

# 预应力砼结构施工阶段内力定量分析

唐建荣 李东平

(柳州欧维姆工程有限公司 柳州 545005)

**摘要:** 本文结合浙江海盐塘桥横梁预应力施工, 提出体内预应力砼构件在施工阶段内力量化的重要性, 避免构件或结构因为施工阶段的内力量化不够而遭遇破坏。

**关键词:** 预应力 砼结构 施工阶段 内力量化 破坏

## 1. 概述

施工阶段内力计算是设计工作者设计内容的一部分, 大部分工程结构施工方案比较成熟并在设计计算范围内, 但采用不同施工顺序和施工工艺, 结构实际内力截然不同。本文结合海盐塘大桥横梁预应力施工情况, 对施工阶段作了内力定量分析。

海盐塘大桥结构形式为自锚式三跨连续梁悬索桥, 桥两侧各增设一孔16米跨径的引桥, 大桥桥跨组合为16+30+72+30+16米, 全桥长约165米。主桥由塔柱、主缆、加劲梁、吊杆与桥面铺装等组成。塔柱由四根 $\phi 400 \times 10\text{mm}$ 钢管位于四角, 其间用圆弧状凹型弧钢板构成带圆角的矩形截面, 钢管、钢板间焊接钢筋加强, 形成劲性骨架, 然后泵送砼填芯而成。桥面以上塔柱高约9m, 塔顶成锥体, 便于主缆锚固, 塔

底与主梁固结成一体。主缆由210根钢绞线组成, 三跨布置, 分成30束张拉, 外套 $\phi 425 \times 12\text{mm}$ 钢管索套, 主缆在塔顶张拉锚固后, 钢管真空灌注水泥浆防腐, 主缆在梁端及跨中部分与主梁浇注成整体。主梁为带悬挑臂的单箱四室箱形梁, 桥中央处梁高1.74m, 箱形顶宽40米, 底宽34米, 挑臂长度两侧各为3.0米。横梁为预应力砼结构, 间距为5.0-6.0米, 平均高度为1.2米, 且横梁为变高度, 用以调整桥面横坡。吊杆由16根钢绞线构成, 外套 $\phi 200 \times 12\text{mm}$ 钢管, 张拉成形后灌注水泥浆防腐。吊杆与主缆设专用联结块件, 并采用OVM固定锚具, 在梁底进行单向张拉。吊杆的间距与横梁的间距相同。

主桥立面图见图1。

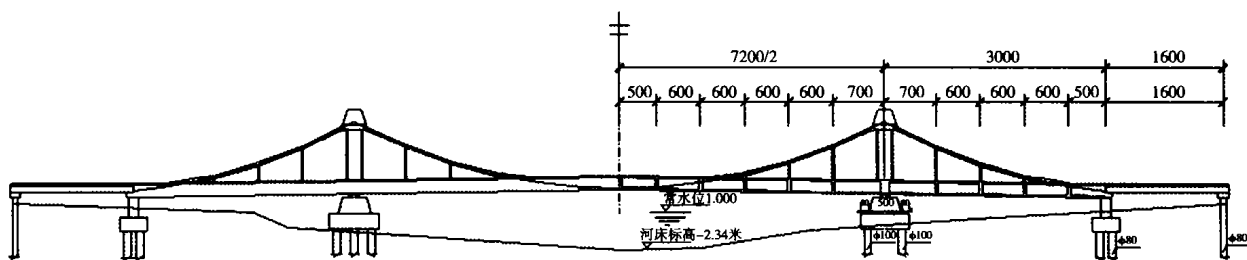


图1 主桥立面图(单位cm)

## 2. 大桥上部结构施工程序

主桥采用先梁后挂索的施工方法, 引桥预制安装施工。

梁施工采用在河流中塔设支架, 在支架上立模浇筑箱梁砼, 箱梁分二期浇筑, 横向分期, 第一期浇中间两室22米(两塔柱及其中间

段), 然后架设塔柱钢管, 泵送砼, 砼达到设计强度后, 张拉横梁内第一批预应力束(N3, N4各现两束); 第二期两边室及悬挑臂浇筑, 同时进行安装吊杆、主缆钢结构, 待砼达到设计强度后, 张拉横梁内第二批预应力束(N1, N2各现两束)。

### 3. 大桥预应力横梁设计技术

3.1 荷载：城-A级（机动车道），城-B级（非机动车道），人群：22.5kN/m<sup>2</sup>。

3.2 桥面宽度：全桥宽为40m，与东湖大道同宽。横桥向布置为：4.0m（人行道）+4.5m（非机动车道）+4.0m（绿化带）+15m（主车道）+4.0m（绿化带）+4.5m（非机动车道）+4.0m（人行道）。

