

基于生态足迹模型的公路工程项目生态评价 ——以国道109线十七沟至清水河段公路为例^{*}

薛建春^{1,2}, 白中科^{1,3}

(1. 中国地质大学 土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 内蒙古科技大学 经济管理学院, 包头 014010; 3. 国土资源部 土地整治重点实验室 北京 100035)

摘要:生态足迹是一种度量人类对自然利用程度的新综合指标,在阐述生态足迹、生态承载力概念和计算模型的基础上,运用生态足迹分析法,测算国道109线十七沟至清水河段公路工程建设前后的生态足迹和生态承载力,结果表明:工程建设前存在生态盈余0.242 702 hm²/人,建设后生态盈余为0.240 371 hm²/人。建设项目对地区生态压力影响较小;而且各项占用土地均在土地利用规划范围内,从生态学角度证明该工程项目具有可行性。

关键词:生态足迹;生态承载力;公路工程;生态评价

中图分类号: F301.24; X171

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)04-0127-04

The Ecological Evaluation Based on Ecological Footprint Model —A Case Study of 109 National Highway from 17 Gou to Qingshuihe

XUE Jian-chun^{1,2}, BAI Zhong-ke^{1,3}

(1. Department of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia 014010, China; 3. Key

Laboratory of Land Regulation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: Ecological footprint is an integrated index of measuring the impact of Human's consumption on ecosystem. Based on the ecological footprint theory and calculation method, the ecological footprint and bio-capacity of highroad were measured by using the ecological footprint analytical method in 109 national highway from 17 Gou to Qingshuihe in this paper. The result showed that there is ecological surplus 0.242 702 hm² per capita before highway building and 0.240 371 hm² per capita after highway building. The ecological press index is small. And all kinds of impropriated land are in the range of land use programming. The highway projects were to be proven feasible in terms of ecology.

Key words: ecological footprint; bio-capacity; highroad project; ecological estimate

公路建设是国民经济发展的基础产业,在经济发展和社会发展中具有先行效应,是国民经济发展的基本条件^[1]。公路工程对资源的需求量大,依赖性强,对生态环境的影响较为直接,不仅改变了所经区域的环境特征而且大量占用土地、破坏植被、影响自然地貌以及生物的多样性等。因此,需要预测和评价公路工程项目对生态环境质量的影响,为工程规划中的环境总体容量分析和环境评价服务^[2]。

生态足迹模型作为一种衡量自然资源可持续利用的生物物理定量评价方法,成为生态经济学的研

究焦点和前沿。近几年,生态足迹理论也已经在国家、区域、旅游业、制造业等不同的地域和领域得到广泛的应用。产业生态足迹研究日渐成熟,将生态足迹应用于工程建设领域不仅可行,而且有利于保证工程建设的生态适宜性。

1 研究方法

生态足迹模型是由Ree和Wackernagel等于1996年提出并完善的。这种模型是一种定量分析研究的新方法也是一种度量可持续发展程度的指

^{*} 收稿日期:2008-12-18

基金项目:中国地质大学(北京)科技基金(200438)

作者简介:薛建春(1978-),女,博士研究生,主要从事土地资源管理、土地利用规划环境影响评价研究。E-mail: xue.jianchun@yahoo.com.cn

通信作者:白中科(1963-),博士,教授,博士生导师,从事土地整理复垦与生态修复、环境影响评价研究。E-mail: baizk@cugb.edu.cn

标。目前,生态足迹研究已经在全球、国家、地区等不同尺度上展开^[3];而且随着研究的不断深入,生态足迹方法还被应用于旅游业^[4]、区域贸易^[5]、水资源^[6]、交通运输^[7]等众多领域的可持续发展度量中。将生态足迹法应用于项目生态环境影响评价中,可以定量地反映出项目运行中的资源消费和污染排放对环境所造成的影响^[8]。

