

15000t 半潜驳船设计综述

田明琦 余建伟 王忠复

(上海中集海洋工程研发中心 201206)

摘要: 本文从半潜驳船的设计出发, 详细的阐述了非自航半潜驳船的设计思路、作业原理、以及半潜驳船设计过程中遇到的问题和心得体会。

关键词: 半潜驳船 半潜操船 主尺度确定

一、 序言

半潜驳船是海洋运输市场中, 用于运输超长、超重、超大件以及不适用箱货的特殊货物的装卸运载工具, 也是水下救捞工程不可缺少的重大装备。它的甲板承载作业面积可达到成千上万平米, 且具有强大完整的压载水系统, 可以使船体在数小时内完成升沉作业。

从外形上看半潜船有两岛、三岛、四岛式。其中三岛式半潜船最为常见, 由艏楼和艉部的浮箱组成完整的浮力系统, 保证了半潜船在主甲板入水后仍能提供足够的浮力和稳性, 通过调整压载水的装载量来控制船舶的升沉和浮态。

从动力上有自航和非自航两种。

二、 船型概述

本船虽然看似简单, 但却是实地实事之需求的满足, 针对性、实用性、经济性都是其亮点, 同时具有下水、上墩、运载、维修等多用途。本船为钢质、全电焊、三岛式、非自航的半潜箱型驳。主要用于平台等大型海工构件的下水及上墩维修作业, 也可承载拖运转移。主甲板平直无舷弧, 舳部折角, 舳部设三个呆木, 舳浮箱为可拆式。

本驳船可在基本平静水域进行抬升及沉放操作, 并可满足中国海事局法定检验技术规则对近海航区有人驳的要求, 其深静水中拖速可达 6~7kn。

本驳船举力 8000~12000 吨, 载重量 15000 吨, 可运载大型结构物, 如钻

井平台，工程船舶，海工装备等特高重大物件。本驳船配备专用装载系统，调压载系统，以适应吊上吊下、浮上浮下、滑上滑下等多种装载方式。

设计装载目标有三种典型物品：

- 1) 15000 吨杂货：海工物件，重心较低（吊上吊下，拖航）；
- 2) 典型有浮力货，目标平台约 12000 吨，重心较高，主尺度为 70.4×76×9.45m（滑上滑下以及浮上浮下）；
- 3) 典型有浮力货，目标平台约 8100 吨，重心较高，主尺度为 60.3×57×7.62m（滑上滑下以及浮上浮下）。

作业性能按我国海事局对半潜船的要求设计，可在沿海或港湾海域 6 级风和有义波高 1m 以下，水流速度在长江口 3kn 以下，40m 水深安全沉浮作业；近海水流速度 2kn 以下，100m 水深时安全沉浮作业。本驳船调载系统满足在码头滑移纵向及横向装载的作业要求，原则是涨潮装船不卸船，落潮卸船不装船，高平潮可装卸船；要求调载系统能力为每小时可使本驳船吃水变化值约为 1m，码头平面高距中间潮位水平线为 4.5m，调载操作在本驳船操纵室内由中央控制系统担任。

本驳船为接近海航区拖航有人驳，按中国船级社的相关要求进行设计，干舷，稳性，储备浮力及强度等均满足规范要求。

三、 主要参数

船长	140.0m	载重量	15000t
型宽	50.0m	举力	8000~12000t
型深	8.5m	承载甲板长度	≥90.0m
设计吃水	4.5m	甲板负荷	18.0t/m ²
最大沉深	15.5m		

