

基于 PLC 的火车自动装料控制系统设计

马明月

(兰州职业技术学院 甘肃兰州 730070)

摘要 本文对火车自动装料系统作了介绍。从节省人力资源以及安全运行出发,以PLC电路控制方式,介绍了自动装料控制系统的工作原理及PLC控制系统。在分析火车自动装料的工作流程的基础上,给出了PLC控制系统的硬件和软件设计。自动装料控制系统的基本控制策略是:采用可编程控制器(PLC)构成控制系统,进行优化控制,完成装料的自动控制。系统的控制过程是:由料位的高度计算出闸门的理想位置,再与反馈的闸门的实际位置进行比较,其差值运算处理后,发出控制指令,控制闸门的开度与动作速度,从而达到整个装料过程的全自动运行。

关键词 PLC 可编程序控制器 自动装料

中图分类号:TP273.5

文献标识码:A

文章编号:1007-9416(2013)01-0001-03

1 设计背景

本设计取材于某控制系统工程实例。我们依据火车牵引放矿的工艺,采用超声波料位检测,准确及时反映车厢内的矿石装载情况;配置位置开关,随时掌握火车运行速度和位置。在此基础上设计了液压控制系统,用位移传感器检测闸门开度,用电液比例阀连续的按比例的调节系统参数,使闸门开关速度和开度连续可调,为整个系统实现闭环控制、全自动运行打下了基础。系统中多采用进口元件,满足工矿条件要求。整个控制系统采用PLC实现放矿工艺的控制(包括供电、检测、液压)。

2 工艺流程

整个工艺流程可如图1所示,利用光电传感器对矿车位置进行

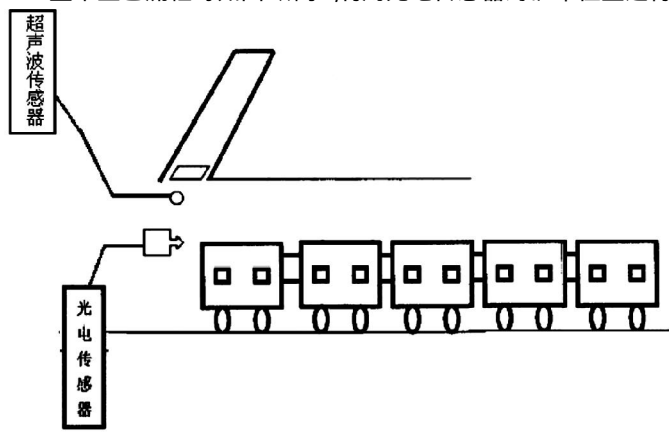


图1 火车自动装料控制系统工艺流程图

准确定位,并在开始放矿后,根据火车的运行速度、放矿机与火车的相对位置、放矿机与车厢内矿石的相对高度,找出优化算法,适时调整放矿机闸门开度,实现全自动放矿及整个工作循环。理想状态是三台放矿机同时工作,完成工作循环。

3 控制方案

在本系统中放矿机共有四扇闸门,在正常工作时只有指状闸和辅助闸是动作的。辅助闸由电磁阀控制,也就是说只控制其开度,而不控制其开关闸的速度。指状闸由比例阀控制,所以既要控制其开

