

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.02.055

基于倍福嵌入式 PLC 的气囊封堵控制系统设计

陈思文, 孙强

(合肥哈工智灵智能科技有限公司, 安徽 合肥 230051)

摘要:在市政排水管道工程施工中, 施工人员下井进行气囊封堵是管道封堵最常用的方式之一。针对目前井下人工封堵气囊时管理难度大、效率低下等问题, 设计一种基于倍福嵌入式 PLC 的气囊封堵控制系统。该控制系统以倍福 C6015 为核心, 将步科 SZ7GE 作为人机界面, 通过多种传感器融合技术判定井口位置信息, 研究用机器设备代替人工下井封堵气囊的可能性。实验结果表明: 工作人员能够直接通过人机界面操作封堵气囊, 无需人工下井, 提高了自动化程度。

关键词:人工下井; 倍福嵌入式 PLC; 封堵气囊; 人机界面; 多种传感器融合技术

中图分类号: TP273 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2024)02-0266-05

Design of Air Bag Sealing Control System Based on Beckhoff Embedded PLC

CHEN Siwen, SUN Qiang

(Hefei Hagong Zhiling Intelligent Technology Co., Ltd., Hefei 230051, China)

Abstract: In the construction of city drainage pipeline engineering, frogmen descending the well to block air bag is one of the most common jobs in pipeline sealing. To overcome the difficulty in management and improve the low efficiency of air bag blocking, an air-bag plugging control system based on Beckhoff embedded PLC is designed. With the very system, Beckhoff C6015 is taken as the core and Kinco SZ7GE is applied as the human-machine interface to determine well entrance positions by ingretated technology of multi-sensors, and the probability of machine replacing manual air-bag blocking is studied. Experiment results show that staff can directly plug the air bag through the human-machine interface without manual downhole, which upgrades automation level.

Keywords: frogman goes down well; beckhoff embedded PLC; block air bag; interface; ingretated technology of multi-sensors

0 引言

在市政工程中, 尤其是在污水管道的施工中, 经常需要将污水管道进行局部封堵, 并把污水管道中的水抽出, 以利施工人员进入污水管道中作业。传统的污水管封堵方法是采用封堵气囊堵水。

封堵气囊堵水的工作原理就是利用优质橡胶做成的管道封堵气囊, 通过充气方法使其膨胀, 当堵水气囊内的气体压力达到规定要求时, 堵水气囊填满整个管道断面, 利用管道封堵气囊壁与管道产生的摩擦力堵住漏水, 从而达到目标管段无渗水的目的。

在现有技术中, 该气囊必须由施工人员(俗称蛙人)下井封堵, 当井水水位较高时, 因压力过大封堵比较困难, 并且井内存在氯化氢等有毒气体, 全国每年都发生若干起伤亡事故。

为此, 本文设计一种基于倍福嵌入式 PLC 的气囊封堵控制系统, 包括井上控制系统和井下执行机构, 井上控制系统和井下执行机构分开设计, 抗干扰、防震、防水效果更好。对机器人进行控制的内容包括机器人升降伺服控制、摆臂伺服控制、行走伺服控制、推杆伺服控制等, 直到将气囊推到横井里。本系统自动化程度高, 只需要人在井上进行触摸按键操作即可, 无需下井, 有效避免事故的发生。

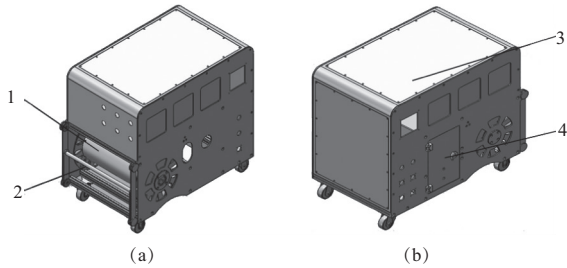
1 系统控制方案的设计

1.1 系统概述

气囊封堵控制系统设计主要包括井上控制系统和井下执行机构。井上控制系统主要包括卷盘滚筒、排线丝杆、便携式移动电源、控制箱、井上起吊伺服、可调节滑杆等。控制箱内含有倍福嵌入式 PLC、漏电保护器、浪涌保护器、接触器、空气开

