DOI:10.19815/j.jace.2010.03.017

文章编号:1673-2049(2010)03-0102-07

公路桥梁汽车荷载标准值对比分析

周勇军,梁玉照,贺拴海
(长安大学 旧桥检测与加固技术交通行业重点实验室,陕西 西安 710064)

摘要:为了对中国现行公路桥梁汽车荷载标准值及其效应进行研究,在分析英国、美国、日本、加拿大、欧洲公路桥梁规范中有关汽车荷载规定的基础上,选取中国公路桥梁常用的标准跨径板梁、T梁、组合箱梁、整体式箱梁为样本,将各国规范中的汽车荷载在这些样本桥梁上进行加载,得到了不同规范下的简支梁跨中弯矩、支点剪力效应值,并同中国规范作对比,从而对中国公路桥梁的汽车荷载标准值在世界上所处的位置进行客观的评价。研究结果表明:中国现行规范的公路桥梁汽车荷载效应值在以上各规范中处于中等水平,其方法及结论可供新规范修订时参考。

关键词:桥梁工程;标准梁;车辆荷载标准值;设计规范
中图分类号:U441.2 文献标志码:A

Comparative Analysis of Characteristic Value of Vehicle Load for Highway Bridges

ZHOU Yong-jun, LIANG Yu-zhao, HE Shuan-hai
(Key Laboratory of Bridge Detection & Reinforcement Technology, Ministry of Communications, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to study the current characteristic value of vehicle load and its effects for highway bridges in China, some details were illustrated in the highway bridge codes of Britain, USA, Japan, Canada, Europe. Plate girder, T-girder, composite box girder, integral-type box girder with standard span which were commonly used in China were taken as sample bridges, and the vehicle loads from different countries' codes were applied on these sample bridges to obtain the bending moment at mid-span and shearing force in the end of the simply-supported beam, then these effects were compared with each other so as to locate the position of vehicle load effect in China. The study results show that the effect of highway bridge caused by the vehicle load in current Chinese code has a medium level among those codes in above. The methods and conclusions can provide reference to the revision of code.

Key words: bridge engineering; standard girder; characteristic value of vehicle load; design code

0 引 言

公路桥梁设计荷载的合理性直接关系到桥梁的安全性、经济性与耐久性。桥梁设计汽车荷载应与公路交通流特性、交通量大小、运输状况以及今后的发展趋势相适应。

20 世纪 80 年代末至 90 年代初,在进行基于概率极限状态设计规范的基础研究时,交通部曾委托公路规划设计院组织力量进行了汽车荷载特性研究[1-2]。根据当时中国交通量调查观测资料,在

收稿日期:2010-05-07
基金项目:国家西部交通建设科技项目(2008 318 494 04);中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2009JC004)
作者简介:周勇军(1978-),男,湖北孝昌人,副教授,工学博士,E-mail:zyj@chd.edu.cn。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

207、328、305 和 101 四条国道干线上各设置了 1 个测点, 进行了动态车辆称重, 通过测量得到了车重、轴重及轮间距等荷载数据, 作为现行桥梁设计规范[3] 的重要依据。经整理统计分析求得设计基准期内最大值的概率分布和统计参数, 在考虑与原规范衔接的基础上, 将现行规范的汽车荷载标准及其取值模拟为均布荷载加集中荷载的模式。现行规范的公路Ⅰ级与原规范汽车-超 20 级基本相当, 公路Ⅱ级与汽车-20 级基本相当。

自 1988 年开始进行公路工程可靠度研究起, 经历了 20 年的发展后, 车辆和交通量的情况已经有了很大的变化, 车辆的载重能力、车型比例、交通流特性等这些对汽车荷载模式有重要影响的特性也有了显著变化[4-6]。为使中国公路桥梁设计更能适应目前交通形势的发展, 了解中国 2004 年颁布的规范和国际上典型桥梁规范中的设计荷载标准的差异, 有必要对英、美、日等发达国家的桥梁设计规范进行分析和研究。

