

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.04.028

基于时变因素的桥梁可靠度指标计算

张志超

[上海城建市政工程(集团)有限公司,上海市 200065]

摘要:在预应力桥梁服役过程中,桥梁构件的抗力水平可能降低,同时在运营过程中,桥梁的交通量有可能发生增长,考虑这些时变因素的桥梁可靠度是值得关心的问题。总结归纳了三种典型的抗力退化模式,以某地交通量观测结果为依据,拟合了其增长函数;建立抗力衰减和荷载增长的时变模型;接着,本文以某现役预应力混凝土桥梁构件为背景,利用蒙特卡罗法模拟计算了考虑时变因素的可靠度指标,讨论了其安全使用年限。

关键词:可靠度;现役桥梁;时变;蒙特卡罗方法;预应力混凝土桥梁

中图分类号:U441

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)04-0103-03

0 引言

随着使用时间的增长,公路桥梁材料的强度和可变荷载特征都在变化,如钢筋锈蚀,混凝土劣化,运营超载等,因此整个服役期间,桥梁结构的可靠性是随时间动态变化的。近期公路桥梁事故频发,现役桥梁不能满足设计要求的问题日趋凸显。一般来说,合理设计建设的桥梁结构在运营初期能够满足安全性能的要求,但由于实际运营过程种种不利因素,逐渐导致众多桥梁存在潜在安全风险。因此,现役桥梁在使用过程中可靠度的变化是结构寿命全过程研究的一个重要课题。

我国现行桥梁设计规范采用的可靠度分析和设计方法没有很好考虑结构抗力随时间的降低;在进行桥梁评定时,规范建议现役公路桥梁的可靠性指标至少为新桥85%。许多学者从材料角度建立了混凝土和钢筋强度的时变模型^[1-2]。然而影响钢筋混凝土结构抗力变化的因素众多,很难定量描述,并且相互之间还可能存在着复杂的相关关系,从材料角度直接获取抗力的时变模型较为困难。我国公路桥梁的设计车辆荷载多次提高,但是就目前统计,我国众多桥梁处在超载的运营条件下。在桥梁整个服役期间,活载有一个逐渐增长的过程,需要建立一个合理的交通量时变模型。

1 现役桥梁结构抗力时变模型

一般来说,结构抗力随时间的变化是非平稳随

机过程^[3]。为了计算上的简化和实用化,可将非平稳随机过程平稳化,即将抗力 $R(t)$ 简化为:

$$R(t) = r(t)R_0 \quad (1)$$

式中:抗力衰减函数 $R(t)$ 为一确定性函数; R_0 为结构的初始抗力, $R(t)$ 的概率分布类型与 R_0 相同,通常认为服役构件抗力服从对数正态分布,其平均值和变异系数分别为:

$$\mu_{R(t)} = \mu_{R_0} r(t) \quad (2)$$

$$\sigma_{R(t)} = \sigma_{R_0} \quad (3)$$

目前国内外学者在钢筋混凝土结构的抗力衰减模型上作了大量的统计研究,得出的抗力衰减模型简化形式有多项式模型、幂指数函数模型等^[2-3]。本文采用的幂指数形式的抗力衰减函数:

$$r(t) = 1 - kt^\alpha \quad (4)$$

式中: k, α 为影响钢筋混凝土结构抗力衰减的随机变量。假设三种典型的服役环境,按照抗力退化速率不同,参数和的统计参数可以按照表1取值。

表1 k, α 统计参数

退化模式	随机变量	均值	标准差	变异系数	分布类型
低速退化	k	0.01	0.001	0.1	对数正态
	α	0.6	0.06	0.1	
中等退化	k	0.012	0.001 32	0.11	
	α	0.63	0.069 3	0.11	
严重退化	k	0.015	0.001 65	0.11	
	α	0.65	0.078	0.12	

对于 $t=0$ (设计阶段)抗力 R_0 的统计参数可按典型的桥梁构件,采用误差传递公式计算得出,取值如下: $K=1.165, \delta=0.085, K$ 是无量纲参数,表示抗力实测平均值与设计值的比值, δ 是变异系数,即标准差与平均值的比值。

