

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2022.08.022

# ZB-200型筒支贝雷梁钢便桥静力荷载试验研究

郭延飞<sup>1</sup>, 陈佳佳<sup>2</sup>, 王国炜<sup>3</sup>, 元兴军<sup>4</sup>

(1.山东高速基础设施建设有限公司, 山东 济南 250101; 2.四川公路工程咨询监理有限公司, 四川 成都 610041;  
3.济南金衢公路勘察设计研究有限公司, 山东 济南 250101; 4.山东建筑大学交通工程学院, 山东 济南 250101)

**摘要:** G318线竹巴笼大桥因泄洪被冲毁,需在原有桥墩上架设跨度为30 m的上承式ZB-200型战备贝雷梁钢便桥进行抢修,通过桥梁专用软件MIDAS/CIVIL建立桥梁三维空间有限元模型,并采用《装配式公路钢桥多用途使用手册》中错孔挠度理论计算的方法,确定出ZB-200型贝雷梁理论计算的挠度值和应变值,与实桥静力荷载试验测试数据对比,分析不同加载方案下试验数据和理论计算的差异,根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21-2011)对现有ZB-200型钢便桥的承载能力进行评估和判断。结果表明:ZB-200型贝雷梁钢便桥挠度、应变校验系数、相对残余变位绝对值均满足技术规范的要求,贝雷梁结构刚度达到设计荷载并满足单车50 t运营要求。为今后桥梁抢修工程提供值得借鉴的经验,并提出该桥实行限载、限行的方案,以及加强钢便桥结构的定期检查和检测等相关建议。

**关键词:** ZB-200型贝雷梁;荷载试验;承载能力评估和判断;桥梁抢修

**中图分类号:** U446.1

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)08-0075-04

## 0 引言

随着经济社会的不断发展,工程建设中广泛应用装配式公路钢桥器材架设临时钢便桥、应急桥梁、“桥桥”施工塔架、支撑架、栈桥和工作平台等多种装配式钢结构,临时便桥施工在道路保通过程中为应急抢修抢建积累了丰富的实践经验。贝雷梁钢便桥以构造简单、自重轻、方便快捷架设及可循环利用等优势在工程中得以广泛应用,尤其在抗震抢险救灾的时候,作为架设运送物资的便桥起到了关键作用<sup>[1]</sup>。贝雷梁钢便桥作为临时桥梁结构使用时,一般需要满足大型重载车辆的通过要求,因此有必要对贝雷梁的结构进行安全计算和荷载试验,为钢便桥运营使用提供技术依据<sup>[2]</sup>。本文结合多跨筒支贝雷梁抢通工程,通过桥梁专用软件MIDAS/CIVIL建立空间有限元模型,结合《装配式公路钢桥多用途使用手册》中错孔挠度理论计算的方法,依据《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21-2011)对现有ZB-200型钢便桥的承载能力进行评估和判断,为今后桥梁抢修工程提供值得借鉴的经验。

收稿日期: 2021-09-27

基金项目: 山东省高等学校土木结构防灾减灾协同创新中心项目(XTM201904)

作者简介: 郭延飞(1987—),男,硕士,工程师,从事桥梁和水运结构施工监控和检测工作。

## 1 工程概况

G318线竹巴笼金沙江大桥位于川藏公路分界线上,是由川进藏的关键线路之一,上部结构跨径布置为8×30 m预应力T梁+1×25 m预应力混凝土现浇空心板,下部结构为桩柱式桥墩、摩擦桩基础。受堰塞湖泄洪影响,第2~8跨上部结构被洪水冲毁。为尽快恢复交通,做好抢通保通和灾后重建工作,在原有桥墩和盖梁的基础上,中间7孔采用ZB-200型上承式三排单层加强型筒支战备钢桥,两岸边孔保留,并对四川岸边T梁进行纠偏复位。桥梁横向布置为双侧三排,两侧桁架之间设置剪力撑,I型剪刀撑适用于钢桥奇数跨,共4跨,每跨9片;II型剪刀撑适用于钢桥偶数跨,共3跨,每跨11片,桥面宽度:净1.0 m(护栏)+4.2 m(行车道)+1.0 m(护栏)=6.2 m,如图1所示。每一标准型桁架单元长度为3.048 m,一孔30 m桥跨采用10个标准型桁架单元,相邻两孔筒支钢梁桥的主桁架横向交错布置,每跨桁架下部设置3~4道横梁,如图2所示。该桥设计荷载:汽-20、挂-100(只允许单车通过),该次荷载试验为确定抢通工程实际使用状况及受力状态是否满足试运营(单车50 t)阶段使用要求,因而对其进行荷载试验和承载能力评估<sup>[3]</sup>。