此前, 已有学者对不同国家的公路桥梁设计标准做过对比和分析, 文献[7] 中选择中国、美国、英国、加拿大等国的公路桥梁标准车辆荷载, 比较了虚拟大跨径简支梁结构上的车辆荷载效应; 文献[8] 中结合皇岗-落马洲第二公路桥的设计, 对深圳和香港两地桥梁主要设计标准做了系统的比较; 文献[9] 中在分析中国、美国、英国、日本、加拿大和澳大利亚等国家桥梁规范中的汽车荷载的基础上, 将各国规范中的汽车荷载在不同桥跨、车道上所产生的各种响应做了计算分析。以上的研究多是对不同国家规范的陈述和总结, 或是对个别典型桥梁进行试算, 其样本数量较少, 或其样本跨径缺乏连续性, 或其荷载效应中包含其他信息, 并未对车辆荷载标准值效应单独进行分析。为此, 本文中选取中国常用桥梁结构形式的几种标准跨径进行分析, 探求不同国家桥梁规范的汽车荷载标准值差异, 正确评价中国现行规范中汽车荷载标准值在世界上所处的位置, 从而对中国今后的汽车荷载标准值的研究工作提供参考和借鉴。

1　公路桥梁汽车荷载简介

各国公路桥梁设计汽车荷载模式各不相同, 大致可以分为 2 种类型: 一种是由单个车辆荷载组成; 一种是由均布荷载及集中荷载组成。

1.1　英国规范

英国 BS 5400-2 规范[10] 中标准的公路桥梁汽车荷载包含 HA 荷载和 HB 荷载, HA 为英国正常公路交通荷载, HB 为特种车辆荷载。HA 荷载是由均布荷载加集中荷载组成。当加载长度不大于30 m 时, 沿一理想车道的均布荷载 $W=30\ \mathrm{kN}\cdot\mathrm{m}^{-1}$; 当加载长度大于 30 m 并小于 380 m 时, 均布荷载 $W=151(1/L')^{0.475}$; 当加载长度超过 380 m 时, 其均布荷载的取值为每车道 $9\ \mathrm{kN}\cdot\mathrm{m}^{-1}$, 其中 L' 为加载长度, 均布荷载曲线如图 1 所示。每一理想车道的集中荷载以 120 kN 计。

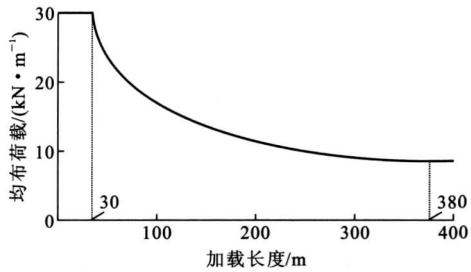

图 1　英国 HA 荷载的均布荷载曲线

Fig. 1　Uniformly Distributed Load Curve of HA Load of Britain

1.2　美国规范

美国桥梁设计规范[11] 中将常规汽车荷载(HL93)规定为以下两者之和: ①线均布荷载 q, 其值为 $9.3\ \mathrm{kN}\cdot\mathrm{m}^{-1}$; ②一设计货车或一设计双轴, 设计货车大致同旧规范的 HS20 半挂车相当, 设计双轴则包含两轴, 每个轴重为 110 kN, 两轴相距 1.2 m。设计货车和设计双轴的横向轮距均为 1.8 m, 具体见图 2。

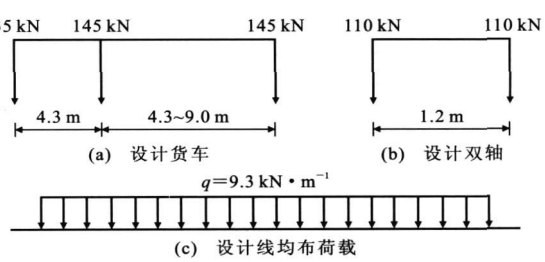

图 2　美国桥梁设计规范的汽车荷载

Fig. 2　Vehicle Load of American Bridge Design Code

1.3　日本规范

日本道路桥梁设计规范规定, 汽车荷载可简化为 L 荷载, 由 p_1、p_2 两种均布荷载组成, 加载模式如图 3 所示, 其中, D 为荷载长度。p_1 每桥一组, 为了使 L 荷载在构件内产生最不利内力, 要在桥的宽度 5.5 m 范围内布置均布荷载 p_1 和 p_2(主要承重荷载), 剩余的部分各取 p_1、p_2 的 1/2(附加承重荷载)