四、 总体布置

本驳船主甲板为承载甲板，为适应特定的码头情况，按船东要求在甲板上有滑道定位范围线及甲板承载符号，实际使用中，滑道及墩座需根据出具的甲板载荷图及承载符号进行布置。

主体内设有水密纵舱壁 3 道及横舱壁 6 道，并在首部设置独立的机舱（里面布置淡水柜和燃油柜）和泵舱，并在泵舱下设置双层底。全船设置管隧及压载水舱。

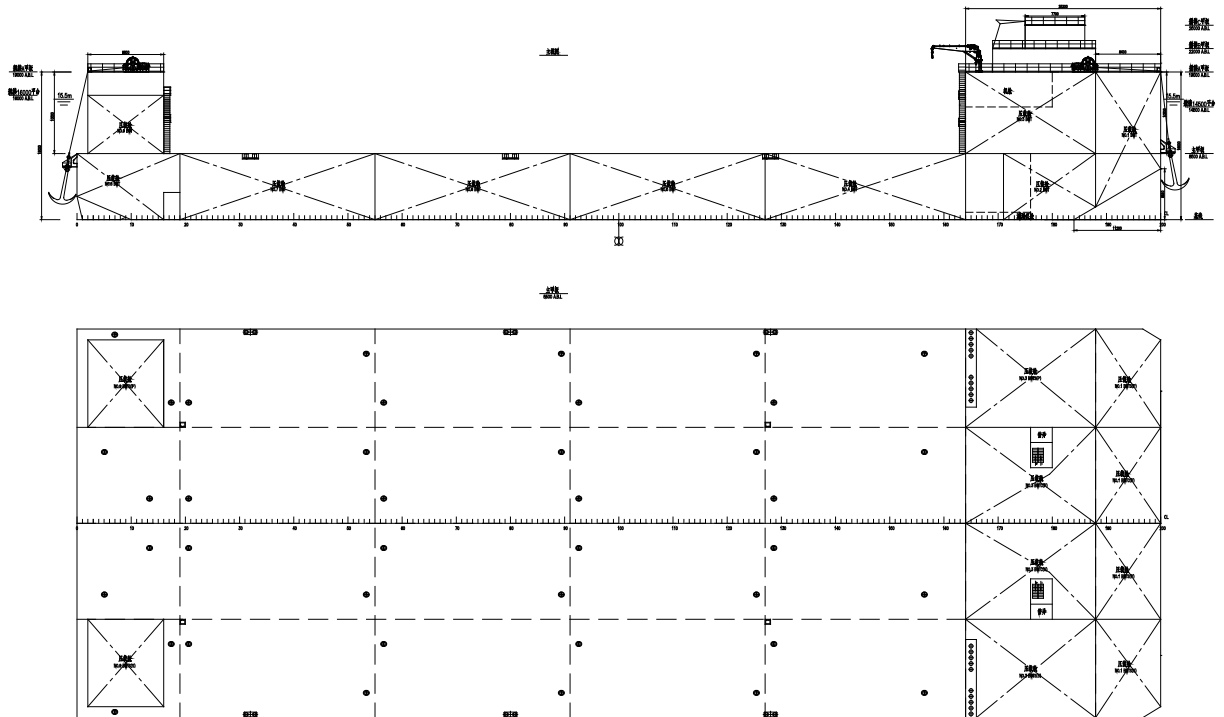


图 1 舱室布置图

艏部甲板室内设有休息室、厨房、餐厅、洗衣间、厕所、浴室、二氧化碳室、电气间、储藏室、蓄电池间、充电机间等，操纵室设在艏部甲板室顶。

艏塔楼布置有工作室和储物舱，楼顶布置有系泊设备。舱底设管隧两道，其艏部相通，艏部与泵舱相连，管隧断面尺度为 2.6×3.5m。本驳船采用自然进水加机械进水以及机械排水方式进行沉浮操作。

五、 稳性要求

半潜船的稳性分析分两种情况：

一种是同于常规运输船的拖航稳性分析方法，只需注意到航行的过程中装载的货物是否能够提供浮力，因为，相对于没有浮力的货品，有浮力的货物可以计及货品提供的水线面积、复原力臂排水体积等方面因素，对船舶的初稳性和大倾角稳性均有利。

