

高陡边坡卸荷带内岩体结构面特征与稳定性分区评价方法

曹文正

重庆市渝西水利电力勘测设计院有限公司 重庆 402160

【摘要】：高陡边坡卸荷带内岩体结构面发育特征的差异，直接决定边坡稳定性分区的合理性与评价精度，更是破解高陡边坡工程安全难题的核心前提。厘清卸荷带内岩体结构面的几何形态、力学性能及充填特质，结合结构面连通水平、产状特征与卸荷作用程度的内在关联，可搭建科学完善的稳定性分区评价体系。研究表明，卸荷带内岩体结构面呈现由浅及深分布密度递减、张开幅度收窄、充填物强度逐步提升的演化规律。基于这一规律筛选核心评价指标、确立分级评价准则，可实现卸荷带内边坡稳定性的精准分区，为高陡边坡卸荷带灾害防控与工程治理工作提供可靠的理论支撑与技术参考。

【关键词】：高陡边坡；卸荷带；岩体结构面；稳定性分区；评价方法

DOI:10.12417/2811-0528.26.15.054

引言

高陡边坡广泛见于水利、交通、矿山各类工程场景，卸荷带岩体受开挖扰动与应力释放叠加作用，内部结构面极易发生张开、错动变形，进而引发边坡失稳隐患，危及工程运营及人身安全。岩体结构面主导卸荷带岩体变形破坏进程，其发育特点与空间分布，直接左右边坡稳定性评价的严谨程度。现有研究对卸荷带结构面刻画不够精细，稳定性分区评价适配性不足，无法满足现场工程应用要求。本文以高陡边坡卸荷带岩体结构面为研究对象，探究适配性强的稳定性分区评价思路，为后续理论剖析与边坡灾害防控实践提供研究依据。

1 高陡边坡卸荷带内岩体结构面特征分析

高陡边坡卸荷带内岩体结构面的发育，结合卸荷作用强弱、岩体岩性特质及地质演化历程共同作用，展现出清晰的分带属性与差异化表现。卸荷带表层岩体应力释放彻底，结构面分布繁密，多属张开形态，面内常分布泥质、碎屑类充填物质，这类充填物厚度不均且胶结质量欠佳，致使结构面抗剪性能大幅下滑，滑动变形隐患突出。向卸荷带深层推进，岩体卸荷效应逐步减缓，结构面分布密度相应缩减，张开幅度明显收窄，部分结构面呈闭合或半闭合状态，充填物以少量石英质、钙质胶结物为主，胶结成效显著，结构面整体性能有所改善。卸荷带内岩体结构面的产状与边坡坡面存在一定关联，平行于坡面的结构面易受卸荷扰动发生延展，成为边坡失稳的潜在控制界面，垂直或斜交坡面的结构面则对岩体整体性发挥一定约束效能，共同构成卸荷带岩体结构的复杂体系。

2 高陡边坡卸荷带岩体稳定性分区评价方法构建

2.1 评价指标筛选与量化处理

高陡边坡卸荷带稳定性分区指标选取，紧扣岩体结构面固有特征，兼顾科学性、适配性与可操作性，剔除关联性弱、无

法量化的参数。依据卸荷带结构面发育规律，从几何形态、力学属性、卸荷效应三个维度确立核心评价指标。选取结构面密度、张开度、产状表征岩体破碎程度、结构面连通性及边坡失稳控制作用；以结构面抗剪强度、充填物胶结强度，反映结构面抵御滑移变形的能力；采用卸荷深度与扰动强度，划分岩体受卸荷作用的影响层级^[1]。通过现场勘测与室内试验获取原始数据，经标准化处理消除各参量纲差异，统一评价计量标准，为后续稳定性分区分析筑牢数据基础，确保评价结论客观严谨，契合工程实际应用要求。

2.2 评价指标权重确定

评价指标权重合理与否，直接影响边坡稳定性分区评价精度，需结合卸荷带岩体失稳机理选用科学赋权方法，降低主观赋值带来的误差。结合高陡边坡卸荷带工程特点，采用层次分析法结合专家打分法确定指标权重。先通过层次分析法构建目标层、准则层、指标层三级评价架构，厘清各层级指标隶属关系；再邀请边坡与地质工程领域专家，依据工程经验对指标重要度进行打分，经一致性检验修正后确定最终权重。结构面产状、抗剪强度及卸荷扰动强度权重占比偏高，主导着卸荷带岩体变形破坏趋势；结构面充填物胶结强度、卸荷深度等指标权重相对较小，但仍纳入评价体系，可保证评价维度完整全面，避免指标缺失导致研判结果出现偏差。