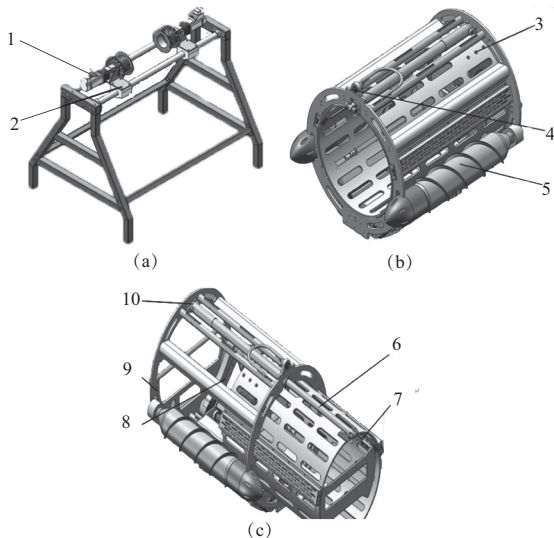
第一作者简介: 陈思文(1990—), 男, 安徽六安人, 助理工程师, 本科, 研究方向为机器人控制在管道检测、封堵清淤领域的应用, 2846966722@qq.com。

关、电源转换模块、按钮指示灯等^[1]。井下执行机构主要包括行走伺服、摆臂伺服、推杆伺服、浑水相机、姿态传感器、避障传感器、电推杆、电磁铁等,如图 1 和图 2 所示。



1—卷盘滚筒;2—排线丝杆;3—控制箱;4—便携式移动电源。

图 1 电缆盘及控制箱



1—起吊伺服;2—可调节滑杆;3—姿态传感器;4—浑水相机;
5—摆臂行走伺服;6—电推杆;7—推杆伺服;
8—10—避障测距传感器。

图 2 气囊封堵设备

1.2 控制流程构想

整个控制流程构想如图 3 所示。姿态传感器位于图 3 的 B_1 位置,实时检测机器人的旋转角度 θ ,避障测距传感器 3 组分别安装在图 3 的 A_1 、 C_1 、 D_1 位置,浑水相机和声纳装在图 3 的 E_1 位置。

气囊封堵机器人本体通过井上伺服控制往竖井里下落,避障测距传感器 A_1/C_1 实时监测到管壁的距离,通过井上滑杆控制两边的距离 $A_1A_2 = C_1C_2$;避障测距传感器 D_1 实时检测到竖井底部的距离, $D_2D_3 = 100 \text{ mm}$ 。已知 $D_1D_2 = 600 \text{ mm}$,避障测距传感器 D_1 实时数值 $S_0 = D_1D_2 + D_2D_3$,即一旦 $S_0 = 700 \text{ mm}$,气囊封堵机器人停止下降;通过井上

伺服控制机器人旋转,直到横井上边沿 F_1 点与相机 E_1 中心点在一条直线上,停止旋转。继续通过井上伺服控制机器人下降,直到机器人底部到井底的距离 $M_6 = 50 \text{ mm}$,即 $M_3M_4 = 50 \text{ mm}$ 。已知 M_1M_4 和 M_1M_7 之间的夹角为实时检测机器人的旋转角度 θ ,避障测距传感器 D_1 实时数 $S_0 = M_1M_2 + M_2M_3 + M_3M_4$,推导出 $S_0 - M_1M_2 - M_2M_3 = 50 \text{ mm}$,已知 $M_1M_2 = M_1M_7 \cdot \cos\theta = 600 \cdot \cos\theta$,已知 $M_2M_3 = M_3M_6 = M_6M_7 \cdot \sin\theta = 180 \cdot \sin\theta$,推导出当 $S_0 = 600 \cdot \cos\theta + 180 \cdot \sin\theta + 50$ 时,机器人停止下降。重复上述步骤,直到 $\theta = 90^\circ$,机器人下降和旋转结束。

