

三代压水堆核电站数字化仪控的测试方案

张 坚, 刘 顺, 邹向阳, 王 一

台山核电合营有限公司, 广东台山, 529228

摘要: 本文介绍了三代压水堆核电站的仪控系统测试方案, 并论证了其合理性。对各仪控子系统进行测试, 之后进行系统间联调, 测试时考虑测试的完整性和有效性。

关键词: 测试方案; 系统联调; 仪控测试

中图分类号: TL363 文献标志码: A

Test Plan for Digital Control System in Third Generation PWR Project

Zhang Jian, Liu Shun, Zou Xiangyang, Wang Yi

Taishan Nuclear Power Joint-Venture Company, Guangdong Taishan, 529228, China

Abstract: Based on the I & C architecture of third generation PWR, this paper presents the test plan, and justifies the reasonability. After the test on various subsidiary instrumentation and control systems, the system integration test is carried out. During the test, the test completeness and reasonability was taken into account.

Key words: Test plan, System integration test, Instrument control and test

0 前言

核电厂数字化仪表与控制(仪控)系统在设计、制造、安装和调试期间都要进行严格的测试, 以保证仪控系统能够满足核电厂的需求。

本文介绍了一种三代压水堆核电站项目框架下仪控测试的总体计划、运行仪控平台 SPPAT-2000 与 Teleperm XS 安全仪控平台 TXS 测试方案以及系统联调方案。说明测试的项目、项目各阶段的概述、仪控测试的环境、试验目的, 描述测试项目的测试计划。

1 SPPA-T2000 平台测试方案

1.1 制造测试目的

机械框架、机笼、设备模块等组装完成和内部接线后进行的测试是为了验证硬件设计与实现(安装的硬件模块, 跳线设置和机柜内部接线)的一致性。

1.2 平台模拟器的组成

平台模拟器 ValidFD 用于进行工艺系统的功能测试, ValidFD 只用于 F2 和 NC 等级的过程系统测试。

采用 Test Bench 作为 level 0 (传感器、执行机构)的仿真工具, 与之配套的软件为 Labview 仿真软件。

1.3 平台测试

在合适的测试场地进行系统/设备内部测试和出厂测试是为了验证软件和硬件是否正确整合, 验证仪控结构设计(信号分配、组态实现等)和工艺是否符合仪控功能的要求。该测试分为三个阶段: 预测试、集成测试、功能测试。

SPPA-T2000 核岛(NI)部分(严重事故系统 SAS1、SAS DEC-B、PAS NI)测试与 SPPA-T2000 常规岛、电站辅助(CI/BOP)部分(非安全级过程自动化系统 PAS CI/BOP 和 PAS

BOP 公用) 测试分开进行。

1.3.1 预测试 测试目的是建立完整的 SPPA-T2000 系统, 过程如下:

(1) 安装组装 SPPA-T2000 系统, 装配 ADTP (简化的 OM690 系统, level 2)。

(2) 打开/调试: 启动 ADTP, 激活 SPPA-T2000 系统, 生成和装载应用程序数据, 工程系统测试, OM690 相关的测试和验证。

(3) 仪控系统测试: 冗余测试, 机柜和机架的相关监控, 局域网的仪控数据\模块测试, 操作响应时间测试, 通道、卡槽存储、CPU 卡件(AP) 的备用内存和处理能力以及 AP 闲置容量的检查。

(4) 布线测试: 对模拟 I/O 的硬件进行检查。

1.3.2 集成测试 此阶段主要是进行机柜硬件性能的测试, 包括输入输出(I/O) 通道测试, 供电测试等, 过程如下:

(1) SPPA-T2000 NI 侧测试包括: 垂直测试 通过测试 Level 2 层和 Level 0 层之间的“垂直”通讯, 检查 AP 软件与硬件的正确整合。计算机化的人机界面(PICS) 信号通过在 PICS 画面上仿真和监测, 而 0 级和常规的人机界面(SICS) 信号通过 FUM 和 AV42E 试验台进行仿真和监视; 按照系统设计手册(SDM) 和设计规则, 确认验证数据空间的分配(房间分配, PAS/SAS 配置, 分组和分隔配置)。

(2) SPPA-T2000 CI/BOP 侧检查、测试包括: 检查硬件的 I/O 接口、电机/阀门/执行器/控制器的硬件检查; 应用软件的验收测试用以验证仪控宏模块的组态的正确性(利用试验台和仿真模块设定仪控宏模块的外部环境)报警等功能的目视和功能检查(OM690 系统), 模拟量和开关量执行器的系统响应时间测试。

