

# 基于 Rockwell PLC 的电梯位移控制的实现

马然 包金明 谈英姿

东南大学

**摘要:**详细介绍了通过脉冲计数的方式实现 10 层电梯位移控制的机理。其中,首先介绍了 10 层电梯控制系统的硬件组成、软件实现以及脉冲选层的原理;之后分析了 Rockwell 的 CompactLogix 系列 PLC 的工作方式及系统的通讯方式、软件组态,并介绍了用于实现脉冲计数的硬件电路的设计;最后通过对实验结果的分析,探讨了影响电梯平层精度的因素并提出了相应的改进措施。实验表明基于 CompactLogix 控制器的电梯控制系统采用脉冲计数方式可取得较高的平层精度。

**关键词:**可编程控制器 脉冲计数 电梯控制系统 位移控制 平层精度

## Implementation for the Displacement Control of a Elevator Based on the Rockwell PLC

Ma Ran Bao Jinming Tan Yingzi

**Abstract:** The implementation for the displacement control of a ten-floor elevator by pulse count is introduced. First, introduces the hardware composing and the software program of the ten-floor elevator control system, analyzes the principle of choosing the floor of the elevator via pulse count. Second, both the working mode of CompactLogix series of Rockwell PLC, communication method and the software configuration of the system, and the circuit design for the pulse count, are described in detail respectively. Through the analysis of the experiment results, discusses the factors affecting the layer precision of the elevator, and finally presents, the improving measures. The experiments prove that, based on the CompactLogix controller and by pulse count, the elevator control system is proved quite a high layer precision.

**Keywords:** programmable logic controller (PLC) pulse count elevator control system displacement control layer precision

## 1 引言

本系统是一套 10 层模拟电梯控制系统,可以实现实际电梯的基本功能。最初为了实现电梯的楼层检测、换速及平层停车的控制,是通过在井道内每一楼层装设上下换速、平层挡光板并在轿厢上安装光电传感器的方式<sup>[1]</sup>来实现的。实验表明,这种方法由于挡光板和光电传感器的安装位置、相对距离等有误差,使电梯运行时常发生机械故障,并且由于挡光板有一定的宽度,造成平层精度不高。改用脉冲计数的方式不仅能实现对电梯的速度控制,还能在不增加任何硬件的情况下对电梯实现位移闭环控制,同时提高了电梯平层精度。本文将 Rockwell 的 CompactLogix L31 控制器为例,介绍利用 PLC 及脉冲计数电路进行位移控制的电梯控制系统,分析影响电梯平层精度

的因素并提出改进措施。

## 2 电梯控制系统介绍

### 2.1 电梯控制系统硬件组成及软件实现

本系统采用集选控制方式,由电力拖动系统和电气控制系统两部分组成。电力拖动系统主要包括电梯垂直方向主拖动电路和轿厢开关门电路,均采用易于控制的直流电动机作为拖动动力源;电气控制系统由众多呼叫按钮、控制用继电器、指示灯、LED 7 段数码管和光电编码盘、脉冲计数电路以及控制部分的核心器件 PLC 等组成。PLC 集信号采集、信号输出和逻辑控制于一体,与电梯电力拖动系统一起实现了电梯控制的所有功能。电梯控制系统硬件结构框图见图 1。

电梯的软件设计由若干个功能模块组成,每个功能模块由相应子程序实现,再由主程序分别

调用子程序。主要包括以下几个子程序：楼层检测、指示灯显示、手动/自动开关门控制、轿厢内外呼梯记录、呼梯优先级判断、电梯运行控制。其中最关键部分包括两点：一是对多个呼梯信号进行优先级判断，根据顺向最近优先响应、逆向最远优先响应的原则实现电梯正确响应呼梯；二是准确进行楼层检测，动态判断电梯所在楼层、换速及平层位置(由于篇幅限制，具体程序不再给出)。

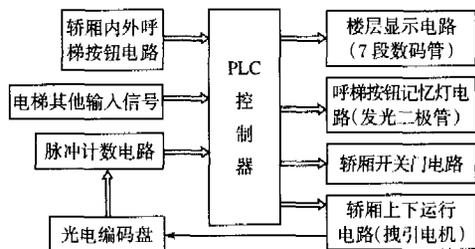


图 1 电梯控制系统硬件结构框图

## 2.2 电梯控制系统脉冲选层控制原理

### 2.2.1 利用脉冲计数实现电梯位移控制

将一增量式光电编码盘<sup>[2]</sup>与电机同轴安装，电梯上下运行时，码盘以与电机同样的角速度转动，产生 A、B 两路相位相差 90°的脉冲，通过判断 A、B 的超前滞后关系确定电梯运行方向。每个脉冲对应井道中电梯所走的平均距离  $l$  及电梯每层对应的平均脉冲数  $N$  计算如下：

$$l = \frac{\pi D}{P} \quad (1)$$

$$N = \frac{L}{l} = \frac{LP}{\pi D} \quad (2)$$

式中： $D$  为限速器绳轮直径，为 28.5 mm； $P$  为码盘旋转一周对应的脉冲值，为 1200 p(p 为脉冲单位)； $L$  为电梯平均每层距离，为 160 mm。

