

文章编号: 0451-0712(2005)01-0134-05

中图分类号: U448.225

文献标识码: B

# 巫山长江大桥拱肋钢管内混凝土灌注

张佐安

(四川路桥建设股份有限公司大桥分公司 成都市 610071)

摘要: 介绍巫山长江大桥拱肋弦管内混凝土灌注所采用的关键施工技术和工艺。  
关键词: 钢管混凝土拱桥; 单根钢管内混凝土; 连续灌注

## 1 工程概况

巫山长江大桥为净跨460 m的钢管混凝土中承式拱桥,净矢跨比为1/3.8,拱顶至拱脚高度约128 m。桥面净宽18 m,桥梁全长612.2 m,见图1所示。全桥由两条拱肋组成。拱肋为钢管混凝土组成的桁架结构,拱顶截面高为7 m,拱脚截面高为

14 m,肋宽为4.14 m;每肋上、下由2根 $\phi 1220\text{ mm}\times 22(25)\text{ mm}$ 、内灌C60混凝土的钢管混凝土弦杆组成,弦杆通过横联钢管( $\phi 711\text{ mm}\times 16\text{ mm}$ )和竖向钢管( $\phi 610\text{ mm}\times 12\text{ mm}$ )连接而构成钢管混凝土桁架,吊杆处竖向腹杆间设交叉撑,加强拱肋横向连接。

