



核电站在役检查信息化管理平台研究及应用

张学粮¹, 范岩成², 王春阳³, 周国正¹

(1. 苏州热工研究院有限公司 苏州 215004; 2. 大亚湾核电运营管理有限公司 深圳 518124;
3. 中国广核集团有限公司 深圳 518028)

摘要:在总结传统核电站在役检查管理模式的基础上,研究并开发了在役检查管理平台,实现了核电站在役检查的信息化管理。在役检查管理平台的运用,解决了传统在役检查管理模式存在的问题,提高了核电站在役检查的管理效率和管理水平,适应了核电站专业化、标准化和集约化的发展模式,可为核电站在役检查的多基地群堆化管理提供有力辅助。

关键词:核电站;在役检查;信息化管理;在役检查管理平台

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.02.025

Study and Application of Information Management System for In-Service Inspection of Nuclear Power Plant

Zhang Xueliang¹, Fan Yancheng², Wang Chunyang³, Zhou Guozheng¹

(1. Suzhou Nuclear Power Research Institute Company, Suzhou 215004, China;
2. Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co., Ltd., Shenzhen 518124, China;
3. China General Nuclear Power Group, Shenzhen 518028, China)

Abstract: Based on summarizing of traditional in-service inspection (ISI) management mode, the ISI management system was studied and developed. Realization of NPP ISI informational management was achieved. Due to the application of the management system, problems existed in traditional management mode were solved, ISI management efficiency and management capacity of NPP were significantly improved. Future application of the ISI management system can provide strong help for realization of specialization, standardization, intensive and multi-base-multi-units management of NPP ISI.

Key words: nuclear power plant, in-service inspection, information management, ISI management system

1 引言

在役检查是核电站安全运行的重要保证手段之一,其管理工作贯穿核电站整个寿期,是一项长期而复杂的系统工程,它包括了大纲管理、规程管理、计划安排、组织实施、报告编制、缺陷跟踪处理、人员管理及经验反馈等一系列内容,技术含量高、信息量庞大、持续时间长、管理环节多。相关内容的合规性、准确性和可追溯性对核电站在整个寿

期内的安全运行意义重大。

目前我国各商运核电站多采用纸质化手工管理的方式管理在役检查工作的各个环节。随着运行经验的不断积累,在管理水平不断提升的同时,一系列纸质化手工管理模式带来的问题也逐渐凸显。伴随着未来我国在建核电机组的陆续投运,核电规模将日趋壮大,核电站多基地群堆化管理模式以及日本福岛事故后国际和国内对核能安全的空前重视将对在役检查管理水平提出更高的要求。传统的纸质化

手工管理方式已难以适应未来核电产业发展的需要。

本文在梳理大亚湾核电站在役检查管理工作的基础上,率先提出了利用在役检查管理平台实现核电站在役检查信息化管理的方案,结合实际开发过程就系统的架构设计和实现要点进行了重点论述,并结合应用反馈分析了系统的优化设想,对我国核电站在役检查的信息化管理实现具有良好的借鉴意义。

2 核电站的在役检查管理现状

核电站服役寿期内,必须按照法规要求开展一系列在役检查活动(包括检查、试验和监督等专项)以确保机械承压设备的结构完整性,最终保障核电机组的安全运行。由于相关活动质量直接影响机组安全,必须按照规范开展,且活动记录必须在电站的整个寿期内可查,因此核电站在役检查管理必须满足合规、准确和可追溯的要求。与此同时,核电站运行期间收到的内外部经验反馈也会影响在役检查策略的制定,因而经验反馈的及时性必须得到保障。

经过近 20 年的商业运行,大亚湾核电站已形成较成熟的在役检查管理模式,为国内其他多座核电站所借鉴。

核电站的在役检查管理流程可概括为输入分析、计划准备、检查实施和持续反馈 4 个环节。如图 1 所示,大亚湾核电站以程序化的方式对在役检查活动各环节的工作质量进行控制,体现了“按程序办事”的核安全文化内涵。各环节的工作结果以文件的方式进行记录和管理。