2.3 稳定性分级标准与分区实现路径

依据高陡边坡工程安全规范与卸荷带岩体实际工况，制定稳定性分级准则，将岩体划分为稳定、基本稳定、欠稳定、不稳定四个等级，各等级设置对应指标阈值区间，以综合评分划定区域稳定类型。以现场勘察资料为基础，融合无人机航拍、地质雷达探测技术，精准圈定卸荷带边界范围，厘清各区段岩体结构面特征与评价指标实测值。依托前文建立的权重体系与量化手段，计算各区域综合评分，对照分级标准完成卸荷带稳

定性分区划定^[2]。同时界定不同等级区域的变形破坏风险程度,为后续工程治理方案编制提供精准依据,保障评价方法具备良好实用性与可操作性,实现对卸荷带岩体稳定状态的精准管控。

3 高陡边坡卸荷带稳定性分区评价实证验证

3.1 实证工程概况

本文选取山区公路典型高陡边坡作为实证研究对象,场区地势陡峭,卸荷带发育特征显著。工程开挖扰动致使局部岩体产生裂隙并发生小型滑塌,具备高陡边坡卸荷带典型工程特征,与前文结构面演化及卸荷响应规律高度契合,适合用于评价方法实例校验。边坡岩性以花岗岩为主,卸荷带由坡表向深部延伸,坡面广泛出露节理、裂隙结构面,局部赋存泥质充填物,符合卸荷带岩体结构面发育规律。研究区布设多处勘测点位,采用野外实测与室内试验相结合的方式,系统采集结构面几何参数、力学指标及卸荷响应基础数据,为评价模型校验夯实数据基础,研究成果兼具学术价值与工程参考意义。

3.2 实证评价过程实施

本次实例评价严格遵循前文构建的稳定性分区评价体系推进,围绕指标量化、权重应用与等级分区开展分析。依托现场布设的勘测点位,实测各区段结构面密度、张开度、抗剪强度等关键参数并完成量化分析,经标准化处理统一指标量纲,结合既定权重方案测算各测点综合评分。结合工程现场实际条件,参照稳定性分级标准判定各区段稳定等级,完成卸荷带整体稳定性分区^[3]。评价过程融入无人机航拍、地质雷达探测技

术,对分区结果开展校核验证,重点核查欠稳定、不稳定区域结构面发育特征,让分区结论贴合现场地质实际,减少研判误差,保障整套评价流程严谨规范,适配高陡边坡工程应用需求。

3.3 评价结果验证与分析

本次实例评价将该高陡边坡卸荷带划分为稳定、基本稳定、欠稳定、不稳定四类区域。欠稳定与不稳定区段集中分布在边坡表层及结构面密集区域,与现场岩体开裂、潜在滑塌隐患范围高度吻合,验证了评价方法的可靠性。欠稳定区域受结构面张开度大、充填物胶结性能差影响,叠加强烈卸荷扰动,与前文结构面影响规律相符。稳定区域位于卸荷带深部,结构面发育稀疏、闭合性好,受卸荷作用影响较小。通过现场监测变形数据对比,分区结果与实测值契合度较高,表明所建评价体系理论严谨、工程适用性强,可为同类高陡边坡卸荷带稳定性研判与工程治理提供可靠技术依据。

4 结语

本文围绕高陡边坡卸荷带岩体结构面特征及稳定性分区评价方法开展系统研究,明确了卸荷带结构面分带发育规律,揭示了结构面几何形态、力学特性及卸荷作用对边坡稳定性的影响机理。依托关键指标构建稳定性分区评价体系,经工程实例验证,该方法精准实用,可有效完成卸荷带岩体稳定分区,为边坡灾害防控治理提供技术支撑。研究表明,精准刻画结构面特征是提升评价精度的核心。后续可深入研究复杂地质条件下结构面演化规律,优化评价指标与权重体系,完善分区评价模型,适配多类型高陡边坡工程,进一步强化理论研究对工程实践的指导作用。

参考文献:

- [1] 张乔威.深切河谷高陡岩质边坡岩体结构面参数估计及稳定性分析[D].合肥工业大学,2021.
- [2] 叶震.基于非接触式测量的高陡边坡岩体结构解译与块体稳定性分析研究[D].成都理工大学,2023.
- [3] 余加松,吴述彧,朱永清.高陡边坡大型危岩体识别及稳定分析[J].中国水能及电气化,2025,(08):24-30.