

Ageing and Life Management System of Nuclear Steam Generator

Yajin Liu¹, Jiang Guo¹, Mei Wu¹, Peng Liu^{1,2}, Lin Zhou²

¹ School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072, China

² China Guangdong Nuclear Power Suzhou Research Institute, Suzhou, Jiangsu, 215004, China

Email: liu_yajin@163.com, guo.river@163.com

Abstract: Steam generator (SG) is one of the key equipments of nuclear power plant (NPP). The aging and life management (ALM) of SG is an important part of ALM of NPP. SG Aging and Life Management System (SGALM) is an interactive and comprehensive knowledge management system, real-time data acquisition, virtual reality (VR) and some other modern information technology is used on the platform. On the basis of the storage and management of SG state information and important operation data, SGALM provides online monitoring of key operating parameters, the integrity Analysis of critical components, forming of aging analysis documents, and SG aging assessment. Using this system can significantly optimize the aging and life management of SG.

Keywords: steam generator (SG); nuclear power plant (NPP); ageing and life management (ALM); Ageing and Life Management System of Nuclear Steam Generator (SGALM)

核电站蒸汽发生器老化和寿命管理系统

刘亚锦¹, 郭江¹, 吴梅¹, 刘鹏^{1,2}, 周琳²

¹ 武汉大学动力与机械学院, 湖北, 武汉, 中国 430072

² 中国广东核电集团苏州热工研究院, 江苏, 苏州, 中国 215004

Email: liu_yajin@163.com, guo.river@163.com

摘要: 蒸汽发生器 (SG) 是核电站安全的关键设备之一, SG 的老化寿命管理是核电站老化寿命管理的重要内容。SG 老化和寿命管理系统 (SGALM) 是一个交互式的综合性知识管理系统, 实时数据获取、虚拟现实等一些现代信息技术被应用在平台上。该系统对 SG 的基本信息和重要运行数据进行存储和管理, 在此基础上提供 SG 重点运行参数在线监测、以及关键部件完整性分析、老化分析单建立、SG 老化评估等功能, 极大的优化了 SG 老化寿命评估和管理工作。

关键词: 蒸汽发生器 (SG); 核电站 (NPP); 老化和寿命管理 (ALM); 核电站蒸汽发生器老化和寿命管理系统 (SGALM)

1 引言

SG是连接核电站一回路和二回路的枢纽,是核动力装置的关键设备。SG的主要功能是作为热交换设备将一回路冷却剂中的热量传给二回路给水,使其产生饱和蒸汽供给二回路动力装置。同时,SG又在一、二回路之间构成防止放射性外泄的第二道防护屏障,承担着每侧一半以上的压力。基于全球核电站运行经验,老化失效是影响SG安全运行的主要因素。截止1995年底,美国的72个压水堆核电站中有13个电站曾因SG老

化而进行了更换,总计更换38台SG,还有3个电站因SG老化而永久停运。而在核电大国法国,也出现多个电站因SG老化而导致传热管支撑板损伤,从而不得不进行SG更换。因此,进行SG老化和寿命管理无论对核电站的安全、高效和经济运行,还是对核电站的延寿都具有重要的现实意义。

到目前为止,我国投入商业运行的核电站有6座共计11个机组34台SG(见表1),部分机组服役时间已接近二十年。随着核电站运行时间的累加,SG会不可避免的发生老化。为了确保核电站的安全、经济、高

效运行，科学、严谨、有计划的开展SG老化与寿命管理工作，建立SG老化数据与信息平台，形成SG老化与寿命管理数据采集与评估系统已经势在必行。

Table 1. The information of China nuclear steam generator
表 1. 中国大陆核电站蒸汽发生器信息

核电站	反应堆类型	SG 型号	SG 数量	投运时间
QNPC	PWR	300MWe	1×2	1994.4
NPQJVC	PWR	60F	2×2	2002.4/2004.5
TQNPC	CANDU	Candu-6	2×4	2002.12/2003.7
DayaBay	PWR	55-19B	2×3	1994.2/1994.5
LinAo	PWR	55-19B	2×3	2002.5/2003.1
TianWan	WWWER-1000	PGV-1000	2×4	2007.5/2007.10

