

间粘聚力小。因此,客土喷播技术一般用于坡度较缓的强风化岩石边坡、土夹石边坡和劣质土边坡等。

1.2 厚层基材喷射技术

喷射厚层基材植被护坡技术,是指在边坡上喷射一定厚度的含粘结剂、泥土、有机肥、保水剂、消毒剂和植物种子的混合材料,并结合锚杆和护网等传统的支护材料,使基材得以在岩石边坡上被固定、植物种子得以发芽生根生长发育,通过植物的发达根系固土与护网的协同固定作用,从而起到护坡效果的环保技术^[5]。该技术是以高分子胶作为基材中的粘合剂,高分子胶的加入使基材粘聚力和强度得到提高。所以在基材喷射后不久,基材就能与坡面岩体较牢固的粘结在一起并且能够抵抗一定的冲刷。但在太阳紫外线及高温环境下高分子胶易老化,粘结能力逐渐降低。所以采用厚层基材喷射技术对岩石边坡进行防护,基材中粘合剂一般在数月以内便失去粘结效果。厚层基材喷射技术主要用于坡比小于 1:0.3 的各类岩土边坡^[9]。

1.3 植被混凝土生态防护技术

植被混凝土生态防护技术是采用特殊的混凝土配方和种子配方,对岩石边坡进行防护和绿化的新技术。它是集岩石工程力学、生物学、土壤学、肥料学、硅酸盐化学、园艺学和恢复生态学等学科于一体的综合护坡技术^[10]。

植被混凝土基材主要由水泥、土、腐殖质、保水剂、植被混凝土添加剂等组成。该技术以水泥作粘合剂制备成有一定强度的植被混凝土基材,再将混有植物种子的基材喷射到坡面岩体上。如果只考虑基材强度及与坡面岩体的粘结能力,基材中水泥加入量越多,对基材稳定是越有利的。但植被混凝土生态防护技术还受到植物生态学等诸多方面因素的影响,水泥含量的提高会使基材 pH 值增大呈碱性,碱性环境会影响植被混凝土中种子萌发及植被生长,而且水泥含量过高易导致基材土壤板结石化,不利于植被生长^[11]。植被混凝土技术之所以能够在基材中加入满足要求的水泥用量,是因为加入了植被混凝土添加剂。添加剂改善了基材的营养条件,而且能有效调节基材的 pH 值,大大降低了水泥对植被的毒性。这也是其它技术虽然在基材中加入了水泥,但因加入量极少,不足以起到粘结和提高基材达到足够强度的原因。以水泥作为粘合剂,基材能够比较牢固的粘附坡面岩体上,基材强度和粘结效果会随着水泥龄期的增长而提高。基于植被混凝土生态防护技术的这些特性,该技术主要用于坡比在 1:1~1:0.15 的高陡岩石边坡和混凝土边坡^[8]。

上述 3 种岩石边坡常用的生态防护技术,施工所

用的机械设备及工序都大同小异,都要经过前期坡面处理、中期打锚杆、挂网、喷射基材以及后期的养护 3 大阶段。从应用层面来看,每种生态防护技术都有自己的适用范围,并没有优劣之分。根据不同的边坡特性采取不同的生态护坡方式,制定既经济又合理的方案。

2 粗糙度与抗剪强度

基材在岩石边坡表面的稳定性受多方面因素的影响,基材的物质组成直接影响基材自身的强度与粘结特性,是影响基材稳定性的一个重要因素,而坡面岩体表面粗糙度则是影响其稳定性的另外一个重要因素。无论是天然岩质边坡还是人工开挖的边坡,其结构表面都是凹凸不平的,从坡面断面上看表现为一起伏轮廓线,不同的轮廓起伏线其粗糙度是不同的,而不同的粗糙度亦会影响到基材与岩体接触面的抗剪强度,因此如何用某一参数描述结构面的粗糙度是相关领域学者十分关注的问题。

