

建筑施工安全管理体系构建与风险防控策略研究

刘润荣

中源建(广东)建筑工程有限公司, 广东省河源市, 517000;

摘要: 以某市地铁区间盾构工程为对象, 面向富水中粗砂层与老旧居民区并置场景, 构建建设单位、总包、专业分包、班组四级安全管理体系, 并以 RACI 矩阵明确 27 项职责, 编制适配性的安全管控手册, 将 PDCA 扩展为策划、实施、检查、改进、审核五阶段。搭建物联网与北斗融合的智能监测平台。运行 12 个月显示: 工伤事故率为 0.2%, 优于目标 0.5%; 1 级风险整改闭环率 100%; 监测预警平均响应 8 分钟; 盾构日掘进效率 9.6 米, 高于计划 8.5m; 综合安全绩效得分 92.7, 验证了体系在提升安全冗余与生产效率方面的有效性与可复制性。

关键词: 施工安全管理; RACI 矩阵; 智能监测; 风险分级管控

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.051

引言

城市轨道交通建设正面向富水砂层与高敏感建成环境并置的复杂场景, 盾构法作为全断面开挖装备, 其风险随开挖扰动与周边设施脆弱性同步放大。以事后纠偏为主的传统管理难以支撑分钟级监测和跨主体协同的实时决策, 迫切需要制度数字化与现场响应一体化的体系重构^[1]。基于某市地铁区间工程的高风险特征, 研究提出构建物联网与北斗融合的智能监测平台, 引入改进 EWMA 进行趋势预警并与作业许可联动, 完成分阶段动态分级管控, 并在富水砂层情境下形成冻结与止水帷幕叠加的关键技术与快速响应的应急体系, 最终提供可复用的系统化方案与量化评估框架。

1 工程概况

本研究以某市地铁盾构区间土建工程为唯一对象, 该区间长度 2.3 km, 隧道覆土埋深 15 - 22 m, 穿越上部富水中粗砂层与沿线老旧居民区两类高风险环境, 计划总工期 36 个月, 合同造价 8.7 亿元。鉴于盾构掘进机属于城市地下空间建设的全断面开挖装备, 工程把东端场地设置为盾构始发井, 把西端站场设置为接收与转运节点, 围绕渣土外运、管线改迁、交通导改以及建筑物沉降监测进行总平面布置, 渣土车辆通行与临时供电供水走廊形成闭合环路, 风险源分区与关键位置见图 1。结合组织安排, 关键工区划分为盾构始发井、1 处联络通道与 1 座轨排井, 形成分区推进与交叉作业并置的施工形态。由此推导年度产值计划曲线呈递增后趋稳的阶段特性, 并把掘进高峰期月度工作量与监测报警阈值进行对应设定, 以服务后续安全管理体系构建与风险防控

策略的边界条件与数据基准。

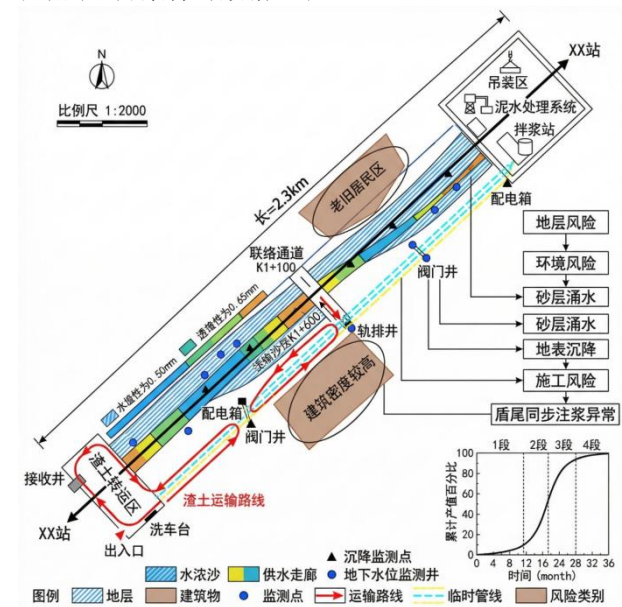


图 1 施工总平面及风险源分布流程图

2 安全管理体系构建

2.1 管理组织架构与职责矩阵

研究把建设单位—总包—专业分包—班组四级安全管理架构进行明确, 形成纵向决策与横向协同并行的治理链条^[2]。为把责任边界具象化, 选用 RACI 矩阵这一责任分配工具, 对 27 项关键安全职责标注负责、审批、协助与知情关系, 审批权布局在建设单位与总包, 实施职责压实至专业分包与班组。

在人员与指标层面, 设定专职安全员 1:50 配置底线, 由总包与各专业按自有用工独立计算并接受建设单位抽查, 缺口以周为周期进行纠偏。把安全生产责任书作为刚性载体, 固化三类量化考核指标, 即工伤频率≤

