

# 廊道式建设工程生态环境影响评价研究现状与展望\*

肖峻<sup>1,2</sup> 汪亚峰<sup>1</sup> 陈利顶<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; <sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要** 廊道式建设工程是当前十分常见的建设工程项目,它在促进社会经济发展和人们生活水平提高的同时,也带来了一系列的生态环境问题,因此对廊道式建设工程进行生态环境影响评价研究具有十分重要的现实意义。本文归纳了廊道式建设工程的主要类型,分类概括了其产生的各种生态作用 and 环境影响,并对影响的复杂性和危害程度进行了阐述;分析了生态环境影响评价工作在廊道式建设工程建设中的重要性,同时对生态环境影响评价在廊道式建设工程项目中的具体应用和相关研究成果进行了介绍。在此基础上,讨论了目前的研究所存在的突出问题,指出今后廊道式建设工程生态环评的发展方向是利用地理信息系统、遥感及模型模拟技术,完善评价方法,提高评价体系的定量化程度和准确度,在细化评价指标的同时关注评价范围的尺度效应,从而使环评工作更具有科学性和可信度。

**关键词** 廊道式建设工程; 道路交通; 管道运输; 评价方法

**中图分类号** X820.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)10-2694-09

**Assessment of eco-environmental impacts of linear project construction: Research progress and perspectives.** XIAO jun<sup>1,2</sup>, WANG Ya-feng<sup>1</sup>, CHEN Li-ding<sup>1\*\*</sup> (<sup>1</sup>State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; <sup>2</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(10): 2694-2702.

**Abstract:** Linear project construction is very common in construction projects. It plays an important role in accelerating socio-economic development and improving living standard, but brings about a series of ecological and environmental problems. Therefore, assessing the eco-environmental impacts of linear project construction is of great practical significance. This paper summarized the main types of linear project construction and their ecological and environmental impacts, analyzed the importance of eco-environmental assessment of linear project construction, and introduced the applications and related researches of eco-environmental assessment in linear project constructions. The prominent problems in current related studies were discussed, and the future research directions were suggested. It was considered that, to integrate the geographic information system and the remote sensing and modelling simulating techniques, to improve evaluation methods through establishing more quantitative and accurate assessment systems, to achieve the indices systematization while paying attention to the scale effect of assessment scope, and thus, to make the eco-environmental impact assessment more scientific and credible would be the development directions for the eco-environment assessment of linear project construction.

**Key words:** linear project construction; road traffic; pipeline transportation; evaluation method.

生态环境是指影响人类生存与发展的水资源、土地资源、生物资源以及气候资源数量与质量的总称,是人类生存和发展的基础,其质量的好坏关系到社会-经济可持续发展这一重大问题(曲格平,

2002)。当前,随着社会经济的迅速发展,人口、资源和环境的矛盾日趋尖锐,对生态环境的胁迫加重了人类的生存危机,土地退化、生态平衡失调、生物多样性骤降等全球生态问题也日益凸显,不仅对国家的经济、社会生活形成了挑战,而且对国家安全和稳定构成了严重威胁(肖笃宁等,2002;施晓清等,2005)。

\* 环保公益性行业专项重大项目(201209029)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: liding@cees.ac.cn

收稿日期: 2012-03-24 接受日期: 2012-06-20

廊道式建设工程建设是指以线状、条带状格局形式开展的施工建设活动,如铁路、高速公路、油气管道、大型引水调水工程等(傅伯杰等,2002)。20世纪90年代以来,我国先后上马并投入运营了一系列大型廊道式建设工程建设项目。人们在享受这些廊道式建设工程所带来的便利与快捷的同时,也逐渐认识到不合理的工程规划设计和建设对区域生态系统会造成一系列问题,而这些问题产生的后果将最终作用于人类社会,影响人类的生存与发展。而且廊道式建设工程跨越路线长,覆盖区域广,经过的生态系统类型复杂多样,对生态环境的影响既有各自的普遍性也有其特殊性,因此正确识别不同廊道式建设工程的生态影响的类型和程度、进行科学合理的建设项目生态环境影响评价,已成为环境评价、保护和管理领域的研究重点之一(穆从如,1994;关华,2006;陈利顶等,2007)。

生态环境影响评价是指根据生态系统的观点,运用生态学、环境科学的理论和方法,对拟建设项目、区域开发计划和国家政策实施后对生态环境产生的物理、化学或生物的作用及其造成的生态环境变化和对人类健康和福利的可能影响,进行系统的识别、预测和评估,并提出减少这些影响的对策,从而达到人类行为与环境之间的协调发展(毛文永,1998)。因此,廊道式建设工程的生态环境影响评价对于各种复杂生态系统的保护具有十分重要的作用,也是维持脆弱生态区域环境,实现人与自然和谐相处的有效保证,在廊道式建设工程项目以及其他的各类建设项目中占据着举足轻重的地位。基于廊道式建设工程及其生态环境影响评价的现状和重要性特点,本文对廊道式建设工程产生的各种生态作用、环境影响进行了概括,以期对廊道式建设工程生态环境影响评价工作和研究的进一步完善和发展提供借鉴和依据。