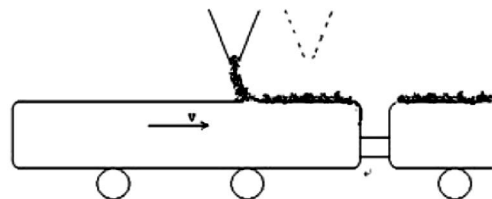


图2 方案1装矿示意图

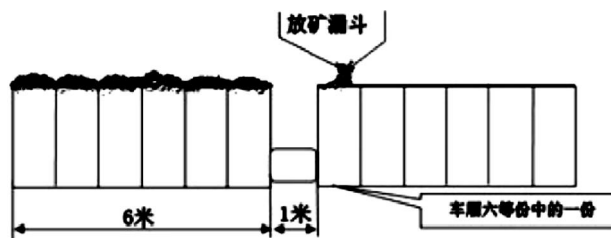


图3 方案2装矿示意图

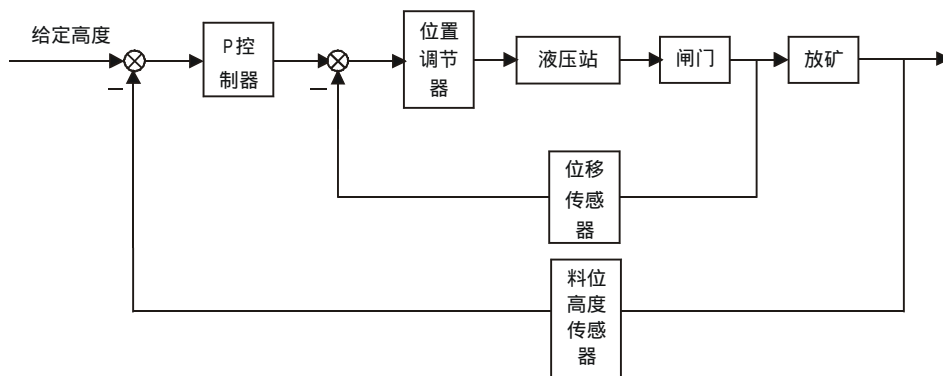


图4 自动控制系统结构图

作者简介 马明月(1984.11-),女,甘肃兰州人,在读研究生,助教,主要从事电气控制、PLC技术及应用、微机原理应用技术等课程的教学及科研工作。

度,又要控制开闸的速度。这既是我们系统设计的难点,也是关键。根据现场实际情况,以放矿时火车是否在移动,而设计了两种控制方案。简单的讲,一种是“全自动”;另一种是“半自动”。下面对两种控制方案进行介绍。

方案1——全自动。

火车由牵引系统牵引进入放矿点后,由牵引系统送信给PLC。火车不停车,改用低速v前进,光电开关检测到火车后,开始放矿(如图2所示)。由超声波物料检测检测料位,将信号传至PLC,同PLC还要对火车的速度进行信号采集,根据料位的上升速度和火车的速度来决定放矿机的闸门开度。火车经过结束放矿点后,放矿机停止放矿。这种方式的优点在于整个过程中火车不停,边走边放,效率高。但是控制模型的建立较为复杂,而且需要大量的传感器,硬件成本也过高。

方案2——半自动。

依据实际车厢的长度及相邻两节车厢间的跨度将车厢分为六等份,每一等份与相邻两节车厢间的跨距相同,均为1米。(如图3所示)由牵引系统将火车牵引到达指定的放矿点后,把“开始放矿”信号送如PLC。火车停车,然后开始放矿,由超声波检测料位,若达到指定的高度,火车继续前进一个固定的距离,再停车放矿,重复前面的步骤,直到把整节车厢放满后,放矿机闸门关闭。这样边停边放。这种方案的优点在于,控制简单有效,便于维护,缺点在于效率不够高。

在这两种方案中,设计采用了半自动的控制方案,利用料位传感器和位移传感器采集来的信号,通过一定的控制算法,实现工艺要求。依据自动控制原理,画出其系统的结构图,如图4所示。

4 系统硬件设计

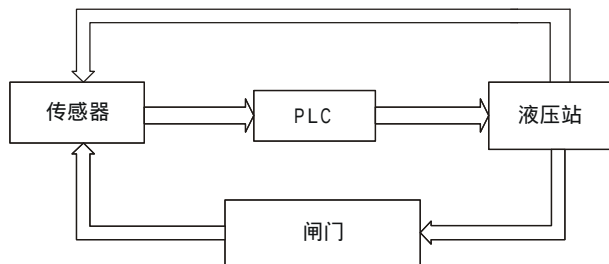


图5 硬件结构图

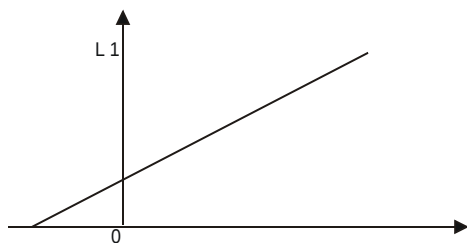


图6 L1和H的关系图

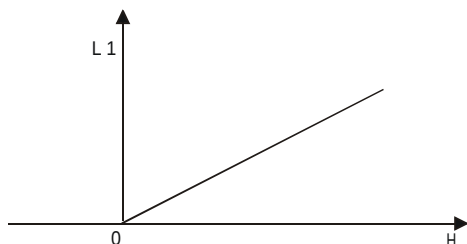


图7 偏移设置后 L1和H的关系图

本控制系统主机设计,将采用PLC来完成控制,当然也可以采用单片机完成。之所以采用PLC来完成该设计是由于:

