

地下工程施工中的安全风险评估与防控措施

李志恒

410725*****2010

摘要: 地下工程施工受地质条件复杂、作业空间受限、环境不确定性高等因素影响,安全风险防控难度显著高于地面工程。本文聚焦地下工程施工全流程,梳理安全风险的主要类型与生成机理,探索科学的风险评估方法,提出针对性防控措施,构建风险管控保障体系,为提升地下工程施工安全水平、减少安全事故提供理论框架与实践指引,助力地下工程行业安全有序发展。

关键词: 地下工程施工; 安全风险评估; 风险防控措施; 风险生成机理

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 09. 046

引言

地下工程是城市交通、能源输送、地下空间开发的重要载体,施工质量与安全直接关系工程建设成效与人员生命财产安全。由于地下工程设计到很多种类的地下构筑物,并且地下工程通道结构的净距离十分小,安全风险源相对集中,施工环境复杂,造成的影响十分严重。当前,部分地下工程施工存在风险评估不全面、防控措施针对性不足、管控机制不完善等问题,制约安全管理水平提升。因此,系统分析地下工程施工安全风险,建立科学评估体系与高效防控路径,对推动地下工程行业安全、有序发展具有重要现实意义。

1 地下工程施工中安全风险的主要类型与生成机理

1.1 地质相关安全风险的类型与诱发因素

地质相关安全风险是地下工程施工中最基础且常见的风险类型,主要包括围岩坍塌风险、突水突泥风险、地层变形风险等。其诱发因素与地下工程所处地质环境密切相关,若施工区域存在断层破碎带,岩层完整性差、稳定性不足,在施工扰动下易发生围岩坍塌;若地层中富含地下水且隔水层薄弱,施工过程中破坏隔水结构,会引发突水突泥事故;此外,松散地层在施工荷载作用下易出现不均匀沉降,导致地层变形,影响周边建筑物地下管线安全。这类风险的生成与地质勘察的全面性、准确性直接相关,若前期勘察未能充分掌握地质条件,施工中缺乏针对性应对,易加剧风险发生概率。

1.2 施工技术操作相关安全风险的类型与形成原因

施工技术操作相关安全风险涵盖支护不当风险、开挖工艺不合理风险、临时结构失稳风险等。支护不当风险多因支护方案与实际地质条件不匹配,或支护施工质

量不达标,如锚杆锚固力不足、喷射混凝土厚度不够,无法约束围岩变形;开挖工艺不合理风险源于开挖顺序混乱、开挖速度过快,如在软弱围岩段采用全断面开挖,未遵循“短进尺、强支护、快封闭”原则,破坏围岩原有应力平衡;临时结构失稳风险则因临时支撑设计不合理或施工中未按规范搭设,如临时脚手架间距过大、承重能力不足,在施工荷载作用下易发生坍塌。这类风险的形成与施工技术方案制定、现场操作规范性密切相关,技术方案缺陷或操作违规均会增加风险发生可能。

1.3 环境与管理相关安全风险的类型与触发条件

环境与管理相关安全风险包括有害气体积聚风险、通风照明不良风险、安全管理漏洞风险等。有害气体积聚风险多发生在密闭作业空间,若地下工程穿越含瓦斯、硫化氢等有害气体的地层,通风系统失效或通风量不足,易导致有害气体浓度超标,威胁施工人员健康;通风照明不良风险源于通风设备故障、照明设施配置不足,会降低施工人员视野清晰度,增加操作失误概率;安全管理漏洞风险则因管理制度不完善、责任落实不到位,如未建立定期安全检查制度、施工人员未按要求进行安全培训,导致风险隐患未能及时发现与处置。这类风险的触发多与环境管控措施缺失、安全管理体系不健全相关,环境条件恶化或管理措施不到位均会诱发风险。

2 地下工程施工安全风险评估的核心方法与流程

2.1 适用于地下工程施工的风险识别方法

地质分析法是地下工程施工风险识别的基础方法,通过对施工区域地质勘察资料的系统分析,梳理地层岩性、地质构造、水文地质条件等信息,识别潜在地质风险,如根据岩层分布判断围岩稳定性,结合地下水文数据识别突水风险,该方法能直观关联地质条件与风险类

型,为后续评估提供基础依据。德尔菲法适用于复杂或缺乏历史数据的风险识别,邀请地质、工程、安全等领域专家,采用匿名方式开展多轮咨询,专家结合专业经验与项目实际,提出可能存在的风险,经多轮反馈与汇总,逐步达成共识,识别出潜在风险,形成全面的风险识别结果。

