

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.06.026

城市道路生态损失补偿理论及其应用

李洁 沈毅 董博昶

(交通运输部公路科学研究院, 北京 100088)

摘要: 在借鉴前人工作的基础上,提出应用费用效益分析方法(CBAM)对城市道路生态损失补偿的货币化进行计算。从城市道路带来的汽车尾气、道路占地、路面垃圾、产生的路面油污、交通噪声等直接生态损失方面入手,建立了城市道路生态损失补偿计算公式,用以计算以上5个方面生态损失的补偿价值。以北京市为例,估算出2009年北京市城市道路的生态损失补偿价值,并对城市道路生态损失补偿货币化的应用和减少城市道路生态损失的相关途径进行了探讨,以期城市规划和管理制定相关政策提供可参考的依据。

关键词: 环境工程; 补偿价值; 费用效益分析; 城市道路; 生态损失; 货币化

中图分类号: X822.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2013)06-0148-05

Compensation Theory for Ecological Loss of Urban Road and Its Application

LI Jie, SHEN Yi, DONG Bo-chang

(Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract: Based on other scholars' studies, a cost and benefit analytical method (CBAM) is applied to calculate the compensation monetization value of ecological loss of urban roads. Through analyzing the direct ecological loss of urban road such as automobile exhaust, road land use, road garbage, road oil, and traffic noise occurred on urban road, a formula for calculating the value of compensation of ecological loss of urban road is put forward to evaluate the compensation values of abovementioned 5 aspects. The compensation value and monetization methods of ecological loss of Beijing's urban road in 2009 are estimated, and the applications of compensative monetization and the reduction ways about the ecological loss of urban road are discussed. By this way, it hopes that it could offer a reference for policy making for urban planning and management.

Key words: environmental engineering; compensation value; cost and benefit analysis (CBA); urban road; ecological loss; monetization

0 引言

2012年8月国家统计局发布报告显示,十六大以来我国城市化水平进一步提高,2011年城镇化率达51.27%。城市的迅猛扩张和城市道路的延伸,正成为中国城市化进程的一个突出特征。与此同时,城市作为一个脆弱的生态系统却面临着一个矛盾,那就是经济迅猛发展带来的交通便利、人口增长制约着生态环境的健康持续发展。这就要求对城市道

路带来的生态损失进行补偿,使其生态功能以另外的形式表现出来,以保证城市的可持续发展。

1 城市道路生态损失补偿机制及计算

1.1 原理

城市道路发展会对区域环境造成影响,但由于环境本身的复杂特性,这些影响通常无法通过市场交易体现。所以为把环境纳入市场体系的运行框架内,必须对产生的环境影响进行货币化评估,使环

收稿日期: 2012-11-02

作者简介: 李洁(1980-),女,北京人,硕士,高级工程师。(jie.li@rioh.cn)

境资源的稀缺性能够通过其价格反映出来。因此需要对环境费用效益进行分析。

1.1.1 相关概念

根据 Kaldor-Hicks 潜在补偿原理^[1],要求总收益大于总损失。故而可以利用损害(费用)与效益分析方法使城市道路生态损失的补偿能用货币来衡量。即可用环境损害费用将城市道路的生态损失补偿价值进行货币化。国内外已有许多学者对该类方法进行了探讨,利用恢复工程费用估算法、生态环境破坏经济损失估算法、市场价值法、机会成本法、影子工程法、意愿调查价值评估法等对资源的环境效益或污染物造成的环境损失进行了估算^[2-6]。

公路项目费用可划分为生产费用、环境保护费用和环境危害费用3大类,其效益可分为经济效益、环境改善效益和社会综合效益3大类。生产费用 and 环境保护费用在工程投资中体现,环境危害费用由直接损失、间接损失和享乐损失组成,一般可通过计算各种危害造成的间接损失获得其费用。

对城市道路生态损失进行估算时,可采用实际影响的市场估值法(MVPE)和意愿调查价值评估法(CVM)这2种方法来衡量。其中MVPE法偏向经济因素,CVM法反映的是主观意愿,2种方法进行结合,期望得出可供规划和决策部门提供结论。