1.3.3 功能测试 功能测试的目的是验证系统中的仪控功能是否能正确执行。

功能测试包括降级模式下的测试。由工艺系统设计方在充分理解系统工艺流程和控制逻辑的基础上编写功能测试程序。一个完整的功能测试程序需包含以下文件:

(1) 一份对整个测试程序进行简要说明的文件, 阐述系统的基本功能, 以及对每个测试工况和初始状态的描述。

(2) 一份对测试工况描述的表格文件, 说明

测试的顺序及操作指令。

(3) 一份对初始状态描述的表格文件, 说明测试每个初始状态时, 系统的初始状态。

(4) 一份检查功能测试程序覆盖率的表格文件。

level 0 和 SICS 信号通过 FUM 和 AV42E 试验台进行仿真和监视。这些测试分多个批次进行, 每个批次的工艺系统分开测试。每个系统通过临时模拟块与其他系统进行分离。

1.4 不符合项管理

测试目的是为了发现系统逻辑中出现的问题, 并找出对应的责任方, 交其更正解决。测试中的任何异常问题都要记录在测试报告中, 并被跟踪至问题解决。

明确测试中的异常问题责任方后, 即可进行不符合项(TER) 的录入, 转发给相应的责任方进行处理, 如 SPPA 平台系统问题会分发给西门子, 系统逻辑错误问题则会分发给系统设计方。如果出现的问题妨碍了测试的进行, 则需要尽快解决以保证测试顺利进行。当所有异常问题被修改后须重新测试验证, 确认问题是否解决。

2 TXS 平台测试方案

本章主要介绍基于 TXS 平台 I&C 系统(保护系统 PS、堆芯控制, 限制与监视系统 RCSL、信号预处理及分配系统 PIPS、优先级处理及驱动机构控制 PACS、堆芯仪表 RIC、堆外核仪表系统 RPN、控制棒棒位指示 RPI、PICS 到 SICS 切换, SPPA-T2000 到 SPPA-T2000 的后续系统 HKS 的切换装置 KSC 等)的测试方案, 包括制造阶段、工厂测试以及验收测试的内容、方法、结果分析、不符合项处理等。

2.1 测试组织

按照核岛电气设计和建造规则(RCC-E) 以及国标电工委员会(IEC) 相关标准的要求, DCS 产品出厂前需进行相应的验证与确认(V&V) 环节。TXS 软件测试的 V 生命周期见图 1。

2.2 测试平台介绍

2.2.1 测试平台结构 根据不同的仪控系统, 将搭建不同的测试平台以便于对系统功能以及系统软硬件集成性进行完整的测试。尽管具体的平台组成方式不尽相同, 但其基本结构有较高的一致性。即适当设备模拟 0 层和 2 层以验证 1 层设备。

此处以 PACS 系统测试为例 (图 2), 列举其测试平台的结构。

图中的统一的限制保护系统计算机辅助测试设备 ERBUS 可以用来模拟 0 层执行器, 也用来模拟其它仪控系统发来的安全级命令, 优先级管理卡件模拟软件 (AV42 Manager) 则用来模拟来自非安全级控制系统的普通命令, 以此来检验 PACS 的优先级控制功能。

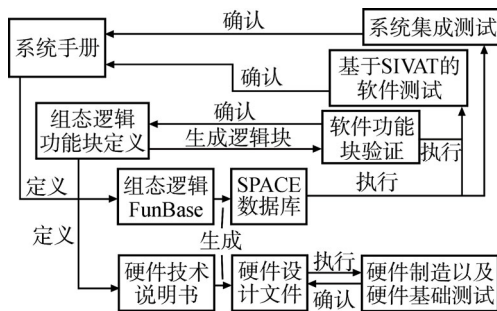


图 1 TXS V 周期
Fig. 1 Period of TXS V

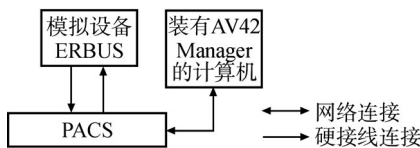


图 2 PACS 系统测试结构
Fig. 2 Structure of Test PACS System

2.2.2 测试工具 ERBUS 主要用来模拟系统的硬接线输入以及输出, 允许模拟连续变化的系统输入, 同时也可将输出信号显示出来。SIVAT 是一个用于模拟 TXS 系统的模拟软件工具, 它被认定可以代替真实的 TXS 系统进行部分软、硬件集成以及软件功能测试。

2.3 测试内容

2.3.1 硬件测试 设备在制造过程中以及完成后进行此项测试, 内容主要包含: 针对卡件安装以及配置的外观检查; 针对接线的联通检查; 绝缘测试; 耐压测试; 接地连通性测试; 机柜外观检查。

