

文章编号: 0451-0712(2006)02-0012-07

中图分类号: U445.71

文献标识码: B

# 盐津河大桥病害分析及加固

黄小平, 韦忠胜

(遵义市交通局 遵义市 563000)

**摘 要:** 介绍了盐津河大桥病害检测结果, 详细分析了构件开裂原因, 介绍了大桥的加固设计与施工, 结合同类桥梁病害共性, 探讨桁式组合拱桥的改进措施。

**关键词:** 桁式组合拱桥; 病害检测; 分析评估; 桥梁加固; 改进措施

## 1 工程概况

盐津河大桥位于贵州省遵义市所辖仁怀市境内, 跨越盐津河大峡谷, 该桥建成于1995年并于当年投入使用。桥梁总长318 m, 其中主跨为174 m的混凝土桁式组合拱桥, 在国内同类桥型中跨径位

居第三, 矢跨比为1/6; 遵义岸引桥为 $2 \times 16$  m +  $2 \times 20$  m 门式刚桥, 仁怀岸引桥为 $2 \times 16$  m +  $20$  m 门式刚桥。桥面全宽为9.5 m。设计荷载为: 汽车-20级, 挂车-100, 人群 $3.0 \text{ kN/m}^2$ 。全桥总体布置见图1所示。

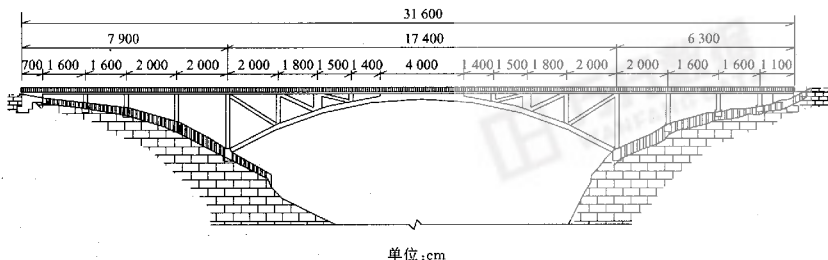


图1 盐津河大桥总体布置

## 2 盐津河大桥的病害及检测

2002年4月2日, 有关部门组织专家对盐津河大桥进行检查, 发现盐津河大桥两岸部分竖杆下弦、斜杆、新拱脚处圆弧上、空腹腹交接处圆弧部位、主跨部分上弦顶、底板跨中附近出现裂缝, 伸缩装置局部损坏。

为了解该桥实际工作状态, 确定该桥结构实际承载能力, 为制定桥梁加固及病害治理提供依据, 2003年10月对盐津河大桥进行了静、动荷载试验及病害检查。

### 2.1 刚度检测

大桥结构挠度检测结果表明, 盐津河大桥主跨各控制截面实测挠度均小于理论计算值, 挠度校验

系数为 $0.352 \sim 0.879$ , 边跨控制截面挠度校验系数为 $0.474 \sim 0.879$ , 结构实测刚度大于理论刚度, 主跨纵向挠度分布规律与理论计算结果相符, 结构变形规律正常, 控制截面相对残余变位均小于检测规程限制(20%), 盐津河大桥结构刚度满足汽车-20级荷载等级要求。

### 2.2 静载试验

大桥静力试验检测结果表明, 除个别测点外, 其余控制截面的实测应力均小于理论计算值, 应力状态正常, 结构强度虽能满足汽车-20级荷载等级要求, 但控制截面各测点普遍存在应力离散性大的现象, 说明桥梁的整体受力性能不均。

### 2.3 动载试验



#### (4) 病害发展。

经2003年11月至2004年4月短短半年的经常性监控检查,发现盐津河大桥裂缝数量、长度、宽度、深度都在进一步扩展。新发现裂缝主要集中在拱箱腹板、孔口附近、实腹区段边箱内外侧腹板等部位,其中部分裂口新鲜,边缘清晰分明,缝内无灰尘,实为新增裂缝,同时重车过桥时大桥上下晃动明显增强、振幅增加,表明大桥病害在急剧发展。

