

试论水利水电工程边坡开挖及防护技术分析

汪自成

武汉市青山区水务和湖泊局

摘要：随着社会经济的发展和人类对自然资源需求的不断增长，水利水电工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，其建设规模和技术难度也在不断提升。在水利水电工程中，边坡开挖是一项关键的施工环节，它直接关系到工程的安全性、稳定性以及后续运营成本。然而，边坡开挖过程中的地质条件复杂多变，加之自然环境和人为因素的影响，使得边坡防护技术成为确保工程顺利进行的重要保障。本文旨在通过对水利水电工程边坡开挖及防护技术的深入分析，探讨当前技术的应用现状与存在的问题，并提出相应的改进措施，以期对相关工程提供参考和借鉴。

关键词：水利水电工程；边坡；边坡开挖；防护

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2023.11.089

水利水电工程的建设不仅关系到能源的供给和水资源的合理利用，还涉及区域生态平衡和环境保护。在这一过程中，边坡开挖作为工程建设的基础环节，其科学性、合理性直接影响到工程质量和后期的维护管理。边坡的稳定性是工程设计和施工中必须考虑的重要因素，而边坡防护技术则是确保边坡稳定、防止地质灾害的关键。

一、水利水电工程边坡开挖的技术要求

（一）边坡工程的分类与特点

边坡工程是水利水电工程中的重要组成部分，其稳定性直接关系到工程的安全和正常运行。边坡工程通常可分为天然边坡和人工边坡两大类。天然边坡是指自然形成的山坡，其形状、结构主要受地质构造、风化作用、水文条件等自然因素影响。而人工边坡则是由于人类活动如建筑施工、道路建设或矿山开采等造成的，其形状、结构除了受自然因素影响外，还受到人为因素的控制。这两种边坡的稳定性不仅受到地质结构、岩石类型、水文条件、风化作用的影响，还会受到地震、降雨、人为破坏等因素的影响。

（二）边坡开挖的技术标准

边坡开挖的技术标准是为了确保施工过程中边坡的稳定性和安全性而制定的。这些标准通常包括边坡角度、开挖深度、边坡形状和开挖步骤等。在制定技术标准时，需要综合考虑地质条件、工程规模 and 环境保护要求。例如，对于地质条件较差的边坡，可能需要采取较小的边坡角度和较浅的开挖深度，以确保边坡的稳定性；而对于地质条件较好的边坡，可以适当增大边坡角度和开挖深度，以提高工程效率。此外，在制定技术标准时，还需要考虑到环境保护要求，尽量减少对周围环境造成不良影响。

（三）边坡开挖前的地质调查与评估

在进行边坡开挖前，必须进行详细的地质调查和稳定性评估。这包括对地形地貌、岩层结构、地下水位、土壤性质和潜在的地质灾害等因素的分析。地质调查的结果将直接影响到开挖方案的设计和施工方法的选择。

例如，如果地质调查显示边坡存在潜在的滑坡风险，那么可能需要采取加固措施，如设置支撑结构或者改变边坡形状，以增加边坡的稳定性。此外，在地质调查过程中，还需要对地下水位进行详细调查，以便在施工过程中采取有效措施防止地下水对边坡稳定性产生不良影响。

二、常见边坡开挖施工方法

边坡开挖是工程建设中的一项重要工作，特别是在道路建设、建筑基础和矿山开采等领域。正确的边坡开挖不仅能够保证工程结构的安全稳定，还能有效控制工程成本和保护环境。根据地质条件、工程规模 and 环境保护要求，开挖可以采用多种不同的技术。

（一）传统开挖技术

1、爆破法：这是一种历史悠久且高效的开挖方式，特别适用于处理硬质岩石。爆破法通过在岩石中钻设炮眼，然后填充炸药并引爆来破碎岩石。这种方法能迅速移除大量岩石，但需要高度的专业知识以确保安全和效率。在进行爆破作业时，必须严格遵守相关安全规定，确保爆破不会对周边环境和建筑物造成损害。

