

混凝土桥梁施工环境影响成本计算研究

梁 巍^{1,2}, 卓卫东¹

(1. 福州大学土木工程学院, 福州 350108; 2. 福建船政交通职业学院道路工程系, 福州 350007)

摘 要:针对当前桥梁建设投资对环境成本关注不足的问题,讨论了现有环境影响评价研究中存在的问题,基于生命周期评价理论分析了桥梁施工过程中的主要环境影响源,并讨论了各项环境成本的计算方式。以某新建桥梁为例,说明了各项成本的计算过程。

关键词:桥梁施工;环境成本;生命周期评价理论;环境影响源

中图分类号:U442.5

文献标志码:A

引 言

随着世界各国社会和经济的快速发展,伴随而来的环境问题也日益凸显,已成为影响人们生产、生活乃至社会发展的重要因素。针对这一问题,人们提出了可持续发展的概念,如我国在 2002 十六大把“可持续发展能力不断增强”作为全面建设小康社会的目标之一,要求建立起以保护自然资源环境为基础,以激励经济发展为条件,以改善和提高人类生活质量为目标的科学发展战略。但当前在土木工程建设过程中的现实是人们仍只注重工程项目的初始投资和直接成本,对建设过程产生的环境影响并未进行有效的量化评估,这一问题在发展中国家的表现尤其突出。人们并不清楚或无法准确的认知在工程建设过程中所付出的的环境代价到底有多少,因此也并不热衷于采取有效的措施在事前预防或阻止环境污染的产生,而往往习惯于依赖大自然本身对污染的自我净化,或在出现严重的环境问题之后再匆忙采取措施进行弥补,由此付出了惨痛的代价。

现实的严峻迫切要求在工程项目的建设过程中提出考虑量化环境影响的方式,国内外许多学者亦对此进行了广泛的研究,但相比民用建筑而言,桥梁工程方面

的可持续发展理论研究仍比较落后。有鉴于此,本文以桥梁工程为研究对象,结合现有桥梁成本分析理论以及广泛用于工程结构环境影响分析的生命周期评价理论(Life Cycle Assessment),系统地讨论了桥梁施工过程中可能造成的环境成本类型,并针对不同的成本类型分析其相应的计算模型,最终建立起评价桥梁施工环境影响成本的量化体系。

1 工程建设环境影响评价研究现状及存在的问题

早在 20 世纪 80 年代,我国学者已开始逐步认识到工程建设过程中环境污染的严重性,并针对不同类型的工程结构展开了长期研究,取得了一定的成果。乔冰等^[1]从影响识别、评价方法与程序、模拟预测和风险评价等方面结合水运工程自身的行业特点,论述了该类项目环境影响评价的研究进展。董常晖等^[2]从公路工程的生态环境影响、社会环境影响、景观环境影响以及相应的指标体系和方法等方面,总结了多位专家学者的研究成果,并认为应继续加强公路建设的环境影响后评价工作和公路建设的累积效应评价。张智慧等^[3]以建筑工程为对象,总结了不同国家和地区对绿色建筑的研究

收稿日期:2014-04-15

基金项目:教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20113514110003)

作者简介:梁 巍(1977-),男,福建邵武人,讲师,博士生,主要从事桥梁全寿命设计、耐久性能方面的研究,(E-mail)80947267@qq.com

成果,以及建筑环境影响评价体系的建立和实施情况,并指出我国在该方面研究的不足之处。但这一阶段的研究主要是针对工程建设的环境影响进行定性讨论与评价,仍缺乏有效的定量分析模型。