1.1.2 城市道路的生态损失

城市道路带来的生态损失从生态环境要素角度包括生态影响及环境污染2部分。其中生态影响包括生态破坏、道路侵蚀、景观影响等;环境污染包括汽车尾气、交通噪声、路面油污、占地、路面垃圾等。在城市生态系统中,环境污染造成的大气环境质量下降、居民身体健康受损、路面清洗费用增加、污染土壤和水体、绿地面积减少以及劳动量、用水量增加,对城市居民的影响更加直接。

1.2 城市道路生态补偿的货币化

本文从城市道路带来的直接生态损失入手,对城市道路生态补偿进行货币化分析。城市道路生态补偿价值 V 可由下式得出。

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5, \quad (1)$$

式中, $V_1 \sim V_5$ 分别表示汽车尾气、道路占地、路面垃圾、路面油污、交通噪声等直接生态损失的补偿价值。根据费用效益分析法对以上5个方面分别计算补偿价值。

1.2.1 汽车尾气

汽车尾气排放的主要污染物是 NO_2 、CO和 PM_{10} 。

对大中城市来说,由于机动车数量的急剧增加,造成这些地区大气中 NO_x 浓度显著增加,尤其在交通路口繁忙地带, NO_x 的污染尤其严重^[7]。 NO_x 包括 NO 、 NO_2 ,以 NO_2 健康危害较大,是 NO_x 中最具毒性的污染物,其主要作用于深部呼吸道、细支气管和肺泡,也是1种可疑的致癌物质^[2,8]。大气污染物对健康的不利影响可用心脑血管患病率和肺功能的改变来衡量^[9-10]。

本次以 NO_2 为例,将汽车尾气带来的生态损失货币化。采用MVPE中的剂量响应法(dose response)和工资损失法(COI)对城市道路汽车尾气的补偿价值进行估算。交通量的增加导致城市大气中 NO_2 含量的相对增加,而 NO_2 含量的增加又会使得城市居民健康受损,这种情况可以转换成货币损失量。于是便可在在此基础上建立大气中 NO_2 含量的变化量与需为此支付费用的关系,从而达到汽车尾气补偿货币化的目的。汽车尾气的补偿价值为:

$$V_1 = V(n, x, p, q; N), \quad (2)$$

假定区域大气中 NO_2 含量增加 m 时将造成由心脑血管疾病引发的工作日损失增加 x ,共有 n 人因此而住院(设均为工作人口)。且人均工资为 p ,人均住院费用为 q (包括护理费用和医疗费用)。所以可得出区域大气中 NO_2 含量增加 m 时所造成的经济损失为: $n \times x \times (p + q)$ 。因为增加 b 辆机动车量可使区域大气中 NO_2 含量增加 m ,则可得出人体健康受损的损失费用函数为:

$$V_1 = \frac{n \times x \times (p + q)}{b} \times N, \quad (3)$$

式中 N 为增加的机动车量。其中 m 与 x 的关系可以由剂量响应函数得出。如果研究区域没有相应的剂量响应函数关系,则可以借鉴其他类型较为相似的地区或城市的函数关系进行修正得出。 n 、 p 、 q 的值可以由统计年鉴得出, b 与 m 的关系可以根据以往高速公路对汽车尾气监测的结果得出。

1.2.2 道路占地

随着城市规模的扩大,城市规划范围也随之扩张,原本的绿地部分转化为城市道路用地和城市建设用地。城市道路占地导致城市绿地面积下降均可由大气中 SO_2 和TSP浓度增加所引起的经济损失进行货币化来获得,其补偿价值包括人体健康受损引起的经济损失量、居民家庭清洗费用的增加以及建筑物表面材料受损引起的经济损失量等3个方面^[11-12]。其中与人体健康受损有关的变量为 SO_2 和TSP浓度增加造成呼吸道疾病引发的工作日损

