

## 南方岩质坡地生态恢复探讨

叶建军, 许文年, 王铁桥, 周明涛

(三峡大学土木水电工程学院, 湖北 宜昌 443002)

**摘要:** 介绍和运用生态恢复有关理论, 对南方岩质坡地的生态恢复一般规律进行了分析。在此基础上, 介绍了适用的土壤固定方法和水土保持技术, 并以植被混凝土绿化技术为例, 建立了岩质坡地生态恢复过程模型。最后分析了开发利用应注意的问题。

**关键词:** 岩质坡地; 生态恢复; 水土保持; 植被混凝土

中图分类号: X 171. 1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)04-0238-04

## Discussion on Ecosystem Restoration of Rock Slope in South China

YE Jian-jun, XU Wen-nian, WANG Tie-qiao, ZHOU Ming-tao

(Hydroelectric and Civil Engineering College, China Three Gorges University, Yichang 443002, Hubei, China)

**Abstract:** The relating theories on ecosystem restoration are presented, and used to analyze the general principle of ecosystem restoration of rock slope. Based on it, the authors introduce adaptive soil-fixing methods and soil and water conservation technique. After that, take the greening technique with vegetation-growing concrete for example, the model of ecosystem restoration process of rock slope is built. Finally, the problems needed to notice during exploitation are analyzed.

**Key words:** rock slope; ecosystem restoration; soil and water conservation; vegetation-growing concrete

岩质坡地是地球上的生态荒漠。产生的原因主要是人类不合理利用、开发自然资源造成。以我国为例, 随着经济的高速发展和基本建设的飞速开展, 开矿、筑路、水利、建厂等工程逐年增加, 全国每年因此而新增的水土流失面积达  $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 其中有 20% ~ 30% 岩漠化, 形成寸草不生的裸露岩石边坡, 而一些经过喷锚处理的边坡也是生态荒漠。我国南方山坡由于不合理开垦, 大面积“岩漠化”。以贵州为例, 全省的石山面积由 1975 年占全省总面积的 5% 上升到 1988 年的 9.6%, 该省的纳雍县, 出现山川俱毁的局面, 由于水土流失的迅速扩展, 全县  $1.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$  的山地土层冲光, 成为裸露山坡。对恢复岩质坡地进行生态恢复, 不仅能改善当地气候, 涵养水源, 丰富物种资源, 而且也是当地农民脱贫致富的基本出路。虽然人类没有能力真正恢复天然的生态系统, 但可以帮助自然, 如提供基本条件, 集合一个地区的植被恢复所需的基本动、植物物种, 然后让它自然进化, 最终恢复。

### 1 生态恢复基本理论

生态恢复一词出现以来, 许多学者和机构对它进行了定

义, 有代表性的定义是美国生态学会给出的: 生态恢复就是人们有目的地把一个地方改建成定义明确、固有的、历史的生态系统的过程, 这一过程的目的是竭力仿效那种特定生态系统的结构、功能、生物多样性及其变迁过程。可以从这个定义看出, 生态恢复不是自然生态系统的自然演替, 而是人们有目的的进行改造; 不是物种的简单恢复, 而是对系统的结构、功能、生物多样性和持续性进行全面的恢复。

#### 1.1 生态限制因子原理。

生态因子是指环境中对生物生长、发育、生殖、行为和分布有直接或间接影响的环境要素。如温度、土壤、水分、养料、光照、空气和其它相关生物等。环境中各种生态因子不是孤立存在的, 而是彼此联系、互相制约、互相促进的, 任何一个单因子的变化, 都必将引起其它因子不同程度的变化及其反作用, 这种关系, 称之为综合作用。生物的生存和繁殖依赖于各种生态因子的综合作用, 其中限制生物生存和繁殖的关键性因子就是限制因子。任何一种生态因子只要接近生物的忍耐极限, 它就会成为这种生物的限制因子。生态系统的限制因子强烈的制约着系统的发展, 在系统的发展过程中往往有

