

道路网络理论在景观破碎化效应研究中的运用 ——以浙江省公路网络为例

刘佳妮¹, 李伟强², 包志毅^{3,*}

(1. 湖州师范学院艺术学院, 湖州 313000; 2. 浙江省城乡规划设计研究院, 杭州 310007; 3. 浙江林学院园林学院, 杭州临安 311300)

摘要:随着道路的不断建设,道路网络对自然生态环境的影响效应日益显著,众多生态学家开始从道路网络与自然景观的空间位置入手,研究不同组织形式的道路网络对自然生态系统产生的不同影响,从而探讨生态最优化的道路网络组织模式。旨在研究浙江省的干线公路网络对自然生态环境造成的影响,从而探讨生态最优化的道路网络组织模式。总结了道路网络理论的最新研究进展,介绍了由 R. T. T. Forman 和 J. A. G. Jaeger 提出的两个道路网络影响模型;随后运用 Forman 教授的道路网络理论分析了浙江省干线公路网络对森林景观的破碎化影响,并运用公路影响阈值分析方法对破坏较为严重的森林景观斑块进行了更为深入的分析,结果表明:国道、省道网络侵占的森林面积较大,对森林生态服务功能的发挥有着较大的影响;高速公路网络则使得森林景观斑块严重降级和破碎,极大地影响着生物多样性的保护。若按照目前的公路规划,到 2020 年底,由国道、省道和高速公路共同形成的道路网络将对浙江省的森林景观系统造成严重破坏;最后,对浙江省公路网络的布局提出了 5 点调整建议。

关键词:道路网络; 道路生态学; 景观生态学; 浙江省; 森林景观

文章编号:1000-0933(2008)09-4352-11 中图分类号:Q149 文献标识码:A

Application of road network theory in studying ecological effects of landscape fragmentation: a case study with the road network of Zhejiang Province

LIU Jia-Ni¹, LI Wei-Qiang², BAO Zhi-Yi^{3,*}

1 College of Art, Huzhou Teachers College, Huzhou 313000, China

2 Zhejiang Urban and Rural Planning Design Institute, Hangzhou 310007, China

3 College of Landscape Architecture, Zhejiang Forestry University, Hangzhou Lin'an 311300 China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4352 ~ 4362.

Abstract: With the rapid expansion of transportation corridors in extent and density, the ecological effects of road networks also have become increasingly extensive and intensive. A number of recent ecological studies have investigated the structure and spatial pattern of different kinds of road networks and their various effects on biodiversity and ecosystem functioning on local and regional scales. Attempts have also been made to explore the ecologically optimal structure of road networks. This paper examines the impact of road networks on the natural environment in Zhejiang Province and provides several suggestions for developing an ecologically optimal transportation network. First, we introduce the road network theory, particularly the two theories proposed by R. T. T. Forman and J. A. G. Jaeger, respectively. Then, we use Forman's theory

基金项目:浙江省重大科技攻关社会发展资助项目(2004C13001)

收稿日期:2007-02-06; 修订日期:2008-06-06

作者简介:刘佳妮(1983~),女,浙江湖州人,硕士,主要从事生态高速公路景观规划设计研究。E-mail: liu_jiani@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bao99928@188.com

致谢:美国亚利桑那州立大学邬建国教授帮助写作和修改,谨此致谢。

Foundation item: The project was financially supported by the Technology and society development key project of Zhejiang Province(No. 2004C13001)

Received date: 2007-02-06; **Accepted date:** 2008-06-06

Biography: LIU Jia-Ni, Master, mainly engaged in ecological landscape planning and design for highway. E-mail: liu_jiani@126.com

and the minimum buffer width method to analyze the fragmentation effects of different types of road systems on forest ecosystems in Zhejiang Province. Our results show that national and provincial roads cut through and took up much space in forests, causing severe impacts on the ecological functions of forest ecosystems. Highways also seriously fragmented the forests and reduced the native biodiversity. We project that, at the end of year 2020, the network of national roads, provincial roads, and highways will cause even greater damage to the forest ecosystems if no measures against this road encroachment are to be taken soon. Finally, we propose five specific ways of improving the development of road networks in Zhejiang Province.

Key Words: road network; road ecology; landscape ecology; Zhejiang Province; forest landscape

公路建设导致公路沿线生态环境逐步转变,促使道路生态学这一以公路和自然生态为研究对象之学科的快速的发展。当前,国外在道路生态学领域已有了相当广泛而深入的研究,随着景观生态学的发展,其研究领域也从单一物种和栖息地的保护研究扩展到了对多个物种,多个生态系统的综合研究,从而提升到了景观的高度^[1~3]。以 Forman 等人为代表的生态学家在道路生态学的基础上提出了道路网络理论,该理论从道路网络与自然景观的空间位置入手,研究不同组织形式的道路网络对自然生态系统产生的不同影响,探讨生态最优化的道路网络模式。

本文尝试运用道路网络理论分析浙江省的干线公路网对森林景观的影响,并运用公路影响阈值分析方法对破坏较为严重的森林景观斑块进行更为深入的分析,在此基础上对浙江省的公路网络布局提出 5 点建议。

1 道路网络理论的研究进展

道路,尤其是分布在自然环境中的各级公路,是一种隔离性很强的线性基础设施,其建设对生态环境产生了四个方面的重大影响^[4~9]:(1)污染环境:导致沿线土壤、大气、水体等多种环境要素品质的下降;(2)侵占生境:直接破坏了野生动植物的自然栖息地,导致自然生态系统总面积的减小;(3)降低生境质量:增加了自然斑块的边缘长度,使生态系统更多的暴露在外界干扰之下,致使某些生态敏感的中心物种被动迁移,甚至灭绝;(4)造成生境破碎:切割了生态系统,导致生境斑块的破碎,且公路的大部分路段呈封闭状态,阻隔了水平生态流及物种迁移,改变了整体景观格局。

