

# 大跨径斜拉桥索塔锚固区应力分析

贺立新

(四川省交通厅公路规划勘察设计研究院 成都 610041)

**摘要:** 大跨径斜拉桥混凝土索塔受力复杂, 本文利用空间程序ANSYS对索塔柱锚固节段进行应力分析, 试算几种常用预应力布置方案, 寻找出最合适的配束数量。

**关键词:** 斜拉桥 索塔 锚固区 应力分析

## 1. 工程概况

随着科学技术的发展和我国交通建设的突飞猛进, 现代斜拉桥跨径越来越大。我国已建成主跨度超过600米的有上海杨浦大桥等4座, 正在施工的苏通长江大桥主跨1088米。斜拉桥的索塔受到拉索的水平 and 竖向分力, 以及桥梁纵横向风力、地震力等, 结构受力复杂。为平衡拉索在索塔上塔柱的拉索锚固区段产生的拉应力, 通常在塔柱内配预应力钢束。以前常在塔柱锚固区配“井”字预应力平行钢丝束, 由于每束长度仅3~5米, 预应力损失大。近年来多采用“U”型预应力高强度、低松弛钢绞线, 每束长度大于15米, 并且张拉工作量只有原来的一半。随着跨径的增加, 斜拉索的拉力也不断增大, 在索塔壁水平面上产生较大的拉应力。在索塔锚固段每对拉

索高度范围内, 设置环向预应力钢绞线有较大的随意性, 如有配3+3根 $\Phi^{15}$ -15钢绞线的, 也有配3+3根 $\Phi^{15}$ -6钢绞线的。为使索塔上塔柱壁在水平面内受力合理, 确保混凝土应力满足规范要求, 须根据拉索的水平分力 $T$ 设置合理的预应力钢束, 就需要使用空间有限元程序对塔柱进行应力分析。

宜宾市菜园沱长江大桥位于宜宾市菜园沱处, 为主跨460米的斜拉桥, 双塔双索面, 索塔为7.6m(纵向) $\times$ 4.5m(横向)的空心柱, 采用C50混凝土。索塔锚固区上端每对索竖向间距1.2m, 布有“U”型环向预应力钢束3+3束。预应力钢束采用 $\Phi^{15}$ 型极限强度1860MPa的钢绞线、OVM锚具。本次计算试算了每1.2米高塔柱节段内配3+3束 $\Phi^{15}$ -15和 $\Phi^{15}$ -9两种情况。

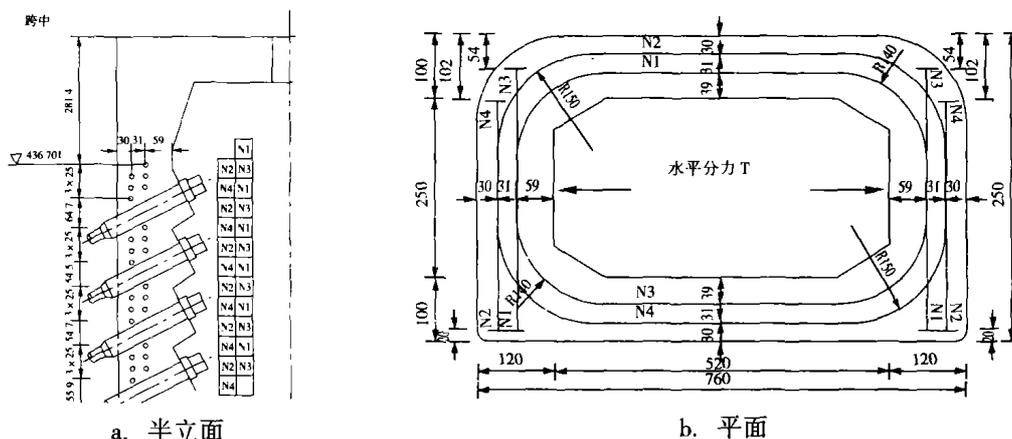
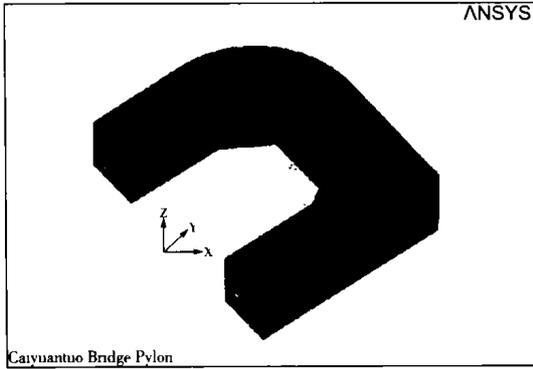


