

# 基于Codesys平台的非标自动化设备轴控框架程序设计

武振海, 孙文涛, 张琰, 郝鹏程

中国电子科技集团公司第二研究所, 山西 太原

收稿日期: 2025年12月15日; 录用日期: 2026年1月6日; 发布日期: 2026年1月19日

## 摘要

本文提出了一种基于Codesys平台与EtherCAT总线的非标自动化设备轴控框架设计方案。针对非标设备开发中复用率低、兼容性差和维护困难的痛点, 作者设计了包含“硬件层 - 功能块层 - 交互层”的三层架构。硬件层利用EtherCAT实现高速同步; 功能块层使用ST语言封装了标准化的轴控功能(如使能、回原点、定位); 交互层设计了通用的触摸屏界面。文章通过在电子元件装配设备上的实际应用和对比测试, 验证了该框架在缩短开发周期(40%)和降低维护成本(35%)方面的有效性, 并测试了跨品牌硬件的兼容性。

## 关键词

Codesys平台, EtherCAT总线, 非标自动化设备, 轴控框架, 功能块封装, 触摸屏设计

# Design of Axis Control Framework Program for Non-Standard Automated Equipment Based on the Codesys Platform

Zhenhai Wu, Wentao Sun, Yan Zhang, Pengcheng Hao

The 2<sup>nd</sup> Research Institute of CETC, Taiyuan Shanxi

Received: December 15, 2025; accepted: January 6, 2026; published: January 19, 2026

## Abstract

This paper proposes a design scheme of the axis control framework for non-standard automation equipment based on the Codesys platform and EtherCAT bus. Aiming at the pain points of low reusability, poor compatibility and difficult maintenance in the development of non-standard equip-

文章引用: 武振海, 孙文涛, 张琰, 郝鹏程. 基于 Codesys 平台的非标自动化设备轴控框架程序设计[J]. 动力系统与控制, 2026, 15(1): 88-94. DOI: 10.12677/dsc.2026.151009

ment, the authors have designed a three-layer architecture consisting of the hardware layer, function block layer and interaction layer. The hardware layer adopts EtherCAT to achieve high-speed synchronization; the function block layer uses Structured Text (ST) to encapsulate standardized axis control functions (such as enabling, homing and positioning); the interaction layer is equipped with a universal touchscreen interface. Through practical application and comparative tests on an electronic component assembly equipment, the paper verifies the effectiveness of the framework in shortening the development cycle by 40% and reducing the maintenance cost by 35%, and also tests its compatibility with cross-brand hardware.

## Keywords

**Codesys Platform, EtherCAT Bus, Non-Standard Automated Equipment, Axis Control Framework, Function Block Encapsulation, Touch Screen Design**

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

非标自动化设备作为制造业生产的核心载体，广泛应用于电子制造、汽车零部件加工、医疗器械装配等领域，其轴控系统的稳定性与开发效率直接决定设备交付质量与周期。伺服轴与步进轴在非标设备中承担着定位、协同等关键任务，但传统轴控程序开发存在诸多痛点：一是缺乏标准化框架，开发过程高度依赖工程师经验，代码复用率低；二是不同厂家伺服驱动器、电机的接口协议差异显著，导致程序兼容性差，跨设备移植难度大；三是功能模块耦合度高，参数调整与功能升级需大量修改代码，维护成本高。据行业统计，传统轴控程序平均开发周期达 60 天，因兼容性问题导致的调试返工率超 30%，严重制约非标自动化产业的发展。

Codesys 平台作为国际通用的工业控制软件开发环境，全面支持 IEC 61131-3 标准编程语言，内置丰富的运动控制库与多总线适配接口，具备模块化开发、跨硬件平台移植等优势，为轴控系统的标准化开发提供了技术支撑。EtherCAT 总线凭借高速传输、分布式时钟同步、高扩展性等特性，已成为高精度轴控系统的优选通信方案。本文融合 Codesys 平台的标准化开发能力与 EtherCAT 总线的实时通信优势，设计一套非标自动化设备轴控框架程序，通过功能块封装、总线适配与交互界面优化，解决传统开发模式的弊端，提升程序复用性、兼容性与开发效率[1]。

## 2. 系统硬件架构设计

本轴控框架的硬件架构以 EtherCAT 总线为通信核心，采用“主站 - 从站 - 执行机构”的三级拓扑结构，具体包括 Codesys 兼容型主控制器、EtherCAT 从站接口模块、伺服驱动器、伺服电机及辅助检测部件。

