

# GPS RTK 技术在深水大型沉井 基础施工监测中的应用\*

苟 洁<sup>1</sup> 朱 浩<sup>2</sup>

(1.武汉交通职业学院,湖北 武汉 430065;2.中交第二航务工程局有限公司,湖北 武汉 430063)

**摘 要:** 泰州长江大桥中塔沉井基础结构尺寸大,桥位处水文条件复杂,给施工带来了极大的安全风险。相对比传统的人工测量方法,GPS RTK 技术(全球定位系统实时差分技术)实现了全自动实时测量,通过后处理系统对实测数据进行分析,并及时反应出沉井当前真实状态,为决策者作出正确施工指令提供基础数据,保障了沉井顺利施工质量,降低了安全风险。该技术在泰州大桥中塔沉井基础施工监测中成功应用,为今后类似工程施工提供参考。

**关键词:** GPS RTK 技术;泰州长江大桥;沉井基础;施工监测

DOI: 10.3969/j.issn.1672-9846.2016.03.019

中图分类号: U445.557

文献标志码: A

文章编号: 1672-9846(2016)03-0077-04

我国大跨桥梁建设不断向深水、外海海域发展,深水基础设计与施工将面临更为严峻的挑战。目前,钻孔灌注桩基础作为一种最主要的基础形式在工程中被广泛采用。近十年,随着桥梁工程师对沉井基础的认识加深及施工技术的进步,越来越多的大跨桥梁在设计时采用深水沉井基础。

结合施工工艺,深水沉井基础施工面临的最大的技术难题在于如何快速、准确地将其定位在设计允许范围之内。由于受到水流、波浪等因素影响,沉井在定位过程中始终保持平面摆动与竖向升沉运动状态。传统的人工测量是通过测量仪器(或测量机器人)进行逐点测量,若涉及到多个测点,测量周期很长,后期数据处理缓慢,不能实时反映出沉井当前的几何状态。而 GPS RTK 技术可实现多个测点同时采集,然后在电脑终端进行数据实时处理,这样就可保证数据的同步性,实时反映沉井的几何状态。

GPS RTK 技术在很多领域的测量中已取得

了快速的发展。该技术在海洋测绘方面已经取得了成功的应用<sup>[1]</sup>,海洋测量包括海洋定位、海洋大地测量和水下地形测量。在传统的公路工程测量中,常规的测量方法具有很大的局限性,而该技术的出现对公路勘测手段和作业方式产生了革命性的变革,极大提高了勘测精度和勘测效率<sup>[2]</sup>。洋山深水港工程东海大桥桩基施工中也应用了这一技术<sup>[3]</sup>。王红等介绍了该技术可以在桥梁监控中的应用<sup>[4]</sup>。虽然该技术在工程中得到了广泛应用,但是在基础施工中的应用相对较少。

## 1 工程概况

泰州长江大桥为三塔悬索桥,中间钢塔采用钢壳—混凝土沉井基础。沉井总高度为 76m,其中钢壳沉井高 38m,钢筋—混凝土沉井高 38m,设计底标高-70m,承台顶标高 6m。沉井标准节段平面尺寸为 44m×58m,四角倒圆半径 8m。沉井在平面上布置 16 个 12.8m×12.8m 方形井孔,沉井混凝土封底 11m。沉井结构图如图 1 所示。

\*收稿日期:2016-08-02

**作者简介:** 苟 洁(1980-),女,四川合江人,武汉交通职业学院交通工程学院副教授,主要从事桥梁工程教学与研究。

朱 浩(1980-),男,江西瑞金人,中交二航局技术中心高级工程师,主要从事桥梁施工监控和健康监测研究。

大桥位于长江双向感潮河段,每日两次涨落潮,落潮流速大于涨潮流速,最大流速达到了2.61m/s。桥位处施工水深约15m。沉井下沉到设计标高,需要穿越粉细砂层、细砂层、中砂层,最后刃脚持力层位于砾砂层。

