

基于荷载试验的T型梁桥安全性评估

张 晔

(陕西建工集团 机械施工有限公司, 陕西 西安 710032)

摘要: 对许多桥梁出现一些或大或小的病害,严重影响交通安全和运营情况,进行桥梁结构安全评估是十分必要的。针对某使用中简支梁桥,利用桥梁空间分析程序 Midas Civil-2010 建立桥梁结构空间有限元模型,分析结构在实际荷载作用下的反应,并结合桥梁现场检测和分析结果,依据现有规范的规定,评估该现役简支 T 型梁桥的安全性。

关键词: T 型梁桥; Midas; 荷载试验; 安全性

中图分类号: U447

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2012)06-0133-05

Safety Appraising for T-beam Bridge Based on Load Tests

ZHANG Ye

(Mechanical Construction Co., Ltd. of Shaanxi Construction Engineering Group Company, Xi'an, Shaanxi 710032, China)

Abstract: There would appear more or less mars in bridges, which would have the severe effects on traffic safety and transportations. Therefore, it is necessary to appraise the safety of bridges. Here, the 3D finite element model of a simply supported beam bridge in use is constructed by using Midas Civil-2010 to analyze the internal forces of the bridge structure under loads. Simultaneously, the safety of the simply supported T-beam bridge in use is appraised based on the results of the field inspection and analysis as well as the concerned prescripts of the criterion in existence.

Keywords: T-beam bridge; Midas; load test; safety

0 前 言

近年来我国铁路公路交通量猛增、载重量增大,铁路公路上建有大量的桥梁,承受着日益繁重的交通荷载,其承载能力和使用安全已受到桥梁管理部门的高度重视。由于设计标准的改变,载重量的提高,使得许多已建桥梁的承载力变得偏低,造成桥梁结构的可靠性显著降低,综合分析原因主要有原设计未达到使用要求,施工未达到设计要求,公路车辆超限运输,材料老化,锈蚀而未及时养护,自然界乃至自然灾害的侵袭,以及交通事故等人为事端的破坏等等。根据《公路桥涵养护规范》(JTG H11-2004)^[1],为了保证既有桥梁的安全运营和尽可能延长其安全使用年限,应对既有桥进行检测评估,而且应定期进行。

本文利用荷载试验的评估方法,对 T 型梁桥进行现场静载、动载试验,收集数据,结合理论分析手

段,对实际梁桥进行诊断识别,利用桥梁空间分析程序 Midas Civil-2010 建立桥梁结构的实际受力模型,进而根据此模型确定桥梁的实际承载能力。

1 荷载试验

1.1 荷载试验测试的内容

现有桥梁的荷载试验主要有静载试验和动载试验,对于一般桥梁利用荷载试验测试的内容根据参考文献[2]有内力测试、各种应力、挠度、变形、变位、支承反力(包括拱脚最大水平推力)、支座转角、支座沉降以及裂缝在加载时的开展情况等,对斜拉桥,进行荷载检测时,除主梁外,尚须检测斜拉索索力、塔根部应力和塔顶变位等,对悬索桥做静荷载检测时,还应对主缆索力、吊索索力、塔顶位移进行检测。

1.2 荷载的确定

在荷载试验进行加载时,为了确保试验的有效性,必须先确定试验的控制荷载,桥梁主要承受的荷

载有汽车和人群荷载、平板挂车或履带车、需通行的重型车辆,分别计算以上几种荷载对控制截面产生的最不利内力,用产生最不利内力较大的荷载作为静载试验的控制荷载,因挂车或履带车不计冲击力,所以动载试验以汽车荷载作为控制荷载。

1.3 加载

为了加载安全和了解结构应变和变位随加载内力增加的变化关系,对桥梁主要控制截面内力的加载应分级进行。对于加载物的称重一般有称重法、体积法、综合计算法。

1.4 测点布置

对于简支梁主要测点的布设应能控制结构的最大应力(应变)和最大挠度(或位移),简支梁一般测定跨中挠度,支点沉降,跨中截面应变。

1.5 荷载试验效率

根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21-2011)^[3],静载试验效率为:

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

式中: S_s 为静载试验荷载作用下控制截面内力计算值; S 为控制荷载作用下控制截面最不利内力计算值; μ 为按规范采用的冲击系数,平板挂车、履带车、重型车取 0; μ 值可采用 0.8 ~ 1.05,根据前期工作的具体情况来确定,动载试验效率为:

$$\eta_d = \frac{S_d}{S} \quad (2)$$

式中: S_d 为动载试验荷载作用下控制截面最大计算内力值; S 为标准汽车荷载作用下控制截面最大计算内力值(不计入汽车荷载冲击系数)。 η_d 值一般采用 1,动载试验的效率不仅取决于试验车型及车重,而且取决于实际跑车时的车间距。

2 有限元分析

Midas Civil-2010 是一款功能强大的空间分析软件,广泛应用于土木结构、建筑结构、特殊结构以

及轮船、飞机等其它结构,尤其是在建立桥梁的实体模型、指导新桥的设计、检验旧桥的安全性等方面起着重要的作用。

根据参考文献[4],利用 Midas Civil-2010 对桥梁进行模型的建立时,应用最广的是梁格法,将上部结构用一个等效的平面梁格或空间构架来模拟,将分散在板式或箱梁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,而横向刚度则集中于横向梁格构件内,当原型实际结构和对应的等效梁格承受相同的荷载时,两者的挠曲将是恒等的,并且每一梁格内的弯矩、剪力和扭矩等于该梁格所代表的实际结构部分的内力。由于实际结构和梁格体系在结构特性上的差异,这种等效只是近似的,但对一般桥梁设计,梁格法的计算精度是足够的。

3 实例

某跨铁路桥为 3×30 m 预应力混凝土 T 型梁桥, 11×16 m 钢筋混凝土空心板,该桥位于半径为 $R = 260$ m 的圆曲线上。由于上跨铁路,为满足铁路技术改造的要求及铁路限界的需要,主跨桥墩与桥梁路线设有 6.5° 的斜交角。收坡,接至路面,桥梁总宽 14.00 m,其中行车道宽 12.80 m,两侧各 0.5 m 防撞墙,桥梁全长 448.4 m。桥型总体布置如图 1 所示,T 梁跨中横断面如图 2 所示,桥梁测试截面布置示意图如图 3 所示; II-II 截面静应变测点布置如图 4 所示; II-II 截面静挠度测点布置如图 5 所示; II-II 截面动应变和动挠度测点布置如图 6 所示。

3.1 静载

(1) 利用桥梁空间分析程序 MIDAS/CIVIL-2010 建立桥梁结构分析模型,建模方法为梁格法。结构离散模型如图 7 所示。按各测试截面的弯矩或变位最不利位置布载,试验荷载为中载。计算在试验荷载下主梁各测点的静应变及静挠度。

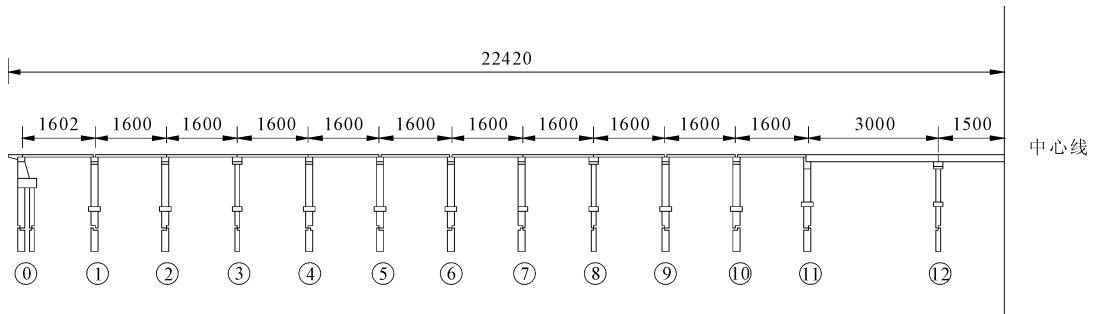


图 1 总体布置示意图(单位:cm)

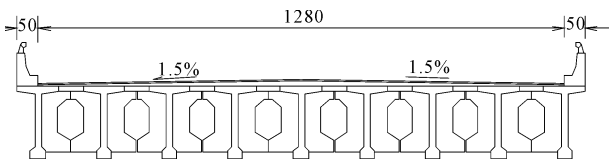


图 2 主桥 3 × 30 m T 梁桥横断面示意图 (单位: cm)

