

文章编号:1671-8879(2013)06-0059-09

中小跨径梁桥试验荷载效率

吕大伟¹,袁卓亚²,石雄伟²,周勇军¹,柯亮亮²

(1. 长安大学 公路学院,陕西 西安 710064; 2. 西安公路研究院,陕西 西安 710054)

摘 要:针对目前梁桥试验规范中荷载效率对象不明确的特点,在验证简化分析模型可行性的基础上,以常见中小跨径梁桥为样本,研究了桥面铺装对各单梁最不利横向分布系数的影响及各梁横向分布系数的分布特点。依据现有规范的加载方式,分别以桥梁整体截面和单梁截面的荷载效应为对象制定了荷载的加载工况,并将同样加载工况下所产生的单梁截面效应及整体截面效应相互对比,从而明确了梁桥试验荷载效率的对象。研究结果表明:是否考虑桥面铺装对横向分布系数的影响误差不超过 3.4%,对 13、16、20 m 空心板桥及 20、25、30、40 m 连续箱梁、50 m 连续 T 梁按照单梁截面弯矩以 1.0 进行加载,出现中梁弯矩加载效率大于相应边梁弯矩加载效率趋势,建议以中梁的荷载效应作为试验加载目标,荷载效率系数上限宜提高至 1.1。相关结论可为同类桥梁的荷载试验及设计参考。

关键词:桥梁工程;中小跨径梁桥;荷载效率;桥面铺装;横向分布系数

中图分类号:U461.3

文献标志码:A

Load test efficiency for girder bridges with short or medium span

LU Da-wei¹, YUAN Zhuo-ya², SHI Xiong-wei², ZHOU Yong-jun¹, KE Liang-liang²,

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Xi'an Research Institute of Highway, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Aimed at uncertain object of load test efficiency in the code for the girder bridges, firstly, a simplified analytical model was validated; then, girder bridges with short or medium span were taken as samples to investigate the effect of pavement on the lateral load distribution factors of the individual beam and its characteristics. Secondly, according to the loading pattern specified in the current code, the load effect of critical integral section and individual section were adopted to confirm the loading conditions, then, the corresponding load effect of individual section and integral section were compared with each other to determine the object of load test. The results show that the lateral load distribution factors caused by pavement are not distinct, with an error of not more than 3.4%. To 13, 16 and 20 m hollow slab bridge and 20, 25, 30 and 40 m continuous box girder, 50 m continuous T beam according to the single beam bending moment in 1.0 to load, there is a trend that the middle beam bending loading efficiency is greater than the corresponding edge beam bending loading efficiency and the design load effect of middle beam is recommended as the object of load test, what's more, load test efficiency is suggested to increase to 1.1. The study can provide reference for load test and design of the same kind of bridge. 4 tabs, 11 figs, 15 refs.

收稿日期:2013-03-24

基金项目:陕西省交通科技项目(10-39K);云南省交通科技联合攻关项目计划 2011(LH)05-b

作者简介:吕大伟(1975-),男,黑龙江哈尔滨人,高级工程师,工学博士,E-mail:124275920@qq.com。

Key words: bridge engineering; girder bridge with short or medium span; load test efficiency; pavement; lateral load distribution

0 引言

桥梁荷载试验作为一种比较直观评定桥梁承载力的方法,为广大工程技术人员所接受,开展的相关研究也比较多。如刘思孟等针对目前荷载试验规范中加载效率在应用上的不足,提出了基于弯矩控制兼顾挠度效率的桥梁荷载试验布载方法^[1];刘华提出了一种适用于各种结构形式桥梁的荷载横向分布系数计算方法——模态参数法^[2];王凌波等提出用动态车辆挠度曲线取代静态挠度影响线的荷载试验改良模式来评定中小跨径梁式桥的现有承载能力,并进行了实桥的试验对比验证^[3];刘旭政等针对目前大跨度桥梁荷载效率系数取值的不合理,提出在荷载试验时降低荷载效率系数的建议^[4];唐国斌等通过建立不同铺装的桥梁模型进行对比计算,分析了桥面铺装对桥梁主梁的受力性能的影响^[5-6];杨春侠等在可靠度理论的基础上,对桥梁荷载试验测试荷载取值与试验风险的关系进行了分析,建立了测试风险分析模型,并对荷载试验后的桥梁进行可靠度分析^[7];陈可等撰文介绍了桥梁结构检测分析系统 QLJC 的整体构思特点、计算原理以及实桥应用等^[8]。国外的荷载试验流程与国内的相差不大^[9]。

中国现在使用的规范(程)是 1988 年交通部编制的《公路旧桥承载能力鉴定方法(试行)》及《大跨径混凝土桥梁试验方法》,由于使用年代较久,新一轮的荷载试验规程正在紧锣密鼓的进行。但无论是哪个规范或者方法,还没有很好地解决静力荷载试验效率系数的对象控制截面问题,对于具有多片主梁的中小跨径梁桥,试验效率采用整体截面还是最不利的单梁截面,中国目前并没有太多的相关研究报道,需进一步探讨。中小跨径梁桥在桥梁工程中占有近 80% 的比例,其荷载试验任务十分繁重,同时也急需对如此大量的试验进行系统研究,以期做到标准化、科学化。为此,本文以中小跨径梁桥为对象,系统分析这些桥梁在荷载试验效率方面的相关技术问题,研究的结果及过程可为桥梁设计及试验提供参考。

1 桥梁样本

1.1 空心板

分析采用的标准板为 13 m(计算跨径 12.6 m)、

16 m 空心板(计算跨径 15.6 m)和 20 m 空心板(计算跨径 19.6 m),桥梁半幅桥宽为 0.9 m+10.75 m+0.5 m。桥梁横向均由 11 片板组成。