随着公路的不断加密和公路网络的形成,对于道路网络的生态影响研究已成为道路生态学的重要领域,该研究运用景观生态学原理,探讨公路网络与各种不同类型的景观和自然生态系统之间的关系,探寻如何使公路网络按照一定的等级结构和空间秩序组合成顺应自然、融于自然的生态道路网络,以尽可能地消除公路对生态环境的影响^[1,10,11]。其中以 R. T. T. Forman 和 J. A. G. Jaeger 提出的两个道路网络影响模型最有代表性。

1.1 R. T. T. Forman 提出的公路网络对自然生态系统的影响模型

Richard. T. T. Forman 教授致力于景观生态学与道路生态学的研究,将自然生态系统分为四类:大型斑块、小型斑块、较宽的廊道和较窄的廊道,将公路及公路网络对 4 类生境系统的侵占、降级和破碎作用分为 4 个等级,并为每个等级赋予相对的影响值,其中:无影响=0、低影响=1、中影响=2、高影响=3^[5]。

另一方面,不同的生境类型有着不同的生态特征,见表 1,Forman 教授根据四类生境的生态学意义为其设定了各自的生态价值系数,其中:大型斑块=5;较宽的廊道=3;较窄的廊道=2;小型斑块=1^[2]。用生态价值系数与相对影响值相乘,才能得到更全面、准确的综合影响值。

图 1 具体显示了普通公路、高速公路和高速公路网络对四类生境类型的相对影响值,以及综合考虑各类斑块的生态价值后,得出的综合影响值排序。由图可知,当未考虑各类斑块的生态价值时,高速公路穿越小型斑块对斑块所产生的影响最大,普通公路从大型斑块的边缘经过对斑块产生的影响最小;对于道路网络来说,当网络穿越大型斑块并将斑块切割成小块时影响最大,而当小型斑块位于道路网络的中央时,影响值最小。将相对影响值乘以各类斑块的生态价值后,综合影响在 10 以下的对自然生态环境影响较小,是较为理想的公

路路线选择;影响值在 10~20 之间的影响较为明显;影响值在 20 以上的则对大面积的自然生态系统造成严重破坏,是路线选择时需要避免的。

表 1 4 种生境类型的生态特征^[1,5]

Table 1 Ecological characteristics of four habitat types^[1,5]

类型 Type	生态特征 Ecological characteristics
大型斑块 Large patches	地下水源清洁;与源头相连接的水系;较多的斑块级物种;大量的本土物种;可供多生境物种利用的微型生境;能抵御外界干扰的缓冲区域 Clean groundwater; Stream network which connected with headspring; A lot of patch-range species; Large home-range species; Microhabitat proximities for multihabitat species; Mitigation regime to protect disturbance
小型斑块 Small patches	作为生物迁移的跳板;保护被隔离的物种;具有较高的种群密度 Stepping stones for dispersal; Protect isolated species; High species densities
较宽的廊道 Wide corridors	廊道中有连续生境;连接着大型斑块;斑块级物种经常沿着廊道迁移 Continuous habitats inside corridors; Connected with large patches; patch-range species usually move along them
较窄的廊道 Narrow corridors	具有较多边缘物种;几乎没有斑块级物种沿着廊道迁移 Many edge-species; Few patch-range species move along them

通过对道路网络与区域自然景观相对空间位置研究,Forman 认为生态优化的道路网络模式应具有 3 个特征^[5,10]: (1)在自然生态环境良好的区域,保留大面积无道路区域;(2)将大量的交通集中在少数几条大型道路上;(3)在穿越自然区域的道路上设置有效的生物通道。

1.2 J. A. G. Jaeger 对道路网络形态的研究

Jaeger 等人运用基于动物个体的三维空间仿真模型来研究道路网络对动物群体的影响是否与道路网络的形态结构以及目标动物对道路的不同反应(回避或穿越)有关,其研究结果表明^[12,13,14]:

对于相同的交通流量来说,将其集中在一条大型道路上对动物群体的影响最小,而当交通量分散在两条道路上时,将两条道路靠近设置优于将它们平均分布于自然区域中。

如果目标动物对道路的回避性较低,则网格状的道路组织形式优于平行状的道路组织形式,因前者有更多的核心生境,动物遇到道路的机会较低;而当目标动物对道路的回避性较高时,情况则相反,因在道路密度相同的情况下,平行的道路组织形成的斑块数目较少,隔离性较低,见图 2。

2 浙江省干线公路建设现状和森林景观现状

2.1 浙江省的干线公路建设现状

本研究中涉及的干线公路包括国道、省道和高速公路。

浙江省目前共有国道线 6 条,省道线 68 条,总里程 7112km^①。而高速公路的规划与建设正在快速进行,2003 年,浙江省交通厅制定了新一轮的《浙江省公路水路交通建设规划纲要》,将高速公路网的总体布局规划为:两纵、两横、十八连、三绕、三通道^①。根据建设现状和规划目标,本次研究将浙江省高速路网的形成分为 3 个阶段:(1)2002 年底,高速公路 9 条,总里程 1307km;(2)2010 年底,高速公路 19 条,总里程 3300km;(3)2020 年底,高速公路 31 条,总里程 5000km^①。

2.2 浙江省的森林景观现状

2.2.1 浙江省森林景观的分布及组成

浙江省的植被区系属亚热带常绿阔叶林区域—湿润常绿阔叶林亚区系—中亚热带常绿阔叶林带。从森林植被的现状来看,经历了几千年人类活动的干扰,原生森林大多已遭破坏,现存的多数林地是通过自然恢复或人工封山育林而形成的。从林分资源来看,则可分为松木林、杉木林、阔叶林、竹林、经济林和灌木林^[15]。

2000 年时浙江省的森林覆盖率为 59.4%,天然林面积为 293.11 万 hm²,多分布在西南山区;而通过人工

① 浙江省交通厅.《浙江省公路水路交通建设规划纲要》,2003.

