

高宽跨比预应力砼 T 梁桥内力横向分布计算方法研究

易炳疆

(招商局重庆交通科研设计院有限公司, 重庆 400060)

摘要: 以宽跨比大于 0.5 的装配式 T 梁桥为例, 分别采用梁格法和横向分布系数法对其进行计算分析, 并通过现场荷载试验进行对比验证。结果表明, 当多片装配式 T 梁桥宽跨比大于 0.5 时, 梁格法和横向分布系数法计算结果与实测值均相差较小, 均具有良好的可靠性, 但梁格法计算结果与实测值更接近, 可靠性更高。

关键词: 桥梁; 装配式 T 梁桥; 宽跨比; 横向分布; 梁格法; 横向分布系数法

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)02-0104-06

装配式砼梁桥通常采用横向分布系数法进行设计计算, 计算时横向连接刚度值通常采用某种假设条件下的等效截面得到, 内力计算值与实际受力有一定出入。宽跨比小于 0.5 时, 梁片横向连接效应较强, 梁片横向内力分布明确, 横向分布系数法计算结果准确性较高; 宽跨比大于 0.5 时, 梁片整体受力趋向于整体板梁结构, 梁片横向连接效应较弱, 横向连接刚度取值困难增大, 计算结果的准确性较难保障。基于有限元的梁格法将上部结构用一个等效的平面梁格来模拟, 将分散在梁片每一区段内的弯曲刚度和抗扭刚度集中于最邻近的等效梁格内, 实际结构的纵向刚度集中于纵向梁格构件内, 横向刚度

则集中于横向梁格构件内。该文以宽跨比大于 0.5 的装配式 T 梁桥为例, 分别采用横向分布系数法和梁格法进行梁片内力计算, 并以静载试验进行验证, 分析两种计算方法对于该类桥型的可靠性。

1 工程概况

算例桥梁跨径组合分别为 2×25 m 先简支后连续 T 梁、 3×30 m 先简支后连续 T 梁, 桥面横向布置均为 2.0 m 人行道 + 15.5 m 车行道 + 2.0 m 人行道, 宽跨比分别为 0.78 和 0.65, 均大于 0.5。荷载标准为汽车活载为公路 I 级, 人群荷载集度采用 3.45 kN/m^2 。桥梁标准横断面布置见图 1 和图 2。

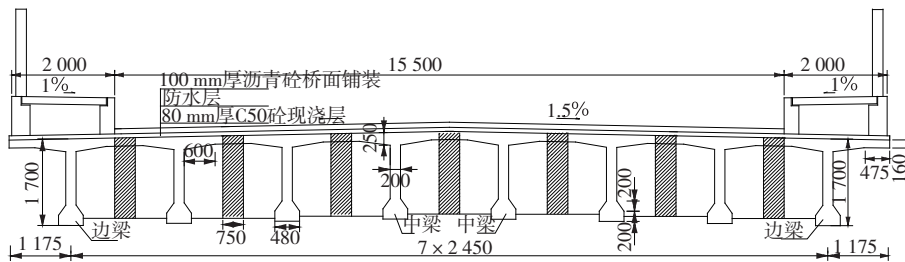


图 1 25 m 预应力砼 T 梁跨中断面示意图(单位: cm)

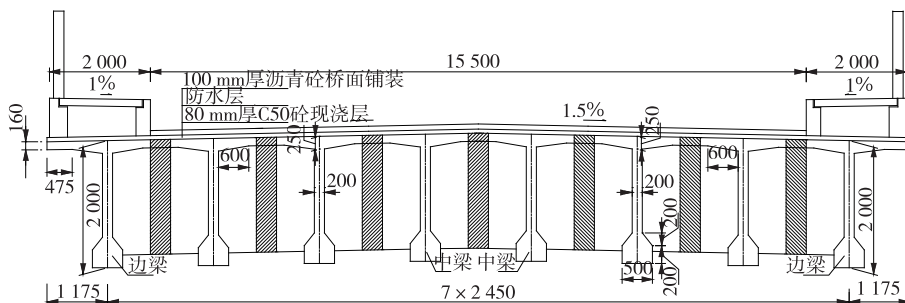


图 2 30 m 预应力砼 T 梁跨中断面示意图(单位: cm)

