

Research on Analysis and Solutions of Common Defects of Hangers and Supports

Jianping Zhan

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

Abstract

This study establishes a defect classification framework for nuclear power applications by integrating the fundamental principles of nuclear power support and hanger foundations, rigorous regulatory standards, and specialized service environments. Through field research and planning for nuclear power facilities, it identifies characteristic defect patterns and develops systematic identification and analysis methodologies. The research proposes comprehensive lifecycle management strategies—including design, manufacturing, installation, and in-service inspection—to address defect prevention, quality assurance, and optimization planning tailored to nuclear power requirements. These solutions provide theoretical and technical support for resolving practical challenges in defect and aging management during nuclear power support and hanger operations. The study establishes a full lifecycle quality control and aging management system, offering critical guidance for enhancing the safety and operational reliability of nuclear power systems.

Keywords

nuclear power; support and hanger; defect analysis; full life cycle; quality assurance

支吊架常见缺陷分析及解决方案研究

占建平

中广核核电运营有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

本文依托核电支吊架基础原理、严密法规准则及特殊服役环境,借助设计面向核电现场调研规划,搭建适用核电场景缺陷归类体系,明晰典型缺陷特征并达成识别剖析。从设计、制造、安装、在役检查等全生命周期维度,提出契合核电需求缺陷预防、质量保障及整改优化规划,为处理核电支吊架实际运用中缺陷管理难题供给理论及技术支撑。本研究涵盖核电支吊架全寿期质量管控,对提升核电系统安全程度与运行可靠程度具备重要指导意义。

关键词

核电; 支吊架; 缺陷剖析; 全生命周期; 质量保障

1 引言

在核能发电领域,核电厂为高度繁杂且对安全性要求极致系统。支吊架作为支撑、固定及约束核岛(像反应堆冷却剂系统、安全壳喷淋系统)、常规岛(如主蒸汽、给水系统)及电厂配套设施(BOP)内各类管道、电缆桥架及设备关键构造性部件,其性能完整程度直接关系核电厂核安全与经济运行。这些支吊架不仅要承受管道与设备自身重量、介质重量等静态负荷,还需应对地震、管道破裂(LOCA)等设计基准事故时动态负荷,以及长期处于高温、高湿、可能存在辐照等恶劣环境中。一旦出现因支吊架失效造成管道下沉、位移超出限定或断裂,可能诱发系统功能丧失、放射性介质泄漏、设备碰撞等严重后果,威胁核安全。本文立足于核电

特殊属性,结合核法规准则,从基础理论与分类着手,通过系统性调研识别核电环境中典型缺陷,并提出涵盖设计、制造、安装及在役检查各时期预防、控制及优化举措,旨在为提升核电支吊架可靠程度、保障核电厂长期安全稳定运行供给一套切实可行技术与管理路径。

2 核电支吊架的基础理论与分类

2.1 核电支吊架的工作原理与特殊要求

核电支吊架依照其所属系统安全等级(例如安全1级、2级、3级及非核级)实施分级设计、制造和检验,必须严格遵守核质保大纲(QA),保障全过程可追溯属性与受控属性。除常规工况(压力、温度、自身重量)外,必须考量设计基准事故负荷,比如安全停堆地震(SSE)、管道破口喷射力等,保障在这些极端状况下依然能够维持必要承载与约束功能,防范灾害扩大。长期处于存在潜在辐照的环境、高温高压蒸汽的场景、含硼水腐蚀的状况、高湿度的条件以

【作者简介】占建平(1990-),男,中国江西上饶人,本科,工程师,从事核电站阀门,管道研究。

及化学物质的氛围中,材料性能和防腐需求达到极高程度。核电厂设计寿命一般为40—60年,支吊架一定要拥有与之相匹配的耐久性。在辐照区域范围,支吊架的检查和维修工作要考虑人员受照剂量情况,在设计方面要尽可能让远距离检查得以实现,或者运用免维护/长寿命的设计模式^[1]。

2.2 核电支吊架的主要类别及适用情景

核电厂管道系统当中的支吊架,依据功能主要分成刚性、柔性与安全约束三种类型。刚性支吊架用于对位移进行限制,在其中,固定支架作为力学基准点,对所有方向的位移实施完全约束,承担热胀推力与地震力;限位支架则允许正常热位移的出现,在事故发生时防止过渡位移的产生。柔性支吊架对管道重量起到支撑作用,同时允许可控位移的存在,比如弹簧支吊架对垂直位移进行补偿,进而保持荷载的稳定状态,恒力支吊架借助杠杆—弹簧机构,在大位移范围之内提供恒定的支撑力量,滑动或者滚动支架则降低水平方向的摩擦阻力。除此之外,核电所特有的防甩击与防震动约束,应用于高能管道破裂的工况,通过承受动态冲击荷载来对管道甩动进行约束,从而对安全壳内关键设备与结构的安全予以保护。

