

基于 LabWindows/CVI 的排水管道机器人 测控系统设计

曹建树, 张 义, 黄子茂, 徐宝东

(北京石油化工学院 机械工程学院, 北京 102617)

摘要:介绍了国内排水管道现状及检测与维护情况, 针对排水管道机器人特殊的作业环境, 设计了一种基于 LabWindows/CVI 的排水管道机器人测控系统。该系统以 PLC 为核心, 采用电涡流位移传感器与摄像头结合检测管道缺陷, 引入模糊控制算法, 增强了系统的鲁棒性和可靠性。通过基于 LabWindows/CVI 虚拟仪器设计的上位机软件与下位机 PLC 实时通信, 实现了系统对机器人动作的控制, 以及数据的采集、处理、存储、显示等功能。整个系统人机交互简单、抗干扰性强、可靠性好, 可满足机器人作业时的清理和检测要求。

关键词:排水管道; 机器人; 测控系统; PLC; LabWindows/CVI

中图分类号: TP242.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8829(2014)08-0080-04

Design of Measurement and Control System of Sewer Pipe Robot Based on LabWindows/CVI

CAO Jian-shu, ZHANG Yi, HUANG Zi-mao, XU Bao-dong

(School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Petro-Chemical Technology, Beijing 102617, China)

Abstract: The current situation of detection and repair of domestic sewer pipeline is introduced. Considering the special working environment of the sewer pipe robot, a measurement and control system based on LabWindows/CVI is designed. The PLC is adopted as core controller of the system, the eddy current displacement sensor combined with the CCD camera is used for detecting defects of sewer pipe. To improve the robustness and reliability of the system, the fuzzy control algorithm is applied. The functions of robot motion control, as well as data acquisition, process, storage and display are realized through the real-time communication between the PLC and upper computer software based on LabWindows/CVI. The overall system design has the advantages of convenience to operation, easy human-computer interaction and high reliability, which can meet the needs of inspect and dredge during the robot operation.

Key words: sewer pipe; robot; measurement and control system; PLC; LabWindows/CVI

地下排水管网被称为城市的“肠胃”, 其运行状况直接决定整个城市有序运行。排水管道堵塞轻则造成污水横流, 影响市民正常生活和市容市貌; 重则造成城区积水内涝, 威胁市民生命和财产安全。因此, 做好城市排水管道疏通、维护工作, 保证排水管网系统正常运行意义重大。目前由于对排水管道检测的重要性认识不足, 管道维护基本是被动进行(只有在污水管道出现堵塞或破裂, 造成不利影响后才进行维护), 不仅易

引起环境污染, 而且抢修费用高^[1]; 排水管道维护不仅与污秽、恶臭等打交道, 而且危险性大。因此, 研究开发机器人进行排水管道疏通和检测作业, 既是主动维护排水管网正常运行的需要, 也是市政管理、维修人员的迫切愿望^[2]。

江苏工业学院研制的排水管道机器人, 控制系统采用两块 AT89S51 型单片机, 其中一块置于控制面板, 便于地面人员进行操纵; 另一块嵌在清淤机器人内部, 地面操作人员通过串行通信对管道中机器人的行走机构、绞刀机构以及适径机构进行比例控制。整个控制系统鲁棒性和适应性好, 可满足管道机器人清淤及摄像检测要求^[2]; 哈尔滨工程大学设计的城市排水

收稿日期: 2013-09-05

作者简介: 曹建树(1971—), 男, 内蒙古丰镇人, 博士, 副教授, 主要从事天然气管道检测等相关设备的设计和实验研究工作。

管道机器人,控制系统以 ATmega16L 单片机为核心,结合单片机和 CPLD 各自优点,引进多速率控制策略和积分分离 PID 控制算法,增强了系统鲁棒性和抗干扰能力,为管道机器人运动控制提供了很好的控制平台^[3]。近些年排水管道机器人的控制系统设计可满足机器人在排水管道中的疏通作业要求,使机器人具备管道堵塞、破损情况检测(通过摄像检测)能力,但不具备数据实时处理功能,且单独通过摄像检测,管道缺陷检测能力有限。

