

陆生野生动物通道设计方法

李玉强¹ 邢韶华¹ 刘生强² 罗爱东³ 崔国发¹

(1 北京林业大学自然保护区学院 2 云南省勐腊县西双版纳国家级自然保护区勐腊管理所

3 云南省景洪市西双版纳国家级自然保护区科研所)

摘要:野生动物通道是缓解由铁路、公路等引起的野生动物生境破碎化的有效措施之一。本文介绍了野生动物通道的定义和适用目标,提出了野生动物通道的设计原则、依据,以及野生动物通道的位置、数量、形式、宽度、高度、地面基质和开口处环境的设置要求;以云南思小高速公路野生动物通道为例,分析了2005年9月至2008年5月间亚洲象对通道的利用情况。结果表明:亚洲象对通道的利用率仅为40%;“通道位置是否与活动路线重合”是亚洲象对通道选择的决定性因素。建议在通道建设完成后进行持续的野生动物利用情况监测,以评估通道的有效性,进而进行有针对性的改造设计,直到野生动物通道利用效果良好。

关键词:陆生野生动物;动物通道;设计方法

中图分类号:S718.65; S759.9; Q958.1 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2013)06-0137-07

LI Yu-qiang¹; XING Shao-hua¹; LIU Sheng-qiang²; LUO Ai-dong³; CUI Guo-fa¹. **Designing method of terrestrial wildlife path.** *Journal of Beijing Forestry University*(2013)35(6)137-143 [Ch, 40 ref.]

1 College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 Mengla Management Institute of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan, 666300, P. R. China;

3 Research Institute of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan, 666100, P. R. China.

Wildlife path is one of the most effective ways to slow down the fragmentation of wildlife habitat, which was caused by the rapid development of railway and road. The concept, application objects, design principles, design basis of wildlife path were established, the design requirements of wildlife path parameters (such as location, quantity, form, width, height, ground matrix and environment of the openings) were given. Taken Sixiao Highway Wildlife Path of Yunnan as example, the ratio of Asian elephant path utilization between September 2005 to May 2008 was only 40%, and “the matching degree of path location and the migration routes” was the decisive factor for Asian elephants. In order to evaluate the effectiveness and ensure the long-term viability of the wildlife path, an uninterrupted monitoring and the reconstruction design with pertinence are advised.

Key words terrestrial wildlife; wildlife path; design method

铁路、公路是人口流动和经济发展不可或缺的保障和基础设施,但铁路、公路的迅速发展也带来了生境破碎化、野生动物死亡等问题^[1-2]。道路的修建会对很多陆生野生动物的活动区域、迁徙路径、觅食范围等产生一定的阻隔,导致野生动物生境破

碎化,进而使原本稳定持续的野生动物种群可能彻底消失^[3-5]。在过去的30年中,汽车与野生动物的碰撞造成的动物伤亡,逐渐超过了捕猎,已对一些濒危动物的种群维持构成了严重威胁^[6-8]。交通设施建设和运营过程造成的动物“避让”现象,导致在铁

收稿日期:2012-12-15 修回日期:2013-05-14

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104029)、“十一五”国家科技支撑计划项目(2008BADBOB01)。

第一作者:李玉强,博士生。主要研究方向:自然保护区规划。Email: lyqny@163.com 地址:100083北京市清华东路35号北京林业大学159信箱。

责任作者:崔国发,教授,博士生导师。主要研究方向:自然保护区建设与管理。Email: fa6716@163.com 地址:同上。

本刊网址:<http://journal.bjfu.edu.cn>

路和公路两旁一定距离内动物数量明显降低^[9-11]。以上问题对穿越野生动物生境或自然保护区的铁路和公路提出了更高的设计要求^[12],建设野生动物通道被认为是解决这些问题的有效措施之一^[1]。

