

核电站蒸发器异物清理装置开发与应用

张云朋 李涛 詹雨华

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i1.11413

[摘要] 某核电站进行蒸汽发生器一次侧管嘴堵板操作时,在下封头内部易残留一回路冷却水,增加了堵板操作的沾污风险,且残水中的留存异物不易被发现,故急需开发蒸发器异物清理装置,用于清理蒸发器一次侧的残水和异物。基于以上情况,本文介绍了一种可视化残水及异物处理装置在蒸发器一次侧清洁检查中的应用。该装置可代替人工观察一次侧水室的异物状态,实现可视化记录,有效减少了操作人员在辐射剂量水平高区域工作时间,降低了受照剂量。

[关键词] 核电站; 蒸汽发生器一次侧; 异物; 辐射剂量

中图分类号: TM623 文献标识码: A

Development and Application of Foreign Exclusion Cleaning Tool of Steam Generator in Nuclear Power Plant

Yunpeng Zhang Tao Li Yuhua Zhan

China Nuclear Power Operations Co., Ltd.

[Abstract] During the operation of blocking the side nozzle of a steam generator in a nuclear power plant, there is a tendency for residual cooling water in the lower head. This increases the risk of contamination during the blocking operation, and foreign exclusion remaining in the residual water are not easily detected. Therefore, there is an urgent need to develop foreign exclusion cleaning tool for cleaning residual water and foreign exclusion on the primary side of the steam generator. Based on the above situation, this article introduces the application of a visual residual water and foreign exclusion treatment device in the cleaning inspection of the primary side of the steam generator. This device can replace manual observation of the foreign exclusion status in the side water chamber, achieving visual recording. The tool will reduce working time when operators stay in the region of the high radiation dose levels, and lower the radiation dose.

[Key words] nuclear power plant; steam generator primary side; foreign exclusion; radiation dose

引言

蒸汽发生器作为核电厂最为重要的部件之一,它的主要功能是把一回路冷却剂从核反应堆获得的热能传给二回路水介质,并使其变为蒸汽^[1-4]。蒋春荣等^[5]结合海南昌江核电机组换料大修中气密堵板的相关工作,总结了气密堵板在准备、调试、安装及监护等方面经验。刘元庆等^[6]研发了适用于CPR1000机组蒸汽发生器一次侧管嘴堵板,并介绍了一次侧堵板的结构特点及工程应用效果。栾行健等^[7]开发了核动力装置蒸汽发生器内一次侧流量分配计算程序,研究出蒸发器一次侧入口温度与倒U型换热管高度对自然循环工况下蒸汽发生器内流量分配有影响,减小一次侧入口温度使临界流速减小,抑制反流现象的发生。在机组检修期间,为检查蒸发器内部管板、U形传热管、隔板等部件的工作状态,需要打开蒸发器一次侧人孔开展检修工作,从而延长蒸发器的使用寿命,保障机组安全稳定运行。

1 行业现状分析

目前,在蒸发器一次侧开人孔后将进行蒸发器一次侧堵板操作,由于蒸发器一次侧结构设计的原因,蒸发器下封头的引流孔处残留具有放射性的一回路冷却水,增加了安装蒸发器一次侧堵板的沾污风险,且残水中的留存异物不易被发现。蒸发器一次侧作业地点受SG筒体和主管道等影响环境辐射水平高,当人孔打开后,水室内存在很高的 γ 照射和 β 照射,在人孔附近作业有极高的外照射、体表污染、污染扩散风险^[8]。对蒸发器一次侧部件干燥后仍会有少许积水残留,残水经过长时间烘干后会产一片硼结晶。现有的人工处理一次侧残水的方式较繁琐、耗时,易增加人员的受照剂量。对内部的异物检查困难、风险高,且缺少处理异物的工具。蒸发器一次侧干燥路径时间仅有时间参照标准,多次出现干燥不合格再次干燥的工况,浪费人力及工期,且高水位堵板期间进行干燥无可视化监控措施,堵板泄露只

能靠泄露探头来识别, 缺乏对干燥过程的可视化、标准化、智能化管理。

鉴于以上背景, 本文开发了一种蒸发器一次侧异物清理装置, 并在大修现场进行应用。该装置代替人工探进一次侧水室观察残水及异物情况, 实现可视化记录, 以减少操作人员在辐射剂量水平高区域工作时间, 降低受照剂量。

2 方案研究

根据核电站蒸发器一次侧检修现场的实际需求, 旨在开发一种蒸发器一次侧异物清理装置, 并应用于现场工作。本装置采用可伸缩的摄像头及防爆照明灯, 实现工作区域的可视化管控, 对蒸发器一次侧内部的异物情况进行拍照或录像记载。在发现异物或残水后使用吸尘器吸收残水和小型异物, 将残水储存在收纳桶中, 将小型异物放置于收纳桶的滤网中。对大型异物使用抓取器进行针对性异物清理。利用温湿度传感器对蒸发器一次侧干燥后的进出口气体进行温度、湿度检测, 并实时显示, 提高工作效率, 减少操作人员在辐射剂量水平高区域工作时间, 降低受照剂量。

