

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.04.032

一种机械手电液控制回路的设计与仿真

罗赞, 莫名韶, 李胜军

(南宁职业技术大学 智能制造学院, 广西 南宁 530008)

摘 要:针对传统机械手电液控制回路定制开发的方法是将液压回路和 PLC 程序分开设计,再用实体 PLC 来验证程序对液压回路的控制功能,从而造成设计周期长、成本较高的问题,根据某燃煤电厂的自动化定制需求,基于西门子博途 TIA Portal 软件、FESTO 液压 FluidSIM-H 软件设计一种采样机械手的电液控制回路;利用动态数据交互 OPC 技术,实现两种软件间的控制信号与反馈信号联通,所开发的直观仿真联调的方法,达到了快速高效的设计目的。

关键词:机械手;TIA Portal;FluidSIM;电液控制回路;仿真

中图分类号:TH137.7 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)04-0174-05

Design and Simulation of Electro-hydraulic Control Circuit for Robotic Arm

LUO Yun, MO Mingshao, LI Shengjun

(Intelligent Manufacturing College, Nanning Vocational and Technical University, Nanning 530008, China)

Abstract:As the custom-developed hydraulic circuit by robotic arm is designed separately with PLC program using the traditional method, and the function controlling the hydraulic circuit is verified by physical PLC program, long designing cycles and high costs occur. This article, as required by a coal-fired power plant for customized automation, designs an electro-hydraulic control circuit for a sampling robotic arm using Siemens TIA Portal software and FESTO FluidSIM-H software. Using dynamic data exchange OPC technology, a method is developed to connect control signals and feedback signals between the two software and realize intuitive simulation and debugging, achieving fast and efficient design goals. The research results indicate that the designed method has good reference significance for optimizing the design of electro-hydraulic control circuits.

Keywords:robotic arm;TIA Portal;FluidSIM;electrohydraulic control circuit; simulation

0 引言

FESTO 公司的 FluidSIM-H 软件常用于液压回路的设计与教学,西门子 PLC 博途(TIA portal)软件常用于工业自动化 PLC 程序设计,两者结合在电液控制系统的开发方面得到广泛的应用^[1]。FluidSIM-H 软件具备 DDE 动态数据交换元件支持 OPC 技术,能通过第三方数据通信与博途(TIA portal)进行实时数据交换,实现软件之间的信号通信功能^[2]。煤炭采样机械手是燃煤电厂、港口商品煤交易环节采样常用的自动化装备,也是提升货物交割效率的重要手段。采样机械手在传统的定制设计流程中常常将液压回路、PLC 程序分开设计,导致工程师不能快速找出错误并修改^[3]。如能将液压系统软件、PLC 程序软件进行信号数据联通,将提升联调效率和直观性。本文基于

博途(TIA portal)、FluidSIM-H 两种软件通信融入机械手液压回路设计过程,通过 PLC 虚拟机、数据通信 KepServerEX 软件组合作为数据通道,让博途(TIA portal)程序与 FluidSIM-H 的液压回路实时数据交换^[4],实现快速仿真调试,节省开发时间和硬件成本,这对优化电液控制系统的开发有较大的帮助^[5]。

1 电液控制回路设计

1.1 工作过程

输煤传送带上的采样机械主要功能是定时自动地从煤里面采集样品放到检测工作台上,检测结果可作为货物交割的重要依据^[6],装置布局如图 1 所示。机械手安装在传送带一侧,按一定的时间间隔采集煤流断面的样品,以 PLC 作为控制模块。

基金项目:广西教育科学“十四五”规划 2022 年度专项课题项目(2022ZJY2709);广西壮族自治区第二批职业教育示范性虚拟仿真实训基地建设项目(桂教职成[2022]35 号)

第一作者简介:罗赞(1977—),男,广西陆川人,副教授,硕士,研究方向为液压技术、虚拟仿真技术,beisiwenbm6@163.com。

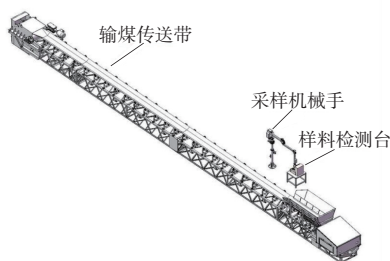


图1 输煤传送带与采样机械手布置图

工作时,机械手右旋 90°,伸缩缸动作使手臂伸出到达采样点上方,伸出到位后升降缸下降,由于下降的行程较长,在下降阶段液压回路为差动连接,实现快速动作,并定时 2 s。下降结束后,装在末端的铲斗打开、缩回 1 次,其动作与挖掘机挖

