



陆丰甲湖湾电厂配套码头水工结构创新

刘海欣, 王 更, 张丽珍

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 码头面不均匀沉降、大小泊位衔接不顺等是重力式码头中的常见质量问题。广东陆丰甲湖湾电厂1、2号机组和3、4号机组配套码头为岸壁式重力式码头, 相比常规码头2 000 t左右的沉箱构件, 该码头主体采用4 600 t以上的超大沉箱, 减少了构件和结构缝数量, 并通过统一主要构件的受力条件、设置过渡板针对性解决码头面不均匀沉降, 通过设置过渡沉箱和预制块体解决了大小泊位衔接处的基床夯实问题。同时在码头结构与上部结构一体化设计以及附属设施选型方面均进行了一系列创新, 实践表明达到了预期效果。

关键词: 重力式码头; 沉箱; 不均匀沉降; 大小泊位过渡

中图分类号: U656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)10-0056-07

Innovation of hydraulic structure in Jiahuwan Power Plant supporting wharf in Lufeng

LIU Haixin, WANG Geng, ZHANG Lizhen

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: The uneven settlement of wharf surface and the unsmooth convergence between large and small berths are common quality problems in the gravity wharf. The supporting wharf of No. 1-2 generating units and No. 3-4 generating units of Jiahuwan Power Plant in Lufeng, Guangdong is a shore-wall gravity wharf. Compared with the caisson components of about 2,000 t of conventional wharves, the main body of the this wharf is adopted a super-large caisson with a mass of more than 4,600 t, which reduces the number of components and structural joints. By unifying the loading conditions of the main components and setting the transition plate, the uneven settlement of the wharf surface is solved. By setting the transition caisson and the prefabricated block, the foundation compaction at the convergence between large and small berths is solved. At the same time, a series of innovations is made in the integrated design of marine structure and superstructure and the selection of ancillary facilities. The practice shows that the expected results is achieved.

Keywords: gravity wharf; caisson; uneven settlement; convergence between large and small berths

1 工程概况

陆丰甲湖湾电厂位于广东省汕尾市陆丰市湖东镇, 电厂规划规模容量为8台1 000 MW机燃煤机组, 分两期建设, 一期建设4台1 000 MW机组, 其中1、2号机组已于2019年7月全面建成投产, 1、2号机组配套建设码头的内容包括1个10万吨级卸煤泊位(水工结构按照靠泊15万吨级船舶设

计和建设)和1个3 000吨级重件泊位, 码头采用重力式方沉箱结构方案, 其中煤码头单件方沉箱质量约4 800 t, 为华南地区岸壁式码头中最大的沉箱结构。3、4号机组扩建工程目前已完成设计, 正在组织实施, 配套建设1个10万吨级卸煤泊位(水工结构按照靠泊15万吨级船舶设计和建设), 码头采用重力式方沉箱结构方案。码头平面布置见图1。

