

某铁路 π 形梁桥的荷载试验研究

罗子文^{1,2}

(1. 中国建筑科学研究院 上海分院, 上海, 200023; 2. 上海建科结构新技术工程有限公司, 上海 200023)

摘要:以某铁路桥为工程背景,通过结构计算、现场检测、荷载试验。评估受检 π 形梁的工作性能和承载能力。结果表明,受检 π 形梁的承载能力能够满足设计荷载等级的要求。工程为 π 形梁的后期养护及维修提供了基础依据,对同类型铁路桥梁的检测及其承载能力评价有一定的参考价值。

关键词:铁路 π 形梁;荷载试验;承载能力

中图分类号: TG333.17

文献标识码: A

Study on the load tests of rail traffic π - shape girder

LUO Zi - wen^{1,2}

(1. Shanghai Branch, China Academy of Building Research, Shanghai 200023, China; 2. Shanghai Advanced Technology of Building Construction Co., Ltd., Shanghai 200023, China)

Abstract: Taking a π - Shape girder as engineering background, the test process analysis is carried out through calculation, field inspection and load tests and the working performance and carrying capacity of the π - Shape girder are assessed. The test results show that the experimental π - Shape girder's carrying capacity complies with the design requirement, which can be the basis for later maintenance and can be referred to by the similar engineering.

Key words: rail traffic π - shape girder; load test; carrying capacity

桥梁荷载试验,其目的和作用,就是通过对桥梁结构的直接加载后进行相关控制指标的测试、记录与分析,以达了解桥梁结构在试验荷载作用下的实际工作状态,进而评定桥梁结构施工质量或实际使用状况,为桥梁工程的竣工验收或后期养护提供基础数据和依据^[1-3]。对铁路桥梁,随着我国经济的飞速发展,铁路提速走向了一个高速期。对既有铁路桥梁的承载能力和稳定性提出了更高的要求。文献[4-9]就铁路连续梁、小跨径拱桥、简支 T 梁、箱梁、斜拉桥等多种桥梁结构体系进行了荷载试验研究。本文在已有的基础上,就三跨单线钢筋混凝土 π 型梁的荷载试验进行了研究。

1 工程概况

某铁路桥梁为一座 3×12.0 m 三跨单线钢筋

混凝土简支 π 形梁桥,其设计时速为 60 km/h,设计荷载为中 - 22 级。桥梁横向由 2 榀 π 形梁组成。 π 形梁混凝土设计强度等级为 250 级。全桥采用弧形钢支座,下部桥墩为浆砌块石实体墩,桥台为重力式桥台,设钢筋混凝土盖梁与台帽。

2 静载试验

2.1 测点布设及加载车辆

结合现场实际情况和简支梁桥的结构特点,本次试验选取边跨作为静载试验的测试跨。试验测点布设及现场粘贴效果如图 1 所示。

本次静载试验加载车辆为一台 DF4 型内燃机车,技术指标如图 2。

实测混凝土应变结果如表 1 所示。

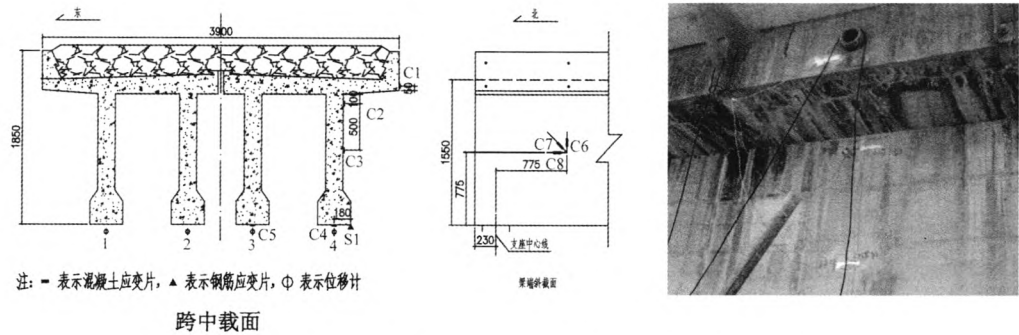


图1 静载试验测点布置及现场粘贴效果(单位: mm)