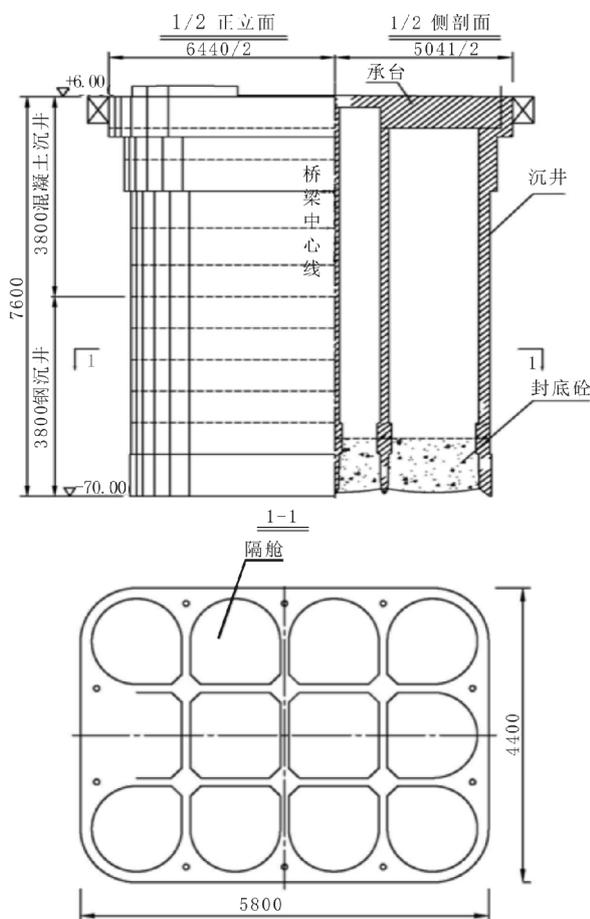


图1 沉井结构图

沉井基础施工工艺流程大致为:38m 钢壳沉井加工制作,同时在桥位处进行定位锚墩施工→利用拖轮将沉井浮运至墩位处进行初定位→利用定位锚墩进行沉井精确定位→向夹壁仓内注水使沉井快速下沉→浇筑夹壁隔仓混凝土→取土吸泥下沉至一定深度→重复接高混凝土与取土吸泥下沉步骤,直至沉井接高至76m和刃脚标高下沉至-70m。

## 2 主要监测内容

沉井下沉过程中几何姿态主要监测内容包括平面偏位、垂直度、扭转角和下沉量等。在实际测量过程中,可在沉井顶面布置4个测量控制点(见图2),然后根据GPS测量4个测点的绝对坐标,

分别计算出平面偏位、垂直度等相关信息。图2中以1001→1003测点定义为X轴正向;采用左手法则,以1002→1004测点定义为Y轴正向。

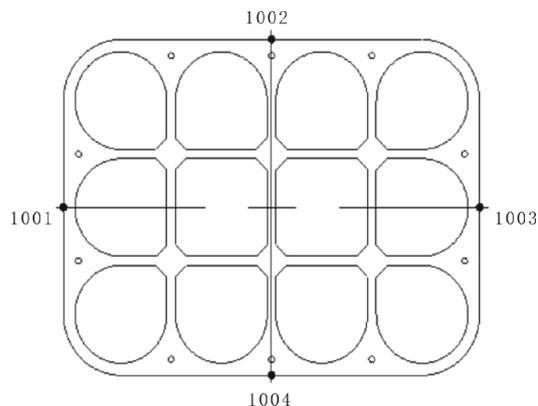


图2 测量控制点平面布置图

### 2.1 沉井平面偏位

沉井顶面中心O点的平面坐标由测点1001、1002、1003和1004点计算得出。相关的计算方法如下:

O点在X轴向上的坐标由1001点和1003点X向坐标的平均值来表达。

$$x_o = \frac{x_{1001} + x_{1003}}{2}$$

O点在Y轴向上的坐标由1002点和1004点Y向坐标的平均值来表达。

$$y_o = \frac{y_{1002} + y_{1004}}{2}$$

由上面两式可计算围堰顶面中心O点的平面坐标。根据设计图纸计算出顶面中心O点的设计坐标 $x'_o, y'_o$ 。由下面计算公式可计算出 $\Delta x_o, \Delta y_o$ 。

$$\Delta x_o = x_o - x'_o, \Delta y_o = y_o - y'_o$$

### 2.2 沉井垂直度

沉井垂直计算如示意图3所示。计算前提假设条件为:(1)忽略沉井的制造误差,认为沉井外侧面与顶面互相垂直;(2)忽略沉井自身变形的影响。由于沉井可以作为刚体来看待,其倾斜度可看成是刚体绕X轴和Y轴的转动。基于上述假设条件,沉井垂直度可由下列公式计算得出。

X向垂直度:

$$\theta_1 = \arccos((z_{1003} - z_{1001}) / ((x_{1003} - x_{1001})^2 + (y_{1003} - y_{1001})^2)^{0.5})$$

Y向垂直度:

$$\theta_2 = \arccos((z_{1004} - z_{1002}) / ((x_{1004} - x_{1002})^2 + (y_{1004} - y_{1002})^2)^{0.5})$$