2 梁片内力理论计算

2.1 静载试验

采用三车道进行布载,布载方式见图 3~5,其中 K1 表示边跨最大正弯截面,K2 表示中跨最大弯

截面。

2.2 横向分布系数法

选择 G—M 法(比拟板法)进行计算,相关计算参数见表 1。先计算单梁控制截面位置内力,再通过横向分布系数获取某片梁的内力和挠度。

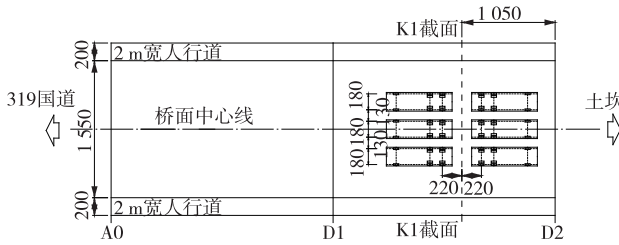


图 3 25 m 预应力砼 T 梁 K1 截面 3 列车正、偏载布载示意图(单位:cm)

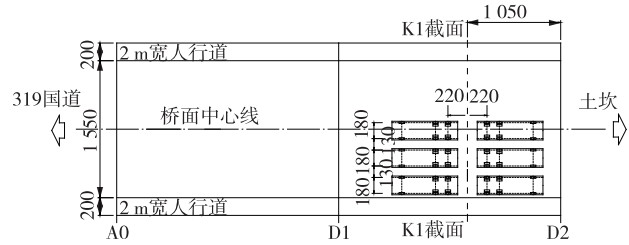


图 4 30 m 预应力砼 T 梁 K1 截面 3 列车正、偏载布载示意图(单位:cm)

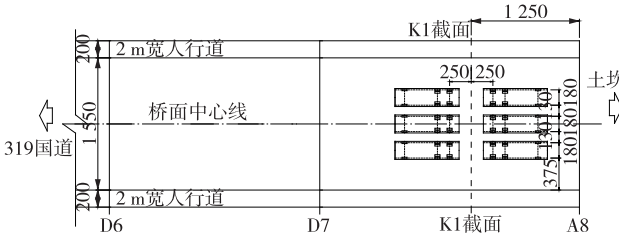


图 5 30 m 预应力砼 T 梁 K2 截面 3 列车正、偏载布载示意图(单位:cm)

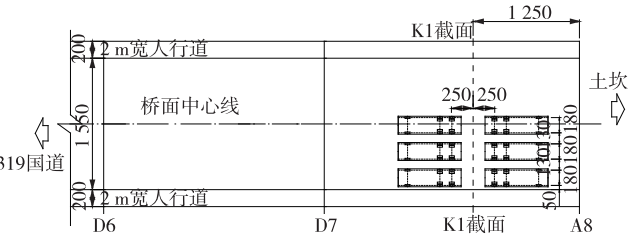


图 6 2×25 m 预应力砼连续 T 梁有限元模型

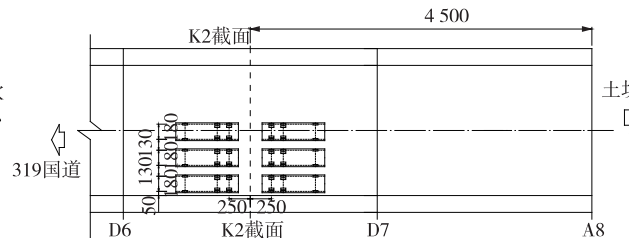


图 7 3×30 m 预应力砼连续 T 梁有限元模型

2.3 梁格法

采用有限元软件 MIDAS/Civil 对两桥进行建模计算,所有构件均采用梁单元模拟,梁片横向连接采用等效虚拟梁模拟,横隔板按实际状况模拟。计算时建立布载车道,并提取车道影响线进行加载计算。两桥的有限元模型见图 6、图 7。

3 静载试验

根据装配式梁桥的结构特点,为避免支座及现

表 1 两种跨度装配式预应力连续 T 梁桥 G—M 法计算横向分布参数

预应力 连续 T 梁 跨径/m	中梁抗弯 惯矩 I_x / m^4	边梁抗弯 惯矩 I_x / m^4	中梁抗扭 惯矩 I_{T_y} / m^4	边梁抗扭 惯矩 I_{T_x} / m^4	横隔梁翼板 有效作用 宽度 λ /m	横隔梁抗 扭惯矩/ m^4	横隔梁抗 弯惯矩/ m^4	梁间 距/m	横隔板纵 向间距/m
2×25	0.284	0.282	0.013 8	0.013 7	2.43	0.011 7	0.163	2.45	6.00
3×30	0.440	0.438	0.014 8	0.014 8	2.69	0.013 7	0.278	2.45	7.00

