

文章编号: 0451-0712(2004)07-0020-06

中图分类号: U448.215.25

文献标识码: A

连续斜梁桥在偏心活荷载作用下的内力近似计算图式

程翔云

(湖南大学土木工程学院 长沙市 410082)

摘 要: 在文献[3]的理论研究基础上,提出了连续斜梁桥在偏心活荷载作用下的内力近似计算图式和内力增大系数的近似计算方法。通过算例的分析结果表明,本法的精度能够满足设计要求,并且可以大大节约设计人员的计算时间。

关键词: 连续斜梁桥; 计算图式; 偏心活荷载; 增大系数

连续斜梁桥的活载内力(弯矩 M 、剪力 Q 、扭矩 T)设计值 S_i 同连续正梁桥一样,也是按照熟知的一般公式计算,即:

$$S_i = (1 + \mu) k_1 \zeta \sum P_i y_i \quad (1)$$

式(1)中的冲击系数 $(1 + \mu)$ 、荷载横向折减系数 k_1 和车辆轴重 P_i ,都可按照《桥规》中的规定进行计算和确定。对于工程设计人员来说,感到麻烦的有以下 3 方面的问题:

(1) 连续斜梁桥的内力影响线坐标 y_i 可否找到一种较简单的方法来确定;

(2) 内力(或荷载)增大系数 ζ 可否采用用于连续正梁桥上的方法^[1,2]来确定;

(3) 扭矩内力 T 如何计算,需否乘以增大系数 ζ 。

为此,作者在这些方面进行了初步探讨,现将自己的心得提供给读者参考,并望给以补充和完善。

1 关于内力影响线问题

文献[3]对单梁式连续斜箱梁桥的内力影响线已经导出了理论计算公式。它的基本要点是:首先,将偏心布置的车辆荷载简化为作用于桥轴线上的一组集中力 P_i 和一组集中扭矩荷载 T_i^* ($= P_i e$, e 为合力作用点的偏心距);其次,按照理论公式计算和绘出欲求截面(控制截面)在 $P=1$ 和 $T^*=1$ 作用下的内力(譬如说截面弯矩)影响线;再次,分别在 2 种内力影响线上进行布载和分别求出 2 组荷载对欲求截面产生的内力(M^P 和 M^T);最后,叠加这 2 种内力

($M^P + M^T$),便是式(1)中所要求算的 $\sum P_i y_i$ 结果,但不用再乘增大系数 ζ 。

显然,如果没有专用的电算程序,采用查表和手算的方式是十分费时的。为此,作者在文献[4]研究的基础上,提出一种相对而言比较简便的方法,如下面所述。

1.1 简化分析方法要点

(1) 先用一行车的集中力 P_i 作用于桥轴线上,按欲求截面的弯矩进行最不利布载,确定出该截面的最大(小)弯矩 M^P 及其相应的 Q^P 和 T^P 值。

(2) 对于该截面总的弯矩和剪力设计值还要乘以内力增大系数 ζ ,来计入并列行驶的车队数和因扭转、畸变的翘曲双力矩而导致截面内局部应力增大的影响。于是,式(1)可以改写成以下的形式

$$M = (1 + \mu) k_1 \zeta M^P \quad (2)$$

$$Q = (1 + \mu) k_1 \zeta Q^P \quad (3)$$

(3) 对于该截面的总扭矩 T 应是两项值叠加后再乘以有系数 ζ 的结果,即:

$$T = (1 + \mu) k_1 n_1 (T^P + T^T) \quad (4)$$

式中: n_1 为并列行驶的车队数; T^T 为当偏心距 e 位置不变,而用一行车的扭矩荷载算得的、欲求截面的扭矩;其余符号同前。

有关内力增大系数 ζ 和 T^T 的计算问题,本文将在后面叙及,本节着重介绍 M^P 、 Q^P 和 T^P 的简化计算问题。

1.2 M^P 和 Q^P 的近似计算方法

为了讨论问题的连续性、直观性和节省本文篇

幅,本文仍以文献[4]中的A型和混合型连续斜箱梁桥为例,来阐明近似计算方法的具体步骤。计算中所取用的技术参数按原例不变,试求在汽车—20级荷载作用下,对两类结构的第2跨跨中 j 号截面所产生的最大正弯矩值。

