



# 某海外船厂半坞式船台浮箱门设计与制造

汪彦钧

(中船第九设计研究院工程有限公司, 上海 200063)

**摘要:** 某海外船厂半坞式船台浮箱门, 用于该船厂新建船台的挡水。通过对工程投资、施工难易、结构受力及安全可靠性等方面的分析比较, 采用合理措施, 在保证设计与制造质量的同时, 节省成本, 节约工期, 取得了良好效果, 可为类似工程提供借鉴。

**关键词:** 半坞式船台; 浮箱式坞门; 海外; 设计; 制造

中图分类号: U 673.35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)07-0036-05

## Design and manufacturing of floating caisson for semi-dock berth of oversea shipyard

WANG Yan-jun

(China Ship-building NDRI Engineering Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

**Abstract:** The floating caisson for semi-dock berth of one oversea shipyard is for water retaining of this new berth. According to the analysis and comparison of project investment, construction difficulty, structure stress and safe reliability, etc., we take proper measures to guarantee the design and manufacturing quality, and save the cost and time as well. The experience from this project may serve as reference for similar projects.

**Key words:** semi-dock berth; floating caisson; oversea; design; manufacturing

### 1 项目概况

中船第九设计研究院工程有限公司承接 EPC 总包某海外船厂半坞式船台建设工程, 其中有重要非标专用设备挡水浮箱门的设计与制造。工程建设地址位于地中海某船厂, 水文条件为: 平均高潮位 0.13 m, 平均低潮位 -0.13 m, 极端高水位 0.66 m, 极端低水位 -0.51 m。新建一条纵向倾斜半坞式船台, 满足 57 000 t 船舶建造和下水要求, 船台宽 38 m, 长 220 m, 坡度 1/20, 厂区地坪即坞墙顶高程 2.5 m, 船台末端高程 -4.65 m, 设计船舶下水水位 0.0 m。船台平面布置方案见图 1。

### 2 船台挡水闸门设计方案

#### 2.1 闸门主体形式的确定

半坞式船台挡水工作闸门多采用平面插板门

(图 2) 或浮箱式坞门 (图 3) 两种形式<sup>[1]</sup>, 方案设计阶段, 先对两种形式进行比较。

采用平面插板门方案, 门质量约 140 t, 单面止水, 启闭方式为利用船台上方门式起重机起吊, 门体甲板上可以允许人员通行, 但不适宜车辆通过。

采用浮箱式坞门方案, 门质量约 900 t, 可双面止水, 启闭方式为重力自灌水方式下沉, 电动水泵排水方式起浮, 上甲板上可通行 10 t 空载叉车。

插板门单独设备造价低, 但需用到门式起重机起吊, 因此需在坞口外多建一段突堤码头铺设轨道, 使起重机行程能到达坞口。浮箱门不需突堤码头, 操作维修简单, 制造费用也不是很高, 从节省工程投资角度, 比较土建、设备综合造价, 确定采用浮箱门形式。