因此,各国学者又开始借助生命周期评价理论(LCA)展开了下一阶段的研究工作。生命周期评价(LCA)是一种评价产品、工艺或活动从原材料采集,到产品生产、运输、销售、使用、回用、维护和最终处置整个生命周期阶段有关的环境负荷的过程,其研究通常包含四个阶段:目的和范围的确定——清单分析——影响评价——结果解释。郑秀君等^[4]介绍了国外LCA理论研究的发展历程,并在此基础上总结并比较了各国对LCA进行研究的具体方法,讨论了其发展态势。杨倩苗^[5]根据ISO14040标准提供的LCA技术框架,结合我国现有的环境统计数据来源,建立了部分建筑产品生命周期环境清单数据库,并编写了建筑产品全生命周期环境影响评价手册。刘沐宇等^[6,9]长期致力于桥梁工程环境影响评价研究,并将LCA理论的研究成果与成本分析理论相结合,初步建立了桥梁工程环境成本量化分析的基本框架。

但以上这些研究仍存在一些问题:(1)大多数基于LCA方法的理论研究所建立的量化模型是将各类环境影响类型进行标准化后比较其环境潜值或环境影响指数,相比货币标准而言,这一指标体系并不为人熟知,其中很多环节无法实现客观量化,因此在实际工程中无法推广使用;(2)所选取的环境影响分析范围过大,计算过程繁杂且耗时;(3)侧重于针对产品或工程结构本身评估造成的环境影响,但工程建设过程中人们更为关注的是其建设施工活动造成的环境影响。

2 混凝土桥梁施工过程环境成本分析

2012年我国公路桥梁总数已达到了71.34万座,3662万米,已超越美国成为世界上修建桥梁数目最多的国家,其中混凝土桥梁占90%以上,故针对混凝土桥梁的施工过程进行环境影响分析,并最终建立以货币单位

的量化评价体系意义重大。按现有LCA理论的要求,应对混凝土桥梁展开从规划设计、初始建设施工、运营使用、拆除等全生命周期各个阶段的环境影响分析,但实际上,规划设计阶段不涉及建筑原材料的生产加工以及机械设备的使用,其对周围的环境影响很小,桥梁的拆除阶段只涉及施工机械设备的使用,并且其发生的时间通常很晚(我国桥梁的使用寿命通常可达到几十年甚至上百年),经过折现后该阶段的成本在总成本中所占比例很小,因此可以认为桥梁对周边环境的影响主要集中于初始建设阶段和运营使用阶段。由于桥梁运营使用过程中不确定因素众多,如不同的外部影响可能导致对桥梁不同的保养、维护乃至维修活动,而不同的活动造成的环境影响各有不同,导致该阶段的环境影响复杂多变,难以准确预测。相对而言,桥梁初始建设施工过程中场所较为固定,外部干扰也少,对其环境影响进行评估较为准确,因此本文主要针对该阶段展开分析研究。

2.1 基本假定

(1)采用货币单位衡量桥梁建设施工过程的环境影响。

(2)采用国家颁布的环保标准对计算模型中的参数进行取值。

(3)将LCA方法中关于原材料的生产和加工这一阶段进行分解和简化,将其中资源耗费的环境影响视为反映已经在桥梁初始建造成本中,仅考虑该阶段排放的污染物造成的环境影响。

(4)侧重于考虑桥梁的建设施工活动造成的环境影响而非桥梁结构本身的环境影响,以减少分析过程中需要考虑的主要环境影响源,简化计算过程,使计算方法达到实用的价值。

2.2 桥梁建设施工过程中应考虑的环境成本种类

根据以上假定,并结合桥梁初始建设施工过程的特点可知,该阶段应考虑的环境影响类型主要包括所使用建筑材料的物化过程、施工设备作业过程、施工机械设备维护过程、施工队伍生活过程产生的大气污染、水污染、噪声污染和固废污染等项目组成,具体见表1。

