

环吊控制系统故障安全及冗余功能研究

马文讓¹ 胡亚东²

(1 厦门大学电子科学与技术学院, 福建 厦门, 361000;

2 大连华锐重工集团股份有限公司, 辽宁 大连, 116013)

摘要: 本文通过分析环吊运行的特点, 研究开发出环吊故障安全控制方案, 满足环吊运行安全性、稳定性要求。

关键词: 环吊, 控制系统, 故障安全, 冗余功能

1 概述

核电站环行起重机(简称环吊)作为核电站反应堆厂房内唯一的大型吊装设备, 工程建设期间一回路主设备的安装以及厂房内其它所有设备的安装作业、核电站投运后大修换料期间核反应堆压力容器开盖、堆内部件吊装、检修、各种工机具的吊运等均依靠环吊来完成。由于其独特的位置和功能要求, 尤其是涉及核反应堆堆芯吊装作业任务, 都对环吊的稳定性能、安全性能、定位精度等方面都有极高的要求。

2 环吊运行要求

环吊设置主起升机构、副起升机构、大车旋转机构、小车运行机构、辅助小车起升机构、辅助小车运行机构等。

安全性能要求: 环吊下方就是核反应堆以及其它一回路重要设备, 任何载荷的跌落有可能导致严重损失甚至引起核泄漏, 因此, 环吊从结构设计、机构配置等方面均有效提高了设计安全系数, 控制系统更是按照采用单一故障保护原则进行设计, 对各种运行故障发生原因以及将会引起的后果进行系统的分析、归类, 从而制定相应的检测手段和一系列的保护措施, 即使在最为不利的工况下也能够有效的保持载荷, 避

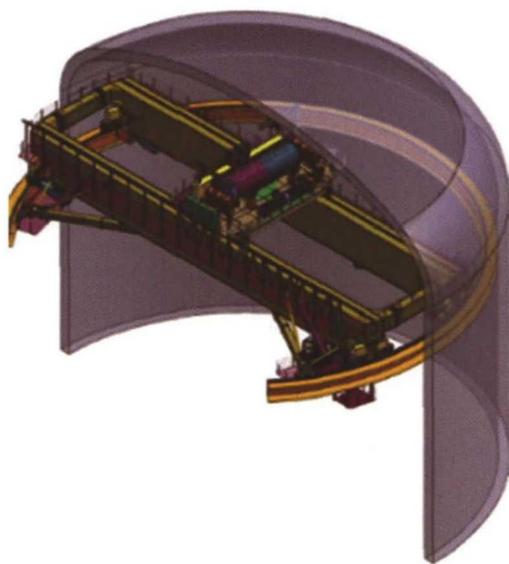


图1 环吊总体构成图

免产生进一步的危害。

稳定性能要求: 在反应堆大修换料期间, 核岛反应堆厂房的独特条件以及运行要求对核环吊的性能提出了苛刻的要求: 在核电站正常发电运行期间(12~18个月), 反应堆厂房处于完全封闭状态, 核环吊处于

整机断电隔离状态,核环吊无法得到必要的性能检测、维护保养;同时反应堆厂房内的高温辐射环境对电气仪控设备的性能和寿命影响显著;核电站进行停堆换料时,要求核环吊立即进入运行状态(几乎无保养维修时间),如果环吊因故障不能按时投入运行,将导致整个大修换料工作无法进行,直接影响关键路径和换料大修周期。因此,环吊的稳定性能直接关系到核电站运行的经济效益。环吊运行的主要参数见表1。

表1 环吊运行主要参数

机构	参数	起重量 (t)	运行速度 (m/min)	起升高度 (m)
主起升		205	0~3.5	46.4
副起升		20	0~10	52.9
辅助起升		5	0~12.5	46.7
安装小车		480	0~0.5	47.5
大车旋转速度			0~20m/min	
小车运行速度			0~10m/min	

3 控制系统构成

鉴于环吊运行的安全性能以及稳定性能要求,环吊控制系统按照单一故障保护原则、冗余原则、多样性原则进行了系统设计,采用先进成熟的控制技术和调速技术,提供先进的故障诊断系统和友好的人机界面,确保环吊运行安全、稳定、操作舒适、维护便捷,环吊整机控制系统网络拓扑图见图2。

环吊采用 IGBT 多传动交流变频调速驱动系统,能量回馈模式,能够将机构在回馈制动状态下产生的能量回馈给电网,有效降低发热,能源利用率得到有

效提高。各机构采用 DTC 控制模式,能够对电机实现精确的速度和转矩控制,静态速度控制精度能够达到 0.01%,动态速度控制精度能够达到 0.1%sec,转矩响应时间小于 5ms。

除了 PLC 逻辑联锁以及数据计算处理提供的“软保护”系统外,系统还设置了安全急停控制回路、过运行限位、超载检测、手动释放检测限位、门开关等作为环吊的硬线保护回路,参与保护及联锁,确保环吊运行安全。

