

土壤植被系统及其坡面生态工程意义^{*}

周 跃

(云南省地理研究所 昆明 650223)

提 要 坡面生态工程不同于传统的土木工程, 它把植被及其对坡面不稳定的影响与侵蚀过程联系起来, 这个生物学途径中的一个重要概念是“土壤植被系统”, 它强调了生态工程途径的生物生态学属性, 由它可推导出一定的理论假设, 即土壤植被系统的若干属性和性能。这些理论实体和假设有利于对坡面生态工程科学原理的构建。

关键词 土壤植被系统 坡面生态工程 侵蚀控制

分类号 《中图法》S 157 **文献标识码** A

1 基本概念

1.1 坡面生态工程(SEE)

坡面生态工程(Slope Eco—engineering, 简称 SEE)又称生物工程(Bioengineering), 指以环境保护和工程建设为目的的生物控制或生物建造工程^[1, 2], 也指利用植被进行坡面保护和侵蚀控制的途径与手段^[3]。目前, 无论坡面生态工程(SEE)途径已经发展到怎样的程度, 人们更多地把它理解为是一种建立在工程经验和判断上的“技艺”, 而不是包含了理论解释、科学计量和客观判定的一门“科学”^[4, 5]。主要原因有二: 一是目前对植被作用的研究, 特别是定量的研究, 还不能充分认识植物抗蚀护坡作用的机制和潜能, 因而不足以从微观认识和计量技术上支持这一生物学途径, 二是对该途径的理论基础探讨较少, 人们还不能用严密的科学理论来描述 SEE。从本质上讲, SEE 方法不但在利用土壤和植被本身, 而且在利用植被和土壤间的相互作用关系。SEE 把土壤和植被视为一个整体, 强调两者的整体性和复合工程性状。那么究竟什么是土壤—植被整体? 如何认识植被与土壤的有机联系和它们的整体性? 它有没有发展演化的一般模式、内在机制和特征? 这些问题对于认识 SEE 的基本原理十分重要。

1.2 土壤植被系统(SVS)

根据土壤学、生态学和植物生理学的有关原理, 土壤和植被在它们形成和演化的过程中形成了一个共生体; 两者之一的破坏或发展也将导致另一者的破坏和发展。这个共生体在发展演化过程中构成了一个“生物功能体”。从这个角度, 可以把该生物功能体称为“土壤植被系统”(Soil Vegetation System, 简称 SVS), 这里强调了该功能体的发生和演化属性。另一方面, 土壤具有一定的力学和水文学性质, 植物体对坡面也具有水文和机械保护效应^[4, 6, 7], 两者结合形成了一个具备了控制侵蚀和保护斜坡功能的“工程功能体”。从这个角度, 该工程功能体也可以被称为“土壤植被系统”, 这里强调了它的工程意义和性能。综合起来, 土壤植被系统可以被定义为: 在一定地区, 由植物根系分布范围内的土壤、母质和岩石以及以植被为主的生物群所构成的有机整体。SVS 具有生物学属性和斜坡保护性能, 有不同的发育阶段和不同的类型。它可以是自然发育的, 也可以是人工培育的。SVS 为陆地生态系统中的一部分, 以土壤和植被为主体。系统的地质、地貌、气候和人为因素是它的环境因素。这样的界定易于描述 SVS 的

^{*}国家自然科学基金资助项目(49201003 和 49871054)、云南省应用基础研究基金资助项目(97D006R 和 98D007M)和国家教委留学回国人员科研启动基金资助项目。

收稿日期: 1998—08—22。

结构与功能、内在机制与外来影响,也有利于进行SVS生物生态学行为和工程特征的分析。SVS有一定的空间分布或空间结构,它由系统组分的空间分布所规定。

系统中的生物总是生长着的。在系统内部,植被稳定土壤,土壤反过来养育植被,两者构成了所谓的“固结—维养关系”。这种关系在系统内部具有双重作用:其一它有助于克服不稳定因素,保持系统的稳定性;其二它保证了土壤和植被之间的相互作用,促进整个系统的发育演化(图 1a)。第一种作用在平缓地区影响不大,但在陡坡环境下确具有重要意义。随着生物量的增加,SVS进行着它的生物结构建造(图 1b),完成它的组成、结构和分布。同时 SVS 的工程性能建造也在进行,它的水土保持随之发展起来,侵蚀控制作用不断加强(图 1c)。无论是自然的还是人为的系统,SVS 的发展都经历了上述两个过程:生物结构建造和工程性能建造。

