

# The use of human error prevention tools in the debugging process of passive systems

Chengzhi Yu

Shanghai Nuclear Engineering Research & Design Institute Co., Ltd., Shanghai, 200233, China

## Abstract

With the increase of the complexity of passive systems in nuclear power plants and the increase of potential risks in the commissioning process, ensuring operational safety and reliability has become an important guarantee for safe production. This paper discusses the specific application and effectiveness of a series of human error prevention tools in passive system debugging. By analyzing the role of these tools in improving communication efficiency, enhancing self-review capacity, and strengthening protocol compliance, the importance of continuous optimization of existing measures based on feedback to ensure best practice for plant commissioning work is also discussed.

## Keywords

passive system; debugging process; error error tool

# 非能动系统调试过程中的防人因工具的使用

于程志

上海核工程研究设计院股份有限公司, 中国·上海 200233

## 摘 要

随着核电厂非能动系统复杂性的增加及其调试过程中潜在风险的提升, 确保操作安全性和可靠性成为安全生产的重要保障。本文探讨了一系列防人因失误工具在非能动系统调试中的具体应用及其成效。通过分析这些工具在提高沟通效率、增强自我审查能力、强化规程遵守等方面的作用, 还讨论了基于反馈持续优化现有措施的重要性, 以确保核电站调试工作的最佳实践状态。

## 关键词

非能动系统; 调试过程; 防人因失误工具

## 1 引言

核电厂作为高风险行业, 其运营环境的复杂性和技术要求极高, 任何微小的人为失误都可能对公共安全、环境及设施本身造成不可估量的重大影响。尤其是在非能动系统的调试阶段, 这一过程涉及众多精密设备和技术参数的调整与验证, 其复杂程度和不确定性进一步增加了操作难度。因此, 引入有效的防人因失误工具不仅是为了满足严格的核电安全标准, 更是为了确保调试工作的准确性与可靠性, 最大限度地降低潜在风险<sup>[1]</sup>。本论文将详细介绍这些工具在非能动系统调试中的具体应用策略。

## 2 非能动系统的特点及调试挑战

### 2.1 非能动系统的定义与特点

非能动系统 (Passive System) 是指那些无需外部电源

或动力驱动即可自动响应特定条件并执行功能的安全系统。与传统主动系统相比, 非能动系统在核电领域中展现了显著的优势, 对于提高核电厂的安全性和可靠性有着不可替代的作用。首先, 非能动系统依靠物理原理如重力、自然循环和物质的固有特性来工作, 减少了因电力故障或控制系统失效而引发事故的可能性, 从而提供更高的安全性。其次, 由于不需要持续的外部能量输入, 非能动系统大大降低了对电网和其他辅助设施的依赖, 简化了整体设计, 减少了潜在的故障点, 同时也简化了维护需求, 降低了长期运营成本。非能动堆芯冷却系统 (以下简称 PXS) 为非能动系统的典型代表。

### 2.2 非能动系统调试的挑战

非能动系统调试过程还存在一定的困难, 调试人员不仅需要深入了解各种材料在不同温度、压力下的行为模式及其相互作用, 而且必须应对复杂性增加的问题。为了验证非能动系统在各种工况下的表现, 尤其是极端情况下的响应能力, 通常需要进行大量的模拟测试, 这不仅耗时较长, 增加了整个项目的实施难度和时间成本, 也使得调试周期延长。

【作者简介】于程志 (1990-), 男, 中国山东龙口人, 硕士, 工程师, 从事非能动系统调试研究。

同时,非能动系统依赖于自然界的基本规律的行为有时难以精确预测,特别是在首次启动或遇到未曾预见的操作条件下可能出现意外结果。严格的法规遵从要求调试团队严格遵守安全标准和规范,考虑到未来监管政策的变化趋势,为系统的长期合规性做好准备。非能动系统的成功调试离不开多学科领域的紧密协作,包括机械工程、热力学、材料科学等领域专家的共同参与,有效地整合各方资源和协调不同专业背景成员之间的沟通交流成为调试工作中不容忽视的重要方面。

### 3 防人因失误工具的应用

在核电厂中,防人因失误工具是确保操作安全和可靠的关键措施。这些工具涵盖了从准备工作到操作执行再到事后总结的全过程,主要包括三向交流、自检、他检、遵守/使用规程、质疑的态度、监护、独立验证、工前会、工后会、不确定时暂停和2分钟检查。运用这些工具,通过系统的检查和验证机制,减少人为错误的发生,提高操作的准确性。例如,三向交流确保信息传递的准确性,自检和他检双重把关设备和环境的安全性,遵守规程确保操作的标准化,质疑的态度鼓励员工保持警觉,及时发现潜在问题。通过这些工具的综合应用,核电厂能够显著降低人为失误的可能性,保障设施的安全稳定运行。

