

DOI: 10.5846/stxb201301060045

龚明昊, 欧阳志云, 宋延龄. 基于野生动物栖息地成本和 GIS 技术的道路选线——以大熊猫栖息地内四川 306 省道椅子垭口段为例. 生态学报, 2014, 34(19): 5627–5634.

Gong M H, Ouyang Z Y, Song Y L. Route selection based on wildlife habitat cost and GIS: the Yiziyakou passage of Sichuan 306 road within giant panda habitat as a case study. Acta Ecologica Sinica 2014, 34(19): 5627–5634.

基于野生动物栖息地成本和 GIS 技术的道路选线 ——以大熊猫栖息地内四川 306 省道椅子垭口段为例

龚明昊^{1,2,*}, 欧阳志云², 宋延龄³

(1. 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;

3. 中国科学院动物研究所, 北京 100101)

摘要: 根据道路选线工程成本思路提出了道路选线的“栖息地成本”的概念, 以此量化道路对所穿越野生动物栖息地造成的影响。以椅子垭口大熊猫栖息地内的道路选线为例, 基于保护生物学的栖息地评价结果计算出栖息地成本值; 用地形因素代表道路工程成本, 将栖息地成本与工程成本以不同权重组合代表环境因素在道路选线中的重要性, 生成道路选线的综合成本, 通过 Arcgis 的 distance 模块计算出 9 条穿越椅子垭口综合成本最小的路径, 提出了道路优化的方案, 供道路建设选线参考。通过野生动物栖息地对基于环境因素的道路选线方法进行了探索, 使道路建设的环境保护需求在选线阶段就得到充分的考虑, 对提高我国道路选线水平、道路建设和野生动物保护成效具有现实意义。

关键词: 道路选线; 栖息地成本; GIS; 大熊猫

Route selection based on wildlife habitat cost and GIS: the Yiziyakou passage of Sichuan 306 road within giant panda habitat as a case study

GONG Minghao^{1,2,*}, OUYANG Zhiyun², SONG Yanling³

1 Research Institute of Wetland, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Our research, based on the theory and methodology of route selection on project cost, proposed the “habitat cost” concept that is used to quantify the impacts of road construction to wildlife habitat. Taking the route selection within giant panda habitat as a case in Yiziyakou, we got the value of habitat cost based on the results of habitat assessment by conservation biology. Topography was used to represent the construction cost of road, we got 9 routes passing Yiziyakou for future reference of the road construction, with the least total cost at various cost ratios of construction to habitat showing the degree of environment consideration in route selection by the distance model of Arcgis. Our study sought the route selection method based on environment protection consideration through wildlife habitat, this ensures the requirement of environment can be considered during route design and selection process. It may also be helpful to improve the level of route selection, further the results of road construction and wildlife conservation in China.

Key Words: route selection; habitat cost; GIS; giant panda

截止“十一五”末, 我国公路总里程达 400.8 万 km, 已成为全球道路建设规模最大的国家之一^[1]。

道路选线是指在道路修建之前, 在指定的起点、终点之间根据一定的技术标准, 选出一条能满足汽车行

基金项目: 博士后基金(2012M510568)

收稿日期: 2013-01-06; 网络出版日期: 2014-03-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gongmh2005@hotmail.com

<http://www.ecologica.cn>

驶要求、技术经济合理的线路^[2]。在传统的道路设计理念指导下,工程设计人员在道路选线阶段根据通行区域的地形、地质、水文、拆迁等因素,以最大限度降低工程成本和造价为目标来考虑路线方案,并使我国道路建设在“合理降造”、提高建设速度和周期等方面成效显著,实现了我国公路建设的历史性飞跃^[3-10]。

在道路建设取得成就的同时,传统道路选线中的“经济思维”惯性和对环境保护重要性认识不足导致建成道路对自然环境和野生动物的不利影响逐渐显现,如一些建成的“生态公路”仍然对大象、野马等野生动物造成伤害、所设置廊道的利用率较低的现象^[11-14],使道路成为威胁野生动物生存安全的最重要因素^[15-16]。随着生态文明意识加强和道路建设标准的逐渐提高,特别是《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国环境影响评价法》实施后,要求道路建设必须进行环境影响评价,环境保理念逐渐进入了道路设计和建设领域,提出了道路选线中的环境因素^[3,5-7]。

