

公路边坡稳定性分析及加固技术研究

刘亚男

宁津县昌达公路工程有限公司 山东 德州 253400

摘要: 随着交通事业的蓬勃发展,公路建设规模不断扩大,不可避免地要穿越各种复杂地形。公路边坡作为公路工程的重要组成部分,其稳定性直接关系到公路的安全运营。一旦边坡失稳,可能引发滑坡、崩塌等地质灾害,不仅会导致公路中断、修复成本高昂,还可能危及过往车辆和行人的生命安全。目前,虽然我国在公路边坡稳定性分析与加固技术方面已取得一定成果,但面对复杂多变的地质条件和日益增长的交通需求,仍存在诸多挑战。基于此,论文重点探讨了公路边坡稳定性分析方法及加固技术,希望论文的研究能够为公路的安全稳定运行提供有力保障。

关键词: 公路;边坡稳定性;加固技术

引言:公路作为交通运输的关键基础设施,在国民经济发展中起着举足轻重的作用。随着公路建设向地形更为复杂的区域推进,公路边坡的稳定性问题愈发凸显。边坡失稳会导致公路工程的损坏,中断交通,增加维修成本,还可能对周边环境和人民生命财产安全构成严重威胁。因此,深入研究公路边坡稳定性分析方法及加固技术,对于保障公路的安全运营、延长使用寿命、降低建设和维护成本具有重要的现实意义。

1 影响公路边坡稳定性的因素

1.1 地形地貌因素

地形地貌是影响公路边坡稳定性的重要因素之一。边坡的坡度、坡高、坡形等直接影响边坡的受力状态。一般来说,坡度越陡、坡高越大,边坡的稳定性越差。比如,在山区公路建设中,高陡边坡的稳定性问题较为突出,容易发生滑坡、崩塌等地质灾害。另一方面,边坡的形状也会对其稳定性产生影响,如折线形边坡比直线形边坡更容易在转折处产生应力集中,从而降低边坡的稳定性。

1.2 岩土性质因素

岩土的物理力学性质是决定边坡稳定性的关键因素。岩土的抗剪强度、重度、内摩擦角、黏聚力等参数直接影响边坡的稳定性。抗剪强度高的岩土,边坡的稳定性相对较好;而重度较大的岩土,会增加边坡的下滑力,降低稳定性。内摩擦角和黏聚力是反映岩土抗剪强度的重要指标,内摩擦角越大,岩土的抗滑能力越强;黏聚力越大,岩土颗粒之间的连接越紧密,边坡的整体性越好,稳定性也越高^[1]。不同类型的岩土,其物理力学性质差异较大,如岩石边坡的稳定性通常比土质边坡好,但当岩石存在节理、裂隙等结构面时,其稳定性会显著降低。

1.3 水的作用

水对公路边坡稳定性的影响极为显著。具体表现在以下几个方面:一是地下水的存在会使岩土体饱和,重度增加,从而增大下滑力。与此同时,地下水还会降低岩土体的抗剪强度,如使黏性土的黏聚力减小,使砂土的内摩擦角降低。二是,地表水的冲刷和入渗会对边坡产生侵蚀作用,破坏边坡的表层结构,削弱边坡的稳定性。三是,在寒冷地区,地下水的冻胀作用也会对边坡稳定性产生不利影响,冻胀力会使岩土体结构破坏,进而增加边坡失稳的风险。

1.4 地震作用

地震作为一种强烈的动力荷载,对公路边坡稳定性有极大的破坏作用。地震产生的地震波会使边坡岩土体受到惯性力的作用,从而增加下滑力。更糟糕的是,地震还可能导致岩土体结构破坏,降低其抗剪强度。在地震作用下,边坡比较容易发生滑坡、崩塌等地质灾害,尤其是在高陡边坡和岩土体结构较为松散的地区,地震对边坡稳定性的影响更为明显。例如,在一些地震多发地区,公路边坡在地震后经常出现大量的滑坡和崩塌现象,严重影响公路的正常运营。

1.5 人类工程活动

人类工程活动对公路边坡稳定性的影响也不容忽视。对于公路建设过程而言,不合理的开挖、填方、爆破等作业都可能破坏边坡的原有平衡状态,导致边坡失稳。比如,开挖坡脚会使边坡的支撑力减弱,容易引发滑坡;填方过高或不规范会增加边坡的荷载,降低其稳定性。另外,公路建成后的运营过程中,车辆荷载的反复作用也会对边坡稳定性产生一定影响,长期的振动和冲击可能使岩土体松动,继而降低边坡的抗滑能力。

2 公路边坡稳定性分析方法

2.1 定性分析法

定性分析法是一种基于经验和直观判断的方法，它侧重于对边坡的基本特征和影响因素的深入理解。利用分析边坡的尺寸（如高度、坡度）、坡形（直线型、凸型、凹型等）、地质结构（如岩层产状、断层、节理发育情况）、地质环境（如地下水分布、土壤类型）、变形破坏形迹（如裂缝、滑坡、崩塌等），以及影响其稳定性的自然因素（如降雨、地震）和人为因素（如开挖、堆载），可以对边坡的演变阶段（如稳定、蠕变、失稳）和当前稳定状况做出初步判断。该方法虽然依赖于专家的经验 and 专业知识，但在缺乏详细数据和计算工具的情况下，仍然是一种快速有效的初步评估手段。