1.1 生态足迹

生态足迹是指能够提供某个地区的人口所消耗的所有资源和吸纳这些人口产生的所有废弃物所需要的生物生产总面积(包括陆地和水域);它是人口数与人均物质消费的一个函数,是一个动态变化的指标。因此,生态足迹的计算是基于两个基本假设的。其一,人类可以确定自身消费的绝大多数资源及其所产生的废弃物数量。其二,这些资源和废弃物流能转换成相应的生物生产土地面积^[9]。在生态足迹计算中,生物生产性土地主要划分为 6 种类型:耕地,生产各种粮食、蔬菜及经济作物的用地;林地,包括人工林和天然林,生产水果、菌类、茶叶及木材的用地;草地,发展畜牧业,生产各种禽、畜、肉、蛋的用地;建筑用地,人类修建住宅、道路、公共设施等用地;化石燃料用地,用于消纳化石燃料燃烧产生废物的用地;水域,提供各类水产品的用地。理论上各种土地类型在空间上是互斥的,加权(分别乘以均衡因子)后得到人类需要的生态生产性土地^[10]。生态足迹计算的一般公式可表示如式(1)。

$$EF = N \cdot ef = N \cdot r_j \cdot \sum_{i=1}^n (aa_i) = N \cdot r_j \cdot \sum_{i=1}^n (c_i / p_i) \quad (1)$$

式中: i ——消费项目类型; j ——生态生产性土地类型; r_j ——均衡因子; c_i ——第 i 种消费项目的人均年消费量($t/\text{人} \cdot a$); p_i ——生态生产性土地生产第 i 项消费项目的年平均生产力($t/\text{hm}^2 \cdot a$)。 aa_i ——人均第 i 种消费项目折算的生物生产面积($\text{hm}^2/\text{人}$); N ——人口数; ef ——人均生态足迹($\text{hm}^2/\text{人}$); EF ——总的生态足迹(hm^2)。

核算中主要计算生物资源的消费和能源资源的消费,同时在消费额中应该考虑贸易调整,以计算净消费额。因为不同的国家或地区其资源禀赋不同,不仅单位面积不同生物生产用地的生态生产能力不同,而且单位面积同类生物生产用地的生态生产力差异也很大。致使不同国家或地区同类生物生产面积类型的实际面积是不能进行直接比较的,需要对不同类型的面积进行标准化,即用不同类型的生物生产面积乘以本类型生物生产面积的均衡因子。使计算结果统一成具有相同生态生产力的面积。

1.2 生态承载力

生态承载力(即生态足迹供给)是地球生态系统所能提供的、满足人们生态生产活动需要的土地面积^[11]。生态承载力如果大于生态足迹,表明人类对自然的压力小于自然的承载能力,反之则出现生态赤字(Ecological Remainder)。也就是消耗大于地球提供的承载力;这有悖于可持续发展。生态承载力的计算公式如式(2)。

$$EC = N \cdot ec = N \cdot \sum_{j=1}^6 a_j \cdot r_j \cdot y_j \quad (2)$$

式中: j ——生物生产性土地类型; a_j ——人均生物生产性土地面积($\text{hm}^2/\text{人}$); r_j ——均衡因子; y_j ——产量因子。均衡因子是利用全球该类生态生产性土地的平均生态生产力除以全球所有各类生态生产性土地的平均生态生产力;产量因子是利用某国或地区某类土地平均生产力除以世界同类平均生产力^[12]。在进行生态承载力的计算时,按照《我们共同的未来》中建议,扣除 12% 的生物多样性保护面积^[13]。

2 生态足迹和生态承载力变化

通过对 2007 年清水河县统计局的详实数据和土地利用变更调查数据分析,计算项目建设前的生态足迹和生态承载力。其生物资源世界平均产量和全球平均能源足迹采用联合国粮农组织(FAO)1993 年的统计资料。