综合已有道路选线研究,基于工程成本、造价的选线从思路到方法都比较成熟、有丰富的案例供参

考^[3-10],但如何从环境保护因素选线、从源头控制和减少道路建设对环境的破坏几乎没有可借鉴的研究成果,已有研究大多从景观保护、减少开挖量、植被恢复等角度探讨一些具体的措施^[3,7,17],但从选线方法上并没有突破。尽管环保意识日益加强,选线方法研究的不足仍影响道路生态化和环境友好功能的实现。野生动物保护是环境保护的重要内容,保护栖息地则是保护动物最有效的措施^[18],本研究拟以大熊猫栖息地内的四川 306 省道椅子垭口段为例,基于大熊猫栖息地保护优化路线,从环境保护的角度探索道路选线方法,为建设“资源节约型、环境友好型”交通和相关研究提供示范。

1 研究区域

本研究区域为四川美姑县和峨边县交界的椅子垭口及周边地区,四川 306 省道从峨边县的太阳坪(103°3'44", 28°42'53")穿越椅子垭口后进入美姑县的打补觉(103°6'26", 28°38'37"),北为黑竹沟自然保护区、南为大风顶自然保护区,为研究的需要将椅子垭口 306 省道东西两侧 5 km 内的区域也纳入研究范围(图 1)。椅子垭口是周边山体的连接区域,



图 1 研究区域 306 省道及椅子垭口位置

Fig.1 306 provincial road and the position of Yiziyakou in study area

为所在山体的中上坡,海拔区间为 2600—3000 m。大熊猫是两保护区的主要保护对象,该区域是大熊猫的栖息地,也是凉山山系大熊猫种群交流、扩散的重要区域,在上世纪大熊猫保护工程中被划为大熊猫走廊带^[19],对该区域和凉山山系大熊猫的保护具

有重要意义。306 省道是研究区域最主要的干道,人流、物流频繁,当地群众生产、生活对该道路依存度较高,对大熊猫及栖息地的干扰也较大,导致研究区域大熊猫栖息地的破碎和隔离^[23](图 2)。