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

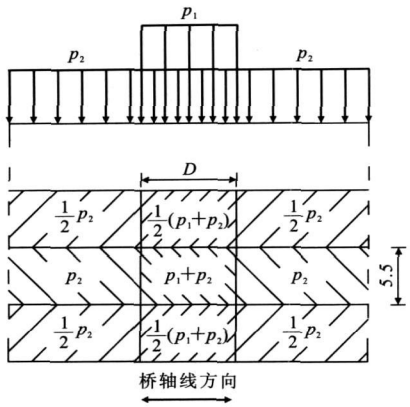

图 3 日本 L 荷载加载模式(单位: m)

Fig. 3 Loading Patterns of L Load of Japan (Unit: m)

布置。

1.4 加拿大规范

加拿大的公路桥梁设计规范 CAN/CSA-S6-06[12] 规定,汽车荷载由 CL-W 货车和 CL-W 车道荷载组成。CL-W 货车横向布置在车道中间,宽度为 3 m,CL-W 车道荷载模型采用均布荷载加 1 辆货车来计算桥梁荷载效应,其平面布置如图 4 所示,其中 W' 为 CL-W 载重车的总质量。

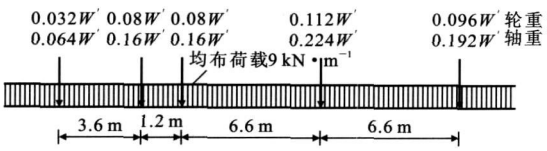

图 4 加拿大 CL-W 汽车荷载

Fig. 4 CL-W Vehicle Load of Canada

1.5 欧洲规范

欧洲规范[13] 规定,荷载模型 1(能够代表大部分货车和轿车交通的荷载效应)应用于整体和局部验算,如图 5 所示,模型由集中荷载 $\alpha_{Qi}Q_{ik}$ 和面均布荷载 $\alpha_{qi}q_{ik}$ 组成,其中,Q_{ik}、q_{ik} 分别为不同车道上轴荷载和均布荷载,取值见表 1;α_{Qi}、α_{qi} 为调整系数,应当根据不同等级线路上的交通状况确定,在没有特殊说明的情况下,这些系数应当取 1。

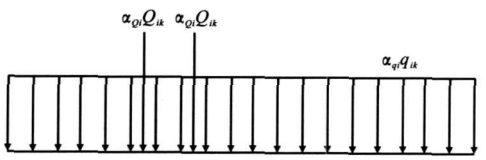

图 5 欧洲规范荷载模型 1

Fig. 5 Load Model 1 of European Code

1.6 中国规范

中国 2004 年发布的《公路桥涵通用设计规范》(JTG D60—2004)规定,汽车荷载由车道荷载和车辆荷载组成。车道荷载由均布荷载和集中荷载组成。桥梁结构的整体计算采用车道荷载,桥梁结构的局部加载、涵洞、桥台和挡土墙土压力等的计算采用车辆荷载。计算时车辆荷载与车道荷载的作用不得叠加。

表 1 荷载模型 1 的荷载标准值

Tab. 1 Characteristic Load Values of Load Model 1

车道位置	Q_{ik}/ kN	q_{ik}/ kPa
车道 1	300	9.0
车道 2	200	2.5
车道 3	100	2.5
其他	0	2.5
保留区	0	2.5

2 桥梁样本的选择

本次研究以中国最常用的板梁、T 梁、组合箱梁及整体式箱梁截面作为样本桥梁的截面形式,桥梁纵向标准跨径分别为 6、8、10、13、16、20、25、30、35、40、50 m,横向选取 26 m 标准路基宽度,其半幅桥梁宽 12.75 m,具体结构形式如表 2 所示。

表 2 桥梁样本

Tab. 2 Samples of Bridge

结构形式	跨径/ m
板梁	6、8、10、13、16、20
T 梁	20、25、30、35、40
组合箱梁	20、25、30、35、40
整体式箱梁	20、30、40、50

