



# 起重船助浮大型圆沉箱半潜驳出运工艺

张耘浩<sup>1</sup>, 刘思国<sup>2</sup>, 姜恒志<sup>3</sup>, 朱德华<sup>2</sup>

(1. 中交第一航务工程局 海外部, 天津 300461;

2. 中交天津港湾工程研究院有限公司, 天津 300222; 3. 国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 以大连港鲉鱼湾港区30万吨级码头工程为实例, 详细分析了半潜驳下潜区水深不满足沉箱浮游稳定要求的问题解决方法, 并与营口港30万吨级原油码头工程中的解决方法进行对比。实际施工结果表明, 起重船助浮大型沉箱半潜驳出运工艺是切实可行的。该方法进一步完善了原有半潜驳出运沉箱工艺的不足, 扩展了半潜驳出运沉箱工艺应用范围。

**关键词:** 大型圆沉箱; 起重船助浮; 半潜驳出运; 浮游稳定

中图分类号: U 169.79

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0195-05

## Shipping of large-scale circular caisson by semi-submersible barge assisted by crane ship

ZHANG Yun-hao<sup>1</sup>, LIU Si-guo<sup>2</sup>, JIANG Heng-zhi<sup>3</sup>, ZHU De-hua<sup>2</sup>

(1. Overseas Business Unit of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

2. CCCC Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd., Tianjin 300222, China;

3. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Taking the 300 000 ton-class oil terminal engineering of catfish bay in Dalian Port as an example, this paper analyzes the solution for the problem that the largest depth of semi-submersible barge could not meet the request of floating stability of large-scale caisson. A comparison with the method of 300 000 ton-class oil terminal engineering in Yingkou port is made. The result shows that the technology of semi-submersible barge shipping large-scale caisson assisted by crane ship is feasible. This method is an improvement of the original shipping technology for the large-scale caisson and had broadened the appliance field of the semi-submersible barge shipping large-scale caisson.

**Key words:** large-scale circular caisson; floating crane ship; semi-submersible barge shipping; floating stability

近10年我国北方港口采用半潜驳出运沉箱的工程逐渐增多<sup>[1-3]</sup>。半潜驳在沉箱下水和浮运施工中均具有明显优势。半潜驳沉箱下水工艺既适用于临时沉箱预制厂, 又可用于固定预制厂, 是滑道、干坞、浮船坞等沉箱工艺的必要补充<sup>[1-4]</sup>。海上运输沉箱时, 采用半潜驳可以较好应对状态复杂的海洋环境, 特别适合运输大型的或因重心高

导致浮游稳定性不足的沉箱<sup>[1-5]</sup>。

然而, 2008年大连港鲉鱼湾港区30万吨级原油码头工程遇到半潜驳下潜到极限深度后沉箱仍不能正常起浮的问题, 同期营口港30万吨级原油码头工程也遇到类似难题。2009年9月1日实施的 JTS 167-2—2009《重力式码头设计与施工规范》(简称规范)增加了应对这种工况的条文: 半潜

收稿日期: 2012-03-02

作者简介: 张耘浩(1980—), 男, 工程师, 从事水运工程施工技术与管理研究。

驳最大潜深不满足下潜区水深要求时,沉箱应减少压载,可采用起重船或浮筒助浮<sup>[4]</sup>。但目前起重船或浮筒助浮半潜驳出运沉箱的工程实例很少。半潜驳出运沉箱工艺亟需完善。

本研究以大连港鲉鱼湾港区30万吨级码头工程为实例,详细介绍了半潜驳下潜区水深不满足沉箱浮游稳定要求时的问题解决方法,并与营口港30万吨级原油码头工程中的解决方法<sup>[5]</sup>进行对比。

### 1 工程概况

大连港鲉鱼湾港区22#码头为30万吨级进口原油接卸码头,泊位设计年通过能力为1 900万 t,是目前国内最大的原油接卸码头,由1个工作平台、4个靠船墩、6个系缆墩、1座引桥组成。这种海中孤立墩式码头常优先采用钢筋混凝土圆沉箱作为重力墩。码头部分共安装大型沉箱14个,各沉箱的位置、直径、高度和质量列于表1,立面和剖面见图1。

表1 压载前沉箱主要技术参数

位置	重力墩编号	沉箱直径/m	沉箱高度/m	沉箱质量/t	重心高度/m
平台墩	6# (4个)	16.75	29.20	3 420	10.32
	1#,11#	16.75	29.20	3 380	10.14
系缆墩	2#,3#	16.75	25.00	3 060	8.34
	9#,10#	16.75	22.00	2 830	7.08
靠船墩	4#,5#,7#,8#	18.00	29.00	3 735	10.29

