

巴东长江公路大桥索塔构造及其锚固技术

陈卉 王成启 廖原

(湖北省交通规划设计院 武汉 430051)

摘要: 巴东长江公路大桥为双塔双索面预应力混凝土斜拉桥。索塔为超高结构, D形截面。本文介绍了索塔塔身和塔墩构造设计、索塔基本计算内容和索塔锚固区技术。

关键词: 斜拉桥 索塔构造 索塔计算 锚固区技术

1. 概况

巴东长江公路大桥是国道209线在鄂西恩施自治州巴东县境跨越长江的一座特大型桥梁, 属国家重点工程项目, 桥址位于巴东县新城区, 北岸临近神农溪入江口。桥梁工程全长900.6米。其中主桥长728米, 桥跨布置为(40+130+388+130+40)米, 为双塔双索面预应力混凝土全漂浮体系斜拉桥。

大桥按双向四车道设计, 荷载等级为: 汽车—超20级, 挂车—120, 人群荷载为 3.5kN/m^2 , 设计时速: 40km/h , 桥面全宽22.0米。主梁预应力混凝土肋板梁, 高2.4米, 顶面设2%双向横坡。

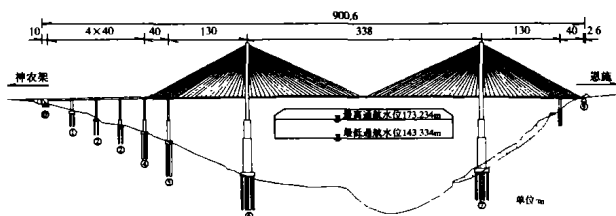


图1 巴东长江公路大桥桥型布置图立面

2. 索塔构造

索塔结构分上部塔身和下部塔墩两部分。标高在173.5米以上为塔身, 以下为塔墩。从承台顶面至索塔顶, 神农溪侧索塔高212米, 恩施侧索塔高212米, 其高度目前为同类桥中亚洲第一。上部塔身采用钻石型结构, 高126.5米; 下部塔墩为上下两级门式结构, 神农溪侧塔墩高85.5米, 恩施侧索塔高80.5米。整个索塔高耸纤巧, 外形流畅, 与雄伟的巫峡出口相应生辉。

2.1 塔身构造

索塔包括上塔柱、上横梁、中塔柱、下横梁和下塔柱。上塔柱、上、下横梁为预应力混凝土

结构, 中塔柱和下塔柱为普通钢筋混凝土结构。

下塔柱从塔墩顶至中、下塔柱转折点的高度为34.30米, 中塔柱从中、下塔柱转折点至上、中塔柱分界点的高度为46.70米, 上塔柱从上、中塔柱分界点至塔顶的高度为45.50米。下塔柱横桥向侧面斜率为 $1/8.618$, 上、中塔柱横桥向侧面斜率为 $1/7.147$ 。塔柱采用D形空心薄壁断面。上、中塔柱断面尺寸均为6.0米(顺桥向)×4.0米(横桥向), 壁厚1.0米(顺桥向)和0.8米(横桥向); 下塔柱尺寸为6.0米(顺桥向)×5.0米(横桥向), 壁厚1.0米(顺桥向)和0.8米(横桥向)。由于塔身的受力较为复杂, 特别是索塔顶部锚固区, 斜拉索拉力较大, 设计中自塔顶向下12米范围内横桥将左右两肢合并为单向双室断面, 以增强结构刚度, 并在上、下横梁处将塔柱断面设为实心体。为增强大桥的景观效果, 塔柱断面外侧均设为椭圆弧形。

上下横梁采用空心箱形断面, 上、下横梁高分别为4米和5米, 上、下横梁的设置增强了索塔整体抗风刚度, 对高塔来讲是非常有必要的。

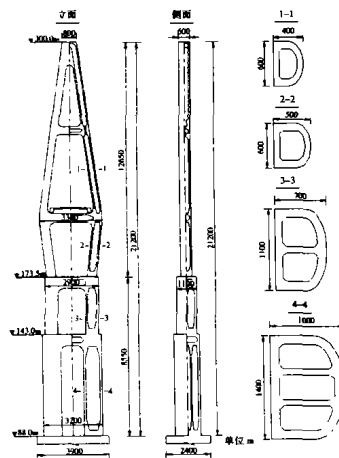


图2 索塔构造图

2.2 塔墩构造

桥区河段因地处巫峡的出口,三峡大坝建成后则属于库区河段,是典型的山区桥梁。南北两岸接线高程较高,均在210米以上,索塔处地面标高约90米左右,即桥面与地面距离为120米余,天然条件决定了本桥需设置强大的塔墩结构来解决索塔高度问题。

