

桥梁工程行为的生态效应及其生态化

雷冰根¹, 李绍才^{1,2,3}, 孙海龙², 崔超¹

(1. 四川大学 生命科学学院, 四川 成都 610064; 2. 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065; 3. 四川省励自生态技术有限公司, 四川 成都 610031)

摘要: 桥梁工程行为是指人类为达到某一特定目的, 在桥梁设计、施工以及运营维护阶段与周边生态系统相互作用的一系列活动的。在对桥梁工程行为对生态系统的作用过程的分析基础上, 从物理效应、化学效应、生物效应以及社会效应 4 个方面阐述了桥梁工程行为的生态效应。并提出了桥梁工程行为生态化理念, 从设计、施工以及运营维护阶段初步探讨了桥梁工程行为生态化策略, 指出桥梁工程在满足人类社会需求的同时, 要兼顾生态系统健康和可持续性的需求。

关键词: 桥梁工程行为; 生态效应; 生态化; 生态系统

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)02-0242-05

中图分类号: Q148

Ecological Effects and Ecologization of Bridge Engineering Activities

LEI Bing-gen¹, LI Shao-cai^{1,2,3}, SUN Hai-long², CUI Chao¹

(1. College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China;

2. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Chengdu,

Sichuan 610065, China; 3. Sichuan Lizi Ecotechnology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: Bridge engineering activities are referred to as a series of activities in order to achieve some specific purposes, i. e., the interactions by human beings with the peripheral ecosystem in the process of bridge design, construction and operative maintenance. This paper analyzed the effects of the bridge engineering activities on ecosystem processes. From physical, chemical, biological and social perspectives, the ecological effects of bridge engineering activities were addressed. A philosophy of ecologization was then proposed for bridge engineering activities. Furthermore, ecologization strategies were discussed specifically for the design, construction and operative maintenance phases in bridge engineering activities. In summary, the purposes of bridge projects should be not only to meet social needs, but also to satisfy the requirements for the healthy and sustainable ecosystem.

Keywords: bridge engineering activities; ecological effect; ecologization; eco-system

桥梁建设是一个完整交通系统必不可少的组成部分, 是现代交通系统的重要基础设施, 它从侧面反映出国家的经济与科学技术发展程度。随着我国国民经济的飞速发展, 交通运输的需求越来越大, 桥梁作为目前人类克服自然水体阻隔、扩大人类活动范围的最经济、最有效的方法^[1], 在国民经济发展中扮演着不可或缺的角色。但人类在建设的过程中往往只关注桥梁工程在社会经济发展中的需求, 却忽略了桥梁工程会改变原有地形地貌及景观格局, 从而破坏生态平衡的负面效应。近年来, 有关学者已尝试定

义桥梁生态系统的构成除了桥梁主体外, 还包括桥梁所跨越的湿地、河流及所依附的山地等自然地理因素, 以及周围的人工建筑体、人文景观等, 是具备多功能的人工生态系统综合体^[2]; 指出桥梁的建设不仅要实现自身的交通以及景观价值, 还要与周边环境协调发展, 体现自然、生态化倾向及人文化的价值和特征^[3]; 并在结合了发达国家桥梁建设经验的基础上提出了绿色桥梁的理论^[4]。但却没有对桥梁工程行为的生态效益独立加以论述。认识和理解桥梁工程行为的生态效应, 对实现桥梁建设下的环境可持续发展

收稿日期: 2010-05-22

修回日期: 2010-07-21

资助项目: 环保公益性行业科研专项“公路建设项目生态补偿关键技术与机制研究”(200909060)

作者简介: 雷冰根(1986—), 男(汉族), 江西省南昌市人, 硕士研究生, 主要从事工程生态学及生态评价研究。E-mail: leibinggen0229@163.com。

通信作者: 孙海龙(1976—), 男(汉族), 黑龙江省海林市人, 博士, 讲师, 主要从事工程行为的生态影响评价与补偿研究。E-mail: lizist@vip.sina.com。

具有重要的意义。本研究通过分析桥梁工程行为对生态系统的作用过程,从物理效应、化学效应、生物效应和社会效应 4 个方面阐述了桥梁工程行为的生态效应,并针对性地探讨了桥梁工程行为生态化理念与策略,以期为桥梁建设下的环境可持续发展提供参考。

