

核电运行方向的技术创新与未来展望

梁祖廉

大亚湾核电运营管理有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i1.11447

[摘要] 在当今世界能源需求的不断增长和环保要求的日益提高的背景下,核电作为一种清洁、高效、可持续的能源形式,它的重要性不言而喻。但是伴随着核电运行时间的延长,以及人们对核安全的持续关注,核电运行方向的技术创新成为了一个重要课题。特别是数字控制系统(DCS)在核电运行中的广泛应用,为核电运行操作提供了新的可能性。本文将探讨核电运行方向的技术创新与未来展望,重点分析DCS数字控制系统在核电运行操作中的应用创新,期望为核电行业的发展提供有益的参考。

[关键词] 核电运行方向; 技术创新; 未来展望

中图分类号: TM623 **文献标识码:** A

Technological innovation and future prospect of nuclear power operation direction

Zulian Liang

Daya Bay Nuclear Power Operation and Management Co., LTD.

[Abstract] In the context of growing energy demand and increasing environmental requirements, the importance of nuclear power, as a clean, efficient and sustainable form of energy, is self-evident. However, with the extension of the operation time of nuclear power and people's continuous attention to nuclear safety, the technological innovation in the direction of nuclear power operation has become an important topic. In particular, the wide application of digital control system (DCS) in nuclear power operation provides new possibilities for nuclear power operation. This paper will discuss the technical innovation and future prospects of the direction of nuclear power operation, focusing on the application and innovation of DCS digital control system in nuclear power operation, which is expected to provide a useful reference for the development of nuclear power industry.

[Key words] nuclear power operation direction; technological innovation; and future outlook

引言

在科技飞速发展的今天,核电作为一种清洁、高效的能源形式,它已经成为全球能源结构调整的重要力量。但是由于核电技术的不断发展和应用,如何在确保安全、提高效率的前提下,实现核电运行的创新与突破,这已经成为业界关注的焦点。在数字化控制系统(DCS)这一关键技术领域,如何运用先进的技术手段对核电运行操作进行优化,不仅关系到核电行业的可持续发展,更是关乎国家安全和能源战略的重大课题。

1 核电运行现状分析

1.1 当前核电运行的主要技术与特点

当前核电运行主要采用二代加及第三代核电技术,它具有高安全性、高经济性、高可靠性和良好的环境兼容性等特点。二代加及第三代核电技术以数字化控制系统为核心,通过DCS(分布式控制系统)实现核电站的监控、控制和保护等功能。DCS系统具有高度的集成性、灵活性和扩展性,基于这些特点能

够可以实现对核电站各个子系统的实时监控和优化控制。除此第三代核电技术还采用了非能动的安全系统,降低了核电站事故发生的风险。

1.2 当前核电运行面临的问题与挑战

1.2.1 安全风险问题

核电运行过程中安全风险问题始终是最为核心的问题,具体来说核电站的安全风险主要包括放射性泄漏、设备故障、人员失误等。其中放射性泄漏会导致严重的环境污染和人员伤亡,设备故障和人员失误可能导致核电站运行不稳定,甚至引发事故。长期以来如何有效降低核电运行过程中的安全风险,保障核电站安全稳定运行,一直是核能领域研究的重点。

1.2.2 经济成本问题

核电运行的经济成本问题也是制约核电发展的重要因素,核电站在建设和运行过程中需要投入大量资金。第一核电设备的采购和建设成本较高,且建设周期长。第二核电运行过程中设

备维护、燃料更换、人员培训等方面的成本也较高。第三核电站退役后的处理和核废料处理也是一笔巨大的经济负担。基于此在当前能源市场竞争激烈的背景下如何降低核电运行的经济成本,提高核电的经济竞争力,已经成为核电领域亟待解决的问题。

1.2.3 社会接受度问题

核电站在我国的发展过程中社会接受度问题也是一个不容忽视的问题,具体来说核电站的安全事故、放射性污染以及核废料处理问题,使得部分公众对核电持反对态度。基于此提高核电站的社会接受度,增进公众对核电的认知和信任是核电发展的重要任务。而DCS数字控制系统在核电运行中的应用可以提高核电站的透明度,使得公众能够实时了解核电站的运行状态,增强公众对核电的信任。

2 核电运行方向的技术创新

2.1 安全技术创新

2.1.1 新型反应堆设计,提高安全性

反应堆安全是核电发展的前提和基础,而堆芯燃料组件具有高温、高压、高放射性等特点,这些特点为反应堆安全带来了新的挑战。核反应堆设计方面的创新包括改进燃料组件材料、采用新型燃料组件设计以及开发更先进的燃料管理系统等。新型燃料组件设计提高了核反应堆在严重事故情况下的安全性,第一采用高热流密度、耐高温的陶瓷材料作为燃料组件,它可以有效吸收中子和控制反应堆的运行状态。第二采用先进的燃料管理系统,就可以根据运行参数变化情况自动调节燃料棒内压降,避免出现燃料棒断裂情况。第三采用先进的燃料管理系统还能够自动调节核反应堆运行功率,降低核电站停堆检修时对环境造成的影响^[1]。