收稿日期:2022-05-20

作者简介:张志超(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

2 现役桥梁结构荷载时变模型

2.1 恒载概率模型

桥梁恒载由构件重和桥面重组成的,但试验表明二者不同比例对恒载统计参数影响甚微。组合后统计参数可取: $K_c=1.0148$, $\delta_c=0.0431$,分布仍遵从正态分布。一般而言,恒载的大小不随时间改变。

2.2 现役公路桥梁活载模型和交通量预测

在对桥梁进行可靠度分析时,我们主要关心产生最不利荷载效应的荷载组合。交通部对车队作用下的年最大弯矩作了统计分析,可以用二项过程描述,其截面分布服从威布尔分布和正态分布,可以采用极值 I 型分布来研究桥梁在设计基准期内最大活载效应的随机分布。

高速公路交通量的变化主要受经济发展、路网变化、不同运输方式之间的转移等因素的影响^[4],从整个交通量增长过程看可分为三个阶段:(1)形成阶段;(2)快速增长阶段;(3)稳定阶段。如图 1 所示。假定现役桥梁的最大活载效应随时间的增长与交通量的增长规律相似。

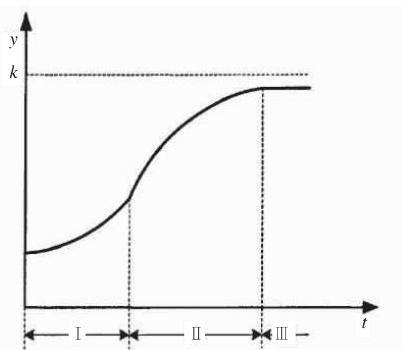


图 1 高速公路交通量增长曲线

文献[5]对安徽省霍山县城北部衡山大桥进行了实际运行交通量统计,根据该桥的平均日交通量,并假定平均日卡车交通量是平均日交通量的 12%,且每隔 15 辆卡车会出现 2 辆相同的卡车并行在桥面上,进行了分析与计算。有关估算及预测的交通量见表 2。

3 现役桥梁时变可靠指标计算

3.1 工程背景介绍

本文以徐州至明光高速公路某公路桥为背景。基本资料如下:桥面宽度 0.5 m(护栏)+12.125 m(行车道)+0.5 m(护栏)+0.125 m(分隔带),单幅宽 13.25 m,全桥宽 26.5 m,见图 2。为 6×40 m 预应力简支变连续 T 梁。单幅由 5 片 T 梁组成。梁高为 2.5 m。预应力混凝土 T 梁应用广泛,在现役桥梁中

表 2 交通量预测表

年份	平均日交通量	平均日卡车交通量	预测平均日卡车交通量	2 列卡车并行年交通量	2 列卡车并行累计交通量
1997	1 989	239	237	5 767	5 767
1998	2 144	257	244	5 937	11 704
1999	2 089	251	251	6 108	17 812
2000	2 001	240	257	6 254	24 066
2001	2 183	262	264	6 424	30 490
2002	2 245	269	271	6 594	37 084
2003	2 309	277	278	6 765	43 849
2004	2 386	286	284	6 911	505 614
2005	2 443	293	291	7 081	57 695
2006	2 515	302	298	7 251	64 946
2096			904	21 997	1 389 044

为数众多,对整个高速公路桥梁的可靠性研究具有代表性。

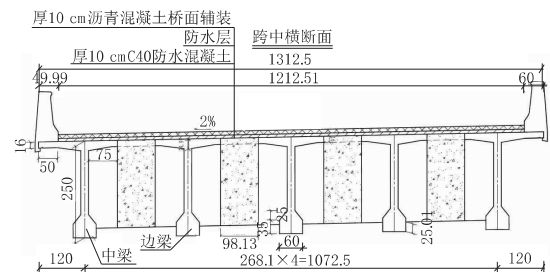


图 2 所选桥梁跨中横断面(单位:cm)

3.2 可靠性分析的步骤

根据《公路工程结构可靠性设计统一标准》(GB/T 50283—1999),抗力不拒绝服从对数正态分布,恒载不拒绝服从正态分布,汽车荷载不拒绝服从极值 I 型分布。