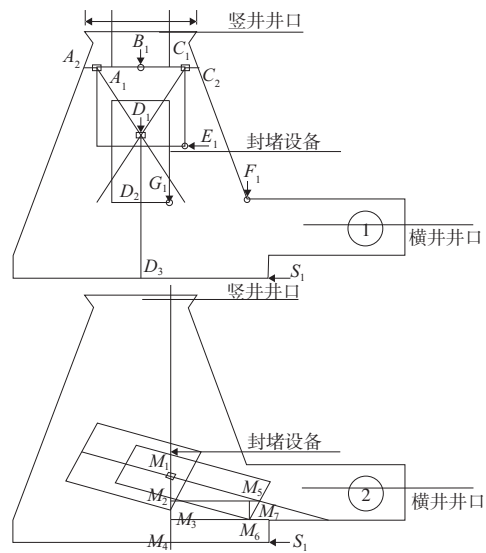


图 3 控制流程构想

摆臂伺服撑起机器人本体,行走伺服用于机器人本体移动前进,电推杆开始一级推出,推杆伺服进行二级推出,直至气囊推送到指定位置;推杆伺服回到原点,摆臂伺服收回到原点,井上伺服控制机器人本体上升直到井上,封堵结束。

2 硬件系统的设计

2.1 控制器及电机选型

本控制系统采用嵌入式 PLC 为核心控制器,通过 Ethercat 通信控制伺服,相比传统的 PLC,实时性更好、通信时间减小、安全性更高^[2]。所采用的执行机构为直流一体化伺服电机,相比传统电机而言,其性能高、响应快、节约空间、减小布线和安全性高。

2.2 控制电路

控制系统的电路主要分为主电路和控制电

路,主电源采用便携式移动电源提供的 220 V 交流电,通过开关电源分别转换为主要给伺服电机供电的 DC48 V,主要给嵌入式 PLC 及模块等供电的 DC24 V,控制电路是交流接触器配合启停按钮实现的^[3]。控制电路如图 4 所示。

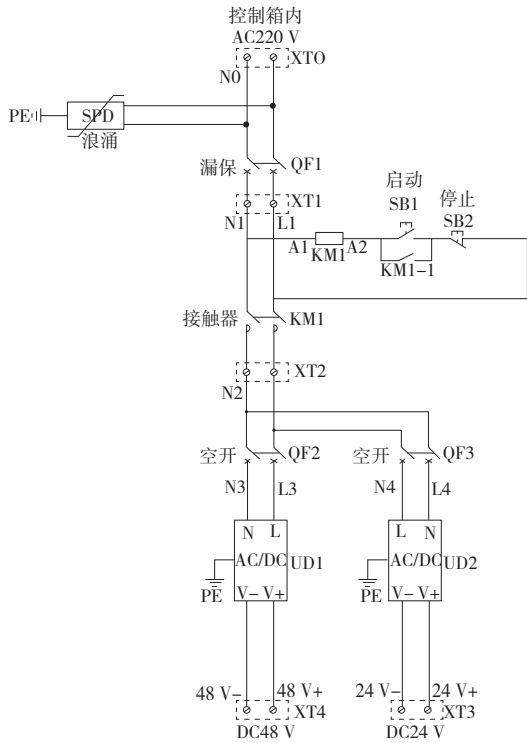
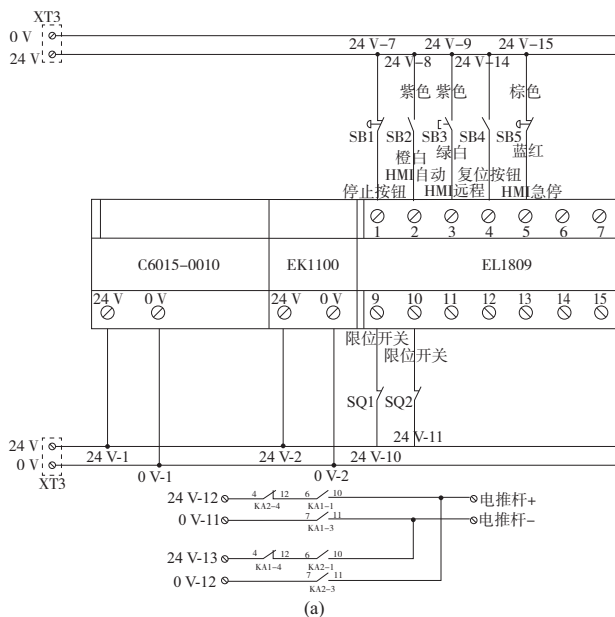


