

# 双曲拱桥主拱圈外包混凝土加固施工技术

窦勇芝 梁 彧 李东平

(柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005)

**摘 要:**以南渡大桥双曲拱桥加固工程为背景,分析了主要影响主拱圈承载力降低的病害(包括混凝土碳化、钢筋锈胀、混凝土缺陷等)及成因,为实现提高原主拱圈承载力适应现行交通通行需要,采用主拱圈外包混凝土增大截面加固技术,并详细介绍了其加固技术的工作原理、主要施工工艺等,为同类工程设计和施工提供参考。

**关键词:**双曲拱桥 外包混凝土加固 施工技术

## 1 引言

双曲拱桥具有结构新颖、美观、轻巧、省钢筋水泥材料、施工方便等优点,20世纪60、70年代在我国得到了广泛的应用。但由于建造之初设计荷载等级低、施工技术水平低以及自身整体性差等方面原因,在长期重车荷载、大交通量的运营情况下,大都出现了较为严重的病害,适应不了现行交通通行要求,需要维修加固以提高桥梁的承载力。其中承重结构主拱圈承载力的加固尤为重要,本文重点介绍了南渡大桥主拱圈外包混凝土加固施工技术的成功经验,为同类拱桥加固施工提供借鉴。

## 2 工程概况

南渡大桥位于县道岑溪—玉林X203线,桥中心桩号K12+530。桥长160米,桥宽9米,上构布置为2×52m双跨双曲拱桥,下构为浆砌片石U形桥台、混凝土重力式墩,扩大基础(如图1)。

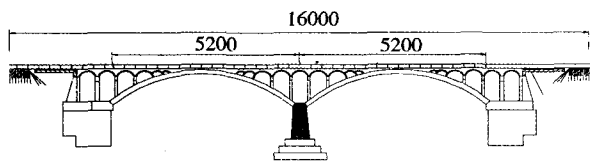


图1 南渡大桥立面图(单位:cm)

南渡大桥于1968年正式通车。经过近42年的正常营运后,2009年经检测确定该桥存在不同程度影响安全运营、正常使用、结构耐久性的病害<sup>[1]</sup>,其中承重构件主拱圈主要病害如下:

(1) 拱肋、系梁均存在不同程度渗水腐蚀、砼剥落、钢筋锈胀、横向裂缝、砂浆脱落。

(2) 经对拱肋回弹碳化测强、保护层厚度

测定和钢筋锈蚀测定,原桥实际保护层厚度为22~24mm,平均碳化最大深度为3mm,钢筋锈蚀最小电位值为-298mv,说明拱肋钢筋有锈蚀活性。

(3) 桥面过10t以上的重车,桥面振感明显,尤其跨中位置。

由此可知,结构使用40年后,主拱圈原混凝土保护层厚度偏小,随着表层混凝土的碳化,大部分钢筋处于锈蚀临界点。另外,由于原桥修建年代较早,受当时建设条件限制,原设计荷载等级低以及原构件设计强度较低,已不能满足现桥梁正常交通通行和结构安全使用需求。同时,由于桥面车辆超载、超重现象严重,加速了该桥结构性裂缝的产生、扩展,使原结构承载力进一步削减,给结构的正常运营存在安全隐患。因此必须对主拱圈进行承载能力维修加固,以提高主要承重构件拱肋的承载能力,加强横向联系作用,增强整体受力,防止因钢筋进一步锈蚀所可能引起的脆性破坏,延长桥梁使用寿命。

针对上述影响主拱圈承载力的病害,采取如下综合加固技术措施:①拱肋外包混凝土;②横系梁加大截面,改为横向连接墙;③增加1/8跨处系梁。

## 3 主拱圈加固设计方案

外包混凝土加固桥梁的实质<sup>[2]</sup>就是增大受力断面和补强钢筋、加强结构的整体性,使其能承受更大的外荷载。其中增设的补强钢筋主要是帮助原结构承受拉应力,同时成为新增混凝土部分的骨架;外包混凝土的作用则是将补强钢筋与原结构联结组成整体受力结构,并与植筋一道在结合面上传递拉应力和剪应力。

