

# 苏通大桥南主塔墩特大型钢吊箱 GPS-RTK 测量监控技术

杜兵<sup>1,2</sup>, 岳东杰<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 中国交通建设集团第二公路工程局, 陕西 西安 710065; <sup>2</sup> 河海大学 土木学院, 江苏 南京 210098)

**摘要** 苏通大桥南主塔墩承台钢吊箱长 117.35 m, 宽 51.7 m, 高 14.4 m, 总重量达 5 800 t, 是目前世界上体积及重量最大的桥梁钢吊箱, 本文阐述了在钢吊箱的拼装、下放及就位三个关键施工环节中, 以 GPS RTK 卫星定位技术为主要测量手段的钢吊箱施工测控技术。

**关键词** 苏通大桥 钢吊箱 测量 GPS RTK

**中图分类号**: P228.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1672-4097(2007)01-0010-03

## 1 引言

苏通长江公路大桥是目前世界第一大跨径斜拉桥, 位于江苏省东南部长江口南通河段。它是我国建桥史上工程规模最大、综合建设条件最复杂的特大型桥梁工程。苏通大桥工程路线全长 32.4 km, 跨江大桥工程总长 8 206 m, 其中主桥长 2 088 m。主桥桥型采用七跨连续双塔双索面钢箱梁斜拉桥, 跨径布置为 100+100+300+1 088+300+100+100 m。其中斜拉桥主孔跨度 1 088 m; 主塔高度 306 m; 最长斜拉索长度 580 m; 群桩基础平面尺寸 113.75 m×48.1 m 四项均为目前斜拉桥世界第一。

苏通大桥主桥南主塔墩承台形状呈哑铃型, 平面尺寸为 113.75×48.1 m, 共耗用混凝土 42 271 m<sup>3</sup>, 钢筋 5 741 t。为承台施工而设计的双壁、有底钢吊箱, 它以承台的外轮廓尺寸为钢吊箱内净尺寸, 外围尺寸长×宽×高为: 117.35 m×51.7 m×14.4 m, 壁板箱体宽度为 1.8 m, 总重量达 5 800 t, 是目前世界上体积及重量最大、结构最复杂的桥梁钢吊箱。它由底板、壁板、内支撑、防撞桁架、定位和悬吊系统六大部分组成。

按照设计要求, 钢吊箱就位后平面尺寸偏差为 0~+200 mm; 纵、横轴线偏差为±100 mm; 顶面高程偏差为 0~-50 mm。由于钢吊箱体积庞大、结构复杂、施工工序多、拼装及定位精度要求高, 所以, 如何实现钢吊箱的精确拼装、实时下放监控及准确就位成为测量工作的关键问题。

## 2 测量手段及策略

苏通大桥南主墩距岸约 2 km, 若采用全站仪直接从岸上进行钢吊箱的施工测量, 不但通视条件难以保证, 测量精度也不能满足要求。而水上也因条

件限制, 没有长久稳定的位置加密控制点。在此状况下, 只有发挥 GPS RTK 技术测量距离远、不受通视影响、测量精度高、能实时监测的优势, 进行钢吊箱的测控工作。

根据 GPS RTK 技术与苏通大桥首级控制网 6 个控制点进行的对比试验, 结果表明在桥址区域内, GPS RTK 技术平面和高程的测量精度均在±15 mm 以内, 能够满足钢吊箱的测控精度。所以拟定了以 GPS RTK 技术为主要测量手段, 以全站仪、水准仪等常规测量方法为辅助, 进行钢吊箱测控工作的基本策略。

## 3 钢吊箱拼装测控技术

钢吊箱各组成部分全部在陆上的加工场内分块加工, 由船舶浮运至水上施工现场, 在依托钢护筒搭建的临时拼装平台上拼装成整体结构。拼装过程为先进行底板、防撞桁架、壁板、内部支撑架的拼装, 最后安装悬吊及定位系统。按照钢吊箱的设计要求, 拼装完成后的钢吊箱长宽尺寸偏差为 0~+200 mm, 高度偏差±20 mm。由于底板及壁板是控制钢吊箱成型尺寸的关键, 所以这两个部分的测控工作也成为整个拼装测量的关键。

