z 轴最大速度分别为 2000mm/min、1000mm/min、5000mm/min，配备完善的安全保护机制。经仿真调试，系统运行稳定可靠，人机交互便捷，各项功能均满足设计要求，可有效提升仓储作业效率，适用于制造业、物流业等场景。

关键词：自动化立体库；PLC 控制；三轴运动；仓储管理

目　录

1 引言 4
2 系统总体设计 5
2.1 系统功能需求分析 5
2.2 元器件选型 6
2.3 主电路设计 8
2.3.1 电机控制主电路 8
2.3.2 PLC控制接线图 9
2.4 I/O地址分配 10
3 章控制系统设计 10
3.1 系统控制逻辑 10
3.2 位置控制与速度控制 11
3.3 安全保护机制 12
4 章软件设计 12
4.1 博途项目配置 12
4.2 梯形图程序设计 14
4.2.1 系统启停控制程序 14
4.2.2 急停控制程序 14
4.2.3 手动轴控制程序 14
4.2.4 系统初始化程序 15
4.2.5 有料检测与控制程序 16
4.2.6 左右执行判断程序 17
4.2.7 位置控制程序 18
4.2.8 速度控制程序 18
4.2.9 返回控制程序 19
4.3 触摸屏界面设计 20
5 系统仿真与调试 21
5.1 程序编译与下载 21
5.2 在线监控与调试 22
5.2.2 系统功能测试 23
5.3 测试结果分析 23
结论 23
参考文献 24

1 引言

.自动化立体库系统是现代仓储物流系统中重要的组成部分，通过自动化技术和计算机控制技术，实现了货物存储、检索和管理的自动化。自动化立体库系统具有空间利用率高、作业效率高、管理准确等优点，在制造业、物流业、商业等领域得到了广泛应用。传统的立体库系统多采用人工操作或简单的机械控制方式，存在操作效率低、错误率高、劳动强度大等问题。随着工业自动化技术的不断发展，基于 PLC 的自动控制系统以其可靠性高、控制精度高、易于维护等优势，在自动化立体库系统中得到了广泛应用。

本设计以西门子 S7-1200PLC 为控制核心，配合触摸屏人机界面，设计了一套自动化立体库控制系统。系统通过堆垛机实现货物的自动存取，堆垛机可在 X、Y、Z 三个方向进行精确移动，实现货物在左右两侧货架上的自动存取操作。系统采用手动和自动两种工作模式，具有完善的位置控制、速度控制、限位保护、急停保护等功能。系统支持 1-10 层货架的自动管理，能够记录各层的存储状态，实现智能化的仓储管理。

系统需要完成以下功能：完成货架和堆垛机的结构设计，绘制标准工程图纸；控制系统采用触摸屏+PLC+变频器+电机的方式，实现堆垛机在 X、Y、Z 三个方向的运动控制；每个轴电机应具备正反转、制动、调速功能；系统应具有点动、手动控制、自动控制和保护功能。堆垛机最大运行速度：X 方向 Vxmax=2000mm/min，Y 方向 Vymax=1000mm/min，Z 方向 Vzmax=5000mm/min。定位精度：X、Y、Z 方向均为±0.1mm。

2 系统总体设计

2.1 系统功能需求分析

. 本系统需要实现堆垛机运动控制、位置检测、自动执行、系统保护和人机交互等功能。系统由左右两侧货架和中间的堆垛机组成，货架共有 1-10 层，总共可存储 80 个工件。单个工件最大尺寸为 500mm×400mm×200mm，重量为 50kg。堆垛机可以在 X 方向前后、Y 方向左右、Z 方向上下三个维度进行移动，实现货物的自动存取。

系统需要实现 XYZ 三轴的独立运动控制，每个轴应具备正反转功能。X 轴负责堆垛机的前后移动，Y 轴负责堆垛机的左右移动，Z 轴负责堆垛机的上下移动。系统需要实时监测各轴的运行位置，通过限位开关确保各轴在安全范围内运行。每个轴都设有正负限位保护，当到达限位时，该方向的运动将被禁止，防止设备损坏。

系统需要实现手动和自动两种工作模式。在手动模式下，操作人员可以通过按钮手动控制各轴的正反转，实现堆垛机的点动操作，便于设备的调试和维护。在自动模式下，系统根据存储状态自动执行存取操作，实现货物的自动管理。系统通过有料检测功能，检测到物料后自动执行存取流程。

系统需要实现智能化的仓储管理功能。系统通过 MOD 运算判断当前执行是左边还是右边，实现左右两侧货架的交替存取。系统维护右边执行次数和左边执行次数两个计数器，记录各侧的存取次数。系统通过当前层数和执行次数计算目标位置，实现精确定位。系统还维护右层存满状态和左层存满状态两个数组，记录各层的存储状态，便于库存管理。

系统需要实现完善的安全保护功能。系统设置急停按钮，可以立即停止所有运动，确保人身和设备安全。每个轴都设有正负限位开关，当到达限位时自动停止该方向的运动。各轴的正转和反转采用互锁设计，防止同时动作造成设备损坏。系统还设有紧急制动功能，在异常情况下快速停止设备运行。

系统需要配备触摸屏人机界面，操作人员可以通过触摸屏控制系统的启动和停止，切换手动和自动模式，查看各轴位置和设备运行状态，监控仓储信息等。触摸屏界面应提供直观的操作界面和清晰的状态显示，便于操作人员使用。

系统总体框架如图 2-1 所示。系统以 PLC 控制器为核心，通过输入模块接收限位开关、按钮等信号，通过输出模块控制各轴电机和指示灯，通过触摸屏实现人机交互。供电模块为整个系统提供工作电源。

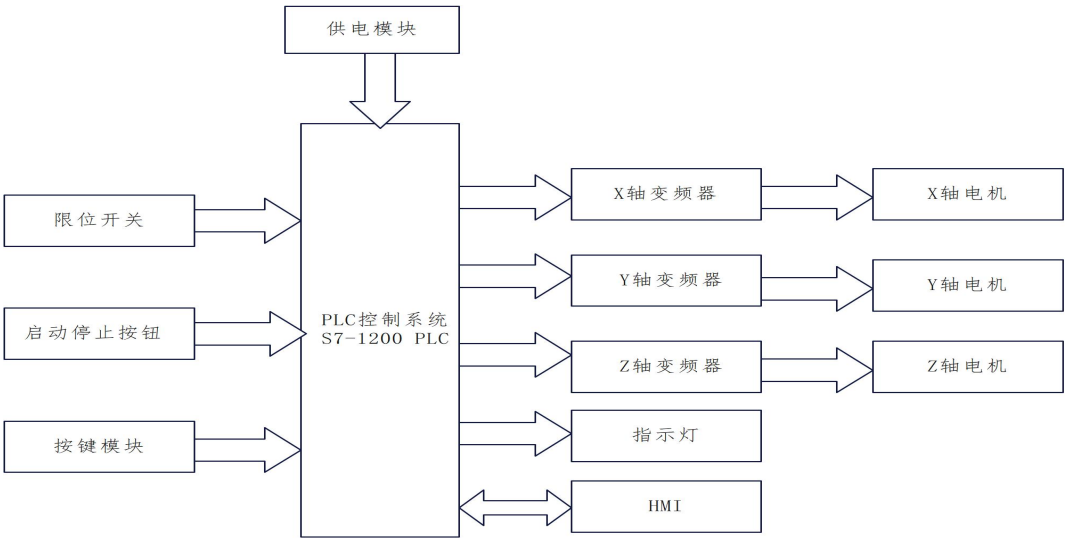


图 2.1 系统总体框架图

2.2 元器件选型

根据系统功能需求和控制要求，需要合理选择各类元器件。元器件的选型直接影响系统的性能、可靠性和成本，必须综合考虑技术指标、工作环境和经济性等因素。

控制器选用西门子 S7-1200 系列 PLC。该系列 PLC 具有体积小、功能强、性能稳定等特点，适合中小型自动化控制系统。本设计选用 CPU1214CDC/DC/DC 型号，具有 14 路数字量输入和 10 路数字量输出，能够满足本系统的控制需求。PLC 配置 SM12324 路模拟量输出模块，用于控制变频器的速度，每路输出 0-10V 或 4-20mA 信号，满足电机速度控制的要求。PLC 内部具有丰富的指令系统，支持算术运算、逻辑运算、定时器、计数器等功能，满足复杂控制逻辑的实现。编程软件采用 TIAPortal 博途软件 V15.1，支持梯形图、功能块图等多种编程语言，便于程序开发和调试。博途软件具有友好的用户界面，支持在线监控、强制功能、变量表等调试工具，大大提高了开发效率。



图 2.2 S7-1200PLC

人机界面选用西门子触摸屏。触摸屏采用彩色液晶显示，支持中文界面，操作简便直观。通过触摸屏可以实现系统的启停控制、模式切换、参数设置、状态监控等功能。触摸屏可以实时显示各轴的当前位置、运行状态、存储信息等，为操作人员提供全面的系统信息。触摸屏与 PLC 之间通过以太网通信，数据传输速度快、稳定性好，能够实现实时数据交换。



