

Research and application of software compatibility test evaluation method in equipment replacement process of nuclear power plant instrumentation and control equipment

Duanyang Song Rui Peng Zhiquan Guan

CGN Nuclear Power Operation Co., Ltd., Guangdong, Shenzhen, 518000, China

Abstract

Instrumentation and control (I&C) equipment serves as the core control unit for nuclear power plant safety operations, with its model replacement process directly impacting plant safety. During I&C equipment upgrades in nuclear plants, changes to hardware platforms, operating systems, or software architectures often trigger software compatibility issues that may lead to system failures or safety hazards. To ensure reliability of upgraded equipment, this study focuses on I&C equipment replacement in nuclear power plants. It addresses common challenges in software compatibility testing and evaluation during the upgrade process, summarizes effective evaluation methodologies, and applies these methods to a practical I&C equipment replacement project at a nuclear power plant. Case studies validate the effectiveness and feasibility of the evaluation approach, providing a technical roadmap for compatibility testing in similar projects.

Keywords

Nuclear power plant; I&C equipment replacement; Compatibility

核电厂仪控设备换型过程中软件兼容性测试评估方法研究及应用

宋端阳 彭锐 关志全

中广核核电运营有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

仪控设备是核电厂安全运行的核心控制单元,其换型过程直接影响核电厂的安全性。在核电厂仪控设备换型中,因硬件平台、操作系统或软件架构的变更,常引发软件兼容性问题,可能导致系统功能失效或安全隐患。为确保换型后设备的可靠性,本文以核电厂仪控设备换型为研究背景,针对换型过程中软件兼容性测试评估的共性问题展开研究,总结了软件兼容性测试评估方法,将方法应用于某核电厂仪控设备换型工程实践,通过案例验证了评估方法的有效性与可操作性,为同类项目的兼容性测试提供了可参考的技术路径。

关键词

核电厂; 仪控设备换型; 兼容性

1 引言

随着核电机组运行年限的增加,设备存在逐步老化,稳定性降低问题,对于关键敏感设备需进行定期更换,而仪控设备具有更新换代快的特点,原备件往往因停产无法采购,导致核电厂仪控设备换型需求数量逐年上升。对于常规热工仪表,换型时从设备基本性能参数进行对比分析即可,但对于控制系统中广泛使用的工控机、操作面板、可编程逻辑控制器(PLC)等设备,该类设备在系统中无法通过单一设备实现控制及通讯功能,需要由硬件搭配操作系统和应用

软件程序完成既定功能的实现。上述设备又是控制系统中的关键设备,若设备失效将引起严重后果,处理该类设备换型替代时,考虑其硬件性能的同时,还需考虑其软件兼容性问题,必须进行兼容性测试以验证设备换型后软硬件协同功能。为保障核电厂仪控设备换型可靠性,本文对仪控设备换型过程中面临的软件兼容性问题进行研究,提供了兼容性测试评估方法。

2 软件兼容性测试现状

2.1 软件兼容性测试需求

硬件升级,可引起兼容性评估问题,例如罗克韦尔的 SLC 500 系列 PLC 因芯片等元器件迭代升级,目前全系列 PLC 已处于停产状态。核电厂多个控制系统使用 SLC 500

【作者简介】宋端阳(1989-),男,中国山东济南人,硕士,工程师,从事核电厂仪控设备选型及国产化研发研究。

系列产品,部分系统已运行10年以上,设备逐渐进入老化,故障多发,亟需考虑设备换型,当考虑升级为罗克韦尔 ControlLogix 系列设备时,需对 PLC 程序进行重新开发,并与工艺系统进行测试,方可保障新设备的稳定性。

操作系统升级,同样也会引发兼容性评估问题,例如2020年微软完全终止了 Windows 7 操作系统对官方支持,各工控机厂家陆续停止 Windows 7 操作系统的技术支持,但核电厂大量工控机使用 Windows 7 操作系统,更换新的工控机时则必须考虑工程应用软件与新版操作系统(如 Windows 10)的兼容性,一般情况下均需要重新开发软件。此外,近年来国产电脑操作系统也在不断迭代升级,如使用国产操作系统,因其与 Windows 架构差异较大,那些依赖 Windows 组件的部分软件在向国产操作系统迁移时,必须进行重新开发^[1]。