收稿日期: 2013-11-05

作者简介: 汪彦钧 (1975—), 男, 工程师, 从事非标设备设计、研究以及总承包项目管理。

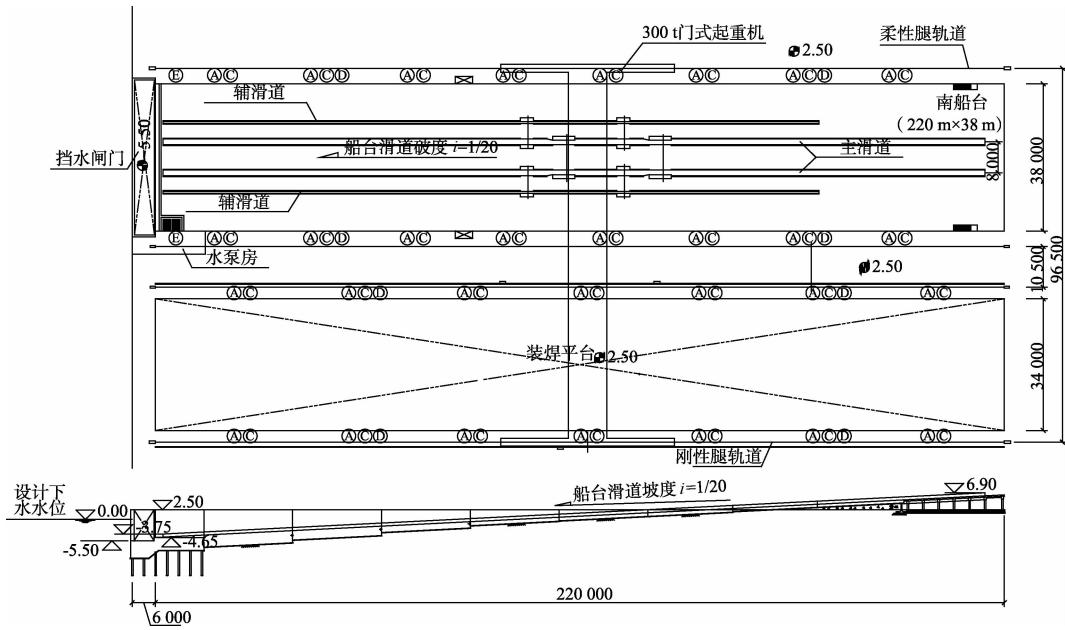


图 1 半坞式船台平面布置方案

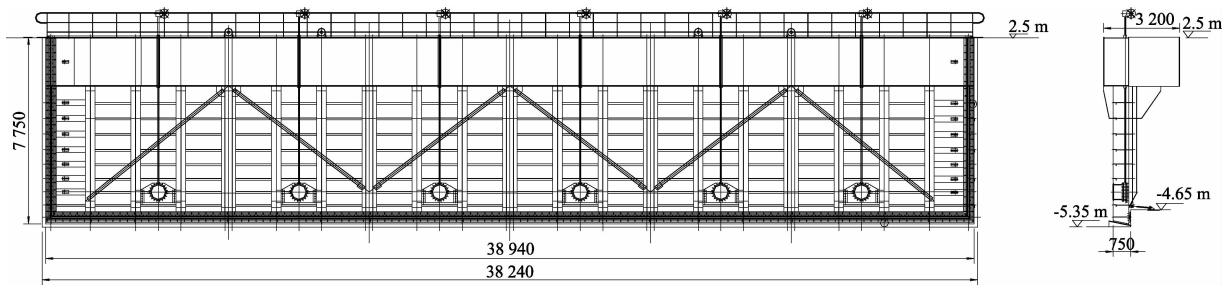


图 2 平面插板门方案

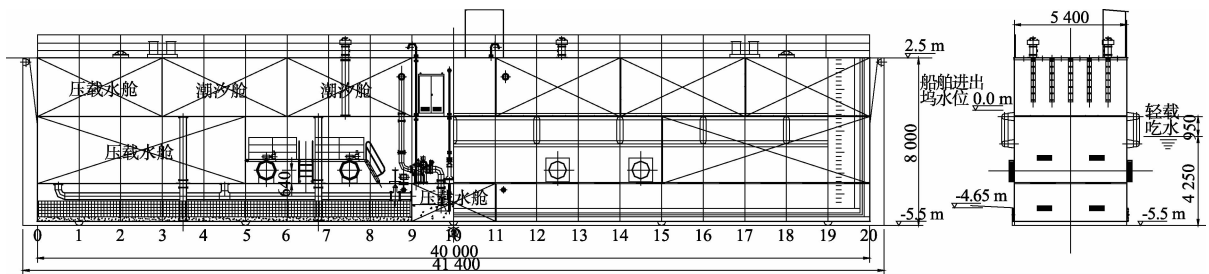


图 3 浮箱式坞门方案

### 2.2 明确坞门技术规格

确定用浮箱式坞门形式后，以国内规范标准<sup>[1-2]</sup>为基础，参考相关国际标准<sup>[3]</sup>进行初步设计。该半坞式船台宽 38 m，加上一定的止水承压面宽度以及坞门在坞口操作时水平偏移空间，可取坞门长度  $L=40$  m。船台末端到坞墙顶面高度为 7.15 m，加上一定的止水承压面高度以及安全间隙，可取坞门高度  $H=8$  m。至于坞门宽度  $B$  和轻载吃水  $d$  取值则需综合考虑，由于坞门总质量即轻载排水量