(1)设防撞栏宽0.5 m、汽车边轮跨箱梁悬臂翼缘端的最小距离为1 m时,则按2行车队($n_1=2$)布置时,合力点偏心距 $e=2.55$ m;当按3行车队布置时($n_1=3$), $e=1$ m,如图1(1)所示。

(2)按跨径组合与实桥相同的连续正梁桥结构,应用机动法或者平面杆系有限元法的计算程序来绘出 j 号截面弯矩影响线示意图,再按影响线的分布特征布置1行车队中的各个轴重,旨在使 j 号截面的弯矩值接近最大(图1(2))。

(3)按所布置的荷载(1行车)和应用同样的电算程序计算出连续正梁桥在各个中间支点处产生的弯矩 M_i^z 和支反力 R_i^z (上标Z代表正梁桥),其计算结果示于图1(3)。

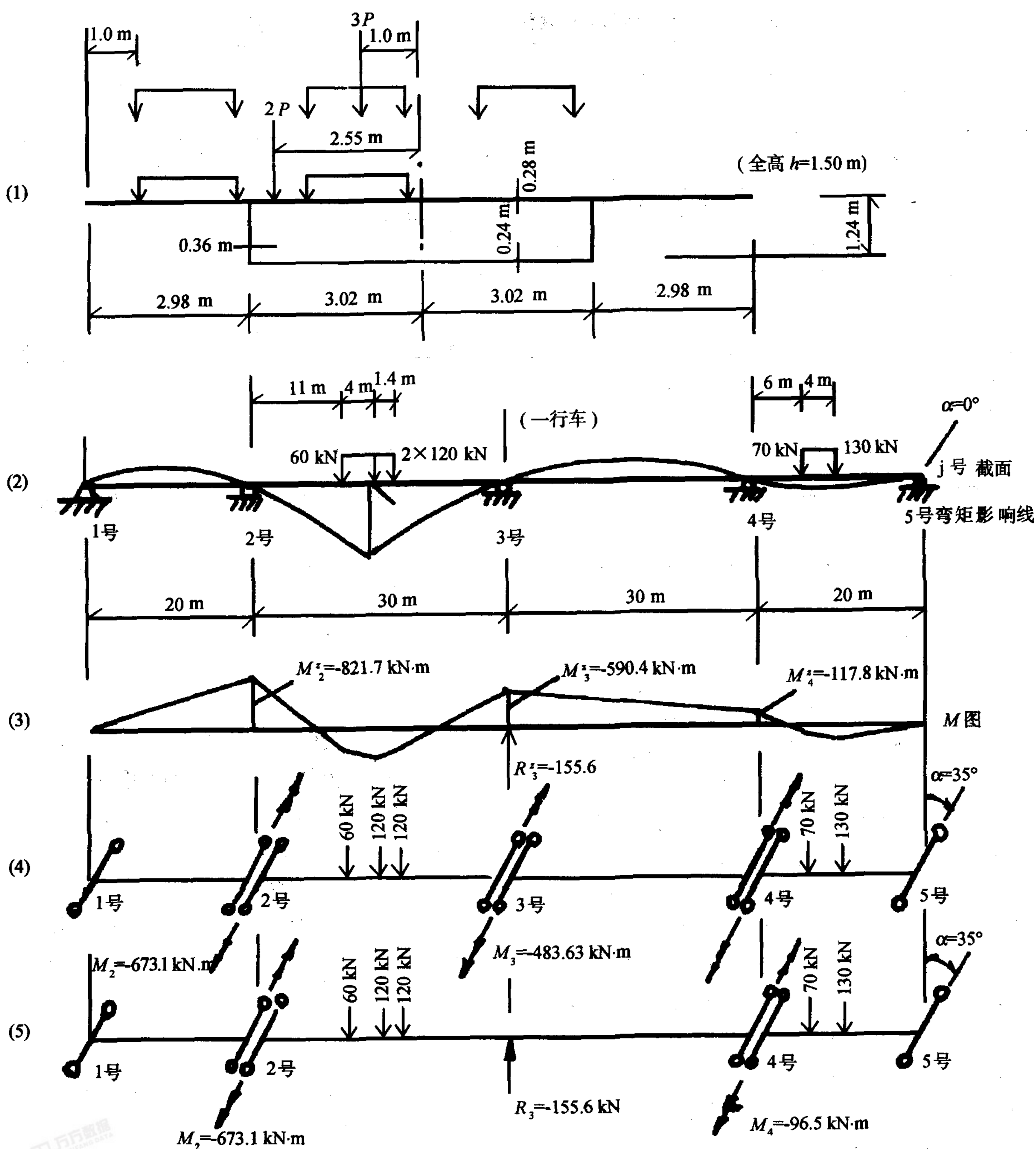


图1 计算步骤和计算图式示意

(4)按照文献[4]中给出的近似计算公式,即:

$$M_i = M_i^* \cos \alpha, R_i \approx R_i^* \quad (5)$$

确定出两类连续斜梁桥在基本结构上的赘余弯矩和赘余支反力,如图 1 中(4)和(5)所示。

(5)将图 1(4)中的 2 号~3 号跨、图 1(5)中的 2 号~4 号跨 2 个超静定简支斜梁桥跨单独取出,将位于其上的荷载和赘余力均视作外荷载,再应用文献[3]中的表 3-2 的公式(或按该表自编的程序)计算对 j 号截面产生的内力(\bar{M}_j^P 、 \bar{Q}_j^P 和 \bar{T}_j^P),其结果分

别列于表 1 和表 3。

(6)将其中的 \bar{M}^P 和 \bar{Q}^P 代入式(2)和式(3),便得出 j 号截面的活载弯矩设计值 M_j^* 及其相应的剪力值 Q_j^* 。表 1 中列出了 2 行车和 3 行车的活载内力设计值。

为了对比,表 1 中还列出了按文献[3]的理论公式算得的 1 行车作用下的 j 号截面内力值,从中可以看出,本文方法具有较高的精度。

表 1 两类连续斜箱梁桥在第二跨跨中截面的活载内力汇总

桥型	计算方法	1 行车的静计算值		计入 $(1+\mu)k_1\zeta$ 系数后之值			
				2 行车		3 行车	
		$\bar{M}_j/(\text{kN} \cdot \text{m})$	\bar{Q}_j/kN	$\bar{M}_j/(\text{kN} \cdot \text{m})$	\bar{Q}_j/kN	$\bar{M}_j/(\text{kN} \cdot \text{m})$	\bar{Q}_j/kN
A 型	本文方法	1 206.58	100.11	2 804.57	232.70	3 849.96	319.43
	文献	由 P 产生	1 225.00	98.72	—	—	—
		由 T^* 产生	2.94	-10.51	—	—	—
	[3]	合 计	1 227.94	88.21	2 854.22	205.04	3 918.11
混合型	本文方法	1 332.71	100.14	3 257.14	244.74	3 390.06	254.73
	文献	由 P 产生	1 286.47	102.66	—	—	—
		由 T^* 产生	63.07	-4.95	—	—	—
	[3]	合 计	1 349.54	97.71	3 298.28	238.80	3 432.87

注:(1)本例 j 号截面的加载长度 $\sum l=50 \text{ m}$,故取 $(1+\mu)=1$;

(2)荷载横向折减系数,对于 2 行车 $k_1=1$,对于 3 行车 $k_1=0.78$;

(3)内力增大系数 ζ 值,见下一节中的表 2,但本表 1 中均按表 2 中的近似计算值 ζ 计算的。

2 内力增大系数 ζ 的计算

2.1 内力增大系数概念

关于内力增大系数概念在一般高校教材中都有介绍。本文为了讨论问题,故作一个简单的回顾。如所周知,桥面上的偏心垂直荷载一般分解为作用于桥轴线上的垂直力和另一个扭矩荷载。前者近似地认为使结构产生均匀下挠及相应的平面弯曲;后者将使截面发生扭转角 θ 及相应的翘曲正应力,从而导致截面一侧的应力比平均应力要大。由于杆件扭转分析十分复杂,不便于设计应用,于是,便提出了简化的分析方法来计入这个应力效应。对于多梁式桥梁,则采用荷载横向分布系数 m ;对于闭口截面的箱形梁,便采用内力(或荷载)增大系数 ζ 。两者有一个共同点,就是把截面的应力分析转变为截面的变形分析,使问题得到简化。例如,对于图 2(1)的多梁式简支梁,作用于其上的一排车合力为 $G_i (=n_1 P_i)$, n_1 为车队数, P_i 为车辆轴重,偏心距为 e ,若各片梁的截面相同,则 1 号边梁所分配的荷载 R_1 可表为

$$R_1 = \frac{G_1}{n} \cdot \left(\frac{\Delta_1' + \Delta_1''}{\Delta_1'} \right) = \left[\left(\frac{1}{n} + \frac{a_1 \theta}{n \Delta_1'} \right) n_1 \right] P_i \quad (6)$$

