

隧道施工中的主要风险及措施

文 / 王家来 兴平市交通工程质量监测站

摘要: 隧道施工因其隐蔽性、复杂性和不确定性,面临诸多风险。鉴于此,本文旨在深入分析隧道施工中的主要风险,结合历史数据和案例,探讨有效的应对措施,以保障施工安全。通过统计分析和图表展示,直观呈现隧道施工风险的现状、成因及防控策略,为隧道工程的安全管理提供科学依据。

关键词: 隧道施工; 风险; 措施

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.042

引言

隧道施工是一项极具复杂性与高风险性的工程活动,其施工环境独特,涉及多个施工环节与众多不确定因素。随着城市化进程的加速推进以及交通基础设施建设的蓬勃发展,隧道工程在公路、铁路、城市轨道交通等领域的应用日益广泛。然而,隧道施工过程中所遭遇的各类风险不容忽视,这些风险不仅可能导致工程进度受阻、成本超支,更可能对施工人员的生命安全构成严重威胁。因此,深入剖析隧道施工中的主要风险,并针对性地采取有效应对措施,对于保障隧道施工的安全、顺利进行具有至关重要的意义。

一、隧道施工中的主要风险

(一) 地质风险

1. 塌方事故

塌方作为隧道施工过程中最为频发的安全事故类型,其发生往往与复杂多变的地质条件密切相关。诸如围岩

强度不足、节理裂隙发育、断层破碎带等不利地质因素,均易致使洞体上方的土石结构因失去有效支撑而发生坍塌。特别是在软弱围岩区域,例如埋深较浅的山岭隧道、断层破碎带及其影响范围、岩层接触界面等关键地段,塌方的潜在风险尤为突出。此类事故一旦发生,不仅会导致施工机械严重损坏、人员伤亡,还可能对周边环境造成破坏,并严重阻碍施工进度正常推进。

2. 突水突泥

当隧道穿越含水地层或岩溶发育区域时,极易遭遇突水突泥这一严重地质灾害。此类现象主要由高压富水层、断层破碎带、岩层接触面以及岩溶洞穴等复杂地质构造所诱发。突水突泥事件以其突发性和强大的破坏力著称,一旦发生,将迅速淹没隧道作业面,不仅导致施工机械严重损毁,还可能造成人员伤亡,甚至进一步诱发更大规模的地质灾害,对隧道施工安全构成极大威胁。

表 1 两个典型的突水突泥事故案例

事故案例	发生时间	地点	死亡人数	失踪人数	受伤人数
云南省滇中引水工程	2022年5月4日	大理州大理市	2	1	-
鹤剑兰高速项目	2022年7月29日	-	2	1	4

3. 大变形与岩爆

在软质围岩区域,受高地应力作用影响,围岩变形量显著增大。若支护措施不到位或支护强度不足,极易引发大变形事故,严重威胁隧道结构安全与施工进度。而在硬岩高地应力区域,施工爆破作业易扰动原岩应力平衡,导致岩体内部潜能突然释放,引发岩爆现象。岩爆时,掌子面附近岩体发生剧烈破裂,岩片剥落、弹射甚至抛掷,对现场施工人员及机械设备构成直接威胁。

(二) 施工安全风险

1. 机械伤害

隧道施工中广泛使用挖掘机、装载机、隧道掘进机等大型工程机械。在有限的作业空间内,机械频繁操作增加了人员受伤的风险。机械伤害事故多因施工人员误操作、机械设备故障或现场安全管理缺失等因素引发,需加强机械操作培训与现场监管。

2. 火灾风险

隧道内大量使用机械设备与电气设备,如照明灯具、通风设备、施工机械等。若操作不当或维护不善,易引发火灾事故。加之隧道内部通风条件有限,一旦起火,火势将迅速蔓延,难以有效控制,可能造成严重后果。因此,需加强设备维护与火源管理。

3. 瓦斯爆炸与中毒

在煤层或含瓦斯气体地层中开挖隧道时,可能遭遇高浓度可燃气体。若通风系统不完善,瓦斯易积聚引发爆炸事故。同时,工作人员还面临吸入瓦斯、一氧化碳等有害气体的风险,可能导致中毒伤亡。需加强通风管理与气体监测。

4. 爆破伤害

隧道施工中常采用爆破作业进行岩石开挖。爆破伤害风险主要源于施工人员误操作、现场施工管理不到位等因素。爆破过程中产生的飞石、冲击波等危害,对施工人员及机械设备构成直接威胁。需加强爆破作业监管与人员培训。

(三) 环境风险

1. 噪音与振动

在钻孔、爆破、挖掘等作业环节,会产生强烈的噪音与振动。这些噪音嘈杂刺耳,振动也十分明显,严重影响周边居民的正常生活,干扰他们的休息与日常活动。更为严重的是,强烈的噪音与振动还可能对周边建筑物和设施造成结构性损害,威胁到建筑安全。因此,必须采取有效的降噪减振措施,如设置隔音屏障、采用低振动设备等,以减少施工对周边环境的影响。

