

# TBM隧道施工中的地质灾害安全风险评估与管理

任景奇

中国水利水电第三工程局有限公司

**摘要：**本文主要探讨了TBM（隧道掘进机）隧道施工中地质灾害的安全风险评估与管理。文章首先分析了TBM隧道施工中可能遇到的各类地质灾害，如岩层塌陷、水与泥的突入、地下水压力异常等，并探讨了这些灾害对施工安全的潜在威胁。随后，本文提出了一套综合性的地质灾害风险评估方法，结合现场监测数据、地质勘察报告和数值模拟，对灾害发生的可能性和潜在影响进行了量化分析。最后，针对评估结果，本文提出了一系列风险管理措施，以确保TBM隧道施工的安全性，减少地质灾害对工程进度和人员安全的影响。

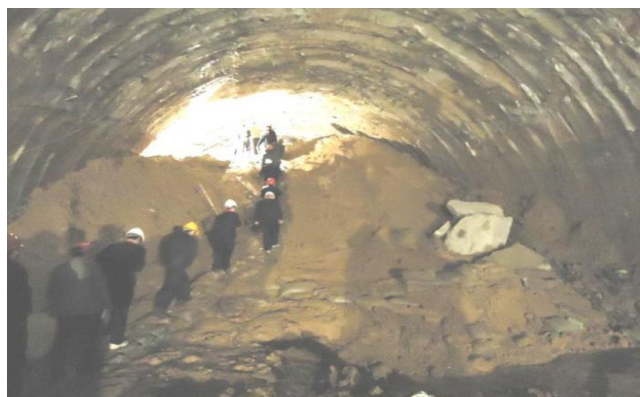
**关键词：**TBM隧道施工；地质灾害；安全风险评估；风险管理；数值模拟

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.011

## 引言

随着城市化进程的加快，TBM（隧道掘进机）隧道施工在基础设施建设中扮演着越来越重要的角色。然而，施工过程中可能遇到的地质灾害给工程安全带来了巨大挑战。如何有效评估和管理这些安全风险，成了确保工程顺利进行的关键。本文旨在探讨TBM隧道施工中地质灾害的风险评估方法和管理措施，以期对相关领域的研究和实践提供有益的参考和启示。

### 一、TBM隧道施工中地质灾害的类型与特征



TBM（隧道掘进机）隧道施工是现代隧道工程中的一种主要施工方法，但在施工过程中，地质条件的复杂性和不确定性常常导致各种地质灾害的发生。这些灾害不仅影响施工进度，还可能对施工人员的生命安全和工程质量造成严重威胁。因此，了解TBM隧道施工中可能遇到的地质灾害类型及其特征如图1。

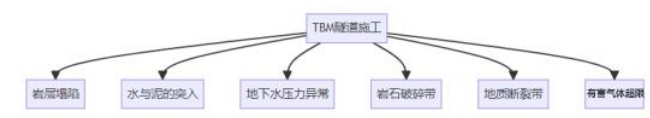


图1中有害气体超限

#### （一）岩层塌陷

当TBM掘进到不稳定的岩层时，岩层可能会突然塌陷，形成一个大的空腔。这种塌陷通常是由于岩层内部的应力释放或岩层与周围岩石的相互作用导致的。

#### （二）水与泥的突入

在TBM掘进过程中，如果遇到含有大量地下水的地层，地下水可能会突然涌入隧道，带入大量的泥沙，导致隧道充水或泥浆流动，严重影响施工进度。

#### （三）地下水压力异常

在某些地质条件下，地下水的压力可能会远高于正常值，这种异常的水压可能会导致隧道的局部破裂或整体变形。

#### （四）岩石破碎带

岩石破碎带是由于地质作用导致的岩石破碎和错动形成的区域。当TBM掘进到这些区域时，由于岩石的不连续性和破碎性，可能会导致掘进速度减慢或机器损坏。

#### （五）地质断裂带

地质断裂带是地壳内部由于应力作用产生的断裂。这些断裂带通常伴随着大量的地下水和有害气体，当TBM掘进到这些区域时，可能会遇到涌水涌沙和有害气体突入问题。

#### （六）有害气体超限

在某些岩层或地层中，可能存在大量的有害气体。当TBM掘进到这些地层时，有害气体可能会突然释放，形成有害气体超限现象，严重威胁施工人员的生命安全。

总之，TBM隧道施工中的地质灾害具有多样性和复杂性，需要对这些灾害进行深入的研究和分析，以确保施工的安全性和工程的质量。

### 二、地质灾害对TBM隧道施工安全的影响分析

地质灾害是TBM隧道施工中不可忽视的安全隐患之一，其发生会对施工安全、工程质量、施工进度、设备状态以及环境造成多方面的影响。因此，深入分析地质灾害对TBM隧道施工安全的影响，是确保工程安全、提高施工效率的重要环节。