## 2 静载试验内容及方法

### 2.1 空间有限元模型的建立

为科学进行该桥梁的荷载试验,运用有限元软件

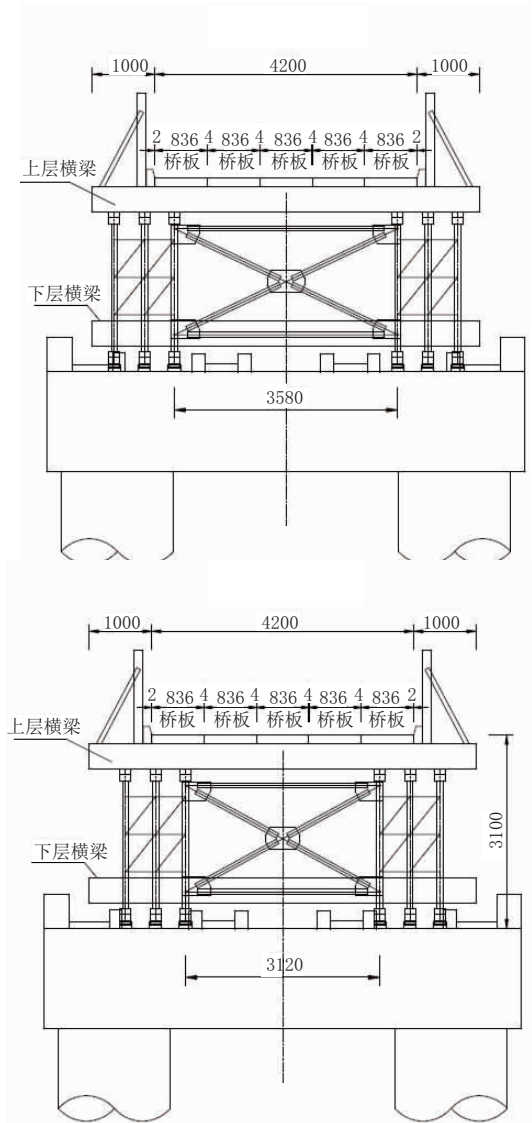


图1 钢桁架桥梁断面图(单位:mm)

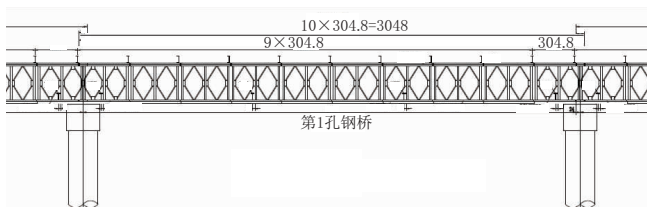


图2 钢桁架桥梁立面图(单位:cm)

MIDAS/CIVIL 建立桥梁三维空间有限元模型,通过运营荷载组合计算,得到相应不利断面,进而确定试验和检测断面。模型中贝雷梁、横梁采用 Q345 钢,其余各构件均采用 Q235 钢材模拟;桥面 13.5 cm 厚花纹钢板采用板单元模拟,其余采用梁单元模拟。在两片贝雷片连接位置释放梁单元  $y-y$  方向旋转自由度,桥面板与分配梁共用节点,贝雷梁与工字钢横梁之间的连接采用弹性连接中的一般连接<sup>[4]</sup>。试验荷载下弯矩包络图如图 3 所示。

## 2.2 加载测点的布置

### (1) 挠度测点布置

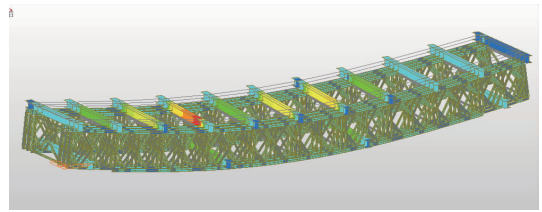


图3 试验荷载下(中载)弯矩包络图

该跨布置 6 个变形测点,位于桥面距护栏约 20 cm 处及道路中心线上,测点编号为 D1~D6,变形测量采用高精度水准仪,布置点如图 4 所示。

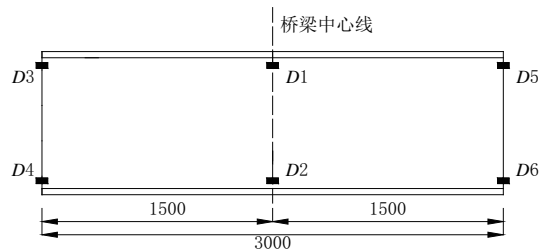


图4 挠度测点布置图(单位:cm)

