

文章编号:1005-0523(2013)05-0069-07

# 基于全寿命周期的预应力砼小箱梁设计

余少华

(江西省交通设计研究院有限责任公司,江西 南昌 330002)

**摘要:**随着桥龄的增加,主梁性能老化是无法避免的现象。然而桥梁性能退化除了自然老化外,还与桥梁建设速度过快、设计周期短、理念陈旧、超载超限严重、疏于管养等因素有关。因此,科学的设计应把桥梁纳入全寿命周期考虑,本研究先搜集了新建桥梁公路干线所在地区的相关数据,如环境数据、交通量、基本及已建桥梁的结构数据,再结合管养单位执行的桥梁养护规范规定划分生命周期,进行周期成本分析,对常用的预应力砼小箱梁进行了全寿命周期设计的初步研究,以供同道参考。

**关键词:**全寿命周期;小箱梁;设计;成本分析

**中图分类号:**U442.5

**文献标志码:**A

近年来,我国的公路交通事业获得高速发展。查阅交通运输部的统计资料可知,危桥数量庞大(2008年资料就显示存在6 000多座危桥)。桥梁提前老化引起了专家的关注,其原因与桥梁建设速度过快、设计周期短、理念陈旧、超载超限严重、疏于管养等因素有关。从我们与桥梁管养单位的会谈交流可知,管养单位为了减少桥梁的后期维修管理难度,希望设计单位能在生命周期内考虑桥梁的性能变化,摸清后期运营期间桥梁的退化规律。用一句话概括,就是希望桥梁状况都是可预测,管养单位只需按预先设计作业即可。显然,由于涉及的内外因素众多,现阶段要准确预测桥梁的未来状况和形成完全符合未来状况的设计是相当有难度的。目前,国内外很多专家对桥梁结构的全寿命机制<sup>[1-10]</sup>已经进行了很多研究。在此基础上,本文选择江西省常用的预应力组合箱梁进行尝试性设计,分析本地区管养单位对相似桥梁结构的检查统计资料,划分相对合理的寿命周期,并在此基础上考虑影响桥梁耐久性、美观、环境、性能及监测的各项主要关键因素,进行设计,最后利用寿命周期成本分析确定经济可行的设计方案。

## 1 全寿命周期预应力砼小箱梁的设计过程

### 1.1 确定研究流程

采用的研究流程见图1。

### 1.2 常规小箱梁的设计资料简介

研究的内容以先简支后连续的装配式部分预应力砼小箱梁上部构造为背景。等跨梁桥跨径20 m,上部横向由四片小箱梁组成,桥宽13 m,四孔一联,主梁截面见图2。设计桥梁所处环境为I类,主梁材料采用C50混凝土,低松弛高强度预应力钢绞线,R235、HRB335级普通钢筋,桥梁支座采用常温型氯丁橡胶支座GYZ和GYZF4系列产品。

