

文章编号:1671-6833(2017)04-0088-06

在役钢筋混凝土 T 形梁桥承载能力的模糊随机评估法

翟科玮¹, 杜朝伟², 郑凤玺³, 郑元勋⁴

(1. 洛阳市农村公路管理处, 河南 洛阳 471000; 2. 河南省交通运输厅 公路管理局, 河南 郑州 450012;
3. 商丘市公路管理局, 河南 商丘 476000; 4. 郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 针对中小跨径 T 形梁桥的特点, 提出了一种模糊随机的上部结构承载能力综合评估方法. 根据现场检测结果对承载能力评定的各因素指标进行随机模拟, 应用模糊综合评定方法得到各分项验算系数和承载能力的概率分布, 进而计算得到具有一定保证率的承载能力评定结果. 通过对某公路钢筋混凝土简支 T 梁桥的计算, 验证了该方法的可行性, 且研究结果可为公路桥梁的承载力评定和维修管理提供参考.

关键词: T 形梁桥; 承载能力; 模糊综合评价; 概率分布; 保证率

中图分类号: U447; U448.16; TU312 **文献标志码:** A doi:10.13705/j.issn.1671-6833.2017.01.014

0 引言

早期修建的公路桥梁以中小型桥梁为主, 普遍存在着等级低、设计荷载低、施工质量差、缺乏管养等问题, 在建成通车后会发生不同程度的老化、破损和裂缝, 其实际承载力逐年降低. 并且由于设计规范的变更, 早期建设的桥梁结构建设标准低, 在运营过程中存在较严重的超限现象; 近年来经济的发展使得交通量逐年增大, 但由于监管困难, 车辆超载及车辆改装等原因导致超限问题突出, 使得按新标准建设的桥梁也不堪重负, 造成桥梁结构损伤、材料劣化和疲劳病害严重^[1-2]. 这些因素使得桥梁不可避免地出现耐久性损伤, 抗力退化, 服役过程中结构的安全性和可靠性不断降低, 使桥梁在没达到设计寿命前就已经达到使用寿命, 危桥的数量逐年增多, 使得大部分危旧桥梁在农村公路上超期服役^[3].

目前, 在役桥梁承载能力的评定方法是依据桥梁主要技术指标的检测结果和相应评定标准进行评估, 是确定的“定值评估法”^[1,4-6], 计算得到的桥梁承载能力是确定值, 没有概率的概念. 在承载能力评估中由于检测方法、测点位置的不同及主观因素等会导致检测指标的随机不确定性, 因此, 病害指标是随机变量^[7-9], 且检测指标的分级

评定具有一定的模糊性. 由于构件的材料性能和截面几何参数的不确定性使得基于检测结果的承载能力是一个随机变量^[10]. 常规的“定值评估法”对在役桥梁结构承载能力评定忽略了影响因素的随机性和分级评定的模糊性, 使得评估结果易受主观影响、可靠性低.

笔者在已有评估方法^[4]基础上把影响桥梁承载能力评估的因素指标按照随机变量进行考虑, 应用 Monte Carlo 随机模拟和模糊综合评定方法得到在役钢筋混凝土 T 形梁桥上部结构承载能力的概率分布, 进而得到具有一定保证率的承载能力评定结果.

1 桥梁承载能力的评估

根据现行规范^[4], 桥梁的承载能力按下式评定:

$$M_R = R(f_d, \xi_e, a_{de}, \xi_s, a_{ds})Z(1 - \xi_e). \quad (1)$$

式中: M_R 为在役桥梁截面实际抗力; Z 为承载能力检算系数; ξ_e 为承载能力恶化系数; ξ_e 为混凝土截面折减系数; ξ_s 为钢筋截面折减系数. 计算得到的承载能力是一个确定的值, 是“定值评估法”.

由于实际中分项检算系数的影响因素是随机变量, 因此, 分项检算系数也是不确定的随机变

收稿日期: 2016-09-30; 修订日期: 2016-11-19

基金项目: 河南省交通运输厅科技项目(2014k37-2)

通信作者: 郑元勋(1978—), 男, 河南驻马店人, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事结构耐久性、结构监控、检测及加固等研究; E-mail: yxzheng@zzu.edu.cn.

