

路桥施工中的高边坡稳定分析及加固技术研究

慕天昌 郭生建

正东建设集团有限公司 陕西 西安 710000

摘要：路桥施工中的高边坡稳定性分析及加固技术是一个复杂而重要的课题。本文探讨了路桥施工中高边坡的稳定性分析及加固技术。分析了影响高边坡稳定性的多种因素，介绍了高边坡稳定性分析方法，包括极限平衡法、有限单元法、边界元法、不连续变形分析和快速拉格朗日分析。阐述了高边坡加固技术的特点与选择原则，并研究了挂网锚喷加固、预应力锚索加固、注浆加固、排水固结加固和抗滑桩加固等常用的加固技术。旨在为路桥施工中的高边坡稳定性分析及加固技术提供理论参考和实践指导。

关键词：路桥施工；高边坡；稳定分析方法；加固技术

引言：在路桥施工过程中，高边坡的稳定性问题一直备受关注。高边坡失稳会影响施工进度，可能对周边环境和人民生命财产安全构成严重威胁。对高边坡的稳定性进行准确分析和有效加固至关重要。下文将从高边坡稳定性影响因素入手，探讨常用的稳定性分析方法，并详细介绍几种常用的加固技术。

1 路桥施工中高边坡稳定性影响因素

路桥施工中高边坡的稳定性受到多种因素的影响，这些因素相互作用，共同决定了边坡的稳定状态。以下是对路桥施工中高边坡稳定性影响因素的详细分析：

（1）地质条件。边坡所在地区的岩层性质、结构、风化程度以及岩层之间的接触关系等都会对边坡的稳定性产生影响。软弱岩层、断层、节理发育等地质构造容易使边坡产生滑动面，从而降低其稳定性。（2）地形地貌。边坡的高度、坡度、平面形状以及周边临空条件等都会直接影响其稳定性。一般来说，边坡越高、坡度越陡，对稳定性的影响就越大^[1]。地形地貌的变化还可能导致边坡受到不同方向的力的作用，进一步增加其失稳的风险。（3）水文条件。降雨、地下水以及地表水流的冲刷作用都可能对边坡的稳定性产生负面影响。特别是在降雨季节，大量的降水会使边坡土体饱和，降低其抗剪强度，从而增加边坡的滑动风险。同时地下水的存在也可能导致边坡岩体的软化，进一步降低其稳定性。（4）人类活动。在路桥施工过程中，不合理的开挖、填筑、爆破等作业都可能对边坡的稳定性造成破坏。过度的开挖可能导致边坡土体失去支撑，从而产生滑动；而爆破作业则可能破坏边坡岩体的完整性，降低其抗剪强度。（5）气候条件。在极端气候条件下，如高温、干旱或暴雨等，边坡土体的物理性质可能发生变化，从而影响其稳定性。

2 高边坡稳定性分析方法

2.1 极限平衡法

极限平衡法是一种基于静力平衡原理的传统分析方法，它假定边坡的岩体或土体为刚体，并考虑其沿某一潜在滑动面发生滑动的情况。该方法的核心在于分析滑动面上的抗滑力与下滑力之间的平衡关系，从而计算出边坡的安全系数。极限平衡法具有计算简单、易于理解的优点，因此在工程实践中得到了广泛应用。极限平衡法包括多种具体方法，如瑞典圆弧法、简化毕肖普法和不平衡推力法等。瑞典圆弧法是一种经典的极限平衡分析方法，它适用于均质土坡的稳定性分析。该方法通过假设滑动面为圆弧形，计算滑动面上的抗滑力和下滑力，进而得出边坡的安全系数。简化毕肖普法则考虑了条块间的水平作用力，提高了计算精度，适用于更复杂的边坡条件。不平衡推力法则通过考虑条块间的推力传递，进一步提高了分析的准确性，特别适用于分析具有多层滑动面的边坡。

2.2 有限单元法

有限单元法（FEM）是一种更为先进的数值分析方法，它通过将边坡划分为许多小的单元，对每个单元进行力学特性分析，再组合起来得到整个边坡的应力、应变和位移分布情况。该方法能够处理复杂地质条件和复杂加载条件下的边坡稳定性问题，具有高度的灵活性和准确性。有限单元法可以分析边坡的静力稳定性，可以模拟边坡在动力荷载（如地震）作用下的响应。在动力分析中，有限单元法能够考虑边坡的惯性力和阻尼效应，从而更准确地评估边坡在动力荷载下的稳定性。此外有限单元法还可以结合其他数值方法（如边界元法）进行联合分析，以进一步提高分析的准确性。

