

钢筋混凝土桥面板疲劳寿命评估

王春生¹, 吴全友², 缪文辉¹

(1. 长安大学 公路大型结构安全教育部工程研究中心, 陕西 西安 710064;

2. 杭州湾跨海大桥管理局, 浙江 宁波 315032)

摘 要:为确保桥梁使用安全,对混凝土桥面板进行疲劳寿命评估十分迫切。基于疲劳损伤累积理论和混凝土桥面板车轮移动疲劳加载下试验数据,并引入模型相关系数,用来考虑桥面板实际寿命和试验寿命的差异,建立了混凝土桥面板疲劳寿命预测模型,对混凝土桥面板的疲劳寿命进行评估。分析比较了采用英国 BS5400、欧洲规范 Eurocode 和美国 AASHTO 规范中标准疲劳车评价混凝土桥面板疲劳寿命的差异性,以及车辆超载对桥面板使用寿命的影响。计算结果表明:疲劳标准车技术参数对混凝土桥面板的疲劳寿命影响较大,应研发适用于桥面板疲劳分析的车辆荷载模型;在没有实桥调查数据情况下,建议优先采用 BS5400 规定的车轮活载频谱值;当车辆超载 20% 以上时桥面板寿命下降显著,超载 40% 以上时桥面板寿命将低于 10 年,因此在桥梁运营中应严格禁止超载 20% 以上车辆的通行。

关键词:桥梁工程;混凝土桥面板;车轮荷载;疲劳寿命评估;标准疲劳车;超载

中图分类号:U443.31

文献标志码:A

Fatigue life estimation for reinforced concrete bridge deck

WANG Chun-sheng¹, WU Quan-you², MIAO Wen-hui¹

(1. Engineering Research Center for Large Highway Structure Safety of the Ministry of

Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Hangzhou Bay

Cross-sea Bridge Administration, Ningbo 315032, Zhejiang, China)

Abstract: In order to ensure the service safety, it is necessary to evaluate the fatigue life of concrete bridge decks. The fatigue life estimation and prediction models for concrete bridge decks were proposed based on the theory of cumulative fatigue damage, wheel loading test data and the correlation coefficient of actual bridge deck fatigue life and tested fatigue life. Based on the fatigue life estimation model of concrete bridge decks, the effects of the different standard fatigue vehicles in BS5400, Eurocode, AASHTO design codes and truck overload were evaluated. The results show that the technical parameters of the different standard fatigue vehicles have obvious effect on the fatigue life, so a special fatigue vehicle model for concrete bridge decks should be developed; wheel live load spectrum value of BS5400 is the preferred choice under no traffic detection data; the fatigue life of concrete bridge decks decreases greatly at truck overload of 20%, and

收稿日期:2012-05-10

基金项目:交通运输部西部交通建设科技项目(2011 318 519 1410);高等学校全国优秀博士学位论文资助项目(2007B49);

陕西省交通科技项目(07-04K);中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2012ZD008)

作者简介:王春生(1972-),男,黑龙江绥化人,教授,博士研究生导师,E-mail:wcs2000wcs@163.com。

the fatigue life is less than 10 years at truck overload of 40%. So the trucks with 20% overload must be strictly prohibited to pass the operation concrete bridges. 4 tabs, 4 figs, 17 refs.

Key words: bridge engineering; concrete bridge deck; truck wheel load; fatigue life estimation; standard fatigue vehicle; overload

