

# 基于电力隧道盾构施工的主动式安全管理研究

马学军 高鹏超 李永光 贾红玉 王 强

国网北京市电力公司通州供电公司 北京 101100

**【摘要】**：随着城市化进程加速，电力隧道盾构施工因其高效、环保的特性，逐渐成为城市电力基础设施建设的核心方法，其安全管理问题成为影响工程顺利推进的核心要素。盾构施工面临的地质突变、设备故障及人为操作失误等多源风险，导致安全事故频发，造成重大经济损失与社会影响。现有安全评价体系存在指标覆盖不全、动态监测滞后等问题，难以应对复杂施工环境的多变需求。当前研究亟需突破传统定性分析框架，构建融合实时监测、实时预警与自适应调控的立体化管理体系，以提升施工本质安全水平。本文通过系统构建盾构施工全寿命周期风险动态评估模型，提出基于情景模拟的应急预案优化方案，为盾构施工提供科学决策支持。

**【关键词】**：电力隧道；盾构施工；安全管理

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.076

## 1 基于电力隧道盾构施工的主动式安全管理研究的背景

### 1.1 研究背景与意义

随着城市化进程的不断加速，地下空间开发利用规模持续扩大，盾构施工技术凭借其高效性与安全性优势，在地下工程建设中得到广泛应用。盾构施工的复杂性决定了其安全风险的多源性，包括地质条件突变、设备故障、人为操作失误等潜在威胁。统计显示，近年来盾构施工安全事故占比逐年上升，不仅造成直接经济损失，更对城市公共安全构成严峻挑战。当前盾构施工安全评价体系仍存在指标覆盖不全、动态监测手段滞后等问题，难以全面应对多变的施工环境。

当前盾构施工安全管理研究亟待突破传统定性分析框架。现有技术虽已建立风险识别、评估及控制的基本流程，但对动态风险演化规律、多因素耦合作用机制的研究仍显不足<sup>[1]</sup>。例如，施工人员在复杂环境下因防护装备穿戴导致沟通效率下降，可能间接引发操作失误，此类人因风险尚未被纳入主流评价模型。因此，构建融合实时监测、实时预警与自适应调控的立体化安全管理体系，成为提升施工本质安全水平的关键路径。本文研究通过建立盾构施工全寿命周期风险动态评估模型，并提出基于情景模拟的应急预案优化方案。研究成果不仅可为城市建设提供安全决策支持，同时对推动盾构工程标准化、智能化发展具有重要实践价值。

### 1.2 研究方法与创新点

本文采用文献综述、案例分析与实地调研相结合的跨学科研究方法，系统探讨盾构施工安全管理的理论框架与实践路径。在研究创新性方面，构建了包含风险识别、评估与控制的

全周期安全管理框架，形成具有动态适应性的风险防控体系。

## 2 基于电力隧道盾构施工的主动式安全管理研究的做法

### 2.1 相关理论

(1) 安全管理理论：安全管理理论作为安全生产与事故防范的核心基础，通过系统化的方法论构建了涵盖目标管理、责任体系及监督检查的多维度框架。在盾构施工中，这一理论为明确各层级职责、建立科学的安全管理体系提供了关键指导，通过标准化的管理流程有效降低了事故风险，保障了工程的稳步推进。

风险评估理论则为盾构施工安全提供了量化分析工具，其通过定性与定量结合的方式，系统识别施工各阶段的风险源并评估潜在危害。事故预防理论则聚焦于系统性防控策略的构建，强调通过技术改进与管理优化实现风险源头控制。理论实践表明，人员安全能力不足与操作失误是引发事故的主要诱因之一，需通过强化培训、完善应急预案等措施提升现场作业的安全冗余度。例如，盾构施工中针对复杂地质条件，可结合纵向变形与实时监测数据，建立风险预警机制，及时调整掘进速度与注浆参数，从而避免因应力突变引发的结构失稳。此外，事故案例分析显示，施工中需特别关注多因素耦合作用下的风险叠加效应，需通过预加固与分阶段监测等综合手段实现系统性防护<sup>[2]</sup>。通过理论指导下的全周期风险防控，盾构施工的安全管理水平得以持续提升，为地下工程建设提供了可靠的技术保障。