0.5%、高风险作业旁站率 100%、隐患整改闭环周期 \leq 3 d。旁站为在高风险工序进行全过程在场监督的制度, 隐患闭环为从发现、整改、复查到销项的链条管理, 上述指标与分包付款与班组计价相联动, 使职责与结果建立可验证联系。

结合沿线富水中粗砂层与老旧居民区的风险暴露, 矩阵内把专项施工方案审批、重大危险源监控、盾构参数变更复盘等审批权设置在建设单位或总包层级, 把监测数据回传、班前危险预知、作业许可与有限空间管理等执行项压实到专业分包与班组。再辅以月度 RACI 复核、旁站排班表与隐患闭环台账三类抓手, 把组织职责、流程节点与量化指标形成一致性约束, 从治理结构上支撑区间掘进的安全目标达成。

2.2 制度文件与运行流程

依据施工安全通用规范, 研究把盾构施工安全管控手册作为制度载体展开编制, 面向区间掘进与并置作业的高风险情境进行条款适配。手册覆盖 8 项制度, 包含危险源分级管控、隐患排查治理、人员准入、设备准用、文明施工、应急值守、安全奖惩、信息报送, 并把各制度的边界、触发条件、责任岗位与输出清单加以明确定义, 便于审计、复用以及追溯^[3]。

为把制度落地为可持续运行的闭环, 手册把 PDCA 循环扩展为 5 大阶段, 即策划、实施、检查、改进、审核。策划阶段完成风险分级清单、方案审批要点以及监测与旁站计划; 实施阶段围绕作业许可、人员与设备准入以及文明施工巡查展开; 检查阶段依靠监测数据、旁站记录以及隐患排查结果进行一致性核对; 改进阶段把盾构参数复盘、隐患整改闭环以及方案修订纳入同一工单; 审核阶段由建设单位与总包开展合规审查与抽查复核。结合 RACI 矩阵, 把 27 项职责映射至上述阶段, 如方案编制与审批归策划, 旁站组织与作业许可归实施, 数据报送与沉降协同归检查, 参数变更复盘与分包考核归改进, 月度体系审核与信息公开归审核, 并配套表单编码、数据字段与报送时效要求, 把奖惩规则与过程数据进行绑定。

2.3 智能监测与数据支撑平台

区间掘进对位移与结构响应存在一定敏感性, 因此需要把物联网感知与北斗高精度定位进行融合, 构建面向盾构始发井、联络通道以及轨排井的安全监测平台。

平台按分钟级采样开展 24h 采集, 把地表沉降、隧道收敛、地下水位、土压力、盾构姿态以及人员定位 6 类参数纳入同一数据域, 并把位移类指标统一设置 2 mm 偏差阈值, 触发自动告警与作业许可复核。边缘网关完成去噪与时间校准, 北斗标签对人员与设备进行定位, 实现可追溯管控^[4]。同时, 借助于云端数据仓, 把监测数据按日上传与归档, 平台把施工进度、监测点位、地面建筑物以及地下管线叠加生成风险一张图, 并以分区图层进行共享调用。结合 RACI 职责矩阵, 预警事件被自动分派至总包与专业分包责任岗位, 形成从告警、处置到复盘的闭环记录, 为风险防控决策与参数边界调整提供数据支撑。

3 风险防控策略与效果评估

3.1 分阶段风险辨识与动态分级管控

向盾构始发井、穿越沿线民房、联络通道冻结以及轨排井高空作业的并置推进情境, 本研究把 JSA 作业安全分析与 LEC 概率接触后果评分法进行复合运用, 按作业步骤、危险源与控制点建立再识别流程。依据评分得到的风险值 R, 对四阶段共 18 项风险进行分级, 判定 I 级 6 条、II 级 12 条; 参照工程通行阈值, 把 R 值不低于 320 划入 I 级, 把 R 值在 160 至 319 划入 II 级。需重点关注的是, I 级风险均单列专项方案并组织专家论证, 把注浆冗余、降排水联动、结构托换、冻结帷幕完整性验核、临边防坠与吊装防摆等措施嵌入作业许可与旁站清单。现场设置红橙黄蓝四色风险告知牌, 每日依据监测越界、工序变更以及交通扰动三类触发条件更新等级与控制要点, 同时把平台预警自动回填至风险台账, 形成识别、分级、干预与复核的动态闭环。结合 RACI 职责矩阵, 把审批与执行岗位固化到每条风险的责任链, 预警事件按专业自动分派至总包与专业分包的责任人, 并设置处置时限与复盘要求。

3.2 关键节点技术与应急措施

面向始发井上覆富水中粗砂层的高渗透特性, 研究把冻结法与止水帷幕叠加构建始发口双保险体系。冻结段采用环状布孔与分段控温, 冻结壁厚度为 2.2 m, 制冷温度控制在 -28 °C, 形成低渗透临时隔离带。止水帷幕围绕井壁与始发口交接渗流通道闭合布置, 选用水泥与水玻璃双液浆开展超前加固, 浆液体积比为 1:1, 注浆压力为 0.3 - 0.5 MPa。