浇端横梁的影响,验证截面选取最大正弯截面,即边跨最大正弯截面、中跨最大正弯截面。测点布置在每片T梁底部,每片梁布置2个测点。截面布置见图8、图9,测点布置见图10。

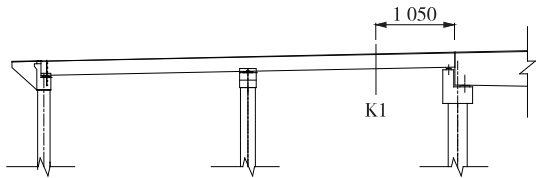


图8 2×25 m T梁桥验证截面布置示意图(单位:cm)

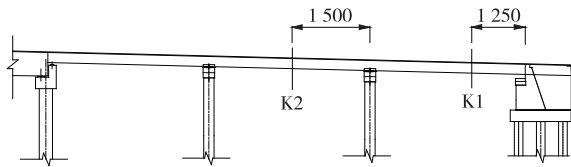


图9 3×30 m T梁桥验证截面布置示意图(单位:cm)

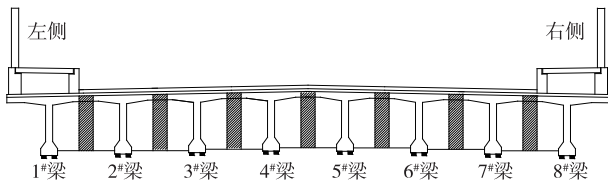


图10 T梁验证截面测点布置

静载试验加载工况如下:1)边跨最大正弯截面偏载工况;2)边跨最大正弯截面偏载工况;3)中跨最大正弯截面正载工况;4)中跨最大正弯截面偏载工况。

4 计算结果对比分析

4.1 应变对比

考虑墩顶截面受支座及现浇段的影响,对比分析仅针对中跨截面梁片,对比因素为试验荷载作用下梁片底板应变横向分布系数 m_c 。两桥在不同工况下的 m_c 对比见表2~7。

从表2~7可看出:1)在多种工况下,两桥的实测横向分布系数与梁格法推算的横向分布系数的比值为 $0.866 < m_{c1}/m_{c2} < 1.056$,与G-M法计算的横向分布系数的比值为 $0.687 < m_{c1}/m_{c3} < 1.157$,均位于1.000附近,表明当装配式T梁宽跨比大于0.5时,两种理论计算方法均具有良好的可靠性。2)对比 m_{c1}/m_{c2} 和 m_{c1}/m_{c3} ,在多种工况下,两桥的 m_{c1}/m_{c3} 均比 m_{c1}/m_{c2} 更离散,表明相对于横向分布系数法,梁格法计算的梁片应变与实测应变更相符,可靠性更高(见图11~13)。

表2 2×25 m 预应力连续T梁桥边跨正弯截面在正载工况下梁片应变对比

梁号	实测应变/ $\mu\epsilon$	m_{c1}	梁格法理论应变/ $\mu\epsilon$	m_{c2}	m_{c3}	m_{c1}/m_{c2}	m_{c1}/m_{c3}
1	32	0.197	61	0.228	0.250	0.866	0.790
2	55	0.344	90	0.338	0.365	1.020	0.943
3	73	0.457	117	0.440	0.432	1.039	1.057
4	80	0.501	132	0.494	0.466	1.013	1.075
5	80	0.501	132	0.494	0.466	1.013	1.075
6	73	0.457	117	0.440	0.432	1.039	1.057
7	55	0.344	90	0.338	0.365	1.020	0.943
8	32	0.197	61	0.228	0.250	0.866	0.790

注: m_{c1} 为实测横向分布系数; m_{c2} 为通过梁格法推算的横向分布系数; m_{c3} 为采用G-M法计算的横向分布系数。下同。

表3 2×25 m 预应力连续T梁桥边跨正弯截面在偏载工况下梁片应变对比

梁号	实测应变/ $\mu\epsilon$	m_{c1}	梁格法理论应变/ $\mu\epsilon$	m_{c2}	m_{c3}	m_{c1}/m_{c2}	m_{c1}/m_{c3}
1	90	0.564	154	0.575	0.529	0.979	1.065
2	93	0.582	155	0.581	0.552	1.002	1.055
3	88	0.551	150	0.562	0.529	0.982	1.041
4	80	0.499	133	0.498	0.482	1.002	1.034
5	62	0.388	103	0.387	0.377	1.002	1.031
6	38	0.238	68	0.254	0.268	0.936	0.889
7	18	0.113	33	0.125	0.164	0.902	0.687

