

公路哺乳动物通道设置方法的研究

王 云, 关 磊, 周红萍, 王玉滴, 孔亚平

(交通运输部科学研究院 北京市 100029)

摘 要: 基于《陆生野生动物廊道设计技术规程》的原则和技术性要求,以交通运输部典型绿色循环低碳示范路“鹤大高速公路”穿越靖宇国家级自然保护区段为依托,在公路动物通道设计中初步提出了公路哺乳动物通道设置的方法,包括通道位置的选定、通道跨越形式、通道的密度和净空的确定、诱导生境的营造、辅助设施的设置。指出了未来要继续深化研究的三个方面内容。

关键词: 道路生态学; 野生动物; 路域; 生境诱导

公路建设和运营对动物产生了许多直接影响,主要包括:栖息地退化、破碎,车辆致死,最终会导致种群割裂进而威胁种群稳定性^[1-3]。为缓解公路建设对动物的不良影响,国内外普遍采取设置动物通道的办法。从跨越公路的形式上讲,有上跨式通道和下穿式通道;从保护对象上讲,分为两栖类动物和哺乳动物。本文研究针对野生哺乳动物。

国外公路动物通道发展较早。美国于 1955 年建设首个动物通道,欧洲在 1974 年建成首个动物通道^[4]。近年来,亚洲的日本、韩国、新加坡等国也建设了不同类型的动物通道^[5]。我国的动物通道研究不到 20 年,尚处于探索起步阶段^[6-7]。但经过行业内研究人员和建设者的努力,部分研究成果已有应用,如对于通道尺寸的研究成果已成功用于青藏铁路的动物通道设计和思茅至小勐养高速公路的亚洲象通道的设计^[8-9]。2012 年林业部颁布《陆生野生动物廊道设计技术规程》,对动物通道的设置提出了原则和技术要求,但对交通行业的指导性不足^[10]。在交通行业,关于动物通道的设计散见于《公路工程技术标准》和《公路环境保护设计规范》的某些章节,仅提出了设计原则和要求,缺乏可操作的工艺和技术^[11-12]。笔者结合近 10 年在环长白山旅游公路和青藏公路的多年动物观测资料分析,总结出一套动物通道的设计方法,应用于吉林鹤大高速公路的动

物通道设置。这套设计方法包括:位置的确定,跨越形式的选择,通道密度的选取,通道净空的确定,诱导生境的营造,辅助设施的设计。

1 公路哺乳动物通道设置的方法

1.1 选择拟设通道的位置

野生哺乳动物通道位置的选择,应基于现场观测数据、专家调查和居民访谈获取的信息以及动物致死的调查和分析。动物通道位置如果选取不当,将会造成利用率低下。动物通道位置的选取流程为:通过线路走廊带内栖息地评价,哺乳动物活动区域的识别,目标物种移动路线的判识,将移动路线与拟建公路线位进行叠加,交叉点位即为拟设动物通道的位置。流程图见图 1。

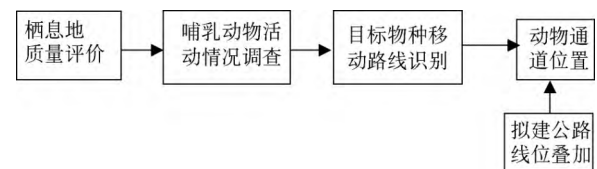


图 1 公路工程哺乳动物通道位置选择流程

哺乳动物活动走廊带宽度依据地形、公路等级、哺乳动物分布特征并结合专家咨询综合确定,栖息地评价和分级可通过地理信息系统或现场调查进行,将栖息地质量分为适宜、一般、不适宜三个级别,

基金项目:交通运输部科技示范工程,项目编号 2016002;国家科技支撑计划课题,项目编号 2014BAG05B06;内蒙古自治区科技创新引导项目,项目编号 2016-106575;中央级公益性科研院所基本科研业务费项目,项目编号 20170617;吉林省交通运输厅科技项目,项目编号 2018-1-14

收稿日期:2017-08-15

分别在“适宜”与“一般”级别内设置样线进行现场调查,调查哺乳动物活动情况,辨识哺乳动物活动种类及数量,选择保护级别最高且对公路交通最为敏感的物种,通过GPS项圈、痕迹跟踪、专家咨询来识别目标物种的移动路线,将移动路线与拟建公路线位进行叠加,交叉点位即为拟设动物通道的位置。