量.另外,由式(1)计算得到的桥梁抗力也是服从某一分布的随机变量,因此,得到满足某一保证率的承载力值更符合实际情况.

2 在役公路桥梁承载能力的模糊随机评估体系

桥梁承载能力分项验算系数的取值直接影响承载能力的评估结果,笔者对在役桥梁承载能力的评估,实际上是以承载能力分项验算系数为评估对象,以桥梁检测指标为因素集,建立桥梁承载能力综合模糊评估体系.在评估过程中将影响分项验算系数的检测指标作为随机变量,根据实测的分布特征进行随机模拟,采用模糊综合评定方法得到分项验算系数的概率分布,进而由公式(1)得到具有一定保证率的在役钢筋混凝土上部结构的承载能力.

2.1 在役公路桥梁的检测指标

对于中小型的公路桥梁,在承载能力评定时,检测设备有限,不便测量自振频率,因此,检测指标中去掉了现行《规程》^[4]中自振频率这一项,其对应的权重被分配到其它指标上去.同时,引入裂缝长度这一指标并将现行《规程》^[4]中的缺损状况检测改为3项指标来反映:裂缝宽度、裂缝长度对截面尺寸的比值和表面损伤率.公路桥梁的主要检测指标改为:上部结构裂缝宽度 u_1 、裂缝长度与截面最小尺寸比值 u_2 、混凝土结构表面损伤率 u_3 、混凝土强度系数 u_4 、混凝土碳化系数 u_5 、混凝土保护层厚度系数 u_6 、氯离子含量 u_7 、混凝土电阻率 u_8 、混凝土锈蚀电位 u_9 、构件表面风化率 u_{10} 、构件表面混凝土剥落最大深度与构件最小尺寸的比值 u_{11} .

2.2 检测指标的 Monte Carlo 模拟

由于现场病害检测指标具有随机性,且现场检测数据有限,因此,根据现场检测结果的分布特征采用 Monte Carlo 法进行随机模拟.笔者根据现场检测结果利用参数估计和 K-S 假设检验分析统计其分布规律作为 Monte Carlo 法仿真的概率模型,模拟产生大量服从其概率分布的随机数,用于研究分项检算系数和承载能力的概率分布.

2.3 承载能力分项检算系数的模糊综合评估

根据现行《规程》^[4],对桥梁承载能力评估需要计算承载能力检算系数 Z 、承载能力恶化系数 ξ_e 、混凝土截面折减系数 ξ_c 和钢筋截面折减系数 ξ_s .由于影响这些分项检算系数的因素是随机的,因此,分项检算系数也是随机的.检测指标的分级

模糊性使得分项检算系数的技术状况评定需要采用模糊综合评定理论^[10]进行计算.模糊综合评定理论已经应用到在役结构的耐久性评估、健康监测以及可靠度评估和维修加固等复杂的实际工程中^[11-12].评定过程为:

1) 确定公路桥梁的评估对象 $\{U_1, U_2, U_3\} = \{\text{承载能力检算系数 } Z, \text{承载能力恶化系数 } \xi_e, \text{混凝土截面折减系数 } \xi_c\}$.

2) 确定每个评估对象的影响因素集 U_i ,即: $U_i = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$,其中, u_i 为评估对象的影响因素.

桥梁承载能力检算系数 Z 的因素集为 $U_1 = \{\text{裂缝宽度 } u_1, \text{裂缝长度与截面尺寸比值 } u_2, \text{混凝土结构表面损伤率 } u_3, \text{混凝土强度系数 } u_4\}$.

承载能力恶化系数 ξ_e 的因素集为 $U_2 = \{\text{裂缝宽度 } u_1, \text{裂缝长度与截面尺寸比值 } u_2, \text{结构表面损伤率 } u_3, \text{混凝土强度系数 } u_4, \text{混凝土碳化系数 } u_5, \text{保护层厚度系数 } u_6, \text{氯离子含量 } u_7, \text{混凝土电阻率 } u_8, \text{钢筋锈蚀电位 } u_9\}$.