一种是对于下潜、起浮的作业情况，目前，各船级社对此的要求并不尽相同。其中 **CCS** 船级社对此的要求是，半潜船满载甲板货物准备下潜时，经自由液面修正后的初稳性高度不小于 **1.0 m**。半潜船满载甲板货物在举升甲板入水或出水过程中，其稳性应满足下列衡准：

- 1) 在基本无浪的平静水域，蒲氏风级不超过 **3** 级时，经自由液面修正后的初稳性高度不小于 **0.05 m**，或蒲氏风级不超过 **5** 级时，经自由液面修正后的初稳性高度不小于 **0.1 m**；
- 2) 在蒲氏风级不超过 **6** 级，有义波高不超过 **0.5 m** 的水域，或蒲氏风级不超过 **4** 级，有义波高不超过 **1 m** 的水域，经自由液面修正后的初稳性高度不小于 **0.15 m**。
- 3) 半潜船下潜至最大沉深时，经自由液面修正后的初稳性高度不小于 **0.5m**。
- 4) 半潜船甲板上无承载物在下潜或上浮的任何阶段，经自由液面修正后的初稳性高度均不应小于 **0.15 m**。
- 5) 存在自由液面的液体舱都应考虑其最大的自由液面影响。
- 6) 承载大型物件、船舶或海洋设施进行下潜作业时，可按承载物的实际位置及浮态计及其对稳性的影响。

半潜驳船由于具有较大的 **B/D**，因此初稳性高度在多数情况下都很富裕。但是，在甲板面入水后的瞬间，若不计及甲板货的水线面积，船本身水线面迅速减小，造成此时的初稳性高度接近于零，甚至是负值，操作安全难以保证。此时需要带有纵倾来减缓水线面面积的减小，对操作人员要求很高。

六、 重量预估

半潜船的空船重量是一个设计的关键因素，半潜船的特点是能潜能浮，因此浮力和重力的平衡是设计的重点。空船重量的要求不同于常规的运输船舶，重量的预估不能太冒进，也不能太保守。过于冒进，则影响装载能力；过于保守，则会在满载压载水的情况下达不到最大的下潜深度，无法完成半潜任务。

七、 半潜操船注意事项

半潜作业过程：自沉-引载-托举-甲板出水-承载运输-到位调载下沉-移载离船-自浮，该过程要考虑到水深、风浪等环境条件。

1. 作业前

本船拖航或移船至预定的工作位置后，准备沉浮作业前，甲板上和各舱室内所有活动物件及工具应予以可靠固定，甲板上所有设备的摆放应注意其对称性，以避免使其产生过大的纵倾或横倾。

本船各压载舱的舱底放泄塞在使用后应立即关闭，在拖航状态和沉浮状态下严禁开启。设在甲板上的各液舱开孔在作业前均应关闭。在每次下潜前必须检查人孔盖是否有损害，并及时维修。本船下潜时需要保证人孔盖严格关闭，确保水密。

应根据各个气象台的预报，掌握包括预定沉浮时间在内的 24 小时的天气变化趋势和气象潮水变化情况。根据气象资料及海上实际情况判明作业时间，风、浪、流以及水深均要符合要求。

必须进行重量重心计算，在计算时，必须考虑承载甲板上墩座或滑道高度，确认装载负荷不超过本船装载手册允许的条件，作业时通过调载尽量保证本船合适的浮态。

应仔细检查电站和压载泵等相关机电设备的运转正常，以及压载管路的通畅，同时要注意阀的关闭是否正常。

2. 作业过程中

本半潜驳沉浮作业应选择在水深不小于 17 米的水域。当半潜驳被拖至下潜水域后，抛锚定位，然后向半潜驳压载水舱灌水。

先开启位于艏楼的操纵室遥控的压载泵控制阀门以及各压载舱进水阀门，让海水自由灌注，同时启动泵舱的 6 台压载水泵，注水时尽量使驳船平稳下沉，注水顺序应参照本船装载手册要求，下沉过程中如果驳船浮态不好时，可以用压载水泵调节。注水各压载舱的顺序及水量应使驳船逐渐平稳下沉。往往甲板上会敷设有一定高度的轨道，用于承载大型货物，在吃水超过 8.5m 后，由于水线面瞬间消失，会导致 GM 值下降较快，GM 值比较小，此时可以考虑略带纵倾作业方式，能够适当提高 GM 值，对船舶的稳性有利。此时连通海水总管的联通管应关闭，由压载水泵来进行加载。

