

隧道施工中塌方的原因及防治措施分析

曾波

中交三公局工程技术有限公司

摘要：隧道施工是一项技术复杂、风险高的工程活动，其中塌方是最常见也是最危险的一种施工风险。塌方不仅会导致施工进度延迟，增加施工成本，而且可能会造成人员伤亡，对环境造成破坏。因此，了解隧道施工中塌方的原因并采取有效的防治措施，对于保障隧道施工的安全和效率至关重要。本文将从地质条件、施工方法、设计参数等多个角度出发，分析隧道施工中塌方的主要原因，并在此基础上提出一系列针对性的防治措施，希望能为隧道施工的安全管理提供参考。

关键词：隧道工程；施工过程；塌方原因；防治措施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.022

引言

隧道施工是现代城市建设中不可或缺的一环。然而，隧道施工过程中常常会发生塌方事故，给工程进度和工人生命安全带来严重威胁。塌方是指土体在受到外力作用下，失去稳定性而发生坍塌的现象。因此，研究隧道施工中塌方的原因及防治措施具有重要意义。

一、隧道施工塌方防治的意义

首先，塌方是隧道施工中常见的地质灾害，会对施工进度和质量造成严重的影响甚至危及工人安全。采取塌方防治措施可以有效避免这种灾害的发生，确保施工的平稳进行。其次，隧道施工塌方防治可以提高工程质量和可靠性。塌方会造成围岩的变形和位移，导致隧道内部结构的破坏。通过采取防治措施，如支护结构的设计与施工、地下水位的控制以及围岩加固等，可以增加隧道的稳定性，并确保其具备足够的承载力和抗震能力。此外，塌方防治还能够减少对环境的不良影响。隧道施工塌方往往会导致土壤和岩石的破坏以及地下水的污染，对周围生态环境造成破坏。通过采取科学的防治措施，可以最大限度地减少对环境影响，保护生态系统的平衡和稳定。最后，隧道施工塌方防治对于工程经济具有重要意义。塌方的发生会导致施工进度的延误和质量的下落，增加工程修复和重建的成本。通过有效的防治措施，可以降低工程风险，提高施工效率，节约资源和时间，并减少工程投资。综上所述，隧道施工塌方防治的意义在于确保施工的安全、质量和进度，保护环境，降低工程风险，并提高工程经济效益。因此，在隧道施工过程中，必须高度重视塌方防治工作，采取科学的措施和技术，确保隧道的可靠性和可持续发展。

二、塌方原因的分析

(一) 岩性和围岩结构

岩性指的是岩石的性质和组成，而围岩结构则涉及岩石围岩的连续性和完整性。首先，岩性对于隧道施工具有重要影响。不同类型的岩石具有不同的力学特性和

工程行为。例如，坚硬的花岗岩和片麻岩通常具有较高的强度和抗压能力，适合进行爆破掘进；而软弱的页岩和黏土则容易产生塑性变形和滑动，需要采用适当的支护措施。此外，岩性还与围岩的渗透性、腐蚀性以及热膨胀系数等相关，这些参数也会对隧道施工和运营期间的安全性产生影响。其次，围岩结构是岩石围岩的连续性和完整性的表征。围岩结构的性质与岩石的节理、裂隙等因素密切相关。节理是岩石中存在的较为规则的裂隙面，可以是天然形成的，也可以是由于构造运动等地质作用而形成的。裂隙则是岩石中存在的缝隙，大小不一，可以是平面状的也可以是立体状的。围岩的节理和裂隙对隧道的稳定性具有重要影响。如果节理或裂隙与隧道的开挖方向垂直或倾斜，会导致岩石的剥离和失稳，增加塌方的风险。因此，在隧道施工过程中，需要针对围岩结构采取相应的措施，如合理布置锚杆和喷射混凝土支护。另外，围岩结构还与岩石的透水性、渗透性以及岩体的开裂程度等相关。岩石中存在的裂隙和节理会影响其透水性和渗透性，如果围岩的渗透性较高，会增加隧道施工期间的排水难度，增加施工的复杂性。

