



大连港矿石专用码头泊位升级改造工程 护舷悬挑钢架结构创新设计

王安华, 朱圣文, 胡家顺

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 介绍大连港矿石专用码头泊位升级改造护舷改造钢架结构的设计情况, 在国内码头升级改造工程中该结构尚属首例。根据护舷钢架的受力特点, 比较了两个护舷钢架的设计方案后, 最后选用了放射竖板加顶底板的方案。详细介绍了护舷改造钢架的设计分析方法, 同时介绍了在安装过程中出现的问题和解决方案。

关键词: 码头升级改造; 护舷改造; 护舷钢架; 计算方法; 安装问题解决方案

中图分类号: U 656.1⁺34

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0072-05

Innovation design of steel frame for overhanging cone fender in Dalian port specialized ore terminal berth upgrading reconstruction project

WANG An-hua, ZHU Sheng-wen, HU Jia-shun

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

Abstract: This paper introduces the design of steel frame for overhanging cone fender in Dalian port specialized ore terminal berth reconstruction project. In domestic port upgrading project, this structure is still the first utilized. According to the mechanical characteristics of steel frame for fender, we compared the two design schemes of steel frame for fender, and chose the radiation vertical board and top floor plan. The design method of steel frame for fender problems with solutions in installation process are also presented.

Key words: pier upgrading; fender upgrading; steel frame for fender; calculation method; solution for installation problems

1 工程简介

大连矿石专用码头位于大孤山半岛东南岸, 原码头按25万吨级设计, 兼顾靠泊30万t船, 工程于2006年4月通过交通部港口工程竣工验收。随着船舶大型化的发展和日益增长的铁矿石需求, 顺应世界范围内矿石船大型化发展的趋势, 综合考虑大型船舶靠泊大连港矿石码头的综合运费优势, 为提高码头的适应能力, 在确保安全的前提下对码头结构进行适当的加固改造, 使之可以停靠30万吨级、35万吨级以及当前最大的40万吨级散矿船。

为了在30万吨级(最大40万吨级)船靠泊时, 增大船舶舳龙骨距离码头沉箱前趾的距离, 提高船

舶的正常作业安全性, 需要将原护舷向海侧前移1 m, 本泊位改造方案采用在现有码头沉箱胸墙和橡胶护舷间增设悬挑钢架。

码头现有护舷是H2250两鼓一板(标准反力型)鼓型护舷, 护舷自质量为7.4 t。两鼓一板设计吸能4 944 kJ, 最大吸能5 240 kJ; 设计反力5 004 kN, 最大反力5 320 kN。护舷长度为2 250 mm, 单鼓护舷直径 ϕ 2 550 mm, 单个护舷采用10根M64螺栓和沉箱胸墙连接。

2 悬挑钢架的方案比选和选定结构方案

橡胶护舷的受力属于非线性弹性受力过程,

收稿日期: 2012-02-26

作者简介: 王安华(1983—), 男, 工程师, 从事码头和桥梁工程结构设计和科研等工作。

一般在护舷变形20%以内时,护舷反力随变形增大而增大,当护舷变形大于20%时,护舷随变形的增大护舷反力基本维持不变。

根据护舷受力特点及结构特点和节省工程造价,增设的护舷悬挑钢架采用单个钢架对应单鼓护舷的方式设计;同时为了不改变护舷整体性能,悬挑钢架采用钢结构刚性结构方案。根据护舷改造要求前移1 m,相应的悬挑钢架高度为1 m。护舷为圆环型的橡胶结构体,因此悬挑钢架也对应护舷做成圆环型钢结构。护舷和钢架间的连接采用螺栓连接,钢架和胸墙之间采用后植螺栓连接。在方案比选阶段,本工程共设计了两个钢结构方案供比选。

2.1 方案1:立柱加顶箱方案

本方案由圆环底板+10个圆管立柱+圆环顶箱组成。根据悬挑护舷的尺寸要求、均匀传力和受力满足规范要求的原则,定取悬挑钢架的尺寸。本方案的结构见图1。悬挑钢架高度1 m,外径为 $\phi 2\,730$ mm,内径为 $\phi 1\,320$ mm,圆管立柱为 $\phi 350$ mm $\times$ 16 mm,底板的厚度为50 mm,顶箱的顶底板和侧板厚度为30 mm。

该方案顶箱高度过小,组合焊接有部分困难;同时从均匀传递受力的角度,圆管不能全部包住护舷的外形,如包住护舷外形时圆管直径相对较大,导致圆管空心部分没有构件承托顶箱,最终导致在圆管处顶板的集中应力过大。该方案用钢量为15 t。