表1 桥梁施工过程中的主要环境影响源

类型	水污染	大气污染	固体废弃	噪声污染
材料物化	指钢筋和混凝土等桥梁主要建材在使用和处理之前的所有上游过程和产生的各项环境影响			
施工设备作业过程	基坑开挖、钻孔作业的泥浆水、下雨冲刷浮土和泥沙等产生的地表径流污水	土石方开挖扬尘、施工材料或土方装卸及运输产生的道路扬尘、以燃油为动力的施工机械和运输车辆排放的废气	施工过程中产生的废混凝土等建筑垃圾,以及施工场地的平整和道路基础开挖中的土石方等	施工机械噪声在夜间对临道路较近敏感点声环境产生较大影响
施工机械维护过程	机械及车辆的冲洗水	—	—	—
施工队伍生活过程	营地内生活废水	—	营地内生活垃圾	—

由表 1 可知,桥梁初始建设施工的环境污染主要集中在建筑材料的物化过程和施工机械设备的作业过程,而对于施工机械维护过程和施工队伍生活过程的环境影响源很少,产生的污染也少,通常可通过加强施工管理以及设置一些相对简易的措施进行处理,如生活废水,可设置强化型化粪池或干厕,废水经处理后进行排放,且现有工程项目的建安费中已计入一定数额的环境保护费,因此对桥梁建设施工过程的环境成本计算可进一步简化其分析范围,即仅对建筑材料的物化过程和施工设备作业过程产生的环境成本进行计算。

2.3 各类环境成本计算模型

由表 1 可知,桥梁建设施工过程中产生的各类环境影响成本计算模型可表述为:

$$EIC = \sum_{i=1}^4 EIC_i$$

式中 $i = 1 \sim 4$, 分别表示水污染、大气污染、噪声污染、固体废弃物污染四类环境影响。

(1) 水污染和大气污染

水污染环境成本主要为治理建材物化过程、桥梁施工作业过程产生废水中的 COD、氰化物和重金属污染导致的成本,而大气污染环境成本主要为治理建材物化过程、桥梁施工作业过程产生的 CO_x 、 SO_2 、 NO_x 、粉尘和烟尘污染导致的成本,两者的计算公式均可表示为

$$EIC_{1,2} = \sum_{j=1}^k EL_j \times UEC_j$$

其中, $EIC_{1,2}$ 分别表示水污染环境成本和大气污染环境成本, EL_j 为对应污染物的排放量,对于建材的物化过程的环境影响已有文献[10]对其进行了较为详尽的研究,表 2 中列出了单位材料物化过程中产生的污染物排放。而桥梁施工作业过程产生的环境污染,其中由于施工机械能源消耗排放的污染物可根据对应的施工机械单位台班耗能定额乘以相应的污染排放量得出,单位能源消耗后的污染物排放量^[6]见表 3,但对于施工作业过程产生的其它污染排放如基坑开挖、土石方开挖、运输车辆扬尘等目前尚无准确的计算公式,只能通过现场的统计数据估算。 UEC_j 为对应单位排放物造成的经济损失^[6](表 4)。

(2) 噪声污染

噪声污染成本一般指桥梁施工过程中因机械的使

用、车辆的行驶等原因产生过大的噪声干扰周边环境,因而造成的经济损失,常用的量化方式有噪声污染控制措施法、意愿支付法和享乐价格法。

表 2 单位材料物化过程的污染物排放量
(单位:钢材 kg/t;混凝土 kg/m³)

主要建材	CO _x	SO ₂	NO _x	SS	COD	粉尘
大型钢材	4542	56.6	34.8	876.2	28.2	150.1
中小型钢材	3749	46.6	28.9	727.9	23.5	124.6
线材	3709	46.1	28.6	721.0	23.3	123.4
C30 砼	361.6	1.3	1.6	16.0	0.5	3.2
C40 砼	388.8	1.3	1.6	16.0	0.5	3.3

表 3 单位能源消耗后的排放量

名称	单位	汽油生产(L)	汽油消耗(L)	柴油生产(L)	柴油消耗(L)	电生产(kWh)
CO _x	kg	2.69	2.66	7.41E-02	2.71	1.14
SO ₂	kg	5E-03	1E-03	2.55E-03	0	1.03E-02
NO _x	kg	2E-03	6E-03	3.25E-04	3.20E-02	5.22E-03
COD	kg	0	0	0	0	3.11E-05
固弃	kg	0	0	0	0	4.57E-02
粉尘	kg	0	0	0	0	9.54E-03