20世纪50、60年代,欧洲就开始关注公路和铁路对野生动物种群的影响及相应的缓解措施^[2]。20世纪70年代,美国、加拿大等国制定了相关的法规和政策把环境影响评价和野生动物通道设计纳入常规的高速公路和穿越国家公园的道路的建设中^[13-14]。进入21世纪,我国道路建设和环保部门也开始关注野生动物通道。2004年12月通车的河南驻马店—信阳高速公路,穿越了董寨国家级自然保护区,是国内首次专门设置野生动物通道的高速公路^[15];2006年4月通车的云南思茅—小勐养高速公路,在穿越西双版纳国家级自然保护区时为亚洲象(*Elephas maximus*)等野生动物设计了通道^[16];2006年7月通车的青藏铁路在穿越青海可可西里国家级自然保护区时预留了藏羚羊(*Pantholops hodgsoni*)通道^[17-19];此外,2007年9月通车的陕西户县—洋县高速公路穿越秦岭时预留了野生动物通道^[20],2010年12月通车的韶赣高速公路为沿线两栖爬行类动物预留了野生动物通道^[21-22],2012年11月通车的哈密至罗布泊铁路穿越新疆罗布泊国家级自然保护区时为野骆驼(*Camelus bactrianus*)预留了通道^[23]。2012年7月1日起实施的《陆生野生动物廊道设计技术规程》是我国首部针对野生动物通道设计的法规。与国外相比,我国野生动物通道的相关研究与实践还处于起步阶段,相关法规和政策亟需完善^[16]。

1 野生动物通道的定义和适用目标

1.1 定义

野生动物通道(wildlife path)是为了保证野生动物能够穿越铁路、公路等建筑物而建造或保留的通道^[19],适用于在野生动物重要生境和迁移扩散路线上新建铁路、公路等,也适用于对野生动物重要生境和迁移扩散路线上已经建好的铁路、公路等进行改造。

1.2 适用目标

野生动物通道设计前需要明确适用的目标物种。目标物种指拟设置野生动物通道的主要物种及其伴生物种,尤其适用于区域内的保护动物和关键动物。其中,保护动物是指国家重点保护、地方重点保护的野生动物,世界自然保护联盟《物种红色名录》(The IUCN Red List)中列为极危(critically endangered)、濒危(endangered)和易危(vulnerable)

的野生动物,以及《濒危野生动植物物种国际贸易公约》(CITES)附录一(Appendix I) 和附录二(Appendix II) 中的野生动物;关键动物则是指生态系统中,对维护生态平衡和生物多样性起着关键作用的野生动物^[24]。

2 野生动物通道的设计原则和依据

2.1 设计原则

2.1.1 可行性

应针对目标物种特性设计专门类型的野生动物通道。在确保通道的长期安全性和持久稳定性的前提下,应充分考虑经济上和技术上的可行性。

2.1.2 科学性

应按照目标物种的生物学、生态学和行为学特性以及生境特征等因素,通过野外调查或模拟试验等方法,确定野生动物通道的位置及各项参数。在评估通道使用效率时,必须考虑构筑物对种群和生物多样性的累计影响和滞影响^[25]。

2.1.3 协调性

野生动物通道的形式、体量和颜色等应保持与自然景观的协调。基于总体景观格局和能够创造有效的景观连接的通道位置才是能发挥长期效应的最佳选择^[25]。

2.2 设计依据

在进行野生动物通道设计前,需要收集尽可能全面的基础数据作为设计依据,主要包括拟建通道区域的基础资料和目标物种资料。

2.2.1 基础资料

基础资料有助于了解拟建野生动物通道区域及周边地区的本底情况。其主要包括:1)自然环境资料。主要包括地质地貌资料、土壤、气候、水系及水文、地质灾害等。2)社会经济资料。主要包括人口、产业和经济状况、土地利用状况与土地权属、矿产资源开发与利用、基础设施、社区生活配套设施等。3)植被和野生动植物资料。植被资料指拟建野生动物通道区域及周边地区的植被类型、面积、分布等;野生动植物资料则是指拟建野生动物通道区域及周边地区的野生动植物种类,珍稀濒危野生动植物种类、数量、分布等。

2.2.2 目标物种资料

目标物种资料是设计一个连通、高效的野生动物通道的关键依据,决定着通道的形式、设计规格以及建设规模,主要包括调查范围,目标物种的活动规律、生境状况、野生动物伤亡情况以及对已有桥涵的利用情况等。

