

高边坡开挖支护动态设计方法与施工过程稳定性控制研究

陈 浩

中国电建集团城市规划设计研究院有限公司 广东 广州 510000

摘要：在各类工程建设中，高边坡开挖支护是常见且关键的施工环节。本文聚焦高边坡开挖支护动态设计方法与施工过程稳定性控制研究。首先阐述高边坡开挖支护的基本概念，接着分析影响高边坡稳定性的地质、水文地质、人为等多种因素。深入探讨动态设计方法，涵盖基于地质勘察、监测反馈及数值模拟的设计理念。同时，针对施工过程，从施工准备、开挖、支护及排水等不同阶段提出稳定性控制措施。旨在为高边坡工程提供科学合理的设计与施工指导，保障工程安全，降低事故风险，提升工程建设的经济效益与社会效益。

关键词：高边坡；开挖支护；动态设计；稳定性控制

引言：随着基础设施建设规模不断扩大，高边坡工程日益增多，其稳定性问题愈发突出。高边坡一旦失稳，将引发滑坡、崩塌等地质灾害，对周边人员生命安全、财产以及生态环境造成严重威胁。传统的高边坡设计方法往往难以适应复杂多变的工程地质条件，难以有效应对施工过程中的不确定性。因此，开展高边坡开挖支护动态设计方法与施工过程稳定性控制研究具有重要的现实意义。通过动态设计理念，结合地质勘察、监测反馈和数值模拟等手段，以及在施工各阶段采取针对性稳定性控制措施，可提高高边坡工程的安全性和可靠性。

1 高边坡开挖支护的概述

高边坡开挖支护是工程建设中一项复杂且关键的工作，常见于公路、铁路、水利、矿山等领域。当边坡高度达到一定标准（不同行业规定略有差异，一般土质边坡高度大于20m、岩质边坡高度大于30m可视为高边坡）时，其稳定性问题便成为工程安全的核心考量因素。高边坡开挖是通过机械或人工方式，按照设计要求对山体或土体进行分层、分段挖掘，以形成满足工程需求的坡面形态。然而，开挖过程会打破原有岩土体的应力平衡状态，导致坡体内部应力重新分布，可能引发边坡失稳，出现滑坡、崩塌等地质灾害。为确保高边坡在开挖及后续使用过程中的稳定性，必须采取有效的支护措施。支护结构类型多样，常见的有锚杆（索）支护，通过锚固力增强岩土体的整体性；挡土墙支护，依靠自身重量或结构强度抵抗土压力；还有抗滑桩支护，利用桩身嵌入稳定地层产生的抗力来平衡滑坡推力等。高边坡开挖支护是一个系统工程，需综合考虑工程地质条件、水文地质条件、周边环境以及工程要求等多方面因素，遵循“动态设计、信息化施工”的原则，根据施工过程中的监测数据及时调整设计方案和施工参数，以保障工

程安全与质量^[1]。

2 高边坡稳定性影响因素分析

2.1 地质条件

地质条件是高边坡稳定性的基础影响因素。岩土体类型差异显著，软弱岩土体如泥岩、页岩等，其强度低、抗风化能力弱，在自重及外力作用下易发生变形破坏；而坚硬岩土体虽强度高，但若存在结构面，如节理、裂隙等，会降低其整体性，成为潜在滑动面。地质构造方面，断层、褶皱等构造发育区域，岩体破碎，完整性差，为边坡失稳提供了条件。此外，地层产状也至关重要，当岩层倾向与边坡坡面倾向一致，且倾角小于坡角时，易产生顺层滑动。

2.2 水文地质条件

水文地质条件对高边坡稳定性影响深远。地下水的存在会改变岩土体的物理力学性质，降低其强度和稳定性。地下水位的升降会引起岩土体的干湿交替，导致其收缩膨胀，产生裂隙，破坏岩土体结构。而且，地下水在岩土体孔隙中流动时，会产生动水压力，增加边坡下滑力，减小抗滑力。在降雨入渗过程中，雨水会软化边坡表层岩土体，增加其重度，同时降低其抗剪强度。

2.3 人为因素

人为因素在高边坡稳定性中扮演着重要角色。不合理的开挖方式是常见问题，如一次性开挖深度过大、坡度设计过陡，会打破边坡原有的应力平衡，导致应力集中，引发边坡失稳。爆破施工若控制不当，产生的强烈震动会使岩土体结构松动，产生新的裂隙，降低边坡的整体性和稳定性。此外，工程建设中的堆载行为，如在边坡顶部堆放大量建筑材料或土方，会增加边坡的下滑力，超过其抗滑能力时就会引发滑坡。

