

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.05.016

轨道交通先张法预制 U 型梁静载试验研究

谭程龙¹, 宋郁民², 沈哲亮³

(1. 中交三航局第三工程有限公司, 江苏 南京 210004;

2. 上海工程技术大学 轨道交通学院, 上海 201620; 3. 同济大学 桥梁工程系, 上海 200092)

摘要: 静载试验是检验桥梁整体受力性能、桥梁设计和施工质量是否满足设计和规范要求的主要方法,也是竣工验收的必要过程。静载试验结果为确定或评定桥梁运营荷载等级最直接且最有效的办法。以青岛 R13 线轨道交通先张法预制 U 型梁为例,按照一定抽样频率对成批预制的先张法 U 型梁,进行静载试验,测试 U 型梁在试验荷载下的刚度、应力及裂缝宽度,分析试验结果,该先张法 U 型梁的力学性能均满足规范要求,为今后先张法预制 U 型梁推广使用提供一定的参考。

关键词: 轨道交通;先张法;U 型梁;静载试验;力学性能

中图分类号: U441.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2016)05-0085-04

Static Load Test of Pre-tensioned Pre-casted U-Beam in Rail transit

TAN Chenglong¹, SONG Yumin², SHEN Zheliang³

(1. No. 3 Engineering Co., Ltd. of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210004, China;

2. College of Urban Railway Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

3. Department of Bridge Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Bridge's static load test is an important means of inspecting its overall mechanical performance, and is also effective measure to check its quality, and also is a necessary process of its completion and acceptance. At the same time, the results is the most direct and effective way to assess bridge load grade operations. This research taken the pre-tensioned pre-casted U shaped beam in Qingdao rail transport as an example, static load tests were carried out for parts of pre-tensioned pre-casted U-beam according to a certain proportion. The mechanical properties of U-beam were analyzed and assessed according to rigidity, stresses and crack width, all experimental results could meet the relevant specifications, and can promote the use of pre-tensioned pre-casted U-beam in the future.

Keywords: rail transit; pre-tensioned method; U shaped beam; static load test; mechanical properties

城市轨道交通广泛使用的 U 型梁是由早期的槽型梁优化发展而来^[1-7]。目前国内各个城市高架桥选用的 U 型梁,主要采用后张法预制施工工艺,近几年来,国外有采用先张法预制工艺的 U 型梁,国内应用较少^[8-11]。

先张法预制 U 型梁,具有预应力筋和混凝土的粘结性与整体性良好、成批预制效率高等优点,但缺少相关力学性能的荷载试验研究。为此,以青岛 R13 线轨道交通先张法预制 U 型梁为例,按照一定

频率对成批预制的先张法 U 型梁,进行静载试验,测试了 U 型梁在试验荷载下刚度、应力及抗裂性等指标,对该 U 型梁的力学性能进行了评价。为后期运营养护提供一定技术支撑。

青岛城市城际轨道交通 R13 线工程高架桥,采用先张法预制的预应力混凝土简支 U 型梁。试验梁选取其中 30 m 标准跨径,计算跨径 28.7 m,支座中心距梁端 0.6 m。试验 U 型梁跨中截面如图 1 所示。

收稿日期:2016-04-03

修稿日期:2016-04-21

作者简介:谭程龙(1978—),男,江苏南京人,高级工程师,主要从事铁路、地铁、桥梁施工技术与科研。E-mail:tcl202@sohu.com。

通讯作者:宋郁民(1976—),男,河南浉池人,工学博士,讲师,主要从事桥梁结构分析和结构动力学的教学与科研。

E-mail: song-yumin@163.com。

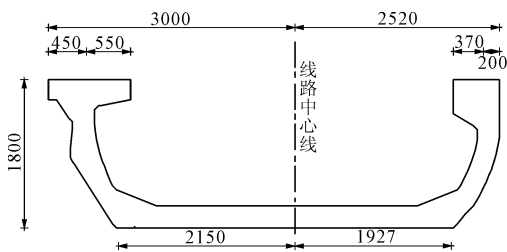


图 1 U 型梁跨中截面图(单位: mm)

1 试验方案

1.1 试验内容

测试的主要内容和目的为:

- (1) 1.0 倍设计荷载加载, 测试 U 型梁控制截面的应变和挠度;
- (2) 1.2 倍设计荷载加载, 测试 U 型梁控制截面的应变和挠度;
- (3) 评价 U 型梁在两个加载状态下的强度和刚度等是否满足规范要求。

