

公路边坡生态防护的定量评价方法

贾致荣^{1,2}, 郭忠印²

(1. 山东理工大学 建筑工程学院, 山东 淄博 255049; 2. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘 要:随着我国高速公路建设快速发展以及人类环境保护意识的不断增强,公路边坡传统的工程防护对生态环境和景观所产生的负面效应越来越受到人们的关注。作为一种环保和经济的方法,生态防护变得越来越重要和有吸引力。但由于生态防护的优点难以量化,使得在护坡方案比选时生态防护的优势体现不出来,影响了生态防护的推广。从多个方面对边坡防护的效益和费用进行分析,如植被吸收 CO₂ 和释放 O₂ 价值、涵养水源价值、滞尘价值、吸收 SO₂ 价值、景观提升价值及边坡防护的建设及维护费用,并提出具体的定量估算方法。实例分析显示,当适用条件合适时,生态防护可以达到更好的经济和环境效益。所提方法可以用于边坡防护方案比选。

关键词:公路;生态防护;效益分析;效益估算

中图分类号:X171.1;U416.14

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)02-0260-03

Quantifying Evaluation Approach to Highway Soil Bioengineering

JIA Zhi-rong^{1,2}, GUO Zhong-yin²

(1. School of Architectural Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China; 2. Key Laboratory of Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: With the rapid development of the construction of expressway and the increasing sense of environment protection of mankind in our country, people pay more attention to the negative ecological and scenic effects by the traditional slope engineering protection methods. As an environmentally compatible and cost-efficient alternative for roadside management, soil bioengineering has become increasingly important and attractive. However, the advantages of soil bioengineering are so difficult to quantify that superiorities of soil bioengineering cannot be embodied when compared with other protection methods, and the popularization of the method is highly influenced. The benefits and costs of highway slope protections were analyzed from different aspects, for example the value of vegetation sequestering carbon dioxide and releasing oxygen, the value of conserving the source of water, the value of restraining dusts, the value of sequestering sulfur dioxide, the value of landscape improving, the costs of construction and maintenance etc. The methods how to estimate the benefits quantitatively were put forward. The case analytical results demonstrate that soil bioengineering method, if technically feasible, could be adopted to produce equal or better economic and environmental results. The approach could be used as a tool for comparing the slope protection methods.

Key words: highway; soil bioengineering; benefits analysis; estimate of benefits

生态护坡(Soil bioengineering)是指单独用植物或者植物与土木工程和非生命的植物材料相结合的固坡措施^[1]。20世纪60年代开始,美国、日本及欧洲一些发达国家和地区就已经将生态保护和恢复措施纳入了高速公路建设之中,并且为此进行了长期的研究和实践。我国在这方面的研究起步较晚,边坡防护长期以工程防护为主,如浆砌块石、干砌片石、喷射混凝土等,不但景观效果差,而且从根本上阻碍了生态恢复的进程。近年来,由于人们环保意识的不断增强,采用生态防护及综合防护的边坡逐渐增加。但是,从客观上来说,边坡防护形势决策中的长官意志明显,主观盲目性突出。设计人员面对众多的边坡防护方案,除边坡稳定性外,缺乏量化的评价指标和方法,难以拿出令人信服的理由来采用生态护坡。

自从 R. Costanza 等在 Nature^[2] 上的文章发表以后,关

于生态系统生态服务价值的研究逐渐增多。针对生态防护量化评价中的难点——生态效益的量化评价,利用经济学的基本原理,采用碳税法、生产成本法、替代工程法、市场价值法等方法,分析植物固碳释氧价值、涵养水源价值、滞尘价值、吸收二氧化硫价值、改善景观价值等,构建生态防护效益计量方法,并考虑护坡的建设及维护费用,通过算例进行边坡防护方案的简明对比。

1 评价指标及量化办法

1.1 生态与景观效益

1.1.1 O₂ 释放与 CO₂ 吸收

(1)释放 O₂ 的经济价值。植物光合作用过程是消耗一定数量的光能、吸收 CO₂ 和水、形成有机质并释放 O₂ 的过程。对植物释放 O₂ 量的测定可采用间接法,即借助光合作