主拱肋通过三面外包混凝土增大原截面(如图2),达到提高原主拱肋的承载能力,新增部分钢筋混凝土通过植筋方式与原结构形成整体;原横系梁底面外包混凝土增大截面,系梁顶面改为横向连接墙(如图3),同时,在1/8跨处增设系梁,达到增强横向整体性。

另外,拱肋与拱座连接处增设牛腿(如图4),改善连接处应力分布,同时,加强拱肋与拱座的整体受力。通过植筋方式将拱肋主筋预埋入拱座中。

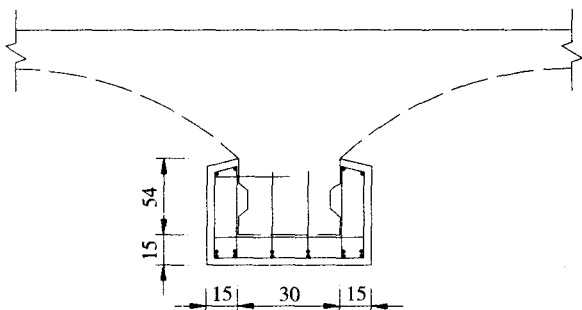


图2 拱肋外包混凝土示意图(单位:cm)

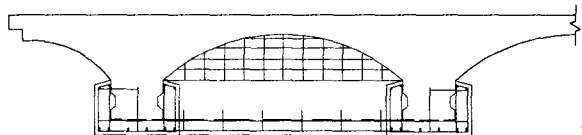


图3 系梁外包混凝土示意图(单位:cm)

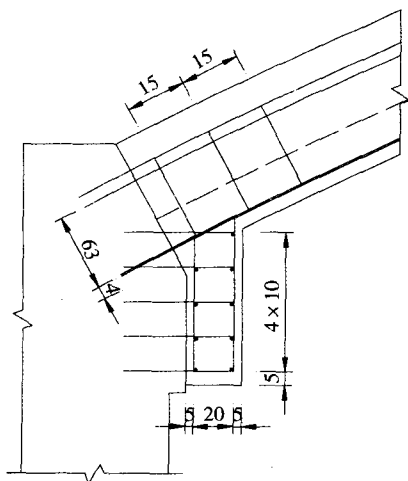


图4 拱肋牛腿示意图(单位:cm)

## 4 主拱圈外包混凝土施工技术

### 4.1 施工吊架搭设

由于南渡大桥跨越黄华河,施工工期恰逢整个汛期季节,洪水期间,水位上涨,水流较急,

上游漂流物较多,对桥下施工支架的设置和安全性提出了更高的要求。经综合考虑,采用拱下吊架的施工方案,在主拱圈上植筋设置吊点,通过钢丝绳吊住拱下的吊架平台,进行拱下的加固施工。

拱下吊架的特点:

(1) 拱下吊架搭设所需的脚手管用量仅为满堂架的10%。

(2) 施工期间受汛期洪水水位的影响较小。

(3) 用于所采用的钢管用量少,可多孔同时搭设,对施工工期的缩短有利。

拱下吊架(如图5)主要由吊点、花篮螺栓、钢丝绳、横杆、纵杆、横向联系杆、栏杆、扶手、竹脚手板挡板、竹脚手板铺板和安全网组成。

一孔拱下吊架纵向分成28段,横向设置5个吊点,其中两侧吊点分别设在拱背或栏杆立柱挑梁上,中间3个吊点分别设在中间各拱肋上,一孔拱下吊点共计 $27 \times 5 = 135$ 个,吊点通过 $\phi 20$ 的钢筋一端加工成吊环的形状,一端植入原结构中进行固定锚固。

