

短小丝条状物料包装关键技术原理

徐林¹, 李磊², 张晓春³, 陈宝江¹

(1.北京建筑大学,北京 100044;2.宝鸡石油机械有限责任公司(国家油气钻井装备工程技术研究中心),
宝鸡 721002;3.首钢工学院,北京 100041)

摘要: **目的** 为了提高食品、医疗等行业包装产品的生产效率、自动化程度以及降低企业成本,对能够实现短小丝条状物料连续包装、自动计量和充填来代替人工操作的特殊机械手开展研究。**方法** 应用机电一体化和控制技术,设计一种全自动机械手,机械手整体采用直角坐标型设计方案;机械手由 6 只料手构成,并配置单片机称量装置,实现自动计量;料手采用多指结构,通过控制料手动作,实现抓取物料和卸放充填包装;机械手水平往复运动和竖直上下运动由 PLC 控制实现;**结果** 对机械手样机进行试验研究,结果表明该机械手能够模仿人工操作,可以实现对短小丝条状物料的拾取、计量和充填。**结论** 该机械手的设计原理可行,为短小丝条状物料的全自动化包装奠定了技术基础。

关键词: 短小丝条状物料;包装机械手;单片机;PLC 运动控制

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)11-0138-05

The Key Technical Principle for Packing the Filamentous Materials

XU Lin¹, LI Lei², ZHANG Xiao-chun³, CHEN Bao-jiang¹

(1.Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China;

2.Baoji Oilfield Machinery Co., Ltd. (National Engineering Research Center of Oil and Gas Drilling Equipment), Baoji 721002, China; 3.Shougang Institute of Technology, Beijing 100041, China)

ABSTRACT: The work aims to carry out the research on the special automatic manipulator which can realize the continuous packaging, automatic measurement and filling of the filamentous materials to replace manual operation, in order to improve the production efficiency and automation and reduce business cost in food and medical industry. Based on mechanical and electrical integration and control technology, automatic manipulator was designed, whose overall structure used rectangular coordinate design scheme. The manipulator was composed of six hands with single chip microcomputer weighing device to achieve automatic measurement. Each hand had a multi-finger structure and it could grasp and discharge materials to fill the package through controlling the motion of hands. The horizontal and vertical motion of manipulator was controlled by PLC. By testing the prototype, the manipulator could simulate artificial operation and realize pickup, measurement and filling for filamentous materials. The design principle of the manipulator is feasible and lays the technical foundation for achieving automatic packaging of filamentous materials.

KEY WORDS: filamentous materials; packaging manipulator; single chip microcomputer; PLC motion control

随着市场竞争的日益激烈,采用柔性自动化和无人化包装生产线来降低成本提高效率的包装模式已被众多食品、医药生产商所接纳。目前,包装行业内应用先进的包装技术能够有效地解决颗粒状、粉体、块状、液体和气体等物料连续包装的问题^[1-2]。对于酸菜丝、海

苔丝、鱼腥草等短小丝条状物料,因其具有相互交织、流动性差和不易分离等特点,食品医药加工行业还不能完全应用机器人实现此类物料连续包装过程的全自动计量和自动填充,依然需要人工辅助甚至全人工操作,因此,解决短小丝条状物料的全自动化包装的技术问

收稿日期: 2017-01-05

作者简介: 徐林(1990—),男,北京建筑大学硕士生,主攻包装质量系统。

通讯作者: 陈宝江(1956—),男,博士,北京建筑大学教授,主要研究方向为电液控制系统。

题,具有一定的学术意义和实用价值。文中开展了相应的研究,完成一款能够自动抓取、自动计量、自动循环传输、自动卸放和充填功能的特殊机械手^[3]的设计和基本功样机的制作,开展阶段性的样机试验研究,获得一些有益的数据和结果。

1 机械手整体结构

针对食品医疗行业内短小丝条状物料相互交织的特点,为了实现自动抓取此类物料、自动计量和提升包装生产过程的效率,机械手在结构和功能上采用多料手结构构成机械手组,并且必须满足高灵活度、高精度定位的要求。机械手设计见图 1,其结构主要由机架、滑台和机械手 3 个部分组成^[4]。机械手采用直角坐标型手臂结构,能够降低关节间的耦合度,使其能够相互独立运动。机架在 x 轴方向上固定有运动导轨和水平气缸,机械手组和滑台在气缸的驱动下可沿着整个导轨往复直线运动^[5]。此外,滑台由竖直气缸与运动导轨 2 个主要部件构成,置于机架 y 轴方向上,控制机械手组在 y 轴方向上往复直线运动。

