

# 高速公路隧道施工风险管控与应急技术研究

杨 镇

云南交投工程建设养护有限公司 云南 昆明 650041

**摘要：**高速公路隧道施工面临地质、工艺、环境等多方面风险。风险具有复杂、随机等特征，贯穿施工全流程。识别分析涵盖地质与围岩、施工工艺与结构、施工环境与作业风险。管控技术包括风险动态辨识与分级、围岩稳定性控制、施工过程安全控制。应急技术有应急响应与研判、典型险情处置、应急保障支撑。通过全面风险管控与应急处理，可降低事故发生率，保障施工安全与质量，为类似工程提供参考。

**关键词：**高速公路；隧道施工；风险管控；应急技术

**引言：**高速公路隧道施工环境复杂，受地质条件、施工工艺、环境因素等多重影响，施工风险高且危害大。其风险贯穿施工各环节，从超前地质预报到通风排水等，不同阶段风险类型与危害程度各异。准确识别与分析风险，是有效管控与应对的前提。基于此，深入研究高速公路隧道施工风险特征、识别分析方法、管控技术以及应急技术，对于保障施工安全、提高工程质量、降低事故损失具有重要意义，也为后续类似工程提供理论支持与实践指导。

## 1 高速公路隧道施工风险基本特征

高速公路隧道施工风险呈现出高度复杂、随机、动态且具耦合性的特质，是地质条件、施工方法、空间环境、工序衔接等多因素交互作用的结果。其风险贯穿于施工全流程，从超前地质预报开始，历经洞身开挖、支护衬砌、监控量测，直至通风排水等各个施工环节，每个阶段风险类型与危害程度差异显著。（1）隧道施工风险兼具渐进式演化与突发式显现的特点。在施工初期，部分风险常以微小变形、局部渗漏水等细微形式呈现，不易被察觉。但随着施工持续扰动，如爆破振动、机械荷载等作用不断累积，这些潜在风险会逐步发展，最终可能引发结构失稳、坍塌、突水突泥等严重险情，且风险发展具有明确的时空演化规律。（2）施工风险与结构安全、施工环境及作业行为紧密相连。地质条件的不确定性是风险产生的根本诱因，不同地质构造、岩性分布等都会为施工带来未知挑战。而施工扰动与工艺控制则是风险激发和发展的关键外部条件，不合理的施工顺序、参数设置等都可能加速风险恶化。此外，不同埋深、围岩等级和水文条件对隧道施工风险影响巨大，其表现形式、发展速度和破坏模式各不相同。例如，浅埋隧道受地表影响大，易出现地表塌陷；软弱围岩隧道则更易发生大变形。因此，必须依据风险自身特征，构建

差异化的管控与处置模式，以有效应对高速公路隧道施工中的各类风险<sup>[1]</sup>。

## 2 高速公路隧道施工风险识别与分析

### 2.1 地质与围岩风险

地质与围岩风险作为高速公路隧道施工的基础性风险，对施工安全影响深远。（1）围岩的稳定性是隧道施工安全的关键因素之一，其稳定性受围岩强度、完整性以及节理裂隙发育程度等多方面因素制约。软弱围岩、破碎岩体和风化岩层等，由于自身物理力学性质较差，在隧道开挖卸荷后，难以维持原有平衡状态，极易产生变形、剥落甚至坍塌等不良现象，严重威胁施工人员的生命安全和工程的正常推进。（2）不良地质体的存在同样不容忽视，常见的断层破碎带、岩性接触带、溶洞以及采空区等，其分布位置、规模大小和充填状态千差万别。这些不良地质体往往隐藏着巨大的施工风险，一旦施工过程中遭遇，可能引发严重的安全事故。（3）地下水的动态变化也会对施工安全造成不利影响。地下水的赋存状态、补给条件以及水压大小，会降低围岩强度、软化结构面，进而诱发围岩失稳、突水突泥、涌砂等风险，且地下水与围岩失稳相互作用，使施工风险危害进一步扩大<sup>[2]</sup>。

### 2.2 施工工艺与结构风险

施工工艺与结构风险主要产生于开挖方式、支护参数设定、衬砌施作等施工环节与实际工程条件不相适配的情况。（1）在开挖作业中，开挖进尺、开挖断面大小以及爆破参数的精准控制极为关键。若这些参数把控不当，开挖过程就会对围岩产生过度扰动，使得围岩的松弛范围扩大、变形加剧，进而显著提高围岩失稳以及坍塌发生的可能性。（2）初期支护对于围岩稳定起着至关重要的作用，其刚度、强度、施作的及时性以及与围岩的密贴程度，都会直接影响围岩应力重新分布和变形控