同时系统还对对主要电气产品的电气寿命进行科学的统计和归档,为环吊的运行和维护提供十分有效的数据参考。

4 冗余切换功能

PLC 作为环吊控制系统的核心,除了常规的信号采集、逻辑控制、数据运算以及处理、实现对配电系统的启动/停止控制、整车联锁控制、各机构运行的启动/速度给定/停止等指令控制、HMI 系统数据传送等一系列功能外,其冗余容错及故障切换功能是保障环吊安全性能和稳定性能的一项显著设计方案体现。

环吊设置了冗余的 PLC 系统,系统结构图详见图3。

CPU 冗余:双 CPU 均处于工作模式,主机和从机角色随机分配,通过 RCU 专用连接电缆实现数据的实时传送映射;

通讯模块冗余:主站和各从站之间采用

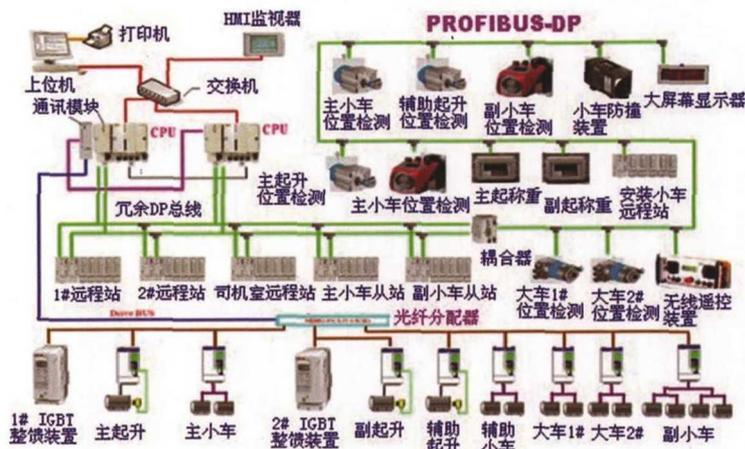


图2 环吊控制系统网络拓扑图

PROFIBUS-DP 进行通讯。主机架上设置冗余的 CI854A 通讯处理单元；

接口模块冗余：司机室、电气室、MCC 机柜、小车盘远程控制站等均设置了冗余的 CI840A 通讯接口模块；

电源冗余：CPU 主机架、各远程控制站等均设置了冗余的 DC24V 电源模块，防止因为电源模块突

够第一时间将错误或故障信息发送到环吊 HMI 系统，提示维护人员及时进行故障排除，将系统恢复到完整的冗余状态，保障环吊运行的安全裕量。

5 安全控制功能

5.1 安全继电器

为了保障环吊运行期间设备及人身安全，在环吊关键部位和路径上设置了多个急停开关，急停回路采用冗余电路和电子电路，控制逻辑详见图 4，通过专用钥匙开关进行复位，确保操作安全。安全继电器安全等级为 Catlog 4。

5.2 故障安全型 PLC 系统

环吊 PLC 系统带本质安全功能，确保对驱动装置以及制动器进行安全有效的控制，最大限度的避免安全事故的发生。安全特性如下：

- 1) 每个模块带自诊断功能；
- 2) 编程时根据故障危害程度可以对 I/O 模块的状态进行预定义，当发生故障时能够立即切换到安全模式；
- 3) 可对故障点位或模块进行电气隔离，不影响其它点位或模块的运行；
- 4) 模块底座带硬件锁件；
- 5) 所有模块可以带电插拔；
- 6) 在线调整系统配置而不用停机。