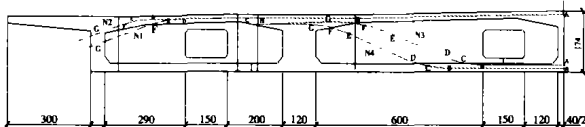
3.3 桥梁纵坡为2.2%，桥梁横坡：人行道为1%，行人道为1.5%，桥上竖曲线半径R=2000m。

#### 3.4 建筑材料

砼：预应力构件为C50，桥面铺装为C40

钢材：非预应力筋为Ⅱ级；预应力钢绞线为高强度低松弛，强度等级R<sub>b</sub>=2000MPa（Φ<sup>15.24</sup>）。

#### 3.5 横梁钢束布置曲线见图2。



点	A		B		C		D		E		F		G		H	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
N1	0	164	750	152.8	1150	152.8	1376.1	150.5	1431.1	146.1	1484.9	134.3	1684.7	75.5		
N2	0	164	750	152.8	1150	152.8	1481.7	149.4	1536.7	145.1	1590.5	133.2	1684.7	105.5		
N3	0	20	300.6	20	367.6	25.7	432.7	42.5	622.4	108.8	728.5	135.4	837.7	142.3	1084	135.3
N4	0	10	422	10	489	15.7	554.2	32.5	782.4	112.3	847.5	129.1	914.6	134.8	1084	135.3

注：N3N4各2束，为9Φ15.24，N1N2各2束，为7Φ15.24，张拉控制应力均为1500MPa。

图2 横梁预应力钢束立面布置图

#### 3.6 横梁断面和配筋见图3。

### 4. 预应力横梁一期施工段在各工况下的受力状况

#### 4.1 支架设计

采用在河流中浇筑临时墩柱，然后在墩柱上搭设支架及立模，设计支架方案时经过计算和试压，计算和试压表明在施工荷载作用下，支架沉降量约为2cm，考虑到其它因素的影响，支架搭设时事先比成桥时设计标高超高2.5cm。支架见图4。

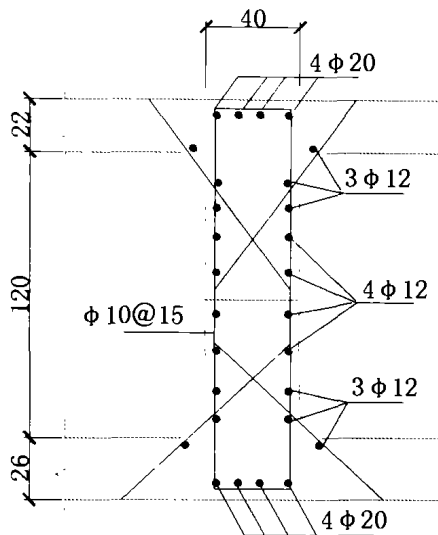


图3 横梁断面及配筋图

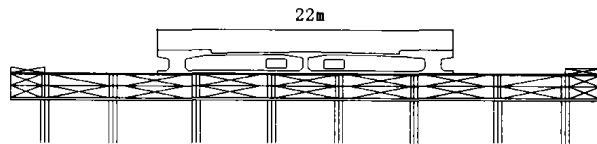


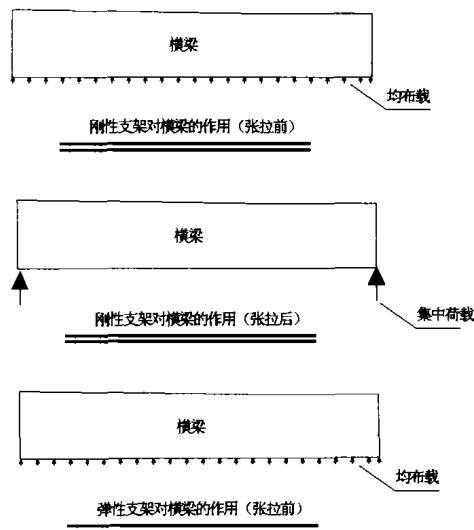
图4 箱梁支架图

#### 4.2 预应力施加前横梁受力状况

在预应力施加前，横梁直接“躺在”模板上，在梁体重力的作用下，支架产生微少的沉降，作为一静定体系，梁内不会出现内力。

#### 4.3 预应力施加后横梁受力状况

在分析之前，我们作一比较（横梁在刚性支架上和弹性支架上施工状况），图5为刚性支架和弹性支架上横梁预应力施加前后的受力状况。



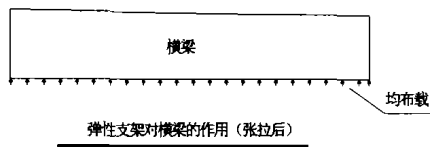


图5 刚性支架和弹性支架上横梁预应力施加前后受力状况

#### 4.4 曲线预应力筋等效荷载计算

曲线预应力筋在梁体内为二次曲线分布,且曲线段的曲率固定不变,由钢束N3、N4有效张力 $N_P$ 引起的弯矩在曲线段也为二次曲线,则梁左端X处的弯矩值为

$$M(x)=4N_P f(1-x)x/l^2$$

将 $M(x)$ 对 $x$ 求二次导数,即可得出此弯矩引起的等效荷载

$$q(x)=d^2 M(x)/dx^2=-8N_P f/l^2$$

钢束N3(1束)引起的等效荷载计算:

$N_P$ :扣除预应力损失后的平均张力,经计算为 $80\% \times F_P(\text{张拉力})=0.8 \times 1500 \times 9 \times 140=1512\text{kN}$

钢束产生荷载间范围内矢高,  $F_1=0.335\text{m}$ ,

$F_2=1.321\text{m}$

钢束产生荷载间孔道长度  $L_1=2.153\text{m}$ ,

$L_2=1.321\text{m}$

$$Q_{3GE}=8 \times N_P \times F_1/(2 L_1)^2=218.5\text{kN/m}$$

$$Q_{3DB}=8 \times N_P \times F_2/(2 L_2)^2=389.4\text{kN/m}$$

同理可求出N4钢束等效荷载

$$Q_{4GE}=389.3\text{kN/m}$$

$$Q_{4DB}=389.4\text{kN/m}$$

N3、N4钢束引起的等效弯矩图见图6。

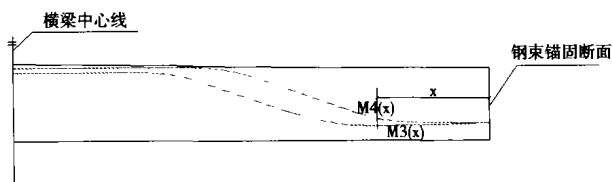


图6 N3、N4钢束引起的弯矩曲线

#### 4.5 横梁内力计算

横梁为对称结构,在对称的等效荷载作用下,梁中心截面上的反对称内力为零,即中心截面上的剪力为零,然后用截面法(Section-method)求解最大剪力( $V_{\max}$ ), $V_{\max}=(Q_{3GE} \times L_1 + Q_{4GE} \times L_3) \times 2=1970.1\text{kN}$ (N3、N4各2束)。

#### 4.6 横梁抗力计算

横梁仅配有箍筋,且在预应力钢束等效荷载(均布线载)作用下,矩形断面梁,其斜截面受剪承载力计算如下:

$$V_{CS}=0.07f_c(bh_0 - 4S_{\Phi 80}) + 1.5f_{yv}A_{sv1}h_0/s$$

$f_c$ : 砼抗压设计强度取 $28.5\text{MPa}$

$b$ : 横梁截面宽度取 $400\text{mm}$

$h_0$ : 横梁截面有效高度取 $1600\text{mm}$

$S_{\Phi 80}$ : N3、N4钢束波纹管面积取 $5024\text{mm}^2$

$f_{yv}$ : 箍筋设计强度取 $310\text{MPa}$

$n$ : 同一断面设计箍筋肢数取2

$A_{sv1}$ : 单肢箍筋断面积取 $78.8\text{mm}^2$

将以上数值代入公式:

$$V_{CS}=0.07 \times 28.5 \times (400 \times 1600 - 4 \times 5024) + 1.5 \times 310 \times 2 \times 78.8 \times 1600 \div 150=1.995 \times 619904 + 781696=2018.4\text{kN}$$

#### 4.7 横梁结构内力与材料抗力比较

最大剪力 $V_{\max}=1970.1\text{kN} < V_{CS}=2018.4\text{kN}$

#### 5. 施工现状与理论计算比较

统计19条施工过的横梁,施工现象表现出的迹象为:在理论计算出最大剪力段有与钢束大致平行的细小裂纹,裂纹分布很有规律。尽管理论计算的最大剪力少于材料抗力,但处于临界状态,加上结构材料的离散性的影响,故出现以上的现象。

在主缆、吊杆张拉完成后,以上横梁出现的裂纹完全闭合,这就说明了横梁在主缆、吊杆张拉后体系转变了,由于梁体自重荷载的作用裂纹闭合。

#### 6. 结束语

施工阶段结构内力分析要贯穿施工全过程,不但要作定性分析,必要时还要作定量计算,这样才有把握保证结构每个施工阶段的安全可靠,达到设计效果。

#### 参考文献

- [1] 薛伟辰.《现代预应力结构设计》
- [2] BEN C. GETWICK, JR. 《预应力混凝土结构施工》