### (2) 应变测点布置

对应急保通钢桁架进行检测:该跨支点钢梁进行剪力检测,在检测每片桁架端立柱下部各布置一处应力监测点,共计 6 个测点;跨中每片桁架梁上、下弦杆各布置一处应力监测点,共计 12 个测点。墩顶测点布置图如图 5 至图 7 所示。

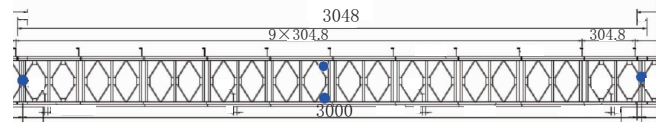


图5 应变测点布置图

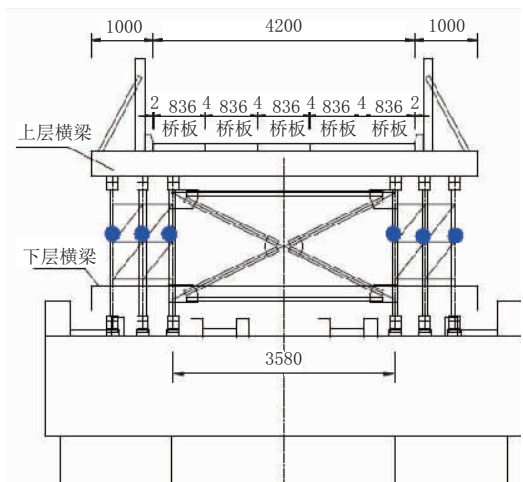


图6 应变测点布置图(支座处竖杆)(单位:mm)

### (3) 桥墩偏位检测。

在各工况试验汽车荷载作用下,观测墩柱是否有偏位产生;记录发现偏位的工况及加载等级,偏位大小和方向。观测过程中若发现数值超过荷载计算的容许值,或出现其他异常情况时,应立即停止加载。偏位测点布置如图 8 所示。

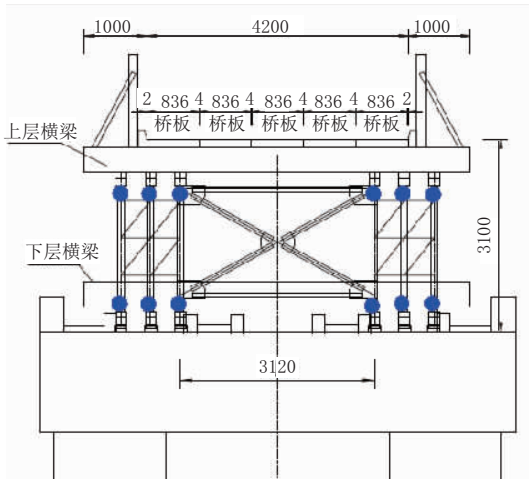


图7 应变测点布置图(跨中弦杆)(单位:mm)

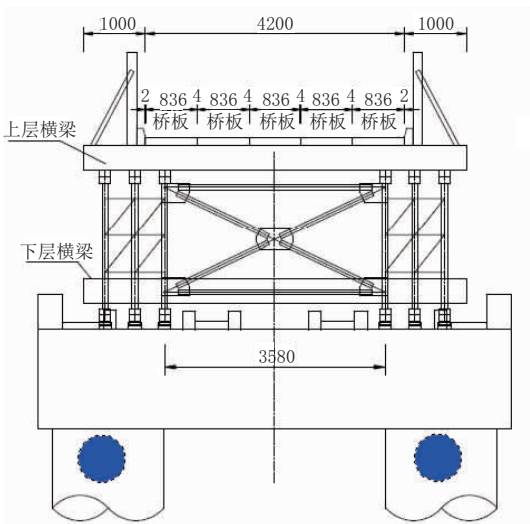


图8 墩柱偏位测点(单位:mm)

### 2.3 加载车辆及加载效率

依据设计文件桥面板轴重不大于14 t,试运营(单车50 t)阶段使用要求运,通过三维模型计算确定静载试验需要加载车2辆35 t(50 t等效荷载进行加载)。无额定计算试验荷载最大弯矩4 512.8 kN·m,荷载效率系数为0.969,处于规范规定的范围0.85~1.05,表明此试验加载有效。

