

电能表自动化检定机器人可靠挂卸表方案设计与实现

邵雪松, 蔡奇新, 黄奇峰, 王忠东, 刘 建

(江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 210019;
国家电网公司电能计量重点实验室, 江苏 南京 210019)

摘 要: 针对电能表自动化检定, 本文设计并实现一种智能机器人系统及可靠挂卸表方案。采用基于以太网和 PROFIBUS 总线的电气控制架构, 软件控制层采用 OPC 控制组件对传输数据进行封装, 方便 PLC 控制器与上层调度系统数据交互, 实现挂卸表、条码扫描、表箱绑定、视觉定位等功能。为提高机器人挂卸表鲁棒性, 设计反表、无表、少箱等异常情况的处理机制, 保证任务流程正常进行。挂卸表完成之后, 利用前馈加反馈控制原理对电能表挂卸状态进行视觉判定, 对于位置偏差较大的表位状态进行位置调整。同时, 根据机器人运行空间规划挂卸表路径, 使机器人能够有效避开周围设备, 高效安全完成任务动作。本文设计的机器人系统及可靠挂卸表方案在江苏省电力公司计量中心得到实验验证, 运行结果表明系统运行稳定可靠, 有效提高了电能表检定效率, 具有很强的推广应用价值。

关键词: 电能表自动化检定; 机器人; 挂卸表

中图分类号: TP24 **文献标识码:** A

Design and Implementation of Reliable Energy Meter Hanging/Unloading of the Robot in Automated Calibration

SHAO Xue-song, CAI Qi-xin, HUANG Qi-feng, WANG Zhong-dong, LIU Jian

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Research Institute, Nanjing, 210019, China

2. State Grid Key Laboratory of Electric Energy Measurement, Nanjing, 210019, China)

Abstract: For energy meter automated calibration, this submission designs and implements an intelligent robot system and the solution for reliable hanging/unloading of energy meters. The electric control architecture is based on Ethernet and PROFIBUS. By using OPC control components for data package, software control layer is convenient to transfer data between the PLC controller and the upper dispatch system. The robot implements the functions of energy meter hanging/unloading, bar code scanning, meter box binding, visual positioning and so on. In order to improve the robustness of the energy meter hanging/unloading, the abnormal handling mechanisms of anti-putting energy meters, no energy meters and meter box lacking to ensure the task flow. After the robot hanging/unloading energy meters, the on-board camera judges the position status according to the feedforward and feedback control principles. For large deviation energy meters, the robot adjusts their positions automatically. Meanwhile, the robot end-effector running paths are planned based on the operating space, so that the robot can effectively avoid surrounding equipments effectively and safely. The design of the robot system and the solution for reliable hanging/unloading of energy meters are tested in the Measurement Center of Jiangsu Province Power Company. The experimental results show that the proposed method can improve the efficiency of energy meter calibration and has a strong promotion value.

Key words: automated energy meter calibration, robot, meter hanging/unloading

0 引言

国家电网公司省级计量中心的成立, 经历了从市公司计量中心到区域计量中心, 再到全省集中的发展历程。从检定业务量上来看, 计量中心是现有各市计量中心的总和。电能表自动化检定系统作为省级计量中心建设的重要组成部分, 充分利用自动

化技术的优点, 使自动化技术和电力系统检定装置充分结合。可减少传统检定装置在检表过程中人为因素对电能表检定的影响, 提高检定的工作效率、可靠性、稳定性, 实现自动化、信息化管理, 并且能够节约大量的人力资源^{[1]-[3]}。

相对与流水线检定方案, 机器人挂表的检定方案具有占地面积小, 运维检修方便快捷, 系统运行

风险小的特点^{[4]-[6]}。在机器人挂表的检定方案中，智能机器人实现上下表、条码扫描及视觉定位功能；自动检定装置实现自动压接、翻转及检定功能；AGV小车完成箱垛的输送任务。检定任务开始时，智能电能表通过AGV输送单元从库房接驳处输送到检定单元，智能机器人把电能表从周转箱取出挂到电能表自动化检定装置，机器人挂表的同时完成身份识别，电能表自动化检定装置完成耐压测试、功能及误差检测，检定完成后由机器人把电能表下到周转箱；再由AGV输送到库房接驳处，送至封印贴标线，最后送到自动化库房。在整个任务流程中，机器人运行可靠性、挂卸表成功率将直接影响电能表自动化检定线生产效率和运行可靠性。