$W \approx \rho_{\text{水}} L B d$ ，从经济角度考虑， $B$  和  $d$  取值小较好，但另一方面，增大宽度  $B$  对提高坞门稳性有利<sup>[4]</sup>，而轻载吃水  $d$  取值结合舱室布置，决定干舷量  $F$  的变化，从而影响储备浮力、富余压力及坞门稳性等一系列量的变动。根据《干船坞设计规范》<sup>[2]</sup> 第 7.2.1.10 条，保证最高水位时总重力大于总浮力，以及第 7.2.3.2 条，对长度大于 30 m 浮箱式坞门，在轻载吃水时的初稳性高度应不小于 1 m 之规定，经计算论证，确定取坞门宽度  $B=5.4$  m，轻载吃水

$d=4.25$  m, 能够较好地同时满足坞门性能安全可靠、造价投资经济合理两方面要求。

最终确定浮箱式坞门技术规格为: 门体线型尺度(长×宽×高)  $40\text{ m} \times 5.4\text{ m} \times 8\text{ m}$ , 轻载吃水  $4.25\text{ m}$ ; 轻载排水量约  $903\text{ t}$ , 其中结构和设备自质量约  $334\text{ t}$ , 固体压载约  $569\text{ t}$ ; 干舷  $0.95\text{ m}$ ; 轻载吃水初稳性高  $1.04\text{ m}$ 。

### 2.3 坞门受力及结构强度计算

坞门主体形式及技术规格确定后, 需对坞门自身结构及土建基础进行结构受力计算与验证, 以进行详细施工设计。考虑到大风浪, 认为水位到坞门顶, 坞门承受的外侧静水总压力按水力学公式<sup>[5]</sup>计算:

$$P = \rho_{\text{水}} h_c A = \rho_{\text{水}} \frac{H_{\text{门}}}{2} LH_{\text{门}} = \frac{1}{2} \rho_{\text{水}} LH_{\text{门}}^2 \quad (1)$$

式中:  $\rho_{\text{水}}$  为海水密度 ( $\text{t/m}^3$ );  $L$  为坞门外侧面平面长度 ( $\text{m}$ ), 也即门体长度;  $H_{\text{门}}$  为坞门外侧面平面高度 ( $\text{m}$ ), 即门体高度  $H$  减去支座高度  $r$ ;  $A = LH_{\text{门}}$ ,

为坞门外侧面面积 ( $\text{m}^2$ );  $h_c = H_{\text{门}}/2$ , 为坞门外侧面形心高 ( $\text{m}$ )。计算得坞门承受的外侧静水总压力为  $12\,470\text{ kN}$ 。

该水压力由坞口 U 型承压面即底部门槛与两侧门墩承受, 压力分配有两种方法计算, 一种是鹤冈简易计算法<sup>[6]</sup>, 单侧门墩承受水压力  $P_w = P/6$ , 门槛承受水压力  $P_s = 2P/3$ ; 另一种是按《干船坞设计规范》<sup>[2]</sup>第 7.5.5 条计算式进行计算。

$$\sigma = \frac{P}{A_U} \pm \frac{Pe_y}{I_U} \quad (2)$$

式中:  $\sigma$  为计算点的压应力 ( $\text{N/cm}^2$ );  $P$  为静水总压力 ( $\text{N}$ );  $A_U$  为 U 型承压面面积 ( $\text{cm}^2$ );  $I_U$  为 U 型承压面对形心轴  $X-X$  的惯性矩 ( $\text{cm}^4$ );  $e$  为静水总压力至承压面  $X-X$  形心轴的偏心距 ( $\text{cm}$ );  $y$  为计算点至承压面  $X-X$  形心轴的距离 ( $\text{cm}$ )。