图 2.3 S7-1200PLC

检测元件包括限位开关。限位开关用于检测各轴的运行位置，确保设备在安全范围内运行。本系统需要 6 个限位开关：X 轴正限位、X 轴负限位、Y 轴正限位、Y 轴负限位、Z 轴正限位、Z 轴负限位。限位开关采用机械式接近开关或光电开关，具有动作可靠、响应速度快等优点。限位开关采用常开触点，当到达限位位置时触点闭合，输出信号给 PLC。



图 2.4 限位开关

执行元件包括三相异步电机和变频器。X 轴、Y 轴、Z 轴各配置一台三相异步电机，通过变频器控制电机的正反转和速度。电机功率根据负载和速度要求选择，满足堆垛机的运行需求。



图 2.5 三相异步电机实物

变频器采用矢量控制方式，具有调速范围广、控制精度高、响应速度快等优点。变频器可以实现电机的软启动和软停止，减少对机械设备的冲击，延长设备使用寿命。变频器还具有过流、过压、欠压等保护功能，确保设备安全运行。



图 2.6 变频器

根据系统设计要求，主要元器件清单如表 2-1 所示。

表 2.2 主要元器件清单

序号	元件名称	数量	品牌	元件规格
1	可编程控制器	1	西门子	CPU1214CDC/DC/DC
2	触摸屏	1	西门子	TP1200Comfort
3	限位开关	6	欧姆龙	E2E-X5ME1
4	三相异步电机	3	IYE2	IYE2-90L-4，1.5kW380V
5	变频器	3	西门子	V20
6	接触器	6	正泰	CJX2-0910
7	热继电器	3	正泰	NR2-25/Z
8	熔断器	3	正泰	RT14-20
9	空气开关	1	正泰	DZ47-63C16
10	指示灯	10	施耐德	XB2-BVB3LC
11	急停按钮	1	施耐德	XB2-BS542C
12	开关电源	1	明纬	S-50-24

2.3 主电路设计

2.3.1 电机控制主电路

电机控制主电路如图 2-7 所示。主电路采用三相交流 380V 供电，通过空气开关 QF 进行总电源控制和短路保护。X 轴、Y 轴、Z 轴各配置一台三相异步电机，每个轴通过两个接触器实现正反转控制。X 轴通过接触器 KM1 正转和 KM2 反转控制电机运行方向，Y 轴通过接触器 KM3 正转和 KM4 反转控制，Z 轴通过接触器 KM5 正转和 KM6 反转控制。每个轴配置熔断器 FU1、FU2、FU3，用于电路的短路保护。每个轴配置热继电器 FR1、FR2、FR3，实现电机的过载保护。每个轴配置一台西门子 V20 变频器，分别控制 X 轴、Y 轴、Z 轴电机的速度，实现电机的调速控制。主电路设计遵循电气安全规范，具有完善的保护功能。

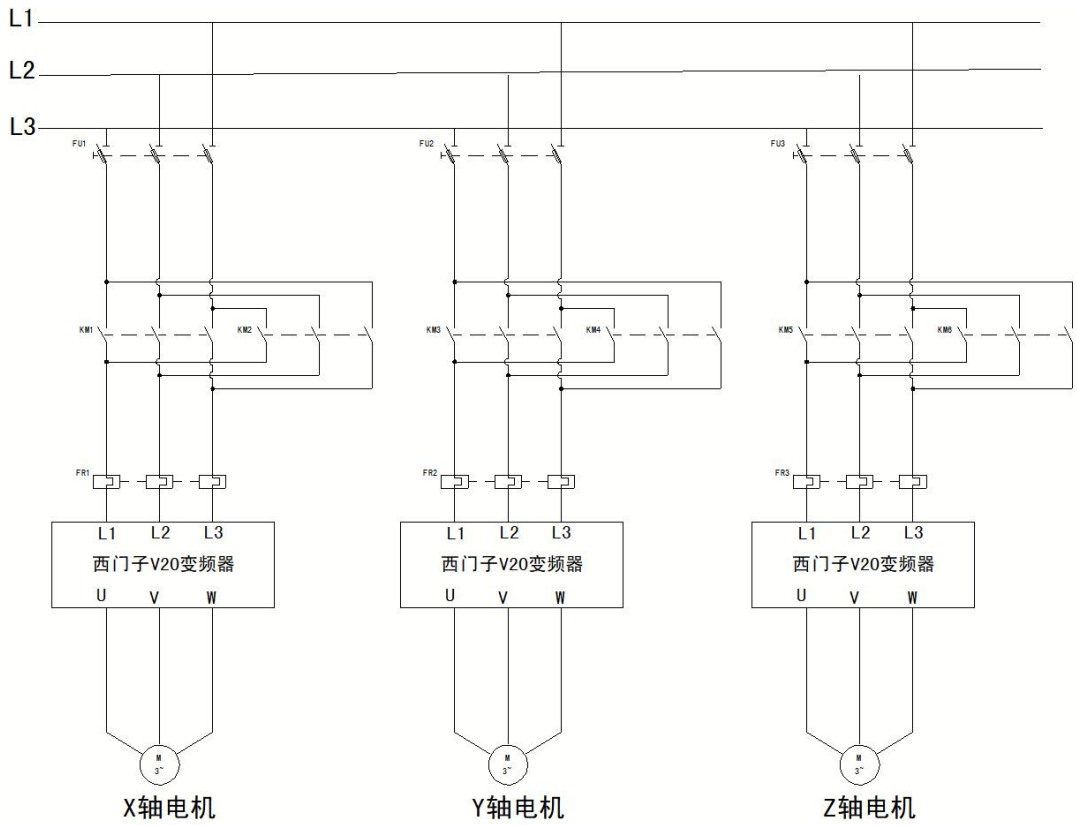


图 2.7 电机控制主电路图

2.3.2 PLC 控制接线图

PLC 控制接线图如图 2-8 所示。系统采用西门子 S7-1214CPLC 作为主控制器，供电电压为 AC220V，连接 L、N 端子。PLC 配置 SM12324 路模拟量输出模块，用于控制变频器的速度。输入端连接启动按钮、停止按钮、急停按钮和 6 个限位开关，分别检测 X、Y、Z 轴的正负限位。输出端连接各轴电机控制继电器线圈，控制接触器 KM1-KM6 的动作。模拟量输出模块的 0、1、2 通道分别连接到 X 轴、Y 轴、Z 轴变频器的速度控制输入端，通过 0-10V 或 4-20mA 信号控制变频器输出频率，实现电机速度控制。输入端采用漏型接线方式，输出端采用源型接线方式，确保信号传输的可靠性。PLC 通过数字量输出控制接触器，实现电机的正反转控制；通过模拟量输出控制变频器，实现电机的速度控制。

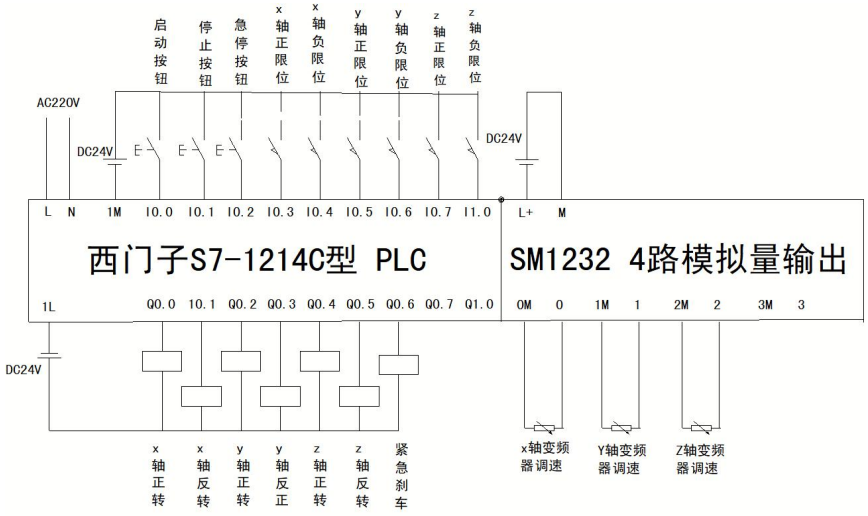


图 2.8 电机控制主电路图

2.4 I/O 地址分配

根据系统功能需求和 PLC 接线图，对 PLC 的输入输出地址进行合理分配。输入地址主要用于接收按钮信号和限位开关信号。按钮包括启动按钮、停止按钮、急停按钮。限位开关包括 X 轴正限位、X 轴负限位、Y 轴正限位、Y 轴负限位、Z 轴正限位、Z 轴负限位。输出地址用于控制各轴电机正反转接触器。模拟量输出用于控制变频器速度。

系统 I/O 地址分配如表 2-2 所示。

表 2.3 I/O 地址分配表

序号	信号名称	PLC 地址		序号	信号名称	
1	启动按钮	I10.0		11	X 轴正转输出	
2	停止按钮	I10.1		12	X 轴反转输出	
3	急停按钮	I10.2		13	Y 轴正转输出	
4	X 轴正限位	I10.3		14	Y 轴反转输出	
5	X 轴负限位	I10.4		15	Z 轴正转输出	
6	Y 轴正限位	I10.5		16	Z 轴反转输出	
7	Y 轴负限位	I10.6		17	紧急制动输出	
8	Z 轴正限位	I10.7				
9	Z 轴负限位	I11.0				