2、机械开挖法：机械开挖法使用重型设备如挖掘机、推土机等进行开挖作业。这些设备能够快速挖掘土壤和软岩，并且可以在各种规模的土石方工程中发挥作用。机械开挖通常成本较低，操作相对简单，但可能对环境造成较大的干扰。因此，在选择机械开挖时，需要考虑到其对周围环境的影响，并采取相应的减缓措施。

（二）新型开挖技术

1、静态破碎法：当环境敏感或无法使用爆破时，静态破碎法成为一种理想的选择。这种方法涉及在岩石中钻孔，然后填充一种称为静态破碎剂的化学物质。随着时间的推移，该剂会膨胀，产生裂缝并最终使岩石破碎。静态破碎法的优点包括噪音低、振动小，且没有爆炸产生的风险。这种方法适用于城市地区、居民区或其他对噪音和振动有严格限制的地方。

2、高压水射流切割法：这种技术利用高速水流，

通过切割头将水流聚焦成细小的射流，以高压力冲击岩石或混凝土表面，从而实现切割。高压水射流切割法具有精确切割、低振动和低噪音等优点，适合于城市地区或其他对振动和噪音有严格限制的地方。此外，高压水射流切割法还可以减少粉尘和其他污染物的排放，是一种环保的开挖技术。

（三）开挖施工中的安全保障措施

在进行边坡开挖工作时，确保施工人员和周围环境的安全至关重要。因此，必须实施一系列安全保障措施：

1、安全培训：安全意识的培养和专业知识的传授是预防事故的第一步。所有参与施工的员工都必须接受全面的安全操作培训，这包括对潜在危险因素的认识、个人防护装备的正确使用方法、操作机械设备的安全准则，以及在遇到紧急情况时的应急响应措施。通过定期的培训和演练，可以确保施工人员在面对实际问题时能够做出正确的判断和反应。

2、现场围栏：施工现场应设立明显的界限，并用围栏或其他隔离设施围起来，以限制非授权人员的接近。这些围栏不仅可以防止无关人员误入可能导致伤害的危险区域，还可以帮助维护施工现场的秩序，从而为施工人员提供一个更安全的工作环境。

3、监测设备：现代技术提供了多种监测工具，如倾斜计、位移计、土壤水分计等，它们可以实时监控边坡的稳定性和土壤的变化情况。通过对边坡进行持续的监测，可以及时发现任何异常迹象，比如土壤移动或裂缝的形成，从而采取预防措施避免滑坡或其他地质灾害的发生。

4、应急预案：无论施工计划多么周详，意外情况总是难以预料。因此，制定一个详细的应急预案对于应对突发事件至关重要。应急预案应包含清晰的紧急联系人信息、疏散路线图、救援队伍的联系方式、救援设备的存放位置，以及在不同情况下的具体操作步骤。此外，定期的模拟演习可以帮助员工熟悉预案内容，并在真正的紧急情况发生时减少混乱，提高应对效率。

三、边坡稳定性分析

（一）边坡稳定性影响因素

1、地质结构：地质结构是影响边坡稳定性的重要因素之一^[1]。岩层倾角、节理裂隙、地层组合及岩石类型等决定了边坡的物质基础和结构特征。不同的地质结构对边坡的稳定性有着不同的影响，因此，在进行边坡稳定性分析时，需要充分考虑地质结构的影响。

2、水文条件：水文条件对边坡稳定性的影响主要体现在地下水位的变动、降雨和地表水的渗透等方面。地下水位的升高会降低边坡的稳定性，而降雨和含水量的变化会直接或间接地对盐渍土的土骨架造成一定影响^[2]。因此，在边坡稳定性分析中，需要考虑水文条件的影响。

3、气候因素：气候因素包括温度变化、冻融循

环、风化作用等，这些因素会改变岩石的物理和化学性质，从而影响边坡的稳定性。例如，温度变化可能导致岩石的热胀冷缩，进而影响边坡的稳定性；冻融循环可能导致岩石的冻胀和融化，进而影响边坡的稳定性。

