

# 井下巷道电缆安装车自适应挂缆控制系统设计与开发

袁观娜<sup>1</sup>, 宋建成<sup>1</sup>, 陈汉英<sup>2</sup>, 许太山<sup>2</sup>, 齐智文<sup>3</sup>

(1. 太原理工大学 煤矿装备与安全控制山西省重点实验室, 太原 030024;

2. 山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司, 山西 晋城 048000; 3. 太原理工大学 信息工程学院, 太原 030024)

**摘要:** 针对目前煤矿井下巷道人力牵引敷设电缆方式劳动强度大、电缆易磨损及工作效率低等问题, 依据井下巷道环境以及井下电缆安装车的结构, 设计并开发了井下巷道电缆安装车自适应挂缆控制系统, 以机械化、自动化技术解放工人的繁重劳动; 系统以C8051F020单片机为主控单元, 采用手动控制和自动控制结合、手动控制优先的控制策略, 融入记忆学习的智能思想, 实现井下巷道电缆自动悬挂; 阐述了系统的工作原理、软硬件设计及实现; 实验室性能测试结果表明, 位移测量误差±2%以内, 挂缆机械手能够按照手动、自动的要求正确动作并准确挂缆, 实现电缆的自适应悬挂。

**关键词:** 井下巷道; 电缆安装; 自适应; C8051F020; 记忆学习

## Design and Development of Adaptive Cable Hanging Control System of Cable Installation Truck Used in Coal Mine Underground Roadway

Yuan Guanna<sup>1</sup>, Song Jiancheng<sup>1</sup>, Chen Hanying<sup>2</sup>, Xu Taishan<sup>2</sup>, Qi Zhiwen<sup>3</sup>

(1. Shanxi Key Laboratory of Coal Mining Equipment and Safety Control, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Shanxi Jincheng Anthracite Coal Mining Group Co. Ltd., Jincheng 048000, China;

3. College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** Typically, the cable hanging in coal mine underground roadway mainly relies on human traction. By this method to install mining cables, there are many conspicuous shortcomings, such as high labor intensity, serious cable wearing, lower work efficiency and so on. Referring to the environment of underground roadway and the structure of the cable installation truck used in coal mine, the adaptive cable hanging control system (ACHCS) used in cable installation truck was designed and developed so as to liberate human heavy labor by mechanization and automation. Using C8051F020 single-chip computer as a main control unit, and taking the combination of manual and automatic control models as the main control strategy but manual control model being priority, the intelligent thought was integrated into the ACHCS to carry out the adaptive cable hanging. The working principle, the hardware and software of the ACHCS were introduced in detail in this paper. It has been verified by the laboratory experiments that the cable hanging manipulator can be operated correctly, hung cables accurately and automatically.

**Key words:** underground roadway; cable hanging; adaptive; C8051F020; memory learning

## 0 引言

煤炭在我国国民经济中具有重要的战略地位<sup>[1]</sup>。随着科学技术的进步以及对煤炭的高需求, 我国矿井正向大型化高产高效矿井发展<sup>[2]</sup>。随着矿井井型的增大、巷道距离的增长、井下负荷容量的增大, 井下巷道电缆的长度、粗度及重量也随之增加。然而, 目前井下巷道电缆的安装还是采用传统的人力牵引敷设, 这种挂缆方式存在劳动强度大、电缆易磨损及挂缆效率低等问题, 已经无法满足大型煤矿的建设要求。

随着自动控制技术的发展, 自动化技术在煤矿中的应用也逐渐增多, 特别在采、掘、运、提等方面的应用已比较成熟<sup>[3-4]</sup>, 但在井下巷道电缆安装应用方面还是空白, 国内外文

献均未对此问题进行深入研究。安全、快速、高效、高标准的电缆吊挂方式是挂缆工作追求的目标<sup>[5]</sup>。为此本文开发了井下巷道电缆安装车自适应挂缆控制系统, 实现井下巷道电缆敷设自动化, 提高电缆敷设速度, 降低工人劳动强度, 提高生产效率, 以顺应数字化矿山的发展<sup>[6]</sup>。