## 1 廊道式建设工程的主要类型

在景观生态学中,廊道是指不同于相邻两侧环境的线状或带状的景观要素(傅伯杰等,2002)。一般来说,中、大尺度的,呈带状、条状分布的工程项目以及人工河流廊道都属于廊道式建设工程。因此,廊道式建设工程种类较多,各具特点。主要的几种廊道式建设工程有:

1) 交通工程。交通工程包括公路建设工程与铁路建设工程,作为国民经济和社会发展重要的基

础设施,它们组成了重要的廊道式交通线路,在现代综合交通运输体系中占据着重要的地位。交通工程占地面积大,需要将路面植物移除并挖筑地基、压实路面,部分区域和工程(如高铁、高速)需要修建高架桥。

2) 油气输送管道。油气管道输送方式与常规能源运输方式相比,有着成本低、损耗低、运输量大等诸多优点,已经成为了当前石油和天然气中长距离运输主要的方式,全球100%的天然气和85%以上的原油的运输是通过管道输送实现的(宋艾玲等,2006)。油气管道建设一般需要开挖管沟,将管道埋入地下,再将土壤回填,并恢复地表地貌,必要时一侧或者两侧修建伴行公路(黄春芳,2008)。

3) 长距离输水建设工程。长距离输水工程是解决淡水资源短缺、水资源分布不均匀以及城市供水污染的重要基础设施。长距离输水工程一般使用原有河道或者运河进行输水,或者新开渠道输水,必要时修建泵站或采用管道运输。新开渠道须挖建沟渠,并采用混凝土、水泥土、喷浆抹面等方式全断面衬砌,防渗减糙。

4) 其他廊道式建设工程。大型长距离输电网、人工运河等工程项目均属于廊道式建设工程,当前针对性的研究不多。

## 2 廊道式建设工程生态环境影响

### 2.1 工程建设带来的生态环境影响

廊道式建设工程不可避免地对所经过地区的生态环境带来一系列的扰动作用,从而使得该地区的生态功能和环境质量发生改变(Spellerberg, 2002; Forman, 2003),具体的影响体现在以下几个方面:

1) 永久性占用土地,对土壤产生影响。公路和铁路需要占用土地修建路基或者架设高架桥,从而改变了土地利用类型。在施工过程中,必须挖方后填土压实以修筑地基,部分地段需要掺加填料加固地基;而管道建设期也有机械碾压和管沟开挖后的回填过程,这些工程步骤会改变施工地及两旁土壤质地,破坏土壤肥力,改变土壤的理化性质(潘荣叁,2011)。

2) 植被遭到破坏,诱发地质灾害。由于开挖沟道、路基以及建设施工车辆通行的需要,作业区及两侧的植被将会被完全破坏,弃渣场、生活区、材料堆放点也会造成周边植被破坏,使得植物生存环境质量降低(孔国辉等,1988),生态系统退化。由于植

被破坏而使得土壤侵蚀加剧,并增加发生滑坡等地质灾害的风险,弃土弃渣则易于被暴雨冲刷,形成泥石流。而输电线路则由于人为开挖基础平台,产生人工高边坡,导致水土流失(鲁先龙和乾增珍,2009)。

3)对景观格局的影响。廊道式建设工程在所进入的景观中产生廊道效应,使景观格局发生变化(宗跃光,1999;刘世梁等,2005;陈利顶等,2010)。连续的整体景观转变为分割和破碎的景观镶嵌体,破碎化程度加大,从而威胁生物多样性的维持,降低生态环境稳定性,增大环境保护难度。护坡、绿化等植被恢复措施虽然起到了固土、美化的作用,但改变了原有生态景观的风貌,增加了景观异质性。

4)对生态系统的影响。工程作业直接破坏区域内的植被,降低野生动物数量,从而影响初级生产能力和次级生产能力,而且由于边缘效应的作用,分割开来的生态环境其生境总量比最初的整体要少,公路、铁路所起的阻隔作用不利于物种和基因的交流,进而降低生态系统内的能量流动和物质循环能力(Trombulak & Frissell, 2000; Develey & Stouffer, 2001; Goosem; 2001; 成文连等, 2010)。同时,廊道工程所带来的人为干扰大幅增加,驱动周边地区土地利用方式改变,并作用于上述各个方面,从多方面对生态系统产生不利影响,使得整个生态系统易发生退化,增加了生态风险。

## 2.2 廊道式建设工程生态环境影响的特殊性

与其他建设工程项目相比,廊道式建设工程对环境的影响具有其特殊性,具体体现在以下几个方面:

涉及的生态系统类型复杂。公路、铁路、渠道及管道运输线路均是长距离线性工程,跨越区域十分广阔。以西气东输一线工程为例,其从西北到东南即穿过了10个省(市、自治区),途径区域的主要的气候类型温带大陆性气候、高原山地气候、温带季风气候和亚热带季风气候四大类,沿途所经过的生态系统更是复杂多样(陈利顶等,2006)。因此,廊道式建设工程对生态环境产生影响的范围之广,影响的生态系统的类型之多,差异之大,使得产生的影响也复杂多样。