Fig.1 Arrangement of measuring points in static load test and effect of field paste(Unit: mm)

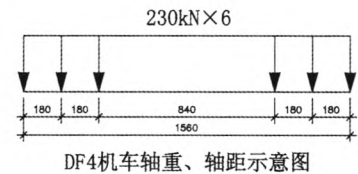


图2 DF4型内燃机车技术指标(单位: cm)

Fig.2 Parameters of DF4 Diesel Locomotive
(Unit: cm)

2.2 试验结果与分析

外侧梁肢的梁底纵向钢筋应变实测结果见表2。

根据实测结果推定,在 DF4 机车作用下, π 形梁的跨中截面应变实测值与理论值的对比如图3所示。 π 形梁中性轴的实测位置与理论位置较为接近,实测混凝土截面应变基本满足平截面假定。

跨中截面混凝土应力校验系数为 0.460 ~ 0.548, 满足《铁路桥梁检定规范》^[10] 规定的混凝土应力校验系数通常为 0.45 ~ 0.55 的要求。梁端斜截面剪力实测值小于理论计算值。在 DF4 机车作用下, π 形梁处于弹性工作阶段。

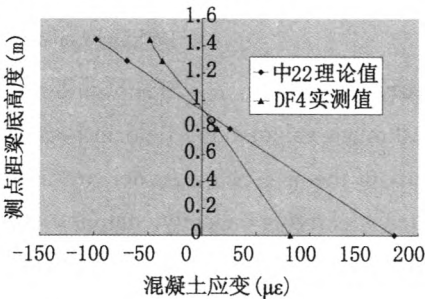


图3 跨中截面混凝土应变实测值与理论值对比
Fig.3 Comparison between measured and theoretical value of concrete strain

表 1 混凝土应变测试结果
Tab.1 Results of concrete strain

荷载工况		工况 1					工况 2		
应变片编号		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
混凝土应变	实测值	-34	-26	10	57	63	6	14	9
	推算至中-22	-49	-37	14	82	89	11	20	12
	中-22 理论值	-98	-70	26	178	178	44	63	44
校验系数	实测值	0.494	0.535	0.548	0.460	0.504	0.240	0.321	0.279
	通常值	0.45 ~ 0.55 ^[4]							

注:(1) 表中混凝土弹性模量 $E_c = 2.8 \times 10^4 \text{MPa}$ 及 $G_c = 0.43E_c$ 计算^[11]; (2) 表中应变以拉应变为正,压应变为负。

表 2 外侧梁肢跨中底部钢筋应变测试结果
Tab.2 Results of strain of the bottom longitudinal reinforcement

荷载 应变片		实测钢筋应变/ $\mu\epsilon$			钢筋应力/MPa			校验系数	
工况	编号	第一次	第二次	平均值	实测值	换算至中-22	中-22 容许值	实测值	通常值
工况 1	S1	156	158	157	33.0	47.0	81.5	360	0.577 0.55 ~ 0.65 ^[4]

注:表中钢筋应力实测值按弹性模量 $E_s = 2.1 \times 10^5 \text{MPa}$ 计算。

表 3 π 形梁跨中截面竖向变形实测结果
Tab. 3 Results of deflection of the π -shape girder of the cross section

荷载工况		工况 1			
位移计编号		1	2	3	4
跨中截面竖向变形(mm)	实测值	0.965	1.192	1.187	0.984
	换算至中-22	1.250	1.544	1.537	1.274
	中-22 理论值	2.110			
跨中挠度校验系数	实测值	0.563	0.695	0.693	0.574
	规范规定通常值	0.55~0.65 ^[4]			
跨中挠跨比	实测值	1/12 435	1/10 067	1/10 110	1/12 195
	换算至中-22	1/9 600	1/7 772	1/7 804	1/9 419
	规范规定通常值	1/4000 ^[4]			

由表 2 可知,在 DF4 型机车作用下, π 形梁外侧梁肢跨中截面底部钢筋的应力实测值小于理论计算值,且实测值与理论值均远小于钢筋的容许应力值,主梁处于弹性受力阶段,满足使用要求。推算至中-22 活载后,其应力校验系数为 0.577,满足《铁路桥梁检定规范》^[10] 规定的钢筋应力校验系数通常值 0.55~0.65。