本文从电能表自动化检定系统方案设计出发，重点围绕挂表机器人电气系统设计，软件系统设计，任务流程以及功能模块设计，开发适合电能表自动化检定的机器人可靠挂卸表方案。

1 电能表自动化检定总体介绍

基于机器人挂卸表的电能表自动化检定系统框图如图1所示。电能表以垛为单元存储在库房中，每垛包含5箱，每箱可装12只单相电能表或4只三相电能表。出入库站台是库房和AGV小车之间的接驳装置，分为出库站台和入库站台。转接台是AGV小车和机器人之间的接驳装置，同时也是机器人执行挂卸表操作时的周转箱存放位置，每台检定装置对应一组转接台，每组转接台包含3个，分别为待检表转接台，空箱转接台和已检表转接台。每个机器人对应若干台检定装置，机器人在导轨上运行，执行对应检定装置的挂卸表任务。

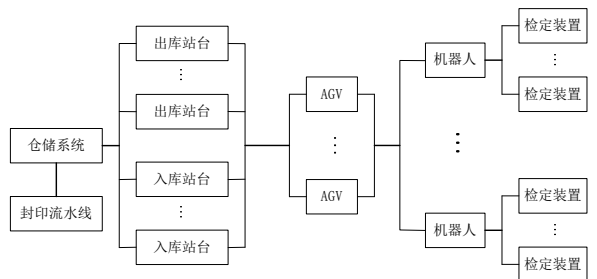


图1 电能表自动化检定系统框图

Fig.1 System diagram of Energy Meter Automated Calibration

接到生产任务后，仓储系统将电能表从库房提取出来送至出库站台，AGV小车从出库站台取表送至检定装置待检转接台，机器人从待检转接台取表

挂至检定装置，同时完成身份识别和表箱绑定，检定装置执行压接翻转操作，并按照电能表检定流程完成检定任务，机器人从检定装置卸表放至已检转接台，AGV小车从已检转接台取表送至入库站台，从而完成整个电能表自动化检定^[7]。

2 机器人系统方案设计与实现

机器人在电能表自动化检定系统中完成电能表的挂卸操作和身份识别任务。挂表成功率直接关系到检定装置的压接成功率，卸表成功率保证电能表被准确放入周转箱对应位置，为封印贴标提供可靠条件，身份识别对于电能表的表箱绑定和资产全生命周期管理具有重要意义。

2.1 机械结构

机器人机械系统包括手爪、机械臂、移动小车、升降机构和伸缩机构组成^[8]，总体结构如图2所示。

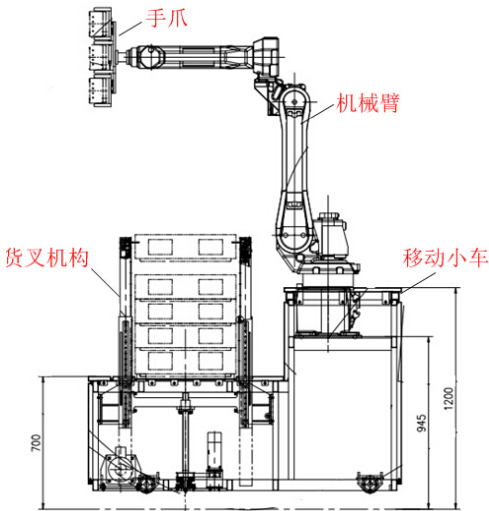


图2 机器人总体结构图

Fig.2 Robot overall structure

(1) 由于三相电能表重量为单相电能表3倍，因此每个单相机器人包含三个抓取机构，三个手爪并排排列，每个三相机器人包含一个抓取机构。手爪采用滑台控制，实现将电能表从表箱挂至检定装置或者从检定装置放回表箱的抓取作业。

(2) 机器人采用六自由度垂直作业机械臂，以移动小车为底座，可实现到达运动范围内任意位置的运动。

(3) 移动小车采用四轮机构，实现在导轨上的移动功能，由交流伺服电机驱动，采用皮带传送，最大行走速度可达2m/s。

(4) 货叉由升降机构和伸缩机构组成，升降机

构采用丝杠传动，伸缩机构采用钢丝传动，由交流伺服电机驱动，每侧伸缩机构包含两个气动夹爪，用于实现对电能表箱的取箱、移栽操作。

2.2 电气系统

机器人电气系统采用西门子PLC CPU314C-2 PN/DP 作为主控单元，CPU 314C-2 PN/DP 是 S7-300 产品系列的紧凑型 CPU，具有二进制运算和浮点运算时处理速度快、接口模块丰富的特点。PLC通过PROFIBUS总线，网络和I/O通讯实现对整体电气设备控制，电气系统示意图如图3所示。