2.2 极限平衡分析法

极限平衡分析法是一种经典且广泛应用的边坡稳定性评价方法。它基于摩尔-库仑强度理论，将潜在滑动体视为刚体，在假定滑动面的基础上，通过静力平衡条件分析滑动体上的力和力矩，进而求解出边坡的安全系数（或称为稳定性系数）^[2]。这一系数反映了边坡抵抗滑动破坏的能力，当安全系数大于1时，通常认为边坡是稳定的；反之，则存在失稳风险。极限平衡法有多种具体实现方式，如瑞典圆弧法、毕肖普法、简布法等，每种方法都有其适用条件和精度差异，需根据边坡的实际情况选择。

2.3 数值分析法

现代计算机技术的发展，促使数值分析法在边坡稳定性分析中占据了越来越重要的地位。它利用有限元分析（FEA）、离散元分析（DEM）、有限差分法（FDM）等高级数值方法，应用建立边坡的三维或二维模型，能够模拟边坡在自重、水压力、地震力等多种荷载作用下的应力场、位移场变化，以及裂缝扩展、滑动面形成等复杂过程。数值分析法不仅能够提供边坡稳定性的定量评估，还能揭示边坡破坏的机制和潜在的危险区域，为设计合理的加固措施提供科学依据。

2.4 工程地质类比法

工程地质类比法是一种基于经验和比较的方法，它利用已有边坡工程的稳定性和设计经验，通过与新边坡的地质条件、边坡形态、外部作用等因素进行对比分析，推断新边坡可能的稳定状态和适宜的边坡参数（如坡高、坡角）。这种方法简单直观，尤其适用于缺乏详细地质资料或计算条件受限的情况。但问题是，其准确性高度依赖于类比对象的相似性和经验的丰富程度，因此在使用时需谨慎。

2.5 BIM技术的应用

近年来，建筑信息模型（BIM）技术在土木工程领域的应用日益广泛，也为公路边坡稳定性分析带来了新的可能。BIM技术的应用，使设计师和工程师可以轻松构建包含地质、地形、结构等多维度信息的三维边坡模型，利用集成的岩土工程有限元分析软件（如MIDAS GTS、FLAC3D等）进行更加精确和全面的稳定性分析。这种方法不只是提高了分析效率，还促进了设计与施工的无缝对接，有助于提前识别潜在风险，优化加固方案，确保边坡工程的安全与经济。

3 公路边坡加固技术

3.1 挡土墙加固技术

挡土墙作为一种历史悠久的边坡加固措施，凭借其结构简单、施工方便、造价相对较低等优势，在公路边坡加固中得到了广泛应用。根据结构形式的不同，挡土墙可分为重力式挡土墙、悬臂式挡土墙、扶壁式挡土墙等多种类型。

3.1.1 重力式挡土墙

重力式挡土墙主要依靠自身重力来维持边坡的稳定。这种挡土墙结构简单，通常由块石、混凝土等材料构成，能够抵抗边坡岩土体的下滑力^[3]。重力式挡土墙适用于小型边坡或填方边坡，因其对地基承载力要求较高，故需确保地基的稳定性。施工过程中，应严格控制材料的强度和施工质量，以确保挡土墙的整体稳定性。

3.1.2 悬臂式挡土墙

悬臂式挡土墙由立壁、墙趾板和墙踵板三部分组成。其工作原理是依靠底板上的填土重量和墙身自重来维持稳定。这种挡土墙适用于墙高较大的情况，能够有效减小墙体的尺寸和占地面积。在设计悬臂式挡土墙时，需充分考虑填土的物理力学性质、墙体的抗倾覆和抗滑移能力等因素。施工过程中，应确保墙体的垂直度和底板的平整度，以保证挡土墙的整体稳定性。

3.1.3 扶壁式挡土墙

扶壁式挡土墙在悬臂式挡土墙的基础上增设了扶壁，从而增强了挡土墙的抗弯能力。比较适用于更高的边坡，能够承受更大的下滑力。扶壁的设置不仅能够提高挡土墙的稳定性和减小墙体的厚度和重量，降低工程造价。在设计扶壁式挡土墙时，需综合考虑地质条件、边坡高度、墙体材料等因素，合理确定扶壁的数量、位置和尺寸。施工时，应确保扶壁与墙体的连接牢固，应尽量避免产生裂缝或脱落现象。