实测跨中截面竖向变形结果如表 3 所示。

试验结果表明,在 DF4 型机车作用下,(1) π 形梁跨中竖向变形值均小于其理论计算值,其实测的竖向挠跨比为 1/12 435~1/10 067,推算至中-22 后的竖向挠跨比为 1/9 600~1/7 782,满足《铁路桥梁检定规范》^[10] 规定的挠跨比通常值限值 1/4 000 (π 形梁 h/L 在 1/7~1/9 间)的要求;(2) 各梁肢的跨中挠度校验系数为 0.563~0.695,位于外侧的梁肢略小,主要是由于内侧梁肢位于轨道下方,偏载导致内侧梁肢受力较外侧梁肢大,且挠度校验系数基本满足《铁路桥梁检定规范》^[10] 规定的校验系数通常值 0.55~0.65,主梁的竖向刚度满足设计及正常使用要求。

3 动载试验

3.1 试验设计

本次动载试验的测试内容主要分为以下几个部分: π 形梁跨中横向、竖向振幅;桥跨在不同列车行驶速度下的竖向动挠度测试。测试使用仪器为 891-IV 型拾振仪。

根据测试内容,本次动载试验的加载列车编组为 1DF4+4C62(满载)+6C62(空载)。按桥梁设计时速为 60 km/h 及其根实际运营状况,本次试验的列车过桥速度等级分为三级:30 km/h、40 km/h、50 km/h,每个速度等级各跑车两次。

3.2 测试结果及分析

1) 振动测试。实测桥跨横向最大振幅、加速度见表 4,振幅-速度关系见图 4,实测的典型振动时程曲线图 5。

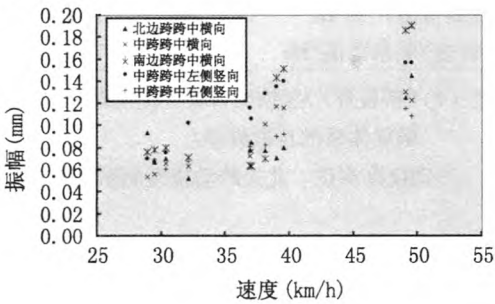


图4 实测桥跨的振幅-速度曲线图
Fig.4 The profile of amplitude with the velocity of train

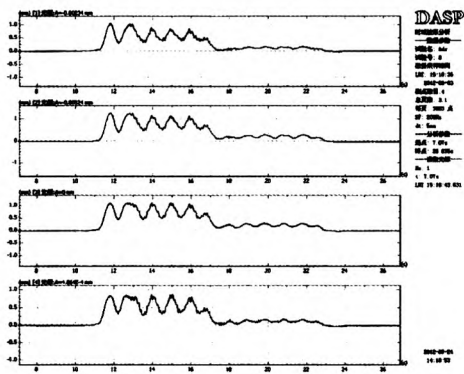


图5 实测典型动挠度时程曲线
Fig.5 Typical dynamic deflection-time curve

由实测结果可知:(1) π 形梁跨中横向最大振幅,北边跨为 0.145 mm,中跨为 0.130 mm,南边跨为 0.190 mm,均满足《铁路桥梁检定规范》^[10] 规定的桥跨结构横向振幅行车安全限值 1.333 mm 要求。(2) 中跨 π 形梁跨中位置处左、右侧梁体的竖向最大振幅依次为 0.157 mm、0.115 mm,幅值较小。(3) 中跨 π 形梁跨中横向最大加速度为

