

新形势下核电常规岛建造安全管理模式创新与应用研究

包旭东

中广核惠州核电有限公司 广东 惠州 516353

【摘要】：当前核电建设进入高质量发展阶段，常规岛建造的安全管理面临更高标准与多重挑战。传统管理模式难以全面适应新形势下的复杂需求，亟需在技术、流程与制度等方面进行系统性创新。本文立足实际工程经验，构建了具有前瞻性与适应性的常规岛建造安全管理新模式，融合智能化手段与精细化管理理念，并在多个项目中得到了有效应用。研究表明，新模式能显著提升安全管理水平与施工效率，为后续核电工程建设提供借鉴价值。

【关键词】：核电建设；常规岛；安全管理；管理创新；智能建造

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.037

引言

核电作为国家能源战略的重要组成部分，其建造质量与安全水平直接关系到人民生命财产安全和国家能源安全。近年来，随着核电工程建设节奏加快，常规岛建造的工序日益复杂，安全风险点不断增多。传统的管理体系已难以满足工程精细化与智能化的发展需求。本文以安全管理模式创新为核心，结合实际项目案例，探讨适用于新时代背景下的常规岛安全管理优化路径，旨在为核电工程建造提供更具科学性与可操作性的管理方案，助力行业转型升级与高质量发展。

1 核电常规岛建造安全管理现状与面临挑战

在核电工程建设全面迈向高质量发展的背景下，常规岛作为核电站的重要组成部分，其建造安全管理成为工程全过程管控的关键环节。常规岛涉及的土建、安装、电气、仪控等多专业、多工序交叉施工，施工环境复杂，作业面分散，安全管理工作面临巨大压力。当前核电项目普遍存在工期压缩、施工任务密集、作业交叉频繁等特征，导致传统安全管理手段在风险识别与动态防控方面的滞后性日益突出。一些核电项目仍依赖经验驱动和人工巡查为主的管理方式，缺乏统一的数据平台和预警机制，无法实现安全隐患的前瞻性识别与过程闭环管控。这种粗放式管理在高标准、严要求的核电建造场景下逐渐暴露出适应性不足，尤其在应对复杂作业、高风险区域时存在响应不及时、决策不科学等问题，严重制约了整体安全水平的提升。

随着技术的发展和行业标准的不断提升，核电常规岛的建造安全管理被赋予了更多的技术要求和监管指标。对大型设备吊装、深基坑支护、特种作业防护等高风险环节的实时监控需求不断增强，传统的纸质台账、口头交底和现场管理模式已难以支撑精细化管理的实施。在施工现场，存在管理流程碎片化、专业协同不畅、责任边界模糊等现象，容易形成安全管理盲区，导致隐患漏报、整改延迟等问题频发^[1]。部分项目未能建立起完善的安全信息化系统，数据无法实时共享，致使安全管理停留在被动应对阶段，缺乏事前防控和快速响应的能力。在施工高峰阶段，人员结构复杂、外协队伍多、语言沟通障碍突出，

给统一的安全文化建设与制度执行力带来严峻考验，管理者面临多重协调压力，提升管理效能迫在眉睫。

当前形势下，核电常规岛建造项目需要在管理理念和技术手段上实现根本性变革。行业迫切要求构建一套系统化、数字化、智能化的安全管理体系，摆脱传统人力密集型模式对安全管理质量的限制。引入 BIM 技术实现施工过程三维可视化，提高安全风险识别的直观性和准确性；运用物联网和视频监控实现高风险作业区域的实时监测；大数据分析支持安全决策与趋势研判，形成闭环管理流程。要强化制度执行力与人员培训，确保各级安全责任层层落实，并构建覆盖项目全生命周期的标准化管控体系。

2 安全管理模式创新的核心理念与技术支撑

核电常规岛建造面临着施工环境复杂、交叉作业频繁、安全风险高度集成的特点，因此，创新安全管理模式已成为行业发展的迫切需求。传统的静态式、以事后应对为主的管理方式，难以适应当前高密度施工和高技术要求并存的建设形势。在新的管理模式探索中，理念的转变是核心动力，即从“结果控制”向“过程预防”转化，从“经验管理”向“系统管理”转化，从“人工依赖”向“数字赋能”转化。这些理念的更新，体现在管理流程设计层面，也深度渗透到组织架构优化、职责边界明晰和管理制度重构之中，构建起“以人为本、技术支撑、系统协同”的安全管理价值体系。

在技术支撑方面，BIM（建筑信息模型）技术的应用被广泛视为提升常规岛建造安全管理效能的重要手段。BIM 的三维建模与施工过程模拟，可在建造前识别碰撞风险与安全隐患，提前规划工序衔接，减少现场施工中潜在冲突^[2]。借助物联网技术，能够对施工现场关键设备、人员定位、高风险区域进行实时监测，实现数据采集、分析与动态预警功能，极大提升了风险感知的时效性与精准性。无人机巡检、智能视频识别、安全行为分析系统等技术的集成，也让安全管理从静态抽查迈入动态闭环控制的新阶段。信息化平台整合各类数据资源，实现了“数据驱动决策、系统协同控制”的现代化管理格局，有效

