

道路生态影响与 公路边坡植被恢复 生态研究

江源 顾卫 陶岩 晏晓林 等/著



IMPACT OF ROAD CONSTRUCTION ON
ECOSYSTEMS AND ITS MITIGATION THROUGH
ROADSIDE VEGETATION RESTORATION

中国环境科学出版社

道路生态影响与公路边坡植被 恢复生态研究

江 源 顾 卫 陶 岩 晏晓林 等著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

道路生态影响与公路边坡植被恢复生态研究/江源等著. —北京: 中国环境科学出版社, 2011.5

ISBN 978-7-5111-0584-4

I. ①道… II. ①江… III. ①公路生态学
IV. ①U418.9②X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 090853 号

责任编辑 丁 枚
责任校对 尹 芳
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京东海印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2011 年 6 月第 1 版
印 次 2011 年 6 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 14.75 插页 12
字 数 250 千字
定 价 39.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

道路生态问题的提出与道路本身的发展和变化紧密相关。20 世纪之前，交通运输主要依靠乡村便道和普通机动车道，对生态环境的影响相对较小，因此很少受到关注。20 世纪后期，随着公路，特别是高速公路的建设迅速发展，公路的长度、密度都在不断增加，公路的等级也在不断提高，各种各样与公路建设和运营相关的生态问题日益突显出来，影响范围愈来愈广、影响类型迅速增多。与此同时，摆在道路生态保护领域的任务也愈来愈艰巨，其内容渗透到大气、土壤、水文、生物、人类健康等各个领域，影响范围波及生态系统、景观、区域乃至全球各种尺度。

道路是影响国计民生的重要基础设施，“十一五”期间我国道路建设飞速发展，“十二五”期间国家还将大力推进各种道路及其相关设施的建设，道路建设不仅促进了区域经济发展，也极大地改善了当地群众的生活状况。然而，公路作为长距离、大规模的廊道型工程设施，不仅影响着所经区域的环境特征，在不同程度上改变或破坏了其周边自然生态系统，而且也对自然生态系统中的物质流和物种流等产生阻隔或者增强效应。实地调研和观测结果表明，发达国家公路建设和运营中所面临的各类生态问题在我国公路建设中均有不同程度的表现。随着我国公路建设发展，公路网密度将不断增加，许多目前看似并不严重的问题也将可能在未来道路发展中逐渐凸显，因此，辨识不同区域中道路建设带来的主要生态问题，加强道路生态研究已经成为道路生态与环境保护中亟待开展的工作。

坡面植被恢复是公路生态保护的重要内容之一，也是缓解公路建设环境影响的一项主要措施。与国际上发达国家的同类研究相比，我国公路坡面植被恢复研究对技术本身给予的关注更多，对坡面植被恢复之后产生的生态效果及其演替变化规律研究相对薄弱。另外，由于我国地域广阔，区域差异显著，无论是在工程技术还是在效果评估层面都难以以一概全，需要针对不同区域进行深入研究和分析。特别是我国西部地区，生态条件整体较为严酷，公路坡面植被恢复工程所面临的许多问题是在其他生态环境较好地区无需或未曾考虑的，例如，如何提高护坡植被稳定性、在物种配置方面兼顾长期和短期保护效果、促进本地物种尽快侵入坡面植物群落、降低坡面人工恢复

植被的管护成本等，一直以来都是困扰我国西部公路坡面植被恢复的科学和工程问题。

新近的道路生态研究更加强调“生态公路”的理念，并致力于将该理念体现在保护、融入、回归和享受自然的公路生态恢复理论探讨和工程实践中。我国西部公路建设中采用的生态保护措施目前仍以边坡植被恢复为主体。然而，本书中所辨识出的生态问题，难以仅仅通过边坡植被恢复得以控制。虽然公路边坡植被恢复能够有效减少土壤侵蚀，但栖息地破碎、生物入侵、沿途环境污染、动物伤害与路杀、物种保护等问题，并非采用植被生态恢复就能得以解决。这些问题的控制不仅有赖于工程设计中的配套措施和管理（如设计合适的动物通道或者隧道工程等），而且有赖于工程设计阶段的线路选择与规划。因此，在公路建设生态影响评价的基础上，将公路生态保护工作向前延伸至规划与设计阶段，对于解决我国公路生态与环境保护至关重要。