式中: n 为主梁数; a_1 为 1 号梁至中轴线的距

离; Δ_1' 、 Δ_1'' 和 θ 分别为 1 号梁的竖向位移和全截面扭转角(参见图 2(1))。

显然,式(6)中方括号内的表达式就是用刚性横梁法(又称偏心压力法)计算 1 号梁荷载横向分布系数 m 的另一种表达形式,它又可写成:

$$m = \left(\frac{1}{n} + \frac{a_1 \theta}{n \Delta_1'} \right) n_1 \quad (7)$$

同理,对于图 2(2)的单箱多室箱形截面梁,也可假想地将底板从每室的中点断开,形成多片工字梁。对于边梁所分配的荷载,完全可以按式(7)求算。不过,闭口箱梁的截面设计通常是按整个截面一起考虑的。为了保证边腹板结构的安全,就必须使每片腹板都按边腹板的荷载横向分布系数 m 进行设计。若箱形梁由 n 片腹板构成时,则箱梁所承担的荷载将要增大 ζ 倍,即:

$$\zeta = n \cdot m = \left(1 + \frac{a_1 \theta}{\Delta_1'} \right) n_1 \quad (8)$$

这就是荷载(或内力)增大系数的基本概念。

2.2 增大系数的近似计算

应用文献[3]中的变形公式和本文式(8)来确定 ζ 值是可能的。本文对上述的 2 个桥例进行了计算,

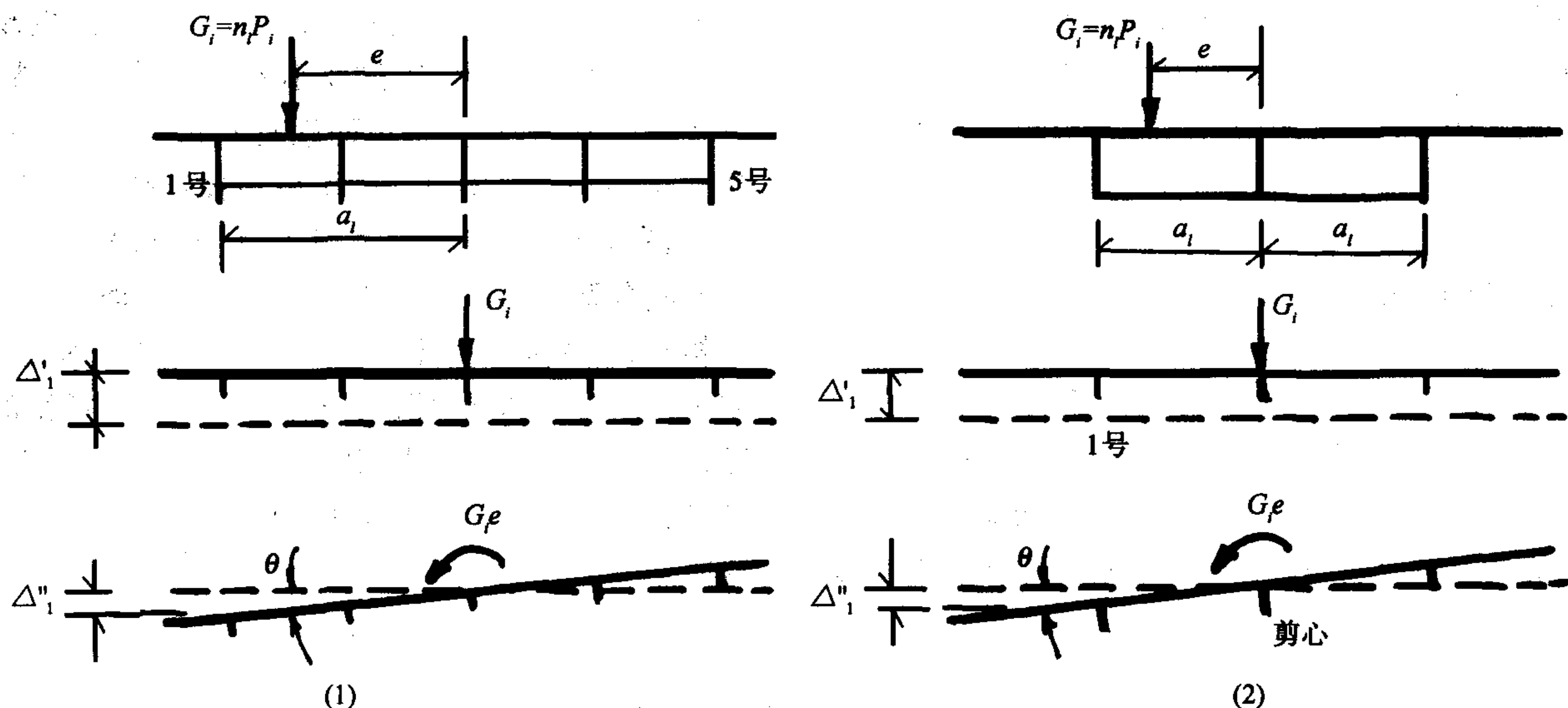


图2 偏心荷载下的变形示意

其结果列于表2中。但是,作者又探讨了近似计算方法,即近似地按连续正梁桥的方法来确定 ζ 值,其要点如下。

(1)根据等代简支梁在跨中单位荷载 $P=1$ 作用下产生的挠度与连续正梁桥对应跨的跨中挠度相等的原理,来确定等代简支梁的抗弯刚度修正系数 C_w ,后者的挠度值可用平面杆系结构程序求出。

(2)同理,根据等代简支梁在跨中单位扭矩荷载 $T^*=1$ 作用下产生的扭转角 θ 与连续正梁桥对应跨

的跨中扭转角相等的原理,来确定等代简支梁的抗扭刚度修正系数 C_θ 。对于全桥均设置抗扭支座的情况,近似取 $C_\theta=1$;对于中间墩有点铰支承的混合情况,可参考文献[2]中的公式计算 C_θ ,其计算也较简单。

(3)将求得的 C_w 、 C_θ 代入修正偏压法的公式[5]中,以确定边腹板的荷载横向分布系数 m ,再应用本文式(8)便得 ζ 的近似值。

