

超大型沉箱出运及安装工艺研究

梁津, 吴昊, 张道良

(中交一航局第一工程有限公司)

摘 要: 针对超大型沉箱出运设备和安装工艺的选择问题, 结合毛里塔尼亚 Greater Tortue Ahmeyim 项目实际情况, 通过超大沉箱稳性验算、封舱方案、浮船坞验算、拖带及安装方案的研究, 提出了超大型沉箱出运安装的工艺和设备选择方案, 给出了浮船坞下潜时的边界条件, 提出了“四点三拖一带”的沉箱拖航方式, 为超大沉箱运安施工提供了重要参考和保证。

关键词: 超大沉箱; 浮游稳定; 浮船坞; 沉箱拖航; 定位安装

1 概述

近年来, 随着国家经济建设的快速发展、世界经济全球化和船舶大型化的发展, 港口码头、跨海大桥、防波堤等水上构筑物也不断向大型化、深水 and 外海方向发展, 工程所用的预制构件也不断向大型化、专业化方向发展, 超高、超重预制构件的使用越来越多。沉箱结构因具有整体稳定性好、地基应力较小、施工速度快等优点, 在一些深水大型防波堤中越来越多的得到应用。

Greater Tortue Ahmeyim 项目(简称 Tortue 项目)防波堤平面图如图 1 所示。

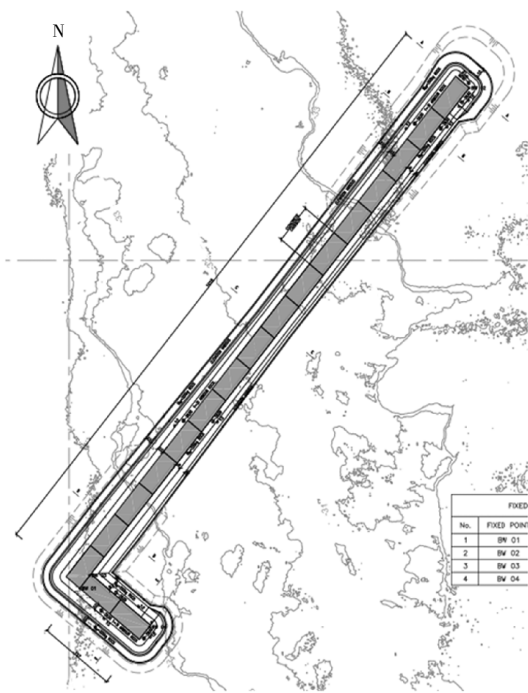


图 1 Tortue 项目防波堤平面图

该项目是位于西非毛里塔尼亚西部海域的浮式液化天然气生产储卸项目, 位于离岸约 10 km 水深约 30 m 的海域。当地波浪条件恶劣, 主要以大西洋长周期波为主, 1 a 中约有 75% 时间波高超过 1 m, 年平均波高为 1.5 m。1 a 中约有 1% 时间波高超过 2.4 m。项目拟建设一条以 18 座超大型沉箱为堤身的防波堤来为天然气生产设施提供掩护条件, 防波堤平面图如图 1 所示。单个沉箱尺寸(长×宽×高)为 63.35 m×31.95 m(含趾)×30 m, 重量约 27 000 t, 见图 2。本文主要结合 Tortue 项目对超大沉箱的出运及安装工艺进行研究, 为类似工程提供指导和参考。

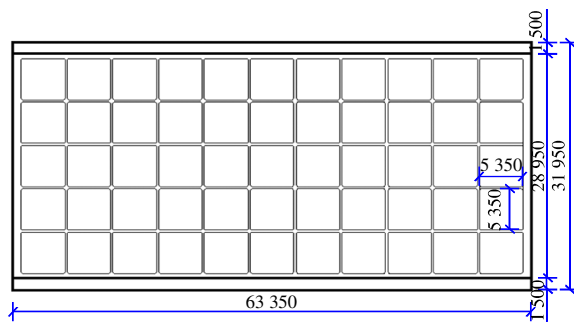


图 2 Tortue 项目沉箱尺寸图

2 工艺研究

2.1 沉箱拖运技术研究

沉箱出运包括沉箱运移下水和海上拖运 2 个步骤。Tortue 项目沉箱因重量大、数量多, 具备预制场建设条件等因素而选用横纵移台车上船、浮船坞存放的出运工艺。预制场设立在距项目地点约 110 n mile 的达喀尔港。由于预制场陆地存放区域不足, 可能造成压台座的问题, 结合水文

