

岩石边坡植被护坡研究中的关键问题

杨 涛<sup>1,2</sup>,李绍才<sup>2,3</sup>,孙海龙<sup>2,3</sup>

(1. 四川农业大学 动物科技学院,四川 雅安 625014;2. 四川省励自生态技术有限公司,成都 610031;  
3. 四川大学 生命科学学院,成都 610064)

摘 要:近年来,岩石边坡植被护坡技术在理论、方法与应用诸方面取得了长足的发展。作为一门多学科交叉的工程应用技术,岩石边坡植被护坡是一项复杂的系统工程,其发展面临着许多新的问题和新的挑战。基于岩石边坡植被护坡研究现状,结合岩土工程学、恢复生态学及景观生态学中的基本原理,从工程原理与实践两方面提出岩石边坡植被护坡研究中的关键问题,以促进该技术的发展与完善。

关键词:岩石边坡;植被护坡;水土保持;生态恢复

中图分类号:X171.4;TU441.35 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2007)06-0014-03

Key Issues in Research of Eco-engineering for Rock Slope Protection

YANG Tao<sup>1,2</sup>,LI Shao-cai<sup>2,3</sup>,SUN Hai-long<sup>2,3</sup>

(1. College of Animal Sciences & Technology, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;2. Sichuan Lizi Bioenvironmental Engineering Co., Ltd., Chengdu 610031, China;3. College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract :Eco-Engineering for Rock Slope Protection (EERSP) has made tremendous progress in recent decades ,but as a multi-disciplinary application technique and a complex systems engineering it faces with new problems and challenges. Based on the recent advances of EERSP and basic principles of geotechnical engineering ,restoration ecology and landscape ecology ,this paper puts forward the key issues of EERSP ,which about engineering principle and experience ,and the development of the technique.

Key words :rock slope ;eco-engineering ;soil and water consorvation ;ecological restoration

边坡是自然或人工形成的斜坡,是人类工程活动中最基本的地质环境之一,也是工程建设中最常见的工程形式<sup>[1]</sup>。人工边坡的产生不仅可引发滑坡、泥石流等地质灾害,地表植被的破坏常引起水土流失、生物多样性锐减等系列生态破坏问题<sup>[1-2]</sup>。随着经济建设的快速发展,在矿山、水利及交通等部门都涉及到大量的边坡问题,使边坡处治工程占有极其重要的地位。由于岩石边坡在人工边坡中占有很大比重,且具有较强的异质性,如何对其有效实施生态防护,恢复被破坏植被,减少水土流失,是岩土和生态工程科研工作者所关心的热点问题<sup>[3]</sup>。岩石边坡植被护坡技术是指用活的植物与工程措施结合,以防止岩石坡面风化剥落的技术与手段,是一类以生物措施为主来实现岩石坡面生态系统良性循环的坡面生态工程(Slope Eco-engineering),近年来发展迅速,现已逐步替代传统的单一工程护坡应用于公路、铁路、水电及矿山等工程岩石坡面的防护<sup>[2,4-5]</sup>。但由于植被护坡不是单一的工程行为,也不是简单的园林绿化,在发挥其工程效应的同时,更具有生态功能,是一项复杂的系统工程,其发展面临着许多新的问题和挑战。本文基于岩石边坡植被护坡研究现状,结合岩土工程学、恢复生态学及景观生态学中的基本原理,提出岩石边坡植被护坡研究中的关键问题,与国内同行商榷,以求共识,来推动岩石边坡植被护坡技术理论体系的不断完善与发展。

1 研究中的关键问题

1.1 关于工程原理的深化与完善

1.1.1 非线性科学在理论研究中的应用

生命活动是自然届中最复杂、最精细的物质运动形式,生命活动的复杂性与精细性集中表现在生命系统与环境系统的相互作用方面<sup>[6]</sup>。由于引入了活的植物,岩石边坡植被护坡工程不仅具有工程属性,同时具有生物发展属性<sup>[7]</sup>,生命活动也是坡面生态系统中重要的物质运动形式,其运动特征的本质是非线性的。因此,也只有非线性科学理论才能揭示坡面生态系统的复杂生态现象。