为把设计冗余转化为可操作的控制力,以30 min响应为约束的应急体系,常驻应急队伍20人,备用注浆设备2套,抽水泵6台,形成注排联动与反压快速建立的装备组合。处置路径依次实施监测告警、临时停机、面压调高、同步注浆加密与反坡导排,当突发渗水量超过30 m³/h时,把1 h内把渗流控制到可持续排降能力范围作为现场处置目标,同时把指挥权限、物资调拨与外部支援触发阈值固化在预案条款中,并与旁站计划及许可复核联动,直至监测指标恢复稳定^[5]。

3.3 实施效果评估

鉴于区间掘进在并置作业与高风险环境交叠的工况下对管理稳定性的敏感性,研究将区间运行满12个月的过程数据转化为四项核心指标,并将其与合同目标及内部拉伸基准相联系来开展定量评估。观测结果显示,工伤事故率0.2%,对照合同目标0.5%形成显著冗余;I级风险整改闭环率达到100% 全量覆盖;监测预警响应时间平均8 min,已满足动态加密与旁站联动的处置需求;盾构日掘进效率9.6 m,高于施工组织设计中的计划8.5 m。为避免单一指标的波动掩盖体系能力,从风险闭环、运行响应与生产效率三个维度对安全绩效进行加权聚合,进而给出具备可追溯性的年度综合得分。

$$S = \sum \left(w_i \cdot \frac{x_i}{X_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

其中,S表示综合安全绩效得分, w_i 为第*i*个指标的权重系数, x_i 为第*i*个指标的正向化值, X_i 为与之对应的基准值。正向化值用于统一指标方向:对正向指标选用实测与基准之比,对逆向指标依据指标分布特性选用改进率或目标与实测之比的变换方式,并将正向化后的基准统一设置为1.000,避免方向性差异对合成结果产生偏移。

结合区间工程的安全优先级,将权重设置为0.4、0.3、0.2、0.1,分别对应盾构日掘进效率、I级风险整改闭环率、工伤事故率与监测预警响应时间。具体处理上,对正向指标直接采用比例化表征,并引入内部滚动基准以抑制阶段性激增的夸大效应;对逆向指标采用两类正向化策略:工伤事故率以相对改进率表达为1减去实测与目标之比,体现伤害风险的压降幅度;监测预警响应时间以目标与实测之比进行正向化,内部基准设置为7.62 min,使得响应加速能够形成连续可比的增益表征。基于上述规则计算功效系数与分项得分,见表1。由此得到综合安全绩效得分S等于92.7,解释为在不牺牲风险控制边界的前提下,管理体系把高频监测与作业许可联动转化为可计量的效能,且在生产指标上呈现稳定增益。

表1 安全绩效功效系数评价

指标	权重 w_i	监测值	基准值 X_i	指标方向	正向化值 x_i	功效系数 x_i/X_i	分项得分 $w_i \cdot x_i/X_i \times 100$
盾构日掘进效率	0.4	9.6 m·d ⁻¹	9.325 m·d ⁻¹	正向	9.600	1.0295	41.18
I级风险整改闭环率	0.3	100%	100%	正向	1.000	1.0000	30.00
工伤事故率	0.2	0.2%	0.5%	逆向	0.600	0.6000	12.00
监测预警响应时间	0.1	8 min	1.000	逆向	0.952	0.9520	9.52
综合得分 S	—	—	—	—	—	—	92.70

4 结语

综上所述,本研究围绕并置作业与高风险地层,完成组织机制数据与技术的协同集成,实证表明四级RACI与智能监测平台可将监测许可旁站与应急闭环联动,降低伤害风险并提升掘进效率。局限在于指标仍以工程内数据为主,外部扰动与社会因素量化不足,监测模型以统计平滑为主,对极端工况的自适应性有限。后续将推进多源地质与设备数据融合与数字孪生校验,开展跨项目迁移评估与经济性协同优化,完善社区沟通机制,提升该风险评价体系在工程当中的普遍适用性。

参考文献

[1] 孙欣. 建筑工程施工安全管理体系构建与风险防控

路径探索[J]. 门窗, 2026(2): 49-51.

[2] 周大斌. 建筑施工阶段给排水工程的安全管理与风险防控[J]. 工程技术研究, 2025(22).

[3] 林鑫. 高层建筑施工中的安全管理与风险防控研究[C]//智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(二). 2025.

[4] 廖禄武. 建筑施工安全管理中的风险评估与防控[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(19): 37-39.

[5] 迟永超. 冶金企业安全生产应急管理体系的构建策略[J]. 中国科技期刊数据库工业A, 2022.

作者简介:刘润荣,出生年月:1997.07.12,性别:男,民族:汉族,籍贯:广东省潮州市,学历:大专,职称:二级建造师(建筑工程),研究方向:建筑施工。