

马鞍山长江公路大桥锚碇基础超大沉井 下沉施工控制

金松¹ 欧阳祖亮²

(1.安徽省高等级公路工程监理有限公司,安徽 合肥 230601;
2.中交二公局第五工程有限公司,陕西 西安 710119)

摘要 文章介绍了马鞍山长江公路大桥左汊悬索桥南锚碇超大沉井“3次接高3次下沉”的施工方案,对沉井监控的内容和标准,及下沉应力应变测试方案进行了详细的论述,最后对沉井几何姿态等监控及纠偏措施进行了阐述。实践证明,该施工方案和监控方案正确,确保了沉井下沉到预定标高,同时沉井的结构应力状态、几何姿态以及周边建筑物安全状况都得到较好的控制,为类似工程建设提供有益的参考。

关键词 超大沉井;下沉;施工监控;施工控制

中图分类号:445.557 文献标识码:B 文章编号:1672-9889(2012)06-0043-05

Construction Control of Large Caisson Sinking of Ma-an-shan Yangtze River Suspension Highway Bridge

Jin Song¹, Ouyang Zuliang²

(1. Anhui Highway Engineering Supervision Co., Ltd., Hefei 230601, China;
2. The CCC National Freeway Bureau Fifth Engineering Co., Ltd., Xi'an 710119, China)

Abstract Anchorage is a critical part of the suspension bridge. This paper introduced construction scheme of the large south anchorage caisson-sinking of Maanshan Yangtze River. Then the construction monitor content and criterion, especially the testing method on the stress and strain of the caisson-sinking was summarized in details. At last the control on the gesture of the caisson and the corresponding corrective measures were described. The practice had proved that the construction plan and monitoring scheme was right to keep the caisson sank to the predetermined elevation. The stress state and geometric posture of the caisson as well as the surrounding buildings were in good control. It provided a reference for similar projects.

Keywords large caisson sinking; construction control

1 工程概况

马鞍山长江公路大桥以及接线工程位于安徽省东南部马鞍山和巢湖市境内,本项目左汊主桥为3塔2跨悬索桥,结构成对称布置,主梁跨径为 $2 \times 1\ 080\text{ m}$,锚碇基础均采用超大沉井,其中北锚碇沉井高41 m,南锚碇沉井高48 m。本文主要以南锚碇沉井基础为背景进行介绍。

马鞍山长江公路大桥南锚碇沉井采用大沉井整体施工的方案。沉井高48 m,共分为9个节段,第1节为钢壳混凝土沉井,高为8 m,壁厚2.0~2.4 m,

底部设有1.8 m高刃脚,刃脚踏面宽0.2 m,第2~9节段均为钢筋混凝土沉井,壁厚均为2.2 m,其中第2~7节高5.0 m,第8节高5.5 m,第9节高4.5 m。平面尺寸为 $60.2\text{ m} \times 55.4\text{ m}$ (第1节沉井长和宽分别为60.6 m和55.8 m)的矩形截面,共分为25个井孔。

2 超大沉井下沉施工方案

为了使马鞍山大桥南锚碇沉井安全、顺利下沉到位,施工单位根据南锚碇沉井所处位置的水文、地质、施工条件等实际情况,通过结构应力验算、下沉系数计算、降排水施工计算,采取了首次接高4节、

3次接高3次下沉的施工方案,即第1次接高第1~4节沉井,采用降排水下沉到预定标高;第2次接高第5、6节沉井,半排水下沉到预定标高;第3次接高第7、8、9节沉井,不排水下沉到设计标高。

2.1 降排水下沉施工

根据降排水施工计算^[1-2],在距沉井外边缘18 m、23 m的位置布设26口降水井,井深32 m,成孔直径分别为325 mm和277 mm。降水井在运行后,及时对流量和水位进行观测,确保在降水过程中沉井内水位标高始终低于沉井外水位2 m。

