

文章编号: 0258-0926(2015)S1-0125-05; doi: 10.13832/j.jnpe.2015.S1.0125

# 核电工程 DCS 供货进度延误下的 仪控系统相关项目的调试

忻惠民

中核核电运行管理有限公司, 浙江海盐, 314300

**摘要:** 在方家山核电工程 1 号机组数字化控制系统 (DCS) 相关设备供货进度延误情况下, 仪控调试采取了一系列对策以确保工程各节点的进度。仪控调试对策包括: 确认 DCS 最小系统、软硬件分开供货、使用试行 (PRE) 版本进行核辅助系统开盖功能试验、采取临时方案进行水压试验、利用国内技术力量在调试现场实施设计变更等。对所采取的对策进行了风险分析、可行性研究和方案制定。工程实践表明, 所采取的仪控调试对策是行之有效的, 确保了工程各节点的进度。

**关键词:** 最小 DCS 系统; 软硬件分开供货; 临时方案; 设计变更 (DEN)

中图分类号: X591 文献标志码: A

## I&C Commissioning Strategies with Delayed Supply of DCS Equipments for Fangjiashan Nuclear Power Project

Xin Huimin

CNNP Nuclear Power Operations Management Co.,Ltd, Haiyan, Zhejiang, 314300, China

**Abstract:** On condition that the supply schedule of the Digital Control System(DCS) equipments were delayed for Fangjiashan nuclear power project unit 1, series of strategies were adopted in I&C commissioning to ensure the project progress, including the confirmation of DCS minimum system, separated supply of software and hardware, utilization of the PRE vision (prerequisite) in cover-opening functional tests of nuclear auxiliary system, adoption of temporary scheme in hydrostatic testing, and implementation of DEN on Site using domestic technology. Risk analysis, feasibility study and plan formulation were conducted for the strategies. The project practice indicated that the adopted strategies in I&C commissioning were effective, and helpful for the control of project progress.

**Key words:** Minimum DCS system, Separated supply of software and hardware, Temporary scheme, Design evolution notice(DEN)

### 1 系统简述

方家山核电工程仪表和控制系统 (I&C) 采用全数字化控制系统 (DCS), 从结构上可以分为零层设备、一层设备和二层设备。零层设备主要包括现场传感器、被控设备以及相关的接线; 一层设备包括保护系统控制模块 (1E 级)、核岛控制

模块 (NC 和 NC+)、三废控制模块和常规岛控制模块以及包含逻辑控制软件在内的电厂过程控制机柜系统 [包括 NC/NC+ 的智能自动化系统 (IA) 机柜和 1E 级的 Tricon (三冗余系统) 机柜]; 二层设备是指针对操作员的监视和控制设备, 包括主控室和辅助控制 (KIC/KPR)、后备盘

(BUP)、紧急操作盘(ECP)及安全级显示屏(SVDU)。根据DCS的设计以及模块划分,从调试逻辑分析看出,DCS零层设备和一层设备是核心控制模块,只要这些模块能够满足基本的控制需要,就可以进行相关系统的物理特性试验,即单体试验,主要有振动、流量、压力、动作时间等。只要通道检查正确,这些参数不会因为软件的变化而有所不同。

核岛控制模块(NC和NC+)控制着化学和容积控制系统(RCV)、反应堆冷却剂系统(RCP)、余热排出系统(RRA)、反应堆硼和水补给系统(REA)、安全注入系统(RIS)、安全喷淋系统(EAS)等系统的主要逻辑运行。这些系统具备基本的控制运行就能够对一回路进行充水、主泵运转升温控制、一回路压力的自动控制、设备运行相关参数的监视等功能,这些功能具备就能够进行一回路的水压试验。热态功能试验需要模拟机组装料后的整体运行情况,特别是要验证保护系统的逻辑联锁功能,因此,在热态功能试验之前必须保证反应堆保护系统可用。

## 2 DCS供货进度延误与工程进度的关系

方家山核电工程DCS供货合同规定,DCS设备将按照3个供货包(LOT)进行供货。随着

工程向前推进,为了更能贴近工程实际进程,为满足工程进度需求,将DCS供货的3个LOT进一步拆分为不同的批次。DCS供货情况与工程进度节点关系见表1。从表1可以看出,DCS供货时间比合同规定时间严重滞后,与工程实际进度也存在较大的差距,由于DCS供货延误,将造成方家山核电工程进度的延误。

## 3 采取的对策

根据上述分析,采取常规的供货方式和调试逻辑将不能满足工程实际需求。为此,在工程的各个节点,根据DCS实际到货情况,结合工艺调试的固有特性,仪控调试采取了以下对策配合工艺系统进行调试工作。

### 3.1 确认DCS最小系统,满足工程节点

在最初的PX泵房进水节点上,通过DCS最小系统的实现,来满足工程节点,具体做法如下:

(1) 提出最小系统边界及仪表清单。

(2) 确定DCS系统的最小需求:涉及一部分1E级的传感器以及1E级控制逻辑(如SEC002MP等),1E级传感器供电拟考虑采用临时机柜供电,阈值比较模块及控制逻辑采用IA平台软件;设备冷却水系统(RRI)、重要厂用水系统(SEC)涉及的NC/NC+机柜已到货。

表1 DCS供货情况与工程节点关系表

Table 1 Relation Form between DCS Supply Schedule and Project Progress

供货批次	合同供货	实际/计划供货进度(以2011/3/30设计文件为冻结点)	与工程二级进度计划比较	相关工程节点	备注
LOT1(倒送电相关控制柜)	2010/9/15	2011/6/27(已到货)	延期约8个月	倒送电第二阶段及压空分配	DCS最小系统
LOT2/B1/P1、PX紧急操作盘ECP、操作员工作站OWP和人机接口HMI)	2011/4/15	2011/11/4(已到货)	延期约6个月	—	DCS最小系统
LOT2/B1/P3(后备盘BUP、大屏幕POP和远程控制站RSS)	2011/4/15	2011/11/4(已到货)	延期约6个月	—	DCS最小系统
LOT2/B2/P1(泵房进水相关控制柜)	2011/4/15	2013/2/14	延期约15个月	泵房PX进水2012/2/15	不能满足PX进水要求
LOT2/B2/P2(一层网络设备及配电盘)	2011/4/15	2012/7/24	—	—	DCS最小系统
LOT2/B3(核回路冲洗相关控制柜)	2011/4/15	2013/3/28	延期约14个月	核回路冲洗2012/4/30	不能核回路冲洗要求
LOT2/B4a(其他IA控制柜)	2011/4/15	2013/4/10	延期约13个月	部分设备与冷态、热态功能试验有关2012/6/25	不能满足冷、热调试要求
LOT2/B4b(1E控制柜)	2011/4/15	2013/8/16	延期约15个月	—	不能满足冷、热调试要求
LOT3(三废控制系统KSN和常规岛控制系统CI控制柜)	2011/9/15	2012/6/24	延期约4个月	—	软硬件同时出厂存在进度风险

(3) 已建立临时 IA 工作站及交换机网络 (NC+服务器及交换机机柜有抗震要求,抗震鉴定未做因此还未正式供货)。

(4) 用 IA 设备建立临时监控画面, PX 泵房进水相关系统的报警画面、趋势功能能够使用。

(5) 编制最小 DCS 系统所需临时方案, 提出临时电缆的敷设路径、端接文件、软件组态等。

通过对工艺系统调试节点需求分析, 尽量利用 DCS 现有供货情况, 使用最小 DCS 系统, 最终实现了泵房进水的工程节点。

### 3.2 软硬件分开供货, 使用 PRE 版本进行调试

由于测试和验证(V&V)及质保流程等原因, 供货商出版的软硬件相关文件从 PRE 到 CFC 版要花费较长的时间, PRE 软件与工厂验收测试(FAT)软件差 6 个月左右。为了满足现场核辅助系统开盖功能试验需求, 方家山核电工程 DCS 非安全级系统机柜采用软硬件分开供货策略, 并考虑使用 PRE 版文件。

#### 3.2.1 风险分析

(1) 核辅助系统开盖功能试验是需要独占压力容器或者换料水箱的试验, 这些试验在工程进度的关键路径上实施的成本和风险高, 实施难度大。

(2) 供货商提供的非安全级硬件设备, 其正常设计流程已完成, 设计质量有一定的保证。但供货商对于所有 DCS 设备都开展了独立的 V&V, 非安全级设备采用内部独立的 V&V, 1E 级设备由独立的第三方进行 V&V, 但相关标准并不要求对非安全级设备进行独立的 V&V, 在后续项目中也取消非安全级设备的独立 V&V。如果 PRE 版硬件相关文件存在的一些和系统设计相关的问题或错误, 设备集成或出厂进行硬件的检查和测试一般是检查不出来的(由于目前软硬件分开供货, 设备出厂时不进行功能测试)。因此, 硬件设备提前到场开展安装、接线、通道试验工作, 在现场能提前发现输入/输出(I/O)点配置错误、丢失 I/O 点等错误, 以及供货商端接报告与设计单位端接文件的不一致。由于 DCS 采用的是标准机柜及 I/O 卡件, 同时每个机柜都有一定数量的备用点数, 现场修改相对容易, 且不会对其他设备造成影响。