本文基于电涡流位移传感器和 LabWindows/CVI 设计了一种使机器人同时具备疏通、摄像检测、电涡流检测及数据处理功能的新型测控系统,分析了测控系统组成及其原理,并在实验室条件下对测控系统进行了测试。

1 机器人系统结构

由于机器人工作环境在管道内,空间有限,并且要完成管道疏通、检测及行走等功能,因此机器人整体采用模块化设计,分为 4 部分:清理仓、推进仓、阀仓和动力仓,如图 1 所示。为保证机器人在充满污水的排水管道内可正常工作,各部分均采用密封设计。为确保机器人在湿滑、淤积管道内行走、疏通具有足够动力,行走机构及清理装置均采用液压驱动。

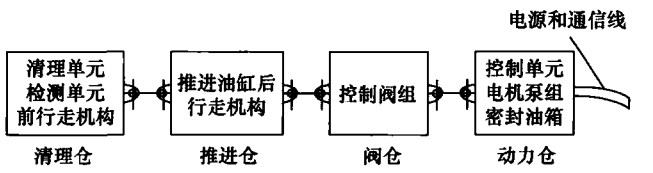


图 1 机器人系统模块框图

机器人样机如图 2 所示。机器人系统所达到的主要技术指标由表 1 所示。缺陷检测装置采用 CCD 摄像头和电涡流位移传感器。

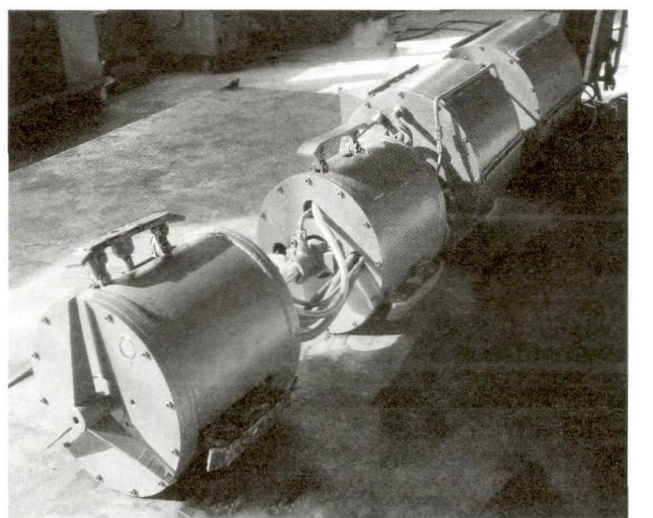


图 2 机器人系统样机

表 1 主要技术指标

参数	指标
适用管道直径	400 ~ 450 mm
最大牵引力	8000 N
最大行走速度	0.5 m·min ⁻¹
最大工作距离	28 m
疏通最大扭矩	60 N·m
液压额定压力/流量	12.5/(2 ± 2) (MPa/L·min ⁻¹)

2 测控系统硬件设计

2.1 总体结构设计

机器人在管道中行走时,行走机构撑紧在不同管径的管道内壁,以适应不同管径,同时使机器人行走具有充足稳定的牵引力,疏通作业具有足够扭矩。压力传感器可检测各组行走机构和管道内壁之间的压力,保证管道机器人以稳定压紧力撑紧在管道内壁上。机器人疏通作业时,可能遇到不同程度的淤积和堵塞,因此,需要对清理刀具进行速度和方向控制。管道内环境恶劣,为增加机器人适应环境变化的能力,测控系统需完成对机器人行走动作、速度的监控和位置的检测。本文设计的测控系统采用上、下位机结构,对数据采集、处理和实时控制进行集中管理。结构如图 3 所示。