图1 索塔锚固区构造及钢束布置 (单位: cm)

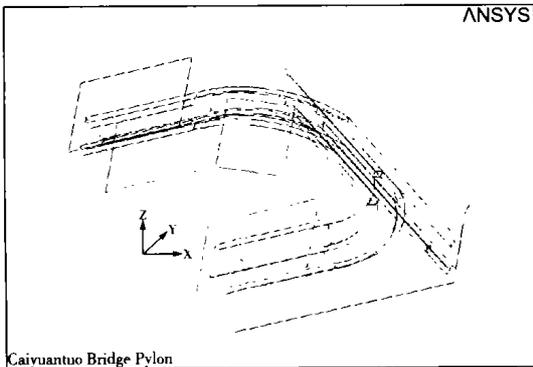
## 2. 计算模型

为简化计算, 减小计算模型, 本次计算分析仅截取索塔锚固区上端1.2米长的标准节段, 斜拉索的竖向力在索塔总体计算时考虑, 本次水平应

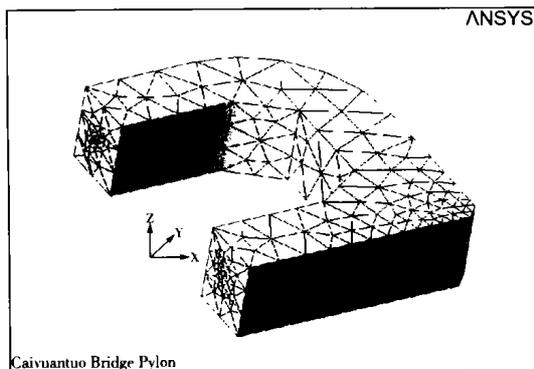
力分布仅计入斜拉索的水平分力, 其设计值为500T, 并忽略1.2米长索塔段的自重和上端传下的轴向力。利用对称性后仅计算单柱的半侧(U型), 见图2。



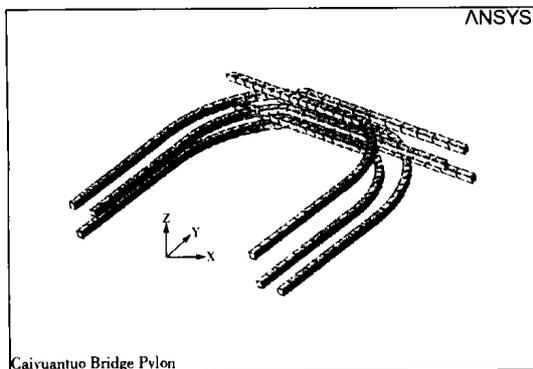
a. 实体模型



b. 预应力钢束模型



c. 实体单元



d. 钢束单元

图2 计算模型及单元划分

计算模型根据实际模型尺寸进行，并在计算模型中挖出预应力孔道，利用预应力钢束降温来施加预应力。计算模型采用三维实体单元：混凝土部分采用SOLID45（四面体），预应力钢束部分采用SOLID92（长方体）。为避免较小的预应力管道生成大量细微单元，本次建模时将圆管道改为方形管，并将截面由 $\phi 90$ 加大到 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 。由于预应力钢束被放大到 $100\text{cm}^2$ ，在施加预应力（降温）时需将 $\Delta T$ 除以 $(100/A_y)$ ，钢束的线胀系数取 $1.0 \times 10^{-5}$ 。

整个模型共14314节点，10822单元，每个节点3个自由度。计算模型的预应力损失参考宜宾中坝大桥试验资料，管道摩阻系数 $\mu = 0.25$ ，管道偏差系数 $k = 0.0015$ 。由于预应力钢束较短，分段考虑锚头回缩、摩阻损失以及锚头回缩负摩阻效应，预应力钢束输入数据见表1。下文约定使用单位制：SI制，牛顿·米·帕；混凝土应力拉正压负；Y方向为桥纵向，边长7.6米，长边；X方向为桥横向，边长4.5米，短边。