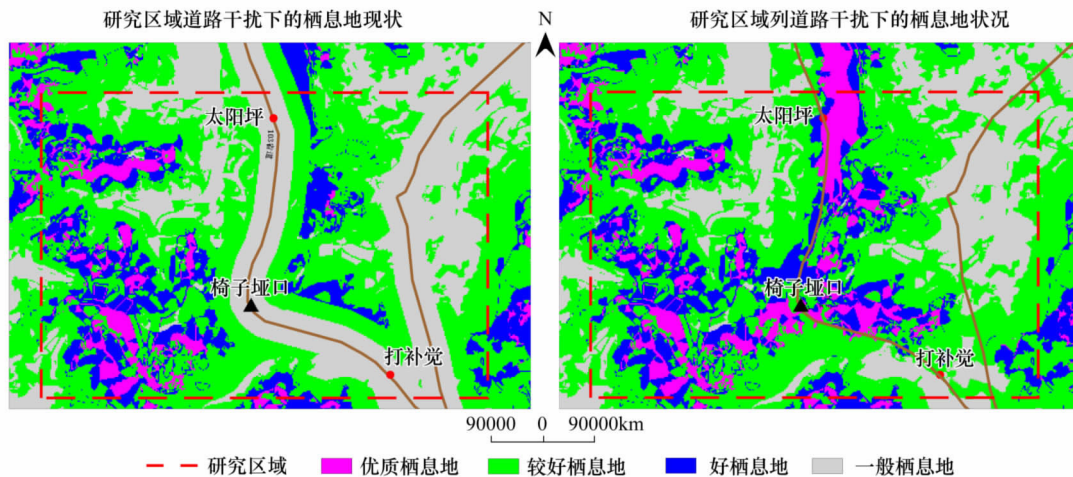


图 2 研究区域有、无道路干扰下的栖息地对比

Fig.2 Comparing the habitat condition with or non road disturbance in study area

2 研究方法和数据

2.1 方法

孙卫星,胡圣武基于道路工程成本和造价的选线方法是将与道路工程成本相关的因素(地形、地质、水文、拆迁)分级、通过 GIS 形成各因素的栅格图层,根据等级对栅格赋值、计算各因素的“相对工程成本值”,值越大工程成本和造价越大,最后通过 GIS 综合各因素得出工程成本最小的路线^[8-10]。道路建设会影响通行区域的生态环境,按工程成本理念,道路建设和建成后会侵占通行区域的植被、改变地形格局和生态过程,并对野生动物栖息地造成不同程度的影响,即道路建设也需要耗费野生动物的“栖息地成本(Habitat Cost)”。基于工程成本选线思路和方法,我们将研究区域大熊猫栖息地按质量分成优质、好、较好和一般分成 4 个等级,分别赋值为 4、3、2、1,并基于线路覆盖区域的栖息地质量构成和赋值计算道路建设的“栖息地成本值”,以此量化道路对穿越该区域大熊猫栖息地造成的损害程度。大熊猫栖息地质量等级划分为栖息地评估结果,基于研究区域植被、地形等数据通过 Ron 和 Jyrki、欧阳志云等所用模型和程序生成栖息地质量等级图层^[20-21](30×30 m 栅格,属性值为栖息地质量等级值)通过

线路覆盖区域的栖息地类型栅格和赋值即得出“栖息地成本值”。由于本研究是探索越椅子垭口并对大熊猫栖息地损害较小的路线,故栖息地成本应基于为无道路干扰的自然状态,进行栖息地评估和确定栖息地质量时也不考虑道路干扰因素。

公路设计是一复杂过程,需要考虑地形、地质、水文、交通量等因素对路线的影响。本研究旨在探索基于环境保护的道路选线方法,研究团队也不具备从工程角度进行道路选线的能力,考虑到研究区域地质条件稳定、相对海拔小(400 m)的实际,结合王冲、丁沃沃把地形作为道路设计重要因素的经验,本研究也以地形因素代表工程成本开展研究^[8]。为充分体现地形成本的特点,基于 1:50 000 DEM 生成研究区域地形图层,将坡度均分成 20 个等级,并赋值 1—20 作为工程成本值和图层(30×30 m 栅格,属性值为坡度值),坡度越大工程成本越高,并通过线路覆盖区域的地形栅格和赋值得出线路的“工程成本值”。

在工程成本图层和栖息地成本图层基础上,根据王冲、丁沃沃对路线计算的方法将栖息地成本图层和工程成本图层按照不同的权重生成道路选线的综合成本及图层(不同权重分别代表环境因素在道路选线考虑中的重要性),然后通过 Arcgis 的

Distance 模块计算从太阳坪穿越椅子垭口至打补觉综合成本最小(最短)的路径^[8-10]。一种权重比例得出一条路线,通过每条路径覆盖的栖息地成本值、工程成本值和路径长度就可比出选栖息地损失最小、工程可行的线路。

2.2 数据

栖息地成本计算所用的植被数据来自黑竹沟保护区和大风顶保护区新近完成的科学考察报告成

果;坡度、海拔等图层基于研究区域 1:50 000 等高线的 DEM 生成;大熊猫对植被、海拔的选择数据来自该区域全国第三次大熊猫调查的大熊猫痕迹点与相关图层叠加、统计的结果^[22](表 1);道路干扰数据基于国家林业局 SD0624 项目成果,研究区域道路影响分为:0—400,400—800,800—1300,1300—四个等级。

表 1 椅子垭口大熊猫对植被和海拔的选择情况

Table 1 The selection condition of giant panda on vegetable and elevation in Yiziyakou