4、地震活动：地震引发的地面震动可能导致边坡失稳，特别是在地震多发区，这是不容忽视的重要因素。地震活动对边坡稳定性的影响主要体现在地震荷载的作用以及地震引发的地面变形等方面。

5、人为因素：人类活动如开采、建筑施工、道路建设等可能破坏原有的地质结构，增加边坡失稳的风险。因此，在进行边坡稳定性分析时，需要考虑人为因素的影响。

（二）稳定性分析方法

1、极限平衡法：极限平衡法是一种传统的分析方法，通过计算边坡的安全系数来评估其稳定性。安全系数是指边坡抗滑动力与驱动力之比，当安全系数大于1时，认为边坡是稳定的。这种方法简单易行，但存在一定的局限性。

2、数值模拟法：随着计算机技术的发展，数值模拟成为边坡稳定性分析的重要工具。通过建立边坡的数学模型，并输入相应的物理参数，可以模拟边坡在不同条件下的稳定性表现，为工程设计提供依据。数值模拟法可以克服极限平衡法的局限性，更准确地评估边坡的稳定性。

（三）稳定性问题的预防与控制

为了预防和控制边坡稳定性问题，工程中常采取以下措施：

1、加固措施：加固措施包括锚杆、护面墙、支撑墙等，这些措施可以增强边坡的稳定性，防止滑坡和崩塌。通过合理选择加固措施，可以提高边坡的安全性能。

2、排水系统：合理的排水设计可以减少地下水对边坡的不利影响，提高边坡的稳定性。排水系统的设计应考虑地下水位的变化以及降雨和地表水的渗透等因素。

3、定期监测和维护：通过对边坡进行定期的监测，可以及时发现潜在的稳定性问题，并采取相应的维护措施。定期监测和维护是确保边坡长期稳定性的重要手段。

四、边坡防护技术

（一）传统防护技术

1、植被防护：

植被防护是一种利用植物的自然生长过程来加固和保护边坡的方法。通过在边坡上种植草本植物或灌木，植物的根系能够穿透土壤，增强土体的凝聚力，从而有效地防止水土流失和提高边坡的稳定性。植被防护的优点在于成本相对较低，对环境的干扰小，且具有一定的美观效果。然而，植被防护的效果在很大程度上受到气候条件的影响，如干旱、洪水等极端天气可能会影响植

物的生长,从而降低防护效果。

2、锚固技术:

锚固技术是一种通过使用锚杆或锚索将不稳定的岩体或土体固定在更深层次的稳定地层上的技术。这种方法可以显著提高边坡的整体稳定性,特别适用于岩石边坡或高度较大的土质边坡。锚固技术的应用范围广泛,但其施工过程相对复杂,需要专业的设备和技术,因此成本较高。此外,锚固工程的耐久性和维护也是需要考虑的因素。

(二) 现代防护技术

1、生态防护技术:

生态防护技术是一种结合了植被与土木工程材料的创新方法,旨在实现生态保护和工程加固的双重目标。这种技术通常使用生态混凝土、生态网格等新型材料,不仅能够提供有效的边坡防护,还能够促进植被生长,增强生态环境。生态防护技术具有环保、美观和经济等多重优点,但同样,其效果受气候条件的影响较大,需要适当的植物种类和材料选择来适应不同的环境条件。

2、柔性防护系统:

柔性防护系统是一种新型的边坡防护方法,它使用柔性材料如土工网、土工格栅等来适应地形的变化,减少对原有环境的冲击。这些材料能够在一定程度上变形以适应边坡的形状,同时提供有效的防护作用。柔性防护系统的优点在于施工简便、适应性强,尤其适用于地形复杂或难以接近的地区。然而,柔性防护的效果很大程度上取决于所使用的材料性能,因此选择合适的材料和设计是至关重要的。

