

野生动物通道设计及评价的经验与建议

曹广华¹, 王云¹, 杨艳刚¹, 关磊¹, 周红萍¹, 张乾², 陶双成¹, 孔亚平¹

(1. 交通运输部科学研究院, 北京 100029; 2. 生态环境部环境工程评估中心, 北京 100012)

摘要: 当前国内在线性交通基础设施建设野生动物通道设计和评价方面尚无系统的成果总结。本文结合国内外公路和铁路动物通道设计和监测研究与实践经验, 初步提出了我国线性交通基础设施建设中野生动物通道设计和评价的建议。设计建议从通道选址、形式与规模、尺寸、生境诱导、辅助设施、维护与管理等方面提出, 野生动物通道监测与评价方面建议将野生动物通道纳入生态安全屏障中, 基于生态廊道和生物多样性保护网络角度进行宏观层面的评价。同时, 基于多角度进行微观层面的评价, 包括野生动物穿越、交通致死、交通阻隔、人员财产损失等。

关键词: 公路; 铁路; 野生动物; 通道设计; 监测; 评价; 生境诱导; 道路生态学

DOI: 10.14068/j.ceia.2020.03.003

中图分类号: X826 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-6444(2020)03-0011-04

Review of Design and Evaluation for Wildlife Crossing Structures

CAO Guanghua¹, WANG Yun¹, YANG Yangang¹, GUAN Lei¹, ZHOU Hongping¹,
ZHANG Qian², TAO Shuangcheng¹, KONG Yaping¹

(1. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China; 2. Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China)

Abstract: At present, there is no systematic summary on the design and effectiveness evaluation of wildlife crossing structures (WCS) in linear transportation infrastructure (LTI) in China. This article combines the successful experience at home and abroad, and puts forward the suggestions of WCS design and evaluation in LTI construction, including location, form and scale, size, habitat restoration, auxiliary facilities, maintenance and management, etc. In terms of monitoring and evaluation of WCS, it is recommended that WCS should be included in ecological security shelter zone, and macro-level evaluations should be conducted from the perspective of ecological corridors and biodiversity protection networks; at the same time, micro-level evaluations should be conducted from multiple perspectives, including wildlife vehicles collision, traffic barriers, loss of personnel and property, etc.

Key words: highway; railway; wildlife; design of wildlife crossing structures; monitoring; evaluation; habitat restoration; road ecology

全球线性交通基础设施建设(以公路和铁路为主,以下简称交通建设)已经对陆地生态系统造成严

重破碎化影响,对野生动物构成了重大且不断扩大的威胁。预计到2050年,全球公路网络将新增2500万km,多位于生物多样性丰富的发展中国家,因此,交通建设中野生动物保护成为全球道路生态学领域关注的热点之一^[1]。

野生动物通道作为缓解交通建设对野生动物负面影响最为重要的一项措施,已经被全球各国广泛接受^[2]。本文在吸纳国内外经验基础上,总结和提出我国交通建设中野生动物通道设计及评价建议,为我国将来交通建设野生动物通道设计及评价工作提供参考。

收稿日期: 2020-02-06

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(20170617、20180615、20190610)和深圳市一个地球自然基金会项目(1.1.03.01/1.3c.01.02)

作者简介: 曹广华(1978—),男,山东临沂人,硕士,高级工程师,主要研究方向为环境工程、野生动物保护等, E-mail: 190579480@qq.com

通讯作者: 王云(1980—),男,安徽马鞍山人,博士,研究员,主要研究方向为道路生态学、野生动物保护等, E-mail: wangyun80314@163.com

1 野生动物通道设计的经验

1.1 通道选址

通道选址工作由野生动物保护部门和交通部门共同完成。野生动物保护部门掌握交通线路两侧野生动物活动轨迹的详细资料,交通部门在选线和设计期要考虑多方面因素,包括地形、地质、投资、水土保持、工程量等,野生动物仅是其中一项。因此,在协调野生动物保护与工程建设关系的基础上,在保障工程顺利进行的前提下,应最小程度地影响野生动物的移动和种群的破碎化、最大程度地维持野生动物生境的连通性。

通道选址应遵循从宏观到微观的思路。在宏观层面,基于大尺度遥感影像数据对交通线路两侧野生动物栖息地进行评估,识别交通线路穿越的高质量生境路段,将这些路段作为野生动物通道选址的热区。在热区内,结合现场调查精确识别目标物种移动路线与交通线路的交叉点位,或者交通致死高发点位,将这些点位作为动物通道选址的推荐位置。