图 4 控制电路

2.3 PLC 的外围接线

考虑到控制系统的控制情况,需要将输入、输出点和 PLC 的外部接线相连接,包括按钮开关、指示灯、限位开关、电推杆、电磁铁^[4],如图 5 所示。



(a)

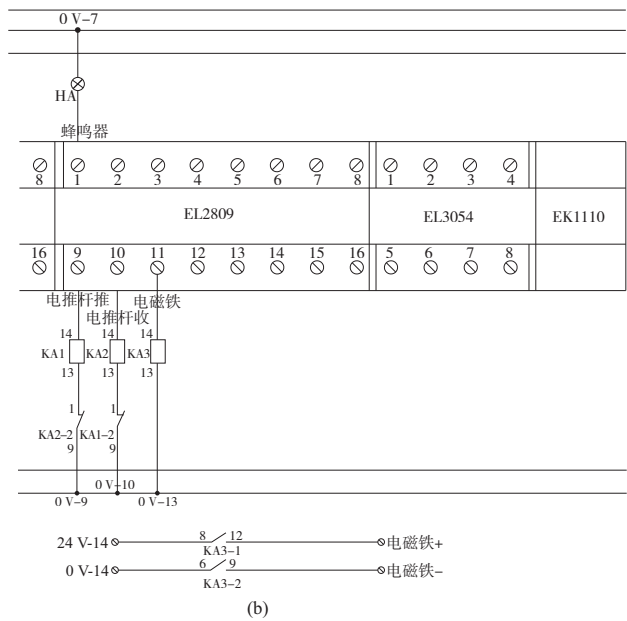


图 5 PLC 的外围接线

3 软件系统的设计

此系统的软件和程序设计采用 Twincat3 软件。Twincat3 是 Beckhoff 公司的运动控制软件,基于 Windows 操作系统。基于 Windows 控制和自动化技术 Twincat (the windows control and automation technology) 自动化软件是控制系统的核心部分,相比传统的 PLC 软件,此系统开放性更强,与上位机兼容性更高,实时性更快。

3.1 程序流程图

根据控制要求,通过 Twincat3 软件对气囊封堵控制系统进行设计,该系统的程序流程图如图 6 所示。

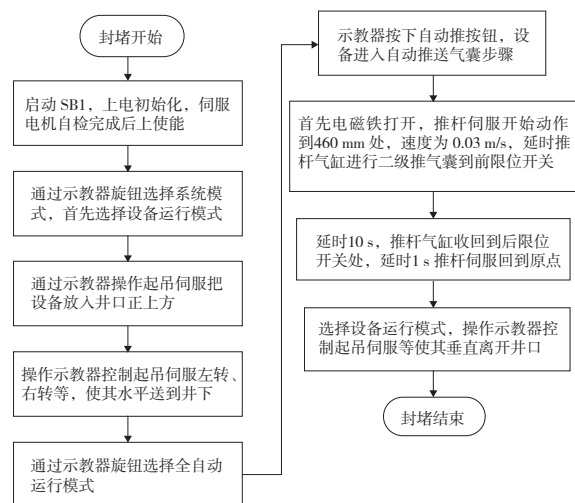


图 6 程序流程图

3.2 输入输出地址分配

该系统的输入点分配地址: IO.1 接电源控制箱 SB1 停止按钮, IO.2 接手持触摸屏 SB2 自动按钮, IO.3 接手持触摸屏 SB3 远程按钮, IO.4 接手持触摸屏 SB4 复位按钮, IO.5 接手持触摸屏 SB5 急停按钮, IO.9 接电推杆的前限位开关, IO.10 接电推杆的后限位开关。

该系统的输出点分配地址: Q0.1 接蜂鸣器, Q0.9 接电推杆推继电器线圈 KA1-14, Q0.10 接电推杆收继电器线圈 KA2-14, Q0.11 接电磁铁继电器线圈 KA3-14。