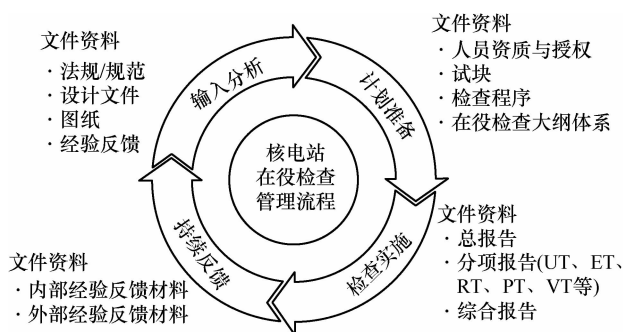


图 1 核电站在役检查管理流程及涉及的文件资料

依据管理内容的不同,在役检查管理可进一步分为规范管理、大纲计划管理、规程管理、实施文件管理、检查报告管理、缺陷管理、辐照监督管理、人员及权限管理、经验反馈管理等多个管理子项。其中大纲计划管理和报告管理尤为关键,也最为复杂。

为了对检查项目进行精细化管理,电站建立了一套完备的在役检查大纲文件体系,包括总纲、10 年计划、机组计划、

年度大修计划等,将每条焊缝的检查要求和检查计划纳入这一系列大纲文件进行追踪。实际管理时需结合核电厂的发电计划以及检查实施情况定期调整或更新检查计划状态。

每个在役检查项目实施后,检测单位需编制检查报告,明确记录待检对象、检查条件、检查结果等内容。核电厂需在电站的整个寿期内保存检查报告,以便追溯和比对设备在整个寿期内的检查结果,评估机械承压设备的状态。

据统计,大亚湾核电站单台机组规范和非规范检查项目合计超过 8 000 项,平均每台机组每次大修的检查报告页数多达 2 000 页。随着运行机组的不断增多和在役检查记录文件数量的与日俱增,传统在役检查管理模式下的几个典型问题也日益突出。

- 效率低,准确性不足。需投入大量人力维护在役检查大纲中的检查条目和检查计划,每次大修前需人为筛选出需进行检查的项目以编制在役检查年度计划,加之现场实施向大纲的反馈难以有效开展,大纲中不准确的待检部位信息难以被发现。此外,由于检查计划信息存在于多份大纲,各大纲文件的手动更新没有联动,导致大纲文件的计划状态存在相互不一致和与实际实施状况不一致的情形。
- 检查结果易用性较差。因检查报告数量巨大,纸质管理方式使得查阅某一项目的历史检查结果要耗费巨大的精力,为检查结果的检索、利用和检查历史的统计分析带来巨大困难。
- 管理过程的可追溯性不足。在役检查管理过程中,由于检查计划调整和经验反馈,大纲、规程需要升版,传统的管理方式难以实现对演化过程的追溯,不利于过程的跟踪和管理水平的评估。

上述分析表明,传统的在役检查管理模式已难以满足核电站日益提高的管理要求。在核电机组不断增多、业主人员数量精简的情况下,亟须提高在役检查管理效率、保证在役检查工作的准确性、提升检查结果的易用性和管理过程的可追溯性。

通过搭建在役检查信息化管理平台,发挥信息化的优势,可以很好地解决上述问题。

3 管理平台设计

在役检查管理平台架构如图 2 所示,基于核电站成熟的局域网,采用 BS 架构,可实现系统的异地访问,也有利于向多基地群堆化管理方向拓展。

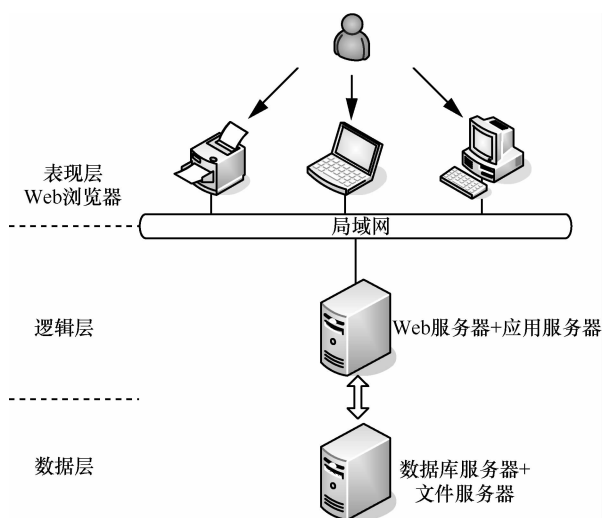


图2 在役检查管理平台架构

如图3所示,模块设计方面以待检部件管理模块、大纲和计划管理模块、检查报告管理模块为核心,扩展其他功能模块,分别提供授权管理、流程管理和全局查询等功能,覆盖在役检查管理的全部环节。与此同时,将图1中所列的在役检查管理过程中的文件资料纳入系统平台,实现电子化管理,再增加跨模块的综合查询功能,以提高文件、数据的检索效率。通过建立模块之间数据的关联性,辅以日志、自动导出功能,既能提高大纲项目的准确性和检查报告的易用性,还能提高管理效率并增强管理过程的可追溯性。