影响范围呈条带状并网格化。由于廊道式建设工程是线性工程,影响区域主要是工程项目所经区域的两侧,从而使其影响范围呈现条带状分布的特点。当廊道式工程出现交汇或者分支时,其影响区

域也相互交错,从而使影响范围网格化。单个廊道对环境的作用范围有限,但廊道式工程连成网络后,同类型的生态影响相叠加,不同类型的生态影响相协同,对生态环境的影响程度增加,范围扩大。这在公路网、铁路网等交通网络上体现得更为明显。

产生的影响具有隐蔽性。廊道式建设工程项目建成之后,对生态环境产生的部分影响不会直观地表现出来,或者不易被人们所察觉。如大部分地段油气管道连通后,将土方回填,再进行植被恢复,使其带来的地温升高、土壤质地改变等影响受到忽视。同样,输水工程对北方缺水地区生态环境改善起到了积极的作用,使得人们易于忽视其对水源区的生态影响以及生物入侵等负面作用(盛海洋等,2004;何志恒和张全发,2007)。

## 2.3 不同廊道式建设工程生态环境影响的特点

由于不同的廊道工程之间各有差异,因此其对于生态环境的影响也具有各自的特点。

交通工程。公路交通所排放的尾气含CO、NO<sub>x</sub>等污染物质,对大气造成污染(张振维等,2000; van Bohenen & Janssen van de Laak, 2003),并扬起粉尘,增大空气中的颗粒物,对人体健康和植物光合作用造成损伤(Auerbach *et al.*, 1997);道路周边环境土壤中重金属和植株上附着的重金属总量显著性增加,二氧(杂)芑、多氯化联二苯等持久性有机污染物浓度明显上升(Benfennati *et al.*, 1992;郭广慧等, 2007)。公路和铁路两旁固体废弃物增加,途径区域水体污染的风险增大(Gjessing *et al.*, 1984)。车轮摩擦及路面材料易于吸收热量,因而路面温度升高,产生道路热岛效应(Jones, 2000)。廊道效应导致外来种通过道路扩散,并干扰植物群落稳定性,破坏群落演替过程(Tyser & Worley, 1992;尹忠东等, 2006);Andrews(1990)发现,道路交通引起脆弱生态系统许多物种生境破碎和岛屿化,从而造成栖息地面积减小、质量降低,使种群数量下降,甚至在该地区灭绝。

油气输送管道。管道在运营期会升高周边土温,降低土壤水分(Hopmans & Dane, 1986),从而改变微生物群落种类,提高微生物活性,降低土壤有机质含量(赵静等,2011),并使植被退化。调查发现,华北石油管道运行期间,地表土壤温度比相邻地段高1~3℃,蒸发量加大,秋季农作物提前1~2周成熟,冬季土表面积雪提前融化(穆从如和杨林生, 1995)。Zink等(1995)研究发现,管道经过南加州

生态保护区所形成的廊道主要由外来物种组成的同种植物群落构成,其与本地植物群落的相似性很低。另外,管道穿过河流时,施工下游方向水体中的泥沙明显增加,栖息地环境的改变将影响鱼类的呼吸率等生理特征,干扰鱼类产卵,进而影响鱼类的生长率、孵化率、仔鱼成活率(Lévesque & Dubé, 2007)。

输水工程。输水工程增加了污染物质以及入侵生物的扩散途径和范围。如长输水工程使长江流域的钉螺可能作为入侵种进入北方,增大了血吸虫病的传播风险(缪峰等, 2004)。输水工程可能会对水源区产生生态环境方面的影响,杨桂山(2001)分析了南水北调工程建设后,长江河口地区盐度的变化以及对城市供水水质的影响,认为南水北调必然使得枯水季节上海区段的长江干流盐分含量提高,对供水水质产生负面影响。

### 3 廊道式建设工程生态环境评价研究进展

#### 3.1 廊道式建设工程生态环境评价的作用

廊道式建设工程发展迅速,各种线路形成网络遍布全国,而且扩展趋势迅猛,其对生态环境的影响愈加突显。以道路为例,在欧洲国家,公路及其边缘地段虽然仅占国土面积的1%~2%,但其生态学影响范围则达到了国土面积的15%~20%,重要性不容小视(Forman & Alexander, 1998)。而且廊道工程导致的群落退化、生物多样性下降等后果,有可能在十几年后才显现出来,而使其生态学影响被人们低估(Findlay & Bourdages, 1999)。Ferrary (1995)指出,环境评价是指导铁路线路规划和工程设计的重要方法,可以减轻铁路建设和运营期带来的负面环境效应,在环境保护方面能够起到积极的作用。采用生态影响评价的方法对廊道式建设工程环境进行分析,能够兼顾各方面的利益,为缓解和消除工程所带来的环境风险提供理论依据和技术指导,最终使工程项目具有良好环境相容性。

#### 3.2 廊道式建设工程生态环境影响评价现状与特点

在20世纪70年代美国建立环境影响评价制度后,生态环境影响评价的应用和研究逐渐受到关注。Forman等(1998, 2003)确立的道路生态学对道路生态学重要的理论、原则、模型和概念进行了系统详尽的总结,引起了立法机构和研究人员对道路生态环境的重视,为交通工程的评价工作奠定了理论基础,促进了廊道式建设工程生态环境影响评价的发