1) 调查范围。设置野生动物通道时应调查铁

路、公路等建筑物的直接影响区。调查范围一般不小于构筑物两侧各 1 km。当项目的建设区域附近有高陡山坡、峭壁、湍急河流、湖泊等天然隔离地貌时, 调查范围宜取这些隔离地貌为界; 省级及以上自然保护区边界距建筑物和构筑物中心线不足 5 km 时, 应将调查范围扩大至自然保护区边界; 对于受工程建设直接影响的天然植被, 应以其植物群落的完整性为基准确定调查范围^[26-27]。

2) 活动规律。应调查不同季节野生动物在拟建野生动物通道区域及其附近区域出现的地点和频度^[28], 结合现有的目标物种研究成果, 分析野生动物的迁移规律, 明确迁移路线以及潜在的可利用路线, 并按目标物种的利用频度将活动路线分为 3 级: 一级, 主要活动路线, 目标物种一年中多次利用; 二级, 一般活动路线, 目标物种每年(或隔年)利用一次; 三级, 非活动路线, 目标物种几乎不利用。

3) 生境分布状况。调查评价拟建野生动物通道区域的生境质量, 以及目标物种对不同类型生境的利用方式、利用的时间和季节等^[28], 并对生境适宜性按停留时间和利用方式分为 3 级: 一级, 最适宜生境, 地形、植被等条件适合目标物种长时间停留、重复利用, 多作为夜宿地、繁殖地等; 二级, 适宜生境, 目标物种短暂停留或临时栖息; 三级, 不适宜生境, 不适宜目标物种的生存和生活。

4) 食物分布状况。根据植被图和主要食物的分布, 分析食物的丰富程度和分布特征, 并对食物的分布状况按丰富程度分为 3 级: 一级, 主要取食区域, 目标物种的主要取食密集分布, 也包含人工设置的食物源基地和投食场; 二级, 一般取食区域, 目标物种的主要取食随机散布; 三级, 非取食区域, 目标物种的主要取食零星分布。

5) 伤亡或肇事情况。在已建铁路、公路等建筑物上修建野生动物通道时, 应采用样线法调查其造成的野生动物伤亡或肇事情况, 并按调查中目标物种伤亡个体的数量或肇事的频度分为 3 级: 一级, 严重区域, 目标物种伤亡个体多、个体间距近或一年中多次肇事; 二级, 一般区域, 目标物种伤亡个体少、个体间距远或每年(或隔年)肇事一次; 三级, 不严重区域, 目标物种个体没有伤亡或没有出现肇事的情况。

6) 对已有桥涵的利用情况。对已建成的铁路、公路等建筑物, 还应调查野生动物对已有桥涵的利用状况。被野生动物利用的已有桥涵应划入野生动物通道, 其他未予利用的桥涵应进行相应的改造, 以满足野生动物通行的需要。

3 野生动物通道的设计

Clevenger 等^[29] 和 Norris 等^[30] 认为通道的结构、通道周围的环境特征以及人类的活动都会影响到野生动物对通道的利用程度。夏霖等^[5] 对青海可可西里国家级自然保护区内野生动物通道使用情况做了初步评价, 发现人类活动是影响一些通道使用的主要原因。藏羚羊多在平坦开阔的地带活动, 黑暗窄小的通道会对其造成压力和恐惧感, 且不适合大群动物通过, 因此一些小桥和涵洞的使用率比较低^[18-19]。一般而言, 人工建设的动物通道需几年后才能被野生动物适应^[31]。因此, 野生动物通道设计时需要考虑通道的位置、数量、形式、宽度、高度、地面基质及开口处的环境等因素^[23,32]。

3.1 通道位置

根据野生动物活动路线、生境适宜性、食物丰富程度及野生动物伤亡情况, 应在满足下列条件之一的地段设置野生动物通道: 1) 处于野生动物一级、二级活动路线的地段; 2) 生境适宜性等级为一级、二级的地段; 3) 食物丰富程度为一级的地段; 4) 野生动物伤亡或肇事情况为一级、二级的地段。