0 引言

在结构设计中,设计人员往往重视主体结构,忽视局部构件的设计与计算。在现行公路混凝土桥梁设计规范中,目前尚无疲劳验算的规定^[1]。但随着中国公路交通量的快速增长,以及公路车辆荷载水平的显著提高,导致公路混凝土桥梁车辆活荷载应力水平相比恒载应力水平已明显增大,因此公路混凝土桥梁的疲劳问题不容回避,研究混凝土桥梁疲劳性能、给出抗疲劳设计规定十分必要。正在修编的《公路工程结构可靠性设计统一标准》已提出混凝土桥梁疲劳设计基本规定。混凝土桥梁在其使用期内最容易遭受疲劳荷载作用的是混凝土桥面板,桥面板中车辆活载应力远大于恒载应力,而且车辆荷载应力循环次数在设计使用期内会超过 1 亿次,但设计混凝土桥面板时仍没有采取抗疲劳措施,所以对混凝土桥面板进行疲劳验算与疲劳寿命评估显得更为迫切^[2-5]。准确识别出桥面板损伤的位置和程度,预测其疲劳寿命,确定维护措施,这对确保混凝土桥梁使用安全十分必要。已有大量的混凝土桥面板疲劳试验还不能很好解释桥面板的疲劳机理,很难从大量裂缝中识别出混凝土的疲劳裂缝,直接观察钢筋疲劳裂纹的形成和扩展也较困难。为此,本文将基于疲劳损伤累积理论和桥面板疲劳试验数据,建立车轮荷载下混凝土桥面板疲劳寿命的合理预测模型,对桥面板疲劳寿命与使用安全进行评估分析,为桥梁维护管理提供技术支撑。

1 混凝土桥面板疲劳试验与评估现状

1.1 混凝土桥面板疲劳失效特点

混凝土桥梁结构发生疲劳破坏(图 1),往往是多种因素的耦合作用,在很多情况下很难把它们单独分开。如纽约的 Throgs Neck 桥,1961 年建成通车,使用不到 10 年混凝土桥面板就出现了明显的裂缝,分析原因发现由于支撑桥面板的悬臂梁发生了反复挠曲变形,使混凝土桥面板中产生了二次疲劳拉应力,还有撒除冰盐导致钢筋锈蚀、桥面板的保护层厚度磨损、分布钢筋偏少等的影响。此外,桥面板构造处理也十分重要,特别在连接部位和接缝处,如

德国的某混凝土弯梁桥在正常检查时发现主梁有 4 处接缝处产生了 2 mm 宽的裂缝。再如瑞典的一些混凝土桥梁,由于在接缝处连接构件的混凝土浇筑质量很难保证,有些桥梁运行 3~10 年就出现了裂缝及混凝土剥离现象,导致氯化物进入混凝土内部,加速了钢筋的腐蚀,加之交通荷载的反复作用,最终导致桥面结构丧失了承载力^[6]。

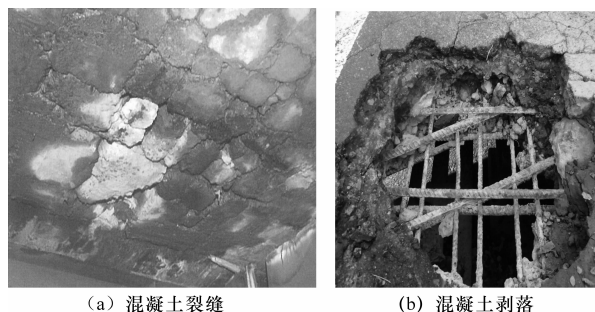


图 1 混凝土桥面板的损伤破坏

Fig. 1 Damage and failure of reinforced concrete bridge decks

车辆超载也是引起桥面结构疲劳破坏的重要原因,往往由于一次超载引起裂缝,而在反复荷载作用下,裂缝扩展,导致疲劳失效。瑞典北部的 Vasterbotten 桥,设计允许车辆荷载为 514 kN,而通过了 2 200 kN 的车辆荷载,加之抗剪腹筋按 20 世纪 60 年代以前的规范设计,用量偏低,导致梁中出现竖直和斜向裂缝,虽经修补,但裂缝又重新张开。瑞典的 Ashammar 铁路跨线桥的混凝土连续桥面板,也是由于运输木材的卡车超载,导致桥面板底面出现横向裂缝,混凝土保护层剥落,经修补后,损伤又重新出现;其主要原因是出现裂缝后,碳化作用增强,导致内部钢筋腐蚀,在反复荷载作用下,裂缝又重新发生。

