

# 隧道开挖过程中的风险识别与现场管理

李 侠

云南交投公路工程养护有限公司 云南 昆明 650228

**【摘要】**：隧道开挖是一项隐蔽的地下工程，在地质、施工和环境等多因素的共同作用下，存在较大的安全隐患。鉴于此，本文对“地质-施工-环境”三大核心风险的成因机理进行系统梳理，并阐述目前在现场管理中存在的问题，进而从风险预测预警体系优化、现场精细化管控、应急能力提升、责任考核机制四个方面提出有针对性的优化措施，旨在提高施工安全性，减少事故损失。

**【关键词】**：隧道；开挖过程；风险识别；现场管理

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.032

随着基础设施向地下空间拓展，隧道工程规模和复杂性不断增加，开挖过程风险防控成为制约工程安全的重要因素。目前，一些工程由于风险辨识不够全面，施工现场管理粗放，造成了大量的人员伤亡和经济损失，影响了施工进度和社会稳定<sup>[1]</sup>。因此，深入剖析隧道施工风险成因，优化风险辨识及现场治理策略，构建科学防控体系，对于解决施工安全难题，推动我国隧道建设高质量发展，具有重要意义。

## 1 隧道开挖核心风险类型及成因机制

隧道施工风险具有隐蔽性、突发性和传导性等特点，受到地质条件、施工技术和环境等多因素的影响。现从地质、建设和环境三个核心维度，对项目风险的类型和深层次机理进行系统地剖析，具体如表1。

表1 隧道开挖中存在的风险和成因

风险类别	核心风险类型	主导成因
地质风险	坍塌、涌水、围岩变形	围岩破碎、含水层暴露、应力失衡
施工风险	超欠挖、支护失效、设备故障	工艺不当、管控疏漏、设备老化
环境风险	建构筑物沉降、生态破坏	施工扰动、地下水流失

### 1.1 地质风险

在隧道开挖过程中，地质风险是最主要也是最频繁发生的一种风险类型，主要有三种：围岩坍塌、涌水涌砂和大变形。在岩体破碎带和节理发育区易发生塌方，易造成开挖面失稳和支护结构破坏；涌砂易发于富水地层及断层导水区，易引起围岩浸水软化，造成隧洞淹水；在软岩地层中，围岩容易发生大变形，而在硬岩地层中，则有可能发生岩爆，这些都严重影响了施工进度<sup>[2]</sup>。围岩的性质、完整性和含水性直接决定了围岩的风险程度，隧道开挖破坏了围岩的应力平衡，引起了围岩应力的再分布，如果围岩的承载力不足，就会导致围岩的失稳。同时，断层和裂隙等地质结构也为地下水的渗流提供了通道，开挖暴露后极易引发涌水灾害。

### 1.2 施工风险

施工风险主要来源于工艺实施、设备运行和过程控制三个方面，主要表现为超欠开采、支护失效、设备失效和工序衔接不畅。超欠挖将导致围岩整体性降低，支护成本增加。支护失效直接导致塌方。设备失效可能导致施工中断。工序脱节容易引发连锁风险。其成因机理涉及多个方面，其中工艺适应性不足是关键，而钻爆法药量和炮眼布置不合理以及盾构姿态控制偏差都会引起超欠钻；由于支护工艺落后，施工材料质量差，施工技术不规范等原因，致使支护结构的承载力不足，承受不了围岩压力；大型施工装备长期处于高负荷运行状态，缺少日常的维护保养，容易发生机械故障；施工过程控制系统不健全，开挖、支护、出渣等工序之间的配合不够协调，形成了施工“空档”，加大了风险隐患<sup>[3]</sup>。

### 1.3 环境风险

环境风险主要集中于隧道开挖引起的周边环境扰动，主要表现为周边建筑物的沉降开裂、地下水流失和生态破坏等。近距离通过房屋或桥梁时，由于施工扰动，容易引起建筑物地基的沉降，造成建筑物的安全隐患；过量抽取地下水会引起地下水位下降，引起地表塌陷，周围植被枯死；施工弃渣和排泥可能造成水体污染和生态破坏。其成因机理的核心在于施工扰动的传递和资源的占用，隧道开挖引起的振动波、应力扩散等会传递给周边建筑结构，引起结构变形。在施工过程中，通过抽水或改变围岩的渗透系数，破坏了区域的水平衡；与此同时，建设项目占用了大量的土地，排放了大量的污染物，如果控制不当，将会造成生态环境的破坏，并且具有一定的滞后性和长期性。