3.2 通道数量

通道的数量应根据目标物种的数量和迁移能力, 以及建筑物的隔断性等因素确定。在经济和社会条件允许的状况下, 应尽可能在符合设置野生动物通道条件的地段都建设通道。如果已有桥涵处于应设置野生动物通道的地段, 且目标物种利用率较高, 应予以利用。

3.3 通道形式

通道的形式应根据目标物种的种类以及建筑物类型确定, 可采取以下形式。

3.3.1 天桥

在铁路、公路等建筑物的上方修建跨越式的桥, 作为野生动物的通道(图 1a、b)。一般适用于山地动物和喜开阔环境的动物。

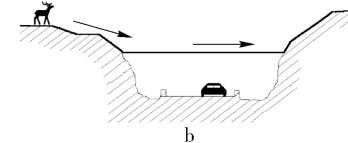
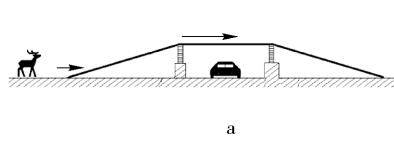


图 1 天桥示意图

Fig. 1 Sketch map of overpass

应根据目标物种的行为学特点确定天桥的坡度,桥面应模仿附近同质植被覆土种植,边缘应密植与天桥两侧同质的植被,必要时边缘还应设置栏杆、防护网。

3.3.2 高架桥下通道

在草原、草甸、湿地以及深山区修建铁路、公路等建筑物时,可设置高架桥,其桥洞作为野生动物穿越的通道(图2)。一般适用于平地及河滩等平缓环境活动的动物。

桥梁的结构应保证野生动物视觉贯通;对于易受惊扰的野生动物,必要时在临近野生动物通道的



图2 高架桥下通道示意图

Fig. 2 Sketch map of routeway under viaduct

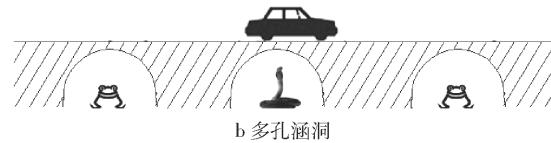
道路和桥梁两侧应采取隔音措施。

3.3.3 涵 洞

涵洞分无水涵洞和排水涵洞两种,多采取金属涵管或混凝土箱涵形式,一般适用于夜行性动物以及两栖类和爬行类动物(图3)。



a 单孔涵洞



b 多孔涵洞

图3 涵洞示意图

Fig. 3 Sketch map of hole culvert

无水涵洞是在铁路、公路等建筑物下方修建的供野生动物穿越使用的桥洞或干燥管道;排水涵洞适用于铁路和公路穿越湿地,或雨季用于排水的区域。

如果目标物种主要是两栖类动物,应保障通道内有常流水;如果目标物种主要是爬行类动物,应在通道中架设悬空的可供攀爬的结构。

3.3.4 其他辅助设施

在通道入口附近,设置围栏、围墙、挡板或单向门等辅助设施,也可采用食物或其他引诱物吸引动物熟悉和接近通道,使动物习惯人工通道。在临近野生动物通道的路段,应设置限速、禁止鸣笛、灯光控制等方面的标志牌。

3.4 通道宽度

根据目标物种的种群数量和行为特征,以及道路等级、设计车速等因素,或通过野外实验的方法确定通道的宽度。

3.5 通道高度

根据目标物种的生态生物学和行为学特性,以及穿越的建筑物的宽度和深度确定通道的高度。若在有草原围栏的地段,应根据目标物种的跳跃能力确定围栏的高度,确保目标物种的幼年个体也能跃过。

3.6 通道地面基质

构建通道地面的材料宜就地取材,使通道铺面基质与建筑物两侧生境的基质基本一致。一些研究表明,许多动物喜欢自然地面内的环境,但也有一些动物会喜欢由混凝土制造的地下通道或金属通道^[31]。对于高架桥下通道和排水涵洞,在洪水来临