注:加载前将沉箱视为均质物体,形心与重心重合。计算质量时,钢筋混凝土密度取2 500 kg/m<sup>3</sup>。

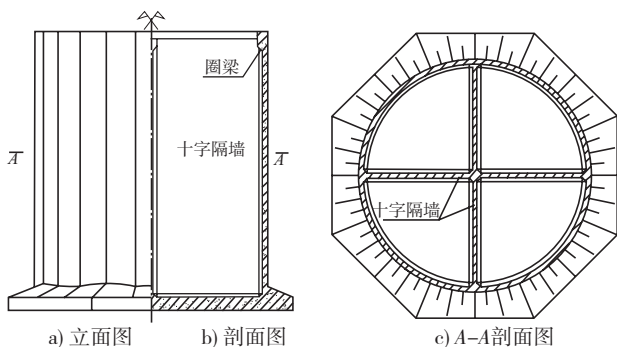


图1 鲉鱼湾港区22#原油泊位沉箱

受周围沉箱预制场设备、海流及风速环境状态影响,鲉鱼湾港区自质量3 000 t以上的沉箱一直采用8#半潜驳下水和浮运,该船工作参数为:长度58 m,宽度36 m,型深5.5 m,甲板支撑梁高1.1 m,工作吃水3.8 m,最大举力50 MN,最大潜深

23.5 m,主甲板最大沉深18 m,甲板荷载80 kPa,满载水线至最大潜深时间2.25 h。

### 2 沉箱浮游稳定分析

根据8#半潜驳性能,沉箱质量为3 800 t时,重心距甲板允许高度为12 m,由表1沉箱重心高度和表2甲板支撑梁高度数据,浮运过程中14个沉箱的重心高度最大值为11.42 m,满足半潜驳浮运对沉箱重心高度的要求。依据规范,沉箱靠自身浮游稳定时,必须按方程(1)验算沉箱浮游稳定性,同时下潜区水深需满足方程(3)要求。沉箱浮游稳定计算结果列于表2,计算示意图见图2,下潜区水深计算结果见表3,计算示意图见图3。

$$m = \rho - a \tag{1}$$

$$\rho = \frac{I - \sum i}{V} \tag{2}$$

$$H \geq T + h_1 \cos \alpha + h_2 \cos \alpha + h_3 + h_4 + l_1 \sin \alpha \tag{3}$$

式中: $\rho$ 为沉箱定倾半径,为图2中定倾中心M至浮心C的距离; $m$ 为定倾高度,为图2中M至中心G的距离; $a$ 为图2中G至C的距离; $I$ 为沉箱在水面处的断面对纵向中心轴的惯性矩; $i$ 为第*i*箱格内压载水的水面对该水面纵向中心轴的惯性矩; $V$ 为沉箱的排水量; $H$ 为下潜区水深; $T$ 为沉箱的浮游稳定吃水深度; $h_1$ 为半潜驳的型深; $h_2$ 为甲板支撑梁高度; $h_3$ 为垫块与沉箱底面间的富裕水深,取0.3 m; $h_4$ 为半潜驳与下潜区基面的最小富裕水深,取0.5 m; $\alpha$ 为沉箱起浮时半潜驳甲板面与水面的夹角,本次计算取 $\alpha = 10^\circ$ ; $l_1$ 为沉箱底面对应的半潜驳长度,如图3所示。