当前我国野生动物通道选址多基于专家咨询和宏观尺度的分析,缺乏现场数据的佐证和长期监测的验证。在西北干旱半干旱区的G7京新高速公路野生动物通道选址中,研究者采用专家咨询和现场调查相结合的方法,确定动物通道的数量和位置,为类似地区交通建设动物通道选址提供了参考经验^[3]。

1.2 形式与规模

野生动物通道大致分为上跨式通道和下穿式通道两大类。类型的选择取决于缓解目标、目标物种的具体要求和工程成本及工程限制。目前全球下穿式通道的数量远远多于上跨式通道,主要是因为上跨式通道建设的要求更高、投资更大,但从效果来说,上跨式通道可满足各种类型野生动物的穿越。下穿式通道可结合交通工程本身的桥涵建设设置,因此投资较少、设置便利。当前,我国绝大多数的野生动物通道都是下穿式通道,国道丹阿公路吉黑省界琿春至东宁段改扩建工程穿越东北虎豹国家公园,公路建设者专门设置了长度约300 m的上跨式通道。

野生动物通道的规模是指其数量和密度等指标,全球在野生动物通道的设置数量、间距等指标选取方

面研究很少,也没有一个公认的普适性的结论。但原则上密度越大越好、数量越多越好已经是共识。

1.3 通道尺寸

野生动物通道的尺寸是交通建设主体工程设计师最为关心的指标参数,道路生态学家开展了大量的研究,有很多指南性文件给出了全球不同国家和地区的动物通道尺寸建议值^[7]。不同种类野生动物对通道尺寸要求也不尽相同,在实践中应尽量满足绝大多数野生动物穿越的需求。

长白山区研究表明,隧道长度达到1000 m和桥梁宽度在8 m以上可满足绝大多数野生动物的利用^[4];青藏高原下穿式通道高度达到5 m可满足藏羚羊迁徙的需要,而要满足其非迁徙期零散穿越的需求只需达到3.5 m即可^[5]。鉴于该指标的重要性,建议一方面加强我国各地野生动物通道的设计和监测研究,以提出适应我国不同地区野生动物物种的通道设计参数;另一方面加强国际经验的总结和吸收,将类似物种的通道设计参数指标纳入我国交通建设野生动物通道标准规范中。

1.4 生境诱导

生境诱导可起到吸引野生动物靠近并穿越通道的作用,帮助野生动物尽快适应人工设置的野生动物通道。生境诱导主要包括植被、水体、地形、微生境等内容。针对不同物种,设计差异性很大,目前国内相关研究很少。在东北长白山区,配合两栖类动物通道,在出入口设置水塘和较高的植被覆盖有利于吸引两栖类动物利用通道,水塘面积至少180 m²、深度至少80 cm可满足三种典型两栖类动物的繁殖^[6]。荷兰在上跨式通道上设置果实植物和倒木,吸引鸟类和有蹄类动物靠近活动,并设置小型水体吸引动物,还设置人工巢穴营造爬行类动物生境。日本北海道和澳大利亚的下穿式通道内利用倒木贯穿通道内部,连通两侧乔木,为树栖动物提供穿越平台,同时利用木板营造蝙蝠栖息地。

我国交通建设野生动物通道生境诱导方面研究很少,建议在吸纳国际经验基础上,通过专家咨询开展不同种类野生动物的生境诱导设计及工程建设,并开展效果评价及长期监测。

1.5 辅助设施

辅助设施主要起到辅助野生动物通道发挥其效果的作用,主要包括隔离栅、排水沟坡度优化设计、降

噪遮光设计、逃生平台、标志牌等设计与设施。

国际研究表明,动物通道和隔离栅的组合对于降低动物与车辆相撞最为有效。隔离栅可起到至少两种作用,第一是阻挡野生动物直接穿越交通线路,从而降低其与车辆相撞致死的可能;第二是引导野生动物朝向通道入口处移动。隔离栅高度、孔径、顶端设计等因不同动物种类设计各异。如北美为有蹄类动物设置的隔离栅至少要2.4 m高,针对中小型脊椎动物的隔离栅孔径不大于1 cm^[7],我国东北长白山区两栖类动物隔离栅至少要0.4 m高^[8]。需要强调的是,隔离栅如果设置不当会加剧交通建设的阻隔影响,因此应谨慎设置。

我国山区交通工程的排水沟多为矩形边沟,两栖类进入很难逃出。东北长白山地区以及南方深圳西坑自然保护区的研究显示,排水沟坡度在45度以下,两栖类动物则较容易逃离^[9]。