2.1 公路工程项目简介

公路段地处黄河中上游黄土丘陵区,沿途丘陵起伏,沟壑纵横,山岭连绵。属于干旱、半干旱大陆性季风气候,春季干旱多风,冬季寒冷干燥;年平均气温 $5.7 \sim 7.0$ 。年降水量 400 mm 左右,且主要集中在每年的 6 - 8 月。

国道 109 线十七沟至清水河段公路是新建一级公路,主线采用山岭重丘区一级公路标准,设计行车速度 60 km/h,路基宽度 23.00 m。全线新建大桥 2 座,中桥 1 座,小桥 4 座,涵洞 67 道。全长约 44.20 km,拟用地 181.423 8 hm^2 。其中主线占地 173.703 8 hm^2 ,服务区占地 7.720 0 hm^2 。按地类划分,耕地 55.218 9 hm^2 、林地 40.110 3 hm^2 、牧草地 51.560 1 hm^2 、其他农用地 1.634 9 hm^2 、住宅用地 0.756 5 hm^2 、交通用地 3.097 2 hm^2 、特殊用地 0.614 8 hm^2 、未利用土地 28.431 1 hm^2 。其中国有土地占 2.05%,集体土地 97.95%。

3.2 建设前的生态足迹和生态承载力

根据清水河县的自然资源和消费特点,确定 2007 年清水河县的生态足迹计算主要包括生物资

源消费和能源消费两类。其中生物资源消费包括粮食、经济作物、水果、蔬菜、动物产品、木材和水产品等,能源消费包括原煤、天然气、汽油、电力等。考虑清水河县的实际消费情况,计算中不考虑生物资源和能源消费的贸易调整。本文中的均衡因子采用重定义组织于 2000 年对国家生态足迹的核算;产量因子以中国平均值为准并考虑内蒙古的自然地理特

征,结合自然地理特征分析区域内的平均生产力,分别为:耕地、建筑用地为 1.49,林地 0.80,草地 1.25,水域 1,化石燃料用地为 0;其中草地的平均生产力主要以肉类和奶类的生产力为主;林地采用原木产量;水域采用水产品产量;因建筑用地大都占用生产力较高的耕地,所以采用耕地的产量因子。并按照式 2,计算清水河县的生态承载力(表 1)。

表 1 2007 年呼和浩特市清水河县生态足迹和生态承载力现状

人均生态足迹				人均生态承载力				
土地类型	人均面积/ hm ²	均衡因子	生态足迹 (hm ² /人)	土地类型	人均面积/ hm ²	产量因子	均衡因子	人均承载力 (hm ² /人)
耕地	0.26131	2.8	0.731668	耕地	0.31431	1.49	2.8	1.311301
林地	0.11843	1.1	0.130273	林地	0.07385	0.80	1.1	0.064988
草地	0.98039	0.5	0.490195	草地	0.92252	1.25	0.5	0.576575
建筑用地	0.00299	2.8	0.008372	建筑用地	0.031015	1.49	2.8	0.129394
水域	0.06567	0.2	0.013134	水域	0.00317	1.00	0.2	0.000634
化石燃料地	0.19691	1.1	0.216601	CO ₂ 吸收	0.00	0.00	0.00	0.000000
合计			1.590243	生物多样性保护面积				0.249947
				可利用生态承载力				1.832945

2.3 预测建设后的生态足迹和生态承载力

国道 109 线十七沟至清水河段公路段对清水河县消费生态足迹、污染生态足迹的影响主要表现为生态生产性土地利用类型的变化、污染消纳的增加、化石燃料消费增多、单位土地生产力下降等。其中生态生产性土地利用类型的变化和单位土地生产力下降对生态承载力产生影响;化石燃料消费增多和污染消纳的增加主要影响生态足迹。

按照国土资源部《工程项目建设用地指标汇编》中节约用地的目的,山重区一级公路路基标准宽度 22.50 m,计算项目建设用地控制指标最低值 5.967 0 hm²/km。全线长 44.20 km,总体控制指标为 263.741 4 hm²。说明该项目符合国家工程项目建设用地指标。

