

水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用研究

丰华梅 陈 晨 潘志烽

如皋市新濬水利市政工程有限公司 江苏 如皋 226500

摘 要：边坡开挖支护技术是水利工程施工中的关键环节，对于保障工程安全、提高施工质量具有重要意义。本文综述了边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用现状、技术原理、施工流程以及安全监测等方面的研究进展，分析了不同支护技术的特点和适用条件，并结合实际工程案例探讨了该技术的应用效果及存在的问题。最后，提出了边坡开挖支护技术在水利工程施工中的发展趋势和研究方向。

关键词：水利工程；边坡开挖；支护技术；施工流程；安全监测

引 言

随着水利工程的不断发展，边坡开挖支护技术作为确保工程安全和质量的关键措施，受到了广泛关注。边坡开挖支护技术涉及地质勘察、支护方案设计、施工实施及安全监测等多个环节，对于提高水利工程的整体稳定性和安全性具有重要意义。

1 边坡开挖支护技术概述

1.1 边坡开挖支护技术原理

边坡开挖支护技术的核心在于通过一系列科学、合理的加固措施，提高边坡岩土体的抗滑移和抗变形能力，从而有效防止边坡失稳和滑坡事故的发生。这些加固措施多种多样，包括但不限于锚杆、锚索、挡土墙和喷射混凝土等。锚杆和锚索能够深入边坡岩土体内部，通过注浆等方式与岩土体紧密结合，形成一个稳定的锚固体系，有效抵抗边坡内部的应力变化；挡土墙则利用自身的重量或结构特性，为边坡提供额外的支撑力，防止岩土体的滑移；喷射混凝土则能够在边坡表面形成一层坚硬、密实的保护层，提高边坡的抗冲刷和抗风化能力，进一步增强边坡的稳定性。

1.2 边坡开挖支护技术分类

根据支护方式和材料的不同，边坡开挖支护技术可以细分为浅层支护技术和深层支护技术两大类，它们各自具有独特的特点和适用范围。浅层支护技术主要针对浅层边坡或需要快速加固的边坡进行加固处理。这类技术施工相对简便、成本较低，且对边坡的原有结构扰动较小。其中，挂网喷浆是一种常用的浅层支护方法，它通过在边坡表面铺设钢筋网，并喷射混凝土将其固定，形成一层具有抗冲刷和抗风化能力的保护壳。喷射混凝土则是另一种常见的浅层支护技术，它直接利用喷射设备将混凝土喷射到边坡表面，形成一层均匀、密实的混凝土层，提高边坡表面的强度和稳定性。深层支护技术

则主要针对深层边坡或需要更高支护强度的边坡进行加固处理。这类技术支护效果显著，适用范围广泛，但施工难度和成本相对较高。锚杆和锚索是深层支护技术中的代表，它们能够深入边坡岩土体内部，形成一个稳定的锚固体系，有效传递和分散边坡内部的应力，提高边坡的整体稳定性^[1]。此外，还有一些其他的深层支护技术，如注浆加固、预应力锚索等，它们根据具体的工程条件和地质情况来选择和应用，以满足边坡加固的需求。

2 边坡开挖支护技术的应用现状

2.1 浅层支护技术的应用

浅层支护技术因其施工简便、成本较低、对边坡扰动小等优势，在水利工程边坡开挖中得到了广泛应用。浅层支护技术主要适用于边坡深度不大、地质条件相对较好的区域。（1）挂网喷浆技术。作为浅层支护技术的代表，挂网喷浆技术通过在边坡表面铺设钢筋网并喷射混凝土，形成了一层既具有抗冲刷能力又具有抗风化能力的保护壳。这种保护壳能够有效防止边坡因水流冲刷或风化作用而破坏，提高边坡的整体稳定性。在实际应用中，挂网喷浆技术通常与排水孔技术相结合，以确保边坡内部的排水畅通，进一步增强支护效果。（2）喷射混凝土技术。该技术以其施工速度快、效果显著而备受青睐。喷射混凝土能够迅速覆盖边坡表面，形成一层坚固的保护层，有效防止边坡的进一步侵蚀和破坏。此外，喷射混凝土还可以与钢筋网等结构相结合，形成更加稳固的支护体系。

2.2 深层支护技术的应用

深层支护技术适用于边坡深度较大、地质条件复杂或需要更高支护强度的区域。这类技术以其加固效果显著、适用范围广、支护体系稳定可靠等特点，在水利工程边坡开挖中发挥着不可替代的作用。（1）锚杆支护技术。作为深层支护技术的核心之一，锚杆支护技术通过