继续向各压载水舱注水，压载舱注水的顺序和水量应使驳船保证强度和稳性的前提下平稳下沉，直至达到要求的沉深。半潜驳与承载物一起下沉，使承载物达到浮游稳定要求。当承载物能自由稳定地漂浮在水中后，用拖轮将其拖离半潜驳上方。

当半潜驳完成了下沉作业后，启动 6 台压载泵进行排水，排水程序按下沉注水相反程序将水排出。全浮后，应对机泵舱设备、系统进行检查观察，不应有正常变形和位移等现象。

为了便于了解各压载舱中液位以及本船吃水状态，也为了压载舱注入或排水的自动化尝试，本船设置了压-电式液位遥测装置。所有压载舱及四角吃水均配有压力式变送器，液位遥测所获得的实时数据将传输到设于操纵室内控制台上的计算机进行实时监控。同时也能输送到机舱集控室进行显示、报警。

八、设计工作的心得体会

1. 主尺度确定

考虑该船的作业航区的水深问题，要保证该船走得动，沉得下，升得起，因此对船的型深以及最大沉深尺寸要考虑。在主尺度的论证阶段，充分考虑了半潜的储备浮力问题，也就是在下潜到最大沉深后，仍有足够的水上部分提供足够的浮力使船能从水中安全起浮，所以对首尾塔楼的尺寸也就提出了较高的要求，太

小储备浮力不够，太大又不够经济，造成甲板面浪费，同时还要兼顾到所载的平台是否能够在最大沉深前便可脱离半潜船漂浮起来。

根据 CCS-06 法规修改通报，半潜作业状态下的储备浮力比率（储备浮力与该吃水下的排水量之比）应满足：最大沉深水线以上第一层甲板以下部分的储备浮力比率应不小于 3.5%；最大沉深水线以上第二层甲板以下部分的储备浮力比率应不小于 5%。

L：船长，要考虑装载量的因素以及拖行阻力的因素，并要考虑纵向装载不但能装得下，还要保证给首、尾楼留有足够的空间，并留有一定的余量，从而决定了船舶的长度。

B：船宽，考虑运载货物的横向和纵向装船，要保证货物装船过程中横倾不超过 0.5 度临界稳性的要求，决定了船舶的宽度。

D：型深，与总纵强度以及机舱处所的布置有关，要考虑到码头高度、和潮位以及压载物重量相互间的匹配问题。

T：设计吃水是综合考虑了拖航干舷、载重量以及船东的要求，最后确定下来。而最大下潜深度，则考虑了平台下水的要求、作业水深的限制等因素。

该船不满足 $L/B > 3$ 的要求，则其总纵强度应采用直接计算确定，该船 $B/D > 3$ ，应用直接计算法校核其横向强度。

针对海工等大型构件，如钻井平台等，此类物件大多重量较大，重心较高，受风面积过大，因此会给装船时的系泊，拖航时的稳性带来很多困难。因此必须平衡装载物的重量，重心，受风面积的关系，每次装货之前都需要进行核算。

2. 调载泵

半潜作业对泵的要求：调载系统能力为每小时可使本驳吃水变化值为 1m。本船为确保半潜驳安全可靠的上浮和下潜，以及货载上船时能及时调载，配置压载泵 6 台，四台大泵，流量为 $1300 \text{ m}^3 / \text{h}$ ，扬程 14m，两台小泵，流量为 $720 \text{ m}^3 / \text{h}$ ，扬程 23m。

