

混凝土桥梁全寿命的设计方法

梁巍^{1,2}, 卓卫东¹

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

摘要: 以混凝土桥梁为研究对象,比较了当前具有代表性的两种桥梁全寿命设计方法的基本框架,以建立的桥梁全寿命设计基本分析流程为主线,归纳了各个主要环节的研究进展,指出各环节当前应用中存在的困难,并总结了目前桥梁全寿命设计中存在的问题。
关键词: 混凝土桥梁;全寿命设计;使用寿命;耐久性;成本分析
中图分类号: TU 723.3 **文献标志码:** A

我国桥梁在数量上已超越美国,成为世界上桥梁数目最多的国家,桥梁建设的水平步入了世界前列.但与此形成强烈反差的是,许多桥梁在建成后几年内就出现了钢筋锈蚀、混凝土开裂等现象.一些桥梁使用仅十多年就需要进行大修和加固,远远小于其预期寿命,同样的情况也曾经出现在欧美发达国家.严峻的现实使得国内外学者开始反思传统桥梁设计方法中只注重成桥状态,而忽视使用阶段;只注重强度设计,而忽视耐久性问题;只注重初始投资,而忽视后期巨大维护费用的弊端.由此提出了桥梁全寿命设计的理论与方法.鉴于此,本文在理清桥梁全寿命设计的基本思路和分析流程的基础上,分析其中各个关键环节现有的研究成果和存在的不足,提出相应可能的解决方法.

1 桥梁全寿命设计的分析流程

国内针对桥梁结构全寿命设计较具代表性的观点有以下两种.

1) 邵旭东等^[1]基于寿命周期成本,以桥梁构件性能预测模型为基础,利用优化设计,建立桥梁全寿命设计方法基本框架及分析流程.但其中没有明确桥梁的设计使用寿命,计算准确性取决于性能预测模型的精度,并且更侧重对方案本身的优化.分析过程复杂,计算求解工作量大,不易于对不同桥型方案进行比选,而更适于特殊恶劣环境条件下的桥梁结构设计以及桥梁长寿命周期的设计.

2) 陈艾荣等^[2]通过给定桥梁的整体使用寿命,对构件进行分级,提出全寿命设计方法、基本框架及分析流程.从桥梁设计的 3 个阶段和 6 个过程来理解全寿命设计的含义,侧重于从宏观概念、结构体系、构造措施来保证桥梁的性能.采用综合评价指数的方式,其计算准确性较为依赖设计者的经验,更适合于方案比选以及常规桥梁设计.

综合以上两种理论以及其他学者的相关成果,并结合桥梁的具体设计过程,可以得出桥梁全寿命设计的分析流程,如图 1 所示.

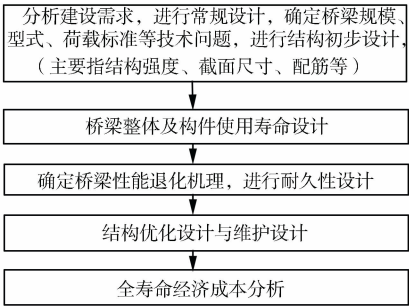


图 1 桥梁全寿命设计分析流程

Fig. 1 Analysis process of design method of bridge life cycle

应当明确的是,桥梁全寿命设计方法并不排斥依据现有规范进行的常规设计,而是针对其不足之处予以完善. 对于常规设计而言,当前各国的设计规范大多形成了以承载能力极限状态和正常使用极限状态来控制结构性能的基本理论.

2 桥梁设计使用寿命

2.1 现有的规范

由于对桥梁长期性能退化规律缺乏认识,以往的设计并不注重其设计使用寿命. 目前,我国桥梁设计规范中关于桥梁的设计使用寿命尚无明确的规定,仅在 GB/T 50476—2008《混凝土结构耐久性设计规范》中规定了“城市快速路和主干道上的桥梁以及其他道路上的大型桥梁、隧道、重要的市政设施等设计使用年限不低于 100 年,城市次干道和一般道路上的中小型桥梁,一般市政设施不低于 50 年”. 这一规定过于笼统,没有针对桥梁所处的自然环境条件和具体的功能要求进行细分,因而无法满足全寿命设计的要求.