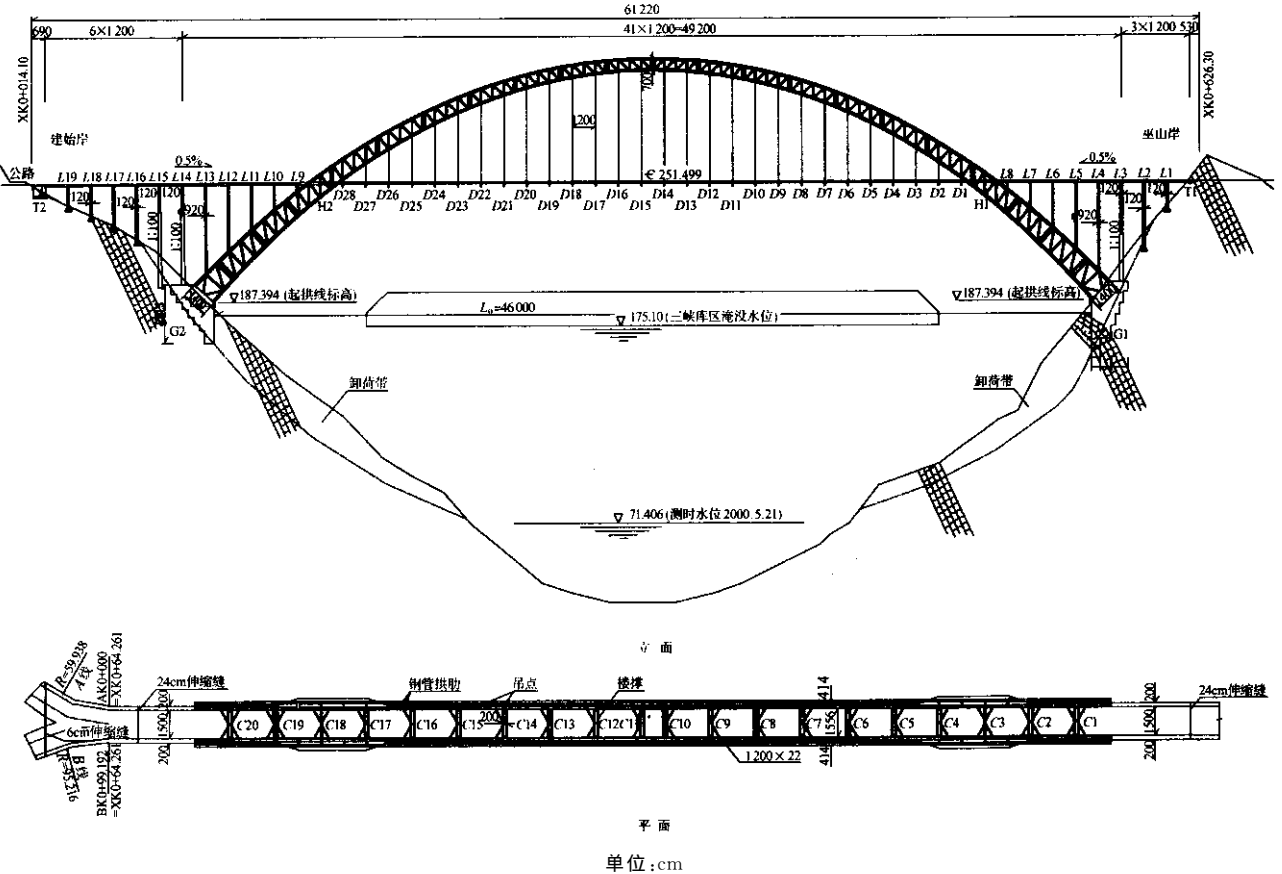


图1 巫山长江大桥总体布置

每肋上、下弦主钢管、拱肋与桥面相交处的竖腹杆钢管、立柱处上横联钢管和吊杆处上、下横联钢管内,均需灌注C60 混凝土。每根主管需灌注混凝土约 600 m<sup>3</sup>。

2 施工方案

根据对称与均衡加载的原则,即以拱顶为对称线两半跨对称加载,以桥轴线为对称线上下游肋交替加载,组织钢管内混凝土的灌注施工。两肋共 8 根钢管依序逐一灌注,然后灌注竖腹杆、横联钢管。每一根拱肋钢管内的混凝土,采用在两岸由拱脚到拱顶各分 3 段连续灌注的施工方

2.1 钢管内混凝土的配制技术要求及配合比的确定

设计要求钢管混凝土采用C60 高强微膨胀混凝土。根据混凝土要具备大流动性、收缩补偿,延后初凝、早强等工作性能,结合钢管混凝土灌注特点及工地拌和能力,计算灌注一根钢管的持续时间,要求混凝土拌和坍落度 22~24 cm,4 h 坍落度损失<4cm,扩展度≥40 cm,初凝时间 20 h 以上(室温 20℃时),砂率 37%~40%,混凝土施工配制强度不低于 69 MPa。

按设计要求,本桥钢管混凝土的膨胀率大于

0.3‰。

经过反复试配,选用混凝土的组成材料是:水泥为普通 52.5(R)级,砂为宜昌清江中砂,碎石为 5~25 mm 的宜昌碎石,外掺剂为 RB-60 减水剂和 WCH-1 减水剂,水为自来水,粉煤灰为 I 级粉煤灰,膨胀剂为 UEA-W 膨胀剂。其配比为水泥:砂:碎石:水:外掺剂:粉煤灰:膨胀剂=460:655:1050:180:11.7:70:55,该配比符合上述技术要求,经重庆大学建设工程质量检测中心验证,其限制膨胀率(28 d)为 0.31‰,报监理工程师后得到批复,实施时予以采用。

2.2 灌注分段位置的确定

钢管内混凝土灌注按设计和监控提供的顺序,两岸分别从拱脚向拱顶方向划分为 I、II、III 段,按顺序接力连续泵送施工,每灌注完成 1 根后,待管内混凝土达到设计强度的 80%以后再灌注另 1 根钢管混凝土。根据现场实际情况,第 I 段划分为第 1 泵口位置~第 2 泵口位置之间,第 II 段为第 2 泵口位置~第 3 泵口位置之间,第 III 段为第 3 泵口位置~拱顶。第 1 泵口位置:南、北岸上弦上、下游设在 52 号截面(截面号见图 2,下同,图中的第 1 段~第 11 段为吊装节段,按灌注顺序划分的第 I、II、III 段图中未示)向拱顶方向 2 m 处;南、北岸下弦上、下游设在 50 号截面向拱脚方向 2 m 处;第 2 泵口位置:南、北岸上弦

