



受限水域半潜驳码头平面设计

于志安, 唐一夫, 闫科谛

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对深中通道桂山岛预制场钢壳卸驳码头水、陆域受限的情况, 对受限条件下半潜驳码头平面设计进行研究。采用船舶停泊水域和回旋水域分离布置方案, 并布设岸上系缆柱辅助半潜驳多次转向和平移, 解决半潜驳大角度转向靠泊问题。半潜驳进港移动轨迹证明该方案满足半潜驳靠泊码头的需要; 卸驳码头水域布置突破了常规港池设计, 减小码头水域的占用范围。

关键词: 深中通道; 卸驳码头; 受限水域; 半潜驳; 分离布置; 岸上系缆柱

中图分类号: U 652.7; U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S1-0047-05

Design of general layout of wharf for semi-submerged barge in restricted water area

YU Zhi-an, TANG Yi-fu, YAN Ke-di

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Considering the water and land area restriction of the steel-shell unloading wharf of the precast yard on Guishan Island for Shenzhen-Zhongshan Bridge, we research the general layout of the wharf for a semi-submerged barge in the restricted conditions. We adopt a separated arrangement scheme for the berthing area and turning area and enable the sharp turn of the barge before berthing by laying bollards on shore to help it turn around and move repeatedly. The barge track proves that the arrangement can meet the need of barge berthing. The design of general layout of the unloading wharf breaks through conventional design and reduces the occupied area of the water area for the wharf.

Keywords: Shenzhen-Zhongshan Bridge; unloading wharf; restricted water area; semi-submerged barge; separated arrangement; bollards on shore

深中通道高程沉管隧道标准管节长 165 m、宽 46 m, 采用双钢板-混凝土组合结构^[1], 部分沉管钢壳结构在龙穴造船基地完成制作后以半潜驳运抵桂山岛上岸, 在桂山岛完成混凝土浇筑并下水。钢壳在造船基地平台建造并由液压小车、模块车滚装转运至半潜驳上, 而后液压小车、模块车卸荷, 钢壳转换为由船上支墩支撑。半潜驳携带钢壳、液压小车^[2]、模块车, 由拖轮拖带至桂山岛卸驳码头。半潜驳型总长 161.6 m、型宽 56.0 m、型深 8.8 m, 运载钢壳时吃水为 4.5 m。半潜驳采

取“丁靠”形式靠泊卸驳码头, 其尾部正对码头前沿靠泊灌水下潜。半潜驳与卸驳码头对接完成后, 钢壳在半潜驳上再次转换为由液压小车、模块车支撑, 并经由码头顶部的轨道滚装上岸。

采用液压小车滚装转运船体是平地造船工艺船舶下水通用方式的一种^[3], 国内有关研究重点关注该方式船舶和海洋结构物的下水技术、设备等配套设施^[4], 对配套码头未予关注。此类码头的作业特点与滚装码头类似, 其平面布置原则上可以参考《海港总体设计规范》^[5]进行设计, 但是

收稿日期: 2021-12-23

作者简介: 于志安(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口、航道、水利工程咨询与设计。

桂山岛预制场的钢壳卸驳码头受多方面因素影响，水、陆域条件受限，执行规范存在一定困难。卸驳码头平面布置形式和尺度设计突破常规，采取停泊水域和回旋水域分离布置的方案，并在岸上增设辅助靠泊系缆柱，辅助半潜驳完成近 90°转向并靠泊码头，减小了码头水域的占用范围。

1 码头设计限制条件

1.1 卸驳码头位置受限

深中通道桂山岛沉管预制场主要作业流程为：钢壳运抵桂山岛→半潜驳进港靠泊卸驳码头→钢壳卸驳→卸驳区支撑转换→浇筑区浇筑混凝土→浅坞区一次舾装→灌水横移至深坞→浮运安装。预制场在桂山岛原有工程基础上改造，为了减少改造内容、降低改造难度，预制场主体功能区布置尽量利用原工程场地而不做较大调整，预制场陆上施工流水线由北向南依次布置浅坞区、浇筑区。