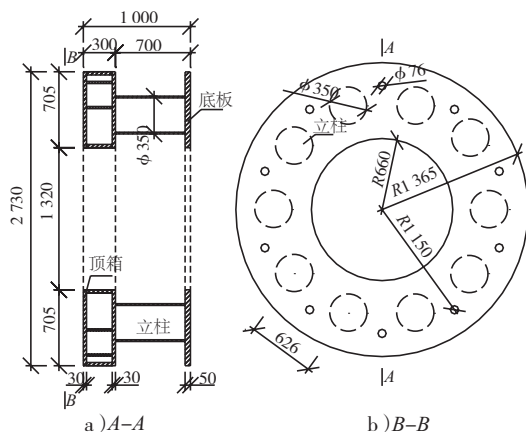


图1 悬挑钢架立柱加顶箱方案结构

2.2 方案2:放射竖板加顶底板方案

本方案由圆环底板+放射竖板+圆环顶板组成,顶板和底板间通过20个关于结构圆心成放射状的竖板支撑。本方案结构见图2。根据护舷的尺寸要求、结构的相互尺寸、均匀传力和受力满足规范要求的原则,结构尺寸如下:悬挑钢架圆环顶板外径为2 730 mm,底板外径为3 040 mm,顶底板圆环内径为1 320 mm,顶板厚度45 mm,底板厚度40 mm;竖板高度915 mm,竖板厚度22 mm;为了加强顶底板并均匀传递受力,在竖顶板的相接处和竖底板相接处设置竖板加劲肋,同时为保持竖板在承受撞击力和摩擦力作用下的整体稳定性和抵抗屈曲的能力,在竖板中间的外侧位置设置竖板加劲肋,竖板的加劲肋的厚度均为20 mm。整个护舷结构为全焊接结构,焊缝全部采用双面坡口焊。护舷外形呈放射状设置以均匀传递撞击力和水平摩擦力。

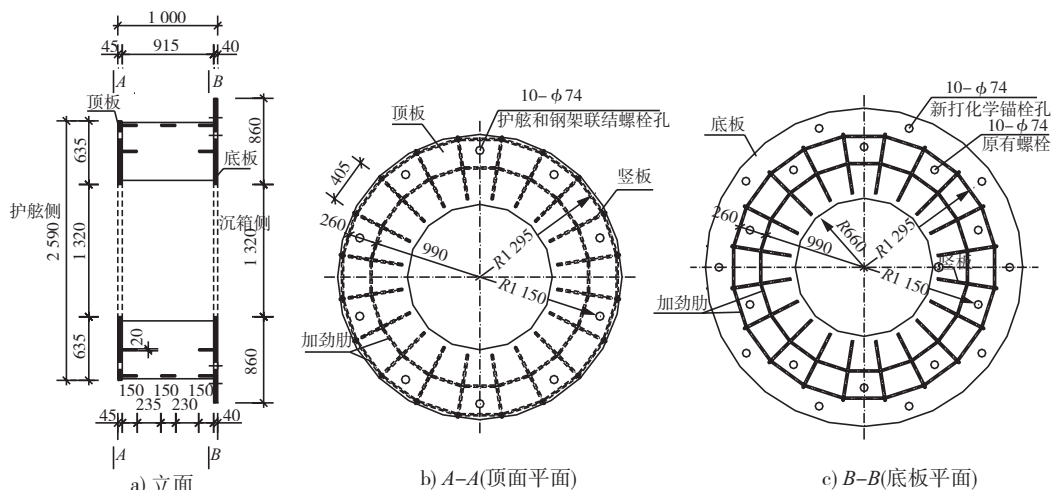


图2 悬挑钢架放射竖板加顶底板方案结构

本方案全部为钢板外部焊接,组合焊接不存在困难;同时从均匀受力的角度看,放射状的竖板既能全部包括护舷的外形,又可根据受力状况增加竖板数而降低应力。该方案用钢量为6 t。

悬挑钢架的钢材所有表面防腐采用热喷铝+环氧厚浆漆金属热喷涂重防腐保护系统。

2.3 方案比较

从焊接的困难程度、均匀传递受力、受力分析的结果和用钢量上比较,可看出方案2有很大的优势,本工程最终选定方案2作为设计方案。

2.4 方案2的连接方案、传递受力过程和施工方案

为充分利用原有预埋螺栓以降低工程造价,钢架和胸墙间采用后植10根M64化学螺栓和原有10根M64螺栓连接。为了不影响码头的正常作业最大限度降低改造造成的损失,并考虑后植化学螺栓的施工要求,后植化学螺栓孔距离护舷外边缘的距离为120 mm。护舷和悬挑钢架间采用10根M64螺栓连接。护舷和悬挑钢架整体安装后的结构见图3。

