

生态交通建设中的动物因素考虑*

王 硕 贾海峰**

(清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

摘 要 随着交通设施建设及运营过程中生态环境问题的出现,环境友好的“生态交通”逐渐成为许多国家道路交通建设的目标。铁路和公路等交通设施对动物群落的影响及相应的修复措施是生态交通建设研究中的重要部分。本文回顾了生态交通的产生背景及国内外研究和发展状况,分析了交通及交通设施对野生动物的影响,从道路事故、环境污染和生境阻隔等方面阐述了由此造成的动物群落数量、结构甚至习性的变化,同时,总结了减缓上述不利影响的工程措施及非工程措施,详述了运用最为广泛的动物通道的类型、位置及适用对象,提出了生态交通设计的基本原则和方法。

关键词 生态交通;动物;影响;动物通道

中图分类号 Q958.1 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2007)08-1291-06

Consideration of the wild animal factor in eco-transportation construction. WANG Shuo, JIA Hai-feng (Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China). *Chinese Journal of Ecology* 2007 26(8):1291-1296.

Abstract: With the increasing environmental problems brought by transportation facilities during their construction and operation, more and more attention has been paid by many countries on the construction of environmental friendly ecological transportation system. During this construction, the influence of transportation facilities on wild animal communities and relevant compensation measures are the research core. This paper reviewed the backgrounds of eco-transportation and its researches at home and abroad, analyzed the impacts, *e. g.*, road-kill accidents, environmental pollution, and habitat fragmentation of transportation and its facilities, on the quantity, structure, and habits of wild animal species, and summarized the engineering and non-engineering measures for mitigating these impacts, with the focus on the types, locations, and benefiting objects of animal pathways most extensively utilized today. The basic principles and practices of constructing eco-transportation were proposed.

Key words: eco-transportation; animal; impact; animal pathway.

1 引 言

地面交通运输体系是人口流动和经济发展不可或缺的保障和基础设施,对促进地区社会经济与文化发展起着十分重要的作用(章家恩和徐琪,1995)。随着铁路和公路建设及运营过程中生态环境问题的加剧,环境友好的“生态交通”逐渐成为许多国家交通建设的目标。其中,交通对动物群落的影响及相应的修复措施是生态交通建设研究中最受关注的核心部分。交通设施对动物影响的研究始于

20世纪60年代(李月辉等,2003)。随着高速公路的迅速发展,汽车与野生动物的碰撞事故不断产生,造成人员和动物的伤亡,甚至对一些濒危动物的种群维持构成了威胁;同时,动物栖息地的完整性、生态系统的结构和动物种群习性也受到了割裂。因此,美国、英国与荷兰等国开始研究铁路和公路带来的生态影响(Spellerberg,1998)。

美国是较早开展交通设施对野生动物影响研究的国家,并将研究成果用于高速公路建设中。目前在佛罗里达、科罗拉多等州的高速公路仍进行着长期的监测和影响评价(Barnum,2001;Transportation Research Board of the National Academies,2002),这些研究对当地动物种群、影响程度、减轻影响的措施

* 清华大学 985 基础研究基金资助项目。

** 通讯作者 E-mail: jhf@tsinghua.edu.cn

收稿日期:2006-11-13 接受日期:2007-05-06

及实施手段等进行了详尽的阐述。荷兰在高速公路建设中对动物生境影响进行补偿的研究十分深入,并在荷兰 A-50 高速公路上进行了长期的实施(Cuperus, 1999; Cuperus *et al.*, 2002a, 2002b)。