收稿日期:2007-06-01

基金项目:山东理工大学科技基金(2006KJM09)

作者简介:贾致荣(1968—),男,山东滨州人,副教授,博士,主要从事道路与环境工程研究。E-mail:jiazhirong@126.com

用化学方程式,通过光合作用产物(生物量)置换氧气排放量的方法来计算。有关资料表明,每得到1 g植物干物质,需要1.62 g CO₂,同时释放1.2 g O₂。在此过程中,植物还将太阳能转化为化学能储存在碳水化合物中^[3]。对于不同类型植物的年生态指标量化结果,可以参考表1中的数值。具

表1 不同类型植物年生态指标量值^[4]

指 标	针叶乔木	落叶乔木	常绿乔木	落叶灌木	常绿灌木	绿篱	草本
吸收 CO ₂ 量/(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	57.83	128.32	135.28	73.55	195.21	212.00	181.13
释放 O ₂ 量/(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	42.06	93.33	98.39	53.49	141.97	154.18	131.73
吸收 SO ₂ 量/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	34.90	39.72	67.65	5.14	43.81	27.90	18.00
滞尘量/(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	14.02	17.51	24.41	13.37	32.93	33.86	0.12

根据工业制氧成本法计算植物生产氧气的价值。

$$V_{O_2} = W_{O_2} \cdot Q_1 \quad (2)$$

式中: V_{O_2} ——护坡植物每年释放 O₂ 的经济评估值; Q_1 ——释放 O₂ 效益。根据生产成本法,按工业制氧成本 400 元/t 货币化^[4]。

(2)吸收 CO₂ 的经济价值。同理,采用面积—吸收能力法,根据单位面积植物吸收 CO₂ 的平均值乘以护坡植物的面积,计算出护坡上的植物吸收 CO₂ 的量。

$$W_{CO_2} = g \cdot s \quad (3)$$

式中: W_{CO_2} ——护坡上植物吸收 CO₂ 的量(t); g ——护坡上单位面积植物吸收 CO₂ 的量(t/hm²·a); s 同(1)式,下同。

目前,植物固碳的价值估算方法有碳税法(即向大气排放 CO₂ 的税费)和温室效应损失法,国际上普遍采用碳税法。常用的是瑞典的碳税率^[5],大约为 150 \$/t(C),将此碳税率换算为固定 CO₂ 率即 40.94 \$/t(CO₂),折合人民币 313.19 元/t(按 1 美元折合 7.65 元计算),由此可估算护坡上的植物光合作用每年固定 CO₂ 价值,见式(4)。

$$V_{CO_2} = W_{CO_2} \cdot Q_2 \quad (4)$$

式中: V_{CO_2} ——护坡植物每年固碳的经济评估值; Q_2 ——碳税率。

1.1.2 涵养水源

植物通过自身内外结构对水分循环进行生物调控,保护水土资源,犹如建造起一道绿色的拦截工程,具有一定的经济价值。植物涵养水源功能主要是根系作用下的土壤蓄水功能来实现的。这是因为根系在土壤微生物作用下,土壤的容量、非毛管孔隙度、总孔隙度等土壤物理性状得以改善,土壤蓄水功能得以提高。植物涵养水源价值评估,就是采用各种方法对植物涵养水源价值进行估算。综合国内外有关文献,该价值的评估基本上采用替代工程法进行。把植物涵养水源功能等效于一个蓄水工程,而对应工程的价值是可以计算的,那么就可以用该工程的修建费用或者造价,来替代植物涵养水源的价值,从而间接测知植物涵养水源的价值,其具体的计算见式(5)^[3]。

$$V_w = E \times D \times P \times S \times (H - R) / T \quad (5)$$

式中: V_w ——植物涵养水源的价值; E ——修造 1 m³ 农林水库工程投资费用(元/m³); D ——生态护坡面积(hm²); P ——植物根系平均深度(m); H ——有根土壤含水量(%);