1.2 装配式箱梁

装配式先简支后连续箱梁由于其制作简单,工艺成熟,施工速度快,维修方便而在一些地方得到广泛应用。本次分析连续梁的试验对象采用 3 m×20 m 箱梁(计算跨径 19.62 m+20 m+19.62 m)、3 m×25 m 箱梁(计算跨径 24.62 m+25 m+24.62 m)、3 m×30 m 箱梁(计算跨径 29.62 m+30 m+29.62 m)、3 m×40 m 箱梁(计算跨径 39.545 m+40 m+39.545 m),其半幅桥宽 0.9 m+10.75 m+0.5 m。桥梁横向均由 4 片梁组成。

1.3 装配式 T 梁

装配式 T 梁跨径组成为 3 m×50 m(计算跨径 49.36 m+50 m+49.36 m),桥宽为 0.5 m+12.5 m+0.5 m。桥梁横向由 6 片 T 梁组成。

以上桥梁的设计荷载等级均为公路 I 级。

2 分析模型

除空心板外,装配式箱梁和 T 梁均为等高度变腹板结构,一般将其简化为等截面杆系结构进行计算。为了验证其合理性,以 3 跨 20 m 连续箱梁为例,建立了等高度变腹板截面杆系与等高等截面(跨中截面)杆系 2 种模型,在同样的荷载作用下对比关键截面的荷载效应,以检验用等高度等截面模型替代等高变截面模型的正确性。边梁和中梁在单车道荷载(即不考虑横向分布系数)情况下的荷载效应(控制截面的弯矩和挠度)对比结果见下页表 1、表 2 所示。

从上表可以看出,对于 3 跨 20 m 连续箱梁的边跨和中跨最大正弯矩,等高等截面模型(简称前者)比等高变截面模型分别增大了 0.4% 和 0.9%;支点最大负弯矩前者比后者减小了 2.2%;边跨和中跨的中梁最大挠度前者比后者分别增大了 1.0% 和 1.7%;边跨和中跨的边梁最大挠度前者分别比后者增加了 1.1% 和 1.7%;前者和后者的弯矩、挠度相差均小于 5%。因此,采用等高等截面建立模型替代等高变截面模型计算精度能够满足工程要求。为方便起见以下均采用等高等截面进行建模计算。

表 1 等高等截面模型与等高变截面模型控制截面弯矩对比

Tab. 1 Key section bending moment of constant section model and variable section model

工况	截面位置	等高等截面模型弯矩①/(kN·m)	等高变截面模型弯矩②/(kN·m)	误差(①-②)/②
边跨正弯矩	边跨 0.4L	1 364	1359	0.004
支点负弯矩	内 支 点	-946	-968	-0.022
跨中正弯矩	中跨跨中	1 153	1143	0.009

表 2 等高等截面模型与等高变截面模型控制截面挠度对比

Tab. 2 Key section deflection of constant section model and variable section model

工况	截面位置	等高等截面模型挠度①/mm	等高变截面模型挠度②/mm	误差(①-②)/②
边跨挠度	边跨 0.4L 边梁	6.09	6.02	0.011
边跨挠度	边跨 0.4L 中梁	6.23	6.17	0.010
中跨挠度	中跨跨中边梁	5.06	4.98	0.017
中跨挠度	中跨跨中中梁	5.18	5.09	0.017

3 横向分布系数计算

对空心板桥采用铰接板法计算其横向分布影响线。对连续箱梁桥和 T 梁桥横向分布影响线则采用刚接梁法,需通过相关公式计算出主梁的扭转位移与挠度之比 γ 、悬臂板与主梁挠度之比 β 为

$$\gamma=\frac{\pi^2EI}{4GI^T}\left(\frac{b_1}{l}\right)^2=5.8\frac{I}{I^T}\left(\frac{b_1}{l}\right)^2\tag{1}$$

$$\beta=\frac{\pi^4Id_1^3}{3l^4I_1}=390\frac{Id_1^3}{l^4h_1^3}\tag{2}$$

式中: E 、 G 分别为混凝土的弹性模量和剪切模量; I 、 I^T 分别为结构的抗弯及抗扭惯矩; I_1 为单位板宽的抗弯惯矩; b_1 为两梁肋之间的距离; l 为计算跨径; d_1 为相邻两主梁梁肋的净距之半; h_1 为悬臂板的平均高度。

对于连续梁桥,则要根据各种体系变截面桥梁的荷载横向分布计算原则将连续梁桥的各跨按照等刚度原则变换为跨度相同的具有等截面的简支梁^[10-15]。三跨等截面连续梁桥边跨的抗弯惯性矩等代系数为 1.429,抗扭惯性矩等代系数为 1;中跨的抗弯惯性矩等代系数为 1.818,抗扭惯性矩等代系数为 1。

依据桥梁设计规范在荷载横向分布影响线上布置车辆荷载,进而求得各样本桥梁的横向分布系数。

在荷载试验中,经常发现桥面铺装不同程度的参与结构的受力。为了反映铺装对桥梁横向分布及校验系数的影响。按照不考虑桥面铺装、考虑全部桥面铺装及考虑一半桥面铺装来分别计算。

3.1 设计最不利横向分布系数

3.1.1 空心板

依据设计车道数和横向折减系数,得到空心板最不利横向分布系数如图 1 所示。

从图 1 中可以看出:

(1)13、16、20 m 空心板桥梁不计桥面铺装

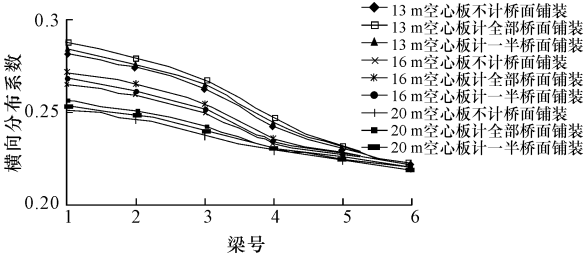


图 1 空心板最不利横向分布系数

Fig. 1 Most unfavorable lateral load distribution factors of hollow slab bridges

时的最不利(设计)横向分布系数最小,计入全部桥面铺装的最不利横向分布系数最大,计入一半桥面铺装时的最不利横向分布系数居中,且后 2 种模式计算的最不利荷载横向分布系数与不计桥面铺装计算的最不利荷载横向分布系数的相对差值不超过 2.2%;

(2)边板(1[#]板)2 车道计算的荷载横向分布系数比 3 车道考虑折减后计算的荷载横向分布系数大,即 2 车道荷载效应为边板的设计控制荷载;中板(6[#]梁)2 车道计算的荷载横向分布系数比考虑 3 车道折减后的荷载横向分布系数小,即 3 车道荷载效应为中板的设计控制荷载。

3.1.2 连续箱梁

连续箱梁最不利横向分布系数如下页图 2 所示。

从图 2 可以看出:

(1)20、25、30 m 连续箱梁桥不计桥面铺装的最不利横向分布系数最大,计入全部桥面铺装的最不利横向分布系数最小,计入一半桥面铺装时的最不利横向分布系数居中;40 m 连续箱梁,边梁(边跨、中跨)的横向分布系数变化规律:不计铺装时最小,计全部铺装时最大,中梁规律则相反。但是所有箱梁样本桥梁应用后 2 种模式计算的最不利荷载横向

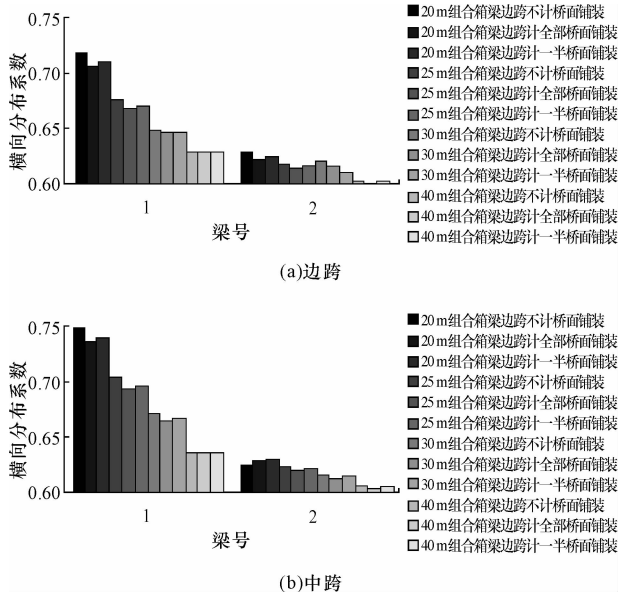


Fig. 2 Most unfavorable lateral load factors of continuous box girder bridges

分布系数与不考虑铺装计算的最不利荷载横向分布系数的相对差值小于 2%;

(2) 对 20、25 m 连续箱梁而言,无论是边跨还是中跨,对边梁而言,其 2 车道计算的荷载横向分布系数均比考虑 3 车道折减后的荷载横向分布系数大,即 2 车道荷载效应为边梁的设计控制荷载;对中梁而言,其 2 车道计算的荷载横向分布系数均比考虑 3 车道折减后的荷载横向分布系数小,即 3 车道荷载效应为中梁的设计控制荷载;对 30、40 m 连续箱梁而言,则不同,无论是连续箱梁的边跨和中跨,也无论是边梁还是中梁,其 2 车道计算的荷载横向分布系数均比考虑 3 车道折减后的荷载横向分布系数小,即 3 车道荷载效应为边、中梁的设计控制荷载(如果边梁用 2 车道的横向分布系数代替 3 车道折减后的横向分布系数误差在 3.4% 之内)。

3.1.3 连续 T 梁

连续 T 梁最不利横向分布系数如图 3 所示。

从图 3 中可以看出:

(1) 50 m 连续 T 梁边梁、次中梁和中梁最不利横向分布系数规律均相同:不计铺装横向分布系数最大,计全部铺装横向分布系数最小,计一半铺装横向分布系数居中,且后两种模式计算的横向分布系数与不计铺装计算的横向分布系数相对差值不超过 3.4%。

(2) 对 50 m 连续 T 梁边梁和次边梁,其 2 车道计算的荷载横向分布系数均比考虑 3 车道折减后的荷载横向分布系数大,即 2 车道荷载效应为边梁的设计控制荷载;对中梁,2 车道计算的荷载横向分布

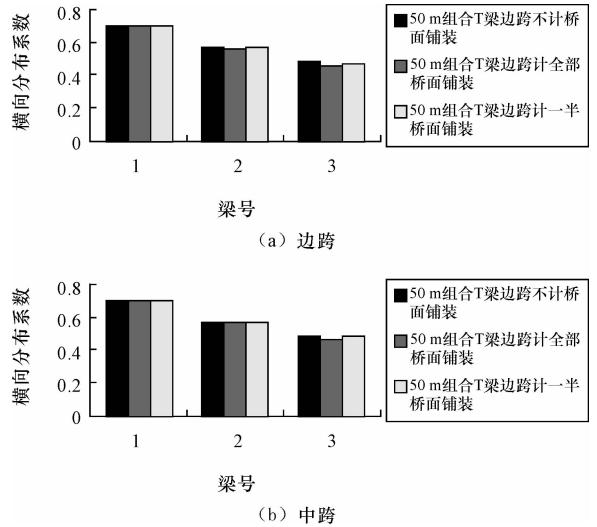


Fig. 3 Most unfavorable lateral load distribution factors of continuous T girder bridge