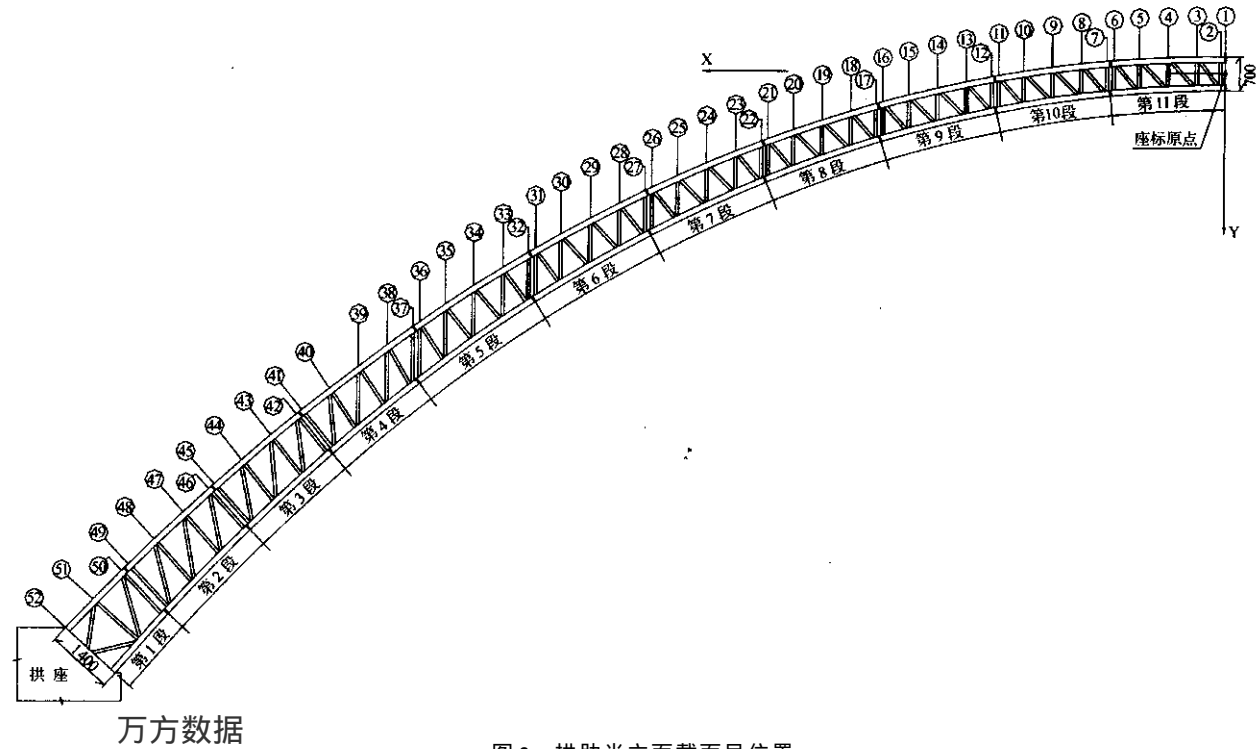


图 2 拱肋半立面截面号位置

上、下游均为拱肋 38 号截面向拱顶方向 1 m 处;北岸下弦上、下游为 34 号截面向拱脚方向 1 m 处;南岸下弦上、下游为 38 号截面向拱脚方向 1 m 处;第 3 泵口位置:南、北岸上弦上、下游,南、北岸下弦下游及北岸下弦上游均为 23 号截面向拱脚方向 2 m 处;南岸下弦上游为 21 号截面向拱顶方向 1 m 处。

## 2.3 设备的选择及施工现场的布置

### 2.3.1 拌和设备

两岸分别布置一套理论产量为  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  的自动拌和站,2 台 500L 的拌和机(自动进料),实际拌和能力为  $30\sim 35 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