## 1 电缆安装车的结构和工作原理

井下巷道电缆安装车是一种新型矿用机械装备, 用于井下巷道电缆的悬挂和布置。它主要由无轨胶轮车、挂缆机构及电缆绞车组成。挂缆机构和电缆绞车安装在无轨胶轮车上, 如图1所示。

无轨胶轮车无轨道限制, 并具有机动灵活、适应性强及安全高效等特点, 方便安装挂缆机构来完成挂缆工作。挂缆机构以3个方向的液压油缸作为动力装置, 通过控制液压油缸的伸缩来控制机械手在空间的位置。3个方向的驱动油缸分别是: 水平油缸、垂直油缸和前后油缸, 分别控制机械手在空间的左右、上下、前后运动。液压油缸的动作通过电磁阀控制。电缆绞车主要由电缆绞盘和动力驱动装置组成, 电缆绞盘在动力装置驱动下收放电缆。无轨胶轮车运载挂缆机构和电缆绞车在井

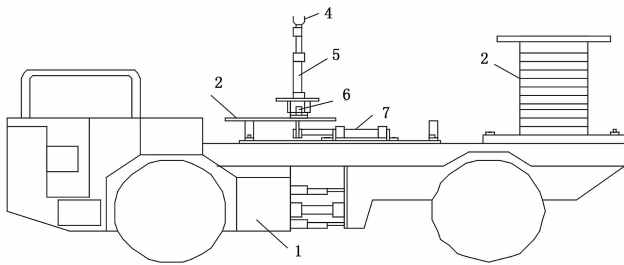
收稿日期: 2013-10-12; 修回日期: 2013-12-26。

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资源环境技术领域重大项目(2012AA06A405)。

作者简介: 袁观娜(1988-), 女, 陕西镇安人, 硕士研究生, 主要从事矿用智能电器技术方向的研究。

宋建成(1957-), 男, 山西运城人, 教授, 博士生导师, 主要从事智能电器技术、高电压与绝缘技术等方向的研究。

下巷道向前移动完成挂缆工作。

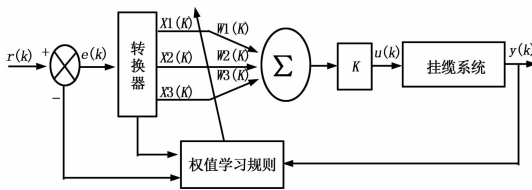


1. 无轨胶轮车; 2. 挂缆机构; 3. 电缆绞车; 4. 机械手;  
5. 垂直油缸; 6. 前后油缸; 7. 水平油缸

图 1 电缆安装车结构示意图

## 2 系统控制策略

电缆悬挂的关键在于确定挂缆执行机构和电缆挂钩的相对位置。煤矿井下巷道环境复杂, 巷道路面不平, 落石、落煤及巷道壁粗糙等因素, 造成被控对象具有不确定性, 同时外界环境对系统的干扰也是不可预测的。鉴于单神经元适用于非线性、不确定性系统控制, 它具有自学习、自适应, 结构简单、学习时间短及易于实现等优点。结合井下巷道电缆车自适应挂缆控制系统实时性要求, 本文采用单神经元自适应控制<sup>[7]</sup>策略。单神经元控制原理结构如图 2 所示。



$r(k)$ 、 $y(k)$  分别为被控系统的期望输出与实际输出,  $e(k)$  为偏差信号,  $K$  为采样时刻,  $X_i(k)$  为神经元各个输入量,  $W_i(k)$  为用于调整各个输入量在控制器所占的比例,  $K$  为控制器的调整环节放大系数,  $u(k)$  为单神经元控制器的输出。