2 SGALM 系统目标及总体设计

2.1 系统目标

以状态检测和历史数据为基础，开展核电站重要设备老化、寿命与经济性管理工作，寻找因电站设计缺陷与变更、改造、环境等因素带来的设备加速老化现象，制定设备老化状态评估和寿命预估模型以及切实可行的改进措施，确保电厂安全、可靠、高效运行，是大亚湾、岭澳核电站开展设备老化与寿命管理的重要策略。

设备基础信息收集不完整、趋势性分析数据和技术缺乏、评估水平有待提高等缺陷和不足对日常生产并不会造成明显影响，但其对核电站寿命、安全裕度、设备的老化趋势和更换寿期的评估有重要影响。SGALM的目标在于收集整理SG老化和寿命管理所需的各种数据、记录和信息，利用计算机化的数据库保存电子数据信息，提供相关数据趋势分析、简单计算，对SG老化状态进行初步评估，并为进一步分析评估提供数据等所需资料，接纳并展示分析评估结果。

随着对SG老化机理认识的不断深入，以及国内外老化寿命评估水平的不断提高，系统的内容将不断的更新和丰富，功能也将日益强大。

2.2 系统总体设计

SGALM网络结构如图1所示。

SGALM采用B/S架构，网站及数据库安装在核电

站局域网服务器上，运行人员、分析人员、管理人员及其他用户通过IE浏览器即可访问系统，无需安装客户端程序。

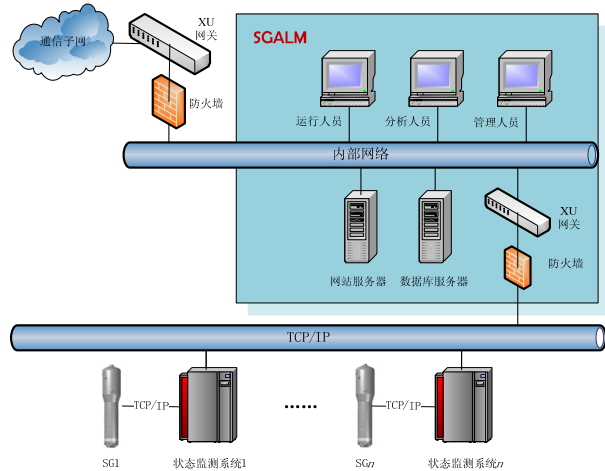


Figure 1. Network structure of SGALM
图 1. SGALM 网络结构

SGALM主要功能设计如图2所示：

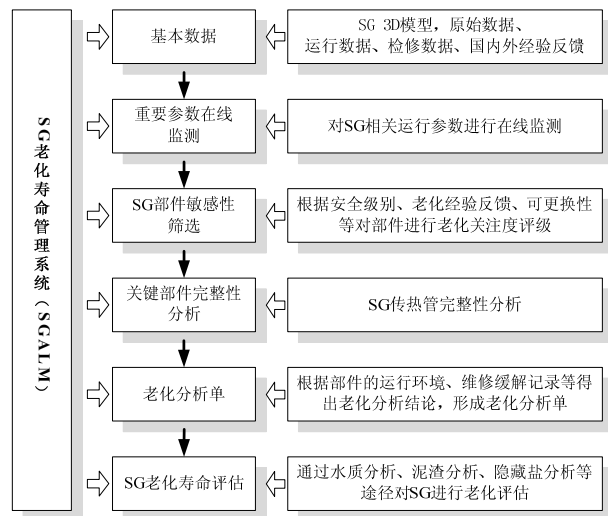


Figure 2. SGALM function and relationship
图 2. SGALM 功能及相关关系

1) 基本数据：完整的历史数据是SG老化和寿命管理的重要前提。SGALM完整收集了SG各项历史数据，包括：

- 原始数据：反映 SG 设计、制造、安装、调

试阶段的状况;

- 运行数据: SG 运行、水化学等数据, 反映其运行状况以及可用性试验和实效情况;
- 维修数据: 反映 SG 监测和维修状况;
- 运行经验反馈: 反映国内外 SG 老化状态。

2) 重要参数在线监测: 实现SG重点运行参数实时监测, 对参数历史数据绘制趋势曲线, 了解相关设备工作状态。

3) SG部件敏感性筛选: 完成SG零部件老化管理优先级分级, 为老化寿命管理打下基础。老化管理优先级根据安全级别、是否可靠性相关、老化经验反馈、潜在老化机理、可更换性等进行计算。

4) 关键部件完整性分析: 传热管是SG的关键零部件, 其工作状态直接影响到SG的运行状态。系统对传热管历次维修数据进行统计分析, 对该部件老化状态进行完整性的评估。