① 收稿日期: 2003-05-15

基金项目: 三峡开发总公司“三峡工程边坡绿化研究项目”。

作者简介: 叶建军(1974-), 男, 湖北英山县人, 三峡大学土木水电工程学院岩土工程专业 2001 级研究生。

多个因子起限制作用,并且,因子之间也相互作用。

当一个生态系统被破坏后,要恢复时会遇到许多因子的制约,如温度、土壤、水分、养料、空气、光照等。我们必须找出该系统的关键因子,才能有效的迅速地进行生态恢复。

### 1.2 生态系统的结构理论

生态系统是由生物组分与环境组分组合而成是结构有序的系统。生态系统的结构是指生态系统中的组成成分及其在时间、空间上的分布和各组分能量、物质、信息流的分布方式和特点,生态系统的结构包括物种结构、时空结构和营养结构。物种结构又称组分结构,是指生态系统是由哪些生物组成的,以及它们之间量比关系;生态系统中各生物种群在空间上的配置和在时间上的分布,成为生态系统的时空结构;由生产者、消费者、分解者三大功能群体组成的食物网、食物链是生态结构的营养结构。

建立合理的生态系统结构有利于提高系统的功能。生态系统结构是否合理体现在生物群体与环境资源组合之间的相互适应程度,合理的生态系统结构能充分发挥资源优势,并保护资源的持续利用。从时空结构的角度,应充分利用光、热、水、土资源,提高光能利用率;从营养结构的角度,实现生物物质和能量的多极利用与转化,形成一个高效的,无废物的系统;从物种结构上,提倡物种多样性,有利于系统的稳定和发展。

### 1.3 生物适宜性原理

生物经过长期的与环境的协同进化,对环境产生了生态依赖,其生长发育对环境产生了要求,每种生物要求在最适宜的环境中生长。

### 1.4 生态位原理

目前被广泛接受的的定义是英国生态学家 G. E. Hutchinson 给出的:生物完成其正常生命周期所表现的对特定生态因子的综合位置。即用某一生物的每一个生态因子为一维( $X_i$ ),以生物对生态因子的综合适应性( $Y$ )为指标的超几何空间。

### 1.5 生物群落演替理论

在自然条件下,如果群落遭到破坏,一般能够恢复,尽管恢复时间有长短。恢复的过程是:先是被称为先锋植物的种类侵入遭到破坏的地方并定居和繁殖,先锋植物改善了被破坏地的环境,使得其它物种侵入并被部分或全部取代,进一步地改善环境和更多物种的侵入的结果是生态系统逐渐恢复到它原来的外貌和物种。这一系列变化过程就是演化。生物群落演化有几项明显特征。①植物群落对地力的要求从低到高发生迁移变化;②土壤厚度逐步增加;③植物群落的高度从低到高变化;④从寿命短的种类向寿命长的种类发生变化;⑤先锋植物在一系列变化中起到重要作用。

### 1.6 生物多样性原理

生物多样性是指生物形式的多样性,包括遗传多样性、物种多样性、生态系统与景观多样性。生态系统的多样性越高,生态系统越稳定,表现在系统抗逆性强,出现高生产力物

种的机会高,系统利用光能效率高,能量流动稳定。

## 2 生态恢复原理在岩质坡地生态恢复中的应用

南方省份如贵州、广西、云南、湖南、湖北等业已存在的岩质坡地基本上是近60年内由于人口增长过快,过度开垦,放牧,采伐或工程开挖引起的。这些地区的多年平均降雨量都在1000mm以上,光、热、温、水条件良好,惟一的生态恢复限制因子是土壤,因此岩质坡地的生态恢复的关键是恢复植物生长必需的土壤。(生态限制因子原理)

(1)进行生态恢复前。要对当地的气候、土壤和野生植物资源进行必要调查,找出与当地环境相适宜物种,尤其是中草药、食用菌、牧草、野果灌木等物种,以便根据这些物种的特性配制土壤,达到有目的的、利于当地经济的生态植被恢复。生态恢复应该尽量使用当地物种,因为当地物种是经过长期与环境协同进化而来的。(生物适宜性原理)

(2)根据生物群落演替理论。岩质坡地的生态恢复的顺序一般应为:先锋植物(一般人工选择草类植物)当地草种灌木乔木(土层太薄不能演绎到乔木)。先锋植物的选择尤其重要,因为它关系到初期有效保持和改良人工固定的土壤,一般应选择根系发达,生长迅速,一年生草类,为更快改善土壤结构和养分自给能力,应考虑豆科植物和菌肥的使用。