植被类型 Vegetation type	痕迹点数 Track points	百分比/% Percent	赋值 Assignment level	海拔/m Elevation	痕迹点数 Track points	百分比/% Percent	赋值 Assignment level
寒温性针叶林 Cold temperate coniferous forest	126	49.03	4	3500	3	1.17	1
温性针阔叶混交林 Temperate coniferous and broad-leaved mixed forest	33	12.84	3	3400	1	0.39	
落叶阔叶灌丛 Deciduous broad-leaved shrub	29	11.28	3	3300	3	1.17	
暖性针叶林 Temperate coniferous forest	24	9.34	2	3200	11	4.28	2
温性针叶林 Temperate coniferous forest	21	8.17	2	3100	32	12.45	3
草甸 Meadow	19	7.39	2	3000	45	17.51	4
竹林 Bamboo	3	1.17	1	2900	40	15.56	
常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest	1	0.39	1	2800	36	14.01	
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	1	0.39	1	2700	43	16.73	
				2600	23	8.95	3
				2500	13	5.06	2
				2400	4	1.56	1
				2300	2	0.78	
				2200	1	0.39	

3 结果

3.1 有、无道路干扰下的栖息地格局

在假设无道路干扰的自然状态下,研究区域大熊猫栖息地分为 4 个等级、共 7938 hm²,其中优质和好的栖息地为 2139 hm²,占研究区域面积的 27%,并且大熊猫栖息地在椅子垭口处实现了自然连接。但实际上,现 306 省道对研究区域大熊猫栖息地造成了严重干扰、影响较大(表 2),在椅子垭口附近已经没有优质和好的栖息地分布,沿 306 道路形成了一长 9 km、宽 1.5 km 的隔离带,造成了该区域栖息地的隔离和破碎,并导致邻近区域栖息地质量下降(图 2)。基于两种栖息地评估结果,无道路干扰下

表 2 研究区域有、无道路干扰下的栖息地组成及面积

Table 2 The composition and area of habitat with or non road disturbance in study area

栖息地类型和等级 Habitat type and level	道路干扰下的 栖息地/hm ² The current habitat with road disturbance	无道路干扰的 栖息地/hm ² The habitat without road disturbance
一般栖息地 The fair habitat	2760	1795
较好栖息地 The good habitat	3735	4005
好栖息地 The better habitat	1041	1327
优质栖息地 The best habitat	402	812
总和 Total	7938	7938

的栖息地格局可以作为道路干扰去除或减小后当前栖息地演替或恢复的预测结果。

3.2 穿越椅子垭口路线的比选

为充分了解大熊猫栖息地保护对道路工程建设和自然保护的影响,基于 Arcgis 的 Distance 模块,分别在道路选线中以只考虑道路工程成本、工程成本和栖息地成本以 2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2 权重形成的综合成本、只考虑栖息地成本 9 种情况下计算出研究区域的最小成本路径共 9 条,加上现在的 306 省道共得出 10 条线路(图 3)。经对这 10 条道路的长度、工程成本值、栖息地成本值进行比较(表 3),发现线路 7、8(工程成本和栖息地成本权重 7:3、8:2)的栖息地成本与其它线路相差不大、工程成本相对较低,并且线路长度(7976、7919 km)适中,可以

考虑为工程可行、对大熊猫栖息地影响较小的线路方案;线路 4、5、6 对大熊猫栖息地的影响小于线路 7、8,但线路长度和工程成本都明显高,其工程造价应高于线路 7、8;线路 1、2、3 为明显的环境友好导向的线路方案,但工程成本和线路长度都显著高于其他线路,特别是只考虑栖息地成本方案、线路 1 的工程成本几乎为线路 7、8 的 2.5 倍;线路 9 的工程成本最低,为以经济成本、合理降造为导向的线路方案;现有 306 省道线路 10 通行区域为优质栖息地较集中的区域、对大熊猫影响较大、为栖息地成本最高的线路,同时工程成本也较高,确有优化的必要;以上路径为大熊猫栖息地保护在选线方案中占不同比重的结果,分别代表以环境保护为导向和以经济成本为导向的选线理念,供道路建设实际选线参考。