作者所在的北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室中的景观过程与资源生态研究团队长期以来致力于人类活动与生态响应方面的科学研究，目前承担着“土地利用变化影响下的区域生态系统响应及适应性管理”（2009-TD-03）研究课题，并有幸参与了交通部西部交通建设科技项目“西部地区公路建设中的环境保护对策研究”和“公路路域生态工程技术研究”，负责“西部公路生态建设中的生态问题辨识”和“公路生态工程效果评价研究”子课题的研究工作。在这些项目的资助和支持下，完成了课题中的实验、调查和理论分析工作，本书是对这些研究内容和成果的系统总结。全书分为上下两篇，包括 8 章。上篇侧重道路生态学理论和道路生态问题辨识，一方面通过文献综述系统地总结了道路生态学研究的基本理论，全面分析道路建设和运营中的生态与环境问题；另一方面通过对我国西部道路路段的考察、调研和定位观测，结合各个地区的自然与人文条件，针对公路建设中的重要生态问题开展分区研究。下篇侧重道路边坡植被恢复及其生态效应评价研究，就我国西部公路植被生态恢复工程质量的评估指标等问题提出了改进建议。

本书由江源、顾卫主持撰写，主要参加人员及其负责的章节如下：第 1 章：江源、陶岩；第 2 章：黄晓霞、江源；第 3 章：江源、陶岩、田育红；第 4 章：江源、陶岩、顾卫、田育红；第 5 章：江源、顾卫、晏晓林、沈毅、黄晓霞、戴泉玉、谢峰；第 6 章：江源、黄晓霞、顾卫、田育红、戴泉玉；第 7 章：陶岩、江源、顾卫；第 8 章：江源、顾卫、陶岩、刘永兵、余海龙、殷秀琴、姜伟、黄树青、袁帅。全书由江源、陶岩统编定稿。

本书在研究和撰写过程中，受到了来自多方面的支持与关心。首先要感谢交通部西部交通科技建设科技项目管理中心、交通部公路科学研究院、交通部科学研究所和吉林省交通科学研究所，正是他们遵循交通部把高速公路建设成为“生态之路、景观之路、环保之路”的理念，热情鼓励、积极支持公路生态建设项目的立项和展开，才

能使本书中的研究工作得以顺利开展；其次还要感谢北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室，如果没有实验室提供实验场地和部分经费支持，本书的部分工作将难以完成；中国环境科学出版社的丁枚主任对本书的完成给予了自始至终的鼓励和支持，对本书编写过程中的困难和交稿时间上的延误给予了充分的关心和理解。本书的编写还受到以下项目资助：地表过程与资源生态国家重点实验室研究项目(2009-TD-03)、国家自然科学基金项目(30870467)。吉林省交通科学研究所韩继国研究员，河北科信岩土坡面生态工程有限公司刘阳，北京师范大学张春禹、任斐鹏、朱莱茵、何凡、李俞萍、王耿锐，东北师范大学董炜华等在野外观测、实验和文献总结中参与了很多工作，北京师范大学刘全儒副教授在植物物种鉴定方面给予了热情帮助。

在此，谨向参与本研究工作的专家学者和研究生、为本研究工作提供过帮助和指导的朋友与同事以及对本研究给予热情支持的单位与个人，表示衷心感谢！

本书涉及内容较为广泛，限于我们的理论水平和实践经验，错误和不足之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