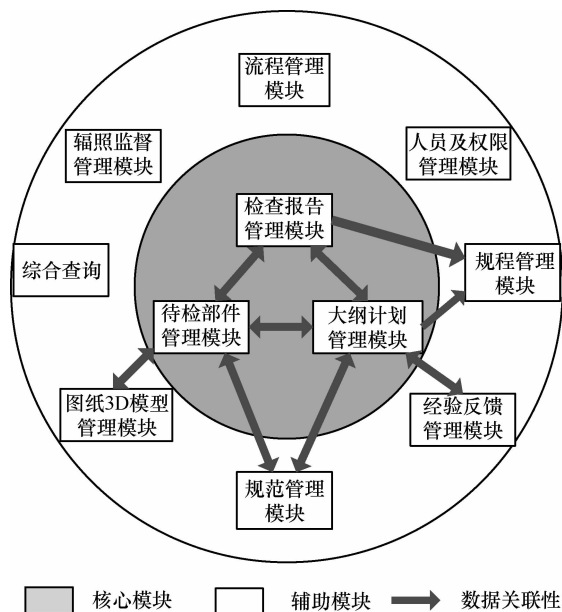


图3 在役检查管理平台模块设置

待检部件管理模块将数据表分为设备和部件两个层级,以满足大纲计划制定的灵活需求。

大纲计划管理模块将在役检查大纲体系文件中数量庞大的检查项目表格数据化,并单独设立计划数据表,针对每一条焊缝制定检查计划并将其作为平台唯一的计划信息来源,大纲文件中的计划信息均引自计划数据表,以解决手工管理时大纲文件计划状态不一致的问题,配以强大的报表导出功能,可同时满足数据化管理和纸质规程管理的需求。

检查报告管理模块将全部检查报告数据化,将报告的编制、审查和批准工作均纳入系统中完成,利用电子化审批流程代替传统签字审批流程,提高检查报告的审批效率。利用检查报告管理模块与大纲计划管理模块的关联性,在报告编制完成后,自动触发计划单元中检查项目的计划状态从“计划”变更为“计划完成”,以减少人为操作可能带来的失误。

流程管理模块可控制平台各模块数据操作的流程,人员及权限,可控制用户对各模块数据的访问和操作权限。

4 平台实现和关键技术

4.1 模块间关联性的建立

为了实现图3中箭头所示的模块之间强大的关联性,数据库设计初期,需要严格梳理各数据之间的关系,详细确定不同数据表之间的范式,然后通过合理设定数据表的主键(PK)和外键(FK)建立数据表之间的关联性。

图4是3个主模块之间的关联性示例,通过对数据层表对象的主键和外键设置以实现模块之间的关联性。在待检部件数据表中, PART_ID 是主键, ISI 计划数据表中, ISI_ID 是主键, PART_ID 是外键,待检部件数据表与 ISI 计划数据表通过 PART_ID 字段构成一对多的关系。同理, ISI 计划数据表与检查报告数据表通过 ISI_ID 字段建立一对多的关系。

