

文章编号: 0451-0712(2006)06-0101-04

中图分类号: F540.34

文献标识码: B

桥梁全寿命成本初步分析

叶文亚, 李国平, 范立础

(同济大学桥梁工程系 上海市 200092)

摘 要: 近年来, 土木工程全寿命设计理念越来越受到国内外关注, 美国已经强制实施基建工程管理“全寿命经济分析法”, 我国目前正值桥梁建设的高峰期, 在桥梁设计中更应综合考虑建设成本、后期的养护维修等长期综合成本, 处理好桥梁建设项目中短期效益与长期效益的关系。通过建立费用模型, 考虑桥梁在 100 年的寿命期内所需要的投资费用, 包括初期投资和维修、检测、加固、维修、上漆费用等, 进行了确定性的成本计算, 结果表明: 后续的费用占全寿命期费用的比例很大, 同时计算了现值; 预应力混凝土桥梁和钢桥在初始投资相同的条件下, 比较全寿命费用, 发现预应力混凝土桥梁可以大大节约投资。模型的费用比例是非常重要的因素, 有必要继续进行概率性分析。

关键词: 桥梁; 全寿命成本; 机构成本; 用户成本; 预应力混凝土桥; 钢桥

1 结构全寿命成本概念

“结构全寿命设计”也称为“结构生命周期设计”, 可简单定义为: 从结构设计、管理、建设和运营的各个环节来寻求恰当方法和措施来满足结构全寿命周期的总体性能最优的设计理念和办法。

根据可持续发展的思路, 桥梁设计既要考虑当前发展的需要, 又要考虑今后发展的需要; 既要考虑桥梁的成桥性能, 也要考虑桥梁使用期间的性能; 既要考虑当前的利益, 也要考虑后期的风险; 既要重视桥梁建设的初始造价, 又要考虑到寿命周期内所需的费用。即要以桥梁全寿命周期的性能与成本作为衡量桥梁性能和成本的指标, 并以此来评价桥梁的优劣及经济性^[1]。

桥梁工程的决策应当以整个工程寿命期为时间域, 包括规划、设计、施工、运营、养护、维修、加固、报废、拆除全过程, 采取合理的理论、方法和措施, 使桥梁既满足当前的使用要求, 又满足未来整个设计寿命期内的使用和管理维护的要求; 既满足安全性和适用性的要求, 又满足耐久性和经济性的需要。

在桥梁设计和规划阶段进行“全寿命经济分析”是必要的。

所谓“全寿命经济分析”, 其基本思想是: 在设计施工阶段, 不论是事先采取防护措施还是以后“坏了

再修”都要作出经济预算和比较, 设计者和承建者要对工程的“全寿命”负责到底。

目前, 美国已经强制实施基建工程管理“全寿命经济分析法”(Life Cycle Cost Analysis, 简称 LCCA 法)。

2 全寿命经济分析法(LCCA 法)

LCCA 作为法令是必须执行的, 同时它又是一个可以具体操作的方法, 是重要的投资评估和经济分析技术。美国法典(USC)给 LCCA 的定义是: “它是一个程序和方法, 用于评价可行计划项目的总经济价值。包括初始成本和经折现的进一步成本——整个寿命期内的维护、修复、重建和表面翻新处理成本。”以往的工程项目, 主要考虑初建成本。工程使用后再花多少钱则很少乃至不予考虑。实践证明, 以往的做法是技术、经济都是不合理的。执行 LCCA 方法, 要求一个工程立项, 首先对其投入资金及其合理性进行评估。全部投资资金应包括初始投资和进一步投资两部分组成。第一部分是指建设时的设计、施工相关费用; 第二部分包括保证达到寿命期所必须的“后续费用”(如修复费)。这两项花费的分配要合理。

采用 LCCA 方法对项目评估的目的与评估的标

准是在保证工程寿命期的前提下,综合花费最少的成本,实现技术可靠、经济合理。鉴于美国已经有用 4 座桥的费用维持 1 座桥的深刻教训,特别强调适当增加初始投入以减少后期的巨大开支。美国 LCCA 委员会指出,实行 LCCA 的目的就是“减少后期投资、提高项目质量与性能”,是一个长期效益“最大化”的有效方法。

作为工程项目投资决定和项目投标的重要依据,实行 LCCA 能有效避免“短期行为”,使投资方、设计者、工程承包方和使用管理部门,从一开始就立足于“全寿命”,各尽其职、各负其责,提出技术可靠、经济合理的方案,并对多种方案进行比较,选出最佳方案。工程项目的投标者,应该是最佳方案的制定者,而不是初始成本最低者。