展。目前国外研究也较充分,Thomas(1999)通过对英格兰北部、荷兰和柏林的36项交通基础设施政策、规划的研究,分析了交通规划对生态环境和有关社会经济影响的评价方法。Sherwood(2002)评价了公路网对野生生物生境的影响,认为其对野生生物的生存有着巨大的干扰能力。Caroline和Chris(2003)采用BZIEF模型,建立以标准为基础的得分体系,对河岸缓冲带进行评价。

当前廊道式建设工程生态环境影响评价的特点主要体现在以下几个方面:

1)根据不同生态区域特征进行分析和评价。针对廊道式建设工程距离长,途径生态系统多样的特点,依据评价对象内部各个区域的共同特征和不同特点,选择主导因素,分类开展评价工作,从而突出了具体生态环境的特性,提高评价准确度和可信度。如Mao等(2011)对中国沙漠地区的公路建设对自然生态环境的影响进行了评价,按照公路所经过的区域特点选取一个主导因素和四个辅助因素,作为划分区域的影响因素,不同区域的评价等级各不相同,最终把评价区域成三大类,从而为沙漠公路线路规划、设计、施工和维护提供依据。丘君等(2003)将生态系统稳定性理论引入生态环境评价,将生态系统按照稳定性的不同划分为不稳定、欠稳定、稍稳定和稳定4个等级,从而根据生态系统所处的级别不同,指导工程项目做出符合实际需要的环境构建对策。高启晨等(2003)提出了依据不同的生态系统建立输气管道生态安全保障体系的构想。

2)遥感(RS)地理信息系统(GIS)等工具被广泛用于数据获取和资料收集,服务于生态环评工作,使评价参数可信度和准确度提高。如Fiori和Zalba(2003)采用地统计学方法对石油勘探与开发对阿根廷巴塔哥尼亚草原生物多样性造成的潜在影响进行研究,并对该自然保护区受到的影响进行了分析评价。John等(1999)运用GIS技术根据景观类型、斑块大小及景观类型的重要性对Chiltern Hills地区进行了景观评价。沈渭寿等(2005)采用GPS卫星定位、航测遥感技术采集数据,对青藏铁路沿线生态景观变化做出评价。

3)可选用的评价方法多样,指标体系各具特点。国内规范性标准《环境影响评价技术导则》并未具体规定建设项目生态环境影响评价的评价方法,因此学者和工作人员一般根据评价对象的所处的工作等级和项目要求自行选取评价方法。如李庆

旭等(2007)使用层次分析法对宝鸡到天水的高速公路的生态环境影响进行了评价,评价结果与实际结果相比具有较好的一致性。赵勇等(2005)采用综合生态影响评价指数法对公路选线方案进行取舍,选取对环境影响较小的线路,为规划决策提供参考。高永年和高俊峰(2010)使用综合指数法对南水北调中线工程对汉江中下游流域生态环境的影响进行了评价。此外,《环境影响评价技术导则》虽然对评价内容有所规定,但鉴于建设工程项目之间的工程类型及其影响的生态环境等因素差异很大,选用哪些具体指标可以由学者自行筛选,因此不同学者所建立的指标体系有所差异。

另外,廊道式建设工程经过生态脆弱区、生态敏感区和保护区的环境影响评价的有关研究也逐渐得到重视,有所报道(徐宪立等,2006;李国艳等,2009;董仁才等,2011;张新玲等,2011)。而相比公路、铁路和管道建设而言,其他廊道工程环境评价方面的相关研究也有所报道,但数量较少(裴源生等,2004;金良俊和张强,2006)。

## 4 廊道式建设工程的评价方法

### 4.1 压力-状态-响应框架模型

压力-状态-响应(pressure-state-response, PSR)框架模型最早由加拿大统计学家 Rapport 和 Friend (1979)提出,用于分析环境压力、环境状态、环境响应之间的相互作用。该模型是一种从指标产生的机理方面着手构建评价指标体系的方法,并用于分析和评价环境与人类活动关系的概念框架。压力指标是用来测量因人类活动所引起的环境影响;状态指标则用来测量由人类活动造成压力导致环境状况的变化和结果;响应指标是反映人类人为改善环境状态而采取的社会行为(OECD, 2001; 刘燕华和李秀彬, 2007)。PSR 框架模型具有系统性、整体性、灵活性的特点,能有效地整合资源、经济、政策、制度等方面的因素。基于 PSR 模型开展复杂生态环境下的评价工作,可以全面反映各影响因子对生态环境作用,已逐渐成为了重要的生态环境评价框架(李中才等,2010;马倩等,2011)。除了廊道式建设工程生态环评工作外,当前各项工程生态环境评价体系也大多是基于它的思想来构建的。在该框架的基础上筛选评价因子,划分评价的各个层次,从而为下一步具体评价方法的选择和应用提供指导思想和工作基础。