1 桥梁工程行为

1.1 桥梁工程行为概述

桥梁工程行为是指人类为达到某一特定目的,在桥梁设计、施工以及运营维护阶段与周边生态系统相互作用的一系列活。桥梁设计主要是根据收集的资料,现场调查和勘测的结果来确定桥位处、桥梁孔径、基础埋深以及河滩行进路堤设计和导流防护建筑物的布设^[5],使桥梁合理地镶嵌到生态系统中。桥梁施工是桥梁工程中非常重要的一个部分。由于施工期时间长,对生态系统作用强度大,所以桥梁的施工需要有周密的计划,完善合理的施工方法和精心的组织。桥梁的运营维护及其与周围生态系统的和谐共存也是桥梁工程行为的一部分。

1.2 桥梁工程行为对生态系统的作用过程

河流生态系统是指河流内生物群落和河流环境相互作用的统一体,是一个由包括陆地河岸生态系统、水生生态系统、湿地及沼泽生态系统等在内的一系列子系统组合而成的复合系统^[6]。构成生态系统的生物因子和非生物环境之间相互联系,彼此制约,形成具有复杂关系和动态平衡的结构整体。桥梁工

程行为使生态系统发生一系列复杂的改变,包括桥梁勘测、施工期和桥梁运营维护期两个阶段的作用。桥梁勘测、施工阶段的对桥位处进行地质钻探、基坑开挖、施工占地等工程行为占据原有地表,破坏地表植被,导致水土流失;围堰、钻孔、灌注混凝土等工程行为扰动河床使底泥浮起,局部悬浮物增加,河水变浑^[7]。桥梁建成后,桥梁墩台、桥头行近路堤和治导工程对水流的拦截和阻碍造成桥渡壅水,影响河流自然流速和流态,使水文情势及泥沙输送发生改变^[8];运营维护阶段桥面交通带来的各种污染物随降雨或桥面径流进入河流生态系统,污染河水,影响河流生态系统结构与功能^[9]。此外,桥面对光线阻碍形成的阴影,电焊机与照明灯具造成的光污染,以及工程施工和路面交通带来的噪音污染等,会对周边生态系统造成干扰。桥梁工程行为对生态系统的影响主要体现在非生物要素和生物要素两个方面,根据影响程度可分为初级影响、次级影响和高级影响 3 个层次。

2 桥梁工程行为的生态效应

桥梁工程行为通过影响生态系统非生物环境的物理化学性质,从而干扰生物因子与非生物环境之间的适宜性,引起生态系统结构与功能的改变,威胁生态系统健康。分析桥梁工程行为对生态系统的作用过程及其对人类社会的影响,桥梁工程行为的生态效应主要包括物理效应、化学效应、生物效应和社会效应 4 个方面(表 1)。

表 1 桥梁工程行为的生态效应

作用对象	生态效应类型	表现形式	发生原因
对自然生态环境的影响	物理效应	水土流失	地质钻探、基坑开挖、施工占地等。
		水文情势及泥沙输送	基坑开挖、围堰、钻孔、灌注混凝土、桥梁墩台、桥头行近路堤、治导工程等。
		光污染	电焊、照明等。
	化学效应	噪音污染	工程施工、路面交通等。
		大气污染	生活区烟尘、机动车辆扬尘、车辆尾气等。
		水污染	施工废水及废油、灌注混凝土、生活废水、路面径流等。
生物效应	栖息地丧失	生境发物理化学改变。	
	生物通道	工程施工、桥体自身结构、照明、交通等。	
对社会环境的影响	社会效应	社会交通	桥梁结构
		经济发展	连通两岸
		景观美学	桥梁结构融入环境,标志性建筑。
		文化传承	桥梁结构、图形色彩、艺术造型等。