实质上,我国颁布的关于基础设施“终生保修”的意思,也是立足于“全寿命”,扭转以往那种工程验收后“完事”的做法,使设计和工程承包单位,必须考虑“耐久性”问题。也必然涉及到增加防护费用、对技术经济进行分析、评价的问题。这也是在基础建设方面,逐渐提高我国的技术水平的管理能力、与国际接轨的重要方面^[2]。

2.1 全寿命成本分析的定义

全寿命成本分析是一种利用工程输入的经济分析程序,考虑所有重要的费用以比较竞争方案并以现值的形式表示分析结果,如图 1 所示^[3]。

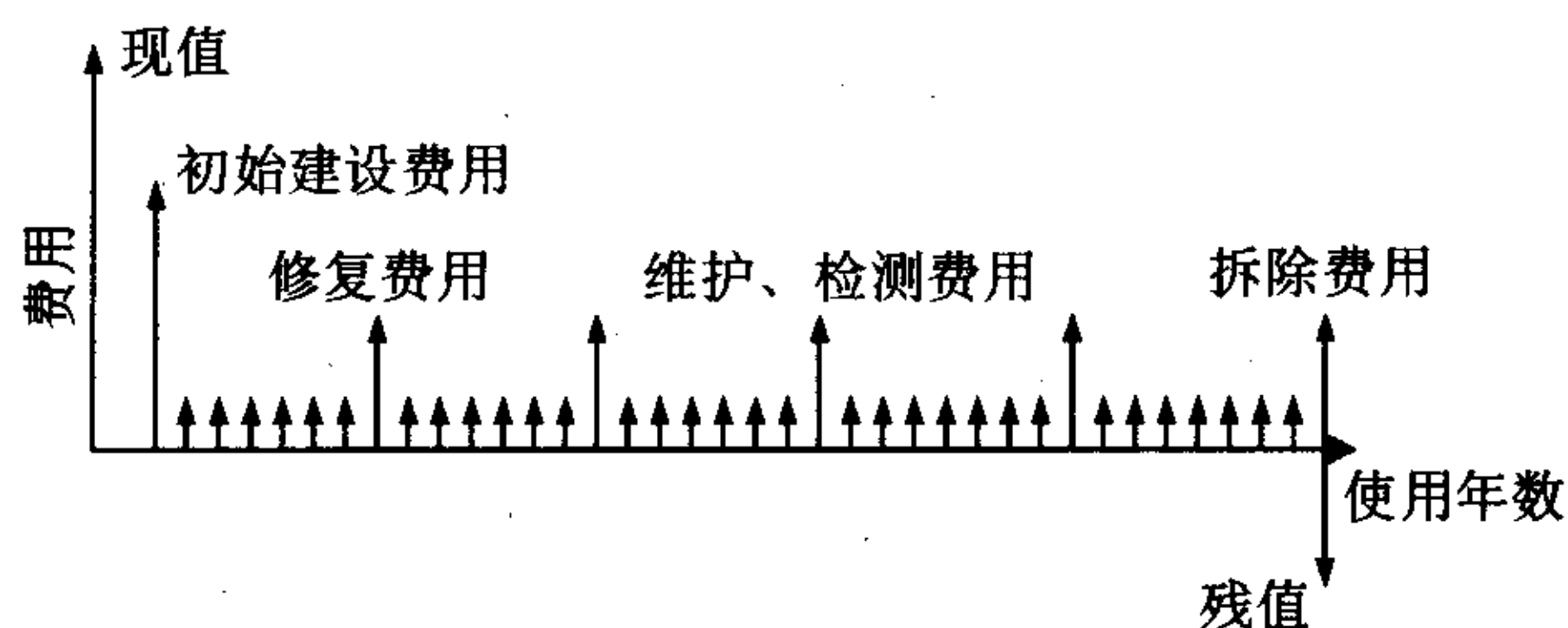


图 1 现金流量

2.2 费用模型

为了说明费用模型,基于经验假定费用比例是确定性的,维护和维修费用也是确定性的。折现所有的将来费用。结合费用模型比较混凝土和钢材两种不同材料在初始投资相同情况下的全寿命经济分析。

