

Discussion on safety assurance strategy of nuclear power plant operation under extreme climate conditions

Xuhu Guan Haiping Chao

Taishan Nuclear Power Joint Venture Co., Ltd. Taishan, Guangdong, 529200 China

Abstract

This paper discusses safety assurance strategies for nuclear power plant operations under extreme climate conditions. It first analyzes risks posed by various extreme weather events—such as heavy rain, floods, typhoons, high temperatures, and severe cold—to critical systems, cooling mechanisms, structural integrity, and power supply. The study then examines existing design standards for climate adaptability and routine emergency measures during operation phases, while identifying limitations in these mechanisms and mismatches between current standards and the intensity of extreme events under global warming. Core strategies proposed include enhancing climate-adaptive upgrades during design and construction phases, optimizing dynamic safety controls during operations, implementing real-time operational parameter adjustments based on early warning levels, and strengthening emergency response capabilities for extreme weather among operators. These recommendations aim to provide practical references for ensuring safe nuclear plant operations under extreme climate conditions.

Keywords

Extreme climate; Nuclear power plant operation; Safety assurance strategies; Climate adaptability

极端气候条件下核电站运行安全保障策略探讨

管绪虎 巢海平

台山核电合营有限公司, 中国·广东 台山 529200

摘要

本文就极端气候条件下核电站运行的安全保障策略展开讨论, 先分析了暴雨、洪水、台风、高温、严寒等不同极端气候给核电站关键系统、冷却系统、结构安全、电力供应带来的风险, 再阐述了核电站已有的设计标准中关于气候适应性的考量、运行阶段的常规应急措施, 剖析了这些已有机制存在的局限性及其设计标准与气候变暖下极端事件强度的不相匹配之处, 提出加强设计与建设阶段的气候适应性升级、优化运行阶段的动态安全控制、制定根据预警等级的运行参数动态调整方案、强化运行人员极端气候应急处置能力等核心保障策略, 意图给保障核电站在极端气候下的安全运行给予一些参考。

关键词

极端气候; 核电站运; 安全保障策略; 气候适应性

1 引言

近些年, 全球气候变得越来越剧烈, 极端气候事件频发且强度增大, 这给人类社会的生产和生活带来了许多难题, 核电站作为高效的清洁能源供应场所, 在全球能源架构中占据着关键地位, 稳定、安全地运行对于维持能源供应, 推动社会经济发展有着不可替代的意义。但极端气候事件给核电站运行安全带来极大威胁, 历史上发生过因极端气候导致的核电站安全事故, 给周边环境和居民生命财产安全造成巨大损失, 2011年日本福岛核事故就是由强震引发的海啸造成的, 该事件给全世界核电站的安全运行敲响了警钟, 所以, 面对极端气候频发的现状, 深入探究极端气候条件下

的核电站运行安全保障策略, 对提升核电站抵御极端气候的能力, 防范安全事故的发生有着非常关键的现实意义和学术价值^[1]。

2 极端气候类型及其对核电站运行的潜在风险

2.1 不同极端气候对核电站关键系统的影响

极端气候种类很多, 不同种类的极端气候对核电站关键系统的影响也不一样, 暴雨会造成厂区积水, 渗入电气系统造成短路故障, 影响控制系统正常工作, 使核电站各项操作指令不能准确下达和执行, 洪水会淹没泵房、开关站等重要设施, 破坏设备绝缘性, 造成关键系统瘫痪。台风威力巨大, 它能吹倒核电站外部输电线路的塔架, 还有通信天线之类的东西, 这样一来就可能出现通信中断或者电力输送受阻的情况, 台风带来的暴雨还会加重内涝危险, 从而给核电站的通风系统, 冷却系统等带来麻烦, 高温天气会使得核电站

【作者简介】管绪虎(1983-), 男, 中国湖北咸宁人, 本科, 工程师, 从事核电运行研究。

设备所处的环境温度上升,超出它们正常的工作温度范围,这会造成设备性能变差,还可能会出现过热损坏的现象,而且对于反应堆来说更是如此。严寒天气则可能使管道、阀门等设备被冻裂,影响介质正常输送,低温也降低电气设备绝缘性能、机械部件灵活性,干扰关键系统稳定运行。

2.2 对冷却系统的威胁

冷却系统属于核电站正常运作的重要环节,它的职责是把反应堆散发出来的热量尽快带出去,从而保持反应堆的温度不变,极端气候给冷却系统带来的危险尤其明显。干旱高温天气时,冷却水源(河流、湖泊)的水位会明显下降,甚至断流,冷却系统得不到足够的冷却水,高温还会让冷却水源变热,冷却效率变低,影响反应堆散热,如果冷却不及时,反应堆温度太高,就可能发生事故。而暴雨洪水时有大量的雨水洪水涌入冷却系统的取水口处,其中含有泥沙,杂物等,会堵塞管道与滤网,进而影响冷却水的正常抽取。洪水还会淹冷却系统的泵站之类的设施,从而造成设备故障,使其无法正常运行。