目前结构面粗糙度的描述大多采用 Barton^[12]提出的接触面抗剪强度公式中的 JRC 值,而 JRC 值却又是十分难确定的,学者对粗糙度系数 JRC 的研究大致经历了试验、探索和理论研究 3 个阶段^[13-19]。在试验阶段仅有 Barton 等少数学者对其进行了研究,其主要方法是先通过接触面抗剪试验得出接触面抗剪强度值,然后根据 Barton 提出的经验公式反推粗糙度系数 JRC 值。因为是先通过试验得出了接触面的抗剪强度值,然后反推到粗糙度系数,因此这种方法没有太多的工程意义。探索阶段主要是通过大量标准剖面的统计分析得出了 10 条标准的剖面线及其粗糙度系数。在具体应用时主要是通过标准剖面曲线的对比分析按经验确定岩体的粗糙度系数,然后通过 JCS-JRC 模型估算接触面的抗剪强度。因岩体粗糙度系数是通过与标准曲线对比而得出,所以其取值具有一定的经验性,不同的应用者可以得出不同的结论。理论研究阶段对于粗糙度系数 JRC 值的研究主要集中在建立粗糙度系数与岩体剖面起伏线曲线粗糙度参数及分形维数之间的回归分析,主要有表面粗糙度参数法、直线长度与轨迹长度比值法、分形理论法、直边法及修正直边法、Motif 法、最小二乘多项式拟合法等。

3 粗糙度与抗剪强度的关系

粗糙度是对表面形貌的评定,而边坡岩体表面形貌对基材稳定性的影响主要体现在基材-坡面粘结力

和力学行为改变两个方面。

3.1 粗糙度对基材-坡面粘结力的影响

粗糙起伏的表面增加了基材与坡面岩体的接触面积,不管基材中是否加入粘合剂或者加入何种粘合剂,基材都具有一定粘结能力。基材与坡面的粘结力随粘结面积的增加而增大,从而进一步加强了基材在坡面上的稳定性。在边坡长度方向取一微段 ds ,则在该微段基材与坡面的接触面积可表示为 $dA=L \times ds$ (L 为该微段坡面轮廓线长),可见在该微段基材-坡面之间粘结面积与坡面轮廓线长成正比(见图 1),粘结力与粘结面积可认为成正比关系,那么粘结力与坡面轮廓线长成正比。

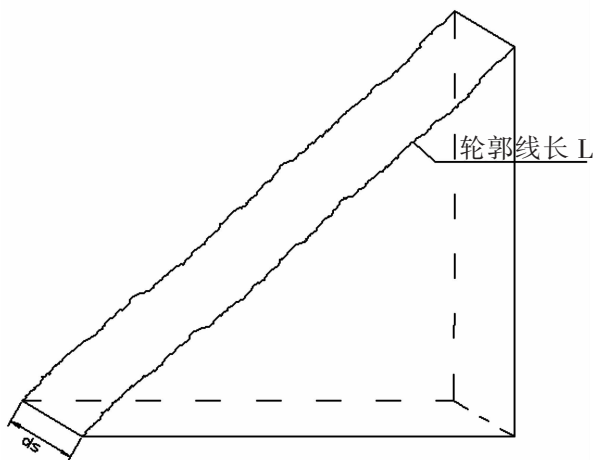


图 1 坡面轮廓线

下面就 Barton^[12]提出的几种典型粗糙轮廓线与以直线为轮廓线的坡面,做一个理论对比分析。

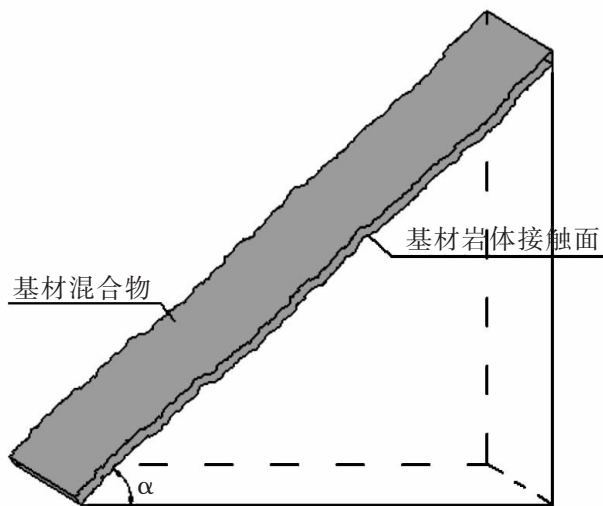


表 1 几种典型 Barton 轮廓线

Barton 典型轮廓线	JRC 值	基材-坡面粘结力 提高百分比/%
	6-8	5.52
	10-12	4.35
	12-14	7.17
	14-16	10.03
	18-20	13.12