#### (5) 预应力孔道灌浆饱满度。

经人工凿开混凝土打孔抽查,结果抽样检查的3根预应力钢筋均未灌浆,孔道内装满污水。

#### (6) 桥面伸缩装置、桥面及其他附属设施。

桥梁伸缩装置及附近混凝土破坏严重,部分伸缩缝钢筋已松动拔出,与两侧桥面铺装不平顺,车辆过此处时有明显的跳车感觉。检查发现原排水槽内布置有通讯电缆等多根管线,并积存较多淤泥和杂物,极大阻碍了桥面排水,栏杆和人行道处伸缩缝自由宽度很小,该处人行道被挤压并有严重的损坏。

### 3 病害原因及影响

#### 3.1 病害主要特征

根据缺陷普查及静动力荷载测试结果,盐津河大桥主要病害为中跨受力构件严重开裂,且具有数量众多、分布密集、规律性强的特点。无疑,成因是车轮荷载及设计、施工的原始缺陷。从弹性力学原理分析,初始裂缝在结构继续受到荷载作用后,裂缝端部附近产生了应力集中,应力达到一定程度时裂缝就开始扩展并成为最终断裂的直接断裂源,直至构件整体断裂,当裂缝深度已穿过钢筋,水、空气进入结构内部,引起钢筋锈蚀,导致钢筋有效截面逐渐削弱变小,形成腐蚀断裂源,直接影响结构的耐久性。

#### 3.2 设计原因

(1) 盐津河大桥结构设计各承重构件之间均采用刚性连接一次计算确定截面形状、几何尺寸及配筋,经逐段逐片预制移运、悬臂拼装就位、节点现浇、合拢放张、体系转换等工序成型,上述不同阶段各构件受力大小、受力部位、受力次序变化复杂,理论计算难以全部考虑,导致构件在最不利状态下产生的应力可能超过设计强度导致构件开裂。

(2) 为减轻恒载自重,增大跨径,降低造价,追求技术经济指标的最优化,大桥桥片、竖杆及斜杆均采用薄壁空心截面,此种截面抗冲击、撞击性能差,结

构强度储备较小,上下弦为三室单箱闭合箱形截面,由两边箱及中箱顶底板连接而成。边箱腹板厚14 cm,单层配筋。顶底板净跨5.24 m,中部板厚14 cm,配 $\phi 10$  钢筋,间距为20 cm,两端加翼,上弦及实腹段中箱顶板既作为上弦截面的一部分参与纵向受力,同时作为桥面板一部分直接承受车轮的局部荷载,是纵横双向受力构件。中部板厚偏薄,横向受力配筋偏少,是造成相当部分上弦顶底板中部纵桥向严重开裂的一个原因。一旦受拉钢筋锈蚀断裂,必然引发上弦破坏。

三室单箱截面中箱净跨较大,与两边箱连接头连接,形成的箱形截面与现浇或预制吊装的多室多箱密肋混凝土箱形拱相比,盐津河大桥箱体横向刚度及整体性较弱,且中箱拱顶底板共同参与整体受力作用较弱,截面应力主要由边箱承担,使边箱承受的应力值大于理论值。

空腹段腹杆上弦及桥面系恒重直接作用在下弦上下游桁片上,中箱顶板未直接承重。这种组合箱体及受力模式使截面应力分布较复杂,容易偏离理论值,箱体腹板、顶底板很薄,一旦开裂,裂缝极易贯通。检查中发现的腹板裂缝,大多数为强度裂缝,其中部分已穿透腹板,主要发生在实腹段及空实腹段交界处附近,这些裂缝具有密集、量多、缝长、重叠、交叉的特点,表明实腹段拱箱内外侧腹板已局部损伤,部分混凝土退出受力,箱体局部破裂,截面强度受到严重削弱和降低,应力状况恶化,尤其是空实腹段交界处附近裂缝最长、最密、最宽。实腹段上弦与下弦合二为一,单位恒载增加,结合部过渡急促,荷载及受力发生突变,受力极为复杂,此处为全桥内力突变、应力集中之最危险部位,一旦破坏,直接危及整座大桥安全。