中国在生态交通建设方面处于起步阶段。2006年3月,云南省思茅到西双版纳傣族自治州小勐养高速公路通车,这是中国第一条生态高速公路;于2006年7月通车的青藏铁路在设计上也充分考虑到了生态影响,尤其是沿线动物保护区的维护。总体而言,中国生态交通相应的理论研究多集中在交通设施的环境污染问题上(黄锦辉等, 2002)。一些涉及交通设施对生态环境影响的文献则侧重对植被群落的影响和修复及相应的水土保持(孙乔宝和甄晓云, 2000; 邵胜文等, 2000)。同植物群落相比,动物群落的生境一旦被阻隔或破坏,将对动物的数量、结构甚至习性造成严重影响,且修复的难度往往更高、代价更大。如黄河、辽河三角洲国家级自然保护区的油田公路对丹顶鹤的栖息与繁殖造成了长期影响(万冬梅等, 2002)。由于许多影响的不可逆性(项卫东等, 2003),对穿越野生动物生境或自然保护区的铁路或公路而言,其设计和建设就更需要慎重和周全的考虑。本文通过分析交通及交通设施对野生动物的影响,提出了应对的工程措施及非工程措施,总结了生态交通设计的基本原则,以期为中国生态交通的建设提供思路 and 参考。

2 公路交通对野生动物的影响

2.1 交通事故

高速行驶的车辆与动物碰撞造成的动物伤亡是道路对动物最直接的影响。根据监测结果的推断:年平均交通死亡动物的数量,荷兰的哺乳动物约15.9万只和鸟类65.3万只,保加利亚鸟类约700万只,澳大利亚两栖及爬行类动物约500万只。美国作为世界上公路交通最发达的国家,每天死于此类事故的脊椎动物达到100万只(Forman & Alexander, 1998)。在过去的30年中,道路交通事故逐渐超越了捕猎,成为人类因素造成动物死亡的首要原因。

巨大的死亡数量对公路沿线地区的生态平衡带来巨大的威胁,甚至牵连到一些濒危物种。佛罗里达州黑豹在1991年之前每年约10%死于交通事故(Forman & Alexander, 1998),对维持单一种群遗传的多样性十分不利。更为灾难性的是,1978—1994年有20头美洲狮死于道路交通,占当时美洲狮总数

的约1/4,如此高比例的非自然死亡率对于濒危动物的种群保护和维持而言造成了巨大的压力。

此外,这类交通事故对人身安全的威胁尤其不能忽视。由于机动车碰撞的对象可能为较大型的哺乳动物,对高速公路上的乘客来说,这种碰撞足以造成伤亡(Melquist, 2005)。报告显示,20世纪90年代的10年间美国共有1353人因此死亡,共涉及1270次事故和1536辆机动车,据估算经济损失超过10亿美元(Khattack, 2002)。因此,设法减少此类道路事故,对动物保护甚至人身安全而言均意义重大。

2.2 环境污染

环境污染问题是交通设施建设和运营对动物生境影响的重要方面(朱昱等, 2003),主要包括空气、水、光、噪声等方面的污染,以及建设导致的外来物种入侵(Seabrook & Dettmann, 1996)。环境污染除了可能大幅改变植被的数量和分布,从而间接影响动物的食物链以外,其直接后果是造成了动物的“避让”现象,即在铁路和公路两旁一定距离内动物数量分布非常低(Transportation Research Board of the National Academies, 2002)。

空气和水及光污染在一定程度上促成了动物的避让行为,但噪声污染则是影响最大的因素。如项卫东等(2003)在铜黄高速公路的生态影响评价中提出,运营期内的噪声会影响云豹等食肉动物的正常活动。Reijnen等(1996)研究表明,荷兰60%的鸟类在高速公路附近呈现较低的密度,平均大约减少了1/3。李月辉等(2003)研究也表明,类似的“避让”现象在山猫、狼及灰熊等大型脊椎动物种群中普遍存在。

2.3 生境阻隔及破碎化

所有的交通设施都在某种程度上成为动物活动的阻隔,这种阻隔扩大到网状就构成了动物栖息地的破碎化。对美国35个州的调查结果表明,有30个州都报告高速公路穿越野生动物活动廊道的现象,并构成了生境的碎裂。生境破碎化的程度主要取决于交通密度(Fahrig *et al.*, 1996),道路及沿路的建设工程将栖息地分裂成越来越小的区域,影响了动物诸如捕食、交配及筑巢等方面的行为活动(万冬梅等, 2002)。

