

某拱桥静载试验分析

赵文娟

上海隧道工程质量检测有限公司 上海 201100

摘要：以一座单跨石拱桥作为研究对象。通过在不同位置施加不同大小的载荷，监测拱桥梁结构的变形响应和应力分布以及开裂截面测试。结果表明，在正常交通荷载情况下，结构表现出良好的受力性能；试验为未来类似研究提供了有益经验。

关键词：单跨拱桥；静载试验

引言

通过对拱桥结构进行静荷载加载，测量试验荷载作用下控制截面应力和挠度、残余变形、刚度及开裂截面的专项测试指标，检验结构是否满足规范要求，从而评定桥梁的承载力。

1 工程概况

某桥为一座偏南北走向的单跨石拱桥，桥梁全长为14.0m，净跨径为6.1m。

该桥上部结构由主拱圈和拱上填料组成，采用半圆形拱轴线，主拱圈由块石拼装而成，主拱圈厚0.6m，宽9.75m。下部结构桥台采用重力式桥台^[1]。

该桥桥面总宽为10.27m，桥宽布置为：0.51m（栏杆基座）+1.25m（人行道）+6.75m（车行道）+1.25m（人行道）+0.51m（栏杆基座）。桥面铺装采用沥青混凝土铺装层。桥面两侧设有石制花板栏杆，详见图1拱桥立面示意图。

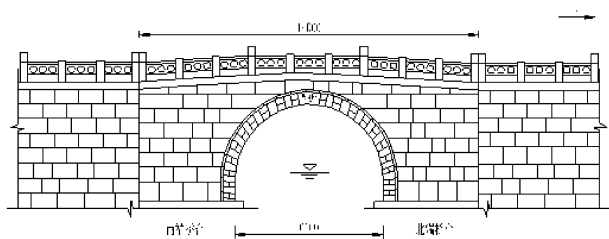


图1 拱桥立面示意图（单位：mm）

2 静载试验

2.1 测试内容

静载试验内容包括现场参数测试及结果分析，主要为：①石拱桥荷载效应实测值及校验系数②刚度及残余变形③拱顶附近开裂截面专项测试。

2.2 试验测试断面及测点布设

本次静载试验共布设3个测试断面。1-1断面：拱顶断面应变及挠度测试；2-2断面：L/4断面挠度测试；3-3断

面：拱顶附近砌缝开裂断面（拱顶中心线偏北侧0.35m）应变测试。见图1。试验共设置3个混凝土应变片及6个位移计，应变及挠度测点分别布置在1-1断面（拱顶）、2-2断面（1/4断面）^[2]。详见图2 各测试断面纵向位置示意图

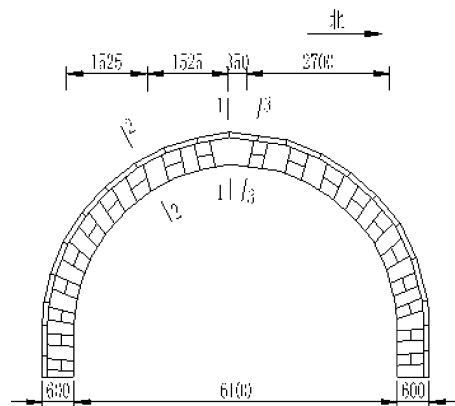


图2 各测试断面纵向位置示意图（单位：mm）

2.3 试验方法和检测内容

2.3.1 试验荷载

本次石拱桥静载试验以城-B级荷载为设计荷载，试验荷载采用2辆总重近39t的三轴载重货车进行内力等效模拟，表1列出了试验车的轴重及轴距。

表1 试验车的轴重及轴距

车牌号	前轴重 (t)	中后轴重 (t)	总重量 (t)	前中轴距 (m)	中后轴距 (m)	轮距 (m)
赣16328	11.25	27.75	39.00	3.95	1.35	1.80
赣06320	9.89	29.60	39.49	4.40	1.35	1.80

2.3.2 试验效率

在控制工况下石拱桥静载试验效率见表2

表2 静载试验的效率系数

荷载工况	试验荷载效应	期望荷载（城-B级）效应	试验荷载效率 η
拱顶最大正弯矩 (kN·m)	211	201	1.05

从表2可以看出,本次石拱桥静载试验效率系数满足规定的静载试验效率0.95~1.05的要求。

3 静载试验结果与分析

3.1 荷载效应实测值及校验系数

试验荷载下石拱桥主拱圈各测点应变实测值、理论值和校验系数见表3,石拱桥挠度实测值、理论值和校验系数见表4。

表3 试验荷载下拱顶截面应力实测值、理论值和校验系数

试验工况	实测应力 (MPa)	理论应力 (MPa)	校验系数 η
1-1断面正弯矩加载	+0.073	+0.334	0.21

注：“+”表示拉应力(变)，“-”表示压应力(变)。

表4 试验荷载下各主要截面挠度实测值、理论值和校验系数

试验工况	实测挠度 (mm)		理论挠度 (mm)	校验系数 η
	实测值	平均值		
1/2L断面	东侧测点	+0.058	+0.074	+0.336
	中线测点	+0.131		
	西侧测点	+0.032		
1/4L断面	最大正挠度	+0.111	+0.262	0.42

注：“+”表示结构下挠，“-”表示结构上拱。

从表3和表4可以得出:石拱桥拱顶断面控制测点的应力(应变)校验系数为0.21,石拱桥挠度校验系数为0.22~0.42,均小于1.0,表明该石拱桥主拱圈结构满足城-B级荷载的正常使用要求^[3]。

