

文章编号 : 0258-0926(2015)01-0060-04; doi:10.13832/j.jnpe.2015.01.0060

大亚湾核电站堆芯冷却监测系统改造

王 源, 熊国华

中科华核电技术研究院有限公司, 广东深圳, 518026

摘要: 针对大亚湾核电站堆芯冷却监测系统 (CCMS) 面临部件老化、备件无法采购导致系统工作不稳定及故障报警闪发的现状, 提出对 CCMS 进行整体升级改造。描述新 CCMS 采用国产化安全级仪控平台 Firmsys 的设计方案, 以及对新 CCMS 的功能及接口等关键技术进行研究与分析; 介绍在安装调试阶段遇到的技术问题及其解决方法。对改造后系统进行功能验证, 以实现 CCMS 的自主化设计和改造。

关键词: 堆芯冷却监测系统 (CCMS); 改造; 设计
中图分类号: TL363 **文献标志码:** A

Modification Design and Implementation of Core Cooling Monitoring System in Daya Bay NPP

Wang Yuan, Xiong Guohua

China Nuclear Power Technology Research Institute, Shenzhen, Guangdong, 518026, China

Abstract: In order to solve the problems of aging of core cooling monitoring system, and the unstable work and the flash failure alarm of CCMS due to unavailability of some old parts in Daya Bay Nuclear Power Station, the modification of the whole upgrading program is proposed. The design of new CCMS using localization instrument control platform (Firmsys) is described. The research and analysis for the key technology of new CCMS function and interface is done. The installation and commissioning stage of handling technical problems and the solution is described. The new system has been functionally verified. Finally the independent design and renovation of CCMS is realized.

Key words: Core cooling monitoring system (CCMS), Modification, Design

0 引言

大亚湾核电站堆芯测量系统 (RIC) 包括堆芯中子注量率测量和堆芯温度和堆芯冷却监测系统 (CCMS) 两部分, 用于测量反应堆中子注量率分布、堆芯冷却剂出口温度、压力容器水位等信号^[1]。该系统是唯一直接与反应堆压力容器连接的安全重要仪控系统。CCMS 部分属于安全 1E 级, 可连续监测堆芯冷却剂出口温度和压力容器水位数据, 并确保在事故工况下及事故后连续监测这些数据。

大亚湾核电站的 CCMS 由法国 AREVA 公司

供货, 投入现场运行至今已近 20 年, 设备都为模拟的板卡及配件, 设备逐年老化且工作不稳定。由于 CCMS 属于专用开发的系统, 系统关键板件厂家已经不再生产, 无法采购, 现场一旦出现故障难以维修, 并经常闪发故障报警信号, 可能导致 CCMS 不可用, 已经面临难以维持的风险, 严重影响电厂运行的可靠性和经济性, 需通过设计开发新系统进行改造才能彻底解决。

1 系统改造范围

CCMS 是 RIC 中的安全级部分, 其功能为堆

芯温度测量与压力容器内水位测量，是事故后监测系统的重要组成部分。通过测量得到的一回路压力、堆芯饱和温度裕度及冷却剂水位等参数，为操作员提供一回路的状态信息。CCMS 改造以计算机柜(RIC011AR 和 RIC012AR)输入信号端子排为边界，端子排后的所有设备(包括端子排)需要整体更换。即更换计算机柜(RIC011AR 和 RIC012AR)，取消记录仪机柜(RIC003AR)，记录仪功能保留，新的数字记录仪安装在计算机柜(RIC011AR 和 RIC012AR)内部，同时更换主控室的远程显示盘(RIC001PP 和 RIC002PP)，改变集中数据处理系统(KIT)通信站接口等，保持报警输出到警报处理系统(KSA)接口不变。同时更换设备间的连接电缆和电源电缆等，不涉及 CCMS 前端热电偶和冷端温度补偿箱。改造还会导致相应的运行规程、定期试验和监督规程作适当修改。

2 改造后系统结构和组成

改造后的系统严格按照 1E/K3 设计和鉴定，保持原来的 A/B 列冗余设计，遵循原系统的设计准则和要求，不影响单一故障准则。改造后，系统软硬件采用北京广利核系统工程有限公司的 Firmsys 核级数字仪控平台，覆盖原系统全部功能，并且考虑到今后事故规程转换到状态导向规程(SOP)的需求，功能设计参考执行 SOP 规程的岭澳核电站 3、4 号机组方案进行改造。改造后系统由两台计算机柜(RIC011AR、RIC012AR)、一面盘台(P10 盘)组成。P10 盘上安装了 RIC001PP、RIC002PP 两块显示设备。RIC011AR、RIC001PP 属于 A 列，RIC001PP 是 CCMS-A 的远程显示设备。RIC012AR、RIC002PP 属于 B 列；RIC002PP 是 CCMS-B 的远程显示设备。CCMS-A、CCMS-B 通过光纤、硬接线与 KIT 通信站连接，通过硬接线与 KSA 连接。KIT 通信站利用原有的通信站计算机，但增加了通信接口设备；参数整定工具作为新增的离线工具，系统调试期间对参数进行修改。