无影响 = 0; 低影响 = 1; 中影响 = 2; 高影响 = 3 None = 0; Low = 1; Medium = 2; High = 3

生态价值系数: 大型斑块 = 5; 较宽的廊道 = 3; 较窄的廊道 = 2; 小型斑块 = 1

综合影响值 = (生境丧失影响值 + 生境降级影响值 + 生境隔离影响值) × 生态价值系数

Ecological value: large patches = 5; Wide corridors = 3; Narrow corridors = 2; Small patches = 1

Total effect = (Loss + Degradation + Fragmentation) × Ecological value

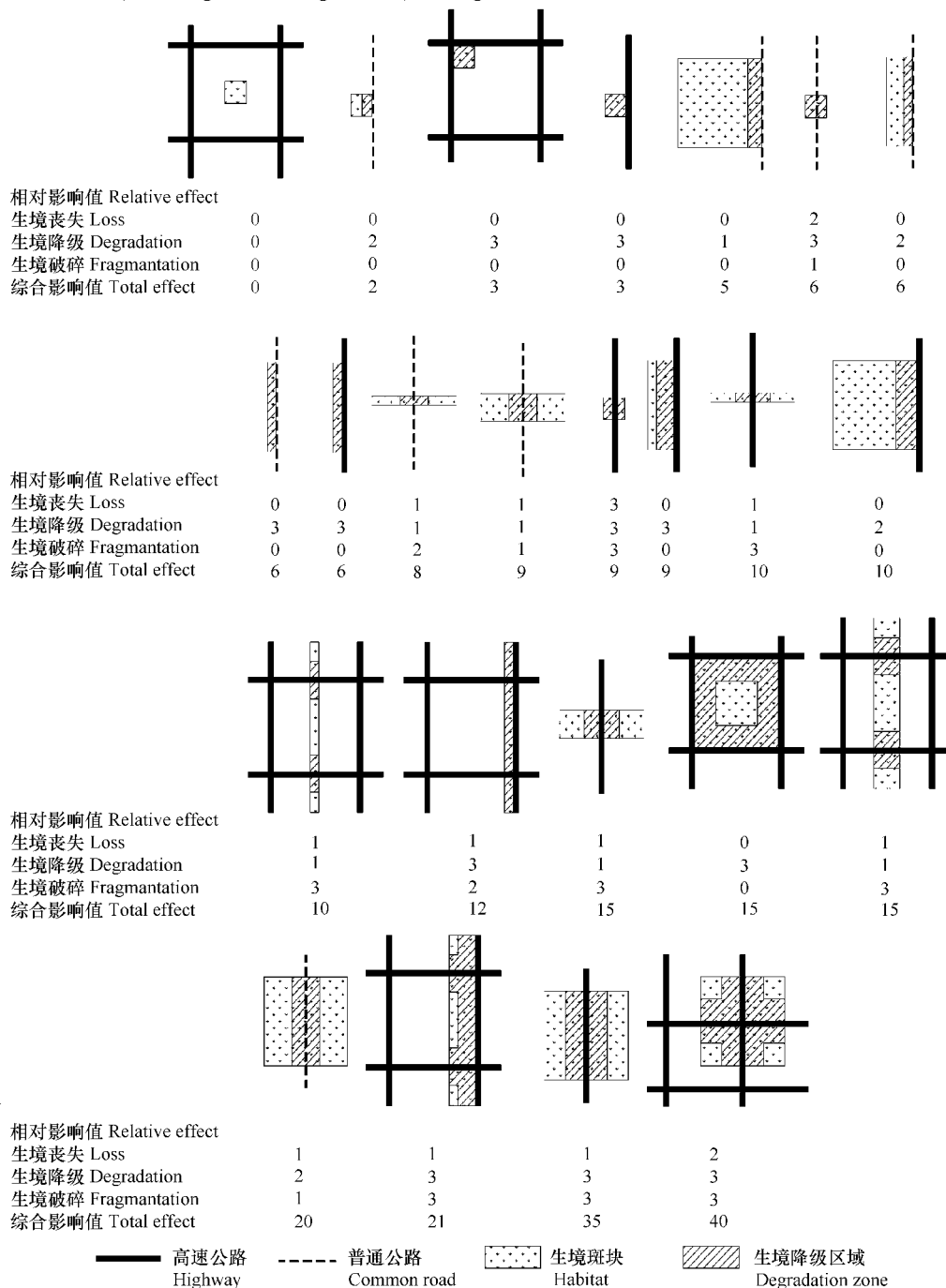


图1 公路和公路网络对四类生境的影响^[5]

Fig. 1 Effects of roads and road networks on four types of habitats^[5]

播种、分根、插埋种条等方法形成的人工林面积有 238.93 万 hm^2 , 多分布于西部山区^[15]。2005 年, 浙江省第 6 次森林资源清查结果显示: 全省林地面积为 667.97 万 hm^2 , 森林面积 584.42 万 hm^2 , 其中天然林面积 316.98

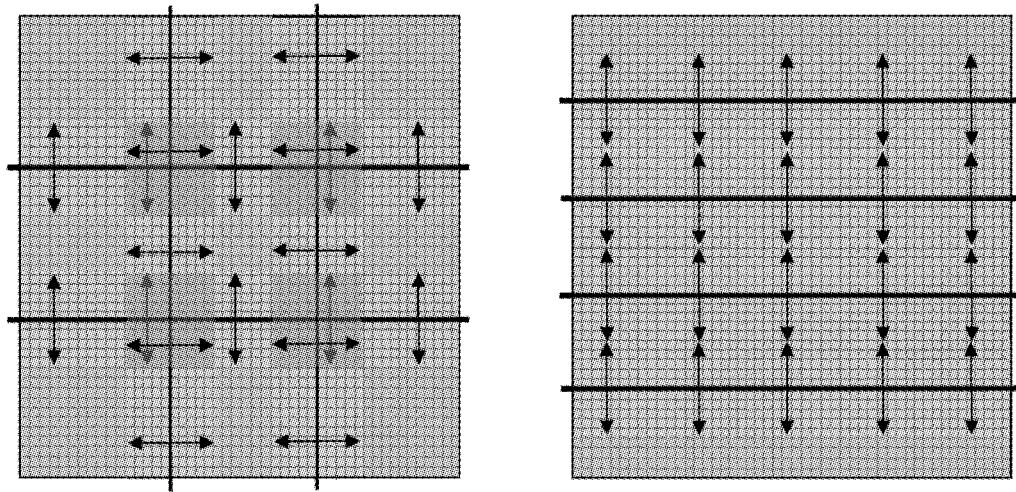


图2 网状与平行道路组织形式的影响范围示意图^[13]