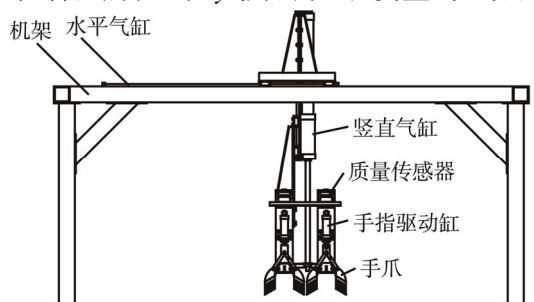


图 1 机械手结构设计

Fig.1 The structure diagram of auto-stuffing manipulator

每组料手由 2 只手爪组成,手爪为多指结构,每只手爪的前端设计为由数个手指构成,见图 2,机械手料手采用连杆驱动机构,让料手抓取鱼腥草等物料时具备更高的灵活性和准确性^[6-7]。当料手按照程序指令进入备料容器时,料手内部的气缸对滑块进行驱动,控制料手的开闭操作。当气缸伸出时,手指完全张开实现卸料操作^[8];气缸缩回时,机械手闭合,2 只手爪能够相互并拢,实现抓料操作。

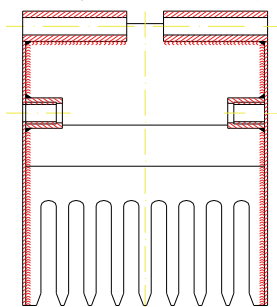


图 2 手爪结构

Fig.2 The schematic diagrams of gripper structure

2 机械手传动系统

为了解决机械手的精确定位和灵活操作,同时考虑到食品医药行业对环境卫生的要求,机械手采用气动伺服系统,工作原理见图 3。

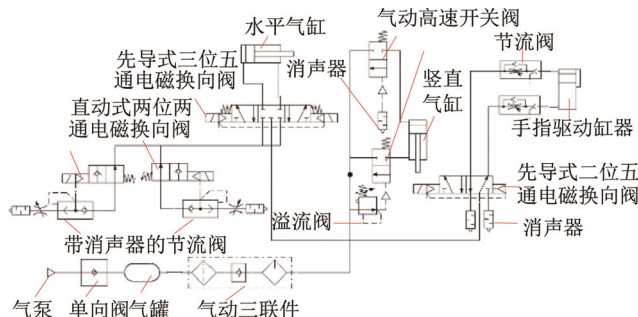


图 3 机械手气压系统工作原理

Fig.3 The pneumatic circuit diagram of automatic metering and filling manipulator

机械手在 x 轴方向运动系统选用刚性强的双作用单活塞杆气缸与三位五通双电控外部先导式换向阀(中位加压型),保证系统意外断电时阀芯能自动回到中位,保持机械手在断电时的位置不动。机械手料手抓取物料的实际质量值与驱动机械手的竖直气缸实际定位有关。以鱼腥草为例,按照机械料手的结构计算,竖直气缸实际定位位置与目标定位位置之间的误差在 ± 2 mm 范围内时,可确保料手抓取物料的质量在 (300 ± 2) g 范围内。为了保证竖直气缸精确定位,在 y 轴运动方向上机械手采用 2 组双作用单活塞杆气缸。高速开关阀采用脉宽调制(PWM)的方式去控制^[9],有效控制了气缸的流量,实现了多点柔性定位和无级调速功能,显著提高了系统的刚性,定位精度达到 ± 1.5 mm,最大限度的降低气缸的冲击和磨损。另外,在高速开关阀的出气口处添加了电磁溢流阀,保证系统在加压或压力异常时迅速调整到正常值,有效防止物料因系统异常而下落。

机械料手运动采用双作用单活塞杆气缸与二位五通双电控外部先导式换向阀^[10],能够让阀芯在系统因意外断电时以机械方式复原到初始位,保持料手在断电时刻的状态。手指驱动气缸的气口处分别装有先导单向排气节流阀^[11],通过控制流量实现对料手操作速度的调节。