3.2 抗滑桩加固技术

抗滑桩是一种深入滑床的桩式结构，利用桩身与周围岩土体的相互作用，将滑坡的下滑力传递到稳定的岩

土体中。该技术具有抗滑能力强、施工方便、对滑坡体扰动小等优点,适用于各种规模的滑坡和高陡边坡。

在设计抗滑桩时,需根据边坡的地质条件、下滑力大小、桩的材料和施工工艺等因素,合理确定桩的直径、长度、间距和布置形式。桩的直径和长度应满足抗滑力的需求,同时要考虑施工设备的限制和地质条件的影响。而桩的间距和布置形式则应根据边坡的变形模式和滑动面的位置来确定,以确保桩身能够充分发挥其抗滑作用。

施工中,要注意保证桩身的质量和垂直度。桩身材料应选用高强度、耐腐蚀的钢材或混凝土,以确保桩身的承载力和耐久性。并且,要确保桩与周围岩土体紧密结合,避免产生空隙或松动现象。在施工过程中,还需对桩身进行定期监测和维护,及时发现并处理潜在的安全隐患。

3.3 锚杆(索)加固技术

锚杆(索)加固是将锚杆或锚索锚固在稳定的岩土体中,采取施加预应力的方法,可将边坡岩土体与稳定岩体紧密连接在一起,从而提高边坡的抗滑能力。这种加固技术适用于节理裂隙发育的岩石边坡和土质边坡。

在设计锚杆(索)时,需考虑锚固力、锚固长度、间距等参数。锚固力应根据边坡的下滑力和岩土体的物理力学性质来确定。锚固长度应确保锚杆(索)能够深入稳定的岩土体中,形成有效的锚固作用。而锚杆(索)的间距应根据边坡的变形模式和岩土体的强度来确定,以确保加固效果。

在施工过程中,要严格控制锚杆(索)的钻孔深度、角度和注浆质量。钻孔深度应达到设计要求的锚固长度,角度应确保锚杆(索)能够顺利插入岩土体中^[4]。注浆质量是锚杆(索)加固效果的关键,应选用高性能的注浆材料,确保注浆饱满、密实。同时,要定期对锚杆(索)进行监测和维护,检查其工作状态和预应力损失情况。若发现预应力损失过大或锚杆(索)出现损坏现象,应及时进行加固或更换。

3.4 植被护坡

植被护坡是一种极具生态价值与实用价值的公路边坡加固方式,其原理在于巧妙借助植物根系错综复杂的网络结构,将土壤颗粒紧紧束缚,增强土体的内聚力,从而有效抵御边坡土体的滑动趋势;同时,植物的茎叶能够缓冲雨水的直接冲击,减少坡面径流对土壤的侵

蚀,进而实现对公路边坡的防护与加固。

植被护坡优势显著,它秉持生态环保理念,最大程度减少对自然环境的破坏,还能美化周边景观,使公路与自然和谐相融;成本相对较低,能在一定程度上减轻工程经济负担。不过,该技术适用范围有限,多应用于坡度较缓、稳定性较好的边坡。

其中,植物选择至关重要。需充分考量当地气候,是干旱少雨还是湿润多雨;土壤条件,是肥沃壤土还是贫瘠砂土;以及边坡类型,是土质边坡还是岩石边坡等,进而挑选耐旱、耐瘠薄、根系发达、生长迅速的植物品种。施工时,精心做好坡面处理,确保坡面平整、无杂物;规范进行种子播种或苗木栽植操作;后续还要加强养护管理,定期浇水、施肥、除病虫害,以此保障植被的成活率和生长效果,充分发挥植被护坡的功能。

3.5 其他加固技术

除了上述加固技术外,还有一些其他的公路边坡加固技术,如土工合成材料加筋、灌浆加固、喷锚支护等。土工合成材料加筋是将土工格栅、土工织物等材料铺设在边坡土体中,通过与土体的相互作用,提高土体的强度和稳定性。灌浆加固是通过向岩土体的裂隙或孔隙中注入浆液,填充空隙,提高岩土体的强度和整体性。喷锚支护是将喷射混凝土和锚杆相结合,对边坡进行支护,适用于岩石边坡和破碎岩体边坡。

结语

综上所述,公路边坡稳定性受地形地貌、岩土性质、水、地震及人类工程活动等多因素影响。在稳定性分析上,定性、极限平衡、数值分析、工程地质类比及BIM技术等各有优劣,为评估提供多维度视角。加固技术方面,挡土墙、抗滑桩等加固手段,可依据不同边坡状况选择。在实际工程中,需综合考量各类因素,精准分析并合理加固,确保公路边坡稳定。

参考文献

- [1]史静,张浩,赵昕,等. 陕南某公路边坡稳定性及治理措施分析[J]. 岩土工程技术,2023,37(5):518-523.
- [2]吴婷婷. 路基边坡加固技术设计及应用要点分析[J]. 黑龙江交通科技,2022,45(12):52-54.
- [3]雷雄. 高速公路路基边坡滑坡治理的锚索技术分析[J]. 运输经理世界,2023(5):16-18.
- [4]江磊,武东超. 高速公路边坡稳定性探析[J]. 科技视界,2023(17):56-58.