首先，地质灾害直接威胁到施工人员的生命安全。例如，岩层塌陷和有毒有害气体超限等灾害可能导致隧道坍塌、中毒，造成人员伤亡和财产损失。此外，地下水压力异常和水与泥的突入等灾害会导致隧道充水、泥浆流动，增加施工难度，也可能危及到施工人员的安全。因此，加强地质灾害的预防和应对措施，是保障施工人员生命安全的前提。

其次，地质灾害会严重影响工程质量。地质灾害的发生会导致隧道壁的不稳定，增加隧道变形和破裂的风险。例如，地质断裂带和岩石破碎带的存在会导致岩石的不连续性和破碎性，增加隧道的应力和变形，从而影响隧道的稳定性和使用寿命。因此，对于这些地质灾

害，需要进行详细的地质勘查和评估，制定合理的施工方案，以确保工程质量。

最后，地质灾害还会影响施工进度和设备状态。灾害的发生会导致施工中断，增加施工成本和工期。同时，地质灾害如岩石破碎带和地质断裂带等，会加大TBM掘进的难度，导致设备的过度磨损和损坏，增加设备的维修和更换成本。此外，地质灾害还可能导致环境的破坏，如地下水污染、地表沉降等，给周围环境带来不利影响。

以下是一个图表2，展示了地质灾害对TBM隧道施工

安全的多方面影响：

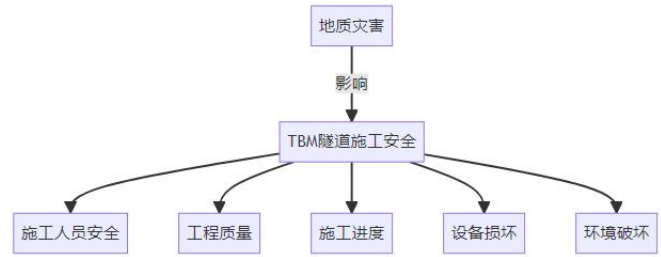


图2

表2

影响方面	影响描述	产生的后果
施工人员安全	地质灾害可能导致隧道坍塌、瓦斯爆炸，危及人员生命安全	施工人员伤亡
工程质量	地质灾害会导致隧道壁不稳定，增加隧道变形和破裂风险	工程质量不达标
施工进度	灾害的发生会导致施工中断，增加工期	施工进度滞后
设备	地质灾害会加大TBM掘进难度，导致设备过度磨损和损坏	设备损坏
环境	地质灾害可能导致地下水污染、地表沉降等环境问题	环境破坏

综上所述，地质灾害对TBM隧道施工安全的影响是多方面的，需要采取有效的预防和应对措施，以减轻灾害带来的不利影响。

### 三、综合性地质灾害风险评估方法的建立

在TBM隧道施工中，地质灾害的发生可能会对工程安全、施工进度、工程质量等方面产生严重影响。因此，建立一套综合性地质灾害风险评估方法，对于预防地质灾害的发生，确保工程的顺利进行具有重要意义。

综合性地质灾害风险评估方法主要包括以下几个步骤：首先，进行地质勘查，了解施工区域的地质条件，包括岩层结构、地质断裂带、地下水条件等，以确定可能存在的地质灾害类型和特征。其次，根据地质勘查结果，评估各类地质灾害的发生概率和可能造成的损失，从而确定地质灾害的风险等级。接下来，制定针对不同风险等级的地质灾害的预防和应对措施，以减轻地质灾害对工程的不利影响。同时在不良地质地段应进行超前地质预报，地质预报随开挖宜每循环进行一次，包括掌子面、左右侧墙、拱顶和隧底；超前水平孔，宜每30-50m循环一次；地震反射波和超声波发射法连续预报时，前后两次重叠长度应大于5m。施工开挖中的实际地质情况与预报结果应对比分析、总结，如有异常及时上报，采取相应处理措施。

