

Construction and Application of Risk Prevention and Control System for Nuclear Power Supply Chain

Yun Han¹ Junde Ma¹ Lihong Song²

1. China Dongfang Electric Group Dongfang Turbine Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618000, China

2. Nuclear Energy Division of China Dongfang Electric Corporation, Chengdu, Sichuan, 618000, China

Abstract

The stability of the nuclear power engineering supply chain is directly related to the construction progress, operational safety, and economic value of power plants. The high reliability requirements of the nuclear power engineering supply chain make risk prevention and control crucial for ensuring energy security and project success. This study systematically constructs a risk prevention and control system for nuclear power engineering supply chains. It begins by identifying and scientifically classifying risk sources, followed by establishing a risk assessment indicator system and quantitative models. The research focuses on proposing a comprehensive prevention and control plan that includes preventive strategies and response mechanisms, covering specific measures such as diversified layout, enhancing self-reliance and controllability, resilient supply chain design, emergency plans, and collaborative management. The establishment and application of this system aim to improve the resilience of nuclear power supply chains and provide a systematic risk management framework for industry practices.

Keywords

nuclear power engineering supply chain; risk identification; risk assessment; prevention and control strategies; resilient design

核电供应链风险防控体系构建与应用

韩云¹ 马珺德¹ 宋利红²

1. 中国东方电气集团东方汽轮机有限公司, 中国·四川 德阳 618000

2. 中国东方电气集团核能事业部, 中国·四川 成都 611731

摘要

核电工程供应链的稳固性直接关乎电站的建设推进、运维安全性与经济价值。核电工程供应链的高可靠性要求使其风险防控成为保障能源安全与工程顺利的关键。本研究系统构建核电工程供应链风险防控体系, 首先对风险来源进行识别与科学分类, 继而建立风险评估指标体系与量化模型。研究重点提出包含预防策略与应对机制的综合防控方案, 涵盖多元化布局、自主可控能力提升、供应链弹性设计以及应急预案与协同管理等具体措施。该体系的构建与应用旨在提升核电供应链的韧性, 为行业实践提供系统性风险管理框架。

关键词

核电工程供应链; 风险识别; 风险评估; 防控策略; 弹性设计

1 引言

全球一体化大背景下, 核电工程供应链涉及的链条延伸跨度大、环节构成上较多, 应对政治、经济、技术、自然等多维度不确定性隐患, 某个环节的失效或许能引发连锁联动, 引发项目拖延、成本超支甚至安全隐忧^[1]。打造一套体系化、预见性的风险防范体系, 对强化我国核电产业的安全防护实力及可持续发展层次具备紧迫的现实价值。本研究以系统梳理核电供应链风险为核心, 搭建测评模型, 且拟定具备切实可操作性的防控办法及运作体系。

【作者简介】韩云(1976-), 男, 中国四川绵竹人, 本科, 工程师, 从事供应链和供应链质量管理研究。

2 核电工程供应链风险识别与分类体系

2.1 核电工程供应链风险来源分析

核电工程供应链风险由内部及外部环境的大量不确定因素引发。外部风险囊括地缘政治及政策变动风险, 某些国家实施的出口限制或贸易障碍或许会引发核心器材或物料的供应停滞。宏观经济及市场震荡隐患, 像原料成本大幅起伏或货币汇率急剧异动, 会直接牵动项目成本, 自然灾害与突发事变风险, 譬如地震、海啸或全球范围公共卫生突发事件, 或许会损毁生产设施, 抑或阻断国际物流通道。社会舆论风险显现为公众对核电项目的接受程度变动或许引发政策调整或项目搁置, 内部风险同供应链自身运营深度关联, 技术风险的体现维度涵盖设备设计漏洞、制造流程欠稳定或新技术应用的未知性。质量风险指供应商质量管理体系

出现问题引发产品违背核级要求，履约风险包含供应商产能缺口、交付滞后或合同违约情形。物流与库存风险涉及运输环节里的损坏、耽搁以及库存策略不当造成的短缺或积压，供应链各环节间信息传递失真、滞后或不透明引发了信息风险，造成决策出现差错。

2.2 风险分类与特征总结

按照来源及影响属性展开，核电工程供应链风险可进行系统层面归类。其中一类风险是战略及政治范畴的风险，这类风险呈现出宏观特征、突发属性及难以预估的特质，其带来的效应所及领域相当广阔，往往超越单个企业的掌控范围^[2]。还有一类为运营及财务范畴的风险，该类风险渗透到日常采购、生产、物流等领域，其出现的频次相对较频繁，不过一般能借助管理措施实现一定限度的管控与缓解。技术质量风险构成核电领域中，核心风险范畴，其拥有隐蔽特点与后果严重性的属性，小质量瑕疵或许会在长期运行中引发重大安全风险。自然灾害及不可抗力风险呈现出低频高损的特质，该现象发生的概率偏低，可一旦出现则破坏力相当强，各类风险并非孤立存在，却是彼此联动、耦合演化的。



