

城市桥梁与公路桥梁汽车荷载的比较和分析

王瑞琦, 马小刚, 王继忠

(辽宁省城乡建设规划设计院, 辽宁沈阳 110006)

摘要: 该文通过对多种跨径的单跨简支箱梁的计算, 比较了新、旧公路桥规与城市桥梁荷载作用下的内力, 分析出以上三种规范或标准相应等级的汽车荷载基本上是同一量级的, 但对于箱梁和铰接梁板桥却有较大的差别。这一差别在车辆接近于设计荷载时是不容忽视的。

关键词: 城市桥梁; 公路桥梁; 汽车荷载

中图分类号: U441.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)05-0154-04

0 前言

交通部 2004 年发布并实施的《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60-2004)^[1] (以下简称《新桥规》) 代替了 1989 年发布的《公路桥涵设计通用规范》(JTJ021-89)^[2] (以下简称《旧桥规》)。建设部于 1998 年发布了《城市桥梁设计荷载标准》(CJJ77-98)^[3] (以下简称《城市标准》)。三种规范或标准对汽车荷载的规定均不相同,《旧桥规》的计算荷载分为汽车-10级、汽车-15级、汽车-20级和汽车-超20级四个等级,并分别按履带-50、挂车-80、挂车-100、挂车-120荷载验算。《新桥规》则简化为公路-I级和公路-II级两个等级。《城市标准》也分为两个等级:城-A级和城-B级。这就出现了问题:过去的桥涵多是按《旧桥规》设计的,《新桥规》和《城市标准》发布后,新的汽车荷载在通过这些桥涵时在安全方面是否存在问题?它们之间有多大差别?该文以双车道简支箱梁桥为计算模型,对三种荷载作了比较和分析。

1 计算模型

为了比较《新桥规》、《旧桥规》和《城市标准》三种汽车荷载的影响,必须选取一个统一的计算模型。为计算简便起见,选择全宽 8 m,净宽 7 m 的双车道单跨简支箱梁作为计算模型。跨径由 5 m 至 50 m。当跨径 $L \leq 13$ m 时,采用钢筋混凝土实心箱梁(见图 1 a),混凝土为 C30;当跨径 $16 \text{ m} \leq L \leq 25$ m 时采用钢筋混凝土箱梁(见图 1 b),混凝土为 C30;当跨径 $L \geq 30$ m 时采用预应力混凝土箱梁(见图 1 c),混凝土为 C40。