3 基本理论

3.1 计算假定

计算时做如下规定:①大部分桥梁横向由多片纵梁组成,本次效应以单梁(或整体式梁)为研究对象;②对相同横截面形式的桥梁,所有国家的横向分布系数计算方法相同;③不考虑汽车冲击效应;④由于大部分国家将 2 车道的车道横向折减系数规定为 1.0,即不考虑车道折减,故本次样本桥梁选择 2 车道进行加载,其中欧洲规范取车道 1 和车道 2 的效应值;⑤车道横向布置按各自规范规定执行。中国、美国、加拿大规范采用 1.8 m—1.3 m—1.8 m 的方式布载,日本规范采用 1.75 m—1.3 m—1.75 m 的方式布载,英国规范采用 1 m—1 m—1 m 的方式布载,欧洲规范则采用 2 m—1 m—2 m 的方式布载。各规范所规定的车轮距边缘护栏距离大致相同,中国、日本、欧洲规范规定为 0.5 m,美国、加拿大规范规定为 0.6 m,对于英国规范规定的四轮货车,采用

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 m 进行计算。

上述简化后的结果最大限度地符合各规范的实际规定, 在此基础上可以比较各国汽车荷载标准值效应的不同。

3.2　横向分布系数的计算

采用桥梁专用软件对所选的样本桥梁进行分析, 求解弯矩横向分布影响线。对于板梁, 使用铰接梁法; 对于 T 梁和组合箱梁, 使用 刚接梁法。对于剪力横向分布影响线, 主梁支点处采用杠杆原理计算, $L/4$(L 为跨径)至另一支点采用铰接梁(板梁)或刚接梁(T 梁及组合箱梁)法。

4　荷载效应的计算与比较

以横向最不利的单梁作为跨中弯矩和支点剪力的研究对象, 将汽车荷载按照各规范的要求以最不利方式作用在样本桥梁上, 得到各规范在不同样本桥梁上的荷载效应值。

4.1　弯矩效应

4.1.1　板　梁

计算出的板梁最不利弯矩横向分布系数如表 3 所示。对各规范加载于不同跨径的板梁所得到的弯矩效应值进行趋势分析, 结果如图 6 所示。

表 3　板梁弯矩横向分布系数

Tab. 3　Transverse Moment Distribution Coefficients of Plate Girder

各国规范	不同跨径(m)下的板梁弯矩横向分布系数					
	6	8	10	13	16	20
英国	0.378 0	0.366 2	0.346 4	0.353 8	0.345 0	0.322 4
美国	0.289 4	0.294 6	0.291 6	0.312 8	0.310 6	0.296 4
日本	0.322 0	0.321 0	0.311 8	0.327 4	0.323 0	0.305 6
加拿大	0.289 4	0.294 6	0.291 6	0.312 8	0.310 6	0.296 4
中国	0.305 8	0.307 8	0.301 8	0.320 0	0.316 8	0.301 0
欧洲	0.297 6	0.301 2	0.296 7	0.316 4	0.313 7	0.298 7

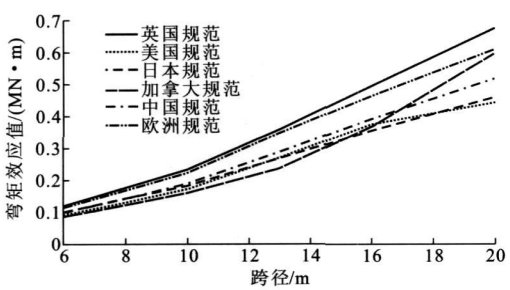

图 6　板梁弯矩效应值比较

Fig. 6　Comparisons of Moments of Plate Girder

从图 6 可以看出, 各国桥梁汽车荷载在空心板上产生的弯矩效应值差异较明显。由于英国和欧洲规范中荷载标准值中包含了冲击系数影响, 所以产生的弯矩最大, 其余国家车辆产生的弯矩较小。就上述板梁样本来说, 英国规范的弯矩效应值比中国规范大 20%～30%, 且随着跨径的增大, 英国和中国规范的差值亦在增大, 这与英国规范所规定的均布荷载值远远大于中国的情况相吻合。同欧洲规范相比, 中国规范的弯矩效应值小 10%～20%, 且中国规范同欧洲规范的差值随跨径的增大也在增大。同美国规范相比, 中国规范的弯矩效应值大 10%～15%, 且中国规范同美国规范的差值随跨径的增大也在增大。从图 6 还可以看出, 加拿大规范在 16、20 m 跨径时的弯矩效应存在突变现象, 这主要是因为加拿大规范所规定的货车长 18 m, 当跨径较小时, 货车无法完全加载, 导致效应过小, 随着跨径的增大, 加拿大规范的弯矩效应会显著增大。

