

山区隧道建设地质灾害研究

江传华

四川广南高速公路有限责任公司 四川 南充 637000

摘要：山区隧道建设面临多种地质灾害的威胁，主要包括崩塌、滑坡、泥石流、涌水突泥以及瓦斯爆炸与突出等。这些灾害不仅严重影响施工进度和安全，还可能对周边环境造成重大破坏。本文通过分析地质灾害的类型和成因，探讨了山区隧道建设中的地质灾害防治措施，包括地质勘察与评估、设计优化和施工过程控制等方面。旨在为山区隧道建设提供科学指导，降低地质灾害风险，确保工程安全顺利进行。

关键词：山区隧道；建设；地质灾害

引言

山区隧道建设作为交通基础设施的关键一环，对于推动区域交通发展具有不可替代的作用，地质灾害的频发，特别是崩塌、滑坡、泥石流等，已成为制约山区隧道建设进度和安全的关键因素，深入探究山区隧道建设中的地质灾害问题，提出科学有效的防治措施，不仅关乎工程安全，更对区域交通发展具有深远影响。这不仅是技术层面的需求，更是保障人民生命财产安全的迫切要求。

1 山区隧道建设地质灾害类型

1.1 崩塌

在山区隧道建设的复杂环境中，崩塌成为了一种不可忽视的地质灾害，其成因主要源于隧道进出口处或洞身穿越地带的山体岩石节理裂隙发育充分，岩石破碎严重^[1]。这些原本就脆弱的岩石结构，在隧道开挖过程中受到强烈扰动，加之地下水活动的侵蚀以及地震等自然因素的触发，使得岩体逐渐失去原有的平衡状态，最终导致崩落现象的发生。以花岗岩地区为例，长期的风化作用使得岩石内部产生了大量的裂隙，岩石的整体性和稳定性大打折扣。当隧道开挖工作推进时，周边岩体的应力分布发生了显著变化，原本被裂隙分割的岩体在应力的作用下更加容易发生断裂和崩落。这种崩塌现象不仅会对施工场地造成严重破坏，掩埋施工设备，导致施工活动的中断，更会在隧道洞口处形成巨大的障碍，堵塞交通要道，使得后续的施工材料和设备无法顺利运输，对整个工程进度和安全构成严重威胁。

1.2 滑坡

山区隧道建设中，滑坡作为一种常见的地质灾害，其成因与危害均不容忽视。滑坡的发生，往往与隧道穿越的山体地质条件密切相关。当山体中存在软弱夹层，并且坡体较为陡峭时，隧道开挖过程中的扰动可能彻底

改变山体原有的应力平衡状态。在这种不平衡的应力作用下，坡体容易沿着软弱面发生滑动，形成滑坡。降雨也是滑坡发生的重要诱发因素。雨水渗透进土体和岩石中，不仅增加了它们的重量，还降低了软弱面的抗剪强度。这种双重作用使得滑坡更容易发生，且规模可能更大。滑坡带来的危害是巨大的。一旦滑坡体发生移动，它们可能迅速掩埋隧道洞口或部分洞身，对正在进行的施工活动构成直接威胁。已完成的支护结构也可能在滑坡的冲击下遭到破坏，导致施工安全的严重受损。更为严重的是，大规模滑坡还可能对周边生态环境造成严重影响，破坏植被，改变地形地貌，甚至可能引发泥石流等次生灾害。

1.3 泥石流

山区隧道施工活动中，泥石流作为一种极具破坏力的自然灾害，其成因与危害均值得深入关注。在隧道施工过程中，若大量弃渣被不合理地堆放，这破坏了山坡原有的植被覆盖，还严重干扰了自然排水系统。一旦遭遇暴雨等极端天气条件，这些松散堆积的物质在雨水的冲刷和浸润下，极易形成高速流动的泥石流。隧道开挖过程中，对山体的扰动导致岩石和土壤松动，为泥石流提供了丰富的固体物质来源。这些松动物质在雨水的携带下，进一步加剧了泥石流的形成和危害程度。泥石流的危害是显而易见的。它们能够迅速冲毁施工营地，埋没施工机械和材料，对施工人员的生命安全构成极大威胁。泥石流还可能堵塞附近的河道，影响当地的水利设施正常运行，进而对生态平衡造成破坏。

1.4 涌水突泥

山区隧道施工中，涌水突泥是一种极具破坏性的地质灾害，其成因与地质条件密切相关，当隧道穿越岩溶发育地区、富水断层或裂隙含水层时，这些区域通常储存了大量的地下水，在隧道掘进过程中，一旦揭穿这些

富水通道,地下水便会在巨大压力的作用下迅速涌入隧道。更为严重的是,当这些地下水携带大量泥沙时,便会形成涌水突泥灾害。以石灰岩地区为例,该地区的岩溶洞穴和管道发育广泛,形成了复杂的地下水系统。隧道施工一旦触及这些富水通道,地下水便会如脱缰野马般涌入隧道,其势不可挡。而泥沙的混入,则进一步加剧了涌水突泥的破坏力。涌水突泥的危害不容小觑。它会迅速淹没隧道掌子面,冲垮初期支护结构,导致施工人员面临被困的危险,施工设备也可能因此损坏。更为严重的是,大量涌水还可能引发地面塌陷等次生灾害,对周边环境造成毁灭性的破坏。这种灾害不仅会影响施工进度,更会对施工人员的生命安全构成严重威胁。