气象条件和沉箱长距离运输风险分析,拟采用两次水上存放的方式进行运输:首先将沉箱由预制场通过半潜驳运至1号存放场(运距5 n mile),之后通过拖轮拖带沉箱至2号存放场(运距120 n mile),最后等待适当的施工窗口期将沉箱拖运至现场安装(运距32 n mile),见图3。



图3 Tortue沉箱运输路线示意图

2.2 沉箱封舱工艺研究

本项目两段浮运距离均超过30 n mile,属远程拖运,根据规范要求宜采取密封舱措施。运输过程中采用海水压舱,为保证沉箱运输中的安全,首先需要对沉箱的浮游稳定进行计算,具体如表1所示。

表1 沉箱浮游稳定基本参数表

名称	数值
长 L/m	63.35
宽 B/m	28.95
高 H/m	30.00
排水量 D/t	34 714
吃水 T/m	18.34
浮心 Y_w/m	9.11
定倾半径 ρ/m	3.67
定倾高度 m/m	0.36

根据 JTS 215—2018《码头结构施工规范》^[1],沉箱干舷高度计算公式为:

$$F = H - T \geq \frac{B}{2} \tan \theta + \frac{2h}{3} + S$$

式中: F 为沉箱干舷高度; H 为沉箱高度,取30 m; T 为沉箱吃水,取18.34 m; B 为沉箱宽度,取

28.95 m; θ 为沉箱倾角,取 8° ; h 为波高,取2.4 m; S 为干舷富裕高度,取1 m。

$$F = 30 - 18.34 = 11.66 > \frac{28.95}{2} \tan 8^\circ + \frac{2 \times 2.4}{3} + 1 = 4.626$$
,满足干舷高度要求。

考虑到本项目现场施工窗口期短,沉箱盖板现场浇筑或安装都存在作业量大、时间长、安全风险高的情况,因此选择在沉箱预制场进行现浇钢筋混凝土盖板形式进行封舱^[1]。

2.3 浮船坞下潜稳性验算

沉箱拟采用举力35 000 t浮船坞运输下潜存放至1号存放场,由于超大沉箱浮船坞下水案例较少,首先需要对浮船坞下水稳定性进行验算,见表2。

表2 浮船坞主要参数表

名称	数值
总长/m	148.00
型宽/m	58.00
型深(至承载甲板)/m	10.50
设计吃水(拖带航行)/t	6.50
最大沉深/m	30.00
甲板单位承载力/($\text{t} \cdot \text{m}^2$)	20
塔楼数量/只	4

根据《国内航行海船法定检验技术规则》(2011)^[2]规定:下潜作业工况取沿海作业条件,即风力 ≤ 4 级(蒲氏)、波高 ≤ 1 m、波周期13 s、波长20 m,分别对浮船坞载运沉箱下潜5.5 m稳性及浮船坞载运沉箱下潜7.775 m稳性进行验算^[2],具体见表3。

表3 浮船坞下潜浮态及稳性验算

项目	下潜深度	
	5.5 m	7.775 m
平均吃水/m	5.5	7.775
排水体积/ m^3	60 138	67 980
重心垂向坐标/m	9.20	8.55
横稳心垂向坐标/m	50.58	18.65
每厘米纵倾力矩/($\text{t} \cdot \text{m} \cdot \text{cm}^{-1}$)	1 336.27	219.78
艏吃水/m	5.572	7.78
艉吃水/m	5.428	7.765
初稳性高/m	41.383	10.095
自由液面修正量/m	0.001	0.101
修正后初稳性高/m	47.16	10.004

经过验算,可得出以下结论:

1) 浮船坞载运沉箱的稳性满足规范要求;

2) 载运沉箱时,甲板入水至沉箱入水之间的阶段为浮船坞稳性最差的阶段,其中沉箱入水工况(下潜至吃水 7.775 m)为浮船坞最危险工况,应在沉箱入水采取减小自由液面的措施;

3) 沉箱的重心高度不超过 12.5 m,应尽量将重心高度下降,以保证初期稳性高,留有足够的安全系数。

2.4 沉箱拖航技术研究

沉箱由存放场抽水起浮后采用拖轮拖带方式,根据 JTS 215—2018《码头结构施工规范》,拖带力计算公式为:

$$F = A \gamma_w \frac{v^2}{2g} K$$

$$A = D(T + \delta)$$

式中: F 为拖带力标准值; A 为沉箱受水流阻力的面积; γ_w 为水的重度,取 10.25 kN/m^3 ; v 为沉箱与水流相对速度,取 2.06 m/s ; K 为挡水形状系数,矩形取 1; D 为沉箱宽度,取 28.95 ; T 为沉箱吃水,取 18.34 m ; δ 为箱前涌水高度,取 $0.6 \times 2.4 = 1.44 \text{ m}$ 。