2.1.2 先进的安全监测与预警系统

(1) 先进的安全监测与预警系统是核安全技术发展的必然趋势,它是以先进的信息技术和传感技术为基础,对反应堆运行状态进行实时在线监测和分析,并在事故发生之前进行故障诊断和预测,以此确保核电站的安全运行。基于此先进的安全监测与预警系统可以自动对反应堆的各种运行参数进行连续、实时、在线地测量与计算,并将监测数据及时反馈给控制系统,从而使控制系统能够根据反应堆当前状态进行适当的安全控制。更重要的是在核电站发生事故时它可以实现对事故的早期预警,以便操作人员采取适当的措施避免或减少事故对人员、设备及环境造成的损害。

(2) 先进的安全监测与预警系统可监测反应堆的各种运行参数,并能够对事故进行早期预警。目前美国、加拿大、法国等已建立了安全监测与预警系统。法国在反应堆控制系统中采用了先进的实时监测与分析技术,其先进的监测与分析系统能够实时地监测到反应堆的各种运行参数,并对事故进行早期预警。日本和俄罗斯也都开发了先进的安全监测与预警系统,它的核心是利用多传感器技术对反应堆进行实时监测,并通过实时在线分析和计算来进行事故预防和减轻。就该点而言先进安全监

测与预警系统不仅能够减少事故发生时对反应堆运行人员和设备的伤害,还能够使人们提前了解反应堆潜在的危害并采取相应措施。

2.1.3 事故应对技术的创新发展

事故应对技术的创新发展可不断提高机组的安全性,例如AP1000核电机组采用了一系列先进的安全措施和先进的应急响应系统,举例来说,核电厂安全壳内增设了能将空气直接导入安全壳的气体置换系统,它能够及时有效地排出安全壳内的二氧化碳,从而保证核电机组正常运行。因此在蒸汽发生器传热管破裂后,为了防止蒸汽发生器内压力上升到安全壳内并导致爆炸,设置了蒸汽发生器快速降压措施。AP1000机组的应急电源系统采用了“可充式蓄电池”,它可以在主电源故障或失电时启动备用电源系统。更重要的是AP1000机组还配备了各种应急系统、应急设施、应急物资等,以此保证事故情况下的安全运行。

2.2 效率提升技术创新

2.2.1 更高效的核燃料利用技术

(1) 提高核燃料利用率就是通过优化核燃料结构设计,使核燃料的能量利用率得到提高。具体而言,第一在轻水堆中可以通过采用先进的包覆屏蔽材料和多用途包壳材料来减少核燃料与包壳材料之间的接触面积,从而提高其热传导效率,降低燃料元件内的应力,以此提高核燃料的利用率。第二在快堆中可以通过采用先进的多用途包壳材料来提高包壳材料与包壳之间的热膨胀系数差,从而降低包壳内温度梯度。第三在高温气冷堆中通过采用先进的多用途包壳材料来降低包壳内温度梯度。第四在快中子增殖堆中可以通过采用先进的多用途核燃料组件来提高包壳内温度梯度。

(2) 核能发电所用的核燃料含有大量的铀、钚等放射性物质,如果不能被充分利用就会造成严重的环境污染。基于此我国在燃料循环利用技术方面进行了大量的研究工作,研发了一批高效率核燃料循环利用技术。比如中国核动力研究设计院自主开发了多用途核燃料组件及密封组件、核燃料元件包壳材料和热中子吸收体材料等一系列先进的核燃料循环利用技术,并形成了具有自主知识产权的高效率核燃料循环利用成套技术体系。目前我国已经将一批先进的核燃料循环利用技术应用到核电站中,基于不同的堆型设计,就能够实现在提高燃料利用率、降低成本方面的目标。

2.2.2 优化运行管理,提高发电效率

(1) 核电厂运行管理是指对核电厂运行过程中各种因素进行综合协调和控制,使得核电机组的效率达到最佳。核电机组运行管理主要包括以下内容:第一建立核电机组的实时模型,以实现核电机组状态进行监控,使核电厂的设备始终处于最佳状态。第二根据运行需要对核电站的各种参数进行合理选择和调节。第三针对核电厂可能出现的各种情况,制定应急处理预案。第四针对运行操作中存在的问题,制定改进方案。但是在实际运行中由于各种原因可能会导致某些参数偏离正常值,使设备处于非最佳状态,影响机组出力,造成燃料元件损坏,从而使发电