之前通道内部应有不被水淹的部分作为通道的联系^[32]。

3.7 通道周围环境

通道开口处的植被应与周围生境的天然植被一致,尽可能采用当地物种模拟自然植被的绿化方式,使通道两侧连接自然顺畅,动物就会不自觉地走进通道。若动物依然横穿铁路和公路,不按预设通道活动时,应在铁路和公路两边设立护栏,以防野生动物上路发生交通事故^[21,23]。同时,设置能使从边坡等高处跌落下来的小动物逃脱的水、旱小路和供鸟类及其他小动物栖息的侧沟等^[18]。通道设施的尺度、噪声、温度、光线和湿度等要素可能对某些动物非常重要而又可能与某些动物完全不相干,具体设计中必须根据目标物种的生态生物学和行为学特性确定通道周围的环境营造形式。

4 野生动物通道案例分析

4.1 云南思小高速公路的设计

思小高速公路于2006年4月6日建成通车试运行,纵穿西双版纳国家级自然保护区勐养子保护区,将保护区分为东西两个片区,整个勐养保护区内分布着大约100~120头亚洲象。设计方案本着“将思小高速公路的修建控制在对保护区影响程度最小”的原则,将公路在保护区内的走向最大程度地与老213国道重合。在对勐养保护区内亚洲象活动规律、生境分布状况、食物分布状况以及跨越老213国道时的伤亡或肇事情况进行调查后发现,思小高速沿线已知亚洲象活动路线30条,均是亚洲象每年

(或隔年)多次使用的通道,多位于沟谷、垭口或低坡处,只有2条位于缓的山脊^[33]。亚洲象的最适宜生境多位子海拔1300 m以下、坡度0°~30°、100~500 m内有水源且周围人为干扰很少的竹林或竹阔混交林;海拔1500 m以上,坡度大于40°的区域几乎没有亚洲象活动^[33]。亚洲象的主要取食区域多见于密林、疏林和草地交错镶嵌的地段和当地居民的弃荒地,7、8、9月份亚洲象多到农田取食玉米、水稻等农作物^[33]。老213国道关坪—黄竹林垭口段尤其是野象谷景区路段,是亚洲象肇事频发的严重区域^[33]。综合考虑以上情况,为了不妨碍亚洲象等野生动物的活动,设计方案从最初的100余座桥梁增加到352座,建成后整个桥隧比率达到路线长度的26.7%。

4.2 思小高速公路亚洲象通道利用情况

2005年9月至2008年5月,西双版纳国家级自然保护区科研所分3个阶段(施工期2005年9月至2006年4月、试运营期2006年5月至2007年4月、正式运营初期2007年5月至2008年5月)对亚洲象利用通道的情况进行了监测,全面评估了思小高速公路修建前后对亚洲象活动的影响(表1)。

从表1可以看出,思小高速公路修建前亚洲象经常利用的30条跨公路迁移通道,有6条在公路开

工后就未见有亚洲象再利用;同期,亚洲象新开辟了1条跨公路通道;高速公路建成通车后,原有的25条通道仍旧被亚洲象频繁利用。

表1 思小高速公路建设前后亚洲象对国道213通道的利用情况

Tab. 1 Utilization of wildlife path on State Road 213 before and after the Sixiao Highway's construction

| 调查时间 | 亚洲象利用的通道数量 | 未利用数量 | 新增数量 |
|---------|------------|-------|------|
| 高速公路建设前 | 30 | 0 | 0 |
| 施工期 | 25 | 6 | 1 |

思小高速公路穿越保护区段共设计建设野生动物通道25个,其中天桥2座,高架桥下通道23个。试运营期间的监测中有8个野生动物通道被利用,累计利用76次,通道利用率为32%,其中2座天桥全被利用,“野象谷隧道天桥”被利用多达36次,同期亚洲象上高速公路活动73次。在正式运营初期的监测中,共有10个野生动物通道被利用,累计利用86次,通道利用率上升至40%,但只有1座天桥被利用,利用最高的依然是“野象谷隧道天桥”,达31次,亚洲象上高速公路活动次数则下降到43次(表2)。