(三) 防护技术的选择与应用

在工程建设中,边坡稳定性是一个重要的问题,它直接关系到工程的安全和稳定。因此,选择和应用适当的防护技术是非常重要的。在选择和应用防护技术时,需要考虑以下几个因素:

1、边坡的具体条件:边坡的地质结构、坡度、高度、水文条件等都会影响防护技术的选择。例如,对于地质结构复杂、坡度大、高度高的边坡,可能需要采用更为复杂和强大的防护技术。而对于地质结构简单、坡度小、高度低的边坡,可能只需要采用简单的防护技术。此外,水文条件也会影响防护技术的选择,例如,对于经常有水流经过的边坡,可能需要采用防水性能好的防护技术。

2、工程的经济性:在选择防护技术时,还需要考虑工程的成本效益。一般来说,防护技术的选择应该在满足边坡稳定性的前提下,尽可能选择经济合理的防护方案。这就需要不同的防护技术进行经济性分析,包括其建设成本、运行成本、维护成本等,以便选择出最经济合理的防护技术。

3、环境保护要求:在满足边坡稳定性的同时,还要考虑对周围环境的影响。因此,应该尽量选择环保型的防护技术。例如,可以选择使用生态防护技术,如

植被覆盖、生物工程技术等,这些技术不仅可以保护边坡,还可以改善周围的生态环境。

五、开挖与防护工程对环境的影响与解决办法

开挖与防护工程是基础设施建设和土木工程中常见的工程项目,它们对于改善交通条件、促进地区经济发展以及确保地质安全具有重要作用。然而,这些工程在施工过程中可能会对周围的自然环境和社区造成一系列的影响,包括但不限于土壤侵蚀、水质污染、生态破坏、噪音和振动等问题。为了最小化这些负面影响,以下是一些可能的解决办法:

1、采用环保型施工技术:施工单位应选择和使用那些对环境影响较小的施工技术和设备。例如,使用低排放的机械设备,采用电动或混合动力的施工车辆,以及使用更环保的材料和技术来减少污染物排放。

2、施工期间的环境监测:在施工期间,应该定期监测工地附近的土壤、水质、空气质量和噪音水平,以确保环境保护措施得到有效执行,并及时发现和解决潜在的环境问题。

3、施工后的生态恢复:工程完成后,应对受影响的地区进行生态恢复工作,包括重新植被、土壤修复和水体净化等措施。这有助于恢复生态系统的自然状态,减少长期的环境影响。

4、水土保持措施:在施工现场采取有效的水土保持措施,如设置围栏、排水系统和覆盖物,以防止雨水冲刷导致的土壤侵蚀和污染物扩散。

5、废弃物管理:合理处理施工过程中产生的废弃物,包括建筑废料、化学品和其他有害物质。这可能涉及废物的分类、回收、处理或安全处置。

6、社区参与和沟通:与当地社区居民进行有效沟通,告知他们施工计划和可能的环境影响,以及采取的缓解措施。同时,鼓励社区居民参与监督和反馈,确保环境保护措施得到实施。

7、法规遵守:严格遵守当地的环境保护法规和标准,确保所有施工活动都在法律允许的范围内进行。

结束语

随着科技的进步和工程技术的发展,未来边坡开挖及防护技术将面临更多的挑战和机遇。因此,我们应继续关注新技术、新材料和新方法的研究与应用,以提高边坡开挖及防护技术的效率和效果。同时,还应加强对边坡开挖及防护技术的监测和管理,确保工程的安全和可持续发展。让我们携手共进,为推动水利水电工程边坡开挖及防护技术的发展贡献力量。

参考文献

- [1] 孙登峰. 泥岩地质高边坡整体稳定性分析研究[J]. 四川水泥, 2021, (01): 309-310.
- [2] 王鹏. 不同因素对填筑路堤边坡稳定性影响分析[J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(04): 73-75.
- [3] 苑嗣明. 土木工程施工中边坡支护技术的有效应用[J]. 居舍, 2021(22): 51-52+60.