

# 中国实验快堆换料机控制系统设计及台架调试

董升国<sup>1</sup>, 马洪盛<sup>2</sup>, 赵莉霞<sup>2</sup>

(1. 中国原子能科学研究院 中国实验快堆工程部, 北京 102413;

2. 大连天瑞公司, 辽宁 大连 116032)

**摘要:**换料机是中国实验快堆的换料设备, 主要通过抓手和导向管的配合运动, 实现堆芯组件的抓取和插放。换料机控制系统采用了可编程控制器、数字直流调速器等自动化电气设备。通过换料综合试验台架调试, 控制设备运行稳定、可靠, 验证了换料机控制系统的设计满足技术规格书及工艺要求。

**关键词:**换料机; 可编程控制器; 调试

中图分类号: TL334

文献标志码: A

文章编号: 1000-6931(2008)02-0135-05

## Design and Adjustment on Test Bed of Replacing Subassembly Machine Control System for China Experimental Fast Reactor

DONG Sheng-guo<sup>1</sup>, MA Hong-sheng<sup>2</sup>, ZHAO Li-xia<sup>2</sup>

(1. *China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-47, Beijing 102413, China;*

2. *Dalian Tianrui Co., Ltd., Dalian 116032, China*)

**Abstract:** The present research concerns in the design and adjustment of replacing sub-assembly machine control system of China Experimental Fast Reactor. The design of replacing subassembly machine control system adopts some electric equipments, such as programmable controllers, digital DC drivers. The designed control system was adjusted on the test bed. The results indicate that the operation of the control system is steady and reliable, and designed control system can meet the needs of the design specification.

**Key words:** replacing subassembly machine; programmable controller; adjustment

换料机<sup>[1]</sup>是中国实验快堆(CEFR)堆内换料设备。该设备通过换料机上的抓手和导向压紧管(导向管)动作, 完成堆芯组件的提升、插放和旋转及作为堆内破损组件定位探测系统的取样器时执行控制和监测功能。

抓手可上下和旋转运动, 导向管可上下运动。通过抓手和导向管的运动组合实现换料机抓取组件和插放组件。

为准确测量换料机的行程, 控制换料机运动, 在机械设备上设置干簧管、限位开关、电感式传感器、双精度自整角机<sup>4</sup>类传感器。

# 1 换料机控制系统设计

## 1.1 控制系统组成

换料机控制系统(图 1)包括可编程控制器(PLC)、直流调速器、直流电机、传感器和传感

器信号变换器。

选用的 PLC 型号是三菱 Q02PLC,其功能为:运行控制程序;接收现场传感器信号;输出控制指令给直流调速器;驱动电机运行。

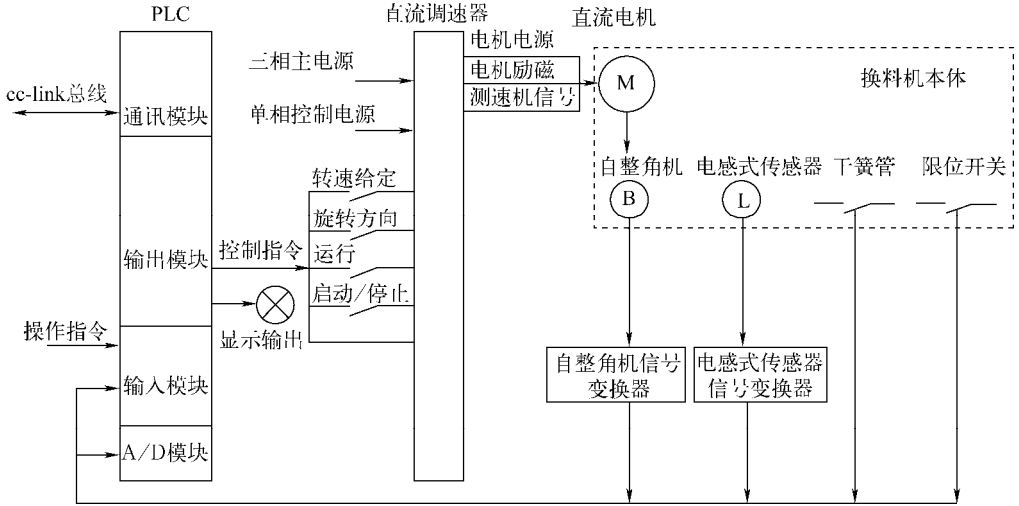


图 1 换料机控制系统框图

Fig. 1 Scheme of replacing subassembly machine control system

换料机采用西门子直流调速器(6RA7013-6DV62-D)。该调速器是全数字化多功能直流调速器,可通过参数设置实现换料机传动所需的如下特性:1) 可设定快速和慢速值,并可在现场调整;2) 可设定平稳启动,即设定在一定时间(如 0~10 s)内保证电机的转速由 0 均匀上升达到规定值,以避免启动冲击;3) 可设定电枢电流和电机扭矩限值,当电流或扭矩达到限值时,自动给出故障信号,并立即停车,从而满足过载保护要求;4) 可实现在到位时自动刹车急停,从而确保停车位置的准确性。