1.2 混凝土桥面板疲劳试验现状

20 世纪 60~70 年代,随着欧美和日本高速公路桥梁的快速发展,研究人员开始关注混凝土桥面板的疲劳性能。1971 年 Batchelor 和 Hewitt 开始对混凝土桥面板进行疲劳试验,他们进行了 37 个恒定频率等幅荷载下的 1/8 比例 RC 桥面板模型疲劳试验,研究主要结论如下:①对于采用传统配筋的桥面板,2 000 000 次荷载循环的疲劳强度大约是静态极限强度的 50%;②对于上、下层配筋率均为 0.2%

的桥面板,对应2 000 000的疲劳强度约是静态极限强度的40%^[7]。该研究并没有给出桥面板S-N曲线。

1978年,Okada和他的助手采用恒定频率荷载和移动车轮荷载试验了7个桥面板模型^[8]。所有桥面板模型采用两层钢筋,上层配筋率为下层配筋率的一半。配筋率的定义是在垂直于交通流方向的横截面的钢筋面积占混凝土面积的比率。其中4个桥面板试件来自在日交通量20 000~50 000辆车的情况下服役的8~10年的退化桥面板,底层钢筋的横向配筋率为1.3%或1.1%。研究发现:弯曲裂缝首先在车轮作用下方的桥面板底面形成;弯曲裂缝形成后,在反复移动的荷载作用下,裂缝面相互摩擦导致弯曲与剪切刚度降低,若雨水进入疲劳裂缝会加速刚度的下降;移动车轮疲劳加载结束后桥面板顶面出现大量扭转裂缝。

1982年,Sonada和Horikawa首次研究了混凝土桥面板在循环脉冲荷载和移动荷载下疲劳性能的差异^[9]。在循环脉冲疲劳荷载下桥面板的裂缝形态为放射状,然而在移动疲劳荷载下的裂缝形态是栅格状。两位学者做了移动荷载和循环脉冲荷载下的1/3比例的桥面板模型试验。一半桥面板模型顶底层钢筋网的纵横向均采用1.320%的配筋率,其余模型采用的横向和纵向配筋率分别为1.320%和0.726%。疲劳试验结果表明:在移动荷载下,钢筋混凝土桥面板的弯曲和剪切疲劳抗力显著降低,尤其是纵横向配筋率不同的桥面板;车轮荷载通过1次相当于同荷载幅下80到600次脉冲荷载的循环作用。1988年Tanihira等人也得到同样的疲劳试验结果,其试验采用的是57个1/3比例的周边支撑于4个钢梁的组合梁桥面板^[10]。

1989~1993年,Perdikaris和Beim做了一系列静载、循环脉冲及移动车轮荷载下的桥面板模型试验^[11]。这些试验为简支在钢梁上的1/3和1/6比例的桥面板模型,梁间距和板厚之比为10。模型设计采用2种不同的钢筋类型,并与加拿大安大略省高速公路桥梁设计规范(OHBDC)及美国各州公路和运输工作者协会(AASHTO)设计规范规定一致。1/3比例的桥面板模拟了混凝土桥面板支撑在2根钢梁上的状态,支撑在4根钢梁上的1/6.6比例的桥面板模拟使用状态下的桥面板。试验主要结论有:①在静态荷载下桥面板的变形量随疲劳荷载循环次数 n 的增加而增加;循环脉冲荷载作用下桥面板疲劳变形的平均值约为静态极限变形的88%,在

移动荷载作用时仅为静态极限变形的37%,这说明在移动车轮荷载下的疲劳失效具有脆性;②对承受持续移动车轮荷载的桥面板,接近疲劳失效时双向板会转变为单向板,此外由于循环脉冲荷载的冲切使得双向板的受力状态也会发生改变;③通过相同车轮数时,靠近桥跨支点处的桥面板比远离支点的桥面板劣化更快。