将  $D, P, L$  分别代入式(1)、式(2)中，可计算得  $l \approx 0.0746 \text{ mm/p}$ ， $N \approx 2145 \text{ p}$ 。

电梯全程的每一个位置对应一个脉冲计数值，10 层全部脉冲值(包括顶层和底层的平层位置到上下限位开关之间的距离所对应的脉冲值)约为 20149 p，根据电梯各个位置对应的位移和每个脉冲对应井道中电梯所走的平均距离  $l$  可以计算出相应的脉冲数，通过比较判断所记录的脉冲数就可实现电梯的位移闭环控制。由  $l$  的值可以看出，采用脉冲计数方式实现电梯的位移控制可以得到很高的控制精度。

### 2.2.2 脉冲计数的两种实现方式

通过计算输入脉冲数检测电梯轿厢位置，可

以有 2 种计数方式：绝对计数方式和相对计数方式。绝对计数指采用绝对坐标累计所有楼层脉冲数，每一层都对应唯一的脉冲数，这样会占用较多的存储空间。相对计数方式指采用相对坐标进行计数，每次从平层点开始计数到下一平层点，然后计数器复位，每一层均从该层层高对应脉冲值开始加/减计数。采取这种方式可以节省存储空间，但是可能出现乱层现象，需要在每一层的平层处增加传感器等硬件发出复位信号或通过编制程序以避免乱层现象发生。由于电梯加工精度不高，每一楼层对应脉冲数可能不同，综合考虑后本套模拟电梯控制系统采用了绝对计数方式。

## 3 系统实现位移控制的分析

### 3.1 CompactLogix 系列控制器的工作方式及编程环境

本系统是由 1 个 CPU 模块、1 个电源模块、3 个数字量输入模块和 4 个数字量输出模块构成的 CompactLogix 单机系统。其中 PLC 采用 CompactLogix L31 控制器，它属于 CompactLogix 系列，是 Rockwell 目前主推的 Logix 控制平台<sup>[3, 4]</sup>中的一款中型 PLC。其具体工作方式<sup>[4~6]</sup>分析如下。

1) 控制器采用具有优先级的实时多任务操作系统，支持 8 个可组态任务。其中有一个连续性任务，其他为周期性任务或事件性任务(优先级为 1~15，数字小的优先级高)，每个任务又包括若干程序以实现逻辑控制。

2) Logix 系统中设备之间通过“连接(connection)”或者“非连接的信息交换(unconnected message)”两种方式进行数据通讯。CompactLogix 系统使用“连接”传送 I/O 数据，对于本地 I/O 模块，控制器都会和每个模块分别建立一个直接连接，即控制器与 I/O 模块之间建立一种实时数据传送链路。

3) 系统本地框架中的数字量输入模块采取多信道广播数据(循环数据交换)的工作方式。由 RPI(requested packet interval)指定模块多信道广播(multicast)其数据的速率，如果在 RPI 时间帧内没有改变状态 COS(change of state)发生，模块就按 RPI 指定的速率来多信道广播数据，否则将改变后的状态按 RPI 发送。对于系统本地框架中的数字量输出模块，控制器会分别按 RPI 和在任务执行结束时将数据发送到相应模块。

RPI 设定值范围为 1~750 ms,但它会受系统本地框架中扩展 I/O 模块数量的影响,一般情况下,1~4 个模块 RPI 最快为 1.0 ms,5~16 个模块 RPI 最快为 1.5 ms,17~30 个模块 RPI 最快为 2.0 ms。

4)控制器使用一个优先级为 7 的任务专门用来处理 I/O 数据。这个周期性任务按 RPI 执行,只有优先级高于 7 的任务方可中断处理 I/O 数据。即 I/O 的更新同逻辑的执行过程异步进行,这便于应用系统尽可能收到更新信息。