表2 亚洲象对思小高速野生动物通道的利用情况

Tab. 2 Utilization of wildlife path by Asian elephant on Sixiao Highway

| 调查时间 | 通道数量 | | | 利用的通道数量 | | | 通道利用率/% | 通道累计利用次数 | 单个通道利用的最大次数 | 上高速公路活动的次数 |
|--------|------|----|--------|---------|----|--------|---------|----------|-------------|------------|
| | 总数量 | 天桥 | 高架桥下通道 | 总数量 | 天桥 | 高架桥下通道 | | | | |
| 试运行期 | 25 | 2 | 23 | 8 | 2 | 6 | 32 | 76 | 36 | 73 |
| 正式运行初期 | 25 | 2 | 23 | 10 | 1 | 9 | 40 | 86 | 31 | 43 |

4.3 结果与分析

从调查结果可以看出,思小高速公路的施工对亚洲象活动有一定影响,导致6条跨公路通道被弃用;高速公路建成后,亚洲象对野生动物通道的利用率还不高,还存在亚洲象上高速公路的情况。分析发现亚洲象对野生动物通道的利用率虽不高,但利用率却在逐步增加,从高速公路跨越的次数也随着时间的推移逐步减少;所有亚洲象利用的通道位置均与高速公路建设前亚洲象的活动路线一致;通过对“通道位置是否与原有通道重合”“通道的高度”“通道的长度”“通道周围是否有目视可见的定居点”“通道东侧的天然林覆盖率”“通道西侧的天然林覆盖率”“通道东侧的橡胶林覆盖率”“通道西侧的橡胶林覆盖率”“通道东侧的农田覆盖率”和“通道西侧的农田覆盖率”10个可能影响亚洲象迁移的因素进行相关分析发现,“通道位置是否与活动路

线重合”是亚洲象对通道选择的决定性因素($r = 0.837, P = 0.038$),可见野生动物的活动路线对通道设计的重要性。另外,如何设置施工营地、砂石料场、取土场,约束施工人员在施工期间的行为,有效避免施工期间野生动物对原本通道的弃用,还有待进一步研究^[20,34]。

调查中发现的亚洲象频繁穿越高速公路的段共有5处,分别是野象谷隧道南侧观象台、K81 + 600路段、野象谷隧道北出口服务区、野象谷隧道北出口立交桥区和农场五队路段。分析发现野象谷隧道南侧观象台和K81 + 600路段这两处在高速公路修建前是亚洲象跨公路通道的位置,但是并未设计建造相应野生动物通道,亚洲象主要以跨公路迁移为目的;而野象谷隧道北出口服务区和野象谷隧道北出口立交桥区这两个路段的绿化树种正好是亚洲象喜食的大王棕(*Roystonea regia*)、禾本科

(Gramineae) 的竹类 (Bambusoideae) 和桑科 (Moraceae) 榕属 (*Ficus*) 植物, 亚洲象跨越公路是为了获取食物; 农场五队路段则是获取食物和跨越公路迁移两个因素共同作用的结果, 此处在公路修建前有一条跨公路通道, 但高速公路的修建未设置相应的通道, 道路一旁居民种植的玉米也是亚洲象的主要采食对象。以上情况进一步证明, 野生动物通道的设计应该尽可能囊括野生动物的所有活动路线和野生动物的取食对象集中分布的地方, 对野生动物频繁利用的通道也应继续加以利用。

5 野生动物通道的监测

野生动物通道不只是设计让动物穿过的通道, 还要切实做到建成后野生动物能够有效利用。通道建成后要对野生动物利用通道的情况进行长期监测, 并采取相应的措施对通道进行维护和改造。