5) 老化分析单: 对SG各零部件建立老化分析单, 包括潜在老化机理、老化效应、现有检查方法、现有维修方法、维修缓解记录、老化分析结论等等。

6) SG老化寿命评估: 通过水质分析与评估、泥渣分析与评估、隐藏盐趋势分析等途径对SG进行整体老化寿命评估。

3 SGALM 典型应用

3.1 SG 部件敏感性筛选

完成SG部件的优先老化管理分级, 从而分别制定优化运行、监测方法、缓解措施和定期评估, 以确保其安全裕度满足要求。

核电厂SG部件的分级需综合考虑重要度分级、老化敏感性分级过程(见图3)。根据综合评分的结果对SG部件进行合理的分级。

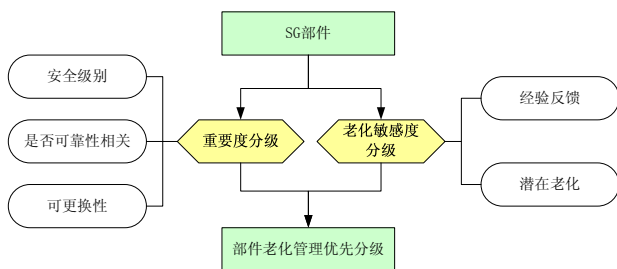


Figure 3. SG component aging management priority classification
图 3. SG 部件老化管理优先分级

SGALM系统SG部件敏感性筛选页面如图4所示。



Figure 4. SG component sensitivity screening
图 4. SG 部件敏感性筛选

3.2 SG 关键部件完整性分析

传热管SG功能实现的关键核心部件, SG传热管断裂事故在核电厂事故中居首要地位。在大亚湾核电站的大修历史中, 也已多次发现传热管上有凹陷现象, 因此传热管老化是需重点关注的对象。

SGALM将传热管役前及历次在役检查结果进行汇总, 并结合运行数据、维修记录和和经验反馈信息综合判断其老化状态。SG传热管缺陷分布图见图5。

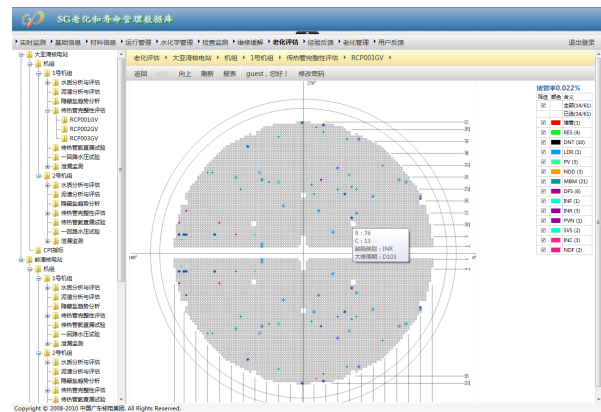


Figure 5. Defect distribution of SG tubes
图 5. SG 传热管缺陷分布图

由图5可以很清楚的看到整个SG所有传热管的缺陷分布情况, 不同类别的缺陷采用不同的颜色进行标识。将鼠标置于某缺陷管时可以看到该传热管的简单缺

陷信息，单击可查看该管缺陷详细情况和缺陷位置，如图6所示。

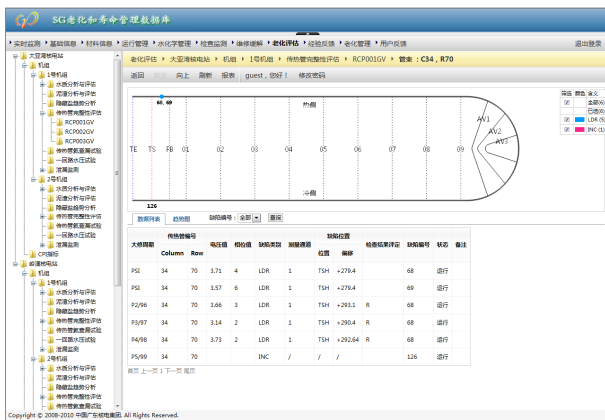


Figure 6. The historical overview of a particular tube
图 6. 单根传热管历史信息总览

3.3 SG 老化寿命评估

该模块是本系统的核心，其他各功能模块的信息都是为最终的老化寿命评估提供基础数据。这里从不同的角度对SG进行专项分析，包括：传热管完整性评估、水质分析与评估、泥渣分析与评估、隐藏盐趋势分析等。

