

核电厂冷源系统优化设计与实践

王超 吴锐鸿 高帆

大亚湾核电运营管理有限责任公司

DOI:10.12238/pe.v2i5.9913

[摘要] 核能作为一种清洁高效的能源形式,在能源结构中占据着越来越重要的地位。并且核电厂的安全高效运行离不开其复杂的辅助系统,其中冷源系统是保障核反应堆正常冷却和维护核安全的重要组成部分。本文旨在通过分析现有系统的缺陷,探讨核电厂冷源系统的优化设计策略,提出提高核电厂运行效率,降低能源消耗的创新方案;而且我们将继续秉承创新、协调、绿色、开放、参与,不断探索和实践的发展理念,为建设安全、高效、环保的核能利用体系贡献智慧和力量。

[关键词] 核电厂; 冷源系统; 优化设计与实践; 对策分析

中图分类号: TL48 文献标识码: A

Optimization design and practice of cold source system in nuclear power plant

Chao Wang Ruihong Wu Fan Gao

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD

[Abstract] As a clean and efficient form of energy, nuclear energy occupies an increasingly important position in the energy structure. Moreover, the safe and efficient operation of nuclear power plants cannot be separated from their complex auxiliary system, among which the cold source system is an important part of ensuring the normal cooling of nuclear reactors and maintaining nuclear safety. This paper aims to analyze the defects of the existing system and propose innovative solutions to improve the operation efficiency and reduce energy consumption, and we will continue to uphold the development concept of innovation, coordination, green, open, participation, and to contribute wisdom and strength to the construction of safe, efficient and environmentally friendly nuclear energy utilization system.

[Key words] nuclear power plant; cold source system; optimization design and practice; countermeasure analysis

引言

核电厂冷源系统主要负责将反应堆产生的巨大热量输送到外部环境,确保反应堆的核心温度保持在安全范围内,该系统通常由冷却水系统、热交换器、循环泵、外部冷却水源(如海水、淡水等)组成,随着核电技术的不断进步,对冷源系统的性能要求也越来越高,如何在安全保证的前提下实现更高效、更经济的运行成为研究热点。

1 核电厂冷源系统概述

1.1 核电厂冷源系统的重要性

核电厂冷源系统是保障核反应堆安全稳定运行的重要辅助系统之一,它承担着有效地将反应堆核裂变产生的大量热量传递到外部环境,防止反应堆核心温度升高引起的安全事故的任务,冷源系统的性能直接关系到核电厂的整体效率、经济效益和环境友好,是保障核能安全使用的关键环节^[1]。

1.2 冷源系统基本组成部分

核电厂冷源系统通常由以下主要子系统组成,循环冷却水

系统包括循环泵、管网、热交换器等设备,负责从外部水源抽取冷却水,热交换器与反应器冷却器之间进行热交换,然后再排放到外部,循环泵提供能量,保证冷却水连续流入系统。热交换器作为传热的基本设备,热交换器以物理或化学方式将热量从反应器冷却器传递到冷却水中,其设计应考虑高效传热、耐腐蚀、耐高压的特点,以应对核电厂的恶劣工作环境。外部冷却水源包括海水、淡水、河水等天然水体,不同地区的核电厂将根据当地水况选择合适的外部冷却水源。还有,监控系统通过安装传感器、操作器、控制器等设备,实时监控冷源系统的运行状态,包括水温、流量、压力等参数,根据监控结果自动或手动调整系统运行参数,确保系统安全高效运行。最后,当主制冷源系统发生故障或不能满足制冷需求时,应急制冷系统迅速启动,为反应堆提供额外的制冷能力,防止反应堆温度升高,系统通常包括备用泵,额外的热交换器和独立的电源。

1.3 冷源系统运行环境和挑战

核电厂的制冷源系统面临着各种复杂的运行环境和挑战,

核电厂通常位于沿海地区或水资源丰富的地区,但也可能面临高温,高湿度,盐雾等恶劣气候条件,对设备材料和运行稳定性提出更高的要求,某些地区的水资源短缺限制了核电厂的冷却水量及其排放方式,这需要使用节水制冷技术或开发新的冷却水源。随着环保意识的提高,核电厂的冷却水必须符合更严格的环境标准,以尽量减少对海洋生态系统的影响,冷源系统是核电厂安全屏障的重要组成部分,任何故障或故障都会对核电厂造成严重后果,因此需要多种保障措施来提高系统的可靠性。