改造后的系统构成：信号处理部分；显示部分：远程显示和就地显示；记录仪记录部分；机柜和主控盘台部分；KIT 通信站部分。

针对系统中各个设备是否执行安全功能或者辅助执行安全功能，把系统中的设备分为 1E 级和

NC 级，具体设备分级清单如表 1 所示。

表 1 CCMS 主要设备分级清单
Table 1 Main Equipment Classification List of CCMS

序号	设备名称	设备分级	鉴定等级	抗震等级
1	RIC011AR 机柜及柜内设备(安装附件属于 NC 级,抗震 I 类)	1E	K3	I 类
2	RIC012AR 机柜及柜内设备(安装附件属于 NC 级,抗震 I 类)	1E	K3	I 类
3	P10 盘(包括 RIC001PP 和 RIC002PP)	1E	K3	I 类
4	机柜、盘台之间的连接电缆、光纤	1E	K3	I 类
5	KIT 通讯站	NC	—	—
6	参数整定工具	NC	—	—

3 改造后系统功能设计

原 CCMS 提供了最大堆芯温度、最小堆芯饱和温度裕度、容量程水位和宽量程水位等堆芯参数监测。改造后系统将覆盖原系统全部功能，并考虑到今后 SOP 的需求，主要完成堆芯饱和温度裕度的计算、堆芯水位的计算、不确定度计算和 AB 列数据的相互交叉验证等算法功能。

改造后的新 CCMS 具体完成功能如下：

(1) 信号调理功能：将 K 型热电偶、PT100、1-5 V 信号线性调理成 4~20 mA 信号，将开关量输出(DO)信号调理为触点容量不低于 24 VDC/500 mA 的干接点，将开关量输入(DI)信号进行隔离。

(2) 信号输入和输出功能：完成 4~20 mA 模拟量采集和输出、无源干接点开关量的采集和输出的功能。

(3) 数据处理功能：将采集的信号和通过通信得到的信号，按照确定的时序、逻辑与算法进行运算，运算结果由信号输出设备、通信设备输出。

(4) 通信功能：通过通信端口读取/输出数据。

(5) 显示功能：分为就地显示、远程显示。在显示设备上显示信号处理的结果。

(6) 记录功能：通过记录仪记录每列的 20 个堆芯热电偶的温度。

(7) 报警输出功能：报警信息输出至显示设备、KIT 和 KSA。

4 改造后系统的接口设计

新 CCMS 与其他系统的主要接口为：

(1) 与现场传感器的接口：每列各有 20 个堆

芯温度信号及3个冷端补偿温度从现场传感器输入至CCMS,连接方式为硬接线。

(2)与过程仪表系统的接口:每列各有如表2所示的信号与过程仪表系统接口,连接方式为硬接线。

(3)与反应堆保护系统(RPR)的接口:每列各有1个停堆(RT)信号、1个安注触发(SI)信号及1个P10信号,硬接线连接。

(4)与KSA/KIT的接口:每列各有2个报警信号从CCMS输出,输出为干节点,下游通过继电器再分别输出到KSA和KIT。

每列各有20个热电偶温度数据和温度水位计算结果采用串口的通讯方式从CCMS输出至KIT系统。

表2 CCMS与SIP系统接口信号清单

Table 2 Signal System List of CCMS and SIP Interface

序号	接口信号名称	信号类型与量程范围	信号数量
1	余热排出系统(RRA)入口压力	模拟量, 1~5 V	1
2	安全壳压力	模拟量, 1~5 V	1
3	窄量程差压、宽量程差压、参考量程差压	模拟量, 1~5 V	3
4	RCP001PO、RCP002PO、RCP003PO主泵运行状态(RCP为反应堆冷却剂系统)	开关量, 干接点	3

5 改造后系统安装调试和功能验证

大亚湾核电站D116(1号机组的第16次停机检修)是CCMS部分首次国产化改造,项目组在安装调试阶段处理解决的主要技术问题有:

(1)采用重型自切底锚栓固定方式及底板上焊接机柜,解决钻孔和安装焊接中出现的问题。

(2)解决由于大修环境因素的影响导致热电偶做热态热电势和绝缘检查时热电偶读数异常问题。

(3)处理解决主泵启动后窄量程仪表RCP090/091MN超量程无效,导致CCMS报警触发的问题。

(4)确定相关变量及解决设定值的死区问题。

(5)联合厂家一同解决热电偶断线问题。

现场安装调试完成后,针对改造后的CCMS进行功能试验,以验证新CCMS满足设计的功能要求。功能试验内容主要包括:

