

# 中系技术规格书增加执行机构安全位置例外的问题研究

张少定

大亚湾核电运营管理有限责任公司

DOI:10.32629/pe.v3i6.18001

**[摘要]** 核电厂安全系统中,阀门、挡板等安全相关组件(Safety-Related Component,SSC)的可操作性是机组安全运行的核心保障。本文聚焦安全相关阀门与挡板处于安全位置时的监督例外问题,深入分析技术规格书(Technical Specifications,TS)中监督要求(Surveillance Requirement,SR)例外条款的合理性与潜在风险。通过对比2016年与2019年美国核管理委员会(NRC)技术答复,结合TSTF-541修订版内容,系统探讨例外条款在避免不必要机组停机、平衡安全与经济性方面的作用,同时明确许可证持有者在组件退化管理、安全功能验证等环节的责任边界,为中系核电厂技术规格书的优化提供参考。

**[关键词]** 核电厂; 技术规格书; 执行机构; 安全位置; 监督例外

中图分类号: TM623 文献标识码: A

The Chinese technical specification book adds the problem study of the exception of the safe position of the executive agency

Shaoding Zhang

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD.

**[Abstract]** The operability of safety-related components (SSC) such as valves and dampers in nuclear power plant safety systems serves as the cornerstone for ensuring safe unit operation. This study examines the exception clauses in Technical Specifications (TS) for surveillance requirements (SR) when safety-related valves and dampers are in safe positions, analyzing their rationality and potential risks. By comparing the 2016 and 2019 responses from the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) and incorporating revisions to TSTF-541, the research systematically explores how these exception clauses help prevent unnecessary unit shutdowns and balance safety with economic considerations. It also clarifies the responsibilities of license holders in component degradation management and safety function verification, providing valuable references for optimizing technical specifications in China's nuclear power plants.

**[Key words]** nuclear power plant; technical specifications; implementing agency; safe location; supervisory exception

## 引言

核电厂技术规格书是基于最终安全分析报告(Final Safety Analysis Report, FSAR)制定的强制性运行准则,是保障核电厂安全稳定运行的核心技术文件。其中,运行限制条件(Limiting Condition for Operation, LCO)明确了机组运行的边界条件,监督要求则规定了验证LCO持续满足的具体措施,二者共同构成机组安全运行的“红线”。在核电厂长期运行过程中,安全相关组件(如阀门、挡板的执行机构)不可避免地会出现设备老化故障现象,常见的故障类型包括电机烧毁、齿轮箱卡涩、执行器连杆变形等,这些故障可能导致组件无法按控制信号完成开启、关闭等动作。但在部分场景下,工作人员可通过机械锁定、铅封等临时或长期措施,将组件固定在能够执行安全功能的位置,此时

系统的安全性能并未受到影响。

然而,根据技术规格书的要求,若组件无法正常动作,将被判定为SR不满足,进而触发LCO 3.0.3的机组后撤停机程序。这一规定在实际应用中暴露出明显的局限性:一方面,停机操作会造成巨大的经济损失,以单台百万千瓦级核电机组为例,日均发电量约2400万千瓦时,按上网电价0.4元/千瓦时计算,日均直接经济损失可达960万元,若停机时间延长至37小时(进入换料停堆模式),直接经济损失将超1500万元;另一方面,停堆与启堆过程中,反应堆冷却剂系统的温度、压力会发生快速变化,可能加剧设备疲劳损伤,增加运行瞬态风险。因此,研究“执行机构固定于安全位置时是否允许监督例外”,不仅是解决核电厂实际运行痛点的迫切需求,也是技术规格书在“安全优先、兼顾经济”

原则下实现精细化优化的重要方向。本文结合国内核电厂的问题痛点、国外技术研究及规范修订成果,从条款合理性、应用要求、风险控制等多个维度展开深入分析,旨在为中系核电厂技术规格书的完善提供科学依据。

### 1 技术规格书要求与使用过程中发现的问题

技术规格书的LC0与SR总则是判定组件状态及监督有效性的基础。

SR 3.0.1明确规定:“对于每个LC0,在适用的机组模式或状态下,除非SR中另有规定,否则必须满足相应SR”。这一条款确立了“SR满足是LC0满足的前提”这一核心原则,无论在监督执行过程中,还是在两次监督的间隔期内,只要SR未满足,即视为LC0未满足。

LC0 3.0.3对LC0未满足时的处理程序做出了严格规定:当LC0不满足且无对应补救措施,或补救措施要求机组退出当前模式时,必须在1小时内启动后撤程序,7小时内进入模式3(热停堆)、13小时内进入模式4(冷停堆)、37小时内进入模式5(换料停堆)<sup>[1]</sup>。

在核电厂日常运维中,安全相关组件(如阀门、挡板)因执行机构故障(如电机故障、齿轮卡涩),无法在控制信号下完成开启/关闭动作,但通过机械锁定、铅封等方式固定在安全位置,固定位置完全符合设计基准。