## 1.2 传感器信号变换器设计

换料机机械本体及本体上的传感器由俄方设计制造,其中,电感式传感器和自整角机需设计与之匹配的信号变换器。

### 1) 电感式传感器的工作原理

换料机电感式传感器分为测量位置的自感式传感器和测量组件类型的互感式传感器。

自感式传感器由线圈、铁心和衔铁组成(图 2),当衔铁随被测位置变化而左右移动时,磁路的磁通截面积和磁阻随之变化,该线圈输出的

交流电压也随之改变,该信号经放大、比较并转换成与位移成比例的电量,驱动继电器动作,输出指示机械位置的开关量信号。

换料机抓手上部设有判断组件类型的互感式传感器 07L6。当换料机抓起组件后,不同类型组件头部的高度各不相同,通过 07L6 测量组件类型。

07L6 由信号线圈、激发线圈、铁心和衔铁

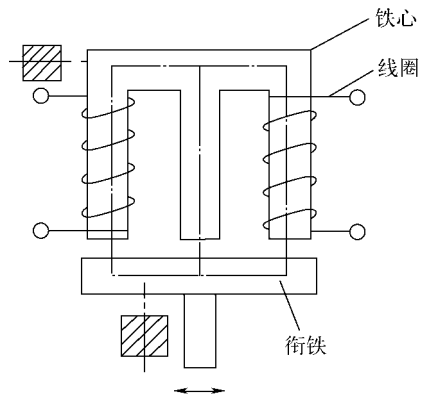


图 2 电感式位置传感器

Fig. 2 Inductive position sensor

组成(图3)。信号线圈、激发线圈构成螺管,当抓手将组件抓至上部位后,组件头部将衔铁顶起,并插入螺管内,衔铁插入深度的不同将引起线圈磁阻变化,从而使线圈的电感变化,导致激发线圈输出电压增加,通过传感器信号变换器整流,将该信号变换为0~10 V DC,进入PLC,判断组件类型。

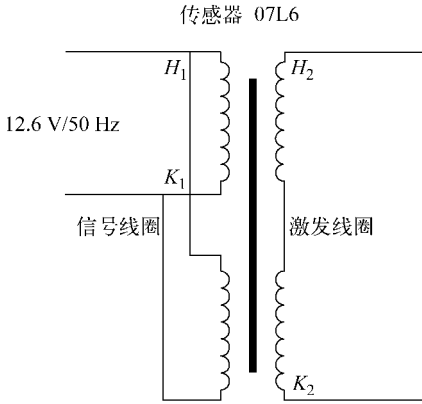


图3 电感式组件类型传感器

Fig. 3 Inductive sensor of subassembly type

2) 自整角机传感器的工作原理

自整角机是一种感应式机电元件,被广泛用于随动系统中,作为角度传输、变换和指示装置。在控制系统中,经常由自整角发送机和接收机联合使用,使机械上互不相连的两根或多根轴能自动保持相同的转角变化,或同步旋转。换料机用自整角机信号变换器代替了传统的自整角接收机,通过变换器内的A/D模块,将发送机输出的交变正弦信号转换为16位BCD码,该数字编码实时反映换料机的位置,换料机的PLC接收此数字量进行定位控制。

1.3 PLC程序设计要点

1) 多个测量通道的信号处理

测量换料机运动位置的传感器共有干簧管、电感式传感器和自整角机3类,这3类信号构成同一运动设备的3个位置测量通道,它们在程序中合理地配合使用,直接决定了机械设备的定位精度和运行的稳定性。