2. 粉尘污染

隧道施工中会产生大量粉尘，包括钻孔粉尘、爆破粉尘、运输粉尘等。施工人员长期暴露在高浓度粉尘环境中，极易患上呼吸系统疾病，如尘肺病等，严重威胁他们的身体健康。同时，粉尘还会随风飘散，对周边环境造成污染，影响空气质量。所以，加强粉尘治理与防护措施刻不容缓，例如采用湿式作业、配备高效的除尘设备等。

3. 水污染

隧道施工过程中的废水排放、泥浆处理等环节，如果处理不当，会对周边水体造成污染。若废水未经处理直接排放，将会污染地下水或地表水，破坏周边生态环境，影响居民生活用水安全。因此，必须加强废水处理与排放管理，确保废水达标排放，保护水资源环境。

（四）管理风险

1. 管理制度不完善

管理制度不完善是隧道施工风险的重要诱因之一。若缺乏完善的安全管理制度、质量管理体系和环保管理制度等，将难以保证施工过程的规范性与有效性。需建立健全各项管理制度，明确施工工序、质量验收标准、安全防护措施等要求。

2. 人员安全意识不足

施工人员的安全意识和技能水平直接影响施工安全。部分施工人员缺乏必要的安全培训与教育，未能严格遵循安全操作规程，增加了事故发生风险。需加强安全培训与教育，提高施工人员的安全意识和技能水平。

3. 沟通协调不畅

隧道施工涉及多个专业和工种，需要各方密切配合与沟通协调。若沟通协调不畅，将导致施工过程中的信息传递不及时、不准确，引发各种矛盾和问题。需加强各方之间的沟通与协调，确保施工顺利进行。例如，加强设计与施工单位之间的沟通与协作，优化施工方案；加强施工单位内部各工种之间的协调与配合，提高施工效率与质量。

二、隧道施工风险的应对措施

（一）加强地质勘探与分析

1. 全面地质勘探

在项目启动前，必须执行详尽的地质勘探工作，以收集详尽的地质信息。采用地质雷达、钻探技术、声波探测等前沿勘探手段，精确掌握土层与岩层的分布特征、地下水位状况及地质构造详情。同时，对勘探数据进行深度剖析与评估，预测潜在的地质灾害风险，为施工方案的制定提供坚实的数据支撑。

2. 动态地质预报

施工过程中，应持续加强地质预报工作，依据施工揭露的地质实际情况，对风险进行动态评估与调整。一旦发现地质条件与设计预期存在偏差或出现异常状况，应立即调整施工方案，并采取相应的安全防护措施。例如，在软弱围岩区域增强支护强度，在含水地层强化防排水系统等。

（二）定期维护与检查施工设备

1. 建立设备管理制度

建立健全的设备管理制度，对施工设备进行定期维护与检查。制定详尽的设备维护计划，明确维护周期、维护内容及责任主体。同时，建立设备档案系统，记录设备的购置、使用、维护、报废等全生命周期信息，为设备管理提供全面支持。

2. 加强设备操作培训

对设备操作人员进行专业培训，确保其熟练掌握设备的正确操作方法与维护保养知识。通过模拟演练、案例分析等多元化培训方式，提升操作人员的技能水平与安全意识。同时，制定设备操作规程与安全管理制度，确保操作人员严格遵守规定执行。

（三）强化安全培训与意识提升

1. 定期组织安全培训

施工单位应定期组织安全培训，提升施工人员的安全意识与技能水平。培训内容应涵盖安全操作规程、事故案例分析、应急处理措施等多个方面。通过培训，使施工人员充分了解隧道施工中的安全风险与要求，掌握正确的操作方法与应急处理技能。

2. 开展安全宣传活动

通过张贴安全标语、悬挂安全警示牌、举办安全知识竞赛等多样化宣传活动，营造浓厚的安全文化氛围。使施工人员在潜移默化中增强安全意识，自觉遵守安全规定，形成全员参与安全管理的良好局面。

（四）建立水害与火灾应急预案

1. 制定应急预案

针对水害与火灾等潜在隐患，制定详细的应急预案。明确应急处理流程与责任分工，确保在突发事件发生时能够迅速、有效地进行应对。应急预案应包括事故报告程序、人员疏散方案、救援物资准备、现场处置措施等关键内容。

2. 定期组织应急演练

定期组织应急演练，提升施工人员的应急反应能力与团队协作能力。通过演练，检验应急预案的可行性与有效性，及时发现问题并进行修订与完善。同时，使施工人员熟悉应急处理流程与操作方法，提高应对突发事件的能力。

（五）实施安全监测与预警系统

1. 建立安全监测体系

利用现代科技手段，构建全方位的安全监测体系。在隧道施工现场设置传感器、监控设备等，实时监测施工现场的安全状况。监测内容应包括围岩变形、地下水位变化、瓦斯浓度、粉尘浓度等关键指标。通过监测数据分析，及时发现潜在隐患并采取相应措施进行处理。