掘动作类似,确保物料能在铲内^[7]。采集到样料后,铲斗机械手上升,上升结束后臂缩回后左旋 90°回到初始位置,铲斗放料到指定检测工位,完成 1 次工作循环。动作循环为:右旋—伸缩—下降—铲料—上升—缩回—左旋—放料。

1.2 液压回路设计

液压执行驱动易实现自动化控制,液压回路由 4 个液压缸组成,分别完成旋转摆动、伸缩、升降和铲料等动作^[8]。在 FluidSIM-H 软件上完成液压回路的设计,如图 2 所示。图 2 中,1A 为旋转缸;2A 为伸缩缸;3A 为升降缸;4A 为铲斗缸。其中,1A 和 4A 分别负责旋转、铲料 2 个动作,采用的是摆动缸,2A、3A 负责伸缩和升降两个动作,采用双作用缸。

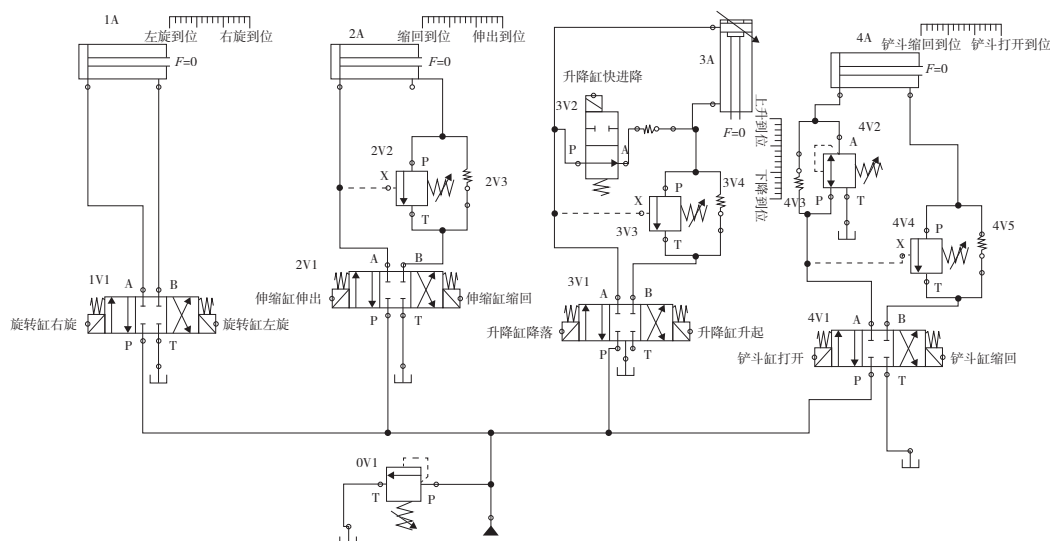


图2 采样机械手液压回路原理图

设计各执行动作油路如下:右旋为泵→1V1 左→1A 左,左旋为泵→1V1 右→1A 右;伸出为泵→2V1 左→2A 左,缩回为泵→2V1 右→2V3→2A 右;下降为采用差动连接,进油,泵→3V1 左→3A 上,回油,3A 下→3V2 下→3A 上,2 秒后,下降到位回油变为,3V3→3V1 左→油箱,上升为泵→3V1 右→3V4→3A 下;铲料为泵→4V1 左→4V2→4A 左,放料为泵→4V1 右→4V5→4A 右。

1.3 信号设置

FluidSIM 软件支持 DDE 动态数据,因此可以通过第三方软件来搭建桥梁,实现 FluidSIM 与实体或虚拟 PLC 之间的数据联系^[9]。KepServerEX 是 1 款在工业控制中比较常见的数据收集服务软件之一,提供了多种类型的驱动,具有非常广泛的适用性,很多厂商和个人都选择用它来做