(二) 地下水位和水压

地下水位是指地下水位位于土体中的高度，而水压则是地下水对土体施加的压力。这两个因素在隧道施工中的塌方中起着关键作用。首先，地下水位的增加会使土体饱和，导致土体内部的孔隙水压增大。当施工进行时，隧道周围的土体受到开挖和支护活动的影响，失去了原有的支撑和固结。如果地下水位高于隧道周围土体的自然水平，孔隙水就会通过土体间隙进入隧道周围空间，增加了土体的液化风险。这会削弱土体的结构稳定性，引发塌方。其次，地下水位的变化还会引起土体中的渗流和渗透。当地下水位升高时，水流会通过土体孔隙流动，带走土体颗粒之间的颗粒间隙。这会导致土体的流失和塌陷，增加隧道周围土体的不稳定性及塌方风险。另外，水压是地下水对土体施加的压力，它会加剧土体的应力状态和变形。当地下水压力过大时，土体内部的颗粒会承受更大的压力，这会导致土体的压缩、膨胀或剪切变形。这些变形会削弱土体的结构强度，增加塌方的可能性。

(三) 支护措施的缺乏或不适当

支护措施的作用是为土体提供支撑和固结，防止其失稳和塌陷。然而，当支护措施缺乏或不适当时，会增加塌方的风险。首先，缺乏支护措施意味着隧道周围的土体没有得到足够的支撑，无法承受开挖引起的应力和变形。在进行开挖时，土体会受到来自自重、水压、地震等因素的作用，如果没有适当的支护结构来分担和抵抗这些力量，土体就会失去平衡，发生塌方。此外，缺乏支护措施还会导致土体的侧方位移，进一步削弱土体

的稳定性。其次，不适当的支护措施也可能导致塌方。例如，支护结构的选择和设计不合理，无法提供足够的刚性或柔性支撑。如果支护结构过于脆弱，无法有效抵抗土体的应力和变形，就无法保持隧道周围土体的稳定。另外，如果支护结构的布置和间距不合理，也会导致局部或整体支撑不足，从而增加了塌方的概率。缺乏或不适当的支护措施还会导致施工过程中的施工质量不稳定。在隧道施工中，支护措施的施工质量直接关系到其稳定性和可靠性。如果施工人员缺乏经验或技术水平不高，可能会出现施工质量差、施工操作不规范的问题。这样会导致支护结构的性能下降，无法提供有效的支撑和固结，加剧了塌方的风险。

（四）施工策略和步骤的错误

当施工策略和步骤存在错误时，会增加塌方的风险。首先，错误的施工策略可能导致开挖方式选择不当。不同地质条件下，选择合适的开挖方式至关重要。如果在复杂的地质环境中选择了错误的开挖方式，例如没有考虑到地质构造、岩石性质和地下水情况，就会引发隧道周围土体的失稳。此外，开挖方式选择不当还可能导致施工过程中的过度挖掘，进一步削弱土体的稳定性。其次，施工步骤的错误也会增加塌方的风险。例如，在进行开挖时，施工人员可能忽视了正确的支护顺序和时机。如果支护措施的施工时间不合理，或者没有按照正确的顺序进行施工，会导致支护结构的功能无法发挥，土体失去支撑，从而增加了塌方的可能性。此外，不合理的施工步骤也可能导致支护结构的质量问题，如施工缝隙、固结不牢固等，进一步加剧了塌方的风险。另外，施工过程中缺乏有效的监测和控制也是导致塌方的主要原因之一。如果没有进行地质勘察、水文监测和变形监测，或者对监测数据没有及时进行分析和处理，就无法及时发现土体的异常变化和潜在失稳迹象。这将导致施工人员对塌方风险的判断不准确，无法采取及时的应对措施，从而增加了塌方的风险。

三、隧道施工中塌方的防治措施

（一）地层和地下水的详尽研究

首先，需要进行地层的详细研究。地层研究包括对不同地质层的特征和性质进行分析，这可以通过采集地下样本和岩芯样本进行实验室测试来实现。然后，可以使用地质雷达和地质勘探等技术手段来获取地下地层的信息。通过这些研究方法，可以了解到地质层的厚度、构成以及岩性的变化。在地下水的详尽研究中，可以采用多种方法来获取相关信息。首先，可以进行地下水位的监测，通过安装水位计和水文观测井来实时监测地下水位的变化。同时，也可以进行地下水的水质分析，以了解地下水中各种化学物质的含量和性质。此外，我还可以使用探槽法和无人机遥感技术来进行地下水的调查和探测。通过这些详尽的地层和地下水研究方法，可以获得丰富的地质和水文数据，从而为隧道施工提供准确的信息和全面的评估。这将有助于选择合适的隧道开挖断面和施工方法，并确定支护结构的设计方案。同时，通过详细的地下水研究，可以了解地下水的流动规律和变化趋势，为地下水的控制和管理提供科学依据。

