

# 某水利工程在役生产桥裂缝检测评估与处理

陈西宁<sup>1</sup> 陈宁波<sup>1</sup> 刘海祥<sup>2</sup> 孙秋蓉<sup>2</sup>

1. 南京水科院瑞迪科技集团有限公司 江苏 南京 210029

2. 南京水利科学研究院 江苏 南京 210029

**摘要:** 文章简要介绍了某水利工程在役生产桥混凝土桁架由于多根竖向腹杆表面出现纵向通长裂缝; 为评定结构安全性和耐久性, 进行了现场检测、复核计算和评估分析, 并提出处理方案。

**关键词:** 生产桥; 检测; 评估; 建议

## 1 工程简介

### 1.1 工程概况

某水利工程在役生产桥主桥采用82m预应力混凝土桁架结构, 其计算跨径为80m, 计算高度为8.0m。高跨比为1/10; 桁架上、下弦杆均为矩形断面, 尺寸分别为65~85cm×65cm和85cm×65cm, 节点间距8.0m, 节点处设置横梁。主桥桁架跨中设置8cm预拱度, 按二次抛物线全跨分配。<sup>[1]</sup>

### 1.2 设计标准

(1) 接线公路等级: 四级公路, 设计速度: 20km/h。

(2) 桥梁设计荷载: 公路—II级的折减(车道荷载的效应乘以0.8的折成系数, 车辆荷载的效应乘以0.7的折成系数)。

(3) 桥梁宽度: 净—4.5m车行道+2×0.5m防撞护栏, 桥梁全宽5.5m; 路基宽度: 净—4.5m车行道+2×0.5m土路肩, 路基全宽5.5m。<sup>[2]</sup>

(4) 桥梁纵坡: 桥梁两端纵坡为4.0%, 竖曲线半径为2000m, 变坡点设在桥中。

(5) 本桥结构的设计基准期: 100年, 设计安全等级: 二级, 环境类别: I类。

(6) 地震标准: 抗震设防烈度为7度, 设计基本地震动加速度值为0.10g。本桥抗震设防类别为C类, 抗震重要性系数 $C_i$ 取值:  $E_1$ 地震作用为0.34、 $E_2$ 地震作用为1.0。<sup>[3]</sup>

## 2 工作内容与方法

### 2.1 调查内容与方法

检测方面, 工作内容与方法包括:

(1) 展开主跨桥梁全桥普查, 包括各种缺陷、钢筋锈蚀、混凝土强度、钢筋保护层等。

(2) 竖杆内精轧螺纹钢上、下锚具二次封闭混凝土现状调查。

(3) 应力释放法测试应力水平。选择具有纵向裂缝的竖杆、水平缝明显的竖杆以及完好情况的竖杆, 分别

展开应力水平测试。

(4) 裂缝分布, 包括裂缝长度、宽度、深度。运用超声跨缝法、对测法, 判断裂缝深度, 内部情况。

### 2.2 成因分析及安全评价

根据检测结果进行成因分析和安全评价:

(1) 根据裂缝深度、宽度情况, 评判耐久性影响;

(2) 根据预应力测试水平, 评价竖杆预应力是否满足结构抗裂性, 安全性。

### 2.3 处理思路

确保安全性、耐久性要求:

(1) 具有通长纵向裂缝、横向裂缝杆件, 若钢筋没有明显锈蚀, 对裂缝进行低压注浆封闭, 表面涂层等耐久性防护;