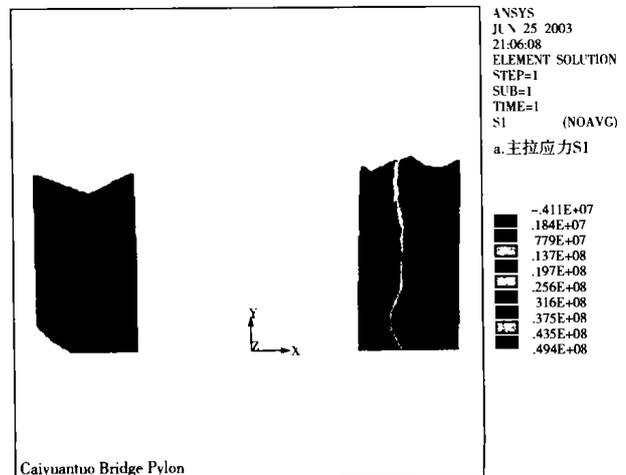
表1 预应力钢束计算数据表

钢束规格	钢束实际面积( $\text{cm}^2$ )	弹性模量(MPa)	锚下控制应力(MPa)	钢束内永存应力(MPa)	钢束单元需降温 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$
$\phi^{j}15-15$	21.0	$1.9 \times 10^5$	1394	925 ~ 1140.8	-600.4 ~ -486.8
$\phi^{j}15-9$	12.6	$1.9 \times 10^5$	1394	925 ~ 1140.8	-600.4 ~ -486.8

### 3. 计算结果

采用3+3束 $\phi^{j}15-15$ 预应力钢束和 $\phi^{j}15-9$ 钢束后的混凝土应力分布规律相似。下面仅示出采用3+3束 $\phi^{j}15-9$ 预应力钢束的应力分布。