2.3 核电支吊架的关键设计参数、标准与质量要求

核电支吊架的设计严格依照ASME III或者RCC-M等规范,其关键设计参数首先需要包含不同安全等级的荷载工况组合情况,其中包括运行、异常、紧急以及事故工况下的荷载和相应的许用应力限值。设计工作必须对管道在安装、冷态、热态以及地震等多种状态下的位移谱进行综合考量。材料的选择要依据温度、辐照等环境条件以及安全等级,合理选用碳钢、不锈钢或者特殊合金材料,并且要满足冲击韧性方面的要求。制造与检验过程有着严格的要求,焊接工作必须由持证焊工按照评定通过的工艺来执行,同时实施无损检测;表面处理要满足防腐与去污标准。与此同时,每个组件都必须具备清晰且永久的唯一标识,以确保全生命周期的质量可追溯性。

3 核电支吊架常见缺陷调研及分类识别

3.1 核电支吊架缺陷调研方案设计

本次调研以核电厂运维的实际需求为核心,覆盖多机组核岛、常规岛以及BOP区域内不同安全等级的管道支吊架、设备支架与防甩击约束装置。采用现场在役检查数据挖掘、停机检修专项检查和历史维修记录分析相结合的综合方案。现场检测手段包含目视检查腐蚀变形等功能状态、开展滑动与弹簧支架功能测试、测量螺栓紧固力与位移尺寸,并且对关键部位实施无损检测与振动监测。同时,通过查阅竣工图、计算书以及历次报告等技术资料,对缺陷根源进行追溯。调研构建起以“缺陷模式—根本原因—影响程度”作为核心的指标体系,依照安全分级和缺陷严重性状况,把影响程度划分成需即刻开展处理操作的N1级、按计划实施处

理任务的N2级以及将监控作为主要内容的N3级,借助系统实施评估工作并对维护决策给予引导^[2]。

3.2 核电支吊架常见缺陷分类体系

为对核电支吊架缺陷进行系统化剖析,可搭建一个“生命周期阶段与根本原因相互交叉”的二维分类矩阵架构。在生命周期这一维度范畴内,缺陷有可能是由设计和采购阶段出现的计算偏差、选型不合理或者材料不符合规范要求所引发;在制造和仓储阶段产生的焊接方面缺陷、加工超出公差范围或者防腐处理未达到合格标准;安装和调试阶段出现的定位差错、预置不准确或者紧固不恰当;以及运行和老化阶段发生的机械部件磨损、各类腐蚀现象、疲劳产生裂纹、材料出现老化或者部件发生卡涩等情况造成的。从根本原因维度展开分析,这些缺陷能够归结为人为因素导致的失误、程序存在不完善之处、接口管理工作不到位、环境产生的效应或者长期老化机理等因素共同发挥作用的结果,进而为缺陷的全面追溯原因和实施预防措施提供具有结构化的框架内容。

3.3 典型缺陷的特征识别与统计分析

对核电支吊架的缺陷进行分析后发现,在运行环境当中,有几类典型问题显得尤为突出。弹簧支吊架出现失效情况,常常在常规岛以及核岛的高温管道部位发生,主要呈现出弹簧被锁死、过度处于松弛状态或者外部遭受腐蚀的表现,致使其无法对管道位移进行有效补偿,可通过对冷热态刻度进行对比以及开展荷载测试的方式来进行识别。腐蚀现象是运行阶段最为普遍存在的缺陷问题,在高温高湿的区域,碳钢表面容易发生均匀腐蚀情况,而在涂层出现破损或者存在缝隙的地方,则容易引发不锈钢的电蚀以及应力腐蚀开裂问题,一回路发生泄漏的区域,硼酸腐蚀情况也需要重点加以防范。螺栓连接出现松动现象,在泵、阀等具有振动的区域频繁发生,表现为间隙有所增大以及防松标记出现错位情况,对连接的完整性构成直接威胁。滑动或者滚动支架,常常因为滑动面出现锈蚀情况或者有杂物发生堆积现象而产生卡涩问题,对管道自由进行热膨胀造成阻碍,使得局部应力有所增加。除此之外,防甩击约束装置存在的缺陷问题,例如缓冲元件出现老化现象或者连接发生松动情况,虽然发生概率相对较低,但是由于其对高能管道发生破裂情况下的安全屏障功能产生直接影响,所以潜在风险极高。这些典型缺陷大多是由环境效应、长期老化以及振动等因素共同作用所导致的,需要通过系统开展目视检查、功能测试以及专项检查等工作来进行识别和评估。

