

文章编号: 0451-0712(2012)01-0103-05

中图分类号: U441.2

文献标识码: B

# 公路桥梁设计荷载基本组合的分项系数值及其效应对比

周勇军<sup>1,2</sup>, 孙婧<sup>1,2</sup>, 梁玉照<sup>1,2</sup>

(1. 旧桥检测与加固技术交通行业重点实验室 西安市 710064; 2. 长安大学公路学院 西安市 710064)

**摘要:** 为了对我国现行公路桥梁荷载基本组合分项系数取值进行研究,在分析英国、美国、加拿大、欧洲公路桥梁规范中有关荷载基本组合分项系数规定的基础上,选取我国公路常用的标准跨径板梁、T梁、组合箱梁、整体式箱梁为样本,在各国规范规定下,计算得到了恒载和汽车荷载作用下的简支梁跨中弯矩、支点剪力值效应,按各国的规范进行基本组合,并同中国规范作以对比,从而对我国公路桥梁的荷载基本组合分项系数在世界上所处的位置进行客观地评价。研究表明,我国在恒载分项系数的取值上处于中等水平,在汽车荷载分项系数的取值上处于较低的水平,现行规范的公路桥梁荷载基本组合的效应值处于中等水平,其方法及结论可供新规范修订时参考。

**关键词:** 公路桥梁; 荷载组合; 分项系数; 设计规范

荷载的基本组合表示为恒载(主要是结构自重)+活载(主要是汽车荷载)。从考虑分项系数组合值的大小可以看出各国规范所取的桥梁荷载效应的高低,作为基本组合的恒载和活载的分项系数与恒载或活载在总荷载效应中占的比例有关,现行《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60-2004)维持了85规范中的汽车荷载分项系数1.4,即对85规范进行“校准”,符合当时的实际情况,但自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。为使我国公路桥梁设计更能适应目前交通形势发展,正确评价我国现行规范荷载分项系数在世界上所处的位置,有必要对英、美等发达国家的桥梁设计规范进行分析和研究。

本次研究选取国内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基本组合差异,从而对新一轮规范汽车荷载分项系数的研究工作提供参考和借鉴。

## 1 国内外公路桥梁规范荷载分项系数简介

通过调研发现,各国荷载关于组合模式大致相同,其基本组合效应主要是由恒载和汽车荷载组成,

在此仅对比恒载和汽车荷载的分项系数及这两者组合后的效应值。

### 1.1 中国桥梁规范

中国公路桥涵设计规范关于承载能力极限状态设计中的基本组合恒载(主要指结构自重)分项系数 $r_{G1}$ 与汽车荷载的分项系数 $r_{Q1}$ 的取值见表1。

表1 中国荷载组合中分项系数的取值

	设计安全等级		
	一级	二级	三级
$r_0$	1.1	1.0	0.9
$r_{G1}$	作用类别	对结构承载力不利	对结构承载力有利
	混凝土和圬工结构重力	1.2	1.0
	钢结构重力	1.1或1.2	1.0
	预加力	1.2	1.0
	土的重力	1.2	1.0
	混凝土的收缩徐变作用	1.0	1.0
	土的侧压力	1.4	1.0
	水的浮力	1.0	1.0
	基础变位作用:混凝土与圬工结构	0.5	0.5
	基础变位作用:钢结构	1.0	1.0
$r_{Q1}$	汽车荷载(含冲击力和离心力)		
	1.4		

基金项目:国家西部交通建设科技项目,项目编号2008 318 494 04

收稿日期:2010-11-26

### 1.2 英国 BS5400 规范

BS5400 规范包含 10 个部分,其中第二部分是关于荷载的规定。该规范将荷载组合分为承载力极限状态(Ultimate Limitstate,简称为 ULS)和正常使用极限状态(Serviceability Limit State,简称为 SLS)组合,英国 BS5400 规范中的荷载组合见表 2。

表 2 BS5400 规范荷载组合及分项系数

荷载	极限状态	不同组合的分项系数				
		1	2	3	4	5
恒载:钢	ULS	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	SLS	1	1	1	1	1
混凝土	ULS	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
	SLS	1	1	1	1	1
二期恒载	ULS	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
	SLS	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
恒载和二期恒载	ULS	1	1	1	1	1
高级公路桥荷载 HA	ULS	1.5	1.25	1.25		
	SLS	1.2	1	1		
HA 和 HB 或独立的 HB	ULS	1.3	1.1	1.1		
	SLS	1.1	1	1		
离心力的相关荷载	ULS				1.5	
	SLS				1	
制动力和牵引力: HA 及相关荷载	ULS				1.25	
	SLS				1	
HB 及相关活载	ULS				1.1	
	SLS				1	