1993~2001年,日本大阪大学的Matsui做了一系列关于RC桥面板疲劳的试验,试验采用了循环脉冲荷载和移动车轮荷载2种形式^[12]。Matsui的研究结果表明:在脉冲荷载下,钢筋的疲劳失效引起桥面板的失效;在移动车轮荷载试验中,在桥面板表面出现一些垂直于车轮运行方向的裂缝,实桥中混凝土桥面板的劣化状态与此类似,但在循环脉冲荷载疲劳试验中无此类裂缝。

1.3 混凝土桥面板疲劳评估现状

瑞士洛桑联邦理工学院Schlafli和Bruhwiler研究了既有混凝土桥梁的疲劳评估的基本方法,对瑞士既有铁路和公路混凝土桥桥面板进行疲劳安全检验。按照 $n_{fat} = R_{fat} / S_{fat}$,其中 R_{fat} 和 S_{fat} 分别为疲劳抗力和疲劳效应,当 $n_{fat} < 1$ 时为发生疲劳失效的关键部位。对按照现行规范要求设计的桥梁进行验算,发现最容易产生疲劳破坏的构件是混凝土桥面板,而且桥面板易发生脆性剪切疲劳失效,其疲劳寿命应合理评估。

长安大学王春生提出了基于钢筋S-N曲线和断裂力学模型的既有混凝土桥梁剩余寿命评估方法^[4-5]。采用七狼窝黄河大桥混凝土桥面板动应变监控数据和交通量预测信息,估算桥面板的疲劳寿命为418年;考虑混凝土开裂引起钢筋锈蚀情况,推算的腐蚀疲劳寿命为93年。