2.2 使用寿命的分类

Somerville^[3]从使用寿命终结准则出发,将使用寿命划分成 3 类:1) 技术性使用寿命;2) 功能性使用寿命;3) 经济性使用寿命. 对桥梁的功能性使用寿命进行预测比较困难,因为通常会涉及到社会的发展和地区的规划. 金小川等^[4]从桥梁经济、社会变迁速度、车辆通行量、建筑材料等各方面论证了桥梁应缩短设计使用年限,但没有给出具体可行的操作方式. 对技术性使用寿命一般可以通过分析桥梁所处环境来预测和定义其性能退化模型^[5-6],而对经济性使用寿命必须在技术性使用寿命的基础上,结合成本-效益分析方法进行确定的相关研究较为少见.

2.3 简化确定方法

桥梁设计使用寿命的确定应在充分考虑以上 3 种使用寿命的相互影响基础上,根据重要程度、结构及材料本身的性能、周边的环境状况、现有的技术水平等因素,并综合考虑现有同类型桥梁整体及构件使用寿命规律的统计分析进行确定. 陈艾荣等^[7]分析了多个国家桥梁实际使用寿命的统计数据,将桥梁构件按其使用寿命特征划分成 4 类,给出了常规桥梁整体和构件的基础使用寿命建议值,在此基础上提出了考虑修正因素的桥梁典型构件使用寿命为

$$LS = LS_0 \times C_1 \times C_2 \times C_3. \tag{1}$$

式(1)中:LS 为桥梁结构或构件使用寿命建议值;LS₀ 为基础设计使用寿命建议值;C₁ 为气候影响系数;C₂ 为桥位小环境系数;C₃ 为养护系数. 这一公式大大简化了桥梁设计使用寿命的设计过程,但对于所处环境复杂、性能退化严重的桥梁,仍需进行特殊设计. 并且由于统计数据的时限性和技术进步的可能性,其基础使用寿命建议值应及时更新.

3 桥梁耐久性设计

随着对桥梁性能退化规律认识的不断深入,人们已逐渐开始意识到进行专门的耐久性设计的必要性. 李毓龙等^[7-8]分析了国内外有关混凝土桥梁的相关规范,认为各国规范都基本认同需根据特定环境来进行混凝土桥梁的耐久性设计,但在使用寿命、环境作用划分思路及细致程度分类、材料要求、防腐措施等方面的规定有较大的差别,且现有规范仍以原则规定和定性要求居多,定量计算和理论模型偏少. 因此,应考虑从耐久性设计基本方法入手,解决混凝土耐久性的问题.

现有对混凝土结构耐久性设计方法的研究主要基于随机动态可靠度^[9-10],该方法将结构耐久性失效的功能函数表示为

$$Z(t) = R(t) - S(t).$$

利用结构性能退化模型直接计算不同时刻 t 的抗力效应 $R(t)$ 与荷载效应 $S(t)$,用蒙特卡罗法求解对应时刻功能函数 $Z(t)$ 的可靠度. 这种方法形式简单、意义明确,且与我国现行桥梁设计规范中所采用的极限状态法保持一致,易为技术人员所接受与掌握,也是当今耐久性设计方法发展的趋势,但该方法的实现还有待于完善结构性能退化模型和耐久性评价体系两个方面的研究.

3.1 结构性能退化模型

我国当前桥梁建设以混凝土桥梁为主,现阶段混凝土桥梁性能退化研究取得的成果主要可分为材料和构件两个层次.材料层次的研究主要是考虑环境作用引起的混凝土性能退化,集中于混凝土碳化、氯离子侵蚀、冻融、钢筋锈蚀等几个方面^[11-13];构件层次的研究主要是应用材料层次研究的结果,分析构件在荷载作用 and 环境的共同影响下结构抗力的时变性,包括由于截面面积损失、钢筋锈蚀、钢筋与混凝土黏结性能降低等因素而导致的构件受力性能变化^[14-17].

总的来说,材料层次的研究目前已经取得了较为丰富的结果,但仍然以单一环境作用下的为主,多机理共同作用下的混凝土劣化性能,相关研究仍不成熟,缺乏可供实际分析的定量模型^[18-20].构件层次的研究主要集中于钢筋混凝土构件,对于桥梁结构中常用的预应力混凝土构件的相关报道较少,而且现有的研究大多限于其中的某一阶段,还需建立起“外部环境作用分析-混凝土性能退化/钢筋锈蚀-混凝土发生开裂-钢筋锈蚀急剧发展-混凝土裂缝宽度变大-构件承载能力降低”全过程分析的概念.