三向交流提高团队内部沟通效率,强调信息传递中的三方互动:主管阐述任务目标,操作人员复述确认理解,主管再次确认理解的准确性,从而减少误解,促进信任与合作。自检与他检形成双重保障,操作人员执行任务前后自行检查工作流程和技术参数,同时由同事或上级进行独立审核,以捕捉潜在问题,降低人为失误风险。遵守规程是确保操作安全性的根本原则,核电站有严格的操作手册和技术指南,规定了各种情况下的最佳实践方法,员工需严格按照既定流程执行任务,并通过培训和演练熟悉规程内容,形成规范操作习惯。管理层应营造尊重规则的文化氛围,使遵守规程成为自觉选择。质疑的态度被视为关键职业素养,尤其是在核电领域,鼓励员工对不确定或不合理的指示提出疑问,主动寻求更多信息并他人讨论评估决策的安全性。这不仅有助于识别风险点并采取预防措施,还激发创新精神,推动技术进步和管理优化。

## 4 具体应用场景与实践

### 4.1 调试准备阶段

#### 4.1.1 工前会的信息共享与任务分配

PXS系统试验各异且涉及范围广泛,如系统流道试验临措烦琐,且试验站位较为分散;瞬态试验执行过程紧凑且容错率低(单机组3~5次),因此在每次重要调试活动开始之前,召开工前会是确保调试工作顺利进行的步骤之一。工前会不仅仅是一个简单的集会,而是通过精心策划和组织的信息共享平台,旨在为所有参与人员提供清晰的任务

指导和技术支持。会议应由试验负责人主持,参会者至少包括直接参与调试工作的工程师、运行人员以及相关的支持团队成员。会上,负责人将详细阐述即将开展的调试活动的具体目标、任务分工、预期成果及潜在挑战,相关负责人会逐一介绍各自的工作范围、时间节点要求及可能遇到的问题,并解答其他成员提出的疑问,会议确保每位参与者对整体工作有一个全面的理解。这种面对面的交流方式不仅促进了信息的透明度,还增强了团队间的信任感,使得每个人都能清楚自己的职责所在。对于瞬态试验,召开预工会是十分必要的工作,可以提前识别风险、挑战及资源需求,以确保后续工作(工前会及试验执行)的顺利开展。

#### 4.1.2 对假设和方案严格审核

在核电厂非能动系统的调试计划制定初期引入独立验证机制具有至关重要的意义。PXS系统试验执行前,均需组织多轮程序推演及挑战会等。独立验证机制的核心在于确保所有关于系统性能、安全性和可靠性等方面的假设和方案都经过了严格的审查,从而最大程度地减少设计缺陷和技术漏洞带来的风险。独立验证并不是一个简单的过程,涉及多个层面的专业评估,从基础理论分析到实际应用场景模拟,再到最终的现场测试验证,每一个环节都需要严谨细致地考量。在理论层面上,独立验证团队会对调试计划中的每一项假设进行深度剖析,检查其是否基于可靠的数据来源和科学原理,避免后续工作中出现不可预见的问题。在应用层面,独立验证团队会根据调试任务构建虚拟模型或实验室环境,模拟真实世界中的各种运行条件,以此来检验假设和方案的实际可行性。比如模拟机演练、桌面演练或现场演练。在此过程中,不仅关注正常操作状态下的表现,还会特别重视极端情况或异常事件发生时系统的响应能力。通过对不同场景下系统行为的详细记录和分析,可以发现并纠正那些可能被忽略的设计瑕疵或操作隐患。更重要的是,独立验证有助于识别出哪些部分需要进一步优化或调整,以确保整个非能动系统能够按照预期稳定运行。

### 4.2 实施阶段

在核电厂非能动系统的调试实施期间,采用一系列防人因失误工具对于确保操作的准确性和安全性至关重要。首先,通过建立清晰明确的指令传递链路,从试验负责人到执行人员再到负责人的三向交流,可以显著减少指令误解的可能性。每次任务开始前,试验负责人会详细阐述任务目标和要求;操作人员复述接受的任务内容以确认理解无误;试验负责人再次确认操作人员的理解是否正确。这种三向的信息核实机制不仅确保了每个指令都被准确传达,还促进了团队成员之间的信任与合作,特别是在复杂多变的工作环境中,有效避免了由于沟通不畅导致的操作失误。

自检和他检为工作提供双保险,自检是指操作人员在执行任务前后自行检查工作流程和技术参数,确保所有步骤均按照规定进行<sup>[2]</sup>。这种方法不仅有助于发现潜在的问题,

