

文章编号: 1002-0268 (2001) 03-0033-03

江阴大桥北锚沉井基础变位过程实测研究

吉 林¹, 冯兆祥¹, 周世忠²

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省交通厅, 江苏 南京 210001)

摘要: 根据江阴大桥北锚沉井基础变位 41 次的观测资料, 揭示长江下游软土地基上大跨径悬索桥锚碇沉井基础在施工及营运阶段的变位规律。实测结果表明: 特大型沉井分区封底对沉井沉降特征具有重要影响; 不同施工阶段, 锚碇沉井基础变位呈现出不同的特征, 沉降及不均匀沉降是最根本的变位。
关键词: 软基上的锚碇; 沉井; 基础变位; 监测
中图分类号: U443.24 **文献标识码:** A

Study on Jiangying Bridge North Anchoring Sunk Shaft Foundation Displacement Process

Ji Lin¹, FENG Zhao-xiang¹, ZHOU Shi-zhong²

(1. Hehai University, Jiangsu Nanjing 210098, China;
2. Jiangsu Provincial Communication Department, Jiangsu Nanjing 210001, China)

Abstract: Based on 41 times observational data of the displacement of Jinagying Bridge north anchoring sunk shaft foundation, the paper presents the process of the sunk shaft foundation displacement in the bridge construction and operation periods. The measurements show that partitioned bottom closing for the extra-large sunk foundation has important implications, the anchoring sunk shaft foundation displacement has different characteristics in different construction stages and that deflection and uneven deflection are the most radical displacement.
Key words: Anchoring on soft ground; Sunk shaft; Foundation displacement; Monitoring

0 前言

江阴长江公路大桥位于长江下游江阴河段, 为主跨 1 385m 特大跨径悬索桥, 作为主体工程之一的北锚碇, 位于长江下游软土地基上, 其主要功能是将主缆 $6.4\times 10^5\text{kN}$ 左右的缆力(水平分力约为 $5.5\times 10^5\text{kN}$, 竖直分力约为 $2.7\times 10^5\text{kN}$)有效地传给地基, 并使竖直沉降和水平位移限制在容许值以内, 以保证全桥的总体刚度。由于受力巨大且过程复杂, 允许变位值小, 且又处于软土地基上, 经多方比选, 最终选择了整体式矩形大沉井作为北锚碇的基础, 并将沉井基础相对锚体前偏 12m 布置, 同时采取措施获取大的稳定力矩。
选择支承在软土地基上的沉井结构作为大跨径悬

索桥锚碇结构的基础, 在国内尚属首例, 国外也不多见, 监测研究其变位过程, 对确保大桥结构安全、积累经验具有十分重要的工程意义。

1 基本情况

1.1 地质水文情况

北锚碇位于长江下游冲积河漫滩之上, 地表以下 20m 左右范围是淤泥质亚粘土、松散亚砂土与粉砂土互层, 地下水位在地表下 1~2m, 呈饱和状态, 压缩性高, 承载力低; 埋深 20~40m 范围为亚砂土与亚粘土互层; 再向下 10m 范围主要是硬塑或半坚硬粉质粘土层, 并夹粉细砂; 埋深 50m 以下为密实的细砂, 含砾中粗砂; 基岩埋深在 78~86m。承压水层分别在

—20~—40m和—50m以下两层，与长江水相通。

1.2 锚碇构造

北锚构造如图 1，锚体长 61.73m，宽 48.5m，高 20~30m，后部悬出沉井约 12m（其中外侧 5m 在上部结构施工过程中浇筑）。沉井南北长 69m，东西宽 51m，埋深 58m，36 个隔仓中分别填充水、砂和砒。