噪声和车辆灯光对动物通道利用有负面影响。一些研究人员建议,在通道边缘设置高度不低于2.4 m的土墙和植被组合,以降噪遮光^[7]。我国青藏高原藏羚羊对于车辆噪声和灯光很敏感,建议营造起伏地形以降低车辆视觉和噪声对藏羚羊穿越的干扰^[5]。

逃生平台是供误闯入路域范围的动物逃离路面的结构物,由于隔离栅有缝隙,一些大中型兽类从缝隙钻入路面后,受到车辆的惊扰,沿着交通线路移动,无法逃离,故只能从逃生平台逃离。逃生平台目前在我国还没有类似的设计案例。

标志牌是最为常见的交通建设动物保护措施之一,但关于其效果研究结论不尽一致。最近在中美洲伯利兹的一项研究表明,标志牌显著降低了獾的交通致死率^[10]。美国佛罗里达州41号公路上设置的路域动物探测系统,在旅游季节减少了美洲狮的交通致死率^[11]。我国交通建设野生动物通道的辅助设施多为标志牌,其他相关设计和工程实践很少,迫切需要进行相关研究和工程实践。

1.6 维护和管理

动物通道的维护和管理对于其长期效果的保持至关重要。隔离栅常常被树木压倒或因被水流冲刷而使缝隙变大,导致野生动物进入路面致死。这就要求养护部门及时进行问题识别并进行修补,如果忽略这些维护要求,可能会导致交通致死

率增加以及动物通道的有效性下降。

2 野生动物通道监测与评价

野生动物通道监测方法主要包括:样线法/样方法、痕迹法、红外相机技术、GPS项圈、标记重捕法、遗传多样性分析法等。近年来,采用分子生物学方法进行动物通道监测和评价成为道路生态学研究的新领域^[12]。

许多国家开展了交通建设野生动物通道有效性评价,主要从穿越野生动物通道的物种和频率、影响因素等方面进行研究^[7]。我国青藏高原藏羚羊自2004年至2007年迁徙期,利用通道进行迁徙的数量逐年增多,上迁时全部使用通道,回迁时通道的使用效率提升明显,2007年达到100%,说明藏羚羊等野生动物已逐步适应利用通道进行迁徙,铁路建设和运营未对沿线野生动物种群交流和繁殖产生影响^[13]。

针对已建成的野生动物通道,荷兰学者从动物穿越角度提出三步骤进行效果评价:确定目标物种、估计目标物种穿越通道的频率、设计试验方案来对比实际穿越率与预期最低穿越率。目标物种应清晰具体。目标物种穿越通道的频率大致分为日常穿越、迁徙期穿越和偶尔穿越,不同的穿越频率会影响试验方案的设计。实际穿越率为目标物种实际穿越通道的频率,预期最低穿越率是在通道周边不受道路影响的区域内目标物种的穿越率,试验区域和对照区域的样方面积、调查技术等应保持一致,以利于对比分析。若实际穿越率低于预期最低穿越率,表明目标物种回避动物通道,反之则表明目标物种主动选择动物通道^[14]。

野生动物通道的效果评价还可以从交通安全、道路致死缓解、动物种群稳定性等角度进行评价,如荷兰学者提出四步骤进行效果评价:确定目标物种、设定预期目标、选择评价指标、设计试验方案。目标物种一般应符合以下标准:交通致死率高、受交通影响大、分布相对广泛、野外调查容易获取数据。预期目标应具体且有明确时间计划。评价指标一般从交通安全、动物福利和野生动物保护三个角度进行选择,交通安全指标包括人员伤亡数量、财产损失规模等;动物福利指标包括交通致死动物数量等;野生动物保护指标包括野生动物种群规模或密度随时间变化趋势等。具有严密逻辑的试验设计方案对于判断动物通道的有效性至关重要,包括通道建设前后、动物通道和无动物通道的设计方案^[14]。

我国交通野生动物通道监测与评价研究主要在青藏铁路、青藏公路、京新高速公路、环长白山旅游公路、吉延高速公路、思小高速公路、鹤大高速公路、神农架世界遗产地公路、秦岭林区公路等开展,监测与评价内容主要包括穿越的物种、频次、影响因素等方面^[15]。缺乏严格的科学实验设计方案和基于分子生物学方法从种群稳定性角度的研究,因此科学性和可靠性不足。