表4 3×30 m 预应力连续T梁桥边跨正弯截面在正载工况下梁片应变对比

梁号	实测应变/ $\mu\epsilon$	m_{c1}	梁格法理论应变/ $\mu\epsilon$	m_{c2}	m_{c3}	m_{c1}/m_{c2}	m_{c1}/m_{c3}
1	35	0.257	58	0.249	0.282	1.033	0.913
2	46	0.343	78	0.337	0.349	1.017	0.983
3	58	0.429	99	0.428	0.412	1.001	1.041
4	64	0.477	112	0.486	0.458	0.982	1.042
5	64	0.477	112	0.486	0.458	0.982	1.042
6	56	0.417	99	0.428	0.412	0.975	1.014
7	46	0.343	78	0.337	0.349	1.017	0.983
8	35	0.257	58	0.249	0.282	1.033	0.913

表 5 3×30 m 预应力连续 T 梁桥边跨正弯截面在
偏载工况下梁片应变对比

梁号	实测应变/ $\mu\epsilon$	m_{e1}	梁格法理论应变/ $\mu\epsilon$	m_{e2}	m_{e3}	m_{e1}/m_{e2}	m_{e1}/m_{e3}
1	81	0.604	136	0.588	0.522	1.027	1.157
2	79	0.589	138	0.598	0.555	0.985	1.062
3	77	0.574	131	0.566	0.525	1.014	1.092
4	69	0.514	115	0.498	0.467	1.033	1.101
5	52	0.388	90	0.389	0.374	0.997	1.036
6	36	0.268	60	0.259	0.274	1.035	0.980
7	19	0.142	31	0.134	0.172	1.056	0.826

表 6 3×30 m 预应力连续 T 梁桥中跨正弯截面在
正载工况下梁片应变对比

梁号	实测应变/ $\mu\epsilon$	m_{e1}	梁格法理论应变/ $\mu\epsilon$	m_{e2}	m_{e3}	m_{e1}/m_{e2}	m_{e1}/m_{e3}
1	27	0.235	47	0.253	0.282	0.928	0.833
2	40	0.354	65	0.348	0.349	1.016	1.015
3	49	0.434	80	0.429	0.412	1.010	1.053
4	54	0.478	87	0.470	0.458	1.017	1.043
5	54	0.478	87	0.470	0.458	1.017	1.043
6	49	0.434	80	0.429	0.412	1.010	1.053
7	40	0.354	65	0.348	0.349	1.016	1.015
8	27	0.235	47	0.253	0.282	0.928	0.833

表 7 3×30 m 预应力连续 T 梁桥中跨正弯截面在
偏载工况下梁片应变对比

梁号	实测应变/ $\mu\epsilon$	m_{e1}	梁格法理论应变/ $\mu\epsilon$	m_{e2}	m_{e3}	m_{e1}/m_{e2}	m_{e1}/m_{e3}
1	66	0.584	108	0.583	0.522	1.002	1.119
2	68	0.602	109	0.587	0.555	1.025	1.084
3	63	0.554	101	0.546	0.526	1.015	1.053
4	54	0.477	87	0.470	0.467	1.015	1.020
5	43	0.378	69	0.372	0.374	1.015	1.010
6	28	0.248	47	0.254	0.274	0.977	0.905
7	14	0.124	25	0.135	0.172	0.920	0.722

4.2 挠度对比

挠度对比截面与应变相同,对比参数为单独梁片挠度与整体截面挠度均值的比值,以 m_a 表示。两桥在不同工况下的 m_a 对比见表 8~13。

从表 8~13 可看出:1) 在多种工况下,两桥静载试验工况下梁片实测挠度与整体截面挠度均值之比与梁格法计算的梁片挠度与整体截面挠度均值之比的比值为 $0.961 < m_{a1}/m_{a2} < 1.027$,静载试验工况下梁片实测挠度与整体截面挠度均值之比与横向分