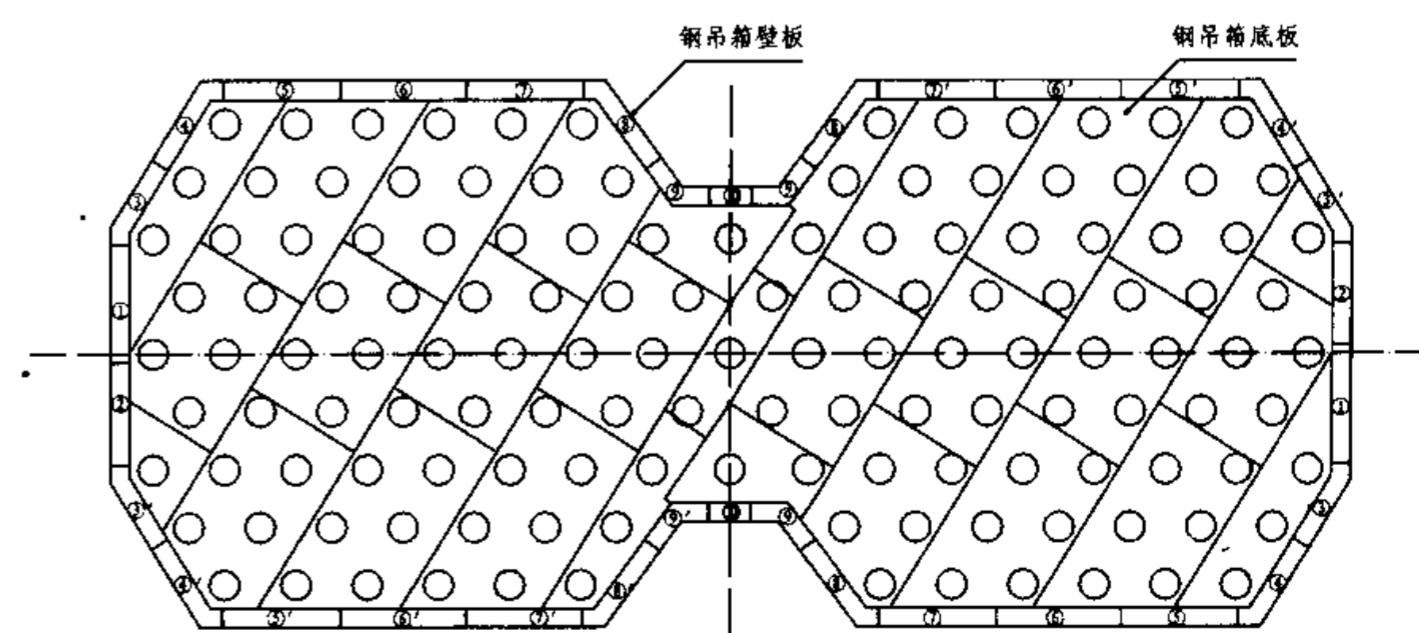


图 1 钢吊箱底板及壁板分块示意图

### 3.1 底板拼装测控技术

整个底板由 29 个块件组成(图 1), 组拼采用由

中间向四周延伸的方式,即先拼中间部分,最后再进行周边安装及修整。测量工作的关键就是准确测量与控制各边长及角点位置,使其满足设计尺寸。由于底板形状为哑铃形,边数多,边长长,采用常规的钢尺量测边长及对角线的方法控制底板形状,精度太低,且量测路线常受施工干扰不能通过。只有控制各角点坐标才能保证拼装完成后图形的准确。根据这一思路,工作中采取了“坐标绘图对比法”进行底板的测量控制。

“坐标绘图对比法”,即先采用 GPS RTK 技术测量各角点坐标,然后在计算机上采用 AutoCAD 绘图软件按照实测坐标绘制实测图形,同时也按设计坐标绘制出设计图形。将二者进行对比,在图上直接量取各角点及边长的差值,再进行现场调整。此方法直观、精确,可随时测量并绘图计算,满足了现场作业 24 小时实时测控的进度要求。