OPCServer^[10]。因此本文通过用 KepServerEX 作第三方软件来实现的数据桥梁,通信原理如图 3 所示。

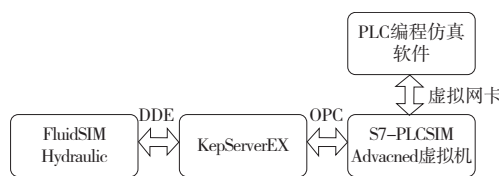


图3 软件通信原理图

在 FluidSIM-H 中设计液压回路后,设计信号通道如图 4 所示。将位置传感器、按钮、电磁线圈产生的信号分别通过路径 FluidSIM Out、FluidSIM In 信号模块—KepServerEX 数据通信软件—西门子 S7-PLCSIM Advance 的 PLC 虚拟机—博途 (TIA portal) 来进行数据交互^[11]。

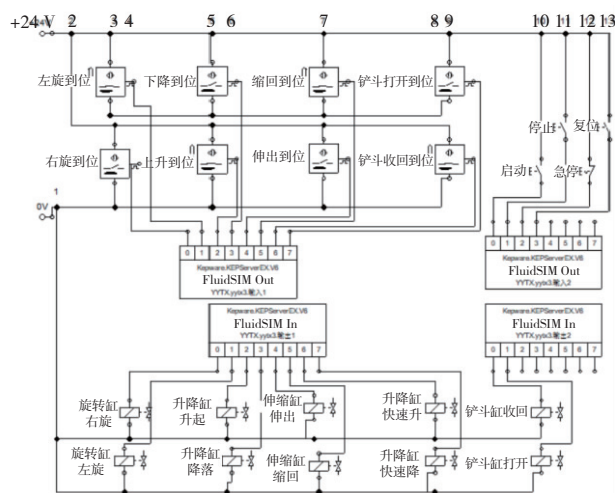


图4 FluidSIM-H 液压回路信号

根据信号交互规则,液压回路的输入信号就是PLC的输出信号,液压回路的输出信号就是PLC的输入信号^[12]。因此PLC虚拟机对应液压回路的信号,有10个输出点信号、11个输入点,如图5所示,各信号地址分配如表1所示。

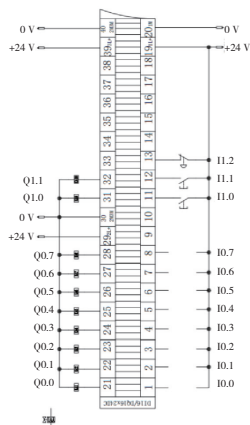


图5 PLC 输入输出信号

表1 PLC 信号地址分配表

输入	功能	输出	功能
I0.0	右旋到位	Q0.0	旋转摆动缸右旋
I0.1	左旋到位	Q0.1	旋转摆动缸左旋
I0.2	上升到位	Q0.2	升降缸升起
I0.3	下降到位	Q0.3	升降缸降落
I0.4	伸出到位	Q0.4	伸缩缸伸出
I0.5	缩回到位	Q0.5	伸缩缸缩回
I0.6	铲斗收回到位	Q0.6	升降缸快进升
I0.7	铲斗打开到位	Q0.7	升降缸快进降
I1.0	启动按钮	Q1.0	铲斗缸收回
I1.1	停止按钮	Q1.1	铲斗缸打开
I1.2	急停按钮		