上述两种情况在核电厂内均会引发大量的设备换型,近三年换型需求逐步增加,如图1所示。设备换型过程中软件兼容性评估不可忽略。

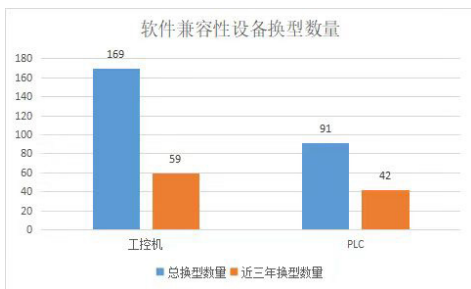


图1 某核电厂商运后 PLC 设备及工控机换型数量

2.2 软件兼容性测试不充分的负面案例

忽略兼容测试或兼容系测试不充分会给控制系统带来重大故障或隐患,例如某电站除盐水生产系统制水车间控制工作站的工控机进行了设备换型,该工控机用于发送现场设备的动作指令,控制阀门的开关、水泵的启停、水泵行程的调节和水箱液位等。设备换型后,在运行过程中出现软件重启或电脑重新启动都无法正常识别通讯卡的故障。经分析,其失效原因为现场工控机应用软件版本升级后,出现偶发无法识别2路冗余通讯卡的情况,通过更换通讯卡的驱动方式解决了现场问题。又如某电站 DCS(分布式控制系统)网关换型后,异常触发信号导致多个通风系统的防火阀误动作,根本原因是新网关支持双核 CPU 配置,双核都运行时,网关程序在 2015 版 Linux 操作系统上运行时对内存的同一地址操作存在冲突,通过安装程序补丁,设置新网关为单核运行,解决了问题,数据包转发正常。

综上,建立兼容性测试评估方法对于核电机组设备换型是十分必要的。

3 仪控设备软件兼容性测试评估方法

3.1 兼容性测试评估维度

兼容性测试^[2]是确保软件或组态在不同硬件、平台和

配置下能够正常运行的关键步骤。其中兼容系测试主要包括如下几个维度:

数据库兼容性:是指在不同数据库和数据格式下软件的兼容性。

应用软件之间兼容性:在软件运行过程中,可能存在与其他软件的交互操作,这种交互如果存在异常往往会导致系统运行故障。因此,对于可能的交互对象需要进行兼容性测试,验证其与其他软件或系统间的数据共享及兼容性。测试过程需确保软件/系统严格遵循既定标准和协议进行数据交换,同时通过完整性校验机制保障数据一致性与完整性,最终实现跨软件/系统数据交互的可靠性与稳定性

软件与硬件兼容性:随着硬件的不断升级,需要考虑软件或应用程序在不同硬件上的兼容性,确保软件在不同硬件上能够正常运行,也要注意不同软件版本对硬件固件版本的要求。

操作系统兼容性:随着市面上操作系统的升级换代,历史操作系统将逐步退出市场,如 windows7 已退出市场,需要确认设备换型前后,其软件或应用程序在不同操作系统上的兼容性,如 Windows10、Linux 等。确保现场软件或应用程序能够在换型后操作系统上正常运行,并且界面显示和功能输出的表现一致。

3.2 兼容性评估品类识别

当进行设备选型时,首先需明确有换型需求的设备品类是否涉及软件兼容性评估,涉及软件兼容性评估常见设备品类包括:工控机(工作站、服务器、网关)、板件、PLC 模块、操作面板等。

3.3 软件兼容性评估流程

软件兼容性评估包括主要包括“收集设计输入信息”、“制定软件兼容性测试评估方案”,“软件兼容测试”三个重要环节,评估流程见图2

收集设计输入信息:当明确设备品类需要兼容性评估范围后,工程师应通过查询电厂备件数据库、查询电厂技术文件库、核实现场、厂家技术咨询等多种方式完成软件兼容性评估所需的设计输入信息,这些信息包括:设备适用的全部功能位置、设备硬件技术规格书、所在系统硬件配置原理图(说明系统上下游硬件配置)、操作系统版本及补丁信息、工程应用软件及配置文件、组态软件及版本信息、设备/软件鉴定设计要求、系统历史改造信息等。设计输入信息搜集完成后,将相关信息完整的传递给系统集成商。

制定软件兼容性测试评估方案:系统集成商获取设计输入信息后,应制定详细的软件兼容性评估技术方案,技术方案内容应包括但不限于:完整的评估对象(适用功能位置)、部分软件重新升级开发、测试平台搭建方法,兼容性评估方法,兼容性评估具体项目及验收准则等。

兼容性测试^[3]:当制定好兼容测试评估方案之后,需搭建测试平台(硬件环境、软件环境、网络环境)并执行兼容系测试。搭建测试平台时,需充分考虑核电厂运行的实际

工况，特别是换型方案涉及上下游数据通信时，厂家可以根据现场设计需求搭建最小系统，独立完成兼容性测试。如果厂家无法搭建最小测试系统，那么需要考虑利用电厂检修窗口进行实际验证，也可以考虑两者相结合的方式，即部分测试在厂家完成，部分测试在电厂内完成，关键是保证测试内容的完整性、有效性。