收稿日期: 2024-01-09

作者简介: 刘海欣(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口海岸工程的设计及管理。

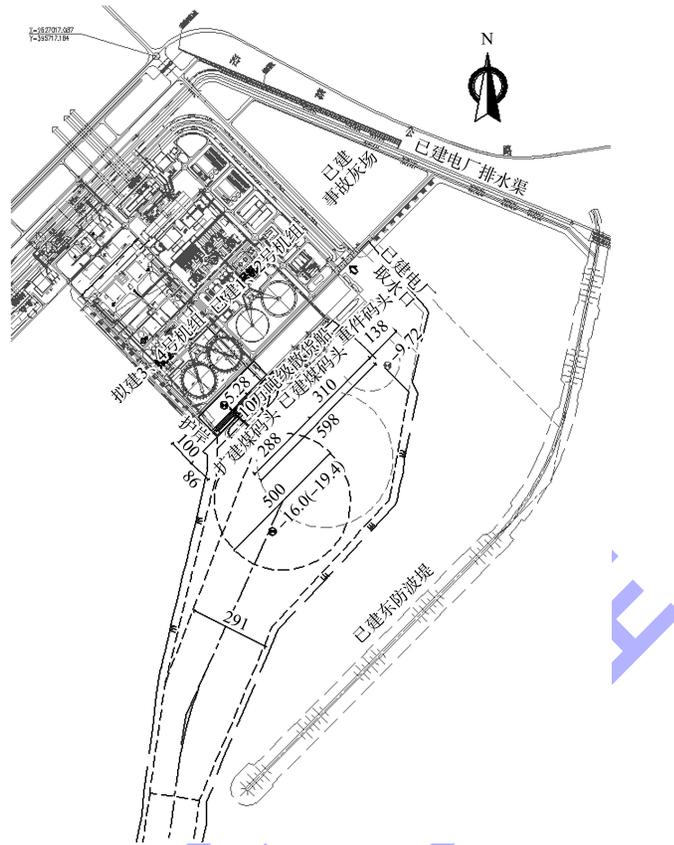


图 1 陆丰甲湖湾电厂码头平面布置 (单位: m)

2 自然条件

2.1 设计水位

工程海域的潮汐性质属不规则日潮潮型, 潮差小, 属弱潮港, 多数时间涨潮历时大于落潮历时。

平均高潮位为 1.35 m, 平均低潮位为 0.44 m, 平均潮位为 0.90 m, 平均潮差为 0.82 m; 设计高

水位为 1.60 m, 设计低水位为 0.17 m, 极端高水位 2.93 m, 极端低水位为 0.52 m。

2.2 设计波浪

本海域常浪向为 E, 频率为 18.06%; 次常浪向为 ENE, 频率为 15.63%; 强浪向为 ESE—SE。1、2 号机组配套码头和 3、4 号机组配套码头设计波要素见表 1。

表 1 设计波要素

码头	重现期/a	水位	$H_{1\%}/m$	$H_{4\%}/m$	$H_{5\%}/m$	$H_{13\%}/m$	平均波高 H_m/m	周期 T/s	波长 L/m
1、2 号机组 配套码头	50	极端高水位	4.81	4.09	3.96	3.33	2.14	10.1	120
		设计高水位	4.50	3.82	3.70	3.11	2.00	10.0	117
		设计低水位	4.36	3.71	3.59	3.02	1.94	9.8	109
		极端低水位	4.29	3.65	3.53	2.97	1.91	9.7	106
	10	设计高水位	3.26	2.77	2.67	2.23	1.42	9.1	102
3、4 号机组 配套码头	50	极端高水位	5.90	5.06	4.90	4.16	2.70	9.6	113
		设计高水位	5.12	4.39	4.25	3.60	2.32	9.3	106
		设计低水位	4.91	4.21	4.08	3.46	2.24	9.0	98
		极端低水位	4.74	4.06	3.94	3.34	2.16	8.8	94
	10	设计高水位	4.14	3.59	3.46	2.98	1.95	9.0	84

2.3 风况

常风向为 ESE 向，年出现频率为 14.4%；次常风向为 NNE 向，年出现频率为 11.2%。强风向为 N 向，10 min 平均最大风速为 11.5 m/s，极大风速为 20.6 m/s；次强风向为 E 和 ESE 向，10 min 平均最大风速为 9.8 m/s，极大风速为 16.8 m/s。

2.4 潮流

本海区的潮流状况以往复流为主，具有一定的旋转性质。流速总体较小，实测最大潮流主要发生在表层，实测最大流速为 45.8 cm/s(涨潮)。从大潮垂向平均过程曲线看，最大平均流速不超过 0.3 m/s。

2.5 工程地质

根据现场地形地貌调查以及钻探揭示的地层情况，场区内未发现全新世活动断裂活动的迹象，勘察场区内未发现影响场地稳定的海岸滑坡、坍塌等不良地质现象。

根据钻探揭示，揭示深度范围内可分为 5 组地层：第 1 组为第四系全新统海相沉积层，第 2 组为第四系全新统海陆交互的土层，第 3 组为第三系冲洪积层，第 4 组为残坡积层，第 5 组为风