建始岸的拌和站设于 T2 桥台(见图 1 所示)后面,场地较宽阔,基本能发挥机械效力。

巫山岸的拌和站设于离 T1 桥台 250 m 及 70 m 远的引道路基上,场地较窄,生产能力较低。

建始岸用 1 台 50 型装载机,巫山岸用 2 台 50 型装载机向拌和站供料。

### 2.3.2 混凝土输送泵

一级输送泵用 60 型拖式泵,实际产量约  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,其余用 90 型拖式泵,实际产量约  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 。输送管全部用  $\phi 150 \text{ mm}$  的管道。

#### (1) 建始岸混凝土输送泵管布置

一级输送泵位于拌和站附近,浇注第 I 段拱肋混凝土时,它将混凝土由拌和站经下坡地面布置的管道向拱脚处布置的带缓冲储罐的二级泵内输送。该二级泵负责用输送管道向第一泵口内输送第 I 段拱肋钢管内的混凝土,其输送管道的布置原则是:①泵与拱肋压注口之间的连接不应有小于  $90^\circ$  的弯头管道;②管道长度不宜小于 15 m(管道中的设有大于  $90^\circ$  的弯管时可适当减小);③管道下坡布置时的水平倾角不宜大于  $15^\circ$ 。浇注第 II、III 段拱肋混凝土时,由一级输送泵直接将混凝土由拌和站经沿栈桥布置的管道向拱肋上的第 2、第 3 泵口内输送,因此,该输送泵要布置 2 套输送管道。建始岸共用输送泵 3 台,其中浇注第 I 段拱肋混凝土时同时使用 2 台,备用 1 台。

#### (2) 巫山岸混凝土输送泵管布置

1 台一级输送泵位于至离 T1 桥台 250 m 拌和站附近,浇注第 I 段拱肋混凝土时,它将该拌和站拌制的混凝土输送至离 T1 桥台约 50 m 的另一套拌和站处的另 1 台一级输送泵内,与这套拌和站拌制的混凝土一起输送至 T1 桥台前,然后沿下坡地面布置的管道向拱脚处布置的带缓冲储罐的二级泵内输送。

该二级泵负责向第一泵口内输送第 I 段钢管内的混凝土。浇注第 II、III 段拱肋混凝土时,直接将离 T1 桥台约 50 m 处输送泵集中的混凝土通过沿栈桥布置的管道向拱肋上的第 2、第 3 泵口内输送,因此, T1 桥台以后约 50 m 处输送泵的管道向拱上要布设 2 套。巫山岸共用输送泵 4 台,其中浇注第 I 段拱肋混凝土时同时使用 3 台,备用 1 台。

### 2.3.3 施工栈桥

为解决人员交通和方便布设输送管道,设置施工栈桥,栈桥布置如图 3 所示。

建始岸: L17 号墩脚~C19 拱肋横撑处,位于桥面标高下,有较缓上坡,总长约 70 m;

巫山岸:扣塔脚(T1 桥台)~C4 拱肋横撑上缘,基本处于桥面标高上,总长约 100 m。

## 3 钢管内混凝土灌注

### 3.1 灌注顺序

钢管混凝土施工按照对称与均衡加载的原则,结合现场的实际情况,8 根钢管的灌注顺序为:①下游肋下河上弦,②上游肋上河上弦,③下游肋上河下弦,④上游肋下河下弦,⑤下游肋上河上弦,⑥上游肋下河上弦,⑦下游肋下河下弦,⑧上游肋上河下弦。

### 3.2 弦管灌注混凝土工艺流程

准备工作→拌砂浆(水泥浆)和混凝土→混凝土一级泵送至拱脚→二级泵→灌注第一段管内混凝土→灌注第二段管内混凝土→灌注第三段管内混凝土。

### 3.3 弦管灌注前的准备工作

#### (1) 安装输送管道及设置灌注口

灌注口的精确位置由输送泵管的具体长度确定,设置灌注口构造前,先安装好输送管道,待输送管道安装至计划灌注口位置时,把灌注口构造与输送管相连,精确测定出拱肋主弦管上的开孔位置,气割孔洞,将灌注口构造与拱肋钢管焊接牢固,并接通输送管道。拱脚处的二级泵的输送管道与第一泵口相连,拌和楼附近的一级泵的输送管道接出两路分别与第二、三泵口相连。