体计算采用面积—吸收能力法。根据单位面积护坡植物释放 O₂ 的平均值乘以护坡植物的面积,计算出释放 O₂ 的量。

$$W_{O_2} = f \cdot s \quad (1)$$

式中: W_{O_2} ——护坡植物释放 O₂ 量(t); f ——单位面积护坡植物年释放 O₂ 量(t/hm²·a); s ——护坡植物面积(hm²)。

R ——裸地土壤含水量(%); S ——土壤容重(t/m³); T ——水的密度(1 t/m³)。

计算植物涵养水源的价值也可采用简化方法。根据 1 hm² 绿地的年蓄水量 340~400 t,由此可估算出护坡上植物年涵养水源量,再根据现行水资源费征收管理办法,得到地表水资源平均费用(约 0.2 元/t),就可计算出护坡植物年涵养水源的经济价值。这种计算办法比上面的计算公式简单些。适用于式(5)中的基础数值不便得到的情形。

1.1.3 大气污染物吸收

(1)滞尘价值。护坡上的植物茎叶相互交错,叶面积较大,叶片上长有很多绒毛,能吸附大气中的飘尘粉粒,具有一定的固土减尘的生态功能。护坡的植被就像大的天然“吸尘器”,它那柔软的叶片能连续不断地接收、吸附、固定空气中的尘埃,然后回归大地。护坡上植物的滞尘价值可以采用治理费用替代法计算,在计算植物的滞尘量时,同样采用面积—吸收能力法。

$$W_d = j \cdot s \quad (6)$$

式中: W_d ——护坡上植物吸收飘尘的量(t); j ——护坡单位面积植物吸收飘尘的量(t/hm²·a),滞尘能力的取值可以参考表 1。

根据资料,降尘造成损失及除尘所需费用(包括设备运行、大修、折旧、工资等)约为 560 元/t^[3]。滞尘价值的可按式(7)计算。

$$V_d = W_d \cdot Q_3 \quad (7)$$

式中: V_d ——护坡上植物的滞尘价值; Q_3 ——每削减 1 t 粉尘的成本。

(2)吸收 SO₂ 的价值。根据《中国生物多样性国情研究报告》,我国每削减 100 t SO₂ 的治理费用为:投资额 5 万元,每年运行费 1 万元,合计 6 万元,即 SO₂ 的治理费用为 600 元/t^[6]。另据瑞典专家研究表明,向环境中排放 1 t SO₂ 就会造成 500 克朗(瑞典货币单位)的损失,由此反证绿化植物从空气中吸收 1 t SO₂ 即少损失 500 克朗(折合人民币 562.45 元)。以上 2 种测算所得到的单价非常接近,这说明取值有其合理性。植被每年吸收 SO₂ 的量参见表 1。护坡上植物吸收 SO₂ 的经济效益的计算见式(8)。

$$V_{SO_2} = k \cdot s \quad (8)$$

式中: V_{SO_2} ——护坡植物一年吸收 SO₂ 所产生的经济效益;

k —— 1 hm^2 植物每年吸收 SO_2 所产生的经济价值。

1.1.4 景观美学效益估算

景观美学效益包括绿化、美化路容促进身心健康和产生快感及改进公路安全性等方面获得的效益。参照日本对植被景观美学效益的取值,考虑到我国的公路建设发展水平低于日本,取生态效益的15%为景观美学效益^[3]。

1.2 费用

(1)建设费用。也就是不同防护工程的基本建设费用。对于已经建成的工程,可以根据工程决算数据确定造价,而

表2 常见的边坡防护形式参考单价

防护类型	护面墙	浆砌片石护坡	挂网喷砼	客土喷播	喷混植草
防护厚度/m	0.5~1.5	0.3	0.08	0.08~0.12	0.06~0.12
参考单价	180~220 元·m ⁻³	180~220 元·m ⁻³	100~130 元·m ⁻²	65~80 元·m ⁻²	80~100 元·m ⁻²

2 算例

某山区高速公路工程,全长40 km,原设计路堑段采用浆砌片石防护,面积共约 1.92 hm^2 。考虑到环保和景观需要,后全部改为挂网后客土喷播防护。客土喷播选用结缕草、狗牙根、紫穗槐等混合草灌种子。这些植物适应性好,公路正常运营后维护费用低。