花篮螺栓两端采用CO型,一端挂在吊环上,一端通过绳卡连接钢丝绳,作用为调节钢丝绳的松紧程度。

钢丝绳吊住横杆,横杆为主要受力杆件,横杆采用2根6m的 $\phi 48 \times 3.5$ mm的脚手管搭接,各一端分别对接1根3m的脚手管,组成9m长的并排横杆。

横杆上搭设11根2m的纵杆,间距为 $2 \times 0.8 + 6 \times 0.75 + 2 \times 0.8$ m,纵杆顺桥向为28段,作用为加强横杆间纵向联系。竹脚手板铺板横向铺设在纵杆上。

栏杆为2m脚手杆竖向搭设在横杆上,扶手横向搭设在两竖向栏杆上,栏杆内侧设置竹脚手板挡板,两侧各挂安全网。

### 4.2 吊挂模板系统

由于采用吊架作为施工平台,故模板考虑采用拉杆吊挂系统进行支撑(如图6)。通过加工 $\phi 12$ 的螺纹拉杆挂在拱肋侧面植筋上,并点焊固定。拉杆通过底模间距40cm的横向方木压条、蝴蝶扣和螺母将底模吊挂支撑,侧模底部通过间距40cm的步步紧支撑,侧模顶部通过铁丝将纵向方木压条捆绑固定在拱肋侧面植筋上,同时,拱肋间模板增设横向上方木、下方木和斜向方木加强横向支撑。

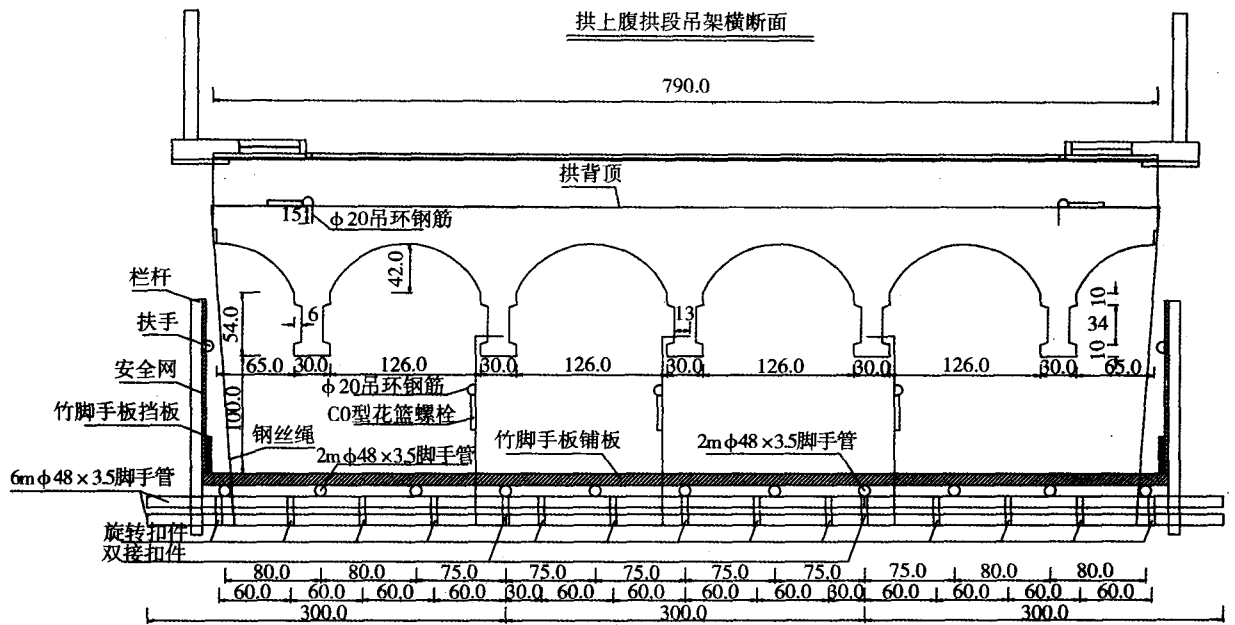


图5 拱下吊架示意图 (单位: cm)