4.1.2　T　梁

计算出的 T 梁最不利弯矩横向分布系数如表 4 所示。对各规范加载于不同跨径的 T 梁所得到的弯矩效应值进行趋势分析, 结果如图 7 所示。

表 4　T 梁弯矩横向分布系数

Tab. 4　Transverse Moment Distribution Coefficients of T-girder

各国规范	不同跨径(m)下的 T 梁弯矩横向分布系数				
	20	25	30	35	40
英国	0.611 4	0.931 6	0.942 4	0.918 6	0.902 2
美国	0.548 6	0.763 8	0.757 2	0.768 4	0.771 0
日本	0.571 2	0.824 8	0.803 6	0.823 0	0.818 8
加拿大	0.548 6	0.763 8	0.757 2	0.768 4	0.771 0
中国	0.559 8	0.794 2	0.790 8	0.795 6	0.795 0
欧洲	0.554 0	0.779 0	0.774 0	0.782 0	0.783 0

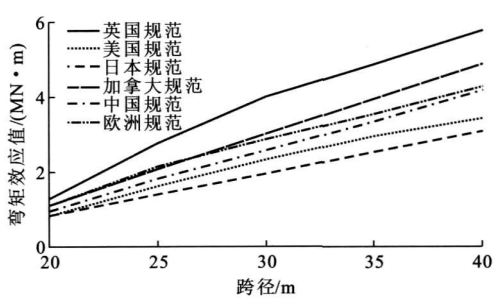

图 7　T 梁弯矩效应值比较

Fig. 7　Comparisons of Moments of T-girder

从图 7 可以看出, 各国桥梁汽车荷载在 T 梁上产生的弯矩效应值差异较明显。英国和加拿大规范的弯矩效应值较大, 其余规范的弯矩效应值较小。就上述 T 梁样本来说, 英国规范的弯矩效应值比中国规范大 30%～50%, 且随着跨径的增大, 英国和

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

中国规范的弯矩效应差值较稳定。同加拿大规范相比，中国规范的弯矩效应值小 15%～20%，两国规范的弯矩效应差值比较稳定。日本规范在各 T 梁结构上产生的弯矩效应值最小，与中国规范相比，日本规范的弯矩效应值小 20%～30%，且随着跨径的增大，弯矩效应的差值基本保持不变。

4.1.3 组合箱梁

计算出的最不利组合箱梁弯矩横向分布系数如表 5 所示。对各国规范加载于不同跨径的组合箱梁所得到的弯矩效应值进行趋势分析，结果如图 8 所示。

表 5 组合箱梁弯矩横向分布系数

Tab. 5 Transverse Moment Distribution Coefficients of Composite Box Girder

各国规范	不同跨径(m)下的组合箱梁弯矩横向分布系数				
	20	25	30	35	40
英国	0.764 0	0.680 2	0.678 6	0.619 4	0.618 0
美国	0.724 8	0.650 0	0.654 6	0.599 4	0.601 8
日本	0.740 2	0.661 0	0.664 2	0.606 6	0.608 2
加拿大	0.724 8	0.650 0	0.654 6	0.599 4	0.601 8
中国	0.733 4	0.655 4	0.660 0	0.603 0	0.605 4
欧洲	0.729 1	0.652 8	0.657 3	0.601 2	0.603 6