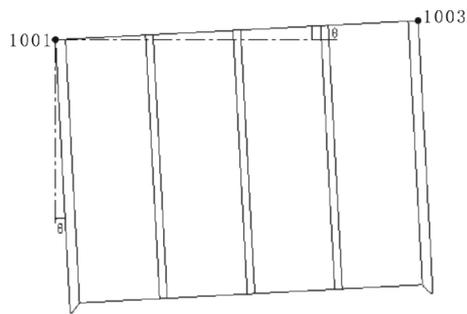


图 3 沉井垂直度计算示意图

### 2.3 沉井扭转角

沉井扭转角计算公式如下：

$$\beta_1 = \arccos((y_{1001} - y_{1003}) / ((x_{1003} - x_{1001})^2 + (y_{1003} - y_{1001})^2)^{0.5})$$

$$\beta_2 = \arccos((y_{1002} - y_{1004}) / ((x_{1002} - x_{1004})^2 + (y_{1002} - y_{1004})^2)^{0.5})$$

沉井扭转角： $\beta = (\beta_1 + \beta_2) / 2$

### 2.4 沉井下沉量

沉井下沉量用顶面中心竖向坐标来表示，其坐标值采用 4 个监测点竖向坐标的均值。

$$z_o = \frac{z_{1001} + z_{1002} + z_{1003} + z_{1004}}{4}$$

下沉量的偏差采用实际下沉标高与设计标高的差值，如下式。

$$\Delta z_o = z_o - z'_o$$

## 3 现场实施

### 3.1 沉井下沉信息化监测系统

沉井施工过程中在沉井轴线上布设四个控制点，采用 GPS RTK 采集仪器(见图 4)对四个点的三维坐标进行实时动态的测量，通过无线局域网将实时获取的数据(5 秒/次)传送到监控室，利用后处理系统(见图 5)进行数据分析处理，得出一段时间内测点的平均坐标，推算出沉井的平面偏位、垂直度、扭转角和下沉量等数据。



图 4 GPS 监测仪器安装

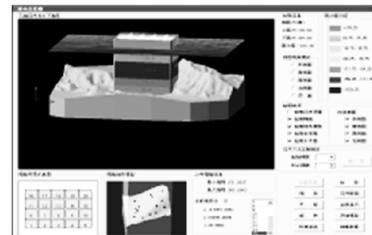


图 5 沉井信息化施工监测后处理系统

### 3.2 测量结果分析

(1)平面偏位。图 6—图 7 为沉井下沉过程中在两个轴线方向上平面偏位变化曲线。结果表明，沉井下沉到位时顶面中心向上游偏移 11.4cm，向扬中侧(即南侧)偏移 2.4cm，远远小于设计规定 30cm 的偏差范围；沉井底面中心向上游偏移 28cm，向扬中侧偏移 14cm，同样小于设计规定限值。

(2)垂直度。图 8 为沉井下沉过程中在两个方向上的垂直度变化曲线。结果表明，沉井下沉到位时沿上下游侧垂直度为 1/630，南北侧垂直度为 1/444，整体垂直度为 1/363，远小于设计规定/150 的允许限值。

(3)扭转角。图 9 为沉井下沉过程中扭转角变化曲线。结果表明，沉井下沉到位时扭转角为 10.8'，小于设计规定 1°的允许限值。

(4)下沉量。图 10 为沉井下沉过程中下沉量的变化曲线。结果表明，沉井下沉到位时底面中心的标高为 -70.1m，低于设计标高 -70m，满足设计规定的底面标高不高于设计标高的要求。

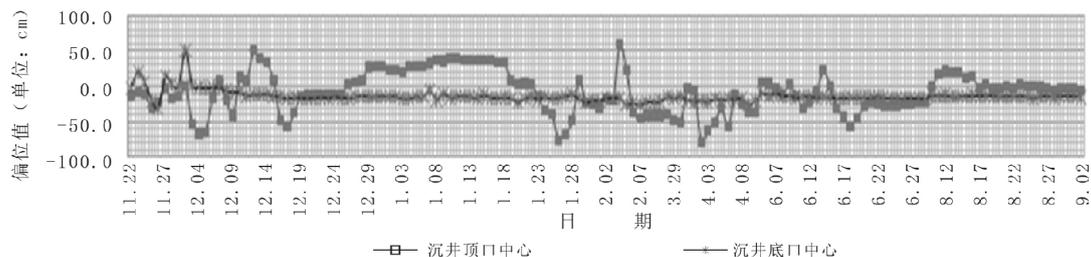


图 6 沉井中心南北侧偏位变化曲线图(单位:cm)

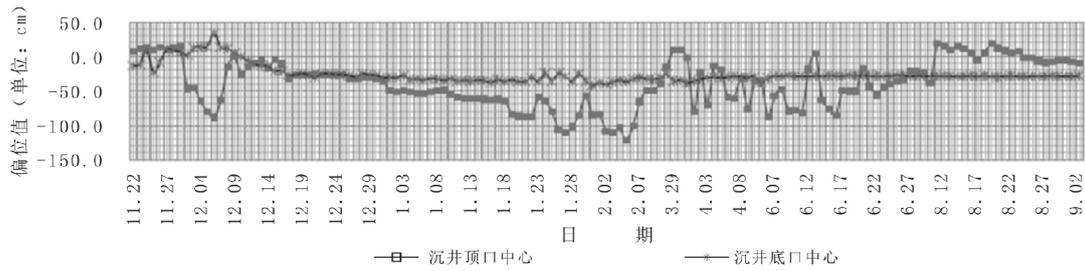


图 7 沉井中心上下游偏位变化曲线图(单位:cm)