测试完成后由工程总包方、业主、制造商共同验收, 通过后才能将设备移交给系统集成方能进行后续工厂测试。

2.3.2 工厂测试(系统集成和验证) 该测试的主要目的是为确认系统集成后是否能完成预先定义的功能, 同时其性能等特性均在可接受的范围

内。主要分为 P、T、F 测试。

P 测试包括: 仪控系统以及测试工具的软硬件配置确认; 机柜外观检查以及供电测试; 系统软件以及应用数据的安装; 网络连通测试; 测试平台连接测试, 确认所有的硬接线输入输出均能由测试设备正确模拟。

T 测试包括: 系统显示特性的验证; 性能验证(如: CPU 负荷以及相应时间的测试); 与人机界面接口的测试; 系统运行以及维修的特性测试。

若仪控系统某一功能布置于多个仪控系统(如定期试验功能)则该功能将在每一个系统中分开测试, 整体测试将在调试阶段完成。

F 测试是为了确认仪控系统的功能是否能被实现, 以及其软硬件设计的正确性。所有的应用功能都将在工厂测试阶段进行测试。

功能测试同时也将测试在降级模式的工况下系统的表现。各种不同类型的故障都将在此测试中被模拟, 以检验仪控系统在这些故障出现的情况下是否能够按照技术手册的要求完成相关的功能。

工厂测试完成后, 业主将组织最终验收以全面评估仪控系统是否满足合同的要求。

2.4 不符合项的管理

在工厂测试阶段发现的不符合项问题都被纳入到 TXS 配置管理的范畴中统一进行处理。这个被命名为 TOTEM 的系统管理着所有的软硬件问题, 每一个问题都由相对应的异常测试现象票(Ticket)进行记录。

根据其发现的阶段可以分为设计阶段 Ticket 以及测试阶段 Ticket, 在调试阶段也可能存在调试 Ticket。这些 Ticket 根据其内容由不同的单位分派处理, 如设计类问题会被分派给系统设计师处理, 仪控类问题则由仪控工程师处理。最终, 这些 Ticket 关联的软硬件改动都将在工厂测试阶段进行重新验证已确认该 Ticket 是否关闭。

2.5 汽轮机控制平台 TPCS 测试过程

TPCS 测试过程分 2 步进行: 内部测试: 测试硬件精度、响应时间、冗余切换、正常上电等, 软件测试主要验证 G3E 功能的正确实现, 以及 TPCS 在特殊工况下的响应; 内部测试完成后, 业主将组织最终验收以全面评估 TPCS 系统

是否满足合同的要求。

3 系统联调

3.1 系统联调策划

由于平台测试的局限性及仪控系统规模较大，将所有系统连在一起集中做联调不太现实，应分别对各子系统进行测试，之后进行系统间联调，同时要保证测试的完整性。系统联调的方案如下：

在测试中，不进行实际的物理连接，通过仿真硬接线信号的变化，保证功能的正确实现，实际的物理连接测试及真实的功能验证在调试阶段进行。由于未进行实际的物理连接，为保证通讯的正常，需对测试两侧的数据库进行核查，含信号名、信号类型、信号单位等。

将双方的通讯设备或仿真设备连接在一起进行网络通讯测试，测试内容如下：

(1) 正常数据传输：信号的物理意义、单位、精度是否一致；数据能否正常传输，每个信号均有发出方和接收方；冗余通道是否均能传输(如有冗余通道)；信号时间标签是否正确；报警能否正常产生。

(2) 降级模式：冗余能否正常切换，对数据传输有无影响；冗余切换的监视功能能否正

常实现。

(3) 完全故障：系统能否按照期望响应；监视功能能否正常实现。

(4) 性能测试：雪崩测试；一定时间周期内(12 h)，数据传递有无偏差(如丢包或错误传递)；响应时间测试。

3.2 测试过程

三代压水堆核电站各子仪控系统之间的连接都将进行测试，测试过程为：DCS与level3测试；SPPA-T2000与TXS之间系统测试；SICS与SPPA-T2000及TXS之间通讯；TXS与TPCS之间通讯；SPPA-T2000与TPCS之间通讯；SPPA-T2000与其他第三方系统之间的通讯；PACS与SICS及TXS相连；PACS与SPPA-T2000相连；PS/SA/HKS/RCSL与RPN/RPI/RIC相连；平台切换功能验证。

4 结束语

根据法国佛拉芒维勒3号核电站所用方案并结合相关经验反馈得到本文介绍的仪控系统测试方案，可以作为其他三代核电机组以及二代加机型的数字化仪控系统测试的参考。

(责任编辑：王中强)