1.2 确定拟设通道的跨越形式

通过拟设通道位置的栖息地、地形和目标穿越物种习性的综合分析,来确定拟设通道的跨越形式:栖息地质量分为适宜、一般、不适宜三个等级,地形分为平坦、隆丘和洼地三个类别,哺乳动物习性可分为偏好开阔环境活动、偏好郁闭环境活动和无明显偏好三类;栖息地质量一般以上、地形平坦或洼地、哺乳动物偏好开阔环境或无明显偏好,宜采用上跨式通道;栖息地质量一般以上、地形平坦或隆丘、哺乳动物偏好郁闭环境或无明显偏好,宜考虑下穿式通道(图2)。

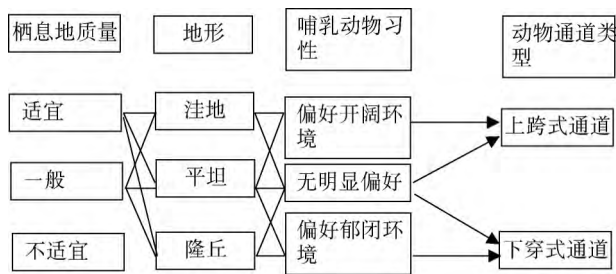


图2 公路哺乳动物通道类型的选择流程

1.3 确定拟设通道的密度

在拟设通道位置处开展目标穿越物种的分布密度调查,将结果与该区该物种平均分布密度相比较,如果高于平均分布密度,则应多设置通道;如果低于平均分布密度,则可少设置通道;具体设置数量及通道间距还需结合工程可行性、投资能力经咨询专家综合确定。

1.4 确定拟设通道的净空

通过对类似环境中目标物种穿越公路动物通道的监测、国内外类似习性物种的经验总结或专家咨询综合确定拟设通道的净空。

采用现场调查法、痕迹追踪法、红外相机监测法监测类似环境中目标物种穿越动物通道的效率,构建穿越效率与动物通道尺寸的相关关系,构建回归模型:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n$$

式中:Y为某物种对于某动物通道的穿越效率; b_0 为常数项; b_1, b_2, \dots, b_n 为偏回归系数; $X_1, X_2,$

\dots, X_n 为动物通道尺寸指标。

找出关键性指标和阈值,从而确定适应该哺乳动物的通道净空。

1.5 设置诱导生境

由于公路施工干扰区域主要在征地范围内,诱导生境主要在该区域内布置。诱导生境的设置目的是引导哺乳动物利用动物通道,因此要在动物通道的出入口对动物的生活环境进行模拟设置。下穿式和上跨式动物通道诱导生境组成见图3和图4。

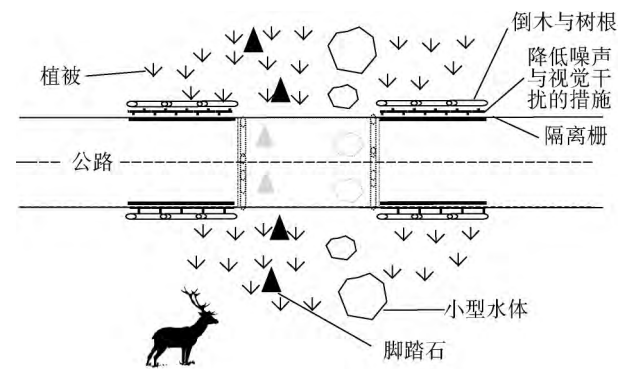


图3 公路哺乳动物下穿式通道诱导生境与辅助设施设计示意

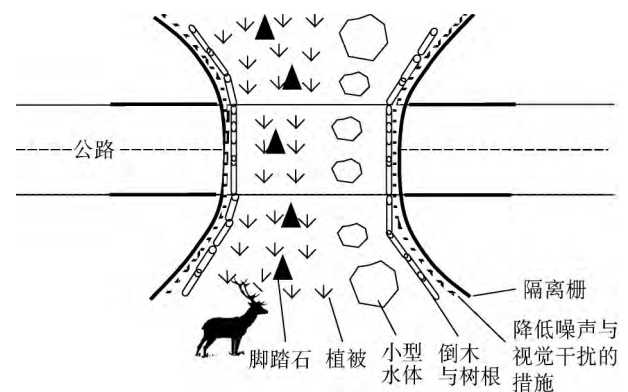


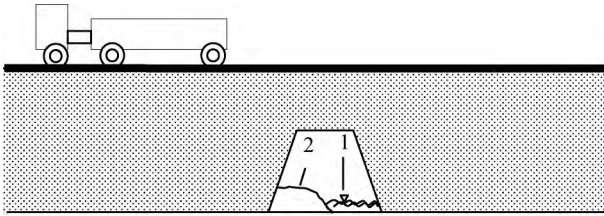
图4 公路哺乳动物上跨式通道诱导生境与辅助设施设计示意

1.5.1 植被设计

植被设计秉承最大限度地恢复的原则。通道两侧的植被品种和密度尽量恢复到干扰前的状态;种植目标物种的喜食植物,引诱目标物种靠近通道;采用倒木和树根作为引导物和遮蔽物,并设置成线形连通通道两侧,引导两侧哺乳动物沿构造物穿越通道。