2 核电厂冷源系统设计与实践存在的主要问题

2.1 冷却水的质量问题

冷却水的质量是影响核电厂冷源系统性能和寿命的主要因素之一,对于以海水为冷却水源的核电厂来说,海水中高浓度的盐会对冷却系统管道、换热器等设备造成严重的腐蚀,长期的腐蚀不仅会降低设备的传热效率,还会导致泄漏,影响核电厂的安全运行,此外,盐还会加速冷源系统中微生物的繁殖,从而进一步影响系统的性能。冷却水可含有悬浮、沙子等各种杂质,沉积在冷却系统中,形成水垢或堵塞管道,降低冷却水的流动效率,增加系统阻力,甚至导致设备温度升高,工业排放和农业活动等因素会导致冷却水受到重金属、有机物等化学物质的污染,这些污染物进入冷却系统后会引发设备材料的腐蚀,还可能通过热交换过程进入反应堆的冷却系统,对反应堆的安全构成威胁。同时,季节变化、降雨、潮湿、潮汐等因素都可能导致冷却水水质的波动,如水温、盐度、pH值等指标的变化,对冷源系统的稳定运行产生不利影响。

2.2 冷却水温度问题

冷却水温是影响冷源系统冷却效果的重要因素,在夏季或热带地区,外部温度较高,导致冷源系统冷却水温升高,高温冷却水在换热过程中难以有效吸收反应器热量,降低制冷效率,增加系统负担,日温差、季节温差等自然环境因素导致冷却水温度波动较大,对冷源系统的调节能力和稳定性提出了更高的要求,如果系统不及时或不适当调整,可能导致反应堆温度波动,影响核电厂的安全运行,在寒冷地区,冬季冷却水的温度可能非常低,导致冷却系统内的冰晶结冰或形成,管道堵塞或设备损坏,此外,低温也会影响冷却水的流动,降低冷却效率。

2.3 冷却水流量问题

冷却水的流动是保证冷源系统正常运行的必要条件之一,可能由于管道堵塞、泵组故障或设计缺陷而导致冷却水流量不足,流量不足会直接影响热交换效率,有效阻止反应器冷却,增加升温的风险。在大型核电厂中,冷源系统可能有多个并联或串联的热交换器,如果流量分布不均匀,会导致一些热交换器过量运行,而其他热交换器则处于无效状态,从而降低了整体制冷效果。传统冷源系统的流量调节手段有限,往往依赖于阀门开启调节,但这种方法存在调节精度低、响应缓慢等问题,难以满足现代核电厂对冷却水流量的精确控制要求。

3 核电厂冷源系统设计与实践的优化措施

3.1 促进研究、技术开发和创新

在核电厂冷源系统改进过程中,技术研发和创新是提高系统性能、降低成本的主要动力,开发和应用新材料,如高性能合金,陶瓷涂料等,以延长冷却系统设备的使用寿命,减少因腐蚀和磨损而导致的故障和维护成本。同时,引入先进的传感器、操作器和控制系统,实现对冷却水水质、温度、流量的实时监测和精确调节,通过大数据分析、人工智能算法等技术手段,优化冷却系统运行策略,提高系统的适应性和响应速度,进一步开发高效热交换器、低能耗泵组等节能制冷设备,减少能耗和碳排放,同时,探索制冷水回收、余热回收等节能技术,提高能效。针对制冷水排放可能带来的环境问题,开发海水淡化、海水淡化、生物净化等环保处理技术和设备,确保制冷水排放符合环境标准,减少对海洋生态系统的影响,还有进一步加强与国际先进核能技术的交流与合作,引进国外冷源系统的先进技术和经验,促进技术创新和产业升级。

3.2 改进管理体系和标准

完善的管理体系和标准是确保核电厂冷源系统安全高效运行的基础,建立详细、全面的冷源系统管理体系,明确各级人员的职责和权限,规范系统运行、维护和维修,建立定期检查和评估机制,及时发现和解决问题,根据国内外有关标准和规范,结合核电厂的实际情况,制定冷源系统科学合理的技术标准,包括冷却水质量标准、温度控制标准、流量分配标准等,为系统的运行和维护提供技术依据,建立安全监控体系,加强对冷源系统安全运行和管理的监督,定期组织安全检查和应急演练,提高应急能力,同时加强与政府监管机构的沟通和协调,确保系统安全符合监管要求,利用现代信息技术手段,建立冷源系统信息管理平台;实现系统运行状态、维护记录、故障报警的实时信息采集、处理和共享;提高管理效率和决策能力。