当系统发生致命错误或检测到预定义故障时，PLC 系统将立即进入一个安全状态或保持为安全模式，确保人身、机器、环境、过程的高度安全。

5.3 安全制动系统

环吊起升机构设置了 3 套独立的制动器，分别为工作制动器、紧急制动器、安全制动器。环吊控制系统设立了一套 PTMS 系统以实现对各级制动器的有序安全控制。

PTMS 系统为一个独立的 task，执行完全独立的扫描周期，程序扫描周期为 10ms。其结构图见图 5。PTMS 系统的主要功能为：

- 1) 安全有效控制制动器动作，采用零速制动功能，减少磨损和冲击；

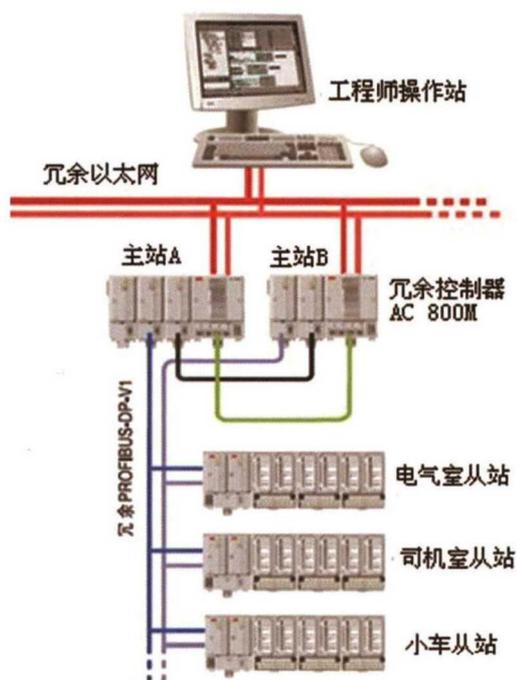


图3 PLC 系统冗余结构图

然损坏或外部电路发生短路或接地故障能够迅速切换；

通讯介质冗余：工业以太网链路、现场总线网络均设置用了冗余回路。并且电气室和小车盘之间采用冗余的光纤链路作为通讯传送介质，最大限度避免干扰。

当上述任一硬件或回路发生错误或故障时，PLC 系统能够立即进行无扰动自动切换，切换时间小于 10ms，切换过程无任何数据丢失，从而保障环吊即使在故障状态下也可以实现不停机运行，保障运行安全。

同时，当系统发生故障或错误切换时，系统能

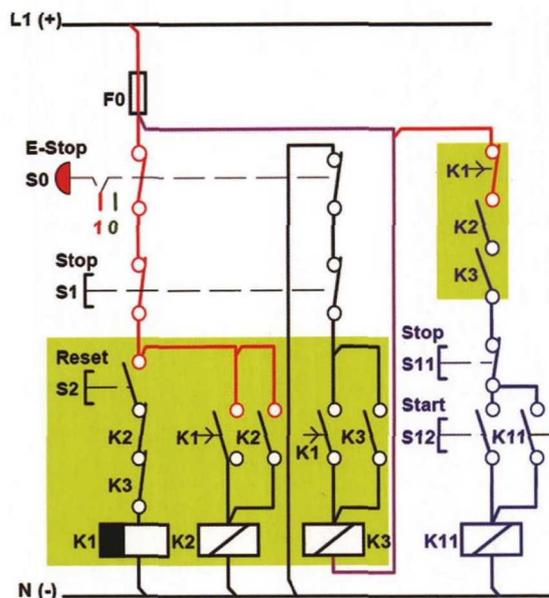


图4 安全继电器逻辑控制图

- 2) 高速轴、低速轴各种工况下的超速 / 欠速监测 (空载弱磁、带载状态);
- 3) 传动链完整性检测;
- 4) 电机响应失效检测及保护;
- 5) 静态反转监测及保护;
- 6) 动态反转监测及保护;
- 7) 运行行程检测及安全保护;
- 8) 机构响应故障监测;
- 9) 系统故障检测。

当系统检测到上述故障时，能够实现及时安全停机，同时通过控制卷筒侧的安全制动器动作，最终实现对载荷的安全控制。

5.4 安全校验功能

系统对设备各机构运行位置坐标、当前载荷量、操作给定速度、响应速度及方向、机构运行条件等进行充分的校验和联锁，确保操作和运行安全。

工控机、HMI 操作界面分别按照不同的操作级别进行授权，各级操作者只有经过合格培训并取得相应授权，通过不同用户名以及相应密码登陆后方可进行操作；采用工业安全级无线遥控装置，自动频率管理

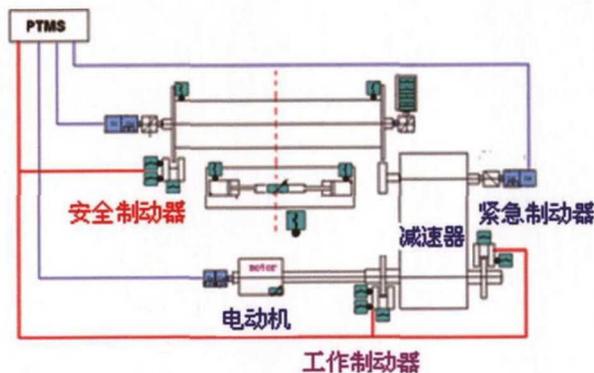


图5 PTMS 系统结构图

技术 (AFM)，同频不干扰。全双工通讯，带 LED 显示屏，用于故障、状态信息显示，每条指令含 16 位地址码校验码，双 CPU 解码，确保操作安全。

6 总结

安全保障性能是环吊设备的首要需求，该项研究分析了环吊实际运行特性及要求，并有针对性地提出了应对措施和解决方案，能够较好的解决环吊运行安全性能、稳定性能的需求，方案采用了许多当前较为先进的工业技术和产品，也充分考虑了系统组成的性价比，具有一定的实际应用水准。DMT

参考文献

[1] 胡亚东, 周德智. 环吊技术方案说明书 [E]. 辽宁: 大连华锐重工集团股份有限公司, 2009.
 [2] 工业 PLC 控制系统 [X]. ABB 公司, 2010.