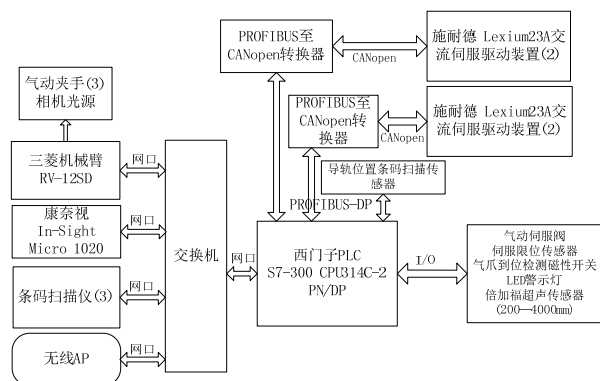


图3 机器人电气系统示意图

Fig.3 Robot electrical system diagram

(1) PROFIBUS 控制模块。PLC 通过 PROFIBUS DP网络与伺服驱动器、导轨条码扫描器连接。伺服采用施耐德Lexium23A交流伺服驱动装置，伺服驱动器具有CANopen通讯总线接口，因此在伺服驱动器与PLC之间添加了PROFIBUS至CANopen的总线转换器，每个转换器支持两个驱动设备。导轨位置条码扫描传感器采用劳易测PROFIBUS DP专用的条码定位系统，实现机器人行走双闭环位置定位。

(2) 网络控制模块。PLC通过网络交换机与机械臂、相机、条码扫描仪以及无线AP相连。针对电能表自动化线装置类型多，操作空间小的需求，采用三菱公司12kg垂直运动机械臂。相机选用康奈视In-Sight Micro系列，固定在机器人手爪下方，用以实现挂表位置定位、挂卸表状态检测以及表计正反有无处理等功能。每个机器人抓手安装一个条码扫描仪，抓表的同时完成电能表条码扫描。此外，机器人上安装有无线AP，通过无线网络与主网系统连接，接收调度系统控制。

(3) I/O控制模块。PLC通过I/O模块实现气动伺服阀、伺服限位开关、气爪到位检测磁性开关、

LED指示灯以及障碍物超声检测传感器的信号读取与控制。

3 软件系统设计

3.1 软件控制架构

在电能表自动化检定系统中，机器人作为其中的关键环节，其控制系统必须接受调度系统控制，同时控制机器人电气设备执行相应操作，因此机器人软件系统包括三大部分：机器人控制台，OPC服务器和PLC控制系统^[9]。

机器人控制台接收调度系统控制指令，并将作业指令转发给机器人电气控制系统，当机器人电气设备出现故障、报警时，通过控制台传送给调度系统；同时，机器人控制台直接控制电能表条码扫描器，将条码扫描结果上传调度系统。OPC 是以 OLE/COM 机制作为应用程序的通讯标准，具有语言无关性、代码重用性、易于集成等优点。OPC 规范了接口函数，不管现场设备以何种形式存在，客户都以统一的方式去访问，从而保证软件对客户的透明性，使得用户完全从低层的开发中脱离出来。因此选用 OPC 服务器作为机器人控制台和 PLC 底层控制系统的应用接口，方便数据封装与传输。PLC 控制系统作为设备底层控制，负责伺服驱动器、条码扫描器、机械臂控制器以及各传感器控制。

3.2 挂卸表任务流程

(1) 挂表任务

机器人接到挂表任务后，经过表箱检测、表码扫描、挂表三个环节将电能表挂至检定装置对定表位，挂表流程如图4所示。

表箱检测：调度系统从库房提取的每垛周转箱标准数量为5个，但由于人为因素干扰或批次尾表数量无法达到5箱，机器人在挂表之前需要对调度系统下发的当前垛周转箱数量进行确认。为此，在机器人货叉两侧安装光电对射传感器，在执行挂表任务之前，提升机构首先运行到第5箱所在位置，判断当前位置是否有表箱，如果检测结果与下发任务箱数一致，即执行后续取箱挂表操作，否则停止操作并上报调度系统任务箱数不符。

表码扫描：机器人从周转箱内抓表之前需要扫描条码并上报调度系统。表码扫描失败时必须判断当前表位的电能表是否放反或无表。因此，在反表或无表判断环节，首先对表计进行拍照并识别条码，