说明:  
1、图中尺寸以厘米计

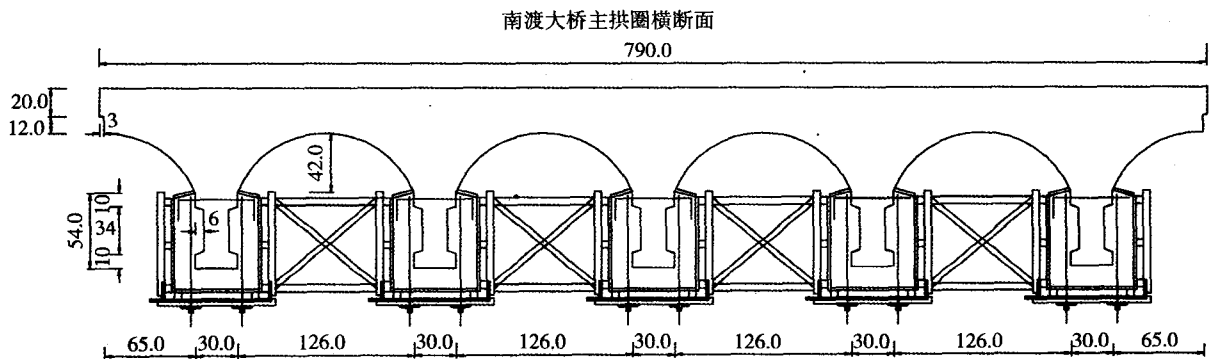


图6 吊挂模板示意图 (单位: cm)

### 4.3 混凝土导流管和浇筑平台

由于吊架沿拱肋底轮廓搭设,拱肋外包混凝土浇筑需搭设浇筑平台,并设置导流管将桥面混凝土输送到浇筑平台内,浇注平台通过加工底托和储料槽,将储料槽平放在底托上。另外,导流管由漏斗、 $\phi 10$ 铁管和带有 $15^\circ$ 弯头的 $\phi 15$ 铁管组成(如图7),通过 $\phi 10$ 的铁管套在带有 $15^\circ$ 弯头的 $\phi 15$ 铁管中,竖直长度可以根据桥面至吊架高度进行调整。

### 4.4 自密实混凝土施工

主拱圈外包混凝土采用C40自密实混凝土,自密实混凝土不同于一般普通混凝土,其主要特点如下:

(1) 自密实混凝土塌落度扩展度大,流动性强,能依靠自重流动。对于模板间的微小缝隙都会造成跑浆、漏浆的发生,影响到施工效果。模板缝隙应小于 $1.5\text{mm}$ 。对上部封闭的空间部位的浇筑,应在上部留有排气孔,否则会造成混凝土的空洞。

(2) 自密实混凝土由于塌落度较大,自身收缩也较大,对于外包混凝土加固原构件,需掺适量的膨胀剂,补偿其收缩。

(3) 浇筑的自密实混凝土应填充到钢筋、埋设物周围及模板内各角落,为防止产生浇筑不均匀及表面气泡,可在模板外侧辅助敲击。自密实混凝土浇筑中原则上不需要振捣。从消除表面气泡和加强流动速度的角度考虑可以对模板进行

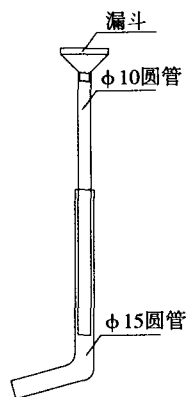


图7 混凝土导流管示意图(单位: cm)

敲打,或用振动棒进行插捣,并且敲打或插捣时间不宜太长,防止离析。

(4) 自密实混凝土浇筑时的最大自由落下高度宜在5m以下,最大水平流动距离应根据施工部位对混凝土性能的要求而定,最大不宜超过7m。

(5) 拱肋外包混凝土采取分段浇筑,各分段混凝土采取一次性浇筑,各分段的接缝面应与拱轴线垂直,由于自密实混凝土流动性大的特点,需在接缝面设置堵头,用细钢丝网、方木和梳形模板进行封堵。另外,对于已浇筑成型的接缝面,需清理和凿毛,浇筑下一分段混凝土前,需对接缝面抹1:1的水泥砂浆,保证接缝面混凝土密实,并加强振捣。