1.5 瓦斯爆炸与突出

在山区隧道施工中,若隧道穿越含煤地层或其他富含瓦斯的地层,瓦斯爆炸与突出便成为必须警惕的重大安全隐患。这些地层中,瓦斯通常以游离态或吸附态存在于岩石孔隙和裂隙中。隧道开挖过程中,施工活动会破坏瓦斯的储存和运移平衡,导致瓦斯泄漏到隧道空间内。当瓦斯浓度达到爆炸极限范围(通常为5%至16%),一旦遇到火源,如爆破作业产生的火花、电气设备故障产生的电弧等,就可能引发瓦斯爆炸。爆炸产生的巨大能量会瞬间摧毁隧道内的支护结构,造成隧道坍塌,同时释放出高温高压的气体和火焰,对施工人员构成致命威胁。当瓦斯压力较大且岩石强度不足以抵抗时,还可能发生瓦斯突出。这是一种更为猛烈的灾害现象,大量瓦斯和岩石碎块会在极短时间内从地层中喷出,形成强大的冲击波和气流,对隧道施工设备和人员造成毁灭性的打击。瓦斯爆炸与突出不仅会造成严重的人员伤亡和财产损失,还可能引发火灾等次生灾害。

2 地质灾害成因

地质灾害在山区隧道建设中是一个复杂且严峻的问题,其成因涉及多个方面。(1)地质条件在其中起着主导作用,复杂的地质状况往往是灾害发生的根源。像断层这种地质构造,其两侧的岩石在应力作用下发生了位移和破碎,当隧道穿越时,这种破碎的岩石极易失去稳定性,引发坍塌等灾害,破碎带也是同理,岩石的完整性遭到破坏,自身强度降低,为地质灾害埋下隐患^[2]。岩溶地区存在大量的溶洞和地下河,这些空洞会使隧道上方的岩体失去支撑,在重力作用下可能导致地面塌陷或隧道结构变形。(2)地下水对地质灾害的产生有着不可忽视的影响,它是引发塌陷等灾害的关键不利因素。地下水会渗透到岩体中,与岩石中的矿物质发生化学反应,使岩体逐渐软化。这种软化作用会使原本稳定的岩

体强度下降,进而导致隧道周围的松动带范围不断扩大。地下水的存在还会改变岩体的应力状态,对围岩和隧道结构的变形控制造成极大阻碍,使得隧道更容易出现裂缝、变形甚至坍塌等问题。(3)施工扰动在隧道建设过程中也容易引发地质灾害。在开挖隧道时,尤其是采用钻爆法等方式,会对围岩产生强烈的扰动。这种扰动破坏了围岩原有的应力平衡,使得围岩产生松动、裂隙扩展等现象。如果在施工过程中没有采取适当的措施来控制这种扰动的影 响,就可能 导致围岩失稳,进而引发塌方、冒顶等地质灾害。

3 山区隧道建设地质灾害防治措施

3.1 地质勘察与评估

在山区隧道建设过程中,地质勘察与评估是预防地质灾害的首要防线,犹如为整个工程绘制精准的“导航图”和“风险预警书”。详细地质勘察是一个多维度、全方位的工作。(1)在隧道建设前期,地面地质调查是基石。专业人员如同敏锐的侦探,穿梭于山区,考察隧道沿线的每一寸土地。他们仔细观察地形地貌,山脉的起伏、山谷的深邃、坡面的陡缓等信息都被一一记录。这些地形地貌特征往往暗示着潜在的地质问题,比如陡峭山坡可能存在滑坡隐患,山谷地区可能有泥石流风险。对地层岩性的勘察同样关键,不同的岩石和土壤类型决定了其稳定性和承载能力。通过观察露头岩石、分析土层剖面,初步判断地层的复杂程度。(2)钻探工作则是深入地下的“探针”。随着钻探设备深入地层,不同深度的岩土样本被提取出来。这些样本随后在实验室中接受全面分析,其物理力学性质被逐一剖析。密度反映了岩土的质量分布,抗压强度决定了它能承受的压力极限,孔隙率则关乎地下水的储存和流动特性。这些参数是评估隧道围岩稳定性的重要依据。(3)物探方法更是为我们打开了“透视”地下的窗口。地震勘探利用地震波在地下传播的特性,当地震波遇到不同地质构造时会产生反射、折射和散射。通过对这些波的分析,就像解读神秘的密码,能够清晰地揭示地下隐伏的地质构造,断层、褶皱等不再是隐藏的“暗礁”。电法勘探则对岩溶等特殊地质体有独特的探测能力,通过测量地下电场的变化,发现那些可能导致隧道涌水突泥的岩溶洞穴和富水通道。