(2) 风险评估理论：风险评估理论是盾构施工安全管理的重要基础。

作者简介：马学军（1969年2月），男（回），籍贯：北京市，大学本科学历，中级职称，主要研究方向：电力基础设施施工及安全。

其核心在于系统识别潜在风险因素并量化其影响程度。现代盾构施工风险评估通常遵循“风险识别—风险分析—风险评估—风险控制”的标准化流程。

(3) 事故预防理论：盾构施工安全管理中的事故预防理论需立足于系统性风险控制与科学预警机制构建。事故预防的核心策略包括风险源识别、动态监测及应急预案优化。

应急预案的制定应基于风险评估结果与监测数据，强调快速响应与分级处置机制。例如，当监测数据超出预警时，需立即启动应急方案，通过调整掘进参数、地层加固或辅助注浆等技术手段控制变形。同时，需建立包含地质突变、设备故障等场景的预案库，并通过桌面推演与现场演练验证预案有效性。此外，应急预案应与第三方监测系统联动，确保风险信息实时共享与处置措施的快速执行。通过将预测技术、评估模型与应急响应有机融合，可显著提升盾构施工安全管理的前瞻性与针对性，降低事故发生的概率与影响程度。

## 2.2 盾构施工安全管理方案

(1) 安全管理组织架构：盾构施工安全管理方案的组织架构设计应遵循系统性、层次性和协同性原则，以实现安全风险的全过程管控。安全管理组织架构通常由决策层、管理层、执行层和操作层构成多层级管理体系，各层级通过明确的职责划分和信息反馈机制形成闭环管理网络。决策层由建设单位、施工单位和监理单位的高层管理人员共同组成，主要负责制定安全管理目标、审批专项方案、协调资源分配以及监督重大风险事项。其核心职责包括建立安全生产责任制、审核应急预案、定期评估安全管理体系的有效性，并通过联席会议机制对重大安全风险进行研判与决策。管理层由项目经理部和各职能部门构成，具体包括技术管理部门、安全监督部门、设备管理部门和后勤保障部门。项目经理作为第一责任人，统筹协调各职能部门的联动，确保安全投入落实到位；技术管理部门负责施工方案的优化与安全技术交底；安全监督部门实施动态巡查和隐患排查，建立安全隐患分级管理制度；设备管理部门需制定盾构机等大型设备的维护规程，确保机械系统处于安全可控状态。执行层由现场施工班组、监理单位驻地监理组及第三方监测机构组成，承担安全措施的具体落实与实时监测任务。施工班组须严格执行操作规程，班组长每日组织安全交底并记录作业环境变化；监理人员通过旁站监督和见证取样，对关键工序进行过程控制；第三方监测机构运用自动化监测技术，对地层变形、结构沉降等指标进行实时采集与预警分析。操作层由一线作业人员构成，其行为规范直接影响现场安全状态。通过制定岗位安全操作手册、开展三级安全教育培训、实施安全绩效考核，可有效提升操作层的安全意识和应急处置能力<sup>[3]</sup>。各层级间建立纵向贯通的指挥链与横向联动的协作机制，例如管理层需每日向决策层报送安全简报，执行层发现异常情况时可启

动快速上报通道。同时，通过 BIM 技术构建可视化安全管理平台，实现人员定位、设备状态、环境参数的集成化监控，为跨层级信息共享提供技术支撑。该组织架构通过明确各主体权责边界，强化了安全责任的可追溯性，使风险防控措施能够精准嵌入施工全流程，为盾构工程的安全实施提供了制度保障。

(2) 安全管理制度建设：盾构施工安全管理方案的实施需以安全管理制度建设为核心基础。安全管理规章制度的建立应遵循系统性、规范性与可操作性的原则，形成覆盖施工全周期、全要素的制度体系框架。首先，需结合国家安全生产法律法规、行业技术标准及企业内部管理要求，构建包含总则、职责划分、技术规范、应急管理、奖惩机制等模块的制度体系。在具体制度设计中，应明确各级管理人员与作业人员的安全职责，建立安全教育培训、设备操作许可、隐患排查治理、风险分级管控等专项管理制度，形成制度层级分明、责任边界清晰的管理网络。

针对盾构施工特有的高风险作业环节，需制定专项安全操作流程与技术规范<sup>[4]</sup>。在盾构机选型与组装阶段，应建立设备进场验收、安装调试、试运行检测等标准化流程，明确各环节的技术参数与质量控制标准。掘进过程中需细化土压控制、渣土改良、管片拼装等关键工序的操作规范，配套制定掘进参数实时监控、异常工况应急处置等技术细则。同时，针对盾构穿越特殊地层、既有结构物等风险工况，应编制专项施工方案与应急预案，并通过专家论证确保技术方案的科学性与可行性。