混凝土截面折减系数 ξ_c 的因素集为 $U_3 = \{\text{构件表面损伤率 } u_3, \text{混凝土碳化系数 } u_5, \text{构件表面材料风化 } u_{10}, \text{构件表面混凝土剥落深度与损伤部位截面最小尺寸比值 } u_{11}\}$.

3) 建立每个因素的评价集 V_i .由于因素集 U_i 中各元素 u_i 具有一定的模糊性,对于评估集内每一个因素指标的评估等级向量可写成 $V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im}\}$,其中, m 表示评估等级种类数.根据文献^[4, 14-15]把影响因素按其技术状况分为良好、较好、较差、差、严重5种情况,对应的评定等级为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级,即评估等级向量 $V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, v_{i4}, v_{i5}\}$.

4) 在因素集 U 与评价集 V_i 基础上,由单因素集模糊评价可得到对应因素集的评价矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times 5}$,即

$$R = \begin{bmatrix} R & u_1 \\ R & u_2 \\ & \dots \\ R & u_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{n5} \end{bmatrix}_{n \times 5} \quad (2)$$

其中, r_{ij} 表示因素 i 的评价集 v_i 中对 j 等级的隶属程度,可通过因素的隶属函数计算得到.

5) 确定各检测指标 u_i 的隶属函数 $\mu(u_i)$.桥梁的主要检测指标有数值型变量(如:裂缝宽度、电阻率等)和定性评定的影响因素(如:构件表面

材料风化程度等),对不同类型因素指标采用不同的方法进行等级评价. 由于检测指标具有分级模糊性,笔者对桥梁病害数值型变量的等级划分采用梯形隶属函数,如图 1 所示, u_4 、 u_6 、 u_8 、 u_9 取图中括号中的等级. 再按模糊划分原则,确定影响因素集 U 中各影响因素指标 u_i 的限值和模糊分级,如表 1 所示.

6) 确定因素集对应的权重集. $W = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$, 且 $\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0$.

表 1 评价指标模糊等级划分

Tab.1 The fuzzy hierarchy of evaluation index

指标	I 级 (V 级)	II 级 (IV 级)	III 级 (III 级)	IV 级 (II 级)	V 级 (I 级)
u_1	[0, 0. 05]	[0. 062 5, 0. 075]	[0. 125, 0. 175]	[0. 225, 0. 612 5]	[1. 00, + ∞]
u_2	[0, 0. 3 3]	[0. 395, 0. 46]	[0. 54, 0. 62]	[0. 700, 0. 725]	[0. 75, + ∞]
u_3	[- ∞, 0]	[1. 875, 3. 75]	[6. 25, 8. 75]	[11. 25, 15. 625]	[20. 0, + ∞]
u_4	[0, 0. 85]	[0. 874, 0. 895]	[0. 916, 0. 937]	[0. 958, 0. 979]	[1. 00, + ∞]
u_5	[0, 0. 3]	[0. 4, 0. 5]	[0. 7, 0. 9]	[1. 1, 1. 3]	[1. 5, + ∞]
u_6	[0, 0. 55]	[0. 607, 0. 664]	[0. 721, 0. 778]	[0. 835, 0. 892]	[0. 95, + ∞]
u_7	[0, 0. 15]	[0. 237 5, 0. 325]	[0. 475, 0. 625]	[0. 775, 0. 888]	[1. 0, + ∞]
u_8	[0, 5. 00]	[6. 875, 8. 75]	[11. 25, 13. 75]	[16. 25, 18. 125]	[20, + ∞]
u_9	[- ∞, - 500]	[- 462. 5, - 425]	[- 375, - 325]	[- 275, - 237. 5]	[- 200, + ∞]
u_{10}	微风化	弱风化	中度风化	较强风化	严重风化
u_{11}	[- ∞, 0]	[0. 007 5, 0. 015]	[0. 025, 0. 035]	[0. 045, 0. 075]	[0. 10, + ∞]

注: u_4 、 u_6 、 u_8 、 u_9 取表头括号中的等级.