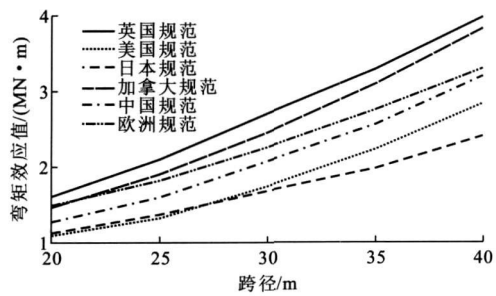

图 8 组合箱梁弯矩效应值比较

Fig. 8 Comparisons of Moments of Composite Box Girder

从图 8 可以看出，各规范桥梁汽车荷载在组合箱梁上产生的弯矩效应值趋势近似相同，英国和加拿大规范的弯矩值较大，其余规范的弯矩值较小。就上述组合箱梁样本来说，英国规范的弯矩效应值比中国规范大 20%～30%，且随着跨径的增大，英国和中国规范的弯矩效应差值较稳定。同加拿大规范相比，中国规范的弯矩效应值小 10%～20%，两国规范的弯矩效应差值随跨径的增加比较稳定。日本规范在各组合箱梁结构上产生的弯矩效应值最小，与中国规范相比，日本规范产生的弯矩效应值小 5%～20%，且随着跨径的增大，两者弯矩效应的差值基本保持不变。

4.1.4 整体式箱梁

对各规范加载于不同跨径的整体式箱梁所得到的弯矩效应值进行趋势分析，结果如图 9 所示。

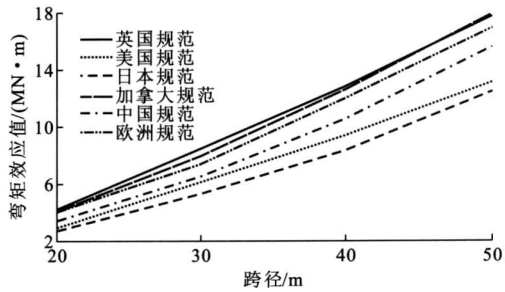

图 9 整体式箱梁弯矩效应值比较

Fig. 9 Comparisons of Moments of Integral-type Box Girder

从图 9 可以看出，各规范桥梁汽车荷载在整体式箱梁上产生的弯矩效应值趋势近似相同，英国和加拿大规范的弯矩效应值较大，其余规范的弯矩效应值较小。就以上整体式箱梁样本来说，英国规范的弯矩效应值比中国规范大 10%～30%，且随着跨径的增大，英国和中国规范的弯矩效应差值较稳定。同加拿大规范相比，中国规范的弯矩效应值小 10%～30%，两国规范的弯矩效应差值比较稳定。日本规范在各整体式箱梁结构上产生的弯矩效应值最小，与中国规范相比，日本规范的弯矩效应值小 10%～20%，且随着跨径的增大，弯矩效应的差值基本保持不变。

4.2 剪力效应

4.2.1 板 梁

对各规范加载于不同跨径的板梁所得到的剪力效应值进行趋势分析，结果如图 10 所示。

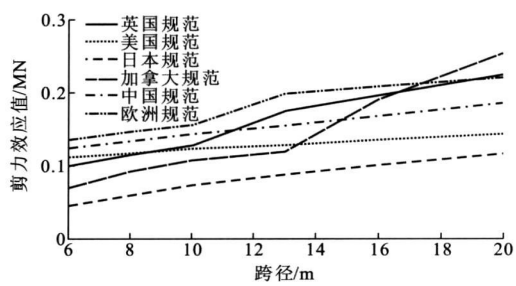

图 10 板梁剪力效应值比较

Fig. 10 Comparisons of Shears of Plate Girder

从图 10 可以看出，各规范桥梁汽车荷载在空心板上产生的剪力效应值差异较明显，趋势亦不尽相同。欧洲规范的剪力效应值最大，其余规范的剪力效应值较小。从数值上看，就以上板梁样本来说，欧洲规范的剪力效应值比中国规范大 10%～30%，且随

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

着跨径的增大, 欧洲和中国规范的剪力效应比值在减小。同英国规范相比, 中国规范在 10 m 以上跨径的板梁产生的剪力效应值小 10％～20％, 且英国规范同中国规范的剪力效应比值在增大。日本规范在各板梁结构上产生的剪力效应值最小, 与中国规范相比, 日本规范的剪力效应值小 30％～40％, 且随着跨径的增大, 剪力效应的差值较稳定。

