

# 预应力混凝土变截面连续箱梁桥静载试验研究

周玲艳

(广东纵横工程检测有限公司, 广东 佛山 528226)

**摘要:** 为准确评估预应力混凝土变截面连续箱梁成桥时的承载能力及工作状态, 检验桥梁结构是否达到设计及有关规范规定的要求, 为桥梁交工验收提供技术依据。以某预应力混凝土变截面连续箱梁为研究对象, 采用软件MIDAS Civil建立有限元分析模型, 详细介绍了静载试验检测的主要试验工况及测试内容, 对比分析了主梁应变、挠度等静载理论计算值与实测数据。结果表明: 静力荷载作用下, 该桥应变、挠度校验系数均在规定的合理范围内; 应变、挠度残余均小于20%。该桥整体处于弹性工作状态, 受力状态良好, 满足设计荷载及有关规范的使用要求。准确评估结构成桥时的整体承载性能及实际工作状态, 检验桥梁结构是否达到设计及有关规范规定的要求, 为类似交工验收中桥梁承载能力评定提供参考。

**关键词:** 预应力混凝土; 连续箱梁; 静载试验; 承载性能

中图分类号: U446

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)02-0176-05

## Study on Static Load Test of Prestressed Concrete Variable-section Continuous Box Girder Bridge

ZHOU Lingyan

(Guangdong Zongheng Engineering Inspection Co., Ltd., Foshan 528226, China)

**Abstract:** In order to accurately assess the bearing capacity and working state of prestressed concrete variable-section continuous box girder bridge, it is to check whether the bridge structure meets the requirements of the design and relevant codes, which provides a technical basis for the delivery and acceptance of bridges. Taking a prestressed concrete variable-section continuous box girder as the research object, the software MIDAS Civil is used to establish a finite element analysis model. The main test conditions and test contents of the static load test inspection are introduced in detail. The theoretical calculated values of static loads of main girder strains and deflections are analyzed and compared with the measured data. The results show that under the static load, the strain and deflection calibration coefficients of the bridge are all within the specified reasonable range. And the strain and deflection residuals are all less than 20%. The whole bridge is in elastic working state and in good stress state, which meets the design load and the use requirements of relevant codes. The overall carrying performance and the practical working state of the bridge during its completion are accurately evaluated. It is to check whether the bridge structure meets the requirements of the design and relevant codes, which provides a reference for the evaluation of the bearing capacity of bridges in the delivery and acceptance of similar bridges.

**Keywords:** prestressed concrete; continuous box girder; static load test; bearing performance

## 0 引言

城市桥梁建设越来越重视结构的适用性和美观性, 预应力混凝土变截面连续箱梁桥由于其自重相对较轻、结构整体性能较好、外形美观且跨径较大, 因而这类桥型被广泛应用于城市的建设中<sup>[1-3]</sup>。文章依托佛山某新建预应力混凝土连续箱梁桥的交工检测, 对其进行相应的静载试验, 详细描述了有限元

数值模拟、静载试验测点布置、测试断面、测试内容, 并对主梁的应变、挠度等静载理论值和实测数据进行对比分析, 从而对该桥的实际的整体承载性能及实际工作状态进行了客观评价, 为类似交工验收中桥梁承载能力评定提供参考<sup>[4]</sup>。

## 1 工程概况

某跨线桥第三联跨径组合为(40+69+40)m, 桥梁上部结构采用C50型预应力混凝土变截面连续箱梁, 单箱单室截面。箱梁顶宽16.0m, 底宽8.0m, 箱梁高度按二次抛物线由支点4.4m渐变为合拢段梁

收稿日期: 2024-05-28

作者简介: 周玲艳(1985—), 女, 本科, 工程师, 从事桥梁、原材料、道路检测工作。

2.2 m;箱梁顶板厚度按直线由70 cm渐变至28 cm;箱梁底板厚度按直线由120 cm变为28 cm;箱梁腹板厚度按直线由80 cm渐变至60 cm。横桥向分成两幅桥,单幅桥梁横断面组成如下:0.5 m(防撞墙)+3.0 m(人行道)+12.00 m(车行道)+0.5 m(防撞墙)=16.0 m。设计荷载采用城-A级;人群荷载3.5 kN/m。