失 x ,住院人口 n ,人均工资 p 和住院费用 q ;与家庭清洗费用有关的变量为洗衣费用 g 和暴露时间 t ;与建筑物表面材料受损有关的变量为工业设备投资 P 。城市道路占地的补偿价值为:

$$V_2 = V(n, x, p, q, b, t, g, P; A), \quad (4)$$

式中 A 为减少的绿地面积。其中城市道路占地面积增加量与城市绿地减少量的关系可由城市中不同年份各种占地类型面积的变化情况得出。

1.2.3 路面垃圾

城市道路的路面垃圾主要为生活垃圾。垃圾量除与营运乘客数量有关外,还与乘客所处的经济水平、消费方式、地域差别、乘客的文明程度和职业特点有关。城市道路路面垃圾的污染损失可以用环卫工人劳动量增加引起的经济损失进行货币化获得。路面垃圾的补偿价值为:

$$V_3 = V(x, p), \quad (5)$$

假定区域中路面生活垃圾增加 m 时,将使得环卫工人工作日增加 x ,其人均工资为 p 。可得出路面垃圾增加的损失费用函数为:

$$V_3 = x \times p, \quad (6)$$

式中 m 与 x 的关系可以由剂量响应函数或以往高速公路经验结果修正得出; p 的值可以由统计年鉴得出。

1.2.4 路面油污

运行的机动车辆是路面径流污染的重要污染源,其排放的污染物包括轮胎颗粒、筑路材料颗粒、燃料燃烧排放物、发动机油料和所运送物资的泄漏物等,这些物质晴天累积于路面,雨天即被径流冲刷进入水体和土壤。国外研究表明^[13-14]:受纳水体中金属含量的35%~75%来自于公路路面径流,公路路面径流中PAHS的含量是未受污染的河水或湖泊水的50~60倍。国内学者研究表明^[15-16]:土壤中重金属潜在生态危害地带自公路起向其两侧扩散范围约为150m,公路旁土壤中重金属以Cd、Pb污染为主,交通污染对城市土壤理化性质以及植物重金属、氮、磷有累积影响。

城市道路路面油污损失可由路面冲洗用水量增加引起的经济损失进行货币化获得。路面油污的补偿价值为:

$$V_4 = V(x, p, f, k; N), \quad (7)$$

假定路面油污增加 m 时将使得环卫工人增加工作日 x 。环卫工人人数为 c ,人均工资为 p ,冲洗这些油污需要的水量为 k ,水费为 f 。可以得出处理路面油污的损失费用函数为:

$$V_4 = c \times x \times p + k \times f, \quad (8)$$

式中 m 与 x 、 m 与 k 的关系可以由剂量响应函数或以往高速公路监测结果修正得出; c 、 p 、 f 的值可以由统计年鉴得出。

1.2.5 交通噪声

车辆在运行过程中受到内燃机和机械传动机构的影响以及来自路面的冲击,多会产生振动和噪声。交通噪声与道路纵坡和交通量的大小有直接关系。当交通量小于1000 veh/h时,噪声与交通量近似呈现正比的关系。因机动车行驶产生的噪声污染,是非稳定的、长期的,其危害也是较大的。交通噪声干扰人们的正常生活和休息,降低学习工作效率,严重时甚至影响人类的身体健康。另外交通噪声还会影响到公路沿线的经济发展。有资料表明^[17]:交通噪声每升高1 dB,土地的价格就会下降0.08%~1.26%,平均0.9%左右。

交通噪声的损失可通过CVM法进行估算。具体方法是对沿线居民进行询问,在问卷调查的基础上可得出沿线居民对忍受交通噪声增加带来的损失的受偿意愿(willingness to accept, WTA)或者得出居民愿意为减少交通量增加采取绕行、加装隔声窗等措施而支付的费用的支付意愿(willingness to pay, WTP),可以作为交通噪声的补偿价值。

2 北京市城市道路生态损失补偿分析

以北京市为代表的大型城市,高速经济的增长伴随着都市的迅速扩张,城市化逐年推进,城市道路等基础设施发展迅猛^[18]。下面以2009年为例,计算北京市城市道路的货币补偿。