1.3 PLC 程序设计

PLC 程序流程如图6所示。按下启动按钮,程序按流程图的步骤执行,各位置传感器到位检测信号作为下一个步骤执行的条件^[13]。

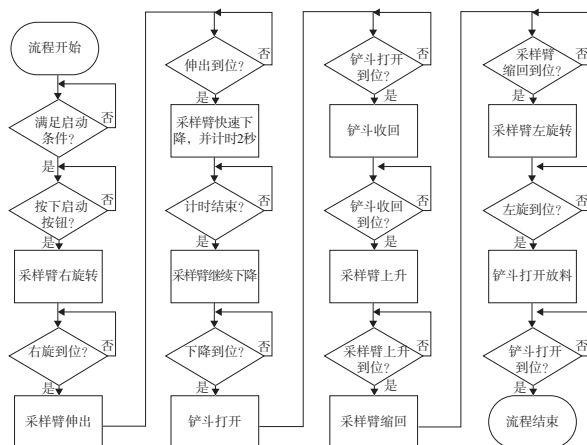
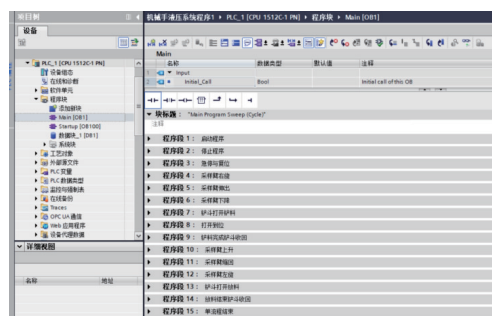
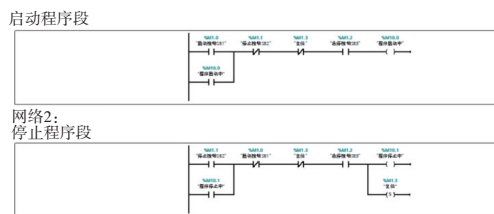


图6 PLC 程序流程图

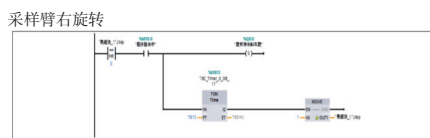
依据液压回路的动作循环进行程序设计,采用顺序结构,在执行时会在 start up 进行自检,看各液压缸是否处于初始位置,整体框架如图7(a)所示,由于篇幅有限,只展示部分程序,如图7(b)、图7(c)所示。



(a) 程序整体框架



(b) PLC控制程序（部分）



(c) PLC控制程序（部分）

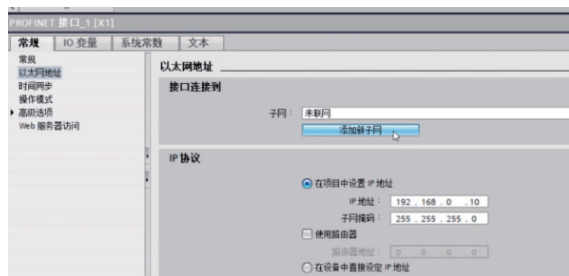
图7 整体框架和部分程序图

2 软件通信设置

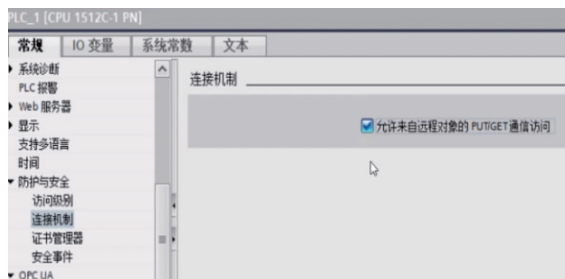
2.1 博途 TIA Portal 与 S7-PLCSIM Advnced 的连接设置

S7-PLCSIM Advnced 是西门子推出的 PLC 仿真软件。首先,打开 S7-PLCSIM Advnced 选择虚拟网卡选项,设置 IP 地址,点击创建虚拟 PLC。黄灯亮起就表示已经创建成功了,PLC 虚拟机设置完毕。

在博途创建项目时,应注意首先点击机架 PLC 进入以太网选项设置,把 IP 地址、子网掩码与虚拟机设置一致,然后点击“添加新子网”完成以太网地址设置。点击 PLC 的“连接机制”,勾选“允许远程对象的 PUT/GET 通信访问”选项,如图 8(a)、图 8(b)所示。接着选择项目“属性”,然后在跳出的页面选择“保护”,勾选“块编译时支持仿真”选项,设置完后进入搜索界面,就能找到所设置的虚拟机^[14]。



(a) 博途项目的通信设置



(b) 博途项目的通信设置

图 8 博途项目的通信设置

2.2 KepServerEX 设置

KepServerEX 提供博途(TIA portal)、PLC 虚拟机与液压 FluidSIM-H 软件数据交互的通道。在桌面打开 KepServerEX。

1) 新建通道

在左侧项目选项选择“连接性”,新建通道,在下拉菜单中选择“Simens TCP/IP Ethernet”类型,然后点击“下一页”进行通信通道命名(命名为“YYTX”),随后继续点击都是选择默认设置,直至该设置页面结束,这时在项目窗口下可见到新建的“YYTX”通道。