2 冲击系数的比较

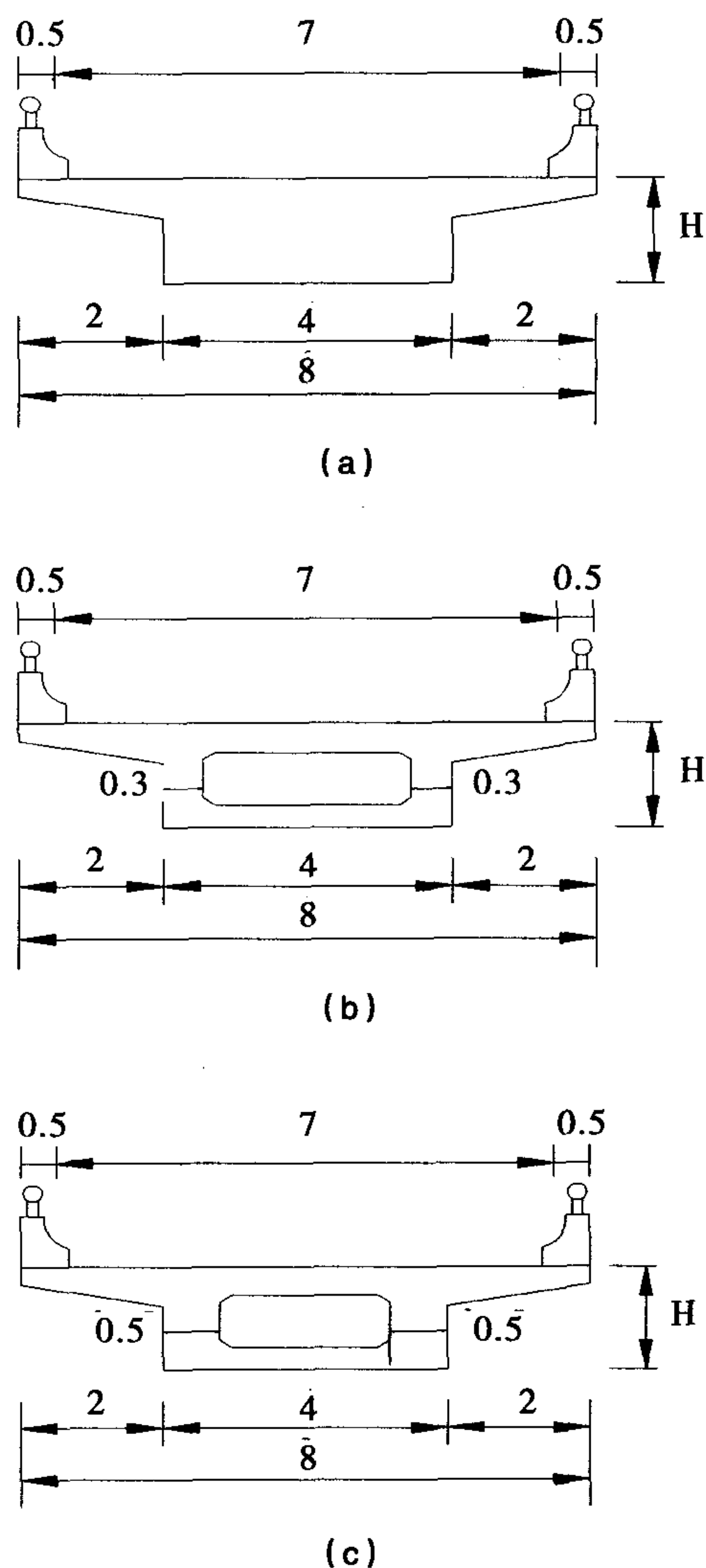


图 1 单跨简支梁计算模型

这里仅对图 1 所示的钢筋混凝土和预应力混凝土简支梁的冲击系数进行比较。

《旧桥规》规定,当简支梁计算跨径 $L_0 \leq 5$ m 时,冲击系数 $\mu = 0.30$;当 $L_0 \geq 45$ m 时, $\mu = 0$ 。当 L_0 在 5 m 和 45 m 之间时按直线内插法求得。

如以冲击系数 μ 为纵坐标轴,计算跨径 L_0 为横坐标轴,则可由两点式直线方程得

收稿日期: 2006-05-15

作者简介: 王瑞琦(1974-),男,辽宁沈阳人,工程师,从事道桥工程设计工作。

$$\frac{(\mu_2 - \mu_1)}{(L_2 - L_1)} = \frac{(\mu - \mu_2)}{(L_0 - L_2)}, \text{即}$$

$$\frac{(0 - 0.3)}{(45 - 5)} = \frac{(\mu - 0)}{(L_0 - 45)}$$

整理后可得插值公式

$$\mu = 0.3375 - 0.0075L_0 \quad (5 \text{ m} \leq L_0 \leq 45 \text{ m}) \quad (1)$$

《城市标准》车道荷载的冲击系数

$$\mu = 20 / (80 + L_0) \quad (2)$$

当 $L_0 = 20 \text{ m}$ 时, $\mu = 0.2$; $L_0 = 150 \text{ m}$ 时, $\mu = 0.1$ 。

《新桥规》冲击系数的计算有了本质的改变, 它不以计算跨径为依据, 而是以结构基频 f 为依据:

$$\left. \begin{array}{l} \text{当 } f < 1.5 \text{ Hz 时, } \mu = 0.05 \\ \text{当 } 1.5 \text{ Hz} \leq f \leq 14 \text{ Hz 时, } \mu = 0.1767 \ln f - 0.0157 \\ \text{当 } f > 14 \text{ Hz 时, } \mu = 0.45 \end{array} \right\} \quad (3)$$