2.1 北京市城市道路带来的生态损失

北京市2009年共有城市人口 1.755×10^4 人,其中职工总人数为 560.4×10^4 人,工资总额为 $3.227.2 \times 10^8$ 元;其他服务业从业人口为44719人,年人均工资为23906元;市区总面积 16410.54 km^2 ,公路里程20755 km,市区家庭总户数为 658.43×10^4 户。从而2009年北京市工作人口日人均工资为218.13元,其他服务业工作人口日人均工资为91.60元。2009年北京市生活垃圾清运量为 $656.1 \times 10^4 \text{ t}$,城市绿地面积 $18070 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。1978、1996年和2009年的GDP指数分别为100、544.3和2240.4。2008年人均心脑血管疾病^[19]的住院费用(包括医疗费用和护理费用)为321元,患者平均住院天数为14.3 d。2009年医疗和药品物价指数为100.6,所以2009年北京市心脑血管疾病的日人均住院费用为22.58元。

据调查^[20],城市大气中日均浓度每增加 $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的 NO_2 会使心脑血管发生危险的相对危险度增加0.2。假设北京市2009年有80%的人处于污染危险地区,则可以认为北京市2009年患心脑血管疾病的人次为 $1\,404\times 10^4$ 人(次)。从而,2009年北京市大气中每增加 $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的 NO_2 时会导致患心脑血管疾病人数增加 281×10^4 人(次)。根据北京市面积和大气污染物扩散高度,可以计算出大气中每增加1t的 NO_2 时会导致患心脑血管疾病人数增加171.24人(次)。根据监测,高速行驶时当车流量小于 $3\times 10^4\text{ veh/d}$ 时, NO_2 的日均排放浓度小于 0.12 mg/m^3 ;而低速行驶时, NO_2 的排放浓度约为高速行驶时排放浓度的12.5%。但 NO_2 小时浓度监测值与车流量及车速的关系则无相关规律可循,因此本文按照 NO_2 日均浓度作为基础估算损失值。假定车流量为 $3\times 10^4\text{ veh/d}$ 且高速行驶时,公路沿线 NO_2 浓度等于 0.12 mg/m^3 ,则可推算出车流量为 $1\times 10^4\text{ veh/d}$ 且低速行驶时(即:城市道路)公路沿线 NO_2 的浓度。再根据城市道路长度和大气污染物扩散高度及范围,可以得到车流量与 NO_2 排放量的关系为大气中每增加1t的 NO_2 时需要增加24.09 veh。所以得出每增加 $1\times 10^4\text{ veh}$ 会增加城市中患心脑血管疾病的人数约为71 084人次,假设这些人次均为工作人口且全部住院。

北京市每减少 1 hm^2 的绿地带来的生态损失为 $9\,866.67\times 10^4$ 元^[11]。中国2001年城市建设统计公报要求城市绿地每年以8%的速度增长。假设城市道路发展占用土地使得城市绿地面积减缓增长0.1%。

据以往高速公路服务设施人员生活垃圾产生量统计,每人每天的垃圾产生量为1 kg。可以得出城市生活垃圾的产生量为 $640.6\times 10^4\text{ t}$ 。假设这一值与2009年北京市城市生活垃圾产生总量的差值为路面生活垃圾量,则环卫工人增加的工作天数为 $31\times 10^4\text{ d}$ 。

据以往高速公路监测可知,冲洗1 h可以完成路面油污的清洗工作,假设每周清洗路面1次,则每个环卫工人1 a多工作2.17 d,每年因此而增加的用水量为 $431.70\times 10^4\text{ t}$ 。

交通噪声影响区域为道路两侧各200 m范围。假设城市道路两侧受交通噪声影响的人口占城市道路两侧受影响区域总人口的84%^[21]。根据文献[3],1996年交通噪声的支付意愿为15.06元/月·户。以此数据为类比,按照1996~2009年北京市GDP指数