安全管理流程的标准化是制度落地的关键环节。需建立包含施工准备、过程实施、验收评估的全流程管理制度，明确各阶段的安全管理目标与操作要点。在施工准备阶段，应通过安全技术交底、风险评估、资源配置核查等程序确保前期条件符合安全要求；施工过程中需推行班组安全自查、监理旁站监督、动态风险预警等管控措施，强化过程控制；收尾阶段则需执行设备退场验收、洞内环境清理、工程移交等标准化收尾流程，形成闭环管理。此外，针对盾构施工中常见的机械伤害、坍塌、火灾等事故类型，需制定专项操作流程与应急处置预案，明确应急响应等级、资源调配机制与事后恢复程序。

安全责任体系的构建需贯穿制度设计始终。应建立以项目经理为核心、安全总监为监督、技术负责人为主导、各岗位人员为节点的立体化责任网络，通过制度条款明确各级主体的安全职责边界。重点强化安全总监的独立监督职能，赋予其对违规作业的否决权与紧急停工权，确保制度执行刚性约束。同时，需建立岗位安全绩效考核机制，将安全指标纳入员工绩效评价体系，通过正向激励与反向约束相结合的方式，推动安全管理制度的有效实施。

风险预控机制是安全管理制度的技术支撑。需结合盾构施工地质条件、设备性能、作业环境等要素，建立风险识别、评

估、预警与处置的全流程管控体系。通过引入BIM技术、物联网监测系统等信息化手段,实现盾构掘进参数、地层变形、设备状态等数据的实时采集与智能分析,为制度执行提供动态决策支持。此外,应定期开展制度执行效果评估,通过事故案例分析、管理审计、员工反馈等方式识别制度缺陷,建立制度修订的动态优化机制,确保安全管理制度与工程实践需求的动态适配。

### 3 基于电力隧道盾构施工的主动式安全管理研究的效果

本研究针对盾构施工安全管理的关键问题,系统梳理了现有理论与实践成果,并结合工程案例分析,得出以下结论:首先,盾构施工安全风险具有时空动态性与多因素耦合特征,传统静态管理模式难以满足复杂地质条件下的安全管控需求<sup>[5]</sup>。研究构建的基于模糊层次分析法的盾构施工风险动态评估模型,通过引入地质参数实时监测数据与工程进度权重系数,显著提升了风险识别的精准度,为风险分级管控提供了量化依据。

在管理机制方面,研究提出的盾构施工安全管理体系框架具有显著实践价值。该体系通过建立标准化作业流程、应急预案动态优化机制及多部门协同管理平台,有效解决了施工各阶段职责交叉与信息孤岛问题。

本研究证实,通过融合智能感知技术、系统管理理论与数据驱动方法,可构建多维度协同的盾构施工安全管理体系,显著提升风险防控能力和事故应急水平。研究成果不仅为超大规模地下工程提供了安全技术支撑,也为复杂施工环境安全管理提供了理论参考,其标准化成果具有行业推广价值。未来研究应进一步深化人工智能在风险预测中的应用,同时加强安全文化培育与行为管理机制的协同创新,推动盾构施工安全管理向智能化、精细化方向发展。

当前盾构施工安全管理研究在理论构建和实践应用层面已取得显著进展,但面对复杂多变的工程环境与技术革新需求,仍存在若干关键性局限。现有研究对多源数据的实时融合分析能力不足,传统风险评估模型难以动态适应地质条件突变与设备工况波动,且对人员行为与管理机制的耦合效应研究仍停留在定性层面。此外,智能化监测系统的算法可靠性验证尚不充分,安全管理标准化体系尚未形成覆盖全生命周期的闭环管理框架。

随着地下空间开发向深层化、复杂化方向发展,未来研究需重点关注极端地质条件下装备可靠性提升、灾害演化机理的多物理场耦合模拟。建议通过构建产学研协同创新平台,推动理论研究与工程实践的深度融合,最终实现盾构施工安全管理从经验驱动向数据驱动、从单点控制向系统集成的范式革新。

### 参考文献:

- [1] 复杂地质条件下桥隧共建施工安全风险数值模拟与工程验证.童彦劫.中国高新科技,2025(12).118-120.
- [2] 公路工程施工安全风险动态评估与智能管控.王益银.汽车画刊,2026(03).173-175.
- [3] 复杂地质条件下桥梁深基坑工程施工安全风险演化及控制技术探究.余同山.中国公路,2026(02).96-98.
- [4] 复杂地质隧道施工安全风险与施工管理对策.仇小宁.运输经理世界,2025(11).66-68.
- [5] 复杂环境下地铁一体施工风险控制技术研究.邹春华、梁爽、黄民、梁啸.建筑技术.2026,57(04).426-431.