3 自动计量与控制系统

全自动计量与充填机械手控制系统主要包括自动计量系统和运动控制系统。考虑到自动计量称量传感器须配置在料手机架上,为减少传输线缆、计量系统体积和系统成本等。自动计量系统采用具有优异控制和运算功能的单片机来实现。运动控制系统的功能是实现机械手总体装置的水平运动,机械手组(料手

本体)和料手的竖直运动的控制。水平运动和竖直运动主要采用启动、加速、匀速、减速这样的开关量控制,是典型的顺序控制,无需浮点运算,并且配置在固定机架上,无体积限制要求,但要有较高可靠性,因此采用 PLC 来实现。

3.1 单片机自动计量系统

上述物料虽然因其“丝条状”具有交织难以分拨特性,采用颗粒类、液体类、粉料类自动计量方法难以奏效,但是因其“短小”则可以“成堆”抓取。如,传统的酸菜丝包装方法,人工抓取后,放置在天平上称量,因此,可以配置专门备料容器(保持物料平面始终处于平展),采用机械手竖直插入物料抓取,通过设计料手规格、抓取深度的控制和抓取物料前后的料手本体质量的测试,实现自动称量。这种方法难以保

证每次抓取质量相等,但是由于物料均匀、料手规格相同,关键是对抓取深度的控制,质量差异不会太大。该单片机自动计量系统是在其他条件满足的前提下,控制料手插入物料的深度来保证每次抓取质量差异在一定范围之内。该计量系统采用按实际称量输出物料填充到包装工位(包装袋),最终将质量打印在包装袋上(包装打印系统超出文中研究范围)。基于上述原理、高精度称量传感器和嵌入式单片机技术,短小丝条状物料机械手包装自动计量系统主要由微控制器、数据采集、数据处理、结果显示和通信接口等5个部分组成,完成对机械手抓取物料的质量进行采集与显示,并将采集的质量数据传输到上位机进行记录。系统硬件组成主要由称量传感器、信号处理器、单片机、LED显示器、A/D转换器以及RS232串行通信接口等构成,见图4。

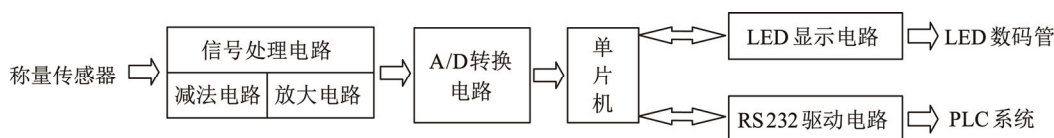


图4 自动计量系统组成

Fig.4 The frame diagram of automatic metering system

由于料爪抓取物料测量的数据包含有机手自身的自身质量和物料的质量^[12],因此自动计量系统在运行过程中,传感器的检测信号需要通过信号处理电路进行处理,减去机械手本身质量对应的基准电压值后,再经放大滤波,才能进入A/D转换电路。称量传感器选用称量精度高、可靠性强的BK-2F系列S型电阻应变式称量传感器^[13]。

微控制器选用低电压、高性能的AT89C52型单片机,其内部包含8k可反复擦写的Flash ROM^[14],具有很强的复用性。它将采集的数字信号按照指令处理后,分别送到RS232通信电路和LED显示电路。自动计量系统控制软件包括主程序及数/模转换、数字滤波、信号放大、数据处理、LED显示、串口通信等应用子程序。A/D采集采用查询方式,利用软件方法实现数字滤波,串行通信采用中断方式^[15],有效减少系统误差的影响。

3.2 PLC运动控制系统

PLC运动控制系统包括机械手水平运动、机械手竖直运动、料手伸展和收缩运动的控制。上述运动控制必须协调动作,才能达到稳定性、快速性和高精度的要求。3种运动控制协调动作要求的时序见图5。

1) 水平运动控制原理与实现。该系统对水平运动速度有较高要求,对定位精度要求不高,因此,见图3,水平运动控制,采用PLC控制三位五通电磁气动方向阀和两位两通换向阀及节流阀构成的背压阀,来驱动水平气缸按不同运动速度运行。即通过水