CompactLogix 系列控制器的编程环境采用 RSLogix 5000<sup>[7]</sup>。

### 3.2 控制系统的通讯方式及软件组态

CompactLogix L31 控制器通过 RS-232 串行口、采用 DF1 全双工通讯协议实现控制器与 PC 的点对点通讯。连接好硬件线路后,利用 RSLinx 软件来对链接工作站和控制器的网络组态通讯驱动程序,实现控制器与 PC 的通讯。可以通过 RSLinx 的自动组态功能实现控制器型号、波特率、校验、停止位、错误检测等的自动组态。本系统中对于 CompactLogix L31 控制器所带的两个 RS-232 串行口,采用其中的完全隔离端口(通道 0),如果采用控制器的非隔离端口(通道 1),需要在控制器与终端设备之间安装隔离器<sup>[5,6]</sup>。

### 3.3 脉冲计数的实现

由于传统 PLC 的 I/O 控制采取集中输入、集中输出的方式,所以对于宽度小于扫描周期的脉冲信号必须采用高速计数器来实现脉冲计数,否则可能会丢失大量的脉冲信号。对于 CompactLogix 控制器,可通过扩展高速计数模块(1769 HSC)实现脉冲计数。考虑到 CompactLogix 控制器本身的 I/O 更新和逻辑执行是异步进行的特点,本系统中自行设计了一块计数电路板,从而代替高速计数模块来解决高速脉冲计数的问题。

计数电路板的计数模式为环计数模式(一般高速计数模块的计数模式<sup>[2]</sup>有两种:线性计数模式和环计数模式),计数范围为 0~+65535,双向计数。脉冲计数电路板以 4 片 74LS193 芯片(高速计数芯片)为主要元件,还包括电平转换电路、计数器复位电路等其它辅助电路。设计过程中为提高抗干扰能力,对于输入信号采用了差分电路;同时为提高电路的响应速度,电平转换电路中的光耦采用了高

速光耦。将脉冲计数电路板的输出信号引入 PLC 的一块扩展输入模块,通过直接读取此模块的输入状态得到对应的脉冲数,由 PLC 控制计数电路清零复位。脉冲计数电路结构图见图 2。

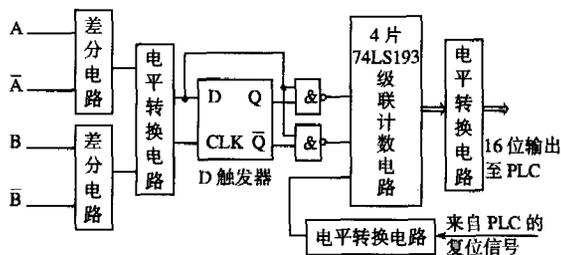


图 2 脉冲计数电路结构图

采用这种方式取代高速计数模块,虽然硬件设计增加了系统的开发时间,且计数精度没有高速计数模块高,但实验表明电梯仍然可以实现较高的平层精度,取得了良好的实验效果,并且节省了购买高速计数模块的昂贵费用。

## 4 实验结果分析及改进

### 4.1 实验结果分析

针对本 10 层电梯控制系统,分别编写简单控制程序(只实现计数和停车功能)和复杂控制程序(实现了电梯的所有基本功能)并进行多次实验,表 1 给出了部分实验数据。其中任务与程序的最大扫描时间可通过读取程序运行过程中的相关参数得到;记录从发出停车指令到实际停车所需脉冲数并对多组数据求平均值,可得到电梯停车所需脉冲平均值;电梯快速运行时码盘发出脉冲的周期可通过如下方式求得:编制简短的延时程序,记录延时时间及脉冲变化值并求得脉冲的周期,对多组实验数据求取平均值。以电梯平层停车所需时间(可由电梯平层停车所需脉冲数乘以脉冲的周期折算得到)为例,通过比较得出,影响电梯平层精度的因素除减速机齿轮啮合间隙等机械因素外主要有以下 4 点:

1)脉冲计数电路的精度限制造成计数累计误差较大;

2)电梯轿厢有惯性且继电器动作有延时,故电梯平层停车需要一定延时时间( $t_1$ );

3)虽然负责计数的输入模块各输入口的状态是按 RPI 不断刷新,但是程序中对脉冲值只有在控制器扫描时才被刷新(刷新的最大延时时间为控制器的最大扫描时间),当程序较复杂扫描时间大于脉冲宽度时,程序中读取的脉冲数值就不

是一个连续变化的数,即扫描间隔会造成一定的死区时间( $t_2$ );

4)从发出停车指令到输出端口状态的刷新存在一定的延时时间( $t_3$ )。

表 1 电梯控制系统实验数据

	任务最大扫描时间/ms	程序最大扫描时间/ms	电梯停车所需脉冲平均值/p	电梯快速运行时码盘发出脉冲的周期/ms
简单程序	1.838	0.170	34	1.828
复杂程序	2.968	0.952	37	