2.1 物理效应

2.1.1 水土流失 桥梁在建初期的基坑开挖、钻孔等工程行为严重破坏地表植被,干扰土壤水热平衡状

态,影响土壤微气候;尤其是在冻土地区,地表及地下的水热交换平衡对外界影响尤为敏感,地表植被及土壤的破坏会引起诸如冻胀、融沉、翻浆、融冻泥流等地

质灾害,导致大面积水土流失。

2.1.2 水文情势和泥沙输送 对河流流场及泥沙输送的影响,是桥梁工程行为局部负效应中的首要问题。施工阶段的围堰使水流绕流,改变河流的自然流态;桥梁建成后,墩台占据一定的河道断面,水流会在桥台前缘、桥墩上游端及两侧出现冲刷坑,形成剥蚀现象。河床过水断面受到桥梁墩台的压缩形成桥前局部壅水,导致上游水位抬高流速增大;而桥前水流速度减缓,致使水流挟沙能力降低,泥沙下沉发生堆积。桥址附近下游流速增加、水流挟沙能力增强,冲刷边坡危及河道安全,最终导致河流的水力特性和泥沙输送特征发生改变。此外,在平原宽浅河流建桥,从水流通过能力和工程造价两方面考虑,一般不可能在全部泛滥宽度(包括不经常浸水的河滩)都布设桥孔,穿过河滩的路堤往往压缩较多的汛期过流断面。

2.1.3 光污染和噪音污染 施工阶段电焊机产生的紫外线等有害射线及大型灯具产生的强光,都会造成光污染。桥梁建成后,路面照明设施及车辆照明等也是桥梁影响区域的重要光污染源。另外,桥梁施工及路面交通的机动车行驶还会造成噪音污染^[10]。

2.2 化学效应

2.2.1 大气污染 施工阶段工人生活区产生的烟尘及机动车辆的扬尘等,会造成当地严重的大气污染。桥梁建成后,桥面交通机动车的尾气排放,在桥梁附近上空往往形成浓度较高且持续的汽车排放污染物区域,包括氮氧化物、碳氢化物、一氧化碳等^[11],这些排放物还可能在光照以及特定环境条件下生成二次衍生物——光化学烟雾,对植物以及水土环境都极其不利。

2.2.2 水污染 水污染是对河流健康的最大威胁。桥梁施工产生的泥浆、废材料、废油料及生活区产生的生活废水等都是水体的重要污染源。桥梁建成后,桥面径流是河流水体重要的污染源之一。桥面径流污染是指由于桥面交通带来的汽车尾气排放物、路面滴油、轮胎摩擦微粒、尘埃、防冻剂以及运输过程中可能遗漏的杀虫剂、肥料污染物等随桥面降雨或融雪径流进入水体造成的污染。桥面径流污染物质主要有油脂、重金属、废料、防冰盐、肥料、杀虫剂等。这些污染物依附在沉积物上,并在随水流传输的过程中降低水质,干扰水体生物的光合作用、呼吸、生长和繁殖。道路防冰盐便是桥面径流的重要污染物之一,防冰盐含有高浓度的氯离子和钠离子,能改变水体的盐度及水体生态,毒害水生动物,或通过灌溉污染土壤、毒害植被、引起海洋污染^[12]。

2.3 生物效应

2.3.1 栖息地丧失 桥梁工程行为造成的物理效应与化学效应直接影响了生物的生境,破坏大量浅河滩,洪泛区及过渡带,而这些生境往往是生物的重要栖息繁殖地或鸟类迁徙途中重要憩息地,动物的摄食、繁殖、歇息等行为都会受到严重的影响。在建设过程中,由于桥桩及基础处理、桥梁架设等过程所需的设备多为大型载重机械,临时用地面积较大,对湿生植物及其栖息地有较大影响^[13]。运营维护期桥梁物理结构削光效应影响水生植物的生产力,相应区域水草稀疏,根部受到水流冲击不能稳固河岸表面,进而间接的威胁到以水生植物等有机物质为食物、基质以及避难场所的异养生物(如:土壤微生物、底栖无脊椎动物等)的生存。光线的削弱程度与桥梁高宽比有关,一般情况下,高宽比 <0.7 的桥梁,光线的削弱程度达到 $85\% \sim 90\%$ ^[14]。桥梁周围河岸边坡采用混凝土、砌石等硬质材料改造,对河流生态系统影响很大,破坏生物栖息地。