依据相关规范和不同因素对在役桥梁上部结构承载力影响程度,通过影响因素间两两对比,并结合层次分析法和专家建议,给出各因素集对应权重集 W 的建议值:

a) 因素集 U_1 的权重集 $W_1 = (0. 2, 0. 2, 0. 2, 0. 4)$;

b) 因素集 U_2 的权重集 $W_2 = (0. 08, 0. 08, 0. 16, 0. 05, 0. 20, 0. 12, 0. 15, 0. 05, 0. 11)$;

c) 因素集 U_3 的权重集 $W_3 = (0. 30, 0. 35, 0. 10, 0. 25)$;

7) 计算被评估对象的模糊综合评估等级向量 B , 由下式即可分别计算承载能力分项系数的评估等级向量 B :

$$B = W \cdot R = (b_1, b_2, \cdots, b_5).$$

(3)

8) 计算模糊综合评定值. 为充分考虑评估等级向量 B 包含的信息,突出优势等级,计算 B 的“凝聚值”作为被评估对象的综合评定值 D :

$$D = \frac{\sum_i^m b_i^2 \cdot v_i}{\sum_i^m b_i^2},$$

(4)

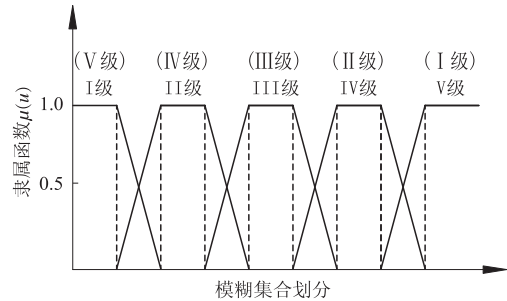


图 1 隶属函数

Fig.1 Membership function

式中: v_i 表示与 B 中元素 b_i 对应的评定等级. 根据式(4)可计算出桥梁各分项检算系数的综合技术状况评定值 D , 利用插值法即可计算得到 Z 、 ξ_c 以及 ξ_e 的值^[4].

2.4 承载能力分项检算系数的概率分布

由于影响因素是随机变量,因此,在此基础上通过模糊综合评价和插值得到的技术状况评定值 D 和分项检算系数也是随机变量,且通过分析认为分项检算系数概率分布模型均服从正态分布.

钢筋截面折减系数 ξ_s 无法通过实际检测和模糊综合评价获得,由于钢筋锈蚀程度分布是随机的,因此,对于被评估的在役公路桥梁,不同位置钢筋的锈蚀率导致的钢筋截面折减系数可认为是一个随机量,假设服从正态分布,其均值 μ 可由桥梁损伤状况按规范^[4]规定选取,对于变异系数 δ ,为减少模拟误差,建议选用范围为 0.05 ~ 0.15.

3 桥梁承载能力的概率分布

在考虑了桥梁诸多病害指标的随机性和评估等级划分模糊性的基础上,参考现行规范^[4]把病害指标对承载能力影响效应定义为承载能力分项

验算系数,进而通过式(1)计算损伤后桥梁结构的承载能力,得到承载能力的概率分布,继而可计算具有一定保证率的在役钢筋混凝土桥梁承载能力评估值.

4 工程算例——钢筋混凝土简支 T 梁桥

4.1 桥梁概况

某在役农村普通钢筋混凝土桥梁,其上部结构为 4 孔 20 m 装配式钢筋混凝土简支 T 梁,其中每孔跨有横梁 5 根,桥全长 64.04 m,桥面为连续结构,上部结构横剖面如图 2 所示,混凝土设计

强度 C25,主筋采用 II 级钢筋,主梁配筋图如图 3 所示,经复核原截面设计承载能力(按 85 规范^[13]计算) $M_0=2\,196.57\text{ kN}\cdot\text{m}$.简支 T 梁主要病害概况:混凝土保护层剥落较深,钢筋外露且锈蚀严重,电阻率在 $10\text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下;腹板两侧中度风化;跨中发现多处横向锈胀裂缝,裂缝宽度在 $0.5\sim1.3\text{ mm}$ 之间,且裂缝长度与截面尺寸比值达到 0.6 以上;混凝土碳化较严重,氯离子含量达到 $0.6\%\sim0.7\%$,混凝土测各区平均强度换算值均在 $21\sim23\text{ MPa}$.