(6) 自密实混凝土由于掺了高效缓凝减水剂,故其初凝、终凝时间较之普通混凝土较长。另外,自密实混凝土胶凝材料较多,混凝土的水灰比较小,混凝土在终凝前的失水极易造成早期收缩裂缝,因此早期的养护尤为重要,为保证后期强度的发展,应及时养护,并适当延长预养护时间,养护时间不得少于14d。

#### 4.5 钢筋绑扎顺序

主拱圈外包混凝土通过在拱肋侧面、底面,

系梁底面、顶面植筋实现新增骨架钢筋、新增混凝土与原结构的联结。故新增骨架钢筋绑扎前,需进行拱肋侧面、底面和系梁底面、顶面的植筋,同时将骨架钢筋位置进行放样,避免植筋位置与骨架钢筋位置冲突。另外,拱座处需植筋保证拱肋主筋预埋入足够深度。拱肋骨架筋纵向绑扎顺序由拱脚至跨中对称绑扎,同时横向绑扎顺序由边拱肋至中拱肋对称进行;主筋可预先焊接接长,并保证主筋安装位置同一截面焊接接头不大于主筋面积的50%。

#### 4.6 混凝土浇筑顺序

由于主拱圈外包混凝土施工采用拱下吊架施工平台,吊挂模板系统,故外包的混凝土在浇筑过程中,由原拱肋承受这部分荷载,同时原主拱圈在恒载作用下受力是对称均衡的,因此,主拱圈外包混凝土也需遵循对称、均衡的原则,进行混凝土分段对称浇筑(如图8)。另外,根据原拱肋系梁分布位置以及堵头设置型式,合理优化分段长度。主拱圈整体分成5大段,恒载负弯矩区2大段,对称布置,分别为①、②、④、⑤段,恒载正弯矩区1大段,分别为③、⑥、⑧段,其中⑧段为合龙段,恒载负弯矩至正弯矩过渡区2大段,对称布置,分别为⑦段,混凝土浇筑顺序纵向由拱脚至跨中逐段对称浇筑,同时横向由边拱肋至中拱肋逐段对称进行。每段混凝土浇筑段间隔2m侧面均设置灌浆口,堵头处灌浆口设置在顶部模板处。

#### 4.7 施工注意事项

(1) 为了加强新、旧混凝土的结合,应对原构件混凝土存在的缺陷清理至密实部位,并将构件表面凿毛,要求凿成麻坑或沟槽,麻坑、沟槽深度不宜小于6mm,沟槽间距不宜大于箍筋的

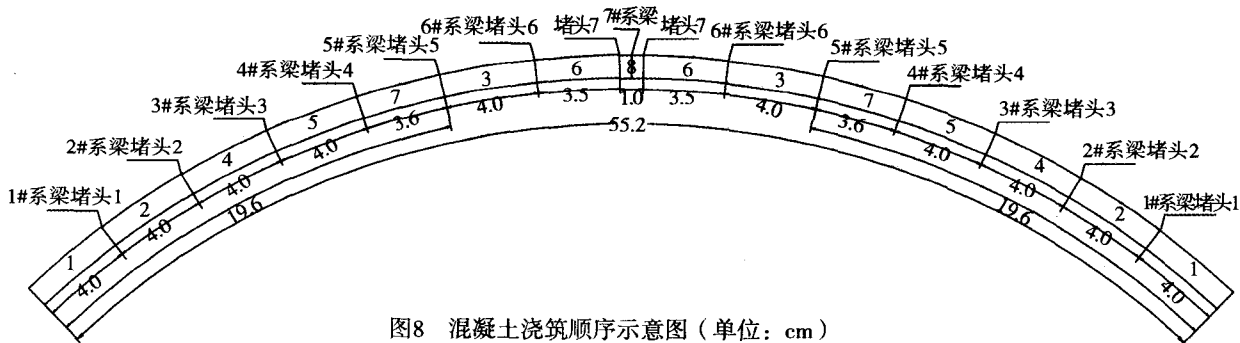


图8 混凝土浇筑顺序示意图(单位: cm)