2.3 对结构安全的破坏风险

核电站的结构安全是核电站运行安全的基础,极端气候会给核电站的建筑物、构筑物带来严重的破坏风险。强台风具有巨大的冲击力,会对核电站的厂房、冷却塔、烟囱等高大建筑物带来强大的风压,从而导致建筑物结构变形、开裂甚至倒塌。强烈地震可能会造成地面晃动,地裂等状况,破坏核电站的地基与主体构造,影响建筑物的稳定程度,暴雨和洪水会冲刷核电站的边坡,挡土墙之类的东西,从而引发边坡失稳,滑坡等地质灾害,危及核电站的结构安全。高温与严寒反复作用,也许会致使建筑物的材料出现热胀冷缩状况,时间久了就会引发结构开裂,老化等毛病,进而缩减结构的承重能力及其安全性^[2]。

2.4 对电力供应的干扰

电力供应稳定是核电站正常运行的重要保障,极端气候可能给核电站电力供应带来严重干扰,台风,暴雨等极端天气会破坏外部电网输电线路,致使外电网供电中断,如果核电站自身应急电源系统不能及时启动或者容量不够,就会波及核电站控制系统,冷却系统等关键设备的运行,甚至引发反应堆停机等严重后果。高温天气使得用电负荷大增,外电网可能会出现过载或者电压不稳定的情况,从而影响到核电站正常的供电状况,而且极端气候还会对核电站内部的配电系统造成影响,雷击可能破坏变压器、开关柜之类的设备,引发内部电力供应故障,进而干扰核电站的正常运行。

3 核电站现有极端气候应对机制及局限性

3.1 现有设计标准中的气候适应性考量

当前核电站在设计阶段会参考一些气候数据和标准来考虑气候适应性,比如选址时避开历史上极端气候频发地区,或者按当地最大降雨量、最高洪水位、最大风速等气候

参数确定建筑物高度、结构强度、防洪设施标准等。对于冷却系统来说,冷却水源的稳定性和冷却能力都会被考虑到,确保在正常气候条件下能满足冷却需求,在电气系统的设计上,也会采取一些防水、防潮、防雷之类的措施,来应对一般的气候影响。

3.2 运行阶段的常规应急措施

核电站运作期间制定了很多应急措施去应付极端气候状况,建立气象观测报警系统,马上获取气象信息,并预先做好防范工作,到了极端气候降临之际,对各类机器设备开展细致的检修养护,加强外部构造,清除排水管道,保持排水系统通畅。核电站也制定了应急预案,对在不同的极端气候情况下的应急处理步骤以及责任人员进行明确,并且定期组织应急演练,提升核电工作人员的应急响应水平,在遇到极端气候的时候,立刻启动应急预案,开展停止运行、隔离等应急工作,减小发生事故的风险。

3.3 现有机制的局限性分析

虽然现有的应对机制能够在一定程度上应对常规的气候异常,但是仍然存在很多的不足。一是现有的设计标准主要是以历史气候数据为主要依据,在面对近年来所发生的极端气候数据强度和频率的预测不足,一些设施无法抵挡超强台风、特大暴雨这类极端气候。运行阶段的应急措施较为被动,缺乏主动性、前瞻性。如应急演练都是针对预先设定好的情景,与实际发生极端气候情况可能有所不同,造成工作人员在实际应急处置时应对不足。现有的应急设备储备与维护也存在一些问题,有的设备长期不用,可能造成设备老化、损坏等情形,在突发情况时无法正常使用。

3.4 设计标准与气候变暖下极端事件强度的不匹配性

随着全球气候变暖,极端气候事件的强度和频率都在上升,而核电站的设计标准没有跟上这种变化,设计标准里用到的气候参数,比如最大的降雨量,最高的洪水位等等,已经不符合现在的极端气候事件情况。比如有些地方实际的降雨量已经超过了核电站当初设计的时候所能够承受的最大降雨量标准,于是排水系统就承担不了了,造成了厂区内涝。还有气候变暖造成的海平面上升,这就会加大沿海核电站遭受风暴潮袭击的概率,但是现在设计里面防洪的标准是不够的,所以设计标准和气候变暖之后极端事件的强度之间存在不匹配的情况。