图 2 单神经元控制原理图

针对井下巷道电缆安装车挂缆这一特定系统, 图 2 中期望输入  $r(k)$  为液压油缸的期望位移, 而  $y(k)$  为液压油缸的实际位移。单神经元输入为

$$\begin{cases} x_1(k) = r(k) \\ x_2(k) = r(k) - y(k) = e(k) \\ x_3(k) = x_2(k) - x_2(k-1) \end{cases} \quad (1)$$

权值  $W_i(k)$  可以根据学习规则进行确定更改。权值  $W_i(k)$  的学习算法主要有无监督的 Hebb 学习算法和有监督的 Delta 学习算法两种。采用无监督和有监督相结合可以获得比单一算法更好的控制性能。控制算法如下:

$$\begin{cases} w_i(k+1) = w_i(k) + \eta_i \mu(k) e(k) x_i(k) \\ u(k) = f \left( \frac{K \sum_{i=1}^3 x_i(k) w_i(k)}{\sum_{i=1}^3 w_i(k)} \right) \end{cases} \quad (2)$$

其中:  $\eta_i$  是神经元控制器的学习速率,  $f(\cdot)$  为神经元映射函数。针对井下巷道电缆安装车自适应挂缆控制系统, 学习信号为操作人员手动挂缆的位置参数和轨迹, 单神经元依照学习

信号所反映的误差与环境的变化, 对相应的系数进行调整, 产生自适应控制作用。

系统采用手动控制与自动控制结合、手动控制优先的控制策略, 融入记忆学习智能思想<sup>[8-9]</sup>。在电缆安装车进行挂缆过程中, 首先由操作员操作电缆安装车沿挂缆巷道对第一个挂钩挂缆, 电缆安装车将挂缆的位置参数和轨迹记录并保存。当电缆安装车运动到下一个挂钩位置时, 操作员按下自动键, 挂缆机械手依据上一次记忆的挂钩位置参数和轨迹, 将电缆自动运送到挂钩位置, 操作人员手动微调即可准确挂缆。

## 3 系统设计

### 3.1 系统组成

系统主要由位移传感器、A/D 信号采集单元、驱动电磁阀、输出驱动单元、MCU 单元、开关量输入单元、液晶显示单元和电源供给单元组成。控制系统总体结构如图 3 所示。

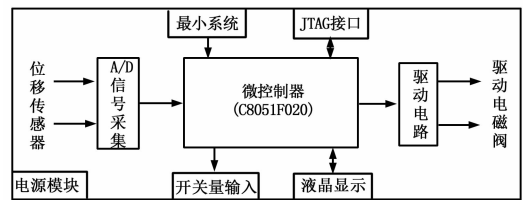


图 3 控制系统总体结构框图

位移传感器安装于井下巷道电缆安装车液压油缸中, 用于采集电缆安装车液压油缸的伸缩位移; A/D 信号采集单元是将采集到的位移信号经过调理、保护后送给 CPU; 驱动电路将单片机输出的控制信号转换成能够驱动电磁阀的信号, 电磁阀用于控制液压油缸的伸缩; 开关量输入单元用于实现系统控制功能; 液晶显示屏显示 3 个液压油缸的位置信息及运动状态; 电源模块提供系统所需的各种电源。

### 3.2 硬件设计

控制系统主控单元采用美国 Cygnal 公司的 C8051F020, 该芯片内部集成了多种功能部件, 可以很好地满足控制系统的需要<sup>[10]</sup>。同时因为它集成了各种模块, 减少了外围电路, 使硬件系统变得非常紧凑, 采用片内 JTAG 调试方式, 大大减少了开发周期。