表 2.4 模拟量输出地址分配表

序号	信号名称	PLC 地址	功能说明
1	X 轴变频器调速	AQW0	控制 X 轴变频器速度 0-10V
2	Y 轴变频器调速	AQW2	控制 Y 轴变频器速度 0-10V
3	Z 轴变频器调速	AQW4	控制 Z 轴变频器速度 0-10V

3 章控制系统设计

3.1 系统控制逻辑

自动化立体库系统的控制逻辑是根据存储需求，自动控制堆垛机在 X、Y、Z 三个方向进行运动，实现货物在左右两侧货架上的自动存取操作。操作人员按下启动按钮后，系统进入运行状态。系统启动后，开始检测物料状态，根据存储需求自动执行存取流程。

系统采用手动和自动两种工作模式。在手动模式下，操作人员可以通过按钮手动控制各轴的正反转，实现堆垛机的点动操作，便于设备的调试、维护和精确定位。在自动模式下，系统根据存储状态自动执行存取操作，实现货物的自动管理。

自动执行流程如下：系统检测到物料时，设置有料标志，递增当前执行层数次数。系统通过 MOD 运算判断当前执行是左边还是右边，0 表示右边，1 表示左边，实现左右两侧货架的交替存取。执行右边流程时，系统计算 Y 轴执行位置为右边执行次数乘以 15，然后依次执行 Y 轴移动、Z 轴位置计算为当前层数乘以 60、Z 轴移动、X 轴移动到负 1000 位置。当右边执行次数达到 40 次时，触发返回流程。执行左边流程时，系统计算左边 Y 轴执行位置为左边执行次数乘以 15，然后依次执行 Y 轴移动、Z 轴移动、X 轴移动到 1000 位置，并设置左层存满状态。

返回流程实现堆垛机的归零操作。当左右执行都完成且右边执行次数达到 40 次时，系统依次执行 X 轴归零、Z 轴归零、Y 轴归零操作。返回完成后，设置有料标志，开始下一轮循环。当左右执行都完成时，当前层数递增，系统开始处理下一层货架的存取操作。

操作人员按下停止按钮后，系统停止运行，所有输出清零，系统进入待机状态。

系统控制流程图如图 3-1 所示。

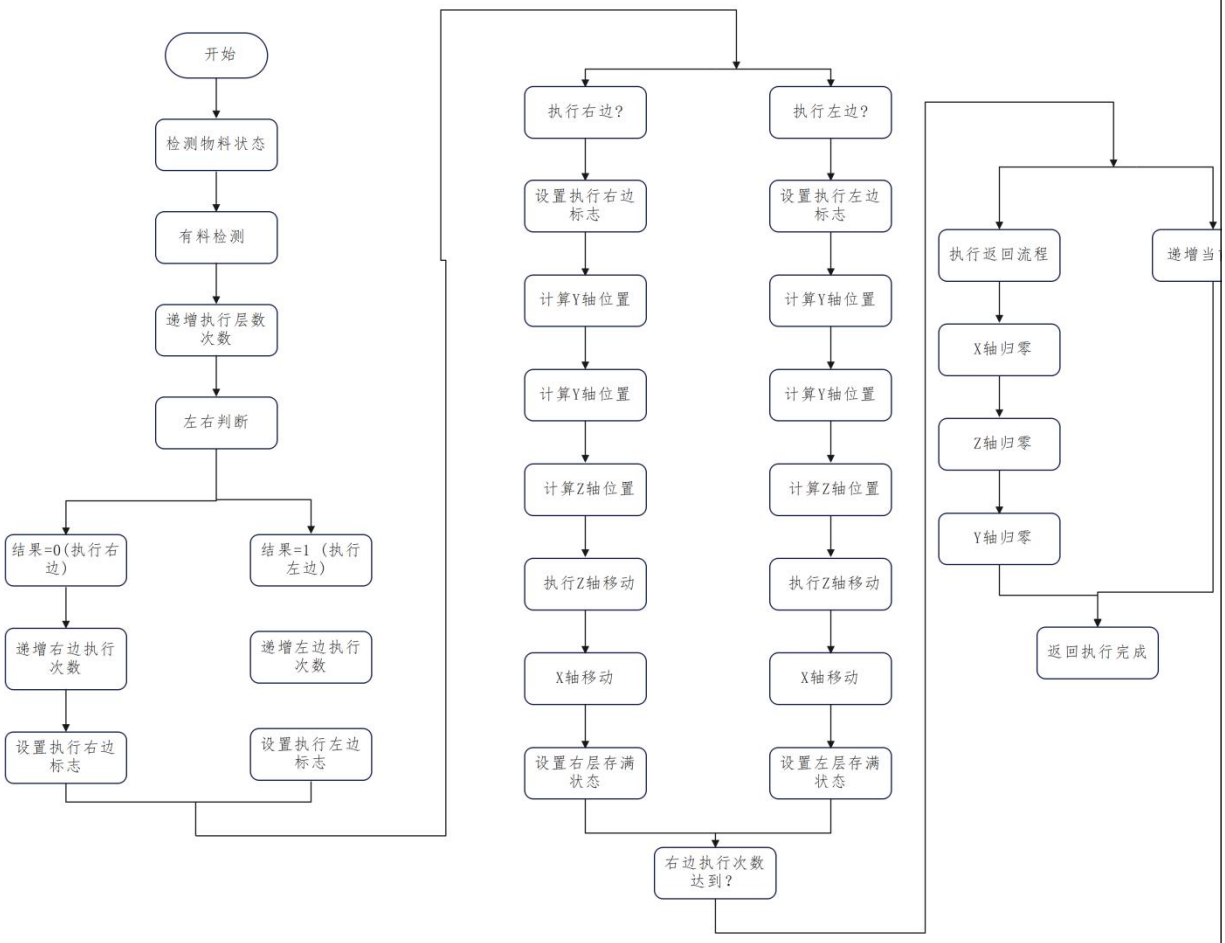


图 3.1 系统控制流程图

3.2 位置控制与速度控制

位置控制是自动化立体库系统的核心功能，系统需要实现 XYZ 三轴的精确位置控制。系统通过计算目标位置和当前位置的差值，控制各轴电机运行，实现精确定位。

Y 轴位置控制采用执行次数与位置单位乘积的方式计算目标位置。执行右边时，Y 轴执行位置等于右边执行次数乘以 15；执行左边时，Y 轴执行位置等于左边执行次数乘以 15。系统比较 Y 轴执行位置和 Y 轴当前位置，如果执行位置大于当前位置，系统控制 Y 轴正向运动；如果执行位置小于当前位置，系统控制 Y 轴负向运动；当执行位置等于当前位置时，Y 轴运动完成。

Z 轴位置控制采用当前层数与位置单位乘积的方式计算目标位置。Z 轴执行位置等于当前层数乘以 60。系统比较 Z 轴执行位置和 Z 轴当前位置，控制 Z 轴运动到目标位置。当 Y 轴位置到达后，系统开始执行 Z 轴位置控制，确保各轴按顺序运动。

X 轴位置控制根据执行方向确定目标位置。执行右边时，X 轴移动到-1000 位置；执行左边时，X 轴移动到 1000 位置。当 Z 轴位置到达后，系统开始执行 X 轴位置控制，将堆垛机移动到相应的位置。

速度控制采用归一化和缩放函数实现。系统使用 NORM_X 函数将速度值归一化到 0-1 范围，然后使用 SCALE_X 函数将归一化值缩放到 1-1000 范围，实现速度的平滑控制。X 轴速度范围映射到 0-1100，Y 轴速度范围映射到 10-1000，Z 轴速度范围映射到 0-5000。通过归一化和缩放处理，可以实现不同速度范围的统一控制，提高控制精度和稳定性。

系统使用 5Hz 时钟脉冲控制位置递增。在手动模式下，通过时钟脉冲触发，每次将轴位置增加或减少一定数值，实现连续运动。在自动模式下，通过位置比较和速度

控制，实现精确定位。系统还使用定时器控制执行层数次数的递增频率，使用 5 毫秒定时器确保递增的稳定性。

3.3 安全保护机制

系统设计了完善的安全保护机制，确保设备运行安全和人身安全。安全保护包括急停保护、限位保护、互锁保护和模式保护等。

急停保护是系统最重要的安全功能。系统设置急停按钮，当发生紧急情况时，操作人员可以按下急停按钮，系统立即停止所有运动，所有输出清零，确保设备和人员安全。急停按钮采用红色蘑菇头按钮，具有锁定功能，按下后需要旋转才能复位，确保紧急情况下的可靠停机。急停信号在所有控制逻辑中都作为必要条件，急停状态下所有运动控制都被禁止。

限位保护防止堆垛机超出安全运行范围。每个轴都设有正负限位开关，当到达限位位置时，限位开关动作，系统自动停止该方向的运动，防止设备损坏。限位开关通过定时器进行消抖处理，避免因信号抖动导致的误动作。X 轴限位定时器延时时间为 100 毫秒，确保限位信号的稳定性。当到达限位时，系统将轴位置设置为限位值，防止位置计算错误。