3 异物清理装置介绍

3.1 异物清理装置主体结构

蒸发器一次侧异物清理装置主要包括摄像头、防爆照明灯、调整杆、调整杆法兰座、摄像头固定板、人孔法兰板、法兰板管道、温湿度检测模块等部件, 如图1所示。

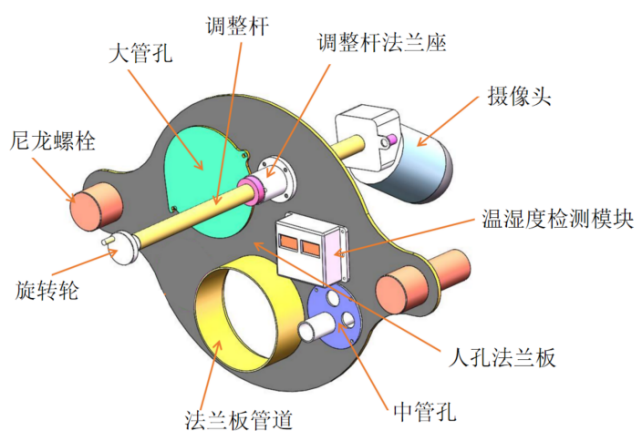


图1 主体结构示意图

3.2 主要结构及功能

蒸发器一次侧异物清理装置主要包括监控模块、残水及异物吸取模块、温湿度显示模块, 如图2、3所示, 将装置安装于蒸发器一次侧管嘴进行现场应用。该装置功能齐全, 集监控、吸残水、抓异物、检测温湿度于一体。既具备吸收残水和异物的功能, 又能远程观察蒸发器一次侧内部水室的残水和异物情况, 满足检查异物时进行拍照或录像留底的工作需要。实时显示进出口气体的温度、湿度, 有利于验证蒸发器一次侧干燥工作。

3.2.1 监控模块

采用2.5K全高清全彩镜头, 可调倍调焦及拍照录像, 自带防

爆照明灯, 采用精密伺服电机进行控制360°水平旋转加145°上下视野电动云台, 可以连续在50度高温下工作。通过摄像头固定板将摄像头和调整杆端部连接, 实现工作区域的可视化管控; 调整杆的另一端部布置可拆卸的旋转轮, 可转动调整杆的径向角度; 调整杆中部与调整杆法兰座配合, 安装于人孔法兰板上, 调整杆轴向上布置两个锁环, 用于限制调整杆在轴向上的移动位置。

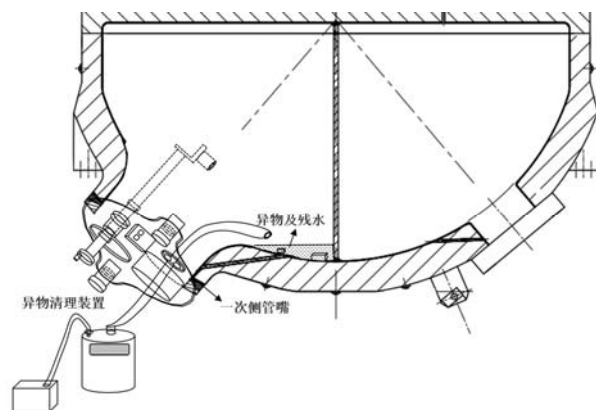


图2 异物清理装置示意图

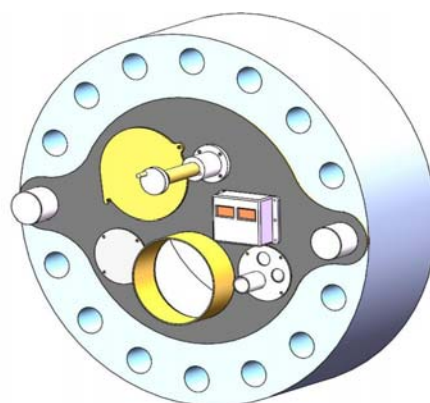


图3 异物清理装置的现场安装三维示意图

3.2.2 残水及异物吸取模块

在监控模块下发现残水或异物的具体位置, 利用专用吸管通过人孔法兰板的管道进入到蒸发器一次侧人孔内部吸取残水和小型异物, 残水被储存在收纳桶中, 小型异物被放置在收纳桶的滤网中过滤; 专用吸尘器与收纳桶的一个接头连接, 可利用吸尘器的吸力在收纳桶内形成负压; 收纳桶的另外一个接头与专用吸管连接, 便于吸取。针对大型异物存在于蒸发器一次侧内部的情况, 使用异物抓取器穿过人孔法兰板的管道, 将异物抓取器的吸头对准异物并吸出至收纳桶的滤网中过滤。