(3) 二层软件的 PRE 版本与 CFC 版本从设

计原理上无本质区别, 只要在试验前做好通道检查、测试, 可以通过二层 PRE 版软件对泵和阀门进行操作。

#### 3.2.2 调试对策

(1) 为避免使用 PRE 版软件可能存在的错误引起设备误动造成危害, 在 PRE 版本的软件投入运行前, 先用调试规程对软件进行测试(如用调试规程 TP08 进行模拟通道验证, 用调试规程 TP09 验证逻辑组态的正确性), 以保证 PRE 版本的软件在投入运行前的完整性和正确性, 避免或减小使用 PRE 版本软件对系统和设备的影响。

(2) 在使用 PRE 版软件进行调试过程中, 如果发现 PRE 软件与设计单位的逻辑图、模拟图等不符合, 或者不能实现对工艺系统的正常启停, 则现场实施 PRE 版软件的修改, 并做好现场差异报告(FAR), 等 CFC 版本软件到现场后, 再对现场使用的 PRE 版本软件和 CFC 版本软件进行分析和对比, 确保 2 个版本软件的一致性。根据软件的修改情况, 决定是否重做或补做调试试验。

阀门的动作时间可以通过二层电站计算机和控制系统(KIC)进行记录, 或用秒表就地记录。

在模拟量测量方面, 二层软件不会引入数据误差, 可以采用 PRE 版本软件进行数据记录, 或利用记录仪进行数据记录。

3.2.3 小结 采用软硬件分开供货以及使用 PRE 版文件开展调试, 虽然存在一定风险, 但采取相应的措施后, 风险可控, 对项目进度有利。

### 3.3 采取临时方案确保工程进度

在 DCS 1E 级机柜供货延误情况下, 在经历了泵房进水、电气厂房送冷风、开盖功能试验等调试活动后, 考虑采取仪控系统临时方案, 可以开展水压试验。下面对水压试验的条件、临时方案分析及可行性等进行分析。

#### 3.3.1 前提条件

(1) 首先 1 号机组已完成了 PX 泵房进水、电气/核岛厂房送冷风、核回路冲洗、安全壳整体密封性和强度试验、二回路水压试验、500 kV 倒送电、一阶段役前检查、冷态开盖功能试验等重要节点目标。

(2) A 列应急柴油发电机已实现首次启动, 保证应急柴油发电机可用。

(3) 3 个环路的主泵水力部件和主泵电机安

装结束,并经过启动试验。

(4) 水压试验前应完成的试验项目正在按计划实施。

(5) 除 1E 级 DCS 外,1 号机组具备开始一回路水压试验条件。

### 3.3.2 采取临时方案的风险和可行性分析

(1) 一回路水压试验是将一回路打压到一个规定的试验压力,对 RCP 系统及其有关辅助系统的高压部分进行强度性水压试验。水压试验相关系统完整性和试验期间的状态控制是水压试验安全和成功的前提。

(2) 就地参数采集及监视、设备运行保护等控制逻辑以及调节系统的调节功能等主要在 NC/NC+ 机柜中实现,水压试验相关系统的 NC/NC+ 部分逻辑功能试验已全部完成。

(3) 仅改变回路供电方式,不影响控制回路中后续的控制逻辑,对水压试验无风险;对于模拟量仪表回路,仪表回路精度由仪表及采集卡件决定,改变供电电源不会影响仪表回路精度;对开关量仪表回路无影响。

(4) 在水压试验期间不需要投运安全注入、安全喷淋自动控制逻辑,可不采取措施。在 1E 控制机柜在场的情况下实施水压试验时,需要闭锁以上信号,因此,此刻不投运安全注入、安全喷淋自动控制逻辑对水压试验无影响。所以在水压试验期间实施临时控制措施(TCA),将与安注、安喷逻辑存在接口的 NC/NC+ 逻辑部分的信号输入点进行闭锁。

(5) 在 1E 级控制机柜不到场的情况下,应

急柴油发电机处于手动热备用状态。水压试验期间,500 kV 厂外主电源、220 kV 厂外辅助电源、应急柴油发电机 3 路电源都是可用的,不投运应急柴油机相关自动控制逻辑对水压试验无影响。

(6) 在水压试验期间实施 TCA,将水压试验期间不需投运或不需要自启动的设备进行失电后卸载。

3.3.3 临时方案的制定和实施 水压试验涉及 1E 仪表信号 54 个,其中通过隔离箱直接对接的信号有 24 个,通过临时电缆接入 NC/NC+ 机柜的信号有 30 个。具体实施方案见图 1。

为了完成水压试验,制定了 15 份临时控制申请表(TCA)。水压试验所需系统的 1E 级仪表信号由 1E 机柜供电或采集及信号调理,转送入 NC/NC+ 机柜,然后送往主控显示和产生报警。此类仪表信号分为 2 类: 经过 1E 隔离模块隔离后,硬接线送往 NC/NC+ 机柜,仅由 1E 控制机柜内电源模块提供仪表回路供电; 送入 1E 控制机柜,经过 1E 控制软件信号采集调理后,通过网络送往 NC/NC+ 机柜。