3.2 粗糙度对基材-坡面力学行为的影响

粗糙的坡体表面增加了基材与坡面的机械咬合力,改变了基材与坡面岩体间的力学行为。为方便计算,下面以折线型轮廓线为例,对基材的受力情况进行分析。在不考虑铁丝网和锚杆对基材影响的情况下,基材受力有重力 G 、坡面岩体对基材的法向支持力 F_n 、坡面岩体对基材的切向摩擦力 F_f 以及坡面岩体对基材的粘结力 F_c 。

对基材混合物体系,由静力平衡条件,可得

$$\sum F_x = F_{f1} + F_{c1} + (F_{f2} + F_{c2}) \cos \beta - F_{n2} \sin \beta + (F_{f3} + F_{c3}) \cos \beta + F_{n3} \sin \beta + (F_{f4} + F_{c4}) \cos \beta - F_{n4} \sin \beta + (F_{f5} + F_{c5}) - G \sin \alpha = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = G \cos \alpha - F_{n1} - F_{n2} \cos \beta - (F_{f2} + F_{c2}) \sin \beta - F_{n3} \cos \beta + (F_{f3} + F_{c3}) \sin \beta - F_{n4} \cos \beta - (F_{f4} + F_{c4}) \sin \beta - F_{n5} = 0 \quad (2)$$

从坡面切向平衡式(1)可以看出,由于坡面凹凸起伏改变了基材部分受力的作用方向,使得基材所受的有些力可能转变为抗滑力(如式(1)中项),因此基材抗

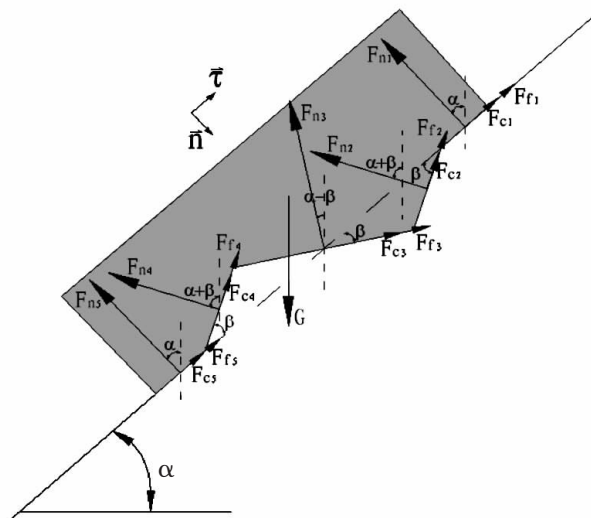


图 2 基材混合物受力分析

滑力有所增加。从抗滑桩的角度来考虑,在坡面凹陷处,基材向下嵌入岩体,可看作是以基材为材料的微型抗滑桩作用于坡体。在坡面凸出处,坡面岩体向上嵌入基材,可看作是以坡面岩体为材料的微型抗滑桩作用于基材。因此,在对边坡进行生态防护时,坡面粗糙度对基材稳定性有着重要影响。



照片1 隔河岩水电站边坡生态防护防护整体效果

通过对局部基材脱落区域的对比分析,可以看到基材脱落区域大多数处于坡面岩体相对较为平整的区域。这从实际工程中也说明了坡体过于平整,不利于基材的稳定。保持坡面一定的粗糙度,既增加了基材与坡面之间的粘结力,也使坡面-基材之间形成大量微型抗滑桩,进一步地提高了基材在坡面上的稳定性。

4 结论

基材稳定性是影响边坡生态防护效果的重要因素,不同的生态防护技术,基材组成成分不同,导致强度与特性也不一样,因此基材组成是影响其稳定性的一个内在因素。基材稳定性除了受基材本身特性影响外,与边坡表面的粗糙度也有着重要关系。凹凸起伏的岩体表面,增加了基材与坡面岩体的粘结面积,使基材与坡面间的粘结力得到提高,有利于基材在坡面的稳定。另一方面,基材-岩体接触面的凹凸起伏,形成了大量的“微型桩”,使基材的抗滑力得到显著提高,进一步提高了基材在坡面岩体表面的稳定性。

工程应用时,应根据边坡特性选择既能保证基材稳定又经济的生态防护措施。对混凝土边坡以及表面岩体比较平整的坡面进行生态防护时,为提高基材的稳定

3.3 工程实例

隔河岩水电站大坝附近左岸岩石边坡坡度陡,接近垂直状态。在对该边坡实施生态防护工程后,经过长期的取样和跟踪调查发现,该边坡岩体上植被长势良好,物种多样性丰富,整体生态防护效果优良(见照片1),但也存在生态防护基材局部脱落情况(见照片2)。