### 1.3 加拿大规范

加拿大规范中的荷载组合见表 3。

表 3 加拿大荷载组合及分项系数

荷载组合	恒荷载			汽车荷载
	D	E	P	L
FLS1	1	1	1	1
SLS1	1	1	1	0.9
SLS2	0	0	0	0.9
ULS1	$\alpha_D$	$\alpha_E$	$\alpha_P$	1.7
ULS2	$\alpha_D$	$\alpha_E$	$\alpha_P$	1.6
ULS3	$\alpha_D$	$\alpha_E$	$\alpha_P$	1.4

注:FLS 为疲劳极限状态, SLS 为正常使用极限状态, ULS 为承载力极限状态, D 为恒荷载, E 为土压力和净水压力产生的附加力, P 为二次预应力, L 为汽车荷载,  $\alpha_D, \alpha_E$  及  $\alpha_P$  的取值见表 4。

表 4 恒荷载在荷载组合中的系数取值

恒荷载	$\alpha_D$ 的最大值	$\alpha_D$ 的最小值
预制构件, 不包括木材	1.10	0.95
现浇混凝土, 木材及附属构件	1.20	0.90
磨损层	1.50	0.65
填土压力, 桩的负摩阻力	1.25	0.80
水压力	1.10	0.90
与地震荷载组合时恒载系数	$\alpha_D$ 的最大值	$\alpha_D$ 的最小值
所有恒载在 ULS5	1.25	0.80
土压力和静水压力	$\alpha_E$ 的最大值	$\alpha_E$ 的最小值
被动土压力	1.25	0.50
静止土压力	1.25	0.80
主动土压力	1.25	0.80
回填土压力	1.25	0.80
静水压力	1.10	0.90
预应力	$\alpha_P$ 的最大值	$\alpha_P$ 的最小值
二次预应力效应	1.05	0.95

### 1.4 美国 AASHTO 规范

美国 AASHTO 规范中的荷载分项系数见表 5、表 6。

表 5 美国 AASHTO 规范荷载组合和荷载分项系数

荷载组合	恒荷载	汽车荷载
承载力极限状态 I	$\gamma_D$	1.75
承载力极限状态 II	$\gamma_D$	1.35
承载力极限状态 III	$\gamma_D$	—
承载力极限状态 IV	$\gamma_D$	—
承载力极限状态 V	$\gamma_D$	1.35
极端情况 I	$\gamma_D$	$\gamma_E Q$
极端情况 II	$\gamma_D$	0.50
正常使用极限状态 I	1.00	1.00
正常使用极限状态 II	1.00	1.30
正常使用极限状态 III	1.00	0.80
正常使用极限状态 IV	1.00	—

表 6 恒荷载的分项系数  $\gamma_D$

荷载类型	分项系数	
	最大值	最小值
构件和附属构件的自重	1.25	0.90
桩的负摩阻力	1.80	0.45
磨损层	1.50	0.65
水平土压力	活动土压力	1.50
	静止土压力	1.35
	施工状态应力	1.00
垂直土压力	整体稳定	1.00
	挡土墙和桥台	1.35
	埋置式刚性结构	1.30
	刚性框架	1.35
	柔性的隐蔽工程或金属	1.95
	箱型柔性金属管涵	1.50
挡土墙上填土	1.50	0.75

### 1.5 欧洲公路桥梁规范

欧洲规范中的荷载组合见表7。

表7 欧洲公路桥梁规范荷载组合和分项系数

荷载组合	恒荷载		主要可变荷载
	对结构不利	对结构有利	
组合一	1.10	0.90	1.5
组合二	1.35	1.25	1.5

### 2 桥梁样本的选择

本次研究以国内最常用的T梁、板梁、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 m、8 m、10 m、13 m、16 m、20 m、25 m、30 m、35 m、40 m及50 m,横向选取26 m标准路基宽度,其半幅桥梁宽12.75 m。

表8 标准桥梁跨径样本

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 计算理论

基于以上对于各国规范的分析,对样本桥梁的恒载和汽车荷载加以综合,得到了承载能力极限状态下的最简单的基本组合—— $r_1$ 恒+ $r_2$ 汽将这些效应值进行计算分析。其中恒载自重比重取 $25 \text{ kN/m}^3$ 。汽车荷载的标准值取文献[3]的结果,该效应值中不考虑汽车冲击系数的影响。