### 4.2 主要的廊道式建设工程生态环境评价方法

随着廊道式建设工程建设的重要性被人们渐渐认可,廊道式建设工程生态环境影响评价也得到了广泛的研究,主要的评价方法有:列表清单法、图形叠置法、类比分析法、综合指数法、系统分析法等(王建军,2003;吴小萍等,2004;程胜高和张聪辰,2005)。其中列表清单法、图形叠置法和类比分析法是重要的定性分析方法,综合指数法应用十分广泛,研究与应用都较为成熟。系统分析法在进行区域开发或进行方案选择优化时,具有突出的优势,能够妥善地解决多目标动态性问题。

**4.2.1 综合指数法** 综合指数法具有灵活、全面的特点,一般用于生态因子单因子质量评价,生态环境多因子综合质量评价和生态系统功能评价(海热提和王文兴,2004)。应用这种方法的关键是确定指标集和指标权重。指标集应较全面地反映建设项目对生态环境的影响。在指标集和指标权重的确定过程中,一般采用的有简单易行的专家打分法,但是这种方法受人为主观因素影响较大。

**4.2.2 系统分析法** 系统分析法是把要解决的问题作为一个系统,对系统要素进行综合分析,找出解决问题的可行方案和咨询方法。系统分析法主要包括灰色关联度分析法、层次分析法、模糊分析法、综合排序法、人工神经网络评价法等。常见的用于生态环境影响评价的方法有:

1) 灰色关联度分析法。当研究对象存在各类不同影响因素,而且相互关系比较复杂,难以得到全面、足够的信息时,可以将这些因素视作灰色系统,通过一系列关联度分析将其关系白化。对灰色系统进行分析和研究时,关键在于如何从随机性的时间序列中,找到关联性和关联性的度量值,以便进行因素分析。此方法适合于确定权值,但难以清晰地表征评价结果(杨士建,2003)。

2) 层次分析法。其基本思想是先按问题要求建立一个描述系统功能或特征的内部独立的递阶层次结构,通过两两比较因素(或目标、准则、方案)的相对重要性,构造上层某要素对下层相关元素的权重判断矩阵,以给出相关元素对某要素的相对重要序列。该方法具有实用性、系统性、简洁性等优点,有利于处理某些难以完全用定量方法分析复杂问题。缺点则是建立的常权值分布刚性较大,难以准确反映生态环境及生态安全评价领域的实际情况(左伟,2002)。

3)模糊分析法。模糊综合评价是以模糊数学为基础,应用模糊关系合成的原理,将一些边界不清、不易量化的因素定量化并进行综合评价的一种方法。即通过构造等级模糊子集把反映被评价事物的模糊指标进行量化确定隶属度,然后利用模糊变换的原理对各指标进行综合。该方法的优点在于能够方便的将定性指标定量化,很好地解决了判断的不确定性问题。缺点则是权重确定有主观性,而且不能消除因子之间的相关性(赵敏和常玉苗,2009)。

这些方法在实际应用中优点和缺点都十分突出,因此以上述方法为基础,取长补短,衍生出了一些更为完善的复合分析方法。从而得到更科学可信的评价结果,如层次分析-熵值法,层次分析-变权-模糊-灰色关联复合模型等。当前,复合分析法已经逐步成为学者研究的热点(胡月明等,2001;左伟等,2005;丁晓静和王耕,2010)。

以上评价方法均是当前比较通用或常见的生态环境评价方法,共同特点是定量和定性相结合,部分指标的大小以及权重需要人为评判,因此可能会对评价的准确性造成影响。同时由于廊道式建设工程对生态环境的影响具有特殊性,要求评价方法具有针对性,因此,评价方法的完善和新方法的探讨也是当前相关研究工作的重要环节。

## 5 存在的问题和研究展望

### 5.1 存在的问题

目前廊道式建设工程生态环境评价研究总体上并不多,其重要性仍需要得到人们的认识和社会的重视,而且不同的工程类型之间研究深度差异较大,油气输运管道、长输电线网和人工运河等方面的评价工作需要加强。除此之外,相关研究还存在以下几方面的问题:

1)评价因子的筛选方法缺乏统一标准;评价因子无法全部定量获取;单一评价方法难以覆盖全面。由于廊道式建设工程影响范围大,线路长,途径的生态环境区域复杂多样,造成的生态问题也各不相同,评价其对不同的生态环境区域的影响所需要的参评因子多,筛选难度大,不同地区权重不同甚至相差较大,很难做到凭借一套或者几套单一的评价体系来解决所有问题。因此,如何建立起一系列能够符合上述要求的生态评价体系是当前亟待解决的一大问题。

2)评价指标权重的确定过于主观化。目前一般依据德尔菲法确定权重,赋值过于主观。而权重不准确极易影响下一步评价方法的运用和运算,产生放大效应,导致整个评价结果偏离实际情况。同时,廊道式工程的部分生态影响具有隐蔽性,也易于出现确定的权重与实际不符合的情况。

3)廊道式工程生态环境影响范围网格化的相关研究较少,是当前需要得到学者充分重视的一大课题。尤其是不同廊道式工程线路相互交错,使得不同工程类型产生的影响相互叠加,共同作用于生态环境,可能产生新的生态环境问题,从而加大了评价难度。