在边坡内部打入锚杆并注浆，将边坡岩土体与锚杆紧密结合，形成一个稳定的锚固体系。这种锚固体系能够深入边坡岩土体内部，有效传递和分散边坡内部的应力，提高边坡的整体稳定性。在实际应用中，锚杆支护技术通常与排水孔、锚索等其他支护措施相结合，以形成更加完善的支护体系。（2）锚索支护技术。通过张拉锚索，将边坡岩土体与锚索固定端相连，形成一个更加稳固的支护体系。锚索支护技术不仅适用于大型边坡或高边坡的加固，还能满足长期支护的需求。与锚杆支护技术相比，锚索支护技术具有更大的灵活性和适应性，能够根据不同的地质条件和支护需求进行调整和优化。除了上述两种主要技术外，还有一些其他深层支护技术也在水利工程边坡开挖中得到了应用，如预应力锚索技术、注浆加固技术等。这些技术各有特点，适用于不同的地质条件和支护需求^[2]。

3 边坡开挖支护技术的施工流程

3.1 施工准备

在施工前，全面而详尽的地质勘察工作是不可或缺的基石。这一环节通过地质钻探、岩土体取样分析、地下水位监测以及地形地貌测绘等多种手段，深入揭示边坡岩土体的物理力学性质（如抗压强度、抗剪强度等）、结构特征（如节理裂隙分布、岩层产状等）、水文地质条件（如地下水位、渗透系数等）以及潜在的地质灾害风险（如滑坡、崩塌等）。这些勘察数据为支护方案的设计提供了坚实的科学依据，确保了后续施工的安全性和有效性。基于详尽的地质勘察结果，施工团队需精心制定出一套全面而详尽的施工方案。该方案不仅要明确开挖的顺序、支护的具体方式（如锚杆支护、锚索支护、挂网喷浆、注浆加固等），还要细致规划材料的选择（考虑材料的强度、耐久性、抗腐蚀性以及成本效益）、施工机械的合理配置（确保施工效率与安全性）、人员的组织安排（包括专业技能培训和安全教育）以及全面的安全措施（如防护网设置、应急逃生通道等）。此外，为确保在突发状况下能够迅速响应，还需制定详尽的应急预案，包括紧急疏散、医疗救援、设备抢修等各项内容。

3.2 开挖与支护施工

开挖过程是一个需要高度谨慎和精确控制的环节。遵循“自上而下、分层开挖、及时支护”的原则，施工团队应从边坡的顶部开始，逐层向下进行开挖。每层开挖的深度、宽度和坡度都需严格控制，以避免对边坡造成不必要的扰动和破坏。同时，开挖过程中还需密切关注边坡的稳定性，及时发现并处理任何潜在的滑坡或崩塌风险。支护施工作为边坡开挖支护技术的核心环节，

其重要性不言而喻。根据设计方案，施工团队需准确无误地按照既定的锚杆、锚索等支护结构的埋设位置和深度进行施工。支护材料的选择需经过严格筛选，确保其满足强度、耐久性、抗腐蚀性等方面的要求。在施工过程中，施工团队应严格遵循施工规范，确保支护结构的质量和安全。此外，对于锚杆、锚索等关键支护结构，还需进行拉拔试验等质量检测，以确保其能够承担预期的支护作用。与此同时，施工过程中的安全监测和质量控制也是至关重要的。施工团队应设立专门的安全监测小组，利用先进的监测设备和技术手段，对边坡的位移、应力等关键参数进行实时监测^[1]。一旦发现异常变化，应立即采取措施进行处理。此外，还应定期对支护结构进行质量检查，包括外观检查、尺寸测量、材料性能测试等，确保其符合设计要求并保持良好的工作状态。通过严格的安全监测和质量控制，可以确保施工过程中的安全性，提高支护效果，为边坡的长期稳定性提供有力保障。

3.3 安全监测与维护

在边坡开挖支护技术的施工过程中，安全监测与维护是确保边坡长期稳定性和施工安全的关键环节。从施工初期到项目完成后的整个周期内，持续而全面的监测工作都至关重要。在施工过程中，监测团队应密切关注边坡的位移、应力、地下水位等关键参数的变化。通过高精度的测量仪器和专业的监测技术，定期收集并分析这些数据，以及时发现边坡的异常变化。这些异常可能包括边坡位移的突然增大、应力的异常分布、地下水位的急剧变化等，它们都是边坡稳定性出现问题的预警信号。一旦监测到这些异常情况，施工团队必须立即响应，采取必要的处理措施。这可能涉及加强支护结构的强度，如增设锚杆、锚索或进行注浆加固；调整开挖方案，以减少对边坡的进一步扰动；或者进行紧急加固作业，以迅速稳定边坡，防止事态恶化。除了施工过程中的实时监测外，定期对支护结构进行检查和维护也是确保边坡长期稳定性的重要一环。维护工作应涵盖支护结构的各个方面，包括清理支护结构表面的杂物和污垢，以保持其清洁和完好；检查锚杆和锚索的紧固情况，确保其连接牢固无松动，并及时更换任何受损或腐蚀的部件；对损坏的支护结构进行及时修复，如填补裂缝、加固变形部位等。这些维护工作不仅能够延长支护结构的使用寿命，还能有效预防因支护结构失效而导致的边坡失稳事故。