数据表中的上述设定,为用户在应用层体验从待检部件查看 ISI 计划,或从 ISI 计划查看检查报告的关联性奠定了基础。

4.2 报表功能的实现

为便于从在役检查管理平台输出各类文件,平台开发了强大的报表功能。本节将以检查结果报告模块为例进行说明。

检查结果报告模块是在役检查管理平台的核心模块之一,检查的报告环节是计划大纲管理的延续,检查报告管理的好坏直接影响电站寿期内检查历史的追溯性。

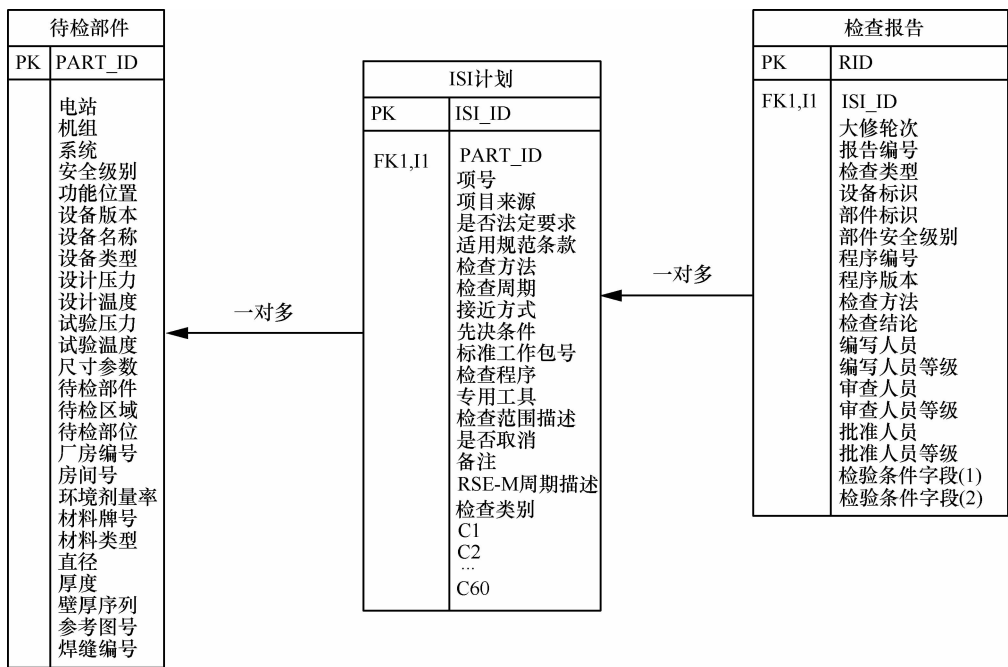


图 4 关键模块数据表关系示例

如图 5 所示,为了充分利用信息化的优势,检查报告管理模块采用全数据化的方式进行管理,报告的编写、审查、批准和导出均在平台中完成,同时利用报告审批完成作为触发条件,由系统自动完成在役检查计划状态的变化,可以减少人为调整的工作量并避免人为因素的风险。通过对纸质报告的格式与内容进行梳理和整合,针对 9 种检查类型共设计了 18 类报告模板,能够完全满足各类在役检查的电子化报告编制需要。

报告的编写、浏览和输出采用了第三方报表工具 Crystal Reports。Crystal Reports 数据库驱动程序被设计为可同时提供数据访问的拉模型和推模型,在役检查管理平台采用推模型,如图 6 所示。在推模型中需要开发人员编写代码以连接到数据库,执行 SQL 命令以创建与报表中的字段匹配的记录集或数据集并且将该对象传递给报表,该方

法可使用户将连接共享置于应用程序中,并在 Crystal Reports 收到数据之前,先将数据筛选出来。

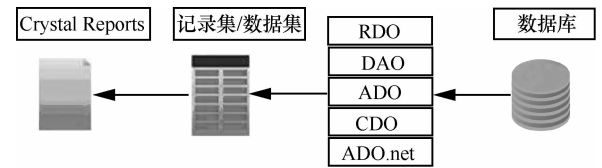


图 6 水晶报表推模型

照此设计的在役检查管理平台,可以为用户提供所见即所得的报表体验,一方面用户能够灵活地处理报告中所使用的图片、文字等元素,另一方面利用电子化流程可以极大地提高报告从编制到批准的审批效率,保证了规范、快速的报告输出,减少纸质文件的传递过程,实现环保、高效。