在以往的研究中,多采用简单的比例关系或是定性描述对理论中的问题进行探讨,使对这一技术途径的理论研究还不足以科学定量的指导工程实践。运用传统方法来阐明岩石边坡护坡这一坡面生态工程的基本原理也面临巨大的困惑和阻碍,故而有必要发展能够阐释复杂系统特征和过程的非线性科学方法,促进对岩石边坡植被护坡原理与过程本质的科学解释,尤其在坡面生态系统结构与功能及动态稳定机理方面,更需要深入的科学剖析。

1.1.2 岩土过程对生态系统的扰动机制

人类社会面对的是社会-经济-自然的复合生态系统,在整个系统中,自然资源系统决定了经济发展的最大

限度。而人类的基本建设恰是对自然系统强烈扰动的工程行为。工程边坡生态问题的起因也源于人类不合理的物质能量输入,使自然生态系统的结构和组分发生变化。目前关于岩石边坡研究,多注重岩石边坡力学破坏特征、形式及地质形成,未将岩石边坡纳入整个生态系统中综合分析,研究人类岩土工程活动(边坡开挖、片石堆砌及岩土体搬运等)对生态系统的影响机制与过程,导致岩石边坡植被护坡技术应用缺乏科学性与系统性,片面追求工程防护功能。因此,也只有在明晰人类岩土工程对生态系统的扰动机制基础上,才能充分保证岩石边坡植被护坡生态防护功能的发挥,及其对自然生态系统结构与组分的补偿作用。

1.1.3 坡面岩体-基质-植被-环境系统的结构与功能

坡面岩体-基质-植被有机体系的效应发挥是岩石边坡植被护坡功能的最终体现<sup>[2]</sup>,其与环境的相互作用、相互交织、相互渗透而构成的具有一定结构和功能的统一体。从坡面岩体-基质-植被-环境系统的内容看,是一个物质系统;从系统的组成要素看,是一个自然与人工叠加的复合系统;从系统的状态与时间关系看,是一个动态系统;从系统的结构看,具有“结构功能统一率”,并且系统具备一定的承载能力<sup>[8]</sup>。系统的结构和功能决定岩石边坡植被护坡的功能稳定。在现有岩石边坡植被护坡研究中,还未从系统角度对其功能组分与结构的详细阐述。因此,要从系统组成的结构单元出发,复合考虑系统结构与功能的时空动态,研究单元间的作用关系,确定其承载力阈值条件,才能在理论上构建稳定的坡面功能体系。

1.1.4 坡面岩体-基质-根系互作的力学机制

众所周知,植物根系对坡面稳定具有重要作用,对土体的力学加固是根系的重要功能之一<sup>[9-12]</sup>。基质-根系复合体是岩石边坡植被护坡工程的主要功能构件<sup>[2]</sup>,其工程属性的发挥决定于坡面岩体-基质-根系间的力学效应。许多学者对根加筋土壤的作用已经开展了大量的研究,并且还建立了根-土相互作用的力学分析模型<sup>[13-16]</sup>。但岩石边坡植被护坡工程的基质厚度有限,植物根系容易穿透而作用于坡面岩体,与根系在土体中的作用有很大差异,已有的研究结论不能对此进行定量的表征。在今后的研究中,应以岩石生境为研究对象,系统阐明岩体-基质-根系互作的力学机制,主要包括两方面:一是根系-岩体互作的力学效应,即以植物根系构型、力学特性及岩体参数为依托,阐明植物根系锚固效应与其相关指标的关系;二是探讨基质-根系复合体与岩体互作的力学效应,即研究其力学强度与复合体特性及岩体特性间的定量关系。由于坡面是一个复杂的环境条件,在研究中应充分考虑其互作的时空特征。这些研究不仅有利于定量评价岩石边坡植被护坡工程的力学防护效果,而且对岩石边坡植被护坡构造措施及植物材料筛选、配置等实践问题具有理论指导意义。

1.1.5 坡面岩体-基质-植被-大气系统的物质循环过程

物质和能量的积累是生态系统功能的基础,对维持生态系统的结构和功能稳定起着重要作用。坡面植被系统是一个开放系统,其物质能量时刻处于动态变化。因此,系统物质循环过程与机制成为岩石边坡植被护坡中的关键之一,决定了岩石边坡植被护坡工程的物质稳定,尤其是系统的水分

循环和养分循环过程尤为重要,但目前还未见有关此问题的研究。在今后的研究中,应以坡面岩体-基质-植被-大气系统的水分、养分循环过程为重点,探明其与岩体、基质、植被和大气间的作用关系,建立系统物质平衡的基本原理及调控理论,对指导工程实践、调节和改善各种限制因素都具有重要意义。