## 2 静载试验方案

### 2.1 模型建立

桥梁主体结构使用MIDAS Civil有限元分析软件进行分析计算,由于该桥梁宽较小,主梁直接采用梁单元进行模拟,混凝土强度等级取C50,单向3车道,设计荷载采用城-A级,人群荷载3.5 kN/m。模型共162个节点、148个单元,有限元模型见图1。

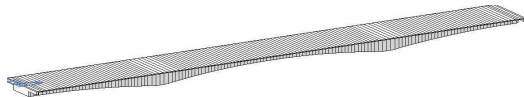


图1 桥梁有限元计算模型

### 2.2 静载试验工况

根据该桥的整体受力特点,选取左幅桥第三联(40+69+40)m跨径的预应力混凝土变截面连续箱梁进行静载试验,测试主梁相应的静态参数。主要选取3个试验工况:工况1-边跨A截面最大正弯矩工况,工况2-墩顶B截面最大负弯矩工况,工况3-中跨C截面最大正弯矩工况。

### 2.3 测点布设

挠度采用精密水准仪进行测量,在桥面布置A、

B两条测线,共18个挠度测点;应变测量采用东华静态应变测试分析系统,每个截面布置11个测点,共计33个应变测点。具体测点布置见图2,其中A、B截面应变测点布置在箱外,每个截面11个应变测点;C截面由于上跨高速,应变测点布置于箱内,仅顶板多布置3个测点,共14个应变测点。

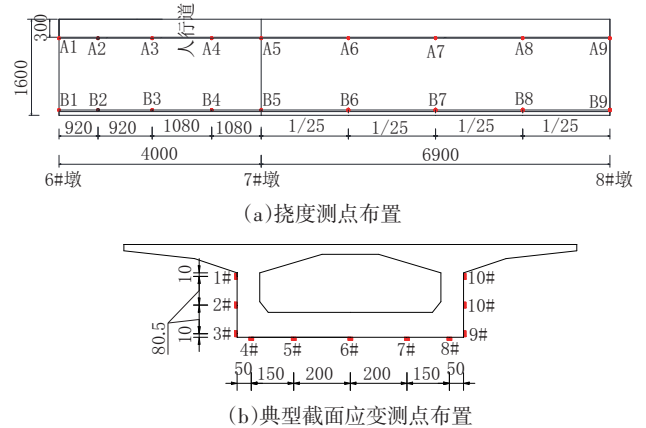


图2 测点布设(单位:cm)

### 2.4 静载试验方案

静载试验根据等效设计荷载的原则,采用后八轮加载车进行偏载侧加载,在主要控制截面或断面的内力影响线最不利位置进行加载,以使各主要控制截面或断面产生最不利荷载效应,并满足《城市桥梁检测与评定技术规范》(CJJ/T 233—2015)(简称规范)<sup>[5]</sup>验收性试验荷载效率0.85~1.05范围内。经计算确定,该桥静载试验最大加载车辆数为12台,单辆加载车总重36 t,各工况加载车辆布置见图3。本次静载试验效率控制在0.95~1.05之间,见表2。