降低了人为误差带来的安全漏洞。

新管理模式的落地需要先进技术的导入,更依赖于管理机制与人员能力的系统提升。为保证技术手段的有效运行,需构建以项目总控系统为核心的管理平台,形成纵向到底、横向到边的责任体系,确保每一层级、每一岗位都明确安全职责与应急响应流程。强化全员安全意识与技术素养,分层分类培训、案例分析、行为安全观察等手段提高从业人员的风险防控能力。制度方面,应推动安全管理标准化建设,设立科学、量化的绩效评估体系,将管理质量与项目进展紧密挂钩,增强执行力与约束力。理念、技术与机制的深度融合,核电常规岛安全管理模式的创新为工程建设带来更高的可靠性和可控性,推动整个核电建造行业迈向本质安全管理的新阶段。

3 新型安全管理模式的构建路径与实施机制

构建适应新时代要求的核电常规岛建造安全管理新模式,必须立足于系统化思维,融合先进技术与管理理念,以实现从组织架构到现场执行全流程的统筹设计与闭环控制。新型管理模式强调风险导向和预防为主的原则,构建“计划—执行—检查—改进”(PDCA)循环体系,在建造前期即介入风险识别与分级评估,建立风险清单、危险源库和作业分级控制清单,实现项目启动阶段的安全策划精细化。形成覆盖施工全过程的安全控制路线图,将关键节点、重大作业、高风险工序纳入重点监控范围,为后续技术手段和制度配套的实施奠定坚实基础。

在实施机制层面,必须建立纵向贯通与横向协同并重的管理结构,以项目部、监理单位、施工总承包及各专业分包单位为核心,构建统一的安全管理组织体系。设立安全总控室与子系统,实现从管理层到执行层的信息一体化、指令扁平化和执行标准化。在各工区推行网格化管理模式,细化责任到人、区域到点,确保信息传递无死角、执行响应高效率^[3]。强化“技术+管理”双轮驱动机制,推行标准化作业指导书、风险控制卡和应急处置流程图,确保一线人员具备可执行、可操作的安全行为依据。重点从以下三方面强化实施:一是受限空间管理精细化落地,针对常规岛汽轮机房地下室、管道井、密闭容器等典型受限空间,建立“事前报备—风险评估—专项交底—全程监控—闭环验收”全流程管理机制,配备便携式有毒有害气体检测仪、应急通风设备及智能人员定位终端,实行“一人一卡”准入管理,作业过程中通过视频监控系统实时跟踪作业状态,同步留存作业影像资料,确保作业人员安全与作业流程规范;二是群塔作业协同化管控,常规岛建造阶段塔吊使用密度大、作业覆盖范围交叉重叠,为此构建群塔作业智能管理平台,整合各塔吊实时位置、起重量、起升高度、回转角度等运行数据,通过 BIM 技术模拟塔吊运行轨迹,提前规避碰撞风险,同时制定群塔作业优先级管理制度,明确不同工况下的作业权限与协同流程,配备专职群塔协调管理员,负责日常作业调度

与应急处置,确保多塔吊并行作业的有序性与安全性;三是标准化五化管理体系化推进,严格落实“标准化、规范化、精细化、信息化、集约化”五化管理要求,在安全管理中细化各专业、各工序的标准流程与操作规范,编制《常规岛建造安全标准化手册》,明确安全设施设置标准、作业行为规范、隐患排查标准等核心内容;依托信息化平台实现安全管理流程线上化,将隐患排查、整改、复查等环节纳入系统闭环管理,生成可视化管理报表;通过集约化管理整合安全管理资源,统一调配安全监管人员、检测设备及应急物资,提升管理资源利用率,推动安全管理从“碎片化”向“体系化”转变。

4 创新管理模式在核电项目中的应用与实践成效

在实际核电工程建设过程中,创新安全管理模式的落地实践有效推动了安全管理从被动响应向主动预控转型。以某三代核电项目常规岛建造为例,项目团队在工程启动阶段就引入了多维度风险评估机制,建立了覆盖土建、安装、电气和调试各阶段的风险矩阵与安全策划体系。施工现场嵌入 BIM 技术与施工计划联动,将三维模型与施工进度计划绑定,实现作业面动态可视化管理,对汽轮发电机组吊装、锅炉受热面安装等 10 余项重大工序进行施工前可视化推演,累计识别并解决潜在安全隐患 32 项,实现了作业面动态可视化管理,重大吊装和高处作业等关键工序在施工前完成可视化推演,有效降低了误操作与交叉风险。结合物联网平台搭建了现场安全信息系统,在深基坑、受限空间等 28 个高风险区域布设监测设备,对沉降位移、气体浓度等指标实时监控,累计发出预警信息 45 次,均及时处置未引发事故,对临边防护状态、高温区域、有毒气体浓度等关键指标进行实时监控,构建了多源数据支撑下的主动预警机制,从源头上遏制了高风险事件的发生。