1.2 关于工程实践的科学定量与完善

1.2.1 人工植物群落的组合应用模式

植物材料的选择及组合是人工植物群落构建的关键,同时也是制约岩石边坡植被护坡工程效果的重要因素。现有技术中,由于材料种类与特性、环境条件以及工程措施的差异,往往造成人工建植植被短期效果好,而长时间出现退化,甚至消亡等现象。关于群落的组合及应用模式研究虽然不是一个全新领域,但研究的思路、方法及技术途径等都有待创新与进一步发展。

遵循自然植被的地带性分布规律是建立相对稳定人工植被的首要原则,并且营造人工植被的着眼点应放在群落这一层面,并不是单一物种的简单应用,合理的物种选择、种间配置和密度是建立人工植被的关键<sup>[17]</sup>。更应充分发挥抗逆乡土物种的适应优势,以群落的功能稳定为前提,考虑种间关系、功能互补、群落的动态变化及应用主体的空间变化,才能实现具良性发展的坡面人工植被生态系统。

1.2.2 引导基质的功能耦合与优化

岩石边坡由于不具备植物生长所需的土壤环境,没有N、P、K及有机质等营养元素的积累,且坡陡、水热通量变化大等恶劣的生境特征,决定了引导基质在工程中的重要性。基质不仅要提供植被生长所需的物理结构及物质保障,自身还需具有一定的稳定性,以实现其封闭保护功能<sup>[2]</sup>,一直以来是岩石边坡植被护坡研究的热点<sup>[4,18]</sup>。

在有限的物质条件下,引导基质功能实现决定于人工添加材料的效应发挥<sup>[2,19]</sup>,国内外学者在材料选择及配比上都进行了有益的探索<sup>[4,18-25]</sup>。但现有研究很少涉及材料应用的时空特性、经济成本等限制条件,导致功能目标的不科学性。结合现有研究基础,从多目标出发,充分挖掘新型功能材料及新工艺,实现引导基质的功能耦合与优化,是未来发展的重要方向。

1.2.3 岩石边坡植被护坡的设计原则与方法

设计是工程施工的依据,对指导整个工程实施起着先决性的作用。目前针对岩石边坡植被护坡工程的设计还过多从其单一的工程行为入手,缺乏系统的设计原则与方法,导致其可实施性缺乏根本保证。

岩石边坡植被护坡设计不同于传统的工程设计,不仅要具备岩土工程设计理论,还必须具有丰富的生态理论知识、系统全方位的思想,才能使设计满足工程所需。设计是一个多目标决策问题,不仅要考虑其构造稳定,其物质保障系统、植被系统都是设计的重点。在今后的研究中,应结合岩石边坡植被护坡基础理论,以其工程功能及生态补偿功能为主要依托,提出具有科学指导性的设计原则。要充分考虑设计主体的空间异质性、系统功能组分的动态发展及生物系统的工程效应,结合非线性科学理论的应用,形成量化、模型化的设计方法,以正确指导工程应用。

#### 1.2.4 岩石边坡植被护坡效果效应评价体系的建立

岩石边坡植被护坡效果效应评价是对工程实施效果与质量的检验,其评价体系应是工程效应与生态效应的统一。由于岩石边坡植被护坡属于边坡治理工程,对其工程效应的评价体系已较完善,但对其生态效应虽然从植物群落质量、环境绿化功能及水土保持功能等方面建立了一些评价体系<sup>[26]</sup>,但这些指标均未考虑效应的时空可变性及系统的完整性。

岩石边坡植被护坡工程不仅要发挥其工程功能,更强调对受损生态系统的恢复与重建,因此,它的评价内容包括生物多样性、生态过程和结构、可持续性等广泛的范围<sup>[27]</sup>。其成功的标准主要包括结构和功能恢复,结构恢复指标是乡土植物种的丰富度;而功能恢复的指标包括初级生产力和次级生产力、在物种组成与生态系统过程中存在反馈<sup>[28]</sup>。今后应充分考虑这些理论在效果效应评价体系中的整合与应用,并形成可定量化的方法,以正确评价工程实施效果与质量。