首先建立有限元模型分析失效单元,计算初始可靠指标。然后按照上述抗力和荷载的时变函数,计算每个时间分段的荷载和不同衰退模式抗力统计参数,最后按照蒙特卡罗方法计算抽样时间节点的时变可靠度。由于支点处的可靠性远高于跨中截面,因此只计算跨中截面的可靠指标。同时,将六跨连续梁看成六个串联的构件,那么六跨连续梁的失效概率为:

$$P(f) = 1 - \prod_{i=1}^6 [1 - P(F_i)] \quad (5)$$

3.3 蒙特卡罗法

本文采用蒙特卡罗法进行时变可靠指标的计算。蒙特卡罗法是计算结构可靠指标直观的方法^[6]。进行可靠指标计算时,按照抗力、恒载、活载的分布类型利用 Matlab 生成随机数矩阵;将抽样点代入功能函数 g ;统计功能函数 $g < 0$ 的个数;大量抽样后,用 $g < 0$ 的频数估计失效概率。

蒙特卡罗法抽样矩阵的大小非常重要,一般来说抽样越多越准确;但会使得计算量庞大。为了减少误差,蒙特卡罗法进行抽样的样本数 n 必须大于引起一次 $g(X_i) < 0$ 所需的平均样本数的 100 倍。

3.4 时变可靠度分析结果

综合考虑抗力的衰减模型,和荷载的增长模型,分别按照低速退化、中等退化、高速退化三种情况,最终得到桥梁结构的时变可靠指标 β 。由各个时间节点的可靠指标可以得到桥梁在三种环境下的可靠度时变特性。计算表明,在桥梁建成初期,交通量快速增长的早期 15 年内,桥梁可靠指标快速下降,这期间抗力的衰减影响尚不明显,主要因素是由于交通荷载量的迅猛增长。在 15 年以后,由于高速公路运输量达到饱和,交通荷载可以认定不再增加,可靠指标的下降速度放缓,高速退化的可靠指标下降最快,低速退化最慢,此时影响可靠指标下降的主要是抗力的退化。

在得出可靠性指标的时变函数曲线后,用指数函数对曲线进行拟合。假定现役桥梁容许的最小可靠指标按照规范取定为 0.85 倍新桥目标可靠指标^[7],则可以推出三种典型服役环境下的安全使用年限,即低速退化: $T_1=62$ a; 中等退化: $T_2=34$ a; 高速退化: $T_3=20$ a。

4 结论

本文给出了如下结论:

(1) 交通量在形成和增长阶段可近似认为服从指

数规律。在桥梁建成初期,交通量增长迅猛,结构可靠指标下降曲线的斜率也大,主要影响可靠性下降的是运营的超载。

(2) 现役桥梁抗力衰减速度直接影响了结构体系的可靠指标降低速度,运营时间越长,抗力退化程度引起可靠性下降越严重,而在运营中后期,交通量趋于稳定,结构可靠指标下降主要影响可靠性下降的是耐久性导致的抗力退化。

(3) 在桥梁设计时,要充分考虑保护层厚度等措施,并对超载程度作适当估计;对于现役桥梁,不但要注重养护,而且要适时统计桥上交通量;对于危桥,甚至要限载运行或维修。

参考文献:

- [1] 牛荻涛,王庆霖.一般大气环境下混凝土强度经时变化模型[J].工业建筑,1995,25(6):36-38.
- [2] 牛荻涛,王庆霖,董振平.服役结构抗力的概率模型及其统计参数[J].西安建筑科技大学学报,1997,29(4):355-359.
- [3] 张建仁,秦权.现有混凝土桥梁的时变可靠度分析[J].工程力学,2005,22(4):90-95.
- [4] 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,2012,2(6):100-105.
- [5] 匡安乐.高速公路运营交通量增长特性及预测方法优化研究[D].西安:长安大学,2010.
- [6] 郭彤,李爱群,卞朝东.基于蒙特卡罗数值模拟的大跨桥梁状态评估[J].公路交通科技,2005,22(8):26-30.
- [7] 交通部第二公路勘察设计院.公路旧桥承载能力鉴定方法(试行)[M].北京:人民交通出版社,1988.
- [8] 吴迅,张志超.考虑时变因素的桥梁可靠度计算[C]//2014 工程结构可靠性设计理论、方法与应用学术研讨会,2014.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com