计算得:

$$A = 28.95 \times (18.34 + 1.44) = 572.63 \text{ m}^2$$

$$F = 572.63 \times 10.25 \times \frac{2.06^2}{2 \times 9.8} \times 1 = 1\,270 \text{ kN}$$

根据计算结果,沉箱拖缆力较大,需要在沉箱设置足够数量拖环的前提下采用多点拖航的方式进行拖带。主拖轮计划选用 1 艘主机功率 $4\,500 \times 2 \text{ bhp}$ 的拖轮,辅拖轮计划选用 2 艘 $2\,000 \times 2 \text{ bhp}$ 的拖轮,沉箱后方选用 1 艘 $1\,800 \times 2 \text{ bhp}$ 的拖轮以控制拖航时箱体稳定,见图 4。

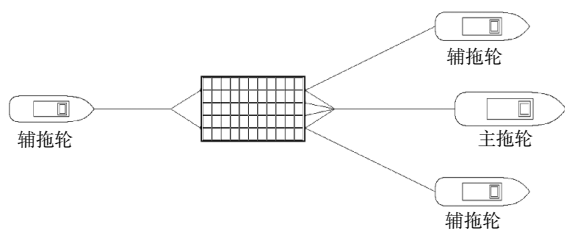


图 4 沉箱拖航状态示意图

2.5 沉箱定位安装工艺研究

超大沉箱的定位安装缺乏可借鉴的经验,一航局第三工程有限公司曾在大连南部滨海大道工程主桥锚碇结构进行过 $26\,000 \text{ t}$ 超大沉箱的安装,

该工程采用 2 座重约 $2\,000 \text{ t}$ 小沉箱辅助定位^[3]。结合本项目沉箱数量多、作业窗口期短的情况,类似工艺不具备经济性且影响整体施工安排,沉箱安装宜采用传统依靠第一座沉箱作辅助沉箱的方式。首先进行第一座沉箱的粗安,再以第一座沉箱为依托安装第二个沉箱,然后对第一座沉箱进行抽水、起浮、调整重新就位。施工中采用 2 艘大型方驳定位,在沉箱系好缆绳后进行定位测量,利用卷扬机调整沉箱位置。位置基本确定后开启进水阀门向沉箱内灌水开始下沉,下沉过程中反复测量保证沉箱平稳下沉。当沉箱底距离基床顶面 50 cm 时关闭阀门,复测并确认位置正确后缓慢开启阀门控制其安装位置在允许偏差范围内,见图 5。

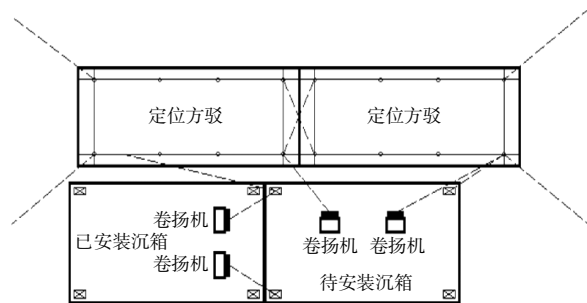


图 5 沉箱定位安装方案示意图

3 结语

超大型沉箱是港口海洋工程走向深海外海的必然发展方向,沉箱的海上浮运和定位安装由于受到外海波浪、潮流、海风等自然条件的影响,是施工中难度最大也是最关键的阶段,本文结合毛里塔尼亚 Tortue 项目开展 $27\,000 \text{ t}$ 超大沉箱出运安装设备和工艺的研究,对提高沉箱出运的安全性提供了技术性建议。在实际施工中,还应对项目所在地的水文气象情况进行充分的调查和研究,进一步分析沉箱拖航、起浮和下潜的各项技术参数,确保超大沉箱的施工顺利完成。

参考文献:

- [1] JTS 215—2018, 码头结构施工规范[S].
- [2] 中国海事局. 国内航行海船法定检验技术规则[M]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [3] 刘焕羽,由金. 超大沉箱定位安装研究[J]. 公路交通科技,2017(6):67-72.