4 极端气候下核电站运行安全保障的核心策略

4.1 强化设计与建设阶段的气候适应性升级

设计与建设阶段,要充分考虑气候变暖趋势以及极端气候事件特点,对核电站实施气候适应性提升,更新设计标准,把最新的气候数据以及极端气候预测结果纳入设计依据,优化核电站的防洪、防风、抗震、耐高温等设计标准。比如针对沿海核电站,要提升防洪堤的高度和强度,抵御海平面上升和风暴潮的冲击,针对容易遭受台风侵袭的地区,

提升建筑的抗风能力,加强外部设施的稳固性,第二,改良冷却系统的设计,选用多种冷却水源,融合海水,地下水,再生水等,改善冷却系统的可靠性和适应性,改良冷却设备的性能,让其能在更高的温度环境下正常运转。在核电站的布局和结构上,考虑极端气候的影响,合理布局设备的摆放位置,防止重要设备处于容易受到极端气候破坏的位置。

4.2 优化运行阶段的动态安全管控机制

运行阶段要创建并改善动态安全管控机制,提升核电站对付极端气候的即时监控和处理能力,加大气象监测系统创建力度,采用先进气象监测设备和技术,从而提高极端气候预测精确度和提前预警时间,而且还要创建起气象信息同核电站运行数据之间的联动分析机制,尽早察觉潜藏的安全危险。可以对核电站的重要系统及设备进行实时监测,利用传感器等设备采集设备的运行参数、状态信息等数据,通过大数据分析、人工智能等技术,对设备的运行状态进行评估、预测,及时发现设备的异常情况并采取相应措施进行处理。形成弹性的调度机制,根据极端气候的变化情况,对核电站的运行计划及时予以调整,合理安排各机组的启、停及负荷安排,以保证核电站在极端气候条件下的安全稳定运行^[1]。

4.3 基于预警等级的运行参数动态调整方案

依据极端气候的预警等级,制定对应的运行参数动态调整方案,从而提升核电站的适应性和安全性,形成起完备的预警等级划分准则,按照极端气候的强度,波及范围,持续时长等要素,把预警等级划分成不同的级别,譬如蓝色,黄色,橙色,红色等等。就不同预警等级制订对应的运行参数调节方案,譬如橙色预警等级之下,预料将出现高温气象,那就减小反应堆功率,削减热量产出,加大冷却系统供给水量及冷却效果,从而守住反应堆温度的稳定,再如红色预警等级情形之下,碰到超强台风,特大洪水等极端气候,立刻停止运转,把反应堆放到安全状况,做好应对灾害时的保护措施。加大对运行参数调整的效果评估和反向力度,根据实际情况调整参数优化方案,使之具有科学性、有效性。

4.4 运行人员的极端气候应急处置能力强化

运行人员是核电站应急处置的核心力量,运行人员的

极端气候应急处置能力的高低直接影响着核电站的运行安全,所以要加强运行人员的培训和演练,提高运行人员的极端气候应急处置能力。其一,制定培训计划,培训内容包含极端气候特点和危害,核电站应急处置流程,设备操作技能等,采用理论教学,案例分析,现场实操等方式,提升运行人员专业知识和技能。其二,定期举行应急排练,设想各种类型,各个等级的极端气候事情,让运作人员在实战当中熟悉紧急应对流程,提升应对突发情况时的速度及协调配合水平,在排练完毕之后,尽快实施总结并给予评价,找出存在的不足之处加以改善。建立激励机制,调动运行人员参与培训和演练的积极性,提高运行人员的主动性,保证在极端气候事件发生时,沉着应对,果断处置。

5 结语

综上所述,极端气候条件下核电站的运行安全保障任务繁重且艰巨,它牵涉到能源安全,环境安全以及公众生命财产安全,本文通过剖析极端气候给核电站带来的潜在风险,找出现存应对机制的不足之处,给出了一系列关键的保障策略。未来的改进和发展,在科技不断发展和人们对极端气候认识加深的过程中,仍要不断加强研究和实践,不断完善核电站的安全保障体系。加强核电站在设计和建造时期气候变化的适应程度、对核电站运行阶段动态管控的加强、建立合适的核电站参数调整方案以及增强运行人员应对突发事件时的能力等多方面的改进和加强,切实提升核电站应对极端气候的能力,保证核电站安全运行,为社会经济提供充足的能源动力。也要加强国与国之间的交流和合作,共享先进经验和新技术,共同应对极端气候造成的核电站安全问题。

参考文献

- [1] 郑可.我国核电安全总体水平世界先进[J].中国核工业,2024,(05):17-19.
- [2] 丁凤波.核电厂运行中高风险项目的分析与优化措施研究[J].中国设备工程,2024,(S2):127-129.
- [3] 李鹏程,许倩,王焯.核电厂运行阶段安全文化评价指标体系研究[J].中国安全科学学报,2024,34(02):60-66.