

公路隧道开挖中的岩石崩塌预测与防治技术

罗先富

(中铁十七局集团第四工程有限公司, 重庆 401120)

摘要 随着隧道规模和复杂程度的不断增加, 公路隧道开挖中岩石崩塌问题逐渐凸显, 已经成为制约隧道建设和运营的主要问题。为此, 本文通过对岩石崩塌机理及预测方法进行深入剖析, 并为岩石崩塌治理提供了相关技术, 旨在为保障隧道工程可持续发展提供借鉴。通过借助数值模拟及测量技术将能够提高预测公路隧道进出口岩石崩塌发生的准确性, 同时采取防治措施以保证公路隧道开挖的质量稳定。

关键词 公路隧道; 岩石崩塌; 数值模拟

中图分类号: U45

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)04-0046-03

在现代社会中, 基础设施建设在推动城市发展和经济增长方面起着决定的作用。公路隧道能够缩短道路长度, 便利国家交通。但是公路隧道进出口却容易遭遇岩石崩塌等风险, 岩石崩塌不仅对隧道工程的施工安全构成了威胁, 还对后期的运营和维护产生了直接的影响^[1]。因此, 本文将深入研究公路隧道开挖进洞过程中岩石崩塌的预测与防治技术, 以期对推动城市交通基础设施的持续完善有所裨益。

1 隧道岩石崩塌概述

1.1 岩石崩塌的定义

隧道岩石崩塌指地质环境下岩石体因受到诸多因素相互作用而丧失稳定性并出现由原位移动到倾覆或者坍塌等现象。在力学上, 岩石崩塌可理解为岩体内部所受外部力量大于自身抵抗能力, 它主要由引力, 附加荷载和地震力组成。岩石体受上述作用力可能有一个由微观裂缝延伸至宏观崩塌体积变化过程。在地质学上, 岩石崩塌也与地质结构, 岩性和断裂有密切关系。比如在有弱层或者节理存在的岩石上, 通常较易出现岩石崩塌。

1.2 岩石崩塌的分类

根据岩体运动特征, 岩石崩塌可以划分为滑动型、滚动型及落石型三种。滑动型崩塌以岩块沿滑动面横向滑动为特征, 滚动型崩塌以圆滚形式沿着山坡表面运动, 落石型崩塌以岩块沿山坡垂直方向由上至下自由落体运动为特征。岩石崩塌又可按其大小及影响范围分为小型局部崩塌及大型区域性崩塌。小型局部崩塌一般局限于某一岩体部位且影响范围比较小, 大型区域性崩塌可能会引发大面积地质灾害并给周围环境造成更为严重的威胁。综上所述, 我们需要通过对岩

石崩塌的类型进行识别, 从而对岩石崩塌复杂性有一个整体的认识, 对科学合理地制定岩石崩塌防治策略起到一定的辅助作用。

2 岩石崩塌机理与预测方法

2.1 岩石崩塌的物理和力学机理

隧道岩石崩塌为地下工程最主要之地质灾害, 通过对微观与宏观层面之岩石特性与行为之深入了解, 相信可以为综合、准确地建立隧道岩石崩塌预测模型及治理策略奠定基础, 又较好地确保了地下工程安全。

1. 物理机理: 从岩石崩塌微观层面上看, 岩石是由各向异性矿物颗粒构成的, 它们之间有微观物理连接。其中包括矿物颗粒间的吸附力、静摩擦力、表面张力和其他相互作用。这些相互作用力对岩石内微观结构稳定性和颗粒之间在外部力影响下的位移和变形有很大关系。岩石中存在着各种微观裂缝, 这些裂缝在岩石受外部力的影响时可能会产生扩展与变形, 导致隧道进出口出现岩石崩塌。