(2)进行静载试验,确定静载试验共需用 300 kN 载重汽车 4 辆,进行两次重复试验。试验前对每辆车都严格过磅,记录下各辆车的实际总重、轴重和轴间距,按各测试截面的弯矩或变位最不利位置布载,

试验荷载为中载,记录各测点的静应变及静挠度的实测值。

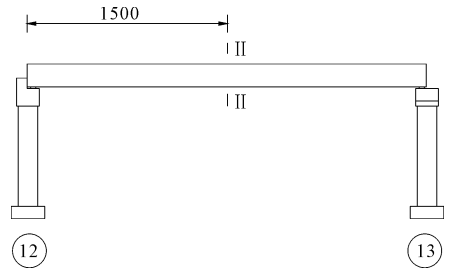


图 3 桥梁测试截面布置示意图 (单位: cm)

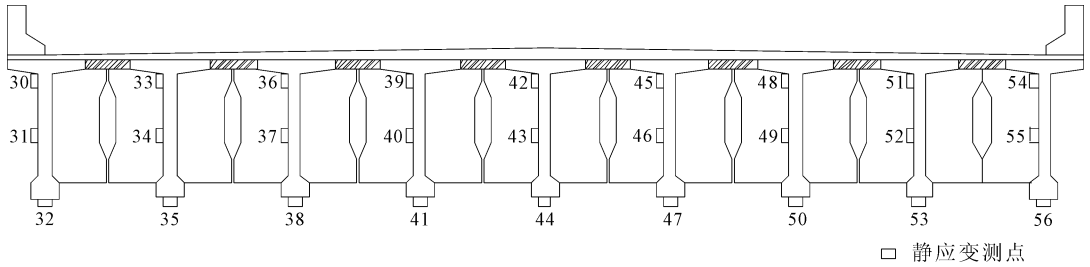


图 4 II - II 截面静应变测点布置图

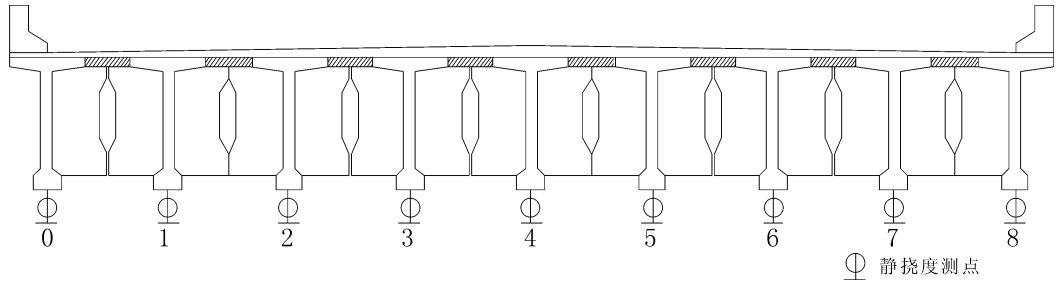


图 5 II - II 截面静挠度测点布置图

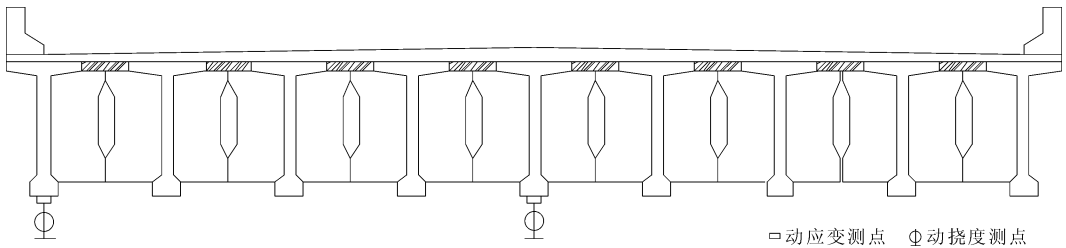


图 6 II - II 截面动应变和动挠度测点布置图

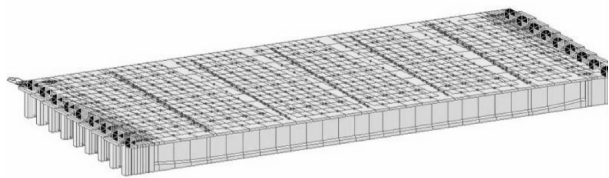


图 7 Midas 梁格法空间分析模型

(3)分析在试验荷载作用下各个截面应变、挠度实测值与计算值,应变主要测点实测值与计算值统计与分析见表 1,挠度测点实测值与计算值统计与

分析见表 2。

由表 1 可知,实测值的残余应变较大,根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21 - 2011)^[3],桥梁主要测点发生较大的相对残余应变,说明结构在试验荷载作用下有较大的不可恢复应变,表明桥梁结构的实际状况与理想状况相比偏于不安全。

测点 32、35、38、53、57 的实测应变值小于理论计算值,说明在当前荷载下这几片梁的富裕系数足

够,满足一定的安全储备,测点 41、44、47、50 的实测应变值大于理论计算值,说明在当前荷载下这几片

梁的富裕系数不够,安全储备不够,承载能力不能满足要求,需要加固。

表 1 跨中截面中载各应变测点实测值与计算值比较

测点编号	测点位置	实测值/ $\mu\epsilon$				计算值/ $\mu\epsilon$	校验系数	平均校验系数
		四辆车		平均值	残余应变			
		第一次	第二次					
①	②	③	/	④	③/④	/		
32	1# 梁底边缘	21	27	24	4	72	0.33	0.33