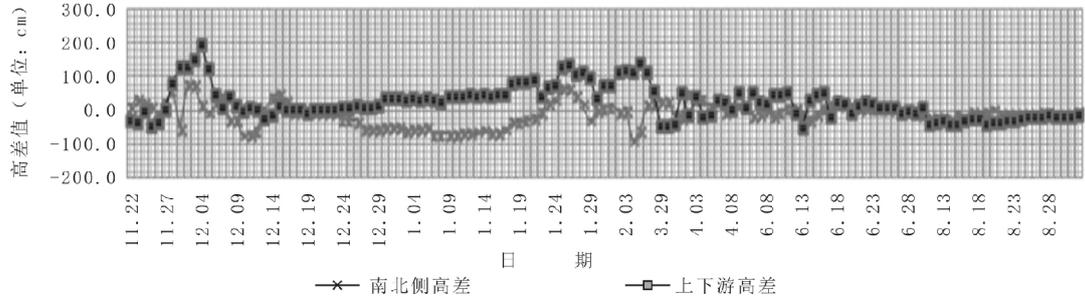


图 8 沉井两轴线向高差变化曲线图(单位:cm)

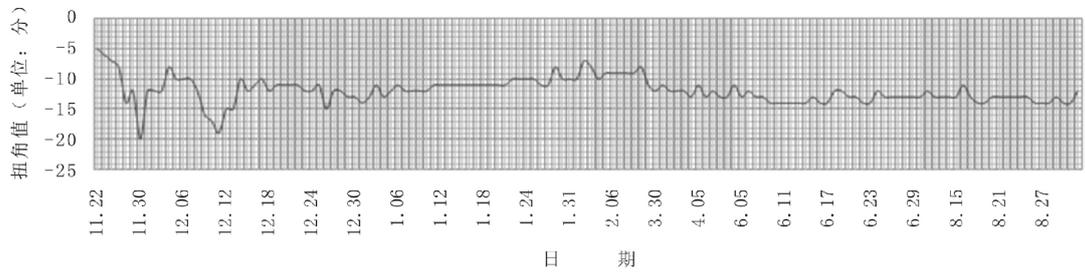


图 9 沉井扭转角变化曲线图(单位:分)

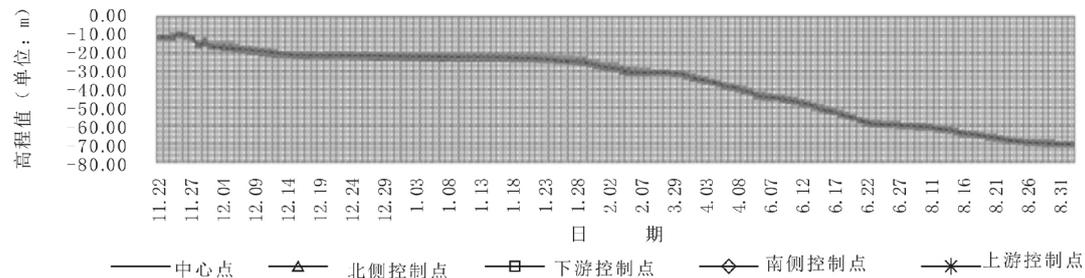


图 10 沉井下沉变化曲线图(单位:m)

#### 4 结论

GPS RTK 技术在泰州长江大桥中塔沉井基础施工监控中得到成功应用,其测量定位精度满足工程施工质量要求。相对于传统人工测量方法,它具有测量数据同步、测量周期快、数据处理及时、反馈信息准确等优点,同时该测量方法还受自然条件(如暴雨、暴雪等)影响。随着我国桥梁建设向外海发展, GPS RTK 测量技术将在基础施工中得到越来越广泛的应用。

#### 参考文献:

- [1]谢荣安. GPS RTK 技术在海洋测绘中的应用[J].地理空间信息, 2007,5(4):16-18.
- [2]赖继文. GPS 测量技术及其在工程测量中的应用[J].地矿测绘, 2006,22(3):11-13.
- [3]周瑞祥. GPS RTK 技术在东海大桥桩基施工中的应用[J].铁道勘察, 2004(1):59-61.
- [4]王红,冯常胜. 桥梁监控中的 GPS RTK 技术[J].世界桥梁, 2003(3):74-76.