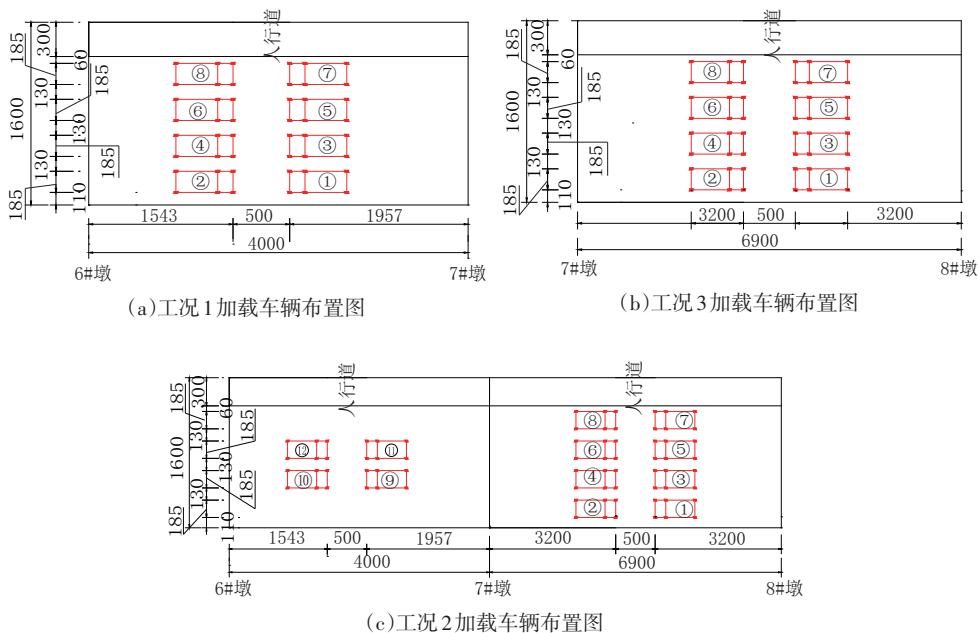


图3 加载车辆布置图(单位:cm)

表2 静载试验主要工况

工况	项目	设计内力/ (kN·m)	试验内力/ (kN·m)	荷载效率	加载车辆数
1	7#跨最大正弯矩工况	16 361.6	17 176.4	1.05	8台
2	7#跨最大负弯矩工况	-34 393.4	-32 667.4	0.95	12台
3	8#跨跨中最大正弯矩 工况	17 661.6	18 000.2	1.02	8台

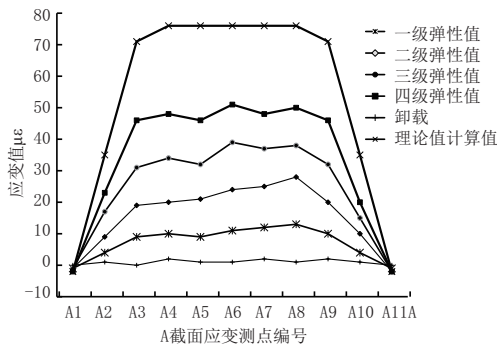
### 3 静载试验结果与分析

#### 3.1 应变测试结果

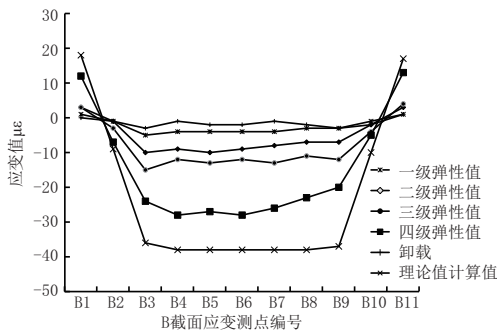
各静载试验工况应变实际检测结果见表3和图4。各工况截面满载状态下其弹性应变沿截面高度线形回归分布见图5。表中实测应变值均为实际测量所得;弹性值=各级实测值-卸载实测值;校验系数=第4级弹性值/第4级理论值;卸载相对应变=卸载实测值/第4级实测值。