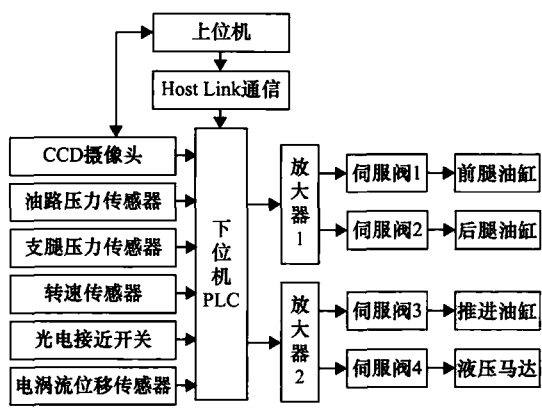


图 3 测控系统结构

下位机以 PLC 为核心,进行传感器信号采集和机器人动作控制。采集接近开关、转速和压力传感器信号用以监控机器人状态;采集 CCD 摄像头和电涡流位移传感器信号用于管道缺陷检测检测。控制放大器驱动电压,用以校准伺服阀开度,从而控制油缸伸缩和液压马达转速,实现对机器人动作的控制。上位计算机通过 Host Link 通信协议与下位机 PLC 进行通信,获取机器人状态,发出命令实时控制机器人动作,并对采集到的数据进行处理、显示、保存。

2.2 电涡流检测设计

电涡流检测是探测导电材料表面或近表面缺陷的一种无损检测方法。电涡流检测以电磁感应理论为基

础。当把通有交变电流的激励线圈靠近导电材料时,导电体感应出电涡流,产生的磁场会影响原有磁场,这会引起线圈阻抗发生变化,通过测量线圈阻抗变化即可检测导电体表面的裂纹^[4]。

电涡流检测设计如图 4 所示。测量部分采用感应桥式电路。电桥平衡,无信号输出;电桥失去平衡产生输出信号。所以当测量线圈远离管壁缺陷时,阻抗不受影响,电桥平衡;当靠近管壁缺陷时,测量线圈阻抗发生变化,电桥不平衡产生输出信号。通过测量输出信号即可获得缺陷的相关信息^[5]。

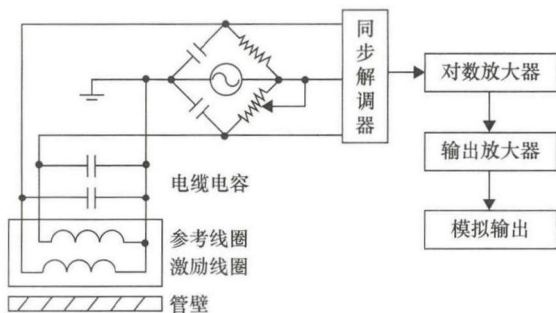


图 4 电涡流检测原理图

3 测控系统软件设计

3.1 上位机与下位机的通信

为了简化下位机欧姆龙 PLC 编程以及提高通信可靠性,上、下位机之间通信采用欧姆龙 PLC 内置 Host Link 通信协议。Host Link 协议是上位机(通常为计算机)和欧姆龙 PLC 通信中使用的一种协议^[6]。该协议格式如图 5 所示。

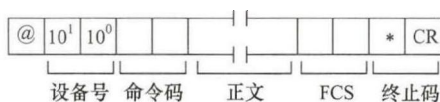


图 5 Host Link 通信协议格式

前导码用“@”表示;设备号用 00~31 之间的两位十进制数表示;命令码由两个字符表示,具体命令码可查阅相关说明书;校验码 FCS 为 8 位二进制数转换成的 2 位 ASCII 字符,这 8 位数据是将一帧中 FCS 前所有字符的 ASCII 码按位连续异或的结果。

Host Link 链接可通过 RS232 或 RS485 接口建立。RS232 通信距离太短且抗干扰能力弱,RS485 具有很强的抗共模干扰能力,传输距离远,传输速度快,因此使用 RS485 接口建立 Host Link 链接。编写通信程序时,利用 LabWindows/CVI 标准函数库内的串口通信控制函数和 I/O 函数,可实现串口通信参数设置以及发送和接收数据等基本操作^[7]。

3.2 模糊控制算法及其 PLC 实现

排水管道机器人液压伺服系统采用模糊控制。液

压伺服系统是典型的时变、非线性不确定系统,难以精确建模。模糊控制不要求掌握受控对象的精确数学模型,而根据人工控制规则组织控制决策表决定控制量大小。采用基于 PLC 的模糊控制,不但使液压伺服系统控制更加可靠,而且保留了 PLC 控制系统控制灵活、适应能力强等特点,大大提高了控制系统的智能化。下面以清理刀具转速控制为例说明模糊控制算法及其在 PLC 上的实现。

