

国产设备在核电厂运行情况及故障分析

郭杰

大亚湾核电运营管理有限责任公司，广东 深圳 518124

摘 要： 随着全球能源需求的不断增加和环保意识的不断增强，国家对清洁能源的需求日益增加。核电作为一种安全、高效、经济的能源形式，在国家能源战略中占有重要地位，然而，核电设备的稳定性和可靠性直接关系到核电厂的安全性和经济性，因此，保证核电设备的良好运行是核电发展的关键。近年来，我国在设备国产化方面取得了显著进展，国产设备在核电厂得到了越来越广泛的应用，本文进一步提出了一些改进建议，以期为进一步优化国产核电设备的设计和制造提供参考，提高核电设备的稳定性和可靠性，促进核电行业的健康发展。

关 键 词： 国产设备；核电厂；运行情况；故障分析

Operation situation and fault analysis of domestic equipment in nuclear power plants

Guo Jie

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518124

Abstract： With the increasing global energy demand and the increasing environmental awareness, the country's demand for clean energy is increasing. As a safe, efficient and economic energy form, nuclear power plays an important role in the national energy strategy. However, the stability and reliability of nuclear power equipment are directly related to the safety and economy of nuclear power plants. Therefore, ensuring the good operation of nuclear power equipment is the key to the development of nuclear power plants. In recent years, our country has made significant progress in the aspect of equipment localization, domestic equipment in nuclear power plant has been more and more widely used, this paper further puts forward some improvement Suggestions, in order to further optimize the design and manufacture of domestic nuclear power equipment to provide reference, improve the stability and reliability of nuclear power equipment, promote the healthy development of the nuclear power industry.

Keywords： domestic equipment; nuclear power plant; operation situation; fault analysis

引言

核电设备的稳定性和可靠性对于核电厂的安全运行至关重要，近年来，中国在核电设备国产化方面取得了显著进展。但在实际操作中，国产设备还是存在一些故障。因此，对核电厂国产设备的运行和故障进行分析，对于提高核电设备的质量和可靠性具有重要意义。

一、国产设备在核电厂的运行情况

（一）设备类型与分布

在核电厂中，国产设备应用广泛且多样化，它们分布在核电厂的所有关键系统中，共同维护核电厂的高效安全运行，国产设备主要涵盖反应堆堆芯部件、蒸汽发生器、主冷却剂泵、核燃料处理系统、安全壳系统、电气系统、控制系统和各种辅助系统。反应堆的核心部件，作为核电厂的心脏，国产反应堆压力容器和控制棒驱动机构已经高度国产化，并在多个核电厂项目中成功应用，如我国自主研发的CAP1400反应堆压力容器，在制造技术

和材料选择上均达到国际先进水平，并在多个核电厂项目中投入运行^[1]。作为热能转换的关键设备，国产蒸汽发生器在设计 and 制造方面也取得了显著进步，据统计，国产蒸汽发生器已经占据了我国核电市场的很大份额，并且在实际运行中表现良好，没有出现重大故障。主冷却剂泵负责将反应堆产生的热量传递给蒸汽发生器，是核电厂冷却系统的重要组成部分，国产主冷却剂泵在设计制造上已达到国际领先水平，其可靠性和耐久性已得到广泛认可^[2]。

（二）运行效率和稳定性

据统计，国产反应堆压力容器在运行过程中的泄漏率极低，

作者简介：郭杰（1982.10-），男，汉族，江苏省南通市人，工程师，本科，核电厂运行。

远低于国际同类产品的平均水平，控制棒驱动机构在快速响应和精确控制方面也表现出色，确保了反应堆的安全运行。作为热能转换的关键设备，蒸汽发生器的运行效率直接影响核电厂的发电能力，国产蒸汽发生器在设计制造上充分考虑了热能转换效率和热损失控制，使其在实际运行中表现出较高的热效率，国产蒸汽发生器的热效率普遍达到90%以上，远高于国际同类产品的平均水平^[3]。主冷却剂泵作为核电厂冷却系统的重要组成部分，其运行稳定性直接关系到反应堆的安全运行。此外，国产电气系统和控制系统在核电厂也有不错的表现，电气系统为核电厂提供稳定可靠的电源，保证各系统的正常运行，该控制系统实现了对核电厂各系统的精确控制和监控，提高了核电厂的整体安全性和运行效率^[4]。