2.2 地下工程施工安全风险的量化与半量化评估模型

量化评估模型通过构建数学公式,将风险发生可能性与影响程度转化为具体数值,计算风险综合值并划分等级。在模型构建中,先确定可能性与影响程度的评估指标,再通过权重分配体现两者重要性,结合指标数据计算综合值,依据数值范围确定风险等级,该模型结果精确,便于风险横向比较,但需大量历史数据支撑。半量化评估模型结合定性与定量方法,构建风险评估矩阵,将可能性与影响程度划分为不同等级,根据风险在矩阵中的位置确定综合等级,如可能性高、影响程度大的风险划分为高等级风险。该模型操作简便,无需复杂数据处理,适用于数据积累较少的项目,能快速完成风险评估。

2.3 地下工程施工安全风险评估结果的验证与动态调整流程

风险评估结果验证需结合现场实际情况开展,通过现场调研核对评估识别的风险是否真实存在,如查看施工区域围岩状况验证坍塌风险评估结果,同时组织专家对评估方法、数据来源、计算过程进行审核,确保评估逻辑合理、结果可靠。动态调整流程需根据施工进展与环境变化定期开展,施工阶段转换或地质条件改变时,重新开展风险识别与评估,补充新风险、调整风险等级,如进入新施工段后,结合新地质资料调整风险评估结果。同时,建立风险评估结果更新机制,明确更新周期与责任主体,确保评估结果始终贴合项目实际,为风险防控提供准确依据。

3 地下工程施工各阶段的安全风险防控针对性措施

3.1 地下工程施工准备阶段的风险预控措施

施工准备阶段需从勘察、方案、人员三方面落实预控措施。在地质勘察方面,加强勘察深度与范围,补充关键区域勘察数据,确保全面掌握地质条件,为风险防控提供依据;在方案制定方面,结合风险评估结果制定专项防控方案,如针对突水风险制定排水与堵水方案,

针对坍塌风险优化支护方案,方案需经专家评审后实施;在人员准备方面,开展施工人员安全培训,讲解项目潜在风险与防控要求,提升人员风险意识与应对能力,同时配备充足的安全防护设备,确保人员施工安全。通过多维度预控,从源头降低风险发生概率。

3.2 地下工程主体施工阶段的风险实时防控措施

主体施工阶段需实施实时防控,强化过程管控。在施工操作上,严格遵循专项方案,控制开挖速度与支护时机,如软弱围岩段按规定进尺开挖,及时完成支护作业,避免围岩长时间暴露;在监测方面,部署监测设备实时跟踪围岩变形、地下水压力等指标,发现异常及时预警,如围岩变形超限时,立即停止施工并采取加固措施;在应急管理上,现场配备应急物资与救援队伍,定期开展应急演练,确保风险发生时能快速响应,如突水事故发生后,及时启动排水系统、组织人员撤离,减少事故损失。

3.3 地下工程竣工验收与移交阶段的风险收尾措施

竣工验收与移交阶段需聚焦风险排查与责任移交。验收阶段,全面检查工程质量与安全设施,排查潜在风险隐患,如检查支护结构完整性、排水系统有效性,对发现的问题及时整改,确保工程无安全隐患;在资料移交方面,整理风险评估报告、防控措施记录、监测数据等资料,完整移交给运营单位,同时向运营单位说明工程潜在风险与日常防控要求;在人员培训上,为运营单位人员开展安全培训,讲解风险识别方法与应急处置流程,确保运营阶段能有效管控风险,实现施工与运营阶段的风险防控衔接。

4 地下工程施工安全风险防控的技术与装备支撑

4.1 地下工程施工安全监测技术的应用

地质雷达技术通过发射电磁波探测地下介质分布,可识别施工区域地层结构、断层、地下水分布等,在施工前探测潜在地质风险,施工中监测围岩变化,及时发现围岩松动、裂隙发育等问题,为风险防控提供数据支持。光纤传感技术利用光纤感知外界环境变化,将光纤布设于围岩或支护结构中,实时监测应变、温度、振动等参数,精准捕捉结构微小变形,提前预警坍塌、失稳等风险。这两种技术可全天候工作,监测精度高,能为地下工程施工安全提供持续的技术支撑,帮助管理人员及时掌握风险动态。