生境破碎化的直接后果是带来了动物数量的异变,原本稳定持续的动物种群被分割成小而孤立的动物种群时(Forman & Alexander, 1998),小块区域

的动物数量通常较大块区域更加容易波动,并因此可能彻底消失。不仅如此,高速公路的阻隔作用还影响了动物的迁移。同时许多种群如狼、灰熊和羚羊等,都不愿或尽量避免穿越公路以完成交配行为(Forman & Alexander 1998)。中国东北辽河的油田公路也对当地丹顶鹤的栖息与繁殖造成了影响(万冬梅等 2002)。因此,生境的阻隔和破碎化不仅加速了动物数量在空间分布上的不均衡,而且将对当地动物遗传的多样性造成很大影响。

2.4 生态影响

对生物多样性的影响是各方面影响综合作用的结果。生态系统中一种组成部分改变(无论是生物还是非生物)都将对其它产生影响和变化。上述各类影响都对原有栖息地的种群数量及分布进行了重组,因而营造出新的生态格局。

值得注意的是,随着某条交通线路介入自然生态系统,某一生境地区的生物多样化可能因此被削弱,但也存在更加丰富的可能。如果原有生态系统就较为高级,则交通建设很可能带来负面影响。而如果原有系统属于低等级生物系统,通过建设的干扰作用和外来物种的侵入,有可能在多样化方面有所增强。但是,此类物种的丰富也同样将破坏原有的生态结构。由于生物入侵的后果通常难以预料,因此,将影响降至较低的水平,以维护地区性原有生态面貌,仍然是需要优先考虑的问题。

3 野生动物保护的生态交通措施

3.1 围栏设置

设置围栏是将动物与铁路和公路隔开的常见方法(图 1)。美国有 28 个州用围栏保护野生动物,加拿大国家公路 Banff 公园段使用围栏后,有蹄动物与机动车碰撞的事故减少了 80%。围栏根据尺寸的不同,保护对象包括哺乳、两栖、爬行类等各类动物,具体的种群包括常见的狐狸、鹿到珍稀的灰熊等(Clevenger *et al.* 2001)。

围栏在保护动物安全的同时会带来严重的生境阻隔和碎化的影响。各区域的连通性被打破,较小块生境区的动物群落有可能就此衰落或消失。为了维持动物群落间的联系,各种动物通道的设置是广为采用的有效方法。

3.2 动物通道

3.2.1 上通道 如图 2 所示,野生动物上通道是在铁路或公路通过的地区,在线路上方 2 侧树林间,修



图 1 欧洲地区为小型爬行动物和两栖动物设置的电镀金属围栏
Fig. 1 Galvanized steel barrier with lip used for reptiles and amphibians in Europe



图 2 加拿大国家公路 Banff 国家公园内上通道
Fig. 2 Surpass of Banff National Park along Trans-Canada Highways

建一个专为动物通过的小桥。上通道主要在欧洲的交通设计中广泛使用,一般作为鹿群、豹类等大型动物的通道。美国的一些州也逐渐开始采纳这种设计,至 1998 年有包括佛罗里达在内的 6 个州级公路建立了上通道。

3.2.2 下通道 下通道(包括无水涵洞)是在铁路或公路下方设计较宽阔的通路或小型的干燥管道供动物穿越公路使用。这种形式应用十分广泛,在丘陵地区尤为如此。美国有 23 个州在高速公路建设中设立下通道或无水涵洞(图 3 和图 4),观测到使用这些通道的动物包括陆地龟类、蜥蜴、鹿类、狼及黑熊等。从小型哺乳动物、两栖类动物到爬行动物,甚至大型哺乳动物均可受益。

3.2.3 涉水涵洞 常见的涉水涵洞分为 2 种:一种是陆地上为两栖动物和小型爬行动物设置的排水涵洞;另一种是河流或溪流上为鱼类等水生动物设置的大桥及桥洞(Jackson & Griffin 2000)。图 5 为大马哈鱼洄游所设置的涉水涵洞。



图 3 蒙大拿国家冰川公园 2#高速公路为山羊设计的下通道
Fig. 3 Underpass bridge for goats on Highway 2 near Glacier National Park , Montana