（三）维护与保养

国产设备的设计充分考虑了维护的便利性，比如反应堆压力容器、控制棒驱动机构等关键设备采用模块化设计，维修时更容易拆装，在设备的结构设计和材料选择上充分考虑了耐腐蚀、耐磨损、耐高温等性能，延长了设备的使用寿命。国产设备在制造过程中采用了先进的工艺和技术，保证了设备的制造质量和精度，这使得设备在实际运行中表现出很高的可靠性和耐久性，减少了设备故障造成的停机时间。国产设备配有完整的维护手册和专业的技术支持团队，这些手册详细描述了设备的维护流程、维护周期和故障排除方法，为操作人员的维护和保养提供了有力的指导，技术支持团队还为操作人员提供专业的培训和咨询服务，帮助他们更好地掌握设备维护和保养技能^[5]。从实际运行数据来看，国产设备在维护方面也有不错的表现，国产设备的平均无故障时间(MTBF)普遍达到了数千小时以上，远高于国际同类产品的平均水平，设备的平均修复时间(MTTR)也很短，可以在短时间内恢复设备的正常运行。这有效地控制了设备维修成本，提高了核电厂的整体经济效益。

二、国产设备在核电厂的故障分析

（一）常见故障类型

在核电厂的运行过程中，机械故障是核电厂国产设备常见的故障类型之一，这种故障通常表现为设备机械部分的磨损、断裂和变形现象，导致设备无法正常运行，比如主冷却剂泵的轴承磨损，蒸汽发生器的管道泄漏，都属于机械故障的范畴，这些故障不仅会影响设备的运行效率，还会对核电厂的安全运行构成威胁。电气故障也是核电厂国产设备常见的故障类型，这种故障通常与设备的电气系统有关，如电机故障、电缆老化、接线松动等，电气故障可能导致设备无法启动、运行不稳定或突然停堆，对核电厂的正常运行造成很大影响。控制故障主要涉及设备的控制系统，这种故障可能是控制逻辑错误、传感器故障、执行器故障等原因造成的，控制失灵会导致设备无法按照预定程序运行，甚至可能导致安全事故^[6-7]。

（二）故障原因分析

设备本身的设计、制造和安装是导致故障的重要原因之一，

例如，设计缺陷可能导致设备运行过程中的应力集中和材料疲劳；制造工艺不良可能导致设备零件的尺寸精度和表面质量不符合要求；安装过程中的疏忽可能会导致设备部件之间的配合不良和紧固不牢固等问题。这些问题可能成为设备故障的潜在隐患。运行环境对核电厂国产设备的运行稳定性也有重要影响，核电厂的运行环境通常比较恶劣，包括高温、高压和高辐射，这些环境因素可能导致设备零部件加速老化、腐蚀和磨损，从而降低设备的可靠性和使用寿命。运维的因素也是国产设备故障的重要原因，操作人员的技能水平、操作习惯、维护的及时性和规范性都会影响设备的运行状态，比如操作人员对设备操作不当，可能造成设备损坏；维护不及时或不规范可能导致设备故障频发。此外，还有一些外部因素也可能导致核电厂的国产设备出现故障，如自然灾害(如地震、洪水等)和人为破坏，这些因素虽然罕见，但一旦发生，就可能对核电厂的安全运行造成严重影响^[8]。

（三）故障处理和预防

在故障处理方面，需要建立完善的故障报告和诊断机制，当设备出现故障时，操作人员应及时报告并启动故障诊断程序，以便快速准确地确定故障原因和位置，然后根据故障原因，采取相应的修复措施，如更换损坏的零部件、调整设备参数等，在抢修过程中，应当严格遵守操作规程和安全规范，确保抢修工作的质量和安全。在故障预防方面，需要从多方面入手，要加强设备设计、制造、安装的质量控制，确保设备本身的质量和性能符合要求，要改善设备的运行环境，如加强冷却系统的维护，优化化学处理系统的运行参数，减少环境因素对设备的影响。此外，还应加强对操作人员的培训和管理，提高他们的技能水平和操作规范化程度，建立完善的设备维护制度，定期对设备进行检查、清洗、润滑和更换，以延长设备的使用寿命，降低故障发生的可能性。

三、改进建议

（一）提升设计与制造水平

在设备设计阶段，要充分考虑核电厂设备的高温、高压、高辐射等特殊运行环境，确保设备设计满足这些特殊环境的要求，设计团队应对设备的结构、材料、工艺等方面进行深入研究和析，确保设备能够承受各种极端条件，并在运行过程中具有良好的稳定性和耐久性。在设备制造阶段，要注重制造过程的质量控制，这包括原材料的选择和检验，加工的精度控制，装配调试的严格控制。通过采用先进的制造技术和检测手段，确保设备的每一个部件都符合设计要求，从而提高了设备的整体质量和可靠性。此外，还可以借鉴国际先进的设计理念和制造技术，与国内外知名厂商合作，共同提高国产设备的设计制造水平，通过引进先进技术和管理经验，不断推动国产设备的技术创新和产业升级，更好地满足核电厂的运行需求。要注意设备设计的标准化和模块化，通过制定统一的设计标准和模块化设计，可以简化设备的制造和安装过程，降低生产成本，提高设备的可维护性和可升级性^[9]。