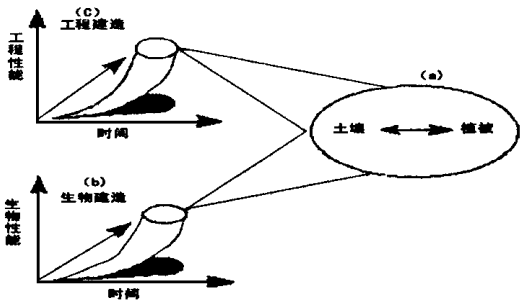


图 1 SVS 发育的一般模式
Fig. 1 Development pattern of SVS

2 SVS 的生物生态学属性和它的 SEE 性能

在实践中,SEE就是建立各式各样的SVS(即坡面保护层),通过系统本身具有的侵蚀控制机制来稳定坡面,保护整个斜坡。在这当中,SVS的生物生态学属性和工程性能决定了系统的应用依据、条件、方法以及结果。

2.1 系统的自我发展属性 SVS 中生物的生命活动和土壤的发育使系统具有生命的特征,推动着系统的发生和发展。在生物小循环中,植被通过光合作用把太阳能固定转化为生物能,推动整个系统的运转。植被制造的生物产品后来在返回土壤后被土壤微生物转化为土壤化合物,促进土壤的形成和发育。反过来,充分发育的土壤将更好的为植物地生长创造条件。在这个过程中,植被与土壤在“固结—维养关系”的维系下,促进SVS不断进行它的两个建造。

2.2 系统的自适应属性 SVS 是一个自然调节的平衡系统。系统中的植物在一定程度上能适应和改造其生长的环境,自动保持着系统组分和环境因素间的平衡关系,维系着系统能量流动和物质循环的有序性。土壤植被系统是一个开放系统,环境的改变将迫使它发生相应的适应和变化。一个自然系统在其发育早期,或者一个人工系统在刚刚完成建造之后,因为植物适应和改造其环境的潜能,使系统内组分间和组分与环境因素间便产生了相互适应和相互促进,即使在SVS获得了完善的结构和有效的功能之后,新的环境变化可能使SVS产生新的适应,形成新的结构和功能。

2.3 系统的环境控制属性 环境因素影响着SVS的发育。由于系统本身具有自我发展和自适应属性,在不同环境条件下,它将沿该条件规定的方向和途径发育,形成在不同环境条件下不同的系统发育模式、类型和工程性能。

2.4 系统的竞争发展属性 SVS 的发展过程是植物生长与土壤侵蚀相互竞争的过程^[8]。土壤侵蚀是地貌过程的结果。当植物在侵蚀因子存在的坡面生长时,它们与侵蚀过程抗争,其结果有两个:1. 生长优势进程—植物由于较强的生命力,生长速度高于侵蚀速度,短时间内形成了郁闭植物群落,土壤侵蚀得到控制;2. 侵蚀优势进程—侵蚀因子强烈,在植物形成群落前土壤已被侵蚀破坏,植物生长困难,限制了SVS的发育。这两种进程谁强谁弱,决定SVS是发展还是退化,也决定了SEE项目的成败。

2.5 SVS 控制侵蚀的水文机制和护坡工程性能 植被能调节坡面水文过程,削弱水的侵蚀力,改变土壤湿度,因而具有控制土壤侵蚀的水文效应^[6]。它的直接意义是减少侵蚀对SVS的影响,维护系统本身。在此基础上,SVS能够保护整个斜坡,行使其抗蚀护坡的工程作用。图 2 以云南松林为例,给出