- 主控制器：选用支持 EtherCAT 主站功能的工业级控制器(如汇川 AM600)，内置 Codesys 运行环境，负责轴控指令下发、数据采集与逻辑运算。
- EtherCAT 从站模块：采用专用从站芯片(ET1100/ET1200)，实现主站数据帧的解析与响应，支持过程数据对象(PDO)与服务数据对象(SDO)通信。
- 执行机构：选用具备 EtherCAT 接口的高精度伺服驱动器(如汇川 IS650N)与伺服电机，机械传动部件采用滚珠丝杠与直线导轨。

- 辅助部件：包含限位开关(硬限位保护)、急停按钮、位置传感器等，用于轴运动安全防护与状态检测。

### 3. 轴控功能块设计与封装

#### 3.1. 功能块设计原则

轴控功能块的开发遵循“标准化、模块化、可移植”原则：采用结构化文本(ST)开发，确保跨设备移植兼容性；以结构体封装接口变量，简化参数配置；整合 EtherCAT 轴控核心功能，满足非标设备多样化操作需求[2]。

#### 3.2. 轴控功能块封装

##### 3.2.1. 接口变量定义

轴控功能块接口变量繁多，采用结构体(STRUCT)统一封装，涵盖输入指令、控制参数、状态反馈三类变量，结构清晰且便于维护，具体定义如下：如表 1：

**Table 1.** Axis function block interface variable

**表 1.** 轴功能块接口变量

接口类型	变量名称	变量类型	变量说明
输入变量	bRunEnable	BOOL	轴可控
	stMode	Stru_Mode	设备状态机
	bAlarmReset	BOOL	轴报警复位
	bStop	BOOL	轴外部停止
输出变量	stAxisStatus	Stru_ServoStatus	轴状态反馈
输入输出变量	Axis	AXIS_REF_ETC	轴实例映射
	stAxisCmd	Stru_ServoCmd	轴控制变量
	stAxisRetainData	Stru_Servo_Retain	轴数据变量

##### 3.2.2. 核心功能实现

轴控功能块整合 EtherCAT 轴控核心功能，包括轴使能、回原点、多模式定位、点动控制、紧急停止等，采用 ST 语言开发，确保代码标准化与可移植性[3]。

部分功能介绍：(1) 轴使能功能：实现伺服轴的上电使能与状态检测，程序如图 1：

```
MC_Power_0          //PLCOpen轴使能功能块实例化
(Axis:=Axis,
 Enable:=TRUE,
 bRegulatorOn:=servo_on,
 bDriveStart:=TRUE,
 Status=>,
 bRegulatorRealState=>stAxisStatus.PowerON,
 bDriveStartRealState=>,
 Busy=>,
 Error=>MC_Power_Error,
 ErrorID=>MC_Power_ErrorID);
```

**Figure 1.** Axis enable program

**图 1.** 轴使能程序

(2) 回原点功能：通过 Codesys 运动控制库的 MC\_Home 指令实现，程序如图 2：

```
MC_Home_0      //PLCOpen轴回原点功能块实例化
(Axis:=Axis,
 Execute:=home_exec,
 Position:=REAL_TO_LREAL(stAxisCmd.HomeOffset),
 Done=>,
 Busy=>stAxisStatus.Homing,
 CommandAborted=>,
 Error=>MC_home_Error,
 ErrorID=>MC_home_ErrorID,);
stAxisCmd.Home.Auto R=MC_Home_0.Done;      //回原点完成后，关闭回原点触发
```

Figure 2. Homing program

图 2. 回原点程序

(3) 定位控制功能：包含绝对定位(MoveAbs)与增量定位(MoveRel)，支持速度、加减速参数配置，程序如图 3：

```
MC_MoveAbsolute_0      //PLCOpen轴MoveAbsolute定位功能块实例化
(Axis:=Axis,
 Execute:=moveabs_exec AND NOT TOF_0.Q,
 Position:=REAL_TO_LREAL(pos_moveabs),
 Velocity:=REAL_TO_LREAL(vel_moveabs),
 Acceleration:=REAL_TO_LREAL(acc_moveabs),
 Deceleration:=REAL_TO_LREAL(dec_moveabs),
 Jerk:=jerk_moveabs,
 Direction:=MC_DIRECTION.positive,
 Done=>stAxisStatus.RunAbsOK,
 Busy=>,
 Error=>MC_MoveAbsolute_Error,
 ErrorID=>MC_MoveAbsolute_ErrorID,);
```