表 3 基于工程成本和栖息地成本不同权重的路线

Table 3 The routes based on different cost ratio of construction to habitat

线路方案 Designed lines	长度/km Length	线路工程成本值 The construction cost of line	线路栖息地成本值 The habitat cost of line	优先导向 Preference
线路 1: 仅基于栖息地成本路线 Line1: based on habitat cost only	10103	2059	684	环境保护导向 environment- oriented ↑ ↓ 经济成本导向 economical cost-oriented
线路 2: 工程、栖息地成本权重 2:8 路线 Line2: based cost ratio of construction to habitat is 2:8	8585	1333	620	
线路 3: 工程、栖息地成本权重 3:7 路线 Line3: based cost ratio of construction to habitat is 3:7	7846	1518	733	
线路 4: 工程、栖息地成本权重 4:6 路线 Line4: based cost ratio of construction to habitat is 4:6	9541	1192	667	
线路 5: 工程、栖息地成本权重 5:5 路线 Line5: based cost ratio of construction to habitat is 5:5	9492	1091	661	
线路 6: 工程、栖息地成本权重 6:4 路线 Line6: based cost ratio of construction to habitat is 6:4	9527	1043	653	
线路 7: 工程、栖息地成本权重 7:3 路线 Line7: based cost ratio of construction to habitat is 7:3	7976	883	808	
线路 8: 工程、栖息地成本权重 8:2 路线 Line8: based cost ratio of construction to habitat is 8:2	7919	861	813	
线路 9: 仅基于工程成本路线 Line9: based on construction cost only	9424	824	995	
线路 10: 现 306 省道路线 Line10: the current road of 306	9105	2328	1121	

栖息地成本值: 由线路覆盖下不同类型栖息地的栅格数乘以其质量属性值结果相加而成; 工程成本值: 由线路覆盖下不同等级地形的栅格数乘以其坡度属性值的结果相加而成

4 讨论

4.1 研究结果的准确性评估

实验性不强是本研究面临的最大困难,不可能在修一条道路的基础上去评估其工程指标和环境效益,只能增强研究的理论性、方法的科学性和数据的

可靠性来保证结果的准确性。本研究没有方法创新,“栖息地成本”概念和计算来自道路工程成本的研究思路和方法,从研究结果中路线 9(仅基于工程成本)走向与现 306 省道(基于传统选线方法)几乎一致,充分说明了本研究所采用思路、方法和指标具有较大的科学性和合理性。“栖息地成本”中的栖息