### 4 各国规范荷载基本组合效应值的比较

#### 4.1 弯矩组合效应值的对比

##### 4.1.1 板梁弯矩组合效应值的对比

对所选样本的板梁弯矩组合效应值进行对比分析,比较结果如图1所示。

从图1数据可以看出,各国桥梁恒载与汽车荷载在同座桥梁结构上产生的组合效应值趋势较相同。英国和欧洲规范产生的弯矩组合效应值最大。我国规范在各板梁结构上产生的弯矩组合效应值最小。

从数值上看,就以上板梁样本来说,英国规范产生的弯矩组合效应值比我国规范大15%~20%,且随着跨径的增大,英国和我国规范的差值亦在增大。同欧洲规范相比,我国规范产生的弯矩组合效应小

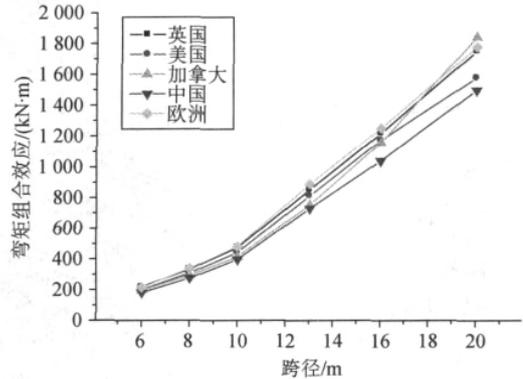


图1 板梁弯矩组合效应值比较

20%左右,且欧洲规范同我国规范的差值在减小。

##### 4.1.2 T梁弯矩组合效应值的对比

对所选样本的T梁组合效应值进行对比分析,比较结果如图2所示。

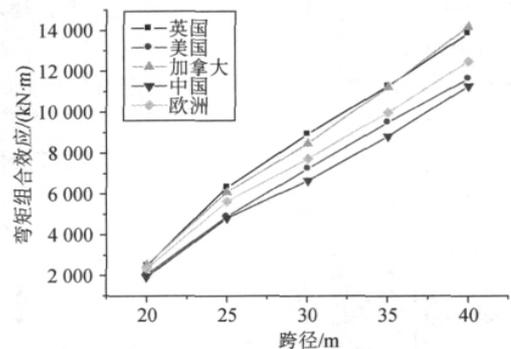


图2 T梁弯矩组合效应值比较

从图2数据可以看出,各国桥梁汽车荷载在同座桥梁结构上产生的组合效应值趋势较相同。英国和加拿大产生的弯矩组合效应值最大。我国规范在各T梁结构上产生的弯矩组合效应值最小。

从数值上看,就以上T梁样本来说,英国规范产生的弯矩组合效应值比我国规范大20%~30%,且随着跨径的增大,英国规范和我国规范的差值较稳定。同加拿大规范相比,我国规范产生的弯矩组合效应小25%~30%,且加拿大规范同我国规范的差值在减小。

##### 4.1.3 组合箱梁弯矩组合效应值的对比

对所选样本的组合箱梁的组合效应值进行对比分析,比较结果如图3所示。

从图3数据可以看出,各国桥梁恒载和汽车荷载在同座桥梁结构上产生的组合效应值趋势相同。加拿大和欧洲规范产生的弯矩组合效应值最大。我

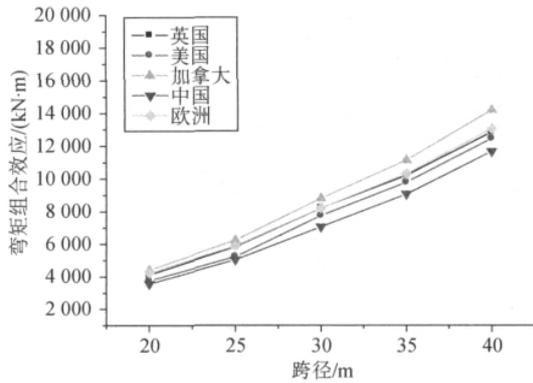


图 3 组合箱梁弯矩组合效应值比较

国规范在各组合箱梁结构上产生的弯矩组合效应值最小。

从数值上看,就以上组合箱梁样本来说,加拿大规范产生的弯矩组合效应值比我国规范大 20%~25%,且随着跨径的增大,加拿大和我国规范的差值较稳定。同欧洲规范相比,我国规范产生的弯矩组合效应小 10%~20%,且欧洲规范同我国规范的差值在减小。