2) 抓手、导向管下部停车位的确定

因堆芯组件受热变形,组件高度是变化的,所以,抓手、导向管抓、放组件时的下部停车位置随机变化,这就要求控制程序利用不同的位

置测量通道信号,实现组件安全抓放的功能。抓手下部停车流程示于图4。

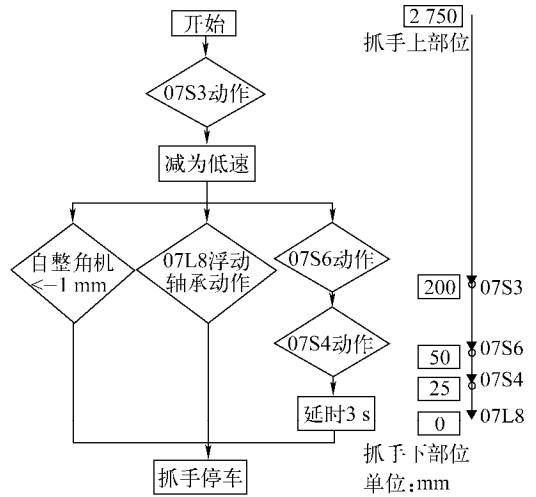


图4 抓手下部停车流程图

Fig. 4 Flow chart of nether stop bit of gripper

以抓手下部停车程序为例,在抓手接近下部工作位时,共有3个位置测量通道:

- (1) 自整角机,在抓手的整个行程中,它连续测量抓手的实时位置;
- (2) 电感式传感器 07L8,它指示机械浮动轴承的动作,当抓手顶住组件头部时,机械浮动轴承抬起,07L8信号是真实反映抓手与组件接触的信号;
- (3) 干簧管传感器,它的 07S3 为抓手在 200 mm处减速信号,07S6 为抓手在 50 mm处采用 07S4 信号,07S4 为抓手在 25 mm处开始延时并停车信号。

在程序中,用电感式传感器 07L8 作为抓手停车的主要信号。组件受热径向膨胀约 6 mm,抓手向下运动至 6 mm处,07L8 动作,停止电机;当抓手向下运动至 25 mm处,干簧管传感器 07S4 动作,延时 3 s后,抓手在 2.5 mm (0.45 mm/s × 1 000/60 = 7.5 mm/s; 25 mm - 7.5 mm/s × 3 s = 2.5 mm)处停车;设定自整角机值为 -1 mm时,抓手停车。即使任意传感器失效,另外两个传感器会继续保证抓手停车。

2 换料机控制系统台架调试

在换料综合试验台架上对换料机控制系统进行机电联调。

## 2.1 换料机调试过程

### 1) 电气设备接线检查

目视检查控制柜的安装是否稳固,接地应牢固良好;检查柜外电缆与控制柜端子连接是否正确、连接螺钉是否牢固;柜内元器件的安装及内部电线连接是否牢固。

### 2) 电机、传感器绝缘电阻测试

用 500 和 100 V 兆欧表分别测量电机、自整角机和感应式传感器线圈对地及相间的绝缘电阻,阻值应不小于 20 MΩ;

### 3) 直流调速器优化

将电机与机械负载脱开,控制系统上电,分别启动抓手上下运动、抓手旋转和导向管上下运动的直流驱动器,执行自动优化程序,使驱动器更好地与电机配合。

### 4) 调整自整角机电气零点

手动将抓手、抓手旋转和导向管的机械调整至零位,旋转自整角发送机线圈,使其在控制柜上的指示为零。

### 5) 调整干簧管安装位置

手动抓手、抓手旋转和导向管,按照换料机运动流程图中指示的干簧管动作行程值,调整干簧管安装位置。

### 6) 调整位置感应式传感器(07L11/13/14/8/18)

手动将抓手、导向管运动至工作位,调节控制柜内相应的信号变换器的电位器,直至变换器继电器动作。

将抓手、导向管机械部件向下顶住支撑物,手驱动抓手、导向管向下运动,使浮动轴承抬起,测量 07L8、07L18 线圈的输出电压  $U$ ,当  $U$  动作为  $0.7U_{\max}$  时,调节控制柜内相应的信号变换器的电位器,直至变换器继电器动作。

### 7) 空载考核 PLC 程序

通过 PLC 内部脉冲发生器模拟自整角机行程,运行考核 PLC 程序。

### 8) 控制系统带载运行

将电机与机械连接,分别点动抓手、导向管运动,确定控制柜指令方向与机械运动方向相一致。

### 9) 测量抓手、导向管上下运动的机械惯性冲量

根据实测值,重新设定程序内部的机械减

速停止点,使机械定位精度满足要求。

### 10) 电动进行“抓取组件”、“插入组件”的组合动作

测量抓手、导向管运行速度,测量组合动作运行时间。

### 11) 07L6 组件类型传感器调试

换料机抓手分别在不带组件、抓有长组件、短组件的情况下,测量 07L6 变换器输出的直流电压,根据实测值划分不同组件的电压范围,并修改 PLC 程序。

## 2.2 调试中的重点和难点

### 1) 自整角机电气零点的调整

在抓手、导向管全部运动行程中,自整角机是唯一连续、实时测量机械位置的传感器,它的零点的确定在换料机控制系统中至关重要,调整过程如下:(1) 手动将抓手、导向管的机械调整至零位;(2) 自整角机通电;(3) 旋转自整角发送机线圈,使其在控制柜上的指示为零;(4) 手动抓手、导向管,检查自整角机输出值是否与机械位置一致,且无跳变。