从图 10 还可以看出, 加拿大规范在 16、20 m 跨径时的荷载剪力效应同样存在突变的现象, 其原因同前所述。

4.2.2　T　梁

对各规范加载于不同跨径的 T 梁所得到的剪力效应值进行趋势分析, 结果如图 11 所示。

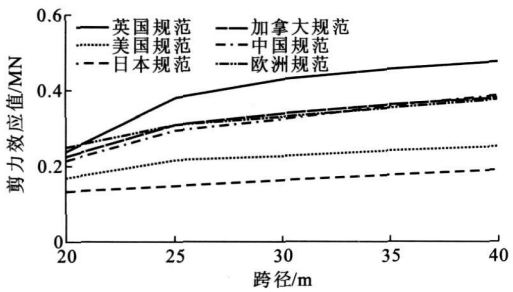

图 **11**　**T** 梁剪力效应值比较

Fig. 11　Comparisons of Shears of T-girder

从图 11 可以看出, 英国和加拿大规范产生的剪力效应值最大, 其他规范产生的剪力效应值较小。从数值上看, 就以上 T 梁样本来说, 英国规范的剪力效应值比中国规范大 10％～30％左右, 且随着跨径的增大, 英国和中国规范的剪力效应比值较稳定。同加拿大规范相比, 中国规范的剪力效应值小 5％左右, 且加拿大规范同中国规范的剪力效应比值较稳定。日本规范在各板梁结构上产生的剪力效应值最小, 与中国规范相比, 日本规范的剪力效应值小 30％～40％, 且随着跨径的增大, 剪力效应的差值较稳定。

4.2.3　组合箱梁

对各规范加载于不同跨径的组合箱梁所得到的剪力效应值进行趋势分析, 结果如图 12 所示。

从图 12 可以看出, 各规范桥梁汽车荷载在组合箱梁上产生的剪力效应值趋势近似相同, 英国和加拿大规范产生的剪力值较大, 其余规范产生的剪力较小。就以上组合箱梁样本来说, 英国规范的剪力效应值比中国规范大 15％～20％, 且随着跨径的增大, 英国和中国规范的剪力效应差值随之增大。同

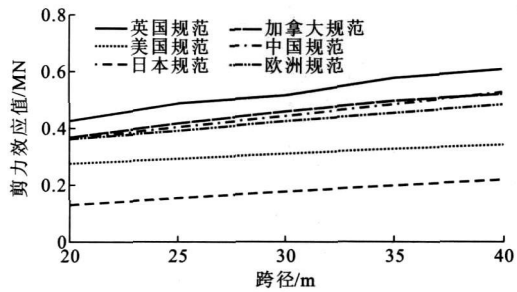

图 **12**　组合箱梁剪力效应值比较

Fig. 12　Comparisons of Shears of Composite Box Girder

加拿大规范相比, 中国规范的剪力效应值小 3％左右, 两国规范的剪力效应差值比较稳定。日本规范在各组合箱梁结构上产生的剪力效应值最小, 与中国规范相比, 日本规范产生的剪力效应值小 40％左右, 且随着跨径的增大, 剪力效应的差值基本保持不变。

4.2.4　整体式箱梁

对各规范加载于不同跨径的整体式箱梁所得到的剪力效应值进行趋势分析, 结果如图 13 所示。

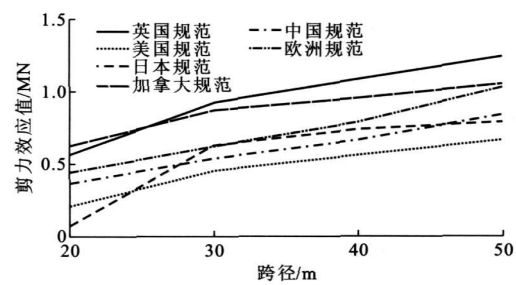

图 **13**　整体式箱梁剪力效应值比较

Fig. 13　Comparisons of Shears of Integral-type Box Girder

从图 13 可以看出, 英国和加拿大规范产生的剪力效应值最大, 其他规范产生的剪力效应值较小。从数值上看, 就以上整体式箱梁样本来说, 英国规范的剪力效应值比中国规范大 30％～45％, 且随着跨径的增大, 英国和中国规范的剪力效应比值较稳定。同加拿大规范相比, 中国规范的剪力效应值小 20％～40％, 且加拿大规范同中国规范的剪力效应比值较稳定。美国规范在各板梁结构上产生的剪力效应值最小, 与中国规范相比, 美国规范产生的剪力效应值小10％～25％, 且随着跨径的增大, 剪力效应的差值较稳定。