### 3.2 壁板拼装测控技术

钢吊箱壁板共分为 34 个大块(图 2),由两端向哑铃形中部拼装,在中部合拢。拼装的关键是保证壁板各边长与底板的实际边长尺寸一致,以保证底板与壁板接缝严密,另外必须保证壁板的垂直度在 1/1 000 以内,使钢吊箱顶面的平面尺寸满足设计要求。壁板的各边长可按底板各边长的实测长度事先进行精确切割,所以易于控制。而垂直度的控制,由于每块壁板高度达 14.4 m,采用垂球、水平尺的常规方法根本不能满足精度要求,所以仍采用“坐标绘图法”。在壁板拼装时,采用 GPS RTK 技术实测其顶面的坐标,将其与底板的实测平面图进行对比,在图上量出纵向、横向坐标差,依据壁板高度计算出壁板的垂直度,据此进行精确调整。

在拼装过程中,对于因大型吊机、周围结构物遮挡而影响卫星信号的个别位置,由 GPS RTK 方式在相对稳定的地方测量一个临时转点,再用全站仪、水准仪等常规方法进行测量。

钢吊箱整体拼装完成后,经验收,各项指标全部合格,最大平面尺寸偏差为 +44 mm,最大高度偏差为 +18 mm,均高于设计要求。

## 4 钢吊箱下放测控技术

钢吊箱拼装完成并经检查验收后,拆除临时拼装平台,由 40 台千斤顶及预应力钢束构成的悬吊系统开始工作,计算机同步控制多台千斤顶将钢吊箱下放入水,使其自浮。然后在壁板隔仓内加水下沉至设计标高。整个下放高度约 14 m,达到设计标高后,约 10 m 在水面以下,4 m 在水面以上。这一施工环节,关键的测量及监控工作有以下三项:

### 4.1 基桩钢护筒平面位置及垂直度的测量

钢吊箱底板上共有 135 个直径 3.3 m 的预留孔,套在 135 个直径 2.8 m 的基桩上(包括 4 根备用桩),基桩与底板的设计间隙为 25 cm。在整个钢吊箱下放过程中,底板套在基桩外面的钢护筒上滑动至设计标高。由于基桩钢护筒在其插打施工时平面位置及垂直度均存在一定的施工误差,且各个桩的偏斜方向及大小千差万别。若不考虑这些因素,那么钢吊箱在下放时极有可能在某一位置卡住,而造成钢吊箱卡死、倾斜,甚至倾翻。所以,必须事先测量每根基桩钢护筒的顶面中心坐标及垂直度偏差。对影响钢吊箱下放的位置进行特殊处理,消除下放过程中可能遇到的全部障碍。

由于钢护筒的顶面形状为一直径 2.8 m 的空心圆,其圆心不能直接测量,只能通过间接方法测量计算获得。在钢护筒所在圆周上任取三点,测量其坐标,然后在计算机上采用 AutoCAD 软件的“三点画圆”命令画圆,在图上量出圆心坐标。为了使数据准确可靠,一般测量 4 个点,绘出三个圆,取三个圆中心坐标的平均值作为最终结果。钢护筒的垂直度在基桩钻孔时就已采用超声波测孔仪进行了实测,数据准确可靠。所有数据采集完后,将底板预留孔、钢护筒顶面圆周及按照垂直度计算出的钢护筒底部圆周在计算机上采用 AutoCAD 软件在同一幅图中绘出,模拟钢吊箱下放时底板预留孔与钢护筒之间实际间隙大小变化。

### 4.2 钢吊箱中轴线的确定

在钢吊箱整体拼装完成并下放入水前,必须精确定位出 4 个纵、横中轴线点的位置,它是钢吊箱最终就位的依据。由于钢吊箱拼装时的存在误差,采用常规的钢尺量取边长并平分的方法很难准确得到钢吊箱的几何中心及轴线,而采取实测各角点坐标并取其平均值的方法是比较科学的。在钢吊箱拼装完成后,采用 GPS RTK 方式实测全部 16 个角点的坐标  $x_i, y_i (i = 1 \cdots 8)$ 、 $x'_i, y'_i (i = 1 \cdots 8)$ ,然后按对称点坐标取中值的原则计算轴线点 A、B、C、D 及几何中心点 O 的坐标(图 2)。