还能增强个人责任感,促使员工更加细致地对待每一个细节。而他检则是由其他同事或上级对已完成的工作进行独立审核,提供第二双眼睛来验证工作的准确性。

核电站拥有严格的操作手册和技术规程,详细规定了各种情况下应采取的最佳实践方法。遵循这些规程意味着操作人员必须严格按照既定流程执行任务,即使面对突发情况也不轻易偏离标准做法。这不仅是为了满足法规要求,更重要的是为了确保系统运行的安全性和稳定性。通过定期培训和模拟演练,每位员工都能熟悉并掌握规程内容,形成习惯性的规范操作行为。严格的规程遵守不仅是对员工自身的保护,也是对整个核电站安全运营的重要保障。

质疑的态度被视为重要的职业素养,尤其适用于高风险行业如核电领域。鼓励员工保持批判性思维,对于不确定或看起来不合理的指示提出疑问,而非盲目服从。当遇到看似不合逻辑的要求时,操作人员应该主动寻求更多信息,与上级或同事讨论,共同评估该决策的合理性和安全性。质疑的态度并不意味着对抗权威,而是基于事实和科学依据的理性判断。通过这种方式,可以及时识别出潜在的风险点,并采取相应的预防措施。质疑的态度还有助于激发创新精神,推动技术进步和管理优化,使得整个组织能够在不断变化的环境中保持竞争力。这种开放且严谨的工作态度,为核电站在应对复杂挑战时提供了坚实的智力支持。

#### 4.3 结束后评估

工后会作为一次重要的总结会议,其作用在于全面回顾整个调试过程中的成功经验和失败教训,以便为后续类似项目提供宝贵的参考。会议中,参与者们将共同分析调试过程中出现的各种问题及其解决方案,探讨哪些方法行之有效,哪些环节存在改进空间。通过对成功案例的研究,团队可以提炼出最佳实践模式,应用于未来的项目中;而对于失败的部分,则深入剖析原因,找出根源所在,制定针对性的改进措施。不确定时暂停这一策略在遇到难以立即判断的问题时显得尤为重要。果断采取暂停措施,给予足够时间深入调查问题根源后再行决定,不仅可以避免因匆忙决策而导致的更大损失,也为彻底解决问题赢得了宝贵的时间。在这种情况下,暂停不仅仅是一种简单的停止操作的行为,更是一个重新审视当前状况、收集更多信息、评估所有可行方案的过程。体现了谨慎行事的原则,尤其是在高风险环境下,确保每一次行动都是经过深思熟虑的结果。暂停后的重启需要基于充分的事实依据和科学论证,确保系统恢复到安全可控的状态。

## 5 成效评估与持续改进

为了全面评估防人因失误工具在核电厂非能动系统调试中的实际应用成效,可以从多个维度进行量化分析<sup>[1]</sup>。首先,通过比较引入这些工具前后的工作效率变化,可以直观地看到操作流程的优化效果。例如,在实施三向交流和自检/他检后,任务执行时间显著缩短,错误率大幅下降,这表明信息传递更加准确,质量控制更为严格。其次,事故发生率是一个关键指标,用以衡量安全性的提升程度。数据显示,随着遵守规程和质疑态度等工具的应用,核电站内意外事件的发生频率明显减少,特别是在高风险操作期间,这不仅保障了员工的安全,也减少了不必要的经济损失。此外,通过对工前会、工后会及不确定时暂停策略的严格执行,团队协作能力得到加强,问题解决速度加快,整体运营效率进一步提高。

为了确保防人因失误工具始终处于最佳状态,必须建立一套完善的反馈机制。定期收集来自一线员工的意见和建议,及时调整和完善现有措施。例如,针对某些复杂任务,如非能动堆芯冷却系统瞬态试验,可以通过增加培训频次或改进沟通方式来提高理解度;对于频繁出现的问题点,则深入调查原因并编制经验反馈,且制定针对性解决方案。同时,利用现代信息技术手段如模拟机演练辅助决策,可以帮助识别潜在风险因素,提前采取预防措施。通过不断优化和创新,使防人因失误工具能够更好地适应核电站快速发展的需求,为实现更高水平的安全性和可靠性提供坚实保障。

## 6 结论

综上所述,防人因失误工具在保障核电厂非能动系统调试质量上的作用不可或缺。未来,随着技术的进步和管理理念的更新,防人因失误工具也将迎来新的发展机遇,智能化和自动化技术的应用将进一步简化操作流程,减少人为干预带来的不确定性,不断优化防人因失误工具,以应对日益复杂的挑战,确保核电站在任何情况下都能保持最高标准的安全运行。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 金望明,姜鑫,张维.防人因失误工具在核电技术服务单位中的应用探索[J].核安全,2023,22(06):45-49.
- [3] 阳武.防人因失误工具在核电运行中的运用初探[J].科技资讯,2021,19(26):75-76+79.