5　结　语

(1)各国公路桥梁规范所规定的汽车荷载的取值方法差异较大, 无论是计算图示, 还是量值方面,

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

中国规范均处于中等水平，但在计算模式的选择上，还相对简单。

(2)各国汽车荷载作用下的荷载效应值大不相同。对大部分国家的的荷载标准来说，随着跨径的增大，荷载效应值的变化趋势基本相同，且较稳定。

(3)在本文中所罗列的几个规范中，由于荷载标准值中包含冲击系数的影响，英国规范和欧洲规范产生的弯矩效应值和剪力效应值最大；除整体式箱梁剪力效应值最小为美国规范外，其余最小均为日本规范。

(4)中国现行的汽车荷载在标准简支跨径桥梁结构上引起的标准值效应处于世界中等水平。

参考文献：

References:

[1] “公路桥梁车辆荷载研究”课题组. 公路桥梁车辆荷载研究[J]. 公路, 1997(3): 8-12.
Research Group for Research on Vehicle Load of Highway Bridge. Research on Vehicle Load of Highway Bridge[J]. Highway, 1997(3): 8-12.

[2] 李扬海, 鲍卫刚, 郭修武, 等. 公路桥梁结构可靠度与概率极限状态设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997: 88-102.
LI Yang-hai, BAO Wei-gang, GUO Xiu-wu, et al. Structural Reliability and Probability Limited Condition Design of Highway Bridges[M]. Beijing: China Communications Press, 1997: 88-102.

[3] JTG D60—2004, 公路桥涵设计通用规范[S].
JTG D60—2004, General Code for Design of Highway Bridges and Culverts[S].

[4] 王 磊, 张建仁. 基于平衡更新过程的既有桥梁车辆荷载效应模型[J]. 中国公路学报, 2008, 21(5): 50-56.
WANG Lei, ZHANG Jian-ren. Vehicle Load Effect Model for Existing Bridge Based on Equilibrium Renewal Process[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(5): 50-56.

[5] 王树栋, 卜建清, 娄国充. 基于过桥汽车动力响应的桥梁损伤识别[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2008, 28(3): 63-67.
WANG Shu-dong, BU Jian-qing, LOU Guo-chong. Bridge Damage Identification by Dynamic Response of Passing Vehicle[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(3): 63-67.

[6] 宗雪梅, 胡大琳, 高 军. 桥梁超重荷载与限载标准的确定[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2008, 28(1): 60-65.
ZONG Xue-mei, HU Da-lin, GAO Jun. Vehicle's Overload and Limiting Load Standard for Bridge Safety[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(1): 60-65.

[7] 鲍卫刚, 宁平华. 公路桥梁标准车辆荷载比较研究[J]. 公路, 1993(2): 24-28.
BAO Wei-gang, NING Ping-hua. Comparative Study of Highway Bridge Standards for Vehicle Load[J]. Highway, 1993(2): 24-28.

[8] 黄 斌, 吴新旺, 史春宝. 深港两地桥梁设计标准的比较[J]. 城市道桥与防洪, 2004(4): 51-53.
HUANG Bin, WU Xin-wang, SHI Chun-bao. Comparison of Bridge Design Standards Between Shenzhen and Hong Kong[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2004(4): 51-53.

[9] 吴 腾, 葛耀君, 熊 洁. 现行国内外公路桥梁汽车荷载及其响应的比较[J]. 结构工程师, 2008, 24(5): 130-136.
WU Teng, GE Yao-jun, XIONG Jie. Live Load and Its Response of Highway Bridges Based on International and Domestic Design Codes[J]. Structural Engineers, 2008, 24(5): 130-136.

[10] BS 5400-2: 1978, Steel, Concrete and Composite Bridges. Part 2: Specification for Loads[S].

[11] AASHTO LRFD 2005, Bridge Design Specifications[S].

[12] CAN/CSA-S6-06, Canadian Highway Bridge Design Code[S].

[13] EN 1991-2: 2003, Eurocode 1: Actions on Structures. Part 2: Traffic Loads on Bridges[S].

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net