原工程防护(浆砌片石护坡)的生态效益几乎为零。根据前面的分析,客土喷播防护的年生态指标分别为 O_2 释放252.92 t、吸收 CO_2 347.77 t、涵养水源710.4 t、滞尘0.23 t、吸收 SO_2 34.56 kg。两种防护形式的费用效益对比见表3。

表3 费用效益对比表 万元

费用、效益	浆砌片石护坡	挂网+客土喷播	备注
建设费用	115.2	211.2	生态护坡建设费取110元/m ²
维护费用	0	211.2	生态护坡维护费取建设费用100%
O_2 释放	0	202.34	400 元/t
CO_2 吸收	0	217.84	313.19 元/t
涵养水源	0	0.28	0.2 元/t
滞尘	0	0.26	560 元/t
吸收 SO_2	0	0.04	562.45 元/t
景观美学效益	0	63.11	取生态效益的15%
效益-费用	-115.2	61.47	

注:效益费用分析期20 a,不计生态效益的折现率。

由表3可见,尽管生态护坡的建设费用大于传统防护形式的建设费用,并且生态护坡的维护费用取建设费用的100%(这相当于重建一次),但结果是生态护坡的效益为正值,达到61.47万元,而传统防护形式的效益为负值,为-115.2万元。尽管在计算环节数据选取不够准确,但是,如此大的差距也足以说明了生态防护的优越性。

3 结 语

(1)对生态护坡的效益进行量化,使得边坡防护方案的对比更加全面。虽然生态护坡所起的作用就大的环境来说

对于设计阶段的防护工程,可以针对不同的设计阶段,根据公路工程的估算定额、概算定额、预算定额等确定工程造价。对于建设费用的计算,无论是计算方法还是计算程序已经被广大技术人员所熟知。通过调查,常见的边坡防护措施的参考费用见表2。

(2)维护费用。维护费用的计算比较困难。一是目前缺乏维护费用的资料积累,二是目前尚没有公路养护工程的定额。所以在设计方法比选时,对于维护费用的计算,可根据经验,通过在建设费用基数上考虑一定富裕系数来处理。

微乎其微,但是对改善局部小环境还有一定作用。表1中的量化数值并不具有普遍代表性,仅供分析时参考,更精确、更全面的测定还有待进一步开展,大量的数据还需要收集。

(2)该文考虑了生态护坡固定 CO_2 、释放 O_2 、减少污染物、滞尘、景观提升等5方面的生态和景观服务功能,并利用了经济学的基本原理进行了货币化。其中,固定 CO_2 效益的货币化方法为碳税法,释放 O_2 效益根据生产成本法,涵养水源效益采用替代工程法,减少污染物和滞尘效益采用市场价值法。

(3)生态护坡的效益取决于绿化面积及植被生态功能。提高公路生态护坡效果的途径可以从3方面入手。一是增加生态护坡面积,二是优选植被,发挥不同植被的生态功能优势,三是利用乡土植物,减少建设和养护成本。

(4)将环境效益量化的分析研究不多,有些参数的确定还有待做更深一步的调查研究和完善。在进行效益计算时,还有一部分,如生物多样性、蒸腾吸热、减低噪声、吸收氮氧化物等没有采用货币形式进行计算。因此,本文致力于建立一种评价方法,所述的核算研究具有一定的历史局限性,还不够完整。

参考文献:

- [1] 周德培,张俊云. 植被护坡工程技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [3] 姜德义,任海霞. 高等级公路路域生态恢复工程效益分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 140-142.
- [4] 陈芳,周志翔,肖荣波,等. 城市工业区植物生态服务功能的计量评价[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2229-2236.
- [5] 徐俏,何孟常. 广州市生态系统服务功能价值评估[J]. 北京师范大学学报:自然科学版, 2003, 39(2): 268-272.
- [6] 《中国生物多样性国情研究报告》编写组. 中国生物多样性国情研究报告[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1998.