

某 1000MW 压水堆核电站循环水系统冬季运行研究

Research on the Winter Operation of the Circulating Water System of a 1000MW Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plant

曾志翔 王春辉 冯青虎

Zhixiang Ceng Chunhui Wang Qinghu Feng

阳江核电有限公司 中国·广东 阳江 529500

Yangjiang Nuclear Power Co., Ltd., Yangjiang, Guangdong, 529500, China

摘要: 本研究深入探讨了 1000MW 压水堆核电站循环水系统的冬季运行挑战和性能优化策略。通过建立数学模型、性能模拟和冬季实验,结合全面的安全、环境和应急响应考虑,旨在为核电站提供在寒冷气候下安全、高效运行的有效指导和策略。未来,建议不断监测气候变化,更新模型和策略,促进核电站冬季运行的科研实践,以确保核电站的可持续性发展。

Abstract: This study deeply explores the winter operation challenges and performance optimization strategies of the circulating water system of 1000MW PWR. By building mathematical models, performance simulations and winter experiments, combining comprehensive safety, environmental and emergency response considerations, it aims to provide effective guidance and strategies for safe and efficient operation in cold climates. In the future, it is recommended to continuously monitor climate change, update models and strategies, and promote scientific research practices of nuclear power plants in winter to ensure the sustainable development of nuclear power plants.

关键词: 压水堆核电站; 循环水系统; 冬季运行; 性能模拟; 优化控制策略

Keywords: PWR nuclear power plant; circulating water system; winter operation; performance simulation; optimized control strategy

DOI: 10.12346/etr.v6i3.9185

1 引言

核电站作为清洁能源的重要组成部分,在提供大量电力的同时也面临着季节变化等多方面的挑战。冬季运行是一个备受关注的问题,特别是在寒冷的气候条件下。循环水系统作为核电站的核心组件之一,其在冬季的高效、安全运行对整个核电站的稳定性至关重要。

随着气候变化对能源系统的影响不断加剧,对核电站冬季运行的深入研究变得愈加紧迫。本研究通过系统性的分析,将关注点聚焦于核电站的循环水系统,深入挖掘冬季环境对其性能的影响,并提出相应的性能模拟和优化控制策略。

2 核电站循环水系统概述

2.1 压水堆核电站结构

压水堆核电站是一种基于压水堆技术的核电站,其主要

结构包括核反应堆压力容器、燃料组件、冷却剂循环系统、蒸汽发生器等。核反应堆压力容器是核反应的核心区域,容纳着核燃料并提供足够的压力,确保核反应的稳定进行。燃料组件包括燃料棒,它们在核反应中释放出热量,用于产生蒸汽。冷却剂循环系统则负责将产生的热量带走,确保核反应堆稳定运行。

2.2 循环水系统功能

循环水系统在核电站中扮演着至关重要的角色。其主要功能包括冷却核反应堆、传递热量、产生蒸汽以及维持系统的稳定运行。冷却剂(通常是水)流经核反应堆,吸收释放的热量,然后通过循环水系统传递到蒸汽发生器。在蒸汽发生器中,冷却剂与次级循环的水相互作用,使水变为蒸汽,最终用于发电。循环水系统的高效运行对核电站的安全和性能至关重要^[1]。

2.3 冬季运行的挑战

冬季对核电站的循环水系统提出了一系列独特的挑战。

【作者简介】 曾志翔(1988-),男,中国广东新会人,本科,工程师,从事核电运营研究。

低温环境可能导致冷却剂温度降低，增加核反应堆的热负荷，从而需要更高效的冷却过程。寒冷的气温可能导致冷却水结冰，影响循环水系统的正常运行。应对这些挑战需要精心设计的工程解决方案和科学合理的运行策略，以确保核电站在冬季环境下安全、高效地运行。对循环水系统的性能模拟和优化以及在实际运行中进行详细的实验与数据分析，将有助于制定切实可行的冬季运行计划。同时，必须考虑并实施相应的安全措施，以保障核电站的安全性，而环境保护考虑和应急响应计划也不可忽视，以应对潜在的突发情况。

3 冬季气象条件对循环水系统的影响

3.1 温度变化分析

冬季的气象条件在核电站循环水系统中产生广泛的影响，其中最为显著的是温度的变化。寒冷的气温会直接影响到冷却剂的温度，从而影响核反应堆的热量产生。对冬季温度变化进行详尽的分析，包括气温的日夜变化和极端气候事件的发生频率，对于制定循环水系统运行策略至关重要^[2]。