制成效。一旦出现支护滞后、强度达不到设计要求、支护背后存在脱空等情况,就极易引发支护结构开裂、侵入隧道建筑限界,甚至导致支护结构完全失效。(3)二次衬砌作为隧道的主要承载结构,其施作时机的选择、混凝土的性能指标、配筋的合理布置以及结构的整体性,都关乎着隧道的长期稳定与运营安全。衬砌开裂、渗漏水、变形超出允许限值等现象,均是典型的施工工艺与结构风险表现。

### 2.3 施工环境与作业风险

隧道施工环境呈现出空间封闭的显著特征,其内部通风条件往往较差,新鲜空气难以有效流通,导致有害气体易积聚;同时,照明不足的情况较为普遍,使得作业区域光线昏暗;再加上湿度较大,为施工带来诸多不利影响。此外,隧道内粉尘浓度容易超标,多种因素共同作用,构成了复杂的环境与作业安全风险源。(1)在有限的空间内,多工序常常需要交叉作业,这使得机械设备调度、材料运输以及人员通行之间的协调难度增大,相互干扰频繁发生。这种情况下,机械伤害、碰撞事故以及人员坠落等风险显著增加。(2)通风排烟、降尘除湿、照明供电等临时系统的可靠程度,对作业环境质量和人员健康安全有着直接影响。一旦这些系统出现故障或运行不稳定,将直接威胁到施工人员的生命安全。而且,若施工排水、防火、防爆、防触电等配套保障措施落实到位,会进一步加剧环境风险,形成多种风险相互叠加的严峻局面,给隧道施工安全带来巨大挑战。

## 3 高速公路隧道施工风险管控技术

### 3.1 风险动态辨识与分级管控

风险动态辨识聚焦于高速公路隧道施工的全过程,充分考虑地质条件的多变性、施工进度推进、监测数据的实时变化以及现场状态的动态调整等因素,持续且深入地识别潜在的风险源,并精准把握风险的变化规律。(1)这需要综合分析地质参数,如岩层走向、倾角等;明确围岩等级,了解其物理力学性质;掌握地下水的赋存状态、补给情况;熟悉施工工艺的各个环节,包括开挖方式、支护参数等;同时关注结构响应,如围岩变形、支护结构受力等。通过全面分析这些信息,准确确定风险的类型、所在位置、可能发生的时机以及影响范围。(2)在完成风险辨识后,依据风险发生的概率以及可能造成的危害程度对风险进行分级,并建立科学合理的分级管控标准。针对不同等级的风险,明确具体的管控重点、责任主体以及相应的管控措施,对高风险环节实施重点监控与提前干预,对一般风险则进行常态化控制,以此实现风险的差异化、精准化管理,保障隧道

施工安全有序进行<sup>[3]</sup>。

### 3.2 围岩稳定性控制技术

围岩稳定性控制是高速公路隧道施工风险管控的关键环节,其核心在于保护围岩原始结构、有效控制围岩变形、坚决防止围岩失稳。在技术实施上,遵循主动控制与被动加固有机结合的思路。(1)在开挖阶段,合理选择开挖方式至关重要。根据不同的地质条件和围岩特性,精准控制开挖扰动范围与强度,最大程度减少围岩松弛区的扩展,避免因过度扰动导致围岩力学性能劣化。(2)超前支护和超前加固等前置技术是改善前方围岩条件的有效手段。通过提前对开挖面前方的围岩进行加固处理,能够显著提高开挖面的稳定性,为后续施工创造安全条件。(3)系统锚杆、喷射混凝土、钢支撑、格栅拱架等初期支护结构,可及时封闭暴露的围岩,有效约束围岩变形,各支护结构相互配合形成联合承载体系。同时,结合监控量测数据,动态调整支护参数与施工工序,实现对围岩变形与应力的全过程精准控制,切实降低坍塌、大变形等风险发生的可能性。

### 3.3 施工过程安全控制技术

施工过程安全控制是保障高速公路隧道施工安全的核心举措,需紧密围绕开挖、支护、衬砌、运输、通风、排水等关键工序全面推进。首先,建立标准化作业流程与技术控制指标,为每一道工序制定详细、规范的操作准则,确保施工人员有章可循,从源头上规范施工行为。(1)在爆破作业方面,严格控制爆破参数,依据围岩特性、隧道断面尺寸等因素,精准计算炸药用量、装药结构以及起爆顺序等,最大程度降低爆破振动对围岩和支护结构的不利影响,防止因振动引发围岩松动、支护结构损坏等问题。(2)加强支护结构施工质量控制,严格检测喷射混凝土的密实度,确保其能有效封闭围岩;保证锚杆的锚固效果,使其充分发挥加固围岩的作用;提高钢支撑的安装精度,保证其与围岩紧密贴合。(3)优化洞内交通组织与机械调度,合理安排各工序的施工时间和空间,减少交叉作业干扰。完善通风、排水、供电、消防等临时系统,改善作业环境,提升施工过程的本质安全水平,从工艺与管理层面降低风险发生的可能性。