地质量等级基于保护生物学领域内成熟的栖息地评估理论与方法,研究中所用数据均来自研究区域已

有调查和研究成果,本研究“栖息地成本”的计算应具有较大的准确性。

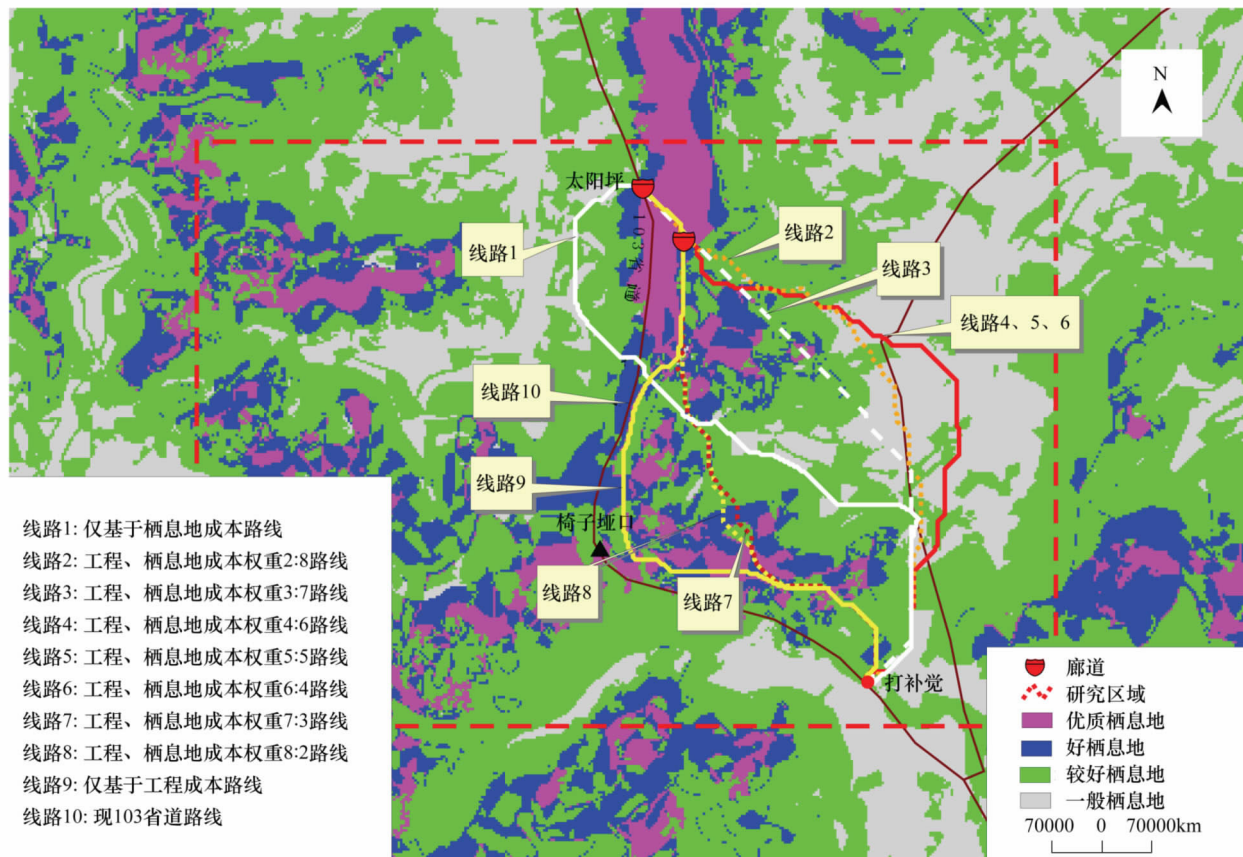


图3 基于工程成本和栖息地成本不同权重的路线分布图

Fig.3 The routes based on different cost ratio of construction to habitat

线路4、5、6 工程成本值和栖息地成本值非常相近,走向接近、部分路段重合

4.2 道路选线研究的复杂性

道路选线研究涉及保护生物学、道路工程学等多门学科,需考虑的成本因素也较多。本研究以地形代表工程成本开展研究,实际工作中还需要分析地质、水文、社会等因素才能得出正确的工程成本和造价;栖息地成本也因保护对象不同,栖息地评估参数和模型相差较大、计算方法也有所变化;本研究仅基于栖息地思考道路选线,虽然一定程度上能反映该区域环境保护的需求,但栖息地仅为环境因素之一,若能基于环境影响评价结果研究选线无疑得出的方案将更为理想。

线路1只考虑了栖息地因素,通行区域是所有选线中唯一没有覆盖优质栖息地的线路(图3),仅占用了约150 m²的好栖息地,最大程度避免了对栖息地的影响。但也由于刻意回避高质量的栖息地,导致线路过长(10103 km)、线路通行区域面积自然

过大,尽管只覆盖了质量较低的栖息地(一般和较好),其栖息地成本值仍然较高(684)。本研究分别列出了以环境保护为导向和以工程造价为导向的选线结果供参考,在建设中仍需工程设计人员根据实际情况、综合多种因素进行最终的选线决策。

4.3 道路优化建议

线路3和线路7、8分别代表以环境保护为导向和工程造价为导向的选线结果,线路3对栖息地的影响只比线路7和8略小,但工程成本却是线路7和8的2倍,由于长度相近,因此线路3的可行性应小于线路7和线路8。研究还发现除仅考虑栖息地成本的选线外(线路1),其他线路都需要跨越太阳坪东南的山体,但该山体是研究区域大熊猫优质栖息地最大、最完整的分布区,若以地面方式通过,将会对景观和栖息地造成永久性伤害,所以建议在该位置以隧道形式穿越山体,以保持该区域大熊猫栖