在第一、二、三泵口(即压注口)的钢管侧面开设一与输送泵管内径相同的  $\phi 150 \text{ mm}$  的钢管压注口(灌注口钢管轴线与主管轴线交角不大于  $30^\circ$ ,以方便混凝土流动),先在拱肋上气割椭圆孔(开孔割下的钢管母材椭圆板收存好,待管内灌注完混凝土达

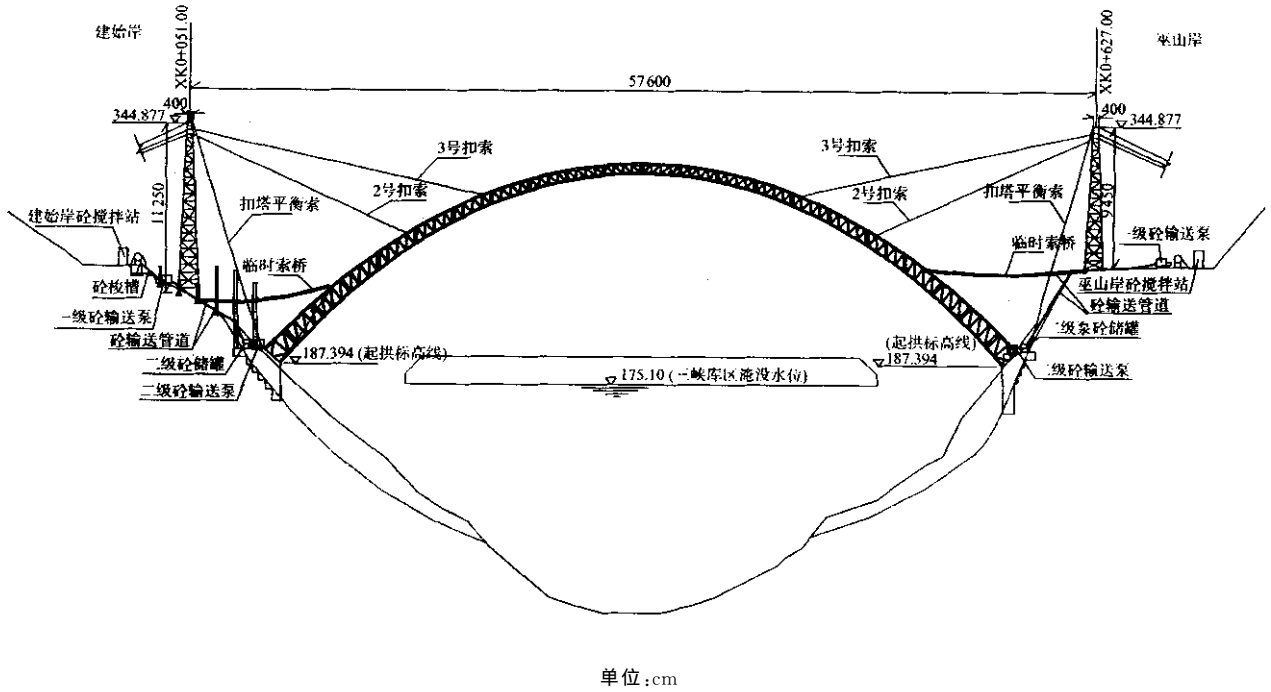


图 3 施工栈桥布置

到强度并割去灌注口钢管后再补焊上),然后在主管上焊接比椭圆孔直径大 100 mm 的椭圆形环板加强,最后在椭圆环板上焊接灌注口钢管。

全桥灌注口构造共 48 个,每个构造中都带有阻止混凝土流动的闸阀。灌注口闸阀为 50 mm×185 mm×185 mm 矩形钢板,内切  $\phi 160$  mm 圆孔,从钢板厚度中心向圆孔方向钻相互平行的 3 个  $\phi 30$  mm 的孔,在孔外焊  $\phi 32$  mm 螺栓帽。将钢板套于泵管上,并对钢板两侧与泵管接触面全面焊接,以加强泵管此截面。施工中当需关闭闸阀时,用  $\phi 25$  mm 圆钢加工的钢钎打入  $\phi 30$  mm 孔(穿过混凝土通道)中阻止混凝土通过;当需打开闸阀时,可拔出钢钎,用  $\phi 32$  mm 螺栓封住开孔,则混凝土通过泵管,使用比较方便。全桥共加工 10 个闸阀,周转使用。