2 混凝土桥面板疲劳寿命评估

2.1 疲劳寿命预测模型

根据混凝土桥面板疲劳损伤累积与损伤临界值 D_c 成近似线性关系,混凝土桥面板在车轮荷载下的疲劳损伤可以估算为

$$D_D = \sum n_i / N_i \quad (1)$$

式中: D_D 为1 d的疲劳损伤量; n_i 为1 d内在第 i 个荷载值 F_i 下的循环数; N_i 为在第 i 个荷载值 F_i 下失效时的循环数。

这个模型可以用于各种轮载情况。

F_i 和 N_i 的关系可从桥面板的S-N曲线

$$\lg(F_i / F_u) = b_1 \lg(N) + b_0 \quad (2)$$

推演得到

$$N_i = 10^{-b_0/b_1} (F_i/F_u)^{1/b_1} \quad (3)$$

式中: F_u 为混凝土桥面板的极限冲剪强度; b_0 、 b_1 为由疲劳试验结果确定的模型参数。

将 $S-N$ 关系式代入每日损伤积累式(1)可得

$$D_D = \sum 10^{b_0/b_1} (F_i/F_u)^{-1/b_1} \quad (4)$$

已知荷载信息(F_i 和 n_i)时,这个关系式可用来确定损伤积累量。如果给定某一时间段的交通量 n_i ,这个关系式也可用来确定既有桥面板的剩余寿命。

采用每天卡车数目 T_a 为计数标准,因此,每天的损伤积累量可改写为

$$D_D = 10^{b_0/b_1} T_a C_d \sum f_i (F_i/F_u)^{-1/b_1} \quad (5)$$

$$f_i = \frac{n_i}{T_a C_d} \quad (6)$$

式中: f_i 为第 i 个车轮荷载 F_i 的频率; C_d 为每辆卡车的平均车轴数; $T_a C_d$ 为 1 d 内荷载循环的总数。

桥面板一年内荷载循环总数可按下式计算

$$V = 365 T_a C_d \quad (7)$$

一年内的疲劳损伤积累量 D_Y 可表述为

$$D_Y = 365 \times 10^{b_0/b_1} T_a C_d \sum f_i (F_i/F_u)^{-1/b_1} \quad (8)$$

对于实桥应用,还应考虑移动车载的冲击效应,一般用冲击系数 I 来表征。计入冲击效应后,一年的疲劳损伤变为

$$D_Y = 365 \times 10^{b_0/b_1} T_a C_d \sum f_i (IF_i/F_u)^{-1/b_1} \quad (9)$$

因此,桥面板的疲劳寿命为

$$Y_d = \frac{D_c}{D_Y} \quad (10)$$

式中: D_c 为损伤临界值;疲劳寿命 Y_d 的单位为年。

事实上,绝大多数桥面板在疲劳失效前甚至更早就已经被修复或更换,另一方面,环境因素(如除冰盐导致钢筋锈蚀)也会影响桥面板的疲劳寿命。因此需要一个模型相关系数 K_P ,用来考虑桥面板实际寿命与桥面板试验寿命的不同(试验寿命以承载力完全丧失为标志)。Feng 针对 11 个野外桥面板观测得到 K_P 的平均值为 5.65,相关系数为 1.57。考虑后的疲劳寿命预测为

$$Y_d = \frac{D_c 10^{-(b_0/b_1) - K_P}}{365 T_a C_d \sum f_i (IF_i/F_u)^{-1/b_1}} \quad (11)$$

式(11)中的极限冲剪强度 F_u ,采用《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中配置抗冲切钢筋的普通钢筋混凝土板的承载力计算公式进行计算。 F_u 的计算式为

$$\gamma_0 F_u = 0.35 \beta_h f_{td} U_m h_0 + 0.75 f_{sd} A_{sdu} \quad (12)$$

式中: γ_0 为桥面板系数; β_h 为截面高度尺寸效应系数,当 $h \leq 300$ mm 时 $\beta_h = 1.0$,当 $h \geq 800$ mm 时取 $\beta_h = 0.85$,其间按直线插值计算, h 为桥面板厚度; f_{td} 为桥面板混凝土的抗拉强度设计值(Pa); U_m 为距车轮荷载作用面 $h_0/2$ 处破坏锥体截面面积的周长, h_0 为桥面板的有效厚度; f_{sd} 是箍筋抗拉强度设计值; A_{sdu} 为与冲切破坏锥体斜截面相交的全部箍筋截面面积。

2.2 混凝土桥面板 $S-N$ 曲线

Perdikaris 做了一系列在静载、循环脉冲和移动车轮荷载下的桥面板模型试验^[13]。为建立桥面板疲劳损伤预测的 $S-N$ 曲线,采用他们所做的移动荷载下试验数据,表 1 和下页图 2 给出了 Perdikaris 的试验研究数据,表中 N 为循环次数。

表 1 移动荷载下混凝土桥面板疲劳试验数据

Tab. 1 Concrete deck fatigue test data under moving load

$\lg(N)$	F_i/F_u	$\lg(N)$	F_i/F_u	$\lg(N)$	F_i/F_u	$\lg(N)$	F_i/F_u
0.90	0.58	3.10	0.49	3.89	0.40	4.76	0.35
1.00	0.67	3.14	0.42	3.93	0.37	4.79	0.39
1.30	0.53	3.27	0.45	3.97	0.48	4.98	0.36
1.85	0.53	3.41	0.50	3.98	0.39	5.06	0.31
2.03	0.50	3.48	0.37	3.99	0.37	5.09	0.31
2.24	0.48	3.53	0.46	4.01	0.46	5.15	0.28
2.48	0.55	3.58	0.38	4.12	0.37	5.18	0.37
2.50	0.47	3.59	0.40	4.16	0.36	5.22	0.41
2.55	0.49	3.62	0.42	4.20	0.48	5.23	0.37
2.59	0.48	3.63	0.38	4.26	0.48	5.25	0.28
2.64	0.55	3.68	0.37	4.27	0.40	5.32	0.34
2.65	0.49	3.70	0.40	4.37	0.42	5.58	0.38
2.84	0.49	3.76	0.37	4.38	0.36	5.59	0.31
2.95	0.45	3.79	0.34	4.62	0.35	5.64	0.34
3.09	0.42	3.83	0.39	4.68	0.48		