收稿日期:2013-07-15

作者简介:余少华(1975—),男,高级工程师,研究方向为路桥咨询,设计和监理等。



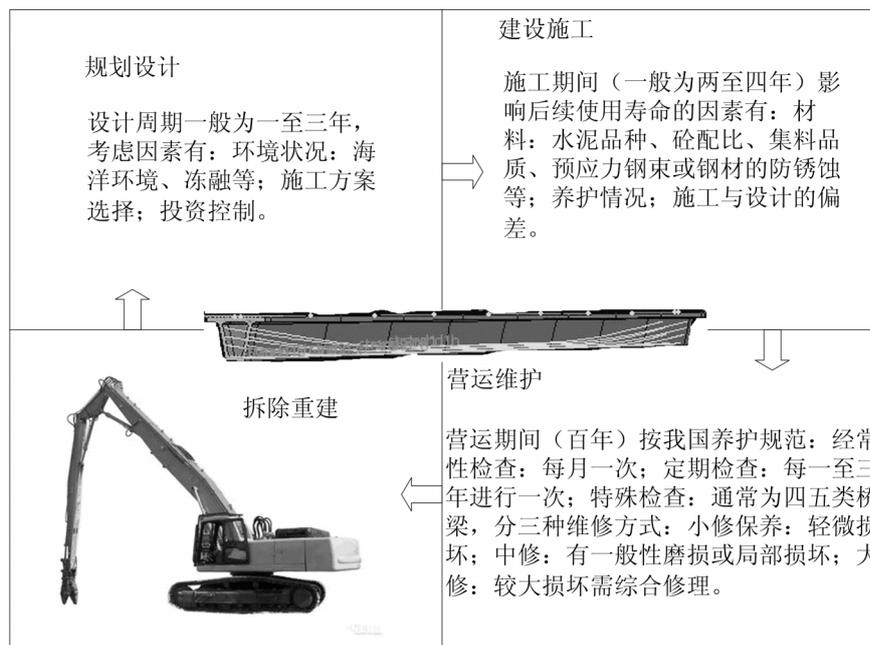


图3 桥梁生命周期

Fig.3 Life cycle of bridge girder

1.3.1 寿命周期确定

本研究的使用寿命指的是技术性使用寿命。从桥梁的寿命各阶段图看,设计、施工、营运直至拆除的四阶段中,后期的营运管理时间跨度最大,影响桥梁寿命的因素众多,为简化模型,本文在设计时利用江西省上饶市对本市所管养的县乡道路中的桥梁现况检查资料进行统计(见表1,将百年营运期划分为两个时间段或3个时间段来考虑(以下均简称“两段模式”或“三段模式”),进行设计比选。其时间分段如下:

1) 第一时间段  $T_1$  (年)。统计资料表明,84%的四五类桥梁出现在40年内,因此用“三段模式”进行全寿命设计桥梁的  $T_1$  阶段可将目标定为40年,即全部四五类桥梁中占85%数量的最高桥龄;而“两段模式”可取95%的四五类桥梁使用年限70年。

2) 第二时间段  $T_2$ , 第三时间段  $T_3$  (年)。预应力砼小箱梁在经过  $T_1$  时间段的运行后,结构的性能退化水平已经达到一个较低水平,我们把它认定为进入被评估为四类桥梁的临界点,此时需要大修,按预设计要求进行施工处理提升品质,第二次  $T_2$  时间段若是“三段模式”可取40年,第三时间段  $T_3$  为20年;“两段模式”的  $T_1, T_2$  分别为70, 30年。本文考虑的预应力砼小箱梁全寿命周期划分如图4。

表1 上饶市四五类梁桥的桥龄频率分布

Tab.1 The frequency distribution of the fourth and fifth class bridge's age in Shangrao

序号	分组 $[T_{i-1}, T_i]$ /年	频数 $n_i$ /次	频率 $f_i$
1	[1,10]	14	0.121
2	(10,20]	22	0.190
3	(20,30]	21	0.181
4	(30,40]	27	0.233
5	(40,50]	6	0.052
6	(50,60]	4	0.035
7	(60,70]	1	0.008
8	(70,80]	0	0
9	(90,100]	1	0.008
10	其它>100	20	0.172

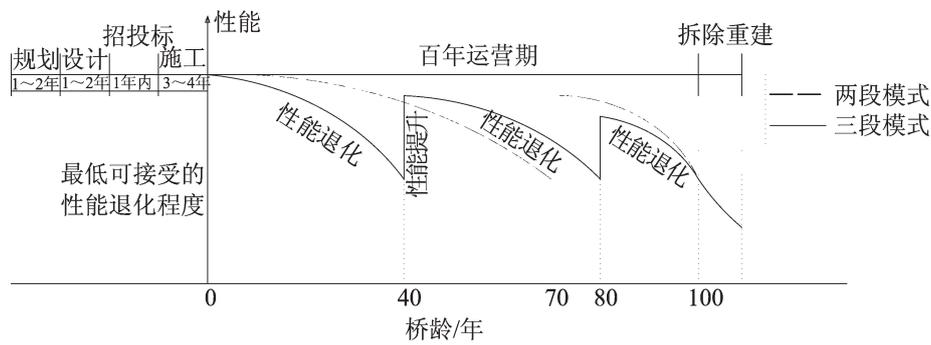


图4 预应力砼小箱梁全寿命设计周期划分

Fig.4 The division of prestressed concrete box girder's designed whole life cycle