对于简支梁桥结构的基频可用下式估算

$$f = \frac{\pi}{2L_0} \sqrt{\frac{EI_c}{m_c}} \quad (4)$$

$$m_c = \frac{G}{g} \quad (5)$$

式中, L_0 ——结构的计算跨径(m);

E ——结构材料的弹性模量(N/m^2);

I_c ——结构跨中截面的截面惯性矩(m^4);

m_c ——结构跨中处的单位长度质量(kg/m),

当换算为重力计算时, 其单位应为(NS^2/m^2);

G ——结构跨中处延米结构重力(N/m);

g ——重力加速度, $g = 9.81 (\text{m/s}^2)$ 。

基频计算数值见表 1。

表 1 基频计算表

跨径(m)	计算跨径(m)	梁高(m)	惯性矩 $I_c (\text{m}^4)$	基频 f_1
5	4.6	0.3	0.0107	18.22
8	7.6	0.4	0.0257	9.463
10	9.6	0.5	0.0504	7.711
13	12.6	0.65	0.1099	6.016
16	15.6	0.8	0.1947	5.519
20	19.5	1.0	0.3539	4.674
25	24.4	1.3	0.6936	4.068
30	29.0	1.6	1.2058	3.637
35	34.0	2.0	2.1103	3.340
40	39.0	2.4	3.3230	3.051
45	44.0	2.8	4.8757	2.791
50	48.8	3.2	6.8000	2.583

按《新桥规》、《旧桥规》和《城市标准》算出的冲击系数值列于表 2 中。从表 2 可以看出,《新桥规》比《旧桥规》和《城市标准》的冲击系数都高很多。当跨径大于 30 m 时,《新桥规》比《旧桥规》大

的更多。而《城市标准》则在小跨径时与《新桥规》相差较多, 在较大跨径时则与《新桥规》非常接近。

表 2 冲击系数比较表

跨径(m)	μ_x (新桥规)	μ_j (旧桥规)	μ_c (城市荷载)	μ_j/μ_x	μ_c/μ_x
5	0.450	0.300	0.236	0.67	0.53
8	0.381	0.281	0.228	0.74	0.60
10	0.345	0.266	0.223	0.77	0.65
13	0.301	0.243	0.216	0.81	0.72
16	0.286	0.221	0.209	0.77	0.73
20	0.257	0.191	0.200	0.74	0.78
25	0.232	0.155	0.192	0.67	0.82
30	0.212	0.120	0.183	0.56	0.86
35	0.200	0.083	0.175	0.42	0.89
40	0.181	0.045	0.168	0.25	0.93
45	0.166	0	0.161	0	0.97
50	0.152	0	0.155	0	1.02

3 最大弯矩的比较

简支梁的最大弯矩位于跨中截面。《新桥规》和《城市标准》规定均布荷载和一个集中力作为标准荷载, 这样求最大弯矩就比较简单:

$$M_{\max} = \left(\frac{qL_0^2}{8} + \frac{P_k L_0}{4} \right) \times 2 \times (1 + \mu) \quad (6)$$

式中, q ——均布荷载(kN/m)

P_k ——集中力(kN)