降排水施工的工艺原理为:利用高压水泵喷射出高压水流,冲刷切割和稀释土体,并形成相应稠度的泥浆,汇流至集水坑,然后用泥浆泵排出。沉井降排水下沉施工的取土按施工深入程度的不同分为3个阶段,并分别采用了3种不同大小的锅底形状。如图1所示。

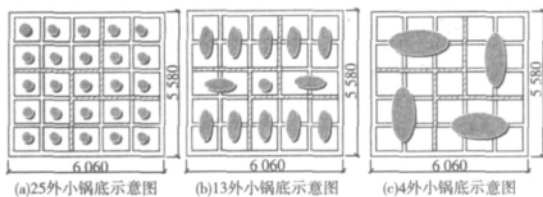


图1 锅底示意图(单位:cm)

(1)在沉井下沉的初期,每个井孔内单独进行冲吸施工。首先在泥浆泵的吸泥龙头下方(在锅底中央)冲刷出1个直径为2.0~2.5 m的集水坑,再用高压水向集水坑外四周冲刷切割出几条水沟,以确保同一井孔内其他位置的泥浆可以汇合到集水坑。为保证沉井底部受力均匀,井壁与分区隔墙下附近1.5 m范围内不进行取土,并在其外侧形成缓坡,以防止坍塌。

(2)在25个井孔的小锅底完全形成之后,将相邻的2个井孔联通并开挖形成1个锅底,而正中间的井孔仍单独为1个锅底,此时整个沉井下土体共形成13个小锅底。

(3)随着13个小锅底继续开挖,同一分区内一般隔墙的下面将会悬空并形成以分区隔墙为界的4个相对较大的区域锅底。第1~4节沉井的下沉阶段主要按以分区隔墙为界的4个区域锅底冲刷取土,此时一般隔墙的悬空高度控制在1 m以内,靠近井壁的一般隔墙悬空高度则应严格控制在50 cm以内,井壁和分区隔墙下不允许悬空。

2.2 半排水下沉施工

半排水下沉施工的工艺原理为:井外降水井依旧降水,而井内在有10 m左右水深的情况下,利用

高压水枪冲刷井内泥面,吸泥泵将泥浆抽至井外沉淀池以达到除土目的,吸泥泵和高压水枪则利用漂浮筏固定,并将漂浮筏作为一个工作平台为工人操作提供空间。

因南锚碇沉井位置处地下水直通长江,降水井的降水能力有限,不能在第2次下沉(第5、6节下沉)时使井内形成干作业环境;若采用空气吸泥机吸泥下沉则因后续沉井节段的接高,需要进行大范围的工序转换,这样费时费工,不利于节约成本。故本次沉井下沉采用了半排水下沉施工工艺,可有效节约工期,同时也能较理想地达到沉井下沉的目的。半排水和降排水下沉施工的井外、井内管道以及设备布置相同。

2.3 不排水下沉施工

第7~9节沉井下沉阶段,其取土量较大,泥浆泵的效率不如空气吸泥机,故第3次下沉采取不排水下沉工艺,并以空气吸泥机取土下沉施工为主,空气幕助沉为辅。在下沉过程中,当沉井受到的反向阻力较大,下沉效果不明显时,可开启空气幕以促进沉井下沉。

不排水下沉按照“定位准确、先中后边、对称取土、深度适当”的原则进行取土。

当下沉至设计标高2 m左右位置时,为使刃脚完全下沉至设计标高而又不超沉,需要避免超挖,吸泥工作以清基为主,且应勤开空气幕助沉。

3 超大沉井下沉施工监控

马鞍山长江公路大桥南锚碇沉井体积庞大,加之地质条件复杂,特别是刃脚需下沉至圆砾土层,给施工造成了巨大困难,为保证下沉的顺利进行,必须对其施工过程进行全面的研究并实施全程监控,及时掌握沉井的实时信息,若出现异常情况,参照相关规定,应及时地与相关方进行沟通,分析产生异常的原因并讨论合理的解决方案,以确保沉井在施工阶段以及竣工后运营阶段都处于安全状态。