表 4 梁跨振幅、加速度测试结果
Tab.4 Results of amplitude and acceleration

序号	工况 /km. h ⁻¹	速度 /km. h ⁻¹	梁体跨中振幅/mm					中跨梁体加速度/m. s ⁻²		
			横向			中跨竖向		横向	竖向	
			北边跨	中跨	南边跨	左侧	右侧		左侧	右侧
1	30	28.9	0.063	0.053	0.076	0.070	0.070	0.067	0.204	0.245
2	退行	30.4	0.070	0.066	0.080	0.076	0.061	0.061	0.208	0.214
3	30	29.5	0.067	0.056	0.078	0.067	0.070	0.073	0.297	0.226
4	退行	32.1	0.052	0.063	0.071	0.102	0.067	0.066	0.387	0.283
5	40	39.0	0.071	0.117	0.143	0.135	0.090	0.080	0.323	0.374
6	退行	37.0	0.078	0.072	0.064	0.116	0.081	0.059	0.288	0.286
7	40	39.6	0.080	0.116	0.151	0.140	0.092	0.070	0.306	0.384
8	退行	37.1	0.085	0.077	0.063	0.106	0.085	0.058	0.295	0.284
9	50	49.1	0.125	0.130	0.186	0.157	0.115	0.089	0.234	0.269
10	退行	38.1	0.078	0.101	0.070	0.129	0.082	0.067	0.316	0.312
11	50	49.5	0.145	0.122	0.190	0.157	0.108	0.077	0.265	0.251
最大值		49.5	0.145	0.130	0.190	0.157	0.115	0.089	0.387	0.384
《桥检规》振幅限值/mm				1.333		/	/	1.4	/	/
实测自振频率/Hz			2.238	2.304	2.511	5.960	6.040	/	/	/
《桥检规》频率限值/Hz				7.500		/	/	/	/	/

注:(1)《桥检规》为《铁路桥梁检定规范》^[10]的简称;(2)表中“/”表示该项目不做要求;(3)梁体的横向自振频率为墩梁体系的自振频率。

2) 动挠度测试。北边跨动挠度测试结果见表 5,实测的动挠度时程曲线如图 5。

表 5 北边跨 π 形梁动挠度测试结果
Tab.5 Results of dynamic deflection of π-shape girder

序号	工况 /km. h ⁻¹	速度 /km. h ⁻¹	东梁外侧梁肢		东梁内侧梁肢		西梁内侧梁肢		西梁外侧梁肢	
			最大动挠度/mm	动力系数	最大动挠度/mm	动力系数	最大动挠度/mm	动力系数	最大动挠度/mm	动力系数
1	5	7.1	1.00	1.012	1.30	1.012	1.23	1.013	1.02	1.015
2	30	28.9	0.97	1.043	1.22	1.033	1.18	1.030	0.97	1.043
3	30	29.5	0.95	1.027	1.21	1.038	1.18	1.028	0.97	1.045
4	40	39.0	1.00	1.041	1.24	1.022	1.18	1.050	0.97	1.066
5	40	39.6	1.02	1.062	1.24	1.032	1.18	1.048	0.97	1.078
6	50	49.1	1.06	1.129	1.27	1.076	1.13	1.054	0.89	1.036
7	501	49.5	1.06	1.039	1.27	1.039	1.14	1.019	0.90	1.013
8	退行	30.4	0.99	1.061	1.26	1.024	1.24	1.036	1.03	1.044
9	退行	32.1	1.00	1.083	1.26	1.031	1.23	1.024	1.03	1.038
最大值		49.5	1.06	1.129	1.30	1.076	1.24	1.054	1.03	1.078

0.089 m/s²,满足《铁路桥梁检定规范》^[10]规定的桥跨结构跨中横向最大加速度值不超过 1.4 m/s²的要求。(4)π 形梁跨中的横、竖向振幅均随列车行驶速度的提高呈线性增加。(5) 该桥各跨 π 形梁的横向刚度可确保列车安全运行。

由实测结果可知:(1) 实测最大动挠度值为 1.30 mm,最大动力系数 1.129,小于设计动力系数 1.286;(2) 在 DF4 型机车荷载作用下,实测最大静载挠度 1.192 mm,换算至中-22 后,其静载竖向挠跨比通常值为 1/7 772,满足《铁路桥梁检定规范》^[10]规定的普通高度钢筋混凝土梁竖向挠

跨比不超过 1/4 000 通常值的要求。

4 结束语

本文通过对某在役铁路 π 形梁桥的结构计算、荷载试验,评价了桥梁的承载能力和技术状况,为桥梁的养护和维修等工作提供了基础资料,为 π 形梁的后期养护维修提供了基础依据,对同类型铁路桥梁的检测及其承载能力评价有一定的参考价值,可供同类工程参考,具有较大的理论和现实意义。