限于篇幅,具体过程不再详述。本文仅将按文献[1,2]方法的计算值亦列出于表2。

表2 荷载(内力)增大系数 ζ 值的对比

桥型	项目	j号截面变形计算[3]		荷载(内力)增大系数 ζ			
		2行车	3行车	2行车		3行车	
		$n_1=2$ $e=2.55\text{ m}$	$n_1=3$ $e=1.0\text{ m}$	按变形和式(8)计算	按正桥近似计算[1,2]	按变形和式(8)计算	按正桥近似计算[1,2]
A型	W_{p+i}/m	$145\ 233.37 \frac{1}{EI}$	$217\ 245.66 \frac{1}{EI}$	2.469 3	2.324 4	3.255 4	3.190 8
	θ_{p+i}/rad	$11\ 284.28 \frac{1}{EI}$	$6\ 123.21 \frac{1}{EI}$				
混合型	W_{p+i}/m	$223\ 271.61 \frac{1}{EI}$	$281\ 246.97 \frac{1}{EI}$	2.663 0	2.444 2	3.295 5	3.261 2
	θ_{p+i}/rad	$24\ 508.18 \frac{1}{EI}$	$9\ 173.58 \frac{1}{EI}$				

注:腹板至中轴线距离 $a_1=3.02\text{ m}$ 。

2.3 计算结果分析

从表2中的计算结果对比,可以认为:

(1)按连续正梁桥确定出的 ζ 值与按文献[3]的精确理论分析值比较接近,但稍有偏小,这可能是由于斜桥的弯扭耦合效应所致。从设计角度考虑,这个偏离量是可以接受的。

(2)表2中按文献[3]的变形计算值,都是按图1中(4)和(5)的实际荷载布置,先用三弯矩方程或

力法方程求出赘余力后,再计算j号截面的变形,显然,用手算完成此分析是相当繁琐的;而本文建议按连续正梁桥求 ζ 值的近似方法,只需用2个单位荷载($P=1$ 和 $T^*=1$)作用于跨中,还可借助电算完成挠度分析,因此,计算相对简单得多。具体过程可参见文献[1,2]。

(3)文献[3]中的三弯矩方程或力法方程中,都没把支点截面处翘曲双力矩列入赘余未知力,这表

明整个分析没有计入因翘曲扭转和畸变变形产生的附加正应力(即翘曲正应力)。然而,在它的活载内力计算公式中(文献[3]中的式(9-2))却没有考虑内力增大系数 ξ 值,关于这一点似值商榷。