## 2 结 语

总之,植被护坡技术的关键是在发挥工程防护功能的基础上,恢复受损生态系统的结构与功能。成功的技术应用需要多学科的共同合作,特别是对技术原理的深刻理解及实践的科学化、系统化。通过吸收、借鉴采纳已有岩石边坡植被护坡技术成功与失败的经验及相关学科技术理论的发展,深入研究与探索,将会推动岩石边坡植被护坡工作进入一个崭新阶段。

#### 参考文献:

- [1] 赵明阶,何光春,王多垠. 边坡工程处治技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003:1-2.
- [2] 李绍才,孙海龙. 我国岩石边坡植被护坡技术现状及发展趋势[J]. 资源科学,2004,26:61-66.
- [3] 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.
- [4] 张俊云,周德培,李绍才. 岩石边坡生态种植试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2001,20(2):239-242.
- [5] 李绍才,孙海龙,杨志荣,等. 坡面岩体-基质-根系互作的力学特性[J]. 岩石力学与工程学报,2005,2(12):2074-2081.
- [6] 祖元刚,赵则海,于景华,等. 非线性生态模型[M]. 北京:科学出版社,2004:3-4.
- [7] 周跃. 植被与侵蚀控制:坡面生态工程基本原理探索[J]. 应用生态学报,1999,11(2):298-301.
- [8] 彭应登,王华东. 累积影响研究及其意义[J]. 环境科学,1997,18(1):41-44.
- [9] Burroughs E R, Thomas B R. Declining root strength in Douglasfir after felling as a factor in slope stability[R]. US-DA Forest Services Research Paper INT-190. 1977.
- [10] Coutts M P. Development of the structural root system of Sitka spruce [J]. Forestry,1983,56:1-16.
- [11] Coutts M P. Developmental process in tree root systems[J]. Canadian Journal of Forest Research,1987,17:761-767.
- [12] Coutts M P, Nielsen C C N, Nicoll B C. The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers[J]. Plant and Soil, 1999,217:1-15.
- [13] Waldron L J, Dakessian S. Soil Reinforcement by roots: calculation of increased shear resistance from root properties[J]. Soil Science,1981,132:427-435.
- [14] Wu T H, Mcomber R M, Erb R T, et al. A study of soil root interaction[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE,1988,114(12):1351-1375.
- [15] Riestenberg M M, Sovonick-Dunford S. The role of woody vegetation in stabilizing slopes in the Cincinnati area, Ohio[J]. Geological Society of America Bulletin,1983,94:506-518.
- [16] Riestenberg M M. Anchoring of thin colluvium on hillslopes by roots of sugar maple and white ash [C]// Landslides in the Cincinnati area. US: Geological Survey Bulletin,1994.
- [17] 薛智德,杨光,梁一民,等. 燕儿沟人工植被营造模式与快速建设研究[J]. 水土保持研究,2000,7(2):128-132.
- [18] 张季如,夏银飞,龚友丽. 生态护坡材料本构关系的研究[J]. 武汉理工大学学报,2003,25(8):36-47.
- [19] 张俊云,周德培,李绍才. 厚层基材喷射护坡试验研究[J]. 水土保持通报,2001,21(4):45-48.
- [20] 山田守,菊地洋司. 堀江直树. 斜面緑地の緑化工法[J]. 基礎工,2000,28(5):22-253.
- [21] 堀江直树,山尾和弘. ファイバーソイル緑化ステップ工法による環境の維持・形成[J]. 基礎工,1999,27(5):66-68.
- [22] 笹原则之,田口睦. 高次団粒SF緑化システムによる法面の施工事例[J]. 基礎工,1999,27(5):46-49.
- [23] 堀家茂一,高安朝之,片山功三. 連續長纖維による補強土擁壁の設計・施工—テタソル工法[J]. 土木技術,1990,45(2):118-124.
- [24] 横塚享,瀬川進. 新しいの1面緑化—テタソル・グリーンソ工法による緑化[J]. 土木技術,1994,49(2):83-88.
- [25] 张季如,朱瑞庚,夏银飞,等. ZLS 绿色生态护坡材料的强度试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(9):1533-1537.
- [26] 胥晓刚,杨冬生,胡庭兴,等. 建立坡面植被恢复群落质量评价体系的探讨[J]. 水土保持学报,2004,18(2):189-191.
- [27] Mitsch W J, Jorgensen S E. Ecological Engineering [M]. New York: John Wiley & Sons,1989:87-93.
- [28] Margaren F. Disneyland or native ecosystem: genetics and the restorationist [J]. Restoration and Management Notes,1997,14(2):148-150.