4 核电支吊架缺陷的解决方案与优化措施

4.1 设计采购阶段的根本性预防

运用动态管道应力分析软件(例如CAESAR II),对运行工况、地震工况以及事故工况进行精确模拟,对支吊架的布置方案、选型情况以及荷载进行优化处理。针对防甩击

约束开展显式动力学分析工作，以确保其具备有效性。依据具体的环境条件（包括温度、化学介质、辐照等），选用具有耐蚀性能的材料（例如升级使用不锈钢材料）；制定严格的涂层规格文件，对关键区域采用重防腐涂层或者金属热喷涂工艺。为关键的弹簧支吊架、防甩击装置设计便于进行观察和测量的结构形式；在辐射区域，考虑设置远程监测或者检查的接口^[3]。在技术规格书当中，明确核级标准、检验要求、无损检测比例、标识以及文件交付物等内容，从供应链的源头实施控制措施。

4.2 制造与仓储阶段的质量保证

构建覆盖制造全流程并延伸至产品运送的强化质量保障体系，是确保核电支吊架制造质量契合严苛核安全要求的必要举措。针对安全重要级别的支吊架，首要任务是施行扩展的制造监管，这或许涵盖派驻专业监造人员入驻工厂，或至少对原材料查验接收、下料成型、焊接、热处理、无损检测以及最终装配等关键工艺节点实施现场见证，旨在使每一项工艺，特别是焊接工艺参数把控与热处理曲线，均严格遵循经审批的技术规范与流程。在此架构之上，无损检测的范畴、比例和技术要求需进行系统性强化。这具体体现为对关键承力构件，尤其是全熔透焊缝，开展 100% 的射线检测（RT）或超声检测（UT），以彻底消除内部不连续缺陷；同时，依据材料与工艺风险，可能附加表面检测（如磁粉 MT 或渗透 PT），并对复杂几何区域运用相控阵超声等前沿技术，以此提升缺陷检测率与评估精准度。最终，成品的防护与验收环节不可轻视。所有支吊架组件在出厂之前需进行恰当的清洁、防锈处理和针对性封装，确保在运输和仓储期间免于遭受腐蚀、变形或意外损害。存储环境应维持干燥、洁净，对温度、湿度有特定要求的部件需进行调控。产品运达现场之后，必须开展严格的开箱检验，核对实物与文件的吻合性，检查防护状况与外观质量，在确认无任何因运输存储引发的缺陷之后，方可办理入库程序，进而为后续安装构筑稳固根基。

4.3 安装调试阶段的严格控制

为保障核电支吊架安装质量，需开展全过程精细化管控。施工之前，针对复杂区域运用三维模型开展模拟与现场

技术交底，预先规避与管道、电缆桥架的空间冲突。安装过程中，必须对关键步骤实施量化管控：运用校准的扭矩工具依照设计数值紧固螺栓并做好防松标识；借助水平仪或激光仪保障安装位置与方向的精度；严格依照计算书对弹簧支吊架进行冷态荷载定位或位移预先设置。安装完毕之后，需开展全面的符合性核查，并同步创建涵盖位置、型号、冷态设定值及影像资料的支吊架初始状态数据库，为后续在役检查、状态对比与寿命管理提供精确基准。

4.4 在役检查与老化管理阶段的主动管控

在支吊架的长久运维治理当中，要体系化健全关联流程与技术运用形式。首先需制订并优化在役检查纲领文本，把支吊架查验正式归入电厂在役检查或者专项流程范畴，依照安全等级、环境状况与历史瑕疵合理明确其检查范畴、手段与周期安排。

5 结论

解决核电支吊架的瑕疵问题，断然不能仅依靠事后阶段的检查工作和维修作业，必须构建一个贯穿全寿命周期的、以预防作为主导、实施闭环管理的综合体系架构。这包含如下方面：在设计采购时期通过精细化分析操作和严格规范要求预防瑕疵根源问题；在制造安装时期通过核级质量保证流程控制过程质量水平；在运行时期通过体系化的在役检查工作、状态监测手段和积极主动的老化管理策略方法，及时发现并缓解性能退化现象。在未来发展进程中，伴随数字化和智能化技术的不断发展，应大力推进核电支吊架的数字化孪生体系建设工作，集成设计数据信息、检查记录文档和监测信息内容，实现其健康状态的智能诊断功能与预测性维护作业，进而进一步提升核电站的本质安全水准与运维经济性能。

参考文献

- [1] 程培新,刘莉馨,张晓平,等.综合支吊架在实际工程中的应用分析[J].中国住宅设施,2024,(08):137-140.
- [2] 何松育,张志华,牛慧彬,等.综合支吊架竖向提升技术的研究与应用[J].建筑机械,2024,(12):81-83.
- [3] 王涛,刘吉胜,孟丽岩,等.一种新型自复位耗能抗震支吊架参数分析[J].建筑钢结构进展,2024,26(09):1-13.