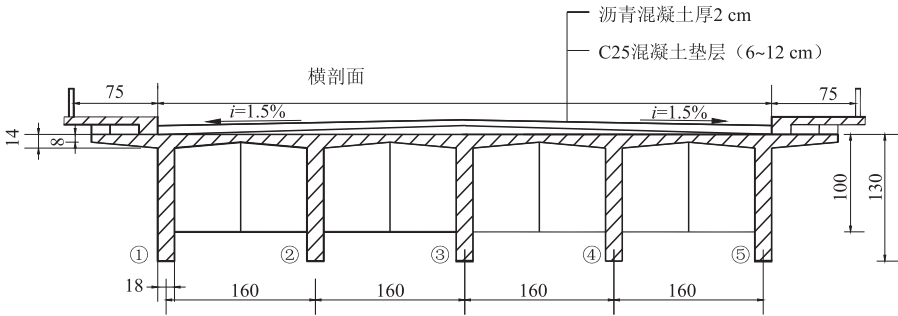


图 2 上部结构横剖面
Fig. 2 The section of upper structure

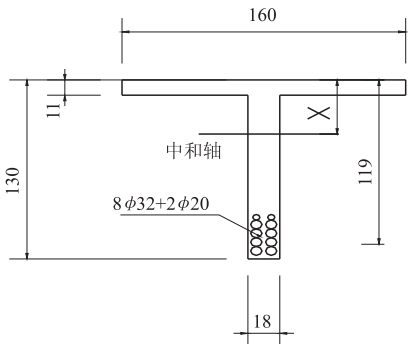


图 3 主梁配筋图
Fig. 3 The reinforcement figure of girder

4.2 计算结果分析

1) 对该桥病害检测指标进行统计和相应分布假设检验分析后,确定各自的概率模型,对该桥上部结构承载能力建立基于 Monte Carlo 法的模糊综合评估模型.经过 10 000 次随机模拟计算,得到服从正态分布的承载能力分项验算系数和综合评定值 D 的统计参数(μ,δ),如表 2 所示.根据实际检测结果,认为主梁钢筋截面折减系数 ξ 服从 $\mu=0.90,\delta=0.15$ 的正态分布.

2) 承载能力评估结果分析. 根据该桥梁简支 T 梁承载能力分项验算系数的计算结果和规范^[14]提供的公路桥梁结构材料性能以及截面几何参数的统计参数,对式(1)经过 10 000 次随机模拟,并对计算结果进行 K - S 假设检验,认为该桥

主梁正截面抗弯承载能力近似服从 $M_R\sim\text{LN}(7.764\,5,0.274\,9)$ 的对数正态分布,如图 4 所示,概率分布函数 $F_R(r)$ 为:

$$F_R(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}0.274\,9} \int_{-\infty}^r \frac{1}{r} \exp \left[-\frac{(\ln r - 7.764\,5)^2}{2(0.274\,9)^2} \right] dr. \tag{5}$$

当取不同保证率时,其截面抗弯承载能力 M_R 和损失率如表 3 所示.

表 2 分项验算系数和 D 值的统计参数
Tab. 2 The subentry coefficient and statistics parameters of D value

分项验算系数	正态分布参数 (μ,δ)	综合评定值 $D(\mu,\delta)$
承载能力检验系数 Z	(0.906 3,0.010 5)	(3.937 7,0.024 1)
承载能力恶化系数 ξ_e	(0.088 0,0.060 3)	(3.759 9,0.028 3)
混凝土截面折减系数 ξ_c	(0.871 0,0.018 9)	(3.738 0,0.055 0)

由表 2 可看出,各分项系数的综合评定值 D 的均值 μ 均接近 4,根据规范^[4]可判断该桥上部结构总体技术状况为 4 类,即差状态与该桥病害检测结果吻合.同时,该桥上部结构原设计承载能力(按 85 规范^[13])为 $M_0=2\,196.57\text{ kN}\cdot\text{m}$,而由