表 4 单位排放物经济转换值

主要排放物	货币转换值(元/t)
COD	11700
氰化物	2499
重金属	1579
CO _x	680
SO ₂	650
NO _x	3030
粉尘	230
烟尘	140
SS	175
氨氮	793

噪声污染控制措施法即以设置额外的噪声屏蔽设施的成本来体现噪声污染成本,享乐价格法即将桥梁施工噪声对周边房地产价格的影响体现为噪声污染成本,这两种方法更适用于衡量长期噪声如桥梁投入运营后车辆正常行驶引起的噪声成本,而对于桥梁施工噪声多为短期噪声,更适于采用意愿支付法,即以问卷的形式向周边居民调查愿意容忍或免受噪声污染的价格,从而确定出合理的噪声污染成本,即

$$EIC_3 = \sum_{j=1}^k EY_j$$

其中, EIC_3 为噪声污染总成本, EY_j 为单个住户调查价

格, j 为用户数。

(3) 固体废弃物污染

固体废弃物污染成本是指桥梁施工作业过程或施工队伍生活过程中, 由于固体废弃物的排放超过了土壤本身净化的速度而造成的影响, 刘沐宇等^[6]采用虚拟治理成本法说明了该项成本的计算过程, 公式表达为 $EIC_4 = E_{cs} + E_{ce}$, E_{cs} 和 E_{ce} 分别表示处置贮存废物的虚拟治理成本和排放废物的虚拟治理成本, 一般固废处置单位治理成本 22 元/t, 贮存单位治理成本 4.5 元/t。

3 算例分析

某地新建公路桥梁上部采用 5×16 m 预应力简支空心板, 下部结构为柱式墩台和桩基础, 桥宽 8.5 m, 桩长平均 15 m, 桥梁全长 86 m, 主要工程量见表 5, 表 6 列出了所用机械台班及相应耗能。

表 5 主要工程数量

名称	钢绞线 (t)	钢筋 (t)	其他钢材 (t)	C30 混凝土 (m^3)	C40 混凝土 (m^3)
数量	9.4	135.6	11	489	364

表 6 主要施工机械台班数量表

机械名称	每台班能源消耗		台班总数
	柴油 (kg)	电 (kWh)	
75 kW 以内履带式推土机	54.97		3.00
2.0 m^3 履带式单斗挖掘机	92.19		6.00
电动混凝土切缝机		20.16	14.00
钢绞线拉伸设备		16.23	24.00
1.0 t 以内机动翻斗车 (t)	9.00		9.00
12 t 以内汽车式起重机	44.95		72.00
30 t 以内汽车式起重机	62.86		16.00
50 kN 以内单筒慢动电动卷扬机		55.11	52.00
30 型电动冲击钻机		183.27	325.00
150 mm 以内单级离心清水泵		148.77	54.00
32 kV · A 以内交流电弧焊机		87.63	60.00
波纹管卷制机		22.31	6.00
20 t 以内平板拖车组	45.26		6.00

对该桥的施工过程进行分析可知, 可能产生的环境影响类型分别有建材的物化过程污染排放、施工机械使用时能源消耗过程污染排放、施工机械使用及车辆行驶过程产生的噪声污染、施工过程中产生的固体废弃物污染、钻孔过程中的泥浆排放污染等。据前所述, 建材物化过程的污染排放可由该桥主要工程量表 5 与表 2 中

的单位材料物化过程污染物排放量计算出污染物排放总量, 再与表 4 中单位排放物经济转换值相乘可得该项环境成本值, 施工能耗过程污染排放可由表 7 算出该桥施工机械总的能源消耗, 结合表 3 中单位能源消耗的污染排放量可得该桥施工机械能源消耗污染排放量总数, 最后与表 4 中各项排放物经济转换值相乘。噪声污染成本依据对周边居民的意愿支付法计算, 钻孔泥浆处置成本根据对类似桥梁的统计经验得出。将所求各项成本值列于表 7。