图 4 加利福尼亚 58#公路为沙漠龟设计的涵洞
Fig. 4 Pipe culvert for desert tortoise on Highway 58 in California



图 5 瑞士 Chapparel 公路 Pervical 地区涉水涵洞
Fig. 5 Stream culvert in Pervical ,Chapparel Highway in Switzerland

排水涵洞通常在陆地上设置 ,适用于铁路或公路横向穿越湿地 ,尤其是沼泽类的湿地地带 ,或雨季中有可能被雨水或洪水淹没的区域。鱼类和两栖类动物可在雨季来临时利用通道 ,而爬行类和小型哺乳类动物则在干旱时将此类涵洞作为通道使用。此类涵洞的规格与外观与无水涵洞一致。

桥及桥洞则位于水路上方设置 ,主要用于为鱼类提供通道。值得注意的是 ,由于种类的多样化 ,鱼类的个体大小和生物学特性差异很大。因此 ,通道

的形状、水流的速度以及鱼的游动喜好都应在通道设计的考虑范围之内。例如除常见的平直式涵洞和桥洞外 ,鱼类通道还经常被设计为阶梯式或迂回式 ,并辅以铺陈鹅卵石或制造人工瀑布等手段 ,以适应鱼类的习性和需要(Washington Department of Fish and Wildlife ,1999)。

3. 2. 4 高架桥 高架桥为穿越区所有种群的自由移动提供了根本性的解决方法。铁路或公路的主干道被架高使得生境不再被阻隔或碎化 ,因此与其它措施相比 ,高架桥对生态环境的影响相对较低 ;且由于动物不需要穿越公路 ,就从根本上杜绝了碰撞事故的发生。



图 6 斯洛文尼亚“ 卢布尔雅那-的里雅斯特高速公路 ”高架桥
Fig. 6 Viaduct on the Ljubljana-Trieste Highway in Slovenia

高架桥通常用于山区 ,在美国和欧洲的交通设计中非常常见(图 6)。但是 ,目前各国建造高架桥更多是出于交通需要和建筑美观的考虑 ,而非如何使得野生动物获益——根据 2002 年的一份报告 ,美国没有一个州表示将动物群落的连通性作为建立高架桥的考虑之一(Transportation Research Board of the National Academies 2002)。此外 ,高昂的建设费用也成为高架桥难以得到推广的重要原因。但是 ,高架桥带来的附属生态收益使得各国越来越重视和考虑这一设施的使用 ,近年来欧洲一些国家已经开始针对野生动物保护的考虑来设计和建造高架桥。

3. 3 非工程措施

3. 3. 1 警示标示 在高速公路沿线野生动物出没频繁的地区设置警示标志是最常用的避免碰撞的措施。美国许多州均设立了鹿群警示标志 ,澳大利亚的警示标志(图 7)也非常普遍。警示标志通常包括常出没的动物种类和分布状况 ,还可能包括区段内暂时性的限速(图 8)。



图7 澳大利亚 Victoria 地区动物警示标志
Fig.7 Warning sign in Victoria , Australia



图8 瑞士国家公路动物警示标志
Fig.8 Warning sign in Swiss National Highway

3.3.2 运营设计 高速公路的运营模式的设计对动物群落也有直接的影响,如固有道路宽度、运输强度和机动车速度有可能影响事故率(Jackson & Griffin 2000),在高速公路的设计中应对此给予特别的重视。两栖动物和爬行动物对同向双车道和中等的运输强度十分敏感,而大型和中型的哺乳动物则容易受到同向双车道及高速运输共同作用的影响(Forman & Alexander, 1998)。此外,车流量及高速公路所穿越的土地类型(如林地、草地等)会影响上述的“避让”行为,高速公路周围动物躲避公路的远近程度(即“影响距离”)从而产生差异。因此,根据公路穿越的地形和动物群落分布特性进行包括车道、流量、限速等方面的公路设计,是减少碰撞事故和动物避让行为的有效手段。