互锁保护防止各轴正反转同时动作。每个轴的正转和反转控制采用互锁设计，正转时反转被禁止，反转时正转被禁止，确保运动方向单一，防止设备损坏。互锁通过常闭触点实现，当一个方向动作时，另一个方向的控制信号被切断，确保不会同时动作。

模式保护确保系统在正确的模式下运行。系统必须在手动/自动模式下才能执行自动功能，急停状态下所有自动功能被禁止。手动模式标志在自动执行逻辑中作为必要条件，确保只有在允许的模式下才能执行自动操作。

紧急制动功能在系统正常运行状态下输出，当检测到异常情况时，系统可以快速停止设备运行，保护设备和货物安全。

4 章软件设计

4.1 博途项目配置

软件编程使用西门子 TIAPortalV15.1 博途软件进行。博途项目配置主要包括创建项目、添加硬件设备、配置 PLC 参数、添加触摸屏设备以及建立通信连接等步骤。通过合理的项目配置，为后续的程序编写和调试奠定基础。

使用 TIAPortalV15.1 创建新项目，项目名称为"自动化立体库系统控制系统"。在项目树中添加新设备，选择 S7-1200 系列的 CPU1214CDC/DC/DC 型号。在 PLC 扩展模块中添加 SM12324 路模拟量输出模块，用于控制变频器的速度。

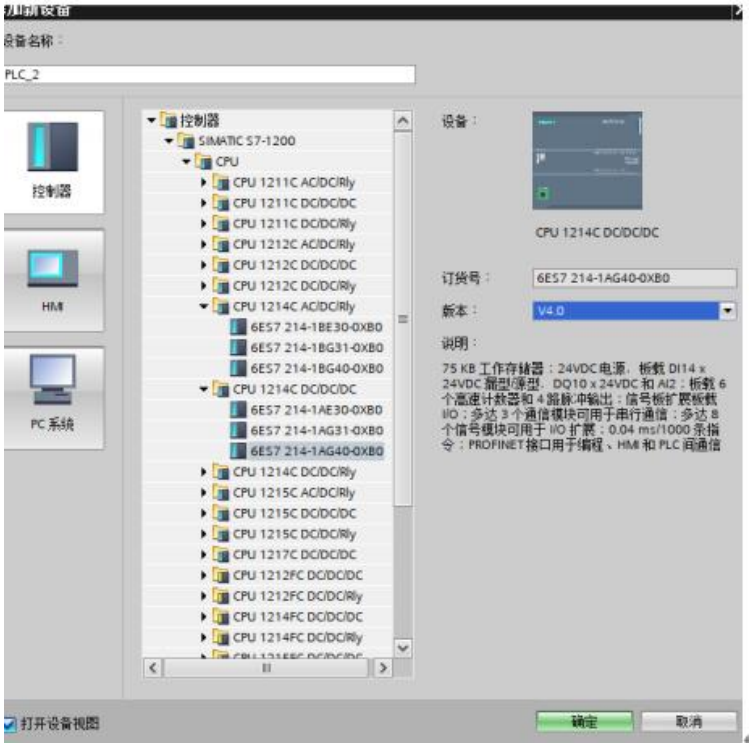


图 4.1 创建项目和添加设备

在设备配置界面中，对 PLC 进行参数配置。配置系统存储器，用于存储系统诊断信息。配置时钟存储器，设置 5Hz 时钟脉冲，用于位置递增控制和轴运行状态判断。设置 PLC 的 IP 地址，确保与触摸屏和上位机在同一网段，便于通信和调试。



图 4.2 PLC 参数配置

在项目中添加 TP1200Comfort 触摸屏设备，设置触摸屏的 IP 地址。在网络视图中建立 PLC 与触摸屏之间的 S7 连接，确保两者能够正常通信。配置通信参数，设置通信超时时间和重试次数，确保通信的可靠性。



图 4.3 添加触摸屏并建立连接

4.2 梯形图程序设计

梯形图程序是整个控制系统的核心，采用模块化设计方式实现系统的各项功能。主要包括系统启停控制、急停控制、手动轴控制、系统初始化、有料检测、左右执行判断、位置控制、速度控制、安全保护等功能模块。每个功能模块由若干个网络组成，通过逻辑运算、算术运算、定时器、计数器等实现相应的控制功能。

4.2.1 系统启停控制程序

系统启停控制程序负责系统的启动和停止控制，采用自锁电路设计。程序实现系统启动停止控制：当按下启动按钮且停止按钮未按下，且在手动/自动模式且未急停时，系统运行标志置位。系统运行标志通过自锁触点保持运行状态，即使启动按钮释放，系统仍保持运行。当按下停止按钮、退出手动/自动模式或急停时，系统运行标志复位，系统停止运行。

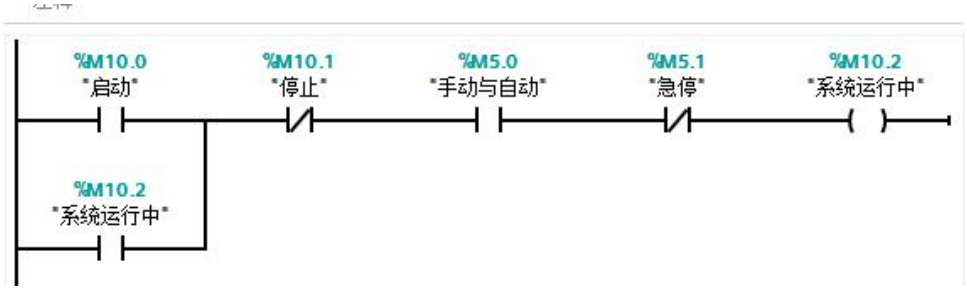


图 4.4 系统启停控制程序

4.2.2 急停控制程序

急停控制程序实现紧急停止功能。当急停按钮按下时，输出急停信号。急停信号在所有控制逻辑中都作为必要条件，急停状态下所有运动控制都被禁止，确保设备和人员安全。



图 4.5 急停控制程序

4.2.3 手动轴控制程序

手动轴控制程序实现 XYZ 三轴的手动正转/反转控制。所有轴控制必须在非急停状态且手动/自动模式下才有效。每个轴的正转和反转互锁，防止同时动作。各轴均设有正负限位保护，当到达限位时，该方向的运动将被禁止。Z 轴手动正转时，Z 轴当

前位置递增；Z 轴手动反转时，Z 轴当前位置递减。X 轴和 Y 轴的控制逻辑相同。

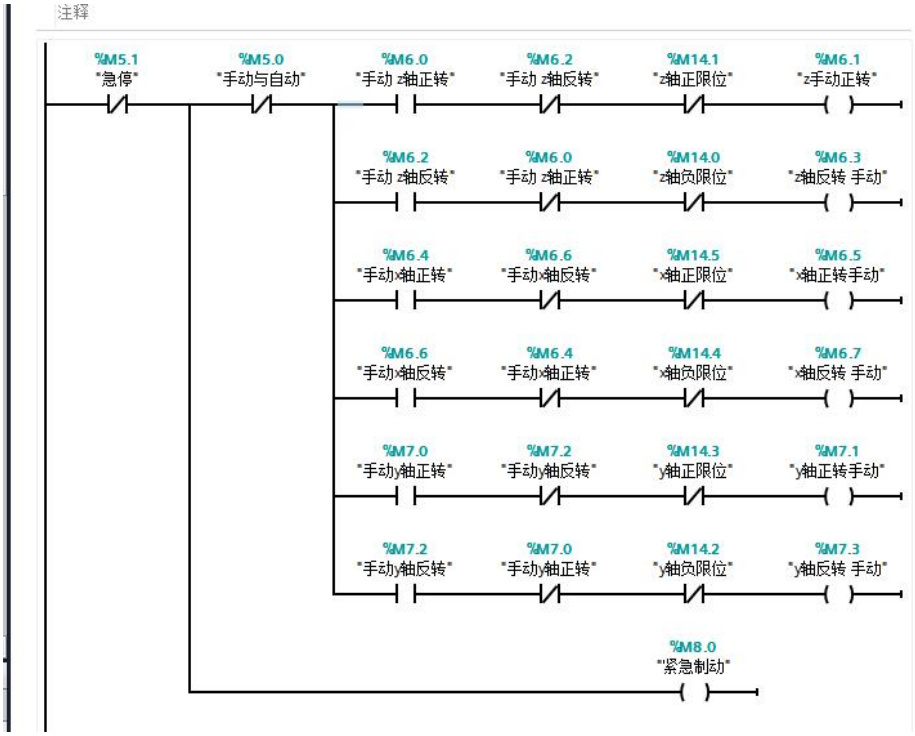


图 4.6 手动轴控制程序

4.2.4 系统初始化程序

系统初始化程序在系统启动时初始化所有变量。程序清零右边执行次数、左边执行次数、当前执行层数次数，清零 Z 轴当前位置、Y 轴当前位置、X 轴当前位置，将当前层数初始化为 1。程序还复位右层存满状态和左层存满状态数组，复位相关执行标志位，确保系统从初始状态开始运行。