机组运行和机组技术规格书要求的关键矛盾点在于:若执行机构固定于安全位置但无法动作,按SR 3.0.1将判定为SR不满足,进而触发LC0 3.0.3的停机要求;但此时系统实际可正常执行安全功能,停机后撤操作不仅没有必要,还可能带来新的操作风险,如停堆过程中硼浓度控制不当可能导致反应性异常,启堆时蒸汽发生器水位波动可能引发设备损坏等。而且,出现了“安全与实际需求脱节”、“过度安全”的问题,除了前文提到的经济损失外,还会影响电网供电稳定性,尤其是在用电高峰期,核电机组的突然停机可能导致区域电网负荷失衡;同时,频繁的停堆启堆会增加设备的维护成本,缩短设备的使用寿命。

### 2 监督例外的合理性分析

针对这些问题,可以通过技术规格书监督例外的方式统一解决。监督例外条款的核心逻辑是“安全功能优先于组件动作能力”,其合理性可从运行安全性、经济性与规则一致性三个维度进行充分验证。

运行安全性分析:安全相关组件的监督要求本质上源于FSAR的安全分析假设<sup>[2]</sup>,技术规格书的制定必须以安全分析为基础,确保条款与安全分析的逻辑一致性。若安全分析未假设组件在动作后需移动,即组件的核心安全功能是“保持特定安全位置”,而非“具备动作能力”,则“固定组件于安全位置”完全符合设计基准,此时豁免动作监督并未违背安全分析逻辑,反而体现了对规范的精准化应用。

经济性分析:核电厂的停机成本极高,监督例外条款的核心优势之一就是能够避免不必要的机组停机,显著提升核电厂的经济性。

规则一致性分析:监督例外并非全新的概念,其已在中系技术规格书的其他系统中得到应用,这验证了条款优化的可行性与兼容性。例如,RRI系统(设备冷却水系统)的SR 3.7.7.1~3.7.7.3针对自动阀的监督要求中,明确排除“已锁定或固定的阀门”,仅需在锁定前核实阀门处于正确位置,无需执行动作验证;EAS系统(安全壳喷淋系统)的SR 3.6.6.3对喷淋阀的监督要求中,同样豁免“固定于安全位置的阀门”的动作测试,仅需定期检查固定状态是否完好。这些现有条款为新增“执行机构安全位置例外”专项条款提供了参考,确保了新条款与现有规范体系的兼容性,避免了规范内部的逻辑冲突。

同时,监督例外条款的应用也符合核安全监管的核心要求。核安全监管的本质是保障系统的安全功能,而非机械地执行条款,监督例外条款通过“安全功能验证”替代“动作能力验证”,更贴合核安全监管的本质需求,体现了监管的灵活性与科学性。

### 3 监督例外的应用建议

为避免监督例外泛化导致的安全风险,必须建立严格的应用边界,确保“安全功能不受影响”的核心前提不被突破,具体建议如下:

第一,不可操作判定的严肃性和持续性:即使组件被纳入监督例外,若出现以下情况,系统仍应视为“不可操作”,需立即启动LC03.0.3的后撤程序:一是固定位置与安全分析假设冲突,如安全壳隔离阀被错误固定于开启位置,与事故后“需关闭隔离”的安全分析要求不符;二是固定状态失效,如锁定装置松动、铅封破损,导致组件偏离安全位置;三是固定状态影响系统其他功能的正常发挥。

第二,设备恢复后及时验证:组件从固定状态恢复(如执行机构修复后解锁)后,必须在SR规定的频度内完成动作验证;若超出频度未测试,重新投入服务前必须补做监督,确保组件动作能力符合要求。这一要求的目的是避免组件恢复后因动作能力不足导致安全风险。

第三,规则的逻辑完整:SR 3.0.1规定“SR未满足则LC0未满足”,为消除例外场景下的条款冲突,需在技术规格书中通过注释或补充条款明确:“当组件固定于安全位置且符合本规范第X条约束时,虽未满足‘动作能力’类SR要求,但系统安全功能正常,不视为LC0不满足”。这一修订需经国家核安全局审批,确保与技术规格书总则无逻辑矛盾。

### 4 外部监督例外的研究信息

美国核管理委员会(NRC)在2016年与2019年的技术答复中,多次明确支持“组件固定于安全位置时的监督例外”。2016年,NRC针对某核电厂的咨询答复中指出:“若安全相关组件固定于安全位置,且安全分析未要求其动作,则无需执行动作类监督要求”;2019年,NRC在另一技术答复中进一步明确:“监督例外的核心是确保系统安全功能正常,而非机械要求组件具备动作能力”。基于这些技术答复,NRC通过TSTF-541修订版对标准技术规格书进行了完善,例如,对NUREG-1431(压水堆核电厂标准技术规格书)中SR3.9.4.2(容器吹扫阀)补充注释:“若阀门锁定于