量下降,基于此提高机组发电效率对核电站的安全经济运行至关重要。

(2)核电厂通过优化运行管理来提高机组运行的经济性,提高设备的利用率,优化运行操作,这是提高核电机组发电效率的重要手段。采用优化运行管理的方法,就可以显著减少因参数偏差导致的机组出力下降和燃料元件损坏等现象。优化运行管理方法主要有:第一根据核电机组状态监测系统数据进行在线分析与计算。第二通过燃料元件的热物理特性和工况变化影响特性,以数学模型为基础建立热交换模型。第三针对不同的运行状态,采用不同的控制策略。第四对于一些复杂系统和设备可以利用先进的控制算法来进行实时控制,以此来提高核电机组的发电效率^[2]。

2.2.3 热能转换技术的创新

(1)热能转换是指将热能从一种形式转换为另一种形式的过程,也是能源利用的核心部分。核电机组热力系统的设计包括在核电站运行的过程中利用热量来驱动发电机发电,产生电力供用户使用。在核电站运行时热能通过余热锅炉、余热排出系统以及循环冷却水系统等,得到热量后驱动汽轮机、发电机等设备转动发电。在核电站运行中有大量的余热没有得到有效利用,这部分热能可以通过热能转换技术加以回收利用,转化为电能。根据热机循环的特点,在不同工况下核电机组所产生的热量可以被分为两部分:第一由蒸汽发生器、循环冷却水等设备产生的热量。第二是从蒸汽发生器中回收的热量。

(2)热能转换的主要技术有:第一余热利用,高温蒸汽汽轮机、高温低压蒸汽发生器等。第二水蒸汽发生器,包括热力发电装置中的热水锅炉和蒸汽轮机中的热水轮机。第三海水淡化,通过海水淡化,利用其浓盐水作为冷却剂,冷却蒸汽发生器的加热器。第四热化学回收,高温热水、饱和蒸汽以及高温废水等的热化学回收技术。为了提高核电机组热能转换效率,我国正在开展余热利用和海水淡化方面的研究工作。其中高温热水技术已经通过了现场试验,实现了对核电机组运行的灵活性改造。饱和蒸汽技术和海水淡化技术已经在不同类型机组中得到广泛应用,并取得了一定的效果。

3 智能化、自动化在核电运行中的应用前景

在核电运行过程中,智能化、自动化的应用前景十分广阔。数字控制系统(DCS)作为核电运行操作的核心,它的技术创新为核电行业带来了前所未有的变革。以下几个方面将展现智能化、

自动化在核电运行中的应用前景:第一DCS数字控制系统能够实现核电运行过程中的实时监控与数据分析,对核电机组的运行数据进行实时采集、处理和分析,DCS系统就能够及时发现异常情况,并作出相应的预警和处置,有效保障核电运行的安全性和稳定性。第二智能化、自动化技术在核电运行中的故障诊断与预测方面具有显著优势,具体来说运维人员借助DCS系统可以对核电机组的运行状态进行实时监测,通过大数据分析和人工智能技术,实现对故障的早期识别和预警,降低故障风险,提高核电运行的经济性。第三DCS数字控制系统在核电运行操作中可以实现无人或少人值班,采用智能化、自动化技术,核电机组的运行操作可以实现远程监控和远程控制,大大降低了运维人员的劳动强度,以此提高了核电运行的安全性。第四DCS系统可以实现核电运行过程中的优化控制,对核电运行参数的实时调整,DCS系统就能够使核电机组始终保持在最佳运行状态,提高发电效率,降低能源消耗。第五智能化、自动化技术在核电运行中的培训与仿真方面也具有重要价值,运维人员借助DCS系统可以在虚拟环境中进行核电运行操作培训,提高运维人员的技能水平,降低实际操作风险^[3]。

4 总结

核电运行作为我国能源事业的重要组成部分,它的技术创新与未来发展备受关注。基于DCS数字控制系统在核电运行中的应用,可以有效提高安全性、稳定性、效率,实现核电运行的智能化、自动化。面对当前核电运行面临的问题与挑战,我们应该积极推动技术创新,不断提高核电运行水平,为我国能源事业的可持续发展贡献力量。同时我们也要关注核电运行对环境的影响,努力实现核电发展的绿色、可持续。

[参考文献]

- [1]孔萌然.核电厂无纸化运行实践及优化浅析[J].中国设备工程,2024,(S2):6-9.
- [2]李乐.核电厂大修风险管理工具开发[J].中国核电,2024,17(01):47-51.
- [3]张旭.自动化测试技术在核电DCS测试中的创新应用[J].自动化博览,2022,39(04):58-61.

作者简介:

梁祖廉(1991--),男,汉族,广东省湛江市人,工程师,大学本科,核电运行。