塔墩为上下两级带横梁的门式结构,神农溪侧塔墩高85.5米,恩施侧塔墩高80.5米,塔墩高占整个索塔高度40%余。上塔墩从标高88.0(93.0,括号中数据为恩施侧,下同)米到标高143.0米,高55.0(50.0)米,下塔墩从标高143米至标高173.5米,高30.5米。而三峡工程完工后,本桥设计最高通航水位为173.234米(三峡水库正常蓄水位),设计最低通航水位为143.334米(对应于三峡大坝防洪限制水位时的通航水位),上与下塔墩分界点、上塔墩与下塔柱分界点与之相对应。

除上、下塔墩柱外塔墩还包括其上、下横梁。上、下塔墩柱为普通钢筋混凝土结构,塔墩上、下横梁为预应力钢筋混凝土结构。上下横梁采用空心箱形断面,上、下横梁高均为6米,壁厚1.5米。塔墩柱断面设置为D形多室结构。上塔墩柱断面为单箱双室,尺寸为7.0米(顺桥向)×11.0米(横桥向),室间壁厚为0.8米,壁厚1.2米(顺桥向)和1.0米(横桥向);下塔墩柱断面为单箱三室,尺寸为10.0米(顺桥向)×14.0米(横桥向),各室间壁厚为0.8米,壁厚1.2米(顺桥向)和1.2米(横桥向)。塔柱外壁设置6cm的通气孔。上、下两级门式塔墩结构具有较强大的抗弯刚度。下部塔墩外侧面亦设为椭圆弧形,一方面起到导流的作用,减小船舶撞击带来的伤害,另一方面从外观上也与上部塔身相呼应。

3. 索塔主要材料

索塔塔身采用50号混凝土,塔墩采用40号混凝土。索塔竖向受力钢筋规格为 $\phi 32\text{mm}$,典型间距15cm;箍筋、防裂钢筋、架立钢筋直径为 $\Phi 16\text{mm}$ 或 $\Phi 12\text{mm}$,索塔近表层部位敷设一层 $\Phi 6$ 带肋碰焊防裂钢筋网。

索塔塔身上下横梁和塔墩上下横梁均采用16- $\Phi_j 15.24$ 预应力钢束,上塔柱斜拉索锚固区井形预应力钢筋采用19- $\Phi_j 15.24$ 、16- $\Phi_j 15.24$ 和12- $\Phi_j 15.24$ 三种规格钢绞线,标准抗拉强度均为1860MPa。

4. 索塔计算

索塔上主要作用的荷载有:

- ① 自重,由拉索传至塔部的主梁的恒载和活载。
- ② 温度变化,本桥所处地区多年平均气温 17.3°C ,极端最高气温 41.6°C ,极端最低气温 -9.4°C ,即索塔整体升温 24.3°C ,降温 26.7°C 。由日照引起的索塔左右不均匀温差为 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。
- ③ 风荷载,巴东站测得常年主风向为东南风,平均风速2.7米/秒,历年最大风速可达24米/秒,设计基准风速为29.28m/s。
- ④ 地震力,基本烈度为VI度,按VII度设防
- ⑤ 船舶撞击力,巴东县的长江河道属川江航道,地处长江三峡,航道较窄,通行船队在3000吨级上下,船舶撞击力顺桥向为5000kN、横桥向为8000kN。

索塔计算包括:

- ① 顺桥向按平面杆系结构进行斜拉桥整体结构静力分析,计算索塔的总内力及变形。
- ② 顺桥向按空间杆系结构进行斜拉桥动力分析,计算索塔的动力特性和地震力效应。
- ③ 横桥向索塔是由塔柱、横梁组成的框架结构,按空间实体单元计算由各种荷载,特别是温度荷载、风荷载引起的结构内力,并按规范进行荷载组合。
- ④ 索塔斜拉索锚固区按空间实体单元计算锚固区混凝土局部应力状态。

5. 索塔的锚固技术

5.1 锚固区预应力布置

上塔柱锚固区锚固面在斜拉索水平分力作用下,以受弯为主,是控制设计的受力区域。索塔锚固区高45.5米,共有斜拉索24对。锚固区采用井形布置,预应力钢筋采用19- $\Phi_j 15.24$ 、16- $\Phi_j 15.24$ 和12- $\Phi_j 15.24$ 三种规格,预应力钢筋典型层间距为1.35米,椭圆弧段为防止混凝土崩裂,