以泥渣分析与评估为例，页面设计如图7所示。SGALM将SG残渣总量、残渣M1含量、M1中铁含量等参数按照大修周期绘制趋势曲线，用户可以很清楚的看到SG老化程度走势，从而采取相关措施。

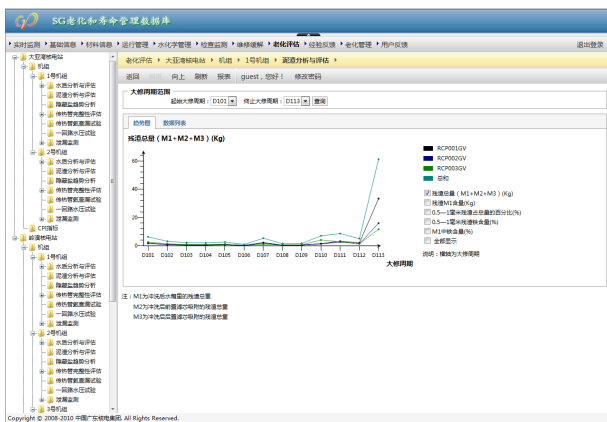


Figure 7. Analysis and evaluation of SG sludge
图 7. 泥渣分析与评估

4 结论

本文以实现 SG 老化和寿命管理为最终目标，建

立了 SG 老化和寿命管理系统，设计了系统功能，并开发了系统。

1) 作为一个数据中心，它收集了并在持续收集 SG 各阶段各类型数据信息，并提供多样化的展示方式。它通过方便的数据查询和数据更新为相关部门提供了高效的数据支持，方便各部门的数据共享，极大提高了工作质量和效率。

2) 作为核电站SG老化管理的主要平台，它开发了专用的老化评估模块，可以从不同的角度对SG进行专项分析，为整体评估的进行打下基础。

目前系统已在核电站正式投入使用，有效的解决了以往SG老化管理中存在的问题。随着对SG老化机理认识的不断深入，以及国内老化管理技术的进步，系统将逐步的改进升级，以便更好的为现场服务。

致谢

非常感谢中国广东核电集团及苏州热工院的领导和工作人员，他们为本系统的开发提出了大量的宝贵意见和建议，并对案例提供了相关测试数据。

References (参考文献)

- [1] IAEA, 1991, Safety Series No. 50-P-3, "Data Collection and Record Keeping for the Management of Nuclear Power Plant Ageing".
- [2] Dai Zhonghua, Liu Peng, Lu Wenyue. Aging and Life Management of Daya Bay Nuclear Power Station[J], *Nuclear Power Engineering*, 2005, 26(6), P87-90 (Ch).
戴忠华, 刘鹏, 卢文跃等. 大亚湾核电站的老化和寿命管理[J]. *核动力工程*, 2005, 26(6), P87-90.
- [3] Kong Deping, Li Hua, Zheng Honglian. Life Management of Reactor Pressure Vessel at Qinshan Nuclear Power Plant[J], *Nuclear Power Engineering*, 2008, 29(6), P110-114 (Ch).
孔德萍, 李华, 郑宏练. 秦山核电厂反应堆压力容器寿命管理[J]. *核动力工程*, 2008, 29(6), 110-114
- [4] Trovato, S.A.; Parry, J.O.; Burger, J.M. "Slowing the aging of nuclear power plants", *Spectrum, IEEE*, Volume 32, Issue 3, Page(s):32 – 36, March 1995.
- [5] Banford, H.M.; Fouracre, R.A. "Nuclear technology and ageing", *Electrical Insulation Magazine, IEEE*, Volume 15, Issue 5, Page(s):19 –27, Sept.-Oct. 1999.
- [6] SHU Guo-gang, LU Nian-wen, Aging problems and life evaluation for the key metallic components in PWR nuclear power plant[J], *Electric Power*, 2006, 39(5), P53-58 (Ch).
束国刚, 陆念文. 压水堆核电厂关键金属部件的老化和寿命评估[J]. *中国电力*, 2006, 39(5), P53-58.
- [7] Anandakumaran, K. "Aging and condition monitoring studies of composite insulation cables used in nuclear power plants", *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on*, Volume 14, Issue 1, Page(s):227 – 237, Feb. 2007.