（二）地质参数的准确评估

首先，可以通过现场勘探和取样来获取地质数据。这包括钻孔、岩芯采样和地质雷达扫描等技术，以获取地质层的厚度、组成和变化。通过对取样的岩石进行实验室测试，可以获取各种地质参数，如抗压强度、弹性模量和岩体的稳定性等。这些数据可以帮助准确评估地质条件，为隧道设计和支护结构的确定提供依据。其次，地质参数的准确评估也可以借助地球物理勘探技术。地震勘探、地电阻率测量和重力测量等技术可以提供地下地层的信息，从而帮助评估地质参数。这些技术可以帮助了解地下岩石的性质和分布，探测可能存在的断层和隐患，为隧道设计和施工提供更准确的地质条件数据。此外，数值模拟方法也是评估地质参数的重要手段。通过建立地下模型和进行数值分析，可以模拟不同地质条件下的隧道行为，并确定关键地质参数的影响程度。这可以帮助更准确地评估地层的强度、岩体的稳定性和地下水的渗流情况等。

（三）支护措施和排水方案的制定

首先，应加强对支护措施的规范和监督。制定相关的支护设计规范和施工规范，明确支护结构的选择、设计、布置和施工要求，确保其能够提供足够的支撑和固结。同时，加强对施工过程的监督和质量控制，确保支护结构的施工质量稳定可靠。其次，注重支护结构的选择和设计。根据隧道周围土体的特性和工程要求，选择合适的支护结构，包括刚性支撑和柔性支撑等。在设计过程中，考虑土体的力学性质、变形特性和应力分布等因素，合理确定支护结构的尺寸、材料和布置方式，以提供足够的刚度或柔度，有效分担和抵抗土体的应力和变形。此外，加强地质勘察和预测工作。通过详细的地质勘察和地质预测，了解隧道周围土体的特性和变形趋势，为支护措施的选择和设计提供可靠的依据。同时，采用先进的地质预测技术，如地质雷达、地震勘探等，提前发现潜在的地质问题，及时采取相应的支护措施。最后，加强施工人员的培训和技术指导。提高施工人员的技术水平和操作规范，确保支护措施的施工质量稳定可靠。加强对施工人员的培训，使其熟悉支护措施的施工要求和操作步骤，提高其对支护结构性能的认识和理解。

（四）解决施工策略和步骤的错误

首先，加强地质勘察和工程预测。在进行隧道施工前，进行详细的地质勘察和工程预测，了解地质条件、岩石性质、地下水情况等因素，为施工策略和步骤的制定提供可靠的依据。根据勘察结果，选择合适的开挖方式，并制定相应的施工方案。其次，确保施工步骤的正确执行。在进行开挖和支护施工时，严格按照施工方案和设计要求进行操作，确保支护顺序和时机的合理性。特别是在复杂地质环境下，应根据地质条件和岩石性质选择合适的支护方式，并确保支护结构的施工时间和顺序与开挖进度相适应。此外，加强施工过程的监测和控制。通过地质勘察、水文监测和变形监测等手段，实时监测土体的变化情况，及时发现潜在的失稳迹象。对监测数据进行及时分析和处理，判断土体的稳定状态，为

施工人员提供准确的塌方风险评估，并采取相应的应对措施。

（五）解决地震活动和地质断裂带的影响措施

首先，应加强地震监测和预测工作，及时获取地震活动的信息，为施工提供准确的预警。在地震活动频繁的地区，应考虑采用抗震设计和抗震支护措施，提高隧道的抗震能力。其次，对于存在地质断裂带的地区，应进行更加详细的地质勘察，了解断裂带的性质和活动情况，制定相应的支护方案。在支护设计中，应考虑断裂带对土体稳定性的影响，选择合适的支护结构和材料，确保隧道的安全。此外，应加强对地下水的监测和管理，及时调整水位，避免土体饱和状态的形成。对于饱和状态的土体，应采取相应的排水措施，减少液化倾向。

四、灾害事故应急预案

（一）突发火灾应急救援预案

1) 抢险器材准备

物资设备部按抢险需要，提前备足抢险器材，如草袋、抽水机、速凝剂、发电机、灭火器及一些切割、焊接用具，供氧瓶、担架和其他抢救器材与药品等，这些器材分发到抢险预备队，分人保管，并熟悉用途和用法，分放在易于装卸地点，平时不能动用。