最后，实施风险监控，对施工过程中的地质条件进行实时监测，以及及时发现并处理地质灾害，确保工程安全。

在评估地质灾害的风险等级时，通常会考虑多个因素，包括地质灾害的类型、发生概率、可能造成的损失等。这些因素可以通过地质勘查、历史灾害记录、数学模型等方法进行量化，以便于进行风险评估。例如，可以通过岩层的稳定性、地质断裂带的活动性、地下水的压力等因素，评估岩层塌陷、地质断裂、水与泥突入等地质灾害的发生概率。同时，还需要考虑地质灾害可能对人员安全、工程质量、施工进度、设备状态、环境等方面造成的损失，以确定地质灾害的风险等级。

以下是一个表3，列出了一些常见的地质灾害类

型，以及评估其风险等级时可能考虑的因素：

地质灾害类型	考虑因素
岩层塌陷	岩层稳定性、地质断裂带活动性、地下水压力
地质断裂	断裂带活动性、应力分布、地下水条件
水与泥突入	地下水压力、岩层渗透性、地质断裂带活动性
有害气体超限	有毒有害气体、岩层透气性、地质断裂带活动性

综合性地质灾害风险评估方法的建立，不仅有助于预防地质灾害的发生，减轻灾害对工程的不利影响，还有助于提高施工效率，降低施工成本。通过实施风险监控，可以及时发现并处理地质灾害，确保工程的顺利进行。因此，综合性地质灾害风险评估方法在TBM隧道施工中具有重要的应用价值。

### 四、现场监测数据与地质勘查报告的应用

在TBM隧道施工中，现场监测数据与地质勘查报告的应用显得尤为重要。这两者是施工过程中的关键资源，能够显著提高施工的安全性和效率，降低地质灾害风险。

现场监测数据是施工中的实时信息源，它通过各种传感器和监测设备实时收集，包括地下水位、地下水压力、岩层位移、有害气体浓度等关键参数。这些实时数据为工程师提供了对地质条件的即时了解，成为预测地质灾害和采取及时措施的重要依据。例如，当监测数据显示地下水位急剧上升时，施工方可以立即采取封堵措施，以减轻由水与泥的突入带来的灾害影响。同样，岩层位移的监测数据有助于及时识别岩层塌陷和地质断裂的迹象，从而采取相应的支护措施，防止事故的发生。

地质勘查报告则提供了施工前阶段的详细地质信息，包括地质地貌、岩层特征、断裂带分布等。这些报告为施工方案的制定和风险评估提供了坚实的基础。通过分析地质勘查报告中的地质地貌图、岩层分布图等，工程师可以更全面地了解施工区域的地质条件，预测可能遇到的地质灾害类型，并在施工方案中加入相应的应对措施。例如，如果报告中指出施工区域存在地下水体

系，工程师便能预料到可能会遇到水与泥突入的问题，从而提前准备，确保施工的顺利进行。

此外，地质勘察报告还包含了大量的样本数据，如岩芯分析、土壤力学性质等，这些数据对于土力学设计和支护设计具有重要意义。通过对岩石的抗压强度、土

壤的剪切强度等参数的分析，工程师可以更准确地确定支护结构的类型和参数，确保其稳定性，从而避免岩层塌陷等风险。

综合应用现场监测数据和地质勘察报告，工程师能够更全面、更深入地了解施工区域的地质条件，提前预

表格1 现场监测数据与地质勘察报告的关键参数

参数类型	数据来源	应用场景
地下水位	现场监测数据	预测地下水突入风险，采取封堵措施
岩层位移	现场监测数据	识别岩层塌陷和地质断裂，采取支护措施
有害气体浓度	现场监测数据	检测有毒有害气体超限风险，采取抽排和通风措施
地质地貌	地质勘察报告	理解施工区域地质条件，预测灾害类型，制定应对措施
岩层特征	地质勘察报告	分析岩层结构，制定支护方案