表 7 施工过程各项环境成本(万元)

项目	建材物化过程	施工机械耗能排放	机械及车辆噪声	固体废弃	泥浆处理
成本	73	8.4	8.6	2.3	4.8

由表 7 可知, 施工过程各项环境成本总和达 97.1 万元, 而按现行《公路工程基本建设项目概算预算编制办法》及本桥工程数量表 5 可得桥梁初始建造成本仅为 258 万元, 若计入环境成本后初始建造成本为 355.1 万元, 增加了 37.6%。其次, 各项环境成本表 7 可知建材物化过程所产生的成本比值最大, 该桥已达环境总成本的 75%, 另外, 桥梁的施工所处位置对环境总成本的影响也很大, 对于周边居民密集区域, 其环境污染的处理措施成本相对高昂。

4 结束语

当前的桥梁工程建设投资决策过程对于成本的分析仅关注其建造过程的直接成本, 对于建造过程中产生的环境成本尚认识不足, 这并不符合当代经济与社会可持续发展要求。随着人们生活水平的逐步提高, 对周边环境的要求也越来越高, 而当前我国大规模的土木工程建设过程产生的环境污染却日趋严重, 建立考虑环境影响的成本理论的要求迫在眉睫。由于现有统计数据的缺乏, 本文仅针对桥梁施工过程中的环境影响成本做了分析研究, 所提出的量化计算模型有待继续完善, 下一阶段应对桥梁在运营阶段的环境影响做进一步探讨。

参考文献:

- [1] 乔冰, 李深, 张秀芝. 水运工程环境影响评价的研究[J]. 水运科学研究所学报, 1996(4): 30-37.
- [2] 董常晖, 徐燕. 公路工程环境影响评价的研究进展

- [J].交通环保,2004,25(1):44-47.
- [3] 张智慧,吴 星,龚志起.建筑工程环境影响评价理论和实施标准的研究[J].环境保护,2004(5):39-42.
- [4] 郑秀君,胡 彬.我国生命周期评价(LCA)文献综述及国外最新研究进展[J].科技进步与对策,2013,30(6):155-160.
- [5] 杨倩苗.建筑产品的全生命周期环境影响定量评价[D].天津:天津大学,2009.
- [6] 刘沐宇,陈方芳.桥梁生命周期环境影响成本分析模型研究[J].土木工程学报,2010,43:373-378.
- [7] 刘沐宇,林 驰,高宏伟.桥梁生命周期环境影响的多级模糊综合评价[J].土木工程学报,2009(1):55-59.
- [8] 刘沐宇,林 驰,高宏伟.桥梁生命周期环境影响评价研究[J].武汉理工大学学报,2007,29(11):119-122.
- [9] 刘沐宇,王铖铖,吴志强,等.桥梁生命周期环境影响评价与成本分析集成方法[J].武汉理工大学学报,2013,35(11):114-119.
- [10] 龚志起,张智慧.建筑材料物化环境状况的定量评价[J].清华大学学报:自然科学版,2004,44(9):1209-1213.

Calculation and Research of Environmental Impacts Cost in the Process of Concrete Bridge Construction

LIANG Wei^{1,2}, ZHOU Weidong¹

(1. School of CIVIL Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;

2. Road Engineering Department, Fujian Chuazheng Communications College, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Nowadays, people pay little attention to environmental cost in the process of bridge investment. The problems existed in current study of environmental impact assessment are discussed. Based on the theory of life cycle assessment, the main sources of environmental impacts in the process of bridge construction are analyzed, and the calculation method of each environmental cost is discussed. A new bridge is taken as the example to explain the calculation process of each cost.

Key words: bridge construction; environmental cost; theory of life cycle assessment; the source of environmental impacts