系数均比考虑 3 车道折减后的荷载横向分布系数小,即 3 车道荷载效应为中梁的设计控制荷载。

3.2 荷载试验横向分布系数

根据实际情况,采用常见的三轴车加载,轴间距分别为 3.5、1.3 m,轴重分别为 60、135、135 kN,车辆横向轴距为 1.8 m。试验加载时均按 3 车道进行加载。

鉴于考虑一半铺装的横向分布系数介于不考虑与考虑全部铺装时的横向分布系数中间,各样本桥型实际加载时荷载横向分布影响系数考虑了一半混凝土桥面铺装,各样本桥型的在偏载下各单梁实际横向分布系数见下页表 3。

需要提及的是,这里各梁的横向分布系数与设计的最不利横向分布系数是不同的。

4 试验荷载效率计算

按照规范要求,静力试验荷载效率 η_q 取值范围为 $0.80 \leq \eta_q \leq 1.00$,则^[11]

$$\eta_q = \frac{S_s}{S(1+\mu)} \quad (3)$$

式中: S_s 为静力试验荷载作用下,某一加载试验项目对应的加载控制截面内力或变位的最大计算效应值(考虑多车道折减); S 为控制荷载产生的同一加载控制截面内力或变位的最不利效应计算值; μ 为按规范取用的冲击系数值, $\mu = 0.176 \ln(f) - 0.0157$,其中 f 为结构的基频。

4.1 冲击系数计算

根据样本桥梁截面参数建立有限元模型,计算出各样本桥梁的结构基频,然后按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)计算出其冲击系数,见下页表 4。

表 3 桥梁样本偏载时荷载横向分布系数

Tab. 3 Lateral load distribution factors of bridge samples in bias loading

13 m		16 m		20 m		20 m		20 m		25 m		25 m		30 m		30 m		40 m		40 m		50 m		50 m	
空心板		空心板		空心板		箱梁边跨		箱梁中跨		箱梁边跨		箱梁中跨		箱梁边跨		箱梁中跨		箱梁边跨		箱梁中跨		T 梁边跨		T 梁中跨	
1 号	6 号	1 号	6 号	1 号	6 号	1 号	2 号	1 号	2 号	1 号	2 号	1 号	2 号	1 号	2 号	1 号	2 号	1 号	2 号	1 号	2 号	1 号	3 号	1 号	3 号
梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁	梁
0.315	0.284	0.309	0.282	0.303	0.280	0.846	0.761	0.858	0.762	0.829	0.757	0.840	0.758	0.817	0.755	0.827	0.756	0.796	0.752	0.804	0.753	0.718	0.569	0.720	0.583

表 4 样本桥型结构基频及冲击系数

Tab. 4 Structural fundamental frequency and impact coefficient of bridge samples

桥型	13 m 空心板	16 m 空心板	20 m 空心板	20 m 连续箱梁	25 m 连续箱梁	30 m 连续箱梁	40 m 连续箱梁	50 m 连续 T 梁
基频/Hz	8.89	6.63	4.95	5.95	4.53	3.62	2.55	1.90
冲击系数 μ	0.370	0.319	0.267	0.299	0.251	0.212	0.150	0.098

4.2 加载工况

按照 $\eta_1=1.0$ 的荷载效率来确定荷载车重和车辆数,对 20 m 及以上跨径的桥梁加载车辆采用 330 kN 标准车(轴重分别为 60、135 和 135 kN,轴距为 3.5、1.3 m),对 13、16 m 空心板桥梁加载车采用 350 kN 标准车(轴重分别为 70、140 和 140 kN,轴距为 3.5、1.3 m)。

分别计算样本桥梁的边梁(板)和中梁(板)设计最不利横向分布系数然后得到其设计荷载效应,依据 $\eta_1=1.0$ 的荷载效率进行试验加载(即按单梁效应进行加载),确定试验加载位置;同理,将全截面看作一个整体而按照整体截面计算其设计荷载效应,依据 $\eta_1=1.0$ 的荷载效率进行试验加载(即按整体截面效应进行加载),确定试验加载位置。

- 对简支空心板分以下几种工况进行加载:
- 工况 1、2:跨中截面正弯矩(挠度)中、偏载。
- 对连续箱梁、T 梁按照以下工况进行加载:
- 工况 1、2:边跨 0.4L 截面正弯矩(挠度)中、偏载;
- 工况 3、4:内支点截面负弯矩中、偏载;
- 工况 5、6:中跨跨中截面正弯矩(挠度)中、偏载。

4.3 不同试验加载方案对比分析

将 13、16、20 m 空心板和 20、25、30、40 m 连续箱梁及 50 m 连续 T 梁分别按照整体截面弯矩、挠度和单梁截面弯矩、挠度的 荷载效率加载时,对应的其他各项加载效率计算结果列入图 4~11 所示。

从图 4~11 中可以看出:(1)对 13、16、20 m 空心板桥及 20、25、30、40 m 连续箱梁、50 m 连续 T 梁桥按照整体截面以 1.0 进行加载,通常单梁弯矩