国内外成功案例都表明, 严谨的前期调查研究和后期的持续监测对设计一个有效的野生动物通道至关重要。前期调查研究方面最典型的例子就是美国 I-75 州际公路, 设计者们花费了 10 余年时间、千万美元的资金, 进行了 23 项长期观测研究后, 才提出了相关的规划设计方案, 同时为了避免与现场的实际情形产生落差, 部分施工期与细部设计重叠, 以边施工边按实际情况调整细部设计的方式同步进行; 道路建成后, 有关黑熊 (*Ursus thibetanus*) 等野生动物的监测仍在持续进行^[35]。通道建成后的监测方面案例比较多, 如 Dussault 等^[36] 对加拿大驼鹿 (*Alces alces*) 不同季节穿越高速公路通道的情况进行监测, 提出了通道的改进措施; Erling 等^[37] 对挪威的红鹿 (*Cervus elaphus*) 开展监测, 分析了通道建设后对其生境选择和活动的影响; 青藏铁路在建成后于 2005—2007 年对 33 处藏羚羊通道的利用情况开展了持续监测, 结果表明通道的利用率逐年上升, 铁路对藏羚羊的迁徙没有阻隔^[38-40]; 李斌^[22] 还在 2009—2010 年首次就韶赣高速野生动物通道对两栖动物保护的有效性进行了研究, 并提出了两栖动物保护的改进措施。

以上数据说明, 要确保野生动物通道的有效性, 通道建成前必须要掌握野生动物的准确活动路线, 建成后也要进行不少于一年的调查监测, 主要调查野生动物能否顺利通过通道, 使用率如何, 是否仍然存在野生动物跨越道路和野生动物伤亡情况等。根据对野生动物通道监测结果, 有针对性地提出野生动物通道改造的设计方案, 并进行相应改造, 直到野生动物通道效果良好, 确保通道的作用得到最大的发挥, 减少建设无效动物通道造成的浪费。

随着经济和社会的不断发展, 会有越来越多的人工建筑物出现, 不可避免地要挤占野生动物的生存空间。铁路、公路等工程建设单位和科研单位应充分重视野生动物通道的设计与建设, 尽可能详细地了解目标物种的活动范围和运动路线, 科学构建野生动物通道, 给野生动物留出一条生存之路。

参 考 文 献

- [1] 章家恩, 徐琪. 道路的生态学影响及其生态建设 [J]. 生态学杂志, 1995, 14(6): 74-77.
- [2] FORMAN R T, SPERLING D, BISSONETTE J A, et al. Road ecology: Science and solutions [M]. Detroit: Inland Press, 2002: 3-397.
- [3] GRILLO C, SOUSA J, ASCENSAÖ F, et al. Individual spatial responses towards roads: Implications for mortality risk [EB/OL]. [2012-10-01]. <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0043811>.
- [4] THOMAS A M, MATTHIAS D, DIANA Z, et al. Rapid assessment of linear transport infrastructure in relation to the impact on landscape continuity for large ranging mammals [J]. Biodiversity and Conservation, 2013, 22(1): 153-168.
- [5] 夏霖, 杨奇森, 李增超, 等. 交通设施对可可西里藏羚羊季节性迁移的影响 [J]. 四川动物, 2005, 24(2): 147-149.
- [6] 李月辉, 胡远满, 肖笃宁, 等. 道路生态学研究进展 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 447-452.
- [7] NEUMANN W, ERICSSON G, DETTKI H, et al. Difference in spatiotemporal patterns of wildlife road-crossings and wildlife-vehicle collisions [J]. Biological Conservation, 2012, 145 (1): 70-78.
- [8] 宗跃光, 周尚意, 彭萍, 等. 道路生态学研究进展 [J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2396-2405.
- [9] 胡忠军, 于长青, 徐宏发, 等. 道路对陆栖野生动物的生态学影响 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 100-104.
- [10] 董清福, 洪丽娟, 唐建军, 等. 高速公路建设对路域生态系统中生物的影响及生物廊道设计的意义 [J]. 科技通报, 2007, 23(2): 289-293.
- [11] 王硕, 贾海峰. 生态交通建设中的动物因素考虑 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1291-1296.
- [12] 项卫东, 郭建, 魏勇, 等. 高速公路建设对区域生物多样性影响的评价 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, 27(6): 43-47.
- [13] SANDRA J N, JIM W D, RAYMOND M, et al. Use of highway undercrossing by wildlife in southern California [J]. Biological Conservation, 2004, 115(3): 499-507.
- [14] ALEXANDER S, WATERS N. The effects of highway transportation corridors on wildlife: A case study of Banff National Park [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2000, 8(1): 307-320.
- [15] 黄锦辉, 李群, 刘晓丽. 河南周口至省界段高速公路建设对生态环境的影响 [J]. 生态学杂志, 2002, 21(1): 74-79.
- [16] 王成玉, 陈飞. 山区高速公路对野生动物的影响及保护措施探讨 [J]. 公路, 2007, 12(12): 97-102.
- [17] 吴晓民, 王伟. 青藏铁路之野生动物保护 [M]. 北京: 科学出版