表3 各截面应变实测结果与理论计算值对比表

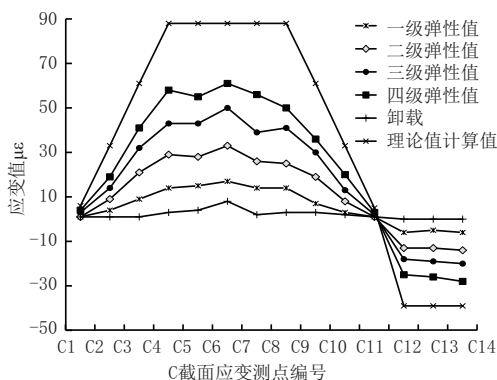
工况	测点编号	第1级	第2级	第3级	第4级			卸载		
		实测值	实测值	实测值	实测值	弹性值	理论值	校验系数	实测值	相对应变
工况1边跨最大正弯矩A截面	A1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	—	0	—
	A2	4	9	17	24	23	35	—	1	—
	A3	9	19	31	46	46	71	—	0	—
	A4	10	20	34	50	48	76	0.63	2	0.04
	A5	9	21	32	47	46	76	0.61	1	0.02
	A6	11	24	39	52	51	76	0.67	1	0.02
	A7	12	25	37	50	48	76	0.63	2	0.04
	A8	13	28	38	51	50	76	0.66	1	0.02
	A9	10	20	32	48	46	71	—	2	—
	A10	4	10	15	21	20	35	—	1	—
	A11	-1	-2	-2	-2	-2	-2	—	0	—
工况2墩顶最大负弯矩B截面	B1	1	3	3	12	12	18	—	0	—
	B2	-1	-1	-3	-8	-7	-9	—	-1	—
	B3	-5	-10	-15	-27	-24	-36	—	-3	—
	B4	-4	-9	-12	-29	-28	-38	0.74	-1	0.03
	B5	-4	-10	-13	-29	-27	-38	0.71	-2	0.07
	B6	-4	-9	-12	-30	-28	-38	0.74	-2	0.07
	B7	-4	-8	-13	-27	-26	-38	0.68	-1	0.04
	B8	-3	-7	-11	-25	-23	-38	0.61	-2	0.08
	B9	-3	-7	-12	-23	-20	-37	—	-3	—
	B10	-1	-2	-4	-7	-5	-10	—	-2	—
	B11	1	3	4	14	13	17	—	1	—
工况3中跨最大正弯矩C截面	C1	1	1	3	5	4	6	—	1	—
	C2	4	9	14	20	19	33	—	1	—
	C3	9	21	32	42	41	61	—	1	—
	C4	14	29	43	61	58	88	0.66	3	0.05
	C5	15	28	43	59	55	88	0.63	4	0.07
	C6	17	33	50	69	61	88	0.69	8	0.12
	C7	14	26	39	58	56	88	0.64	2	0.03
	C8	14	25	41	53	50	88	0.57	3	0.06
	C9	7	19	30	39	36	61	—	3	—
	C10	3	8	13	22	20	33	—	2	—
	C11	1	1	2	4	3	5	—	1	—
	C12	-6	-13	-18	-25	-25	-39	—	0	—
	C13	-5	-13	-19	-26	-26	-39	—	0	—
	C14	-6	-14	-20	-28	-28	-39	—	0	—



(a) 工况1-A截面各测点实测弹性应变与理论计算应变比较



(b) 工况2-B截面各测点实测弹性应变与理论计算应变比较

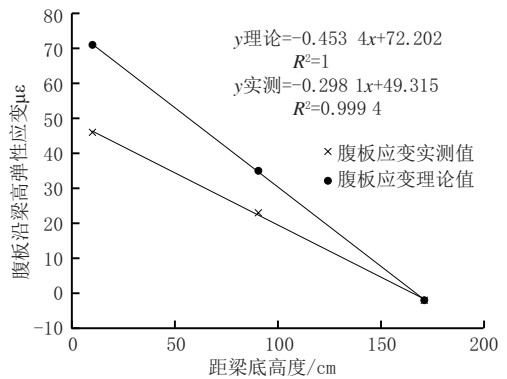


(c) 工况3-C截面各测点实测弹性应变与理论计算应变比较

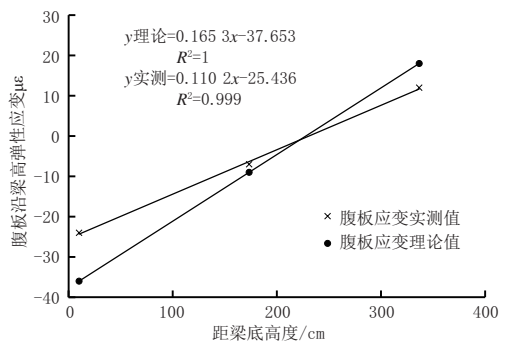
图4 各工况截面测点实测弹性应变与理论计算值应变比较

由表3和图4可知,各工况主要测点应变校验系数介于0.57~0.74之间,且各级应变增量基本呈线性增加,变化趋势与理论值基本一致,无突变,表明测试截面结构强度满足规范要求,应力状态正常。卸载后,相对残余应变介于2%~12%之间,满足规范小于20%的规定要求,表明测试截面应变基本恢复。