对于复杂环境下大型沉井基础的施工监控,主要是针对沉井的几何姿态、沉井下沉对地基土及周边环境的影响以及沉井在下沉过程中受力状态的变化等方面进行监控^[3-4]。其中沉井的几何姿态监控包括沉井下沉速度、沉井差异下沉产生的倾斜和水平位移的监控;沉井施工对地基土的影响程度和范围等方面监控,包括对长江大堤的沉降、周边主要结构物的监控;对沉井受力状态的监控,包括下沉过程中沉井各关键位置的应力和应变进行监控。对沉井下沉过程中的监控能够及时地反映出沉井在

下沉过程中各监控项目的实时信息 ,对监控结果的分析总结可以使施工人员清楚地认识到沉井下沉的效果及其在施工过程中处于何种状态 ,并总结出规律 ,对后续施工具有指导性意义。

3.1 南锚碇沉井下沉监控内容及控制标准

考虑到南锚沉井的结构、工程地质特点以及实际水文气象条件的影响 ,沉井下沉阶段监控的主要内容如下 : (1) 沉井结构应力应变监控 ; (2) 沉井刃脚、隔墙反力监控 ; (3) 沉井侧壁土压力监控 ; (4) 根式基础变形监控 ; (5) 长江大堤变形监控 ; (6) 周边建筑物变形监控 ; (7) 沉井几何姿态监控 ; (8) 地下水位与井内水位监控 ; (9) 沉井底部土体开挖与地形监控^[2]。

首次降排水下沉期间的沉井结构应力应变是整个监控项目的重中之重 ,而且首节钢壳沉井的主拉应力不超限是首次降排水下沉的主要控制指标。为此本文重点介绍首次降排水下沉沉井结构监控内容。

沉井几何姿态监控是准确下沉的前提和保障 ,在整个下沉过程中都应严格控制各项指标不超限 ,并指导土体开挖方案的实时调整。

3.2 沉井应力应变监控

各监控项目的设备及其数量如表 1 所示 :

表 1 监控仪器数量汇总表

监控项目	监控内容	传感器类型	仪器数量
沉井结构应力应变	首节钢壳沉井及第 4 节	钢板计	48
	隔墙关键部位应力应变	混凝土应变计	4
		钢筋计	8
沉井隔墙反力	隔墙反力	土压力计	8
沉井侧壁土压力	侧壁土压力	土压力计	12