3.3 程序设计

倍福嵌入式 PLC 编程语言主要有梯形图语言(LD)、结构化语言(ST)、顺序功能图(SFC)、高级语言等;本方案主要采用 Twincat3 软件进行 ST 语言设计程序,是基于 ST 语言对于多伺服总线控制功能块调用及浮点数处理较为方便的考虑。程序设计如图 7 所示。

```

(*开机初始化*)
IF_TaskInfo[1].FirstCycle THEN
  bFirstInitPower:=TRUE;
END_IF
CASE iStepIni OF
  0:
    IF bFirstInitPower THEN
      tTonInitDelayStart.IN:=FALSE; //上电启动延时进入程序定时器-复位
      stGeneralUse.bPLCPowerFinsh:=FALSE; //参数初始化--PLC上电完成-复位
      bFirstInitPower:=FALSE; //初次上电初始化标志位复位
      iStepIni:=1; //跳转任务步
    END_IF
  1:
    tTonInitDelayStart.IN:=TRUE; //上电启动延时进入程序定时器-启动
    IF tTonInitDelayStart.Q THEN
      tTonInitDelayStart.IN:=FALSE; //上电启动延时进入程序定时器-复位
      tTonInitDelayPower.IN:=FALSE; //所有上电启动延时定时器-复位
      bEnumFindFileList.bExecute:=FALSE; //FB-读取系统参数文件列表-复位
      stGeneralUse.bPLCPowerFinsh:=TRUE; //参数初始化--PLC上电完成-置位
      iStepIni:=50; //跳转任务步
    END_IF
  50:
    FOR i:=nFirstAxisNo TO nLastAxisNo DO //所有轴上使能
      stAxisCtrl[for_i].mcPower.Enable:=TRUE;
    END_FOR
    iStepIni:=51; //跳转任务步
  51:
    tTonInitDelayPower.IN:=TRUE; //所有上电启动延时定时器-开启
    IF tTonInitDelayPower.Q THEN
      tTonInitDelayPower.IN:=FALSE; //跳转任务步
      iStepIni:=100; //跳转任务步
    END_IF
  100:
    stGeneralUse.bSystemInitFinish:=TRUE; //系统上电初始化完成
    eMacMode:=eMacMode_INITIAL; //更改系统状态
    eFreMacMode:=eMacMode;
    stHmiCtrl.P01_bSystem_model:=1; //系统初始化

```

图 7 程序设计

3.4 人机交互界面设计

上电初始化完成后,设备进入单轴调试状态,使能状态全部亮红灯。此时可以进行单轴控制,设定速度和位置可以对单轴进行操控;检查设备没有异常报警时,可以拨示教器的旋钮开关进入设备运行模式,此时起吊左右伺服、行走左右伺服、摆臂左右伺服进入耦合状态,可以在对应界面进行前进、后退、转弯的操作,同时通过姿态等传感器信息判断位置,把设备从井上顺利送入井口位置;然后拨示教器的旋钮开关进入全自动运行

模式,程序自动控制电磁铁、推杆伺服、电推杆进行二次推送把气囊送到指定位置后回来;最后拨示教器的旋钮开关进入设备运行模式把设备再从井下吊上井口完成整个气囊封堵过程。人机交互界面如图 8 所示。



图 8 人机交互界面

4 验证结果

4.1 验证方案

为了验证控制流程构想和设备操作的可行性,现将气囊封堵设备应用于实际的管道井口测试,实验环境如图 9 所示。

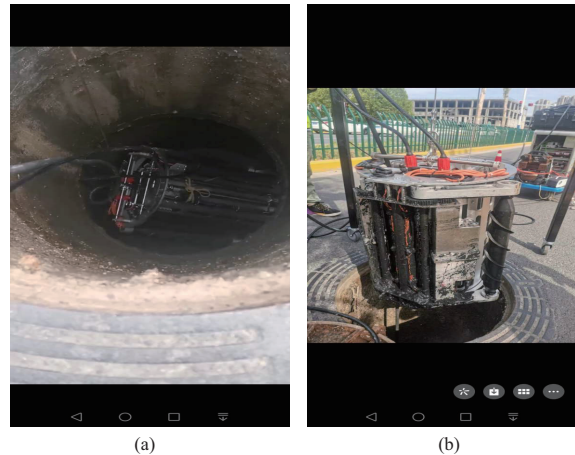


图 9 实验环境

4.2 验证过程

操作人员通过人机交互界面,首先把气囊封堵设备垂直于井口吊起,再通过多种传感器融合技术(姿态、避障、浑水相机等)对井下水平井口位置进行判定,按照控制流程步骤最终把设备送到井口位置,最后通过设备机构把气囊推到井口位置,机构再按原路径返回。

