

# 转体施工钢箱梁独塔斜拉桥结构体系探讨

应海峰<sup>1</sup>, 韦跃<sup>2</sup>

(1. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210000; 2. 江苏交科交通设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223001)

**摘要:** 随着国家公路网的不断建设, 跨越既有高速公路的桥梁工程建设是不可避免的。转体桥对既有高速运营干扰少, 其应用越来越广泛; 而独塔斜拉桥具有造型美观, 跨越能力强, 跨径布置灵活的特点。因此采用转体施工的独塔斜拉桥具有很高的研究价值。拟建政和大道西延线以 33.3° 交角跨越沪宁高速, 桥梁结构为 (175+175)m 独塔中央索面钢箱梁斜拉桥, 采用转体施工方法。笔者采用有限元分析程序对该桥梁结构进行了详细分析, 从桥梁结构体系确定、辅助墩设置与否、转体施工的关键技术等方面进行了深入的探讨和研究, 为类似工程提供了借鉴和参考。

**关键词:** 转体施工; 独塔斜拉桥; 结构体系

**中图分类号:** U448.27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 01—0111—03

随着我国高速公路网的不断建设, 跨越既有高速公路的桥梁工程建设不可避免。为了尽可能减小施工对既有高速公路运营安全的影响, 保障施工安全, 最大限度地缩短跨线作业时间, 转体施工被广泛采用。

独塔斜拉桥不仅有斜拉桥所具有的跨越能力大、结构简洁明快、塔柱高耸挺拔、造型轻巧美观、型式多样化等特点。除此以外, 独塔斜拉桥主梁长度比双塔短, 无索区较长, 一般造价略低; 而且整体刚度较大, 抗风抗震动力性能均比双塔斜拉桥要好。在桥梁设计总体布置中, 由于独塔斜拉桥仅有一座塔墩, 其桥墩选择在地质条件好的一侧; 或者根据河流主航道位置、桥下交通

道路要求以及地形地貌的特征情况来进行确定<sup>[1]</sup>。

转体施工的独塔斜拉桥结合了上述特点, 在实际工程中已越来越多得到应用。

## 1 工程概况

拟建政和大道西延跨越沪宁高速, 路线线位与沪宁高速斜交角度为 33.3°。根据规划要求, 沪宁高速后期有拓宽改造为双向十车道的需求。本次上跨沪宁高速处桥梁设计为 (175+175)m 独塔中央索面钢箱梁斜拉桥, 采用转体法施工, 转体部分跨径为 (166+166)m。在大桩号侧设置辅助墩, 辅助墩与主塔间距 88.3m。

## 5 结论

文章以武汉新港阳逻港第三码头一期项目为例, 对结构选型、结构方案优化设计及桩基自平衡试验进行了深入的探讨, 得出以下几点:

(1) 结合实际施工情况, 结合同类码头的设计实践, 提出了高桩嵌岩桩施工方案。

(2) 通过对原有的结构设计方案的研究, 得出了桩基础距离偏短、无需设斜桩的结论。为此, 利用蚂蚁算法进行了求解, 并在满足系统的设计需求的基础上进行了验证; 从 2.5 米到 3.3 米的桩距, 去掉了倾斜桩的设计。

(3) 在完成一年的码头项目运行后, 对桩基础进行自重试验。对试桩进行了测试, 发现在荷载作用下, 桩体没有发生急剧的变化, 其垂直荷载的极限承载力符合设计的规定。因此, 在桩基础上进行了优化的设计。

## 参考文献:

- [1] CCCC Third Harbor consultants Co., Ltd. Topographic survey for the material wharf of the initial stage in Tongzhou Bay port area, NanTong[R]. Shanghai: CCCC Third Harbor consultants Co. Ltd. 2014.
- [2] JTS 167\_4—2012 港口工程桩基规范 [S].
- [3] 阳逻三期水工码头桩基自平衡检测 [R]. 武汉: 武汉港湾工程质量检测有限公司, 2013.
- [4] JTJ 213—98, 海港水文规范 [S].
- [5] JTS 144-1-2010 港口工程荷载规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [6] JTS 151-2011 水运工程混凝土结构设计规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [7] 王元战. 港口与海岸水工建筑物 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2013: 174-175.
- [8] 刘军, 张宁宁, 陈元俊. 潮位对桩基础承载性能影响的模型试验 [J]. 盐城工学院学报: 自然科学版, 2012.25 (3): 16-20.