## 2 隧道开挖现场管理中存在的问题

### 2.1 风险预判与预警体系协同不足，精准度欠缺

部分隧道工程风险预测和预警系统存在技术融合不充分、数据割裂等问题，导致前期勘察数据和现场施工动态信息不能有效联动，三维可视化建模应用流于形式，难以准确把握围岩分级、含水层分布等参数的动态变化规律<sup>[4]</sup>。目前，地质超前

预报多采用单一探测方法,缺少“大范围探测+短程验证”的系统性匹配,导致对隐伏地质结构的识别存在较大偏差。预警阈值设置缺乏针对性、分级响应流程不明确、监测数据向预警指令转化滞后等问题,不能为现场管控提供及时、准确的决策支持,容易造成风险隐患漏判和误判。

## 2.2 现场管控精细化程度不足,技术赋能薄弱

现场管控仍存在粗放管理痕迹,施工过程标准化程度低,关键技术参数(如钻爆法、盾构法)多依靠经验设定,缺少智能系统的精细调控,易引发围岩扰动、超欠开挖、支护偏差等问题。智能装备管控平台应用不够完善,部分大型装备没有安装实时监测传感器,设备维修和维修主要依靠主观经验,缺乏“点检-全检-校验”闭环管理模式,制约了智能装备管理的发展。支护过程验收方法单一,喷砼厚度、锚注锚固质量等关键指标检测精度不高,质量可追溯体系不健全,难以实现全过程控制。

## 2.3 管理责任与考核机制不健全,执行力薄弱

在管理职责划分上还存在着一些模糊的地方,有些岗位的风险管控责任没有细化和量化,各层级的责任传递不顺畅,出现问题后容易互相推诿。评价体系在维度上较为单一,主要集中在施工进度和质量指标上,缺乏对核心管控成效(如风险辨识正确率、隐患整改闭环率)的评价权重,缺乏日常检查和动态评价的有效结合。奖惩联动机制没有得到很好地落实,没有形成有效的激励和约束机制,很难让每个岗位都严格执行管控要求。第三方监理和业主的联合巡查流于形式,对发现的问题没有及时地跟踪督办,致使一些控制措施成为一纸空文,得不到有效地落实。

# 3 隧道开挖过程中风险识别和现场管理的优化措施

## 3.1 风险预判与预警体系优化

风险预测和预警是防控隧道施工风险的首要核心,准确、高效的预警系统能够提前规避隐蔽和突发风险,打破被动“事后处置”的局面。传统的勘察与施工数据分离,预警滞后,亟需通过技术融合,实现“勘察-监测-预警”全链联动,并结合地质动态演变规律,提高预测精度,为现场管理提供及时可靠的决策支持,从源头上减少事故发生<sup>[5]</sup>。

在具体实施过程中,可建立 BIM-GIS 融合数据平台,通过综合前期地质钻探、地球物理勘探(地震波、电磁法)资料和现场施工动态信息,构建可视化的地质模型,实现围岩分级、节理发育、含水层展布等核心参数的实时更新,实现危险源的可视化预测。同时,优化超前地质预报流程,通过“长距离探测+短程验证”的方式,对掌子面前方 100-150 m 的地质结构进行长距离探测,近距离则利用地质雷达、超前钻探等手段进行验证,并与预警平台实时对接。然后设置分级预警阈值,根据围岩收敛速度、拱顶下沉量、涌水量等监测指标,划分红

(危)、黄(警示)、蓝(正常)三级预警,触发预警后自动推送信息至各管理岗位,明确响应时限,红色预警立即停工组织排查,黄色预警需加密监测频次至每 30 分钟 1 次。

## 3.2 现场管控精细化措施

为了保证隧道施工安全、高效地推进,需要打破传统的粗放式管理方式,将重点放在人、工艺、设备、质量等核心环节上,通过技术赋能和标准化管控,让每个过程都能控制<sup>[6]</sup>。通过精细化管控,可以有效避免施工过程不匹配、设备失效、支护不及时等风险,同时兼顾施工效率和质量,促进隧道施工管理向数字化和标准化方向发展。

在具体实施过程中,可推行标准化施工工艺,将微地震控制爆破应用于钻爆法施工中,根据围岩等级精确设计炮眼间距(硬岩 50-80 cm,软岩 30-50 cm)、装药量和起爆顺序,采用智能起爆系统控制爆破时差,减小对围岩的扰动。盾构/TBM 法施工过程中,需实时监测刀具磨损量和位姿偏差,当刀具磨损超过 15 mm 时,立即停机替换,姿态偏差小于±3 mm,并利用自校正系统进行参数调整。同时,还应建立智能设备监控平台,在大型挖掘设备和运输设备上安装运行状态传感器,对设备的速度、载荷、温度等参数进行实时监控,一旦出现异常,就会自动报警,并将设备锁住。此外,还可实行“日常点检+每周全检+月度检查”制度,并将维修记录存档,加强支护过程的精细化控制,采用湿喷法喷射混凝土,厚度误差小于±5 mm,锚杆的间距和长度严格按照设计要求进行,支护结束后用超声波检测仪进行检测,发现有问题的地方立即进行修补,同时做好支护质量的追溯。