### 1.3.2 寿性能设计

桥梁结构性能退化有5类18种原因<sup>[11]</sup>,其中设计不当正是全寿命设计模式需要修正的,而桥梁在正常使用过程中受到的突发性破坏诸如:地震、风灾等天灾;火灾、撞击、污染、废弃等无法抗拒或不可预测的人为因素,都不是本文考虑的内容。两种模式中分别应考虑因素如表2所示。

表2 全寿命模式设计考虑因素

Tab.2 Factors considered in the design of whole life model

序号	退化分类	退化要因	两段模式		三段模式		
			$T_1$	$T_2$	$T_1$	$T_2$	$T_3$
1	环境因素	酸雨	○		○	○	
2		氯离子侵蚀 钢材腐蚀	○		○	○	
3		混凝土碳化	◎		○	○	
4		冻融循环	○		○	○	
5		渗露	◎		○		
6	自然现象	自然老化	◎	◎	○	○	○
7		混凝土干缩 徐变	◎	○	○	○	○
8		施工不良	施工质量 控制不严	◎		◎	
9	碱集料反应		◎		◎		
11	人为因素	超载	◎		◎	◎	

注:○代表要做一般性考虑,◎代表要重点考虑。

### 1.3.3 全寿命与常规设计的主要数据对比情况

笔者计算并绘制了全寿命模式下设计的20 m跨径预应力砼组合箱梁并计算了主要工程数量。为了直观反映与常规设计方式的区别,摘录其主要结构数据对比如表3,限于篇幅本文未将主要工程数量数据对比情况列表。

表3 主要结构数据对比

Tab.3 Comparison among main structure data

项目	常规设计	全寿命模式设计	
		两阶段模式	三阶段模式
主梁砼	C50普通砼	C50高性能砼	C50普通砼
主梁梁高	120 cm	130 cm	130 cm
主梁保护层	4 cm	4.5 cm	4.5 cm
钢材	普通钢筋、 $\Phi$ s15.2钢绞线	环氧钢筋、 $\Phi$ s15.2钢绞线、精轧螺纹钢	普通钢筋、环氧钢筋抗剪、 $\Phi$ s15.2钢绞线、精轧螺纹钢
波纹管	金属波纹管	塑料波纹管、铁皮管	金属波纹管、铁皮管
其它材料			碳纤维
结构构造		边板翼缘板边低设置防水V槽	
荷载等级	公路I级	公路I级基础上提高5%安全储备	公路I级
结构设计	A类预应力构件	全预应力构件:增大端部腹板厚度,调整布束弯起位置。第二阶段时施工腹板最底预留钢束和预留的精轧螺纹钢负弯矩束	全预应力构件:增大端部腹板厚度,调整布束弯起位置。第二阶段时施工腹板最底预留钢束和预留的精轧螺纹钢负弯矩束,最后一次加固使用碳纤维
施工辅助	普通注浆	真空辅助压浆	真空辅助压浆

## 2 寿命周期成本分析

### 2.1 案例桥梁基础资料

利用前述的桥梁全生命周期设计模式,进行不同方案的成本分析评估,使用案例为江西上饶至武夷山高速公路上的一座主线桥,其桥梁所处环境的基本资料如表4。

### 2.1 成本分析说明

桥梁工程属于公共工程建设,生命周期内需考虑的成本及因素非常多,例如工程成本、风险成本、环境影响与社会成本等,本研究着重在可量化的工程成本项目分析,对不可量化的因素,如环境生态影响、人文经济等不易估算的成本不做考虑。可量化成本包含建设成本(CC)、定期维护成本(MC)、可修复成本(RC)、不确定性成本(IC)、使用者成本(UC)、效益(EV)等部分<sup>[11]</sup>。