2. 建立预警机制

根据监测数据与分析结果，建立预警响应机制。当监测指标超过预警值时，立即发出预警信号，通知相关人员采取措施进行处理。同时，建立应急响应机制，确保在突发事件发生时能够迅速启动应急预案进行应急处理。

（六）加强施工现场管理

1. 设立专门的安全生产管理人员

施工现场应设立专职安全生产管理人员，负责日常安全检查与隐患排查工作。安全生产管理人员应具备丰富的安全管理经验与专业知识，能够及时发现并处理施工现场的安全问题。

2. 建立安全巡查制度

建立定期安全巡查制度，对施工现场进行全面检查。巡查内容应包括施工工序、安全防护措施、设备运行状态等方面。发现问题及时整改，确保施工环境的安全稳定。

（七）完善安全生产责任制

1. 明确安全生产责任

明确各级管理人员与施工人员的安全生产责任，建立安全生产考核机制。通过签订安全生产责任书等方式，将安全生产责任落实到具体人员身上。同时，建立奖惩制度，对在安全生产工作中表现突出的个人与团队进行表彰与奖励，对违反安全生产规定的行为进行严肃处理。

2. 加强安全生产考核

定期对安全生产工作进行考核与评估，检查安全生产责任制的落实情况。通过考核与评估，发现问题及时整改，不断提升安全生产管理水平，确保隧道施工的安全顺利进行。

三、案例分析

（一）案例一：某隧道塌方事故

1. 事故概况

在某隧道的施工过程中，一场突如其来的塌方事故造成了严重的人员伤亡与机械损毁。该事故发生在地质条件较为脆弱的软弱围岩区域，由于支护措施的不当以及开挖进尺的过大，导致洞体上方的土石结构失去有效支撑，最终引发了塌陷灾难。



图1 隧道塌方现场

2. 事故原因分析

经过详尽的调查与分析，事故的主要原因可归结为以下几点：

地质勘探工作存在明显不足，对围岩的物理力学性质及稳定性评估不够深入，未能准确预判潜在风险。

施工方案制定不合理，支护措施设计强度不足，无法有效抵抗围岩压力。

施工管理存在漏洞，开挖进尺控制不当，严重违反了安全操作规程，加剧了事故风险。

3. 应对措施

针对此次事故，项目团队迅速采取了以下应对措施：

强化地质勘探与分析工作，运用先进技术手段，准确掌握围岩性质，为施工方案提供科学依据。

调整并优化施工方案，增强支护措施，合理控制开挖进尺，确保施工安全。

加强施工现场管理，严格执行安全操作规程，确保施工人员行为规范。

开展全面的安全培训与教育活动，提升施工人员的安全意识与技能水平，构建安全文化。

（二）案例二：某隧道突水突泥事故

1. 事故概况

某隧道在施工过程中遭遇了突水突泥事故，导致多人被困并造成机械损毁。该事故发生在富含地下水的地质层中，由于防排水措施的不完善及地质预报的滞后，大量地下水和泥沙突然涌入隧道，形成了严重的安全隐患。

2. 事故原因分析

经深入调查，事故的主要原因包括：

地质勘探工作不充分，对含水地层的分布、水量及渗透性了解不足。

防排水措施设计不合理或执行不到位，未能有效阻挡地下水和泥沙的涌入。

地质预报工作不及时，未能提前发现地质异常情况并采取相应的预防措施。

3. 应对措施

针对此次事故，项目团队采取了以下关键措施：

加强地质勘探与分析，运用高精度勘探技术，准确掌握含水地层情况，为防排水设计提供可靠依据。

制定详尽的防排水方案，采用多种防排水措施相结合，确保隧道施工安全。

强化地质预报工作，建立实时监测系统，及时发现并处理地质异常情况，调整施工方案。

建立完善的应急预案和应急响应机制，确保在突发事件发生时能够迅速、有效地进行处置，减少损失。

结语

隧道施工风险多样复杂，涉及地质、工艺、环境及管理等多方面。为保障施工安全高效，需全面剖析潜在风险并精准施策。可强化地质勘探、定期维护检查施工设备、深化安全教育培训、制定应急响应预案、部署监测预警技术、优化管理流程、健全安全生产责任制，多措并举降低风险，保障人员生命安全，确保工程平稳推进。

参考文献

- [1] 彭志敏. 隧道施工安全管理与风险预警技术研究[J]. 工程建设与设计, 2024, (24): 220-222.
- [2] 赵建华. 城市隧道施工风险分析与控制技术研究[J]. 价值工程, 2024, 43(36): 25-28.
- [3] 辛明辉, 张棒, 文贺刚, 等. 隧道施工风险模型构建及管理控制[J]. 交通节能与环保, 2024, 20(S2): 134-139+154.
- [4] 邝军培, 农志佳, 关传达, 等. 复杂地质铁路隧道施工安全风险与施工管理[J]. 交通节能与环保, 2024, 20(S2): 196-200.
- [5] 李丙尧. DX隧道工程施工风险管理策略研究[D]. 北京建筑大学, 2024.