- 社,2006.
- [18] 杨奇森,夏霖,吴晓民.青藏铁路线上的野生动物通道与藏羚羊保护[J].生物学通报,2005,40(5):15-17.
- [19] 殷保法,淮虎银,张镱锂,等.青藏铁路、公路对野生动物活动的影响[J].生态学报,2006,26(12):3917-3923.
- [20] 侯凌,谈卓著.户县至洋县高速公路动物通道设置[J].山西建筑,2009,35(25):281-282.
- [21] 陈志展,蔡荣坤.公路对野生动物影响和保护措施研究[J].广东交通职业技术学院学报,2011,10(2):21-25.
- [22] 李斌.韶赣高速公路野生动物通道两栖动物保护效果及改进措施研究[D].北京:北京林业大学,2012.
- [23] 魏建方.铁路建设中野生动物通道设置的研究[J].铁道劳动安全卫生与环保,2010,37(1):5-7.
- [24] 国家林业局. LY/T 2016—2012 陆生野生动物廊道设计技术规程[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [25] 王云,李海峰,崔鹏,等.卧龙自然保护区公路动物通道设置研究[J].公路,2007,1(1):99-104.
- [26] 交通部. JTG B03—2006 公路建设项目环境影响评价规范[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [27] 于祥坤.道路环境影响评价研究[D].西安:长安大学,2008.
- [28] 环境保护部. HJ 616—2011 建设项目环境影响技术评估导则[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [29] CLEVENGER A P, WALTHO N. Performances indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals[J]. Biological Conservation,2005,121(3): 453-464.
- [30] NORRIS L D, JEFFREY W G. Influence of underpasses and traffic on white-tailed deer highway permeability [J]. Wildlife Society Bulletin,2011,35(3):270-281.
- [31] 陈爱侠.公路建设对野生动物的影响与保护措施[J].西北林学院学报,2003,18(4):107-109.
- [32] 张晏,费世江.公路建设中野生动物通道的设置研究[J].辽宁科技大学学报,2009,32(1):93-98.
- [33] 陈明勇,李正玲,郭贤明,等.中国亚洲象保护廊道研究[M].昆明:云南科技出版社,2010;46-84.
- [34] 陈雪珍.涉及自然保护区公路建设环境问题及管理对策研究[D].南京:南京林业大学,2007.
- [35] ROB H G, GLORIA P,余青,等.生态网络与绿道:概念、设计与实施[M].北京:中国建筑工业出版社,2011;52-67.
- [36] DUSSAULT C, OUELLET J P, LAURIAN C, et al. Moose movement rates along highways and crossing probability models [J]. Journal of Wildlife Management,2007,71(2): 2338-2345.
- [37] ERLING L, LEIF E L, ØYSTEIN B, et al. Red Deer habitat selection and movements in relation to roads[J]. The Journal of Wildlife Management,2013,77(1):181-191.
- [38] 李耀增,周铁军,姜海波.青藏铁路格拉段野生动物通道利用效果[J].中国铁道科学,2008,29(4):127-131.
- [39] 孔飞.藏羚羊对青藏铁路野生动物通道的适应性及穿越通道时的行为学研究[D].西安:西北大学,2009.
- [40] 付鹏,张宇,吴晓民,等.青藏铁路野生动物通道有效性分析[J].环境科学与管理,2011,36(2):98-101,106.

(责任编辑 冯秀兰)