2. 力学机理: 当岩体承受外部荷载作用时, 初期一般呈现弹性变形。这时岩体颗粒间的相对位移和外界力呈线性关系, 同时岩体卸荷后可完全恢复原有形状。当外界荷载增加时, 岩体有可能会发生塑性变形, 即当应力达到某一阈值时就会产生不可逆转和连续的变形^[2]。对塑性变形进行分类有助于深入了解高应力环境下岩体行为, 主要表现为颗粒重排和裂缝开展。对于裂缝预示则标志着隧道进出口将出现岩石崩塌。

3. 断裂机理: 裂缝生成作为岩体破裂的起始阶段可以划分为各种不同的机理。张裂缝产生的原因可能是岩石内表面受外界张应力作用, 并进一步使裂缝扩大所致。剪切裂缝可由岩体剪切应力产生并以倾角状

展布。压裂缝则是应力过程中因侧向压力的作用产生的。裂缝扩展是隧道进出口岩体破裂过程中关键的一步,裂缝扩展模式决定岩体破坏形式,主要类别有裂缝张开、滑动、剪切和其他各种扩展方式。

2.2 岩石崩塌的数值模拟预测

数值模拟方法在隧道岩石崩塌研究中起着重要的作用,它通过数学模型对岩体的力学行为进行描述,提供了一种全面理解和预测岩石崩塌机理的有效手段。

1. 连续介质模型:弹性模型建立在连续介质模型之上,假设岩石受外部荷载作用后呈现可逆弹性变形。模型基于胡克定律,对岩石弹性模量和泊松比力学参数进行了描述,适合模拟岩石在小应变作用下弹性响应。弹塑性模型中引入塑性变形概念来考虑岩石承受大应变作用下发生不可逆塑性变形。引入屈服条件及流动规则后,模型可以较好地模拟高应力作用下岩石塑性行为,从而为岩石持续变形研究提供依据。该损伤模型同时考虑到岩石内部裂缝及破坏过程,并引入损伤参数来表征其破坏演化过程。此模型能较好地模拟岩体在应力作用下裂缝产生、扩展及相互作用过程,为岩石崩塌研究提供了一种关键手段。考虑隧道岩体开挖时受温度变化影响较大,温度效应模型通过引入温度场来研究岩石力学行为。综合考虑热应力与热传导的影响,以期连续介质模型能更加完整地模拟出不同温度下隧道进出口岩体力学响应。

2. 离散元模型:离散元模型颗粒间力学参数如弹性系数和黏性阻尼对仿真结果的精度和稳定性具有重要意义。归类并归纳出不同颗粒之间力学参数设置及其在模拟岩石崩塌时的作用是模型优化的一个重要环节。离散元模型可以有效地模拟隧道进出口岩石内部裂缝产生与扩展的过程。通过对不同裂缝的形成,扩展路径及相互交汇等裂缝扩展机制进行分类总结,将有助于认识离散元模型在岩石崩塌中的运用。离散元模型可以通过对颗粒运动及相互作用的模拟来恢复岩石微观结构,其中包括颗粒之间的接触以及裂缝的形成,通过分类总结离散元模型模拟岩石微观结构的结果,为揭示隧道进出口岩体破坏微观机理提供关键信息^[3]。

3. 混合方法:耦合连续介质模型和离散元模型是常用的混合方法之一。这种方法采用连续介质模型来描述岩石体系整体行为,而岩体内部微观结构及裂缝扩展则由离散元模型来捕捉。这种耦合既可以模拟岩石的整体变形与损伤,又可以对岩石内部的复杂微观行为进行深入的研究。混合方法也可由联合各种数值模型来完成。如把有限元模型和离散元模型相结合以发挥其优点。有限元模型适于分析隧道进出口岩体在

较大范围内的行为,离散元模型较适于揭示隧道进出口岩体内微观行为。将二者结合起来使用,研究人员能够对岩体力学响应有一个较为全面的认识。隧道岩石崩塌时,在考虑力学因素的同时,还要考虑许多物理场的耦合作用,例如温度场和水流场。该混合方法综合考虑了多个物理场之间的相互影响,从而增强了隧道进出口岩石模拟的真实性与可靠性。