在弯曲束径向布置 $\Phi 16$ 防裂钢筋。

本桥塔身断面采用D形，与常规的箱形断面有所不同。在设计中曾采用小半径环向预应力筋布置方案与井形布置方案相比较，详见图3、图4。小半径环向预应力钢筋近年来相继在几座新建桥梁中使用，其优点在于锚头少，张拉次数少，在塔身开口较少，缺点在于预应力半径较规范中要求的4米小，相应的预应力损失较大，对预埋管道材质和管道压浆技术要求较高，目前小半径环向预应力钢筋工艺处于探索阶段。井形预应力钢筋布置优点在于工艺成熟，不存在超规范设计，对预埋管道材质和管道压浆技术要求不高，缺点在于锚头多，张拉次数多，在塔身上开口较多。

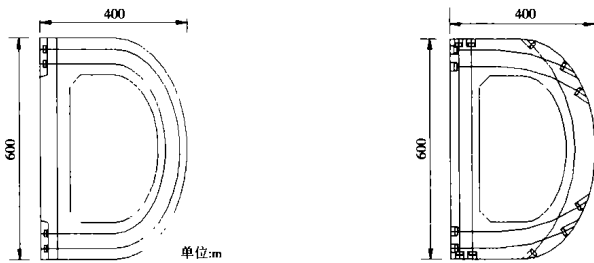


图3 小半径环向预应力束布置方案

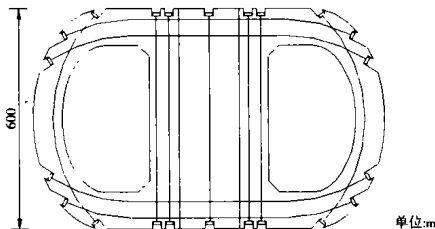


图4 井形预应力束布置方案

就本桥而言两种布置方式各有利弊，从断面结构形式来看，椭圆形弧段在一定程度上限制钢束的布置空间，锚头布置空间有限，小半径预应力筋显得更为顺适，但其半径约为1.0米，从空间计算分析结构看，小半径预应力筋对D椭圆形弧顶及预应力筋转弯处产生较大的径向力，对于仅0.2米的保护层混凝土存在崩裂的可能，计算也显示弧顶中心区有超过1.5MPa的拉应力。井形预应力钢筋由于半径较大，较好地克服了弧顶中心过大拉应力的情况，总体应力水平较均匀，设计最终选择了预应力筋井形布置方案。

5.2 锚固区仿真分析

索塔标高300米，从拉索角度和索力大小综合考虑，危险截面出现在标高约292米左右的S22号索孔处，S22号拉索索力为7327kN，水平分力6420kN，水平分力3531kN。考虑到相邻斜拉索作用力间的相互影响，同时使S22较远离约束面以便更真实地反应实桥受力状况，计算模型选取了S20-S24五个斜拉索节段，因结构具对称性仅取1/4实体。塔柱混凝土采用六面体单元、齿板采用四面体单元、钢导管和齿板垫块采用板壳单元，计算模型共生成单元42848个，节点49334个，详见图5。边界条件：在对称面上取 $U_x=0$ ， $U_y=0$ ，顶面为自由端，地面按平面应变假定，取 $U_z=0$ 。施加荷载包括：自重、斜拉索索力和预应力。

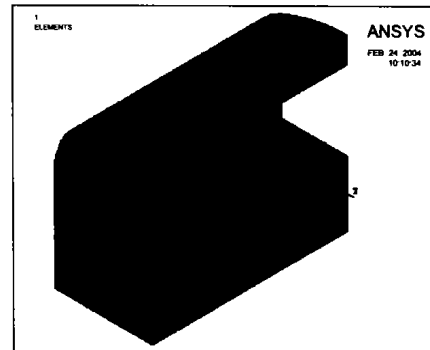


图5 计算模型离散图

计算模型分析结果显示，拉应力水平相对较高的控制部位为：索塔外表面索孔出口周围的区域，索塔截面内导角和椭圆弧顶中心线附近。设计中索塔锚固区拉应力控制在1.5MPa以下。本桥索塔锚固区足尺节段模型实验结果与计算结构有较好的一致性，足尺实验也显示最大荷载时模型处于弹性状态，较大的导角可增强锚固区抵抗斜拉索的水平的能力。

6. 结束语

巴东长江公路大桥因地处巫峡出口和神农溪入江口附近，为顺应地形并与两岸现有道路相接，必然采用超高索塔结构，同时为了兼顾神农溪旅游区对景观等方面的要求，索塔塔身外侧设计成椭圆形，虽给索塔特别是索塔锚固区增加了一定难度，但为三峡库区增添了一道靓丽的人工风景。

参考文献

- [1] 郑纲. 《巴东长江大桥索塔锚固区足尺模型实验报告》. 铁道部大桥工程桥梁科学研究所, 2003