钢壳卸驳工序在混凝土浇筑之前，钢壳卸驳区、卸驳码头宜紧邻混凝土浇筑区布置；同时钢壳卸驳对作业精度要求高，码头水域需要具有良好的掩护条件。结合预制场施工工序安排和流水线布置情况，浇筑区南侧原有场地空旷且紧邻掩护水域，卸驳区布置于此便于钢壳卸驳上岸、存储和转移，使施工流程更顺畅。因此受工序安排和场地条件限制，卸驳码头只能布置在预制场浇筑区南侧的崎沙湾内。卸驳码头位置如图 1 所示。



图 1 卸驳码头位置

1.2 卸驳码头水域受限

卸驳码头布置在崎沙湾北侧湾底，码头南侧水域拟布置半潜驳靠泊下潜作业水域。崎沙湾平面上呈狭长形，东西宽约 150 m，南北长为 300 m。崎沙湾口门位于其西南侧长边，口门东侧为岩石裸露的岩岬，西侧为斜坡式抛石护岸，岩岬和护岸环抱形成口门宽约 130 m 的掩护水域。湾内西岸抛石斜坡护岸前已建离岸墩式码头，码头长为 85.24 m，船舶回旋水域直径为 117 m，布置在码头正前方；东岸已建直立码头长 110 m，南端部距口门约 50 m，回旋水域设置在泊位端部，崎沙湾口门处回旋水域直径为 172 m。可见，崎沙湾水域与钢壳运输半潜驳的尺度相比较为狭小。

1.3 码头水域设计难点

为方便船舶靠、离泊，常规设计一般将船舶回旋水域紧邻前沿停泊水域布置，布置在停泊水域正前方或其端部附近，船舶在回旋水域内调整合适姿态后依靠自身动力或拖轮协助靠泊码头。掩护条件较好的水域，船舶回旋水域直径一般取 1.5~2.0 倍设计船长，码头前沿需要有比较开阔的水域。

深中通道桂山岛预制场卸驳码头受沉管预制施工工序和场地条件限制布置在崎沙湾内(图 1)，码头水域周边或为码头结构物或为岩石、抛石岸坡。码头靠泊的半潜驳长 165 m、宽 56 m，湾内水域宽度不足 1 倍船长，相对半潜驳尺度而言水域狭小，难以布置回旋水域。若采取对湾口门改造拓宽的措施，不仅需大范围拆除口门护岸和爆破清除岩岬，影响已建码头结构，施工难度大，工程造价高，而且破坏了港池掩护条件，影响钢壳卸驳安全作业条件和时间，给工程整体工期目标带来风险。

2 码头平面设计

2.1 码头尺度确定原则

为适应上述限制条件，同时满足钢壳卸驳作业需要，卸驳码头尺度确定遵循以下原则：1) 充

分考虑现状和预制场总体布置, 尽量不破坏港池掩护条件、不拆除已建构筑物; 2) 浇筑区轨道顶高程为 2.0 m, 码头轨道顶高程、卸驳作业时半潜驳轨道顶高程须与陆上轨道保持一致; 3) 运移小车和模块车高度均为 1.5 m, 码头顶面高程须低于钢壳上岸时底高程; 4) 为保证对钢壳运输选定的窗口条件的适应性, 船舶作业水位选择设计低水位-0.52 m; 5) 条件允许的情况下, 码头尺度计算方法和参数取值参考《海港总体设计规范》的规定; 当码头尺度不满足规范要求时, 采取工程措施辅助作业; 6) 湾外船舶拖带作业波高采用重现期 2 a 的 $H_{4\%}$ 为 1.1 m。

2.2 码头水域平面设计

为了克服崎沙湾内水域促狭的限制条件, 码头水域平面设计突破常规, 将停泊水域和回旋水域分离布置, 中间设置连接水域。

1) 码头前沿停泊水域须满足半潜驳下潜并对接码头结构平台, 进而实现钢壳从半潜驳向码头转移的作业要求, 只能充分利用湾内水域布置。参考《海港总体设计规范》关于丁靠的滚装泊位长度确定方法, 卸驳码头前沿停泊水域顺岸向长度至少需要 168 m(3 倍型宽)。卸驳码头受陆上沉管生产线布置和湾底岸坡、湾口结构物等条件限制, 难以按照规范数值设置停泊水域。因此, 在考虑船两侧构筑物布置现状的基础上, 为半潜驳与岸上轨道精确对接适当预留调整空间, 半潜驳停泊水域两侧的富余宽度取 12 m(距建筑物最大净距), 停泊水域顺岸向长度取 80 m, 垂直岸向的长度取 200 m。岸上设置系缆柱辅助系泊。