(1)系统上电检查各个设备及板卡是否正常工作。

(2)输入输出通道连续性验证和精度测试:对模拟量检查量程范围内的精度,对开关量通断检查。

(3)系统功能验证:主要针对饱和温度裕度、水位计算、不确定度计算以及A、B列交叉校验功能,采用在线监测软件工具,强制输入数据,以验证输出数据。

(4)验证系统故障和饱和温度裕度低报警触发是否正常。

(5)验证记录仪输出功能是否满足要求。

(6)验证CCMS与KIT的串口通讯是否正常。

6 新原系统设计的不同点分析与研究

由于改造后系统采用数字化仪表控制技术和满足SOP的需求,新CCMS的功能和实现方式与原系统相比有很大不同,在很多方面做了改进设计。

6.1 功能的变化

由于要采用SOP规程,CCMS的功能从为操纵员提供当前堆芯状态,演变为操纵员选择事故处理程序的依据,为操纵员提供机组当前的精确和唯一的状态指示成为CCMS必须完成的任务。由此,CCMS的地位和重要性大大提高,其可用性、简单性、精确性得到了改进。改进的功能变化内容包括:增加单台主泵和2台主泵运行工况下的水位测量;增加停堆和安注信号,以增强事故工况下堆芯温度的监测;增加A、B列交叉比较功能,有利于运行人员对机组状态的判断;增加饱和温度裕度和水位区间显示,有利于运行人员对机组状态的判断;增加安全壳压力测量信号,修正事故条件下用于饱和温度计算的压力;增加强制水位计算,在水位测量失效的极限工况下,根据饱和温度裕度计算出堆芯水装量的状态。

6.2 输入数据的变化

新CCMS的输入数据进行了很大简化,其中压力信号只有4个:主系统压力信号每列1个,安全壳压力信号每列1个;冷、热管段的温度信号不再使用。输入数据A、B列之间的独立性得到了加强。在原系统中以下数据为2列共用:冷、热管段的温度信号各3个(每个环路冷热段各1

个)；稳压器压力信号 3 个；主系统 RRA 连接处压力信号 2 个。改造后 CCMS 每一列都有各自独立的输入数据。

6.3 算法处理的变化

在饱和温度裕度的处理中，增加了对热电偶信号的校验确认过程。在机组稳定情况下，堆芯温度处于相对均匀的状态，此时对热电偶信号进行确认能选取出当前最有代表性的热电偶信号，避免一些测量误差较大的热电偶信号对操纵员的误导。饱和温度裕度计算中在考虑测量和处理误差后给出适当的报警。在水位的处理过程比较简化，相对更加保守，提高了数据可靠性和安全性。

6.4 输出结果的变化

改造后系统增加了冗余 A、B 列数据的相互校验，向操纵员提供唯一的一组状态信号，避免了 2 组数据对操纵员的干扰。在 CCMS 中，堆芯冷却剂的饱和温度裕度和水位具有一定的相关性，在进行 A、B 列数据校验时，同时检验堆芯饱和温度裕度和水位之间的一致性。

6.5 处理设备不同

老 CCMS 的设备都为模拟的板卡与配件，新 CCMS 集成到安全级平台，其数字化程度比较高，设备更加可靠，功能扩展更加容易，新 CCMS 的冗余程度更高，可靠性更高。

7 结束语

大亚湾核电站 CCMS 改造是核电厂安全级核心仪表控制系统的首次整体更换改造，基于北京广利核 Firmsys 平台的新 CCMS 在完成原有系统

全部功能的基础上，对原系统功能有所加强和优化，满足了现有核电厂升级 SOP 规程的需要，顺利通过系统各项调试，实现了预期功能。同时具有以下优点：

(1) 由于新系统满足 SOP，使得新 CCMS 的可用性、安全性要求提高，功能变得更加实用与完整。

(2) 改造后系统采用国产数字化技术平台实现，系统扩展性好，使用维护方便。

(3) 改造后系统可靠性提高，可通过自诊断功能实时监测系统状态，便于故障的诊断与定位。

(4) 改造后系统采用数字化的安全显示模块代替原有的模拟仪表盘，提供了更多数据的显示和更友好的人-机界面。

(5) 改造后系统采用数字化记录仪实现记录功能，提高了数据的记录精度，省去了原本大量的检修工作；同时取消了记录仪机柜，节约了空间和成本。

国产化改造后的新 CCMS 运行情况良好，满足原设计的工艺需求，彻底解决了目前大亚湾核电站 CCMS 存在设备老化、备件缺乏和故障频发的问题，保证电厂的长期安全稳定运行。该项目的顺利实施打破了该系统核心技术长期被国外垄断，实现了核心仪控系统改造的自主化设计与实施，并为其他在役和新建核电厂提供借鉴和参考。

参考文献：

- [1] 广东核电培训中心. 900MW 压水堆核电站系统与设备 [M]. 北京：原子能出版社，2005.

(责任编辑：杨洁蕾)