1.5.2 水体设计

在通道周边和通道下设计小型水体,诱导哺乳动物靠近活动和穿越通道;如通道内有积水,通道内应设置高于常水位的平台小道(图5)。



注:1—常水位;2—干平台小道

图5 公路哺乳动物下穿式通道内设置高于雨季高水位的平台小道示意

1.5.3 微生境设计

在通道周边及内部采用倒木、树根、石块结合地形设计微生境,提高通道上的生境丰富性,吸引哺乳动物隐蔽休息;微生境每隔一定距离设计,贯穿通道内部连接两侧栖息地,起到“脚踏石”的作用。

1.6 设置辅助设施

1.6.1 设置隔离栅

为提高动物通道的使用效果,公路两侧应设置一定长度的隔离栅,一是阻挡哺乳动物横穿路面,避免产生道路致死;二是引导哺乳动物利用动物通道通行。

根据施工现场条件,选择混凝土、金属、土堆作为隔离栅材料;根据哺乳动物沿公路的移动能力、地形、栖息地等因素综合确定隔离栅长度,哺乳动物沿公路移动能力强,则隔离栅长度相应加长;根据哺乳动物体型大小、攀爬能力综合确定隔离栅高度,对于喜欢攀爬的物种,隔离栅顶部端头向垂直于公路方向外侧弯曲约45°,防止动物攀爬(图6);目标物种如有多种,则将多种不同孔径的隔离栅相互叠加,构成复合型隔离栅(图7)。

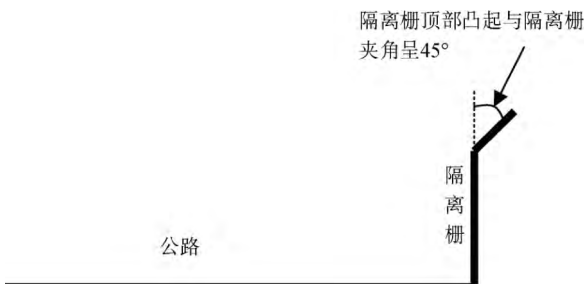


图6 公路哺乳动物通道隔离栅顶端设计示意

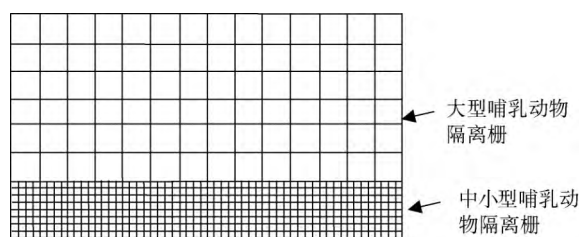


图7 公路哺乳动物隔离栅组合设计示意

1.6.2 降低噪声和视觉干扰的设施

在动物通道布设路段,采用物理工程和生态工程措施降低噪声和车辆灯光对动物通行的影响,例如设置物理噪声墙、土堆、植被带等,设计上还可将通道附近路面设置为降噪路面,或设置强制减速带迫使车辆减速从而减小车辆噪声。

1.6.3 降低人为影响的措施

在动物通道路段设置指示标志和警告标志,限制该处人为活动从而减小对通道的干扰,如设置动物出没的标志,禁止鸣笛的标志,进入保护区的标志等。

2 公路哺乳动物通道设置的案例分析

以吉林鹤大高速公路靖宇保护区段哺乳动物通道设置为例。

2.1 设置位置

鹤大高速公路是交通运输部2014年遴选的“科技示范工程”项目。鹤大高速公路K270~K285穿越靖宇国家级自然保护区实验区。通过3S技术结合现场调查认为,保护区段路域栖息地为“适宜”野生动物活动区域。在路线穿越保护区两侧,选择冬季雪后开展3次现场调查(2011年2月、12月和2013年3月),发现至少有9种哺乳动物活动在拟建鹤大高速公路路域。通过冬季痕迹追踪,发现哺乳动物痕迹与高速公路线位发生多处交叉,而沟谷位置是哺乳动物活动的高发区域。因此建议这些沟谷区域设置哺乳动物通道。