作者
于北京师范大学
2011年1月

目 录

上篇 道路生态学与道路生态影响

1 引言	3
1.1 道路生态学的涵义	3
1.2 公路相关工程结构及生态意义	4
2 道路建设与生态问题研究进展	7
2.1 问题的提出	7
2.2 道路生态学的国际研究进展	8
2.3 中国公路生态影响研究	13
3 道路生态学的主要理论基础	17
3.1 生态学与生态系统理论	17
3.2 景观生态学理论	21
3.3 自然地理学与环境科学理论	26
4 公路对生态系统的影响	28
4.1 大气与气候影响	28
4.2 土壤影响	30
4.3 水生态系统影响	39
4.4 景观格局与功能影响	45
4.5 生物与栖息地影响	49
5 中国西部公路建设中区域生态问题辨识	59
5.1 西部自然条件概况	59

5.2 西部公路建设造成的生态问题辨识	63
5.3 西部公路建设对不同地区生态潜在影响分析	81
6 公路建设生态影响区划	86
6.1 西部公路建设综合生态影响区划	86
6.2 吉林省长白山地区公路建设生态影响区划	96
6.3 我国西部公路建设中生态保护策略	110

下篇 道路边坡植被恢复生态研究

7 中国西部路域护坡植被的配置模式	117
7.1 路域护坡配置模式	117
7.2 西部护坡植被的工程案例	122
7.3 护坡植被配置模式实验研究	131
8 路域坡面植被恢复生态分析	158
8.1 路域植被恢复的生态效益研究	158
8.2 路域土壤理化性状及土壤动物变化	164
8.3 路域小气候温度改良分析	171
8.4 边坡植被恢复中的群落特征评价	181
8.5 边坡植物根系固土作用及评价	196
参考文献	202

上篇 道路生态学与道路生态影响

1 引言

道路是影响世界各国国计民生的重要基础设施,“十一五”期间我国道路建设快速发展,“十二五”期间,国家还将大力推进各种道路及其相关设施的建设,道路建设不仅促进了区域经济发展,也大大地改善了当地群众的生活条件。然而,公路(尤其是全封闭的高速公路)作为长距离、大规模的廊道状人工构造,不仅明显地改变了所经区域的环境状况,对所经过的自然生态系统造成了不同程度的改变和破坏,而且对自然生态系统中的物质流和物种流具有显著的阻隔或者增强效应。随着我国经济实力的整体提高和生态环境问题的日益严峻,以植被建植为代表的路域生态系统恢复与重建问题愈来愈受到政府的重视和民众的关心,在国内外公路生态保护研究的影响下,近年来已经形成了“生态公路”理念,并集中体现在保护、融入、回归和享受自然的公路生态恢复理论探讨和工程实践中。

1.1 道路生态学的涵义

道路是允许车辆行驶的通道(Webster, 1986; Laurance, 1991),而生态学是研究生物和环境之间相互关系的一门学科。“道路”与“生态学”研究的有机结合,形成了“道路生态学”。2002年Forman提出了“道路生态学”(Road Ecology)的概念,标志着道路生态的研究开始了一个新的时代。随后他出版了《道路生态学》专著(Forman *et al.*, 2003),预示着道路生态学的建立,书中将道路生态学理解为研究与道路和车辆有关的生物体与环境之间相互作用的科学。由于道路和相关基础设施及其所支持的交通流形成了道路系统,因此从更广泛的意义上理解,道路生态学是探索自然环境和道路系统之间相互关系的科学。

道路有多种类型,包括多车道、全封闭高速公路、普通公路、城市道路、郊区车道、伐木运输通道、矿山道路、农庄小径等,所有这些都属于道路生态学的范畴。狭义上,“道路”或者“行车道”有时是指公路边沟之间的路基区域,而广义上的道路或者公路廊道则是指一片较为宽广的带状区域,该区域的地表因道路建筑、维修或者管理制度而发生改变。通常这种广阔地带包含路面、路肩、边沟和路侧外部。在山区,

典型的公路廊道还包含挖方边坡的切面和填方工程的填充区域 (AASHTO, 2001a)。在这个宽阔的公路带承载着各种工程结构, 例如路面、排水沟、防护网、防眩板、交通标志、服务设施等。在更广泛的意义上, 公路廊道通常还包括公路带开发区及与公路有关的文化建筑区域 (Wallis, 2001)。