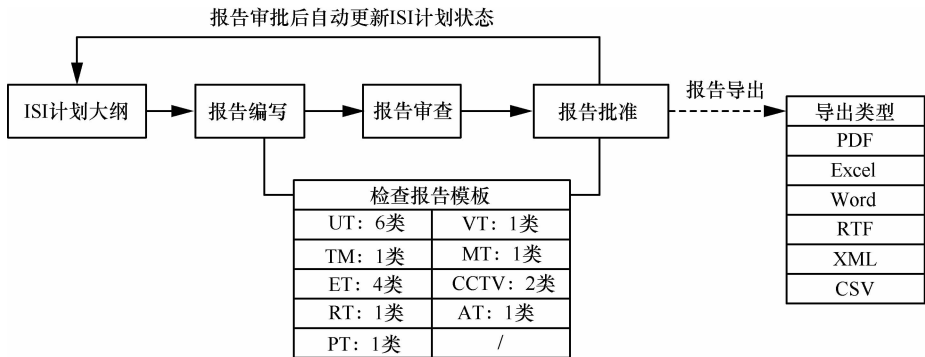


图 5 报告编写与导出流程



4.3 数据的准备

在役检查管理平台的关联性及其优势,建立在优质的基础数据基础上。其中最重要的是确保待检部件数据、计划数据和大纲数据等基础数据的正确性,数据准备时需结合图纸、设计文件、检查报告等资料进行认真核实。在导入系统前还需进行重复性检查,消除重复设备/部件/计划数据。

5 应用反馈

目前,在役检查管理平台已经上线,并开始逐步代替传统的在役检查手工管理模式。由于实现了对规范、部件、大纲、计划、规程、报告、人员等的信息化集成管理,如下优势已经显现。

- 数据的准确性大大提高。由于平台内计划信息来源唯一,且部件与图纸、计划、大纲等建立了关联,大大提高了在役检查数据的准确性,解决了原有的大纲文件间计划状态不一致以及计划状态与实际实施情况不一致的问题。
- 在役检查管理效率和管理过程的可追溯性大大提高。得益于平台多个管理模块的集成、各模块间强大的关联性以及平台强大的检索功能,在役检查资料的检索效率和利用便利性极大提高;而一系列自动功能的实现,更使得手工管理模式下繁杂的表格制作和计划维护工作负荷大大减少。借助平台内数据修改时的日志记录,在役检查管理过程中重要变动的过程及原因均被记录,核电站整个寿期内在役检查工作的可追溯性也极大提高。
- 检查报告的数据化为核电站设备状态评估奠定了基础。一方面电子流程提高了报告从编制到批准的审批效率,另一方面也便于比对历史检查结果、记录和跟踪在役缺陷并分析其发展趋势。平台的运用为统计和评估一定时间段内在役检查工作的完成情况以及设备缺陷率提供了数据支撑,对综合评估核电站设备状态,确保核电机组的安全运行意义重大。

通过一段时间的使用,发现平台在如下环节还有进一步优化和提升的空间:一是增强大纲模块大纲数据维护的便利性,提升用户体验;二是报告模块可开发数据比对功能,便于进行在役检查数据与役前检查数据的比较,并将比较结果直接应用到检查报告中;三是增强数据操作流程控制,通过数据的完整性保障平台强大的关联性。

6 结束语

在役检查是核电站安全运行的重要保证手段之一。本文在总结传统核电站在役检查管理模式的基础上,在国内率先提出并实现了利用在役检查管理平台实现核电站在役检查信息化管理的方案,对系统设计、平台实现的重要环节进行了论述。平台的应用,实现了在役检查的信息化管理,收到了诸多良好的反馈,该平台在很好地解决传统在役检查管理模式存在的问题的同时,极大提高了在役检查的管理效率以及管理过程的可追溯性,降低了劳动负荷,提升了核电站在役检查的管理水平,能够很好地适应今后核电站专业化、标准化和集约化的发展模式,可为核电站在役检查的多基地群堆化管理提供有力支持。而平台在操作便利性改进、数据比对功能开发和数据控制方面的优化,则可以进一步提升用户体验,满足核电站在役检查管理的多样化需求。

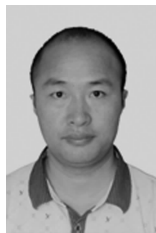
[作者简介]



张学粮,男,苏州热工研究院有限公司在役检查与性能试验中心规范控制研究所副所长、工程师,主要从事核电站在役检查规范和技术管理研究工作。



范岩成,男,大亚湾核电运营管理有限责任公司技术支持处规范控制科科长、高级工程师,主要从事核电站在役检查规范和技术管理研究工作。



王春阳,男,中国广核集团有限公司信息技术中心系统架构师,主要从事系统架构及企业云架构的设计工作。

周国正,男,苏州热工研究院有限公司在役检查与性能试验中心助理工程师,主要从事核电站在役检查规范和技术管理研究工作。

(收稿日期:2013-08-01)