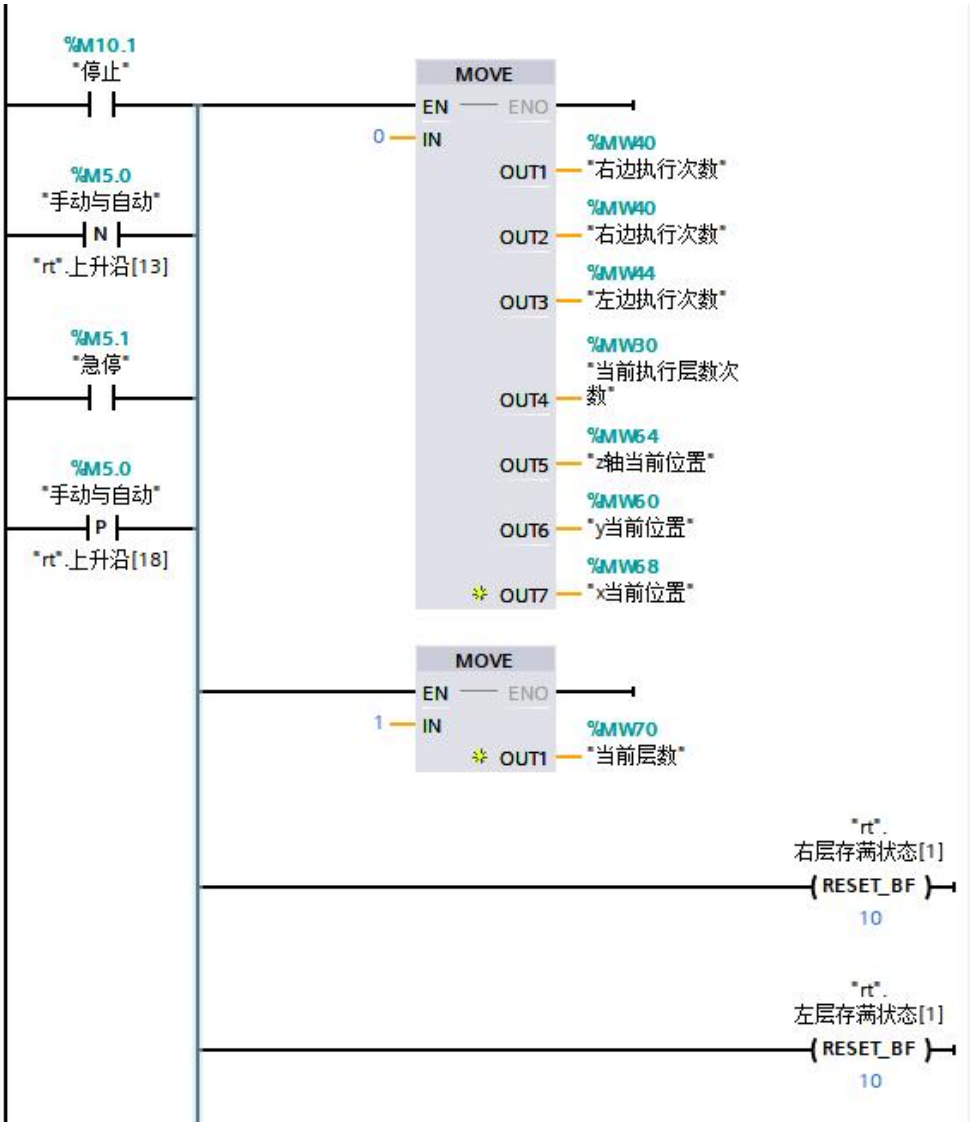


图 4.7 系统初始化程序

4.2.5 有料检测与控制程序

有料检测与控制程序实现物料检测和执行层数计数功能。系统运行中且检测到上升沿时，设置有料标志。有料状态下，如果当前层数小于等于 10 且当前执行层数次数小于等于 79，则递增执行层数次数。系统使用 5 毫秒定时器控制递增频率，使用 10 秒定时器用于数据清除倒计时。当执行轴运行时，复位有料标志，准备下一次检测。

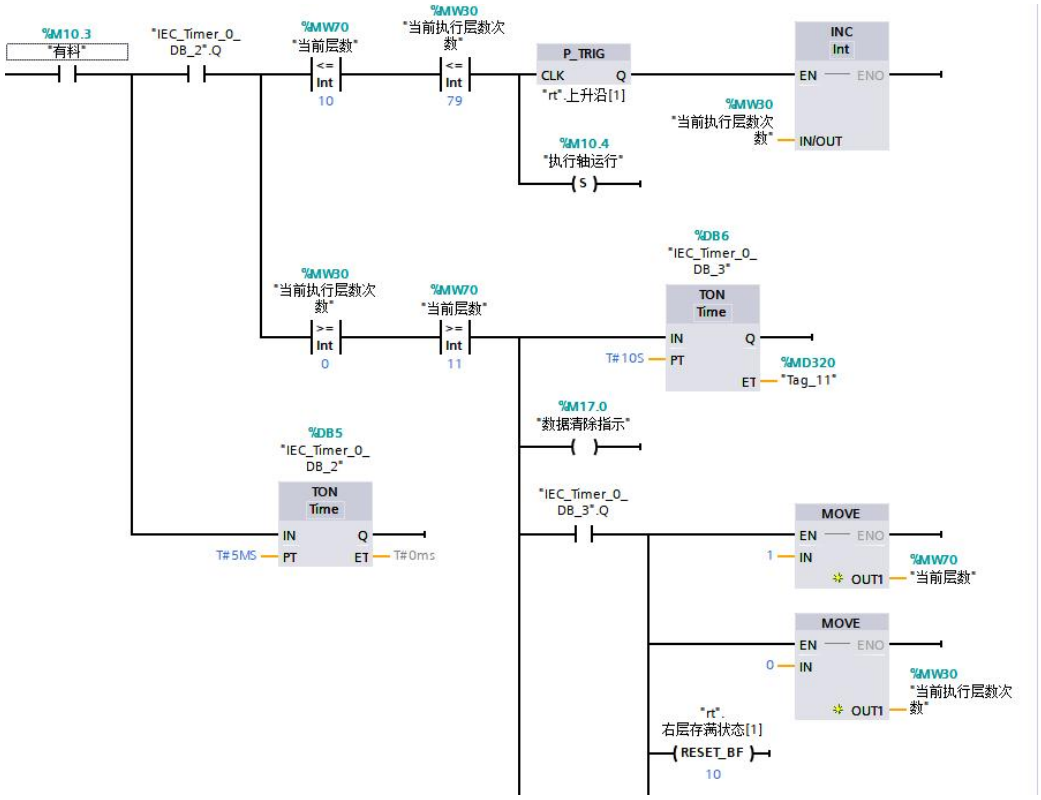


图 4.8 有料检测与控制程序

4.2.6 左右执行判断程序

左右执行判断程序根据执行层数次数判断执行左边还是右边。程序对当前执行层数次数进行模 2 运算，结果 0 表示右边，1 表示左边。当结果为 0 时，递增右边执行次数，设置执行右边标志。当结果为 1 时，递增左边执行次数，设置执行左边标志。通过这种方式实现左右两侧货架的交替存取。

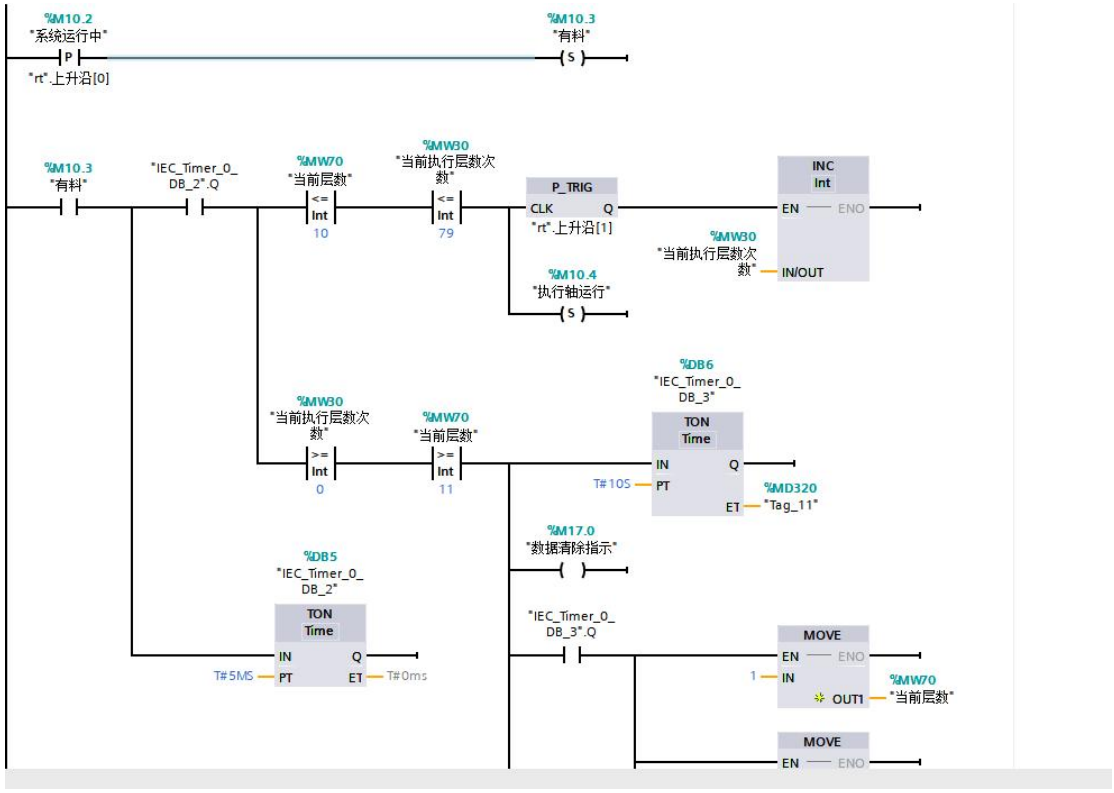


图 4.9 左右执行判断程序

4.2.7 位置控制程序

位置控制程序实现 XYZ 三轴的位置计算和运动控制。执行右边时，程序计算 Y 轴执行位置为右边执行次数乘以 15，然后依次执行 Y 轴移动、Z 轴位置计算为当前层数乘以 60、Z 轴移动、X 轴移动到负 1000 位置。执行左边时，程序计算左边 Y 轴执行位置为左边执行次数乘以 15，然后依次执行 Y 轴移动、Z 轴移动、X 轴移动到 1000 位置。程序通过位置比较控制各轴运动方向，实现精确定位。

