

隧道工程施工中的地质灾害风险评估与应对策略

王彦伟

新疆北新岩土工程勘察设计有限公司 新疆 乌鲁木齐 831400

摘要: 本文聚焦于隧道工程施工中的地质灾害问题,深入探讨地质灾害风险评估的方法与重要性,并针对性地提出一系列应对策略。通过对地质灾害的全面分析,旨在为隧道工程的安全施工提供理论支持与实践指导,降低地质灾害对工程的影响,保障施工人员的生命安全和工程的顺利进行。

关键词: 隧道工程; 地质灾害; 风险评估; 应对策略

引言

隧道工程作为现代交通、水利等基础设施建设的重要组成部分,在促进区域经济发展、改善交通条件等方面发挥着关键作用。然而,隧道工程施工往往面临着复杂多变的地质条件,地质灾害频繁发生,给工程带来了巨大的安全风险和经济损失。地质灾害不仅可能导致隧道塌方、涌水、突泥等严重事故,还会延误工期、增加工程成本,甚至对周边环境和居民生活造成不利影响。因此,对隧道工程施工中的地质灾害进行科学的风险评估,并制定有效的应对策略,具有重要的现实意义。

1 隧道工程施工中常见地质灾害类型及成因分析

1.1 塌方

塌方是隧道施工中最为常见的地质灾害之一。其成因主要包括地质构造因素,如断层、褶皱等地质构造带,岩石破碎、节理发育,降低了岩体的稳定性;水文地质因素,地下水的存在使岩体软化,增加了孔隙水压力,削弱了岩体的抗剪强度;施工因素,如开挖方法不当、支护不及时或支护强度不足等,破坏了岩体的原始平衡状态,导致塌方事故的发生。

1.2 涌水与突泥

涌水和突泥通常与地下水的活动密切相关。当隧道穿越富含地下水的地质层时,如岩溶发育区、断层破碎带等,地下水在压力作用下可能突然涌入隧道,携带大量泥沙形成突泥。此外,不合理的施工排水措施也可能破坏地下水的平衡,引发涌水和突泥灾害。这些灾害不仅会影响施工进度,还可能对施工设备和人员安全造成严重威胁。

1.3 岩爆

岩爆主要发生在地应力地区的硬岩隧道施工中。在开挖过程中,岩体中的应力突然释放,导致岩石碎片弹射出来,对施工人员和设备造成伤害。岩爆的发生与岩石的物理力学性质、地应力大小和方向以及施工方法

等因素有关。例如,岩石的脆性越大、地应力越高,发生岩爆的可能性就越大。

1.4 有害气体

在一些特殊地质条件下,隧道施工中可能会遇到有害气体,如瓦斯、硫化氢等。这些气体主要来源于煤层、含硫地层等。有害气体的积聚不仅会对施工人员的身体健康造成危害,还可能引发爆炸等严重事故,给隧道施工带来极大的安全隐患^[1]。

2 隧道工程施工地质灾害风险评估方法

2.1 定性评估方法

定性评估方法宛如一位经验丰富的“老中医”,主要依据专家的经验 and 知识,对隧道工程可能面临的地质灾害风险进行主观判断和描述。它虽然缺乏精确的量化指标,但凭借专家们的丰富经验和敏锐洞察力,能够在短时间内对地质灾害风险有一个大致的了解和判断。常用的定性评估方法包括安全检查表法、专家调查法等。安全检查表法就像是一份详细的“体检清单”,通过制定详细的检查表,对隧道施工中的各个环节和因素进行逐一检查,识别潜在的地质灾害风险。检查表的内容涵盖了地质条件、施工工艺、设备状况、人员操作等多个方面。例如,在检查地质条件时,会检查隧道沿线是否存在断层、褶皱等地质构造带,是否存在富含地下水的地质层等;在检查施工工艺时,会检查开挖方法是否合理,支护是否及时等。通过这种全面细致的检查,能够发现施工中存在的潜在风险因素,为后续的风险评估和防范提供依据。专家调查法则是邀请相关领域的专家,根据他们的经验和专业知识,对地质灾害风险进行评估和预测。专家们就像一群智慧的“智囊团”,他们会综合考虑各种因素,如地质条件、施工环境、历史数据等,对地质灾害发生的可能性和后果严重程度进行主观判断。在调查过程中,专家们可以通过会议讨论、问卷调查等方式,充分发表自己的意见和看法,最终形

成对地质灾害风险的评估结论。定性评估方法具有简单易行、快速有效的特点，能够在短时间内为工程决策提供参考。然而，由于评估结果受专家主观因素的影响较大，不同专家可能会得出不同的评估结论，缺乏客观性和精确性。