### 2.4 加载工况

根据贝雷梁的结构特点、现场的实际情况,按照测试界面的控制内力及挠度布载,本桥加载过程分为四级,卸载过程分为二级。加载工况示意图如图9所示。

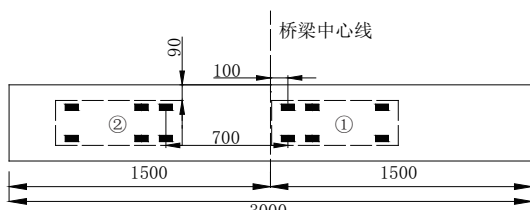


图9 100%加载下车辆布置图(单位:cm)

(1)预加载:零载→50%荷载值→零载

(2)正式加载:零载→工况 I-1(25%)→工况 I-2(50%)→工况 I-3(75%)→工况 I-4 满载(100%)→工况 I-5(50%)→零载。

## 3 静载试验结果分析

### 3.1 ZB-200 型钢桥挠度计算原理

贝雷桁架间连接采用销接,由于销与孔间存在着设计间隙,桁架受力后两者间的相对位移会引起结构的非弹性挠度,所以 ZB-200 型钢桁架的挠度由 2 部分组成<sup>[5]</sup>:(1)桁架结构受力产生的弹性挠度;(2)销钉与销孔之间的间隙,引起的非弹性挠度即错孔挠度。由文献[6]可知,ZB-200 型贝雷梁标准节段长 3.048 m,高度 2.134 m,国产贝雷梁孔与销间的设计间隙为 0.5 mm<sup>[6]</sup>。

《装配式公路钢桥多用途使用手册》采用虚功原理,推导出单层简支贝雷梁错孔挠度计算公式:

$$f = \begin{cases} \frac{n^2}{4}d\theta, n \geq 2 \text{ 且为偶数} \\ \frac{n^2-1}{4}d\theta, n \geq 3 \text{ 且为奇数} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $d$ 为贝雷梁标准节段长度的一半; $\theta$ 为销钉与销孔之间的间隙 $\Delta$ 所引起的转角, $\theta = \frac{2\Delta}{h}$ ;  $h$ 为贝雷梁高度; $n$ 为贝雷梁节段数。

### 3.2 挠度测试结果分析

贝雷梁挠度测试结果表明,墩顶位置采用水准仪进行观测,变形较小未能发现挠度变化。跨中截面实测挠度值为 34.4~35.6 mm,材料计算受力变形挠度为 26.1 mm,错空挠度值为 17.8 mm,挠度校验系数在 0.78~0.80 之间。根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21—2011)结构校验系数小于 1.0 的要求,表明结构的实际状况要好于理论状况,结构变形满足弹性工作状态要求。具体挠度对比分析情况如图 10 所示。

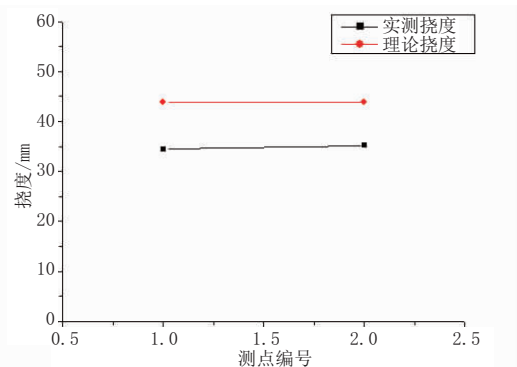


图10 最大正弯矩挠度理论挠度和实测挠度对比图



### 3.3 应变测试结果分析

贝雷梁应变测试结果表明:各杆件实测应变介于 $-189\sim 255\ \mu\varepsilon$ 之间,残余变形应变介于 $-13\sim 16\ \mu\varepsilon$ 之间,理论计算应变介于 $-315\sim 302\ \mu\varepsilon$ 之间,跨中截面校验系数在 $0.35\sim 0.91$ 之间。结构应变校验系数满足规范小于 $1.0$ 的规定,表明贝雷梁结构强度达到设计荷载和使用的要求;相对残余应变绝对值最大为 $8.13\%$ ,均小于 $20\%$ 的规范值,说明结构卸载后有较好的弹性恢复能力。具体应变对比分析情况如图11至图12所示。