本船配置柴油发电机组二台，容量各为 390KW。二台柴油发电机组并车使

用，按电力负荷计算能满足本船沉浮作业时所需设备用电。并设一台停泊柴油发电机组作为辅助动力，容量为 136KW，供全船被拖带或停泊时使用。

六台压载泵可以在同一工况同时工作，即同时注入或同时排出。

本船共 34 个压载水舱，压载水舱总容积约 61000 m³，本船压载管路采用左、右各二路集中注入或排出海水总管方式。每侧压载舱，有 2 个以上吸口同时工作，降低吸口流速。

本船六台压载泵总量 6640 m³ /h，半潜驳设计吃水 4.5m 时排水量约 29175 m³，下潜至承载甲板 8.5m 时的排水量约为 57001 m³，下潜至最大沉深 15.5 米时的排水量约为 67428 m³，空船从设计吃水下潜到最大沉深需 38253 m³ 压载水，届时可以灌注和加载同时进行，约在 5 小时之内即可完成。起升时为重力排放和卸载同时进行，约在 6 小时内完成。

本船压载泵阀门均采用液压遥控蝶阀，由艏楼操纵室遥控。作业时开启压载泵和液压动力单元，根据压载系统的模拟图开/闭所需的阀件。应提醒的是要随时注意四角吃水，保证船舶浮态和安全。

3. 机、泵舱

在半潜驳船的设计中，机舱和泵舱有两种布置形式，各有优缺点：

机舱和泵舱在一起设于船底，利于操作，方便布置；但是人员的出入会带来不便。而机舱在上、泵舱在下分开布置，则带来操作上的不便，但是机舱内人停留的时间会更久，工作环境在上面会好些。本驳船采用第二种设计。

另外，泵舱可以集中泵，也可以首尾分开布置泵舱。集中泵的话，管理操作方便点，但是长距离的压载管线打水，对泵的要求就要提高；分开布置，需要另外开辟一块空间来放设备，必定有一处会离机舱较远，但在管系布置压载水调节方面可能会有一定好处。具体的话，最好是结合总布置的情况，及机舱，管系的布置综合考虑，比较下优劣。最好是能根据实际的设计情况，做下方案比较。

4. 锚泊定位

本驳船由系泊绞车、大抓力锚及钢索组成的四点锚泊定位系统进行安全定

位。首锚 2 个，尾锚 2 个，均为大抓力锚，每只重 6500kg。单卷筒锚绞车额定拉力为 400 KN。

5. 拖航牵引

采用前主拖及尾部小拖轮以保持航向稳定性。

6. 轨道敷设的底部加强

我们的设计甲板载荷为 18t/m^2 ，高于同类型其它船型 10t/m^2 或 12t/m^2 ，甲板有很强的承载能力。如果托运平台，根据装载方向和平台尺寸，可纵向敷设 3 根轨道，横向敷设 3 或 5 根轨道。轨道宽度和尺寸已经固定，每根间距 15m，可左右调节 0.5m。所以给我们的结构设计带来了麻烦。

7. 空气管布置

每个压载水舱设独立空气管，主甲板以下压载舱的空气管沿主甲板大 T 排下沿敷设，并引到艏部甲板室前侧向上，出口高于最大沉深。空气管在其舱内艏艉端各设一个透气口，透气口的截面积与注入/排出管截面积相同，以保证本船无论艏倾还是艉倾都能顺利透气。每个压载舱的空气管截面积不少于该船注入/排出管截面积的 1.25 倍。



图 2 下水后的实船照片

九、 小结

如何根据需求，设计令用户满意的船舶，设计者必须吃透用户的要求，并在工作中及时沟通，多加考虑，尽可能把各方面的因素考虑完整。当然，这也需要经验和实践的累积。15000t 半潜驳船型式新颖，结构紧凑，布局合理，充分考虑了用船方的经济效益。该船目前已经完工交付。

参考文献：

- [1] 半潜运输船的自主开发，王忠复，仲伟东，708 研究所
- [2] 半潜驳出运沉箱工艺介绍，温卫军，珠海工建七处
- [3] 18 000 t 半潜船结构设计研讨，周兰辛