化基岩层。

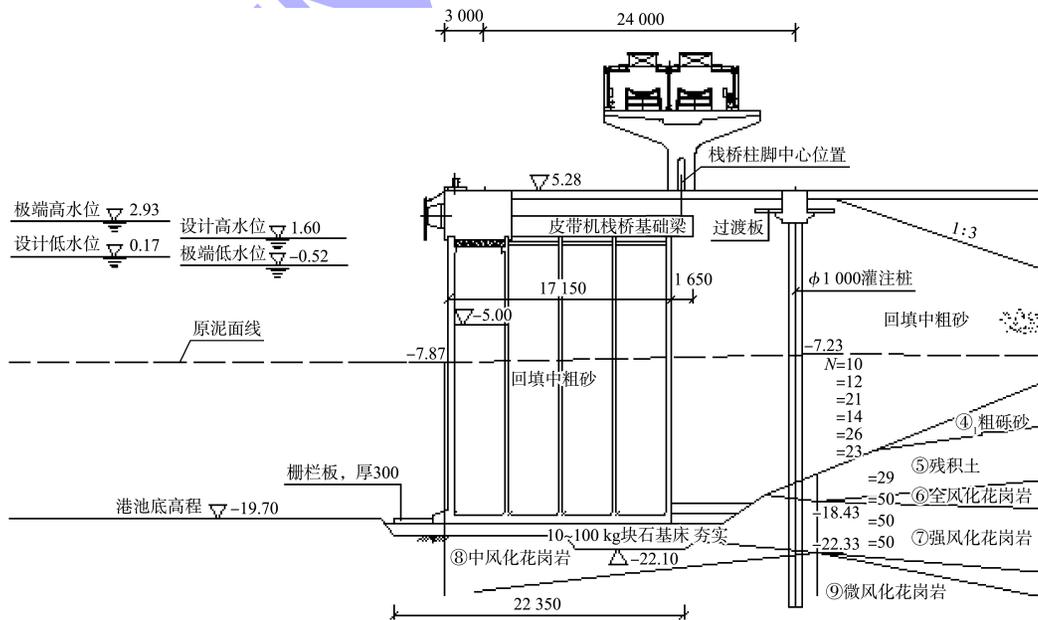
码头区域海床泥面高程-8 m 左右，自上而下土层分别为粉土-粉质黏土、粗砾砂、残积土、全风化花岗岩、强风化花岗岩、中风化花岗岩。岩层埋藏浅，岩面起伏大，强/中风化花岗岩顶面高程为-24~-13 m。

3 码头结构方案

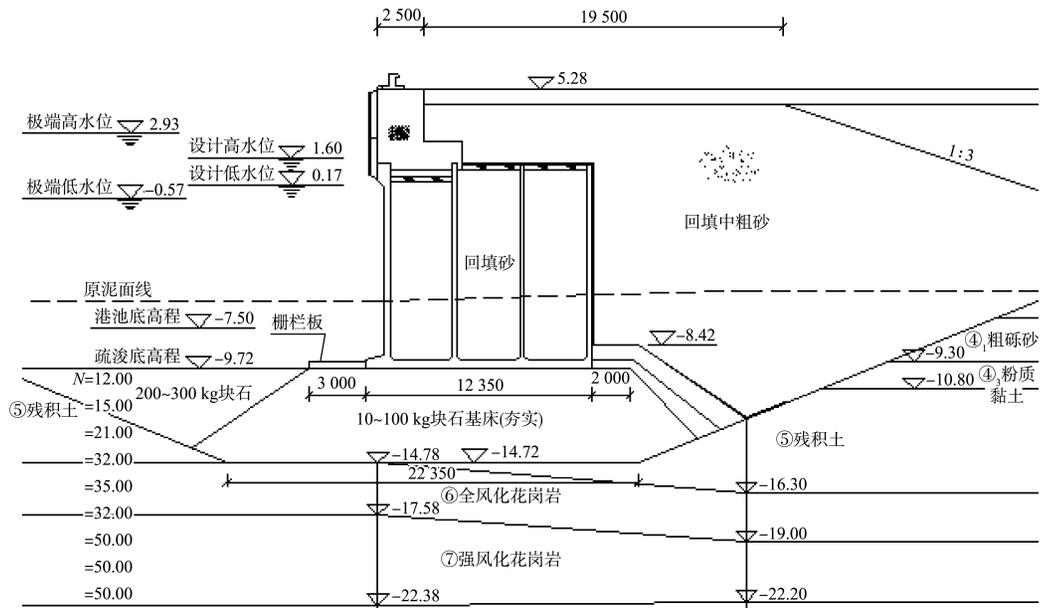
3.1 1、2 号机组配套码头

综合分析当地地质、施工能力、材料供应等条件，码头采用重力式方沉箱结构方案。

煤码头长 310 m，港池设计底高程为-19.7 m，轨距 24 m。采用的沉箱底宽 18.35 m(含前趾 1.2 m)，长 27.97 m，沉箱质量约 4 800 t，码头断面见图 2a)。重件码头长 138 m，港池设计底高程-7.50 m，考虑到电厂取水口浚深的要求，港池疏浚至-9.72 m，为减少施工模板，沉箱内仓格尺寸和煤码头相同，沉箱底宽 12.35 m(含前趾 1 m)，长 27.97 m，沉箱质量约 1 900 t，码头断面见图 2b)。沉箱内回填中粗砂并振冲密实，其中煤码头第 1 个仓格回填至-5 m 高程，其余仓格填满。