(2) 若预应力水平过低或过高, 论证后再考虑是否有必要增设预应力碳纤维板或碳纤维布侧向约束, 进行结构性加强。

## 3 混凝土检测结果

### 3.1 外观调查

①桁架各节点完好, 无明显裂纹、缺陷; ②桁架杆件部分下弦杆、竖杆存在纵向通长裂缝(裂纹), 部分竖杆、斜杆存在横向裂缝(裂纹)。裂缝缝宽0.05mm~0.2mm之间; 通过取小芯(直径2cm)检查, 芯样整体性较好, 裂缝向深处未完全发育或基本自愈合。除个别缝深达到8cm, 其余裂缝为表面裂缝, 最深到保护层厚度。具有通长裂缝的下弦杆4根, 竖杆2根。对芯样进行泡水试验, 取出吹干表面, 裂缝(纹)处未见水渍, 试验表明裂缝小, 渗透性不强。③混凝土保护层对钢筋具有良好的保护, 有足够的耐久性。④采用无人机, 对桥梁顶部、桥面两侧桁架外观进行拍照近距离检查。检查表明, 桁架上部连系梁连接处外观质量整体较好。⑤左侧桥墩存在2条竖向裂缝, 缝宽0.1mm, 缝深5cm, 缝长2.4m, 右侧桥墩存在3条竖向裂缝, 缝宽0.1~0.15mm, 缝

深6.3cm，缝长2.2m；承台外观质量整体较好。

### 3.2 混凝土强度

抽检上下游桁架构件的混凝土抗压强度推定值介于50.1~58.5MPa，均满足C50设计要求。

### 3.3 碳化深度

抽检构件的混凝土碳化深度介于3.3~5.7mm，为一般碳化。

### 3.4 钢筋保护层厚度

抽检构件的保护层厚度介于31~52mm，基本满足设计（50mm）要求。

### 3.5 钢筋锈蚀

综合混凝土外观质量、钢筋保护层厚度、混凝土抗压强度、混凝土碳化深度和钢筋腐蚀电位检测成果，混凝土结构钢筋未发生锈蚀。

## 4 应力试验

### 4.1 应力释放测定杆件原位应力原理

混凝土桁架桥，竖杆承受着拉力，主要由杆件内预应力筋承担，测量杆件内有效预应力或应力状态，是评价桥梁安全性的重要依据。

运用弹性力学原理，在杆件表面钻小孔，使孔周边产生应力重分布，通过测量应力的变化分析构件对应点

应力；运用割取杆件小量的边角，测量被割取边角应力应变变化情况，也可以直接反映杆件该点应力。

桥梁杆件中承受着轴力、弯矩内力，截面内应力呈现一定的不均匀规律分布；另由于混凝土干缩、温度应力等原因，杆件截面内应力分布更为复杂。综合多个测点结果，结合相关经验成果分析，可以较好地反映杆件应力。本工程应力试验选择斜压杆、竖向拉杆进行测试。

### 4.2 试验工况

试验参数：准备时间为5分钟，测试时间为15分钟，环境情况为晴天。

具体步骤如下：首先选取开裂及不开裂的梁，然后安装应变片，安装完成后对试验梁左右侧进行切割，贯通后进行上下切割，直至掉落，最后进行修补。

### 4.3 试验结果分析

应力释放应变过程线，见图1，应变、应力值见表1。应力值计算时，采用了同一杆件各测点的平均值，弹性模量值34.5GPa。

试验结果表明，自重荷载作用下，各杆件均处于压应力状态，均小于混凝土强度设计值；且在车辆等荷载作用下，受拉杆件，混凝土不会出现拉应力状态，受压杆件混凝土应力不会超过强度设计值。桥梁结构满足安全性要求。

