

龙门吊电气控制系统设计中 PLC 技术的应用探析

姜昊峰

乌鲁木齐铁路局 830011

摘要: 龙门吊作为大型起重机械,以自身所具备的结构紧凑、便于拆装、操作简单、运输效率高等特点,在制造业、电力行业、桥梁工程中得到广泛应用。电气控制系统作为龙门吊的功能系统,具有不可或缺的重要作用,如果电气控制系统出现问题,则会对龙门吊的正常使用造成不利影响。为提高电气控制系统的整体性能,可在设计中对先进的 PLC 技术加以应用。以龙门吊的结构概况为基础,从 PLC 技术和电动机调速的分析入手,采取理论与实际相结合的方法,对 PLC 选型、计数器模块、硬件组态、软件编程及设计等方面展开论述。研究表明,PLC 技术的加入,使龙门吊电气控制系统的性能得到全面提升,能够满足实际运行需要。

关键词: 龙门吊;电气控制系统设计;PLC 技术

Abstract: As a large lifting machinery, gantry cranes are widely used in manufacturing, power industry, and bridge engineering due to their compact structure, easy installation and disassembly, simple operation, and high transportation efficiency. The electrical control system, as a functional system of the gantry crane, plays an indispensable and important role. If there is a problem with the electrical control system, it will have an adverse impact on the normal use of the gantry crane. To improve the overall performance of the electrical control system, advanced PLC technology can be applied in the design. Based on the structural overview of the gantry crane, starting from the analysis of PLC technology and motor speed regulation, a combination of theory and practice is adopted to discuss PLC selection, counter module, hardware configuration, software programming and design. The research results indicate that the addition of PLC technology has comprehensively improved the performance of the electrical control system of the gantry crane and can meet the actual operational needs.

Keywords: gantry crane; Electrical control system design; PLC technology

近年来,龙门吊在大型货运场站内得到广泛应用,给货物装卸提供了极大的便利。通过对龙门吊的使用情况调查后发现,能耗较高是当前普遍存在的一个问题,为实现节能的目标,可在龙门吊电气控制系统设计中,对 PLC 技术合理应用。利用 PLC 强大的编程能力,提高电气系统的控制性能,以此来实现龙门吊节能降耗的目标。

1 龙门吊的结构

龙门吊归属于大型起重机械的范畴,它在货场中的应用给货物装卸提供极大的便利,工人的劳动强度显著降低,作业效率进一步提升。常规的龙门吊由以下几个部分组成:

1.1 门架

门架是龙门吊的主体部分,包括主梁和支腿,其中主梁分为单梁和双梁两种,常见的结构形式有箱型和桁架,前者的结构比较简单,但自重较大,制造时需要使用大量的钢材;后者的结构较为复杂,但整体重量轻,钢材的用量少。支腿包括刚性和柔性两种,在大型龙门吊中,若是跨度达到 30m 以上时,则一侧的支腿为刚性,另一侧的支腿为柔性,由此使门架形成静定结构^[1]。

1.2 载重小车

在单主梁的龙门吊中载重小车选用特制的电葫芦,而双主梁龙门吊的载重小车结构与桥式起重机相同,由电动机、减速器、制动器、联轴器和车轮等部件组成。受侧向悬挂的影响,使载重小车的形式出现一定程度的变化,增加了防翻车滚轮和导向滚轮。

1.3 大车运行机构

龙门吊的大车运行机构由电动机、传动轴、主动轮、减速器和制动器等部件组成,驱动方式以分别驱动为主。

1.4 电气设备

龙门吊上的电气设备包括电机和照明系统,电机有两种运行状态,一种是电动,另一种是制动(发电),在电动状态下,可以实

现电能向机械能的转换,而在制动(发电)状态下,可实现机械能向电能的转换。照明系统由内部和外部两个部分组成,前者包括驾驶室、电气设备室的照明,后者则是作业时增设的现场照明。

1.5 司机室

司机室是龙门吊操作人员安全作业的场所,配有通风装置、非明火取暖装置等,要求具备开阔的视野,能够满足龙门吊的作业需要。

2 龙门吊电气控制系统设计中 PLC 技术的应用

2.1 PLC 技术的特点

PLC 是可编程逻辑控制器的简称,它的出现主要是为了满足工业生产过程中的控制需要。PLC 的特点体现在如下方面:

(1) PLC 的编程过程简单,非常容易掌握,即使对计算机知识并不精通的人员,也能用 PLC 快速完成编程。

(2) 在开发 PLC 时,引入积木式结构,使用者通过简单的组合,便可使控制系统功能和规模发生改变,从而满足应用需要。由此使 PLC 具备了良好的适用性。

(3) PLC 采用的是模块化设计,对于不同的信号有对应的模块,能够与工业生产现场内的器件直连,利用 CNC 总线可连接 CPU^[2]。

(4) PLC 的控制全部是通过程序执行来完成,不但运行速度快,而且可靠性高,这是传统继电器控制无法比拟的优势。

(5) PLC 的体积小,便于安装、易于维护,具有可扩展功能,使用过程中的故障率较低,耗电少,运行成本低。

2.2 PLC 的组成与工作过程

(1) 随着 PLC 技术在多个领域中得到应用,使得 PLC 设备的制造厂商大幅度增加,PLC 的系列和型号越来越多,虽然如此,PLC 的构成情况却基本相同。常规 PLC 是由以下几个部分组成:CPU(中央处理器)、输入接口、输出接口以及电源等。其中,CPU 是整个

PLC 的核心部分,与 PLC 的性能密切相关,大部分 PLC 制造厂商在 CPU 方面采用的都是单片机,普通的单片机包含 CPU 处理单元、存储器、I/O 通道等^[3];输入和输出接口即 I/O 接口,主要负责与现场设备及 CPU 相连。PLC 的应用场所多为工业现场,如生产车间的流水线等,由于应用环境比较恶劣,为确保 I/O 接口部件的运行稳定性和可靠性,在设计过程中,要采取有效的技术措施,提高部件的整体性能,满足抗干扰等方面的使用要求。

(2) PLC 即可编程逻辑控制器,它具备编程的功能,可以实现逻辑控制,由此使得 PLC 的工作方式呈现出循环执行用户程序的特点,在这种工作方式下,主程序为 OB1,它的主要作用是循环处理,可以对其他的逻辑块进行调用,能够被中断程序所中断。当 PLC 启动后,会对主程序 OB1 进行不断循环调用。不仅如此,在主程序中还能对其他的逻辑块调用,包括 FB 逻辑块、FC 逻辑块等。当某些事件出现后,可以中断逻辑块循环程序处理过程。在该过程中,中央处理器并不会对输入和输出接口模块中的地址区直接访问,而是会访问映像区,实现批量输入与输出。

2.3 电动机调速

电动机在调速的过程中,要保证每级磁通始终为额定值,如果磁通过弱,则会造成浪费,而增大磁通,会引起较大的励磁电流,容易导致电机受损。在交流异步电机中,磁通由定子和转子联合产生,在此前提下,三相异步电动机定子电动势的有效值 E_g 可以通过下式求出:

$$E_g = 4.44f_1 N_1 k_{N1} \Phi_m$$

上式当中, f_1 表示定子频率(单位:Hz); N_1 表示定子每相绕组串联匝数; k_{N1} 表示基波绕组系数; Φ_m 表示气隙磁通量(单位:Wb)。在龙门吊中,为满足电动机的调速要求,可对 PLC 技术合理应用,设计一套基于 PLC 的龙门吊电气控制系统^[4]。

2.4 基于 PLC 的龙门吊电气控制系统设计

2.4.1 PLC 选型

由德国西门子子公司推出的 S7-300 是一款通用型的 PLC,在电气自动化控制中具有良好的适用性。S7-300 采用模块化设计,功能模块与 I/O 模块均可选择,包含 350 多条指令,对所有模块的访问是通过编程器 PG 来实现,处理速度快^[5]。目前,S7-300 已在工业领域中得到广泛应用,在解决控制问题方面的效果非常显著。基于此,在龙门吊电气控制系统设计中选用 S7-300PLC。

2.4.2 计数器模块

在基于 PLC 的龙门吊电气控制系统设计中,计数模块的选择是比较重要的环节,该模块的主要作用是读取高速脉冲信号,采集电动机的编码器信号等。为了与 S7-300PLC 配套,计数模块选用西门子子公司出品的 FM350-2,这是一款 8 通道智能型计数器模块,可用于计数及测量等任务,具备多种工作模式,包括连续/单次/周期计数、频率/速度测量、比例器等^[6]。FM350-2 是专为 PLC 开发的模块,在设计时应用先进的抗干扰技术,使其能够满足工业现场的运行要求。同时,FM350-2 的计数精度非常高,可以实现连续增减计数、单向计数、循环计数等。在 PLC 控制系统中对 FM350-2 模块进行应用时,要根据控制完成该模块的配置,具体包括硬件配置和软件配置,配置 FM350-2 模块的硬件时,要保证脉冲电源等级开关设置的位置正确,并在 STEP7 (S7-300PLC 的编程软件)中,用 FM350-2 的配套软件进行配置,具体的配置方法及过程会在后续的内容中详细介绍。