警地质灾害，制定有效的风险管理策略。这不仅有助于确保施工的安全性和效率，还能够降低施工成本，提高工程质量，为现代隧道工程的成功完成奠定坚实基础。

### 五、数值模拟在地质灾害风险评估中的角色与价值

数值模拟是一种有效的工具，用于在TBM隧道施工中评估地质灾害的风险。通过数值模拟，工程师可以模拟不同地质条件下可能发生的地质灾害，预测其影响，并制定相应的风险管理策略。以下将探讨数值模拟在地质灾害风险评估中的关键角色和重要价值。

#### (一) 模拟地质灾害的发生机制

数值模拟允许工程师模拟各种地质灾害的发生机制，如岩层塌陷、地下水突入、有害气体超限等。通过数值模拟，可以模拟地层受力、岩石变形、有害气体扩散等复杂的物理过程，从而更好地理解地质灾害的发生原因。

例如，在岩层塌陷的数值模拟中，工程师可以考虑岩石的强度特性、地下水的作用以及地下空洞的形成过程。这些模拟可以帮助确定岩层塌陷的潜在危险性，并识别可能受到影响的区域。

#### (二) 预测地质灾害的影响

数值模拟不仅可以模拟地质灾害的发生机制，还可以预测其可能对工程和环境造成的影响。通过数值模拟，可以估计地质灾害对隧道结构、设备、施工进度和周围环境的潜在影响。

例如，在模拟地下水突入的情况下，可以估计充水的速度、水位上升的程度以及可能对隧道内部设备和支护结构的影响。这些信息可以帮助工程师制定应对措施，减轻水与泥突入可能带来的损失。

#### (三) 优化风险管理策略

数值模拟可以用于评估不同风险管理策略的有效性。工程师可以在模拟中尝试不同的措施，如支护结构的改进、地下水排水系统的优化等，以确定哪种策略最适合应对特定地质灾害。

例如，对于岩层塌陷的风险管理，数值模拟可以用于比较不同支护方案（如钢架支护、注浆加固等）在减轻塌陷风险方面的效果。这种优化可以帮助节省成本，提高施工效率，并降低地质灾害的风险。

#### (四) 数据驱动的决策支持

数值模拟提供了数据驱动的决策支持，使工程师能

够根据模拟结果做出明智的决策。模拟数据可视化和分析工具可以帮助工程师更好地理解地质灾害的复杂性，并将这些信息传达给决策者。

例如，通过可视化数值模拟结果，工程师可以直观地展示地下水突入的情况，以便决策者更好地理解风险。这种数据驱动的决策支持有助于制定明智的风险管理策略，确保工程的安全性和成功完成。

#### (五) 减少实际试验成本和风险

数值模拟允许工程师在虚拟环境中进行实验，减少了实际试验的成本和风险。通过模拟，可以在不影响实际工程进展的情况下测试不同方案的有效性，降低了试验过程中可能发生的意外事件的风险。

总之，数值模拟在地质灾害风险评估中扮演着关键的角色。它通过模拟地质灾害的发生机制、预测影响、优化风险管理策略和提供数据驱动的决策支持，为TBM隧道施工提供了重要的工具和方法。通过充分利用数值模拟，工程师可以更好地理解和管理地质灾害风险，确保工程的顺利进行。这种综合应用不仅提高了施工效率，还降低了施工成本和安全风险，对于现代隧道工程具有重要的价值和意义。

### 结语

综上所述，现场监测数据与地质勘察报告在TBM隧道施工中发挥着至关重要的作用。它们为工程师提供了宝贵的信息资源，帮助预测和应对各种地质灾害，确保施工的安全与效率。通过这两者的综合应用，我们能够更加精确地制定风险管理策略，降低施工成本，提高工程质量，为实现现代隧道工程的成功建设奠定了坚实的基础。

### 参考文献

[1] 李渊, 王青波, 杨海鹏等. TBM隧道施工配套设备改良技术探讨[J]. 四川建材, 2022, 48(01): 100-102.  
 [2] 徐琛, 刘晓丽, 张鲁军等. 耦合地质模型的TBM隧道施工过程进度仿真预测[J]. 隧道与地下工程灾害防治, 2020, 2(02): 41-46.  
 [3] 张国成, 蒋忠全, 韩明等. TBM盾构机在隧道施工中的出洞步进技术研究[J]. 中国设备工程, 2019(13): 166-167.  
 [4] 汤志立, 刘晓丽, 李超毅等. 深埋TBM隧道施工微震监测规律[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2018, 58(05): 461-468.