4 工程实例分析：海南省迈湾水利枢纽工程边坡开挖支护实践

海南省迈湾水利枢纽工程作为海南省的重点水利骨干项目,总投资高达73.64亿元,计划工期56个月,自2020年4月13日启动,预计将于2024年11月底圆满竣工。该项目在边坡开挖过程中面临了巨大的挑战,主要源于边坡的高度大以及地质条件的复杂性。为了有效应对这些难题,施工团队在详尽分析地质勘察数据后,精心设计了一套边坡开挖支护方案。该方案融合了深层支护与浅层支护两大技术体系:深层支护主要通过锚杆和锚索实现,锚杆深入岩土提供强大抗拔力,锚索则利用高强度钢绞线预应力张拉,将边坡岩土体稳固锚固于稳定地层;浅层支护则采用挂网喷浆技术,通过在边坡表面铺设钢筋网并喷射混凝土形成坚硬保护层,既防止边坡风化剥落,又与深层支护结构协同工作,共同抵御边坡岩土体的变形与位移。在施工进程中,团队严格遵循既定方案,对每一环节实施精细化管理,定期组织技术检查,确保支护结构安装质量与施工进度均符合设计要求。同时,建立了完备的安全监测体系,通过位移监测、应力监测等科技手段,实时监测边坡稳定性与支护结构状态,为及时应对潜在风险提供了科学依据。得益于严谨的施工管理与有效的安全监测,海南省迈湾水利枢纽工程的边坡开挖支护任务得以顺利完成。经过长期观测与检验,边坡展现出良好的稳定性,未出现任何失稳迹象,支护结构亦保持优异工作状态^[4]。这一成功实践不仅充分验证了锚杆、锚索等深层支护技术与挂网喷浆等浅层支护措施的有效融合,更为同类工程提供了宝贵的经验借鉴。它深刻启示我们,在复杂地质条件下进行边坡开挖支护时,必须全面考量地质、边坡高度、降雨等多重因素对边坡稳定性的影响,并采取科学合理的支护措施与监测手段,辅以严格的施工管理与精细的施工控制,方能确保施工安全与边坡的长期稳定。

5 边坡开挖支护技术存在的问题与发展趋势

5.1 存在的问题

边坡开挖支护技术作为水利工程施工中的关键环节,虽然取得了显著成效,但仍面临一系列挑战和问题。部分支护技术,如深层锚杆和锚索支护,其施工过程复杂且技术难度较高,对施工人员的专业技能和经验有着极高的要求。这不仅增加了施工的人力成本,还可

能因技术操作不当而引发安全隐患,甚至导致支护失效。此外,支护效果往往受到多种因素的影响,包括地质条件的复杂性、施工环境的多样性以及边坡岩土体的物理力学性质等。这些因素使得支护效果难以准确预测和控制,增加了施工的不确定性和风险性。

5.2 发展趋势

展望未来,边坡开挖支护技术将紧跟科技发展的步伐,向智能化、绿色化的方向迈进。随着信息技术和人工智能技术的蓬勃发展,边坡开挖支护技术将实现更加精准、高效的监测和控制。通过引入智能传感器、远程监控系统等先进技术,可以实时监测边坡的位移、应力等关键参数,及时发现潜在的安全隐患,并采取相应的调整措施。这种智能化的管理方式将大大提高施工的安全性和效率,降低人为因素导致的施工风险。同时,随着全球环保意识的日益增强,边坡开挖支护技术也将更加注重环境保护和可持续发展。未来,将大力推广绿色支护技术和材料,如使用环保型锚杆、锚索等支护材料,以及采用生态友好的施工方法,以减少对周边生态环境的破坏和影响。

结束语

边坡开挖支护技术是水利工程施工中的关键环节,对于保障工程安全和质量具有重要意义。本文综述了边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用现状、技术原理、施工流程以及安全监测等方面的研究进展,分析了不同支护技术的特点和适用条件,并结合实际工程案例探讨了该技术的应用效果及存在的问题。未来,边坡开挖支护技术将向智能化、绿色化方向发展,为水利工程建设提供更加可靠的技术支持。

参考文献

- [1]王大军.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].绿色环保建材,2018(01):234.
- [2]张学君.水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用价值分析[J].科学技术创新,2018(02):155-156.
- [3]王一凡.边坡开挖与支护技术在水利水电工程施工中的应用探讨[J].科技创新与应用,2017(35):154,156.
- [4]王中兴.浅析水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].科技创新与应用,2017(33):58-59.