钢板计、混凝土计、钢筋计、隔墙底部土反力计、侧壁土反力计布置如图 2~图 6 所示。

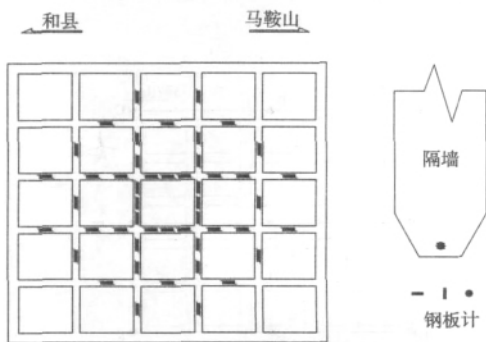


图 2 钢板计布置图

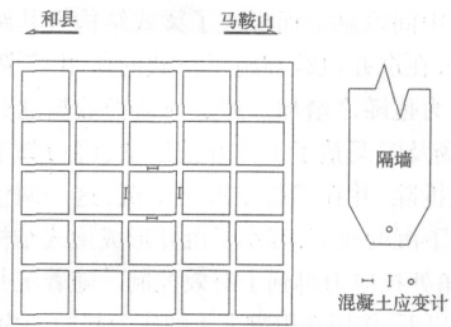


图 3 混凝土应变计布置图

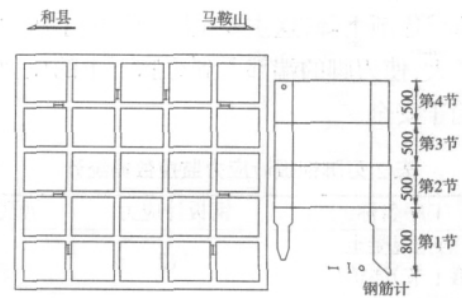


图 4 钢筋计布置图

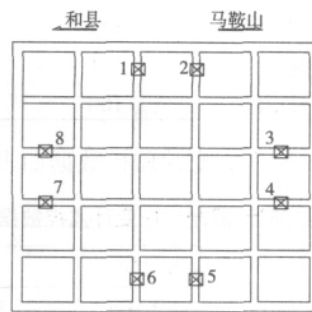


图 5 隔墙底部土反力计布置图

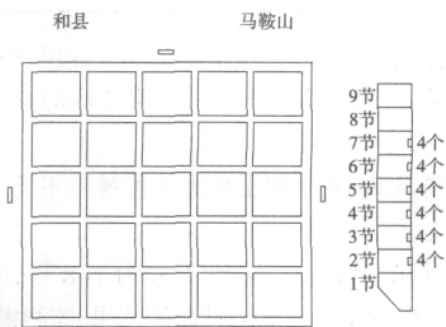


图 6 侧壁土反力计布置图(每层 2 个)

监测频率为每 12 h 监测 1 次。

3.2.1 应力应变监控指导取土下沉

刃脚钢板计应力监控数据如表 2 所示。

从整个监控情况来看 ,在钢壳拼装及混凝土接高期间 ,刃脚上所承受的恒载随着节段的增加而增大 ,刃脚应力呈上升趋势 ,在第 4 节浇筑完成后达到最大应力 122 MPa。在下沉初期刃脚的应力值达到了峰值 145 MPa。这主要是因为下沉初期开挖面逐渐扩大 ,一般隔墙底部土体逐渐被掏空 ,由于沉

井壁中间段悬空而形成了梁式结构且其跨径逐渐增大,在沉井恒载和施工荷载的作用下,隔墙底部拉应力也随之增加。通过对监控数据的分析总结,现场及时调整了土体开挖形状,将刃脚下堆积的沙袋拆除,并在刃脚下取土下沉,这一调整加快了沉井下沉的速度,减小了沉井形成梁式结构的跨径,刃角处拉应力得到了有效控制。随着沉井下沉到土面以下,作用在刃脚上土的压力趋向于均匀,使结构中拉应力减小,随着下沉深度的增加,刃脚的应力值会逐渐下降,这主要是因为侧壁土压力、侧摩阻力增大,使刃脚的端部受到刃脚下土的压力减小,结构趋于安全。

表 2 刃脚钢板计应力监控数据统计 MPa

工序名称	钢板计应力	预警值
钢壳混凝土 (第 1 节)浇筑后	112	
第 2 节浇筑后	91	
第 3 节浇筑后	107	168
第 4 节浇筑后	122	
下沉初期最大	145	
下沉过程中稳定值	100	

钢筋计混凝土应变计监控数据如表 3 所示。

表 3 钢筋计、混凝土应变计监控数据统计

检测元件	应力应变	预警值
钢筋计应力	-31~60 MPa	240 MPa
混凝土应变计应变	-77~32 $\mu\epsilon$	1 200 $\mu\epsilon$

监控数据显示,沉井在接高、下沉过程中钢筋、混凝土应力、应变值均较小,说明结构的整体性未受到影响,处于偏安全状态。

3.2.2 隔墙底、井壁侧土压力监控揭示不同工况下的压力变化

通过隔墙底土压力计(编号为 1~8 号,图 7 为具有代表性的 1 号土压力计监测结果)监测揭示,在沉井下沉初期(6 m 深度范围内),隔墙底土压力增加较快,峰值在 1 700 kPa 左右,这主要是随着沉井的下沉,在巨大自重作用下,土层逐渐被压实承载力显著提高的结果,反作用使得沉井隔墙的下沉阻力也明显增加,下沉中期(6~26 m 深度范围内)隔墙底土压力变化不大,下沉后期(26 m 以下深度)隔墙底土压力下降较快,主要是沉井下沉速度慢,刃脚、隔墙底土体被取走,土压力易变小。