### (2) 设置冒浆管

在拱顶隔板两侧各倾斜设内直径为  $\phi 150$  mm,高为 2.0 m 的钢管作出浆管,以使出口混凝土不污染拱肋,灌注完毕待混凝土达到设计强度后,切割灌注口钢管和冒浆管,用与拱肋弦管同材质、等壁厚的钢材填焊孔洞(开孔时,把切割下的原材放置在附近,此时可直接利用)。

### (3) 开设排渣、排浆管

在拱肋拱脚的下弦最低处气割  $\phi 150$  mm 孔,并焊接钢管作为排渣管,在第一、二、三泵口的钢管侧面较相应钢管压注口标高低 20 cm 处的底面气割开

设  $\phi 150$  mm 孔,并焊接钢管作为排浆管。排渣、排浆管均设置可封闭构造。

### (4) 钢管内的清洗

每根钢管内灌注前,从拱顶的冒浆管内注入自来水以清洗拱肋钢管内部,清洗后的水及锈渣等从拱脚处的出渣孔内排除。

### (5) 张拉索力

按照设计意图,在浇注拱肋管内混凝土前,已将 1 号、4 号、5 号、6 号扣索全部拆除(半跨每肋共有 6 组扣索,每组有扣索 4 束),也将 2 号、3 号扣索的内侧 2 束索拆除,仅余外侧 2 束索,即全桥仅余 2 号、3 号扣索的 1/2 数量(每组靠外侧 2 束)共 16 束索。根据监控指令,在某根钢管内混凝土灌注前适时张拉相关扣索的索力。

## 3.4 弦管内混凝土的灌注

### (1) 第 I 段钢管

一级泵输送管内先泵送水以润湿管道,然后拌和站拌制 2.5 m<sup>3</sup> 水泥砂浆(与 C60 拱肋混凝土中的胶砂比相同),每拌和完一盘,放入一级输送泵中,砂浆拌完后接着拌制 C60 拱肋混凝土。一级输送泵适时将拌和站送来的拌和料泵送出去。

先泵送的砂浆及部分 C60 混凝土经一级输送泵输送至拱脚处的带缓冲储罐的二级泵内,经再次搅匀后将其经第一泵口泵入拱肋第 I 段钢管内。先进入管内的约 3~4 m<sup>3</sup> 拌和料从排渣孔内排除至允许

的地方,当确认混凝土已完好时封闭排渣孔口,向弦管内连续灌注混凝土,直至混凝土面上升至超过第二泵口附近的排浆管并从管中排出约  $1\sim 2\text{ m}^3$  混凝土(用一料斗储存后运至指定地点排放,下同)时,完成第Ⅰ段拱肋混凝土浇注。在灌注快结束前,适时进行管道清洗。

### (2)第Ⅱ段钢管

在第Ⅰ段钢管浇注完毕前,第二灌注口(泵口)处的输送泵管已安装好,随时可以投入使用。

第Ⅰ段钢管混凝土灌注完成后,把一级泵出口与预先接好的进入第Ⅱ灌注口的管道连通(先已定好位,连通耗时不多)。

输送管内首先泵送适量水和砂浆,然后继续泵送第Ⅱ段拱肋混凝土,先泵入第Ⅱ段内的约  $3\text{ m}^3$  拌和料从排浆孔内排除。确认混凝土完好时封闭排浆孔口,向弦管内连续灌注混凝土,直至混凝土面上升至超过第3泵口附近的排浆管并从管中排出约  $1\sim 2\text{ m}^3$  混凝土后,封闭排浆管,完成第Ⅱ段混凝土浇注。灌注第Ⅱ段钢管混凝土快结束前,适时进行管道清洗。