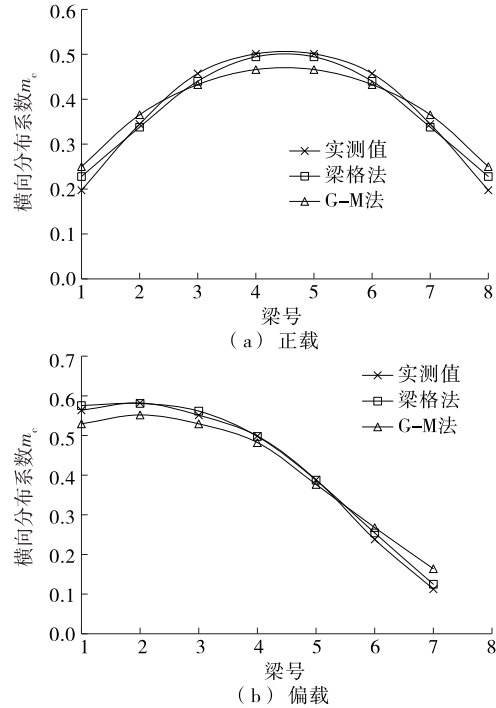


图 11 2×25 m 预应力连续 T 梁桥边跨正弯截面
横向分布系数对比

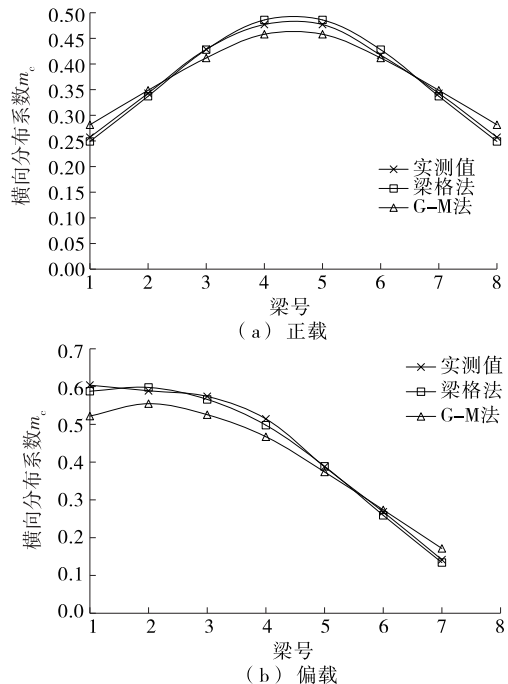


图 12 3×30 m 预应力连续 T 梁桥边跨正弯截面
横向分布系数对比

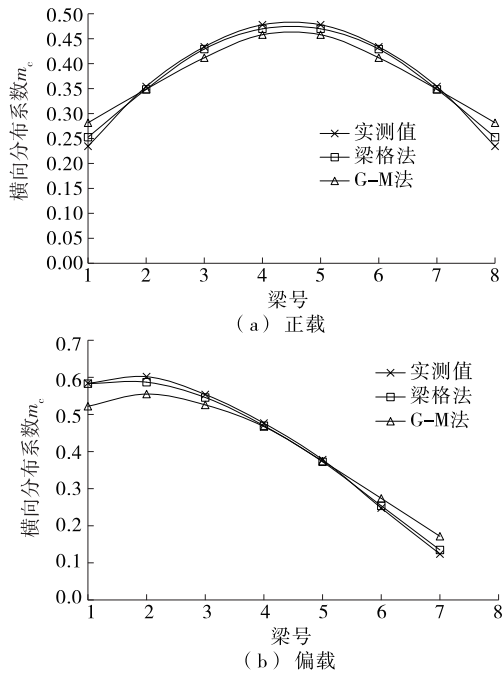


图 13 3×30 m 预应力连续 T 梁桥中跨正弯截面横向分布系数对比

表 8 2×25 m 预应力连续 T 梁桥边跨正弯截面正载工况下挠度对比

梁号	$v_{\text{实测}} /$ mm	$v_{\text{梁格}} /$ mm	$v_{\text{mc}} /$ mm	m_{a1}	m_{a2}	m_{a3}	$m_{a1} /$ m_{a2}	$m_{a1} /$ m_{a3}
1	-1.7	-3.4	-4.0	0.57	0.58	0.68	0.980	0.836
2	-2.6	-5.3	-5.4	0.87	0.91	0.92	0.963	0.947
3	-3.6	-7.0	-6.7	1.21	1.19	1.15	1.021	1.057
4	-4.0	-7.8	-7.3	1.34	1.32	1.25	1.015	1.077
5	-4.0	-7.8	-7.3	1.34	1.32	1.25	1.015	1.077
6	-3.6	-7.0	-6.7	1.21	1.19	1.15	1.021	1.057
7	-2.6	-5.3	-5.4	0.87	0.91	0.92	0.963	0.947
8	-1.7	-3.4	-4.0	0.57	0.58	0.68	0.980	0.836