$$PW = FC + \sum_{t=0}^{t=n} pwf[MC + IC + FRC + UC] + pwf[S] \quad (1)$$

式中: PW 为现值; FC 为初始费用; t 为分析的

时间域; MC 为维护费用; IC 为检测费用; FRC 为后续修复费用; UC 为用户费用; S 为残值; pwf 为现值因素。

(1) 初始费用应包括奖金或罚款的费用,在结构交付使用之前体现用户的利益和成本。

(2) 分析的生命周期。

通常,对所有的方案都是相等的,包含至少一次主要的修复,对于每种方案应该把握其真正的经济效益,本文桥梁设计的基准期是基于概率模型得出的 100 年。

(3) 维护费用。

为了使结构能正常使用而花费的每年的维护费,这部分费用因结构面积的大小而异。预计混凝土和钢结构每年维护费用分别都为初始投资费用的 0.05%。

(4) 检测费用。

假定两种方案都是每两年检测一次,费用是基于结构的平方米数及建筑材料的不同而异,预计混凝土桥梁的检测费用为初始投资费用的 0.15%,而钢结构桥的检测费用为初始投资费用的 0.20%。

(5) 上漆费用。

只有钢桥才需要上漆,而且不包括耐候钢,一般每 20 年上一次漆,费用因结构面积的大小而不同。上漆费用为钢桥初期建设费用的 7.0%。

(6) 后续维修费用。

维修的频率不仅是时间的函数,而且与不断增长的交通流量及梁的结构形式有关,维修的费用也与结构尺寸和梁的结构形式有关。维修频率:混凝土桥梁第一次修复时间一般是建成 40 年后,而钢桥的第一次修复时间为建成 35 年后,交通量增长率以每年 0.75% 计。估计混凝土桥梁维修费用为初期建设费用的 20.0%,而钢桥修复费用为初期建设费用的 22.0%。

(7) 残值。

发生在桥梁生命周期的最后,包括拆除费用和残余价值。无论混凝土桥还是钢桥,拆除费用为初期建设费用的 10%。混凝土桥梁没有残值,钢桥的残值为初期建设费用的 2%。

(8) 用户费用。

初期桥梁施工、桥梁日常维护和大维修所导致的用户费用包括使用延误费、车辆营运费、交通事故。使用延误包括:时间延误、燃料消耗、驾驶员不适。

驾驶员延误费用 DDC 计算:

$$DDC = (L/S_a - L/S_n) \times ADT \times N \times W \quad (2)$$

式中: L 为受影响路段的长度; S_a 为在桥梁维护期间的车辆速度; S_n 为正常的车辆速度; ADT 为每天平均车流量; N 为维护天数; W 为驾驶员每小时时间价值。

车辆营运费用 VOC 为:

$$VOC = (L/S_a - L/S_n) \times ADT \times N \times r \quad (3)$$

式中: r 为车辆费用加权平均值。

交通事故费用 AC :

$$AC = L \times ADT \times N \times (A_a - A_n) \times C_a \quad (4)$$

式中: A_a 为在维护期间的事故发生率; A_n 为正常的事故发生率; C_a 为每次事故的费用。

(9) 现值因素。

$$pwf = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5)$$

式中: i 为折现率, $i = (\text{利率} - \text{通货膨胀率}) / (1 + \text{通货膨胀率})$, 假定作为政府投资的工程项目不以营利为目的, 所以利率为 0, 而假定通货膨胀率为 2%, 则折现率 $i = -1.96\%$ 。

