

岩土边坡稳定性评估与加固

别小平

宜昌国诚资产管理有限公司 湖北 宜昌 443000

摘要：随着人类工程活动的不断扩展和地质环境的日益复杂，岩土边坡的稳定性问题日益突出。边坡失稳不仅会造成巨大的经济损失，还可能对人民生命财产安全构成严重威胁。因此，对岩土边坡的稳定性进行评估并采取有效的加固措施显得尤为重要。

关键词：岩土边坡；稳定性；评估；加固

引言

近年来，随着我国社会经济的快速发展，基础设施建设规模不断扩大，形成了大量的工程边坡。边坡失稳灾害频繁发生，被称为仅次于地震和泥石流的第三大地质灾害，造成了巨大的人员伤亡和经济财产损失。因此，研究边坡工程失稳灾害的发生原因及加固治理措施已成为当前的重点课题之一。

1 边坡稳定性分析方法

边坡稳定性分析是岩土工程领域中的一项重要任务，旨在评估边坡在自然或人为因素作用下的稳定状态，并预测其可能的发展趋势。分析方法主要分为定性分析法和定量分析法两大类。

1.1 定性分析方法

定性分析方法是一种基于实地勘察、经验判断和类比推理的方法，它侧重于对边坡稳定性影响因素的宏观把握和整体评价。其中，自然历史分析法是一种重要的定性分析方法。该方法通过深入研究边坡所在区域的自然历史演变过程，包括地质构造、地貌形态、气候变迁等，结合当前边坡的破坏迹象，如裂缝、滑坡、塌陷等，对边坡的稳定性进行综合评价和预测。这种方法能够揭示边坡稳定性的历史背景和演变规律，为制定有效的防治措施提供科学依据。另一种常用的定性分析方法是工程类比法。该方法通过对比当前边坡与已知稳定或失稳的边坡在地质环境、工程结构、影响因素等方面的相似性，来推断当前边坡的稳定性状况。工程类比法要求工程师具备丰富的实践经验和专业知识，能够准确识别边坡之间的相似性和差异性，从而做出合理的判断。在定性分析中，除了自然历史分析法和工程类比法外，还可以结合其他方法，如地质雷达探测、声波测试等无损检测技术，对边坡的内部结构、裂隙分布、岩土性质等进行更深入的探测和分析。这些方法能够为边坡稳定性评价提供更全面的信息支持^[1]。

1.2 定量分析方法

定量分析方法在边坡稳定性评估中占据着举足轻重的地位，它依赖于精确的力学模型和数学计算，为边坡的稳定性提供了更为具体和量化的评价。在众多的定量分析方法中，极限平衡法和有限元法是最为常用且有效的两种。

1.2.1 极限平衡法

极限平衡法，作为边坡稳定性分析的经典方法，其核心理念在于通过力学平衡原理来探究边坡在即将失稳时的临界状态。该方法首先设定一个边坡的稳定安全系数 F ，这一系数代表了边坡土体抗剪强度的降低倍数，当土体的抗剪参数（如摩擦因素 $\tan\phi$ 和粘聚力 c ）降低 F 倍后，边坡将处于失稳的边缘。在实际应用中，极限平衡法会考虑边坡上滑体的各种可能破坏模式，如平面滑动、圆弧滑动或楔形滑动等，并计算在这些模式下边坡的抗滑力和下滑力。通过比较这两者的关系，可以评估边坡的稳定性，并确定最危险的滑动面。极限平衡法因其简洁明了、计算量相对较小而广泛应用于工程实践中。

1.2.2 有限元法

有限元法，作为一种先进的数值分析方法，在边坡稳定性评估中展现出了强大的优势。该方法通过离散化边坡岩土体，将其划分为一系列相互连接的单元（即有限元），每个单元都有其独特的几何形状、物理性质和边界条件。通过建立边坡的三维有限元模型，并考虑土体的应力-应变性质，有限元法能够模拟边坡在施工和运营过程中的受力状态，从而更准确地评估其稳定性。与极限平衡法相比，有限元法能够考虑更多的影响因素，如土体的非线性特性、边坡的几何形状变化、地下水的影响等，因此其分析结果更为全面和精确。此外，有限元法还可以进行动态分析，模拟边坡在地震、降雨等外部作用下的响应，为边坡的稳定性评估提供了更为丰富的信息。

2 影响边坡稳定性的因素

边坡的稳定性受到多种因素的共同影响，其中地质构造与岩性、水文地质条件是两大核心要素。

2.1 地质构造与岩性

地质构造和岩性作为边坡稳定性的基石，其特性对边坡的稳定性具有决定性影响。边坡坡体内的节理裂隙、断层以及软弱夹层等地质构造特征，如同边坡内部的“隐形裂缝”，极大地削弱了边坡的整体强度。这些构造特征不仅为边坡的变形和破坏提供了潜在的滑动面，还可能导致边坡在外部力作用下更容易发生失稳。此外，岩土体的物理力学性质，如抗剪强度、粘聚力和内摩擦角等，也是影响边坡稳定性的关键因素。抗剪强度决定了岩土体抵抗剪切破坏的能力，而粘聚力和内摩擦角则反映了岩土体内部的粘结力和摩擦阻力。这些性质的优劣直接关系到边坡在受力状态下的稳定性能。