大桥腹杆连系梁及横隔板节点接缝均设计为刚结,节点局部受力非常复杂,加上材料的非均匀性影响,使得在应力节点用光弹性试验求出的应力分布及数值与节点处应力实际分布存在一定差异,横隔板连系梁严重开裂将对桥梁的横向刚度及荷载的横向分布与传递产生不利影响,削弱左右两侧构件受力的均衡性。腹杆存在的超规范限值的裂缝将影响其耐久性,逐步降低截面承载力,其余宽度小于规范值的细小裂缝,虽然暂时不影响结构安全,但埋下了裂缝扩展蔓延的隐患。

(3) 从大桥结构特点分析,两岸桥台拱脚至上弦断缝(对应下弦新拱脚)处为悬臂桁架墩,支承中部

的桁架拱。根据同类桥型施工阶段截面应力应变测试结果,从构件就位至合拢前,结构属悬臂桁架体系,受力较明确,大多数截面实测应力与计算值较接近,各构件无裂缝产生。从合拢至全桥建成阶段,截面应力实测值与理论值差异较大,尤其是中部桁架拱跨中区段空实腹交界处附近差异达数倍,与大桥病害普查结果相吻合,中部桁架拱尤其是跨中实腹段及空实腹交界处附近区域严重开裂,裂缝密集。悬臂桁架墩区段病害轻微,裂缝稀少。揭示中部桁架拱受力分析及结构设计存在缺陷。

大桥作为高次超静定桁式结构,受温度影响较大,理论计算又做了若干假定,加之建设中经单片合拢、顶压、两片合拢、分次体系转换等阶段的计算图式难以准确反映结构受力的实际情况,受混凝土徐变影响,结构内力又将发生一定程度的重分配。诸多因素,导致中部桁架拱构件受力偏离计算值,发生突变或应力集中,形成强度裂缝。在全桥建成前,个别构件已产生开裂,只是未见检测报告,这与大桥病害普查中发现相当一部分裂缝为陈旧性裂缝的检查结果是一致的。

### 3.3 施工原因

盐津河大桥结构设计及施工工艺为预制安装,用钢人字桅(扒)杆逐件(片)逐段悬拼安装合拢成型,与双曲拱桥化整为零、积零成整的设计施工工艺相似,具有预制精度高、构件数量多、节点接头复杂、拼装程序繁杂等特点,要求施工企业具备很强的施工能力。受建桥时桁式组合拱桥预制、施工技术、施工管理及工程质量监理制度不够成熟完善的限制,该桥存在以下工程质量缺陷。

(1)两边箱与中箱预制顶底板纵向连接以及中箱预制顶底板之间的横向接缝湿接头处理工艺粗糙,大多存在明显空隙及裂缝,钢筋局部暴露、锈蚀严重,致使结构设计刚性固端连接变成铰接或半刚性连接,改变了顶底板及边箱内力分配及应力分布,使顶底板及边箱腹板实际受力与设计不符,增大了板中部弯矩,削弱了箱体的整体性及横向刚度,造成顶底板及边箱腹板均开裂。

(2)上弦预应力钢筋未灌浆或未灌浆浆,未与梁体粘结为整体(实际上为无粘结预应力)。已有试验研究表明,其开裂后的力学性能明显降低,极限承载力同比降低15%~20%左右,未予灌浆保护的预应力束随着时间的推移逐渐锈蚀而引起有效截面越来越小,有效预应力越来越小,直至预应力全部丧