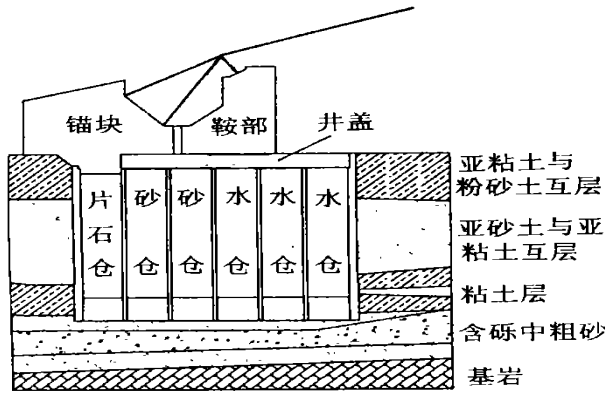


图 1 北锚沉井及地基土组成结构剖面

1.3 测点布置及监测

为监测沉井基础在施工及通车营运后的变位情况，我们在沉井顶面布置了 15 个测点，并在锚体不同位置布置了 15 个测点，测点布置示意图 2。在施工及通车营运过程中，先后进行了 41 次变位观测。

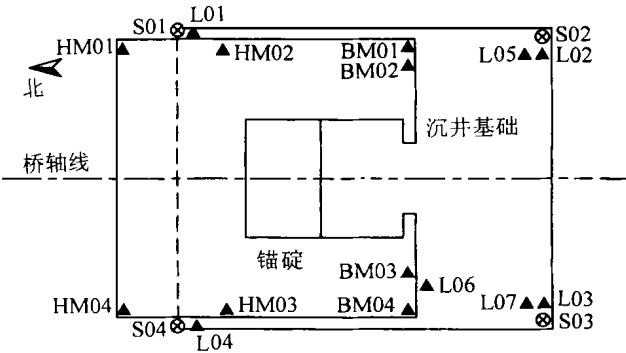


图 2 北锚监测点布置示意

2 监测结果与分析

2.1 沉井分区封底效应

沉井封底分 4 区进行，依次是东北区、西北区、西南区、东南区，封底期间沉井的沉降实测结果如表 1。根据表中实测结果对照施工具体程序，发现监测结果有如下规律：先封底区域在整个沉井封底过程中的累计沉降量小，后封底区域累计沉降量大。分析其原因，笔者认为，尽管先封底区域因封底砒自重作用，其基底土层上增加了约 120kPa 的有效附加应力，但这时封底砒尚未凝固，尚未与井壁形成整体，封底砒重量仅作用在地基上，并不致引起沉井井壁产生明

显沉降。随着封底砒的凝固，与井壁之间形成整体，这时对已封底区域来说，封底砒作为荷载的同时，底板效应也发挥出来，而对其它区域来讲，仅起荷载作用，从而导致先封底区域沉降小，后封底区域沉降大，且差异明显。据此分析，不同封底顺序，会造成不同的沉降结果，施工时应针对结构受力特点及变位控制要求，认真比选，以择得最佳方案。因此，在大型沉井基础土工数值分析中，应考虑这种分区封底效应的影响，否则会导致计算值与实测值的较大差异。

封底过程中沉井沉降结果（单位：mm） 表 1

实测日期	东北区 S01	西北区 S04	西南区 S03	东南区 S02
1997-06-03	0	0	0	0
1997-06-11	11.6	13.9	12.9	14.0
1997-06-20	15.6	20.6	29.2	26.4
1997-06-26	16.9	18.3	33.9	38.3