2.2 定量评估方法

定量评估方法则像是一位严谨的“科学家”，运用数学模型和统计方法，对地质灾害风险进行量化分析。它通过将各种影响因素进行量化处理，建立数学模型，计算出地质灾害发生的概率和可能造成的损失，为工程决策提供更加准确和科学的依据。常见的定量评估方法有层次分析法、模糊综合评价法、蒙特卡罗模拟法等。层次分析法通过将复杂的问题分解为多个层次，建立层次结构模型，就像搭建一座“金字塔”，将地质灾害风险的各个影响因素按照层次进行分类和排序。然后对各层次的因素进行两两比较，确定其相对重要性，最终计算出地质灾害风险的综合评估值。例如，在评估隧道塌方风险时，可以将影响塌方的因素分为地质构造、水文地质、施工因素等几个层次，然后对每个层次中的因素进行两两比较，确定它们的权重，最后通过计算得出塌方风险的综合评估值。模糊综合评价法利用模糊数学的理论，将地质灾害风险的各个影响因素进行模糊化处理。由于地质灾害风险往往具有模糊性和不确定性，很难用精确的数值来描述。模糊综合评价法通过建立模糊综合评价模型，将各个影响因素的模糊评价结果进行综合，得出地质灾害风险的综合评价结果。例如，在评估涌水风险时，可以将涌水的可能性分为高、中、低三个等级，将涌水的后果严重程度分为严重、一般、轻微三个等级，然后通过模糊综合评价法计算出涌水风险的综合评价等级。蒙特卡罗模拟法则是通过随机抽样和统计试验的方法，模拟地质灾害的发生过程^[2]。它就像一个“虚拟实验室”，通过大量的随机抽样和模拟试验，计算出地质灾害发生的概率和可能造成的损失。例如，在评估岩爆风险时，可以通过蒙特卡罗模拟法模拟岩体中的应力分布和变化情况，计算出岩爆发生的概率和可能造成的破坏范围。定量评估方法具有客观性强、精度高的优点，但对数据的要求较高，计算过程较为复杂，需要专业的技术人员和软件支持。

2.3 半定量评估方法

半定量评估方法是介于定性评估和定量评估之间的一种评估方法，它就像是一位“折中主义者”，结合了定性和定量的特点，既考虑了专家的经验 and 主观判断，又运用了一定的数学方法进行量化分析。例如，风险矩

阵法就是一种常用的半定量评估方法。该方法通过建立风险矩阵，将地质灾害发生的可能性和后果严重程度分别划分为不同的等级，就像绘制一张“风险地图”。然后将两者对应起来，确定风险等级。风险矩阵通常采用表格的形式，横轴表示地质灾害发生的可能性，纵轴表示地质灾害后果的严重程度。在评估过程中，根据专家的经验 and 判断，确定地质灾害发生的可能性和后果严重程度所属的等级，然后在风险矩阵中找到对应的风险等级。例如，如果地质灾害发生的可能性为“可能”，后果严重程度为“严重”，那么对应的风险等级就是“高风险”。半定量评估方法操作相对简单，评估结果具有一定的客观性和可比性，在实际工程中得到了广泛的应用。它既避免了定性评估方法的主观性过强的问题，又克服了定量评估方法对数据要求过高和计算过程复杂的缺点，能够在较短的时间内为工程决策提供较为准确的风险评估结果。

3 隧道工程施工地质灾害应对策略

3.1 施工前的预防措施

施工前，地质勘察工作务必细致入微。要运用先进技术与设备，精确探明隧道沿线的地层岩性，清晰掌握不同岩层的分布、厚度及特性；深入分析地质构造，明确断层、褶皱等构造的位置、规模与走向；详细了解水文地质状况，包括地下水的类型、水位、补给来源及动态变化。依据勘察结果，组织多领域专家共同研讨，制定贴合实际、科学合理的施工方案与地质灾害防治预案。方案要涵盖施工流程、技术参数、资源配置等；预案需明确各类地质灾害的预警指标、响应流程、救援力量调配等。对施工人员进行全面且有针对性的安全培训和技术交底。培训内容不仅包括地质灾害的基本知识、危害程度，还应着重讲解应对方法和逃生技巧。技术交底要详细说明施工中的关键环节、操作要点及注意事项。通过培训与交底，增强施工人员的安全意识，提升其应对地质灾害的实战能力。提前准备好充足的应急救援设备和物资。抢险救援车辆要性能良好、随时待命；排水设备应根据隧道可能遇到的涌水量进行合理选型和储备；支护材料要种类齐全、质量可靠，确保在地质灾害发生时能迅速投入使用，为救援和处理争取宝贵时间。

3.2 施工过程中的监测与预警

构建完善的地质灾害监测系统是及时发现和预警地质灾害的核心。在隧道施工中，综合运用多种监测手段，形成全方位、多层次的监测网络。地表沉降监测可采用精密水准仪、全站仪等设备，定期对隧道上方及周边地表的高程变化进行测量，及时掌握地表沉降情况。