道路生态学也十分注重研究道路造成的景观特征及其对生态系统的影响。道路路段将不同类型的土地分割成块, 导致相邻的两个局部生态系统或道路两侧的土地用途随着路段的变化而发生转移。关于路段对区域生态系统影响的研究虽然很少, 但它可能有着非常重要的生态学意义。从宏观格局看, 多个相互连接的路段构成了道路网络, 道路网络与行驶车辆进而构成道路系统 (Lowe 和 Moryadas, 1975)。道路系统不仅连接着广袤地域内的各个节点和重要区域, 也连接着本地区的学校和商业等功能区域。在整个道路网络中, 每日车流量可能从 $0 \sim 2 \times 10^5$ 辆不等, 并且每天、每周、每个季节都要发生显著的变化。道路网因此成为了大气污染物的重要“源”景观, 同时也影响着动物的迁徙和植物的传播, 对于入侵物种而言, 道路更常常成为其重要的传播通道。

总之, 道路生态学是将公路的规划、设计、施工和运营与生态学的理论和方法相结合, 研究公路在建设和运营过程中对周围环境造成的生态影响以及自然界生物的响应机制, 探索防治与减少道路对生态系统负面生态影响的科学。

1.2 公路相关工程结构及生态意义

1.2.1 公路类型

世界上许多国家的公路规划者均采用功能分类法划分公路类型 (AASHTO, 2001b)。在我国, 公路根据交通量及其使用功能、性质分为汽车专用公路和一般公路两类, 前者包括高速公路、一级公路; 后者包括二级公路、三级公路和四级公路。在美国, 公路按功能可以分为: 有限准入公路 (主要是州际公路)、干线公路、集散公路、地方公路。功能分类法也将城市和农村的公路区别开来。城市公路通常毗邻住宅、商业或工业开发区。农村公路紧靠农场、森林、荒山、荒地。

不同类型的公路对区域生态系统产生不同强度和不同类型的影响。低等级的地方公路主要通往住宅、农场、企业或邻近建筑物, 而不是提供联合运输, 它们的车流量通常偏低、建设规模相对较小, 对自然生态系统的改造强度也较弱。一般来说, 农村公路网络密度较低、车流量较小、连通性较差、行车平均速度较低, 沿着网格线两侧有较为宽阔的路旁绿化带, 只要管理得当通常不影响野生动物的通行。相比之下, 高等级道路以及经济发达地区密集的公路网, 都会对其周边生态系统造成较强影响, 使

自然生态系统更趋于支离破碎。虽然人们对不同类型道路产生的生态影响的特点已经有所认识,但在道路管理中少有直接以生态影响和生态特征为基础的道路分类体系,随着道路生态研究的不断深入,人类将更加全面地认识道路建设及道路系统的生态效应,并推动以生态作用特征为基础的道路分类体系的建立。

1.2.2 路旁带和其他工程结构

道路系统不仅仅指路基和路面,同时也包括两侧边坡、路旁绿化带等其他工程结构。路旁绿化带、道路边坡以及中央分割带和立交互通等,是道路生态工程的实施区域,其中路旁绿化和边坡绿化等,常常被纳入区域生态规划的总体设计。

在人口稠密、城市化程度高的地区,路旁绿化带不仅具有美化环境的功能,而且为居民提供散步、休闲场所,为动物提供栖息地的功能。例如我国城市化发展最快的珠江三角洲地区的深圳、广州等,路旁绿化的作用在城市整体规划中受到高度重视。《深圳城市总体规划(2006—2020)》中提出,铁路、高速公路以及一、二级城市干线道路两侧各建设不少于 30 m 的绿化带宽度,高速公路两侧绿化带宽度应不小于 50 m。如果以此为基本依据,深圳市将对主要交通干道做 30 m、60 m 两条缓冲带,对现有高速公路两侧分别做 50 m、100 m 的缓冲带。在内层缓冲带内改造除自然生态系统以外的所有建设用地、果园、耕地等人工生态系统类型,进行植树造林,两年进行清退形成未成林造林地,五年后形成疏林,十年后基本形成有林地。外层缓冲带只清退建设用地、果园、耕地,保留交通用地,同时也进行相同的植被恢复工程。交通线绿化廊道建成之后,城市土地的生态服务能力将有望提高 1.6%~2.9%。