3 野生动物通道设计和评价的建议

基于国内外野生动物通道设计的相关经验,在此提出我国交通建设领域野生动物通道设计和评价的具体建议。

在通道选址方面,建议野生动物保护部门和交通部门共同完成,可通过成立联合工作小组或专家咨询会等形式来实现,如国道丹阿公路穿越东北虎豹国家公园段动物通道选址是通过东北林业大学、丹阿公路建设指挥部等单位共同完成。此外应遵循从宏观到微观的思路,当前我国交通野生动物通道选址多基于专家咨询和宏观层面分析,缺乏现场监测的验证,未来应加强现场监测工作。

在通道设计方面,建议结合缓解目标、目标物种的具体要求和工程成本及工程限制,尽量多建设上跨式通道和下穿式通道。鉴于我国通道尺寸、生境诱导、辅助设施等研究非常薄弱,建议借鉴国外类似研究成果并尽快本土化,以指导我国交通建设实际,通过监测和工程验证来优化和完善技术参数,尽早编制我国交通建设野生动物通道设计标准规范。

在动物通道评价方面,研究人员依托青藏铁路、思小高速公路、长白山区公路等工程开展了有益的探索研究,尤其是青藏铁路动物通道监测具有国际影响力。建议未来一方面将野生动物通道纳入生态安全屏障中,基于生态廊道和生物多样性保护网络角度进行宏观层面的评价;另一方面基于多角度进行微观层面的综合评价,包括野生动物穿越、交通致死、交通阻隔、人员财产损失等。

目前,我国政府倡导的“一带一路”国际倡议正在全球稳步推进。然而近年来工程建设与生态环境保护的矛盾愈加突出,尤其在亚非拉等全球生物多样性热点区域,国际学术界对我国交通工程建设野生动物保护工作提出了一些质疑,这急需我国交通生态学

者加强基础应用研究,以从野生动物保护的角度贡献于“绿色交通”建设和“一带一路”国际倡议的实施。本文结合国内外交通建设野生动物通道设计和评价最新研究成果,系统梳理了设计思路及评价方法,结合我国交通实际提出动物通道设计和评价的建议,可为将来研究与工程建设提供参考。

参考文献(References):

- [1] LAURANCE W F. If you can't build well, then build nothing at all [J]. *Nature*, 2018(563): 295-295.
- [2] 聂丽娜. 沱江四桥建设对长江上游国家级自然保护区鱼类资源的影响及保护措施[J]. *环境影响评价*, 2017,39(5):48-52.
- [3] ZHANG Bin, TANG Junqing, WANG Yi, et al. Designing wildlife crossing structures for ungulates in a desert landscape: A case study in China [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2019(77): 50-62.
- [4] WANG Yun, GUAN Lei, PIAO Zhengji, et al. Monitoring wildlife crossing structures along highways in Changbai Mountain, China [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017(50):119-128.
- [5] 王云,关磊,陈济丁,等. 青藏高速公路格拉段野生动物通道设计参数研究[J]. *公路交通科技*, 2017,34(9):146-152.
- [6] 罗玉梅,朴正吉,王卓聪,等. 长白山两栖类繁殖期路域水生境选择性分析[J]. *四川动物*, 2015,34(4): 559-564.
- [7] CLEVINGER A P, HUIJISER M P. *Wildlife crossing structure handbook-Design and Evaluation in North America* [R]. Washington D C: Federal Highway Administration, 2011.
- [8] WANG Yun, LAN Jiayu, ZHOU Hongping, et al. Investigating the Effectiveness of Road-related Mitigation Measures under Semi-controlled Conditions: A Case Study on Asian Amphibians [J]. *Asian Herpetological Research*, 2019, 10(1): 62-68.
- [9] ZHANG Zhenxing, YANG Haijun, YANG Hongjin, et al. The impact of roadside ditches on juvenile and sub-adult *Bufo melanostictus* migration[J]. *Ecological Engineering*, 2010(36): 1242-1250.
- [10] POOT C, CLEVINGER A P. Reducing Vehicle Collisions with the Central American Tapir in Central Belize District, Belize [J]. *Tropical Conservation Science*, 2018(11): 1-7.
- [11] GRACE M K, SMITH D J, Noss R F. Reducing the threat of wildlife-vehicle collisions during peak tourism periods using a Roadside Animal Detection System [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2017(109):55-61.
- [12] 王云,朴正吉,关磊,等. 公路路域动物生态学研究方法综述[J]. *四川动物*, 2014, 33(5):778-784.
- [13] 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.
- [14] VAN DER REE R, SMITH D J, GRILO C. *Handbook of road ecology*. West Sussex: John Wiley & Sons, 2015.
- [15] 王云,关磊,杨艳刚,等. 公路野生动物通道研究进展[J]. *交通运输研究*, 2019, 5(5): 79-87.