### 2.2 生命周期成本汇总

通过计算,本案例箱梁两种模式和普通设计模式的生命周期总成本计算结果(折现后)如图5、图6与图7。

计算后我们发现,两阶段模式方案的生命周期总成本最优,与常规设计相比总投资能节省近一半。

表4 案例桥梁背景资料

Tab.4 The bridge background information

线路名称	武夷山至上饶高速公路	
桥名	K9+730水口街桥	
地理位置	江西省上饶市武夷山镇	
开工建设时间	2009年	
施工周期	36个月	
地形特征	山岭重丘	
桥梁总长/m	80	
桥梁净宽/m	2~11.65	
横断面主梁片数	8	
主梁结构	4跨20m连续组合箱梁	
	3 875	2011年
	8 057	2013年
预测交通量(PCU)	10 609	2015年
	17 378	2020年
	25 203	2025年
	34 860	2030年
设计速度/(km·h <sup>-1</sup> )	100	

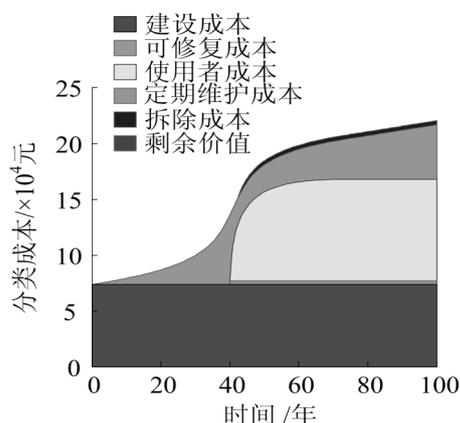


图5 普通模式生命周期成本堆积图

Fig.5 The life cycle cost accumulation under normal design pattern

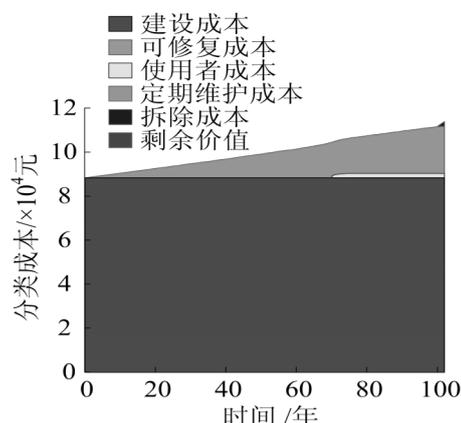


图6 两段模式生命周期成本堆积图

Fig.6 The life cycle cost accumulation under two stage design pattern

### 3 结语

通过研究,得到以下主要结论:

1) 环境影响下浇筑材料的性能退化是主梁不耐久的主因。荷载变化、超载的存在是缩短桥梁寿命的另一主因;

2) 健康检测增加投资较大,主要是电检设备昂贵且不一定可靠,完备管养机构日常监测资料,由表及里来推断桥梁的健康状况可以大大节省费用;

3) 全寿命设计模式初期投入比常规设计增加投资在14%,但放在百年基准期内来考察,全寿命模式总投资可节省一半以上,其主要原因是使用者成本巨大。

当然,本文对全寿命周期内的预应力砼小箱梁设计还只是进行了初步探讨,其中还有很多问题需要不断深入研究,例如:

1) 桥梁耐久性的提高是一个综合治理的结果,受当前的寿命预测理论所限,应用其进行预设计时偏离实际情况是很正常的,这有赖于实时外部监控测量修正,有必要发展全寿命的桥梁维护管养系统;