在非城市地区,建设路旁绿化带也已经成为大多数道路建设中不可缺少的部分,其目的一方面在于道路的防风固沙、行车引导等;另一方面在于减少道路对生态系统和景观结构的影响。我国新建的各类道路普遍有绿化带设计和建设,即使是位于毛乌素沙地腹地的榆(林)靖(边)公路、穿过塔克拉玛干沙漠的新疆沙漠公路等,也在现代科学技术的支持下建设了多种类型的路旁绿化带。发达国家的路旁绿化带建设更加普遍,美国华盛顿州运输部报告指出:该州的公路里程共计 128 219 km,沿途有 40 000 hm^2 路旁绿化带。这相当于每公里公路伴随有 3.5 hm^2 的路旁绿化带。加州交通运输部表示,它维护的高等级公路与路旁绿化带的比例,约为每公里公路 4.2 hm^2 路旁绿化带。

虽然道路本身呈现为廊道景观特征,但交通发达地区的道路网占据着相当可观的土地面积,因而道路生态影响的广泛性和普遍性不容忽视。有研究表明,如果将铺设道路、路旁带和路中央分割带的面积均计算在内,美国公路网所占据的面积相当于南卡罗来纳州的面积,或美国土地面积总数的 1%,据估计,美国国土大约有 1/5 面积的生态环境直接受到公路网的影响(Forman, 2000)。

1.2.3 公路护栏

除了公路和路旁带，道路系统还包括许多工程结构：混凝土路障、护栏、声屏障、桥梁、涵洞、管道等。公路上隔离车道的护栏通常由混凝土建造，应用于高速公路和多车道高等级公路，主要用来阻挡迎面行驶汽车前灯发出的灯光。护栏以及用于封闭高速公路行车道的防护网对大多数野生动物的迁移造成巨大障碍。路面上来往的交通灯可能会使动物感到困惑或者迷失方向，由此引发较高的公路动物死亡率。

为了解决噪声污染问题，近年来在新建公路和改造现有公路时，在很多路段要求建设声屏障，其高度通常为 3~5 m，但有部分声屏障的高度达到 7 m。虽然声屏障并不构成连续不断的障碍，但如果考虑景观、降噪和生物保护等综合效应，采用高度大约为 2.5 m 的路基和路旁土堤则对生态系统具有良好的保护作用，不高于 2.5 m 的缓坡路基和土堤不仅更利于野生动物的穿行，也能够通过建造植被等营造更为赏心悦目的道路景观。

1.2.4 桥梁、涵洞及管道

公路桥梁包括公路网连通所需要的立交桥和跨越水体、沟壑以及其他障碍物的桥梁。设计和建造合理，具有 4 m 以上高度和较大跨度的桥梁通常能够满足动物的通行条件。此外，在最近几十年的道路建设中，专门为动物所建造的通行桥梁也受到了广泛认可，法国、加拿大、瑞典、美国等发达国家的公路，为动物通行建造的桥梁在很多地区获得应用。

隧道建设通常认为是对生态系统影响较小的工程，由于行车道穿越山体，对地表自然景观的破坏较少，也有利于动物通行。除此之外，道路排水设施常常形成直径为 60 cm 或更大路下通道。虽然排水设施及管道设计一般严格按照排水原理，但许多设施也可成为鱼类和野生动物迁移的通道。虽然在河流上为野生动物设计的特别通道不常见，但在设计公路时应该有所兼顾，为此需要深入研究公路附近哪些地方存在动物栖息地和跨物种活动区，并对动物的迁徙习性和生境条件选择进行观测和实验。