清理刀具转速控制系统为阀控马达转速控制系统,控制原理如图 6 所示。 e 为刀具转速偏差, e_c 为转速偏差变化率, K_e 、 $K_{\Delta e}$ 分别为转速偏差和转速偏差变化率的量化因子, u 为模糊控制器的输出控制量(伺服阀控制电压), K_u 为输出量化因子。由转速传感器检测液压马达转速及其转速误差率反馈给 PLC 控制器,然后采用模糊控制算法对伺服阀进行控制,形成闭环实时控制系统。

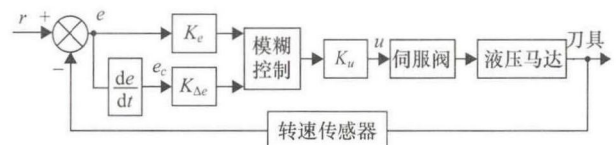


图 6 模糊控制原理

输入定义为

$$\begin{cases} e(k) = n_r - n_f \\ e_c(k) = [e(k) - e(k-1)]/T \end{cases}$$

式中, n_r 为转速给定值; n_f 为实际转速反馈值; $e(k)$ 为 kT 时刻误差; $e(k-1)$ 为 $(k-1)T$ 时刻误差; T 为采样时间。

程序设计时,模糊控制算法流程如图 7 所示。将量化因子置入 PLC 保持继电器中,然后将输入量采集到 PLC 数据块中,经过限幅量化处理后,根据其所对应的输入模糊论域中的相应元素,查模糊控制查询表,求得模糊输出量,再乘以输出量化因子即可得实际输出量,由 D/A 模块输出进行控制^[8]。

3.3 上位机软件设计

上位机软件由 LabWindows/CVI 编写而成。LabWindows/CVI 将功能强大、使用灵活的 C 语言平台与数据采集分析和显示的测控专业工具有机结合起来。利用其集成化开发环境、交互式编程方法、函数面板和丰富的库函数大大增强了 C 语言的功能,为编写检测系统、自动测试环境、数据采集系统、过程监控系统等应用软件提供了一个理想的软件开发环境^[9]。软件界面如图 8 所示。