在管理执行层面,创新模式将传统分散的安全责任整合进统一的安全管理平台,推动了安全管理的流程标准化与执行刚性。设置安全网格管理单元,每个作业单元配备安全责任人,实施责任闭环和考核制度,增强了一线执行力。针对外协队伍多、人员流动频繁等问题,项目采用人脸识别系统结合动态进退场管控,确保进入作业区域人员具备相应资质并完成风险告知^[4]。在培训机制上引入仿真模拟与沉浸式体验方式,提升作业人员对高风险工序的理解和应对能力。与此现场管理团队依托智能终端设备,实现巡检任务的指派、执行与反馈全流程线上闭环,避免了以往纸质巡检带来的疏漏与延迟。数字化手段强化制度执行力,有效提升了风险识别及时性与隐患整改闭环效率。

项目运行期间,创新管理模式带来的实践成效表现为事故发生率显著降低、施工效率明显提升以及各方协同更加顺畅。在该项目两年建设周期内,实现了“零重大伤亡事故”的安全目标,高风险作业现场违规率下降近 70%。管理数据的可视化、过程的实时掌控及预警机制的自动化极大提升了管理效率,为

项目总体工期压缩和成本优化提供了支撑。

5 提升建造安全管理效能的持续优化策略

在核电常规岛建造安全管理持续推进过程中,提升管理效能依赖于模式本身的创新,更需要建立动态优化机制,实现安全管理体的自我修复与升级。面对建造过程中风险类型多样、作业环境复杂、参与主体众多的现实情况,应构建基于风险预控与全过程干预的管理闭环机制。完善作业票证系统、强化施工前安全技术交底、提升危险源动态识别能力,可有效提高安全管理的针对性与实效性。推动标准化作业流程的持续更新,建立跨专业、跨部门的安全协调机制,强化各作业单位之间的信息互通与任务协同,形成统一调度、统一指令、统一监管的立体化安全控制体系。

技术赋能是提升建造安全管理效能的关键支撑。必须以数据为核心,构建安全数据仓库,利用大数据分析、人工智能算法开展趋势预测与风险预判,实现安全管理由静态响应向主动预控转变。在现场应用层面,推广佩戴传感器的智能穿戴设备、部署高精度环境监测仪、建设可视化指挥中心,实现对关键风险因素的实时感知与可控响应^[5]。信息化平台应集成进度、安全、质量、设备等多系统模块,实现多维度数据联动分析,提高决策的科学性和及时性。强化对系统运行过程的监督审计与复盘机制,确保技术工具真正落地并持续优化使用效果,避免

出现技术形式化与工具依赖脱节的问题。

管理效能的持续优化还必须聚焦人因管理与组织能力的提升。要建立涵盖技能、意识、行为的全周期培训体系,推动从“要我安全”向“我要安全”理念转变。开展岗位风险识别、安全行为观察、模拟演练等活动,提升一线作业人员对典型风险场景的识别与处置能力。在组织层面,需构建权责清晰、运行高效的管理体系,推动安全绩效考核机制常态化,将安全目标层层分解至各责任单元,落实问责闭环。鼓励内部管理创新与问题反馈机制运行,建立经验复盘数据库,实现事故案例、管理难点的共性提炼与策略共享。经过制度、技术、组织、文化四位一体的持续推进,核电常规岛建造安全管理效能将在动态迭代中不断跃升,为核电工程的本质安全构筑更加坚实的管理基础。

6 结语

本文围绕新形势下核电常规岛建造的安全管理需求,系统探讨了管理模式的现状、创新理念、构建路径、实践应用及优化策略。多维度的分析与实践验证,可以看出,构建以信息化、系统化和精细化为核心的新型安全管理体系,是提升核电项目安全水平的必由之路。未来,只有不断融合先进技术手段,完善制度保障机制,强化人的安全行为管理,才能实现安全管理效能的持续跃升,为核电工程高质量发展保驾护航。

参考文献:

- [1] 陈雪梅,聂军刚,屈嘉,等.第三代核电技术发展情况分析[J].机电产品开发与创新,2025,38(05):214-218.
- [2] 阳雷,刘百宇,王哲,等.核电厂射线检测数字化信息混沌加密算法研究[J].核电子学与探测技术,2025,45(10):1552-1559.
- [3] 蔡先凤.核电安全的法律规制[M].北京大学出版社:202009:230.
- [4] 江剑明.核电站二回路回热系统仿真建模及智能诊断系统的设计[D].上海电力学院,2018.
- [5] 杨涛.核电站系统图形化建模仿真及验证[D].东南大学,2015.