2.4.3 PLC 控制系统硬件组态

本次龙门吊电气控制系统设计中,PLC 选用的是 S7-300,计数

器模块选用的是与 PLC 配套的 FM350-2,整个控制系统构成情况如图 1 所示。

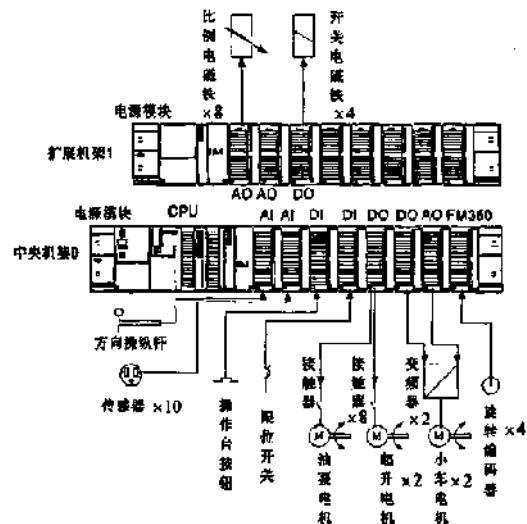


图 1 基于 PLC 的龙门吊电气控制系统原理

本次设计的控制系统的硬件组态情况如下:

(1) 电源模块。控制系统中共有两个电源模块,均采用 PS307,该电源模块带有单相负载电源,直接固定在 S7-300PLC 的标准安装导轨上,当设计有特殊要求时,也可安装在 CPU 的左侧。PS307 的输出电压为 24V,稳定性高,不但能够防短路,而且还能有效防止断路,两个电源模块可以并联,整体性能将会得到显著增强。

(2) DI 模块。数字量输入模块为 SM321,该模块的数量为 2 块,每个输入模块的输入点数量为 32 个,直流电压为 24V^[7]。

(3) DO 模块。数字量输出模块为 SM322,该模块的数量为 2 块,每个输出模块的输出点为 32 个,直流电压为 24V。

(4) AI 模块。模拟量输入模块为 SM331,该模块的数量为 2 块,单个模块可连接 8 路模拟量输入,传输速率为 16bit。

(5) AO 模块。模拟量输出模块为 SM330,该模块的数量为 3 块,单个模块可连接 4 路模拟量输出,传输速率为 16bit。

(6) 计数器模块。该模块为 FM350-2,共 1 块,具有强大的高速计数功能。

在对控制系统进行硬件组态的过程中,应当在相关的界面中找到功能模块,通过双击该模块完成配置。以模拟量输出模块的配置为例,该模块的 0 和 1 两条通道是变频器经过模拟后给出,将电流输出设定为 0-20A,关闭两条备用通道 2 和 3,最后双击“ok”即可。当 FM350-2 配套软件正确安装完毕后,便可在组态画面中对该模块进行双击,计数模块的配置画面将会随之出现,点击界面中 channel 框下的箭头,可对通道号进行选择;双击 Encoders 可选择相应的测量方式,根据本次设计的控制系统应用需要,测量方式选择脉冲计数和方向测量;对 Counter 双击,打开后能够设置计数模式,本次设计中选择的计数模式为连续增减计数,即龙门吊的电动机处于正转时增计数,电动机反转时则减计数。由于本系统未用到数字量输出,故此在设计的过程中并未对其进行选择,为系统默认项^[8]。

2.4.4 软件编程

STEP7 是 S7-300 的专用编程软件,该软件具备如下功能:硬件配置、参数设置、通讯组态、启动与维护、运行与诊断、程序编辑与测试等。以上功能基本上都有在线帮助,用鼠标打开便可获得相关功能的帮助提示。STEP7 具有语言结构化程序设计的特点,可

以通过文件块的形式,对使用者编写出来的程序以及运行该程序所需的数据进行管理,当文件块为子程序时,可以直接采取调用语句的方式,将之组成具有结构化特征的用户程序。组成后的程序具有明确的组织、清晰的结构,易于修改。S7-300PLC 程序的主要组成

情况如下:

(1) OB。这是控制系统中的组织块,在本次系统设计中,用到的组织块如表 1 所示。

表 1 PLC 电气控制系统中的组织块

序号	组织块	作用描述
1	OB1	存放主程序,调用子程序,中断级别最低
2	OB30-OB38	提供循环中断,确保组织块内的程序在特定的周期循环执行
3	OB80-OB88	系统出错时执行的组织块,若是没有与错误类型对应的组织块系统便会进入停止状态
4	OB100-OB102	系统采用不同的启动方式时执行的初始化程序
5	OB121	与 OB80-OB88 的作用相同
6	OB122	与 OB80-OB88 的作用相同

(2) FB 和 FC。它们都是功能块,从分级结构上看,FB 和 FC 均在 OB 之下。FB 功能块包含了程序中的一部分,能够对 OB 及其他功能块多次调用,它的静态参数存储在单独的数据块中;FC 功能块的作用是确保程序能够被执行。

统会对 OB1 不断的循环调用,而 OB1 则可对其他的逻辑块进行调用,由于 OB1 的中断级别最低。因此,几乎所所有的组织块均能中断 OB1。在组织块 OB35 中执行的是 PID 控制,循环周期设定为 100ms^[10]。