2.3 LCCA 理论研究和实践经验的关系

LCCA 理论研究和实践经验的关系见图 2 所示。

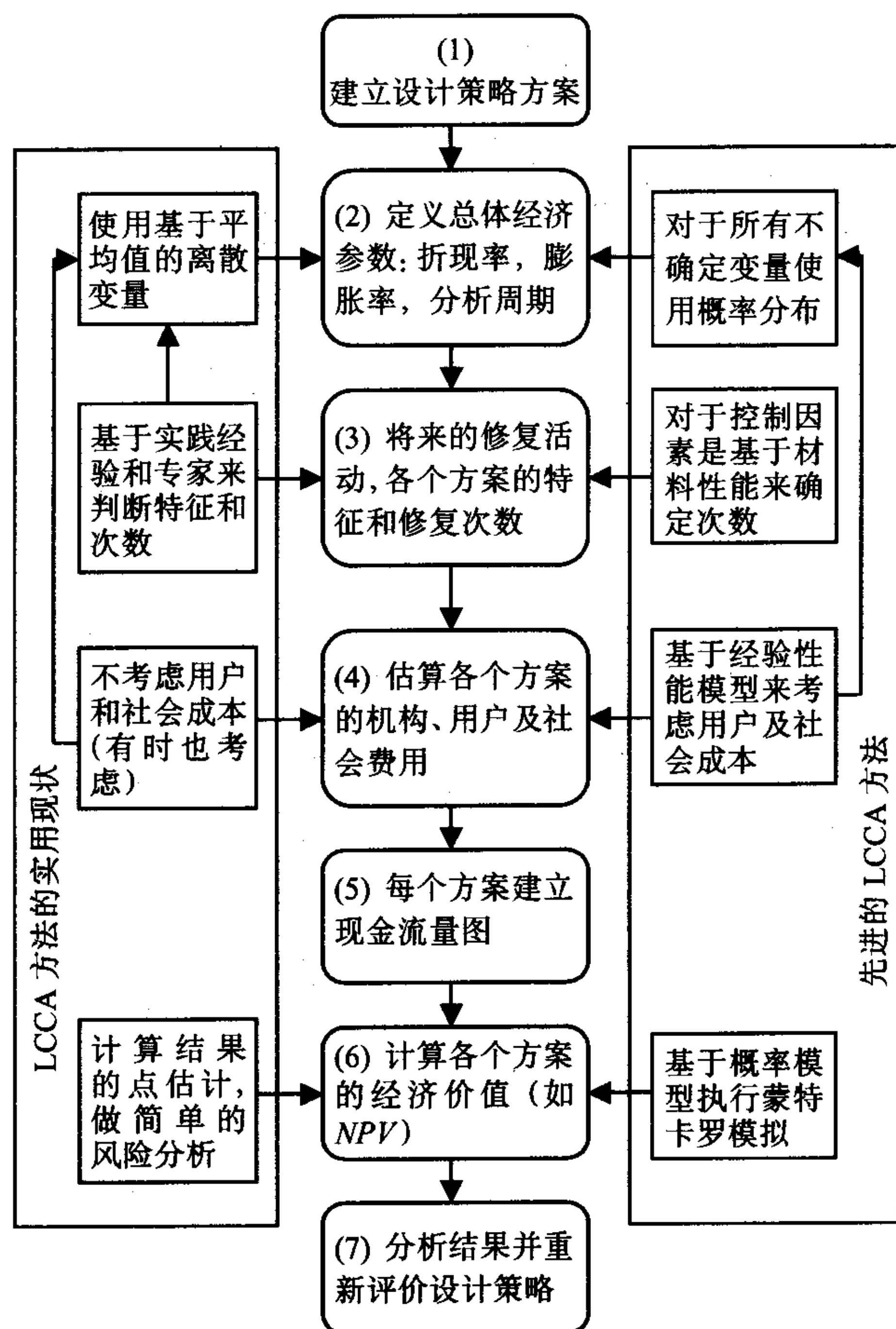


图2 LCCA 实用方法和理论方法的比较

3 预应力混凝土桥和钢桥全寿命费用比较实例

以下为宾夕法尼亚州预应力混凝土协会所做的两种不同材料方案在初期投资相同情况下的后续费用的比较分析数据。

(1) 用户费用参数输入见表1。

(2) 建筑物本身的费用。

桥梁初期投资费用: 7 000 000 美元; 分析的生命周期: 100 年。建筑物费用见表2、表3。

(3) 生命周期费用结果, 见表4、表5。

(4) 生命周期费用比较。

预应力混凝土桥梁(方案 I)与钢桥(方案 II)相比, 可以节约的费用见表6。

4 结语

通过对两种不同材料的桥梁在初始投资相同的比选方案条件下, 对其进行全寿命分析, 主要是基于本文所提出的费用模型进行确定性的分析。通过比较, 对全寿命经济分析有了一个更具体的认识。但必须看到, 本文的很多参数缺少依据, 具有很大的随机

表1 用户费用参数

| 用户费用输入 | | 方案1 预应力 混凝土桥 | 方案2 钢桥 |
|--------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 受影响路段长度/(英里) | | 2 | 2 |
| 平均每天车流量/(辆/d) | | 5 000 | 5 000 |
| 正常车速/(英里/h) | | 45 | 45 |
| 施工期车速/(英里/h) | | 20 | 20 |
| 正常事故发生率/(辆/英里) | | 1.9/10 ⁶ | 1.9/10 ⁶ |
| 施工期事故发生率/(辆/英里) | | 2.2/10 ⁶ | 2.2/10 ⁶ |
| 施 工 天 数 | 初期建设施工天数/d | 90 | 0 |
| | 维护天数/(d/次) | 10 | 10 |
| | 检测天数/(d/次) | 5 | 8 |
| | 上漆天数/(d/次) | 0 | 90 |
| | 修复天数/(d/次) | 120 | 120 |
| 驾驶员费用/(美元/h) | | 6.25 | 6.25 |
| 车辆营运费的加权平均值/(美元/h) | | 8.00 | 8.00 |
| 每起交通事故费用/(美元/起) | | 100 000 | 100 000 |