3.2 冷却水温度影响

冷却水温度的变化对核电站的运行效率和安全性有着直接的影响。在寒冷的冬季，冷却水的温度可能下降到较低的水平，导致核反应堆的热负荷增加。这可能需要调整循环水系统的工作参数，以确保足够的热量被带走，同时保持核反应的稳定。冷却水的低温还可能影响设备的性能，需要采取相应的技术手段来应对温度对设备的影响。

3.3 结冰风险评估

在冬季寒冷的环境中，结冰是循环水系统面临的主要挑战之一。结冰可能导致管道和设备的损坏，阻碍正常的水流，并且可能引发安全问题。对结冰风险进行全面评估是必要的。这涉及分析冷却水的结冰点和不同气象条件下结冰的可能性。评估结冰对系统可靠性和性能的实际影响也是至关重要的，以制定有效的结冰预防和处理策略。在应对这些冬季气象条件的影响时，综合考虑温度变化、冷却水温度和结冰风险，核电站需要制定系统运行的灵活策略。这可能包括优化循环水系统的控制算法，提前预测气象条件的变化以及采用先进的设备和技术来应对冬季运行中可能出现的挑战。同时，通过性能模拟和实验数据的详细分析，可以进一步完善系统的设计和运行计划，确保核电站在冬季环境下安全、高效的运行。

4 循环水系统性能模拟与优化

4.1 模型建立与验证

循环水系统性能模拟建立在准确的数学模型之上，这一模型必须能够反映核电站循环水系统的实际运行。建立一个细致的数学模型，涵盖核反应堆、冷却剂循环系统、蒸汽发生器等组成部分。该模型需要考虑多个因素，包括温度、压力、流速等关键参数。模型的准确性对于模拟系统在不同

温度条件下的行为至关重要。模型建立后，必须进行验证以确保其准确性。验证可以通过与实际运行数据的比对来完成。使用先前获得的循环水系统的历史数据，将其输入建立的模型中，并比较模型的输出与实测数据。通过这种验证过程，可以调整和优化模型，使其更好地反映实际运行情况^[3]。

4.2 冬季性能仿真

为了更好地了解循环水系统在冬季环境下的运行情况，进行冬季性能仿真是必要的。这涉及使用建立和验证的模型，模拟核电站在不同冬季气象条件下的运行。在仿真过程中，考虑到温度的变化、冷却水温度的波动以及可能的结冰风险。通过仿真，可以获取系统在冬季的性能参数，如冷却效率、温度分布和压力变化等。冬季性能仿真还可以帮助预测在不同气象条件下系统的响应，为运行中可能出现的问题提前做好准备。通过分析仿真结果，可以识别潜在的性能瓶颈和改进空间，为制定优化策略提供基础。

4.3 优化控制策略

优化控制策略是确保循环水系统在冬季运行中高效、稳定运行的关键。通过综合考虑模型的输出和实际运行数据，可以制定更为智能的控制策略。这可能涉及调整循环水系统的参数，优化冷却剂的流动速度以及改进与其他系统组件的协调。在优化控制策略时，还需要考虑到潜在的结冰风险，确保系统在寒冷环境下不受结冰的影响。优化控制策略的制定需要综合考虑系统的性能、安全性和经济性。这可能包括采用先进的自动化技术、实时监测和反馈系统以及灵活的运行调度。通过不断优化控制策略，核电站可以在冬季环境下更好地适应气象条件的变化，确保系统的可靠性和稳定性。同时，为了验证优化控制策略的有效性，还可以通过实际运行实验来收集数据，并与模拟结果进行比对，以进一步优化策略。

5 冬季运行实验与数据分析

5.1 实验设计

进行冬季运行实验是为了验证性能模拟的准确性、评估优化控制策略的实际效果以及获取系统在寒冷环境中的真实性能数据。实验设计需要充分考虑冬季气象条件的不确定性，因此应该包括多种气象情景，如极端寒冷、降雪和气温波动等。同时，需要考虑实验期间可能发生的突发情况，以确保实验的安全性。实验的设计还需求明确定义冷却水温度、气温、风速等关键变量的控制范围，并确定这些变量的变化规律。实验还应涵盖系统在不同负荷条件下的运行，以模拟实际运行中可能的多种情况。这样的综合实验设计能够更全面地评估循环水系统在冬季环境下的性能。

5.2 数据采集与监测

实验进行时需要进行全面的数据采集和监测，以获取系统各个组成部分的详细性能参数。这包括核反应堆的温度、压力，冷却水的温度、流速，蒸汽发生器的性能参数等。采

集的数据需要以高频率和高精度进行,以确保对系统运行过程中的瞬时变化有全面而准确的记录。在数据采集的同时,实时监测系统的运行状态也至关重要。这可以通过传感器网络和自动监测设备来实现。监测系统应该能够及时检测到潜在的问题,并在必要时采取自动化的措施进行调整,以确保实验的持续进行和系统的安全性。