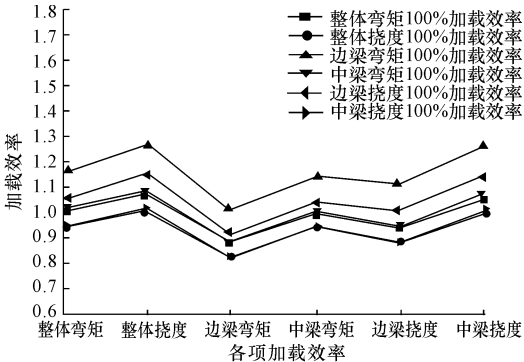


图 4 13 m 空心板测试截面加载效率

Fig. 4 Test section loading efficiency of 13 m hollow slab bridge

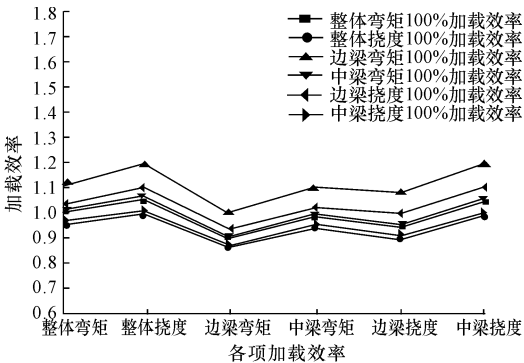


图 5 16 m 空心板测试截面加载效率

Fig. 5 Test section loading efficiency of 16 m hollow slab bridge

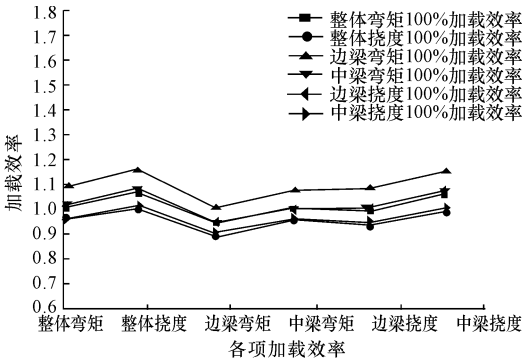
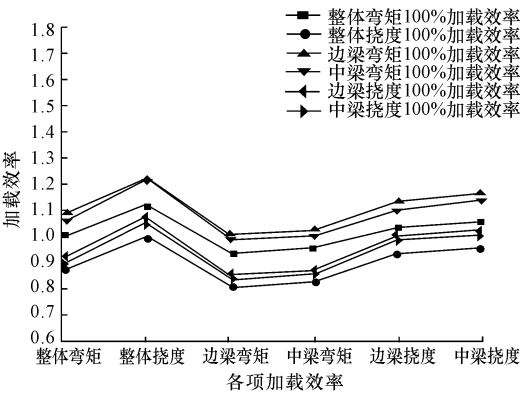
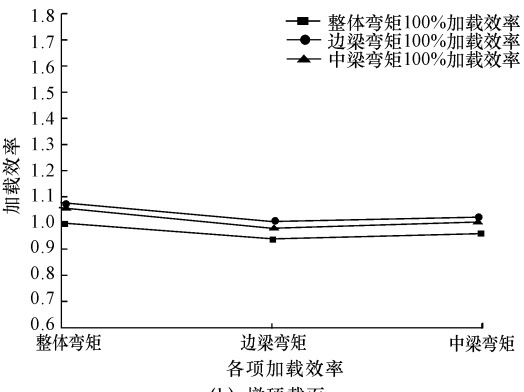


图 6 20 m 空心板测试截面加载效率

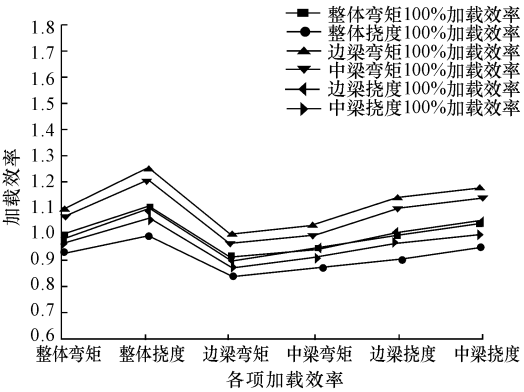
Fig. 6 Test section loading efficiency of 20 m hollow slab bridge