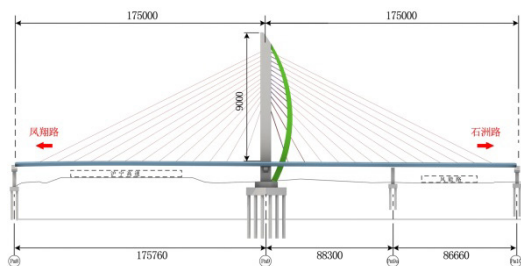


图1 沪宁高速节点桥立面图

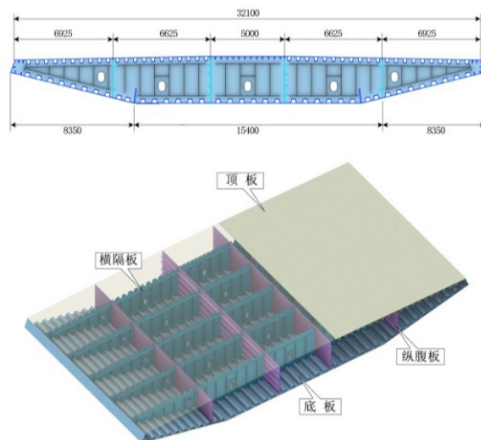


图3 钢主梁结构图

## 2 结构设计

### 2.1 桥塔

桥塔呈“风帆”造型，造型别致，景观优美，由主塔和附塔两部分组成。主塔采用钢筋混凝土结构，由下塔墩，中、上塔柱及塔冠几部分组成。标准段塔柱截面顺桥向宽度为7.5m，横桥向宽度为4.5m，采用单箱单室截面，顺桥向壁厚为1.2m，横桥向壁厚为1.0m。附塔采用钢结构箱型截面，纵桥向根部宽度4m，塔顶宽度2m；横桥向根部宽度5m，塔顶宽度2.5m。截面尺寸由根部到塔顶呈均匀变化。在索锚区沿拉索方向在主塔和附塔之间设置索套管。主塔和附塔通过底部、顶部以及中间索套管连接，形成稳定的整体结构。

主塔基础采用承台接群桩基础，承台采用六边形，长边16.25m，短边13.08m，高5.5m。承台下梅花形布置24根钻孔灌注桩，桩径2.2m。

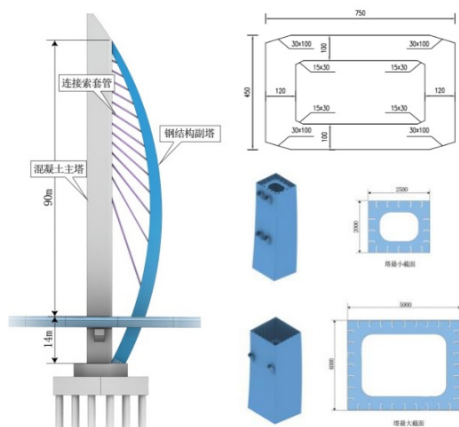


图2 桥塔结构图

### 2.2 主梁

主梁采用全焊接扁平流线型封闭钢箱梁。主梁标准截面采用单箱五室，中心线处梁高3.2m。箱梁顶板宽31.5m(含风嘴)，底板宽15.4m。钢箱梁顶面设双向2.0%的横坡，底面平行布置。斜拉索采用中央索面布置，横桥向采用双排索。斜拉索呈扇形布置，梁上锚固点索距12m，塔上竖向索距分3.0m、2.5m和2m三种。

### 2.3 拉索

采用中央索面布置，横桥向采用双排索。斜拉索呈扇形布置，在梁上锚固点间距12m，在塔上竖向间距分3m、2.5m和2m三种。横向每排拉索在梁上锚固点处横向间距4.3m，在塔上锚固点处横向间距0.9m左右。

采用 $\phi 15.2$ PE包裹的填充型环氧涂层钢绞线斜拉索，标准强度为1860MPa，公称直径为15.2mm。斜拉索外包双层热挤PE护套，拉索自由段由双螺旋线HDPE外护套管进行整体防护，以减小风雨振发生的可能。全桥共 $4 \times 13 = 52$ 根斜拉索，根据拉索力的不同，共选择四种规格，分别为43- $\phi s15.2$ 、55- $\phi s15.2$ 、61- $\phi s15.2$ 和73- $\phi s15.2$ 。

### 2.4 转体结构

桥梁采取平面转体施工法跨越既有沪宁高速，转体结构由上转盘、球铰、下转盘、转体牵引系统、助推系统、轴线微调系统等部分组成。

转动球铰采用成套产品，分上下两片，其竖向承载力180000kN。球面投影直径 $\phi 4200$ mm，球铰是转体施工的关键结构和转动体系的核心，其加工制作及安装精度均要求较高，必须精心制作和安装。

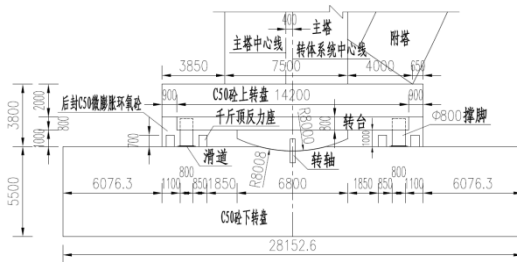


图4 转体体系布置图

## 3 有限元模型的建立

根据沪宁高速节点桥施工图，采用Midas/Civil软件建立全桥单梁杆系模型。主塔、主梁用梁单元进行模拟，

斜拉索采用桁架单元进行模拟，承台简化为刚体，所有承台底约束六个方向的自由度。主塔与主梁纵向分别按不同纵向体系进行全固结、纵向弹性连接（纵向弹簧刚度为  $2 \times 104 \text{ kN/m}$ ），横向约束采用固结。整体有限元模型见图 5。