息地的完整性(图 3)。若仅基于现 306 道路的优化,有必要在椅子垭口设置隧道;但从保护考虑在太阳坪设置隧道的优先性和必要性程度应远高于椅子垭口。

4.4 基于栖息地成本选线对道路建设的意义

根据十二五规划,今后一段时间内我国都将处于道路建设的高峰期,现已破碎的栖息地也将再次面临被路网重度侵害的威胁,道路已成为野生动物保护最现实和紧迫的问题。保护栖息地是保护动物最有效的方式,本研究根据工程成本选线思路首次提出了基于野生动物栖息地保护的选线方法,为从环境保护设计道路路线提供了示范,并确保道路建设的环境保护需求在选线阶段就得到充分的考虑,对提高我国道路选线水平、道路建设和野生动物保护成效具有现实意义。

本研究将保护生物学栖息地评估的研究成果与传统道路选线方法有机结合,使道路基于野生动物栖息地的选线有了方法支持和理论依据,体现了科技进步对学科融合与交叉研究的推动作用,也使基于该研究的工程实践更为可行和可操作。本研究的思路和方法还可以用于湿地、重要生态功能区或保护地内的道路选线,以及道路外建设项目的环境影响评价。

References:

- [1] China net. The total road length is out of 4,000,000 km and the mileage reached No 2 in the world. [2011-04-29]. http://www.china.com.cn/news/txt/2011-04/29/content_22465002_9.htm.
- [2] Feng G Y. Route Selection. Changsha: Press of Hunan University, 1986.
- [3] Zhao S L, Xu G, Yuan X Y. The general idea and route selection of highway in mountain area. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2011, (1): 38-43.
- [4] Zhong S D. The experience of highway route selection with digital terrain model in mountain area. *China New Technologies and Products*, 2011, (8): 81-81.
- [5] Liu L. Research on highway route design system. *Shanxi Architecture*, 2011, 37(28): 140-141.
- [6] Peng Z B. Summary of road line selection methods in construction. *Transport Standardization*, 2010, 221(10): 90-92.
- [7] Pang H Q. Discussion on design of mountainous highway route by combined with new ideas of highway design from the ministry of Communications. *Urban Roads Bridges & Flood Control*, 2010, (10): 57-58.

- [8] Wang C, Ding W W. GIS-based complex site planning analysis: Route selection and plot elevation models. *Urbanism and Architecture*, 2010, (10): 122-124.
- [9] Sun W X, Hu S W. Research on generalization road line-selecting based GIS technology. *Science of Surveying and Mapping*, 2009, 34(S1): 94-96.
- [10] Kong J L. The Multi-plans synthetic evaluating in highway routes selection based on GIS. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping (WTUSM)*, 1999, 24(3): 213-215.
- [11] Sun J Z, Kong Y P, Bi J H, Wang Y. Wildlife protection countermeasures in highway planning. *World Forestry Research*, 2012, 25(1): 30-34.
- [12] Gong M H, Hou M, Lin C, Song Y L, Ouyang Z Y. The quantitative assessing of trail impacts on giant panda activity based on field track points and GIS. *Biodiversity Science*, 2012, 20(4): 420-426.
- [13] Chen Z Z, Cai R K. Research on highway's influence to wild animals and its protection measures. *Journal of Guangdong Communications Polytechnic*, 2011, 10(2): 21-25.
- [14] Pan W Q, Zhang L, Li G F, Yang H S, Luo A D, Dong Y H. The effects of Sixiao highway on the migration of Asian elephants // Paper Abstract Compilation on the 3rd National Academic Symposium of Wildlife Ecology and Resource Conservation. Beijing: China Zoological Society, 2006: 36-36.
- [15] Alisa W C. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 2007, 15(5): 396-406.
- [16] Forman R T T. Road ecology: A solution for the giant embracing us. *Landscape Ecology*, 1998, 13(4): iii-v.
- [17] Jiang W D, Guo Z Y. Highway designing and environment protection. *Highway*, 1996, (4): 18-21.
- [18] Jiang Z G, Ma K P, Han X G. Conservation Biology. Hangzhou: Zhejiang Scientific and Technical Press, 1997.
- [19] Gong M H, Yu C Q. The Study on the Corridors of Giant Panda. Beijing: Chinese Forestry Press, 2003.
- [20] Store R, Kangas J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 55(2): 79-93.
- [21] Ouyang Z Y, Liu J G, Xiao H, Tan Y C, Zhang H M. An assessment of giant panda habitat in Wolong Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1869-1874.
- [22] State Forestry Administration. The 3rd National Survey Report on Giant Panda in China. Beijing: Science Press, 2006.
- [23] Gong M H, Song Y L. The report for impacts of logging and construction projects on giant panda population dynamic in Liangshan Mountains (This study was funded by Chinese State Forestry Administration). 2009.