Fig. 2 The effect area of the gridded and parallel road pattern^[13]

在相同面积(2304 个生境单元)内,网格状的道路组织形式(784 个生境单元)比平行的道路组织形式(384 个生境单元)有着更多的核心生境,可保障对道路回避能力较低的动物个体少受交通事故的影响;如果动物本身对道路的回避能力较高,那么平行状的道路组织形式则有着更高的生境连通性 In the same area(2304 cells), the gridded pattern has more core habitat (784 cells) than the parallel road pattern (384 cells). So, there are more core cells which can protect individuals from traffic mortality. If the animal's ability of road avoidance is high, then the parallel road pattern is better, because it has higher connectivity

万 hm^2 , 人工林面积 267.44 万 hm^2 , 森林覆盖率达到为 60.5%^①。

而从森林景观的分布来看,浙北平原及沿海地区为非林地,浙中和浙南丘陵山地以松林和杉林景观为主,少量穿插阔叶林景观,而浙西南地区则以阔叶林为主,零星分布松、杉林景观,竹林遍布全省,但以浙西北一带较为集中,此外还有板栗、茶叶等经济林景观分布于浙西、浙中、浙东及东南沿海一带。

2.2.2 浙江省森林景观的生态功能

森林景观的生态功能可概括为生态服务和生物多样性保护两个方面。生态服务功能体现在调节气候、保持水土、防风固沙、改善大气环境、为人们提供健康的游憩环境、生产各类果品和木材等方面,与森林景观总面积、林木蓄积量以及林分组成密切相关,目前常采用市场价值、替代工程等方法对区域森林系统的生态服务功能进行价值评估^[16]。

浙江省森林良好的水热条件为野生动物的生存、繁衍提供了有利环境,尽管由于栖息地破坏和资源的长期过度利用,使得资源蕴藏量不多,但野生动物的种类还是十分丰富,共有两栖类 44 种、爬行类 82 种、鸟类 464 种、兽类 99 种,为种群的恢复和发展提供了有利的基础条件^[15]。而生物多样性的保护除了与森林的总面积相关外,森林斑块的质量以及斑块间的连通程度也有重要影响。

2.2.3 浙江省森林景观斑块的划分

本次研究以 1:300 万的浙江省森林分布图为基础,1:76 万的浙江省地图为参考,以天目、会稽、雁荡、括苍、天台、四明、仙霞岭、洞宫、龙门 9 大山脉为面,钱塘江、苕溪、运河、甬江、椒江、欧江、飞云江、鳌江 8 大水系及其主要支流为界,将浙江省的森林景观分为 12 个大型斑块,2 个大型廊道,见表 2、表 3 和图 3,森林斑块中面积大于 100 km^2 的非林地予以去除,面积小于 100 km^2 的则保留,不一一加以去除。

3 浙江省的干线公路网络对森林景观的破碎化影响分析

3.1 运用 Forman 的道路网络模型分析干线公路对森林景观的破碎化影响

Forman 在其道路网络模型中将各级公路,公路的不同组织形式,以及公路、公路网络与各类生境处于不

① 何始玉. 加强生态建设 2005 年浙江省森林资源状况. <http://zjnews.zjol.com.cn/05zjnews/system/2006/01/20/006450901.shtml>. 2006-01-20

表 2 浙江省的森林景观斑块
Table 2 Forest patches in Zhejiang province

编号 Serial number	面积(km ²) Area(km ²)	林分组成 Forest composition	斑块内的主要山脉 The major mountain range within the patch	作为分界线的河流 Rivers as boundary lines
A	4778	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	天目山	西苕溪、钱塘江、分水江、天目溪
B	4765	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	天目山	分水江、天目溪富春江、新安江、千岛湖
C	8145	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	天目山	兰江、衢江、江山港、新安江、千岛湖
D	2525	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	龙门山	富春江、兰江、浦阳江
E	8220	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	四明山、天台山	曹娥江、余姚江、奉化江、始丰溪
F	3782	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	会稽山	浦阳江、曹娥江、金华江
G	10758	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	仙霞岭	衢江、江山港、龙泉溪、武义江
H	5736	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	括苍山	椒江、瓯江、好溪、始丰溪
I	1588	松木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	雁荡山	楠溪江、永宁江
J	2850	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	雁荡山	飞云江、瓯江、小溪
K	3321	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	雁荡山	飞云江、小溪
L	4330	松木林、杉木林、阔叶林、竹林、灌木林、经济林	洞宫山	龙泉溪、大溪、小溪

松木林 Pine forest;杉木林 Fir forest;阔叶林 Broad-leaved forest;竹林 Bamboo forest;灌木林 Shrub forest;经济林 Production plantation;天目山 Tianmu Mountain;会稽山 Kuaiji Mountain;雁荡山 Yandang Mountain;括苍山 Kuocang Mountain;天台山 Tiantai Mountain;四明山 Siming Mountain;仙霞岭 Xianxia Mountain;洞宫山 Donggong Mountain;龙门山 Longmen Mountain;西苕溪 Western-Tiao River;钱塘江 Qiantang River;分水江 Fenshui River;天目溪 Tianmu River;富春江 Fuchun River;新安江 Xinan River;千岛湖 Thousand islands lake;兰江 Lan River;衢江 Qu River;江山港 Jiangshan River;浦阳江 Puyang River;曹娥江 Caoe River;金华江 Jinhua River;余姚江 Yuyao River;奉化江 Fenghua River;始丰溪 Shifeng River;龙泉溪 Longquan River;武义江 Wuyi River;好溪 Hao River;楠溪江 Nanxi River;永宁江 Yongning River;椒江 Jiao River;欧江 Ou River;飞云江 Feiyun River;大溪 Da River;小溪 Xiao River