### 2) 电感式位置传感器动作电压的调整

当机械设备上的铁心进入电感式位置传感器线圈中时,因磁通量的改变,该线圈输出的交流电压随铁心位移的增大而增大,经台架调试,得到图 5 所示的非线性曲线,该曲线表明:铁心位于图中  $x_1$  范围内时,线圈输出电压的变化量 ( $\Delta U$ ) 最大,传感器的变换器更能快速、灵敏地检测出机械位置的变化。调试中设定线圈输出  $0.7U_{\max}$ ,作为变换器的动作电压,驱动变换器内部继电器动作,输出到位的开关量。

### 3) 自整角机数字变换器输出数据的处理

自整角机数字变换器将自整角机的模拟位

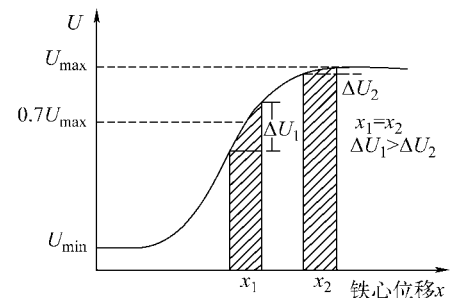


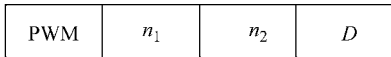
图 5 电感式位置传感器线圈输出电压曲线

Fig. 5 Voltage curve of inductive position sensor

置信号变换为 16 位二进制编码输出,PLC 接收该编码参加换料机定位控制。

在换料机台架调试过程中,多次出现抓手运动中途停车的故障,经反复检查,分析是自整角机数字变换器在输出二进制编码过程中出现了信号跳变,跳变值超出了抓手行程范围,程序认为抓手到位而停车。

根据此现象,PLC 程序采用脉冲宽度调制指令(PWM)处理自整角机数字变换器发送的二进制编码,指令语句示于图 6。



$n_1$ : 脉冲ON时间(3 ms)

$n_2$ : 脉冲周期(6 ms)

D: 执行脉冲输出的软元件

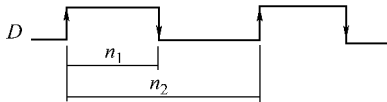


图 6 脉冲宽度调制指令

Fig. 6 Instruction of modulate pulse width

在脉冲  $D$  的上升沿,PLC 采集并存储 1 次自整角机发送的二进制编码;经过时间  $n_1$ ,在脉冲  $D$  的下降沿,PLC 采集并存储 1 次自整角机发送的二进制编码。比较两次采集数值,若相等,则将其作为正确的位置值进入控制程序。

### 3 结论

1) 通过试验台架调试,验证了换料机控制系统的功能,系统的技术指标满足技术规格书的要求,控制设备运行稳定、可靠。

2) 分析、掌握了机械运行过程和传感器动作特性。

3) 通过机电联调,修改和改进了部分电气设计线路和程序,使控制系统更好配合了机械设备运行。具体改进如下:1) PLC 程序增加 PWM 指令,改善了 PLC 接收自整角机变换器数字位置信号的稳定性;2) 根据实测的机械惯性冲量,修改了抓手、导向管的减速停车点程序(抓手向下快速冲量为 21 mm;导向管向下冲量为 6 mm;导向管向上冲量为 8 mm);3) 修改了抓手、导向管运行速度, $v_{\text{抓手}} = 1.79 \text{ m/min}$ , $v_{\text{导向管}} = 0.75 \text{ m/min}$ ;4) 程序增加导向管下到位减速点,减小机械冲击  $v_{\text{慢速}} = 0.1625 \text{ m/min}$ ,减速点为 30 mm 处;5) 程序上解决了抓手下部停车位不固定造成的停车和到位输出信号不一致问题;6) 修改判断组件类型的时机为只有当抓手到上位后,才判断组件类型,而与导向管位置无关。

### 参考文献:

- [1] 李发海,王岩. 电机与拖动基础[M]. 北京:清华大学出版社,1994.