3.2 耐久性评价体系

耐久性评价体系的建立包含两个层次,一是耐久性评价指标的问题;二是耐久性评估方法的问题.

3.2.1 耐久性评价指标 采用哪些指标来衡量结构的耐久性,目前尚无统一的标准.我国现有规范仅仅是将使用环境进行粗略的分级后,以混凝土保护层厚度、水灰比、水泥用量、含气量和水泥种类等几个指标来作为评定的依据.但实际上,这些指标并不能完全表征结构耐久性的状况,也无法反映耐久性能的动态变化特征,并且不同的学者在研究过程往往也是从各自需要的角度出发,采用不同的指标如钢筋锈蚀量、裂缝宽度、使用寿命等来表示结构的耐久性^[13,18,21].

评价指标体系的缺失使得人们缺乏统一的标准来衡量结构的耐久性能,一些学者就这一问题从不同的角度进行了探讨.王玉倩等^[22]通过对国内外混凝土桥梁耐久性规范的调研,对耐久性指标进行了分类,提出了涵盖环境、材料、构件和结构 4 个层次,考虑设计、施工和检测 3 个阶段的混凝土桥梁耐久性指标体系,但没有给出各指标的限值.钟小平等^[23]采用基于性能的设计理论,将结构的耐久性按其重要性划分 3 个等级,并建议以目标可靠性指标、有害介质扩散深度、钢筋锈蚀率及锈胀裂缝宽度来作为耐久性能的控制指标,仅给出了可靠性指标的建议取值,对其他几种指标没有深入研究.高宇等^[24]以适修性或耐久性能转折点为界,提出了耐久性评价指标,综合考虑了各项耐久性影响因素,并结合检测数据与经验,建立了梁桥与拱桥在碳化、冻融、氯离子侵蚀 3 种环境下的耐久性指标体系.

3.2.2 耐久性评估方法 目前,相关研究多以单一某项耐久性指标达到或超过其限值来评估结构的耐久性极限状态,但实际上这并不能完全真实地反映结构的耐久性能,如钢筋混凝土梁发生性能退化时,其各项耐久性指标可能并没有达到或超过其限值,由于材料截面面积削弱、强度指标降低等综合因素影响,其承载能力小于外部荷载而发生失效.因此,除了单一指标限值外,还应该发展多指标综合评定方法.高宇等^[24]通过研究钢筋锈蚀、混凝土开裂、剥落等耐久性指标与构件承载力之间的关系,提出了一种以承载力下降相对量值为指标的综合指标评定法,为该问题提供了一种解决方法.

4 优化与维护设计

当桥梁寿命期内耐久性无法满足要求时,可通过优化设计或维护设计提高其初始性能或改变其性能退化过程,以保证结构符合要求.

4.1 优化设计

当桥梁的耐久性能不足时,可考虑进行优化设计,即通过改变结构设计变量,以期用较小的初始建造成本来加强结构的耐久性,从而防止桥梁在后期出现过大的养护、维护甚至是加固的费用.禹智涛等^[25]介绍了基于可靠度的桥梁结构优化的设计方法,讨论了其优化模型,综述了该研究方向的发展动态.彭建新^[26]采用截面高度、保护层厚度、配筋率为设计变量,以满足桥梁服务水平为前提,以总成本最低为原则,通过计算可靠度对预应力空心板梁的优化设计做了示例.

4.2 维护设计

全寿命设计有别于传统桥梁设计的一个重要的方面,即把运营阶段的维护养护纳入整个设计体系中.桥梁维护设计的一般过程为:选取作为判断桥梁性能依据的评价指标,选定适当的桥梁性能劣化模

型,选择维护方式,判断维护发生的时间,进行维护组合优化.

4.2.1 评价指标与劣化模型 由于对结构性能退化的理论研究尚不十分成熟,因此,目前并没有直接采用耐久性设计中所建立的桥梁性能退化模型进行维护设计,更多的是依靠大量的统计数据,对所处环境相似的桥梁建立基于可靠指标和状态指标的劣化模型,进行耐久性设计. Frangopol 等^[27]利用效果叠加法,将结构在维护条件下的指标模型进行简化和线性化处理,定义了含有 8 个随机变量的随机模型,并成为目前普遍采用的模式. 曹明兰^[28]在此基础上,结合我国工程实际,探讨了两段线性劣化模型的参数取值问题,并发展了多段线性劣化模型的指标计算公式.