2 道路建设与生态问题研究进展

在道路生态学研究，公路生态影响以及路域生态保护研究最为广泛和深入。与其他运输类型相比，公路具有用途多和扩展性强的特点。一方面，公路路域范围内人类活动类型多样，载重运输、路边行走、沿途商业活动等均以不同方式影响着路域及其周边的生态系统；另一方面，公路系统扩展范围广泛。国家提倡的村村通公路，工程、林业、农业、旅游业和自然保护等方面修建的专门型公路等，使公路的延伸几乎无处不在。正是由于公路的这些特点，导致了与公路建设和公路运营相联系的生态问题，以及路域生态保护等方面的研究受到广泛关注。

2.1 问题的提出

道路生态问题的提出与道路本身的发展和变化紧密相关。20 世纪前期，交通运输主要依靠乡村便道和普通机动车道，它们对生态环境的影响相对较小，因此很少受到关注。20 世纪后期，公路，特别是高速公路的建设使得公路两旁出现人类聚居地，并由此产生一系列的生态问题。随着城市的扩张和交通运输系统的膨胀，生态系统受到越来越多的威胁（表 2.1）。目前各国的公路总长度约 $2 \times 10^7 \text{ km}$ ，约 80 个国家和地区修建了高速公路，建成通车的高速公路已达 $2 \times 10^5 \text{ km}$ ，其中美国、英国、德国、法国、意大利、日本、加拿大和澳大利亚这些主要经济发达国家公路里程约占世界公路总里程的 55%，高速公路里程占世界高速公路里程的 80% 以上。随着公路长度、密度的增加和公路等级的不断提高，各种各样与公路建设和运营相关的生态问题日益突出，影响范围愈来愈广，影响类型也迅速增多。与此同时，摆在公路生态保护领域的任务也愈来愈艰巨，公路生态保护和相关研究已经渗透到大气、土壤、水文、生物、人类健康等各个领域，成为涉及生态系统、景观、区域乃至全球多个尺度的重要问题。

表 2.1 道路发展历程及其生态问题演化

发展时段	主要类型	发展特点	主要生态问题	研究重点
19 世纪末以前	便道	乡村道路为主	引发地质灾害	路面设计的完善与改进
19 世纪末— 20 世纪 50 年代	普通公路	多为在原有乡村大道基础上改建与加铺路面而成；形成基本路网；公路条件逐步改善	影响野生动物活动；造成空气污染	道路安全与动物保护措施；空气污染防治
20 世纪 50— 80 年代	高速公路	各国高速公路和干线公路高速发展，基本形成了以高速公路为骨架的干线公路网	景观破坏，并影响相关生态系统	公路周围的环境及动物保护的公路设计
20 世纪 90 年代 至今	公路网络	较为发达完善的公路网络系统	加剧全球气候变化；深刻影响生态系统	道路生态影响及其评价；道路景观设计

改革开放以来，我国逐渐加大了对公路建设的力度，不仅公路建设的总里程在持续增长，而且公路技术水平和路面等级不断提高。在“十五”末，我国公路总里程数达到了 $1.92 \times 10^6 \text{ km}$ ，其中高速公路 $4.1 \times 10^4 \text{ km}$ ，公路总里程数已经跃居世界第二位；“十一五”规划末期，全国公路里程将达到 $230 \times 10^4 \text{ km}$ ，其中高速公路达到 $6.5 \times 10^4 \text{ km}$ ；到 2020 年，预计全国公路总里程达到 $(260 \sim 300) \times 10^4 \text{ km}$ ，高速公路总里程达到 $7 \times 10^4 \text{ km}$ 。近 20 年来，我国公路建设取得了长足的发展，但在传统的公路设计理念中很少融入生态环保思想。所以，当公路建设在带来经济效益的同时，对自然景观和生态系统的分割、干扰、破坏和污染等各种负面影响也在不断加深和扩大（李月辉等，2003；黄晓霞等，2004）。相关文献表明，目前公路路域存在的主要生态与环境问题，如水土流失、景观切割、土壤扰动、生物干扰、植被破坏、路域热岛、重金属污染等在我国均有所表现，甚至普遍存在（薛华清，2005；高民欢等，2005；何小武，2004；Simmons *et al.*，2007；Coffin，2007）。