表 3 可看出承载力下降严重,当取 95% 的保证率时,抗弯承载力为 1 542.7 kN·m,承载力损失 29.68%;当取 90% 的保证率时,抗弯承载力为 1 708.3 kN·m,承载力损失 22.1%,属于 4 类桥承载力下降的范围,该桥梁需要进行大修和加固来保证其安全性.算例表明笔者提出的基于概率分布的承载力评估方法对在役钢筋混凝土桥梁上部结构承载力评估是可行的.

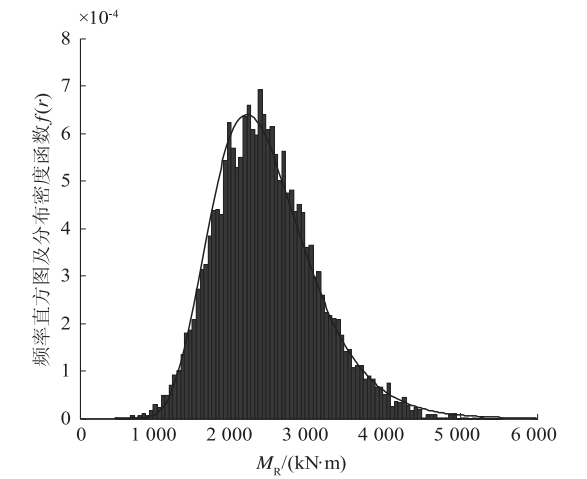


图 4 M_R 近似对数正态概率分布图
Fig.4 The approximate lognormal probability distribution figure of M_R

表 3 不同保证率 M_R 和损失率
Tab.3 Different reliability M_R and loss rate

保证率/%	抗弯承载力 $M_R/(kN \cdot m)$	损失率/ %
95.0	1 542.7	29.68
92.5	1 634.4	25.50
90.0	1 708.3	22.10

5 结论

笔者提出的基于 Monte Carlo 法和综合模糊评价理论的桥梁上部结构承载力评估方法能够从概率的角度进行承载力评估,更客观地反映桥梁的承载力,为桥梁的维修管理提供参考.

1)方法考虑了在役公路桥梁的特点,检测指标的选取适合于中小跨径公路桥梁的检测.

2)考虑了检测指标的随机不确定性和分级模糊性,上部结构承载力的计算更符合实际.将检测指标按其服从的概率分布进行 Monte Carlo 随机模拟既能够解决现场检测数据不足的问题,也能够反映实际指标的随机性.模糊综合评价理论较好地解决了检测指标在等级评定时的主观影响,使承载力的评定更客观.

3)由于检测指标的随机性决定了承载能力分项检算系数的随机性,进而使计算得到的上部结构的实际承载能力是近似服从对数正态分布的随机变量,通过对承载力的概率分布的分析可得到对应于不同保证率的承载能力.提出方法为公路桥梁的检测和管理具有重要的参考价值,公路桥梁的管理者可以根据不同保证率的上部承载力选择合适的日常维修方案和限载标准.

参考文献:

[1] 张新志. 钢筋混凝土旧桥承载力评估方法研究[J]. 公路,2013(1):274-277.

[2] 仲岗. 农村公路旧桥加固后评价方法研究[D]. 西安:长安大学交通学院,2010.

[3] 宗周红,任伟新,郑振飞. 既有桥梁承载力评估方法[J]. 地震工程与工程振动,2005,25(5):147-152.

[4] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥梁承载力检测评定规程:JTG/T J21—2011[S]. 北京:人民交通出版社,2011.

[5] 李海涛. 基于模糊层次分析的连续梁桥健康状态的评估[J]. 公路工程,2012,37(2):26-28.

[6] MELHEM H C,SENAKA A. Bridge condition rating using an eigenvector of priority settings [J]. Microcomputers in civil engineering,1996,11:421-432.

[7] 赵卓,滕海文,徐爱. 杭州湾跨海大桥 70m 箱梁结构寿命随机分析[J]. 公路交通科技,2009,26(9):59-69.