前者计算快捷方便, 对于中小型坞门有一定合理性; 后者计算略复杂, 但更精确些。两种方案分别计算比较后, 提供合理数据给水工结构作为坞口承压面结构设计的依据。坞口承压面受力见图 4。

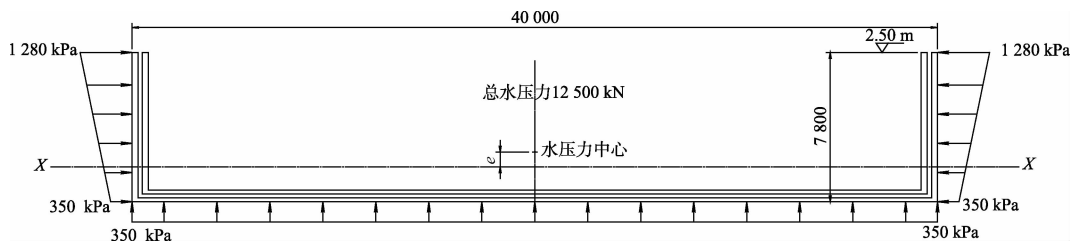


图 4 坞口承压面受力

得出坞口承压面受力以后, 根据相互作用关系, 又可作为坞门承受的反力荷载, 用来计算坞门结构强度。坞门结构强度计算采取容许应力法

直接计算和采用 ANSYS 软件进行有限元分析计算两种方案, 两者结合互相校核, 作为坞门结构设计依据。浮箱式坞门有限元模型见图 5。

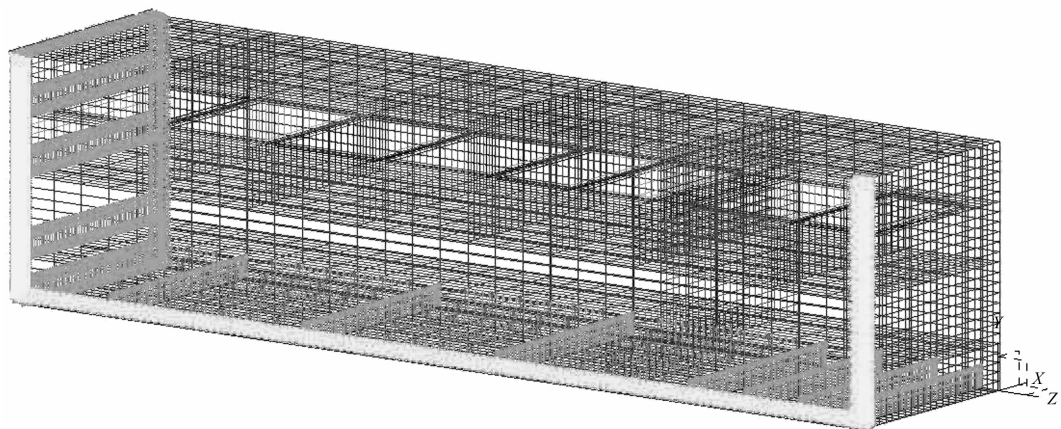


图 5 坞门有限元模型

### 3 坞门制造方案

#### 3.1 分段建造

本项目坞门分段建造有两种方案,一种是国内分段建造完成后运往业主现场总装,另一种是直接在业主现场采购钢材建造分段。前者便于施工与管理控制,但运输成本很高;后者材料、人工成本较高,也不利于控制,但节省了大笔运输费用。综合比较设备造价与施工难易度后,采取折中方案,在国内将坞门分段制作成平面片体后,运输到业主现场,在现场进行立体分段拼装及后续总装工作。该方案降低了材料费、加工费,由于平面片体体积小,也有效降低了运输费。

#### 3.2 总装合拢

总装合拢方案的选择关键是如何选择合适场地,以便坞门总装完后容易下水。坞门下水和船舶一样,从下水原理上看,有重力式、漂浮式、牵引式等方式<sup>[7]</sup>;从利用到的下水设施看,有船台滑道下水、升船机下水、干船坞下水、浮船坞下水和驳船下水等种类。从节约成本、方便施工角度出发,本项目坞门总装合拢定在该半坞式船台内部完成,并向坞内灌水实现坞门就地漂浮式下水。