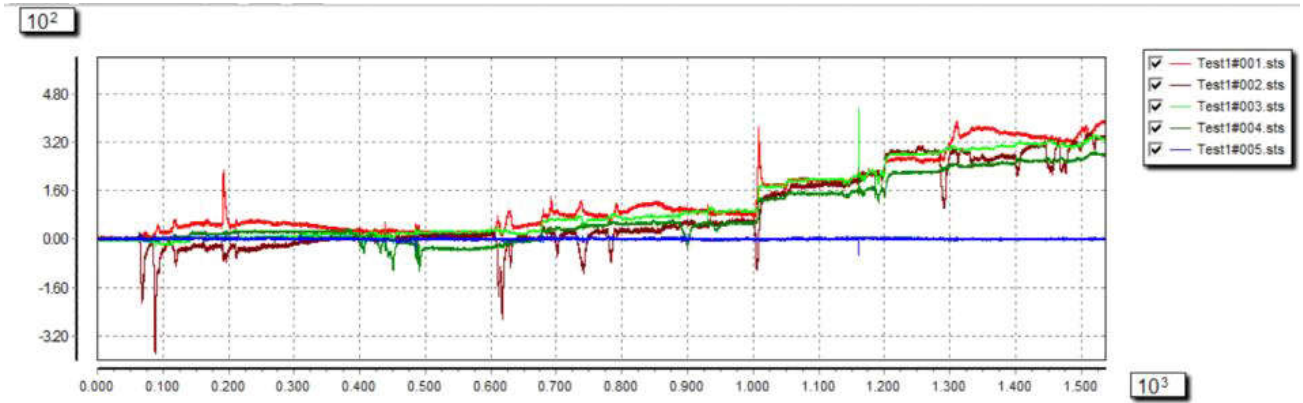


图1 ①杆应变过程

注：其中1#~5#传感器数据分别对应梁的，横坐标时间/s，纵坐标应变/ $\mu\epsilon$ ，下同。

表1 各杆件应变值、应力值（单位： $\mu\epsilon$ 、MPa）

编号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
初始应变	0	0	0	0	0	0	0
①	391	/	/	/	/	548	234
②	355	151	165	/	192	217	174
③	338	/	116	214	519	462	287
④	288	/	111	/	290	580	232
⑤	0	0	0	0	/	0	0
实测	11.8	5.2	4.5	7.4	11.5	15.6	8.0

注：梁存在较大裂缝的为②、③、④号梁。

## 5 结构内力分析

### 5.1 设计阶段成果

根据原设计单位计算书，采用平面桁架二维有限元模型计算，全桥共分83个单元（62个节点），其中下弦杆单元号为1~34，上弦杆单元号为35~60，腹杆单元号为61~83。桁架梁采用预应力砼构件，砼强度等级采用C50砼， $f_{cd} = 22.4\text{MPa}$ ， $f_{td} = 1.83\text{MPa}$ ， $E_c = 3.45 \times 10^4\text{MPa}$ ，预应力钢绞线采用符合《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T 5224-2003）标准的高强度低松弛钢绞线，Ⅱ级

松弛, 直径 $\Phi_s = 15.20\text{mm}$ ,  $f_{pk} = 1860\text{MPa}$ , 松弛率 $\leq 2.5\%$ , 弹性模量 $E_p = 1.95 \times 10^5\text{MPa}$ , 竖拉杆预应力钢筋采用JL32精轧螺纹钢,  $f_{pk} = 785\text{MPa}$ , 弹性模量 $E_s = 1.95 \times 10^5\text{MPa}$ <sup>[4]</sup>; 普通受力钢筋采用HRB335钢筋,  $f_{sd} = 280\text{MPa}$ ,  $f'_{sd} = 280\text{MPa}$ ,  $E_s = 2.0 \times 10^5\text{MPa}$ 。

计算结果表明各工况下, 下弦杆12、23#杆最大压应力 $20.8\text{MPa}$ , 跨中上弦杆最大压应力 $18.2\text{MPa}$ , 71#竖(吊)杆 $9.74\text{MPa}$ , 均小于混凝土强度设计值 $23.5\text{MPa}$ 。

采用空间桁架三维有限元模型复核。其中桁架杆采用梁单元, 桥面空心板梁采用壳单元建模。桁架片拼装对接处的竖杆左、右两根, 模拟时视为同一根杆件, 杆件截面为“工”字型, 腹板厚度设为 $0.01\text{m}$ , 不影响结构强度与刚度。

自重工况下, 如图5所示, 下弦杆B3B4、B8B9杆件最大压应力 $23.1\text{MPa}$ , 小于混凝土强度设计值; 上弦杆跨中最大压应力 $4.45\text{MPa}$ ; 门杆压应力 $8.65\text{MPa}$ 。上平联横杆出现较大的拉应力 $4.09\text{MPa}$ , 易出现横向裂缝。