按照每万吨公里燃油单耗 0.089 7 t(均为柴油),得出公路运输总计耗柴油 110.515 5 t,柴油折算系数为 42.705 GJ/t,全球平均吸收能力为 93

GJ/hm²。则公路建成后化石能源地生态足迹增加了 50.748 hm²。人均增加 0.000 367 hm²。此外,由于该工程工期较短(1 a),所以预测建成后的生态足迹变化很小。各项生物资源和能源资源的消费量基本保持不变。表 2 预测了公路建成后的生态足迹和生态承载力。

2.4 建设前后生态足迹和生态承载力对比

由以上计算结果分析可知,清水河县 2006 年存在生态盈余,这主要是因为此地区近几年大力加强农业基础建设,实施旱作农业工程、十万寒羊引调富民工程、退耕还林、小流域综合治理等重点项目。使农牧业综合生产能力不断提升;工业从无到有,从小到大并形成地方优势产业。高速公路修建前生态足迹为人均 1.590 243 hm²,人均生态承载力 1.832 945 hm²(已扣除 12%的生物多样性保护面积^[14]),生态盈余为人均 0.242 702 hm²,而且主要以耕地为主(表 3)。

表 2 建成后生态足迹和生态承载力

人均生态足迹				人均生态承载力				
土地类型	人均面积/ hm ²	均衡因子	生态足迹 (hm ² /人)	土地类型	人均面积/ hm ²	产量因子	均衡因子	人均承载力 (hm ² /人)
耕地	0.26131	2.8	0.731668	耕地	0.31391	1.49	2.8	1.309632
林地	0.11843	1.1	0.130273	林地	0.07355	0.80	1.1	0.064724
草地	0.98039	0.5	0.490195	草地	0.92215	1.25	0.5	0.576343
建筑用地	0.00299	2.8	0.008372	建筑用地	0.03101	1.49	2.8	0.129373
水域	0.06567	0.2	0.013134	水域	0.00317	1.00	0.2	0.000634
化石燃料地	0.19728	1.1	0.217008	CO ₂ 吸收	0.00	0.00	0.00	0.000000
合计			1.590650	生物多样性保护面积				0.249685
				可利用生态承载力				1.831021

表 3 工程建设前后生态足迹和生态承载力对比

时段	人均生态承载力 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	人均生态足迹 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	人均生态盈余 ($\text{hm}^2/\text{人}$)
建设前	1.832945	1.590243	0.242702
建设后	1.831021	1.590650	0.240371
变化量	-0.001924	0.000407	0.002331

公路修建后预测人均生态足迹和生态承载力分别为 $1.590\ 650\ \text{hm}^2$ 和 $1.831\ 021\ \text{hm}^2$, 生态盈余为 $0.240\ 371\ \text{hm}^2$, 对比建设前生态盈余减少 $0.002\ 331\ \text{hm}^2$, 其中化石燃料用地人均生态足迹增加了 $0.000\ 407\ \text{hm}^2$; 人均生态承载力降低了 $0.002\ 186\ \text{hm}^2$ (未扣除 12% 生物多样性补偿), 耕地降低 $0.001\ 669\ \text{hm}^2$, 林地降低 $0.002\ 64\ \text{hm}^2$, 草地降低 $0.000\ 232\ \text{hm}^2$, 建筑用地降低 $0.000\ 021\ \text{hm}^2$ 。按照土地类型划分具体见图 1。这表明该工程占用了可耕地和林地、牧草地等, 同时增加了交通用地, 导致人均生态承载力下降。根据 2006 年度土地变更调查以及 2010 年土地规划指标进行分析, 工程结束后各项用地仍在 2010 年的土地利用总体规划目标指标内。因此, 工程建设占用耕地、林地和牧草地属于土地利用结构调整, 工程建设对生态环境压力较小。人均生态足迹和人均生态承载力变化差异不大; 工程建设从生态环境可持续发展角度讲具有可行性。