2) 全寿命周期考虑的时间越长,即分析时间越长,其过程中的不可预期、不确定因素就越多,如:经济环境、原材料的供应价格,施工技术的更新,新材料的应用,交通量的预测等(我国高速公路的远景交通量预测年限也只要求20年,太长会明显失真)。因此,周期成本的分析结果会随着时间的拉长越来越偏离实际情况。解决该问题只能依靠完备资料、数据库系统,对长期数据进行归纳统计,分析其长期的走势及关联关系;

3) 本文的成本分析尚未完善,很多如社会成本、环境污染成本等等未核算在内,因此建议后续研究可加强此部分的不可量化成本的研究。

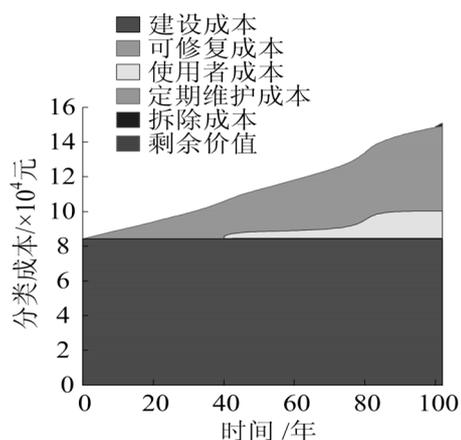


图7 三段模式生命周期成本堆积图

Fig.7 The life cycle cost accumulation under three phase design pattern

**参考文献:**

- [1] 范立础. 桥梁工程安全性与耐久性-展望设计理念进展[J]. 上海公路, 2004(1): 1-7.
- [2] SARJA, ASKO. Integrated life cycle design of structures[M]. Spon: London and New York, 2002: 1-137.
- [3] 宋朝林. 国内桥梁设计安全性和耐久性的探讨[C]//公路工程关键技术与管理信息化论文集, 2002: 148-151.
- [4] 吴海军, 陈艾荣. 桥梁结构耐久性设计方法研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(3): 57-61, 67.
- [5] 刘志勇, 孙伟. 多因素作用下混凝土碳化模型及寿命预测[J]. 混凝土, 2003(12): 3-7.
- [6] 王春芬, 牛荻涛. 钢筋混凝土铁路桥梁碳化寿命预测[J]. 四川建筑科学研究, 2006, 32(3): 61-63, 71.
- [7] 惠云玲. 钢筋锈蚀力学性能变化初探[J]. 工业建筑, 1992, 22(10): 33-36.
- [8] 金伟良, 鄢飞, 张亮, 等. 考虑混凝土碳化规律的钢筋锈蚀率预测模型[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2000, 34(2): 158-163.
- [9] 张恺. 钢筋混凝土桥梁耐久性的初步探讨[D]. 北京: 北京工业大学, 2002: 57-58.
- [10] 杨全兵, 杨学广, 郭英泰, 等. 高耐久性混凝土在预应力桥梁中的应用研究[J]. 公路, 2003(2): 108-112.
- [11] 吴海军, 陈艾荣. 寿命周期成本分析方法在桥梁工程中的应用[J]. 公路, 2004(12): 34-38.

## Design of Prestressed Concrete Box Girder Based on Life Cycle

Yu Shaohua

(Communications Design Institute Co., Ltd. of Jiangxi Province, Nanchang 330002, China)

**Abstract:** With the increasing age of bridge girders, performance degradation is an unavoidable phenomenon. In addition to the natural aging, the bridge performance degradation can be attributed to many factors, such as the bridge construction speed, short design cycle, the outdated design concepts, serious overload, lack of maintenance and so on. Therefore, it is significant to take into consideration the whole bridge life cycle in the scientific design of bridges. This study first collected the road area data of a newly built bridge, including environmental data, traffic data and other basic structure data, then divided the life cycle with reference to the bridge maintenance specification provisions of the management and maintenance unit, and finally analyzed the cycle cost. This preliminary study on the cycle life of commonly-used prestressed concrete box beam tries to provide some reference for the bridge design.

**Key words:** the whole life cycle; small box girder; design; cost analysis