(a) 边跨0.4L截面



(b) 墩顶截面

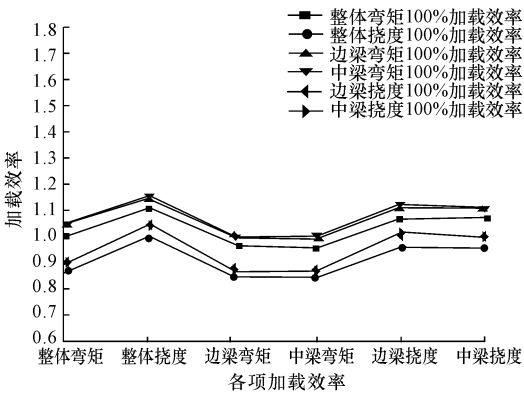


(c) 跨中截面

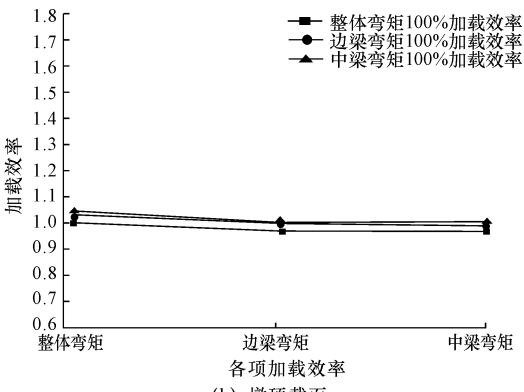
图7 20 m箱梁测试截面加载效率

Fig. 7 Test section loading efficiency of 20 m box girder bridge

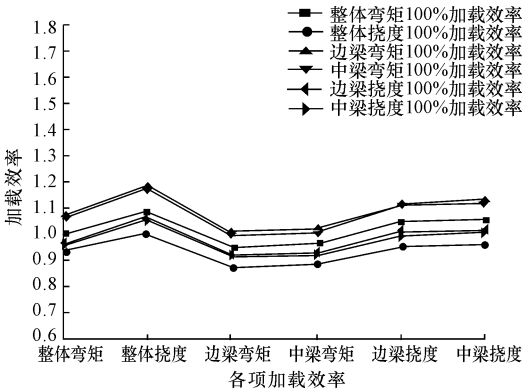
加载效应远达不到设计效应值的1.0。如50 mT梁边跨0.4L截面以整体截面弯矩1.0加载时,边、中梁弯矩加载效应分别为0.81、0.80,50 mT梁边跨0.4L截面以整体截面挠度1.0加载时,边、中梁弯矩加载效应均为0.72,50 mT梁支点截面以整体截面弯矩1.0加载时,边、中梁弯矩加载效应分别为0.81、0.80,50 mT梁跨中截面以整体截面弯矩1.0加载时,边、中梁弯矩加载效应均为0.95,50 mT梁跨中截面以整体截面挠度1.0加载时,边、中梁弯矩加载



(a) 边跨0.4L截面



(b) 墩顶截面



(c) 跨中截面

图8 25 m箱梁测试截面加载效率

Fig. 8 Test section loading efficiency of 25 m box girder bridge

效应均为0.91。因此为了保证达到加载检验目的,在荷载试验加载效率计算中,控制截面建议以单梁内力或变形进行控制。

(2)实际上,对多梁式桥梁结构来讲,是采用横向分布系数得到各主梁的荷载效应然后进行设计的,即是以单梁为对象进行设计的,荷载试验应最大程度的“还原”此梁的设计效应,故推荐采用以单梁的设计最不利荷载效应即弯矩效应为对象进行加载,这样概念明确、较为合理、加载安全。

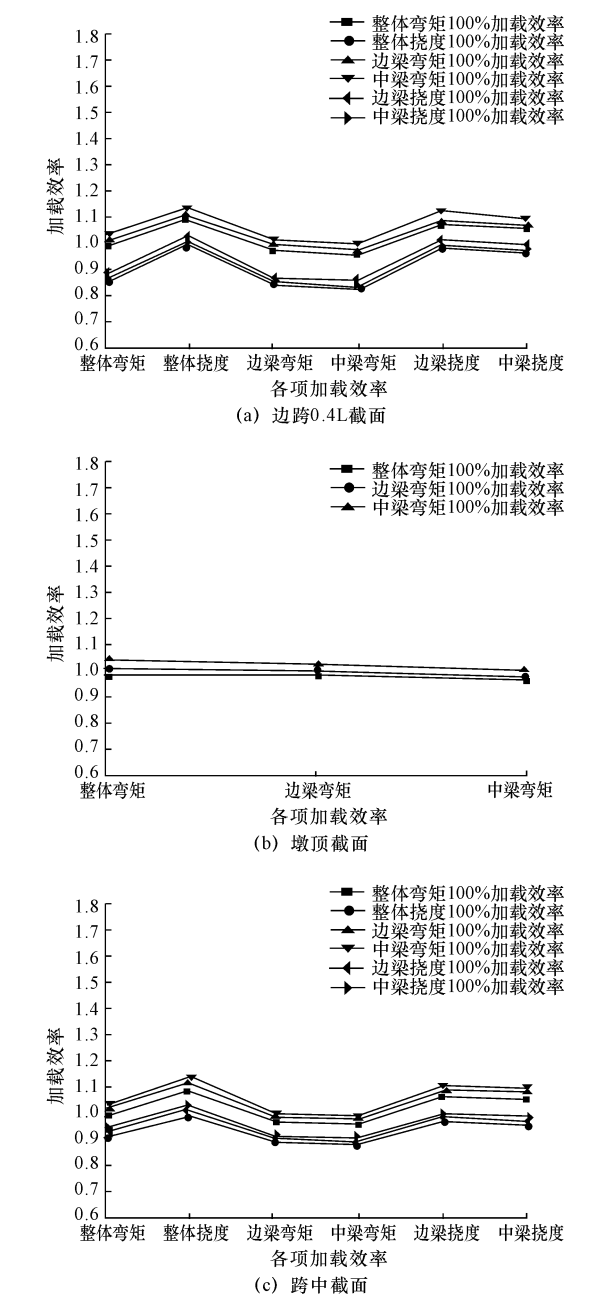


图 9 30 m 箱梁测试截面加载效率

Fig. 9 Test section loading efficiency of 20 m hollow slab bridge

(3)对 13、16、20 m 空心板桥及 20、25、30、40 m 连续箱梁、50 m 连续 T 梁按照单梁截面挠度以 1.0 进行加载,对应各截面的弯矩或挠度加载效率在 0.82~1.16 范围之内,除整体截面挠度及中梁挠度略微超出规范限值外,其余各项加载效率均在规范要求之内。同时,以单梁弯矩效率 1.0 进行控制加载更便于计算,且概念简单明了。按照《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21—2011)加载效率宜介于 0.95~1.05 之间,为了保证试验加载检验目