2.3 监测和测量技术

在隧道岩石崩塌研究中,监测和测量技术的广泛应用为隧道岩石崩塌提供了全面、实时的数据支持,进而为工程实践中的风险评估和治理决策提供了有力依据^[4]。

1. 变形监测技术:全站仪作为高精度测量仪器,它通过确定仪器与物体之间的水平角,垂直角以及斜距来实现岩体中各点三维位移的监测。本技术适合远距离全局变形监测并提供准确位移数据。GPS(全球导航卫星系统)技术利用卫星定位系统进行隧道进出口岩体点位移监测,全球覆盖、实时性强,适合远程岩体位移监测,特别是野外环境下性能优异。激光测距仪是利用发射激光束和测量激光反射时间来达到监测岩体表面或者内部各点位移目的。它具有精度高、实时性强等特点,使得它成为一种高频监测小尺度岩体局部位移的行之有效的办法。应变计广泛地应用在公路隧道岩体表面或者孔洞内对岩体局部应变进行监测。通过应变计形变测量,可得到岩体不同方向应变信息并揭示内部受力状态。光纤传感器是根据光学原理在光纤内监测变化以感应岩体形变。它具有高灵敏度、抗干扰能力强等特点,适合公路隧道岩体微观结构及裂缝演化的高精度监测。

2. 裂缝监测技术:声发射监测技术是利用捕捉岩体内微小裂缝所发出的声波信号来达到实时监测裂缝的形成、扩展及活动性等目的。这种方法对隧道进出口岩石微观结构演变及裂缝行为的研究是高灵敏度的。光纤传感器是以光学原理为基础,利用监测光纤内变化来达到高精度裂缝监测目的。它具有非侵入性,对微小变形敏感等特点,因此它是监测公路隧道裂缝的理想手段。电测法引入电极来监测岩体内电阻或者电导率,从而推测裂缝演化过程中导电性变化情况。该方法能有效捕获公路隧道岩体裂缝导电性特征。电磁法测量电磁波在岩体中的传播来反映裂缝在电磁场中的作用,以达到监测裂缝变化规律的目的,它适合于导电性变化比较灵敏的岩体中裂缝的研究。

3. 成像监测技术:采用摄像设备架设于隧道内部或者岩体表面上,连续监测岩体表面变化。该方法能

够实时捕获岩体位移、开裂及裂缝演化情况,并对岩石崩塌初期征兆提供重要资料。对某一地区进行高分辨率定向摄像监测可以细致地记录隧道进出口裂缝形态,大小和裂缝网络复杂程度,这是深入认识裂缝演化机制的关键。利用激光扫描仪采集地面三维点云数据进行高精度岩体表面成像。该方法适合于岩体表面结构复杂、裂缝密集等条件,并为岩体变形提供了精确的形态资料。连续成像技术是在很短的时间区间内进行多次成像来记录岩体的细微变化。这一高频监测有利于捕捉裂缝瞬时活动性,并为岩体崩塌预报提供实时资料。设置于岩体内部和外部的监测网络通过若干相互连通的摄像设备构成了岩体多维度和多角度综合成像。该网络系统能够提供全方面监控,对隧道进出口复杂崩塌机理解析非常关键。

3 公路隧道岩石崩塌的防治技术

3.1 土体加固方法

随着公路隧道崩塌预防与治理技术的进步,施工处置措施已经成为预防与治理过程中至关重要的一环。就土体加固方法而言,其施工处置措施既包含技术方案又需充分考虑到环境、社会等各方面因素,才能保证整体防治效果达到最优^[5]。