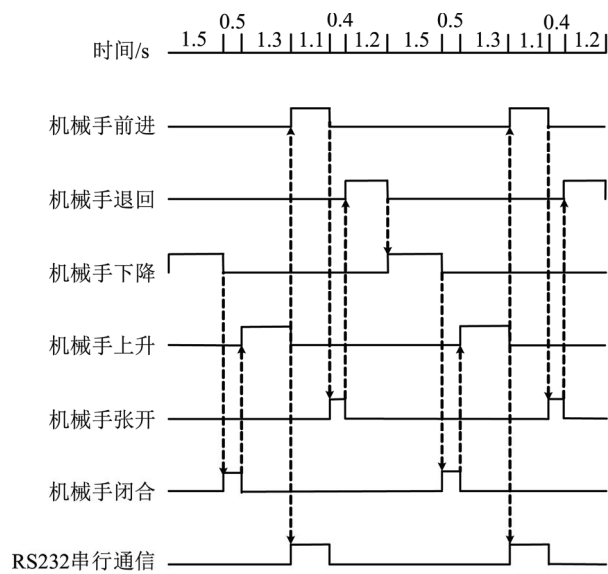


图5 竖直运动控制系统时序

Fig.5 The sequence diagram of vertical motion control system

平气缸在运动方向不同位置配置的电磁感应开关,激发PLC控制多个背压阀开启和关闭,实现多档离散调速,达到既快速又避免强冲击的发生。在各档速度下运动的时间决定于PLC内部定时器设置的数据的大小。水平运动采用滚动副,摩擦较小,运动阻力较小,只需考虑启动和停止过程的惯性冲击问题,通过背压阀实现低档启动和低档停止即可。

2) 料手运动的控制。料手驱动气缸上下运动,驱动料手伸展,实现卸料;驱动料手收缩,实现抓料。料

手质量较小, 惯性较小, 料手气缸上下运动行程较小, 占用时间很少, 因此, 对料手无需调速控制, 而采用 PLC 控制两位五通方向阀予以实现见图 3。

3) 竖直运动控制原理。竖直运动包括下降运动控制、等待料手抓料完成控制、上升运动控制、等待料手卸料完成控制及与水平运动的协调控制。因为竖直运动负载较大, 惯性冲击较大, 竖直运动涉及料手插入物料深度的控制以保证抓取物料质量的精度满足要求, 同时还要满足生产效率要求, 考虑快速性问题, 所以竖直运动控制采用开环闭环相结合、离散连续相协调的控制方式。控制原理见图 6—7。

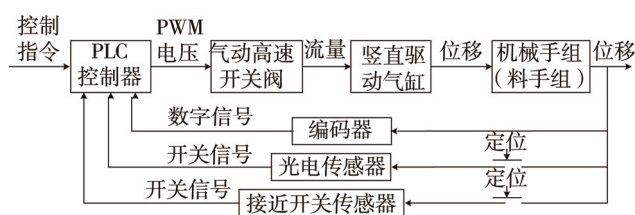
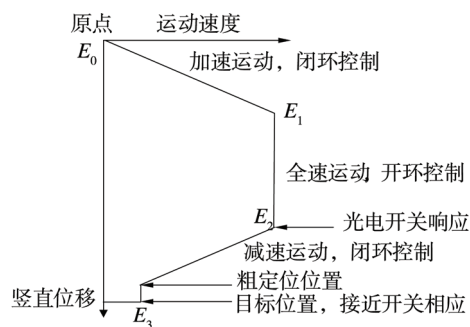
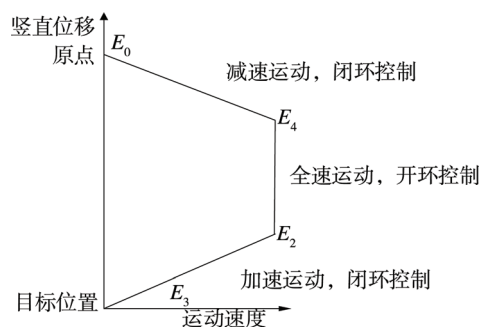