## 3.3 应急管理能力提升

隧道施工风险具有强突发性和连锁效应,提高应急管理能力是降低事故损失的“最后防线”。这就需要改变传统的应急预案流于形式、不规范处理的弊端,建立“预案精细化、物资标准化、演练实战化”的应急管理体系,并针对隧道常见事故类型,对处置流程进行优化,确保在突发事件发生后,能迅速做出反应,做出科学的应对,将人员伤亡和财产损失降到最低。

在具体实施过程中,可根据坍塌、涌水、冲击地压、设备失效等不同类型的事故类型,对应急组织结构、每个岗位的职责和处理流程进行了详细的规定,在发生坍塌事故时,首先要开启疏散通道,然后再用管棚支护+注浆加固技术来控制围岩失稳。在发生涌水事故后,需立即关闭掌子面的泄水阀,采用大功率泵降低水位,并用水泥-水玻璃双液法对导水通道进行封堵。对应急物资进行规范化配置,可根据危险程度,在每 500 米处设置应急物资储备库,配备应急钻机、注浆设备、救生舱、应急照明和防毒面罩等物资,并建立物资台账,定期盘点,保证物资完好可用,不足六个月的及时更换。此外,还应开展实战应急演练,每季模拟一次典型事故情景,在不设置剧本的情

况下,对人员疏散速度、物资调配效率和处置流程的规范性进行考核,并在演练结束后进行总结,梳理短板,优化应急预案,提高全员应急处置熟练度。

### 3.4 管理责任与考核机制完善

建立健全的管理责任和考核机制,可以解决责任划分不清、考核流于形式、管控执行力不强等问题,促进风险控制措施的落实。可通过对每个人的岗位职责进行界定,建立一套科学的考核制度,把风险管控的效果和绩效联系起来,以此来督促每个岗位都严格执行管控要求,从而建立起“人人有责、层层落实、奖惩分明”的管理模式,为隧道施工风险控制提供制度支持。

在具体实施过程中,可推行全员安全生产责任制,按照“项目经理—技术负责人—施工班组—一线作业人员”的层级分工,签订风险管控责任书,对每个岗位的风险识别、监测和处置都进行了详细的规定,项目经理对总体风险管控负总责,技术负责人负责预判预警和工艺优化,一线作业人员承担岗位风险排查与上报职责。同时,建立以风险辨识正确率、隐患整改

闭环率、预警响应及时性、工艺执行遵章率为主要指标的多维评价体系,分别采取日常检查(40%)、月检查(30%)和季度回顾(30%)进行评分。并健全奖惩联动机制,对表现优秀的小队和个人进行绩效奖励和荣誉表彰,不合格的扣减绩效,限期整改,对责任不落实造成风险隐患的要严肃追究责任。此外,还可推行第三方监理和业主联合巡查制度,每周进行一次专项巡查,着重对责任落实和考核实施情况进行检查,形成巡查报告,对发现的问题进行跟踪整改,保证考核机制公正公平,落地见效。

## 4 结语

隧道施工风险辨识和现场管理优化是保证工程安全、高效推进的重要支撑。上述全链式管控措施,可实现风险预判、应急处置和责任落实的闭环管理,有效地弥补传统管理中的缺陷。未来,需要进一步融合 BIM、人工智能等数字化技术,建设智慧化的风险管控平台,深化复杂地质环境下的多源风险耦合机理研究。同时,不断完善技术标准和管理体系,促进隧道建设向精细化、智能化和绿色化方向发展,为地下工程安全防控提供更加可靠的技术和管理保障。

## 参考文献:

- [1] 艾良良.不同支护方式下的隧道开挖稳定性分析[J].黑龙江交通科技,2025,48(12):74-78.
- [2] 张俊杰.公路隧道机械化开挖过程中的超挖控制[J].交通世界,2025,(25):171-173.
- [3] 林松.富水岩层隧道开挖下地应力对断层突水的影响研究[J].水利科学与寒区工程,2025,8(07):59-64.
- [4] 高帷峻.深埋复杂地质条件下隧道开挖监测技术研究与应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(27):94-96.
- [5] 马治权.基于隧道开挖过程中拱顶下沉和周边收敛数据的对比分析[J].价值工程,2024,43(23):95-98.
- [6] 何旺.深厚软土地区隧道开挖变形特性数值模拟研究[J].西部交通科技,2024,(07):133-135+167.