图1 风险预防示意图

3 核电供应链风险评估与量化模型

3.1 风险评估指标体系构建

构建科学的风险评估指标体系是实施有效风险量化及管理的前提。本体系需全面纳入各类风险隐患，且体现核电供应链的特定需求，指标体系一般采用层次化的体系架构，目标层把核心聚焦点锁定在供应链整体风险维度，准则层贴合主要风险类别，举例来说设置政治法律风险、经济技术风险、运营管理风险、自然社会风险这类一级指标。指标层则由一系列可观测、可衡量的具体参数组成，政治法律风险范畴内的二级指标可囊括供应商所在国政策稳定性、双边贸易关系评估等级、出口管制强度等，经济技术风险范畴内的指标可囊括原材料价格波动系数、汇率波动幅度、供应商财务健康度、技术专利依存程度等。运营管理风险指标覆盖供应商质保体系认证等级、历史交货准时率、产品一次合格率、库存周转率等，自然社会风险指标包含地区自然灾害出现概率、公众支持度指数等。进行指标选取需恪守重要性、独立性及数据可获得性的原则要点，还借助专家咨询类手段

明确各层指标的相对权重，用来凸显不同风险维度对整体风险层级的贡献差异。

3.2 风险量化模型与方法

以指标体系支撑起点，有必要借助合适的手段对风险开展综合量化评价。定性评估方式诸如风险矩阵，借助专家评分将风险事件的概率与影响程度实施等级划分，且于矩阵中实施定位操作，借此清晰界定风险的优先级次^[3]。此方法实施起来简便，但依靠专业人士实践经验的主观判定，采用定量与半定量方法可实现更精准的测量数据，层次分析法借助搭建判断矩阵，把专家的定性比较转化成定量权重核算，适用于指标权重的界定事项。模糊综合评价法可对风险评估中的模糊性与不确定性加以处理，采用隶属度函数完成定性指标的量化处理，适合处理难以精准阐释的风险要素。故障树分析法以顶事件起始展开，分步拆解引发供应链中断的各项可能缘由及其逻辑脉络，适用于评估特定风险事件出现的概率大小，蒙特卡洛模拟借助随机采样，仿真各类风险变量组合场景下的供应链绩效输出结果，审视风险的多维影响分布。

4 核电工程供应链风险防控策略与机制

4.1 风险预防策略

4.1.1 供应链布局多元拓展

分散供应源风险的核心策略之一是多元化供应链布局范畴，该策略要求需以符合技术标准为基础，为核心设备及材料拓展多个合规达标供应商。这些供应商必须源自各异的国家或地区，防止单一地区地缘政治波动、自然灾变或政策调整造成供应完全停滞。多供应商策略并非只指向单一的数量增长，重点突出供应商架构的恰当性，包含扶持多梯队的核心供应商及替代供应商。多区域采购着重地理空间布局的离散性，缓解区域性风险事件的冲击力度，实行多元化布局承担额外开销，包含供应商开发及认证成本、为适配不同供应商产品或产生的技术接口开销，以及处理多个供应商带来的协调复杂度上升。针对多元化程度的决策，必须依赖风险评估得出的结果，针对风险分散成本及潜在中断损失进行权衡分析，应首先针对供应制约明显、风险级别高的物资落实这项策略。

4.1.2 关键设备与技术自主可控能力提升

摆脱对外部单一技术支撑源依赖的根本途径在于提升自主可控能力。该策略瞄准核电供应链里最核心、最易形成“卡脖子”环节的装备与技术，自主可控能力的提升涉及设计研发自主化、制造工艺国产化以及软件系统的自主知识产权掌握。核电业主及总包单位同总包单位应协同国内高端装备制造企业，依托技术引进消化吸收再创新、国际协作开发或自主突破等多元途径，循序渐进实现反应堆压力容器、主泵、数字化仪控系统等重要设备的国产化替代。国家层面需布局基础材料、核心零部件等产业薄弱环节的技术攻关，提

升自主可控能力构成一项漫长且体系化的工程，离不开持续的研发投入及推进产学研用协同联动。该能力为供应链安全筑牢了防线，也强化了在世界核电市场的谈判实力与竞争水准，成为核电供应链安全战略的核心支柱。