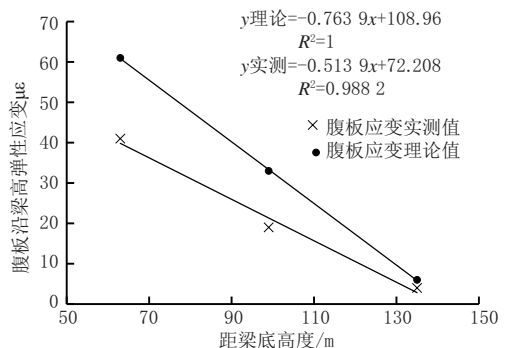
从图5可知,腹板应变测点实际测量的弹性应变沿截面高度基本呈线性变化,线性相关系数 $R^2$ 分别为0.9994、0.9990、0.9882,符合平截面假定,拟合中性轴高度均小于理论计算值。



(a) 工况1-A截面满荷载状态下其弹性应变沿截面高度分布图



(b) 工况2-B截面满荷载状态下其弹性应变沿截面高度分布图



(c) 工况3-C截面满荷载状态下其弹性应变沿截面高度分布图

图5 各工况截面满载情况下弹性应变沿截面高度分布图

### 3.2 挠度测试结果

各工况桥面左右各测点挠度测试结果见表6和图6、图7。表6中实测挠度值均为实际测量所得;弹性值=各级实测值-卸载实测值;校验系数=第4级弹性值/第4级理论值;卸载相对应变=卸载实测值/第4级实测值。

由表6和图6、图7可知,各工况挠度校验系数介于0.66~0.77之间,且各级挠度增量基本呈线性增加,变化趋势与理论值基本一致,无突变,表明测试截面结构刚度满足规范要求,应力状态正常。卸载

表6 各截面挠度实测结果与理论计算值对比表

工况	测点	第1级	第2级	第3级	第4级			卸载		
		实测值	实测值	实测值	实测值	弹性值	理论值	校验系数	实测值	相对变位
工况1边跨最大正弯矩A截面	A2	0.59	1.45	2.55	4.00	3.93	5.36	0.73	0.07	0.02
	A3	0.90	2.06	3.53	5.32	5.28	7.41	0.71	0.04	0.01
	A4	0.59	1.32	2.20	3.25	3.23	4.20	0.77	0.02	0.01
	B2	1.02	2.20	3.25	4.11	4.02	5.36	0.75	0.09	0.02
	B3	1.22	2.43	3.83	5.03	5.01	7.41	0.68	0.02	0.00
工况3中跨最大正弯矩C截面	B4	0.68	1.51	2.33	3.10	3.09	4.20	0.74	0.01	0.00
	A6	1.87	3.74	5.68	7.63	7.31	10.60	0.69	0.32	0.04
	A7	3.93	7.85	11.54	15.70	14.45	19.53	0.74	1.25	0.08
	A8	2.23	4.46	6.69	8.93	8.06	10.60	0.76	0.87	0.10
	B6	1.87	3.74	5.62	7.49	7.21	10.60	0.68	0.28	0.04
B7	3.80	7.55	11.32	15.20	14.06	19.53	0.72	1.14	0.08	
B8	1.77	3.41	5.31	7.09	7.00	10.60	0.66	0.09	0.01	