2) 添加设备

在“YYTX”通道下点击“添加设备”,选择与 PLC 虚拟机一致的型号。点击下一步,设置与虚拟机一致的 IP 地址,如图 9 所示。继续点击“下一页”,都是选择默认选项,直至此项设置结束,设备名称为“YYTX3”。

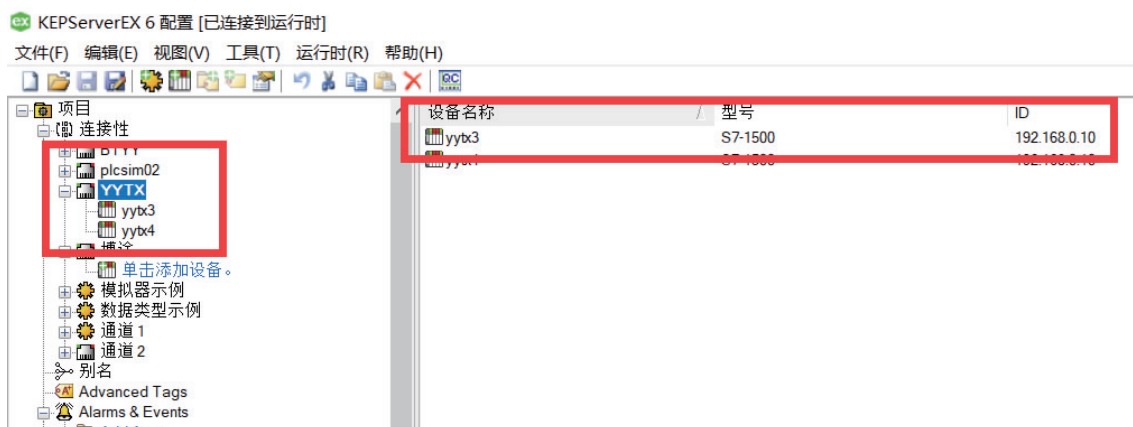


图 9 KepServerEX 通道设置

3) 定义信号地址

完成上面步骤后,点击添加“静态标记”,定义 PLC 虚拟机的“输入”、“输出”地址通道,如图 10 所示。由于是虚拟机 PLC,输入信号地址可

以用内部寄存器“M”地址代替映象寄存器地址“I”。如启动运行 PLC 虚拟机,并打开 KepServerEX 配置界面中菜单栏的监控器,找到刚才建立的通道,就可以看到实时输入输出状态。



图 10 定义静态标记地址

2.3 FluidSIM 通信界面设置

在 FluidSIM 主菜单点击“选项”—“OPC/DDE 连接”,在跳出的界面勾选“OPC”模式^[15]。在液压回路信号图 4 中,双击 FluidSIM Out 信号模块(相当于 PLC 的输入信号),在“OPC 服务器”下拉浏览菜单中选择“KepServerEX”选项,在“项目”浏览下拉菜单中选中之前设置好的通道名称、设备名称^[16]。例如选择 KepServerEX 通道设备的“输入”(图例中是“YYTX. yytx3. 输入”),如图 11 所示。FluidSIM In 设置类似,选择 KepServerEX 通道设备的“输出”。完成在 FluidSIM-H 中的通信设置^[17]。

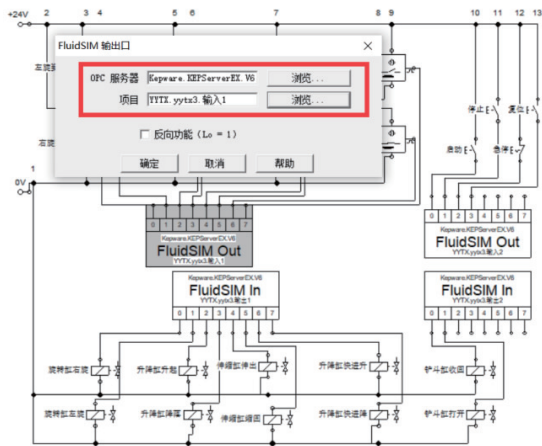


图 11 FluidSIM 通信界面设置

3 仿真调试验证

对以上设计的液压回路、PLC 程序进行验证,测试其流程设计是否可控制回路动作,还需要在仿真调试中优化。将程序下载到 PLC 虚拟机,在 FluidSIM 启动仿真,在 TIA portal 启动程序仿真和监视模式,就可以实现博途、FluidSIM 的两个软件