*下沉为正值，上抬为负值（下同）。

2.2 锚体施工期的沉井变位

考虑到沉井分区封底效应对沉降的影响，以封底结束后的沉井各点位置作为基准点，沉井在封底检查、隔仓充填、顶板施工及锚体施工各阶段的沉降监测结果如表 2。

沉井在隔仓充填及锚体施工期沉降实测结果（单位：mm） 表 2

实测时间	北侧		南侧		工况
	本次	累计	本次	累计	
1997-06-26	0	0	0	0	
1997-07-04	2.7	2.7	1.5	1.5	封底质量
1997-07-13	2.6	5.3	2.8	4.3	检查，并
1997-07-31	5.0	10.3	4.1	8.4	进行地基
1997-08-10	2.2	12.5	1.6	10.0	压浆加固
1997-09-05	2.6	15.1	1.5	11.5	
1997-09-27	4.8	19.9	10.0	21.5	浇筑南侧顶盖和
1997-10-07	6.1	26.0	5.1	26.6	鞍部，北侧填砂
1997-11-15	22.5	48.5	13.4	37.0	
1997-11-25	5.0	53.5	1.0	38.0	
1997-12-07	7.5	71.0	1.0	39.0	分层浇筑
1997-12-15	8.0	79.0	1.0	40.0	锚块砒
1998-01-02	14.5	93.5	-1.4	38.6	
1998-01-12	8.2	101.7	-0.2	38.4	
1998-01-16	4.0	105.7	0.7	39.1	

从表 2 中可以看出，在沉井封底结束后到南侧顶盖浇筑前这一时间内，荷载基本保持不变，沉井北侧下沉了 15.1mm，南侧下沉了 11.5mm，沉降速度不断减小，平均日沉降已由封底期间的 1.3mm 下降为 0.2mm，不均匀沉降趋缓。分析其原因，这主要是因为地基土固结效应的影响所致。当开始进行南侧顶板及鞍部浇筑，北侧进行填砂施工以后，由于荷载又开始增加，沉降速度开始加快，南侧沉降大于北侧。分析其原因，主要是南侧鞍部施工，荷载增加较北半区要大，该阶段北侧沉降 10.9mm，南侧沉降 15.1mm，沉井前倾转动转角为 0.0035°，在北侧锚块开始施工以后，沉井仍保持总体继续下沉，北侧沉降远大于南侧沉降，在后期甚至出现北侧继续下沉，南侧反而略

有抬升的情况，这主要是因为北锚锚块体积较大，且施工范围部分悬出沉井北侧 7m，沉井北半区荷载不断增加，而南区基本上没有增加新的外荷载，在造成巨大的竖向力作用的同时，巨大的后倾力矩使得沉井由前倾转动变为后倾转动所致。本阶段沉井北侧下沉 79.7mm，南侧下沉 12.5mm，后倾转动 0.055°。

2 3 上部结构施工及营运期间的沉井变位

以猫道架设后的位置为基点，在上部结构施工过程中，沉井基础变位测量结果如表 3、表 4。

上部结构施工及营运期沉井实测沉降结果（单位：mm）
表 3

实测时间	沉井北侧		沉井南侧		工况
	实测	累计	实测	累计	
1998-07-02	0	0	0	0	主缆架设
1998-08-07	0.9	0.9	1.9	1.9	
1998-09-12	0	0.9	-0.9	1.0	
1998-10-29	-0.5	0.4	-0.4	0.6	
1998-12-07	-4.2	-3.8	1.6	2.2	
1999-01-03	-1.0	-4.8	0.1	2.3	主梁吊装 1999 年 3 月 浇筑压重块
1999-02-22	-5.4	-10.2	3.3	5.6	
1999-03-03	-1.8	-12.0	2.8	8.4	
1999-03-10	-0.5	-12.5	2.5	10.9	
1999-03-16	-3.6	-16.1	-0.5	10.4	
1999-03-21	0.8	-15.3	0	10.4	桥面铺装
1999-04-22	2.0	-13.3	3.0	13.4	
1999-06-06	3.1	-10.2	2.4	15.8	
1999-06-23	1.1	-9.1	1.5	17.3	
1999-07-08	0.1	-9.0	1.0	18.3	
1999-08-14	1.6	-7.4	3.6	21.9	运营期
1999-09-08	-0.4	-7.8	0	21.9	
1999-09-24	0	-7.8	0.7	22.6	
1999-10-28	-1.8	-9.6	-1.0	21.6	
1999-11-16	0.9	-8.7	-0.3	21.3	
2000-03-30	0	-8.7	2.0	23.3	