3.2 结构相对残余变形

表5列出了石拱桥主要测点的应变相对残余变形的检测结果。

表5 拱顶主要测点应变相对残余变形

试验工况	总应变 ($\mu\epsilon$)	残余应变 ($\mu\epsilon$)	相对残余变形
1-1断面正弯矩加载	+19	0	0

注：“+”表示拉应力(变)，“-”表示压应力(变)。

由上表可以知道,石拱桥在试验荷载作用下,拱顶最大正弯矩工况应变相对残余变形为0,满足《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21—2011)规定的应力(应变)及挠度相对残余变形容许值20.0%,表明该石拱桥主拱圈具备较好的弹性恢复能力。

表6列出了石拱桥主要测点挠度相对残余变形检测结果。

表6 拱桥主要测点挠度相对残余变形

试验工况	实测总挠度 (mm)	残余挠度 (mm)	挠度相对残余变形
1/2L断面 东侧测点	+0.053	-0.005	8.6%

续表:

试验工况	实测总挠度 (mm)	残余挠度 (mm)	挠度相对残余变形
	中线测点	+0.137	0
	西侧测点	+0.032	0
1/4L断面	正挠度加载	+0.105	-0.006
			5.7%

注：“+”表示结构下挠，“-”表示结构上拱。

由上表可知,石拱桥在试验荷载作用下各测试点挠度相对残余变形为0~8.6%,小于《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21-2011)规定的应力(应变)及挠度相对残余变形容许值20.0%,表明该石拱桥主拱圈具备较好的弹性恢复能力,与应变相对残余变形检测结果相符^[4]。

3.3 刚度检验

在相当于1.05倍城-B级荷载作用下,石拱桥主拱圈跨中实测挠度平均值为0.074mm,推算至城-B级荷载(不计冲击)作用下的跨中挠度为0.070mm,仅为跨度的1/87143,远小于《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004)所规定的L/1000允许值6.1mm,表明该石拱桥主拱圈竖向刚度满足规范要求。

3.4 拱顶附近开裂截面专项测试

现场检查发现,该桥主拱圈拱顶北侧0.35m处(即距南端拱脚3.35m处)出现一条横向贯通裂缝,裂缝最大宽度达3mm,为检测该断面处主拱圈的受力情况,现场在横向裂缝向主拱圈东侧面延伸的竖缝处跨缝布设一顺桥向位移传感器,用以监测裂缝宽度变化,同时主拱圈底面横桥向裂缝较宽处(顺桥向桥面中心线处)跨缝布设一钢弦计,用以监测裂缝处应变变化情况。现场采用2辆39吨试验车并排由南端桥台位置顺桥向每隔0.5m向北顺次加载,直至加载车完全通过该桥^[5]。

拱顶附近开裂截面测试结果如下:

① 布设在主拱圈东侧面竖缝处的位移传感器数据为0,这是由于位移传感器量测应变的精度相对较差,无法测量微小应变。

② 主拱圈拱顶底面横桥向裂缝较宽处(顺桥向桥面中心线处)跨缝布设的钢弦计呈规律性变化,见表7。

表7 拱顶附近横向贯通裂缝处钢弦计应变统计表

车辆后轴距南端拱脚距离 (m)	跨缝处钢弦计应变值 ($\mu\epsilon$)	备注
0	-109	车辆后轴对应南端拱脚处
0.5	-114	
1	-106	
1.5	-74	

续表:

车辆后轴距南端拱脚距离 (m)	跨缝处钢弦计应变值 ($\mu\epsilon$)	备注
2	-49	
2.5	-13	
3	19	车辆后轴对应拱顶处
3.5	20	
4	2	
4.5	-18	
5	-25	
5.5	-34	
6	-34	车辆后轴对应北端拱脚处
6.5	-13	卸载
7	-15	卸载

注：“+”表示拉应变，“-”表示压应变。

由表7可以看出,当试验车后轴加载位置距南端桥台0.5m时,拱顶附近跨缝钢弦计最大压应变值为 $-114\mu\epsilon$;当试验车后轴加载位置距南端桥台3.5m时,拱顶附近跨缝钢弦计最大拉应变值为 $20\mu\epsilon$;卸载后,拱顶附近跨缝钢弦计最小残余应变值为 $-13\mu\epsilon$,该桥拱顶跨缝处应变相对残余变形为 $= -13/-114 = 11.4\%$,小于《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21-2011)规定的应力(应变)及挠度相对残余变形容许值 20.0% ^[6]。

③3-3截面(拱顶附近开裂截面)最大正弯矩工况下

应力(应变)校验系数为0.70,小于1.0,该截面处最大正弯矩载位示意图及测试结果见表8,。

表8 试验荷载下拱顶附近开裂截面应力实测值、理论值和校验系数

试验工况	实测应力 (MPa)	理论应力 (MPa)	校验系数 η
3-3断面最大正弯矩加载	+0.230	+0.330	0.70

注：“+”表示拉应力(变)，“-”表示压应力(变)。

结语

从上述监测数据分析来看,石拱桥主拱圈拱顶附近裂缝目前对该断面主拱圈受力影响不明显,在正常使用极限状态下,该断面的受力状态未发生明显改变。

参考文献

- [1]姚玲森.《桥梁工程》(第二版)[M].北京:人民交通出版社,2008.
- [2]JTGD60-2004《公路桥涵设计通用规范》[S].
- [3]JTGTJ21-01-2015《公路桥梁荷载试验规程》[S].
- [4]JTGTJ21-2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》[S].
- [5]《石拱桥检测技术研究》中国建筑工业出版社 作者:李明,姚晓东
- [6]《石拱桥结构健康监测技术》科学出版社 作者:刘学军,张伟