μ ——冲击系数。

而《旧桥规》是以汽车车队进行计算, 以一辆挂车进行验算的。这样, 桥上有多个集中力, 计算就繁琐得多。下面以一辆挂车为例说明其计算方法。计算简图见图 2。

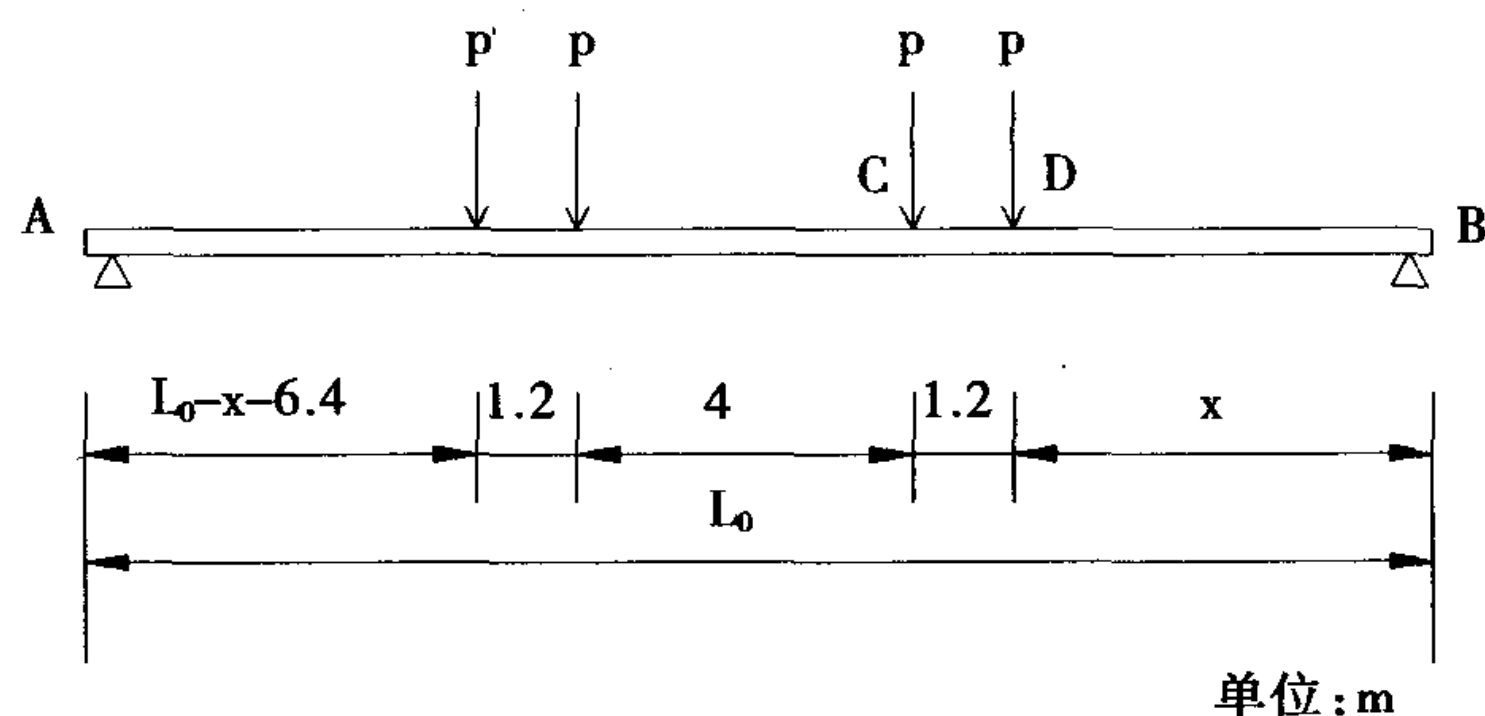


图 2 挂车计算简图

当计算跨径 L_0 较大时, 挂车的四个轴都作用到桥上才能使弯矩达到最大值。如果 L_0 较小时, 就要考虑有的轴不在桥上的情况。这里假定 $L_0 = 29 \text{ m}$, 四个轴都作用在桥上时, 才会取得最大弯矩值(见图 2)。设最右面的一个轴距支点 B 的距离为 x 。