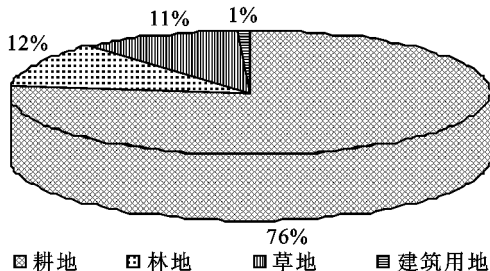


图 1 工程建成后人均生态承载力降低分布

3 结 语

利用生态足迹法对公路建设工程的生态环境影响进行分析, 并以国道 109 线十七沟至清水河段公路为例。计算工程建设前生态足迹以及生态承载力的状况, 并预测了建成后的生态足迹以及生态承载力。结果表明: 该建设项目对生态环境的影响较小, 从生态学的观点具有可行性。而且, 它的建成将促进公路两侧迅速形成经济带, 大大改善投资环境; 对加快当地的资源开发以及农副产品、现货物资的运输都有重要意义。

生态足迹法通过具体的生物物理量来描述一个

区域的经济发展对自然生态系统的需求和其生态承载力之间的差距, 能够直观的反映出人类的生活与生产活动给自然生态系统带来的威胁和压力。将生态足迹模型引入到公路建设工程项目的环境影响评价中, 探索从可持续发展的角度分析评估项目对区域生态承载力的影响程度。然而生态足迹法应用于建设项目环境评价上, 手段略显粗糙; 缺乏对区域人口消费水平和生活质量以及社会因素对土地生产力的考虑, 因此, 如果作为制定政策的依据应该结合其他评价方法综合考虑。

参考文献:

- [1] 毛洪强, 谢洪新. 建设安全舒适、资源节约、环境有好型高速公路[J]. 工程与建设, 2008, 22(2): 149-151.
- [2] 何如海, 叶依广. 基于模糊理论的城市交通生态环境综合评价模型研究[J]. 安徽农业大学学报, 2006, 33(3): 419-422.
- [3] 吴隆杰, 杨杰, 苏昕, 等. 近年来生态足迹研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(3): 3-8.
- [4] 章锦河, 张捷. 旅游生态足迹方法及黄山市实证分析[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 793-771.
- [5] Warren R K, Koenig A. Ecosystem appropriation by Hong Kong and its implications for sustainable development[J]. Ecological Economics, 2001, 39: 347-359.
- [6] 王新华, 徐中民, 龙爱华. 中国 2000 年水足迹的初步计算分析[J]. 生态经济学报, 2005, 3(2): 112-119.
- [7] Federici M, Ulgiati S, Verdesca D, et al. Efficiency and sustainability indicators for passenger and commodities transportation systems The case of Siena, Italy[J]. Ecological Indicators, 2003, 3: 155-169.
- [8] 邓瑞雪, 张建强, 李晓旭. 基于生态足迹法的高速公路生态环境影响定量评价[J]. 科技信息, 2008(20): 278-280.
- [9] Zhao Sheng, Li Zizhen, Li Wenlong. A modified method of ecological footprint calculation and its application[J]. Ecological Modeling, 2005, 185: 65-75.
- [10] 谢新源, 陈悠, 李振山. 国内外生态足迹研究进展[J]. 四川环境, 2008, 27(1): 66-72.
- [11] 陈志超, 王宇, 周玉秀. 基于生态足迹模型的河南省生态承载力分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1683-1684.
- [12] 杨开忠, 杨咏, 陈洁. 生态足迹分析理论与方法[J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 630-636.
- [13] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态足迹的概念及计算模型[J]. 生态经济, 2000(10): 8-10.
- [14] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29: 375-390.