#### 3.2.1 A/D 信号采集单元

液压油缸的行程测量采用 PR116-020 位移传感器。模拟量输入信号调理电路如图 4 所示 0.5~4.5 V 传感器输出信号先经过放大器 U1 放大, 放大后的电压信号进入电压跟随器 U2, 电压跟随器的输出信号再经过 R16、R17 分压, 最终转换为 MCU 引脚能够接受的电压等级信号; 在信号进入 MCU 的 A/D 转换通道之前, 还需要对 MCU 进行保护, D1、D2 为钳位二极管, 可以很好限制 3.3 V 以上的电压和负压。

#### 3.2.2 输出驱动模块

电磁阀驱动电压为 12 V, 开通/关断时瞬时电流可达 160 mA, 稳定电流在 60 mA 左右。因此, 输出信号须经过信号处理电路驱动之后才能驱动电磁阀, 驱动电路如图 5 所示。

控制信号从单片机输出后送入 U5 进行隔离, 经过反相器 U12 反向, 再经过驱动芯片 U13 进行放大驱动电磁阀。驱动芯片采用高耐压、大电流达林顿阵列集成电路 ULN2003, 单片机和驱动电路之间采用 P3H4 光电耦合器进行隔离, 以避免瞬时高电压、大电流对单片机控制系统造成损害。

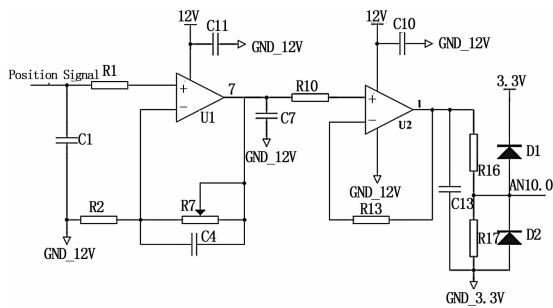


图 4 模拟量调理电路

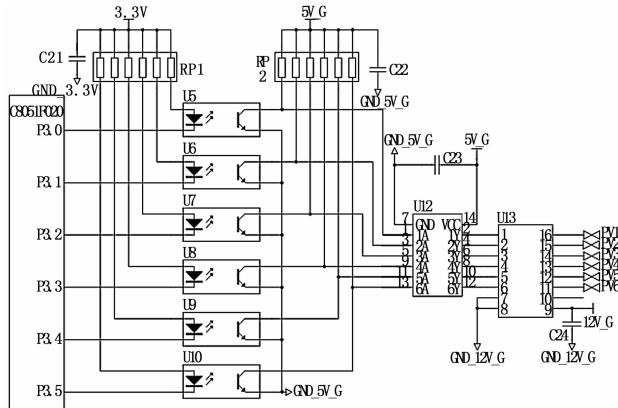


图 5 输出驱动电路

3.2.3 开关量输入与液晶显示

系统的开关量输入量共有 10 个, 分别是 6 个方向键、确定键、自动键、复位键及急停按钮, 用于实现系统的控制功能。采用独立式按键设计, 为了避免按键误动作, 还需进行硬件消抖处理。

液晶显示模块显示挂缆过程中液压油缸当前的位置状态、运动状态、菜单显示。系统选用 TFT48270RS043BN 智能型液晶显示屏, 其特点是: 图像质量高、色彩逼真、轻薄和功耗低, 可以大大缩短系统界面制作周期。

3.3 软件设计

采用 Silicon Laboratories IDE 软件平台对系统软件进行设计。井下巷道电缆安装车自适应挂缆控制系统的主要功能包括: (1) 检测相应的按键是否被按下, 如果按键按下, 响应对应动作, 反之, 不响应动作; (2) 同时采集液压油缸的位置信息和动作状态, 并转换成显示命令, 通过标准 RS232 接口发送给显示屏; (3) 发生紧急状况时, 停止一切动作, 不响应任何操作指令。

因此, 在软件部分要完成的功能为: (1) 键盘扫描; (2) 机械手动作控制; (3) 液压油缸位置参数检测; (4) 液晶显示; (5) 机械手紧急停止处理。主程序如图 6 所示。判断为手动控制时, 调用手动控制子程序, 液压油缸响应动作, 确定挂缆; 判断为自动控制时, 调用自动挂缆子程序, 液压油缸按照既定的要求连贯动作, 判断是否挂缆成功, 如果不成功再次手动微调, 调用手动挂缆程序挂缆。