4 生态交通设计原则

在生态交通的设计和建设过程中,充分考虑和重视对动物的保护是减缓生态影响的最根本保证。

这需要设计者、政府及投资方共同认识到问题的重要性,并愿意为其改善付出努力。在考虑动物因素的生态交通建设中,应充分考虑以下几方面的原则。

1)明确权重。交通工程的设计过程中,许多建设方案都需要在考察其生态环境影响的重要程度基础上,综合考虑经济、技术等因素进行决策。这就需要在工程方案设计过程中,根据工程的重要性和定位,以及生态环境的重要性,明确社会、经济、生态等各种因素的权重。在某些情况下,一些权重较低的影响将可能被忽略,如何取舍则需要决策者对生态问题的关注和考虑,以及设计者客观而敏锐的分析。例如,在选线的过程中应尽量避免穿越动物聚居密集区,但绕行又将增加预算,此时投资者对环境保护和资金投入的偏重将直接影响高速公路的设计;又如,考虑减小机动车与动物相撞的事故率,常见手段是建立围栏以减少动物的死亡量,但围栏的建立加重了生境碎裂的程度,较小面积的生态系统有可能因此被摧毁。因此,公路设计的过程中,权重分析和方案取舍将贯穿始终。

2)因地制宜。动物通道是减少交通对动物群落影响的主要措施,在动物通道的设置中,应贯彻因地制宜的原则。生物的分布随着地理、地质及气候等条件的不同差异巨大,其生态形态则更为复杂。在适当的位置设计效率最高的动物通道,需要长期的实地观察和研究为基础。目前,3S等技术(Shen *et al.* 2004)已被广泛利用在包括青藏铁路建设在内的各种交通路线设计中。通过对沿线的自然条件及生态系统进行详尽的调查,包括交通设施沿途的动物群落、动物生活迁徙习性及其繁殖习性、常见的动物自然廊道等,为有针对性地建设动物廊道等提供翔实的调查样本。特别地,当交通路线不得不穿越自然保护区或受保护动物的栖息地时,还需特别关注物种的濒危程度和保护等级要求,并有针对性地为受保护种群提供最大限度的栖息便利。

3)多种措施并行。交通运营量、路面状况和材质等因素也对动物的穿越和习性产生影响。因此在设计和建设上也需要对此进行充分研究,并在可能的情况下随运营的状况进行调整。此外,公众宣传也是动物保护、乃至公众自身保护的重要一环。适当的宣传能够使驾驶者进入动物出没频繁地区时提高警惕,而明显的警示标志则进一步减少了事故发生的可能。因此,工程与非工程措施的结合将更有助于将交通带来的负面影响降至最低。

5 结 语

生态交通是未来交通建设的趋势,而动物因素的考虑是生态交通的核心部分。交通对动物群落的影响主要包括3方面:1)动物与车辆碰撞的交通事故;2)建设和运营带来的环境污染;3)铁路和公路对动物栖息环境的阻隔效应。这3类影响共同导致了交通对沿线地区动物生态系统的破坏。

基于以上考虑,在交通设施建设的时候应充分考虑沿线的动物种类、数量及习性,因地制宜地提出解决方案。常用的工程包括围栏和动物通道的设置,前者将动物与交通路线隔开以避免交通事故的发生,后者能够辅助动物安全通过,并同时维持区域间的连通性。

此外,一些针对高速公路的非工程措施也有利于减缓其不利影响。在重要路段设置警示路牌可以提醒机动车驾驶人注意动物的出没,车道数量和运营量也会对影响动物群落的分布及事故的发生率。因此,经过长期的观测数据分析后制定公路运营水平也是重要的非工程措施。

在实际设计和建设中,应根据不同区域的具体情况明确各种因素的权重,因地制宜地提出动物通道的设置方案。同时将工程与非工程措施结合,通过宣传等手段引起公众重视,将更有利于减少交通对生态环境造成的不利影响。