注： m_{a1} 为静载试验工况下梁片实测挠度与整体截面挠度均值之比； m_{a2} 为梁格法计算梁片挠度与整体截面挠度均值之比； m_{a3} 为横向分布系数法计算梁片挠度与整体截面挠度均值之比； $v_{\text{实测}}$ 、 $v_{\text{梁格}}$ 、 v_{mc} 分别为实测挠度、梁格法计算理论挠度、横向分布法计算理论挠度。下同。

布系数法计算的梁片挠度与整体截面挠度均值之比的比值为 $0.757 < m_{a1} / m_{a3} < 1.094$ ，均位于 1.000 附近，表明当装配式 T 梁宽跨比大于 0.5 时，两种理论计算方法均具有良好的可靠性。2) 对比 m_{a1} / m_{a2} 和 m_{a1} / m_{a3} ，两桥在多种工况下 m_{a1} / m_{a3} 均比 m_{a1} / m_{a2}

更离散，表明相对于横向分布系数法，梁格法计算的梁片应变与实测应变更相符，可靠性更高(见图 14~16)。

表 9 2×25 m 预应力连续 T 梁桥边跨正弯截面偏载工况下挠度对比

梁号	$v_{\text{实测}} /$ mm	$v_{\text{梁格}} /$ mm	$v_{\text{mc}} /$ mm	m_{a1}	m_{a2}	m_{a3}	$m_{a1} /$ m_{a2}	$m_{a1} /$ m_{a3}
1	-4.2	-8.3	-8.0	1.53	1.57	1.43	0.976	1.074
2	-4.3	-8.3	-8.2	1.57	1.57	1.46	0.999	1.073
3	-4.2	-7.9	-7.9	1.53	1.50	1.41	1.022	1.088
4	-3.7	-7.0	-7.2	1.35	1.32	1.29	1.023	1.051
5	-2.7	-5.4	-5.9	0.99	1.02	1.05	0.963	0.936
6	-1.8	-3.5	-4.2	0.66	0.67	0.75	0.982	0.877
7	-1.0	-1.7	-2.5	0.37	0.33	0.45	1.106	0.818

表 10 3×30 m 预应力连续 T 梁桥边跨正弯截面正载工况下挠度对比

梁号	$v_{\text{实测}} /$ mm	$v_{\text{梁格}} /$ mm	$v_{\text{mc}} /$ mm	m_{a1}	m_{a2}	m_{a3}	$m_{a1} /$ m_{a2}	$m_{a1} /$ m_{a3}
1	-2.2	-3.6	-4.1	0.68	0.69	0.78	0.986	0.870
2	-3.0	-4.8	-5.0	0.94	0.92	0.95	1.027	0.991
3	-3.6	-5.9	-5.7	1.13	1.13	1.09	1.003	1.043
4	-4.0	-6.6	-6.2	1.25	1.26	1.18	0.986	1.054
5	-4.0	-6.6	-6.2	1.25	1.26	1.18	0.986	1.054
6	-3.6	-5.9	-5.7	1.13	1.13	1.09	1.003	1.043
7	-3.0	-4.8	-5.0	0.94	0.92	0.95	1.027	0.991
8	-2.2	-3.6	-4.1	0.68	0.69	0.78	0.986	0.870

表 11 3×30 m 预应力连续 T 梁桥边跨正弯截面偏载工况下挠度对比

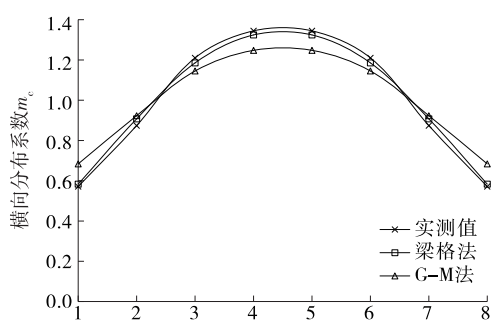
梁号	$v_{\text{实测}} /$ mm	$v_{\text{梁格}} /$ mm	$v_{\text{mc}} /$ mm	m_{a1}	m_{a2}	m_{a3}	$m_{a1} /$ m_{a2}	$m_{a1} /$ m_{a3}
1	-4.2	-8.5	-8.0	1.56	1.62	1.42	0.961	1.094
2	-4.3	-8.2	-8.2	1.59	1.56	1.46	1.020	1.092
3	-3.9	-7.7	-7.9	1.44	1.47	1.40	0.985	1.028
4	-3.5	-6.7	-7.2	1.30	1.28	1.28	1.016	1.013
5	-2.7	-5.2	-5.9	1.00	0.99	1.05	1.010	0.953
6	-1.8	-3.5	-4.2	0.67	0.67	0.75	1.000	0.893
7	-1.0	-1.8	-2.5	0.37	0.34	0.44	1.080	0.833