侧壁土压力计(编号为 2-1~7-2 号,图 8 为具有代表性的 2-1 号土压力计监测结果)监测表明,沉

井壁侧压力在下沉过程中呈现初期增大、后续减小的抛物线状,下沉前期(8 m 以内)随着深度不断增加至 80 kPa,达到一定限值后逐渐减小,这主要是由于下沉后期沉井难以下沉,加大了刃脚下取土力度,造成刃脚下沙土松散流向井内,井壁外侧靠下的土体变松散导致土压力变小。

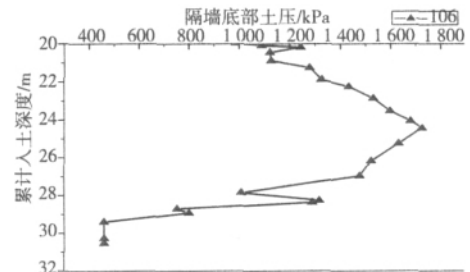


图 7 隔墙底土压力

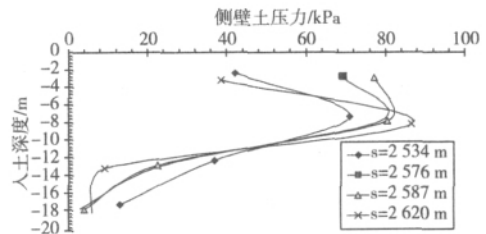


图 8 侧壁土压力

随着沉井下沉深度的加大,四周土压力和侧摩阻力的作用对沉井结构受力趋于有利,沉井入土深度越大则相同条件下沉井底部受力越小,结构也就更加安全,对沉井而言,危险情况往往出现在下沉初期,即入土深度不大,而且开挖面较大的时候,通过对开挖方式的控制可以有效避免结构中出现应力过大的情况。

3.3 沉井几何姿态监控

沉井几何姿态监控的主要内容为:顶面高差、平面扭转角、沉井顶面、底面中心线与设计中心偏差。根据本沉井的结构特点,在每次接高后的沉井顶面布置 8 个监控点组成观测网,8 个监控点分别构成 3 条纵向观测剖面 and 3 条横向观测剖面,沉井下沉时每 6 h 监测 1 次。沉井几何姿态检测点布置如图 9 所示。

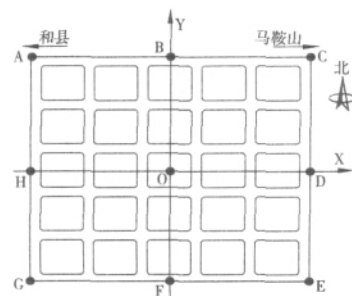


图 9 沉井几何姿态监测点布置图

沉井下沉到位后几何姿态控制如表4所示。

表4 沉井下沉到位后几何姿态控制

控制指标	控制值	允许偏差
顶面高差	8 cm	47 cm
平面扭转角	9"	1°
沉井顶面、底面中心与设计中心偏差	10 cm	任何方向均≤50 cm

3.4 沉井下沉纠偏措施

南锚碇沉井的平面尺寸巨大,下沉深度深,下沉过程中依次穿越粉质粘土、粉砂、细砂、中砂等土层,各土层的力学性质复杂,沉井在下沉过程中难免会发生倾斜及平面、高程位置的偏差等,为了将施工误差降低到最小,在沉井下沉施工中必须制定以预防为主,有偏必纠的施工措施。