影响栖息地的另一个重要方面就是照明与噪音对昼伏夜出型动物活动以及植物生长周期的影响。运营期车辆交通噪音及路面照明,桥梁沿线人为活动的增加,都会在一定程度上影响附近水体中鱼类和部分底栖动物的正常栖息环境,对其有驱赶作用,使鱼类和底栖动物数量减少。

2.3.2 生物通道 桥梁所跨越的河流、山谷等往往是一些动物穿行的通道,因此桥梁建设一方面在维护生态过程与格局连续方面起着重要的作用,而另一方面造成生境破碎直接导致生物迁徙的阻隔效应。生物通道的阻隔作用分裂了自然过程,影响植物扩散,约束动物活动,物理障碍、噪声干扰、车辆运动、环境污染等都可能阻碍动植物通过走廊。另外,桥梁连接两个相对独立的生境斑块形成生物廊道,可能使外来入侵物种、捕食者、害虫和疾病等原本不能扩散开的物种有了更便捷的扩散通道^[15]。不同物种对通行空间有不同的尺度要求,桥梁建设对穿越桥梁下空的生态廊道也会产生胁迫^[16]。许多鱼类在其生命周期内(或一段时间)需要沿河流长度巡游,桥梁墩台的存在及其产生的负面影响,是鱼类洄游的重要障碍。

2.4 社会效应

桥梁是人类文明的产物,是社会发展的标志。桥梁在影响自然环境的同时给人类社会带来许多利益,发挥着社会效应。首先,桥梁的主要功能是社会交通功能,桥梁工程的发展是促进当地经济增长的动力;其次,桥梁作为城市内的重要建筑物,与周围环境协调,体现其景观美学的要求^[17];桥梁作为文化

的载体,还是历史文化发展的重要标志之一,体现其文化传承功能。

3 桥梁工程行为生态化策略

随着现代科学技术的发展,人们渐渐意识到传统的桥梁工程在满足社会经济发展的需求时,却忽略了生态系统本身的需求,特别是河流生态系统的需求。河流生态系统的功能退化,会给人们的长远利益带来损害。因此,在可持续发展已经成为全球共识的今天,需要在传统桥梁工程行为的基础上,吸收、融合生态学知识,探索桥梁工程行为生态化理念,使桥梁工程行为在满足人类社会需求的同时,兼顾生态系统健康与可持续性的需求^[18]。

在桥梁建设过程中,从桥梁设计和桥梁施工两个阶段入手,采取生态化策略,降低桥梁工程行为对生态系统的影响。

3.1 桥梁设计阶段

分析以往的研究表明,传统的桥梁设计主要考虑工程造价,很少考虑其对生态环境的影响、其自身的可持续发展及不可再生能源的保护^[19]等。因此,未来桥梁建设应该注意优化设计方面的问题。

3.1.1 桥梁总体规划 桥梁的总体规划要以人与自然和谐共处为指导思想,把握工程安全性与经济性原则、保持河流生态系统空间异质性原则、景观尺度及整体性原则这3大基本原则,不仅要考虑水流通过能力、工程造价和桥梁功能等社会效益,还要考虑生态系统的健康发展,注重生态环境的保护与可持续性,兼顾经济、生态环境和社会综合效益的同步发展。

3.1.2 桥位选择 选择一个适宜的桥位是桥梁设计的首要工作。在一定的河段范围选出较好的、技术经济合理的、使桥梁与生态系统自然镶嵌的桥位是桥梁工程行为生态化的重要环节。桥位的选择除考虑地形地貌、工程地质、水文及航运等传统因素外,还要注意:(1)在充分认识河流演变特点的基础上,避开具有大面积浅滩及洪泛区的河段;(2)考虑桥位设置对周围环境的影响,在满足工程需要的前提下,尽量避免生态敏感区,特别是珍惜动植物保护区。

3.1.3 桥梁结构体系设计 桥梁自身结构对生态系统造成的影响是明显且深远的。桥梁结构体系的优化设计在桥梁工程行为生态化中发挥着至关重要的作用。(1)结合周围地形选择桥梁体系,应以简洁为主。为满足景观要求,可适当设计一些复杂体系,但要充分考虑日后桥梁的管理与维护方便性,减少运营维护阶段对生态系统的影响;(2)桥梁结构的设计在能满足工程安全的前提下,增加单跨长度,减少墩台