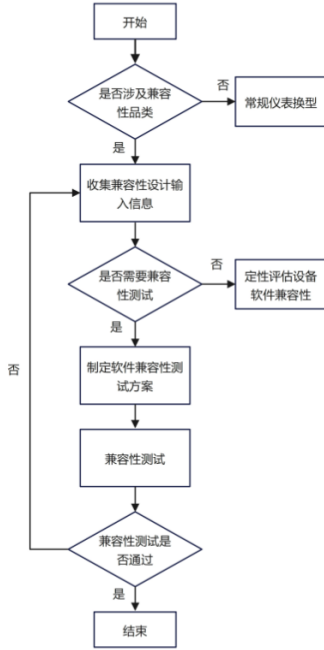


图2 核电厂设备换型软件兼容性评估基本流程

4 应用案例

案例1：某核电厂核辅助厂房就地控制屏和控制盘系统中操作员站 IPC-610H-BTO 型工控机的停产换型，原工控机已停产，后厂家升级产品为 IPC-611 型工控机。按核电厂设备换型软件兼容性评估流程，设备涉及工程软件应用及上下游数据通信，属于涉及兼容性品类设备，工程师收到换型需求后，根据系统手册、网络结构图、硬件布置图等设计文件，明确了设计输入信息。系统集成商根据设计输入信息制定了软件兼容性测试方案，搭建测试环境如下：

硬件环境：

工控机 1：IPC-611（701 主板）换型对象 1 台，用于操作站和工程师站。

交换机：D-LINK 2 台，用于网络连接。

工控机 2：IBASE-ISB212-970ZK 1 台，用于操作员及工程师。

服务器 1：研华 MIC-3042，用于实时服务器和历史服务器。

软件环境：

工程师 / 操作站：Windows XP 操作系统 SP3 补丁。

服务器：Windows Server2003 操作系统。

DCS 平台：HOLLIAS MACS V6.1.2 B3 版。

组态工程：根据现场组态搭建。

网络环境：

管理网：用于工程师站、操作员站、实时服务器、历史服务器之间的连接。

系统网：用于工程师站、实时服务器及现场控制站之间的连接。

测试内容及结果见表 1。

表 1 测试内容及结果

测试内容	验收准则	测试结果
CPU 负荷	≤40%	合格
内存负荷	≤40%	合格
设备启动时间	≤5min	合格
硬盘裕量	≥60%	合格

经测试，搭载了换型设备的操作站及工程师站，在原系统环境中所测试的相关性能指标复合验收准则及运作要求，兼容性测试通过，换型设备满足原工程设计中的性能要求，与原系统兼容。

案例 2：某核电厂核电厂核燃料装卸贮存系统换料机中工控机的设备换型，该工控机用于操控换料机，原工控机因 Windows7 操作系统停产而无法继续供货，现供货工控机为 windows10 操作系统，按核电厂设备换型软件兼容性评估流程，经收集现场及设备兼容性信息，由于现场工控机需搭载工业控制软件 intouch2014R2 版本，并搭配现场控制系统使用，故需对该软件在 windows10 操作系统上的兼容性做相关兼容性测试。制定软件兼容性测试方案后，经测试，Windows10 系统无法正常安装 intouch2014R2 版本，经咨询软件制造厂家，该软件版本只能安装在 Windows7 和低版本的 Windows10（16.03 版以下），兼容性测试不通过。为保证软件系统的稳定，需要同步升级现场工业控制软件版本。此兼容性测试发现了工程软件和操作系统的不兼容问题，避免了现场故障。

5 结语

本文在考虑了核电厂相关仪控设备换型的背景下，总结了仪控设备换型过程中兼容性评估的通用方法。随着厂家对设备软件硬件的升级更新，核电厂设备换型中各种兼容性的问题不可避免，本文所总结的流程和方法为后续核电厂的软件兼容性评估提供了一定的参考和指导意义，具备推广价值。

参考文献

[1] 李文鹏,张丽豪,张恬恬.工业软件兼容适配问题分析及解决方案[J].信息技术与标准化,2025,(05):13-17.
 [2] 赵勇,张智强,严俊,等.软件兼容性测试的故障定位分析*[J].计算机科学与探索,2013(5):405-411.
 [3] 刘务,杨春晖,吴蕾,等.工业软件测试验证方法研究[J].电子产品可靠性与环境试验,2022,40(06):33-38.