2.4 其他因素

其他因素也会对高边坡稳定性产生影响。地震是一种强烈的自然灾害,地震波的传播会引起边坡岩土体的震动,导致其内部应力重新分布,当应力超过岩土体的强度极限时,就会引发边坡失稳,出现滑坡、崩塌等现象。而且,地震还可能破坏边坡原有的支护结构,降低其防护能力。此外,风化作用会持续改变边坡岩土体的性质,随着时间的推移,岩土体逐渐破碎、松散,强度降低,稳定性变差。

3 高边坡开挖支护动态设计方法

3.1 动态设计理念

高边坡开挖支护动态设计理念打破了传统静态设计的局限,强调设计与施工过程的紧密互动以及根据实际情况的不断调整优化。传统静态设计往往基于工程前期的地质勘察资料,设定固定的设计参数和方案,但在实际施工中,高边坡的地质条件往往复杂多变,前期勘察难以完全精准掌握所有信息。而动态设计理念则充分认识到这一点,将施工过程中的监测数据作为重要的反馈依据。通过在边坡关键部位布置监测设备,实时获取边坡的位移、应力、地下水位等变化信息,以此判断边坡的稳定状态和支护结构的工作性能。一旦监测数据出现异常或与预期不符,设计人员能够迅速分析原因,及时调整设计方案和施工参数,如改变支护结构类型、增加支护强度、调整开挖顺序等。这种动态的调整过程贯穿于整个施工周期,使设计能够更好地适应实际工程条件,有效应对各种不确定性因素,从而提高高边坡开挖支护工程的安全性和可靠性,实现经济效益与社会效益的最大化。

3.2 基于地质勘察的动态设计

基于地质勘察的动态设计是高边坡开挖支护动态设计的重要环节。初始地质勘察虽能获取边坡区域一定范围内的地质信息,但受勘察手段、范围和精度限制,难以全面、精准地揭示所有地质情况。在施工过程中,随着开挖的推进,边坡逐渐暴露出更多真实的地质特征。此时,需结合施工揭露的地质情况,对初始地质勘察成果进行动态修正和完善。例如,发现实际岩土体性质与勘察报告不符,如原本认为是坚硬岩石的区域出现软弱夹层或破碎带;或者地下水的分布、水位与预期有差异等。依据这些新的地质信息,及时调整开挖支护设计方案。若遇到不利地质条件,可优化开挖顺序,采用分阶段、分层开挖的方式,减少对边坡的扰动;调整支护参数,如增加锚杆长度、加密锚索间距、增厚挡土墙等,以增强支护结构的强度和稳定性。通过这种基于施工揭露地质情况的动态设计,使设计方案更贴合实际工程地

质条件,保障高边坡施工安全^[2]。

3.3 基于监测反馈的动态设计

基于监测反馈的动态设计是高边坡开挖支护动态设计的关键手段,能为设计调整提供实时、准确的数据支撑。在高边坡施工期间,于边坡关键部位布置多种监测设备,如测斜仪监测边坡深层位移,位移计监测表面位移,应力计监测支护结构应力等。这些设备持续收集边坡的变形、应力等数据,并实时传输至监控中心。通过对监测数据的动态分析,可及时掌握边坡的稳定状态和发展趋势。若监测数据显示边坡位移速率突然增大、应力异常集中等,表明边坡可能处于不稳定状态。此时,设计人员需迅速结合工程实际情况,深入分析数据异常原因,判断是地质条件变化、施工扰动还是支护结构失效等因素导致。依据分析结果,及时对原设计方案进行调整优化,如加强支护措施、改变开挖方式或调整施工进度等。通过这种基于监测反馈的动态设计循环,使设计方案能够紧跟边坡实际变化,有效预防边坡失稳事故的发生,确保高边坡开挖支护工程的安全与稳定。

3.4 基于数值模拟的动态设计

基于数值模拟的动态设计为高边坡开挖支护提供了科学、前瞻性的分析手段。数值模拟能够构建高边坡的三维力学模型,综合考虑地质条件、材料特性、施工过程等多种因素,对边坡在不同工况下的应力、应变和位移分布进行精确计算。在施工前,利用数值模拟对多种设计方案进行预演,对比分析不同方案下边坡的稳定性,筛选出最优设计参数和施工顺序。施工过程中,随着实际工程情况的反馈,如地质条件变化、施工进度调整等,及时更新数值模型。将现场监测数据与模拟结果进行对比验证,若两者存在差异,分析原因并修正模型参数,使模拟更贴近实际情况。依据修正后的数值模拟结果,预测边坡后续施工阶段的稳定性趋势,提前发现潜在的安全隐患。据此对设计方案进行动态优化,如调整支护结构的布局、增加或减少支护强度等。通过这种基于数值模拟的动态设计,实现对高边坡开挖支护全过程的精准把控,有效提高工程的安全性和经济性。