a) 10万吨级煤码头断面



b) 3 000吨级重件码头断面

注: N 为标贯击数。

图 2 1、2 号机组配套码头断面 (尺寸: mm; 高程: m)

3.2 3、4 号机组配套码头

煤码头长 288 m, 港池设计底高程为 -19.7 m, 轨距 24 m。采用的沉箱底宽 18.35 m(含前趾 1.2 m),

长 25.69 m, 沉箱质量约 4 600 t。沉箱内回填块石, 其中第 1 个仓格回填至 -8 m 高程, 其余仓格填满。码头断面见图 3。

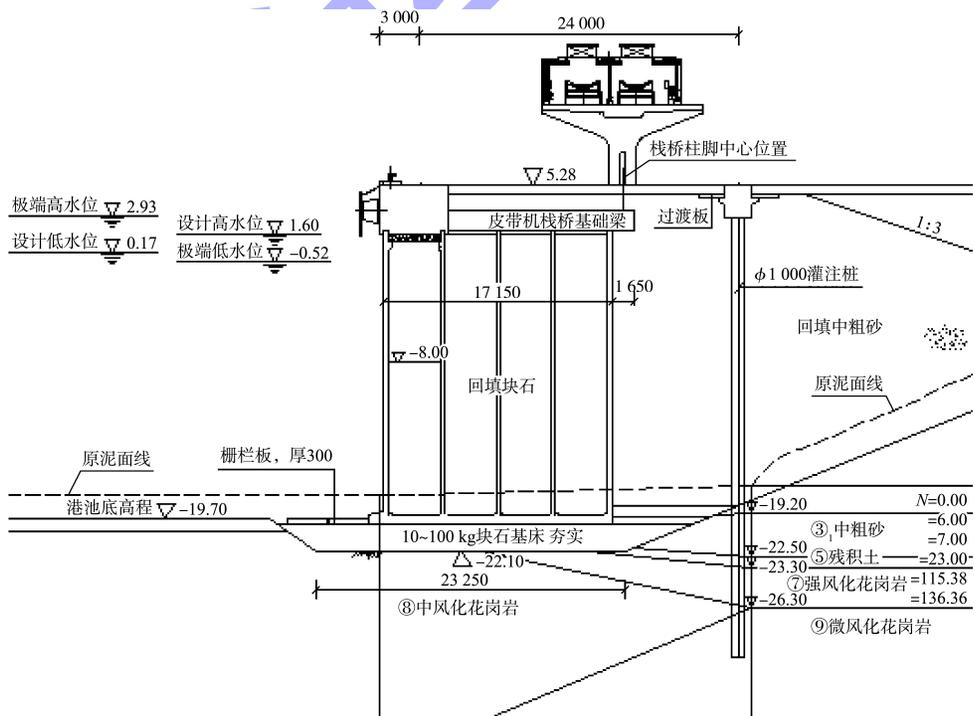


图 3 3、4 号机组配套 10 万吨级煤码头断面 (尺寸: mm; 高程: m)

4 码头结构创新点

4.1 超大型沉箱的应用

不均匀沉降和位移是重力式码头结构常见的质量通病^[1-2]，地基和基床不可避免的压缩变形、回填料的均匀性、使用荷载分布都可能引起码头结构的不均匀沉降和位移，从而导致码头面层和临水面出现错牙、高差，严重影响码头整体表现质量和正常使用^[3]，有统计表明约 16.8% 的重力式码头存在不同程度的不均匀沉降和位移^[4]。