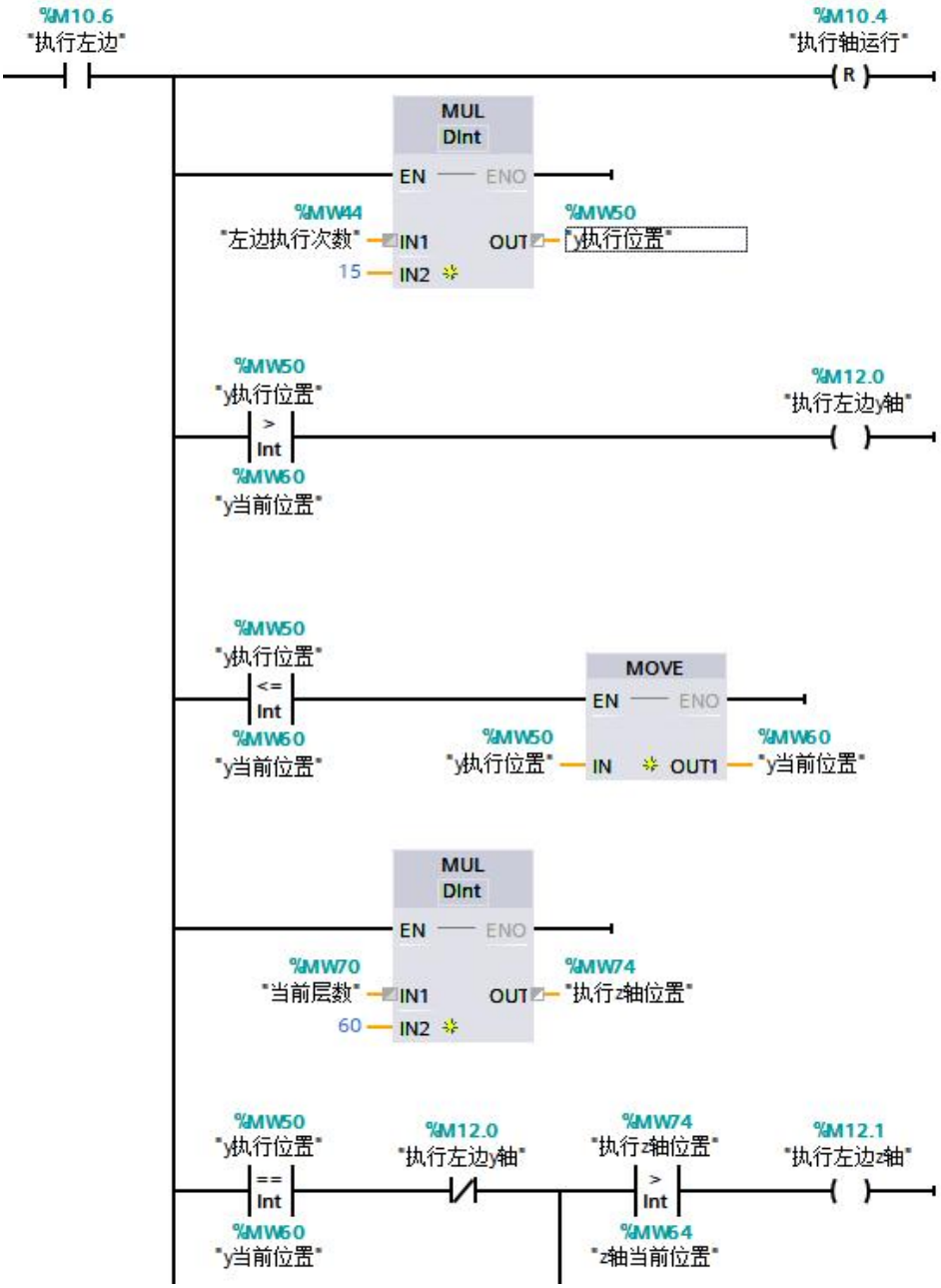


图 4.10 位置控制程序

4.2.8 速度控制程序

速度控制程序实现各轴速度的归一化和缩放处理。程序使用 NORM_X 函数将速度值归一化到 0-1 范围，然后使用 SCALE_X 函数将归一化值缩放到 1-1000 范围。Z 轴速度范围映射到 0-5000，Y 轴速度范围映射到 10-1000，X 轴速度范围映射到 0-1100。通过归一化和缩放处理，实现不同速度范围的统一控制，提高控制精度和稳定性。

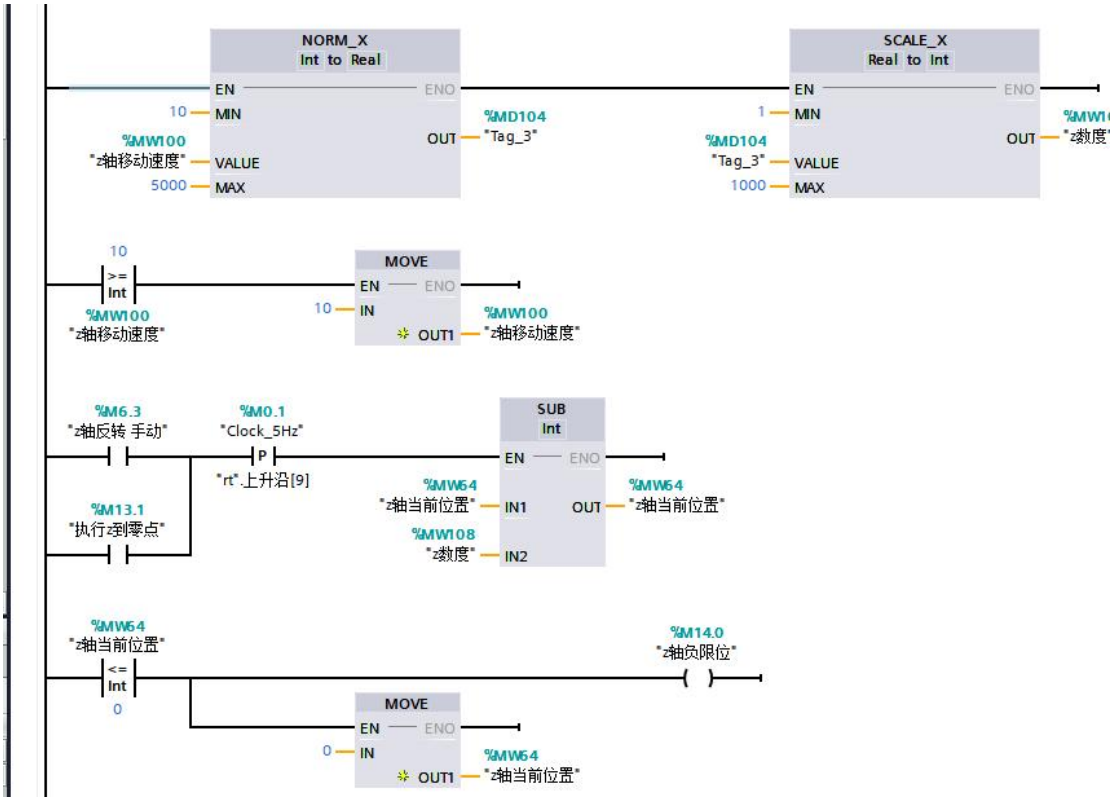


图 4.11 速度控制程序

4.2.9 返回控制程序

返回控制程序实现执行完成后的返回归零操作。当左右执行都完成且右边执行次数>=40 时，当前层数递增，清零执行次数计数。程序依次执行 X 轴归零、Z 轴归零、Y 轴归零操作。返回完成后，设置有料标志，开始下一轮循环。程序使用 1 毫秒定时器控制返回完成的确认时间。