如果整个表计上都不存在条码,则判断该表位无表,机器人执行正常抓表动作;否则将机械手爪旋转 180° ,反转扫码器进行表码扫描,若此时扫码成功,判断该表位表计放反。对于放反的电表,通过机械手将表计抓起放至电表反转装置旋转 180° ,再由机械手放回表箱,继续完成挂表动作。

挂表至检定装置:挂表包括抓表、视觉定位、挂表、放表、挂表状态检测及挂表位置调整等步骤。挂表操作采用位置前馈加挂表状态反馈的双重控制机制,机器人将电表从周转箱抓取挂至检定装置之前,利用相机进行视觉定位,将检定装置表位上的绿色十字光标作为定位基准,通过补偿偏差值获取当前挂表位置。电表挂至检定台体之后,对挂表状态进行拍照,判断电表是否完全挂至检定装置对应表位,如果存在表计位置偏差,则通过机器人手爪上的被动柔顺装置将电表拨至正确位置。

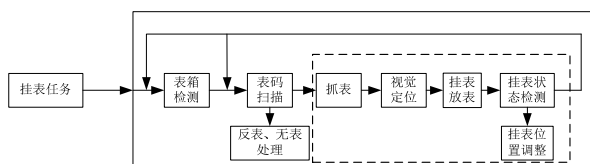


图4 挂表任务流程

Fig.4 Energy meter hanging task flow

(2) 卸表任务

检定装置完成检定任务后,机器人需要将电表下装至周转箱。卸表过程与挂表过程类似,具体流程如图5所示,需要注意的是机器人卸表过程中要进行表箱绑定,将指定电表放至对应周转箱。机器人在从检定装置卸表之前同样需视觉定位,补偿抓表位置,获取准确位置之后开展抓表、卸表、表计放箱操作。因为电表周转箱表位间距裕量很小,可能存在电表没有完全落入周转箱表位内部的情况出现,因此,在机器人卸表放箱之后对表位状态拍照确认,如果存在表计没有放箱到位,则通过机器人手爪上的被动柔顺装置将电表拨回正确放箱位置。

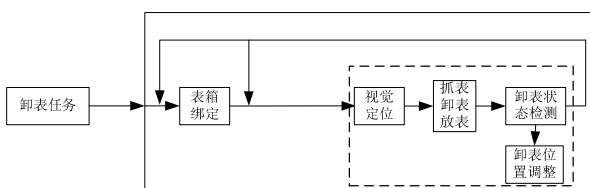


图5 卸表任务流程

Fig.5 Energy meter unloading task flow

4 系统集成与测试

本文提出的电表自动化检定机器人系统设计方案在江苏省电力公司计量中心电表自动化检定基地进行了实际应用测试。机器人固定在运行导轨上,电表检定装置和表箱运送转接台分布在导轨两侧,每台单相机器人对应操作4-6台检定装置,每台三相机器人对应操作7-10台检定装置,系统安装布局如图6所示。



图6 电表自动化检定机器人系统结构图

Fig.6 Robot system structure of the energy meter automated calibration

机器人将周转箱移栽至合适位置后开始挂表,从机器人抓表到将电表挂至检定装置,运动路径存在以下关键点:表码扫描位置点、抓表位置点、过渡点以及挂表位置点。以检定装置的第一列单相电表挂表为例测试机器人挂表功能。

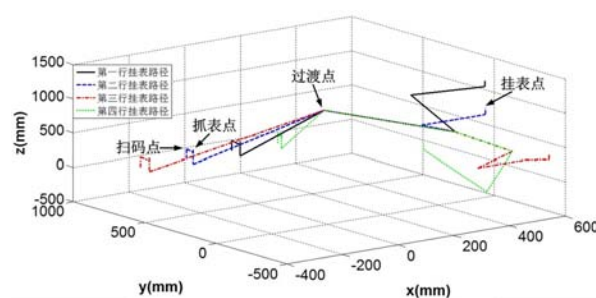


图7 挂表路径示例

Fig.7 Example of energy meter hanging path

从图7可以看出,黑色实线表示的是检定装置第一行挂表路径,蓝色划线表示的是第二行挂表路径,红色点划线表示的是第三行挂表路径,绿色点线表示的是第四行挂表路径。为了保持周转箱重力平衡,机器人优先将中间两排电表取出,然后抓取两端的电表,对检定装置从上往下依次挂表。在第一、第二行挂表时,运动空间内无障碍物遮挡,运动路