3 截面扭矩的简化计算

前面介绍了用简化的方法,计算 1 行车的集中力 P_i 作用于桥轴线上时、对 j 号截面产生的扭矩 T_j^P ;本节将介绍用简化的方法来确定由 1 行车的扭矩荷载 T_i^* ($=P_i e$) 对 j 号截面产生的扭矩 T_j^* 问题。作者通过实例分析得知,当按文献[3]中的三弯矩或

者力法方程求解赘余力(弯矩和支反力)时,发现由 T_i^* 产生的效应要比 P_i 的要小得多。基于这个特征,作者研究发现,直接采用两端具有横向抗扭支承的简支正桥跨来计算 T_j^* ,也能得到较近似的结果,其计算图式示于图 3(2)(适用于 A 型)和图 3(4)(适用于混合型)。其计算方法与求简支梁截面剪力的方法相同,这样大大简化了计算工作。现将按本文建议方法和用文献[3]的理论分析方法,对两类桥型的计算结果汇总于表 3,其中用近似分析法的 T_j^P 值是按图 3(1)(A 型)和图 3(3)(混合型)的图式算得的。

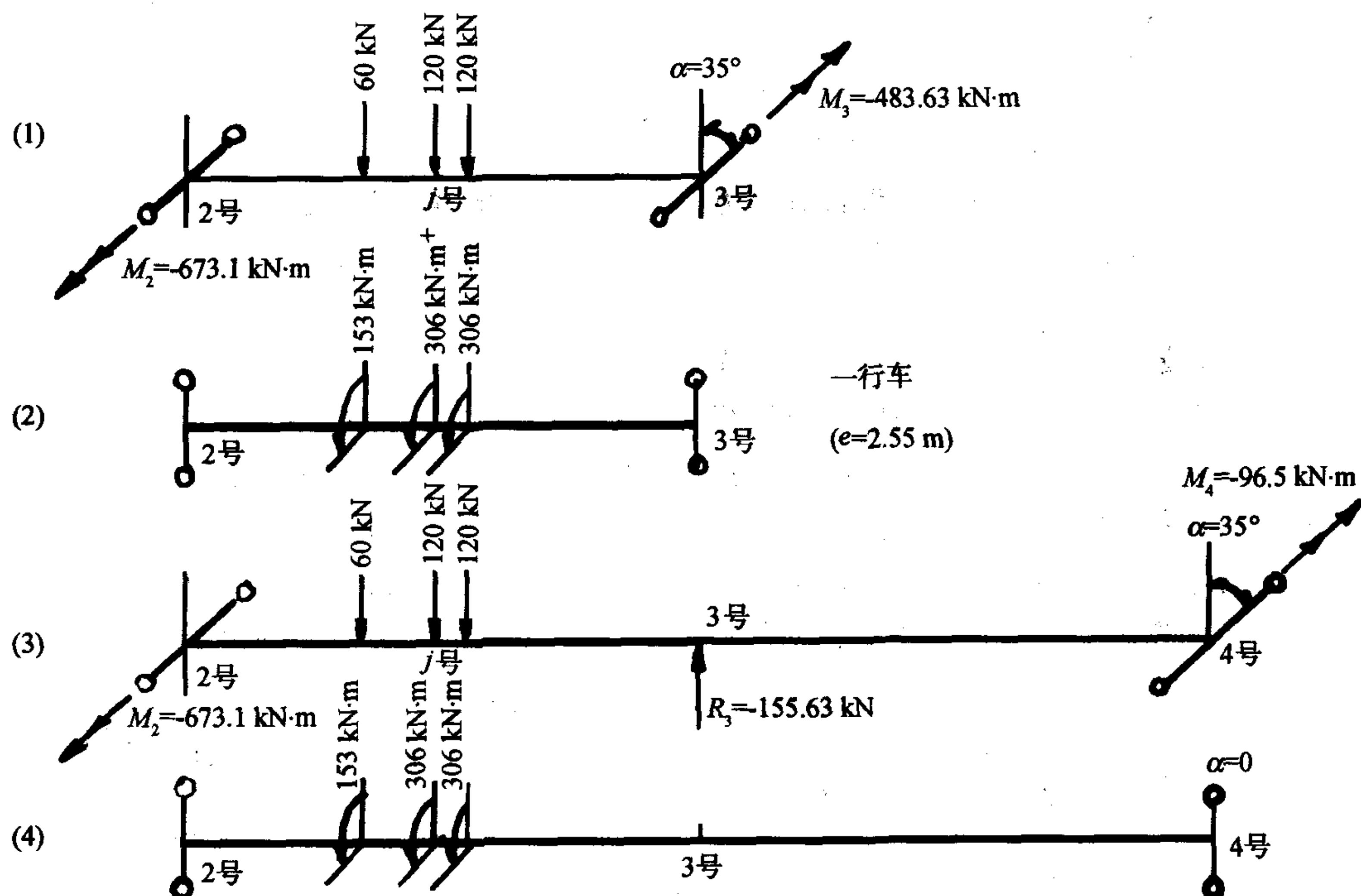


图 3 1 行车作用下 j 号截面扭矩计算图式

从表 3 中分析,可以提出以下几点看法:

(1) j 号截面对于 A 型桥来说,恰好位于跨中,其扭矩 T 如同剪力 Q 一样,跨中并不是它们的控制截面,故按 2 种方法算出的绝对值之差虽小,而比值却较大(52%~12.7%);相反地, j 号截面对 B 型桥而言,比较靠近 2 号支点,按 2 种方法算出的 T 绝对值之差与 A 型桥接近相等,但相对比值较小(3.7%~8.5%),而且偏于安全一边,这对设计来说是可行的。

(2) 扭矩内力将对箱形截面梁产生剪力流,使其一侧腹板内的剪力 Q 增大,而另一侧减小。但本文