该桥采用满堂支架施工, 在拆除满堂支架之前, 下弦杆最大压应力普遍高于成桥阶段, 即下弦杆应力状态曾有一段高于设计强度阶段。

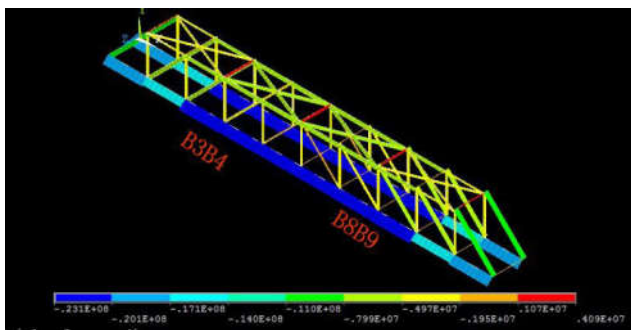


图2 桁架应力结果(单位: Pa, 负表示压应力, 正表示拉应力)

## 5.2 结构分析小结

原设计及本次复核计算结果: 结构主桁架片下、下弦杆、腹杆均处于受压状态, 且均小于混凝土设计强度, 表明主体结构安全。

本次复核采用三维模型, 上平纵联参与了受力, 分担了上弦杆受压应力, 主桁片上弦杆应力水平远远低于二维模型计算结果, 最大值仅为 $4.45\text{MPa}$ , 安全储备高; 上平联横杆受到拉应力, 混凝土名义拉应力值为 $4.09\text{MPa}$ , 经验算混凝土配筋满足要求。

## 6 结论与处理建议

### 6.1 检测评估结论

(1) 混凝土回弹强度测试结果达到了设计等级C50, 混凝土强度满足设计要求; 钢筋保护层厚度设计值 $50\text{mm}$ , 实测值普通小于设计值 $5\text{--}10\text{mm}$ ; 碳化深度 $3.3\text{--}10.5\text{mm}$ 。

(2) 桁架下弦杆、竖杆、门杆等发现通长裂缝。经检测, 裂缝表面宽度 $0.05\text{--}0.20\text{mm}$ , 内部小芯(直径 $2\text{cm}$ )检查, 芯样整体性较好, 表明裂纹向深处未完全发育或基本自愈。芯样泡水试验表明裂缝渗透性不强。

(3) 综合混凝土保护层、碳化深度, 裂缝宽度及内部情况, 桁架桥满足耐久性要求。混凝土保护层对钢筋具有良好的保护, 有足够的耐久性。

(4) 应用应力释放法测试门杆、斜压杆、竖(吊)杆等应力, 自重荷载下, 各杆件混凝土均处于受压应力状态, 最小值 $4.5\text{MPa}$ , 最大值 $15.6\text{MPa}$ , 小于混凝土强度设计值 $23.5\text{MPa}$ ; 设计荷载作用下, 竖(吊)杆混凝土不会出现拉应力状态。

(5) 原设计及本次复核计算结果: 结构主桁架片下、下弦杆、腹杆均处于受压状态, 且均小于混凝土设计强度, 表明主体结构安全。全桥仅上平联横杆受到拉应力, 混凝土名义拉应力值为 $4.09\text{MPa}$ , 经验算混凝土配筋满足要求。

### 6.2 建议方案

(1) 建议全桥进行表面冲洗打磨除尘, 水性封闭漆、面漆喷涂, 提高结构的耐久性, 同时满足外观美观, 消除通长裂缝对行人的心理影响。

(2) 下弦杆裂缝分布与压应力分布有一定的相关性, 施工期, 下弦杆一段时间超过了设计抗压强度, 运行期, 长期处于相对较高的受压状态, 建议对竖杆、下弦杆出现的通长裂缝加强监测。

(3) 桁架桥高宽比大于1, 下平联仅设有横梁(杆), 没有下平纵联; 门杆处未设置桥门架, 中间部位均未横联。载重车辆过桥时, 桥梁振动明显, 建议按照设计荷载限行。

### 参考文献

- [1]高波,孙明杰,刘平,陆书春.次应力作用对桥梁结构受力性能影响分析[J].特种结构,2014,(6):77-82.
- [2]徐冬,王国平,许燕.预应力混凝土桁架梁桥施工过程中的变形控制[J].价值工程,2015,34(13):71-74.
- [3]陈荣浩.关于非抗震荷载工况下的桥墩抗剪分析[J].福建建材,2019,(08),35-36+63.