4.2 地下工程施工安全防护装备的选型与配置

安全防护装备选型需结合施工风险与作业环境,针对有害气体风险,配置气体检测仪器与通风设备,确保施工区域气体浓度达标;针对坍塌风险,配备应急逃生通道、安全帽、防护衣等,保障人员安全;针对突水风险,配置排水泵、防水设备等,提升应急排水能力。装备配置需覆盖全施工环节与所有作业人员,如为每位施工人员配备个人防护装备,在关键施工区域增设监测与防护设备,同时建立装备定期检查与维护制度,确保装备性能良好,在风险防控中发挥有效作用。

4.3 智能化技术在地下工程施工风险预警中的应用

智能化技术通过数据整合与分析实现风险预警,构建智能化监测平台,整合地质雷达、光纤传感等技术的监测数据,利用算法分析数据变化趋势,识别风险征兆,如通过围岩变形数据趋势预测坍塌风险,提前发出预警信号。同时,结合 BIM 技术构建工程三维模型,将风险信息与模型结合,直观展示风险位置与等级,帮助管理人员快速掌握风险情况。智能化预警技术能缩短风险识别与响应时间,提升预警准确性,为风险防控争取时间,减少事故发生概率。

5 地下工程施工安全风险管控的保障体系构建

5.1 地下工程施工安全风险管理的组织架构与职责划分

构建多层次组织架构,设立风险管理领导小组,由项目负责人、技术负责人、安全负责人组成,统筹风险管控工作,制定风险管理规划与制度;下设风险管理执行部门,负责风险识别、评估、防控措施的具体实施,如开展日常风险检查、组织应急演练;各施工班组设兼职安全员,负责现场风险隐患排查与上报。明确各层级职责,领导小组负责决策与协调,执行部门负责落实与跟踪,安全员负责现场监督,形成“领导小组统筹、执行部门落实、班组监督”的管理体系,确保风险管控责任到人、层层落实。

5.2 地下工程施工人员的安全培训与应急能力培养

安全培训需分阶段、分岗位开展,新进场人员开展岗前培训,讲解项目风险、安全操作规程与防护要求;特种作业人员开展专项培训,强化专业操作技能与风险应对能力;定期开展全员复训,更新风险防控知识,提升人员风险意识。应急能力培养通过应急演练实现,模

拟坍塌、突水等常见事故场景,组织人员开展撤离、救援、处置演练,熟悉应急流程与装备使用,同时开展应急知识考核,检验培训效果,确保施工人员在风险发生时能规范、快速应对,减少人员伤亡与财产损失。

5.3 地下工程施工安全风险管控的监督与考核机制

监督机制需覆盖施工全流程,建立内部监督与外部监督结合的体系,内部由安全管理部门开展日常检查与专项检查,及时发现风险管控漏洞;外部邀请监理单位、行业主管部门定期检查,督促项目落实风险防控措施。考核机制将风险管控成效纳入绩效考核,制定考核指标,如风险隐患整改率、事故发生率等,定期对各部门与个人进行考核,考核结果与奖惩挂钩,对风险管控成效好的给予奖励,对落实不到位的进行处罚,通过监督与考核倒逼各责任主体重视风险管控,提升整体安全管理水平。

6 结论

地下工程施工安全风险管控是贯穿施工全流程的系统工程,需从风险识别、评估、防控到保障形成完整闭环。本文梳理的风险类型与生成机理为风险识别提供方向,提出的评估方法为风险量化提供路径,分阶段防控措施与技术装备支撑为风险处置提供手段,保障体系为风险管控提供保障,共同助力减少地质、技术、环境等因素引发的安全事故。未来需结合地下工程施工技术革新,优化风险评估模型适配性,提升防控措施智能化水平,推动地下工程施工安全管理向更科学、更高效的方向发展,为地下工程行业安全发展奠定基础。

参考文献

- [1] 张巍,刘莉,赵迪,等. 高海拔地区地下工程防水材料的选用与施工[J]. 中国建筑防水,2025,(07):38-43.
- [2] 李磊雷. 探析地下工程的防水施工技术与安全管理措施[J]. 产业创新研究,2025,(14):111-113.
- [3] 班德梁,刘威. 掘进支护在地下工程中的关键作用与施工要点[J]. 内蒙古煤炭经济,2025,(13):154-156.
- [4] 李立功,刘晓,赵旭. 基于深度学习的地下工程施工人员不安全行为识别研究[J]. 中国安全生产科学技术,2025,21(05):55-62.
- [5] 张笛笛. 地下工程施工管理的关键要素与实践策略研究[J]. 现代工程科技,2025,4(06):173-176.