### 5.2 研究展望

正是由于环境影响评价工作提出了各类新问题,促进了廊道两旁植被的选择和配置技术,声屏障材料的研发工作,GIS和GPS支持的公路环境信息监测、管理等应用技术,节水、改土、固坡的路域生态工程及生态环境综合治理技术,地质灾害防护及湿地和自然保护区生物多样性保护措施等各种技术手段研究的深入,有的研究成果已经直接应用于廊道式建设工程环保实践。在今后的工作中,廊道式生态影响评价应参考国际环境影响评价工作成果,充分吸收新的科研成果、先进技术和环境影响评价经验,改进生态环境影响评价方法。

顺应生态环境影响评价的大趋势,扩展评价内容和范围,同时丰富和充实评价方法,建立合适的、灵活的定量指标体系创建方法,提高评价方法的科学性、可信度和实用性,是当前研究所努力解决的重要课题。如针对廊道式工程通过的生态系统复杂多样这一特点,可以按照《全国生态功能区划》划分的生态区域类型和确定的生态功能,选取符合具体生态区实际情况的有针对性的生态参评因子,对基础评价指标体系进行筛选和增补,着重考虑生态区的主要生态作用、需要保护的重要资源,限制性因素或者关键因子,得到适合具体生态环境条件的评价指标体系,并找出具体生态区域的生态环境敏感因子。此外,统一评价方法和评价指标的筛选原则也是国内规范性标准完善和发展的方向。

引进新型技术,完善环境影响评价方法。如建立完善的专家系统,增强专业判断的科学性和准确程度,应用遥感与系统分析技术、GIS技术,减少主观随意性。增加数据获取的可信度是提高评价精度和准确度的重要途径,可推广计算机数值模拟技术、

实验室模拟实验技术,野外实验示踪技术等。评价所采用的工具和手段日益先进,多学科融合共同服务于生态环境影响评价是今后发展的趋势。

借鉴西方先进的环评制度,进一步完善国内规范性标准。美国环境质量署颁布的《Guidelines for Incorporating Biodiversity into the EIA Process Using a Cumulative Effects Approach》和英国 Institute of Ecology and Environmental Management (IEEM) 编制的《Guidelines for Ecological Impact Assessment in the United Kingdom》均是对生态环境影响评价工作进行指导的标准和规范,对评价范围、方法和步骤等规定较为细致,如将野生动物通道设计纳入到常规的交通设施规划及环境影响评价中等要求,有值得借鉴之处。

评价对象向宏观和大尺度方向发展。即由目前的单一公路、铁路、管道等生态环境影响评价,向两条交汇线路的协同作用,甚至公路网、铁路网以及不同廊道式工程所形成的网络对大尺度生态环境或景观格局的影响评价发展。以我国道路网为例,东、南部地区网络密集,且人口密度高,人多地少,环境容量空间狭小,加之城镇规划不合理等主客观因素,道路交通与生态环境之间矛盾尖锐,以往的以单一道路交通建设项目为单元的环境影响评价难以适应新的形势要求,需要从更高的角度来评价项目的可行性。因此,单个廊道式建设项目的生态环评和以廊道式工程网络为基础的区域生态环评相结合就成为现阶段生态环境管理的必然要求。

#### 参考文献

陈利顶,郭书海,姜昌亮. 2006. 西气东输工程沿线生态系统评价与生态安全. 北京: 科学出版社.

陈利顶,吕一河,田慧颖,等. 2007. 重大工程建设中生态安全格局构建基本原则和方法. 应用生态学报, **18**(3): 674-680.

陈利顶,王计平,姜昌亮,等. 2010. 廊道式建设工程建设对沿线地区景观格局的影响定量研究. 地理科学, **30**(2): 161-167.

成文连,王飞飞,刘钢,等. 2010. 青藏铁路格望段工程生态影响的主要特征: 线型切割. 环境科学与管理, **35**(5): 151-153.

程胜高,张聪辰. 2005. 环境影响评价与环境规划. 北京: 中国环境科学出版社.

丁晓静,王耕. 2010. 基于 AHP 和熵值法的辽宁省城市生态安全评价. 环境科学与管理, **35**(12): 172-176.

董仁才,孙晓泽,李春明,等. 2011. 青藏铁路沿线生态环

境敏感性评价 GIS 模型. 生态学杂志, **30**(9): 2093-2098.

傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 2002. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社.

高启晨,陈利顶,姜昌亮,等. 2003. 西气东输管道沿线河西走廊地区生态系统评价与生态安全保障体系建设. 干旱区地理, **26**(4): 309-315.

高永年,高俊峰. 2010. 南水北调中线工程对汉江中下游流域生态环境影响的综合评价. 地理科学进展, **29**(1): 59-64.

关华. 2006. 道路建设中的生态问题——应用生态廊道设计降低生态冲击的新观点. 生态经济, (1): 112-116.

郭广慧,陈同斌,宋波,等. 2007. 中国公路交通的重金属排放及其对土地污染的初步估算. 地理研究, **26**(5): 922-930.