表 12 3×30 m 预应力连续 T 梁桥中跨正弯截面
正载工况下挠度对比

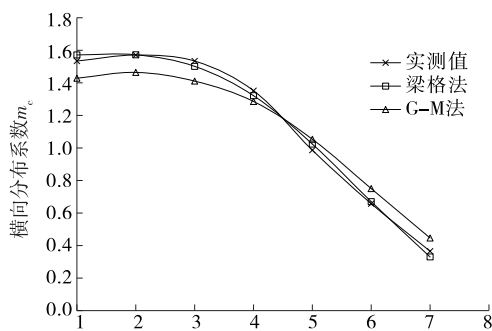
梁号	$v_{\text{实测}} /$	$v_{\text{梁格}} /$	$v_{\text{mc}} /$	m_{a1}	m_{a2}	m_{a3}	$m_{a1} /$	$m_{a1} /$
	mm	mm	mm				m_{a2}	m_{a3}
1	-1.6	-2.7	-2.9	0.66	0.65	0.73	1.018	0.909
2	-2.1	-3.7	-3.7	0.87	0.90	0.93	0.964	0.935
3	-2.7	-4.7	-4.4	1.12	1.15	1.11	0.975	1.011
4	-3.2	-5.3	-4.9	1.33	1.30	1.23	1.023	1.076
5	-3.2	-5.3	-4.9	1.33	1.30	1.23	1.023	1.076
6	-2.8	-4.7	-4.4	1.16	1.15	1.11	1.011	1.049
7	-2.1	-3.7	-3.7	0.87	0.90	0.93	0.963	0.935
8	-1.6	-2.7	-2.9	0.66	0.65	0.73	1.016	0.909

表 13 3×30 m 预应力连续 T 梁桥中跨正弯截面
偏载工况下挠度对比

梁号	$v_{\text{实测}} /$	$v_{\text{梁格}} /$	$v_{\text{mc}} /$	m_{a1}	m_{a2}	m_{a3}	$m_{a1} /$	$m_{a1} /$
	mm	mm	mm				m_{a2}	m_{a3}
1	-3.6	-6.5	-6.3	1.51	1.56	1.43	0.967	1.058
2	-3.7	-6.4	-6.5	1.55	1.54	1.46	1.009	1.062
3	-3.4	-6.1	-6.1	1.42	1.45	1.38	0.980	1.032
4	-3.0	-5.3	-5.4	1.26	1.27	1.22	0.986	1.028
5	-2.4	-4.1	-4.5	1.01	0.99	1.02	1.014	0.987
6	-1.6	-2.8	-3.3	0.67	0.66	0.75	1.019	0.897
7	-0.9	-1.4	-2.2	0.38	0.34	0.50	1.118	0.757