计算2009年北京市交通噪声的支付意愿为61.99元/月·户。

北京市预计每年增加 $24\times 10^4\text{ veh}$,根据式(1)~(8)可以得出2009年北京市城市道路带来的生态损失值如表1所示。

表1 北京市城市道路带来的生态损失值(单位: $\times 10^8$ 元)

Tab. 1 Ecological loss of Beijing urban roads
(unit: $\times 10^8$ yuan)

年份	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V
2009	58.73	17.83	0.28	0.26	20.81	97.91

2.2 结果分析

对于城市生态系统而言,城市道路的扩张和城市进程的加快必然会对区域生态环境带来影响,进行城市道路生态损失补偿的货币化是不可避免的。通过本文的计算,把城市道路生态损失的补偿进行货币化是可能的。

以上计算只考虑了直接损失的补偿费用,未计入生态破坏等间接损失。但其结果仍可作为城市管理者制定政策的参考依据。

3 结论

通过加强管理可以减少或杜绝路面垃圾的产生,通过淘汰不符合排放要求的车辆可降低路面油污的产生量,以上措施的采取以及优化路线可以减缓交通噪声带来的不利影响。在城市中,当用于处理因交通量增加和占地导致绿地减少而导致大气中产生过多的污染物的费用远小于其计算得出的城市道路生态补偿费用时,管理者就可以选择投入资金进行大气污染物的治理,使得交通量的增加量和占地导致植被面积的减少量在一定范围内时,通过处理这些大气污染物而保障居民健康、减少建筑物损失和降低清洗强度等。实际应用时,大气污染物的治理费用以及路面垃圾、路面油污的管理成本很容易得出,通过计算又可得出城市道路生态损失的补偿费用。二者相比即可简单明了得出结论,为管理者制定相关政策提供依据。

参考文献:

References:

- [1] 王金南. 环境经济学: 理论·方法·政策[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
WANG Jin-nan. Environmental Economics: Theory, Method and Policy [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1994.