对河流的影响,保持河流生态系统连续性;适当增加桥梁高度,采用分离式桥梁,让桥梁中间形成一个透气的空间,使桥梁下部大气更接近自然,降低桥面对河流的削光程度;(3)桥梁附属结构的设计主要强调排水系统的优化。传统的排水系统相当简单,一般采用排水管直接将桥面径流排入河流,是桥梁运营期水污染的主要来源之一。因此,排水系统应该将水引离桥面后,疏导至地面进行处理,减少水污染;(4)桥头路堤对河道的压缩及治导工程对河流横向连续性的破坏,是影响河流生态系统健康的主要原因之一。因此,在桥梁设计的时候应将经济、水环境安全及生态进行关联性思考,并且要从可持续的角度去考虑,尽量增加桥梁长度,减少路堤对河流断面的压缩及治导工程对自然河岸的破坏。

3.2 桥梁施工阶段

桥梁施工期具有施工时间长,施工人员生活中,对生态系统作用强度大等特点。针对这些特点,桥梁施工阶段应该从施工期选择与施工期管理两个方面来贯彻桥梁工程行为生态化策略。

3.2.1 施工期选择 施工开始前,施工单位应对河流相关范围进行生态系统调查,重点是生物群落的历史与现状调查。必须协调有关施工场地、施工营地以及施工临时便道等问题,尽量减少对作业区周围的土壤和植被的破坏。避开动植物发育期进行施工,避免影响水生生物产卵、洄游。

3.2.2 施工期管理 加强施工期的管理,强调施工期对生物栖息地进行保护和恢复,施工时应及时进行绿化工作,恢复当地植被;强调生态系统的管理,在对生态系统组成、结构和功能过程加以充分理解的基础上,来维持生态系统的整体性,寻求生态系统的可持续发展。

3.3 桥梁运营阶段

3.3.1 监测和评价 桥梁运营期不应只局限于桥梁结构健康的监测和评价,还要加强桥梁生态系统的监测与评价。桥梁运营期的监测与评价既可以针对问题提出补救措施,也可以为以后的桥梁工程提供理论基础。

3.3.2 生态补偿 按照“谁开发谁保护,谁受益谁补偿”的原则,建立生态补偿机制,调整相关利益各方生态及其经济利益的分配关系,全面权衡工程的直接社会经济效益与生态系统服务功能损失之间的利弊得失,保障桥梁生态系统的健康。

4 结论

桥梁工程行为与周边生态环境发生各种生态效

应,影响了生态系统的健康发展。生态系统功能的正常发挥,是实现可持续发展的一个重要目标,也是桥梁建设决策中应考虑的必要因素之一。应从保护桥梁生态系统的角度,在分析了桥梁工程行为对生态系统的作用过程及其生态效应的基础上,设计阶段充分考虑桥梁工程对生态环境的影响,运营阶段加强桥梁生态系统的监测与评价,从环境立法方面出发,建立生态补偿机制,以确保桥梁生态系统功能的正常发挥。因此,需要运用桥梁工程行为生态化理念及策略,使桥梁工程在满足人类社会需求的同时,兼顾生态系统健康和可持续性的需求,实现人类与自然生态的和谐与统一。

[参 考 文 献]