(1) 在距表面6cm深处应力分布见图3。



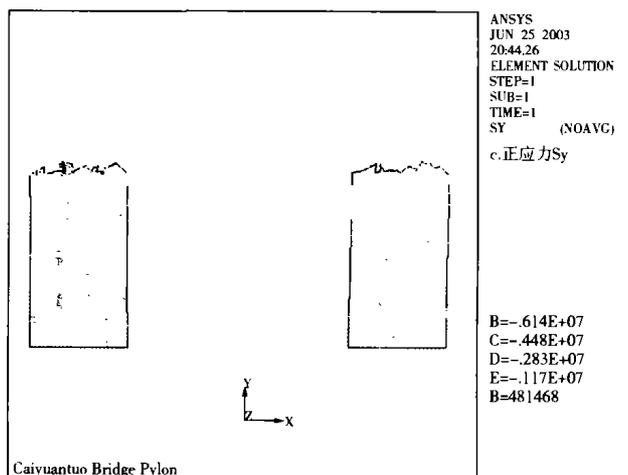
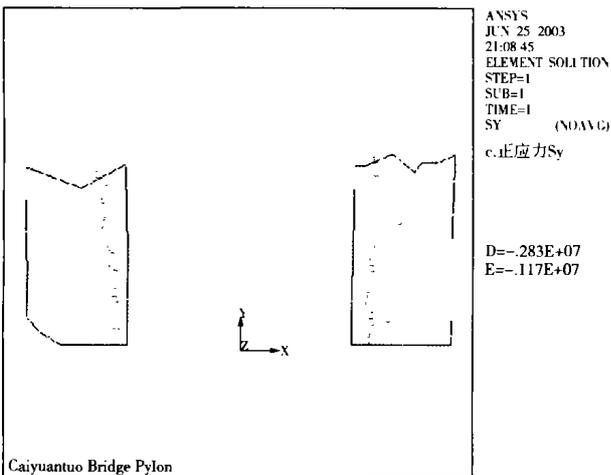
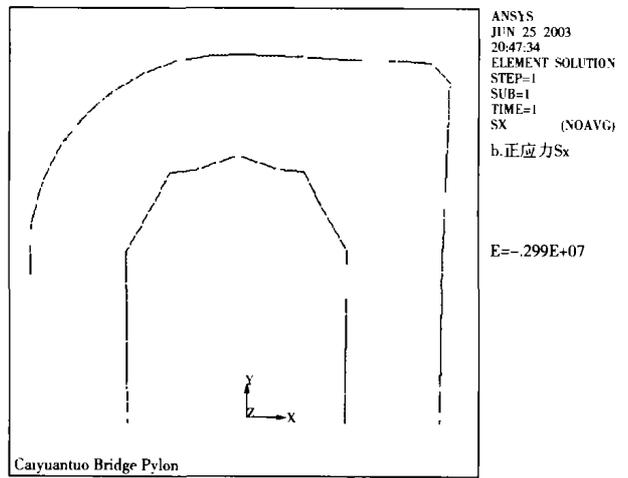
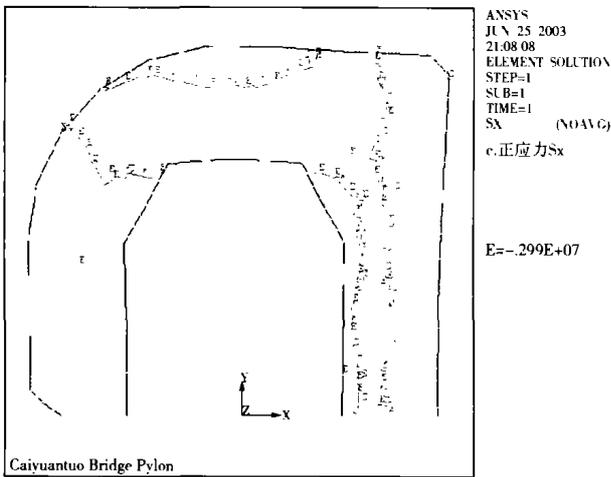
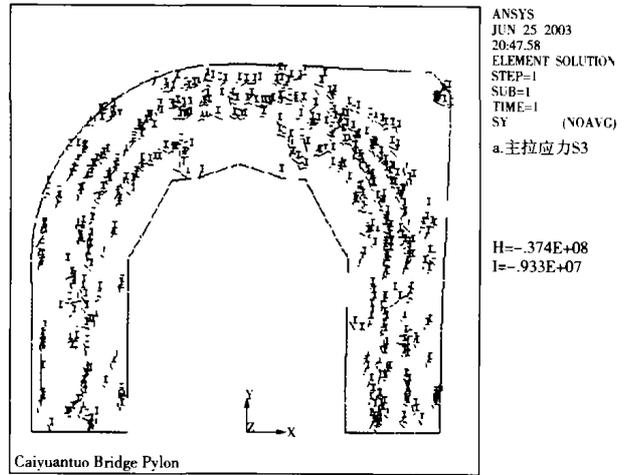
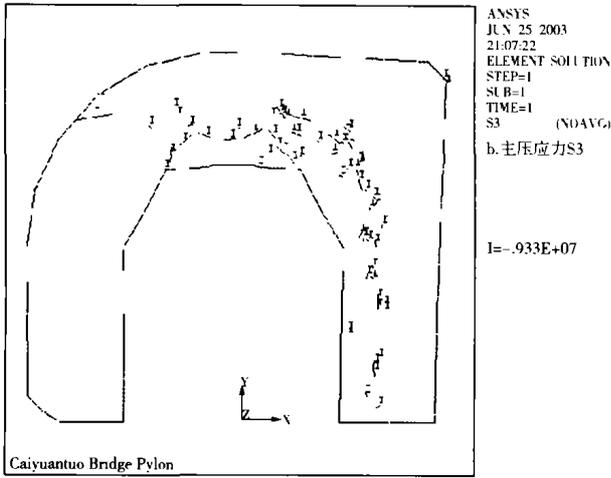


图3 计算塔柱节段表层应力分布图 (单位: Pa)

图4 计算塔柱节段中截面应力分布图 (单位: Pa)

(2) 在中截面处应力分布见图4。

从图4可以看出,除拉索孔道附近外其余部位的水平面正应力和主压应力均小于20MPa (压),这小于规范(JTJ023-85)规定的C50混凝土的施工阶段允许应力(26.25MPa)。虽然斜拉索锚下局部混凝土主压应力较大,但可采用锚下

垫板+钢板改善此处局部应力。采用3+3束 $\phi 15-9$ 预应力钢束时,纵向(Y方向)内侧壁出现混凝土主拉应力为1.84MPa。但采用3+3束 $\phi 15-15$ 预应力钢束时,此应力达2.51MPa,超过了规

(下转第27页)