支反力

$$R_A = \frac{P[x + (x+1.2) + (x+5.2) + (x+6.4)]}{L_0}$$

$$= \frac{P(4x+12.8)}{L_0}$$

$$M_c = R_A(L_0 - x - 1.2) - 9.2P$$

$$= \frac{P(4x+12.8)(L_0 - x - 1.2)}{L_0} - 9.2P$$

由 $dM_c/dx=0$, 得 $-(4x+12.8)+4(L_0-x-1.2)=0$

解得 $x=L_0/2-2.2=12.3\text{ m}$

将 x 代入 M_c 中, 即得到最大弯矩。

对于汽-20和汽-超20的算法与上面相似, 只是要考虑整个车队会有几个轴作用在桥上才能使弯矩取得最大值。

表3列出了公路-I级、城-A级、汽-超20和挂-120的最大弯矩值。

表4列出了公路-II级、城-B级、汽-20和挂-100的最大弯矩值。

考虑到挂车组合时要乘1.1, 汽车组合时要乘1.4, 为了便于比较, 表中将挂车值乘以(1.1/1.4)予以折算。

从表3中可以看出公路-I级与城-A级的最大弯矩值是比较接近的, 在 $L=13\sim 40\text{ m}$ 范围内, 误差仅为 $\pm 6\%$ 。而公路-I级比汽-超20则大(10~20)%, 冲击系数增大是其中一个原因。挂-120的折算值低于汽-超20, 不控制设计。

从表4中可以看出, 公路-II级与城-B级荷载则起伏较大, 误差在 $\pm 15\%$ 左右。而公路-II级与汽-20则比较接近, 尤其在 $L\leq 20\text{ m}$ 的小跨径范围内, 误差在8%以内。大跨径相差较多也是由于冲击系数的影响。挂-100的折算值低于汽-20, 不控制设计。

表3 公路-I级、城-A级、汽-超20、挂-120
最大弯矩值比较表(单位: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

跨径 (m)	公路-I 级 M_1	城-A 级 M_A	汽-超 20 M_{20}	挂-120 $M_{120}\times 1.1/1.4$	M_A/M_1	M_{20}/M_1	M_{120}/M_1 $\times 1.1/1.4$
5	680.8	545.3	603.2	409.9	0.80	0.89	0.60
8	1208.9	1052.5	1123.0	759.9	0.87	0.93	0.63
10	1606.5	1456.1	1461.8	1100.3	0.91	0.90	0.68
13	2267.4	2158.4	1955.8	1819.1	0.95	0.86	0.80
16	3052.7	2975.7	2584.1	2511.9	0.97	0.83	0.82
20	4170.7	4208.2	3765.0	3419.1	1.01	0.86	0.82
25	5798.3	6134.7	5110.6	4564.4	1.06	0.88	0.79
30	7528.9	7636.4	6547.3	5642.5	1.01	0.86	0.75
35	9658.7	9391.8	8201.8	6816.3	0.97	0.85	0.71
40	11996.8	11274.8	9875.4	7991.3	0.94	0.82	0.67
45	14540.5	13285.2	11528.2	9167.1	0.91	0.79	0.63
50	17185.4	15334.7	13549.5	10296.5	0.89	0.79	0.60

表4 公路-II级、城-B级、汽-20、挂-100
最大弯矩值比较表(单位: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

跨径 (m)	公路-II 级 M_2	城-B 级 M_A	汽- 20 M_{20}	挂-100 $M_{100}\times 1.1/1.4$	M_A/M_2	M_{20}/M_2	M_{100}/M_2 $\times 1.1/1.4$
5	510.6	494.0	517.0	341.6	0.97	1.01	0.67
8	906.7	943.8	962.6	633.2	1.04	1.06	0.70
10	1204.9	1298.8	1307.1	916.9	1.08	1.08	0.76
13	1700.5	1912.9	1843.0	1515.9	1.12	1.08	0.89
16	2289.5	2623.9	2358.7	2093.2	1.15	1.03	0.91
20	3128.1	3691.5	2998.9	2849.2	1.18	0.96	0.91
25	4348.7	4010.8	3852.8	3803.6	0.92	0.88	0.87
30	5646.7	5109.6	4685.6	4702.1	0.90	0.82	0.83
35	7244.0	6424.4	5965.5	5680.3	0.89	0.82	0.78
40	8997.6	7863.9	7035.8	6659.4	0.87	0.78	0.74
45	10905.4	9427.4	8244.6	7639.3	0.86	0.76	0.70
50	12889.1	11044.4	9818.8	8580.4	0.86	0.76	0.67