表 3 浙江省的森林景观廊道
Table 3 Forest corridors in Zhejiang province

编号 Serial number	面积(km ²) Area(km ²)	林分组成 Forest composition	连接的斑块 Patches which connected with
M	1226	松木林、杉木林、灌木林、经济林	E、G
N	590	松木林、经济林	E、G

松木林 Pine forest;杉木林 Fir forest;灌木林 Shrub forest;经济林 Production plantation

同位置时对自然生态系统的影响分为生境丧失、降级、破碎 3 个方面,见图 1,其中生境丧失意味着自然生态系统总面积的减少,这直接影响着森林生态服务功能的发挥,而生境降级和破碎则代表着野生动植物栖息环境质量的下降和生境之间的隔离,对生物多样性的保护有着重要的影响。因此,将 Forman 的道路网络模型分为生境丧失和生境降级、破碎两个方面,分别对森林景观的生态服务功能和生物多样性保护功能进行分析。

3.1.1 干线公路网络对森林景观生态服务功能的影响

浙江省的国道、省道网络和正在建设的高速公路网对森林景观生态服务功能的影响见图 4 和表 4,国道、省道由于数量多,对森林景观生态服务功能的影响值大;而高速公路由于数量较国、省道网络少,且多数沿着城市密集、森林资源分布较少的区域建设,因此即便到

表 4 浙江省的国道、省道和高速公路网络对森林景观生态服务功能的影响值

Table 4 The effect value of national roads, provincial roads and highway network on the ecological service functions of forest ecosystems in Zhejiang province

公路类型 Road type	影响值 Effect value
国、省道 National road and provincial road	197.25
高速公路(2002 年底) Highway(end of 2002 year)	28
高速公路(2010 年底) Highway(end of 2010 year)	63
高速公路(2020 年底) Highway(end of 2020 year)	144

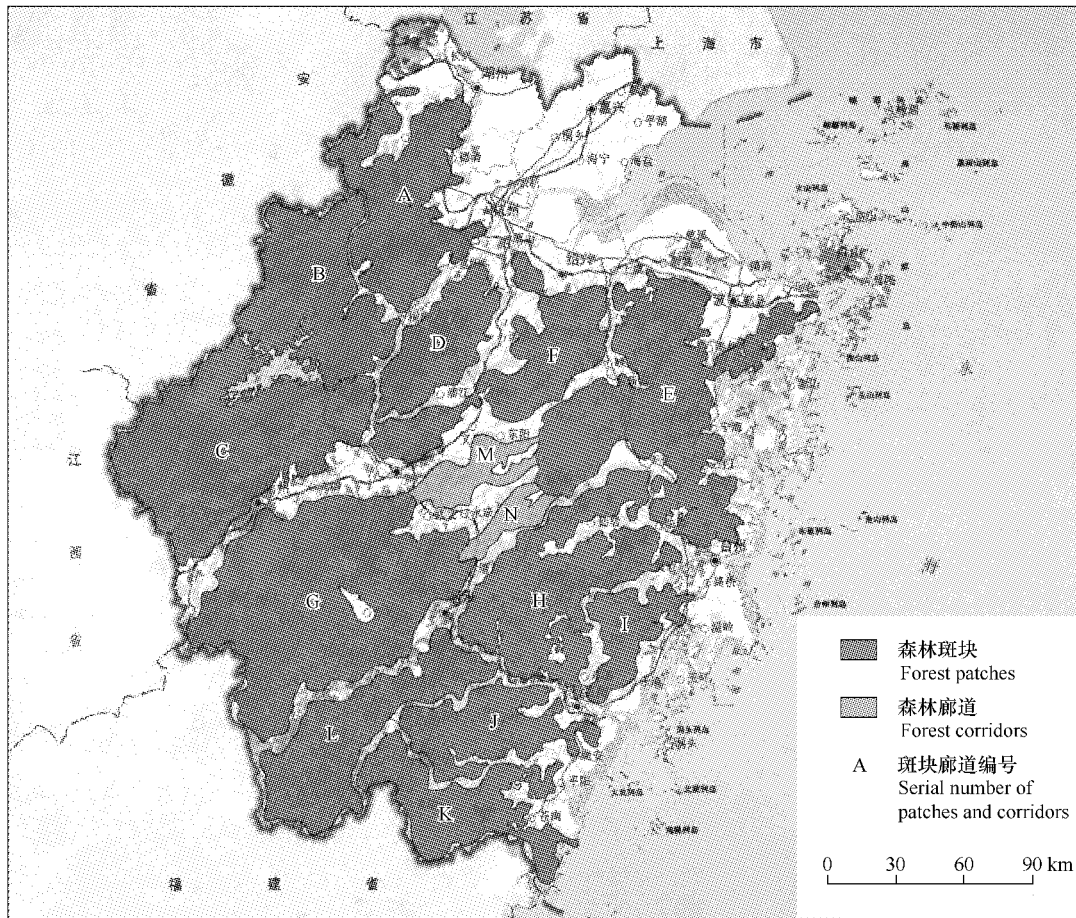


图3 浙江省森林景观斑块和廊道的分布

Fig. 3 A map showing the distribution of forest patches and corridors in Zhejiang Province