(1)PLC更侧重于工业应用,对于抗干扰、设备接口、联网、模块化都有完善的技术支撑,使用更简单,可在较恶劣的环境工作。而单片机虽然技术含量高,使用灵活但是工作量很大,对于抗干扰、模块化要求低。单片机更适用于教学和与开发消费电子、商业应用电子、玩具、家用等小功率电子及电器设备。

(2)PLC可以控制大容量的触点,比如电机、灯光、变频器。单片机可以说是一个芯片,基本是控制电子、弱电等方面较多,而本系统属于强电且工作环境恶劣复杂。

从图5中可以看出,PLC是系统硬件的核心。作为控制器,它集信号采集、控制运算和程序执行等功能于一身。PLC工作开始从传感器中读取料位高度、闸门开度等信号,通过算法计算,向液压站发出控制指令,液压站工作并推动指状闸和辅助闸,实现了放矿。同时,PLC还通过压力传感器和温度传感器监测液压站内部的压力与温度,保证液压站的可靠运行。

5 系统软件设计

在本系统中,有3台放矿机,考虑到在有些情况下需要手动运行。所以在PLC运行的开始需要进行手动模式与自动模式选择,在自动模式中设定了六种工作模式,从本质上说,六种工作模式就是三台放矿机不同工作情况的组合,譬如自动模式4是放矿机1和放矿机2同时工作。

在放矿的过程中依据料位高度的变化,而即使调整闸门的开度是软件设计的核心,设计中采用的是比例控制。设料位高度为H,闸门实际位置为L,闸门理想位置为L1,根据工艺流程的要求,我们可以发现在L1和H之间有这样的关系,即 $L1 \propto H$,直线与横坐标的交点到坐标(0,0)的这段距离在实际中是放矿机口到车厢顶部的距离,如图6所示。

我们可以将AD模块进行偏移设置,使L1和H得关系变得简单一些,从而易于控制,如图7所示。

这是我们假设当H为最大值时(即车厢为空时),闸门应为全开位置的一半,这是为了便于控制,谨防出现调节失控的现象。依据这一想法,我们可以认为L1和H之间有这样的关系:

$$L1 = H/2 \quad \dots\dots\dots \text{等式1}$$

同时,我们利用位移传感器可以测得闸门的实际位置L,将实际位置L与理想位置L1做差,会有如下关系:

$$L1 - L > 0 \quad \text{表示理想位置大于实际位置,应该开闸}$$

$$L1 - L = 0 \quad \text{表示理想位置等于实际位置,应该停止不动}$$

$$L1 - L < 0 \quad \text{表示理想位置小于实际位置,应该关闸}$$

在结合电液比例调节阀的工作原理,输入正电压时开闸,输入负电压时关闸,输入为0时停止。并且输入的正电压越大,则开闸的速度越快,输入的负电压越大,则关闸的速度越快。设输入电压为U,那么在U和L1-L只有这样的关系: $U \propto L1 - L$,依据这一想法,我们可以认为L1和H之间有这样的关系:

$$U = L1 - L \quad \dots\dots\dots \text{等式2}$$

根据等式1与等式2我们可以推导出这样的结论:

$$U = \frac{1}{2}H - L$$

以软件分析为基础,进行了软件编程,依据工艺流程,将程序分成了主程序、自动程序1、自动程序2、自动程序3、报警程序、手动程序等6个部。

..... 下转第4页

令 $H(x)$ 为AC/DC变换器的总能量,表示为 $H(x) = x_1^2/2C + x_2^2/2L + x_3^2/2L$,则式(3)可表示为:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & S_d & S_q \\ -S_q & 0 & \omega L \\ -S_q & -\omega L & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/R_L & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial H}{\partial x_1} \\ \frac{\partial H}{\partial x_2} \\ \frac{\partial H}{\partial x_3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

上式可以简化为

$$\dot{x} = (J(x) - Q(x)) \frac{\partial H}{\partial x} + gu \quad (5)$$

式中

$$J = \begin{bmatrix} 0 & S_d & S_q \\ -S_q & 0 & \omega L \\ -S_q & -\omega L & 0 \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} 1/R_L & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \quad g = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad u = \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ 0 \end{bmatrix}$$