4 最大剪力的比较

表5是公路-I级、城-A级、汽-超20和挂-120最大剪力值比较表; 表6是公路-II级、城-B级、汽-20和挂-100最大剪力值比较表。从表5中可以看出公路-I级与城-A级在 $L\geq 25\text{ m}$ 的大跨径范围内最大剪力值相当接近, 误差仅为6%。而在小跨径则起伏较大。公路-I级与汽-超20在 $L=13\sim 30\text{ m}$ 的中等跨径范围内相当接近, 误差不超过7%, 在较小跨径和较大跨径, 公路-I级比汽-超20最大剪力要大(10~20)%。

公路-II级与城-B级的最大剪力值起伏较大, 在15%左右。公路-II级与汽-20在 $L\leq 16\text{ m}$ 的小跨径范围内很接近, 误差不大于8%。而在较大跨径范围内, 公路-II级则比汽-20大15%左右, 甚至更多。这里面冲击系数的影响占很大因素。

表5 公路-I级、城-A级、汽-超20、挂-120
最大剪力值比较表(单位: kN)

跨径 (m)	公路-I 级 Q_1	城-A 级 Q_A	汽-超 20 Q_{20}	挂-120 $Q_{120}\times 1.1/1.4$	Q_A/Q_1	Q_{20}/Q_1	Q_{120}/Q_1 $\times 1.1/1.4$
5	696.4	559.5	618.6	409.9	0.80	0.89	0.59
8	741.5	694.0	651.0	545.9	0.94	0.88	0.74
10	776.1	782.9	695.0	628.6	1.01	0.90	0.81
13	829.3	915.0	823.1	703.4	1.10	0.99	0.85
16	897.2	1046.0	910.1	749.5	1.17	1.01	0.84
20	975.2	1214.5	972.7	788.1	1.25	1.00	0.81
25	1077.5	1511.1	1028.1	819.2	1.06	0.95	0.76
30	1172.3	1224.9	1092.7	838.8	1.04	0.93	0.72
35	1278.1	1304.7	1139.6	854.1	1.02	0.89	0.67
40	1379.8	1384.2	1160.0	865.5	1.00	0.84	0.63
45	1478.5	1463.2	1176.1	874.3	0.99	0.80	0.59
50	1572.3	1538.8	1234.3	881.0	0.98	0.78	0.56

表 6 公路 - II 级、城 - B 级、汽 - 20、挂 - 100 最大剪力值比较表(单位:kN)

跨径 (m)	公路 - II 级 Q_2	城 - B 级 Q_A	汽 - 20 Q_{20}	挂 - 100 $Q_{100} \times 1.1/1.4$	Q_A/Q_2	Q_{20}/Q_2	$Q_{100}/M_2 \times 1.1/1.4$
5	522.3	463.7	530.3	341.6	0.89	1.02	0.65
8	556.	522.7	602.5	454.9	0.99	1.08	0.82
10	582.1	611.6	629.6	523.8	1.05	1.08	0.90
13	622.0	699.2	648.7	586.2	1.12	1.04	0.94
16	672.8	786.0	655.3	624.5	1.17	0.97	0.93
20	731.4	897.8	654.6	656.8	1.23	0.90	0.90
25	808.1	701.1	695.3	682.7	0.87	0.86	0.84
30	879.2	756.2	745.2	699.0	0.86	0.85	0.80
35	958.6	815.8	773.5	711.8	0.85	0.81	0.74
40	1034.8	874.9	785.0	721.2	0.85	0.76	0.70
45	1108.9	933.7	814.6	728.6	0.84	0.73	0.62
50	1179.2	989.8	866.7	734.2	0.84	0.73	0.62

5 荷载横向分布的影响

以上是按简支箱形梁进行整体计算的, 没有考虑荷载横向分布的影响。对于铰接 T 梁和空心板桥, 则必须考虑荷载横向分布的影响, 求出最不利的一块板梁的最大弯矩值和最大剪力值, 用以控制全桥的设计。