间距或200mm,麻坑密度为9-12点/10cm<sup>2</sup>的小坑。

(2)对植筋的焊接施工应采取如下措施:植筋的焊点离胶面距离不小于15D,且不应小于200mm;采取降温措施,如焊接施工时用冰水浸透棉纱布包裹植筋胶面根部钢筋;严禁对一根植筋连续焊接,应采用循环焊接施工的方法,即对一批焊接钢筋逐点、逐根焊接。

(3)对于拱肋底面既要植筋,又要绑扎通长主筋的情况,可事先将主筋位置放样出来,植筋钻孔时避免与主筋位置冲突,若出现废孔,及时用短钢筋和植筋胶进行填充,待钻孔完毕,可先通过定位钢筋临时固定绑扎主筋,主筋就位后再进行植筋,解决了先植筋再穿通长主筋容易位置相冲突,难以就位主筋的问题。

(4)拱肋底模拼装长度应控制在0.9-1m,保证与拱肋底面线形一致;另外,侧模通过间隔2m侧面吊线法,保证与拱肋侧面平行顺直。

(5)对于拱肋线形较陡段,需设置顶模,保证外包混凝土顶面线形与拱肋保持一致,较缓

段,可不设置顶模,方便浇筑过程中观测混凝土浇筑质量,在混凝土初凝时,通过二次压抹保证顶面线形。

(6)各孔主拱圈应同时逐段对称、均衡浇筑混凝土,保证原主拱圈受力状态稳定,拱脚处产生的水平推力相互对称、均衡,保证桥墩处产生的水平变位较小。

## 5 结语

南渡大桥作为已运营40多年的双曲拱桥,为提高结构承载能力和整体刚度,采用外包混凝土增大截面加固技术,其加固施工技术值得去总结和探索。从现场监督的工程质量情况来看,满足设计和规范各项要求。同时,桥面行车产生的振动明显得到改善。经现场试验检测,能满足公路—Ⅱ级荷载要求,达到了预期加固目的。

### 参考文献

- [1] 交通部公路科学研究所. 南渡大桥桥梁病害调查分析报告[R]. 北京: 2009.
- [2] 湛润水, 胡钊芳, 帅长斌. 公路旧桥加固技术与实例[M]. 人民交通出版社, 2002.

## 新闻

# “柳州智造”再结硕果

## 柳工欧维姆研制成功悬索桥缆载吊机

由柳工集团柳州欧维姆机械股份有限公司研制的矮寨特大悬索桥缆载吊机近日成功通过型式试验,该公司因此成为国内首家能提供此类缆载吊机全套技术和设备的企业。

湖南矮寨大桥为钢桁架加劲梁单跨悬索桥,主跨1176米,目前在跨峡谷的悬索桥中居世界第一。矮寨大桥的钢桁架全宽27米,主桁架高7.5米,全桥共设69个节段,标准节段重125吨,中间节段重达240吨。要将此庞然大物在峡深、风大的条件下稳当、精确地吊装到位,这对吊装设备的要求非常高。以往同类产品的关键设备如液压千斤顶、控制系统等均依赖进口,成本非常高昂。欧维姆公司研制小组经刻苦攻关,终于研制成功具有自主知识产权的缆载吊机。该缆载吊机

的智能化中央自动控制系统设计、模块化设计、一体化设计使其具备了操作便捷、安全可靠、适应性强、经济合理等优点,可推广应用于悬索桥钢桁架、钢箱梁及其它同类大型构件的吊装,市场应用前景广阔。



矮寨大桥缆载吊机型式试验现场

(编辑部)