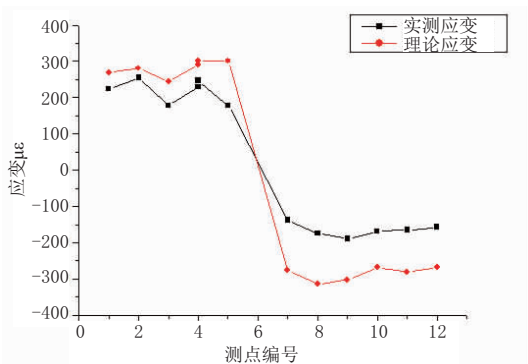


图11 最大正弯矩(上下弦杆)理论应变和实测应变对比图

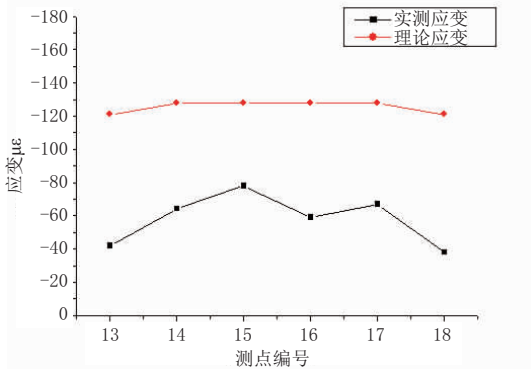


图12 最大正弯矩墩顶竖杆理论应变和实测应变对比图

### 3.4 墩柱偏位测试结果

测试跨径两边墩柱位移结果最大偏位为4-1#墩 $2.8\ \text{mm}$ 下游方向,各工况主测截面偏位介于

$0.2\sim 2.8\ \text{mm}$ ,墩柱位移相对较小,表明墩柱结构的实际状况要好于理论状况。

## 4 结语

桥梁结构作为国省道跨越障碍物的重要组成部分,地质灾害引发的桥梁破坏对灾后重建和物资运输带给社会的影响巨大。本文通过对竹巴笼大桥抢修架设贝雷梁钢便桥的荷载试验,判定抢修桥梁在运营状态下的承载能力。

(1)该次检测各工况测试应力校验系数、相对残余变位绝对值满足《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21—2011)的要求。

(2)各工况测试截面挠度校验系数在 $0.78\sim 0.80$ 之间,通过贝雷梁实桥加载试验结果验证了MIDAS有限元模型和错孔挠度理论计算确认挠度的可靠性。

(3)各工况的荷载试验效率在 $0.85\sim 1.05$ 之间,其试验结果表明表明贝雷梁结构刚度达到设计荷载和满足单车 $50\ \text{t}$ 运营要求。

#### 参考文献:

- [1] 梁远森,王守君,张静芳.“321”贝雷梁钢便桥静力性能分析[J].华北水利水电学院学报,2012,3(5):39-42.
- [2] 唐浩斌,刘智君,沈育民.上承式贝雷梁钢便桥设计[J].湖南交通科技,32(3):111-114.
- [3] 刘亚运,王永红,仇天天.“321”型连续贝雷梁检测与承载能力评估[J].低温建筑技术,2017,39(12):77-80.
- [4] 谢小鹏,杨露,窦国涛.节点刚度对贝雷梁强度和刚度性能影响分析[J].水利水电技术,2020,51(4):10-19.
- [5] 谭学民,陈光强,钟晓林.西江某大桥结构性能的静载试验结果分析[J].广州建筑,2004(5):3-6.
- [6] 黄绍金,刘陌生.装配式公路钢桥多用途使用手册[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [7] 黄海棠,蒙方成.ZB-200型钢桥挠度研究及实桥加载试验验证[J].中外公路,2018(12):38(6):119-122.
- [8] JTG/TJ21—2011,公路桥梁承载能力检测评定规程[S].

(上接第74页)

值,说明施工现场的不对称荷载控制是施工控制的重点。

#### 参考文献:

- [1] 王占生,张顶立.浅埋暗挖隧道近距下穿既有地铁的关键技术[J].岩石力学与工程学报,2007,26(增2):4208-4214.

- [2] 陈孟乔,杨广武.新建地铁站近距离穿越既有地铁隧道的变形控制[J].中国铁道科学,2011,32(4):53-59.
- [3] 梅勇文.城市隧道上跨既有地铁隧道影响分析及处理[J].北方交通,2017(3):138-142.
- [4] GB 50007—2011,建筑地基基础设计规范[S].
- [5] CJJ/T 202—2013,城市轨道交通结构安全保护技术规范[S].