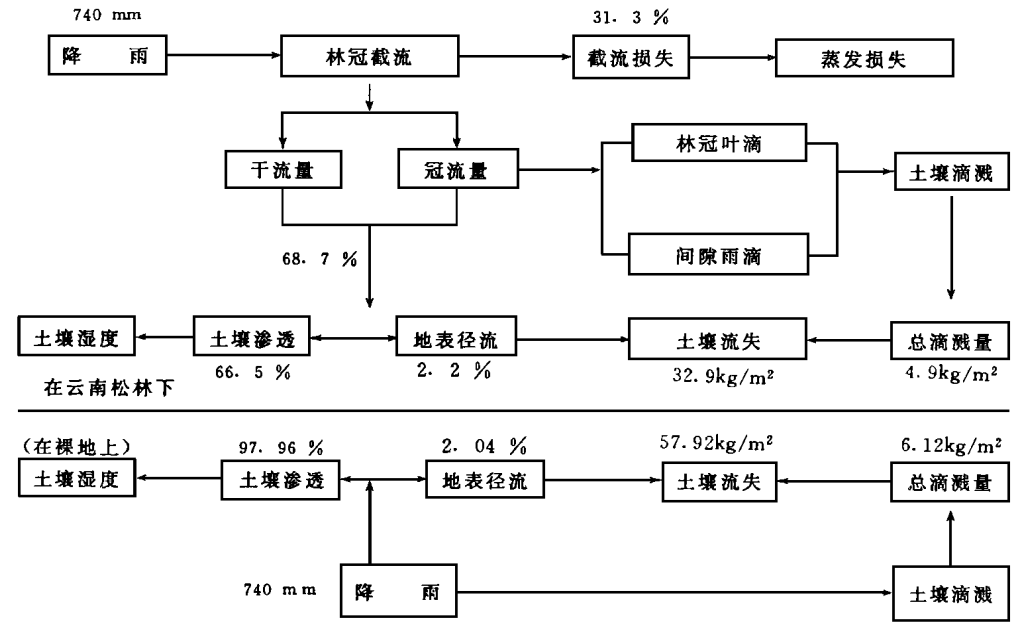


图 2 云南松林土壤侵蚀控制的综合水文效益(百分数为 740mm 降雨量在各个水量二次分配途径上的百分比)

Fig. 2 Comprehensive hydrological effect of Yunnan pine forest on soil erosion control

了森林植被影响坡面水文和侵蚀过程,从而使森林 SVS 具有维护系统本身又保护整个斜坡的例子。

2.6 SVS 控制侵蚀的力学机制和护坡工程性能 植物根系同样具有力学特征,比如强度和应力—应变关系等。当根系穿过土壤并在一定深度分布时,根系如同复合材料中的纤维一样与土壤紧密地结合形成了一个特殊的复合材料^[9],即根际土层。该层中的根系通过斜向牵引^[7]、垂直锚固等机械作用增加根际土层的综合强度,对于控制浅层滑动和土壤蠕移有重要影响。SVS 通过机械性自我加强,根际土层能够有效地保护其下面的土层。

3 土壤植被系统的生态工程意义

一个 SEE 工程师除了应该了解 SVS 中的两个重要组分(土壤和植被)的单一和综合工程性能,必须充分认识 SVS 的生物生态学属性和动态特征,还要理解 SVS 与 SEE 的关系。SVS 概念的提出为这一切提供了一个较好的角度和便捷的途径。

3.1 SVS 的概念表明了 SEE 建造实体的内涵,确定了它的理论称谓 任何土木工程实践都有它的建造实体,作为它的工程结果。在 SEE 实践中,土壤植被系统实际上就是这样的一个建造实体。从理论上讲,它可以为进行基本原理的开拓确定一个基准点和出发点,有利于构建相应的科学理论;从实践上讲,人们认识了这一建造体就能更好地运用它。

3.2 SVS 的概念确认系统与其组分间的关系是整体和个体、全面和侧面的关系 这样的认识有助于综合分析 SVD 各组分和全系统用于 SEE 的工程性能,当讨论植物根系加固土体的机械作用时,人们不单研究根系或土壤本身的强度,而且考察整个根际土层形成的复合力学性能;当研究森林的抗蚀护坡的水文效应时,人们最终要考察根际土层的综合水文特征及其效果,而非仅仅是土壤或林木本身的水文学性质。对每一个个体进行深入考察是必要的,但必须以考察整体的效果为最终目的,因为个体的功能不可以脱离整体而存在。

3.3 SVS 的属性和性能是 SEE 工程实践的依据和保证 对于一个给定目的的 SEE 项目,怎样设计相

应的 SVS? 选用的植物应具备什么性能? 如何建造如何管理? 工程结果如何? 等等。这些问题都取决于一个 SVS 的属性和性能。

3.4 VS 的工程作用具有双重性: 既进行斜坡保护, 又进行自身保护 许多工程建筑体, 如河海岸护堤和边坡挡护墙等, 都行使着自身维护和斜坡保护的功能: 前者是必要的前提, 后者是工程的目的。这种双重作用同样也存在于 SEE 实践中。SVS 本身同样经受着一定程度的土壤侵蚀, 植物的发育将削弱侵蚀的程度, 使系统稳定了自身, 保护了坡面, 进而也保护了由浅到深的斜坡土层。如果植被遭到破坏, SVS 不能首先保护自身, 最终将引起坡面一系列的侵蚀。这就是为何在植被破坏地区土壤侵蚀频繁、滑坡和泥石流等各种斜坡不稳定现象突出的原因。