图 6 手指运动控制原理

Fig.6 The Schematic diagram of finger movement control



a 竖直下行



b 竖直上行

图 7 机械手竖直运动下行和上行控制模式示意曲线

Fig.7 The graph of downward and upward motion control mode of manipulator

竖直运动控制该系统主要由 PLC 控制器 (FX2N-64MT-001)、气动高速开关阀 (SMC-XT323-4 型)、竖直气缸、旋转编码器 (OMRON-E6B2-CWZ6C)、光电传感器 (OMRON-E3Z-D62 漫反射光电传感器)、接近开关 (OMRON-E2E-X5E1 型电感接近开关) 等元件构成。其工作原理为: PLC 按控制指令要求和反馈信号, 产生 PWM 控制电压信号, 控制气动高速开

关阀快速开关, 控制压力气体进入气缸, 使气缸活塞向上或向下运动。PLC 发送 PWM 控制信号, 调节气缸进气的流量, 从而控制气缸下行或上行的运动速度; 通过齿轮齿条结构, 将竖直运动转化为旋转编码器轴的转动, 根据采集旋转编码器输出脉冲数量, 实现竖直运动位移的检测; 漫反射光电传感器和电感接近开关能够检测机械手竖直运动位置与目标位置之间的距离, 构成开关量反馈信号, PLC 按照控制规则调整 PWM 信号脉宽的大小^[16]。通过 PLC、编码器、光电传感器、接近开关的联合作用, 实现下行的闭环加速运动、开环全速运动、闭环减速运动、插入物料和抓料运动^[17]。其中物料平面配置易于接近开关感应和随物料平面 (物料平面不能低于竖直气缸行程范围之外) 浮动的金属薄片, 接近开关闭合后, 机械手即到达接近物料平面的“粗定位”位置, PLC 继续控制机械手下移一定时间 (通过现场调试确定, 保证料手插入深度满足允差范围, 从而使抓取的物料质量在允许的范围), 然后料手收缩, 抓取物料。抓取物料后, 机械手开始上行。上行控制较为简单, 不再累述。

为达到控制要求, 竖直运动采用仿人智能控制。对于仿人智能控制而言, 研究确定适宜的控制规则尤为重要。机械手上行目标是返回原点, 其目的是防止意外的冲击发生。机械手下行移动到目标位置是关键路径。根据仿人智能控制基本原理, 设控制参量: E_n 为第 n 次采样时刻的接近开关下端相对于物料水平面的位置差; E_0 为起始位置时接近开关下端相对于物料水平面的位置差; E_1 为机械手下行速度最大值时接近开关下端相对于物料水平面的位置差; E_2 为机械手下行到光电传感器响应时接近开关下端相对于物料水平面的位置差; E_3 为机械手下行到接近开关响应时接近开关下端相对于物料水平面的位置差, $E_3 = 5 \text{ mm}$; E_4 为上行减速起始时接近开关下端相对于物料水平面的位置差, $E_4 = E_0 + E_3 - E_2$ 。PLC 通过编码器、光电传感器、接近开关的实时反馈, 识别判断机械手竖直运动位置, 依据上述控制参量产生控制规则, 实现优异控制。关于该系统 PLC 竖直运动的仿人智能控制规则的设计、分析与实验研究等不做具体讨论。

4 结语

针对类似酸菜丝、海苔丝、鱼腥草等短小丝条状物料相互交织难以实现自动化包装的难题, 创新设计出了一款能够替代人工操作的短小丝条状物料自动化包装机械手。该机械手可以实现对短小丝条状物料自动抓取、自动计量和自动充填包装。机械手的运动控制采用 PLC, 抓取物料的计量采用单片机, 发挥了 PLC 可靠性高和单片机成本低体积小等优势, 是一种良好的设计方案。通过设定控制参量、开关信号检测

与反馈、连续信号检测与反馈,顺利实现了机械手运动开环和闭环相结合的控制及优异的仿人智能控制,控制方法适宜。经过样机测试,开发的机械手能够满足快速运动和高精度抓取物料的功能要求。文中的研究成果为我国开展对短小丝条状物料的全自动包装的研究奠定了一定的技术基础。

参考文献:

- [1] 赵艳云, 连紫璇, 岳进. 食品包装的最新研究进展[J]. 中国食品学报, 2013, 13(4): 1—10.
ZHAO Yan-yun, LIAN Zi-xuan, YUE Jin. The Recent Advances in Food Packaging[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(4): 1—10.
- [2] 李光乐. FFS 包装机伺服电子定量秤研究[J]. 食品与机械, 2013(4): 118—121.
LI Guang-le. Design of Electronic Servo Quantitative Scale for FFS Packing Machine[J]. Food & Machinery, 2013(4): 118—121.
- [3] YU Jing-hu, WANG Jia-sen. Research on The Manipulator for Packing Apple Based on Its Material Function[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 437: 517—521.
- [4] 李玉航, 梅江平, 刘松涛. 一种新型 4 自由度高速并联机械手动力尺度综合[J]. 机械工程学报, 2014, 50(19): 32—40.
LI Yu-hang, MEI Jiang-pin, LIU Song-tao. Dynamic Dimensional Synthesis of a 4-DOF High-speed Parallel Manipulator[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(19): 32—40.
- [5] YAMAMOTO S, OCHIAI Y, SAITO S. Study on an Automatic Packing System for Strawberries[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2012, 28(4): 593—601.
- [6] 李磊. 一种自动计量与连续充填包装机械手的研究[D]. 北京: 北京建筑工程学院, 2006.
LI Lei. A Research of Packing Manipulator for Auto-weighting and Nonstop-stuffing[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2006.
- [7] 王伟玮, 宋健, 李亮. 高速开关阀在高频 PWM 控制下的比例功能[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2012(5): 715—719.
WANG Wei-wei, SONG Jian, LI Liang. High Speed On-off Solenoid Valve with Proportionnal Control Based on High Frequency PWM Control[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2012(5): 715—719.
- [8] 张楠, 何玉成, 王南, 等. 操作机器人机械手爪的设计研究及应用[J]. 机械设计, 2013, 30(3): 17—20.
ZHANG Nan, HE Yu-cheng, WANG Nan, et al. Design and Application of Robot Gripper[J]. Journal of Mechanical Design, 2013, 30(3): 17—20.
- [9] KONG X, LI Shi-zhen. Dynamic Performance of High Speed Solenoid Valve with Parallel Coils[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2014, 27(4): 816—821.
- [10] 孟爱红, 王伟玮, 宋健. 高速开关阀高频脉宽调制控制有效占空比工作范围的拓宽[J]. 机械工程学报, 2012, 48(10): 167—172.
MENG Ai-hong, WANG Wei-wei, SONG Jian. Extending of the Duty Ratio Range of Pulse Width Modulation Control on High Speed on-off Valve[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(10): 167—172.
- [11] 吴俭敏, 颜华, 金鑫, 等. 移栽机送盘装置与定位控制系统研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S1): 14—18.
WU Jian-min, YAN Hua, JIN Xin, et al. Research on Disk Conveying Device and Position Control System for Transplanter[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery, 2013, 44(S1): 14—18.
- [12] YU J C, YU X B, LI J. Design of Digital Type Axis-angle Sensor Based on Singlechip[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 599/600/601: 892—895.
- [13] 杨双收, 魏秀珍, 闫平. 光纤压力传感器在称重领域应用的研究进展[J]. 压电与声光, 2012, 34(5): 680—683.
YANG Shuang-shou, WEI Xiu-zhen, YAN Ping. Research Progress on Fiber-Optic Pressure Sensor for Weigh-in-Motion[J]. Piezoelectrics and Acousto-optics, 2012, 34(5): 680—683.
- [14] SIDOR T. Metrological Properties of A/D Converters Utilizing Higher Order Sigma-delta Modulators Compared with A/D Converters with Modulators of First Order[J]. Metrology & Measurement Systems, 2014, 21(1): 37—46.
- [15] BORKOWSKI J, KANIA D, MROCZKA J. Influence of A/D Quantization in an Interpolated DFT Based System of Power Control with a Small Delay[J]. Metrology & Measurement Systems, 2014, 21(3): 423—432.
- [16] 王虎军. 冗余技术提高 PLC 控制系统可靠性的研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(12): 4016—4018.
WANG Hu-jun. A Study on Improving Reliability of PLC Control System by Using Redundant Technology[J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(12): 4016—4018.
- [17] 巢时斌, 丘东元, 张波. LED 驱动方式分析及性能比较[J]. 电气应用, 2011(14): 40—44.
CHAO Shi-bin, QIU Dong-yuan, ZHANG Bo. Analysis And Performance Comparison of LED Drive Mode[J]. Electrotechnical Application, 2011(14): 40—44.