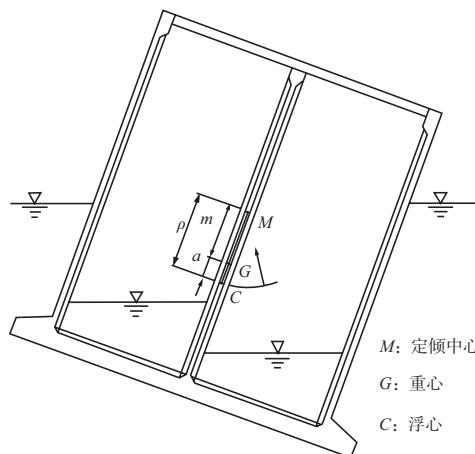


图2 沉箱浮游稳定计算示意图

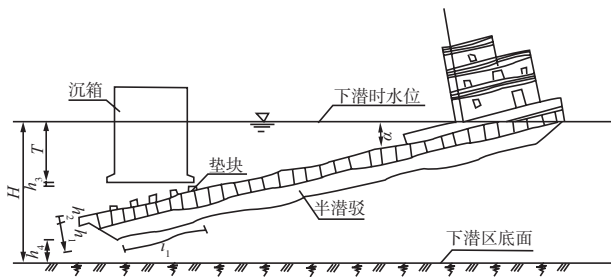


图3 下潜区水深计算示意图

表2和表3计算结果表明: 14个沉箱的定倾高度均不小于0.2 m, 满足规范中关于沉箱近程浮运的浮

游稳定性要求; 但此时1#, 4#, 5#, 6#, 7#, 8#, 11#墩沉箱要求的下潜区水深大于码头前沿水深, 施工中即使半潜驳下潜至极限深度, 这10个沉箱也无法正常起浮。采用常规半潜驳沉箱出运工艺已经不能满足工程要求, 如果采取港池挖泥措施或换用其它沉箱出运方法, 则需另行租用船只或改造码头, 这都将大幅增加沉箱出运成本。从经济和安全两方面考虑, 采用起重船助浮大型沉箱半潜驳出运工艺值得研究和试验。

表2 压载后沉箱浮游稳定计算结果

位置	重力墩编号	压载类型	压载高度/m	T/m	V/kg	重心高度/m	浮心高度/m	$\rho$ /m	m/m
平台墩	6# (4个)	压载水	4.4	17.84	4 139	9.01	8.51	0.72	0.22
	1#, 11#	压载水	4.3	17.56	4 077	8.88	8.37	0.73	0.22
系缆墩	2#, 3#	压载水	2.6	14.67	3 441	7.59	6.94	0.86	0.21
	9#, 10#	压载水	1.4	12.63	2 990	6.72	5.93	0.99	0.20
靠船墩	4#, 5#, 7#, 8#	压载水	4.2	17.19	4 598	8.87	8.21	0.86	0.20

注: 注入压载水后沉箱形心与重心不再重合。计算时, 海水密度取1.025 kg/m<sup>3</sup>。

表3 半潜驳下潜区水深要求

位置	重力墩编号	H/m
平台墩	6# (4个)	28.85
	1#, 11#	28.57
系缆墩	2#, 3#	25.68
	9#, 10#	23.64
靠船墩	4#, 5#, 7#, 8#	28.52

注: 泊位前沿水深为27.0 m。

### 3 起重船助浮大型沉箱半潜驳出运工艺研究

#### 3.1 吊浮计算

首先进行沉箱吊浮计算, 确定吊点数量和吊环直径、钢丝绳直径和角度等, 计算结果列于表4。根据计算, 偏于安全的采用700 t起重船助浮大型圆沉箱、 $\phi 94$ 的压制钢芯钢丝绳、 $\phi 75$ 的圆钢吊环, 配套使用 $\phi 80$ 的卡环。

表4 沉箱吊浮计算结果

工程部位	沉箱直径/m	压水/m	吃水/m	吊浮高度/m	吊浮质量/t	吊点数	角度/(°)	破断力/kN	安全系数	钢丝绳直径/mm	吊环直径/mm
平台墩	16.75	4.4	17.84	1.3	293.47	6	55	597.1	5	76.62	66.70
				1.40	316.05	6	55	643.0	5	79.51	69.21
				1.50	338.62	6	55	689.0	5	82.30	71.64
				1.60	361.20	6	55	734.9	5	85.00	73.99
				1.65	372.48*	6	55	757.9	5	86.32	75.14
系缆墩 (1#, 11#)	16.75	4.3	17.56	1.10	248.32	6	55	505.2	5	70.48	61.35
				1.20	270.90	6	55	551.2	5	73.61	64.08
				1.3	293.47	6	55	597.1	5	76.62	66.70
				1.40	316.05	6	55	643.0	5	79.51	69.21
				1.65	372.48*	6	55	757.9	5	86.32	75.14
靠船墩	18.0	4.2	17.19	0.7	182.49	6	55	371.3	5	60.42	52.59
				0.8	208.56	6	55	424.3	5	64.59	56.23
				0.9	234.63	6	55	477.4	5	68.51	59.64
				1.0	260.70	6	55	530.4	5	72.21	62.86
				1.1	286.77	6	55	583.5	5	75.74	65.93
				1.24	323.27*	6	55	657.7	5	80.41	70.00

注: 1.平台墩和系缆墩吊高每增加10 cm, 吊质量增加22.6 t; 靠船墩吊高每增加10 cm, 吊质量增加23.2 t。2. “\*” 为本工程中700 t起重船的吊质量限制值。