2.2 水文地质条件

地下水作为边坡稳定性的重要影响因素，其存在和分布对边坡的稳定性产生着深远影响。地下水的富集程度与气候条件、水文地质条件密切相关。在降雨或融雪等气候条件下，地下水的水位可能会显著上升，从而增加边坡坡体的下滑力。更为关键的是，地下水还会降低软弱夹层和结构面的抗剪程度。当水渗入这些夹层或结构面时，会引起孔隙水压力的上升，进而降低滑动面上的有效正应力。这一变化直接导致滑动面的抗滑力减小，使得边坡在相同外部力作用下更容易发生失稳^[2]。此外，地下水还可能通过化学作用改变岩土体的性质，进一步削弱边坡的稳定性。地质构造与岩性、水文地质条件是边坡稳定性评估中不可或缺的重要考虑因素。在实际工程中，应充分考虑这些因素对边坡稳定性的影响，并采取相应的工程措施来确保边坡的安全稳定。

2.3 地貌因素

边坡的形态和规模，作为地貌因素的重要组成部分，对边坡的稳定性具有至关重要的影响。边坡的形态，包括其坡度、坡长、坡形等，直接决定了边坡在受力状态下的应力分布和变形特征。不利的边坡形态，如过陡的坡度、过长的坡长或不规则的坡形，往往会在坡顶产生较大的张应力，导致张裂缝的形成。这些裂缝不仅削弱了边坡的整体强度，还为外部水分和气体的侵入提供了通道，进一步加剧了边坡的失稳风险。同时，边坡的规模也是影响其稳定性的重要因素。大规模的边坡往往具有更大的体积和重量，因此在相同的外部力作用下，其产生的应力和变形也会更大。特别是在坡脚位置，由于承受了来自坡体上部的巨大压力，往往会产生

强烈的剪应力，形成剪切破坏带。这些破坏带的存在极大地降低了边坡的稳定性，使得边坡在外部力作用下更容易发生滑动或坍塌。

2.4 气候因素

气候因素，特别是大气降雨，对边坡的稳定性具有显著的影响。降雨是地下水的主要补给源之一，而地下水的存在和分布又直接影响着边坡的稳定性。在暴雨或长期降雨的情况下，大量的雨水会迅速渗入边坡土体，导致土体含水量增加、容重增大，进而增加边坡的下滑力。同时，雨水还会软化土体，降低其抗剪强度和粘聚力，使得边坡在相同外部力作用下更容易发生失稳。此外，融雪也是影响边坡稳定性的重要因素之一。在冬季，降雪后积雪在边坡上堆积，当春季气温回升时，积雪开始融化并渗入边坡土体^[3]。这一过程中，融雪水不仅增加了土体的含水量，还可能引起土体内部的温度变化，导致土体性质的改变和强度的降低。因此，在融雪季节，边坡失稳的风险也会相应增加。

3 边坡加固治理技术

边坡加固治理技术是确保边坡稳定、防止滑坡等地质灾害发生的重要手段。其中，混凝土抗滑结构因其良好的抗滑效果和施工便利性，成为边坡加固中的常用措施。

3.1 混凝土抗滑结构

混凝土抗滑结构是边坡加固治理中的核心组成部分，它通过多种形式的混凝土结构来增加边坡的抗滑力，从而提升边坡的整体稳定性。以下是几种常见的混凝土抗滑结构：

3.1.1 混凝土抗滑桩

混凝土抗滑桩是一种深入边坡土体的柱状结构，通过桩身与土体的相互作用，将边坡的下滑力传递到更深的稳定土层或岩层中。抗滑桩的设计通常考虑桩的直径、长度、间距以及桩身的材料强度等因素，以确保其能够承受边坡的下滑力并保持稳定。在实际施工中，抗滑桩常常与锚杆、土钉等结构组合使用，形成更加稳固的抗滑体系。

3.1.2 混凝土沉井

混凝土沉井是一种通过开挖和浇筑混凝土形成的井状结构，它通常被用于边坡的深层加固。沉井的施工过程包括开挖井筒、浇筑混凝土、沉井下沉等步骤。通过沉井的下沉，可以将边坡的下滑力有效地传递到更深的土层中，同时沉井的井壁也能提供额外的抗滑力。沉井结构因其良好的承载能力和抗滑效果，在大型边坡加固工程中得到了广泛应用。

3.1.3 混凝土挡墙

混凝土挡墙是一种直接设置在边坡坡脚的墙体结构，它通过墙体的自重和与土体的摩擦力来抵抗边坡的下滑力。挡墙的设计通常考虑墙体的厚度、高度、材料强度以及墙后的填土性质等因素。在实际应用中，挡墙常常与排水设施、反滤层等结构组合使用，以确保墙体的稳定性和耐久性^[4]。除了上述几种常见的混凝土抗滑结构外，还有诸如混凝土锚杆、混凝土土钉墙等其他的加固措施，它们也都在边坡加固治理中发挥着重要作用。这些混凝土抗滑结构通过不同的作用机制和施工方式，共同为边坡的稳定性提供了有力的保障。在实际工程中，应根据边坡的具体情况和加固需求，选择合适的抗滑结构或组合使用多种结构，以达到最佳的加固效果。

