

泰山二期装卸料机简介

Brief Introduction on Fuel Manipulator Crane for Qinshan Phase II

高志新

(核电泰山联营有限公司, 浙江 海盐 314300)

介绍核电泰山二期工程装卸料机的功能、组成、控制、原理及其设计、制造、使用情况。

装卸料机; 新燃料; 地址码; 压水堆; 编码器

Abstract: The paper introduces the function, principle, composition and control of fuel manipulator crane for Qinshan Phase II Nuclear Power Plant, and briefly introduces the design, manufacture and use.

Key words: Fuel manipulator crane; New fuel; Positioning code; PWR; Coding device

核电站用装卸料机是压水堆停堆换料的关键设备之一。它的基本任务是在安全壳内将新燃料组件装入堆芯的指定位置, 将乏燃料组件卸出堆芯运送到装运系统的预定位置, 类似于移动式起重机, 配有一台运行小车和一个塔座式带抓具的伸缩套筒及移动式桥架大车。由提升、抓取、旋转、运行及定位系统等部分组成, 控制抓具能以 $\pm 1\text{mm}$ 定位精度作X、Y、Z 3个坐标轴线方向的运动, 以及使燃料组件作 $0^\circ \sim 180^\circ$ 旋转运动, 以完成装卸、倒换或转运燃料组件的任务。泰山二期工程为 $2 \times 600\text{MW}$ 压水堆核电站, 装卸料机由核工业部第二研究设计院给出设备技术规格书, 电气部分由上海电气自动化设计研究所按设备规格书要求设计、改进装卸料机电气部分; 机械设备由上海起重运输机械厂完成。

1 装卸料机的系统功能

装卸料机设在反应堆RX厂房内, 在反应堆换料水池上方进行水下的燃料组件操作, 装卸料机有4种运动:

- (1) 大车纵向运动(X向), 在水池全长范围内运行;
- (2) 小车横向运动(Y向), 在水池全宽范围内运行;
- (3) 主提升机构升降运动(Z向), 是伸缩套筒及抓具作垂直升降运行;
- (4) 电视摄像杆的升降运动(Z)。

主运行处于水池的3个区域内: 反应堆区域, 更换区域, 燃料转运区域, 提升高度和速度随区域而变化。由于对燃料组件的装入、卸出和倒换操作需在12m以下的水下进行, 且燃料组件之间的距离仅为1mm, 燃料的操作又需要有严格的保护措施, 因此对装卸料机控制系统提出了很高的技术要求。必须较精确地定位在所需操作的燃料组件之上; 在燃料组件升降时具有重量显示及保护特性, 在燃料组件升降时能连续显示高度位置而且能根据不同的高度位置自动变换速度及超速保护; 在大小车运行时必须严格地沿着最佳循环路径运行; 当由于燃料组件变形或其它原因使定位位置变化、不能顺利装卸料时, 设有辅助的观察手段, 能看出抓具偏位方向, 从而旁通X、Y控制系统, 实现大、小车重新定位。无论作哪种运行, 自控系统均能保证对核燃料组件作安全、可靠、准确、方便的操作。

2 装卸料机控制系统的组成

根据系统的功能要求及控制, 装卸料机控制系统分成六大子系统, 系统实施的是执行控制分散, 总体逻辑控制集中的模式见图1。

2.1 自动控制和定位

装卸料机的自动化功能完全由控制柜中的逻辑控制系统(PLC)系统实现, 座标处理系统通过装卸料机X、Y、Z位置的电视显示和提升标高的检测来帮助装卸料机的操作。利用座位上和控制台上的控制器, 操纵员手动操作装卸料机。

2.2 自动保护

- (1) 安全起重测试超速报警装置(CESL)对提升运动的超速进行检测, 座标处理系统(SGC)作为备用检测。
- (2) 载荷指示器系统对主提升运动的超载/欠载检测。

综述
核电设计
工程管理
工程建设
运行维护
核安全
核电前期
核电论坛
核电经济
核电国产化
质量保证
核电信息

- (3) 安全限位开关对X, Y, Z运动和电视吊杆超速控制。
- (4) PLC系统和限位开关对水池操作巡回路线的控制和执行。
- (5) 位于端部车架末端的光电传感器、对装卸料机运行保护。
- (6) 电路和设备(电机、制动闸等)的保护。

3 主提升机构传动系统原理

主提升机构及抓具直接操作核燃料组件,是与核安全有关的设备。所以,其安全可靠是至关重要的,它由主提升位置传动控制系统,载荷监视系统,SGC,CESL以及其它控制、保护电路组成。