3.4.1 沉井下沉纠偏措施分析

(1)偏吸泥、偏除土:当沉井入土深度不是太大,且仅向一侧倾斜时,立即停止整体吸泥下沉,在沉井顶面高的一侧刃脚处进行偏吸泥、偏除土,刃脚低的一侧保持不动,尽可能地减少高的一侧的正面阻力,保留低侧沉井孔局部土壤,增大沉井的纠偏力矩,随着高侧的下沉,倾斜即可纠正。通常,沉井仅发生倾斜的情况较少,在倾斜的同时,还可能发生位移(位移是指沉井整体发生移位,沉井底面中心线偏离设计基础中心线)。纠正位移时,可先有意地偏除土使沉井向偏位方向倾斜,然后再对其纠正,若位移量较大,可反复几次进行,使其逐渐向沉井设计中心位置移动,直到调整到使倾斜和位移都在允许偏差范围内方可^[5]。

(2)增加支承反力:根据沉井实际的偏斜情况,在刃脚低处的井壁一定范围内一边吸去松散的砂土填充粒径5~40 mm的碎石,一边用吸泥机捣实,增加刃脚低的一面的支承反力,使刃脚较高一侧的下沉速度大于刃脚低的一侧,从而达到纠偏的目的^[3]。

3.4.2 沉井下沉纠偏过程中的注意事项

(1)钢沉井下沉施工要严格按照编制的施工方案进行,每一步施工程序都应该有条不紊,前一阶段的施工要考虑为下一步的施工打下良好的基础;

(2)沉井下沉施工要勤监测,一般情况下每天至少要对以下的下沉指标测量3次,内容包括泥面标高测量、下沉速度测量、沉井的四周高差测量、沉井的平面位置坐标及高程测量。在沉井首次吸泥下沉、终沉前或穿越各土层时发现异常现象时,要加大观测频率^[6];

(3)由于下沉过程中的水下土面情况不可见,而沉井底面土面的凸凹不平将直接影响沉井下沉倾斜或偏差,了解土面高差的情况对沉井下沉至关重要。在沉井每个井形格内布置至少5个测点,施工人员利用测绳来进行土面标高的测量以详细地掌握土面标高情况来指导吸泥施工^[7];

(4)采用空气幕助沉时,先消除刃脚下土的抗力后再压气,但也不得过分除土而不压气,一般除土面低于刃脚0.5 m时,即应压气下沉。压气时间不宜过长,一般每次不超过5 min。放气顺序应先上部气斗,后下部气斗,以形成沿井壁上喷的气流,停气时应先停下部气斗,依此向上,最后停止上部气斗,并应缓慢减压,不能将高压空气突然停止,防止造成瞬间负压,而使喷气孔被堵失去作用,一旦某一单元的气孔被堵塞,下次压气施工可能导致沉井的一部分下沉,而另一部分不动,沉井容易发生倾斜;

(5)沉井后续节段接高要对称进行,井壁的混凝土要对称浇筑,井孔内要均匀取土;

(6)及时探明和发现土中的障碍物,并及时清理。

4 结语

马鞍山长江公路大桥南锚碇沉井下沉较为理想,在保证沉井下沉到预定标高的同时,沉井的结构应力状态、几何姿态以及周边建筑物安全状况都得到较好的控制,下沉施工监控为确保沉井基础安全、优质、如期、环保地下沉到位提供了可靠的保障,可供类似工程参考。

参考文献

- [1]陶建山.泰州大桥南锚碇巨型沉井排水下沉施工技术[J].铁道工程学报,2009(01):63-66.
- [2]王卫忠.沉井下沉技术在泰州长江公路大桥北锚碇中的应用[J].交通科技,2009(233):21-24.
- [3]周申一,张立荣,杨仁杰,杨永濠.沉井沉箱施工技术[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [4]朱建民,龚维明,穆保岗,牛亚洲.南京长江四桥北锚碇沉井下沉安全监控研究[J].建筑结构学报,2010,31(8):112-117.
- [5]朱建民,龚维明,穆保岗,牛亚洲.超大型沉井首次下沉关键问题研究[J].公路,2011(4):13-14.
- [6]胡东勇.江阴长江公路大桥北锚碇基础特大沉井施工方法[J].广西交通科技,2003,28(105):52-55.
- [7]陈光福.江阴长江公路大桥特大型沉井施工述评[J].土工基础,1999,13(13):24-28.

(收稿日期 2012-06-07)