在《城市标准》第 48 页有一个计算示例, 分别用城 - A、城 - B、汽 - 超 20、挂 - 120 和汽 - 20、挂 - 100 等各种荷载对某铰接 T 梁桥进行了计算。跨径 $L=30\text{ m}$, 净 7, 五根主梁, 主梁间距 1.6 m 。计算结果见表 7。

表 7 最大弯矩(kN·m)和最大剪力(kN)折算值						
	汽 - 超 20 $\times 1.4$	挂 - 120 $\times 1.1$	城 - A 级 $\times 1.4$	汽 - 20 $\times 1.4$	挂 - 100 $\times 1.1$	城 - B 级 $\times 1.4$
M_{\max}	2303.28	2815.34	2417.52	1690.22	2346.08	1486.66
Q_{\max}	345.24	462.66	355.74	251.02	385.55	256.06

从表 7 中可以看出, 汽 - 超 20 与城 - A 级最大弯矩的比值为 $(2302.28/2417.52)=0.95$ 最大剪力的比值为 $(345.24/355.74)=0.97$, 二者是比较接近的。但挂 - 120 $\times 1.1$ 与城 A 级 $\times 1.4$ 的最大弯矩比值为 $(2815.34/2417.52)=1.16$, 最大剪力比值为 $(426.66/355.74)=1.30$, 显然, 挂 - 120 比城 - A 级的最大弯矩和最大剪力值要大得多。同样, 汽 - 20 与城 - B 级也比较接近, 但挂 - 100 要比城 - B 级大得多, 最大弯矩比为 $(2346.08/1486.66)=1.58$, 最大剪力比为 $(385.55/256.06)=1.51$ 。可见, 在本示例中, 由挂车控制设计。

一般来说, 对于铰接板、梁桥, 公路桥梁荷载(旧桥规)的内力比公路桥梁荷载(新桥规)和城

市桥梁荷载的内力大。其主要原因是挂车控制设计。

6 结论和建议

6.1 结论

城 - A 级、公路 - I 级和汽 - 超 20(含验算荷载挂 - 120)基本上是同一量级的荷载。其中, 城 - A 级与公路 - I 级更为接近。

对于不同类型的桥梁结构, 各种荷载产生的内力大小各不相同。对于简支箱梁结构, 城 A 级和公路 I 级产生的内力比汽 - 超 20(包括挂 - 120)要大; 对于铰接梁板桥, 则反之。

城 - B 级、公路 - II 级和汽 - 20(包括挂 - 100)与上类似。

6.2 问题

虽然新、旧公路桥规和城市荷载基本上是同一量级的, 但对于接近设计荷载时, 这种差别就会体现出来了。完全达到公路 - I 级设计荷载的车辆, 经过城市 - A 级的立交桥就不一定能够通过, 反之也是如此。车辆在经过高速公路后往往也要通过城市, 从城市出来的车辆往往也要通过高速公路。荷载不是很大时不会出现问题。但在接近设计荷载时, 就必须进行验算。这就给交通运输带来了麻烦。对于设计部门来说, 不同的荷载标准就要编制不同的程序和标准图, 也要浪费一定的人力和物力。

出现这个问题的原因是, 城市桥梁荷载标准是由建设部负责制订的, 而公路桥梁荷载标准是由交通部负责制订的。各部之间缺乏沟通和协作, 就出现了目前的状况。

6.3 建议

建设部与交通部的有关专家协作, 共同制订一个全国统一的荷载标准。这对设计工作和交通运输业都会提供很大的方便条件, 利国利民, 社会效益和经济效益是显而易见的。

参考资料

[1]《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60-2004)中华人民共和国交通部行业标准[S].
[2]《公路桥涵设计通用规范》(JTJ021-89)中华人民共和国交通部部标准[S].
[3]《城市桥梁设计荷载标准》(CJJ77-98)中华人民共和国建设部行业标准[S].