Figure 3. MoveABS positioning program

图 3. MoveABS 定位程序

### 3.3. 功能块调用与实例化

轴控功能块通过实例化实现具体轴的控制，实例化程序包含操作条件判断、功能块调用、状态提示三部分，确保操作安全性与易用性。以某非标设备的 X 轴为例，实例化代码如图 4：

## 4. 轴控操作触摸屏设计

### 4.1. 触摸屏界面布局

触摸屏界面分为轴选择区、操作区、参数配置区、状态监控区四部分，以 7 英寸工业触摸屏(分辨率  $1024 \times 600$ )为例，布局如下：

1. 轴选择区：支持多轴切换(如 X 轴、Y 轴)，通过下拉菜单实现，当前选中轴高亮显示。
2. 操作区：包含核心操作按钮，如“轴使能”“回原点”“正向点动”“反向点动”“绝对定位”“增量定位”“紧急停止”，按钮采用大尺寸设计，便于现场操作。

```

//花篮搬运X伺服
Sv[2].Cmd.JogP_Enable:=TRUE;
Sv[2].Cmd.JogH_Enable:=TRUE;
Sv[2].Cmd.Home_Enable:=Sv[1].Status.Homed AND Sv[1].Status.Position<=SvRet[1].Pos_Abs[1];
Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[0]:=TRUE;
Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[1]:=Sv[1].Status.Homed AND Sv[1].Status.Position<=SvRet[2].Pos_Abs[1];
Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[2]:=Sv[1].Status.Homed AND Sv[1].Status.Position<=SvRet[2].Pos_Abs[1];
Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[3]:=Sv[1].Status.AbsPosInRange[3] OR (Sv[1].Status.Homed AND Sv[1].Status.Position<=SvRet[2].Pos_Abs[1]);
Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[4]:=Sv[1].Status.Homed AND Sv[1].Status.Position<=SvRet[2].Pos_Abs[1];
Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[5]:=Sv[1].Status.AbsPosInRange[6] OR (Sv[1].Status.Homed AND Sv[1].Status.Position<=SvRet[2].Pos_Abs[1]);
Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[6]:=FALSE;
Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[7]:=FALSE;
Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[8]:=FALSE;
Sv[2].Cmd.MoveRelP_Enable:=TRUE;
Sv[2].Cmd.MoveRelN_Enable:=TRUE;
Sv[2].Cmd.DriveType:=DriveType.Servo;

FB_Basket_CarryX
{
    bRunEnable:=TRUE,
    stAxisRetainData:=SvRet[2],
    stMode:=Mode,
    stHmi:=Hmi,
    iVel_percent:=Device.Vel_percent,
    Axis:=Axis2,
    stAxisCmd:=Sv[2].Cmd,
    stAxisStatus:=Sv[2].Status,
};

IF (Sv[2].Cmd.Home.Manu AND NOT Sv[2].Cmd.Home_Enable) OR (Sv[2].Cmd.MoveAbs[1].Manu AND NOT Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[1]) OR
    (Sv[2].Cmd.MoveAbs[2].Manu AND NOT Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[2]) OR (Sv[2].Cmd.MoveAbs[4].Manu AND NOT Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[4]) THEN
    Hmi.Status.label:="请先将花篮搬运Z轴移动到待机位";
END_IF
IF Sv[2].Cmd.MoveAbs[3].Manu AND NOT Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[3] THEN
    Hmi.Status.label:="请先将花篮搬运Z轴移动到待机位或提篮位";
END_IF
IF Sv[2].Cmd.MoveAbs[5].Manu AND NOT Sv[2].Cmd.MoveAbs_Enable[5] THEN
    Hmi.Status.label:="请先将花篮搬运Z轴移动到待机位或放篮位";
END_IF

```

JOG、回原点、Abs、Rel定位的限制条件

伺服对象的实例化

冲突条件的提示

Figure 4. Axis instantiation call

图 4. 轴实例化调用

3. 参数配置区：提供定位参数输入框，包括绝对定位位置、增量定位位置、运行速度、加减速时间，支持软极限限位启用/禁用、转矩限制启用/禁用的开关控制。

4. 状态监控区：实时显示当前轴的运行状态(使能、回原点完成、运行、故障)，以指示灯形式呈现；同时显示当前位置、速度、转矩的实时反馈值，故障时显示故障代码与提示信息。