$J = -J^T$, $Q = Q^T$ 。

式(5)即为AC/DC变换器的汉密尔顿消散模型

$$(J_d - Q_d) \frac{\partial H_a}{\partial x} + (J_a - Q_a) \frac{\partial H}{\partial x} - gu = 0$$

4 控制器设计

式(5)中 gu 为常量, S_d 和 S_q 为控制变量。

$$(J_d - Q_d) \frac{\partial H_a}{\partial x} + (J_a - Q_a) \frac{\partial H}{\partial x} - gu = 0 \quad (6)$$

只有在满足上式条件时,才能得到匹配的对象。

$$\text{定义 } K(x) = [k_1(x), k_2(x), k_3(x)]^T = \left[\frac{\partial H_a}{\partial x_1}, \frac{\partial H_a}{\partial x_2}, \frac{\partial H_a}{\partial x_3} \right]^T,$$

并且 $J_d = J$, $Q_d = Q$, $J_a = 0$, $Q_a = 0$ 。则式(6)有

$$\begin{bmatrix} 0 & S_d & S_q \\ -S_q & 0 & \omega L \\ -S_q & -\omega L & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/R_L & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ u_d \\ u_q \end{bmatrix} = 0 \quad (7)$$

从上式中我们可以得到

$$\begin{cases} S_d = \frac{-Rk_2 + \omega Lk_3 - u_d}{k_1} \\ S_q = \frac{-Rk_2 - \omega Lk_3 - u_q}{k_1} \end{cases} \quad (8)$$

..... 上接第2页

6 结语

该系统利用PLC、计算机控制技术、检测传感器,采用先进控制理论,建立动态优化软件包,具有严密的闭锁控制,操作灵活,维护方便,降低操作工人的劳动强度,有效地提高装配煤的效率和精度,通过对检测数据的转换,处理实现生产信息化、管理集中化、控制的可视化,大大提高了煤矿现代化的程度,此外,与国外和国内其他矿区的自动化装车系统相比,大大减少了一次性投资金额,具有很高的普遍推广性。

从中解出 k_1

$$k_1 = -\sqrt{R_L(Rk_2^2 + u_d k_2 + Rk_3^2 + u_q k_3)} \quad (9)$$

根据汉密尔顿消散模型的条件^[4],可求出

$$\begin{cases} k_1 = -\sqrt{\frac{3}{2} R_L (I_m U_m - R I_m^2)} \\ k_2 = -\sqrt{\frac{3}{2} I_m} \\ k_3 = 0 \end{cases} \quad (10)$$

将上式代入式(8)中得到

$$\begin{cases} S_d = \frac{R I_m - U_m}{-\sqrt{u_{DC} (I_m U_m - R I_m^2)} / i_L} \\ S_q = \frac{\omega L I_m}{-\sqrt{u_{DC} (I_m U_m - R I_m^2)} / i_L} \end{cases} \quad (11)$$

5 结语

基于汉密尔顿消散模型的AC/DC变换器控制器有较好的动态、静态性能。使用式(11)的控制器,虽然不能式(2)解耦,但是它的优点在于不用在交流侧设置传感器来采样参数,因此可以使控制更加简单,增加变换器的可靠性。

参考文献

- [1] Li Zhengxi, Wang Jiuhe, Li Huade. "Review on nonlinear control strategies of three phase boost type PWM rectifiers", Electric Drive, 2006, vol.36, No.1, pp 9-13.
- [2] 邱添泉. 基于 buck 变换的新型逆变器研究[D]. 广州: 华南理工大学电力学院, 2006: 12-14.
- [3] Qiao Shutong, Jiang Jianguo. "Output Error Passivity Control of Three-Phase Boost-Type PWM Rectifiers", TRANSACTIONS OF CHINA ELECTROTECHNICAL SOCIETY, 2007, vol.22, No.2, pp 68-73.
- [4] R. Ortega, A. van der Schaft. "Interconnection and damping assignment passivity-based control of port controlled Hamiltonian systems", Automatica, 2002.

参考文献

- [1] 李瑞, 雷汝海, 庄伟林等. 自动化装配煤系统在高压煤矿的研究与应用[OL]. 中国科技论文在线, [2008-07-03]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/200807-72>.
- [2] 常晓玲. 电气控制系统与可编程控制器[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [3] 钟肇新. 可编程控制器原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2003.
- [4] 程子华. PLC原理与编程实例分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.