2.2 拟设动物通道的跨越形式

通过现场观察和资料比对,此保护区内目标物种多为有蹄类动物(西伯利亚狍、野猪),鼬科动物(黄鼬、青鼬、伶鼬、紫貂)和啮齿类动物(松鼠、东北兔)。根据我们在长白山区其他公路的研究成果,有蹄类动物并无明显偏好(上跨式通道或宽度≥8m的桥梁通道都可以穿越),黄鼬偏好涵洞,青鼬和松鼠偏好桥梁(宽度≥8m),东北兔无明显偏好^[13]。本路沿线生境质量为“适宜”,地形为平坦、隆丘和洼地相间分布,因此跨越形式采用上跨式、下穿式均可。本项目从工程实践上考虑,选取了下穿式通道。

2.3 拟设通道的密度

靖宇保护区内冬季雪后哺乳动物痕迹数量调查数据缺乏,根据我们的现场调查,参考北美公路哺乳动物通道的设置标准,鹤大高速公路靖宇保护区的哺乳动物通道密度采用0.8个/km,即通道间距1.25 km。对比北美公路哺乳动物通道的设置建议

1.9 km/个,本路大中型哺乳动物通道密度较为理想^[4]。除此之外,保护区路段还设置了一定数量的涵洞通道,为中小型哺乳动物的通行提供了便利。

2.4 拟设通道的净空

哺乳动物体型不同,对通道的净空有不同的需求。在同一路段内,以最大体型和最大净空要求的动物来确定动物通道净空。

根据我们的研究结论,针对有蹄类动物(如西伯利亚狗、野猪)以及青鼬、松鼠,桥梁通道的净宽应大于等于 8 m^[13];而黄鼬则可利用涵洞通行。基于多数物种的穿越考虑,建议多设置净宽大于等于 8 m 的下穿式通道,同时,在地形允许的条件下多设置宽度不小于 10 m 的上跨式通道。

本案例设置的 2 座多功能上跨式通道宽度分别为 5.5 m 和 8 m,指标略低于北美地区的专用动物通道宽度标准,有待于加强后续的跟踪观测。所有下穿式通道的指标均超过了 8 m 的限值,预计可满足哺乳动物穿越的需要。

2.5 诱导生境

2.5.1 植被

首先,施工过程中严格采用“分步清表施工法”减少施工对通道周边的植被破坏^[22];其次在破坏的地方,尽量进行植被恢复,模拟自然生境。

2.5.2 水体设计

在桥梁下部设计小型水体,以 S 形贯穿桥梁下部沟通两侧,诱导哺乳动物靠近活动和穿越通道;在涵洞通道内设置高于常水位的平台小道,以避免涵洞通道内积水影响动物利用涵洞通道(图 8)。



图 8 涵洞通道侧壁设置平台小道,便于雨季时中小型哺乳动物利用涵洞通道穿越

2.5.3 微生境设计

在通道周边及内部采用倒木、树根、石块结合地形设计微生境,形成起伏地形,可供部分哺乳动物隐蔽休息,有利于其穿越通道;同时可提高通道上的生

境复杂性,可吸引部分哺乳动物靠近活动;微生境每隔一定距离设计,贯穿通道内部连接两侧栖息地,起到“脚踏石”的作用。

2.6 设置辅助设施

2.6.1 设置隔离栅

结合鹤大高速公路隔离栅的材质,选择镀锌低碳钢丝作为隔离栅材料。

由于保护区段两侧植被茂密,野生动物活动频繁,高速公路本身设置了 1.5 m 高的隔离栅,但网孔大小约为 20 cm×20 cm,主要是为防止大型哺乳动物进入高速公路路面而设计;为了提高中小型哺乳动物对通道的利用率,选择 K274+620 等 6 处桥梁通道为动物通道,以这些通道为中心往两侧延伸 500 m,布设网孔直径为 2 cm×2 cm 的隔离栅,防止啮齿类和鼬科动物进入路面,并诱导它们穿越预设的动物通道(图 9)。



图 9 鹤大高速公路靖宇保护区段设置的哺乳动物隔离栅(网孔直径为 2 cm×2 cm)

2.6.2 降低噪声和视觉干扰和人为影响的措施

主要是在动物通道位置的前后,设置指示和警告标志牌,提醒司机减速、禁鸣,减小对动物通行的干扰,保障哺乳动物有一个安静的空间来利用动物通道(图 10)。

3 结语

本研究初步提出了我国公路哺乳动物通道设置的方法,在鹤大高速公路穿越靖宇国家级自然保护区路段进行了应用尝试,结果还有待于进一步检验。由于我国公路哺乳动物通道的设置与实践才刚刚起步,还有大量的科学与工程问题等待进一步研究,主要表现在以下几个方面。