### (3)第Ⅲ段钢管

第Ⅱ段钢管混凝土灌注完成后,把一级泵出口与预先接好的进入第Ⅲ灌注口的管道连通。

输送管内首先泵送适量水和砂浆,然后继续泵送第Ⅲ段拱肋混凝土,先泵入第Ⅲ段内的约  $3\text{ m}^3$  拌和料从附近排浆孔内排除。确认混凝土已完好时封闭排浆孔口,向弦管内连续灌注,直至混凝土面上升至超过拱顶处的冒浆管并从管中排出约  $1\sim 2\text{ m}^3$  混凝土后,停止灌注,完成第Ⅲ段混凝土浇注。灌注第Ⅲ段钢管混凝土快结束前,适时进行管道清洗。

## 3.5 测量与控制

### (1)混凝土已达到标高的测量

拌和站专人记录拌和盘数,力争两岸拌和速度相同。

利用拱肋各构件的对称性,派专人在拱上用锤敲击钢管,凭声音判断混凝土已达到的位置,用高频对讲机实现场内主要管理人员的无线联络,判定两岸混凝土的对称性。

当两岸混凝土顶面差超过  $2\text{ m}$ (弧长)时,暂停或放缓较快一岸的作业,直至对称为止,再恢复正常作业。

### (2)桥轴线偏位测量

利用经纬仪直接测量桥轴线的偏位情况,在每

根钢管混凝土灌注前和灌注至  $1/3$ 、 $2/3$ 、完成时、完成  $8\text{ h}$ 、完成  $24\text{ h}$  时,共  $6$  个工况进行实时测量,并做好记录。如有异常变化情况及时报告监理、监控及施工技术人员,以进行相关处理。

桥轴线观测时,拱顶、 $1/3$  半跨、 $2/3$  半跨,共  $5$  个点两岸同时测量以校核。

### (3)拱轴线(标高)测量

标高测量的目的在于掌握混凝土浇注过程中拱轴线变化情况,特别是在灌注至  $1/2$  数量前后拱顶的上升情况和  $1/2$  半跨附近拱肋下挠情况,然后根据标高变化情况,确定扣索的张拉时间和张拉索力,以及张拉后的松索时间。

标高测量在每根钢管灌注前、灌注  $1/3$ 、 $2/3$ 、完成时、完成  $8\text{ h}$  时、完成  $24\text{ h}$  时的共  $6$  个工况进行,并做好记录。

标高观测时,拱顶、 $1/3$  半跨、 $2/3$  半跨共  $5$  个点两岸同时测量以校核。

## 3.6 拱肋上其余部位的混凝土浇注

按照设计,拱肋与桥面相交处的竖腹杆、拱肋上吊杆处上下横联、拱上立柱处上横联等短钢管内均要灌注  $C60$  混凝土,由于每处的混凝土数量少,需灌注的部位多,因此采用吊斗将普通混凝土吊至浇注部位,人工灌入,插入式振捣器捣实。为确保美观,每浇注一个部位后,用清洁水将钢管表面洗净。该项工作在主管混凝土待强期间分批进行,不占用主流程时间。

## 3.7 检验与试验

结合施工技术规范,每根钢管混凝土取抗压强度试件  $8$  组(南北岸各  $4$  组)获得  $7\text{ d}$ 、 $28\text{ d}$  的混凝土试件抗压强度值。

拱肋上其余部位的短钢管混凝土,每一工班取  $2$  组抗压强度试件,获得  $7\text{ d}$ 、 $28\text{ d}$  的混凝土试件抗压强度值。