照片2 坡面岩土相对平整区域基材局部脱落情况

性,在满足施工条件的要求下可对坡面进行凿毛处理。在边坡较陡的情况下,可以采取坡面凿毛和增加一定数量锚杆的措施相结合,以此达到基材在坡面长久稳定的目的。

参考文献

- [1] 许文年,王铁桥,叶建军.岩石边坡护坡绿化技术应用研究[J].水利水电技术,2002,33(7):35-36.
- [2] 张俊云,周德培,李绍才.岩石边坡生态护坡研究简介[J].水土保持通报,2000,20(4):36-38.
- [3] 蒋鹏飞,舒安平,沈小明,等.客土喷播在临长高速公路石质边坡防护中的应用[J].湖南交通科技,2002,28(4):68-69.
- [4] 张俊云,周培德,李绍才.厚层基材喷射护坡实验研究[J].水土保持通报,2001,21(4):44-46.
- [5] 王晓梅,陈建平,董道军.喷射厚层基材植被护坡效果分析[J].湖北农业科学,2009,48(4):891-893.
- [6] 许文年,叶建军,周明涛,等.植被混凝土护坡绿化技术若干问题探讨[J].水利水电技术,2004,35(10):50-51.
- [7] 宋玲,余娜,许文年,等.植被混凝土护坡绿化技术在高陡边坡生态治理中的应用[J].中国水土保持,2009(5):15-16.
- [8] 刘黎明,邱卫民,许文年,等.传统护坡与生态护坡比较与分析[J].三峡大学学报(自然科学版),2007,29(6):528-532.
- [9] 李绍才,孙海龙.中国岩石边坡植被护坡技术现状及发展趋势[J].资源科学,2004(增刊),26(8).
- [10] 许文年,王铁桥,叶建军.岩石边坡护坡绿化技术应用研究[J].水利水电

- 技术,2002,33(7):35-36.
- [11] 杨奇,丁瑜,许文年,等.植被混凝土抗雨水冲刷性能试验研究[J].中国水土保持,2013(1):54-56.
- [12] Barton N,Choubey V.The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice[J].Rock Mechanics,1977(10):1-54.
- [13] 杜时贵,潘别桐.岩石节理粗糙度系数的分形特征[J].水文地质工程地质,1993(3):36-39.
- [14] 杜时贵,郭宵.岩体结构面粗糙 JRC 的研究现状[J].水文地质工程地质,2004(增刊):30-33.
- [15] 王建峰.岩体结构面粗糙度 JRC 研究进展[J].地质科技情报,1991,10(2):73-77.
- [16] 吉峰.硬性结构面糙度系数量化确定及其工程应用[J].水文地质工程地质,2010,37(3):84-86.
- [17] 杜时贵.岩体结构面粗糙度系数研究进展[J].现代地质,1995,9(4):516-521.
- [18] 杨练根,谢铁邦,蒋向前,等.表面形貌的 Motif 评定方法及其发展[J].中国机械工程,2002,13(21):1862-1865.
- [19] 王中宇,付继华,孟浩.二维表面粗糙度最小二乘评定基准线的改进[J].计量学报,2008,29(3):203-206.

Analysis about the effect of rock surface roughness on substrate stability in slope eco-protection

YANG Qi¹ 鄢煜川² ZHU Daiqiang¹ HUANG Yong¹

1.Guiyang Surveying and Designing Institute Limited Corporation of Power China, Guiyang, Guizhou 550081,China;

2.Jiangxi Povincial Insititute of Water Sciences, Nanchang, Jiangxi 330029 , China

Abstract: The technology of eco-protection has been widely used in various slopes. For rock slope eco-protection, the stability of substrate which provides the required soil environment for the growth of vegetation is a key factor that determines the effect of ecological restoration. The stability of the substrate is affected by many factors, such as the composition and strength of substrate and the surface roughness of rock slope. In this paper, it simply introduces several comparatively mature and commonly used technologies of eco-protection for rock slope and methods to describe joint roughness. It also analyzes the effect of rock slope surface roughness on the stability of the substrate of eco-protection and provides some suggestions for the application of rock slope eco-protection.

Key words: Slope eco-protection; Substrate; Stability; Roughness

— ...>E"1 —

声 明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。

作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我部上述声明。如果作者不同意上述声明,请在来稿时声明,本刊将作适当处理。

《江西水利科技》编辑部