海热提,王文兴. 2004. 生态环境评价、规划与管理. 北京: 中国环境科学出版社.

何志恒,张全发. 2007. 南水北调中线工程对具入侵性植物传播的潜在影响评估. 武汉植物学研究, **25**(4): 335-342.

胡月明,万洪富,吴志峰,等. 2001. 基于 GIS 的土壤质量模糊变权评价. 土壤学报, **38**(3): 266-274.

黄春芳. 2008. 油气管道设计与施工. 北京: 中国石化出版社.

金良俊,张强. 2006.  $\pm 500$  kV 直流输电工程环境影响评价. 环境科学与技术, **29**(8): 51-53.

孔国辉,汪嘉熙,陈庆诚. 1988. 大气污染与植物. 北京: 中国林业出版社.

李国艳,刘珊,李莉莉,等. 2009. 陕北脆弱生态区天然气管道的生态环境影响评价. 西安文理学院学报(自然科学版), **12**(1): 59-61.

李庆旭,刘光琇,邵麟惠. 2007. 层次分析法在高速公路生态环境影响评价中的应用. 冰川冻土, **29**(4): 653-658.

李中才,刘林德,孙玉峰,等. 2010. 基于 PSR 方法的区域生态安全评价. 生态学报, **30**(23): 6495-6503.

刘世梁,杨志峰,崔保山,等. 2005. 道路对景观的影响及其生态风险评价——以澜沧江流域为例. 生态学杂志, **24**(8): 897-901.

刘燕华,李秀彬. 2007. 脆弱生态环境与可持续发展. 北京: 商务印书馆.

鲁先龙,乾增珍. 2009. 输电线路基础工程中的环境岩土问题及设计对策. 武汉大学学报(工学版), **42**(S1): 253-256.

马倩,张洋,赵枫. 2011. 基于 PSR 模型的干旱区绿洲城市生态安全评价——以乌鲁木齐市为例. 土壤通报, **42**(5): 1225-1230.

毛文永. 1998. 生态环境影响评价概论. 北京: 中国环境科学出版社.

- 缪峰, 杨国华, 赵波. 2004. 南水北调对血吸虫病流行的影响及其控制策略. *生物学通报*, **39**(6): 18-20.
- 穆从如, 杨林生. 1995. 石油长输管道工程对生态环境的影响. *环境科学*, **16**(2): 83-87.
- 穆从如. 1994. 石油开发对黄土高原地区生态环境的影响研究. *地理研究*, **13**(4): 19-27.
- 潘荣叁. 2011. 浅析路基压实度的控制技术. *筑路机械与施工机械化*, **28**(9): 52-54.
- 裴源生, 王建华, 罗琳. 2004. 南水北调对海河流域水生态环境影响分析. *生态学报*, **24**(10): 2115-2123.
- 丘君, 陈利顶, 高启晨, 等. 2003. 施工干扰下的生态系统稳定性评价——以西气东输管道工程沿线新疆干旱荒漠区为例. *干旱区地理*, **26**(4): 316-322.
- 曲格平. 2002. 关注生态安全之一: 生态环境问题已经成为国家安全的热门话题. *环境保护*, (5): 3-5.
- 沈渭寿, 张慧, 邹长新. 2005. 青藏铁路生态影响预测与评价. 北京: 中国环境科学出版社.
- 盛海洋, 郭志永, 翟秋敏. 2004. 南水北调工程规划、环境影响及生态环境保护. *水利与建筑工程学报*, **2**(1): 36-39.
- 施晓清, 赵景柱, 欧阳志云. 2005. 城市生态安全及其动态评价方法. *生态学报*, **25**(12): 3237-3243.
- 宋艾玲, 梁光川, 王文耀. 2006. 世界油气管道现状与发展趋势. *油气储运*, **25**(10): 1-6.
- 王建军. 2003. 公路建设项目后评价理论研究(博士学位论文). 西安: 长安大学.
- 吴小萍, 杨晓宇, 冉茂平. 2004. 基于图形叠置法的铁路选线环境影响综合评价研究. *中国铁道科学*, **25**(4): 125-128.
- 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 2002. 论生态安全的基本概念和研究内容. *应用生态学报*, **13**(3): 354-358.
- 徐宪立, 张科利, 孔亚平, 等. 2006. 重庆市骨架公路网规划生态环境影响评价. *长江流域资源与环境*, **15**(1): 107-111.
- 杨桂山. 2001. 三峡与南水北调工程建设及海平面上升对上海城市供水水质的可能影响. *地理科学*, **21**(3): 123-129.
- 杨士建. 2003. 灰色模型在确定关键污染因子中的应用. *中国环境监测*, **19**(1): 40-42.
- 尹忠东, 李一为, 辜再元, 等. 2006. 论道路建设的生态环境影响与生态道路建设. *水土保持研究*, **13**(4): 161-164.
- 张新玲, 田爱军, 王水, 等. 2011. 管道工程对敏感区的生态环境影响及对策分析. *环境科技*, **24**(1): 51-59.
- 张振维, 李巍, 盖勇刚. 2000. 沈大高速道路环境空气污染现状研究. *环境保护科学*, (S1): 81-84.
- 赵静, 韩甜甜, 谢兴斌, 等. 2011. 酸化梨园土壤酶活性与土壤理化性质之间的关系. *水土保持学报*, **25**(4): 115-120.
- 赵敏, 常玉苗. 2009. 跨流域调水对生态环境的影响及其评价研究综述. *水利经济*, **27**(1): 1-4.
- 赵勇, 李群, 吴明作. 2005. 生态影响综合评价方法在高速公路选线中的应用. *公路交通科技*, **22**(6): 163-166.
- 宗跃光. 1999. 城市景观生态规划中的廊道效应研究——以北京市区为例. *生态学报*, **19**(2): 145-150.
- 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 2005. 区域生态安全综合评价模型分析. *地理科学*, **25**(2): 209-214.
- 左伟. 2002. 基于RS、GIS和Models的区域生态环境系统安全综合评价研究(博士学位论文). 南京: 南京师范大学.
- Andrews A. 1990. Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: A review. *Australian Zoologist*, **26**: 130-141.
- Auerbach NA, Walker MD, Walker DA. 1997. Effects of roadside disturbance on substrate and vegetation properties in arctic tundra. *Ecological Applications*, **7**: 218-235.
- Benfennati E, Valzacchi S, Maniani G, et al. 1992. PCDD, PCDF, PCB, PAH, cadmium and lead in roadside soil: Relationship between road distance and concentration. *Chemosphere*, **24**: 1077-1083.
- Caroline MJD, Chris BJ. 2003. Field-Based evaluation tool for riparian buffer zones in agricultural catchment. *Environmental Management*, **32**: 252-267.
- Develey PF, Stouffer PC. 2001. Effects of roads on movements by understory birds in mixed-species flocks in central Amazonian Brazil. *Conservation Biology*, **15**: 1416-1422.
- Ferrary C. 1995. The implications of environmental assessment procedures for the engineering of railway project. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, **111**: 33-39.
- Findlay CS, Bourdages J. 1999. Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. *Conservation Biology*, **14**: 86-94.
- Fiori SM, Zalba SM. 2003. Potential impacts of petroleum exploration and exploitation on biodiversity in a Patagonian Nature Reserve, Argentina. *Biodiversity and Conservation*, **12**: 1261-1270.
- Forman RTT, Alexander LE. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **29**: 207-231.
- Forman RTT. 2003. *Road Ecology: Science and Solution*. Washington, DC: Island Press.
- Gjessing E, Lygren E, Berglund I, et al. 1984. Effect of highway runoff on lake water quality. *Science of the Total Environment*, **33**: 247-257.
- Goosem M. 2001. Effects of tropical rainforest roads on small mammals: Inhibition of crossing movements. *Wildlife Research*, **28**: 351-364.
- Hopmans JW, Dane JH. 1986. Temperature dependence of soil