3.5 SVS 具有生物生态学属性和动态的特征, 使 SEE 区别于常规土木工程 二者的大区别在于, SEE 建造体(即 SVS)在发生斜坡不稳定时可以调整自身状况来适应变化, 持续发挥护坡的工程潜能。常规工程结构则不能改变自身性能, 当侵蚀程度积累到超出了它们的固定作用限度时, 它们就不再发挥作用了。另外生态工程的侵蚀控制作用有三层含义: 第一指不管有没有侵蚀发生, SVS 不会停止它的自我完善和坡面加固作用; 第二指 SVS 的侵蚀防治作用发生在侵蚀的全过程中, 表本兼治; 第三指原有保护系统被毁坏, 重新建立的新系统将自然地及时地担负起侵蚀控制职能。

3.6 在目前的技术水平下, SVS 具有不可测、不可控的特征, 为 SEE 带来了不确定性 常规土木工程材料, 比如钢筋、水泥、木材等, 可在人为控制下构造成一定的标准形状, 其力学特征、水理特征以及工程行为等都可以测度, 因而能够纳入严密的工程计算和设计中。植被的生长发育有极大的时空变化, 其植物体在作为 SEE 材料使用时不可能是标准件, 工程性状随机性强, 再加上土壤的特性也随地形、坡位、植被等条件变化, 使 SVS 的性能和行为不能进行精确的定量描述。因此, SEE 的应用目前仅仅有两种突出和有效的途径: 一是控制土壤流失, 减少由于坡地环境或土壤状况自然改变而发生的坡面运动的危险性; 另一种是提高常规土木工程结构抵御潜在不稳定性的总体控制能力, 即利用植被来补充和加强传统的工程措施。

4 讨论和结语

SVS 的概念是一个理论实体, SVS 的生物生态学属性、工程性能和系统的内在关系是该实体的理论假设。由于 SVS 的原形可以在现实中看到, 这一理论实体不难在实践中被证实。它的理论基础是相关学科的有关原理, 比如, 土壤和植被的发育和演化是经典土壤学和地植物学的重要内容; 植被的水文调节和环境适应潜能基于植物生理学和生态学的原理; 土壤-植被复合体(根际土层)的力学特征是复合材料力学的一种特殊情况。另外, 从 SVS 概念可以提出 SVS 的生物生态属性和工程性能的若干假设, 来自有关学科和工程实践的大量实验从不同角度能够证实这些假设的真实存在。因此, 我们有理由认可 SVS 概念及其理论假设的真实性, 这符合科学哲学的一般原理。

科学创造需要概念化、抽象化和假设的理论, 用于判断和深化对研究对象的理解。一个完整的学科领域应有其完整的理论体系, 其中的理论实体是该体系的基本内容之一。SVS 的概念和 SVS 的属性与性能可以成为 SEE 的科学原理的重要组成部分, 即它的理论实体和假设。要使 SEE 成为一门真正的科学技术, 应该建立这样的认识基础, 同时还必须创造科学计量的理论和方法。这两者结合起来才能构建 SEE 的科学理论。