1.2 测点布置

(1) 挠度测点。U 型梁支点、跨中截面布置竖向挠度测点, 采用电测位移计, 如图 2、图 3 所示。

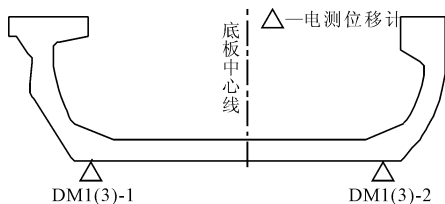


图 2 支点挠度测点布置图

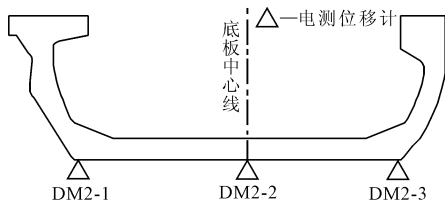


图 3 跨中挠度测点布置示意图

(2) 应变测点。U 型梁跨中道床板下缘布置横向应变片, 道床板上下缘及腹板上缘布置纵向应变

片, 如图 4 所示。

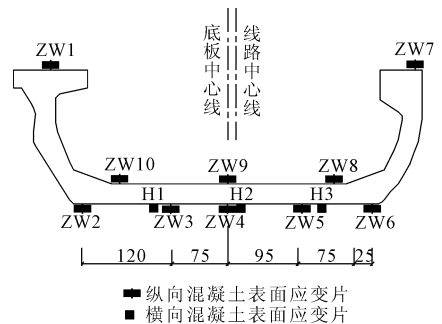


图 4 跨中截面纵、横向应变测点布置(单位: cm)

1.3 试验加载

(1) 加载方法。静载试验荷载采用反力架加载。经计算优化采用 5 个门式反力架加载, 反力架纵向加载间距为 5.5 m, 每个反力横向设置 4 个加载点。底板加载点 P_1 设置纵向分配梁和横向分配梁, 腹板加载点 P_2 设置纵向分配梁, 如图 5 和图 6 所示。

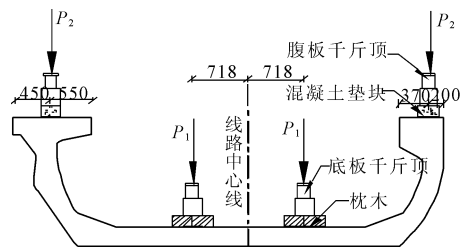


图 5 加载点横向布置示意图(单位: mm)

静载试验时, 在每个千斤顶与反力架之间布置压力传感器, 校核千斤顶加载误差。

(2) 加载值计算。二期恒载、列车活载和 $K \geq 1.0$ 倍的恒载, 采用反力架加载。

加载遵循跨中弯矩与设计荷载下最大弯矩相等、支点剪力与设计荷载下最大剪力近似相等的原则。试验采用分级加载的方式进行加载(定义系数 K 为分级加载系数, 即试验加载下梁体跨中弯矩值与设计荷载下梁体跨中最大弯矩值的比值)。加载分为两个阶段:

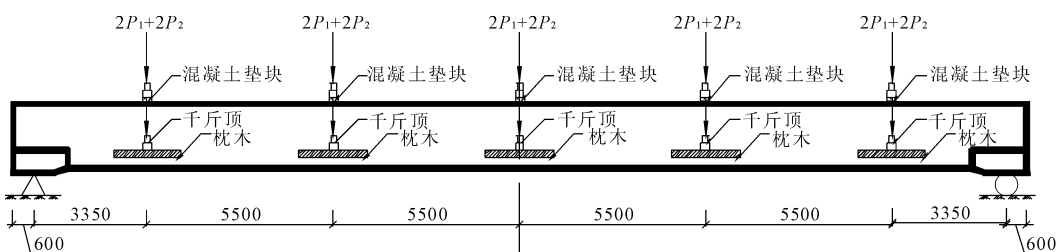


图 6 加载点纵向布置示意图(单位: mm)

阶段一: $K \leq$ 设计荷载 1.0 时(二期恒载 + 活载),通过底板千斤顶进行加载;

阶段二:设计荷载 $1.0 \leq K \leq$ 设计荷载 1.2 时,通过腹板千斤顶进行加载。

各阶段分级加载值见表 1 所示。

表 1 反力架加载荷载值汇总表 单位:kN

加载分级 K	底板加载力 P_1	腹板加载力 P_2	加载力合计 $P = 2P_1 + 2P_2$
二期恒载 0.3	26.78	0.00	53.566
二期恒载 0.6	53.57	0.00	107.133
二期恒载 0.8	71.42	0.00	142.844
二期恒载 1.0	89.28	0.00	178.555
二恒 1.0 + 活载 0.3	118.07	0.00	236.134
二恒 1.0 + 活载 0.6	146.86	0.00	293.714
二恒 1.0 + 活载 0.8	166.05	0.00	332.103
二恒 1.0 + 活载 1.0	185.24	0.00	370.488
设计荷载 1.1	185.24	36.06	442.610
设计荷载 1.2	185.24	72.13	514.731