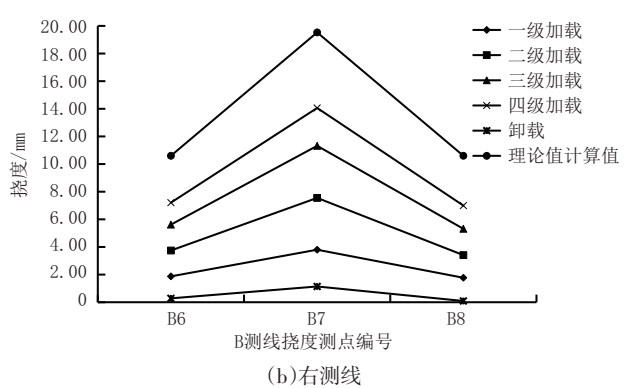
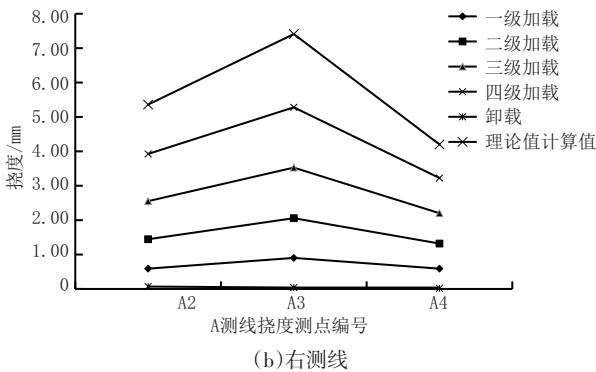
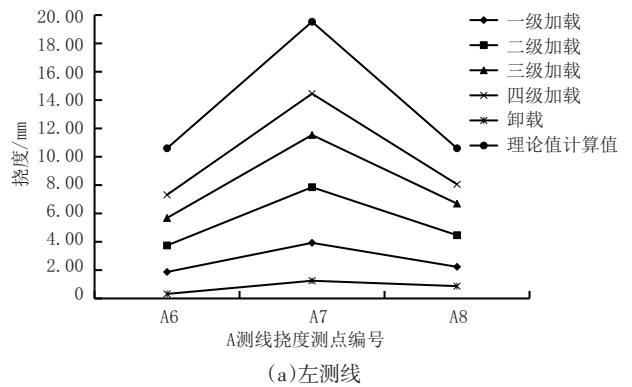
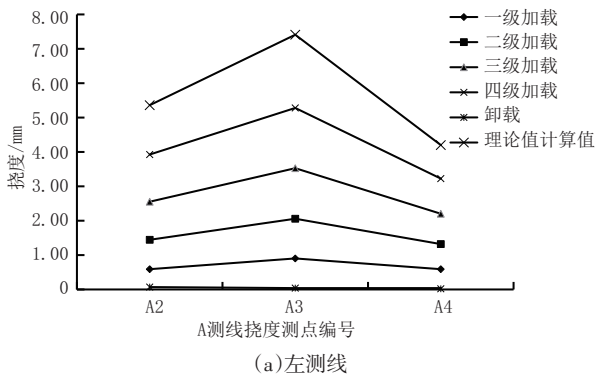


图6 工况1左、右测线实测弹性挠度与理论计算挠度比较后,相对残余应变介于0%~10%之间,满足规范小于20%的规定要求,表明测试截面挠度基本恢复。

图7 工况2左、右测线实测弹性挠度与理论计算挠度比较测参数残余均小于20%,满足规范规定的各项指标要求。表明结构处于弹性工作状态。

### 4 结论

(1)在静力荷载作用下,左幅桥第三联各截面的应变校验系数介于0.57~0.74之间,挠度校验系数介于0.66~0.77之间,均在规范规定的合理范围内,且校验系数均小于1,表明其结构抗弯刚度满足设计指标的要求。

(3)综合静载试验结果及分析,桥梁结构及刚度符合规范中所规定的各项指标要求,结构处于弹性工作状态,桥梁结构承载能力满足设计荷载的正常使用要求。为类似交工验收中桥梁承载能力评定提供参考。

#### 参考文献:

[1] 王燕,张飞.新建变截面连续箱梁桥静动载试验与性能评价[J].铁道建筑,2021,61(3):19-23.  
 [2] 姜传绵.预应力混凝土连续箱梁桥静、动荷载试验研究[J].铁道工

(2)静载试验卸载后,左幅桥第三联各截面的检