(3)根据生态位理论及生物多样性原理。在生态恢复过程中,要避免引进生态位相同的物种,尽可能的使物种的生态位错开,避免种群间的直接竞争,注意维持系统生物多样性,保证群体稳定。

(4)生态系统的结构理论要求我们在恢复生态系统时。尽快建立合理完整结构,如引进土壤微生物——菌肥(分解者),引进开花结果植物,吸引动物(消费者)觅食和安扎,注意物种的代际结构和不同植物空间合理分布。

## 3 岩质坡地的土壤固定及保持

岩质坡地要恢复植被,就必须人工干预,在坡面上固定植生条件,因此经济合理的植生土壤的固定方法是首先必须考虑的问题。由于岩质坡地的坡度一般大于40°,水土不易保持;而且风化成土速度很慢,在风化产物不被搬走的情况下,一般要上万年才能形成10cm的土壤,因此在岩质坡地上固定的土壤除满足上面讲到的生态需求外,还需要:

- 土壤需有较强的抗冲刷能力,能经受暴风雨袭击。
- 土壤肥沃,能让先锋物种(一般人工选择的)迅速繁殖覆盖,短期内实现更好的水土保持。
- 土壤要有一定厚度,以利于保水抗旱,保证生态生物群落向更高方向演绎。(生物群落演替理论)

在岩质坡地上固定植生条件,有两种思路:一种是在坡地上设置框格或网袋,在里面置土;另一种思路是喷射特定配方具有抗冲刷能力的植生土壤。前面一种思路耗时费工,只适用于较缓坡地。后一种思路因特定配方的土壤具备抗冲刷功能,且机械化程度高,劳动效率高,值得推广。这种方法

实质是按前面所述要求配置土壤，配方一般为：土壤、保水剂、有机或无机粘合剂、肥料、有机质、植物种子等。日本等西方国家在这方面有较深的研究，日本已开发的方法有机械施工种子喷播法、客土喷播法、厚层基础材料喷播法、飞播绿化法等。其中客土喷播法和厚层基础材料喷播法具有抗冲刷能力，其原理是用高次团粒剂使客土形成密实结构，植物纤维在其中起到类似植物根茎的网络作用，造就具有耐降雨侵蚀、牢固且透气、与自然表土相近的生长基础。日本所用方法由于所用配方的原因，成本很高，不适合我国国情。由三峡大学开发的专利技术(4项)植被混凝土绿化技术是近年来国内出现优秀的岩石边坡生态恢复技术。它是用壤土、水泥、腐殖质、添加剂、草种和水组成的配方，经搅拌，使用传统喷锚工艺和机械将它喷射到坡面。由于配方合理，成功实现了植生条件(植被混凝土)的固定，植被混凝土牢固粘结在坡面

上，且经受住了暴雨的袭击，具备较强抗冲刷能力。同时实现了快速和永久绿化。只要对配方进行按上述要求的改进，本技术完全可以应用于南方石山的生态恢复。

植被混凝土绿化技术已经成功应用到湖北清江、三峡工程水电工程岩石及混凝土边坡，湖南、湖北公路边坡，江苏石山，山东石质边坡等多个边坡防护绿化中，总面积已达 6 万多  $m^2$ ，取得了良好的社会和经济效益。其中两个典型工程为：

高坝州水利枢纽王家冲高边坡防护绿化工程，边坡坡度  $80^\circ$ ，高度 80 m，岩石性质为石英斑岩，坡面面积为 11 000  $m^2$ ，开工时间 2001 年 11 月，完工时间 2002 年 8 月，绿化防护效果好，草 100% 覆盖坡面，茂密，五个月后草高达 30 mm。



图 1 高坝州水利枢纽王家冲高边坡防护绿化工程(右边正在施工)