参考文献:

- [1] 中国网.中国公路总里程破 400 万公里高速公路居世界第二.

<http://www.ecologica.cn>

- [2011-04-29]. http://www.china.com.cn/news/txt/2011-04/29/content_22465002_9.htm.
- [2] 冯桂炎. 道路选线. 长沙: 湖南大学出版社出版, 1986.
- [3] 赵胜林, 许刚, 袁晓寅. 山区高速公路路线设计基本思路及选线方法的研究. 公路交通科技: 应用技术版, 2011, (1): 38-43.
- [4] 钟少都. 数字地面模型在山区高速公路选线中应用的体会. 中国新技术新产品, 2011, (8): 81-81.
- [5] 刘莉. 公路路线设计系统研究. 山西建筑, 2011, 37(28): 140-141.
- [6] 彭振宾. 工程建设中的道路选线方法综述. 交通标准化, 2010, (10): 90-92.
- [7] 庞华强. 结合交通部公路设计新理念谈山区公路路线设计. 城市道桥与防洪, 2010, (10): 57-58.
- [8] 王冲, 丁沃沃. 基于 ArcGIS 的复杂地形规划问题研究——道路选线和分地块高程确定. 城市建筑, 2010, (10): 122-124.
- [9] 孙卫星, 胡圣武. 基于 GIS 技术的公路综合选线方法的研究. 测绘科学, 2009, 34(S1): 94-96.
- [10] 孔金玲. 基于 GIS 技术的公路选线多方案综合评价. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 24(3): 213-215.
- [11] 孙金柱, 孔亚平, 毕俊怀, 王云. 公路规划中野生动物保护对策的探讨. 世界林业研究, 2012, 25(1): 30-34.
- [12] 龚明昊, 侯盟, 简琛, 宋延龄, 欧阳志云. 基于野外痕迹点和 GIS 技术定量评估步道对大熊猫活动的影响. 生物多样性, 2012, 20(4): 420-426.
- [13] 陈志展, 蔡荣坤. 公路对野生动物影响和保护措施研究. 广东交通职业技术学院学报, 2011, 10(2): 21-25.
- [14] 潘文婧, 张立, 李国锋, 昂洪生, 罗爱东, 董永华. 思小高速公路对亚洲象迁移的影响 // 野生动物生态与资源保护第三届全国学术研讨会论文摘要集. 北京: 中国动物学会, 2006: 36-36.
- [17] 江文德, 郭正言. 高等级公路路线设计与环境保护. 公路, 1996, (4): 18-21.
- [18] 蒋志刚, 马克平, 韩兴国. 保护生物学. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1997.
- [19] 龚明昊, 于长青. 大熊猫走廊带研究. 北京: 中国林业出版社, 2003.
- [21] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 谭迎春, 张和民. 卧龙自然保护区大熊猫生境评价. 生态学报, 2001, 21(11): 1869-1874.
- [22] 国家林业局. 全国第三次大熊猫调查报告. 北京: 科学出版社, 2006.
- [23] 龚明昊, 宋延龄. 凉山山系森林采伐、建设项目对大熊猫种群变动的影响研究报告 // 国家林业局 SD0624 项目成果(未出版). 国家林业局, 2009.