关闭位置且安全分析未要求其开启,则无需执行动作测试”<sup>[3]</sup>;对SR 3.6.11.4(ICS过滤器旁通风门)明确:“固定于开启位置的阀门豁免动作监督,仅需检查固定状态”。

中系核电厂技术规格书的优化可充分借鉴美国的经验,结合国内核电厂的运行特点,重点关注以下方面:一是明确监督例外的适用条件,参考TSTF-541修订版,将“安全分析未假设动作后移动”“固定位置符合设计基准”“安全功能正常”作为核心适用条件;二是细化例外条款的表述,避免模糊性,例如,明确“动作类SR要求”的具体范围,列出豁免的监督项目;三是建立电厂内部-核安全监管机构联动的评审与审批流程;四是加强与核安全监管机构的沟通,在修订过程中及时征求国家核安全局的意见,确保条款的合规性。此外,还可组织国内核电厂开展监督例外的试点应用,积累实践数据,为条款的进一步优化提供支撑<sup>[4]</sup>。

### 5 执行监督例外的风险及防范措施

虽然监督例外具有显著的合理性与实践价值,但不执行动作类SR也可能带来潜在风险,主要包括以下三类:

第一,固定状态失效风险。若锁定装置松动、铅封破损或机械部件故障,组件可能偏离安全位置,导致系统无法执行安全功能。第二,组件故障加剧风险。长期固定且未开展针对性维护的组件可能因闲置导致润滑失效、部件锈蚀、密封件老化等问题,修复后动作可靠性下降。第三,判定失误风险。运行人员可能因对安全分析理解不透彻,误将“安全分析要求动作”的组件纳入监督例外,导致安全功能缺失。

针对上述风险,需建立全流程、多层次的控制机制,确保监督例外的安全应用:

一是固定状态验证机制:对固定组件制定专项检查计划,明确检查频度、内容与标准,同时,将检查结果记录在设备履历中,建立完整的追溯体系。

二是固定组件监测管理机制:将固定组件纳入设备状态监测体系,通过在线监测系统(如振动传感器、温度传感器、润滑状态监测器)实时采集组件的运行数据,提前预警部件老化趋势。

三是严格监督例外判定机制:组件纳入监督例外前,必须经“运行-维修-技术支持”多方联合评审:运行部门评估组件固定状态对系统运行的影响,维修部门评估组件老化故障程度与修复可行性,技术支持部门评估组件固定状态是否符合安全分析要求。评审通过后,需报电厂技术负责人审批,并将审批记录留存归档,确保判定过程的严谨性。

四是人员培训管理:针对监督例外条款开展专项培训,内容包括条款适用范围、判定标准、风险控制措施等,确保运行、维修、技术支持等相关人员熟练掌握条款内容。

### 6 结论

本文通过对中系核电厂技术规格书增加执行机构安全位置例外条款的研究,得出以下结论:中系核电厂技术规格书增加“执行机构安全位置例外”条款具有充分的合理性,符合核电厂精细化运行的发展趋势。

基于以上结论,为推动中系核电厂技术规格书的优化完善,提出以下建议:

第一,严格界定监督例外的适用范围。在技术规格书中补充“安全位置例外”专项条款,明确仅适用于“安全分析未要求动作后移动”且“固定位置不影响系统功能”的组件,并在附录中列出具体的设备清单(如RRI自动阀、EAS喷淋阀等),避免条款应用的泛化。

第二,强化固定组件的监测管理。针对固定组件制定“专项检查-状态监测-修复计划”的全生命周期管理流程:专项检查确保固定状态完好,状态监测提前预警故障趋势,修复计划明确修复时机与措施,确保组件始终处于安全可控状态。

第三,完善例外条款与现有规范的衔接。通过注释或补充条款明确例外条款与SR 3.0.1、LCO 3.0.3的关系,消除执行过程中的歧义。

第四,推动监督方式的数字化优化。结合核电厂数字化转型的趋势,利用在线监测系统(如阀门位置传感器、锁定状态监测器、振动监测仪等)实时验证固定组件的状态,提升监督的精准性与效率。

未来,可进一步结合国内核电厂的长期运行数据,细化监督例外条款的应用场景与风险控制措施,开展例外条款的量化风险评估,为中系核电厂技术规格书的持续优化提供更坚实的支撑,推动我国核电厂安全、经济、高效运行。

### 【参考文献】

[1]国家核安全局.核电厂技术规格书编写指南(HAF103/01)[S].北京:中国法制出版社,2018.

[2]U.S.Nuclear Regulatory Commission.Technical Evaluation Report for TSTF-541,"Exceptions for Components Locked in Safe Positions"[R].Washington D.C.:NRC,2019.

[3]苏州热工研究院.SSC置安全位置后是否可以退出LC0状态[R].2023.

[4]U.S.Nuclear Regulatory Commission. NUREG-1431,Standard Technical Specifications for Pressurized Water Reactors [S].Washington D.C.:NRC,2019.

### 作者简介:

张少定(1982--),男,汉族,河南省邓州市人,工程师,大学本科,核安全。