5.3 实验结果分析

实验完成后,对采集到的大量数据进行详细的分析是必不可少的。对实验数据与模型仿真结果进行对比,以验证性能模拟的准确性。这涉及对系统在不同气象条件下的响应进行比较,以识别潜在的偏差和不一致之处。对实验结果进行深入统计和趋势分析,以识别系统性能的关键参数和可能的优化方向。这可能包括冷却效率、系统稳定性、结冰风险等方面的指标。通过比较不同实验条件下的数据,可以识别系统在冬季运行中的特殊性能特征,为进一步优化提供有利的依据。实验结果分析还应该考虑到实验中可能的不确定性和误差,并进行敏感性分析,以评估实验结果的可靠性。这样的分析有助于为优化控制策略提供更具体和可操作的建议,以确保核电站在冬季环境下的可靠性和稳定性。在整个过程中,实验设计、数据采集和实验结果分析都需要与先前建立的模型和性能仿真相互协调,以实现全方位的系统性能评估。

6 安全与环境影响评估

6.1 安全措施

在核电站的冬季运行中,确保系统的安全性至关重要。安全措施的制定涉及多方面的考虑,包括人员安全、设备安全以及核反应堆本身的安全。首要任务是确保工作人员具备应对寒冷环境的培训和装备,以防范低温带来的身体健康风险。设备安全方面,需要采取预防措施,防范冷却水结冰、管道冻裂等问题。这可能包括使用保温材料、设备加热系统以及定期的设备巡检。建立实时监测系统,及时检测异常情况,并采取紧急措施以避免潜在的危险。核反应堆的安全性是核电站运行的核心问题。在冬季运行中,需要加强对核反应堆的监测,确保其在低温环境下的稳定运行。这可能包括改进控制算法、提高冷却效率以及应对可能出现的冷却水温度异常波动。

6.2 环境保护考虑

核电站的运行不仅影响到内部系统的安全,还需要考虑其对周围环境的潜在影响。在冬季运行中,环境保护考虑更应关注冷却水的排放和可能的结冰对周围生态系统的影响。

冷却水的排放需要符合环保标准,以避免对附近水域生态系统的不良影响。在低温环境下,要格外关注冷却水的温度和化学成分,以确保其排放对水体生态的最小化影响。结冰风险也可能引发环境问题,如结冰物质的可能溢出和对土壤的影响。因此,在环境保护方面,需要建立系统的结冰监测系统,并采取相应的预防措施,以最大程度地减少对周围环境的负面影响。

6.3 应急响应计划

在冬季运行中,应急响应计划变得尤为重要。这个计划需要覆盖系统各个方面,包括人员安全、设备故障、环境污染等紧急情况处理。关键是明确责任分工和应对流程,确保在紧急情况下能够迅速、有效地采取行动。应急响应计划还需要考虑到不同级别的紧急情况,并为每个级别明确相应的处理步骤。例如,对于核反应堆可能的异常情况,需要制定详细的核应急计划,确保核电站能够迅速、有序地应对可能的事故。定期进行应急演练和模拟演练是确保应急响应计划有效性的关键。这有助于评估计划的实际可操作性,识别潜在的问题,并及时进行调整和改进。应急响应计划的成功执行对于维护核电站在冬季环境下的安全性和可靠性至关重要。

7 结论

1000MW 压水堆核电站循环水系统在冬季运行中所面临的挑战,并通过建立数学模型、性能模拟、冬季实验以及全面考虑安全、环境和应急响应方面的因素,提出了一系列有效的性能优化策略。对环境的关注使得冷却水排放和结冰风险得到有效控制,以最小化对周围生态系统的潜在影响。建议制定完善的应急响应计划,以应对可能的紧急情况,确保核电站在冬季环境下的安全性和可靠性。不仅对当前研究对象具有指导意义,也为其他类似核电站在冬季运行中提供了经验和启示。未来,我们建议持续关注气候变化,不断优化模型和策略,推动核电站在复杂气象条件下的高效运行,以推动清洁能源的可持续发展。

参考文献

- [1] 黄兵,张现傲,武文奇,等.某1000MW压水堆核电站循环水系统冬季运行方式优化研究[J].电工技术,2023(17):244-247.
- [2] 曾峰,程东涛,任丽君,等.某1000MW汽轮机循环水泵运行优化研究[J].电站系统工程,2017,33(5):49-51.
- [3] 靖长财,张冬青.某1000MW汽轮机循环水泵变频存在问题及运行优化探讨[J].能源科技,2020,18(2):44-46.