#### 4.1.4 整体式箱梁弯矩组合效应对比

对所选样本的整体式箱梁组合效应值进行对比分析,比较结果如图 4 所示。

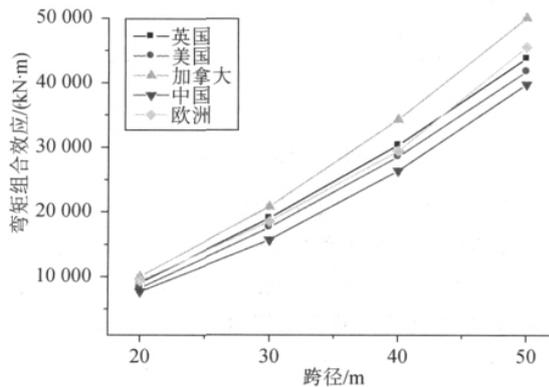


图 4 整体式箱梁弯矩组合效应值比较

从图 4 数据可以看出,各国桥梁汽车荷载在同座桥梁结构上产生的组合效应值趋势较相同。加拿大规范产生的弯矩组合效应值最大。我国规范在各整体式箱梁结构上产生的弯矩组合效应值最小。

从数值上看,就以上整体式箱梁样本来说,加拿大规范产生的弯矩组合效应值比我国规范大 25%~30%,且随着跨径的增大,加拿大和我国规范的差值较稳定。英国规范、欧洲规范产生的效应值相当,比我国规范产生的弯矩组合效应大 15%~20%,且差

值较稳定。

## 4.2 剪力组合效应值的对比

### 4.2.1 板梁剪力组合效应值的对比

对所选样本的板梁剪力组合效应值进行对比分析,比较结果如图 5 所示。

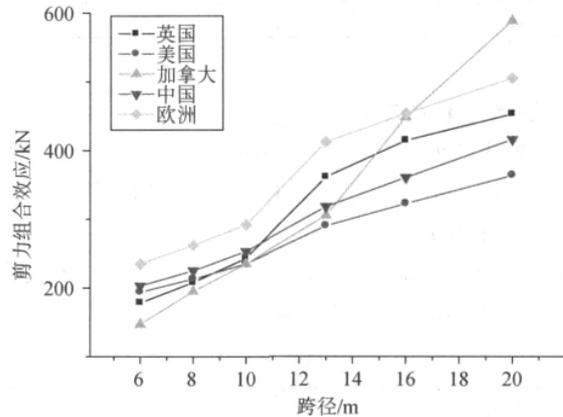


图 5 板梁剪力组合效应值比较

从图 5 的数据可以看出,欧洲规范产生的剪力组合效应值最大,美国和加拿大(跨径较小时)产生的剪力组合效应值较小。

从数值上看,就以上板梁样本来说,欧洲规范产生的剪力组合效应值比我国规范大 15%~30%,且随着跨径的增大,欧洲规范和我国规范的差值亦在增大。同英国规范相比,我国规范产生的剪力组合效应小 10%左右,且英国规范同我国规范的差值在减小。美国规范产生的剪力组合效应值最小,与我国规范相比,美国规范产生的剪力组合效应值小 5%~10%,且随着跨径的增大,剪力组合效应的差值在增大。

### 4.2.2 T 梁剪力组合效应值的对比

对所选样本桥梁的 T 梁组合效应值进行对比分析,比较结果如图 6 所示。

从图 6 的数据可以看出,英国产生的剪力组合效应值最大,美国规范产生的剪力组合效应值最小。

从数值上看,就以上 T 梁样本来说,英国规范产生的剪力组合效应值比我国规范大 10%~50%左右,且随着跨径的增大,英国和我国规范的差值在减小。同加拿大规范相比,我国规范产生的剪力组合效应小 10%~20%,且加拿大规范同我国规范的差值较稳定。与我国规范相比,美国规范产生的剪力组合效应值小 15%左右,且随着跨径的增大,剪力组合效应的差值在减小。