式(3)已用增大系数 ξ 值计入了这个影响,故设计中,不需要再将它叠加到剪力 Q 中去。

(3) 对于连续斜梁桥来说,扭矩的计算对验算抗扭支座的稳定性非常重要,这是为了防止抗扭支座发生一侧上翘脱空的现象。因此,在验算支座的反力扭矩时,就不能再应用图 3 中的计算图式,而要象计算连续正梁桥中支座反力 R_B 一样,将该支座两侧上的荷载和赘余力同时考虑。如果说中支座的反力 R_B 是该支座两侧剪力 Q 绝对值之和,那么,中支座反力扭矩 T_B 也应是两侧扭矩 T 绝对值之和,如图 4 所示。

表 3 j 号截面扭矩值的分析对比

车队数	类型	计算方法	T_j^P	T_j^S	$T_j = T_j^P + T_j^S$	近似值 文献[3]
1 行车 $e=2.55$ m	A 型	近似法	-190.45	235.62	45.17	1.520
		按文献[3]	-203.84	233.54	29.70	
	混合型	近似法	-10.89	423.81	412.92	1.037
		按文献[3]	-21.37	419.56	398.19	
2 行车 $e=2.55$ m	A 型	近似法	-380.90	471.24	90.34	1.520
		按文献[3]	-407.68	467.08	59.40	
	混合型	近似法	-21.78	847.62	825.84	1.037
		按文献[3]	-42.74	839.12	796.38	
3 行车 $e=1$ m	A 型	近似法	-571.35	277.20	-294.15	0.873
		按文献[3]	-611.52	274.75	-336.77	
	混合型	近似法	-32.67	498.60	465.93	1.085
		按文献[3]	-64.11	493.60	429.49	