### 3.2 主要工序施工方法

根据气象资料, 确定出运时满足: 风速 $\leq$ 6级, 流速 $\leq$ 1.0 m/s, 波高 $\leq$ 1.5 m, 视程 $>$ 1 000 m。

#### 1) 沉箱平移、拖运。

沉箱在预制场经平移上半潜驳后, 半潜驳8<sup>#</sup>上浮, 拖轮系缆拖航。在拖运过程中要注意观察半潜驳的纵横倾变化情况, 及时调整压载水, 确保半潜驳及沉箱平稳, 并注意通过调整航向来降低半潜驳的摇摆度。

#### 2) 半潜驳驻位、下潜。

沉箱随半潜驳拖运至现场半潜驳下潜区, 下锚驻位后即可开始下潜。要求半潜驳“跨流驻位、顺流出箱”, 半潜驳抛锚时用民船配合作业。

#### 3) 沉箱压水。

半潜驳下潜淹没沉箱进水孔时, 沉箱开始自然压水。沉箱压水过程中重心位置可能发生较大变化, 要注意调整半潜驳各舱室进水速度克服由于沉箱重心位置变化及不平衡压载所造成的倾翻力矩。

#### 4) 起重船驻位。

起重船顺流方向开始驻位, 船尾下八字锚, 船首通八字缆到浮鼓。

#### 5) 沉箱停止压水。

沉箱舱内水深达到计算压水高度, 沉箱满足浮游稳定压水后, 半潜驳停止下潜, 起重人员关闭进水孔, 沉箱停止压水, 检查进水孔是否漏水。若漏水, 潜水人员水下封堵。

#### 6) 起重船助浮沉箱。

起重船拖两根缆上沉箱拖环, 钩头正对沉箱中心, 起重人员将起重船钩头的钢丝扣和沉箱吊环用80 t卡环连接, 起重船做吊浮准备。

#### 7) 半潜驳继续下潜。

半潜驳开始继续下潜, 起重船按表4吊浮计算数据施加荷载。半潜驳下潜达到沉箱稳定吃水 $2/3$ 高度时拖轮靠前, 系好拖带缆绳, 注意拖轮不允许碰靠沉箱。当沉箱实际吃水接近稳定吃水高度即沉箱快要浮起时, 半潜驳调平(纵倾和横倾均为零)。半潜驳继续下潜0.5~1.0 m时沉箱离开半潜驳, 半潜驳可加速下潜, 至最大下潜深度23.5 m时停止, 起重船逐渐给力到设计值, 使沉箱与半

潜驳脱离30~50 cm, 吊浮过程中严格控制吊船吊重, 禁止超过限制吊重。

#### 8) 沉箱浮游稳定。

沉箱顺流出箱、被带出半潜驳后, 起重船下落钩头, 逐步解除吊重, 让沉箱自然漂浮。

#### 9) 解开沉箱与起重船、半潜驳的联系。

起重船解开船头八字缆, 第1个拖轮进入沉箱和半潜驳之间, 引3根缆和沉箱绑在一起。起重人员解开钩头的钢丝扣, 起重船摘掉沉箱拖环上的两根缆, 起重船绞后锚撤走。在塔楼上的起重人员解除沉箱挂在半潜驳上的另两根缆绳, 第2个拖轮靠近, 捆好拖缆后, 两个拖轮傍拖沉箱到储存场储存或现场安装。

### 3.3 类似工程对比

与大连港鲇鱼湾港区30万吨级原油码头工程同期施工的营口港30万吨级原油码头工程<sup>[5]</sup>也采用了钢筋混凝土圆沉箱, 并用半潜驳出运沉箱, 同时也遇到了类似的难题: 1) 沉箱重心高度超出半潜驳许用极限重心高度, 导致平潜作业时稳定性不能满足规范要求; 2) 沉箱浮游稳定吃水17.53 m, 但半潜驳下潜至最大潜深后沉箱最大吃水也只有13.2 m。最终营口港工程中采用半潜驳艏倾下潜加起重船吊扶出运的方法解决了问题。

大连港鲇鱼湾港区30万吨级原油码头工程与营口港30万吨级原油码头工程的主要不同之处在于: 1) 鲇鱼湾港区工程钢筋混凝土圆沉箱的质量更大、高度更高, 其中, 4<sup>#</sup>, 5<sup>#</sup>, 7<sup>#</sup>, 8<sup>#</sup>墩沉箱质量为营口港圆沉箱质量的1.35倍, 高度高了近2 m; 最轻的9<sup>#</sup>和10<sup>#</sup>沉箱质量也超过了2 800 t, 比营口港圆沉箱重70 t, 因此该工程起重船助浮施工难度更高; 2) 鲇鱼湾港区工程不存在沉箱重心高度超出半潜驳许用极限重心高度的问题, 因此施工安全性更高。