实验数据分析如下。

当程序较简单,扫描时间较短时,可以通过判断单个脉冲值实现楼层检测、换速及平层停车,即平层误差可在士 1 个脉冲的当量范围,平层精度较高。根据表 1 所列数据,电梯停车所需时间为  $t = t_1 + t_2 + t_3 = t_1 = 34 \times 1.828 = 62.152$  ms,其中  $t_2 = 0, t_3 = 0$ ,可见电梯停车时间仅为克服电梯惯性和继电器延时所需时间( $t_1$ )。但是为了使电梯控制系统可实现的功能更为完善,往往逻辑程序较复杂扫描时间较长,此时  $t_2, t_3$  不为零,必须通过一个范围来判断脉冲值以实现位移控制。电梯停车所需时间为  $t = t_1 + t_2 + t_3 = 62.152 + (37 - 34) \times 1.828 = 67.636$  ms。例如,需将  $2300 \leq \text{Local} : 7 : \text{I} . \text{Data} \leq 2310$  作为楼层检测、换速或者平层停车的判断条件,其中 Local : 7 : I . Data 表示位于第 7 槽的数字量输入模块对应的状态即输入脉冲值。

#### 4.2 改进措施

为减小累计误差,可待电梯运行到底层时,通过硬件方式将计数器清零复位;由于  $t_1$  为一固定值,故可通过软件程序避免由  $t_1$  带来的平层误差。实验表明,采取以上措施并考虑减速机齿轮啮合间隙等机械因素的影响后,电梯平层精度可达士 1 mm。为了进一步提高电梯位移控制的精度,实现平稳、快速、准确平层停车,必须尽可能减小  $t_2$  和  $t_3$ ,本系统采用了以下优化软件程序的改进措施。

1)程序中适当增加读取扩展输入模块输入状态(Local : 7 : I . Data)的指令,从而尽量增加控制器对脉冲值的扫描频率,减小刷新延时时间。

2)选取较小的 RPI 如 1.5 ms。

3)采用中断的方式增加扫描频率。例如,控制程序在连续性任务中实现而将判断输入脉冲值(Local : 7 : I . Data)的指令放到一个周期性任务

中,选择较小的周期如 1.5 ms。考虑到负责处理 I/O 数据的周期性任务的优先级为 7,此处周期性任务的优先级选择 1~6。

实验表明,采用改进的方式后电梯可以实现良好的运行效果,平层精度小于士 0.5 mm。

## 5 结束语

采用光电编码盘脉冲计数的方式取代井道中安装换速挡光板的传统方式,实现对电梯的位移闭环控制,不仅提高了平层精度,而且软件编程灵活,便于实现全数字化控制。多层电梯平层精度的提高,除了要保证机械装置的精度较高外,关键在于选择合适的控制器以及对控制算法的改进,虽然采用自行设计的计数电路板代替高速计数模块使脉冲计数的精度有些影响,但由于 CompactLogix 系列控制器采用新的工作方式,电梯仍可实现较高的平层精度。以后可以尝试采用带工业以太网口的控制器(如 CompactLogix L32E),通过以太网代替串行通讯或者通过现场总线实现控制器与工作站的通讯,从而实现上位机对电梯的监控或对多台电梯的群控,这也将成为继续提高我国电梯控制水平的发展方向。

#### 参考文献

- 1 吴晓梅,包金明,崔利生. Rockwell PLC 在 10 层电梯控制系统中的应用[J]. 电子技术应用,2005,31(7): 29~31
- 2 钱晓龙,李鸿儒编著. 智能电器与 MicroLogix 控制器[M]. 北京:机械工业出版社,2003:117~121
- 3 Rockwell Automation. CMLX-BR001A-ZH[S]. www. rockwellautomation. com. cn,2005
- 4 Rockwell Automation. 1769-SG001C-ZH-compactlogix. pdf; CompactLogix 选型指南[S]. www. rockwellautomation. com. cn,2005
- 5 Rockwell Automation. 1769-UM011E-EN-P-compactlogix. pdf; CompactLogix Controllers User Manual [S]. www. rockwellautomation. com,2005
- 6 Rockwell Automation. 1769-IN069A-EN-P. pdf; 1769-L31 CompactLogix™ Controller [S]. www. rockwellautomation. com,2004
- 7 Rockwell Software. Getting Results with RSLogix 5000™ [S]. www. software. rockwell. com,1999

收稿日期:2005-11-28

修改稿日期:2006-06-13