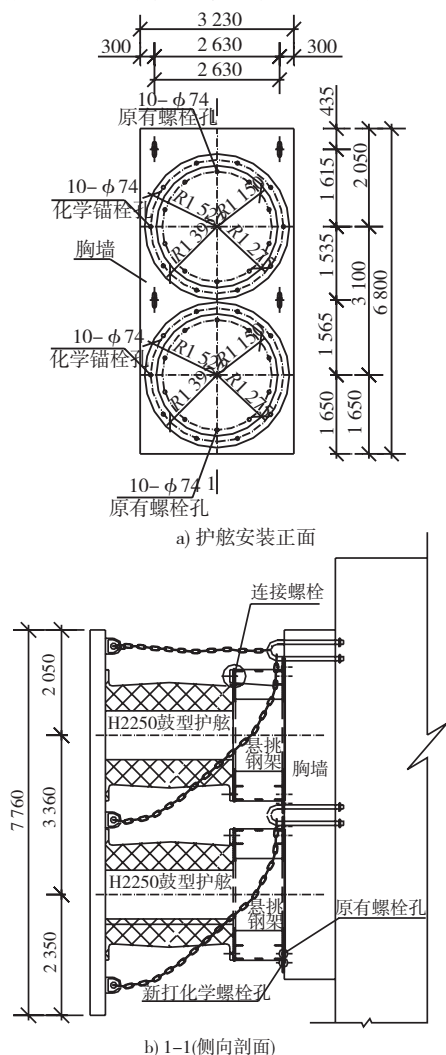


图3 护舷和悬挑钢架整体安装结构

本结构的撞击力传力过程为:护舷→钢架顶板→竖板和加劲肋→竖板→竖板和加劲肋→底板→胸墙。撞击产生的摩擦力的传力过程为:护舷→护舷和钢架间的连接螺栓→钢架→钢架和胸墙间的连接螺栓→胸墙。

整个护舷改造的施工过程:原护舷不拆除的情况下在护舷外侧后植化学螺栓→工厂焊接制造悬挑钢架→卸除原护舷→安装护舷钢架(固定在后植化学螺栓和原预埋螺栓上)→安装护舷(通过螺栓和悬挑钢架连接起来)。

悬挑钢架的安装后实体见图4。



图4 安装后悬挑钢架和护舷

3 悬挑钢架的计算方法和计算结果

3.1 设计荷载和钢架材质

钢架设计荷载共考虑如下荷载:悬挑钢架自重,护舷自重74 kN,单个护舷钢架的最大护舷反力2600 kN,水平摩擦力798 kN,发生最大反力时护舷的变形率20% (变形量为 $2.25 \text{ m} \times 20\% = 0.45 \text{ m}$)。

参照JTS 144-1-2010《港口工程荷载规范》^[1]设计荷载组合如下:1.2钢架自重+1.2护舷自重+1.5撞击力;1.2钢架自重+1.2护舷自重+1.5撞击力+1.5撞击摩擦力。

悬挑钢架的材质采用Q345D钢材,具体构件的厚度及设计强度见表1,其中钢板的设计强度取值参照GB 50017-2003《钢结构设计规范》^[2]。

表1 构件壁厚及设计强度^[2]

构件	壁厚/mm	抗拉压弯 设计强度/MPa	抗剪设计强度 /MPa
底板	40	265	155
顶板	45	265	155
竖板	22	295	170
加劲肋	20	295	170

3.2 悬挑钢架计算方法

本结构采用空间有限元计算模型计算分析。悬挑钢架为非常规结构,因此采用空间板单元模型分析;胸墙采用简化板单元模拟;护舷采用分割梁单元+护舷底板板单元模拟,连接螺栓和锚栓均采用梁单元模拟。边界条件:护舷和底板之间采用只受压弹簧和抗拉锚栓梁单元模拟,钢架和胸墙板单元之间也采用只受压弹簧和抗拉锚栓梁单元模拟,在胸墙板单元节点上施加3个方向的位移约束;在护舷分割的梁单元和护舷顶端中心的节点统一通过刚性连接。在护舷顶端中心节点上施加摩擦力,在护舷底板单元上施加撞击力。这样就可以真实模拟出整个护舷的受力过程。空间有限元模型见图5。

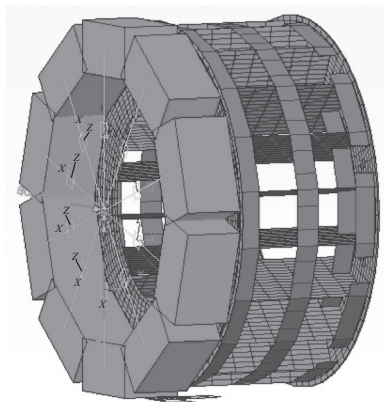


图5 悬挑钢架的计算模型

3.3 模拟计算结果

3.3.1 结构应力分析

文中钢架的竖板和顶板的有效应力和剪应力云图见图6~9(限于篇幅限制未列出底板的应力云图),计算结果见表2。其中顶板计算在螺栓梁单元和板单元相接节点处局部最大有效应力是253 MPa,稍偏大,但在模拟计算中没有考虑该处螺栓的垫片作用,螺栓垫片的尺寸为0.17 m×0.27 m,而计算分析中该处单元的尺寸为0.035 m×0.083 m,螺栓孔的大小为 $\phi 74$ mm,因此该处计算结果是存在部分失真,但其最大应力也在容许范围之内。