4 系统调试实验

对系统主要进行手动控制、自动控制及采集显示等功能调试。手动控制调试中, 机械手能够按照指定的方向正确动作; 自动控制调试过程中, 机械手按照既定的要求连贯动作。液压油缸位移采集误差在 ±2% 范围内, 可以准确、稳定、可靠地

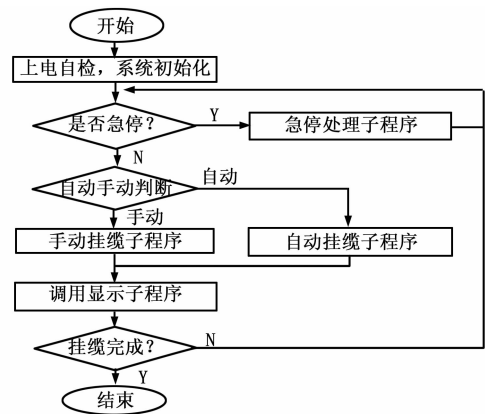


图 6 主程序流程图

反映液压油缸的位置变化; 液晶显示能正确显示油缸的位移及动作状态。在实验室共进行了 200 次模拟挂缆实验, 能够实现电缆的自适应挂缆。

5 结论

- 1) 提出了手动控制和自动控制结合、手动优先的控制方式, 融入记忆学习智能思想, 有效解决了井下巷道挂缆定位问题。
- 2) 设计了传感器检测电路、信号处理电路、保护电路和输出驱动电路等模块, 可以实现对油缸的数字化监测、控制及报警。
- 3) 开发了键盘和显示模块, 实现对油缸动作的控制以及油缸位移数据和动作信息的显示。
- 4) 开发了测控软件, 利用软件实现对油缸位置的及时检测与油缸动作的控制, 满足自动挂缆的要求。

采用 C8051F020 单片机设计开发了井下巷道电缆车自适应挂缆控制系统, 实现了自动控制和手动控制的功能。该系统具有可靠性好和操作灵活等特点, 可以有效提高井下巷道挂缆效率, 降低煤矿工人劳动强度, 对煤矿实现数字化具有着重要意义。

参考文献:

[1] 刘永生. 制约我国煤矿企业发展的主要问题探讨 [J]. 煤矿机械, 2010, (08): 273-275.  
 [2] 黄 忠. 发展我国特大型矿井的思路 [J]. 煤炭工程, 2009, (09): 5-7.  
 [3] 芦景英. 煤炭机械技术的发展探索 [J]. 煤炭技术, 2013, (06): 210-221.  
 [4] 丁怀青. 我国煤矿生产企业机械化现状研究 [J]. 煤炭技术, 2013, (03): 14-16.  
 [5] 钱永智. 煤矿井下电缆吊挂方式的优化及应用 [J]. 科技创业家, 2011, (9): 138.  
 [6] 张 灵. 实用型数字化矿山系统构建及综合应用 [J]. 煤炭科学技术, 2013, (S1): 110-117.  
 [7] 谢完成. 多轴运动控制器在机械手上的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, (08): 1783-1785.  
 [8] Fan Q G, Li W, Wang Y Q. Shearer memory cutting strategy research basing on GRNN [A]. Computer Application and System Modeling (ICCSM) [C]. 2010: 196-199.  
 [9] Wang Z B, Xu Z P. Research on the Technology of Shearer Self-Adaptive Memory Cutting [A]. Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA '09 [C]. 2009: 920-923.  
 [10] 许春雨, 宋 渊, 宋建成, 等. 基于单片机的采煤机红外线位置检测装置开发 [J]. 煤炭学报, 2011, (S1): 167-171.