35	2# 梁底边缘	100	60	80	0	82	0.98	0.98
38	3# 梁底边缘	95	19	57	5	84	0.68	0.68
41	4# 梁底边缘	127	92	109	3	93	1.17	1.17
44	5# 梁底边缘	148	104	126	2	90	1.40	1.40
47	6# 梁底边缘	159	142	150	4	93	1.61	1.61
50	7# 梁底边缘	130	108	119	2	84	1.42	1.42
53	8# 梁底边缘	67	47	57	6	82	0.70	0.70
56	9# 梁底边缘	27	14	21	4	72	0.29	0.29

表 2 跨中截面中载各挠度测点实测值与计算值比较

测点编号	测点位置	实测值/mm				计算值/mm	校验系数
		四辆车		平均值	残余值		
		第一次	第二次				
①	②	③	/	④	③/④		
0	1# 梁底	3.15	3.31	3.23	0.06	5.79	0.56
1	2# 梁底	6.03	6.09	6.06	0.04	6.34	0.96
2	3# 梁底	7.30	6.92	7.11	-0.25	7.12	1.00
3	4# 梁底	11.02	10.97	11.00	-0.03	7.27	1.51
4	5# 梁底	11.34	11.30	11.32	-0.08	7.59	1.49
5	6# 梁底	10.37	10.21	10.29	-0.02	7.27	1.42
6	7# 梁底	8.40	8.17	8.28	-0.05	7.12	1.16
7	8# 梁底	6.00	5.73	5.87	-0.04	6.34	0.93
8	9# 梁底	3.20	2.94	3.07	-0.01	5.79	0.53

校验系数 η 是评定桥梁结构工作状况的一个重要指标,在相当于设计荷载效应的车辆荷载作用下,应变校验系数最大值 1.61,最小值为 0.29,根据《公路旧桥承载能力鉴定方法(试行)》^[5],由于计算图示的简化,实际条件的误差等因素影响,一般 η 值小于 1,校验系数 η 小于 1 说明桥梁可能具有一定的承载潜力。正常的钢筋混凝土梁桥的应变校验系数是 0.40~0.80,由现场检验与理论分析的数据看,应变主要测点 35、41、44、47、50 的校验系数均超过 0.80,说明此梁桥横向受力分布极不均匀,单梁受力现象严重,整座桥梁应力状况不符合设计要求,使用功能严重丧失安全性。