3.3.4 实施效果 由于采取了仪控系统临时方案,使得方家山核电工程水压试验在 1E 级机柜未到场的情况下提前 8 个月完成。

### 3.4 在调试现场解决 DEN 问题

由于种种原因,在 DCS 合同规定的设计冻结点之后,设计单位又出版了很多 DEN。供货商提出由于设计输入冻结点的推后,导致 DCS 设备的设计、实现及测试时间推后,最终的交货时间将滞后 14 个月。为此,设计冻结点之后的变更将

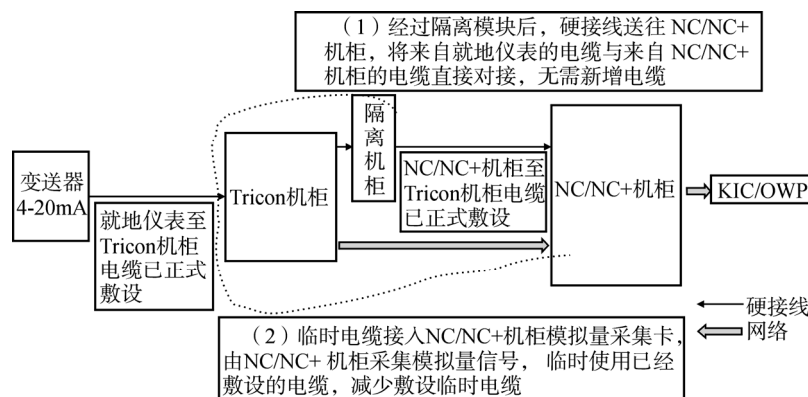


图 1 水压试验控制逻辑临时方案示意图

Fig. 1 Diagram of Temporary Scheme for Hydrostatic Test Control Logic

注:图中虚线表示隔离机柜和 Tricon 机柜未到货

不再发给供货商，而是由国内技术力量在调试现场进行实施。

#### 3.4.1 LOT2 部分 NC 和 NC+软件 DEN 修改

(1) 编写方家山核电 1 号机组 DEN 调试技术规格书。

(2) 工作准备：对比新版功能图 (FD) 图纸与老版图纸，确认设计变更并标注差异项，编制 FD 图纸差异项统计表。涉及到 67 个系统，需对比的图纸共计 6153 页；根据新版 FD 图纸中的变更项，修改集成控制组态器 (ICC) 组态，编写 ICC 修改记录。需要修改 93 个控制处理器 (CP) 组态，修改 243 个组合模块；对比 67 份冷态试验组态与基线配置文件 (BCD) 组态，编写组态对比报告；统计 DEN 中卡件通道的修改信息，编写 DEN 端接报告。

(3) DEN 调试：针对修改后的逻辑组态，测试逻辑修改的准确性并验证其控制功能 (即调试)。工作范围如下：硬件功能试验；根据 DEN 端接报告，进行通道试验；软件功能测试和调试；根据 FD 图纸差异项统计表，检查 ICC 逻辑组态，并进行 DCS 控制功能验证；热态试验阶段维护和更新 DEN，完成 DEN 调试试验。

#### 3.4.2 二层 DEN 修改

(1) 编写方家山核电工程 1 号机组 NC 级 DCS ADACS\_N 二层软件调试技术服务协议。

(2) 工作准备：流程图画面的增加和修改 (52 幅左右)；报警点完善：根据报警手册，增

补 RCV 等系统缺少的报警点、表达式，并根据一层现有数据补充相关过程对象 (PO)，报警点总数约 6000 多点。同时提供相关系统报警表 (ALARM EXCEL)，并补充报警手册版本以及报警计算表达式；历史数据记录添加：完成 RCV 等系统相关 PO 历史添加，历史数据总数约 8000 余点；二层现场数据更新工作：计划每 2 周进行 1 次二层数据更新工作，相关数据需提前 2 d 到达现场，提前 1 d 完成下装前的准备，如有特殊需求，需提前通知；数据处理软件。根据提供的设计输入，进行预处理，生成为数据产生系统 (DGS) 可识别数据包的工具软件。根据现场实际需求，对工具软件进行升级以及后续服务。

## 4 结束语

在方家山核电工程 1 号机组 DCS 供货延误情况下，仪控调试采取了确认 DCS 最小系统、软硬件分开供货、采用 PRE 版本进行核辅助系统开盖功能试验、采取临时方案进行水压试验、利用国内技术力量实施设计变更等对策。工程实践表明，在 DCS 供货延误情况下所采取的仪控调试对策是行之有效的，圆满完成 PX 泵房进水、电气/核岛厂房送冷风、冷态开盖功能试验、水压试验及热态试验第一阶段等重要节点目标，确保了工程各节点的进度。

(责任编辑：孙 凯)