主提升传动控制系统框图如图2所示。(大小车传动系统原理与主提升传动相似,在此不作叙述。)整个系统是4环路控制系统。

3.1 直流调速装置系统

调速系统装置为晶闸管逻辑无环流可逆系统,采用法国TE公司的RTV84-D320调速装置,此装置能在转矩/速度范围的全部范围内四象限工作。其交流输入电压设为三相380V,直流输出电压为400V。装置额定输出电流32A,根据电动机的额定电流,装置实际输出电流最大值可经组态编程予以限制,实际输出电流最大值为电动机额定电流的1.5倍。

在主提升直流电机非驱动侧装有测速电机,将转速转换为电压信号反馈到RTV84,从而构成主提升机构的速度闭环。

3.2 主提升控制器和连锁系统

X, Y操纵杆控制器配备有一个十字形杠杆门,它能阻止2种运动同时操作。纵向移动,横向移动,抓具提升,电视吊杆提升和抓具控制之间的其他连锁系统是自动的。在同一时刻它们仅允许作一种运动,但是抓具提升运动和电视吊杆提升运动除外,这2种运动能同时操作。

3.3 主提升机构升、降位置闭环

主提升机构及抓具,位置测量编码器,SGC,PLC构成了主提升的升、降位置闭环。在SGC装置中设置了抓具负载或无载时在不同区域的关键高度点值,经过与输入的位置测量高度信号比较处理后,发送指令给PLC装置去控制主提升自动变速和制动。主提升运行速度与大小车所在的区域、主提升是否带载及主提升的高度有关。

3.4 载荷监控系统

在精确灵敏的载荷监视系统装置中,预设了8个燃料组件的重量参数;轻、重组件,高、低重量限位。这些重量信号发送给PLC,操作员在进行装卸料时通过重量显示器可知组件重量,当超重及欠重时(发生异常)主提升运行自动停止。

3.5 主提升机构实时保护

卷筒测量编码器,CESL,PLC装置,调速装置,电机主提升机构等,是主提升机构运行实时状态的保护环,它通过CESL对系统的测速电机、卷筒上的增量编码器、提升指令、下降指令、慢速指令等输入信号进行综合比较与判断后,对卷筒超速、静/动态钢丝绳解缠等故障实施保护。

4 大小车运行的循环路径控制

操作员可利用一个两轴(X、Y)操纵杆来控制大小车运行,大小车运行实行机械互锁。

在大车支撑框架上安装了4个感应式传感器001SM、002SM、003SM、004SM(大车位置判断传感器004SM为有效地址码,其它三个为23的地址码,其对应的7块凸轮定位靠模沿导向轨道侧面安装,并相应预定了7个二进制地址码,只有当大车位置判断传感器004SM为“1”时,其它3个地址码数值才有效。

大小车运行时,通过地址码输入PLC,使系统得到所处的位置地址信号,作出正确的判断,来控制大小车运动状态,如加速、减速或停止,同时信号灯显示提醒操作员注意或干预。如进入危险区域时,大小车自动强制停车,并信号灯显示,待操作员确认后,大小车才能在操作员操作下以慢速运行进入危险区。燃料组件运输工艺规定了在反应堆厂房大小车必须按照特定的循环路径运行,若发生停电或事故,还可以用手动操作大小车。

5 大小车运行的定位系统和位置确认

5.1 定位系统

大小车各通过两个系统进行定位:

- (1) 通过刻度标尺和指针定位。大车的定位标尺沿导向侧的轨道布置,操作员的助手可以读出位置的数值。小车的定位标尺在操作员前上方,与大车一样,当指针对准标尺上某一刻度时就得到一个给定的位置。
- (2) 光电编码器和数字显示定位。根据定位精度的要求,配置了输出格雷码电平的光电编码器,分辨率为4096/r-256R,每个光电编码器将数据传到一个称作“SGC”的坐标处理单元。这个单元同时传送确切的数据至2个位置显示器上,一个是大车的X向,另一个是小车的Y向。液晶显示器装在控制台的正面面板上。该系统的精度为0.1mm。

5.2 位置确认

沿着大小车的两条运行路线各装有一条开缝的定位反光板,在大车的定位反光板上开有18条缝,对应着18个定位轴线,在小车上的定位反光板上开有15条缝,对应着15个定位轴线。当光电敏感组件对准其中一条缝,装卸料机就能精确定位。该系统内部精度为 $\pm 2\text{mm}$ (X、Y轴线的可调范围)。

2000年6月，3只电气柜通过测试绝缘、耐压试验、模拟操作，都达到设备技术规格书的要求，检验合格出厂。3只电气柜运至上海起重机械厂进行整体试验。

2000年9月，在上海起重机械厂进行整体试验，通过试验，达到设计要求，检验合格出厂。

在2001年4月首次装料，2003年4月首次101换料大修，2004年3月102换料大修及2005年4月103换料大修中，装卸料机控制系统均能保证对核燃料组件作安全、可靠、准确、方便的操作。

秦山二期装卸料机是我国自主设计，引进技术，自行组装的核安全等级设备。装卸料机的完好使用，为核电国产化作出了榜样。