参考文献

- 黄锦辉,李群,刘晓丽. 2002. 河南周口至省界段高速公路建设对生态环境的影响. *生态学杂志*, **21**(1): 74-79.
- 李月辉,胡远满,李秀珍,等. 2003. 道路生态研究进展. *应用生态学报*, **14**(3): 447-452.
- 孙乔宝,甄晓云. 2000. 高速公路建设对生态环境的影响及恢复. *昆明理工大学学报*, **25**(2): 68-71.
- 万冬梅,高玮,王秋雨,等. 2002. 生境破碎化对丹顶鹤巢位选择的影响. *应用生态学报*, **13**(5): 581-584.
- 项卫东,郭建,魏勇,等. 2003. 高速公路建设对区域生物多样性影响的评价. *南京林业大学学报*, **27**(6): 42-46.
- 章家恩,徐琪. 1995. 道路的生态学影响及其生态建设. *生态学杂志*, **14**(6): 74-77.
- 朱罡,程胜高,余伟. 2003. 建设“生态高速公路”的方法初探. *环境保护*, (6): 31-34.
- 邹胜文. 2000. 高等级公路边坡生物防护方式浅析. *公路*, (4): 50-52.
- Barnum S. 2001. Preliminary analysis of locations where wildlife crosses highways in the Southern Rocky Mountains// Irwin CL, Garrett P, McDermott KP, eds. *Proceedings of the 2001 International Conference on Ecology and Transporta-*

- tion*. Raleigh: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University: 565-573.
- Clevenger AP, Chruszcz F, Gunson KE. 2001. Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin*, **29**: 646-653.
- Cuperus C. 1999. Guidelines for ecological compensation associated with highways. *Biological Conservation*, **90**: 41-51.
- Cuperus R, Kalsbeek M, De Haes HA, et al. 2002a. Preparation and implementation of seven ecological compensation plans for Dutch highways. *Environmental Management*, **29**: 736-740.
- Cuperus R, Thoolen S, van de Wolfshaar HJ, et al. 2002b. Compensating for ecological impacts of road development: Seven years' experience with Highway A50. *Milieu*, **17**: 97-109.
- Fahrig L, Pedlar JH, Pope SE, et al. 1995. Effect of road traffic on amphibian density. *Biological Conservation*, **73**: 177-182.
- Forman RTT, Alexander LE. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **29**: 207-231.
- Jackson SD, Griffin CR. 2000. A strategy for mitigating highway impacts on wildlife// Messmer TA, West B, eds. *Wildlife and Highways: Seeking Solutions to an Ecological and Socio-economic Dilemma*. The Wildlife Society: 143-159.
- Khattak AJ. 2002. Human fatalities in animal-related highway crashes[EB/OL]. [2006-10-15]. http://www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-000187.pdf.
- Melquist WE. 2005. Biological evaluation on the potential impacts of corridor alternatives from Thorncreek road to Moscow on large ungulates[EB/OL]. [2006-09-26]. <http://www.northwestmedia.net/us95/pdf-final/Final-Ungulate.pdf>.
- Reijnen R, Foppen R, Meeuwse H. 1996. The effects of traffic on the density of breeding birds in Dutch agricultural grasslands. *Biological Conservation*, **75**: 255-260.
- Seabrook W, Dettmann E. 1996. Roads as activity corridors for cane toads in Australia. *Journal of Wildlife Management*, **60**: 363-368.
- Shen WS, Zhang H, Zou CX, et al. 2004. Approaches to prediction of impact of Qinghai-Tibet railway construction on alpine ecosystems alongside and its recovery. *Chinese Science Bulletin*, **49**: 834-841.
- Spellerberg IF. 1998. Ecological effects of roads and traffic: A literature review. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **7**: 317-333.
- Transportation Research Board of the National Academies. 2002. Interaction between roadways and wildlife ecology[EB/OL]. [2006-09-12]. <http://www.americantrails.org/resources/wildlife/docs/roadwaywildlifeinteract.pdf>.
- Washington Department of Fish and Wildlife. 1999. Fish passage design at road culverts[EB/OL]. [2007-04-03]. <http://www.wsdot.wa.gov/TA/T2Center/FishPassage.pdf>.

作者简介 王硕,男,1982年生,硕士研究生。主要从事生态环境规划与系统分析研究。E-mail: wangshuo00@mails.tsinghua.edu.cn

责任编辑 刘丽娟