对于坞门在船台内总装合拢的场地,仍存在两种具体选择,其一为在船台面上进行,其二为坞口区进行。前者便于利用船台面上方大型门式起重机吊运分段,后者则需借助汽车吊等辅助设备来吊运分段。

如图6,对于在船台面上进行坞门总装合拢方案,由于船台存在倾斜度,坞门本身将耗费相当大一部分下水高度,即使如图6b),坞门斜向布置,可以降低部分高度,但此时需横跨900 mm高滑道,实际降低值也有限。经计算,坞内水位0 m高程时,坞门大约只能淹没至吃水2.55 m位置,无法实现在设计轻载吃水4.25 m处起浮。要想下水起浮,解决方法只能是不进行固体压载的安装或仅安装少量部分,减小轻载吃水,待坞门漂

浮,移运出坞口后,再进行其余固体压载的安装。但是,如表1所示,如果固体压载安装不到位,坞门稳性降低,抵抗风倾或带缆不平衡等外力力矩的复原力矩将显著不足,容易倾翻,加大了坞门起浮与拖带过程中的危险性。从安全可靠角度考虑,该方案不予采纳。

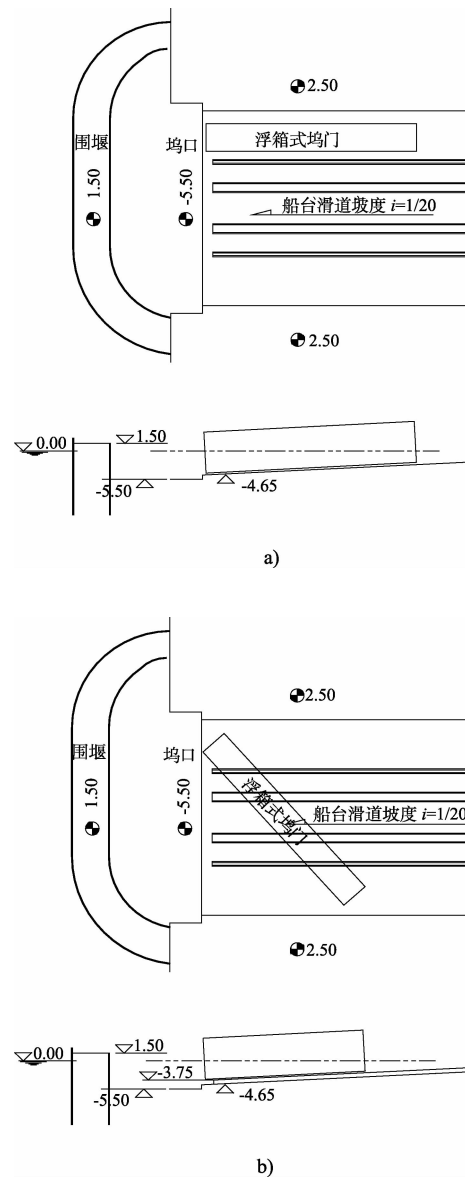


图6 坞门在船台面上总装合拢布置

经进一步的计算复核,采用在坞口区进行坞门总装合拢的方案是可行的,但此状况下坞门没有浮力作用,对坞口底平面的下压力相对于正常工作时增大,因此需重新布置土建基础。坞门在坞口区总装合拢布置及受力见图7。