进行联合调试^[18]。图 12 所示是博途与 FluidSIM-H 的信号数据交互后的仿真画面,如在博途中改变某输入信号状态,经过程序运算,其结果就可以在对应的 FluidSIM-H 看到液压回路动作效果。液压回路与 PLC 程序实现仿真联调过程中,能在仿真界面直观看出程序的瑕疵,工程师能快速进行对控制程序调整。图 13 是经过程序修改后的执行元件工作动作的时序图。

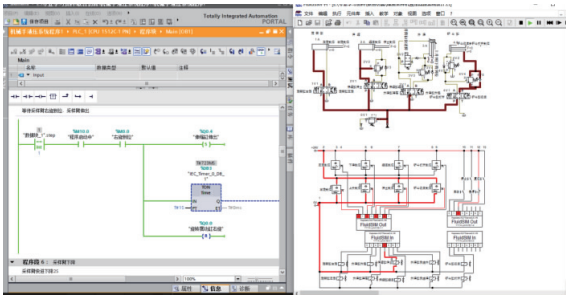


图 12 软件联合仿真调试效果

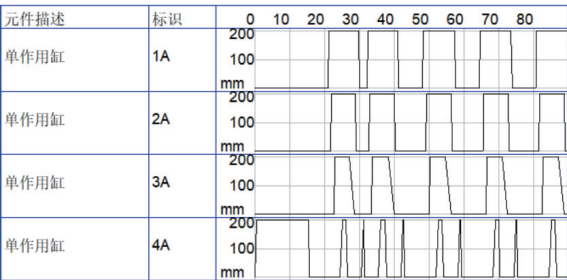


图 13 执行元件工作变化曲线图

4 结语

通过西门子 PLC TIA portal 软件、FESTO 液压 FluidSIM-H 软件设计 1 种煤炭采样机械手电液控制回路,以 KepServerEX 数据通信软件、S7-PLCSIM Adavnced 仿真软件作为数据桥梁,利用

(下转第 199 页)

- 收稿日期:2023-10-17

动态数据交换 OPC/DDE 技术,实现液压回路与博途 PLC 程序的数据通信和仿真调试^[19]。通过此电液回路的方法进行仿真设计,验证表明:所设计的控制功能达到设计要求,设计过程简单快速,能完全满足实际需求,降低了开发的成本。整个仿真设计为类似的电液控制回路开发提供了一种可行参考,也可作为项目教学案例在学校的专创融合课程中使用^[20]。

- [1] 王毅. 煤矿液压支架电液控制系统设计研究[J]. 机械管理开发, 2025, 40(3): 218-220.
- [2] 孙移. 基于 OPC 技术的 PLC 与 FluidSIM-P 气动控制仿真[J]. 机械制造与自动化, 2010, 39(6): 125-127.
- [3] 王海荣. 矿用液压绞车自动控制系统研究[J]. 能源与节能, 2025(3): 258-260.
- [4] 高俊. 液压伺服同步系统仿真建模与控制策略研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2024.
- [5] 拜颖乾, 王斌文, 赵涛. 盾构螺机后仓门液压系统仿真控制研究[J]. 机械设计与制造, 2024(9): 64-69.
- [6] 孙伟, 孙志朋. 电厂输煤采样机的液压系统设计[J]. 液压与气动, 2010, 34(4): 49-51.
- [7] 徐鹏, 师建鹏, 郅永军, 等. 大型液压挖掘机电液控制系统半物理仿真方法[J]. 液压与气动, 2025, 49(3): 111-122.
- [8] 詹志明, 陈宏胜. 煤炭采样机电液控制回路设计[J]. 安徽科技学院学报, 2021, 35(4): 89-94.
- [9] 朱凌宏. 基于 PLC 的液压驱动式机械手动动作设计[J]. 机床与液压, 2011, 39(6): 79-80, 104.

- 收稿日期: 2023-11-07