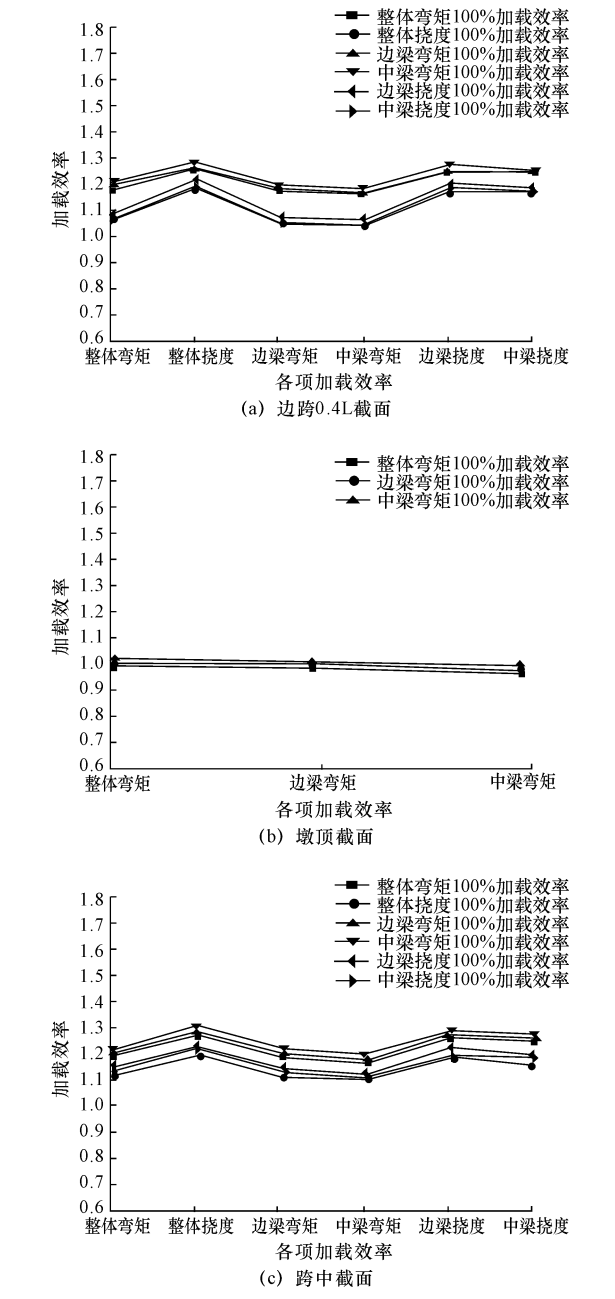


图 10 40 m 箱梁测试截面加载效率

Fig. 10 Test section loading efficiency of 40 m box girder bridge

的与试验加载安全,在荷载试验加载效率计算中,控制截面建议以单梁内力进行控制。

(4)对 13、16、20 m 空心板桥及 20、25、30、40 m 连续箱梁、50 m 连续 T 梁按照单梁截面弯矩以 1.0 进行加载,出现中梁弯矩加载效率大于相应边梁弯矩加载效率趋势。如 13 米空心板以中梁弯矩 1.0 加载时,边梁的弯矩加载效应为 0.88,达不到试验目的,而以边梁弯矩 1.0 加载时,中梁的弯矩加载效应为 1.14,已超过《公路桥梁承载能力检测评定规

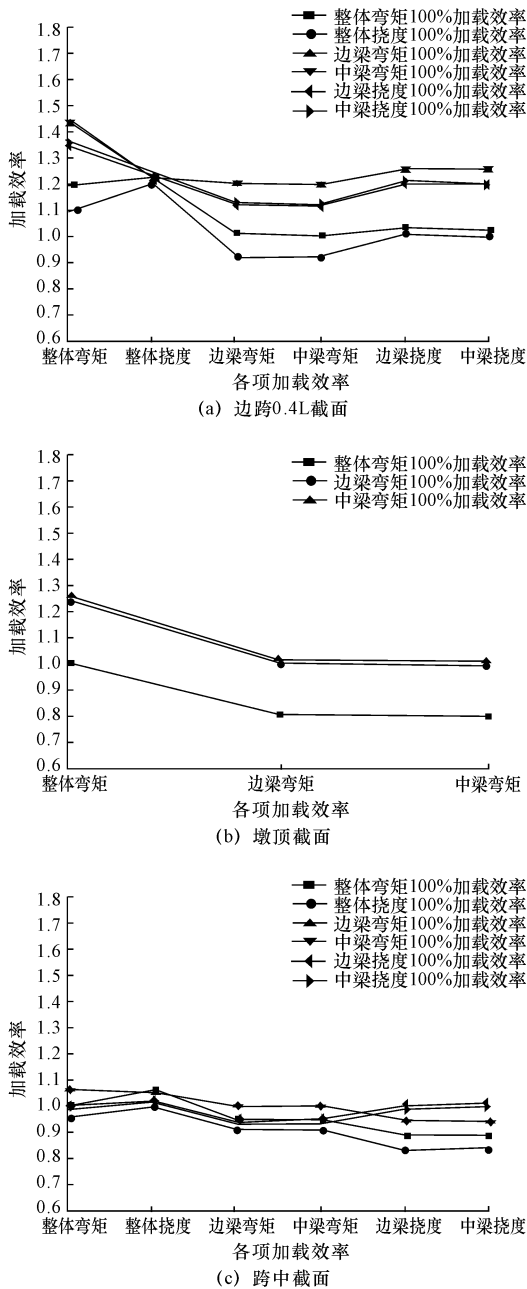


图 11 50 m T 梁测试截面加载效率

Fig. 11 Test section loading efficiency of 50 m T girder bridge

程》(JTG/T J21—2011)加载效率上限值 1.05,故建议以边梁弯矩效应同时兼顾中梁弯矩效应进行加载效率控制,将荷载效率上限调整至 1.10。

(5)结合现行规范《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21—2011)与桥梁荷载试验实际应用,建议将加载效率上限调整至 1.10。

5 结 语

(1) 将等高变腹板截面的常规桥梁简化为等高

等截面的杆系结构进行荷载试验分析是可以满足工程精度要求的。

(2) 设计的最不利横向分布系数与荷载试验的横向分布系数是 2 个不同的概念。对 3 车道桥梁来说,不同跨径的连续箱梁(T 梁),边跨和中跨对应的边梁和中梁最不利设计横向分布系数是不同的。