(下转第 66 页)

由机房全年冷负荷计算结果及数据中心机房专用空调机的配置情况可知,对于机房常规空调系统,8台机房精密空调需全部启动,且全年不间断运行才能满足服务器机房内的环境要求。根据设备厂家提供的资料可知,单台机房精密空调的总输入功率为30.75 kW。常规空调系统方案全年运行总能耗为: $E = 8 \text{ 台} \times 30.75 \text{ kW/台} \times 8760 \text{ h} = 2154960 \text{ kWh}$ 。

(2) 新风直接引入式空调系统方案

室外空气温度 $t_w \leq 15^\circ\text{C}$ 的时间为4773 h,启用新风直接引入式空调系统,该段时间运行能耗 $E_1 = 38109 \text{ kWh}$;

室外空气温度 $t_w > 15^\circ\text{C}$ 的时间为3987 h,启用常规精密空调系统,该段时间运行能耗 $E_2 = 8 \text{ 台} \times 30.75 \text{ kW/台} \times 3987 \text{ h} = 980802 \text{ kWh}$ 。

新风直接引入式系统方案全年运行总能耗为: $E_0 = E_1 + E_2 = 1018911 \text{ kWh}$ 。

与常规空调系统运行能耗相比,节能率 $\eta = \frac{E - E_0}{E} = 52.7\%$ 。

5 结语

1)与单独使用常规空调系统相比,常规空调和新风直接引入式系统结合使用能充分地利用天然冷源对数据中心机房进行降温,以北京地区为例,全年约有54.5%的时间室外气温低于 15°C ,

即全年约有4773h可以应用新风直接引入系统,节能率高达52.7%,节能潜力巨大。

2)需要说明的是,本文只是从能量利用的角度,以最大限度利用天然冷源为原则,对数据中心最大限度利用天然冷源的节能潜力进行了分析和论证,而为实现这一模式所引起和涉及的一些其它问题和相应的技术措施,像新风引入时所需要的加湿能耗,增设高效的空气过滤器所引起的系统附加能耗,还有新风过滤器的成本和运行维护等问题,本文未做深入讨论,并有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 钱晓栋,李震.数据中心空调系统节能研究[J].暖通空调,2012,42(3):91-96.
- [2] 王景刚,康利改,刘杰,等.IDC机房室外冷源降温的可行性分析[J].暖通空调,2009,39(2):128-132.
- [3] 陈鹏飞,张吉礼,高甫生.程控机房新风供冷空调方式及节能分析[J].暖通空调,2007,37(10):93-97.
- [4] GB 50174-2008,电子计算机机房设计规范[S].
- [5] GB 50189-2005,公共建筑节能设计标准[S].
- [6] GB 50736-2012,民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].

(责任编辑 马立)

(上接第60页)

参考文献:

- [1] 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.
- [2] JTG/T J21-2011,公路桥梁承载能力检测评定规程[S].
- [3] 张俊平.桥梁检测[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [4] 马坤全,蒋鹏.铁路连续梁桥荷载试验与结构评定[J].铁道标准设计,2007(12):33-37.
- [5] 狄生奎,蒋永.铁路小跨径拱桥荷载试验及承载力评估[J].低温建筑技术,2010(5):66-69.

- [6] 丁红林.既有铁路简支T梁桥的动载试验研究及有限元分析[J].福建建材,2011(9):41-43.
- [7] 刘运明.青藏铁路某简支T型梁桥动载试验研究和有限元分析[J].河南建材,2011(6):13-17.
- [8] 武勇.武汉天兴洲公铁两用长江大桥主桥荷载验收试验研究[J].桥梁建设,2010(1):55-59.
- [9] 陈兴冲,王春芬.内昆铁路花土坡特大桥静动载试验[J].工程力学(增刊),2002(z):79-82.
- [10] 铁路桥梁检定规范(铁运函[2004]120号)[S].
- [11] TB10002.3-2005,铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范[S].

(责任编辑 刘存英)