3.3 加强员工培训和教育

人员是核电厂实施冷源系统优化的重要力量,加强人员的培训和教育,对提高系统运行水平,确保安全具有重要意义,定期对冷源系统相关人员进行专业技能培训,包括设备操作,维护和故障诊断方面的知识和技能,提高员工的专业素质和技能,加强安全意识教育,使员工充分认识冷源系统安全的重要性,通过案例分析、安全培训等方式,提高安全意识和员工应对突发事件的能力,鼓励员工积极学习新技术,新知识,了解国内外冷源系统技术的最新动态和发展趋势,通过参加学术交流,技术研讨会等活动,拓宽视野,增长知识,加强团队建设与协作,培养团队精神和协作能力;通过团队建设活动和经验分享,增强团队凝聚力和战斗力;同时,鼓励员工相互学习,互相帮助,提高冷源系统的运行和管理水平^[2]。

3.4 引入智能监控和维护系统

随着物联网,大数据和人工智能技术的快速发展,引入智能监控和维护系统已成为提高核电厂冷源系统运行效率的关键一步,建立基于云计算的远程监控平台,实时收集和分析冷源系统的运行数据,通过可视化界面显示系统的运行状态、性能参数

和潜在风险,为运行维护人员提供及时、准确的信息支持,利用大数据分析和机器学习算法,深入挖掘冷源系统的历史运行数据,预测设备故障的可能性和时间,提前安排维护计划,减少计划外停机时间,提高系统可靠性和可用性,开发智能诊断系统,通过将故障现象与预失效模式库进行比较,快速确定故障原因,并提供相应的解决方案,减少故障排除时间,降低维护成本,在关键区域部署机器人自动检查,替代常规任务,机器人可以携带多种传感器对制冷设备进行全面、准确的检查,提高检查的效率和准确性。

3.5 实施环保制冷方案

面对日益增长的环境压力,核电厂需要探索和实施环保制冷解决方案,以减少对自然环境的影响,封闭循环冷却系统利用封闭管道循环冷却水,减少了冷却水的蒸发和排放,同时热量通过换热器传递到外部环境,实现了高效的热传递,对于使用海水作为冷却水源的核电厂,可以建造海水淡化设施,其中一部分可用于工厂的其他用途或在冷却系统中重复使用,减少海水消耗和排放,减少对海洋环境的影响,采用低噪音、低水、高性能的冷却塔进行优化设计,减少了冷却过程中的噪音污染和水雾流动,保护了周围环境,探索利用太阳能和风能运行绿色制冷辅助系统,例如利用太阳能集热器预热冷却水,以减少制冷系统对电能的依赖,或利用风能运行制冷泵组,减少化石燃料消耗和碳排放^[3]。

3.6 加强跨部门合作和知识共享

在核电站冷源系统优化过程中,部门间的协作和知识共享是提升整体优化效果的重要组成部分,这一战略不仅有助于打破信息壁垒,促进资源的高效配置,还能激发创新思维,共同应对复杂的挑战,明确各相关部门在改进冷源系统方面的职责和作用,如运营部、维护部、技术研发部等,通过定期召开部门间协调会议,确保信息的及时流通和共享,交流各自领域的最新动

态、问题和解决方案,同时成立联合工作组,集中开展具体改进项目或难点问题,形成联合力量,利用现代信息技术手段建设知识共享平台或内部网络社区,鼓励员工上传技术文档,分享经验、案例分析等材料,形成丰富的知识库;通过平台内部的研究、讨论、评估功能,员工可以快速获取所需信息,促进知识共享和传播,此外,可邀请外部专家或行业领导者参与平台交流,引进外部智慧和资源。为了激励和激励员工,可以将跨部门合作和知识共享纳入绩效考核体系,通过设立合作贡献奖或知识分享明星奖来表彰和奖励擅长合作和参与的个人或团队,同时,将合作和成果分享作为晋升、加薪等决策的重要依据,形成积极的激励作用。

4 结语

核电厂冷源系统的优化设计与实践是提高核电站能源利用效率、确保安全运行的重要途径。通过引入智能监控和维护系统、加强跨部门合作和知识共享以及加强员工培训和教育等措施,可以显著提升冷源系统的性能,为核电厂的可持续发展提供有力保障。未来,随着技术的不断进步和创新,核电厂冷源系统的优化设计将更加高效、智能和环保。

[参考文献]

[1]周璇,闫学成,闫军威,等.温度传感器偏差故障对冷源系统的影响分析[J].低温与超导,2022,50(11):55-61.

[2]俞毅,刘珍,张青,等.连续运行冷源系统的优化设计——可靠性及节能问题研究(2)[J].制冷技术,2010,30(03):34-38.

[3]周璇,闫学成,闫军威,等.基于BOA-SVM的冷源系统温度传感器偏差故障检测[J/OL].控制理论与应用:1-9[2024-07-01].

作者简介:

王超(1988-),男,汉族,山东省青岛市人,本科,大亚湾核电运营管理有限责任公司,工程师,研究方向:核电运行方向。