2020 年底,对森林景观生态服务功能的影响值也比国、省道网络小。

3.1.2 公路网络对森林景观生物多样性保护功能的影响

图 5 和表 5 则显示了浙江省的国道、省道网络和高速公路网对森林景观生物多样性保护功能的影响。由图表可知,该影响值远比公路网络对森林生态服务功能的影响值大,可见公路降低森林质量和隔绝森林斑块的负面效应比侵占森林面积更严重。而高速公路由于车道多、车速快、隔离性强,若按现行规划的 3 个阶段不断增密,其影响值将成倍数急剧增加,到 2020 年时达到 960,比隔离性相对较小的国、省道网络大 275。

3.1.3 公路网络对森林景观的综合影响

综合影响值由公路网络对森林景观生态服务功能的影响值和生物多样性保护功能的影响值叠加而来,由表 6 可知国、省道网络和 2020 年底按规划建成的高速公路网络对浙江省森林景观的综合影响值最高,其中,高速公路虽数量少于国道和省道,但因其强烈的隔离性而得到最高的综合影响值。

由 Forman 的道路网络模型得知,综合影响值在 20 以上的即对自然生境产生重大影响,在国、省道网络中,综合影响值在 20 以上的有 33 处,占总数的 57.9%;2020 年底将建成的高速网络中有 23 处,占总数的 51.1%。但是国、省道网络中的多数影响值在 20~30 之间(31 处),超过 30 的只有 2 处;而在高速网络中 23 处的影响值均在 30 以上,可见让高速公路穿越大型斑块,并在斑块内形成环状网络的危害性要比国道、省道等非封闭性的公路大得多。

3.2 运用道路影响阈值分析公路对森林景观的破碎化影响

Forman 的道路网络模型仅对通过斑块和廊道的公路数量进行分析,对于斑块内每条公路的里程长短则

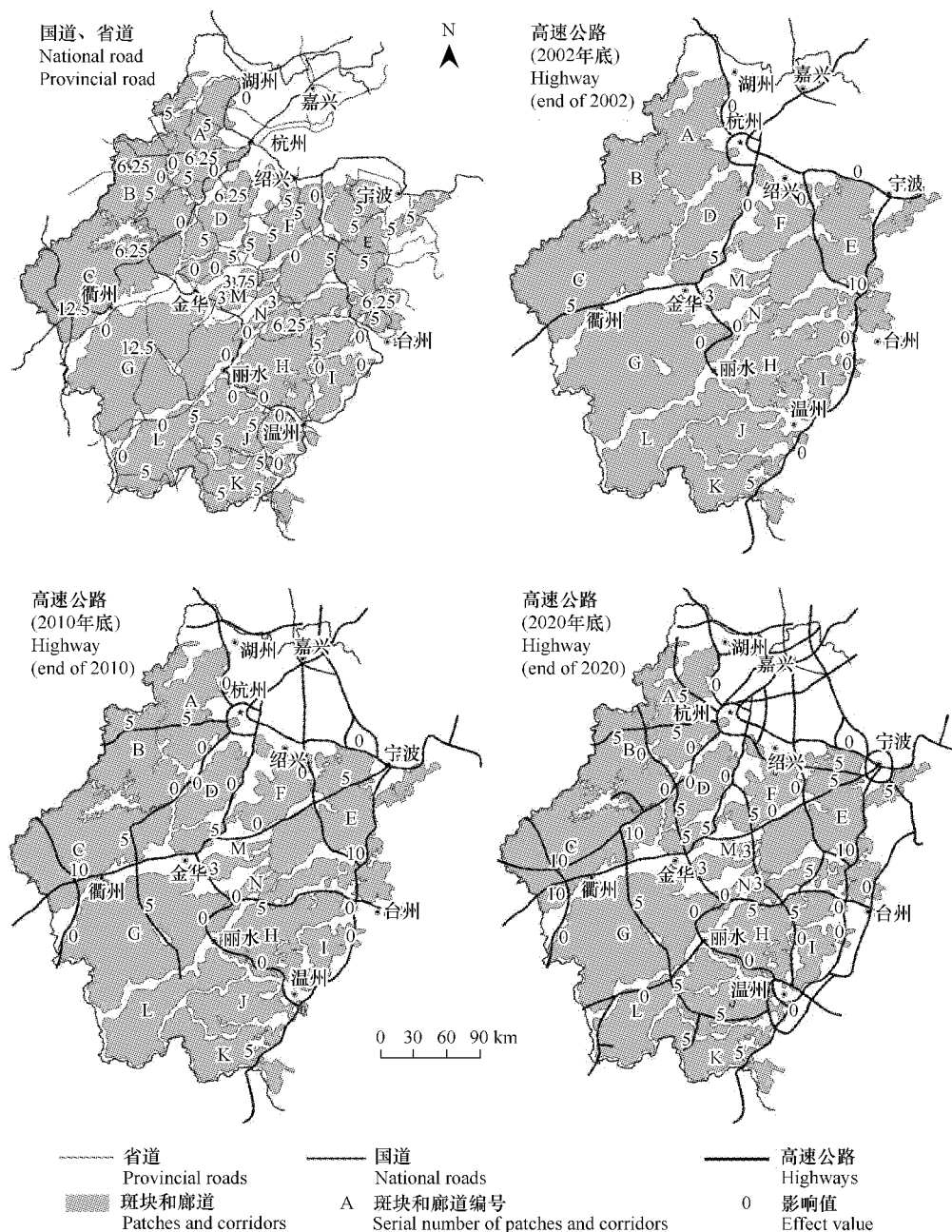


图4 浙江省的国道、省道和高速公路网络对森林景观生态服务功能的影响

Fig.4 A map showing the effects of national roads, provincial roads and highway network on the ecological service functions of forest ecosystems in Zhejiang Province

不加以区分,因此仅是定性分析。为了能定量地反映公路对森林景观的影响,用道路影响阈值分析法对浙江省境内被各级公路分割较为严重的E斑块(见图3)进行深入分析。

李双成根据各级公路的特征确定了公路影响阈值,即公路单侧缓冲带的宽度:高速公路为1000m;一级公路为500m;二级公路为250m;三级公路为100m^[8]。本研究将高速公路的缓冲带宽度定为1000m,国道、省道定为500m。