4 高边坡施工过程稳定性控制措施

4.1 施工准备阶段的稳定性控制

施工准备阶段是高边坡施工稳定性控制的基础。首先,需开展全面细致的现场勘查,精确掌握边坡的地形地貌、地质构造、岩土体性质及水文地质条件等,为后续设计和施工提供准确依据。对周边环境进行评估,了解周边建筑物、地下管线等的分布情况,避免施工对其造成破坏。合理规划施工场地,确保施工道路畅通,材

料堆放有序，避免因场地混乱引发安全事故。根据设计要求，提前准备好所需的施工设备和材料，并对其进行严格的质量检验，确保设备性能良好、材料质量合格。组织专业的技术人员和施工人员进行技术交底和安全培训，使其熟悉施工工艺、质量标准和安全注意事项。制定完善的应急预案，针对可能出现的边坡失稳、坍塌等事故，明确应急处理流程和责任分工，配备必要的应急救援设备和物资，提高应对突发事件的能力，为施工过程的稳定性控制奠定坚实基础。

4.2 开挖阶段的稳定性控制

开挖阶段对高边坡稳定性影响巨大。应严格按照设计要求的开挖顺序和坡度进行施工，遵循“自上而下、分层分段”的原则，避免盲目开挖导致边坡应力急剧变化。每层开挖深度不宜过大，一般控制在2-3米，以减少对边坡的扰动。在开挖过程中，密切关注边坡的变形情况，通过现场监测和人工巡视相结合的方式，及时发现边坡表面的裂缝、沉降等异常现象。若发现异常，应立即停止开挖，分析原因并采取相应的处理措施，如对裂缝进行封闭处理、对局部不稳定边坡进行加固等。控制开挖速度，避免过快开挖使边坡来不及形成新的应力平衡。同时，注意保护边坡的坡面，减少机械对坡面的刮擦和碰撞，防止坡面岩土体松动脱落，确保开挖过程中边坡的稳定性。

4.3 支护阶段的稳定性控制

支护阶段是高边坡稳定的关键保障。根据设计要求，选择合适的支护结构和材料，确保其强度和耐久性满足工程需要。在支护施工前，对边坡表面进行清理和平整，去除浮石、松土等，为支护结构提供良好的施工基础。严格按照施工工艺进行支护结构施工，如锚杆（索）施工时，要控制钻孔的深度、角度和直径，确保锚固剂注入饱满，锚固力达到设计要求；挡土墙施工时，要保证墙体的尺寸、强度和稳定性，做好墙背的排水和反滤层设置。加强支护结构施工过程中的质量检验，对每一道工序进行严格检查，如锚杆的拉拔试验、

挡土墙的混凝土强度检测等，确保支护结构的质量符合设计标准。

4.4 排水阶段的稳定性控制

排水阶段对高边坡稳定性至关重要。水是高边坡失稳的重要诱发因素之一，因此要建立完善的排水系统。在边坡顶部设置截水沟，拦截地表径流，防止雨水冲刷边坡坡面。截水沟的尺寸和坡度应根据降雨量和地形条件合理设计，确保排水畅通。在边坡内部设置排水孔和排水盲沟，降低地下水位，减小水对边坡岩土体的软化作用和动水压力。排水孔的间距、深度和角度应根据边坡的地质条件和水文地质情况进行确定，排水盲沟内应填充透水性良好的材料，如碎石、砂砾等。定期对排水系统进行检查和维护，清理截水沟和排水孔内的杂物，确保排水系统的正常运行^[3]。

结束语

高边坡开挖支护动态设计方法与施工过程稳定性控制研究，是保障复杂地质条件下工程建设安全的关键课题。通过深入探究动态设计理念，结合地质勘察、监测反馈及数值模拟等手段，实现了设计方案的实时优化调整，使其更贴合工程实际。同时，在施工各阶段采取针对性稳定性控制措施，有效预防了边坡失稳等事故的发生。未来，随着科技的不断进步，应进一步融合智能化监测技术与先进设计理论，提升动态设计与稳定性控制的精度与效率，为高边坡工程的安全、高效建设提供更坚实的保障。

参考文献

- [1]吴莞如.高边坡开挖与支护技术在水库工程施工中的运用研究[J].现代工程科技,2025,4(08):113-116.
- [2]江筠,方真刚,罗先林,等.大跨度钢框组合结构分形协同建造关键技术[J].施工技术(中英文),2023,52(12):101-108
- [3]邢培营.某高速公路路堑高边坡支护方案及优化[J].广东公路交通,2023,49(6):217-218.