沉井南北向水平位移（单位：mm） 表 4

实测时间	水平变位			工况
	实测值	转动引起	平动	
1998-08-07 ~ 12-07	5.1	5.1	0	主缆架设
1999-01-03 ~ 04-22	21.4	17.0	4.4	吊装主梁
1999-06-06 ~ 08-14	5.2	2.2	3.0	桥面铺装

从测量结果可以看出：在主缆架设过程中，初期沉井仍持续后转，但速率减缓，随着架设索股根数的增加，沉井由后倾转动逐渐向前倾转动过渡，下沉趋势受到抑制，后侧甚至出现抬高现象。分析其原因，主要是因为初期架缆速度缓慢，架设索股根数少，索股作用于锚碇上的拉拔力小，尚不能抵抗锚块重量引起的后倾力矩，随着主缆架设速度加快，索股根数不断增加，索股对锚碇的拉拔力不断增加使得作用在沉井基础上的外力矩由后倾转矩转变为前倾转矩，竖向作用力减小，向前的水平作用力增大。整个主缆架设期间沉井前侧下沉 2.3mm，后侧抬高 4.8mm，实测沉井顶面因沉井转动向南位移 5.1mm。

在钢箱梁吊装期间，沉井仍继续向前转动，前期

转动速率大，而后逐渐减小，到后期基本停止前倾，仅呈现下沉趋势。在桥面铺装施工期间，沉井整体表现为下沉，略有前倾。对照沉井位移及工程施工情况，在钢箱梁吊装初期，随着吊装节段的增加，主缆拉拔力造成作用于沉井基础的垂直向上的拉力和向前的水平拉力急剧增大，以及前倾转矩快速增加，沉井呈现快速前倾的趋势。根据实测数据，为确保结构整体安全，控制前倾转动，在箱梁吊装的同时，于 1999 年 3 月及时组织北锚后加压重块的施工。虽然后加压重块（后压重块和顶压重块）砼体积仅为 6 313m³，但形成的后倾力矩却达 6.76×10⁶kN·m，前倾力矩明显得到抑制，同时，由于沉井前倾转动，前侧土压力逐渐表现为被动土压力，作用于沉井井壁，也抑制了沉井的转动，二者的联合作用使得前倾转动速率显著减小。

在整个主梁吊装期间，沉井前侧下沉 11.1mm，后侧抬高 8.5mm，沉井顶面向南移动 21.4mm，其转动引起的部分为 17.0mm，尚有 4.0mm 系由水平拉力造成的沉井向前平动。在桥面铺装施工阶段，沉井南侧下沉 8.5mm，北侧下沉 5.9mm，沉井顶面向南平移 5.2mm，其中 2.2mm 由转动引起，3.0mm 系沉井向南平动。

大桥于 1999 年 9 月 28 日建成通车，根据实测，沉井基础基本不再发生下沉和转动。分析其原因，一方面是活载所占比例较小，且是不断变化的，另一方面也说明，北锚沉井地基土的残余变形十分有限，地基土主固结在上部结构施工期间已经基本完成。

3 结语

在长江下游冲积平原上修建大跨径悬索桥锚碇在我国尚属首次。本文通过对施工及营运期锚碇基础变位过程的实测及分析，得出下列结论：

- (1) 在长江下游冲积平原区修建大跨径悬索桥锚碇非着岩基础是可行的，通过合理设计，能够满足结构受力及变位限制的要求。
- (2) 大型沉井在封底过程中，结构处于一个时变体系状态，分区封底效应对基础变位特性影响明显，在土工数值分析中应予考虑。
- (3) 大型沉井在施工及营运过程中的变位，主要以下沉、不均匀下沉和转动为主，平动位移较小。
- (4) 根据主桥上部结构施工进度，合理选择压重块的形式及施工时机，既能有效地限制沉井及锚体的转动，保证结构安全，又能大大节省工程投资。

参考文献：

[1] 江苏省长江公路大桥指挥部，河海大学．江阴长江公路大桥地基及基础安全监测综合报告．2000．