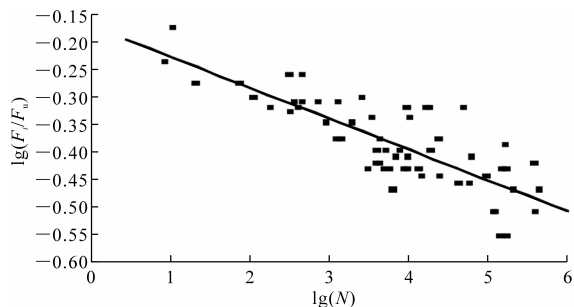


图 2 移动荷载下混凝土桥面板的疲劳曲线

Fig. 2 Concrete deck fatigue curve under moving load

采用最小二乘法,对这些数据进行回归分析得到混凝土桥面板的中值疲劳 $S-N$ 曲线

$$\lg(F_i/F_u) = -0.0557 \lg(N) - 0.1737 \quad (13)$$

3 桥面板疲劳寿命分析

3.1 疲劳车辆模型的影响

为了说明这个问题,采用一典型混凝土桥面板作为分析对象,桥面板厚度 h 为 0.175 m,混凝土的抗拉强度设计值 $f_{td}=1.83\times10^6$ Pa,钢筋种类采用 R235,直径 $d=12$ mm,间距为 0.1 m,采用上下两层布置,轮胎印记面是 0.2×0.6 m^[14]。则桥面板的有效厚度为

$$h_0=h-c-\omega=0.175-0.03-0.002=0.143(\text{m})$$

(14)

式中: c 为底面保护层厚度; ω 为板厚的磨损值。

取桥面板重要系数 $\gamma_0=1$,则钢筋混凝土桥面板在车轮荷载作用下的抗冲切承载力为

$$F_u=0.35\beta_hf_{td}U_mh_0+0.75f_{sd}A_{sdu}=$$

$$0.35\times1\times1.83\times10^6\times(2\times(0.6+0.2+2\times0.143))\times0.143+0.75\times195\times10^6\times40\times\pi\times6^2\times10^{-6}=860(\text{kN})$$

按照 AASHTO 规定的标准疲劳车进行加载(图 3)^[15]。研究表明,日平均交通量 ADT,包括所有汽车,即小轿车、客车、卡车等,在正常条件下,日均交通量 ADT 实际上限在 20 000 辆左右。在估计日均卡车交通量 ADTT 时,应考虑交通的限定值。ADTT 可以用 ADT 乘以货车在交通量占的比率来确定。本文取每日通过的货车量为 1 000 辆,即按照疲劳损伤等效原则将日平均交通量转化为标准疲劳车的数目为 1 000 辆。

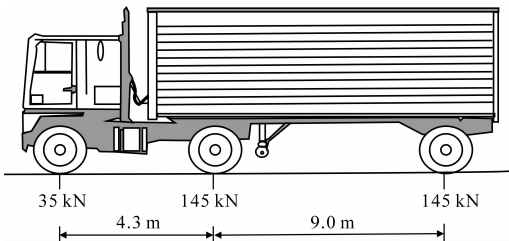


图 3 AASHTO 的设计疲劳货车
Fig.3 Fatigue vehicle of AASHTO

由式(11)得

$$Y_d=\frac{0.1\times10^{-3.118-5.65}}{365\times2\,000((1.0\times1.3\times72.5)/860)^{1/0.055\,7}}=40.5(\text{年})$$