（二）加强维护与保养

设备的维护是保证其长期稳定运行的重要环节，要建立完善的设备维护制度，这包括制定详细的维护计划，明确维护的内容、周期和方法，建立完善的维修记录制度，对每次维修进行记录和评估，以便及时发现和解决潜在问题。要注意维护的专业性和规范性，这就要求维修人员具备扎实的专业知识和丰富的实践经验，能够准确判断设备的运行状态和隐患，要严格按照维修规程进行操作，确保维修质量和安全。此外，还可以采用先进的维护技术和手段，如智能维护系统、远程监控和诊断技术等，这些技术的应用可以实时监控设备的运行状态，及时发现和预警潜在故障，从而提高维护的效率和准确性。要注意设备维护的预见性和主动性，通过对设备的定期检查和评估，预测设备的使用寿命和潜在故障点，提前采取预防性维护措施，这样不仅可以减少故障的发生，还可以延长设备的使用寿命，降低维护成本。

（三）加强故障监测与诊断

对于核电厂的国产设备，加强故障监测和诊断有助于保证设备的安全稳定运行，要建立完善的故障监测系统，包括安装各种传感器和监控设备，实时监控设备的运行状态和参数变化，要建立数据分析系统，对监测数据进行实时分析处理，及时发现异常情况和潜在故障。要注意故障诊断的准确性和及时性，这就要求

故障诊断人员具有丰富的实践经验和专业知识，能够准确判断故障的原因和位置，同时要建立完善的故障诊断流程和应急预案，确保在故障发生时能够快速反应，采取措施进行处理^[10-11]。还可以采用先进的故障诊断技术和手段，如人工智能诊断系统、专家系统等，这些技术的应用可以实现设备故障的智能诊断和预警，提高故障诊断的准确性和效率。要注意故障监测和诊断的不断优化和改进，通过不断总结经验教训，引入新的技术和方法，不断完善故障监测诊断系统，提高设备的可靠性和安全性，应加强与国内外同行的交流与合作，共同推动故障监测与诊断技术的发展与创新。

四、结语

我国核能装备的自主研发工作必将面临着许多困难与挑战。然而，只要我们可以对国际核能的发展趋势和我们的核能发展的状况有一个全面的认识，就可以找到自己与核能发达国家的差距，进而可以人情自己的立场，主动进行研究，勇于进行创新，掌握目前核能大发展的有利时机，这样我们就可以将核电国产化的目标变成现实。我国核电工业的发展与壮大，刻不容缓！

参考文献

[1] 龙强. 浅析核电厂运行人员防人因失误管理 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022(33): 1-3.

[2] 艾路, 刘龙. 核电厂运行安全常见问题及防控措施的探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022(33): 7-9.

[3] 刘飒, 荣健, 周钊正, 陈薇, 王丰, 吴秀坤. 国产设备在核电厂运行情况及故障分析 [J]. 中国核电, 2020, 13(04): 477-480.

[4] 许濛, 周显壤, 弭磊. 水电厂运行班组安全文化建设实践 [J]. 电力安全技术, 2023, 25(01): 28-31.

[5] 沈江飞, 张圣, 喻昕, 等. 核电厂核安全设备运行状态监测技术研究 [J]. 价值工程, 2024, 43(28): 14-18.

[6] 宋怡. 基于贝叶斯分类的核电站泵类设备振动故障诊断方法 [J]. 机械制造与自动化, 2023, 52(04): 64-67.

[7] 姚肿, 陈齐清, 姚照红, 等. 核电厂运行人员防人因失误管理 [J]. 中国核电, 2010, 3(03): 263-269.

[8] 朱勇, 闾锋. 核电厂运行防人因失误管理探究 [J]. 工程建设与设计, 2020, (10): 223-224.

[9] 刘利光, 程军. 防人因失误工具在核电运行中的应用 [J]. 产业与科技论坛, 2019, 18(10): 73-74.

[10] 冯帅. 防人因失误工具在核电运行中的应用探讨 [J]. 产业与科技论坛, 2022, 21(14): 245-246.

[11] 刘利光, 程军. 防人因失误工具在核电运行中的应用 [J]. 产业与科技论坛, 2019, 18(10): 73-74.