测点 0、1、7、8 的实测挠度值小于理论计算值,说明在当前荷载下这几片梁的富裕系数足够,满足

一定的安全储备,测点 2、3、4、5、6 的实测挠度值大于理论计算值,说明在当前荷载下这几片梁的富裕系数不够,安全储备不充足,刚度不能满足要求,需要加固。

根据《公路旧桥承载能力鉴定方法(试行)》^[5],正常的钢筋混凝土梁桥的挠度校验系数是 0.50~0.90,在相当于设计荷载效应车辆荷载作用下,由挠度实测数据与理论分析可知,测点 1、2、3、4、5、6、7 的校验系数均大于 0.90,说明各梁受力极不均匀,单梁受力现象严重,丧失其安全功能。

3.2 动载

(1) 利用桥梁空间分析程序 MIDAS/CIVIL - 2010 建立桥梁结构分析模型,桥面系质量以及自重先转换成节点荷载,再将节点荷载转换成质量加在

梁单元上,结构离散模型见图 8 所示,计算 T 型梁的自振频率。

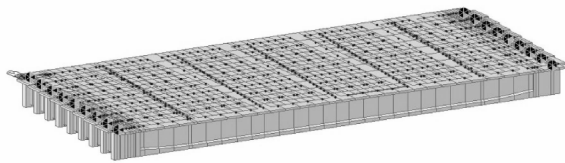


图 8 动力分析模型示意图

(2)动力试验荷载的确定以保证激振信号达到足够的强度为条件,本次试验拟采用一辆或两辆载重汽车(与静载试验荷载相同)匀速驶过试验桥跨,根据无障碍激励效果决定是否需要再进行有障碍方式进行激振,以测取桥梁振动响应信号。桥面障碍按影响线最不利位置布设,采用楔形橡胶块进行障碍设置。

(3)试验荷载下,经分析计算,得到此桥前三阶频率实测值与计算值的对比,如表 3 所示。

表 3 自振频率的试验值和计算值比较

振型序列	自振频率/Hz	
	实测值	计算值
第一阶	2.686	3.313
第二阶	2.991	3.764
第三阶	3.540	8.614

结构的自振频率是根据桥梁承受冲击荷载后产生余振的动应力和动挠度曲线分析而得,桥梁自振频率的变化不仅能够反映结构损伤情况,还能反映结构整体性能和受力体系的变化。由表 3 得出,桥梁结构第一阶自振频率的试验值和计算值比值为 0.81,第二阶自振频率的试验值和计算值比值为 0.79,第三阶自振频率的试验值和计算值比值为 0.41,根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》^[3],前两阶自振频率的评定标度为 4,第三阶自振频率的评定标度为 5,主桥结构前 3 阶自振频率评定标度

的值均说明此桥梁结构的整体性能差,动刚度较小。

3.3 分析

综合静载和动载作用下此梁桥的性能,得出此桥结构性能不满足设计和《公路旧桥承载能力鉴定方法(试行)》^[5]、《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21 - 2011)^[3]等规范要求,不具有承受预定设计荷载的强度和刚度,存在结构使用安全隐患,必须立即封闭桥上交通,并对此梁桥进行加固方案研究。

4 结 论

通过对上述 9 片 T 梁组成的简支梁桥利用 MIDAS/CIVIL - 2010 和现场静、动荷载试验的方法分析计算得出结论:

(1) 利用 MIDAS/CIVIL - 2010 对桥梁进行建模,能够有效的模拟桥梁的实际受力情况,根据模拟的实际受力情况作为桥梁检测的理论参考值。

(2) MIDAS 中利用梁格法可以形象的模拟多片简支梁在荷载作用下的效应,尤其是模拟动载情况。

(3) 结合有限元分析和现场载荷试验的方法,可以对在役桥梁的安全性能做详细的评估,并对存在危险梁桥的加固方案提供依据。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通部. JTG H11 - 2004. 公路桥涵养护规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 张银华,石雪飞,陈 辉. 在役公路混凝土桥梁可靠度评估[J]. 山西建筑,2009,35(29):286-287.
- [3] 中华人民共和国交通部. JTG/TJ21 - 2011. 公路桥梁承载能力检测评定规程[S]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [4] 邱顺冬. 桥梁工程软件 Midas Civil 应用工程实例[M]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [5] 中华人民共和国交通部. 公路旧桥承载能力鉴定方法(试行)[S]. 北京:人民交通出版社,1988.