2) 人员准备

凡担任抢险预备队人员，休息时间内允许在现场附近活动，如远离现场必须请人代替，而且须经队长同意，保证一旦发生险情能立即投入抢险。

3) 抢险技能准备

对参加抢险预备队人员进行抢险技能培训，使他们熟悉抢险步骤、方法以及器材的使用。

（二）突发洪水的应急预案

1) 人员准备

成立防洪领导小组，组织防洪抢险预备人员。

2) 措施准备

A. 对全体职工进行防洪教育，强化防洪意识，克服麻痹思想和侥幸心理，认真做好施工防洪工作，确保施工生产安全。

B. 坚信“安全第一、常备不懈、预防为主、全力抢险”的方针，并健全防洪体系，严明防洪纪律，备齐抢险设备和防洪物资。

C. 防洪领导小组定期或不定期深入现场，对在建工程，临时工程、施工驻地通讯及电力线路、交通设施、防洪物资机具等全面检查，不留死角，对检查中存在的问题，立即指令整改落实解决。

D. 项目部根据施工工程的地域特点，确定防洪重点，落实防洪抢险机具和物资的储备管理，组建防洪抢险队，并加强技术培训和演练，提高防洪的能力。

E. 桥梁路基及时做好排水沟和地表放水工作，对生活区及驻地做好防洪排水水沟，保证人员与工程安全。

F. 对位于河道可能受洪水侵袭的工点，要求经常根据天气变化与气象水文部门取得联系及时掌握雨情、汛情，争取主动。

3) 应急步骤

A. 发生紧急汛情时，防洪领导小组立即组织抢险人员赶赴现场。

B. 在领导统一指挥下，听从安排，分工协作，分组协作，分组行动。

C. 防洪抢险队在领导指挥下，负责人员救助与物资设备的打捞，力争把损失降到最低点。

D. 同时利用抢险物资，设备加固河堤和排水工作，防洪水外泄与水流不畅。

E. 对伤员立即进行抢救与护理，并安排车辆就近医院救治。

F. 根据汛情，继续储备防汛抢险物资、资金供应，做好后勤保障工作。

G. 要求全体员工在紧急情况下，汛情抢险高于一切，密切配合、团结协作、听从指挥、降低损失、争取汛后早日恢复生产。

结束语

总结来说，隧道施工中的塌方问题是一个复杂的系统性问题，因此，防治措施需要针对具体情况进行定制，而不是一刀切。本文通过深入分析了各种可能导致塌方的因素，并提出了相应的防治措施，旨在为实际施工提供理论指导和实践参考。然而，由于每个隧道工程的具体情况都有所不同，因此在实际操作中，还需要根据具体情况灵活运用和调整防治措施。未来的研究需要进一步深入，结合更多的实际案例，以提高防治措施的针对性和有效性。

参考文献

[1] 陈赞，李倩. 基于复杂网络的隧道施工塌方风险演化研究[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版)，2022，19(2)：129-137.

[2] 谢雄耀，蔡杰龙，周应新，等. 浅埋软弱围岩隧道施工塌方及处治措施研究[J]. 建筑施工，2022，44(3)：545-549.

[3] 乔晓青，杨云. 基于粗糙集和风险矩阵的隧道施工塌方风险评估研究[J]. 公路与汽运，2021(6)：162-167.

[4] 刘湘慧，陈玉斌，占庆林，等. 隧道施工塌方安全风险状态判断研究[J]. 工程建设，2021，53(8)：1-7.

[5] 焦艳彬，郜占红，凡伟，等. 喀斯特岩溶地区隧道施工塌方冒顶处理方案[J]. 山西建筑，2020，46(23)：143-145.

[6] 李志强，杨涛. 浅埋黏土层大跨度隧道施工技术 with 塌方风险分析[J]. 公路交通科技，2020，37(2)：116-122.

[7] 张晨曦，吴顺川，吴金. 山岭隧道施工中塌方风险评估模型研究及应用[J]. 中国安全生产科学技术，2019，15(9)：128-134.

[8] 杨圣明. 公路工程隧道施工塌方治理技术的应用探讨[J]. 建筑技术开发，2020，47(10)：121-122.

作者简介：曾波(1986.07-)，男，汉，本科，工程师，主要研究方向：公路与桥梁。