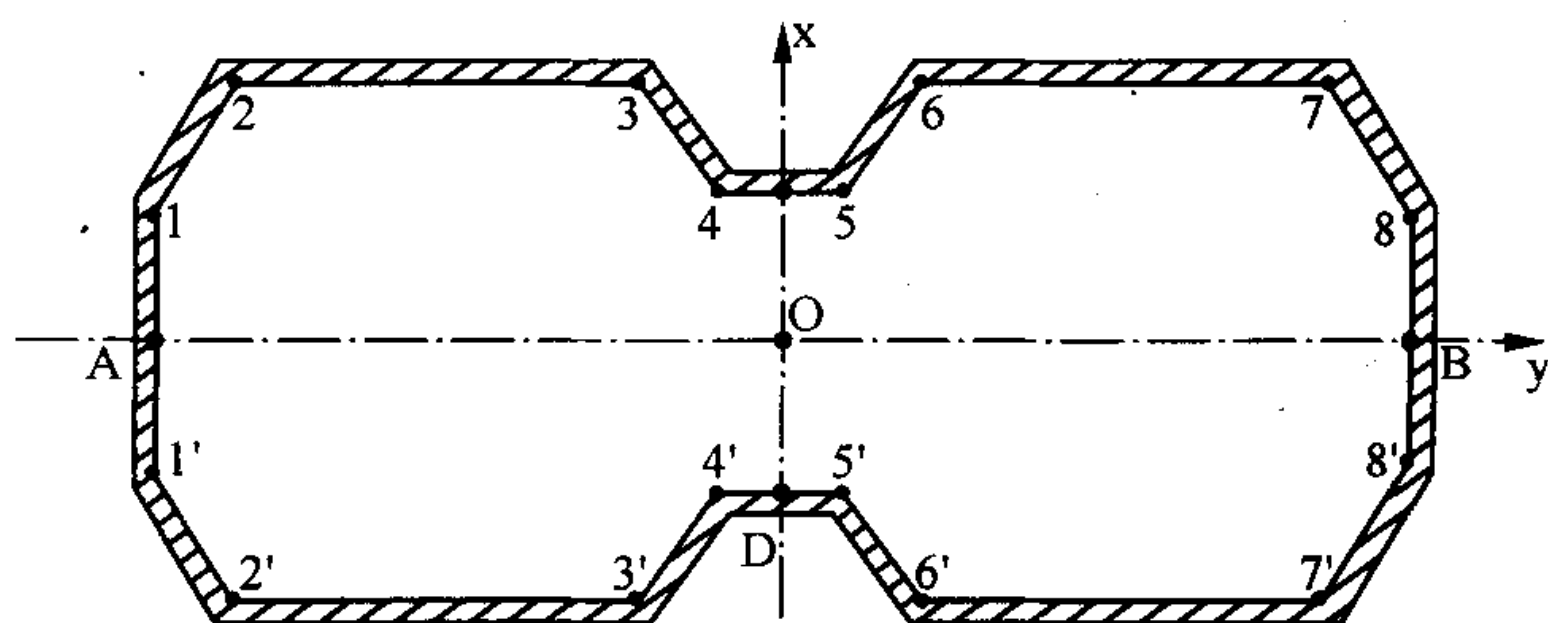


图 2 钢吊箱下放监测点位示意图



$$x_A = \frac{1}{8} \left( \sum_1^4 x_i + \sum_1^4 x'_i \right), y_A = \frac{1}{2} (y_1 + y'_1)$$

$$x_B = \frac{1}{8} \left( \sum_5^8 x_i + \sum_5^8 x'_i \right), y_B = \frac{1}{2} (y_8 + y'_8)$$

$$x_C = \frac{1}{2} (x_4 + x_5), y_C = \frac{1}{8} \sum_1^8 y_i$$

$$x_D = \frac{1}{2} (x'_4 + x'_5), y_D = \frac{1}{8} \sum_1^8 y'_i$$

$$x_O = \frac{1}{4} (x_A + x_B + x_C + x_D), y_O = \frac{1}{4} (y_A + y_B + y_C + y_D)$$