径简单,选取4个过渡点;对于第三第四行挂表,由于机器人本体与检定装置距离较小,运动空间狭窄,因此,选取6个过渡点构成运动路径,避免机器人手爪与检定装置发生碰撞。

机械臂运行速度设置为70%,以每垛表60只作为测试条件,上表时间为5分12秒,卸表时间为4分36秒,满足系统设计节拍需求。机器人控制系统无任务缓冲,实时接收并执行当前任务,不存在任务丢失现象。

5 结束语

本文针对电能表自动化检定,设计并实现了机器人挂卸表方案,合理设计了机器人机械系统、电气系统和软件系统。在任务流程中,针对反表、无表、少箱等情况,机器人能够主动识别并有效处理。在挂卸表状态检测环节,对挂卸完成的电能表位置状态进行视觉判定,对于位置偏差较大的表位状态进行位置调整,保证挂卸到位。通过合理规划挂卸表路径,使机器人能够有效避开周围设备,高效完成任务动作。该机器人系统能够满足电能表自动化检定的自动挂卸表需求,为自动化检定线可靠运行提供了保障。

参考文献:

- [1] 黄奇峰,王忠东,蔡奇新,等.电能表自动化检定压接过程动力学仿真分析[J].科技咨询,2013(33):109-110.
HUANG Qi-feng, WANG Zhong-dong, CAI Qi-xin, et al. Dynamic Simulation Analysis of Electricity Meter Automatic Verification Process Pressure [J]. Science & Technology Information, 2013(33): 109-110.
- [2] 张斌.超大规模智能电能表自动化检测关键技术研究[J].产业与科技论坛,2013,9(12):50-51.
ZHANG Bin. Key Technologies on Automatically Verifying Super Large-Scale Smart Meter [J]. Industrial & Science Tribune, 2013, 9(12): 50-51.
- [3] 张燕,黄金娟.电能表智能化检定流水线系统的研究与应用[J].电测与仪表,2009(12):74-77.
ZHANG Yan, HUANG Jin-juan. Research and Application of Intelligent Verification Line System for Electric Energy Meter [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2009(12): 74-77.
- [4] 高利明,陈卓娅,张裕晓,等.一种智能化全自动流水线电能表检定系统[J].河南电力,2011(4):38-41.
GAO Li-ming, CHEN Zhuo-ya, ZHANG Yu-xiao, et al. A Kind of Intelligent Automatic Assembly Line Verification System for Electric Meter [J]. Henan Electric Power, 2011(4):38-41.
- [5] 李野,曹国瑞,石卫平.三相电能表自动化检定系统的研究与应用[J].吉林电力,2013,41(3):17-19.
LI Ye, CAO Guo-rui, SHI Wei-ping. Research and Application on Three Phases Electric Energy Meter Auto Verification System [J]. Jilin Electric Power, 2013, 41(3): 17-19.
- [6] 何志强,王雍,刘忠,等.柔性控制技术在三相智能电能表自动化检定系统中的应用[J].电测与仪表,2013,50(6):78-82.
HE Zhi-qiang, WANG Yong, LIU Zhong, et al. Flexible Control Technology in the Application of Smart Polyphase Electricity Meter Automatic Testing [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2013, 50(6): 78-82.
- [7] 陆祖良.关于电能表现场检定的讨论[J].电测与仪表,2011,48(1):1-5.
LU Zhu-liang. Discussion for On-site Verification of Electrical Energy Meter [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2011, 48(1): 1-5.
- [8] 李成伟,朱秀丽,负超.码垛机器人机构设计与控制系统研究[J].机电工程,2008,12(25):81-84,99.
LI Cheng-wei, ZHU Xiu-li, YUN Chao. Design and Research of Stacking Robot Kinematics [J]. Mechanical & Electrical Engineering, 2008, 12(25): 81-84, 99.
- [9] 杨汝清,高建国,胡洪国.高速码垛关键技术研究[J].高技术通讯,2004,14(1):35-38.
YANG Ru-qing, GAO Jian-guo, HU Hong-guo. Key Technology Research of High-speed Palletizing [J]. High Technology Letters, 2004, 14(1): 35-38.

作者简介:

邵雪松(1987-),男,博士,研究方向为机器人控制和电能表自动化检定技术,Email: xuesong.shao@gmail.com;
蔡奇新(1978-),男,硕士,研究方向为电力计量和自动控制技术;
黄奇峰(1968-),男,本科,研究方向为电力计量和自动控制技术;
王忠东(1969-),男,本科,研究方向为电力计量和电网技术;
刘建(1981-),男,博士,研究方向为电能表自动化检定技术。