3.2 锚固技术

锚固技术是边坡加固治理中另一项至关重要的技术，它通过一系列锚固措施，将边坡的滑动体或潜在滑动体与稳定的岩土体紧密连接，从而显著提高边坡的抗滑能力和稳定性。这一技术主要包括锚固洞、喷混凝土护坡以及预应力锚固（锚索）等多种方法。锚固洞是一种在边坡内部开挖的洞穴结构，通过在其中安装锚杆或锚索，将滑动体与稳定的岩土体锚固在一起。这种技术能够充分利用边坡自身的岩土体强度，提供稳定的锚固力，同时避免了对边坡表面的破坏。喷混凝土护坡则是一种将混凝土以高速喷射到边坡表面的方法，形成一层坚固的保护层。这层混凝土不仅能够增加边坡表面的粗糙度，提高边坡的抗滑能力，还能够有效地防止水分、风化等因素对边坡的侵蚀，延长边坡的使用寿命。预应力锚固（锚索）则是锚固技术中的佼佼者，它通过预先在锚索中施加张力，将滑动体紧紧锚固在稳定的岩土体中。这种技术不仅能够提供巨大的锚固力，还能够根据边坡的实际情况调整锚索的张力和方向，实现精确的加固效果。预应力锚索的施工过程通常包括锚索的制作、安装、张拉和锁定等步骤，每一步都需要严格的质量控制和技术支持。预应力锚索的工作原理是基于岩土体的抗拉强度远高于其抗压和抗剪强度。通过施加预应力，锚索能够将滑动体受到的下滑力转化为锚索的拉力，并通过锚索与稳定岩土体的锚固作用，将这部分拉力传递到稳定的岩土体中。这样，即使边坡受到外部力的作用，也能够通过锚索的锚固作用保持稳定，避免滑坡等地质灾害的发生。

3.3 减载与排水措施

在边坡加固治理中，减载与排水措施是两种至关重要的辅助手段，它们通过直接减小边坡的下滑力和降低边坡内部的水压力，有效地提高了边坡的稳定性。减载

措施，顾名思义，就是通过减小边坡上部的荷载来降低坡体的下滑力。这通常包括削坡减载和移除边坡上部的重物两种方法。削坡减载是通过人工或机械的方式，将边坡的坡度降低，使边坡的形态更加平缓，从而减小边坡上部岩土体的重量和下滑力。这种方法适用于坡度较陡、岩土体性质较差的边坡。而移除边坡上部的重物，则是通过搬运或爆破等方式，将边坡上部的建筑物、岩石或其他重物移除，以减轻边坡的荷载。这种方法通常用于边坡上部存在大量重物或建筑物的情况。排水措施则是通过排除边坡内的地下水，降低孔隙水压力，从而提高边坡的稳定性。地下水是边坡失稳的重要因素之一，因为水的存在会增加边坡岩土体的重量，降低其抗剪强度，同时还会产生孔隙水压力，促进边坡的滑动。因此，通过合理的排水措施，将边坡内的地下水排除，是提高边坡稳定性的关键。排水措施通常包括地表排水和地下排水两种。地表排水是通过修建排水沟、截水沟等工程，将边坡表面的雨水或地下水引导至安全地带，避免水流入边坡内部。而地下排水则是通过钻设排水孔、铺设排水管道等方式，将边坡内部的地下水排出，降低孔隙水压力，提高边坡的稳定性。在实际工程中，减载与排水措施往往需要结合使用，以达到最佳的加固效果。例如，在削坡减载的同时，可以修建排水沟或钻设排水孔，以排除边坡内的地下水；在移除边坡上部重物的同时，也可以考虑对边坡进行地下排水处理，以降低孔隙水压力。通过综合运用减载与排水措施，可以有效地提高边坡的稳定性，确保土木工程的安全和环境保护。

结束语

岩土边坡稳定性评估与加固是一项复杂而重要的工作。通过合理的边坡稳定性分析方法，可以准确评估边坡的稳定性现状及其发展趋势；通过采取有效的加固治理技术，可以显著提高边坡的稳定性，减少边坡失稳灾害的发生。未来，随着科学技术的不断进步和工程实践经验的积累，边坡稳定性评估与加固技术将不断完善和发展。

参考文献

- [1]公路高边坡稳定性分析与加固措施研究[J].陈海.北方交通.2020(02)
- [2]高速公路高边坡稳定性分析[J].景茂武.交通世界.2017(17)
- [3]公路高边坡稳定性的长期监测[J].张力,瞿竹,姬同旭.四川建筑.2019(06)
- [4]高边坡稳定性有限元分析[J].吴维杰.北方交通.2016(03)