表1 固体压载量不足时坞门吃水与稳性变化关系

固体压载/t	轻载排水量/t	轻载吃水/m	浮心高/m	重心高/m	横稳心半径/m	初稳性高/m	横倾4°时复原力矩/(kN·m)
569	903	4.25	2.210	1.762	0.596	1.044	658
541	875	4.15	2.175	1.786	0.615	1.004	613
518	852	4.05	2.125	1.805	0.631	0.951	566
496	830	3.95	2.075	1.827	0.648	0.896	519
474	808	3.85	2.025	1.851	0.666	0.840	474
452	786	3.75	1.975	1.877	0.685	0.783	430
430	764	3.65	1.925	1.905	0.704	0.724	386
408	742	3.55	1.875	1.936	0.725	0.664	344
386	720	3.45	1.825	1.985	0.748	0.588	296
362	696	3.35	1.778	1.992	0.762	0.548	267
337	674	3.25	1.729	2.019	0.781	0.492	231
317	651	3.15	1.680	2.045	0.799	0.435	198
295	629	3.05	1.631	2.072	0.818	0.378	166
272	606	2.95	1.582	2.098	0.837	0.321	136

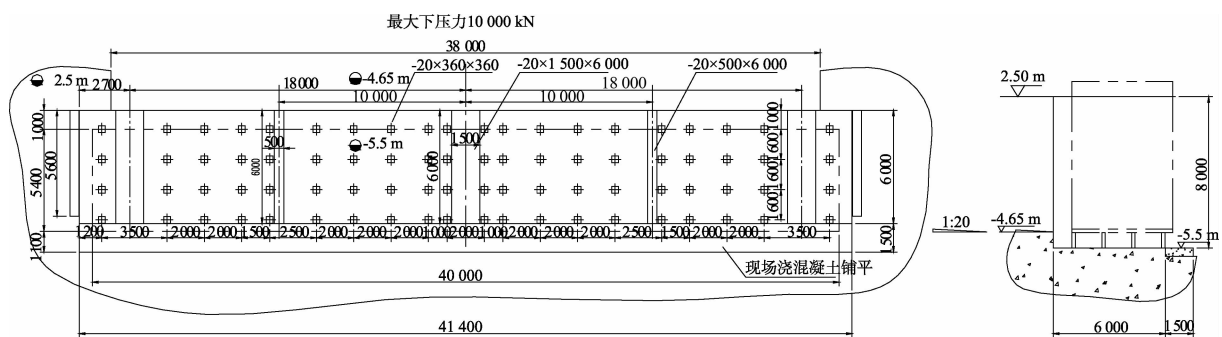


图7 坞门在坞口区总装合拢布置及受力

#### 4 结语

该海外船厂半坞式船台挡水浮箱门，是按EPC交钥匙模式进行设计制造的水工建筑物配套大型非标设备。结合海外工程现场实际情况，设计之初，考虑项目投资经济性，采用浮箱式坞门形式，选择确定合理的技术规格参数，并对坞门自身结构与土建基础工作面两者结合分析计算，进行了稳定可靠的结构设计。其制造从施工操作简捷便利角度出发，对分段建造进行了分解，大部分制造放在现场完成。最后，重点关注设备性能安全，探讨了坞门下水时可能遇到的各种问题，以及应对问题所考虑的解决措施，采取了在坞口进行坞门总装合拢及下水的方式。

该坞门的现场建造与船台、滑道的主体工程建一起交叉安排，同期进行。坞门分段制造放在船台旁装焊平台上完成，待船台坞口区土建施工完工验收后，在坞口区进行坞门的总装合拢以及下水调试。整个船台、滑道的工程建设为期一年半，坞门

现场建造工期不到3个月。如此高效率的运作，在保证质量的同时，极大地节约了成本与工期，降低了能耗，为企业创造出良好的经济和社会效益。其投入使用至今效果良好，表明其设计与制造采用的方案和措施是合理可靠、符合预期的。

#### 参考文献:

- [1] CB/T 8502—2005 纵向倾斜船台及滑道设计规范[S].
- [2] CB/T 8524—2011 干船坞设计规范[S].
- [3] BS 6349—3 海工建筑物·第三分册·干船坞、船闸、滑道和船台、升船机和坞门及闸门设计[S].
- [4] 盛振邦, 杨尚荣, 陈雪深. 船舶静力学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1992.
- [5] 白玉川. 水力学[M]. 天津: 天津大学出版社, 2007.
- [6] 荒谷俊司(日). 大型船坞的结构设计和施工[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [7] 徐兆康. 船舶建造工艺学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.

(本文编辑 武亚庆)