4.1.3 供应链弹性韧性布局

供应链韧性规划的初衷是强化供应链抵御中断并快速恢复的能力，构建战略性冗余库存可作为应对供应链中断最直接的手段，尤其适用于采购流程耗时久、替代门槛大的关键物料^[4]。确定安全库存水平需全面权衡该物资的供应风险等级、采购前置时间、需求波动幅度及仓储成本，供应商的柔性生产能力体现在可灵活调整生产方案、转换产品规格或迅速提升产量。核电设备制造商能借助模块化生产线设计、通用化工艺装备投入及多技能工人培训强化生产柔性，供应链弹性设计还包含冗余物流路线规划及多式联运方案，保障若某条运输通道遭遇阻断时可迅速切换。弹性设计的核心在于需要预先投入资源以获得应对不确定性的能力，其成本效益分析要着眼于防范可能发生的重大停产损失与项目延期损失。

4.2 风险应对机制

4.2.1 紧急事件应对预案及迅速响应体系

聚焦已识别的重大风险，需制定周全的应急处置预案并搭建快速联动机制。应急预案需清晰界定各类风险情境中的触发条件、指挥组织体系、处置程序及具体办法，应对某类核心设备主供应商意外停产的风险，应急预案需全面规定备选供应商的启动标准与流程规范，包含技术对接、产能评估、订单转移、质量验证等环节的详细步骤及时限规范。快速响应机制支撑高效的监控及预警系统，可实时跟进供应链的实时状态，当风险刚冒头阶段即刻拉响预警。应急指挥中心须定期开展演练，核查预案实操性并改进流程，保障风险事件一旦实际出现，相关各方可以按照预先安排迅速行动，最大程度压缩中断时长，遏制损失波及范畴。

4.2.2 风险转嫁与分摊举措

借助商业及合同途径达成部分风险转嫁给第三方，属于风险管理的核心组成要素，采购供应链中断保险可以把因天灾、政治类风险等引发的财务亏损转移给保险公司。在采购相关合同的范畴内，依托细致规划的条款可清晰阐明风险分担的原则，价格调整条款可分担大宗原材料市场价格起伏的风险；延迟损害赔偿付条款可激励供应商按期完成交货，并

补偿买方因滞后蒙受的部分损失；知识产权担保及赔偿责任条款可降低技术侵权的潜在风险。合同条款还需明确设定质量标准、验收步骤及违约后果责任，向供应商履行合同义务提供明确的指引及限制。风险转移手段无法彻底消解风险原有形态，然而可以改变风险承担的主体，让供应链核心企业得以更侧重投入到其最精通掌控的核心风险节点的管理中。

4.2.3 供应链协同治理

构建协同化供应链伙伴联结可大幅强化全局风险应对能力。协同的根基是信息共享的核心支撑，依托打造整合型的信息枢纽，核电业主、总包方、主要设备供应商及物流服务商可互通需求预测、生产安排、库存情况、产能负荷及风险预警资讯，这种透明度支持上下游企业及早察觉潜在瓶颈，协调行动。联合决策的具体体现的是协同制定产能规划、库存策略以及应急应对方案。应对市场需求的起伏，业主与主供应商可协同商定依托长期协议的灵活供应方案。风险事件出现的当口时刻，协同机制能推动多方及时沟通，联合分析潜在影响，并共同探讨规划最佳的补救举措，杜绝因信息失衡或各行其是引发损失扩大，信任与长效合作联系充当供应链协同管理的推动剂。

5 总结

核电工程供应链风险防控是贯穿项目全生命周期的系统工程，有效的风险防控起始于对风险成因的全面识别与科学归类，也依托一套结构化的评估指标及量化模型开展精准测算。防控体系的核心要义是构建“预防—应对”一体化的策略及机制，依托多元配置、自主把控、弹性架构等手段增强供应链抗风险能力，且借助预案、联动、转移等机制保障风险事件爆发时可有效处置。该体系的成功应用需要组织保障、资源投入与文化支撑，其核心目的是实现核电工程供应链的安全、稳定及高效运作，为国家能源安全同核电事业稳步推进筑牢坚实基石。

参考文献

- [1] 张忠,杨帅. 基于大数据驱动的核电供应链风险自动化预警研究[J]. 电子设计工程, 2025, 33(22): 40-44+48.
- [2] 冉华忠. 核电重要物项供应链风险评估及应对策略[J]. 中国物流与采购, 2025, (06): 69-70.
- [3] 伍浩松,李晨曦,王树,等. 美核能发展前景及供应链风险分析[J]. 国外核新闻, 2022, (03): 22-25.
- [4] 金朝. Q核电站运行供应链风险管理研究[D]. 四川大学, 2022.