3.2 设计优化

在山区隧道建设中,设计优化对于减少地质灾害影响至关重要,主要体现在隧道线路优化和支护结构设计优化两个方面。(1)对于隧道线路优化,地质勘察结果是关键依据。在规划隧道线路时,要极力规避那些地质

条件复杂、灾害风险高的地带。大型断层带就像隐藏在地下的“雷区”，岩石破碎且应力状态复杂，地下水极易在此富集，会引发诸如塌方、涌水突泥等严重地质灾害。岩溶强烈发育区也是“危险地带”，其内部溶洞、暗河纵横交错，可能导致隧道施工时突然遭遇大规模的涌水、突泥，使工程陷入困境。受多种因素限制，有时无法完全绕开这些不良地质区域。选择恰当的穿越角度就成为降低灾害影响的重要手段。合适的角度能使隧道在通过复杂地质区域时，尽可能减少与不良地质体的接触面积和相互作用，降低围岩失稳、地下水渗漏等风险，保障施工安全和进度。（2）支护结构设计优化同样要依据隧道的地质条件和预测的地质灾害类型。在软弱围岩地段，围岩的承载能力和稳定性很差。钢拱架作为主要的支撑构件，能够承受来自围岩的压力，为隧道提供稳固的框架；锚杆如同“定海神针”，深入围岩内部，将松散的岩体锚固在一起，增强围岩的整体性；喷射混凝土则像一层“保护衣”，迅速封闭围岩表面，防止其受到风化、雨水等侵蚀而进一步松动。这三种支护方式联合使用，能显著增强围岩的稳定性，避免塌方事故。在富水地段，地下水是隧道结构的“天敌”。防水板的设置犹如一道坚固的“防线”，有效阻挡地下水渗入隧道内部；排水系统则像“疏通管道”，及时将地下水排出，降低水压对隧道衬砌的破坏作用，防止地下水对隧道的侵蚀，保障隧道结构的长期稳定。

3.3 施工过程控制

在山区隧道建设中，施工过程控制是保障工程顺利进行、应对地质灾害的关键环节，涵盖合理选择施工方法、加强施工质量管理以及应急处理措施等重要方面。第一，合理选择施工方法对于隧道建设意义重大。施工方法需与隧道的地质条件和规模相匹配，在围岩稳定性良好的地段，全断面法施工是理想之选。这种方法能一次性开挖整个隧道断面，充分发挥大型施工机械的优势，极大提高施工效率，缩短工期^[1]。当面对软弱围岩或地质复杂地段时，情况则大不相同。此时，应优先考虑新奥法等施工方法，这类方法强调充分发挥围岩的自承能力。在施工过程中，密切关注围岩变化，依据实时

监测数据及时调整施工参数。当发现围岩变形速率加快时，适当调整支护的时机和强度，确保施工安全和围岩稳定。第二，加强施工质量管理是确保隧道质量和安全的核心。施工过程的每个环节都必须严格把控。爆破作业作为关键环节之一，需精细控制。通过优化爆破参数、采用先进的爆破技术，减少对围岩的扰动，防止因爆破引发的围岩松动、坍塌等问题。支护结构的施工质量是重中之重。锚杆的锚固长度必须符合设计要求，这样才能保证锚杆与围岩的有效连接，发挥其加固作用；喷射混凝土的厚度要达标，确保能为围岩提供可靠的防护。注浆加固工作不可或缺，它能有效填充围岩裂隙，提高围岩的强度和整体性，增强隧道的稳定性。第三，应急处理措施是应对地质灾害的最后防线。完善的应急预案是关键，针对可能出现的各种地质灾害，如塌方、涌水等，准备周全的应急处理措施。在施工现场配备充足的应急抢险设备，像抽水机用于应对涌水情况，装载机可用于清理塌方土石等；储备各类应急物资，如沙袋可用于临时封堵、木材可用于支撑等。组织训练有素的应急救援队伍，并定期开展应急演练，保证在灾害发生时能迅速响应，最大程度减少人员伤亡和财产损失。

结语

综上，山区隧道建设地质灾害的防治需全面考虑，从地质勘察到设计优化，再到施工控制，每个环节都至关重要。借助科学方法和先进技术，我们能够有效降低地质灾害的威胁，保障山区隧道建设的安全与稳定。展望未来，随着科技持续进步和经验的不断积累，山区隧道建设将迈向更加安全、高效的新阶段。这不仅将推动交通基础设施的完善，更将为区域经济发展注入强劲动力。

参考文献

- [1]谢毅,徐正宣,陈明浩,等.山区铁路隧道超长定向钻探关键技术研究[J].铁道工程学报,2022,39(8):1-5,11.
- [2]王志强,马晓亮.山区公路隧道施工地质预报综合技术研究[J].公路工程,2019,44(1):238-243.
- [3]李有明,刘长青,朱一基,等.山区公路建设中复杂工程地质问题及对策研究[J].工程勘察,2021,49(2):31-35.