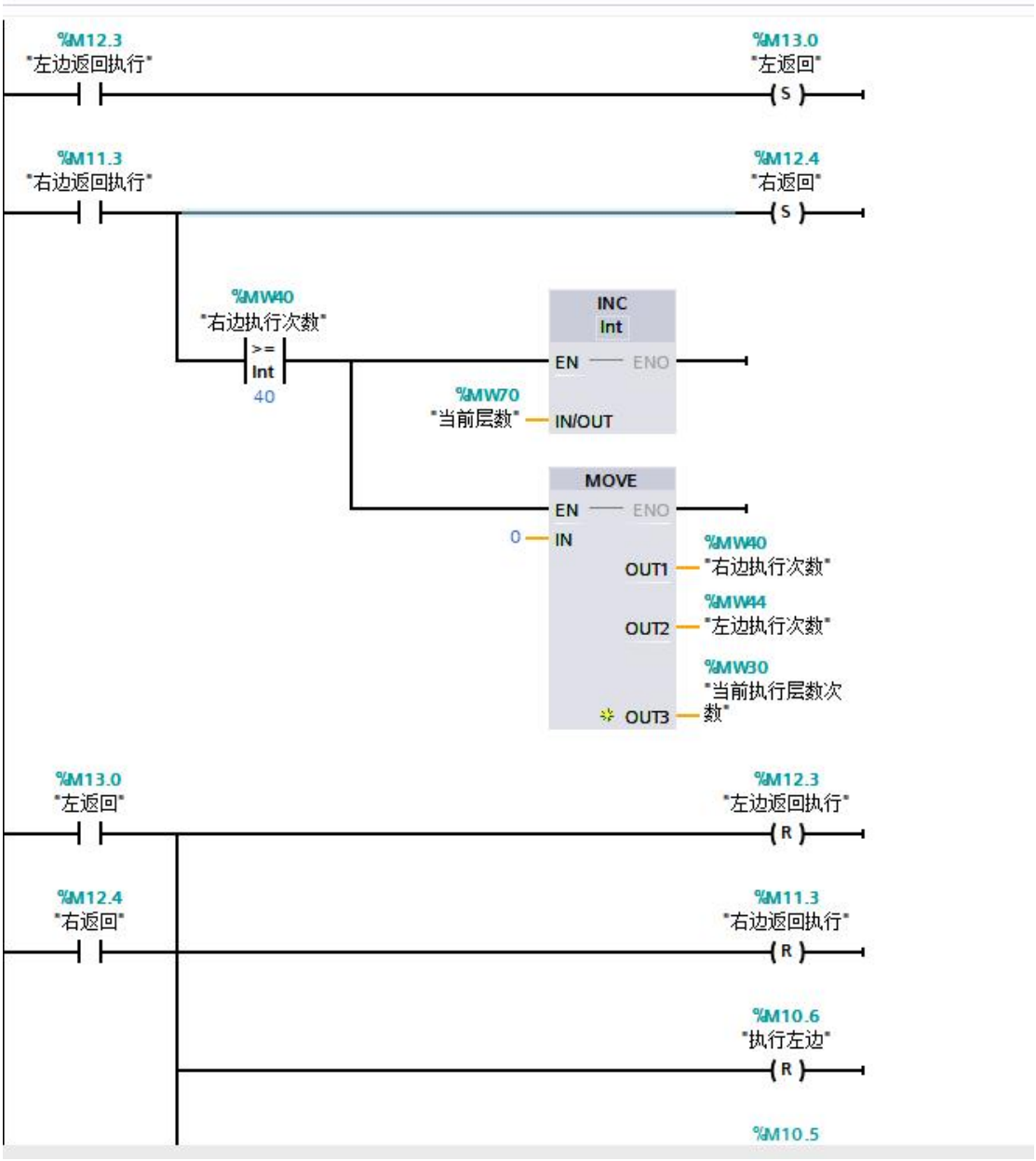


图 4.12 返回控制程序

4.3 触摸屏界面设计

触摸屏界面是操作人员与控制系统交互的窗口，采用图形化设计，界面布局清晰、操作简便。主监控画面分为多个功能区域，集成了系统控制、状态监控、数据显示等功能。界面采用不同颜色区分不同功能按钮和指示灯，便于操作人员快速识别系统状态。

左侧信号状态区显示系统的各种状态指示。包括 6 个限位开关状态：X 轴正限位、X 轴负限位、Y 轴正限位、Y 轴负限位、Z 轴正限位、Z 轴负限位，采用单选按钮形式显示。还包括手动模式、自动模式、Y 轴运转中、X 轴运转中、Z 轴运转中、急停等状态指示。

中间操作控制区包含多个子区域：运行状态区显示系统运行中状态按钮，以及急停按钮，急停按钮采用黄色，醒目提示。模式切换区包含系统运行中和手动模式两个选项，用于切换运行模式和手动模式。自动控制区包含启动和停止两个按钮，用于控制自动模式的启停。手动控制区包含 XYZ 三轴的手动控制按钮，每轴有正转和反转两个按钮，包括 X 正转、X 反转、Y 正转、Y 反转、Z 正转、Z 反转，用于手动控制各轴

运动。

右侧轴速度控制区显示三个速度调节滑块：X 轴速度范围为 0-2000mm/min、Y 轴速度范围为 0-1000mm/min、Z 轴速度范围为 0-5000mm/min。每个滑块都有当前值显示和上下调节按钮，可以实时调节各轴运行速度。

底部左侧上视图区显示系统的俯视图，包括 X、Y 轴坐标，左右两侧货架，以及已存储数量显示。

底部中间正式图区显示 Z 轴的正视图，包括 10 层装满状态复选框，用于显示各层的存储状态。

底部右侧数据区显示系统的运行数据：当前每层存次数、当前执行层数、倒计时等，倒计时用于演示自动清除存储数据。还显示 3D 坐标系统的 X、Y、Z 坐标值，实时显示堆垛机的空间位置。

触摸屏界面与 PLC 之间通过变量映射实现数据交换。操作人员可以通过触摸屏控制系统的运行，查看系统状态，监控各轴位置，查看存储信息等。触摸屏界面支持实时数据更新，能够及时反映系统的运行状态。

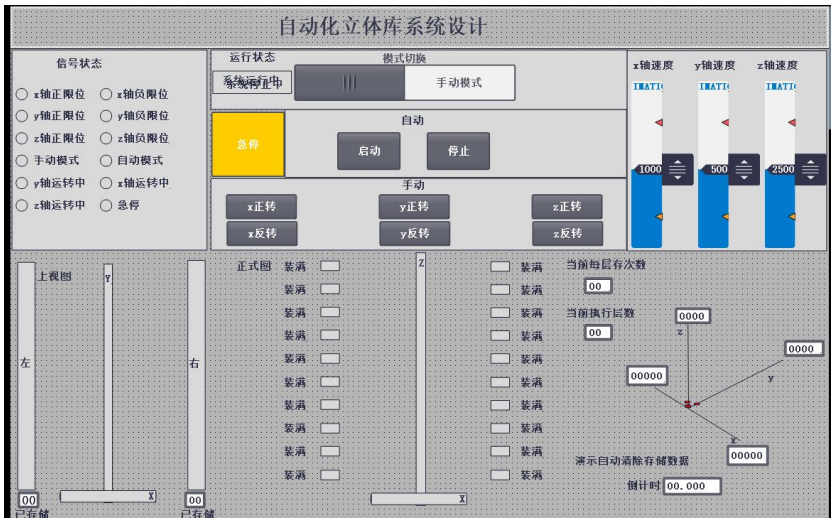


图 4.13 触摸屏主监控画面

5 系统仿真与调试

系统仿真与调试是验证设计方案是否正确、功能是否完善的重要环节。通过在博途软件中进行程序编译、下载和在线监控，对系统的各项功能进行全面测试，确保系统能够稳定可靠地运行。

5.1 程序编译与下载

程序编写完成后，在 TIAPortalV15.1 中对程序进行编译。编译过程会检查程序的语法错误和逻辑错误，确保程序能够正常运行。编译过程中会检查变量使用是否正确、数据块配置是否合理、定时器实例是否正确等。编译通过后，通过以太网连接将程序下载到 PLC 和触摸屏设备中。下载完成后，系统进入运行状态，可以开始进行功能测试。