(3) SFC 和 SFB。它们均为系统功能块,是系统为用户提供的标准功能块。

(2) 本系统中,龙门吊小车机构 PID 子程序的控制流程如下: PLC 上电启动后,读取 FM350-2 模块 2 和 3 通道内的计数值,据此计算出位置差,随后以小车的挡位为依据,完成 PID 控制参数的设置,对系统的 FB41 功能块进行调用,运算 PID 算法,系统根据所得的结果实现小车的调速控制。在上述控制流程中,FB41 是具备连续控制功能的 PID 模块,可对连续变化的模拟量进行实时控制,FB41 会定期计算所需的数据,并将计算所得的结果保存到相应的 DB 中。

(4) DB。这是控制系统中的数据块,主要用于各种参数和数据的存放。

3 结论

2.4.5 系统软件设计

(1) 从结构上看,在本次设计的系统中 PLC 控制程序分为两个组织块,即 OB1 和 OB35,前者为主程序组织块,后者为系统中中断组织块,循环周期按照 100ms 进行设定^[9]。编写控制程序的过程中,将相同的控制功能编写成 FC 或 FB 模块,可直接从 OB1 中对这些子程序模块进行调用,由此使控制程序的结构更加简洁,程序的长度随之减小,给程序调试提供了极大便利。系统主控程序的流程如图 2 所示。

综上所述,在龙门吊电气控制系统设计中,可以对先进的 PLC 技术加以合理应用,通过 PLC 提高电气系统的控制能力,以此来达到调速的目的,从而降低龙门吊的运行能耗,这对于经济效益的提升具有重要意义。

参考文献:

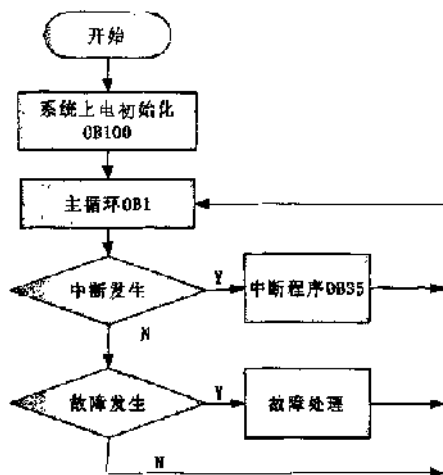


图 2 系统主控程序流程示意图

PLC 采用扫描的工作方式,即对用户程序循环执行,在该方式下,OB1 的主要作用是循环处理,能够对其他的逻辑块进行调用,也可以被组织块中断。当 PLC 上电后,或是从停止模式切换到运行模式时,CPU 会自动执行启动操作,将不具备保持功能的存储器、计数器和定时器全部清除,并且还会将中断堆栈及块堆栈中的内容一并清除,之后会执行一次 OB100,从而完成程序初始化,按照预先设定好的周期进入循环运行^[6]。在循环的过程中,完成各阶段的任务处理,具体包括以下任务:监控操作系统的启动循环时间;当循环结束时,操作系统执行所有挂起的任务。PLC 启动后,控制系

[1]傅剑文,顾承庆,邓亚新.门式起重机起升机构增设无电应急操作系统的应用[J].水电站机电技术,2023,46(2):88-90,127.
[2]黄逢昱,周嘉伟,王立甲,朱宇,赖耀维.基于虚拟现实的门式起重机虚拟操作系统设计[J].中国水运(下半月),2022,22(12):50-52.
[3]薛睿琦,程宝康,雒通.基于位移传感器在龙门起重机电大车自动纠偏中的应用及探讨[J].工程机械与维修,2022(5):35-37.
[4]何国荣.轮胎式集装箱龙门起重机移动供电装置气动系统优化[J].集装箱化,2022,33(8):18-20.
[5]薛睿琦,程宝康,雒通.基于位移传感器在龙门起重机电大车自动纠偏中的应用及探讨[J].工程机械与维修.2022(5):35-37.
[6]何西旺,来孝楠,杨亮亮,宋学官.机理与数据联合驱动的龙门起重机数字孪生设计[A].第十七届中国 CAE 工程分析技术年会论文集[C].2021(11):21-25,33.
[7]李约翰.基于视频分析的自动化龙门吊大车集中监护系统[J].集装箱化.2021,32(4):21-24.
[8]王成.集装箱龙门起重机吊具智能主动跟随防摇控制研究[J].港口装卸.2021(2):15-17.
[9]楼桂龙,王宁杰.基于 AFSA 优化的龙门起重机防摆 PID 控制器[J].现代制造工程.2020(1):143-148,135.
[10]吴翔,曾雅龙.自动化集装箱轨道式龙门起重机双箱自动抓放功能设计与实现[J].港口装卸.2020(1):9-12.