- [2] 陈秉衡,洪传洁,朱惠刚. 上海城区大气 NO_x 污染对健康影响的定量评价[J]. 上海环境科学, 2002, 21(3): 129-131, 192.
CHEN Bing-heng, HONG Chuan-jie, ZHU Hui-gang. Quantitative Assessment of Impact of Ambient Air Nitrogen Oxides on Human Health in Shanghai [J]. Shanghai Environmental Sciences, 2002, 21(3): 129-131, 192.
- [3] 刘凤喜. 大连市城市噪声污染损失货币化研究[J]. 辽宁城乡环境科技, 1997, 19(1): 27-28, 80.
LIU Feng-xi. Dalian City Noise Pollution Loss Monetization [J]. Liaoning Urban and Rural Environmental Science & Technology, 1997, 19(1): 27-28, 80.
- [4] 陈婷,陆雍森. 交通噪声污染经济损失估算方法比较研究[J]. 交通环保, 2004, 25(5): 15-17, 28.
CHEN Ting, LU Yong-sen. Comparative Study of the Methods to Evaluate the Economic Costs of Traffic Noise Pollution [J]. Environmental Protection in Transportation, 2004, 25(5): 15-17, 28.
- [5] 周安国,陈德全,吕菲菲. 浙江省大气污染造成的经济损失初步估算[J]. 环境污染与防治, 1998, 20(6): 36-38.
ZHOU An-guo, CHEN De-quan, LÜ Fei-fei. Preliminary Estimation of Economic Losses Caused by Air Pollution in Zhejiang Province [J]. Environmental Pollution & Control, 1998, 20(6): 36-38.
- [6] BRIZIO E, GENON G. Integrated Pollution Prevention and Control: Choosing the Best Available Technique by Using a Cost-benefit Approach [J]. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2006, 86: 461-471.
- [7] 阚海东,陈秉衡. 我国部分城市大气污染对健康影响的研究 10 年回顾[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(1): 59-61.
KAN Hai-dong, CHEN Bing-heng. 10-Year Review of Effect of Partial Chinese Urban Air Pollution on Health [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002, 36(1): 59-61.
- [8] 张建民,李国彦. 汽车尾气排放对人体健康及环境的影响[J]. 天津科技, 2007, 4: 92-93.
ZHANG Jian-min, LI Guo-yan. Effect of Automobile Exhaust Emissions on Human Health and Environment [J]. Tianjin Science & Technology, 2007, 4: 92-93.
- [9] WHO. Environmental Health Criteria 188: Nitrogen Dioxides [S], 1998.
- [10] 陈秉衡,张蕴晖,阚海东. WHO 最新大气质量基准: 严峻的挑战[J]. 环境与健康杂志, 2007, 24(4): 187-188.
CHEN Bing-heng, ZHANG Yun-hui, KAN Hai-dong. Latest WHO Air Quality Baseline: Tough Challenges [J]. Journal of Environment and Health, 2007, 24(4): 187-188.
- [11] 王岩,李洁,王红瑞,等. 城市绿地补偿价值计算方法及其应用[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2005, 41(6): 641-645.
WANG Yan, LI Jie, WANG Hong-rui, et al. Calculation on Compensation Value of Urban Green Lands For [J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science Edition, 2005, 41(6): 641-645.
- [12] 丁晓雯,王红瑞,李洁,等. 城市绿地补偿理论及其在上海市的应用[J]. 城市环境与城市生态, 2006, 19(3): 4-6, 11.
DING Xiao-wen, WANG Hong-rui, LI Jie, et al. Compensation Theory for Urban Green Land and Its Application in Shanghai [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2006, 19(3): 4-6, 11.
- [13] ELLIS J B, REVITT D M, HARROP D O, et al. The Contribution of Highway Surfaces to Urban Storm Water Sediments and Metal Loadings [J]. Science of the Total Environment, 1987, 59: 339-349.
- [14] STOTZ G. Investigations of the Properties of the Surface Water Run-off from Federal Highways in the FRG [J]. Science of the Total Environment, 1987, 59: 329-337.
- [15] 康玲芬,李锋瑞,化伟,等. 不同土地利用方式对城市土壤质量的影响[J]. 生态科学, 2006, 25(1): 59-63.
KANG Ling-fen, LI Feng-rui, HUA Wei, et al. The Effects of Different Land-use Types on Quality of Urban Soils [J]. Ecologic Science, 2006, 25(1): 59-63.
- [16] 兰天水,林健,陈建安,等. 公路旁土壤中重金属污染分布及潜在生态危害的研究[J]. 海峡预防医学杂志, 2003, 9(1): 4-6.
LAN Tian-shui, LIN Jian, CHEN Jian-an, et al. Study on the Heavy Metal Contamination in Roadside Soil and the Ecological Hazard [J]. Strait Journal of Preventive Medicine, 2003, 9(1): 4-6.
- [17] 陈魁. 公路交通公害与控制对策初探[J]. 内蒙古科技与经济, 2006, 4(4): 70-71.
CHEN Kui. Road Traffic Nuisance and Control Countermeasures [J]. Inner Mongolia Science & Technology and Economy, 2006, 4(4): 70-71.
- [18] 朱凤凯,张凤荣,赵华甫,等. 都市郊区土地开发整理项目的农户土地利用机会成本分析[J]. 资源科学, 2012, 34(7): 1340-1346.

(下转第 158 页)

