

山区公路高边坡支护结构选型与稳定性评价

彭定钱

新疆双河勘测设计有限公司 新疆 博乐 833400

【摘要】：山区公路高边坡在复杂地质条件与频繁外界扰动的共同作用下易形成多类型失稳模式，使支护结构选型成为影响稳定性的关键环节。基于典型边坡力学特征，从地质构造、坡面形态、岩土参数与环境荷载等角度分析控制因素，并探讨不同支护形式在约束变形、削减滑动力及提高抗剪能力方面的适用性。通过对比其受力特征与适配条件，揭示选型与稳定性之间的逻辑联系，为高边坡安全构建提供明确的判别思路。

【关键词】：高边坡；山区公路；支护结构；稳定性；选型

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.061

引言

山区公路工程常位于地形陡峭、结构破碎且受自然作用强烈的区域，边坡状态随地质条件与外部扰动而不断变化。不同类型的失稳模式对应不同的力学诱因，使支护结构的选择呈现显著差异性。恰当的结构形式不仅影响坡体变形路径，还直接关系到整体安全储备。高边坡在施工扰动、降雨渗透与长期荷载的共同影响下，其稳定性表现出复杂而敏感的特征，由此促使对支护体系匹配性的深入关注，为后续稳定性评价的展开奠定逻辑基础。

1 高边坡失稳特征与选型关键矛盾

山区公路高边坡在多源扰动叠加条件下呈现出结构破碎、节理裂隙密集与力学参数离散度高的特征，使坡体对外界荷载变化极为敏感。受地形起伏与构造条件控制，岩土体内部常形成多级潜在滑移面，且其形态受软弱夹层、卸荷裂隙与风化带分布影响显著^[1]。降雨入渗、地下水压力升高及季节性温度变化，使坡体内应力路径反复调整，导致变形模式呈现块体滑移、岩层顺倾滑落与土质蠕变等多样化表现。由此衍生的失稳模式具有突发性与阶段性叠加特点，使支护结构选型面对的核心矛盾更加突出。

在复杂地质环境中，高边坡的变形机制往往由深层结构控制，并受地表扰动强化，使支护形式需要兼顾截排水、抗剪、加固与约束变形等多重需求。坡体内部的软弱面往往呈空间不连续性，方向性明显，使受力传播路径呈现非均匀演变状态。受此影响，传统以表层约束为主的支护方式难以完全对应深部滑移带的力学特征，导致承载与变形协调性不足。部分边坡中还存在岩土混合体结构，使其力学行为介于碎裂岩体与黏性土之间，强度变化跨度较大，对支护刚度与延性的匹配提出更高要求。支护结构若与真实滑移机制偏离，往往会出现应力集中、位移反弹与锚固失效等问题，使选型矛盾进一步放大。

高边坡失稳的外部诱因也对选型形成限制条件，如施工爆破扰动使浅层结构松弛，坡脚开挖引起应力重分布，车辆荷载循环叠加在坡体上部，均会改变既有稳定格局。加之山区降雨强度大、持续时间不确定，渗流场随时间演变，使支护结构在服役期间需面临长期的水力耦合作用。在这种背景下，单一结构形式往往难以全面适配坡体实际需求，如何在不同失稳模式之间找到匹配点成为关键矛盾。失稳表现的复杂性促使选型必须在力学适应性、环境响应性与施工可行性之间协调平衡，使高边坡支护体系在整体稳定提升中具备针对性与可靠性。

2 支护结构匹配高边坡稳定需求的路径

支护结构与高边坡稳定需求的匹配过程离不开对坡体主控结构面的识别与力学行为的解析。节理、裂隙与弱层在空间中呈现不规则展布，使滑移带位置、厚度与连续性具有较大不确定性，支护体系必须以控制关键滑移面位移为核心目标构建受力路径。山区地形陡峭，坡体受自重力和地形应力的共同驱动，使深部剪切区更易形成累积性变形^[2]。为了约束这种演化趋势，支护结构需要具备导向应力、削弱集中区与稳定潜在滑体的能力，同时兼顾地表变形与深层响应的协调性。结构形式的选择受材料特性、受力模式与锚固介质的复合关系影响，使匹配过程呈现系统化特征。