通过加大沉箱、减少沉箱安装缝的数量，可以大幅降低发生不均匀沉降和位移的可能性。沉箱安装缝间距应根据气温情况、结构形式、地基条件和基床厚度确定，通常采用 10~30 m^[5-6]。本工程基于良好的持力层条件，在码头宽度计算确定的情况下，经综合研判，将 1、2 号机组配套码头的沉箱长度取为 27.97 m，安装缝宽 50 mm，安装缝间距 28.02 m，沉箱质量达到 4 800 t/件，为华南区域用于岸壁式码头工程的最大沉箱结构。相比常规 2 000 t 左右的重力式码头沉箱构件，本工程沉箱构件数量减少 50% 以上，不仅减少了结构缝数量，提升整体表现质量，有利于施工质量控制，而且加快了施工进度，为粤东海域恶劣条件下的施工作业节约了大量工期。

3、4 号机组配套码头由于须兼顾岸线长度限制、码头端头封头处理，同时为尽量减少沉箱构

件规格，将沉箱的长度取为 25.69 m，安装缝宽 50 mm，安装缝间距 25.74 m。实现了所有沉箱外部和内部仓格尺寸统一，最大化减少了模板，为施工提供了便利条件。

4.2 与上部皮带机栈桥、转运站一体化设计

基于“去工业化”设计理念，皮带机栈桥采用立交桥式的单墩台框排架结构，立柱置于栈桥中部。1、2 号机组配套码头工程的转运站位于码头东北端，3、4 号机组配套码头工程的转运站位于码头西南端。

水工结构设计充分践行一体化设计思路，沉箱安装缝和皮带机栈桥立柱间距呈模数匹配关系。一期和二期码头皮带机栈桥的立柱间距分别为 9.34 和 8.58 m，分别为沉箱安装缝间距 28.02 和 25.74 m 的 1/3。模数匹配使得皮带机栈桥与沉箱构件的相对位置关系固定，最大程度统一了沉箱构件的受力条件，同时也便于施工质量控制，有利于进一步控制码头的不均匀沉降和位移。

平面上皮带机栈桥放置于沉箱附近，利用沉箱构件安装基础梁，皮带机栈桥和转运站的柱脚作用在基础梁上，充分利用了沉箱构件的承载作用，减少了常规的桩基施工。

基于一体化设计思路的沉箱和栈桥、转运站基础梁局部平面布置见图 4。

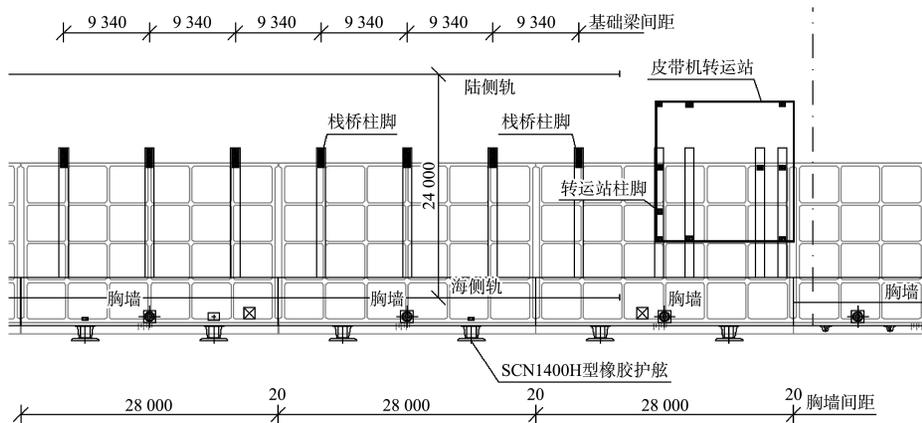


图 4 沉箱和栈桥、转运站基础梁局部平面布置 (单位: mm)

4.3 大小泊位过渡衔接

1、2 号机组配套码头工程包括 10 万吨级码头和 3 000 吨级重件码头, 二者基床面高程和基床厚度相差悬殊, 衔接处的基床夯实施工是难点。为创造较好的运营使用条件, 避免小泊位基床块石滚入大泊位港池, 在大小泊位衔接处采取以下措施: 1) 根据总平面布置, 适当加大沉箱的安装范围, 为小泊位的基床块石放坡争取空间。2) 增加过渡型沉箱, 减少衔接处基床面高差。3) 由于