半潜驳型深 8.8 m, 其甲板顶部轨道高度 0.157 m, 因此半潜驳下潜作业时其底高程为-6.957 m, 半潜

驳底部预留 1.0 m 富余水深, 码头前沿停泊水域底高程取-7.9 m。

2) 回旋水域。湾内水域狭小, 难以满足回旋水域布置需要, 将船舶回旋水域布置在崎沙湾口门以外。考虑半潜驳运输钢壳作业选择风浪条件好的窗口并有拖轮协助且湾外水域开阔, 回旋水域直径按 2 倍船长设计, 取 324 m。为保证回旋水域能够适应各选定的窗口条件下运输钢壳需要, 船舶作业水位选择设计低水位-0.52 m。回旋水域底高程确定参考《海港总体设计规范》的方法和参数取值, 取-6.7 m。回旋水域底高程计算参数及结果见表 1。

3) 连接水域。停泊水域与回旋水域之间通过湾口设置连通水域, 码头水域布置呈 L 形, 连通水域底高程与回旋水域取值一致, 为-6.7 m。码头水域布置如图 2 所示。

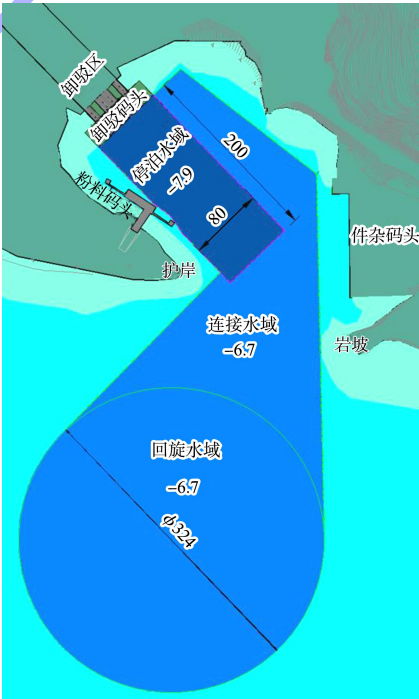


图 2 码头水域布置 (单位: m)

表 1 回旋水域底高程计算参数及结果

半潜驳吃水/m	船体拖带下沉量/m	龙骨下最小富余深度/m	波浪富余深度/m	船舶纵倾富余深度/m	备淤深度/m	回旋水域底高程/m
4.5	0.2	0.3	0.624	0.15	0.4	-6.7

2.3 码头陆域平面设计

2.3.1 岸上辅助靠泊系缆柱

卸驳码头水域布置呈 L 形, 半潜驳需要通过

狭窄的门口并完成近 90°的转向后才能靠泊码头。崎沙湾口门狭窄, 限制了半潜驳进港方向, 可调空间不大; 湾内水域本就狭小, 又因为湾内正对

口门即为直立岸壁码头结构物，口门水域的纵深明显不足，半潜驳须经多次转向和平移才能靠泊。为了保证船舶多次转向操作的精准性、安全性，卸驳码头设计时新增 9 个岸上系缆柱，同时利用件杂码头原有系缆柱，辅助半潜驳转向、平移。岸上系缆柱布置如图 3 所示。

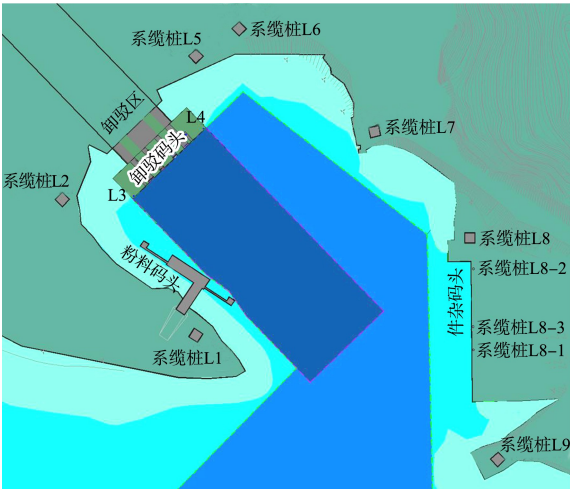


图 3 岸上系缆柱布置

半潜驳进港靠泊时，船上缆绳经出缆孔与岸上系缆柱连接，由半潜驳甲板上设置的绞盘提供绞缆动力，拖拽半潜驳向预定位置转向、平移，岸上作业人员根据半潜驳位置适时换缆，调整半潜驳姿态和行进方向。半潜驳进港靠泊同时需水上抛锚和拖轮顶推、拖曳协助。半潜驳出缆孔布