(3) 加载循环。为消除试验过程中的不确定因

素影响,确保试验结果准确性和可靠性,试验进行两个循环测试。分别是:

循环 1:依据表 1,从零荷载逐级加载到“二恒 1.0 + 活载 1.0”,按照试验规程完成逐级测试后,并逐级卸载到零荷载状态;

循环 2:依据表 1,从零荷载逐级加载到“设计荷载 1.2”,按照试验规程完成逐级测试后,并逐级卸载到零荷载状态。

2 试验结果分析

2.1 刚度分析

依据《预应力混凝土铁路桥简支梁静载弯曲试验方法及评定标准》^[12](TB/T 2092 - 2003)的实测静活载挠度值合格评定标准: $f_{\text{实测}} \leq 1.05(f_{\text{设计}}/\psi)$ (其中 ψ 为等效荷载加载挠度修正系数,取值: $\psi = 1.0613$,计算跨径为 28.7 m)。则计算得知:1.0 倍活载作用下,实测挠度最大值 11.04 mm $<$ $1.05(f_{\text{设计}}/\psi) = 14.2$ mm。3 片 U 型梁跨中截面在 1.0 设计活载作用下挠度实测值和挠跨比分析结果如表 2 所示。

表 2 试验梁跨中截面实测挠度值与挠跨比分析

单位:mm

测点位置	1# 梁挠度值		2# 梁挠度值		3# 梁挠度值	
	循环 1 实测	循环 2 实测	循环 1 实测	循环 2 实测	循环 1 实测	循环 2 实测
DM2 - 1	10.43	9.86	9.25	9.08	8.99	9.03
DM2 - 2	11.04	10.35	10.14	9.96	9.96	9.69
DM2 - 3	9.47	9.00	10.01	9.80	9.48	8.22
实测平均值	10.31	9.74	9.80	9.61	9.48	8.98
实测挠跨比	1/2600		1/2830		1/2882	

由刚度结果可知:可计算得出各片试验梁的挠跨比如表 2 所示,测试方法和试验结果满足《预应力混凝土铁路桥简支梁静载弯曲试验方法及评定标准》^[12](TB/T 2092 - 2003)要求,且梁体竖向刚度满足《地铁设计规范》^[13](GB 50157 - 2013)的挠跨比限值 1/2000。

2.2 应力分析

以 1# 梁为例进行应力分析。将测得的混凝土应变增量,换算成混凝土应力增量。且弹性模量按照规范取值(C55 混凝土)。换算后的应力增量见表 3。

由表 3 可以得知:试验荷载作用下,跨中截面混凝土纵、横向应力增量校验系数为 0.67 ~ 0.89,所有测点校验系数不大于 1.0,参照《公路桥梁承载能力检测评定规程》^[14](JTG/T J21 - 2011),梁体应力校验系数满足要求。

试验结果显示 2# 梁,3# 梁应力分析结果相似,均能满足设计要求。

2.3 抗裂性分析

抗裂性试验主要通过加载到设计荷载 1.2 时,观测梁体是否出现裂缝以及裂缝的宽度限值是否满足规范要求。裂缝观测采用光学显微镜。本文试验的裂缝观测和抗裂性分析结果整理见表 4。

依据规范^[15-16]和规范^[13]中关于钢筋混凝土结构裂缝宽度限值规定,横向弯曲状态下的纵向裂缝宽度均小于 0.2 mm,先张法 U 型梁满足钢筋混凝土结构抗裂性要求。