2.3 边界元法

边界元法 (BEM) 是一种基于边界积分方程的数值方法。它将边坡的边界离散化, 通过求解边界上的积分方程来获得内部区域的应力分布。边界元法在处理无限域或半无限域问题时具有显著优势, 如分析边坡在地下水作用下的稳定性^[2]。在边界元法中, 边坡的边界被划分为一系列离散点或线段, 这些离散点或线段上的未知量通过边界积分方程进行求解。由于边界元法只需求解边界上的未知量, 因此计算量相对较小, 计算效率较高。此外边界元法还能够高效地处理边坡与周围环境的相互作用, 如地下水对边坡稳定性的影响, 为边坡稳定性分析提供了新的视角。

2.4 不连续变形分析

不连续变形分析 (DDA) 是一种用于模拟节理岩体的位移和破坏过程的数值方法。它将岩体划分为由结构面切割而成的离散块体, 通过块体间的相互作用来模拟边坡的变形和破坏。不连续变形分析特别适用于分析含有大量节理和裂隙的岩质边坡。在这种方法中, 岩体的节理和裂隙被视为不连续面, 这些不连续面将岩体划分为多个离散块体。通过分析块体间的相互作用 (如接触力、摩擦力等), 可以模拟边坡的变形和破坏过程。不连续变形分析能够真实再现边坡沿结构面的位移、开张、错动等变形过程, 为边坡稳定性分析提供了更为精细的模型。

2.5 快速拉格朗日分析

快速拉格朗日分析 (FLAC) 是一种基于显式有限差分技术的数值分析方法。它适用于模拟地质材料在大变形条件下的力学行为, 特别适合于分析动态问题和非线性问题。在快速拉格朗日分析中, 边坡被划分为一系列小的单元 (如四边形或六面体单元), 每个单元内的应力、应变和位移通过显式有限差分方程进行求解。由于该方法采用显式求解方式, 因此计算效率较高, 能够处理复杂的边坡几何形状和边界条件。此外快速拉格朗日分析还能够提供边坡在开挖、支护等施工过程中的应力、应变和位移分布信息, 为边坡稳定性分析和设计提供了有力的工具。

2.6 统计分析方法

除了上述数值分析方法外, 统计分析方法也在高边坡稳定性分析中发挥着重要作用。Monte Carlo模拟法是一种常用的统计分析方法, 它通过模拟大量的随机变量来评估边坡稳定性的概率分布。在Monte Carlo模拟法中, 边坡的稳定性参数 (如抗剪强度参数、几何尺寸等) 被视为随机变量, 并通过随机数生成器进行模拟。通过对大量模拟结果的分析, 可以评估边坡稳定性的概

率分布和可靠性。模糊数学法也用于处理边坡稳定性分析中的不确定性和模糊性问题。通过模糊逻辑和模糊集合理论, 可以评估边坡的安全等级和不确定性范围, 为边坡稳定性分析提供了更为全面的视角。

3 高边坡加固技术的特点与选择原则

3.1 特点

高边坡加固技术是针对自然或人为形成的陡峭边坡进行稳定化处理的一系列工程技术措施。其特点主要体现在以下几个方面: (1) 技术复杂性与多样性。高边坡加固需要考虑坡度、高度、土质、水文条件以及边坡的历史变形情况等多重因素, 因此加固方案往往需要根据具体情况进行定制, 技术复杂且多样。(2) 材料高强度与耐久性。由于高边坡承受的荷载较大, 且长期暴露于自然环境中, 加固材料需具备高强度和耐久性。钢筋混凝土、高强度锚杆等材料常被用于高边坡加固, 以确保加固结构的长期稳定性。(3) 施工难度大。高边坡加固施工通常需要在陡峭的边坡上进行, 作业空间有限, 施工难度大^[3]。加固施工往往需要在保证边坡安全的前提下进行, 对施工技术和管理水平提出了较高要求。(4) 综合效益显著。通过加固处理, 可以有效防止边坡滑坡、崩塌等灾害的发生, 保护周边环境和人民生命财产安全。

3.2 选择原则

在选择高边坡加固技术时, 应遵循以下原则: (1) 安全性原则。加固方案应确保边坡的整体稳定性和局部安全性, 防止滑坡、崩塌等灾害的发生。(2) 经济性原则。在保证安全性的前提下, 应充分考虑加固方案的经济性, 选择成本效益较高的加固手段。(3) 适应性原则。加固方案应适应边坡的地质条件、水文条件以及周边环境, 确保加固效果。(4) 可持续性原则。加固方案应考虑环境保护和可持续发展, 减少对自然环境的破坏, 促进人与自然的和谐共生。(5) 施工可行性原则。加固方案应具有施工可行性, 便于施工队伍进行作业, 确保加固工程的顺利进行。

4 路桥施工中常用高边坡加固技术

4.1 挂网锚喷加固技术

挂网锚喷加固技术是一种结合了锚杆支护、钢筋网喷射混凝土和边坡防护网的综合加固方法。这种技术通过在边坡表面铺设钢筋网, 并使用锚杆将其固定, 随后喷射混凝土以封闭整个边坡表面。在挂网锚喷加固过程中, 首先进行边坡的清理和整修, 确保坡面平整无杂物。然后按照设计要求在边坡上钻孔并安装锚杆。锚杆的长度和直径根据边坡的土质和稳定性要求进行选择。锚杆安装完成后, 铺设钢筋网并将其与锚杆牢固连接。