## 4 高速公路隧道施工应急技术

### 4.1 应急响应与风险研判技术

应急响应在高速公路隧道施工中起着至关重要的作用,其核心在于快速识别异常情况、准确研判风险态势、及时启动应对措施。(1)当隧道内出现变形异常、渗漏水情况加剧、围岩掉块、支护结构开裂等前兆信息

时,需迅速且精准地判定险情的类型,深入分析其发展态势以及可能波及的危害范围。(2)在风险研判过程中,要充分结合现场实时监测数据、隧道所处地质条件以及当前施工状态等多方面因素,进行全面、细致的综合分析,以此确定险情的具体等级以及处置的优先级顺序。(3)为确保应急响应的高效有序,需建立完善的应急响应启动机制。明确规定在不同类型险情下,相应的响应流程、各岗位人员的职责以及具体的行动路线。同时,要保证信息传递渠道的畅通无阻,确保各项指令能够得到迅速、准确的执行,从而为后续的应急处置工作争取宝贵的时间和有利的空间<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 典型险情应急处置技术

在高速公路隧道施工中,针对围岩失稳、坍塌、突水突泥、支护失效等典型险情,需运用具有高度针对性的应急处置技术。(1)当出现初期变形与掉块现象时,应迅速采取行动,及时加强支护力度,采用增加锚杆数量、加厚喷射混凝土层等方式,同时快速封闭开挖面,防止空气、水分等进一步侵蚀围岩,避免险情进一步扩大,为后续施工争取安全时间。(2)若发生局部坍塌,要优先对坍塌区域进行封堵,防止坍塌物质继续涌出,随后对坍塌体周边进行加固处理,增强围岩稳定性,最后进行回填作业,控制坍塌范围不再扩展。(3)面对突水突泥险情,重点在于封堵水源,可通过注浆等方式切断水流通道,同时合理疏导排水,避免积水对隧道结构造成损害,并加固地层,防止水砂大量涌入以及围岩进一步软化。(4)对于支护开裂、侵陷等险情,采取补强、加固、卸荷等措施,恢复结构的承载能力与断面尺寸,切实保障隧道结构稳定和人员安全。

#### 4.3 应急保障与支撑技术

应急保障与支撑技术是高速公路隧道施工应急体系的关键组成部分,涵盖应急物资、应急设备、应急监测以及人员防护等多个重要方面。(1)在应急物资与设备方面,需提前配备充足且适配的应急支护材料,如各类规格的钢支撑、锚杆等,以应对围岩失稳等险情;储

备排水设备,像大功率水泵,确保在突水情况下能及时排水;准备通风设备,保障洞内空气流通,避免有害气体积聚;配置照明设备,为应急处置提供必要的光照条件;同时配备抢险机具,如挖掘机、装载机等,以及各类防护用品,如安全帽、防护服等,保证险情发生后这些物资和设备能迅速投入使用。(2)采用应急监测手段,对险情的发展态势和处置效果进行实时跟踪,通过收集和分析相关数据,为处置方案的动态调整提供科学依据。此外,完善人员应急防护与避险措施,明确紧急撤离路线和避险区域,在保障救援处置工作顺利开展的同时,最大程度保护现场作业人员的生命安全,从而形成一套完整、有效的应急技术支撑体系<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

高速公路隧道施工风险管控与应急处理是一项复杂且系统的工程。从风险的精准识别与深入分析,到动态辨识分级管控、围岩稳定性控制、施工过程安全把控,再到应急响应、险情处置及保障支撑,各环节紧密相连、缺一不可。只有综合运用多种技术手段,构建全方位、多层次的风险管控与应急体系,才能有效应对施工中的各类风险,降低事故发生率,保障施工人员的生命安全和工程的顺利推进,为高速公路隧道建设的高质量发展奠定坚实基础,也为未来类似工程提供宝贵的经验借鉴。

#### 参考文献

- [1]王刚.高速公路隧道施工安全管理与事故预防措施[J].汽车周刊,2024,(11):171-173.
- [2]许景阳.隧道施工监理控制要点分析[J].建设监理,2024,(S1):19-21
- [3]滕岚彪.高速铁路隧道施工质量监督要点研究[J].质量与市场,2024,(02):113-115.
- [4]王伟.城市地铁施工安全风险评估与控制策略[J].中华建设,2024,(03):26-28.
- [5]胡乐乐,王绪亭,陈琳.高速公路施工安全风险评估及管控措施分析[J].劳动保护,2022,(07):95-97.