但从长远来看,维护设计与耐久性设计中所采用的评价指标与劣化模型应该相互统一,应当将目前对混凝土结构在材料、构件、结构方面取得的耐久性研究成果应用于维护设计,使得当前基于统计分析的劣化模型与耐久性设计建立的性能退化模型能够相互验证,提高预测模型的精度.

4.2.2 维护方式的选择及组合 桥梁维护设计研究过程中的关键问题是选定具体的维护方式,以及确定各种维护活动发生的时间. 一种方法可采用我国现行《公路桥涵养护规范》中的相关规定,根据桥梁总体或构件的检查评定结果将其技术状况等级分为 5 类:1 类桥梁采用正常保养;2 类桥梁采用小修;3 类桥梁进行中修;4 类桥梁进行大修或改造;5 类桥梁进行改建或重建,但该方法侧重从桥梁的外观判断其破坏状态,无法充分反映结构的性能退化规律. 另一种即以结构可靠度达到其对应的临界状态为准,也代表着今后研究的方向,但目前的成果主要是桥梁构件层次^[28-31],而对于桥梁总体层次(即基于系统可靠度)的研究较为少见.

维护过程中通常采用多种方式维持或改善桥梁使用过程中的性能,因此可能产生多种组合形式,应当对其进行折优选择,即优化组合方式. 优化的基本目标一般可采用以下 4 项:桥梁使用寿命、可靠度指标、状况指标和维修成本,据此又可分为单目标优化和多目标优化. 多目标优化^[32]是今后发展的趋势,一般可以采用多目标加权法、 ϵ 约束法、目标规划法、神经网络方法、遗传算法等计算. 曹明兰^[28]详细分析了单目标优化和多目标优化的常见类型,并采用目标规划法建立了后者的分析模型. 彭建新^[26]以维护成本最小、可靠指标最大化和状态指标最大化为目标,利用粒子群算法对预应力混凝土梁进行了多目标维护优化组合计算.

5 全寿命成本分析

5.1 周期成本的组成

桥梁生命周期成本可定义为在桥梁规划、设计、施工、运营、养护、维修、加固以及拆除时的过程中承担者支付的一切费用,但其具体的组成随承担者的类型和目标不同而有所区别. 王玉倩等^[33]分析了基于国家立场和基于企业立场生命周期成本构成的不同,但没有进一步提出基于企业立场的成本组成计算公式,现有的研究主要仍然是基于国家立场. 邵旭东等^[1]由此将生命周期成本划分为管理单位成本、用户成本和社会成本组成. 其中管理单位成本包括初始造价、将来改造和维护成本、周期养护成本、日常管理成本、设计成本以及荷载试验成本等;用户成本包括汽车运行成本、交通耽搁成本和其他,社会成本包括事故成本、环境影响成本以及其他,国内外其他学者的分类方法基本与此类似.

5.2 各项成本的确定方式

初始造价可根据桥梁的《公路基本建设工程概算、预算编制办法》进行计算,设计成本、荷载试验成本、日常管理成本一般可视为初始造价的百分比;周期养护成本可结合《公路桥涵养护规范》以及各地区有关部门制定的《公路养护工程预算编制办法》进行计算. 改造和维护成本中桥梁主体构件必须根据桥梁维护设计中所确定的维护组合方式,以及维护发生的时间进行计算,附属构件可通过陈艾荣等^[4]提出的桥梁典型构件使用寿命计算公式,大致确定出桥梁寿命期改造和维护发生的时间和次数,使计算过程得到一定程度的简化. 用户成本中汽车运行成本、交通耽搁成本与桥梁结构所处的路线、桥梁位置、交通状况、桥梁结构的性能状态以及环境等因素相关,比较复杂,现有的分析过程中大多是采用交通仿真软件来确定. 社会成本中的事故成本目前仍然没有统一的考量方式,王玉倩等^[33]将事故成本量化为人的剩余生命价值和赔偿金,并根据我国现有的国家标准和统计数据,得出了两者的计算方式,提供了一种