3.2.3 温湿度显示模块

在法兰板装有温湿度检测模块, 检测模块的探头装于摄像头固定板上, 温湿度传感器检测蒸发器一次侧干燥后的进出口气体的温度、湿度, 并实时显示检测数据。

4 异物清理装置现场应用情况

4.1 应用步骤

在蒸发器一次侧低本底区域开展部件的安装工作:

(1) 连接专用吸尘器与收纳桶, 组装收纳桶和专用吸管;

(2) 安装摄像头的过程: 在调整杆的一端安装摄像头固定板, 再将摄像头连接在固定板上, 套上一个锁环, 然后用调整杆的另一端穿过人孔法兰板和调整杆法兰座, 套上另外一个锁环, 安装旋转轮, 完成整个摄像头及调整杆的安装过程;

(3) 在人孔法兰板安装温湿度检测模块, 检测模块的探头装于摄像头固定板上, 摄像头和探头的线路沿着调整杆从人孔法兰板的中管孔引出, 可在蒸发器一次侧外进行监控, 无需人员进行蒸发器一次侧人孔内部开展吸残水和除异物的工作;

(4) 对摄像头和温湿度检测模块的线路进行连接、整理。

(5) 在蒸发器一次侧人孔法兰面上安装本装置: 扶住本装置对准人孔法兰面, 使人孔法兰板的两个通孔和人孔法兰面的螺孔对中, 再用尼龙螺栓穿过通孔将本装置固定于蒸发器一次侧的法兰面上;

(6) 进行残水和异物处理工作: 打开摄像头和防爆照明灯, 对蒸发器一次侧人孔内部进行观察, 确认残水和异物的位置和状态;

持续监控温湿度检测模块中的数据显示情况, 有利于检查蒸发器一次侧人孔的干燥情况;

使用专用吸管穿过人孔法兰板管道进入到内部吸取残水和小型异物, 残水被储存在收纳桶中, 小型异物被放置在收纳桶的滤网中过滤;

若在人孔内部发现大型异物, 则使用异物抓取器穿过人孔法兰板的管道, 将异物抓取器的吸头对准大型异物并吸出至收纳桶的滤网中过滤, 以除去表面具有放射性的残水。

4.2 收益情况

本装置已应用于某核电站的蒸发器, 取得了如下收益情况

(1) 维修能力: 改善原有的残水处理工艺, 一次作业即可吸干残水, 大大提高了维修能力;

实现了蒸发器水室干燥及高水位堵板过程的可视化, 标准化、智能化残水处理;

(2) 质量方面: 减少作业时间, 实现了作业区域防异物可视化记录;

有利于蒸发器一次侧干燥后温度、湿度数据标准化, 可视化;

(3) 降低人员沾污的风险: 减少了作业人员的残水及异物处理时间, 避免了人员进入水室内的橙区作业风险, 降低了人员沾污的风险, 实现了辐射防护的优化。

5 结论

开发和应用了核电领域多机组的蒸发器一次侧异物清理装置, 代替人工探进一次侧水室观察残水及异物情况, 无需多次吸残水, 降低了人员沾污的风险; 该申请还具备可视化功能, 对于一次侧内部的异物和设备异常状态实现可视化记录并远程处理, 避免人员高辐射剂量作业; 搭配温湿度检测模块, 该申请可实时监控蒸发器一次侧干燥后的进口气体的温度、湿度变化情况, 实现了标准化、可视化、智能化管理。

[参考文献]

[1] 张鑫. 自动视频检查技术在三代核电蒸发器二次侧清洁度检查中的应用[C]//2018远东无损检测新技术论坛论文集, 2018:48.

[2] 何戈宁, 周美玲, 赖建永, 等. 核电厂蒸汽发生器一次侧向二次侧泄漏率取值研究[J]. 辐射防护, 2022, 42(1):35-40.

[3] 肖可, 胡娜, 杨斌, 等. 形状记忆合金对蒸汽发生器一次侧高水位密封组件结构及性能的优化[J]. 液压气动与密封, 2024, 44(8):62-66.

[4] 李绍海, 魏明, 盛伟. 核电蒸发器的工艺特点和生产组织[J]. 装备制造技术, 2010(3):135-136.

[5] 蒋春荣, 王伟, 黎有坤. 蒸汽发生器一次侧气密堵板安装经验交流[J]. 产业与科技论坛, 2019, 18(23):54-55.

[6] 刘元庆, 林宝明, 徐建泉, 等. 核电厂蒸汽发生器一次侧管嘴堵板研发和应用[J]. 设备管理与维修, 2022, (11):108-109.

[7] 栾行健, 王文, 宋嘉豪, 等. 自然循环工况蒸汽发生器一回路流量分配特性分析[J]. 核动力工程, 2024, 45(4):103-110.

[8] 沈海驹. 泰山350MWe机组蒸汽发生器一次侧机械作业辐射防护最优化[J]. 科技视界, 2022(5):1-5.

作者简介:

张云朋(1992--), 男, 汉族, 河南省濮阳市人, 本科, 工程师, 研究方向: 热能与动力工程, 电力系统及其自动化, 机械。