构件影响线长度在 1.5 m 左右时,每一个轴载将在构件内产生一个应力循环。而根据地秤实测的资料,轴重的变异系数比车重的变异系数要大,为此英国 BS5400 第 10 篇还另给出了以轴重形式表达的活载频谱值,专供影响线较短的构件(如桥面板)

使用,见表 2^[16]。

表 2 英国公路桥的轴重频谱值

Tab.2 Axle load frequency spectrum of British highway bridges

轴重/kN	车数为 10 ⁸ 时通过的轴数/个	轴重/kN	车数为 10 ⁸ 时通过的轴数/个
264	240	77	59 350
231	120	71	180 000
176	160	66	599 30
165	560	61	165 000
154	100	55	290 040
143	780	49	150 000
121	80	44	120 000
110	90 040	39	320 000
99	240 280	33	380 000
93	320 000	22	60 000
88	59 320	17	360 000
总计:2 856 000			

按照每天车辆总和为 20 000,算出经过桥面板的车轮总数,然后进行加载,得到桥面板在车轮荷载下的疲劳损伤量,见表 3。

表 3 车轮荷载下桥面板损伤量

Tab.3 Deck damage under wheel loads

轮重/kN	年损伤量	轮重/kN	年损伤量
132.0	4.75×10^{-12}	38.5	2.90×10^{-19}
115.5	2.16×10^{-13}	35.5	2.05×10^{-19}
88.0	2.18×10^{-15}	33.0	1.84×10^{-20}
82.5	2.40×10^{-15}	30.5	1.23×10^{-20}
77.0	1.24×10^{-16}	27.5	3.37×10^{-21}
71.5	2.56×10^{-16}	24.5	2.19×10^{-22}
60.5	1.31×10^{-18}	22.0	2.54×10^{-23}
55.0	2.66×10^{-16}	19.5	7.77×10^{-24}
49.5	1.07×10^{-16}	16.5	4.60×10^{-25}
46.5	4.64×10^{-17}	11.0	5.01×10^{-29}
44.0	3.19×10^{-18}	8.5	2.93×10^{-30}

将表 3 数据带入式(11),得到混凝土桥面板疲劳寿命为 34.3 年。

欧洲规范 Eurocode 给出了 5 种疲劳荷载模型,其中模型 1、2 主要适用于钢桥,认为在等幅应力作用下疲劳寿命是无限的,不适用于其他材料桥梁^[17]。模型 3、4、5 适用于采用疲劳强度曲线进行疲劳寿命分析,不需要限定疲劳寿命是无限的。模型 3 采用单一疲劳车,4 个轴重都是 120 kN,与疲劳模型 4 相比没有考虑不同交通量、车轴数、车轴间距及轴重的变化,所以模型 3 适合对桥梁的主要受力构件进行评估而不适用于桥面板。模型 5 是在实测数据基础上进行寿命评估的。本文在没有实测数据情况下,采用疲劳荷载模型 4 得到每天通过 1 000 辆疲劳车时桥面板的疲劳损伤情况,结果见表 4。

表 4 车轮荷载下桥面板损伤量
Tab. 4 Deck damage under wheel loads

轮重/kN	日车轮数/个	年损伤量
35	550	6.63×10^{-14}
40	1 000	1.93×10^{-12}
45	1 950	1.69×10^{-13}
60	250	6.08×10^{-17}
65	200	2.97×10^{-14}
70	100	4.86×10^{-18}
75	100	4.86×10^{-18}

按欧洲规范疲劳荷载模型 4, 计算得到混凝土桥面板疲劳寿命为 77.6 年。

由以上计算分析可知, 不同的疲劳标准车对桥面板的疲劳寿命影响较大, 主要是因为现有的标准疲劳车是按照主梁的疲劳等效损伤为基础制定的, 针对桥面板等局部受力构件的标准疲劳荷载模型研究较少, 在没有实地调查数据的情况下, 建议优先采用英国 BS5400 规定的车轮活载频谱值。