- [1] 李森焱,朱晓燕. 跨河桥梁对河道行洪的影响分析[J]. 海河水利, 2007(4): 53-55.
- [2] 魏华兵,朱颖彦,葛永刚,等. 桥梁环境刍议[J]. 云南地理环境研究, 2006,10(3): 29-33.
- [3] 樊洪涛,杨文韬. 桥梁设计中的自然、生态倾向与人文文化[J]. 城市道桥与防洪, 2005(4): 36-38.
- [4] 万敏. 与生态立交:绿色桥梁的理论与实践[J]. 世界桥梁, 2005(4): 68-71.
- [5] 阚译. 桥渡冲刷[M]. 北京:中国铁道出版社, 2004.
- [6] 杨凯,赵军. 城市河流生态系统服务的 CVM 估值及其偏差分析[J]. 生态学报, 2005,25(6): 1391-1396.
- [7] 邵旭东. 桥梁设计百问[M]. 北京:人民交通出版社, 2003.
- [8] 黄荣敏,陈立,谢葆玲,等. 建桥对河流洲边滩的影响[J]. 水利水运工程学报, 2006(2): 51-55.
- [9] Kszos L A, Winter J D, Storch T A. Toxicity of Chau-tauqua lake bridge runoff to young-of-the-year sunfish (*Lepomis macrochirus*) [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 1990,45: 923-930.
- [10] 王毅,刘晓滨. 北京市高架道、桥交通噪音状况调查与对策研究[J]. 中国环境监测, 1999,15(2): 47-50.
- [11] Widman J. Environmental impact assessment of steel bridges[J]. Journal of Constructional Steel Research, 1998,46: 291-293.
- [12] Roman C T, Garvine R W, Portnoy J W. Hydrologic modeling as a predictive basis for ecological restoration of salt marshes[J]. Environmental Management, 1995,4: 559-566.
- [13] 许雯雯,马俊杰,王晓岩,等. 山区公路建设项目的生态环境影响与保护对策[J]. 水土保持通报, 2009,29(1): 160-163.
- [14] Struck S D, Craft C B, Broome S W, et al. Effects of bridge shading on estuarine marsh benthic invertebrate community structure and function [J]. Environmental Management, 2004,1: 99-111.
- [15] 李正玲,陈明勇,吴兆录. 生物保护廊道研究进展[J]. 生态学杂志, 2009,28(3): 523-528.
- [16] 裘丽,冯祚建. 青藏公路沿线白昼交通运输等人类活动对藏羚羊迁徙的影响[J]. 动物学报, 2004,5(4): 669-674.
- [17] 席绪荣. 桥梁景观的内涵研究[J]. 中国水运, 2007,7(6): 76-77.
- [18] 董哲仁,孙东亚. 生态水利工程原理与技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2007.
- [19] 钱炜,肖玉德. 绿色桥梁设计[J]. 工程与建设, 2006,20(6): 750-752.
- [18] 王兵,李少宁,郭浩. 江西省森林生态系统服务功能及其价值评估研究[J]. 江西科学, 2007,25(5): 554-559.
- [19] 许信旺,朱诚. 皖南山区生态系统经济价值损失估算方法[J]. 山地学报, 2004,22(6): 735-741.
- [20] 伍国勇. 林业多功能货币价值测量研究[J]. 安徽农业科学, 2009,37(34): 17159-17161.
- [21] 余新晓,吴岚,饶良懿,等. 水土保持生态服务功能评价方法[J]. 中国水土保持科学, 2007,5(2): 110-113.
- [22] 徐昭晖. 安徽省主要森林旅游区空气负离子资源研究[D]. 合肥:安徽农业大学, 2004.
- [23] 余新晓,秦永胜,陈丽华,等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. 生态学报, 2002,22(5): 783-786.
- [24] 宋君,王伯荪,彭少麟,等. 南亚热带常绿阔叶林黏木种群营养元素的分布与循环[J]. 生态学报, 1999,19(2): 224.
- [25] 沈满洪,杨天. 生态补偿机制的三大理论基石[N]. 中国环境报, 2004-03-02(3).
- [26] 马中. 环境与自然资源经济学概论[M]. 北京:高等教育出版社, 2006: 34.
- [27] 高阳,高甲荣. 密云水库集水区水源涵养林生态价值计算的一种新方法[J]. 林业调查规划, 2006,31(1): 63-66.
- [28] Costanza R. The value of the world's ecosystem service and natural capital[J]. Nature, 1997,387: 253-260.
- [29] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008,23(5): 911-917.
- [30] 许信旺. 安徽省森林生态系统服务价值评估[J]. 资源开发与市场, 2005,21(2): 96.
- [31] 伍泽洪,唐志华,苏子友,等. 峨眉山有林地生态服务功能价值评估[J]. 林业调查规划, 2010,35(2): 130-135.
- [32] 曹先河. 石台 2007 资源林报告[R]. 安徽石台:石台县林业局, 2007.

(上接第 241 页)