较好的解决思路. 社会成本中关于环境成本的计算方法亦少见报道, 大多数研究是利用生命周期评价理论^[34], 从资源耗竭、能源耗竭、人类健康受损和生态破坏等宏观层面来考虑其环境影响, 最终量化的指标中也没有体现桥梁的经济属性. 因此, 在实践中仍然无法广泛运用. 刘沐宇等^[35]利用生命周期评价和生命周期成本分析理论, 初步建立了桥梁环境影响成本分析模型, 但其成本类型以及寿命阶段的划分方式和现有桥梁寿命周期成本理论并不相同, 如何将两者相互结合并统一有待进一步研究.

5.3 折现率的选择

全寿命成本计算准确度受折现率的影响很大, 通常的做法是采用社会折现率. 但这对于永久性工程或者受益期超长的项目来说并不一定合适, 造成寿命周期过程中越晚发生的成本越低, 甚至趋近于零, 因此, 可能低估了发生在寿命周期使用阶段的各项成本. 目前, 较好的一种方式是采用分段折现率的方式来减小误差, 如胡江碧等^[36]分析了折现率与社会折现率和物价波动水平3者之间的关系, 认为我国桥梁全寿命周期内, 成本应符合分阶段递减的规律, 并建议前60a取2%, 后60a取3%.

6 研究展望

桥梁全寿命设计方法是桥梁工程设计方法的发展趋势, 其意义重大, 长远经济效益明显. 目前的研究已经在各个环节取得了较为丰富的成果, 然而真正实施并非易事, 仍需要有大量的基础工作和可靠的依据.

今后的研究应着重关注以下方面: 1) 加强桥梁在复杂环境下性能劣化模型的研究, 建立多重机理影响下的性能退化定量公式; 2) 统一构件耐久性退化模型, 或建立退化模型选择的标准; 3) 折现率指标的进一步研究; 4) 桥梁营运期成本基本参数的统计收集和整理工作, 建立并完善营运期基础资料数据库; 5) 进一步研究和评估维护措施对桥梁性能变化规律的影响.

参考文献:

- [1] 邵旭东, 彭建新, 晏班夫. 桥梁全寿命设计方法框架性研究[J]. 公路, 2006(1): 44-49.
- [2] 马军海, 陈艾荣, 贺君. 桥梁全寿命设计总体框架研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2007, 35(8): 1003-1007.
- [3] SOMERVILLE G. The design life of structures[M]. Edi: Blackie and Son Ltd, 1992: 4-10.
- [4] 金小川, 周宗红, 金小安, 等. 中国桥梁设计使用年限的研究[J]. 公路与汽运, 2012(3): 162-165.
- [5] 林兵, 郑丹, 周建庭, 等. 西南地区桥梁寿命预测分析[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2008, 27(3): 374-378.
- [6] 李海涛. 基于时变可靠度分析的桥梁使用寿命预测[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(6): 100-105.
- [7] 陈艾荣, 王玉倩, 吴海军, 等. 桥梁结构构件设计使用寿命的确定[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2010, 38(3): 317-322.
- [8] 李毓龙, 刘 钊, 张建东. 混凝土桥梁耐久性设计规范的框架与理念[J]. 结构工程师, 2012, 28(5): 20-24.
- [9] DARMAWAN M S, STEWART M G. Spatial time-dependent reliability analysis of corroding pretensioned prestressed concrete bridge girders[J]. Structural Safety, 2007, 29(1): 16.
- [10] KWON K, FRANGOPOL D M. Bridge fatigue assessment and management using reliability-based crack growth and Probability of detection models[J]. Probabilistic Engineering Mechanics, 2011(26): 471-480.
- [11] 肖佳, 勾成福. 混凝土碳化研究综述[J]. 混凝土, 2010(1): 40-44.
- [12] MERIA G, ANDRADE C, ALONSO C, et al. Durability of concrete structures in marine atmosphere zones-the use of chloride deposition rate on the wet candle as an environmental indicator[J]. Cement and Concrete Composites, 2010, 32(6): 427-435.
- [13] 段桂珍, 方从启. 混凝土冻融破坏研究进展与新思考[J]. 混凝土, 2013(5): 16-20.
- [14] DONG C, MAHADEVAN S. Chloride-induced reinforcement corrosion and concrete cracking simulation[J]. Cement and Concrete Composites, 2008, 30(3): 227-238.
- [15] AKG L F, FRANGOPOL D M. Lifetime performance analysis of existing reinforced concrete bridges[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2005, 11(2): 129.
- [16] 孙丛涛. 基于氯离子侵蚀的混凝土耐久性与寿命预测研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010: 1-152.
- [17] 武海荣. 混凝土结构耐久性环境区划与耐久性设计方法[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 1-176.
- [18] 牛荻涛, 孙丛涛. 混凝土碳化与氯离子侵蚀共同作用研究[J]. 硅酸盐学报, 2013, 41(8): 1094-1099.