- Conservation, 2000, 7 (3): 65-66.
- [3] 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): 35-37.
XU Wen-nian, WANG Tie-qiao, YE Jian-jun. Application Study of Greening Technology on Rock Slope Protection [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2002, 33 (7): 35-37.
- [4] 肖衡林, 王钊, 张晋锋. 三维土工网垫设计指标的研究 [J]. 岩土力学, 2004, 25 (11): 1800-1804.
XIAO Heng-lin, WANG Zhao, ZHANG Jin-feng. Study on the Design Indexes of Three Dimensional Geomat [J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25 (11): 1800-1804.
- [5] 李天斌, 徐华, 周雄华, 等. 高寒高海拔地区岩质陡边坡 JYC 生态基材护坡技术 [J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27 (11): 2332-2339.
LI Tian-bin, XU Hua, ZHOU Xiong-hua, et al. Protection Techniques of Steep Rock Slope with JYC Ecological Base Materials in High-cold and High-altitude Area [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27 (11): 2332-2339.
- [6] 廖红建, 李涛, 彭建兵. 高陡边坡滑坡体黄土的强度特性研究 [J]. 岩土力学, 2007, 32 (7): 1939-1944.
LIAO Hong-jian, LI Tao, PENG Jian-bing. Study of Strength Characteristics of High and Steep Slope Landslide Mass Loess [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 32 (7): 3641-3647.
- [7] 伍谦. 高速公路边坡植草护坡的根固效应研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31 (11): 106-109.
WU Qian. Research on Reinforcement Mechanisms of Expressway Side Slope Protection with Greensward [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011, 31 (11): 106-109.
- [8] 肖本林, 罗寿龙, 邓友生, 等. 根系生态护坡的机理及试验研究 [J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2011, 38 (5): 19-23.
XIAO Ben-lin, LUO Shou-long, DENG You-sheng, et al. Research on Mechanism and Test of Roots for Ecological Protection Slope [J]. Journal of Hunan University: Natural Science Edition, 2011, 38 (5): 19-23.
- [9] 江源, 陶岩, 顾卫, 等. 高速公路边坡植被恢复效果研究 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (7): 147-152.
JIANG Yuan, TAO Yan, GU Wei, et al. Assessment on Vegetation Restoration by Soil Spray Seeding Technique on Road Verge Slopes of Expressway [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (7): 147-152.
- [10] 牛丽丽, 张学培, 曹奇光. 我国西北干旱区生物多样性研究 [J]. 水土保持研究, 2007, 14 (1): 223-225.
NIU Li-li, ZHANG Xue-pei, CAO Qi-guang. Biodiversity in Arid Regions of Northwest China [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14 (1): 223-225.
- [11] 于国强, 李占斌, 裴亮, 等. 不同植被类型下坡面径流侵蚀产沙差异性 [J]. 水土保持学报, 2012, 21 (1): 1-11.
YU Guo-qiang, LI Zhan-bin, PEI Liang, et al. Difference of Runoff-erosion-sediment Yield under Different Vegetation Type [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 21 (1): 1-11.
- [12] 杨晓华, 晏长根, 谢永利. 黄土路堤土工格室护坡冲刷模型试验研究 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (9): 21-24.
YANG Xiao-hua, YAN Chang-gen, XIE Yong-li. Research of Erosion Contrast Model Tests for Slope Protecting by Geocell of Loess Embankment [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21 (9): 21-24.
- (上接第152页)
- ZHU Feng-kai, ZHANG Feng-rong, ZHAO Hua-fu, et al. The Impact of Farmers' Opportunity Cost on Land Consolidation Project in Suburban Areas [J]. Resources Science, 2012, 34 (7): 1340-1346.
- [19] 祖平. 上海市高血压疾病经济负担及死亡损失研究 [D]. 上海: 复旦大学, 2010.
ZU Ping. Study on Economic Burden and Life Lost of Hypertension in Shanghai [D]. Shanghai: Fudan University, 2010.
- [20] 任艳军, 李秀央, 金明娟, 等. 大气颗粒物污染与心血管病死亡的病例交叉研究 [J]. 中国环境科学, 2007, 27 (5): 657-660.
REN Yan-jun, LI Xiu-yang, JIN Ming-juan, et al. The Case-crossover Studies of Air Particulate Matter Pollution and Cardiovascular Disease Death [J]. China Environmental Science, 2007, 27 (5): 657-660.
- [21] 巨天珍, 温飞, 孙宏发. 兰州市道路交通噪声污染与人体健康的分析 [J]. 中国安全科学学报, 2005, 15 (3): 69-73.
JU Tian-zhen, WEN Fei, SUN Hong-fa. Health Survey of Traffic Noise in Lanzhou City [J]. China Safety Science Journal, 2005, 15 (3): 69-73.