(1)动物通道位置的确定。在选择通道位置时往往需要识别目标物种的移动路线,通常方法有



图 10 鹤大高速公路设置的哺乳动物警示标志牌

GPS 项圈、痕迹跟踪、专家咨询、道路致死调查等^[14-16]。痕迹跟踪耗时费力在我国应用不够广泛;道路致死调查是国外经常采用的方法,但在我国尚未系统开展;GPS 项圈跟踪在国外应用较多且被认为是确定野生动物通道最具说服力的证据,然而该法在我国的使用尚未见报道。因此,在动物通道位置的选择上,我们还需要更多的观测资料和更严谨的方法来支撑,以提高动物通道的使用率。除此之外,还应基于景观层面开展景观破碎化评价与连通性研究,将动物通道融入野生动物移动廊道网络中去^[4]。未来应开展跨学科研究,科学合理确定动物通道的最佳位置。

(2)动物通道跨越形式的确定。我国还缺乏真正意义上的上跨式野生动物通道,可能也与不同行业的质疑有关,比如工程学家认为公路已经预留了桥梁、涵洞等构造物,没有必要专门给动物设置天桥,除非有足够证据表明必须设置上跨式通道且有足够证据证明其有效。动物学家们认为应对同等规模的上跨式通道和下穿式通道做对比实验,才能比较科学地给出对于目标物种到底哪种类型的通道更适合的结论。但问题是,这样的实验很多时候无法做,因此动物学家们还无法给出设置上跨式通道的足够证据。

(3)野生动物通道净空及诱导生境的设计。不同物种对通道净空的要求很可能不同,同理诱导生境的设计也会千差万别。目前国内相关的研究很少,还不能提出适合重点保护物种的动物通道的净空参数和诱导生境的设计详细方案,北美在该领域已经开展了大量的研究,提出了较为详细的通道最小值和推荐值标准,这样工程师很容易应用于公路桥涵的设计中^[4]。因此,我们应吸取国外的成

功经验,开展适合我国不同区域重点保护物种的通道尺寸和诱导生境设计关键技术研究。

参考文献:

- [1] Forman RTT, Sperling D, Bissonette JA, et al. Road ecology: Science and Solution[M]. Washington DC: Island Press, 2003.
- [2] Laurance WF, Goosem M, Laurance SGW. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2009, 24(12).
- [3] Van der ree, R, Smith DJ, Grilo C. Handbook of road ecology[M]. UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
- [4] Clevenger AP, Huijser M. Wildlife crossing structure handbook-Design and Evaluation in North America [R]. Federal Highway Administration, 2011.
- [5] 王云, 简丽, 顾晓峰. 关于赴日本参加 2015 年国际野生动物管理学大会的报告[J]. 交通运输研究, 2015, (5).
- [6] 王云, 李海峰, 崔鹏, 吴浩. 卧龙自然保护区公路动物通道设置研究[J]. 公路, 2007, (1): 99-104.
- [7] 张洪峰, 车利锋, 封托, 等. 秦岭林区公路野生动物通道设计与监测[J]. 公路, 2016, (3): 200-204.
- [8] 吴晓民, 王伟. 青藏铁路建设之野生动物保护[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [9] Pan WJ, Lin L, Luo AD, Zhang L. Corridor use by Asian elephants, China[J]. Integrative Zoology, 2009, (4).
- [10] 国家林业局. 陆生野生动物廊道设计技术规程[S]. 中国标准出版社, 2012.
- [11] JTG B01-2014 公路工程技术标准[S].
- [12] JTG B04-2010 公路环境保护设计规范[S].
- [13] Wang Y, Guan L, Piao ZJ, Wang ZC, et al. Monitoring wildlife crossing structures along highways in Changbai Mountain, China [J]. Transportation Research Part D, 2017, 50: 119-128.
- [14] Mimet A, Clauzel C, Foltete JC. Locating wildlife crossings for multispecies connectivity across linear infrastructures [J]. Landscape ecology, 2016, 31: 1955-1973.
- [15] Downs J, Horner M, Loraamm R, et al. Strategically locating wildlife crossing structures for Florida Panthers Using Maximal Covering Approaches [J]. Transaction in GIS, 2014, 18(1): 46-65.
- [16] Loraamm RW, Downs JA. A wildlife movement approach to optimally locate wildlife crossing structures [J]. International Journal of Geographical Information Sciences. 2016, 30(1): 74-88.