在满足坡体稳定条件的过程中，支护结构的力学参数需要与实际工况形成高度贴合。抗拔力、抗剪力以及界面黏结性能是形成有效加固体系的重要环节，若锚固段与软弱夹层间的结合不足，容易产生滑移、拔出或剪切削弱等失效模式。高边坡常受降雨入渗影响，渗流场扰动使黏聚力与内摩擦角发生阶段性衰减，为此支护体系在构建过程中需具备一定的抗渗能力，并与截排水系统协同工作，从而稳定孔隙水压力分布。部分岩质边坡还具有较强结构性，力学参数呈现方向差异，使支护应力路径需在空间上形成合理分布，以避免刚度突变带来的变形反射。支护型式在满足力学需求的同时，还需保证长期耐久性，

使结构在时间效应作用下仍能保持稳定的力学性能。

山区施工条件受地形约束明显,对支护结构匹配过程提出额外要求。陡坡环境中,大规模机械难以进入,使结构布设与施工工序需采用分级、分区的方式推进,这使结构型式的可实施性成为选型的重要组成部分。喷锚体系、框架梁、抗滑桩与加筋体在不同地质单元中展现出差异化适应性,需要根据坡体破碎程度、块度组成及滑移规模进行针对性配置。大型抗滑构件依赖更高的施工精度,而柔性或半柔性体系对地形适应性较好,能够在不均匀变形条件下保持持续工作能力。在此基础上,支护结构需与边坡的变形模式产生有效耦合,使受力过程与坡体真实响应保持一致,从而在复杂环境中实现符合高边坡稳定需求的匹配路径。

3 选型影响下的稳定性综合归纳

高边坡支护结构的选型变化会在受力体系、变形模式与潜在滑移路径中产生连锁反应,使稳定性呈现阶段性与空间性的响应差异。不同结构形式在承载能力、变形协调性与抗剪机制方面具有独立特征,改变了坡体内部应力重分布方式。刚性结构能够在短时间内形成显著的约束作用,使潜在滑带的剪切位移得到抑制,但若坡体存在明显节理导向或块体结构,其局部刚度提升可能诱发新的应力集中区^[1]。柔性与半柔性体系的延展性较高,能够顺应不均匀位移的发展趋势,在结构与岩土体之间建立更加稳定的受力耦合,使坡体整体发生的变形梯度得到调节。不同选型对应的力学行为,使稳定性在空间上呈现出差异化的演化路径。

支护结构在服役期间的力学性能随环境变化不断调整,湿

度、降雨强度与地下水位变动均会影响锚固段与围岩界面的黏结特性,从而改变整体稳定水平。支护形式若未充分考虑渗透效应与软弱夹层的演化,结构内部会出现黏结衰减、滑移带扩展与应力释放等现象,使安全储备降低。在高边坡中,支护结构与坡体之间存在耦合界面,该界面的变形与受力一致性决定了稳定性能否长期维持。当选型能够准确匹配坡体的主控失稳模式时,受力协同关系更易建立,结构能够在削减滑动力、提升抗剪强度与降低孔压方面发挥持续作用,使稳定性保持在可控区间。

山区施工条件、坡体结构性差异与荷载特征变化共同影响选型效果,使稳定性呈现时间依赖性。施工阶段的扰动往往使浅层岩土体进入重塑状态,结构形式若未对应施工影响进行调整,服役初期可能出现位移峰值或刚度削弱。长期荷载作用下,部分结构会经历蠕变、疲劳或界面微损伤,使早期建立的稳定格局受到破坏。通过分析不同选型在受力传递、变形协调与水力响应方面的表现,可以观察到稳定性并非由单一因素决定,而是由结构特性与坡体力学属性共同塑造。高边坡的安全状态在这一过程中逐渐形成具有阶段性、可辨识的变化规律,使选型对稳定性的影响呈现明确的综合性特征。

4 结语

高边坡支护结构的选型始终围绕滑移机理、受力路径与环境扰动展开,其匹配程度直接影响边坡在长期作用下的稳定表现。结构形式在力学适应性、施工条件与材料特性之间构成联动,使稳定性呈现由多因素共同驱动的演化趋势。合理的选型能够促使坡体应力体系趋于协调,使潜在失稳模式受到有效约束,在复杂山区环境中形成具备持续承载能力的安全格局。

参考文献:

- [1] 王锋.山区公路土石分界处高边坡滑移问题及治理方案分析[J].交通世界,2025,(21):28-30.
- [2] 唐正国.山区公路高边坡治理中的立体综合防护技术[J].交通世界,2024,(27):53-55.
- [3] 杨逊.山区公路高边坡开挖与防护设计研究[J].交通科技与管理,2024,5(07):121-123.