(3) 是否考虑桥面铺装其横向分布系数差别不大,但可能会影响到校验系数的结果处理,实际分析时还是要加以注意。

(4) 对多车道桥梁来说,以单梁截面和整体截面为对象进行不同方式的加载,会影响到试验车辆的加载位置布置,依照目前多梁式桥梁各梁横向布置特点,如果以边梁为试验对象进行试验加载其效率系数将超出规范要求,建议采用中梁弯矩效应作为试验目标进行试验,同时规范中荷载效率系数上限可提高至 1.10。

(5) 针对常见的中小跨径空心板、装配式箱梁和部分装配式 T 梁进行了的试验效率进行了研究,得出了一些荷载效率系数的建议,但对其他结构形式的桥梁如拱桥等未进行研究,另外如何保证荷载试验时的局部加载安全及如何保证不等跨桥梁的加载效率等问题,尚待进一步的研究。

参考文献:

References:

[1] 刘思孟,刘国金,周建庭. 基于内力控制兼顾挠度荷载效率的桥梁荷载试验布载方法研究[J]. 重庆交通大学学报,2005,24(1):16-18.

LIU Si-meng,LIU Guo-jin,ZHOU Jian-ting. Research on load arrangement method of bridge load testing experiment based upon controls of efficiency of inner force and deformation[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University,2005,24(1):16-18. (in Chinese)

[2] 刘 华,叶见曙,俞 博. 桥梁荷载横向分布系数计算方法[J]. 交通运输工程学报,2009,9(1):62-66.

LIU Hua,YE Jian-shu,YU Bo. Calculation method of transversal distribution factor for bridge load[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2009,9,(1):62-66. (in Chinese)

- [3] 王凌波,胡大琳,蒋培文.拟静态挠度法评定梁式桥承载力[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(4):51-55,81.
WANG Ling-bo, HU Da-lin, JIANG Pei-wen. Quasi-static deflection method for detecting loading capacity of beam bridge[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(4): 51-55, 81. (in Chinese)
- [4] 刘旭政,王 达,许汉铮.基于线性回归的桥梁结构反应预测分析[J].长安大学学报:自然科学版,2009,29(5):76-80.
LIU Xu-zheng, WANG Da, XU Han-zheng. Prediction analysis of bridge structural response based on linear regression[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2009, 29(5): 76-80. (in Chinese)
- [5] 唐国斌.桥面铺装层对空心板桥受力性能影响研究[D].郑州大学,2007.
TANG Guo-bin. Research on force behavior influenced by deck pavement to the hollow slab [D]. Zhengzhou University, 2007. (in Chinese)
- [6] 张 磊,伍石生,黄 卫,等.面向桥面铺装动力响应分析的多尺度桥梁模型[J].中国公路学报,2012,25(3):87-93.
ZHANG Lei, WU Shi-sheng, HUANG Wei, et al. Multi-scale model for the bridge deck-pavement dynamic analysis [J]. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25(3): 87-93. (in Chinese)
- [7] 杨春侠,杨伟军,张建仁.基于验证荷载法的桥梁荷载试验失效风险分析[J].长沙交通学院学报,2004,20(2):25-29.
YANG Chun-xia, YANG Wei-jun, ZHANG Jian-ren. An analysis of failure risk of the bridge load test based on proof load method[J]. Journal of Changsha Jiaotong University, 2004, 20(2): 25-29. (in Chinese)
- [8] 陈 可,吕建鸣.桥梁结构检测分析系统研究[J].公路交通科技,2005,22(5):87-92.
CHEN Ke, LU Jian-ming. Bridge test analysis system study[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(5): 87-92. (in Chinese)
- [9] Ma Z G, Chaudhury S, Millam J L, et al. Field test and 3D FE molding of decked bulb-tee bridge[J]. Journal of bridge engineering, 2007, 12(3): 306-314.
- [10] 贺拴海,谢仁物.公路桥梁荷载横向分布计算方法[M].北京:人民交通出版社,1996.
HE Shuan-hai, XIE Ren-wu. Calculation methods of load transverse distribution for Highway Bridges [M]. Beijing: China Communications Press, 1996. (in Chinese)
- [11] JTG D60—2004.公路桥涵设计通用规范[S].人民交通出版社,2004.
JTG D60—2004, General code for design of highway bridges and c[S]. (in Chinese)
- [12] 交通部公路科学研究所.大跨径混凝土桥梁的试验方法[R].北京:交通部公路科学研究所,1982.
Research Institute of Highway Ministry. Test methods of long span concrete bridge[R]. Beijing: Research Institute of Highway Ministry, 1982 (in Chinese)
- [13] 李国豪,石 洞.公路桥梁荷载横向分布计算[M].北京:第2版.人民交通出版社,1987.
LI Guo-hao, SHI Dong. Calculation of load transverse distribution for Highway Bridges[M]. Beijing: 2nd edition. China Communications Press, 1987. (in Chinese)
- [14] 石雄伟,王开明,蒋 姣,等.基于新旧设计规范的桥梁荷载试验加载效率研究[J].公路交通科技:应用技术版,2012,9(93):263-266.
SHI Xiong-wei, WANG Kai-ming, JIANG Jiao et al. Based on the new and old design specification of bridge load test loading efficiency research[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development: Application, 2012, 9(93): 263-266 (in Chinese)
- [15] 周勇军,田 俊,蒋 姣,等.铺装层工作机理的模型试验分析[J].公路交通科技:应用技术版,2012,8(92):294-297,309.
ZHOU Yong-jun, TIAN Jun, JIANG Jiao, et al. Working mechanism of surfacing layer analysis of the model test[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development: Application, 2012, 8(92): 294-297, 309. (in Chinese)