较大的沉箱已安装, 在靠近已安装沉箱处进行基床夯实施工难度较大, 质量难以控制, 为此在此处安装预制垫块, 减少基床厚度。预制垫块横向安装范围应覆盖整个沉箱结构, 纵向安装范围以不影响基床夯实施工为控制原则, 同时垫块顶部留有 1 m 的基床厚度作为找平层。4) 适当扩大衔接处大泊位系船柱的安装范围, 方便使用调度。大小泊位衔接处理断面见图 5。

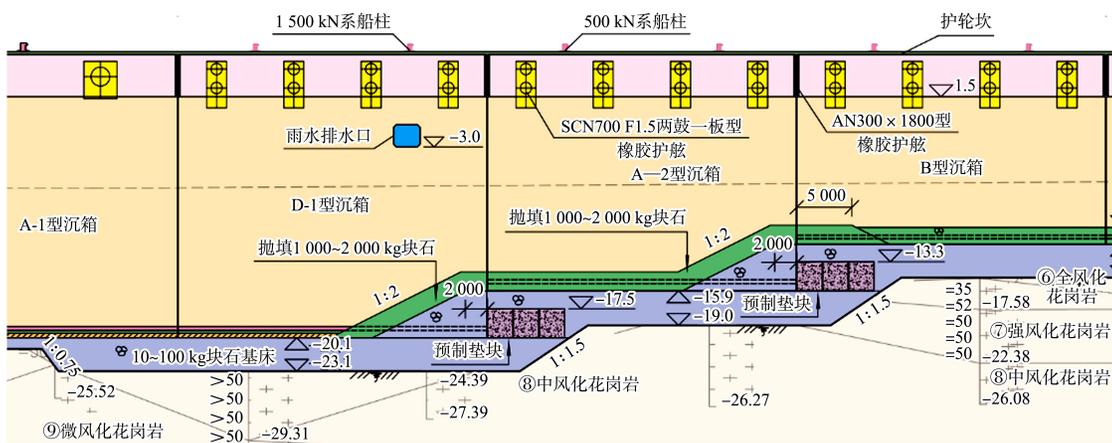


图 5 大小泊位衔接处理断面 (尺寸: mm; 高程: m)

4.4 码头面不均匀沉降的处理

码头后方回填砂形成陆域, 不同区域的结构刚度和砂层厚度都不同, 在荷载作用下容易使码头面层产生不均匀沉降, 严重时影响使用。为克服码头面不均匀沉降, 本工程在胸墙后方、沉箱后方、轨道梁两侧均安装了过渡板。过渡板厚 0.3 m, 其中位于沉箱后方的过渡板宽 3 m, 在沉箱上的搁置宽度为 1 m; 位于胸墙后方和轨道梁两侧的过渡板宽 2 m, 在胸墙和轨道梁上的搁置宽度分别为 0.3 和 0.5 m。

1、2 号机组配套码头自投入运营以来, 使用情况良好, 码头面未发生明显不均匀沉降, 表明上述过渡板措施可以有效降低码头面的不均匀沉降。

4.5 橡胶护舷选型

煤码头采用 SCN1400 F1.0 一鼓一板锥型护舷, 护舷的设计吸能量为 1 030 kJ, 最大反力 1 235 kN。如果采用设计吸能相当的鼓型护舷, 则应选择 SC1700 型, 设计吸能量 960 kJ, 最大反力 1 287 kN。锥型橡胶护舷相比传统的鼓型橡胶护舷具有明显综合优势。锥型护舷设计压缩变形为 72%, 鼓型护舷设计压缩变形为 52.5%, 同等吸能下, 锥型橡胶护舷的高度更小, 护舷质量通常可比鼓型护舷减少 20% 以上, 反力更小, 质量减少意味着更少的橡胶用量, 具有显著经济优势, 反力更小则具有更小的维护成本。本工程中锥型护舷相比鼓型护舷, 单位质量的吸能量提高了 20.7%, 单位反力的吸能量提高了 11.8%, 见表 2。

表 2 SCN1400 锥型护舷和 SC1700H 鼓型护舷性能对比

护舷类型	质量/kg	吸能量/kJ	反力/kN	单位质量的吸能量/(kJ · kg ⁻¹)	单位反力的吸能量/(kJ · kN ⁻¹)
SCN1400 锥型护舷	3 105	1 030	1 235	0.332	0.834
SC1700H 鼓型护舷	3 495	960	1 287	0.275	0.746