- [19] 许晨,王传坤,金伟良. 混凝土中氯离子侵蚀与碳化的相互影响[J]. 建筑材料学报,2011,14(3):376-380.
- [20] 苑立冬,牛荻涛,姜磊,等. 硫酸盐侵蚀与冻融循环共同作用下混凝土损伤研究[J]. 硅酸盐通报,2013,32(6):1171-1176.
- [21] SAYDAM D,FRANGOPOL D M. Time-dependent performance indicators of damaged bridge superstructures[J]. Engineering Structures,2011(33):2458-2471.
- [22] 王玉倩,程寿山,李万恒,等. 国内外混凝土桥梁耐久性指标体系调查分析[J]. 公路交通科技,2012,29(2):67-72.
- [23] 钟小平,金伟良. 混凝土结构全寿命性能设计理论框架研究[J]. 工业建筑,2013,43(8):1-9.
- [24] 高宇. 在用混凝土桥梁构件耐久性指标体系的研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2012:1-103.
- [25] 禹智涛,韩大建. 基于可靠度的桥梁结构优化设计[J]. 广东工业大学学报,2002,19(3):50-55.
- [26] 彭建新. 基于寿命周期成本的桥梁全寿命设计方法研究[D]. 长沙:湖南大学,2009:1-229.
- [27] FRANGOPOL D M,KONG J S,GHARAIBEH E S. Reliability-based life-cycle management of highway bridges [J]. Journal of Computing in Civil Engineering,2001(1):27-34.
- [28] 曹明兰. 桥梁维修全寿命经济分析与优化的理论框架研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007:1-161.
- [39] KONG J S,FRANGOPOL D M. Evaluation of expected life-cycle maintenance cost of deteriorating structures[J]. Journal of Structural Engineering,2003,129(5):682- 691.
- [30] NEVES L C,FRANGOPOL D M. Condition, safety and cost profiles for deteriorating structures with emphasis on bridges[J]. Reliability Engineering and System Safety,2005,89(2):185-198.
- [31] 武文杰,王元丰,解会兵. 基于 LCA 和时变可靠度分析的桥梁维护策略优化[J]. 公路交通科技,2013,30(9):94-100.
- [32] OKASHA N M,FRANGOPOL D M. Novel approach for multicriteria optimization of life cycle preventive and essential maintenance of deteriorating structures[J]. Journal of Structural Engineering,2010(8):1009-1022.
- [33] 王玉倩,陈艾荣. 考虑决策人目标的桥梁工程计算期成本构成和参数分析[J]. 公路交通科技,2012,29(1):97-103.
- [34] AMANJEET S,GEORGE B, SATISH J. Review of life-cycle assessment applications in building construction[J]. American Society of Civil Engineers,2011,23(3):15-23.
- [35] 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(增刊 1):373-378.
- [36] 胡江碧,刘妍,高玲玲. 桥梁全寿命周期费用折现率分析[J]. 公路,2008(9):363-367.

Research Review of Design Method for Concrete Bridge Life Cycle

LIANG Wei^{1,2}, ZHUO Wei-dong¹

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

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

Abstract: Taking the concrete bridges as the research object, and the basic frame of two kinds of representative design method of bridge life cycle was compared. The analysis process of design method of bridge life cycle was established and recent research of each aspect of the process was introduced. The difficulties encountered in each aspect are analyzed, and the problems existed in design method of bridge life cycle are summarized. The study lays the groundwork for the implementation of design method of bridge life cycle.

Keywords: concrete bridge; design method for bridge life cycle; service life; durability; cost analysis

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 方德平)