3.2 超载对桥面板疲劳的影响

在中国, 许多建于 20 世纪 70 年代以前的桥梁目前仍在正常运营, 这意味着依据旧规范设计的桥梁承担着新规范规定的更大的设计车辆荷载, 而且车辆超载现象在中国既有桥梁中客观存在。超载运输对公路桥梁造成的损害十分严重, 很多桥梁垮塌事故与车辆超载密切相关。英国和美国学者的道路试验研究结果表明, 车辆轴重对公路路面的破坏关系是“四次方法则”: 汽车轴重增加一倍, 路面受损达 16 倍。每天通过 1 000 辆超限货车, 相当于每天多通过 1.6 万辆车。

本文在美国 AASHTO 规定的标准疲劳货车基础上, 假定超载的货车占有所有通行货车的 1%, 分析了货车超载率对桥面板疲劳寿命的影响, 如图 4 所示。

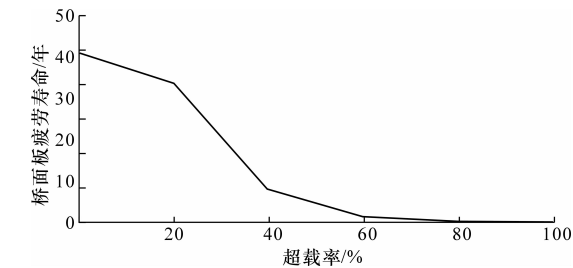


图 4 货车超载率对桥面板寿命的影响

Fig. 4 Effect of truck overload ratio on deck fatigue life

由图 4 可知, 超载对混凝土桥面板的疲劳寿命影响较大, 当超载 40% 以上时, 桥面板的寿命将低于

10 年; 超载 20%~40% 的区段, 桥面板的寿命下降最快, 降幅达到了正常使用寿命的 40%。所以在桥梁运营中应严禁超载, 尤其要严格禁止超载 20% 以上车辆的通行。

4 结 语

(1) 分析钢筋混凝土桥面板在使用过程中更容易受到冲剪破坏的现象, 提出了混凝土桥面板的疲劳寿命预测模型, 该模型既能反应实桥技术状况, 又考虑到疲劳寿命预测中的不确定因素。

(2) 不同的疲劳标准车对桥面板的疲劳寿命影响较大, 主要是因为现有的标准疲劳车是按照主梁的疲劳等效损伤为基础制定的。目前, 针对桥面板等局部受力构件的标准疲劳荷载研究较少, 在没有实桥调查数据情况下, 建议优先采用英国 BS5400 规定的车轮活载频谱值。

(3) 车辆超载对混凝土桥面板的疲劳寿命影响较大, 当超载 40% 以上时, 桥面板的寿命将低于 10 年。在桥梁运营中应严禁超载, 尤其要严格禁止超载 20% 以上车辆的通行。

参考文献:

References:

[1] JTGD 62—2004, 公路钢筋混凝土与预应力混凝土桥涵设计规范[S].
JTGD 62—2004, Code for design of highway reinforced concrete and presterssed concrete bridges and culverts[S]. (in Chinese)

[2] Schlafl M, Bruhwiler E. Fatigue of existing reinforced concrete bridge deck slabs[J]. Engineering Structures, 1998, 20(11):991-998.

[3] Feng J H. Reinforced concrete bridge deck fatigue under truck wheel load[D]. Detroit: Wayne State University, 2003.

[4] Wang C S, Dong X H, Miao W H, Li G. Fatigue safety evaluation of existing reinforced concrete bridges[J]. Key Engineering Materials, 2009(413-414):749-756.

[5] 王春生, 周江, 吴全友, 等. 既有混凝土桥梁疲劳寿命与使用安全评估[J]. 中国公路学报, 2012, 25(6): 101-107.
WANG Chun-sheng, ZHOU Jiang, WU Quan-you, et al. Fatigue life and service safety assessment for existing concrete bridges[J]. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25(6):101-107. (in Chinese)