② 波纹管内外全分离式灌浆，同一灌浆管进浆，但设置不同的回浆管，排气、排水效果好。

③ 孔口设置灌浆筒，对灌浆孔上部产生干缩空余部分具有补偿作用，一般不需要二次补浆。

④ 灌浆按设计规定标准结束后，维持原水泥浆的浓度在相同的压力下继续循环灌注一定时间，即保持一定的屏浆时间，有利于灌入裂隙内浆液和孔内浆液的排水初凝。

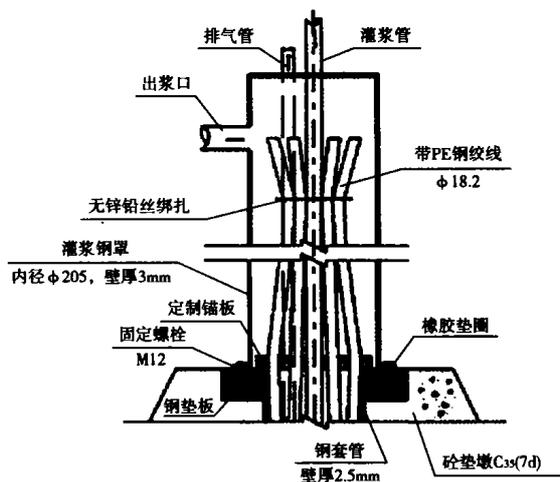


图3 锚索灌浆孔口装置构造图

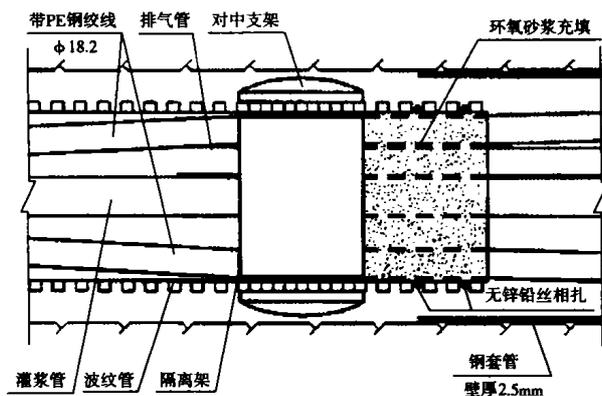


图4 波纹管封堵器装置示意图

#### 4. 结语

(1) 在强岩溶裂隙性灰岩地层中，可利用锚孔进行围岩固结灌浆，通过一次或多次固结灌浆可以大大降低锚孔的漏浆程度，对于保证锚索灌浆一次成功具有重要的意义，而且对边坡坡面和结构围岩整体稳定有利。

(2) 锚索灌浆注重排气管的设置，使波纹管内外灌浆完全分离，排气、排水效果好，可

充分保证水泥浆结石体密实性。同时，孔口设置灌浆筒，对灌浆孔上部产生干缩空余部分具有补偿作用，一般不需要二次补浆。

(3) 通过优化锚索灌浆工艺，水布垭工程马崖高边坡2000kN无粘结预应力锚索结构设计实现了真正的全长一次灌浆，对确保锚索施工质量，提高锚索防腐性能和耐久性，探索强岩溶裂隙化灰岩地层中锚索施工经验，有着积极的意义。该锚索结构先进，灌浆工艺设计合理，值得推广。

#### 参考文献

- 1 郭晓刚，叶伟峰，宋伟.水布垭水电站无粘结预应力锚索设计与施工，水力发电[J].2002，(10):66-68
- 2 程良奎，中国岩土锚固技术的应用与发展，岩土锚固工程技术的应用与发展[M]，北京：万国学术出版社，1996
- 3 高大水，三峡船闸高边坡锚固及新型无粘结锚索开发，水力发电[J].2003，(01):36-40

#### (上接第23页)

范的要求。

采用两种预应力钢束时索塔水平面应力结果比较如表2：

表2 索塔锚固区水平面混凝土应力（拉正压负，MPa）

应力	最大主拉	最大主压	长边应力	短边应力	备注
配 $\phi^{15-15}$	2.52	-13.5	-2.31	-4.17	
配 $\phi^{15-9}$	1.84	-9.33	-1.17	-3.0	

注：所有应力均取距表面6cm处和中面处的平均值，但中面的主拉应力由于预应力管道通过，存在应力集中而失真，故忽略该值。

#### 4. 结论

综上所述，为满足规范 $\sigma_{\perp} \leq 0.8R_b^1 = 0.8 \times 2.6 = 2.08\text{MPa}$ (40号砼，组合I)，使索塔储备一定的压应力和适当的主压应力，在每对索的锚固区内配3+3对“U”形 $\phi^{15-9}$ 预应力束是合适的。

#### 参考文献

- [1] 王国强.实用工程数值模拟技术及其在ANSYS上的应用[J].西安：西北工业大学出版社，1999