参 考 文 献

1 Nordin, A. R. (1995) Eco-engineering Practices in Malaysia. Ph. D. Thesis. University of Newcastle upon Tyne, Glasgow

2 Barker, D.H. (1995) *Vegetation and slopes- Stabilization, Protection and Ecology*. Institute of Civil Engineer, Lon-

- don; Thomas Telford
- 3 Morgan, R. R. C. and Rickson, R. J. (1995) Slope Stabilization and Erosion Control—A Bioengineering Approach. London; E & EN Spon
 - 4 Coppin, N. J. and Richards I. G. (1990) Use of Vegetation in Civil Engineering. CIRIA, Kent; Butterworths
 - 5 Gray, D. H. (1995) Influence of vegetation on the stability of slopes. In; Barker, D. H. *Vegetation and Slopes-Stabilization, Protection and Ecology*. Institute of Civil Engineer. London; Thomas Telford. 2~25
 - 6 Zhou, Y. (1997) Effects of the Yunnan Pine (*Pinus yunnanensis* French) on Soil Erosion Control and Soil reinforcement in the Hutiaoxia Gorge, Southwest China. PhD Thesis, University of Hull, March 1997. Hull
 - 7 Zhou, Y., Watts, D., Li, Y. H. et al. (1997) The traction effect of lateral roots of *Pinus yunnanensis* on soil reinforcement: a direct in situ test. *Plant and Soil*, 1997, (190): 77~86
 - 8 Thomes, J. B. (1988) Competitive vegetation—erosion model for Mediterranean conditions. In; Morgan, R. P. C. and Rickson, R. J., *Erosion Assessment and Modelling*. Commission of the European Communities Report No. EUR 10860 EN, 255~337

作者简介 见《山地学报》(原《山地研究》), 1999, 17(1): 8.

SOME UNDERSTANDING ABOUT SOIL-VEGETATION AND SLOPE ECO-ENGINEERING

ZHOU Yue

(Yunnan Institute of Geography, 20 Xuefu Road, Kunming 650223, People's Republic of China)

Abstract In the past decades, the importance of vegetation in protecting slopes has been stressed by many researchers. The great awareness that vegetation can play a range of roles in slope protection has made it increasingly a valuable tool in the control of erosion and the stabilization of slopes. This knowledge has led to a increasing application of vegetation types world-wide for these purposes. Slope eco-engineering (SEE) relates vegetation and its effect on slope instability with erosion control. With its bio-ecological characteristics and its dynamic nature, SEE differs from traditional civil engineering. An important concept within this biological approach is the “soil-vegetation system” (SVS). This concept can be defined that in a given area the organic whole which consists of the biological group led by vegetation, the rooted soil and parent materials is the SVS. It has certain components, including geological, geomorphological, climatic and human factors, and system boundary, which is determined by the spatial structure of the system's composing elements. An SVS can be a natural system or an artificial one. The former category would include natural systems and the latter is transformed from a natural system or newly established by man's ingenuity. A given SVS is provided with certain eco-biological natures and engineering properties, which are significant in its SEE application. SVS is a theoretical substance, its natures and properties are theoretical hypothesis of the SVS. They form a part of the theoretical basis of SEE. These theoretic-

cal substance and hypothesis are significant in the development of scientific principle of slope eco-engineering.

Key words Soil-vegetation system, Slope Eco-engineering, erosion control

NEW PROTECTIVE METHOD OF RED CLAY SAMPLE IN GEOTECHNICAL ENGINEERING

WU Yong¹ XIE Chen-qing²

⁽¹⁾ *Sichuan University, College of Water Conservancy and Hydropower, Chengdu, 610065;*

⁽²⁾ *Prospect and Design Institute of Chengdu Military Command Air Force, Chengdu, 610041)*

Red Clay (or terra rossa) possesses high water capacity, plastic limit and liquid limit. When it loses water it brings about contraction crack. After collecting with open drive sampler, it is wrapped with wax seal or adhesive tape. 10 days later, it is untwisted, and founded that adhesive water upon the box wall, network of cracks in sample, the cracks is 2~4cm deep. They lead to mechanical property of sample failure. It is because that temperature moistness and stress are different from nature. Moisture spreading evaporating follows temperature change. Similaring to earth membrane filter. They change property of soil sample. In accordance with these problems granular and mineral are analysed. It is composed of goethite, montmorillonite and chlorite, and the particle size D between 0.074mm~0.005mm is about 40.15%, $D < 0.005$ mm is about 36.5%. It is benefit to sliming moreover the coefficient of conductivity of red clay is between $n \times 10^{-8}$ to $n \times 10^{-7}$ cm/s. According to these characteristics, it is wrapped with red clay slime and the thickness of slime is about 2mm~4mm and forms a bed of protection filter. In 10 days later, samples are untwisted. There is a few cracks in sample, the crack deep to 2cm is no found. Contrasting to the field sample. Water capacity sliming sample reduces from 0.9% to 1.9%. Proportional error $< 3.5\%$. It avoids water moisture dispersing or increasing, therefore, it is true that mechanical property of sliming sample. The angle of internal friction, coefficient of compaction and compressibility modulus of sliming sample are different from field sample. The value changes about 10%. This is due to material and texture of sample, doesn't concern slime. Therefore, the method sliming sample may be used to protect red clay sample with high water capacity and low permeability.

Key words red clay, protective method, characteristics