上位机软件主要功能是摄像检测、涡流检测、机器人运行控制、清理刀具控制、通信、数据报表以及其他辅助功能等。软件采用模块化编程,将各种功能的实

现程序编制成为独立模块,根据需要进行调用运行。简化了编程过程,增加程序可读性。

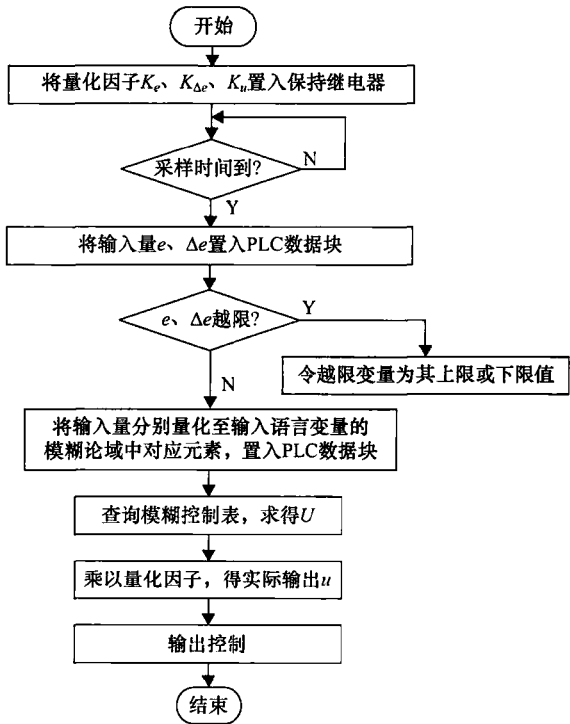


图7 模糊控制算法流程图

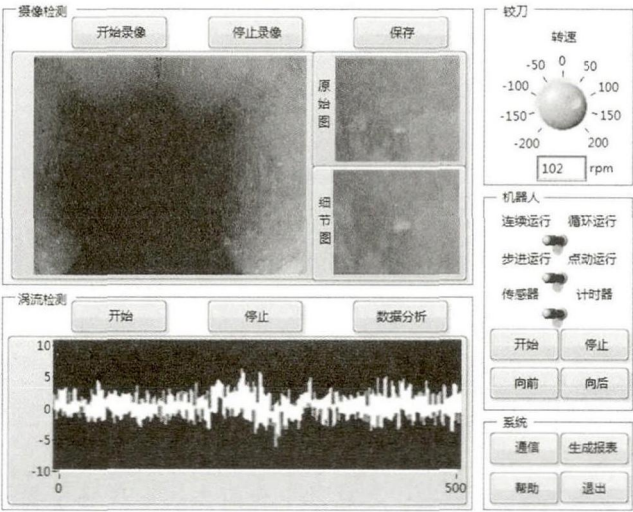


图8 上位机软件界面

4 系统测试

为验证测控系统准确性、实时操控性和数据采集、分析能力,在实验室条件下对该系统进行测试。在直径为400 mm并带有缺陷的钢管加入一定量的水和淤泥,模拟排水管道。将机器人置于模拟管道内运行。由上位机软件界面可知测控系统采集到清晰图像和涡流检测信号。涡流检测信号采用小波分析结果如图9所示。

由图9可看出,原始信号无法分辨出管壁是否存在

缺陷。但经过小波分析可看到明显的缺陷信号。因而表明运用小波分析可以较准确地分析出缺陷信号。

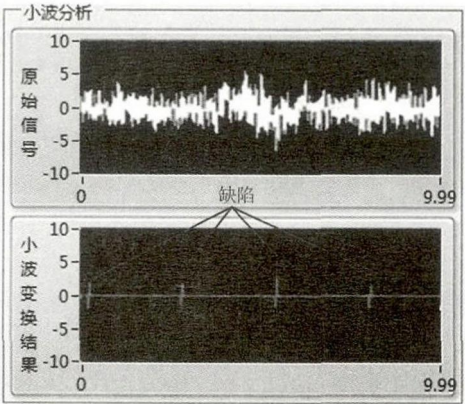


图9 小波分析结果

5 结束语

针对排水管道机器人作业要求,本文设计了以PLC为核心控制器,计算机实现人机交互的测控系统。开发了基于Labwindows/CVI的上位机软件,实现了上位计算机与机器人的通信、对机器人的控制以及数据采集、分析。通过模拟排水管道测试实验,表明整个测控系统可靠性好,便于维护和扩展,满足排水管道机器人实际作业的控制与缺陷检测要求。

参考文献:

[1] MacLeod C W, Ariaratnam S T, Chua K. Evaluation of emergency repair attributes for sewer infrastructure management [C]//Canadian Society for Civil Engineering, Annual Conference. 2000.

[2] 嵇鹏程,沈惠平. 基于AT89C51控制的排水管道清淤机器人的设计[J]. 机械设计与制造, 2010(12): 165-167.

[3] 王立权,贾守波,郭黎滨,等. 城市排水管道机器人控制系统研究[J]. 机床与液压, 2008, 36(6): 96-98.

[4] 任吉林. 涡流检测技术近20年的进展[J]. 无损检测, 1998, 20(5): 121-128.

[5] 梁鸿生,张黎椿,李玉军,等. 基于小波变换的轮毂表面裂纹涡流检测系统[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(9): 887-889.

[6] 苏红海,戴义保. OMRON PLC的HOST Link网络通信系统[J]. 工业仪表与自动化装置, 2003(1): 55-56.

[7] 代峰燕,纪文刚,曹建树,等. 用LabWindows/CVI实现PC与PLC串行通讯的方法[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(10): 149-151.

[8] 王志凯,郭宗仁,李琰. 用PLC实现模糊控制的两种设计方法[J]. 中国仪器仪表, 2002(1): 4-6.

[9] Metzger M. Design of freely programmable Labwindows/CVI-based real-time simulators for testing industrial controllers [J]. Computer Standards & Interfaces, 1999, 21(2): 115-118.

□