- hydraulic properties. *Soil Science Society of America Journal*, **50**: 4–9.
- John TL, Mark JE, Stewart T. 1999. The role of GIS in landscape assessment: Using land-use-based criteria for an area of the Chiltern Hills Area of Outstanding Natural Beauty. *Land Use Policy*, **16**: 21–27.
- Jones ME. 2000. Road upgrade, road mortality and remedial measures: Impacts on a population of eastern quolls and Tasmanian devils. *Wildlife Research*, **27**: 289–296.
- Lévesque LM, Dubé MG. 2007. Review of the effects of in-stream pipeline crossing construction on aquatic ecosystems and examination of Canadian methodologies for impact assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, **132**: 395–409.
- Mao XS, Wang FC, Wang BG. 2011. Nationwide desert highway assessment: A case study in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **8**: 2734–2746.
- OECD. 2001. Sustainable Development: Critical Issues. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development.
- Rapport DJ, Friend AM. 1979. Towards a Comprehensive Framework for Environmental Statistics: A Stress Response Approach. Ottawa: Statistics Canada.
- Sherwood B, Burton J, Cutler D. 2002. Wildlife and Roads: The Ecological Impact. London: Imperial College Press, Spellerberg IF. 2002. Ecological Effects of Roads. New Hampshire: Science Publishers.
- Thomas BF. 1999. Comparative analysis of environmental and socio-economic impacts in SEA for transported related policies, plans and programs. *Environmental Impact Assessment Review*, **19**: 275–303.
- Trombulak SC, Frissell CA. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, **14**: 18–30.
- Tyser RW, Worley CA. 1992. Alien flora in grasslands adjacent to road and trail corridors in Glacier National Park, Montana (USA). *Conservation Biology*, **6**: 253–262.
- van De Laak WH. 2003. The influence of road infrastructure and traffic on soil, water, and air quality. *Environmental Management*, **31**: 50–68.
- Zink TA, Allen MF, Heindl TB, *et al.* 1995. The effect of a disturbance corridor on an ecological reserve. *Restoration Ecology*, **3**: 304–310.
- 
- 作者简介 肖峻,男,1986年生,博士研究生,主要从事景观生态学与生态环境评价方面的研究。E-mail: xiaojunhuanke@yahoo.com.cn  
责任编辑 刘丽娟
-