同时由于结构优化,锥型橡胶护舷具有更强大的抗剪切性能,对于大角度靠泊适应性更好。靠泊角度对锥型护舷和鼓型护舷吸能性能的影响见表3。

表3 靠泊角度对锥型护舷和鼓型护舷吸能性能的影响

护舷类型	靠泊角度/(°)						
	0	3	5	8	10	15	20
锥型护舷	1.000	1.039	1.055	1.029	1.000	0.856	0.739
鼓型护舷	1.000	0.977	0.951	0.909	0.883	0.810	0.652

注:表中数值为相对值。

船舶靠泊角度与船型大小以及采取的辅助靠泊措施有关,国内标准缺少相关说明。国际航运协会PIANC^[7]建议5万DWT以上的大型船舶靠泊角度按6°考虑。*Port Designer's Handbook*^[8]建议有拖轮辅助靠泊时,靠泊角度可取1°~5°;无拖轮辅助靠泊时,靠泊角度通常小于10°。由表3可知,在任意靠泊角度,锥型护舷的吸能量折减都大于鼓型护舷,当靠泊角度不超过10°时,锥型护舷吸能量完全不受影响,甚至略有提高,而鼓型护舷吸能量有明显折减。

4.6 护轮坎结构优化

护轮坎主要对车辆和人员起安全防护作用。常规码头护轮坎采用混凝土结构,由于易受磕碰、磨损,护轮坎结构开裂、崩角现象非常普遍^[9],虽不至于影响到码头结构安全,但是对人员的感官和心理影响明显。装配式结构符合绿色、环保、节能要求,已有装配式混凝土护轮坎应用案例^[10]。

本工程采用活动装配式护轮坎,而且对于护轮坎材质进行了有益的探索。护轮坎分段制作,通过螺栓安装,标准段长度3m左右,本体采用超高分子量聚乙烯材质,具有耐磨抗污优点,本体颜色按黄色和黑色定制,黄黑色间隔安装,形成醒目的警示效果。护轮坎结构见图6。

本工程活动式护轮坎优点为:1)采用软性材料,不易破损;2)本体可按要求定制颜色,间隔安装即具备良好的安全警示效果,颜色鲜艳不易褪色,减少大量维护工作量;3)长度可灵活定制;4)护轮坎安装位置可通过螺栓精确调节,完

全避免了常规混凝土结构错台、错位现象,外观质量好。

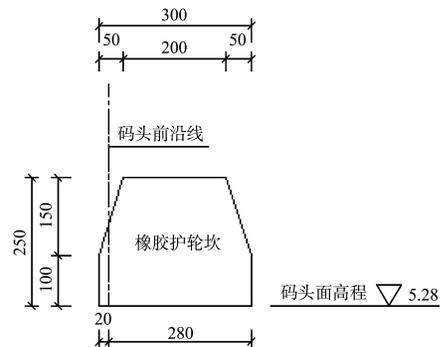


图6 护轮坎结构(尺寸: mm; 高程: m)

5 结论

1) 当具备条件时,重力式码头采用大型沉箱结构可减少构件安装数量,提高施工效率,有利于码头整体质量控制,具有明显的综合效益。

2) 水工结构结合上部结构进行一体化设计,可以从源头简化构件类型,统一结构受力条件,从而进一步减少不均匀沉降和位移。

3) 在等级悬殊的大小泊位衔接处,宜设置合适的过渡沉箱并安装预制块体,以控制基床施工质量。

4) 在胸墙后沿、轨道梁两侧等处设置过渡板可以有效减少与面层的不均匀沉降。

5) 锥型橡胶护舷相比鼓型橡胶护舷单位质量的吸能量可提高20%以上,单位反力的吸能量可提高10%以上。同时常规船舶靠泊时,靠泊角度不大于10°,此时锥型橡胶护舷吸能性能不折减,值得推广。

6) 预制橡胶护轮坎为软性材质,耐磨抗污,本体颜色和长度可灵活定制,使用方便,但一次性造价偏高,当具备条件时,从全寿命周期考虑仍不失为一种好的选择。

参考文献:

- [1] 吴丹. 浅谈重力式码头施工中质量通病治理[J]. 港工技术, 2013, 50(3): 34-36.
- [2] 符家英, 林燕婷, 黄松涛. 重力式码头通病的应对措施[J]. 水运工程, 2016(3): 164-166, 171.

(下转第103页)