失,造成上弦断裂进而引发全桥结构破坏。

(3)边箱腹板预留放张孔和施工出入口未封闭或未完全封闭,孔口周边局部应力集中,形成贯通腹壁裂缝,破坏了边箱的整体性。

(4)构件混凝土大多不同程度地存在质量缺陷,如平整度差、空洞、孔洞、松散剥落、蜂窝麻面、密实度差、保护层偏大或偏小、钢筋焊接质量差、露筋、局部混凝土压碎和脱落。这些缺陷削弱了构件的相互联接,削弱了构件截面面积和力学强度,导致构件应力重分布,产生应力集中,诱发裂缝或加剧已有裂缝的扩展,使大桥总体结构性能劣化,降低了大桥的耐久性和承载能力。

(5)构件预制成型至堆放过程中,水灰比、气温、水泥质量、工作缝、养生、脱模、移位堆放等众多因素和环节控制不当,也会导致预制构件开裂,形成原始缺陷。如混凝土表面产生网状发纹或不规则的短细裂缝(一般不超过30 cm长),这些裂缝属非强度裂缝,不影响构件性能。在脱模移位堆放过程中操作不慎,极易损坏构件,特别是腹杆、中箱顶底板等细长薄壁构件。

(6)构件在拼装阶段,构件移运野蛮装卸,遭受撞击、构件吊装翻身吊点不当,就位冲击、合拢操作不当,顶压不均、不严格遵守放张及体系转换程序等,都容易造成构件局部开裂或断裂,给大桥造成原始缺陷造成。

(7)跨中实腹段拱箱内在箱底板上几乎铺满了施工单位遗留的石、砂、水泥块等建筑垃圾,厚度为3~6 cm,腹板壁附着预制侧模水泥砂浆调平层,厚度大约5 cm,明显地增加了桥梁的恒载(后经清除称重为近20 t),相应地降低了结构的承载能力。边箱因封闭无法检查,箱内遗留建筑垃圾不详。

### 3.4 车辆超载

盐津河大桥设计荷载等级为汽车-20级,随着社会经济的发展,通过大桥的车流量和车辆载重的增加,超载超限运输现象愈发严重,经常有总重30~68 t 超重成群结队过桥,这些超重荷载效应已达或超过汽车-超20级的水平,远远超过桥梁设计荷载,使桥梁长期处于超负荷运行状态,是造成盐津河大桥严重病害的主要原因。

### 3.5 冲击效应

有同类桥型满载试验资料表明,桁式组合拱桥冲击系数较大,可达1.4左右。经检测,盐津河大桥空实腹交界处冲击系数竟高达1.826,笔者认为与桥

梁受力构件普遍开裂,腹杆、桁片为薄壁空心,箱体预制安装,中箱跨度偏大,横向刚度偏弱,结构过于轻巧,上弦断缝伸缩缝类型及超载运行有关。过人的冲击效应,一方面降低了桥梁的安全储备;另一方面容易导致结构(尤其是节点部位)的疲劳损伤并引发结构开裂或使已开裂构件裂缝加速发展。尤其是超重车辆的动荷载长期反复作用下,使本已带伤结构的损伤进一步加剧,裂缝进一步产生和发展,裂缝的增加及扩张削弱了结构的整体受力性能,又使冲击效应增大,结构疲劳损伤加剧,产生更多更大的裂缝,形成恶性循环,危及桥梁结构安全。

### 3.6 管养维修

盐津河大桥于2001年对损坏的桥面进行了维修,凿除了原设计混凝土桥面铺装,铺设了沥青混凝土,并将老化的橡胶伸缩装置换成直缝式钢板伸缩装置。这种做法削弱了桥面板厚度及强度,造成顶板局部损伤。其次,换上的钢板伸缩装置仅维持了一年就又开始了损坏,而橡胶伸缩装置使用了6年。

桥面排水孔堵塞未进行疏通,排水槽违章布设电缆等多根管线,槽内淤泥杂物未清除,极大地阻碍了桥面排水,雨水穿过板面贯通裂缝往下流,沿裂缝向构件内部渗透,加快了钢筋锈蚀及混凝土老化。

大桥营运期间,管理部门未严格按设计荷载限载限速,致使大桥长期超负荷运行。

## 4 盐津河大桥加固维修

### 4.1 加固维修程序

盐津河大桥加固维修程序分为7步:

(1)委托有资质机构做了静力试验、动力试验、病害普查、裂缝宽度深度监测试验、挠度检测并提交检测报告,评估大桥承载力,为病害处治提供依据;

(2)组织专家进行评估论证,提出病害处治咨询意见及桥梁加固维修方案;

(3)委托原设计单位根据专家组推荐方案完成加固维修设计;

(4)组织专家评审加固维修设计,提出完善改进建议及要求;

(5)组织有资质企业实施加固,竣工后通车试运行;

(6)委托有资质机构做加固后荷载试验,评价加固维修效果;

(7)组织竣工验收。

### 4.2 加固维修方案设计

#### 4.2.1 加固方案

在对增设钢筋混凝土套箍、钢套箍、加密连系梁、贴钢板、体外索、更换桥面铺装层、贴碳纤维等加固设想进行充分论证比较后,针对病害主要为受力构件开裂的特点,采取封闭裂缝、局部修补构件以尽量恢复构件整体性及强度,确定加固维修方案如下:

(1)加固维修不改变原设计结构体系及不损伤原构件;

(2)对破坏较严重和受力的关键部位粘贴碳纤维布,使恒载不明显增加;

(3)小裂缝进行压浆封闭处理;

(4)对预应力筋孔道进行补充压浆;

(5)更换桥面伸缩装置,完善排水系统;

(6)混凝土缺陷部位进行修补。

#### 4.2.2 加固维修设计主要内容

(1)更换桥面伸缩装置,完善排水设施,将伸缩装置更换为C-40型钢箍,增设横向排水管。

(2)上弦板(含实腹板顶板)底面裂缝封闭及粘贴单层碳纤维布补强;实腹段拱顶下缘补强;拱顶26 m范围,粘贴单层碳纤维布,浅缝灌注专用胶封闭;竖向、横向、四周粘贴单(双)层碳纤维布补强;主孔区段下弦、前端下缘空实腹交接处腹板裂缝封闭及竖向粘贴单层碳纤维布补强;实腹段桁片内外侧腹板裂缝封闭及补强;主孔三短竖杆裂缝封闭及补强;主孔桁片下弦新拱脚附近补强。

(3)上弦底板、下弦顶底板裂缝封闭,用专用胶封闭。

(4)其他裂缝:其余构件上发现的分散裂缝,小于0.1 mm的用专用胶反复涂抹封闭;大于0.1 mm的裂缝灌注封闭后,粘贴单层碳纤维补强,宽40 cm,纤维方向与裂缝垂直。

(5)横向连系处理:对原有已断裂的箱隔板,较小裂缝用专用胶封闭,较大裂缝适当凿宽后用环氧树脂砂浆补强,再粘贴包裹碳纤维布。

(6)预应力孔道补灌浆:对全桥上弦、斜杆等预应力孔道采用纯水泥浆分段补灌浆。

(7)施工缺陷处理:按原设计进行封闭和修补。

上述补强项目,拱顶下缘采用300 g/m<sup>2</sup>单层碳纤维布,其余部位均采用200 g/m<sup>2</sup>单层碳纤维布。

### 4.3 加固维修施工

盐津河大桥加固维修工程于2004年5月15日开工,2004年7月1日完工。

(1) 裂缝封闭手法及步骤:观测裂缝——清理裂缝——封闭裂缝——注入封缝胶液——拆除灌浆器——清除表面封缝胶及底胶——结束。

(2) 单层碳纤维布施工工艺:构件表面处理、注底胶、粘贴面修整、贴碳纤维布、养护、表面涂装。

(3) 完成主要工程量及费用。

粘贴碳纤维布: 942.25 m<sup>2</sup>;

分散裂缝灌胶封闭: 237.41 m<sup>3</sup>;