1. 灌浆加固技术:灌浆加固技术是土体加固的一种有效手段,通过向土体中注入特定的浆液,改善土体的力学性质。这种技术的主要原理在于填充土体孔隙,提高土体的密实度和强度。常见的灌浆材料包括水泥浆、聚合物浆和膨润土浆等。此外,灌浆加固技术还能够修复土体裂缝,增加土体的抗渗性,从而有效地抵御隧道进出口可能面临的崩塌风险。

2. 地锚加固技术:地锚加固技术通过在土体深层植入锚杆与土体相连来提高隧道土体的抗拉能力。该技术主要应用在土体较为疏松且容易产生滑坡的公路隧道中,在土体拉力作用下,通过布置数量与深度合理的地锚能够有效地提升土体整体稳定性并避免公路隧道进出口结构出现损伤。

3. 格栅加固技术:土工格栅加筋技术是一种利用土工合成材料(Geogrid)对公路隧道土体进行加固处理的方法。通过将格栅嵌入土体中并与土体形成一体化结构,可有效提高隧道土体抗拉、抗剪强度。该技术特别适合土体较松软,承载能力弱的公路隧道下使用,是隧道进出口工程土体加固的可行选择。

3.2 地下支护结构设计

地下支护结构设计在岩石崩塌防治领域扮演着至关重要的角色,其合理设计不仅能够有效地提高隧道进

出口的施工安全性,还能够减缓岩石崩塌的发展趋势。

1. 结构类型的选择:合理的地下支护结构应根据地质条件、岩体特性和隧道工程的具体情况进行科学选取。例如,在隧道进出口易发生岩石崩塌的区域,采用刚性支护结构,如锚杆网结构,可以有效地提高地下岩体的整体稳定性,避免公路隧道进出口开挖的影响。而在相对稳定的岩体区域,采用柔性支护结构,如搪瓷管支护,有助于减轻岩体对结构的冲击,延缓结构疲劳破坏,避免隧道的岩石崩塌。

2. 材料性能要求:地下支护结构因所处环境复杂多变,所以设计需充分考虑材料性能的要求,多选用高强度、耐磨损、抗腐蚀的支护材料,以有效应对岩体的变化和外界环境的影响。同时,也应该结合材料的变形特性,设计支护结构的变形缓冲区,以吸收和分散岩体运动带来的冲击和应力集中,进一步保障隧道开挖过程中的结构稳定性。

3. 施工过程中的应对措施:隧道进出口施工过程中的应对措施也是地下支护结构设计中不可忽视的方面。在实际工程中,难免会遇到地质条件不明、岩体裂隙较大等情况,因此需要在设计中加入一定的应变控制机制,包括灵活的施工方案设计、即时的结构监测与反馈以及相应的紧急处理预案等,以确保支护结构在施工过程中能够适应复杂多变的地下岩石环境,避免隧道进出口的岩石崩塌,确保公路隧道的持续施工。

4 结语

对于隧道岩石崩塌的治理技术而言,本文通过引入连续介质模型,离散元模型和混合方法,为工程实践提供更准确的预测手段。此外,还借助土体加固法以及隧道支护法对公路隧道进行施工处置。未来,我们将会融合更多的前沿科技应用,例如人工智能和大数据分析,从而在公路岩石崩塌的预测和治理方面取得突破。

参考文献:

- [1] 王炎.基于ROCPRO3D的大华桥水库坝肩危岩体风险性评价[D].郑州:华北水利水电大学,2023.
- [2] 高峰,张一帆.高陡边坡落石防护引导防护系统的设计及应用[J].路基工程,2022(05):156-161.
- [3] 王彦章.高速公路高边坡变形监测与分析[J].山西交通科技,2022(01):43-45,49.
- [4] 李江,梁玺,吴银亮.某隧道出口堆积体边坡成因机理及综合治理方案研究[J].路基工程,2021(04):232-236.
- [5] 王屹.间歇冻结模式下隧道联络通道冻胀规律研究[D].徐州:中国矿业大学,2023.