由Auto CAD2004软件测量得E斑块大小为8220km²,穿越该斑块的国道和省道里程为304km,位于斑块边缘的国道和省道里程为24km;穿越该斑块的高速公路里程为228km,位于斑块边缘的高速公路里程为111km。

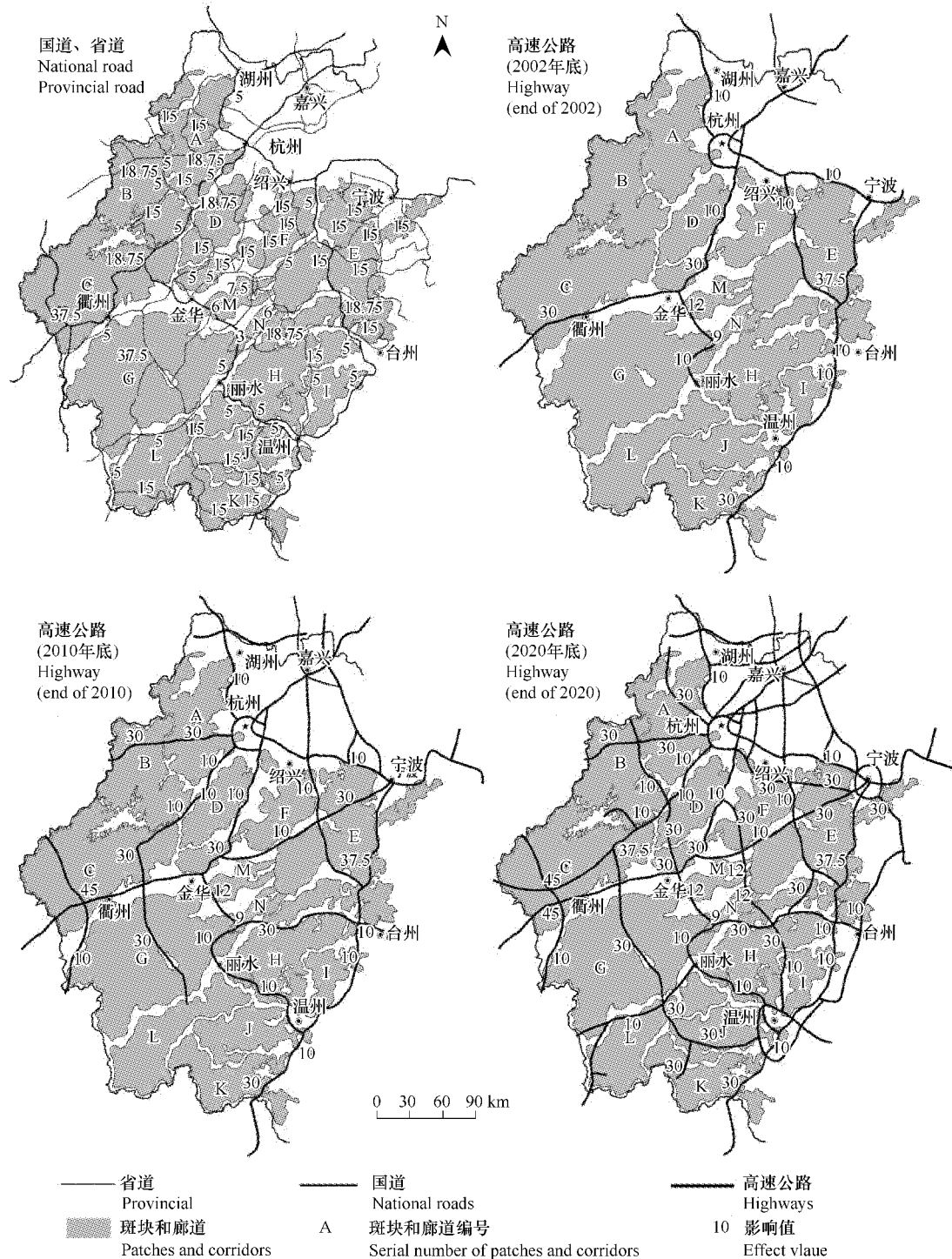


图5 浙江省的国道、省道和高速公路网络对森林景观生物多样性保护功能的影响

Fig. 5 A map showing the effects of national roads provincial roads and highway network on biodiversity conservation of forest ecosystems in Zhejiang Province

用里程数乘以缓冲带的宽度得国道和省道对斑块 E 的影响范围为 316km^2 , 高速公路的影响范围为 567km^2 (2020 年底), 总影响区域为 883km^2 , 占斑块面积的 10.7%。虽然该影响范围并非很大, 但是经过各级公路的切割, 斑块 E 被划分成了 27 个独立的小块, 其中仅两个斑块的面积在 1000km^2 以上, 多数斑块的面积在 $100 \sim 1000\text{km}^2$ 之间, 小于 100km^2 的有 11 个, 这些小块斑或位于原始斑块的边缘或处在国道、省道和高速公路的包围之中, 几乎失去了重要的生态意义。

表 5 浙江省的国道、省道和高速公路网络对森林景观生物多样性保护功能的影响值

Table 5 The effect value of national roads, provincial roads and highway network on biodiversity conservation of forest ecosystems in Zhejiang province

公路类型 Road type	影响值 Effect value
国、省道 National road and provincial road	685
高速公路(2002 年底) Highway(end of 2002 year)	228.5
高速公路(2010 年底) Highway(end of 2010 year)	483.5
高速公路(2020 年底) Highway(end of 2020 year)	960

表 6 浙江省的国道、省道和高速公路网络对森林景观的综合影响值

Table 6 The total effect value of national roads, provincial roads and highway network on forest landscape in Zhejiang province

公路类型 Road type	综合影响值 Total effect value
国、省道 National road and provincial road	882.25
高速公路(2002 年底) Highway(end of 2002 year)	256.5
高速公路(2010 年底) Highway(end of 2010 year)	546.5
高速公路(2020 年底) Highway(end of 2020 year)	1104