## 4 实施效果

本桥钢管内混凝土在  $2003$  年  $10$  月  $29$  日开始灌注第一根,  $12$  月  $12$  日灌注最后一根,  $8$  根钢管历时  $45\text{ d}$ 。每根钢管一般用时  $12\text{ h}$ ,均为分  $3$  段一次性连续灌注完成。灌注过程中,桥轴线偏位及拱轴线变化均符合计算要求,灌注完成后(气温  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ )较灌注前( $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ )拱顶下挠  $293\text{ mm}$ ,拱肋横桥向偏位  $20\text{ mm}$ 。

$8$  根钢管共取抗压强度试件  $77$  组,全部有效,其  $28\text{ d}$  的试件抗压强度平均值为  $79.3\text{ MPa}$ ,强度标准



文章编号: 0451-0712(2005)01-0139-04

中图分类号:U445.55

文献标识码:B

# 高墩身滑模施工技术

范万祥

(中铁大桥局集团第五工程有限公司 南昌市 330025)

**摘 要:** 介绍高墩采用液压滑升模板施工的工艺原理和施工过程。

关键词: 桥梁; 高墩; 液压滑升模板; 施工工艺

## 1 工程概况

江西京福高速公路桃木岭高架桥位于崇山峻岭中,为全线的控制性重难点工程,大桥全长 808 m,设有 21 个墩台,为双幅分离式设计,桥面宽 24.5 m。大桥下部结构为挖孔灌注桩基础,实体或空心薄壁墩身,上部结构为  $7 \times 40 \text{ m} + 13 \times 40 \text{ m}$  单箱单室直腹板双向预应力混凝土刚构—连续梁组合体系。

大桥共有38个墩身,其中高度大于30 m的有23个,最高为83 m,号称“江西第一墩”。9~17号墩为钢筋混凝土等截面空心墩,平均高度57.4 m,墩身截面尺寸为6 m×3 m或6 m×3.5 m,薄壁厚度50 cm。综合考虑经济、安全、技术等各项指标,为满足工期要求,高墩身采用液压滑升模板(以下简称“滑模”)施工。

收稿日期:2004-07-12

差 3.5 MPa,强度评定结果为合格。

拱肋上其余部位短钢管内的混凝土,其试件抗压强度值评定结果为合格。

钢管内混凝土仅极个别部位有很微小脱空,质量符合设计及规范要求。

## 5 结语

(1) 巫山长江大桥施工中研制的 C60 钢管内混凝土, 具备了高强超塑、收缩补偿、延后初凝、早强等工作性能, 实施后质量满足设计及规范要求, 是成功的;

(2) 每一根拱肋钢管内高强混凝土数量达  $600 \text{ m}^3$ , 采用在两岸由拱脚向拱顶各分 3 段一次性连续灌注的施工方法顺利实施, 不仅减小了泵送设备的压力, 同时也保证了钢管内混凝土的整体性, 可

## 2 工艺原理及结构体系组成

### 2.1 工艺原理

滑模施工就是将滑升模板的全部施工荷载转至墩身钢筋(称之为支承杆)上,混凝土浇注至一定强度后,通过自身液压提升系统将整个装置沿支承杆上滑,调整后又继续浇注混凝土并不断循环的一个过程。由于其施工具有工业化程度较高、施工进度快、结构整体性好、安全系数高、操作方便等特点,将它从烟囱、水塔、高层民用建筑等应用领域移植到桥梁高墩施工。

## 2.2 结构体系组成

滑模装置由模板系统、操作平台系统、液压提升系统和垂直运输系统 4 大部分组成,其主要结构如图 1 所示。

供类似工程借鉴。

巫山长江大桥钢管内混凝土灌注的实施过程中,王建瑶、王永珩、曾宪武、彭宝华、杨高中、郑皆连、黄大元、顾安邦、丁庆军、范文理、蒙进礼、谢邦珠、郑远鹄、杨稚华等专家提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

## 参考文献:

- [1] 四川省交通厅公路规划勘测设计研究院. 巫山长江大桥施工图设计. 2001.
- [2] JTJ—2000, 公路桥涵施工技术规范[S].
- [3] 四川路桥建设股份有限公司巫山长江大桥项目经理部. 巫山长江大桥主拱肋钢管混凝土施工方案. 2003.