注:表中扭矩值都是指 j 号截面左侧之值,由于本例的 j 号截面上有荷载,故其右侧之值将有一个跳跃。

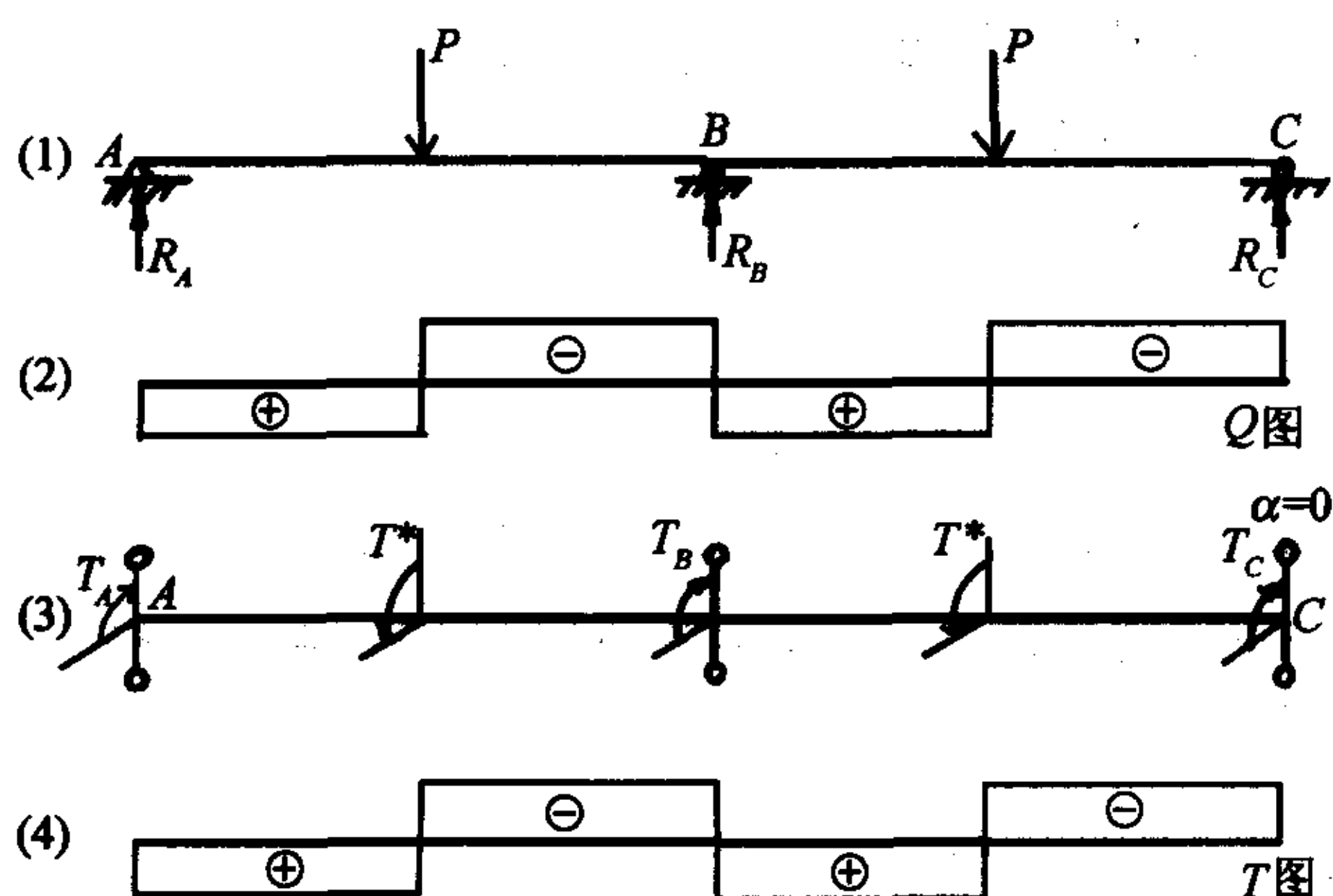


图 4 B 号支点的反力及反力扭矩计算图式

4 结语

(1)本文提出的近似计算方法完全是从设计的角度考虑的,但它仍以文献[3]的理论作为依据。

(2)连续斜梁桥的内力分析是一个十分复杂的

理论问题,目前国内外有关这方面的文献却十分地少,加之作者对这方面的研究更少,本文仅作为一个心得,并与文献[4]作为姊妹篇一并提供给读者参考,还望读者指正和补充。

参考文献:

- [1] 程翔云,尚春青.对箱形截面连续梁活载内力增大系数的评述[J].公路,2000,(1).
- [2] 甘美玲.中墩设单支座时连续梁的内力增大系数计算[J].公路,2000,(11).
- [3] 夏淦,郡容光.斜梁结构分析[M].南京:江苏科学技术出版社,1995.
- [4] 程翔云.连续斜梁桥受竖向荷载时的内力近似计算[J].公路,2004,(5).
- [5] 胡肇滋.桥跨结构简化分析——荷载横向分布[M].北京:人民交通出版社,1996.

Approximate Calculation Graphic Expressions of Internal Force of Continuous Skew Girder Bridges Under Eccentric Live Loads

CHENG Xiang-yun

(Civil Engineering Institute, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: On the basis of theoretical study of reference document [3], the approximate calculation graphic expressions of internal force and an approximate calculation method of internal force increasing coefficient of continuous skew girder bridges are put forward under eccentric live loads. The results of analyzing calculating examples show that the precision of this method is up to design requirements and cut down the calculation time of designers.

Key words: continuous skew girder bridge; calculation graphic expressions; eccentric live loads; increasing coefficient