4.3 结果分析

操作人员通过人机交互界面总共进行 10 次

操作,操作时间如表 1 所示。

表 1 实验操作所需时间 单位:min

实验序号	所需时间	实验序号	所需时间
1	25	6	13
2	15	7	12
3	12	8	10
4	11	9	16
5	14	10	11

为了便于计算,实验数据取整处理,去掉最高和最低值,平均时间为 13 min,即本气囊封堵设备可以代替人工下井,封堵时间为 13 min 左右,大约等于人工封堵的时间,由此验证了所设计的系统能够有效地解决人工下井封堵气囊的困境。

5 结语

本文设计了一套气囊封堵机器人系统,完全代替人工下井进行封堵,具有颠覆性的意义。其自动化程度高,减少恶劣的工作环境造成的安全

事故。该系统具有技术成熟、价格低廉、功能齐全等特点,并且操作界面交互性强,简单明了,解决了人工下井封堵气囊的困境。该设计改变了我国管道封堵人工必须下井的现状,具有广泛的社会价值。

参考文献:

[1] 尹泽远,雷泽勇,雷洁瑜,等. 基于 PLC 的地浸机械式管道清洗装置控制系统的设计[J]. 机械研究与应用,2020,33(6):153-156,160.

[2] 胡云成,唐磊,何祥,等. 基于倍福 PLC 的 779 型条盒包装机烟包制动系统的改造[J]. 包装工程,2021,42(11):227-232.

[3] 邹鑫,何文雪,牛杰. 基于 SIMATIC S7-1500PLC 的电梯监控系统设计[J]. 机械制造与自动化,2022,51(2):216-219.

[4] 于丽丽,雷声媛. 基于 PLC 控制的红枣无损自动分拣系统设计[J]. 机械制造与自动化,2021,50(5):215-218.

收稿日期:2022-09-27

(上接第 213 页)

3)影响升弓动力学的关键因素为弓头质量、升弓速度和弓网接触位置,由于接触位置不可预测,故以影响程度最大为基准建立接触力等高线图,对于不同受电弓具有不同的弓头质量,根据等高线图可以找到合适的升弓速度,可在实际工程应用中作相应的技术指导。

参考文献:

[1] 谢维达. 多流制列车及其在我国的应用前景[J]. 城市轨道交通研究,2010,13(3):

[2] 吴延清. 电气化铁路接触网故障原因及其防护措施分析[J]. 自动化应用,2019(3):120-121,131.

[3] 杨春燕. 电力机车与城轨车辆双制式牵引供电系统的研究[D]. 大连:大连交通大学,2009.

[4] YAO Y M, ZHOU N, ZOU D, et al. Collision dynamics analysis of lifting the pantograph[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit,2021,235(4):450-462.

[5] 秦登,李田,张继业,等. 升弓高度对列车受电弓气动

性能的影响[J]. 中国科学(技术科学),2020,50(3):335-345.

[6] 王庆峰,刘伊宁,李相强,等. 城际列车升降弓电磁辐射特性研究[J]. 电力电子技术,2022,56(2):43-45,55.

[7] 郭凤仪,王喜利,胡兴邦,等. 弓网电弧电磁辐射噪声仿真研究[J]. 系统仿真学报,2017,29(1):83-90.

[8] 刘伊宁. 弓网离线与升降弓过程电磁骚扰特性研究[D]. 成都:西南交通大学,2021.

[9] 周宁. 350km/h 及以上弓网动态行为研究[D]. 成都:西南交通大学,2013.

[10] 张卫华. 高速列车耦合大系统动力学理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2013.

[11] YAO Y M, ZHOU N, MEI G M, et al. Analysis of collision dynamics of lifting the pantograph during vehicle operation[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit,2022,236(7):793-802.

收稿日期:2022-10-11