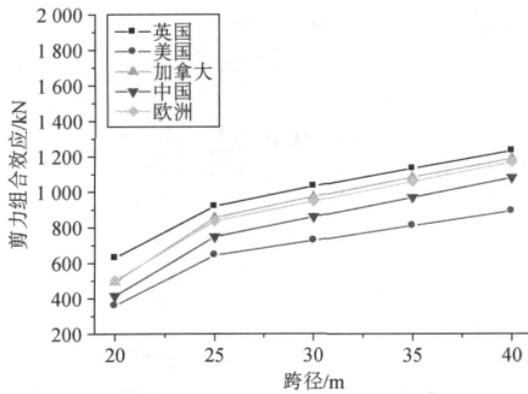


图6 T梁剪力组合效应值比较

#### 4.2.3 组合箱梁剪力组合效应值的对比

对所选样本的组合箱梁的组合效应值进行对比分析,比较结果如图7所示。

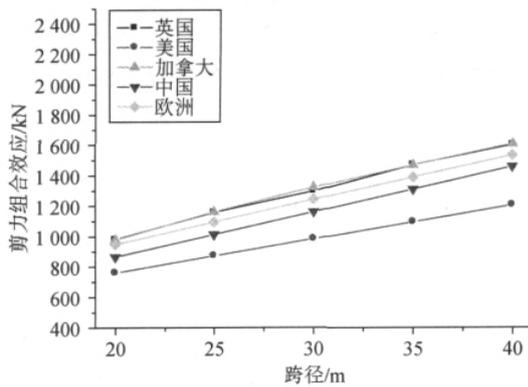


图7 组合箱梁剪力组合效应值比较

从图7的数据可以看出,英国和加拿大产生的剪力组合效应值最大,美国规范产生的剪力组合效应值最小。

从数值上看,就以上组合箱梁样本来说,英国规范产生的剪力组合效应值比我国规范大5%~40%左右,且随着跨径的增大,英国和我国规范的差值在增大。同加拿大规范相比,我国规范产生的剪力组合效应小10%~15%,且美国规范同我国规范的差值较稳定。与我国规范相比,美国规范产生的剪力组合效应值小15%左右,且随着跨径的增大,剪力组合效应的差值较稳定。

#### 4.2.4 整体式箱梁剪力组合效应对比

对所选样本桥梁的整体式箱梁组合效应值进行对比分析,比较结果如图8所示。

从图8的数据可以看出,加拿大和欧洲规范产生的剪力组合效应值最大,美国规范产生的剪力组

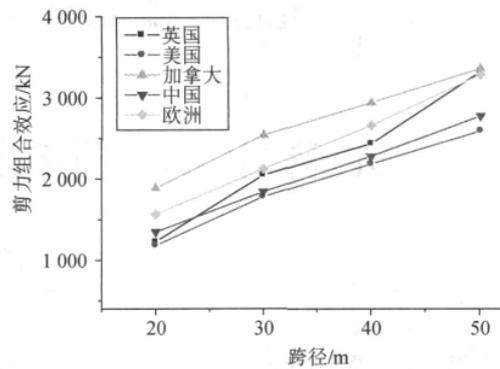


图8 整体式箱梁剪力组合效应值比较

合效应值最小。

从数值上看,就以上整体式箱梁样本来说,加拿大规范产生的剪力组合效应值比我国规范大20%~40%左右,且随着跨径的增大,英国和我国规范的差值在减小。同欧洲规范相比,我国规范产生的剪力组合效应值小15%左右,且欧洲规范同我国规范的差值较稳定。与我国规范相比,美国规范产生的剪力组合效应值小5%~10%,且随着跨径的增大,剪力组合效应的差值较稳定。

## 5 结语

(1)各国公路桥梁规范所规定的恒载和活载的分项系数取值差异较大,从分项系数的取值上看,我国在恒载分项系数的取值上处在中等水平,而汽车荷载分项系数的取值上处在较低的水平。

(2)当汽车荷载效应值不考虑冲击系数时,按照各国规范所得荷载效应组合值大不相同,其中最大值与我国规范之比可达1.4倍。对大部分国家的荷载标准来说,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)在本文所研究的国家规范中,我国规范中规定的桥梁恒载与汽车荷载产生的组合效应值处于较低的水平。

## 参考文献:

- [1] 李扬海,鲍卫刚.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.
- [2] JTGD60-2004公路桥涵设计通用规范[S].
- [3] 周勇军,梁玉照,贺拴海.国内外公路桥梁汽车荷载标准值对比分析[J].建筑科学与工程学报,2010,(12):71-73.
- [4] 阴存欣.深圳特区公路简支梁桥设计荷载效应国内外规范比较研究[J].特种结构,2002,(12):71-73.