4 对浙江省公路网络布局的建议

通过以上分析可知,就浙江全省范围来看,国道、省道由于数量众多,侵占森林景观的面积较大,而高速公路则形成更广泛的影响区域,使得破碎的斑块处于完全隔离的状态。

如果按照 2003 年《浙江省公路水路交通建设规划纲要》,在不改变现有国、省道格局的基础上进行高速公路建设,那么到 2020 年底,高速公路和国、省道结合的网络将对浙江的森林景观造成严重而不可挽回的破坏,因此根据各类道路的不同影响特征,对浙江省的公路网路布局提出如下建议:(1)以杭州、宁波、温州三地为中心,沿城市密集,森林覆盖面积小的区域形成辐射状布局的高速公路主线,各地间的连通,尤其是深入斑块内部的,尽量通过隔离性较小的国道、省道与高速主线的衔接来实现,减少封闭状网路的形成;(2)对于已经建成的高速公路,尤其是位于斑块内部的,在满足通行要求的前提下,可逐步去除与高速公路靠得很近的国道和省道,恢复被两种道路围合区域的生态功能;(3)新建高速公路在选线时,要充分利用道路的变异性和可替代性,尽量使高速公路从森林斑块边缘经过,避免产生被高速公路隔绝的小块生境;(4)尽量减少高速“复线”建设,通过扩建现有高速公路和为新建高速公路预留土地等方法,将交通量集中在少数几条大型道路上,避免将自然景观切割成狭长状;(5)有针对性地为穿越斑块及位于两个斑块之间的公路设置有效的生物通道。

5 结语

道路网络理论的研究目前尚处于初级阶段,以理论模型的建立和计算机模拟研究为主^[5,13,14],没有考虑纷繁复杂的自然界对道路网络的多方面影响,尚未建立起系统而具有可操作性的理论,但其中的许多论点已经对道路网络的影响分析及合理的道路建设起到指导作用。随着该理论的进一步完善,必将从景观生态的高度,综合考虑景观的不同类型,以及动植物群落的不同特性,为生态优化的道路网络建设,提供系统而可靠的科学依据。

本文将 Forman 教授的研究理论用于实际分析,结合道路阈值法,对浙江省主要公路网络对森林破碎化的影响做了量化分析,并提出调整建议。随着研究的进一步深入,其实际可操作性将更强。

References:

- [1] Forman R T T. Road ecology's promise: what's around the bend. *Environment*, 2004, 46: 8—21.
- [2] Lugoa A E, Gucinskib H. Function, effects, and managent of forest roads. *Forest Ecology and Management*, 2000, 133: 249—262.
- [3] Wang Y, Cui P, Li H F. Research progress on road landscape ecology. *World Sci-Tech R&D*, 2006, 28(2): 90—95.
- [4] Forman R T T. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, 2000, 14: 31—35.
- [5] Forman R T T. Good and bad places for roads: effects of varying road and natural pattern on Habitat Loss, Degradation, and Fragmentation. In: Irwin C L, Garrett P and McDermott K P ed. *North Carolina: Center for Transportation and the Environment*, North Carolina State University,

2006. 164—174.

- [6] Geneletti D. Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2004, 5: 1—15.
- [7] Bao W H, Fan J. Discussion on the impact of highway construction on ecological environment. *Environmental Protection in Transportation*, 2000, 21(3): 42—44.
- [8] Li S C, Xu Y Q, Zhou Q F, *et al.* Statistical analysis on the relationship between road network and ecosystem fragmentation in China. *Progress in Geography*, 2004, 23(5): 78—85.
- [9] Li Y H, Hu Y M, Li X Z, *et al.* A review on road ecology. *Chin J Appl Ecol*, 2003, 14(3): 447—452.
- [10] Forman R T T, Sperling D, Bissonette J A, *et al.* Road ecology: Science and solutions. Washington, D. C: Island Press, 2003. 375—379.
- [11] Zong Y G, Zhou S Y, Peng P, *et al.* Perspective of road ecology development. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2396—2405.
- [12] Jaeger J A G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 2000, 15: 115—130.
- [13] Jaeger J A G, Fahrig L and Ewald K C. Does the Configuration of Road Networks Influence the Degree to Which Roads Affect Wildlife Populations? In: Irwin C L, Garrett P and McDermott K P ed. North Carolina: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, 2006. 151—163.
- [14] Jaeger J A G. Modeling the effects of road network patterns on population. In: Irwin C L, Garrett P and McDermott K P ed. North Carolina: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, 2001. 298—312.
- [15] The forest office of Zhejiang Province. Natural resources of forest in Zhejiang province (The volume of woods). Beijing: China Agricultural Science and Farming Techniques Press, 2002. 65—66.
- [16] Duan X F, Xu X G. Regional forest ecosystem services assessment: a case study of Shandong province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2006, 42(6): 751—756.

参考文献:

- [3] 王云, 崔鹏, 李海峰. 道路景观生态学研究进展. *世界科技研究与发展*, 2006, 28(2): 90~95.
- [7] 包薇红, 范兢. 浅谈公路建设对生态环境的影响. *交通环保*, 2000, 21(3): 42~44.
- [8] 李双成, 许月卿, 周巧富, 等. 中国道路网与生态系统破碎化关系统计分析. *地理科学进展*, 2004, 23(5): 78~85.
- [9] 李月辉, 胡远满, 李秀珍, 等. 道路生态研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 447~452.
- [11] 宗跃光, 周尚意, 彭 萍, 等. 道路生态学研究进展. *生态学报*, 2003, 23(11): 2396~2405.
- [15] 浙江省林业局. 浙江林业自然资源(森林卷). 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002. 65~99.
- [16] 段晓峰, 许学工. 区域森林生态系统服务功能评价——以山东省为例. *北京大学学报(自然科学版)*, 2006, 42(6): 751~756.