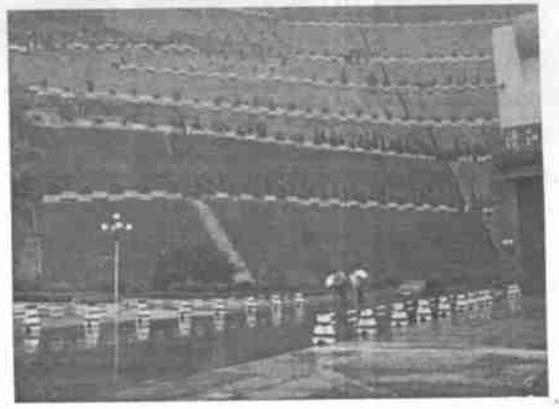


图 2 隔河岩电厂水泥边坡绿化工程

隔河岩电厂水泥边坡绿化工程，边坡坡度  $60^\circ$ ，高度 40 m，坡面为喷射素砼，坡面面积为 3 200  $m^2$ ，开工时间 2002 年 4 月，完工时间 2002 年 5 月，绿化防护效果好，100% 覆盖坡面，草茂密，青翠，整齐，极大改善了厂区环境。

#### 4 岩质坡地生态恢复过程模型

(1) 岩质坡地的生态恢复有其自身的特点，以植被混凝土绿化技术为例，喷射的植生层只有 10 cm 厚(太厚不经济)，在无外界干扰(采伐，虫害等)情况下，假设气候条件相对稳定，(显然，考虑季节和气候的变化时，只会改变曲线局部形状，即曲线以一年为周期波动，但不会改变曲线总体走势)其恢复过程一般是初期总植物生产力(植物生产力是指植物生产有机物的速率，即植物在单位时间单位面积制造有机物的速度)快速上升，随后下降，然后缓慢上升，见如图 1，原因初期由于初期人工配方中有施肥，植物生长迅速，随后由于人工肥料耗尽，植物生长放缓，后来随着当地植物的入侵，土壤在凋落物和生物的改良下，植物生产力缓慢提高，最后趋于稳定。

图中， $T_1$  左边为 A 区，为人工加入的先锋植物的生产力

曲线，此时植被混凝土中的人工施肥充足，植物生长迅速，生产力迅速达到  $(T_1, P_1)$  点， $(T_1, P_1)$  点的高低取决于植被混凝土的土壤性质，当地气候，以及先锋植物的种类， $T_1$  一般应控制在两年内，以便使植被混凝土能迅速被先锋植物固定覆盖，从而很好保持水土。 $T_1, T_2$  之间部分为 B 区，为先锋植物衰退，当地物种入侵的区间，本区由于人工施肥已经耗尽，植被养分自给能力还处于较低水平，总植物生产力呈下降趋势，一直降到  $(T_2, P_2)$  点，该点的高低对生态恢复的时间和影响很大，该点过低，意味着生态恢复时间很长，且只能恢复到较低的生态群落。影响该点的因素主要为植被混凝土的厚度和性质。 $T_2$  右边部分为 C 区，为自然恢复区，此时植被主要为当地植物，由于凋落物的腐烂和生物对土壤的改良，植物生产力缓慢回升，最终到达  $(T_3, P_3)$  点，并保持稳定。 $T_3$  即为生态恢复时间。 $P_3$  的大小意味着生态系统恢复程度的高低，它取决于植被混凝土的厚度和当地气候。

显然，这里假定稳定生态系统的特征是植物生产力恒定。运用微积分，对曲线进一步分析，会得到：

$$B = \int_0^T P(T) dT$$

式中:  $B$ ——系统生物总量, 它是时间  $T$  增函数, 稳定生态系统的生物总量是时间的线性函数。而对  $P(T)$  求导:

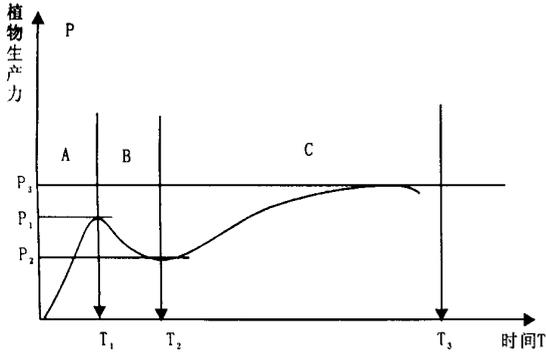


图 3 植物生产力随时间的变化曲线(成功恢复)

$$A = dP(T) / dt$$

式中:  $A$ ——植物生产力的加速度。由图 1 知, 在  $T \in (0, T_1)$ 、 $(T_2, T_3)$  时,  $A > 0$ ; 而在  $T \in (T_1, T_2)$  时,  $A < 0$ ; 在  $T = T_1, T_2$  以及  $T \rightarrow (T_3, +\infty)$  时,  $A = 0$ 。即生态稳定时植物生产力的加速度为 0。