置见图 4，进港时换缆情况见表 2，半潜驳进港靠泊移动轨迹如图 5 所示。半潜驳进港靠泊移动轨迹显示，在岸上系缆柱的辅助下码头水域平面布置能够满足半潜驳靠泊码头的需要。

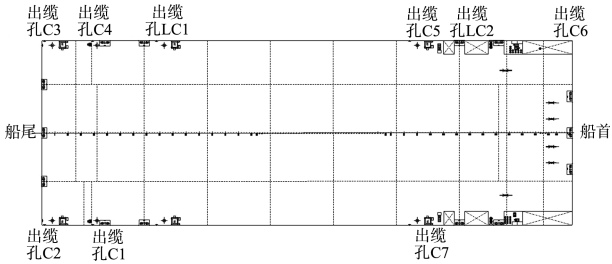


图 4 半潜驳出缆孔布置

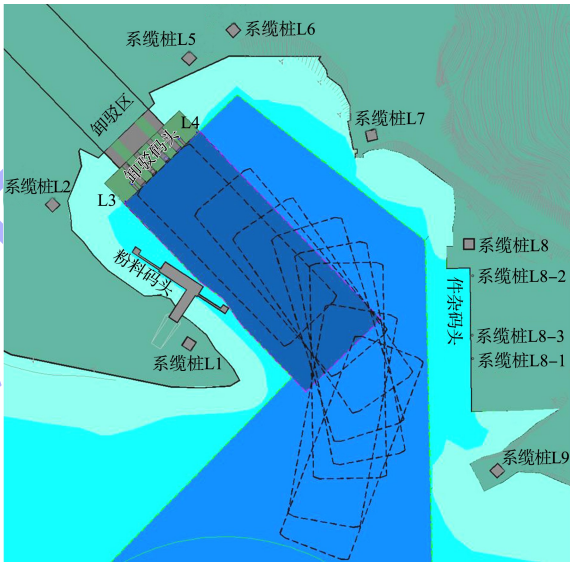


图 5 半潜驳进港靠泊移动轨迹

表 2 半潜驳进港过程中换缆情况

作业步骤	作业内容
第 1 步	①半潜驳回旋调整尾部正对湾口,右前、右后、左前拖轮倒傍拖半潜驳进港; ②半潜驳尾部正对件杂码头中部位置,抛右首锚; ③带缆 C1—L2、C2—L4、C3—L7、C4—L8-1,解除右后拖轮,至船首拖曳
第 2 步	④缓慢收紧缆绳,使半潜驳在拖轮及缆绳作用下向里进、向左转; ⑤半潜驳尾部左后至件杂码头北端,带缆 C5—L9,解除左前拖轮
第 3 步	⑥缓慢收紧缆绳,使半潜驳在拖轮及缆绳作用下向里进、向左转; ⑦半潜驳尾部左后至 L8 处,C4—L8-1 换缆至 C4—L8,换缆前带临时缆 LC1—L8-2,换缆后解除
第 4 步	⑧缓慢收紧缆绳,使半潜驳在拖轮及缆绳作用下向里进、向左转; ⑨船首到达 L9 处,从左首浮箱带缆 C6—L9,C5—L9 换至 C5—L8-3
第 5 步	⑩继续缓慢收紧缆绳,使半潜驳在缆绳作用下向里进、向左转
第 6 步	⑪船首正对件杂码头中部,C2—L4 换缆至 C2—L3,C4—L8 换缆至 C4—L6; ⑫C3—L7 换缆至 C3—L4,带缆 C7—L1,解除右前拖轮,保留船首拖轮
第 7 步	⑬缆绳控制半潜驳向码头缓慢移动,半潜驳进入湾内,完成转向; ⑭带缆 LC2—L8,C5—L8-3 换缆至 C5—L6,C4—L6 换缆至 C4—L5
第 8 步	⑮绞缆控制半潜驳后退缓慢移动至码头前沿下潜位置