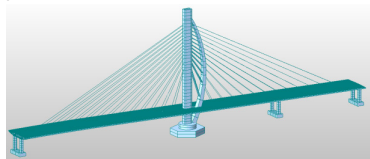


图 5 桥梁整体有限元模型

#### 4 结构体系的确定

由于本桥采用平面转体施工法，为减轻转体阶段上部结构自重，主梁采用钢箱梁。综合考虑主塔的造型、整体刚度和施工便易性等因素，主塔采用钢筋混凝土结构。

混凝土桥塔与钢主梁常采用半漂浮体系或塔梁墩固结体系。采用半漂浮体系时，结构通过支座约束体系传递荷载，不需设置钢-混凝土过渡段，构造简单且传力明确，施工便利。采用塔梁墩固结体系时，结构整体刚度好，便于悬臂施工，能够减小桥塔压杆自由长度；另一方面，塔梁墩固结处构造复杂，需设置钢-混凝土过渡段，受力不明确，施工难度较大。下面比较两种结构体系的主梁和主塔内力、位移，具体结果见表 1。

表 1 两种结构体系内力和变形比较表

荷载工况	结构体系					
	半漂浮			塔梁墩固结		
	主梁		主塔	主梁		主塔
	弯矩 kN.m	变形 mm	弯矩 kN.m	弯矩 kN.m	变形 mm	弯矩 kN.m
转体阶段	26700	/	25400	55930	/	25000
成桥阶段	17860	/	960	60600	/	3700
汽车荷载	51900	142	106000	61000	123	72000
运营阶段	142000	/	153000	215000	/	120000
W2 风荷载	/	/	100000	/	/	96000

由上表可以看出，对主梁弯矩而言，半漂浮体系比塔梁墩固结体系更小，正负弯矩也更均匀，主要是因为塔梁墩固结体系在塔梁固结处存在钢-混凝土过渡段，此范围内主梁刚性约束且受力复杂，弯矩较大。对主梁变形而言，塔梁墩固结体系比半漂浮体系稍小，主要是因为塔梁墩固结体系结构整体刚度更大。对主塔弯矩而言，两种结构体系基本一致，半漂浮体系稍大。

考虑墩塔梁固结体系中需要设置塔梁固结构造、钢-混凝土过渡段构造等。同时，墩塔梁固结体系结构

自重较大，纵桥向抗震性能较半漂浮体系差；转体施工时结构自重也比半漂浮体系大约 4000t。综上所述，本桥设计考虑采用半漂浮体系。

#### 5 辅助墩的设置

斜拉桥在边跨设置辅助墩，可以增强结构体系的整体刚度。当桥梁主跨作用活载时，辅助墩的设置可以明显约束塔身变形，从而改善桥塔和主跨的内力，提高桥梁的整体刚度。同时辅助墩的设置还可以明显改善边跨的内力和变形，特别是对辅助墩附近主梁断面的内力有明显改善。下面将本桥设置辅助墩前后的主要计算结果汇总如下表 2 所示。

表 2 辅助墩设置前后结构主要指标表

效应值	辅助墩	荷载工况			
		活载工况		基本组合	
		最大	最小	最大	最小
主塔根部 弯矩(kN.m)	有	109300	-45100	243500	-141400
	无	191200	-193100	305200	-331800
主塔顶部 变形(mm)	有	20	-50	/	/
	无	89	-90	/	/
主梁弯矩 (kN.m)	有	53500	-35500	151200	-94700
	无	63700	-24800	163500	-80300
主梁变形 (mm)	有	-154		/	/
	无	-195		/	/

通过计算对比分析，桥梁设置辅助墩后，对于桥梁结构整体刚度提高较大。在汽车活载作用下，主塔纵桥向变形和塔底内力均得到明显减小；主梁变形和内力也有一定减小。桥梁在沪宁高速西南侧也有设置辅助墩的空间，因此本桥设计考虑设置辅助墩。

#### 6 结论

政和大道西延线沪宁高速节点桥为 (175+175)m 独塔中央索面钢箱梁斜拉桥，采用转体施工方法。本文采用有限元分析程序对该桥梁结构进行了详细分析，从桥梁结构体系确定、辅助墩设置与否、转体施工的关键技术等方面进行了深入的探讨和研究，为类似工程提供了借鉴和参考。

#### 参考文献：

- [1] 黄大健. 独塔斜拉桥总体布局及结构体系的选择 [C]. 天津市土木工程学会第七届年会优秀论文集. 2005:334-345.
- [2] 刘士林. 斜拉桥 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [3] 姚玲森. 桥梁工程 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [4] 王小兵, 许志艳. 转体施工独塔斜拉桥设计探讨 [J]. 高速铁路技术, 2015, 6(1): 81-84.