$B(T), A(T)$  的曲线从略。

(2) 如果植被基层配方不合理, 先锋植物选择不当, 或由于自然灾害, 生态恢复可能失败, 这种情况下植物生产力随时间的变化曲线如图 4 所示(同样假设季节气候相对稳定)。

图 4 中,  $A$  区曲线平缓,  $(T_1, P_1)$  点低, 表示先锋植物生产缓慢, 覆盖率低, 且由于土壤流失, 植物加速退化, 最后在  $T_2$  时刻土壤流失殆尽, 植被也不复存在。

### 5 生态恢复后岩质坡地的开发利用

岩质坡地由于土层薄, 坡度大, 一旦破坏难恢复, 开发利用必须做到:

(1) 在系统基本恢复后才能开发利用, 应避免在  $(T_1,$

$P_1)$  点附近开发利用, 一般至少是 4 年以后。

(2) 必须控制利用强度, 注意水土保持, 防止水土流失引起系统崩溃。

(3) 注意物质和能量的必要输入, 可采取施肥, 秸秆还土增加土壤养料和厚度。

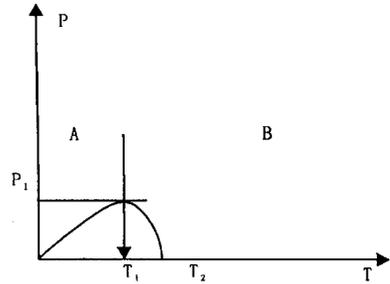


图 4 植物生产力随时间的变化曲线(恢复失败)

(4) 不同坡度采取不同的开发强度, 如缓坡(小于  $30^\circ$ )养牛, 陡坡(大于  $30^\circ$ )就只能放羊了。

利用强度问题是一个关系到投入产出、经济利益的大问题, 必须慎重对待。

### 6 结 语

岩质坡地生态恢复是一项系统工程, 是一个崭新的领域。前面谈到的一些理论和技术问题只是初步探讨, 更多课题尚需解决, 如不同条件下植被混凝土配方、喷射植被土层厚度、系统物质能量循环等问题; 同时还要解决资金的来源问题, 政府相关政策的支持问题, 当地农民的参与方式问题, 以及必要的生态移民问题等。因此, 它需要全社会的关注和支持。相信随着近期国家实施的退耕还林工程的深入展开, 岩质坡地的生态恢复问题会在很短时间内得到重视。毕竟, 南方岩质坡地生态恢复比北方沙漠生态恢复要容易, 一次性投资虽大, 但可以做到一劳永逸。

### 参考文献:

[1] 王铁桥, 等. 挖方岩石边坡绿化技术研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2003, 25(2): 101- 104.  
 [2] 许文年, 等. 岩石边坡护坡绿化技术应用研究[J]. 水利水电技术, 2002(7): 35- 40.  
 [3] 杨京平, 卢剑波. 生态恢复工程技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002. 6, 8- 11, 137, 138.  
 [4] Milena Holmgren, Marten Scheffer. EL Nin as a window of opportunity for the restoration of degraded arid Ecosystems [J]. Ecosystems, 2001(4): 151- 159.  
 [5] 丁运华. 关于生态恢复几个问题的讨论[J]. 中国沙漠, 2000, 20(3): 341- 344.  
 [6] 杜娟. 客土喷播施工法在日本的应用与发展[J]. 公路, 2000(7): 72- 73.  
 [7] 刘龙, 叶慧海. 高速公路路域植被恢复设计与施工技术初探[J]. 交通环保, 2002, 23(1): 13- 17.  
 [8] 许文年, 王铁桥, 叶建军. 工程边坡绿化技术初探[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2001, 23(6): 512- 515  
 [9] N W Hudson. Soil conservation[M]. 1971. 窦葆璋译. 北京: 科学出版社, 1976. 71, 27, 28.  
 [10] 《土壤学》编写组. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992. 99- 103, 5- 7, 52- 55.