表 2 预应力混凝土桥建筑物本身费用

| 机构费用 | | 频率/年 | 费用比率 | 每次事件的费用 (美元) |
|------------|-------|-------|--------|-----------------|
| 维护费用 | | 1 | 0.05% | 3 500 |
| 检测费用 | | 2 | 0.15% | 10 500 |
| 上漆费用 | | 0 | 0.00% | 0 |
| 修复费用 | 第一次修复 | 40 | 20.00% | 1 400 000 |
| 每年的交通增长率 * | | 0.75% | | |
| 残值 | 拆除费用 | 100 | 10.00% | 700 000 |
| | 残余价值 | 100 | 0.00% | 0 |
| | 净残余价值 | | | 700 000 |

注：* 表示短期修复周期根据交通量来确定。

表 3 钢桥建筑物本身费用

| 机构费用 | | 频率/年 | 费用比率 | 每次事件的费用 美元 |
|------------|-------|-------|--------|---------------|
| 维护费用 | | 1 | 0.05% | 3 500 |
| 检测费用 | | 2 | 0.20% | 14 000 |
| 上漆费用 | | 20 | 7.00% | 490 000 |
| 修复费用 | 第一次修复 | 35 | 22.00% | 1 540 000 |
| 每年的交通增长率 * | | 0.75% | | |
| 残值 | 拆除费用 | 100 | 10.00% | 700 000 |
| | 残余价值 | 100 | 2.00% | 140 000 |
| | 净残余价值 | | | 560 000 |

注：* 表示短期修复周期根据交通量来确定。

表 4 预应力混凝土桥生命周期费用结果 美元

| 费用分类 | 机构费用 | 用户费用 | 总和 |
|--------|------------|------------|------------|
| 初期建设费用 | 7 000 000 | -383 250 | 6 616 750 |
| 维修费用 | 346 500 | 4 215 750 | 4 562 250 |
| 检测费用 | 514 500 | 1 043 292 | 1 557 792 |
| 上漆费用 | 0 | 0 | 0 |
| 修复费用 | 4 200 000 | 1 533 000 | 5 733 000 |
| 残值 | 700 000 | | 700 000 |
| 总费用 | 12 761 000 | 6 408 792 | 19 169 792 |
| 现值 | 30 235 675 | 21 746 666 | 51 982 341 |

表 5 钢桥生命周期费用结果 美元

| 费用分类 | 机构费用 | 用户费用 | 总和 |
|--------|------------|------------|------------|
| 初期建设费用 | 7 000 000 | 0 | 7 000 000 |
| 维修费用 | 346 500 | 4 215 750 | 4 562 250 |
| 检测费用 | 686 000 | 1 669 267 | 2 355 267 |
| 上漆费用 | 1 960 000 | 1 533 000 | 3 493 000 |
| 修复费用 | 6 160 000 | 2 044 000 | 8 204 000 |
| 残值 | 560 000 | | 560 000 |
| 总费用 | 16 712 000 | 9 462 017 | 26 174 517 |
| 现值 | 30 235 675 | 31 365 348 | 80 275 414 |

表 6 方案 I 与方案 II 相比可节约的费用

| 费用类别 | 机构费用 | 用户费用 | 总和 |
|--------|------|------|-----|
| 固定资产投资 | 31% | 48% | 37% |
| 现值 | 62% | 44% | 54% |

性和模糊性。在这方面需要做详细的深入的调查研究。并且如何确定加固和修复的次数才能达到经济最优是个复杂的过程,涉及到建筑结构的退化模型的建立及检测、维修加固策略的优化等,本文实例的参数是基于美国的一些经验做法和统计数据而确定,旨在更形象化地说明全寿命经济分析比起传统的只考虑初期费用的投资方案更全面,更有利于决策。但必须看到我国的国情和国外有很大的不同,如折现率的确定问题,诸多用户费用的参数差别也很大,需要做符合我国国情的大量的调查研究,并以发展的眼光看问题。实施LCCA 意义重大,长远经济效益巨大。然而真正实施并非容易,需要有大量的基础工作、可靠的依据。

参考文献:

[1] 沈达峰. 桥梁寿命周期成本分析初探[J]. 苏州城建环保学院学报,1997,(4).

[2] 洪乃丰. 钢筋混凝土基础设施的腐蚀与全寿命经济分析[J]. 建筑技术,2002, 33(4).

[3] Hank Bonstedt, Life Cycle Cost Analysis for Bridges: In Search of Better Investment and Engineering Decision, 2003.