2.3.2 码头陆域平面布置

卸驳码头陆域布置包括码头和卸驳区。钢壳卸

驳和预制场内转移分别由两个标段实施, 因此钢壳转运设备配置两套, 码头陆域平面布置如图 6 所示。

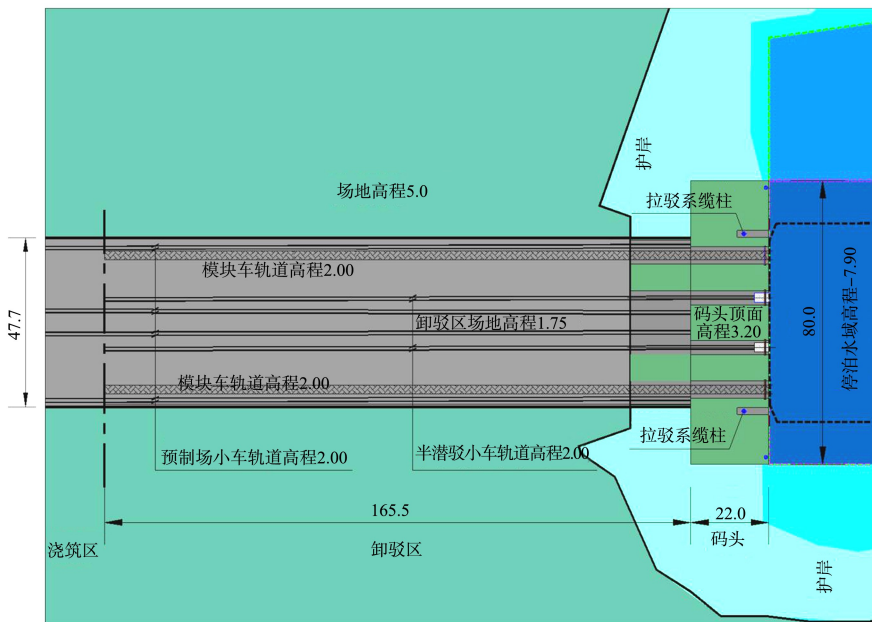


图 6 码头陆域布置 (单位: m)

码头平台长为 80.0 m, 考虑结构受力及桩基布置码头宽取 22.0 m。钢壳卸驳作业时, 钢壳底高程为 3.50 m, 考虑预留一定的富余高度, 码头顶面高程取 3.20 m。码头平台由前向后设置 2 条模块车行走通道和 2 条液压小车行走轨道, 通道顶和轨顶面高程均为 2.00 m。码头在钢轨临海处预留开槽, 用于搭接半潜驳轨道与码头轨道连接钢结构; 为辅助半潜驳向码头移动靠泊, 码头两侧距中心线 25.0 m 位置各设置 1 个拉驳系缆柱。为避免高水位时海水顺模块车通道和小车轨道倒灌淹没卸驳区, 码头前沿设置止水钢闸门。

卸驳区长 165.5 m、宽 47.7 m, 卸驳区设置 8 条通道, 其中 4 条为钢壳卸驳所需的 2 条模块车行走通道和 2 条液压小车行走轨道, 由码头前沿延伸贯通卸驳区布置, 另外 4 条为钢壳在预制场内转移所需的液压小车行走轨道, 仅在卸驳区内布置。为钢壳在卸驳区内完成 2 个标段间交割, 卸驳区设置 4 列混凝土支墩, 钢壳进入卸驳区后降低钢壳卸驳所需的液压小车和模块车高度, 将

钢壳转换至混凝土支墩支撑。根据工序安排, 预制场的液压小车选择合适时机将钢壳由卸驳区转运至浇筑区。

3 结论

- 1) 卸驳码头平面设计克服工程水、陆域受限的不利条件, 提出将船舶停泊水域和回旋水域分离布置的方案, 同时通过布设岸上系缆柱辅助靠泊, 解决了半潜驳大角度转向靠泊码头的问题。卸驳码头水域布置突破了常规港池设计, 减小了码头水域的占用范围。
- 2) 受限水域条件下, 将船舶停泊水域和回旋水域分离布置, 尤其是半潜驳进港靠泊需要完成大角度转向, 需要岸上带缆、半潜驳绞缆作业, 增加了码头靠泊操作的难度和作业时间。因此, 该方式对于船舶靠泊频率不大的特殊用途码头适用性较好, 对于船舶靠泊频率高的码头, 采用该方式需要结合实际情况优化船舶靠离泊辅助方式和流程。