最后使用喷射混凝土设备将混凝土均匀地喷射在钢筋网上,形成一层坚固的保护层。挂网锚喷加固技术的优点在于其施工速度快、加固效果显著,且能够适应各种复杂的地质条件。这种技术特别适用于岩石边坡和土质边坡的加固,能够有效提高边坡的整体稳定性和抗冲刷能力。

4.2 预应力锚索加固技术

预应力锚索加固技术是一种通过施加预应力来提高边坡稳定性的方法。这种技术利用锚索将边坡的滑动力传递到稳定的岩层或土体中,从而达到加固的目的。预应力锚索加固的施工过程包括钻孔、安装锚索、注浆和张拉锁定等步骤^[4]。首先在边坡上按照设计要求钻孔,并清理孔内的杂物。然后将锚索穿入孔中,并注入高强度的注浆材料以固定锚索。注浆完成后,对锚索进行张拉,使其产生预应力,并通过锁定装置将锚索固定在边坡上。预应力锚索加固技术的优点在于其受力可靠、作用力可均匀分布于需加固的边坡上,且对地形、地质条件适应性强,特别适用于高边坡和潜在破裂面位置较深的边坡加固,能够有效提高边坡的抗滑力和整体稳定性。

4.3 注浆加固技术

注浆加固技术是通过向边坡内部注入浆液来填充裂隙和空隙,从而提高边坡的整体强度和稳定性。注浆加固的施工过程包括钻孔、注浆和封孔等步骤。首先在边坡上按照设计要求钻孔,并清理孔内的杂物。然后选择合适的注浆材料和注浆设备,将浆液注入孔中。注浆过程中要控制注浆压力和注浆速度,以确保浆液能够充分填充裂隙和空隙。注浆完成后,对注浆孔进行封孔处理,以防止浆液流失。注浆加固技术的优点在于其能够深入边坡内部进行加固,提高边坡的整体强度和稳定性。该技术特别适用于破碎边坡和裂隙发育边坡的加固,能够有效减少边坡的变形和破坏。

4.4 排水固结加固技术

排水固结加固技术是通过设置排水系统和施加预压荷载来加速边坡土体的固结过程,从而提高边坡的稳定性和承载能力。排水固结加固的施工过程包括土体勘测、排水系统设计、预压荷载施加和监测等步骤。首先

对边坡土体进行勘测和分析,了解土体的性质和含水状况。然后根据勘测结果设计排水系统,包括排水管道和排水井等设施。排水系统施工完成后,施加预压荷载以加速土体的固结过程。在固结过程中,要实时监测土体的变形和孔隙水压力等数据,以便及时发现问题并采取相应措施。排水固结加固技术的优点在于其能够提高边坡土体的稳定性和承载能力,减少土体的压缩变形。此技术特别适用于软弱土壤和可压缩土壤的加固,能够有效解决地基的沉降和稳定性问题。

4.5 抗滑桩加固技术

抗滑桩加固技术是通过在边坡中设置抗滑桩来支挡滑体的滑动力,从而提高边坡的稳定性。抗滑桩加固的施工过程包括桩位确定、桩孔钻孔、钢筋笼制作和混凝土浇筑等步骤。首先根据设计要求确定抗滑桩的位置和数量。然后在桩位上钻孔并清理孔内的杂物。接着制作钢筋笼并将其放入桩孔中。最后浇筑混凝土以形成抗滑桩。抗滑桩加固技术的优点在于其施工简便、工期短且加固效果显著,此技术特别适用于滑坡体的快速治理和应急抢险工作。通过合理设置抗滑桩的数量和位置,可以有效支挡滑体的滑动力,提高边坡的整体稳定性。

结束语:通过准确分析高边坡的稳定性影响因素,选择合适的稳定性分析方法,并采用适当的加固技术,可以有效提高高边坡的稳定性,确保路桥施工的安全和质量。本文的研究成果为路桥施工提供了理论支持,为实际工程中的高边坡稳定性分析及加固提供了有益的参考。

参考文献

- [1]李文文.道路高边坡治理的设计及稳定分析[J].建筑工程技术与设计,2019(36):20-73.
- [2]王道隆,向敬,黄亚娥,等.基于层次可拓集的公路边坡稳定性评估[J].交通科学与工程,2022,38(2):13-19.
- [3]关勇哲.城市道路高边坡防护与加固技术分析[J].大科技,2019(12):115-116.
- [4]贺清.路桥施工中高边坡预应力锚索施工技术研究[J].四川建材,2021,47(11):150-151.