大连港鲇鱼湾港区30万吨级原油码头工程和营口港30万吨级原油码头工程是两个解决大型沉箱半潜驳出运问题的成功实例, 两者既可相互印证, 又可以相互补充。两个工程均完善了特殊工况下现有的半潜驳出运沉箱工艺的不足, 扩展了其应用范围, 同时为JTS 167-2-2009《重力式码头设计与施工规范》中指出的“采用起重船或浮

筒助浮”沉箱工艺积累了翔实的数据。

#### 4 结论

在大连港鲇鱼湾港区使用起重船助浮大型沉箱半潜驳出运工艺可以解决半潜驳下潜区水浅导致的沉箱浮游稳定性不足问题。

起重船助浮大型沉箱半潜驳出运工艺进一步完善了现有的半潜驳出运沉箱工艺的不足,并扩展了半潜驳出运沉箱工艺应用范围。同时,鲇鱼湾港区30万吨级原油码头工程也说明,充分利用现有船机设备,大胆进行技术实践,可显著提高沉箱施工能力,获得明显的经济效益和社会效益。

大连港鲇鱼湾港区30万吨级原油码头工程和营口港30万吨级原油码头工程中遇到的沉箱浮运问题有相似之处,既可相互印证,又可以相互补

充。这两个实例证实了JTS 167-2—2009《重力式码头设计与施工规范》中“采用起重船或浮筒助浮”方法的可行性。

#### 参考文献:

[1] 孙宝忠,温金岳.半潜驳出运沉箱工艺在港口工程施工中的应用[J].水运工程,2005(1):68-71.

[2] 马方廷.坐底式半潜驳的开发和应用[J].中国港湾建设,2006(1):62-65.

[3] 赵佳波.半潜驳工程应用功能的新发展[J].中国港湾建设,2008(3):67-70.

[4] JTJ 167-2—2009 重力式码头设计与施工规范[S].

[5] 刘宝河,李建明,祝业浩,等.半潜驳舢倾下潜加起重船吊扶出运大型沉箱工艺[J].中国港湾建设,2009(4):46-48.

( 本文编辑 武亚庆 )

~~~~~ (上接第190页) ~~~~~

清槽换浆完毕后,用测绳对槽底深度进行测量,其沉渣厚度应符合规范与设计要求,并经监理验收合格后方可进入下一道工序施工。

清槽换浆完毕后,必须及时下放钢筋笼和灌注混凝土,延误时间过长,沉渣厚度超出规范要求时应重新清底。

#### 4 施工要点<sup>[3]</sup>

1) 轨道铺设应准确定位、保证平整度,有利于成槽过程中成槽台车的稳定移动(双头上下重叠钻)和桩体垂直度;

2) 喷导管安装起吊过程中采用双吊机4点吊避免喷导管变形;

3) 成槽时跳桩施工,保证土体稳定;

4) 采用渣斗法或围堰法收集渣土;

5) 成槽过程中泥浆指标中黏度可放宽、加快成槽施工。

#### 5 结语

采用气举反循环出渣与潜水多头钻取土形成的新工艺在首钢京唐成品码头共计施工500多根矩

形灌注桩,成槽孔位垂直度100%抽检全部满足设计的1/150以上的要求。采用气举反循环多头钻成槽施工工艺施工遮帘桩取得成功,大大改善了前板桩的结构受力,为板桩码头形式向大型深水码头的拓展应用提供了施工支撑。

气举反循环多头钻成槽施工工艺原理清晰、设备简便灵活,可以根据槽位情况进行组装,可以广泛地应用于各类现场桩基的成槽施工。该工艺还可以与各种其他工艺和工法组合或结合使用,将大大丰富桩基施工工艺的可选性,具有广阔的应用前景。

#### 参考文献:

[1] 从嵩森.地下连续墙的设计施工与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2000.

[2] 吴绪德.抓斗法[M].北京:中国水利水电出版社,2006.

[3] 首钢京唐钢铁联合有限责任公司.首钢京唐钢铁联合有限责任公司二期成品码头第一标段施工组织设计[R].唐山:首钢京唐钢铁联合有限责任公司,2008.

[4] SYGF-1-011-2011 矩形灌注桩气举反循环多头钻成槽施工工法[S].

( 本文编辑 郭雪珍 )