地下水位监测通过设置水位观测孔,利用水位计等仪器,实时监测地下水位的变化,分析其与施工的关联。围岩应力监测运用应力传感器、应变计等设备,安装在围岩内部,实时获取围岩的应力应变数据,判断围岩的稳定性。安排专业人员对监测数据进行实时分析和处理,运用专业的数据分析软件和模型,结合施工进度和地质条件,准确判断地质灾害的发展趋势。一旦发现监测数据异常,如地表沉降速率突然增大、地下水位急剧上升、围岩应力超过预警值等,立即发出预警信号。预警信号发出后,现场管理人员要迅速做出反应,立即停止施工,通过广播、喊话等方式组织人员有序撤离危险区域。同时,启动相应的应急措施,如加强支护、反压回填等,防止地质灾害进一步扩大,保障人员生命安全和工程设施的稳定。

3.3 针对不同地质灾害的应对措施

(1) 塌方灾害。小规模塌方时,先清理塌方体,使用小型机械设备或人工将塌落的土石方清除,同时加强支护,采用钢支撑、锚杆、喷混凝土等支护方式,增强塌方段的稳定性。大规模塌方则先进行加固处理,注浆加固可通过向塌方体及周围围岩注入水泥浆、化学浆等材料,提高围岩的强度和整体性;锚杆加固是在塌方体中设置锚杆,将松散的岩体连接成一个整体。加固完成后再进行清理和支护,确保施工安全。(2) 涌水和突泥灾害。设置合理的排水系统是关键。在隧道内设置排水沟、集水井等设施,将地下水引入排水系统,通过水泵及时排出隧道。对于突泥灾害,注浆堵水是常用方法,通过向突泥部位注入浆液,填充空隙,阻止泥浆的继续涌出;设置止水帷幕可在隧道周边形成一道隔水屏障,减少地下水的渗入。(3) 岩爆灾害。采取降低地应力、改善岩石受力条件的措施。超前钻孔释放地应力是在掌子面前方钻设一定数量和深度的钻孔,让高应力区的岩石应力得到部分释放。喷洒水降低岩石温度,可减少岩石因温度升高而产生的膨胀应力,降低岩爆发生的可能性。(4) 有害气体灾害。加强通风管理,采用机械通风方式,合理布置通风设备和风管,确保隧道内空气流通顺畅,降低有害气体浓度。配备先进的有害气体检测设备,如瓦斯检测仪、一氧化碳检测仪等,实时监测有害气体含量。当有害气体浓度超过安全标准时,立即停止

施工,加强通风,必要时组织人员撤离,并采取相应的处理措施,如使用化学药剂中和有害气体等^[3]。

3.4 施工后的总结与改进

隧道工程施工完成后,组织专业团队对整个施工过程中的地质灾害情况进行全面总结和分析。评估地质灾害风险评估的准确性和应对策略的有效性,通过对比实际发生的地质灾害情况与预先评估的结果,找出风险评估中存在的偏差和不足。总结施工过程中的成功经验和教训,如哪些防治措施取得了良好效果,哪些环节存在安全隐患和管理漏洞。将这些经验和教训整理成详细的报告,为今后类似工程提供宝贵的参考。针对施工过程中存在的问题和不足之处,深入分析原因,提出切实可行的改进措施和建议。例如,如果发现监测系统的某些监测手段不够灵敏,可考虑引入更先进的监测技术和设备;如果应急救援预案在实施过程中存在协调不畅的问题,可对应急组织架构和响应流程进行优化。通过不断完善地质灾害防治体系,提高隧道工程施工的安全性和可靠性,为后续工程建设提供有力保障。

结束语

隧道工程施工中的地质灾害风险评估与应对是一个复杂而重要的课题。通过对常见地质灾害类型及成因的分析,我们可以认识到地质灾害对隧道工程的严重危害。科学合理的地质灾害风险评估方法能够为工程施工提供准确的风险信息,保障施工安全、优化施工方案、合理安排资源。而有效的应对策略则可以在地质灾害发生前进行预防,在发生时及时预警和处理,降低灾害损失。在今后的隧道工程实践中,我们应不断加强地质灾害风险评估与应对的研究,提高技术水平和管理能力,确保隧道工程的安全施工和可持续发展。同时,还应加强各部门之间的协作与配合,形成全社会共同参与的地质灾害防治格局,为隧道工程建设创造良好的环境。

参考文献

- [1]刘明.地质风险评估与管理研究[J].地质灾害与环境保护,2020,31(4):72-78.
- [2]李华,王建国.隧道工程中地质风险应对策略的研究与实践[J].地下工程与隧道建设,2019,8(2):45-50.
- [3]张文,赵伟.隧道工程地质风险案例分析及启示[J].岩石力学与工程学报,2018,37(12):2976-2982.