3 结论

(1) 1.0 倍活载作用下,先张法 U 型梁跨中道床板的实测最大挠度 11.04 mm,挠跨比最大值为 1/2600,梁体竖向刚度满足规范要求。

表 3 试验荷载作用下跨中截面混凝土纵、横向应力增量

单位: MPa

加载等级 K	应力类别	测点编号	应力增量		应力增量计算值③	循环 1 校验系数①/③	循环 2 校验系数②/③
			循环 1 实测值①	循环 2 实测值②			
$K = 1.0$	腹板顶面纵向应力	ZW1	-5.41	-5.62	-7.70	0.70	0.73
		ZW7	-5.44	-5.62	-8.33	0.65	0.67
	底板下缘纵向换算应力	ZW2	4.35	4.03	5.03	0.86	0.80
		ZW3	5.24	4.67	5.27	0.99	0.89
		ZW4	5.59	5.07	5.62	0.99	0.90
		ZW5	5.33	5.04	5.76	0.93	0.88
		ZW6	4.61	4.32	5.26	0.88	0.82
$K = 1.2$	腹板顶面纵向应力	ZW1	—	-7.72	-11.44	—	0.67
		ZW7	—	-7.49	-10.74	—	0.70
	底板下表面纵向应力	ZW2	—	5.47	7.13	—	0.77
		ZW3	—	5.90	7.13	—	0.83
		ZW4	—	6.45	7.22	—	0.89
		ZW5	—	6.39	7.46	—	0.86
		ZW6	—	5.67	7.36	—	0.77

注:压为“-”,拉为“+”;—代表为测试该工况未加载测量。

表 4 先张法 U 型梁抗裂性分析

梁编号	主梁抗裂性		道床板抗裂性	
	正常运营荷载	抗裂荷载	正常运营荷载	抗裂荷载
1# 梁	未发现裂缝	未发现裂缝	未发现裂缝	未发现裂缝
2# 梁	未发现裂缝	未发现裂缝	出现纵向微裂缝,最大裂宽为 0.02mm	纵向裂缝数量增多,裂缝最大宽度为 0.05mm
3# 梁	未发现裂缝	未发现裂缝	出现纵向微裂缝,最大裂宽为 0.03mm	纵向裂缝数量增多,裂缝最大宽度为 0.06mm

(2) 试验荷载作用下,跨中截面混凝土纵、横向应力增量校验系数为 0.67 ~ 0.89,所有测点校验系数不大于 1.0,梁体应力校验系数满足评定规程的要求。

(3) 在 $K = 1.0$ 倍活载以及 $K = 1.2$ 倍设计荷载作用下,主梁和道床板最大裂缝均小于 0.2 mm,满足钢筋混凝土结构抗裂性要求。

(4) 先张法预制 U 型梁的综合力学性能已经达到广泛使用的后张法 U 型梁的力学性能指标,满足设计和相关规范要求。

参考文献:

- [1] 王彬力.城市轨道交通 U 型梁系统结构受力行为研究[D].成都:西南交通大学,2012.
- [2] 张吉,陆元春,吴定俊.槽形梁结构在轨道交通中的应用与发展[J].桥梁,2013(10):78-82.
- [3] 吴迅,张鹏.预应力混凝土轨道交通高架桥结构形式演化[J].城市轨道交通研究,2009(10):73-76.
- [4] 张彦君.某实腹石拱桥结构承载能力分析[J].水利与建筑工程学报,2015,13(6):221-225.
- [5] 何龙军,车轶.钢筋混凝土无腹筋梁受剪承载力尺寸效应研究[J].水利与建筑工程学报,2013,11(6):171-175.
- [6] 吕长荣,宋郁民,刘媛.缺失资料刚架拱桥的荷载试

验及性能评定[J].水利与建筑工程学报,2008,6(3):68-70.

- [7] 贾良,王鸿.青浦桥静载试验分析[J].水利与建筑工程学报,2010,8(3):146-149.
- [8] 陈航,庄郁辉,王子民.预应力混凝土 U 型梁空间力学性能仿真分析[J].中国水运,2010,10(2):140-142.
- [9] 朱琛.迪拜地铁线轻轨高架桥设计[J].世界桥梁,2011(2):1-4.
- [10] 汪建文.麦加地铁 25 m U 形先张梁施工技术[J].桥梁,2010(6):72-75.
- [11] 苏建华.地铁 U 型梁的静载破坏试验分析[J].特种结构,2008,25(3):84-86.
- [12] 中华人民共和国铁道部.预应力混凝土铁路桥简支梁静载弯曲实验方法及评定标准:TB/T 2092-2003[S].北京:中国铁道出版社,2003.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部.地铁设计规范:GB50157-2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [14] 中华人民共和国交通运输部.公路桥梁承载能力检测评定规程:JTG/TJ21-2011[S].北京:人民出版社,2011.
- [15] 中华人民共和国铁道部.铁路桥涵设计基本规范:TB10002.1-2005[S].北京:中国铁道出版社,2005.
- [16] 中华人民共和国铁道部.铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范:TB10002.3-2005[S].北京:中国铁道出版社,2005.