由于钢吊箱的轴线点坐标是由实测数据计算得到的,所以造成直线 AB 与直线 CD 并不会完全正交。但是根据钢吊箱拼装完成后的验收结果,尺寸控制均在 0~+45 mm 以内,远高于设计要求的平面尺寸偏差 0~+200 mm 精度,所以此因素对定位的影响可忽略不计。

#### 4.3 钢吊箱下沉过程中空间位置的动态监测

在钢吊箱下放过程中必须实时监测钢吊箱的平面位移及倾斜度,随时进行纠偏调整。否则,若偏差过大,最终很难调整。

以钢吊箱的 4 个纵、横轴线点 A、B、C、D 作为监测点,这些点位有利于直接观测轴线是否达到设计要求,同时,可通过这 4 个点的高程计算出钢吊箱纵横两个方向的倾斜度。将 4 台 GPS RTK 流动站分别安装在这 4 个监测点上,实时监测各点的坐标及高程,确保在下放过程中各点平面位置在规定的限值范围内活动,各点高程同步变化,防止钢吊箱倾斜。监测结果随时通知控制小组,适当时候采取纠偏措施。

## 5 钢吊箱就位测控技术

钢吊箱下放到设计高程后,选择平潮、水流速

度较慢的时间进行微调并定位。微调采用安装在钢吊箱内壁上的水平千斤顶进行,以基桩钢护筒作为受力位置。下放时的 4 个 GPS RTK 流动站继续进行监测定位,同时在相对稳定的临时位置采用水准仪进行高程精确监测。

钢吊箱就位后,采用常规方法以岸上的首级控制点为基准,在钢吊箱顶部加密控制点。用全站仪对钢吊箱就位位置进行检测,结果与 GPS-RTK 定位结果完全一致(表 1),且远远超过了设计要求。

表 1 5#墩钢吊箱就位检测成果表

检测项目	规定值 (mm)	实测值(mm)			
		A 点	B 点	C 点	D 点
轴线偏位	±100	-16	-20	+16	+15
高程偏差	0~-50	-15	-15	-25	-24

## 6 结 语

苏通大桥南主塔墩钢吊箱的成功下放及准确就位,是 GPS RTK 技术在特大型桥梁施工测量上成功应用的一个典型范例。在南主墩钢吊箱的拼装、下放、就位过程中采用的这一整套测控技术,是测量理论与施工实践的有机结合,是测量技术人员辛勤结晶。随着南主墩承台及钢吊箱施工结束并顺利通过竣工验收,说明此套测控技术的应用是成功的、是符合工程实际的,对以后类型工程具有一定的参考价值。

### 参考文献

- 1 黄腾,等.南京长江三桥主塔墩基础大型双壁钢套箱施工测量技术.工程勘察,2005,(2):50-53

## The Sutong Bridge South Pylon Special Big Steel Cofferdam GPS-RTK Surveying And Controlling Technique

Du Bing<sup>1,2</sup>, Yue Dong Jie<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup> The Second Highway Engineering Bureau Of China Communications Construction Group, Shan'xi, Xi'an 710065;

<sup>(2)</sup> Hohai University, JiangSu NanJing, 210098)

**Abstract** The Sutong Bridge South Pylon pile cap steel cofferdam is 117.35 m long, 51.7 m wide, 14.4 m high, 5 800 t heavy, the steel cofferdam is the biggest and the heaviest bridge cofferdam in the world currently. The article elaborates the GPS RTK satellite position technique which is the main measure means for the steel cofferdam construction measure controlling technique during the steel cofferdam three pivotal construction links which are assembling, putting down and taking its place.

**Key words** Sutong Bridge; Steel cofferdam; Survey; GPS RTK