加固维修费用: 共计 204.4 万元。其中建安费 139.6 万元, 检测、评审、设计、监理及其他管理费用 64.8 万元。

#### 4.4 加固维修效果

##### 4.4.1 荷载试验主要结果

盐津河大桥加固维修工程竣工后, 进行了荷载试验, 试验荷载为汽车-20 级, 主要结果如下。

(1) 裂缝状况: 在整个试验过程中, 所有粘贴碳纤维布补强的部位均未发现裂缝; 其他部位未出现新增裂缝。

(2) 应力应变: 由于碳纤维布的强力约束, 通过碳纤维布加固的测点区域实测应力比理论值及加固前荷载试验值要小, 碳纤维布在加固区域的补强作用较为明显, 但应变残余值较大且分散, 因碳纤维布为弹塑性材料, 次应力效应及塑性变形较大。

(3) 结构刚度: 结构实测刚度大于理论刚度, 变形规律与理论规律相符, 残余值小于检测规程限制, 但与加固前荷载试验值相比, 测试结果较为离散, 经常出现与总变位相反的挠转。

(4) 承载能力: 应变测试和挠度测试表明承载力满足原设计荷载汽车-20 级的要求, 试验中无新增裂缝出现, 桥梁的主要病害得到一定的治理。

(5) 冲击系数: 经检测, 桥梁冲击系数有一定程度降低, 振动明显减弱。

##### 4.4.2 桥梁使用

由于桥梁在加固前的检测后, 未采取限载措施和及时加固维修, 使桥梁病害又加剧了发展, 虽经加固维修, 但桥梁总体结构性能受到一定程度的削弱, 加固后也不能完全恢复实际承载能力, 还存在一些未知缺陷, 其耐久性及使用寿命均会受到一定影响, 因此应在严格限载限速条件下恢复通车。

盐津河大桥于 2004 年 7 月 16 日恢复开放交通至今, 大桥外观整体完好, 未发现新裂缝, 监测记录数据正常, 表明盐津河大桥加固维修达到预期效果。

## 5 桁式组合拱桥改进措施试析

我国桁式组合拱桥诞生于 1978 年, 为科研桥型, 经过近 30 年的发展, 全国已建成 41 座, 跨径最大的是贵州省遵义市与黔南州交界的江界河大桥, 跨径达 330 m。

由于公路交通运输高速发展, 重车及交通量高速增加, 加上该桥型实践经验不足, 推广过快, 运营期跟踪调查、检测及病害处理不及时, 又存在设计和施工缺陷等原因, 相继发现桁式组合拱桥(特别是前期修建桥梁)特定构件部位普遍存在开裂的病害, 一些桥梁采取了维修加固、拆除、降低荷载等级使用等措施。受力构件开裂的通病严重影响桁式组合拱桥使用寿命, 留下的安全隐患不容忽视, 应及时改进, 消除病害。

### 5.1 病害规律

结合盐津河大桥及两河口大桥实例, 并参考其他文献资料, 分析同类桥梁现状调查资料, 可以发现其病害的规律性。

(1) 病害类型: 结构开裂;

(2) 病害范围: 集中在跨中桁架拱段, 悬臂边跨总体完好;

(3) 裂缝部位: 边箱腹板、中箱顶底板、实腹段、空实腹段圆弧交界处, 新拱脚端、双立柱、斜杆、短竖杆、横隔板、连系梁;

(4) 裂缝特征: 轴向、横向、斜向均有; 缝宽、缝长、缝深大多为剪切、弯拉强度裂缝, 实腹段及空腹段交界处附近为裂缝密集区域。

上述规律可为同类型桥在力学计算、结构设计、施工工艺等方面的优化改进提供思路 and 依据。

### 5.2 改进措施试析

(1) 组织桁式组合拱桥优化课题组, 系统全面总结攻关, 解决设计施工的遗留问题。

(2) 优化跨径分配: 适当调整上弦断缝(新拱脚)位置, 加大矢跨比, 调整加密相邻竖杆间距, 增加悬臂桁架墩跨径, 减少桁架拱中跨跨径, 充分考虑中跨下弦较坦, 似拱非拱, 实际上是桁架结构下弦杆(两端固结的曲梁)受力特性较明显, 这从盐津河大桥靠近跨中区域下弦的截面开裂形态可清晰看出, 它不是拱圈破坏而是梁破坏。因此, 受力分析计算中应兼顾下弦梁拱受力因素, 同时采用桁架拱及桁梁两种模型进行受力分析, 求出较准确的下弦内力。