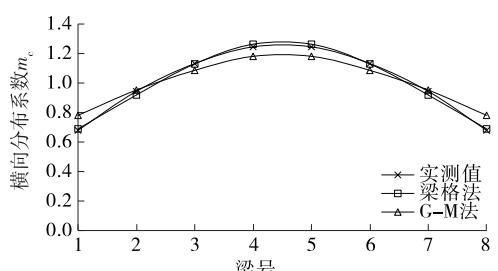


(a) 正载

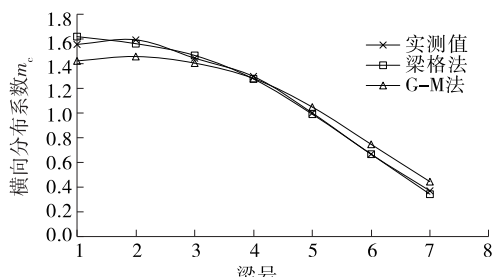


(b) 偏载

图 14 2×25 m 预应力连续 T 梁桥边跨正弯截面 m_a 值对比

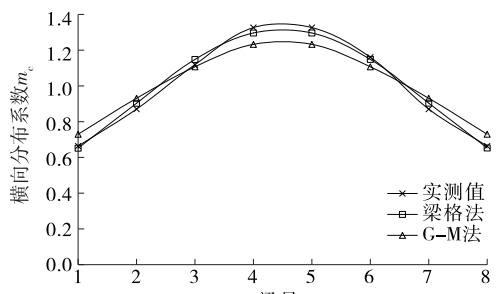


(a) 正载

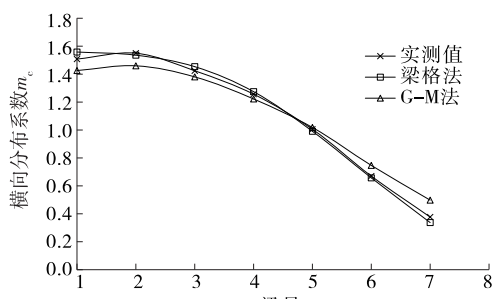


(b) 偏载

图 15 3×30 m 预应力连续 T 梁桥边跨正弯截面 m_a 值对比



(a) 正载



(b) 偏载

图 16 3×30 m 预应力连续 T 梁桥中跨正弯截面 m_a 值对比

表 3 不同横隔板设置情况下桥梁振型

振型阶数	周期/s		频率/Hz		主要振型特征描述	
	模型 A	模型 B	模型 A	模型 B	模型 A	模型 B
1	2.994 1	2.994 7	0.334 0	0.333 9	一阶纵飘	一阶纵飘
2	2.919 7	2.918 4	0.342 5	0.342 6	一阶对称横弯	一阶对称横弯
3	1.965 5	1.965 7	0.508 8	0.508 7	一阶反对称横弯	一阶反对称横弯
4	1.253 2	1.253 2	0.798 0	0.798 0	交接墩顺弯	交接墩顺弯
5	1.252 9	1.252 9	0.798 2	0.798 2	交接墩顺弯	交接墩顺弯
6	1.237 7	1.237 6	0.808 0	0.808 0	二阶对称横弯	二阶对称横弯

续刚构桥结构动力特性的影响甚微。

3 结论

(1) 适当增大支点截面梁高可增大桥梁刚度,减小梁的挠度,对应力影响不大。

(2) 连续刚构桥高墩的稳定性由最大悬臂状态控制。

(3) 空心薄壁桥墩横隔板设置与否基本不影响桥梁结构的动力特性。

参考文献:

[1] 马保林.高墩大跨连续刚构桥[M].北京:人民交通出版社,2001.

[2] 彭元诚,诚秦汉,李黎.超高墩连续刚构桥设计中的关

键技术[J].桥梁建设,2006(4).

[3] 索慧敏,郭红雨.山区桥梁高墩设计研究[J].现代交通技术,2015,12(4).

[4] 刘文华,黎立新.山区高墩桥梁抗震设计[J].公路,2010(7).

[5] 冯鹏程.连续刚构桥设计关键技术问题的探讨[J].桥梁建设,2009(6).

[6] 张小月,陈艾荣,吴怀义,等.国内外高墩桥梁桥墩造型应用研究[J].上海公路,2012(1).

[7] 刘文忠,李友明,徐天良.高墩大跨曲线连续刚构桥结构行为分析[J].公路与汽运,2013(4).

[8] 丁鑫,刘海宽.基于三维坐标观测的大跨连续刚构桥主梁挠度监测与评估[J].公路与汽运,2017(6).

收稿日期:2017-09-18

(上接第 109 页)

5 结论

通过应变和挠度对比分析,对于宽跨比大于 0.5 的装配式梁桥,横向分布系数法和梁格法所得横向分布系数均与实际相差较小,具有良好的可靠性,但梁格法推算所得梁片横向分布系数与实测值更接近,可靠性更高。

参考文献:

[1] 刘华,叶见曙,俞博,等.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).

[2] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2001.

[3] 贺栓海,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,1999.

[4] 李宏江,赵尚传,李万恒,等.既有装配式梁桥横向连接构造评价技术进展[J].中外公路,2014,34(2).

[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.

[6] 万鹏,郑凯锋.组合有限元方法在 T 形梁桥荷载横向分布分析中的应用[J].公路,2003(增刊 1).

[7] 宋一凡.公路桥梁荷载试验与结构评定[M].北京:人民交通出版社,2002.

[8] 湛润水,胡钊芳.公路桥梁荷载试验[M].北京:人民交通出版社,2003.

[9] 彭泽友.装配式 T 梁荷载横向分布分析[J].公路,2008(3).

[10] 刘润阳.T 梁横隔板不同连接状态对主梁受力的影响[J].铁道建筑,2009(3).

[11] 黄立浦,谭海亮,曹素功,等.装配式简支 T 形梁桥横向分布系数的研究[J].长沙大学学报,2011,25(5).

[12] 王富万,杨文兵.梁格法在桥梁上部结构分析中的应用[J].土木工程与管理学报,2006,23(增刊 1).

[13] JTG D60-2015,公路桥涵设计通用规范[S].

收稿日期:2017-08-31