[8] 屈文俊,陈道晋. 混凝土碳化的随机模型[J]. 同济大学学报(自然科学版),2007,35(5):577-581.

[9] 王华琪,赵鸣,李杰,等. 混凝土强度统计数据的分析与应用[J]. 同济大学学报(自然科学版),2007,35(7):864-865.

[10] 李士勇. 工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:101-108.

[11] TARIGHAT A, MIYAMOTO A. Fuzzy concrete bridge deck condition rating method for practical bridge management system[J]. Expert systems with applications, 2009,36(10):12077-12085.

[12] KIM Y M, KIM C K,HONG G H. Fuzzy set based crack diagnosis system for reinforced concrete structures [J]. Computers and structures, 2007, 85(23): 1828-1844.

[13] 交通部公路规划设计院. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范:JTJ 023—85[S]. 北京:人民交通出版社,1985.

[14] 交通部公路规划设计院. 公路工程结构可靠度设计同一标准:GB/T50283—1999[S]. 北京:中国计划出版社,1999.

Load Bearing Capacity of Existing Highway RC T Beam Bridge Based on Fuzzy Stochastic Comprehensive Evaluation

ZHAI Kewei¹, DU Chaowei², ZHENG Fengxi³,ZHENG Yuanxun⁴

(1. Rural Highway Administration Bureau of Luoyang, Luoyang 471000, China; 2. Highway Administration Department of Transportation of Henan Province, Zhengzhou 450012, China; 3. Highway Administration of Shangqiu, Shangqiu 476000, China; 4. School of Hydraulics and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: A comprehensive evaluation method of bearing capacity was proposed for highway T beam bridge based on fuzzy stochastic theory. Factor indexes of load bearing capability were produced by stochastic simulation according to on-site test data. Then the probability distribution of the bearing capacity partial check coefficients and the load bearing capacity were obtained by fuzzy comprehensive evaluation theory. Finally the load bearing capacity with certain guarantee rate was figured out. An example of reinforced concrete (RC) T type beam bridge was analyzed and the feasibility of the proposed method was demonstrated. The results provided reference for highway bridge bearing capacity evaluation and repair management.

Key words: beam bridge; load bearing capacity; fuzzy comprehensive evaluation; probability distribution; guarantee rate

(上接第 87 页)

[10] 岑少起,潘筱,秦东晨,等. ADAMS 在汽车操纵稳定性仿真中的应用研究[J]. 郑州大学学报(工学版), 2006,27(3):55-58.

[11] 王福天. 车辆系统动力学[M]. 北京:中国铁道出版社,1994.

[12] 中华人民共和国建设部. 地铁限界标准: CJJ96—2003[S]. 北京:中国标准出版社, 2003.

[13] 高明. 城市铁路线路主要技术标准研究[D]. 北京交通大学道路与铁道工程学院,2011.

Simulation Research and Analysis on the Adaptability of Suspended Monorail Transport Line

LIU Wenglong, XU Yanhai

(1. School of Transportation and Automotive Engineering, Xi Hua University , Chengdu 610039,China; 2. Sichuan Key Laboratory of Automotive Control and Safety , Chengdu 610039,China)

Abstract: Dynamics performance of suspension monorail vehicles was tested in virtual prototyping simulation platform to analyze the changing law of line adaptability under multiple operating conditions and the relationship between line adaptability and load conditions(empty and heavy). Test results showed that in linear conditions, the index of stability conformed to the regulations of “Railway vehicles-Specification for evaluation the dynamic performance and accreditation test” (GB/T 5599-1985); The maximum vibration acceleration conformed to the regulations of “the international standard of railway transportation” (UIC-513), which was promulgated by the international union of Railways. These results showed that the standard vehicle had good adaptability in linear conditions. In curve conditions, the maximum guiding force did not exceed the maximum load value and conformed to the safety operation standard, but the composition guiding forces of heavy vehicle was bigger than the safety operation standard, so the vehicle speed should be slow down.

Key words: suspended monorail; dynamics; comfortableness; stationarity; security