2.2 道路生态学的国际研究进展

公路建设作为人类生存和发展必不可少的活动，对周围的环境产生直接或间接的影响，这些影响一般分为两大类：一类是对自然环境的破坏，如水土流失、植被破坏、物种减少、环境污染（如噪声、废水、废气和尘埃等），严重时引起生态平衡失调、气候异常等。另一类是对社会环境的影响，包括对沿线的社会结构、经济发展和文化环境产生影响。本书将着重研究公路建设对自然环境的影响。这些影响可概括为三类：直接影响、间接影响和累积影响。根据它们的性质又可以进一步细分为：正面和负面影响，随机和预知影响，局部和广布影响，暂时和永久影响，短期和长期影响

(Spaling 和 Smit, 1993)。直接影响是直接由公路建设引起的, 例如土地的占用、植被的砍伐和农田的分割等。间接影响(二级、三级和连锁影响)通常与工程项目紧密相连, 并可能对环境产生比直接影响更严重的后果。这种影响是很难估算的, 而且经过一段时间它所影响的环境地理区域要比预想的大。累积影响是公路建设的影响产生环境变化的累积过程, 它能够产生附加的、协同的影响, 从而破坏一个或几个生态系统的功能。缺乏战略水平上的评估使得对各个独立项目的影响的讨论成为必要, 但目前项目的设计通常主要针对区域或当地水平上的影响。

2.2.1 道路生态学的起源与发展

一个学科的形成时间往往很难清楚界定, 所谓的发现者只不过是“站在巨人的肩膀上”而已。因此, 通常所认为的 20 世纪 80 年代为道路生态学形成时间的观点, 实际上也是建立在以前的认知基础上的。事实上, 在此之前的研究和政府项目, 主要反映了个人兴趣、特定或者局部性的道路问题等。在 20 世纪 80 年代, 不仅这种趋势不断发展, 并且逐渐出现了一些多学科、多部门甚至多国家合作的综合性长期研究, 这些研究工作延续至今, 推动了道路生态学的发展。

2.2.2 国外研究中的焦点问题

目前国外有关公路建设对生态环境影响的研究可以归纳为以下几个方面:

(1) 对大气环境的影响。车辆运行排放大量有害气体, 一方面直接对人类和动植物健康产生不利影响, 另一方面公路修筑过程中的一些建材也通过加剧温室气体排放和改变地表热力学性质而改变局地气候, 从而影响到自然生态系统 (Forman, 2003)。此外, 公路的延伸还提高了边远区域的可通达性, 由此带来森林资源的砍伐 (特别是热带地区) 和草地资源的过度利用, 也间接加剧了全球气候变化。

(2) 对土壤的影响。公路建设改变了周围土壤的理化性质, 加剧了土壤的污染, 并引起其他的连锁生态危害。Lombaert 等 (2001) 的论文阐述了由于公路运输引起的震动对土壤分层的影响, 结果表明公路运输营区的震动频率由汽车特征、公路侧面和土壤分层所能容纳的波数决定。

(3) 对植被的影响。总结各国研究案例可以看出, 公路建设改造了道路两旁的原生自然植被和生境条件, 以及土壤、物种组成等。道路的开发将会导致大范围生物多样性的减少 (Tsunokawa 和 Hoban, 1997)。道路建设及车辆营运所产生的污染物和有害气体以浮尘、大气悬浮颗粒等方式, 或通过地表水和地下水等途径侵害路旁植物, 影响其生理活动, 改变物种组成, 造成植物体内的重金属含量偏高 (日本道路公团, 1993)。