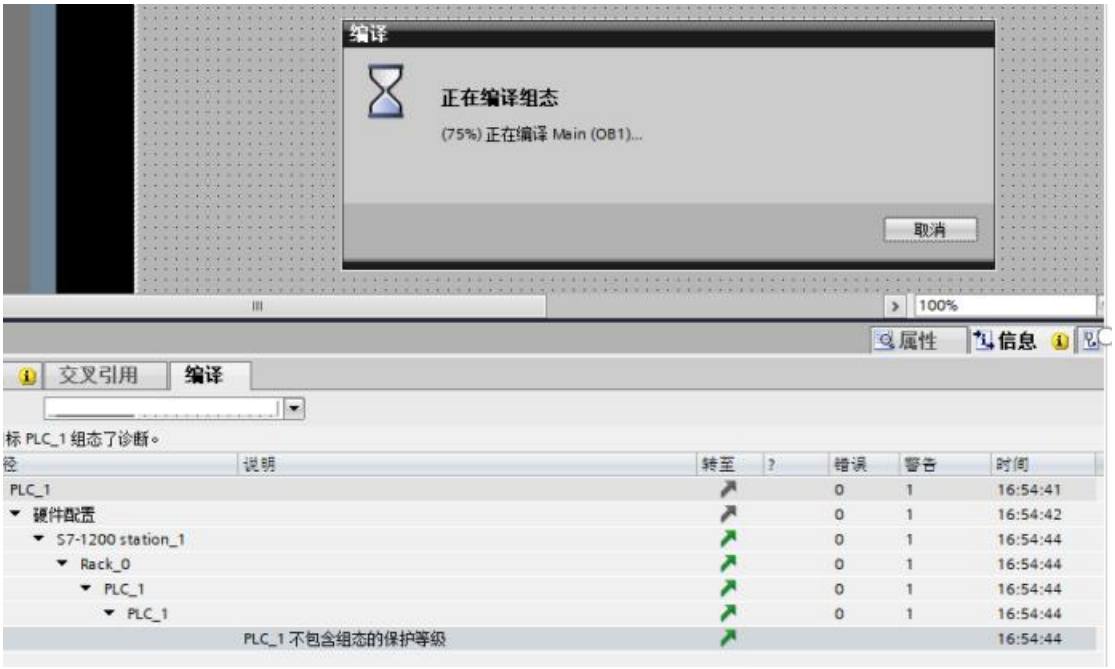


图 5.1 程序编译界面

5.2 在线监控与调试

为了实时观察程序的运行状态，在博途软件中创建监控表，将系统的关键变量添加到监控表中。监控的关键变量包括系统运行标志、急停状态、模式选择、各轴当前位置、当前层数、执行次数、有料标志等。通过在线监控功能，可以实时查看变量的当前值和变化过程，了解系统的运行状态。

如果发现程序运行不符合预期，可以通过强制功能修改变量值，测试程序逻辑是否正确。也可以通过在线修改程序功能，调整程序逻辑进行调试，直到系统运行正常。博途软件提供了强大的调试工具，包括断点设置、单步执行、变量强制等功能，大大提高了调试效率。



图 5.2 在线监控界面

5.2.2 系统功能测试

系统功能测试是验证系统是否满足设计要求的关键步骤。测试过程中，按照系统的工作流程，依次对各项功能进行测试，记录测试数据，分析测试结果。

系统启停功能测试中，按下启动按钮，系统运行标志置位，运行指示灯点亮。按下停止按钮，系统运行标志复位，运行指示灯熄灭，所有输出清零。测试结果显示，系统启停功能正常，自锁电路工作可靠。

急停功能测试中，在系统运行状态下按下急停按钮，急停信号立即置位，所有运动控制被禁止，各轴电机停止运行。复位急停按钮后，系统恢复正常运行。测试结果显示，急停功能响应及时，保护功能有效。

手动轴控制功能测试中，在手动模式下，分别按下 XYZ 三轴的正转和反转按钮，观察相应轴的电机是否按预期运行。测试限位保护功能，当轴运行到限位位置时，观察该方向的运动是否被禁止。测试互锁功能，观察正转和反转是否互锁。测试结果显示，手动轴控制功能正常，安全保护功能有效。

自动执行功能测试中，在自动模式下，设置有料标志，观察系统是否开始执行自动流程。观察左右判断逻辑是否正确，系统是否正确地在左右两侧货架之间交替执行。观察位置计算是否正确，各轴是否按预期移动到目标位置。观察返回流程是否正确执行，堆垛机是否正确归零。测试结果显示，自动执行功能正常，位置控制精度满足要求。

位置控制功能测试中，观察 Y 轴位置计算是否为执行次数乘以 15，Z 轴位置计算是否为当前层数乘以 60，X 轴位置是否正确移动到目标位置。观察速度控制是否正常，各轴速度是否按设定值运行。测试结果显示，位置控制功能正常，定位精度满足正负 0.1 毫米的要求。层状态管理功能测试中，观察当执行完成时，相应的层存满状态是否正确设置。观察当前层数是否正确递增，执行次数是否正确清零。测试结果显示，层状态管理功能正常，仓储信息管理准确。

限位保护功能测试中，测试各轴的正负限位保护是否正常工作。当轴运行到限位位置时，观察该方向的运动是否被立即禁止，限位开关消抖功能是否有效。测试结果显示，限位保护功能正常，设备安全得到保障。

5.3 测试结果分析

通过对系统各项功能的全面测试，验证了系统设计的正确性和可行性。测试结果表明，系统的启停控制功能、急停保护功能、手动轴控制功能、自动执行功能、位置控制功能、速度控制功能、层状态管理功能和限位保护功能均能正常工作，满足设计要求。

系统运行稳定可靠，控制精度高，响应速度快。XYZ 三轴的位置控制精度达到正负 0.1 毫米的要求，速度控制平滑稳定，满足最大运行速度的要求，X 轴为 2000mm/min、Y 轴为 1000mm/min、Z 轴为 5000mm/min。安全保护功能响应及时，限位保护、急停保护、互锁保护等功能有效，确保了设备和人员安全。自动执行功能运行正常，左右交替执行逻辑正确，仓储管理功能完善，能够满足自动化立体库系统的应用需求。

触摸屏界面操作简便，实时数据显示准确，便于操作人员监控和控制系统运行状态。系统的各项功能运行正常，达到了预期的设计目标。

结论

本设计完成了自动化立体库系统控制系统的设计与实现。系统以西门子 S7-

1200PLC 为控制核心，配合触摸屏人机界面，实现了 XYZ 三轴运动控制、自动执行、位置控制、仓储管理和安全保护等功能。

位置控制采用执行次数和层数计算的方式，实现精确定位，定位精度达到±0.1mm 的要求。速度控制采用归一化和缩放函数，实现不同速度范围的统一控制，速度控制平滑稳定，满足最大运行速度的要求。系统设计了完善的安全保护机制，包括急停保护、限位保护、互锁保护和模式保护等，确保设备运行安全。

自动执行功能采用 MOD 运算实现左右交替执行，通过执行次数和层数管理实现智能化的仓储管理。系统维护右层存满状态和左层存满状态两个数组，记录各层的存储状态，便于库存管理和查询。返回流程实现堆垛机的自动归零，确保系统能够连续运行。

通过博途软件进行仿真测试，验证了系统设计的正确性。测试结果表明，系统各项功能运行正常，能够满足自动化立体库系统的应用需求。触摸屏界面操作简便，便于操作人员监控和控制系统运行状态。

通过本次课程设计，加深了对 PLC 控制系统的理解，掌握了博途软件的使用方法，提高了分析问题和解决问题的能力。在设计过程中，学习了位置控制、速度控制、安全保护等关键技术，对自动化立体库系统有了更深入的认识。在今后的学习中，将继续学习和积累经验，不断提升专业技能水平。

参考文献

[1] 杨春明. PLC 技术在工业自动化立体仓库控制系统中的应用研究[J].仪器仪表用户,2025,32(11):87-89.

[2] 冯叶陶,唐琪,张瑞中,等. 基于 PLC 的自动化立体仓储控制系统设计[J].机电工程技术,2025,54(17):59-64.

[3] 王宝林,王子轩. 基于三菱 PLC 和 Factory IO 的立体仓库监控与控制系统设计[J].科技与创新,2025,(08):67-70.

[4] 周芳,周国平. 基于 Factory I/O 和 S7-1200 PLC 的智能立体仓库设计与虚拟仿真[J].南方农机,2025,56(07):143-147.

[5] 顾铭浩,李玮. 立体仓库与运输产线综合实训平台的设计与实践[J].林业机械与木工设备,2025,53(01):59-63.

[6] 张丽萍,朱尧富. 自动化立体仓库控制系统的设计[J].自动化技术与应用,2024,43(09):60-63+171.

[7] 王选,肖虎,席艳,等. 基于 PLC 的自动化立体仓库系统设计[J].襄阳职业技术学院学报,2024,23(03):93-96.

[8] 仇锦龙,周凯,韦统革,等. PLC 在工业电气自动化中的应用[J].数字通信世界,2024,(04):119-121.

[9] 郑苏芮.基于 PLC 控制的熟化智能立体仓库设计及关键技术研究[D].山东理工大学,2024.

[10] 马志刚,梁远星,马仲能,等. 自动化立体仓库中的智能控制系统设计[J].电子技术,2024,53(03):148-149.

[11] 侯恩光,黄华. 基于 PLC 和 Factory IO 的智能仓库控制实训仿真研究[J].黑龙江工

业学院学报(综合版),2024,24(03):109-114.

[12] 贾广田,朱旭东,周靖. 基于 PLC 控制水电企业自动化立体仓储系统设计[J].水电站机电技术,2024,47(03):95-97.

[13] 李睿智,秦香果,郭晓娥,等. 基于 S7-1200 PLC 和触摸屏的自动化立体仓库控制系统设计[J].自动化应用,2023,64(19):55-57+79.

[14] 马传奇. 基于西门子 PLC 控制的立体仓库系统设计[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2023,41(05):159-162.

[15] 程晟. 基于 PLC 的立体仓储控制系统设计[J].机械管理开发,2023,38(07):195-198.

[16] 曹志杰. 轴承立体仓储及输送的智能选配系统设计[J]. 起重运输机械,2023,(14):15-20.

[17] 宫丽华. 基于 S7-1200PLC 的立体仓库模块设计[J].现代信息科技,2023,7(12):55-57+61.