## 4.2. 界面交互逻辑

1. 权限控制：支持管理员与操作员权限分级，管理员可修改核心参数(如软极限范围、转矩上限)，操作员仅能执行常规操作。

2. 操作联锁：执行定位、点动等操作前，自动校验前置条件(如是否使能、是否回原点)，条件不满足时，通过界面文本框显示提示信息，指导操作员操作。

3. 状态反馈：轴的运行状态与参数反馈实时更新，更新周期  $\leq 100 \text{ ms}$ ，确保操作员及时掌握设备运行情况。

4. 故障报警：轴发生故障时，界面故障指示灯闪烁，同时弹出故障提示窗口，显示故障代码与排查建议，支持故障复位操作。

## 4.3. 界面设计实例

触摸屏界面设计如图 5 所示

最左侧为轴选择区，通过按钮切换具体轴，方法为切换轴名称时，对应的轴序号变量随之改变，触屏上当前按钮、数值输入框、数值反馈值就和程序中该序号 EtherCAT 轴相匹配，实现该轴的操作控制和状态监控；中间为手动操作和功能参数设置区，右侧为 MoveAbs 定位手动操作和定位值设置区。



Figure 5. Axis control HMI interface

图 5. 轴控触摸屏界面

## 5. 系统测试与应用验证

### 5.1. 测试环境搭建

测试平台由以下设备组成：

主控制器：禾川 Q1500 (Codesys 3.5 运行环境)；

伺服系统：汇川 IS650N 伺服驱动器 + MS1H 伺服电机(25 位编码器)；

操控设备：工业触摸屏(昆仑通态 TPC10-T2-A)；

机械平台：高精度滚珠丝杠滑台(螺距 10 mm)。

### 5.2. 测试内容与结果

#### 1. 性能测试

轴使能、回原点、定位等操作可按需完成，满足实时控制需求。

#### 2. 兼容性测试

更换汇川 AM522 控制器、台达 AX8 控制器，框架程序无需修改核心代码，仅需配置总线参数即可正常运行，适配成功率达 100%。

#### 3. 开发效率测试

对比传统开发模式与本框架开发模式，结果如下表 2 所示：

通过对比结果得出采用该轴框架设计程序，在程序的复用性、兼容性、维护性、执行效率上都比传统方式有很大提升，有助于工程师快速、准确、高效开发项目。

### 5.3. 应用案例

某电子设备厂的非标电子元件装配设备，需控制 40 个伺服轴协同工作，采用本文设计的轴控框架程序后：

**Table 2.** Improvement compared with the traditional method  
**表 2. 对比传统方式提升**

指标	传统开发模式	本框架开发模式	提升效果
单轴程序开发周期	15 天	6 天	缩短 60%
多轴移植时间	7 天	1 天	缩短 85.7%
调试返工率	30%	8%	降低 73.3%
维护成本(年)	5 万元	1.75 万元	降低 65%

- 程序开发周期从 45 天缩短至 27 天，调试周期从 15 天缩短至 6 天；
- 设备运行 1 年以来，故障停机时间累计不足 8 小时，维护成本降低 35%，显著提升了生产效率与经济效益。

## 6. 系统测试与应用验证

本文设计了一种基于 Codesys 平台与 EtherCAT 总线的非标自动化设备轴控框架程序，通过硬件层、功能块层、交互层的协同设计，解决了传统轴控程序复用率低、兼容性差、维护困难等问题。该框架具有以下优势：一是采用 EtherCAT 总线，实现高速同步通信，同步精度达 $\pm 1 \mu\text{s}$ ；二是通过 ST 语言封装标准化轴控功能块，支持多品牌伺服设备适配，代码复用率高；三是设计直观易用的触摸屏操作界面，降低操作门槛，提升操作安全性，开发周期缩短 40% 以上。

未来，可从以下方面进一步优化：一是融入人工智能技术，开发基于机器学习的自适应 PID 调节算法，提升复杂工况下的控制精度；二是增加远程监控与诊断功能，支持通过工业互联网平台实现轴控系统的远程参数配置与故障排查；三是拓展轨迹规划功能，支持直线插补、圆弧插补等复杂运动控制，适配更多非标设备应用场景。该框架为非标自动化设备轴控系统的标准化开发提供了可行方案，具有广泛的应用前景[4]。

## 参考文献

- [1] 彭瑜, 何衍庆. IEC61131-3 编程语言及应用基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [2] 周海峰, 李庆华. Codesys 平台运动控制功能块的模块化设计[J]. 工业控制计算机, 2022, 35(4): 112-114.
- [3] 赵小明, 孙丽. Codesys 平台下 ST 语言的功能块封装与复用技术[J]. 工业仪表与自动化装置, 2022(2): 98-101.
- [4] 王建国, 刘军. 基于 Codesys 的工业机器人控制系统设计[J]. 机械设计与制造工程, 2024, 53(8): 78-82.