(3) 改变截面形式: 增加上下弦箱形中肋, 使中箱净跨由 5~6 m 减小至 2~3 m, 增加抗弯、抗扭刚



度、整体性及横向刚度,使活载横向分布及箱体受力更为均衡,减小冲击系数。较小跨径的腹杆宜采用实心截面。

(4)增加板壁厚度:上下弦箱体顶底板、腹板、空心腹杆壁,尤其是增加实腹段顶板中部厚度及边箱腹板壁厚。

(5)加强构造配筋:变单层配筋为双层配筋,增加斜筋与箍筋,重点构件为上下弦顶底板及腹板。

(6)提高车辆荷载设计等级,以适应近、远期重交通、高流量的运输要求。

(7)改进上弦断缝伸缩缝形式,以减小荷载冲击系数。

(8)改进放张及体系转换程序。

(9)受力构件力学强度计算,适当取较大的安全系数,增加其安全储备,以适应该桥型承载力不易通过加固恢复或提高的特点。

(10)空腹板下弦顶板、上弦底板伸入实腹段2~3 m,改善空腹与实腹交界处结构及应力突变的不

利状态,并使上下弦预应力锚固端错开设置,尽量远离空实腹交界处。

(11)跨中挠度及其对整体结构刚度、强度的影响,应按空间桁架考虑控制计算,不宜按拱式结构拱顶挠度计算评估。

(12)加强对受力构件,特别是上弦、下弦的抗裂设计。

## 6 结语

桁式组合拱桥具有结构轻盈、造型美观、跨径较大、造价低廉、工期较短、施工方便、施工安全等突出优越性,盐津河大桥及其他一些同类桥梁病害分析研究及维修加固的实践使笔者相信,桁式组合拱桥通过设计理论、结构构件、施工工艺、运营维护等方面的改进和完善,应该能够克服构件开裂的缺陷,充分发挥其优势,在深沟峡谷的山区公路建设中继续推广应用。

# Analysis of Damage of Yanjin River Bridge and Its Strengthening

HUANG Xiao-ping<sup>1</sup>, WEI Zhong-seng<sup>2</sup>

(Traffic Bureau of Zunyi City, Zunyi 563000, China)

**Abstract:** In this paper the results of damage detection of Yanjin River Bridge in Renhuai City of Guizhou Province are presented. The causes of cracks in structural members are analyzed in detail. The strengthening design and construction of the bridge is also described. Improvement measures of the truss arch are discussed in accordance with generality of same bridge damage.

**Key words:** truss arch; damage detection; analysis and evaluation; bridge strengthening; improvement measures.

## 八车道沪宁高速公路江苏段建成通车

经过两年的艰苦奋战,扩建成八车道的沪宁高速公路江苏段2006年1月1日全线向社会开放,恢复正常运行。此前的改扩建期间,客车允许通行而对货车实行交通管制。

自2003年11月开工以来,沪宁高速公路江苏段改扩建工程的广大建设者依靠科技创新,精心设计施工方案,有效解决了技术与施工难点,检测结果表明,改扩建工程分项工程合格率达100%,单位工程优良率达100%。

扩建后的双向八车道靠近中分带的第一个车道为小客车车道,最高限制时速120 km、最低限制时速110 km,第二个车道为大、小客车车道,最高限制时速120 km、最低限制时速90 km。第三个车道为客货车车道,最高限制时速100 km、最低限制时速80 km。第四个车道为客货车车道,最高限制时速100 km、最低限制时速60 km。最外侧车道则是紧急停带带。