表2 悬挑钢架各构件计算应力及验算结果

构件	最大有效 应力/MPa	抗拉压弯设 计强度/MPa	最大剪应 力/MPa	抗剪设计强 度/MPa	是否满 足要求
底板	132	265	66.3	155	满足
顶板	253	265	140.0	155	满足
竖板及加 劲肋	222	295	113.0	170	满足

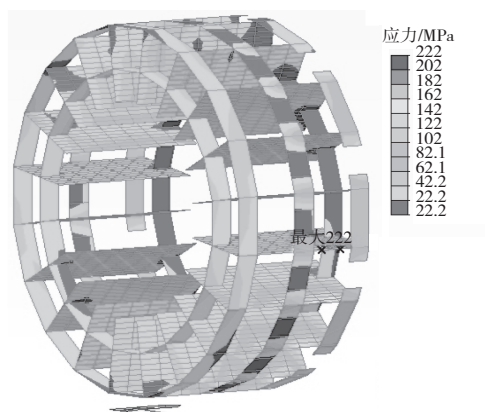


图6 竖板及加劲肋的有效应力

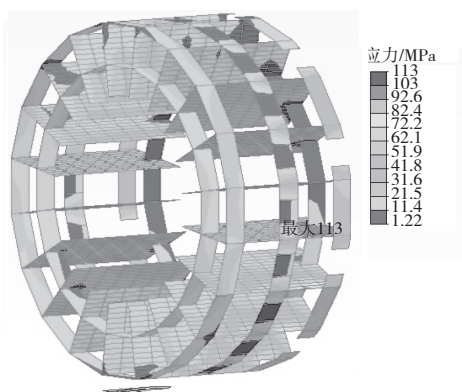


图7 竖板及加劲肋的剪应力

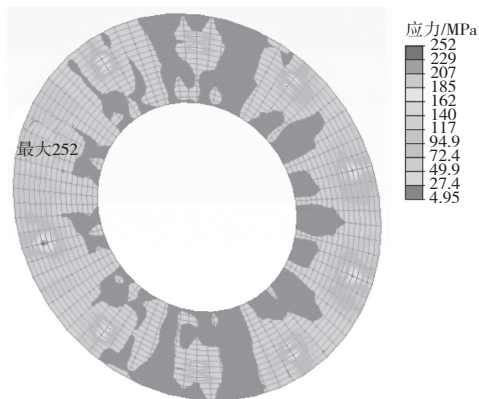


图8 顶板的有效应力

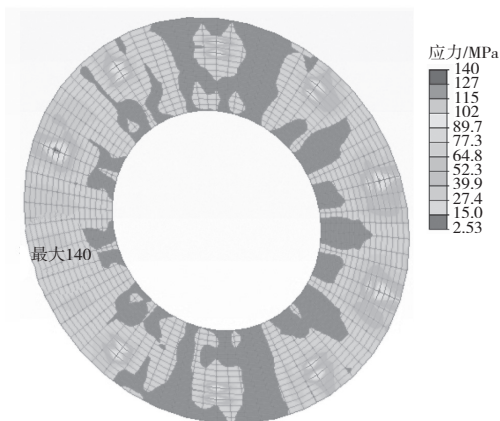


图9 顶板的剪应力

3.3.2 钢架整体屈曲分析和自振特性分析

护舷悬挑钢架的整体屈曲模式全部为竖板压屈,各个阵型的屈曲分析的稳定系数见表3,由表3可知,钢架具有很高的整体稳定性。

表3 悬挑钢架的屈曲分析的稳定系数

阵型阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
稳定系数	7.8	8.6	9.9	10.5	10.8	11.0	11.6	11.9	15.0

悬挑钢架的自振周期见表4,其自振周期远小于1个波周期的撞击力,所以钢架不会产生共振。

表4 悬挑钢架的自振频率及自振周期

阵型阶数	1	2	3	4
自振周期/s	0.034	0.012	0.012	0.006

3.3.3 护舷钢架位移

在护弦自重、护弦钢架自重、撞击力和摩擦力联合作用下护弦钢架的总体位移标准值最大为4.2 mm,其位移相对很微小,其位移分布见图10。

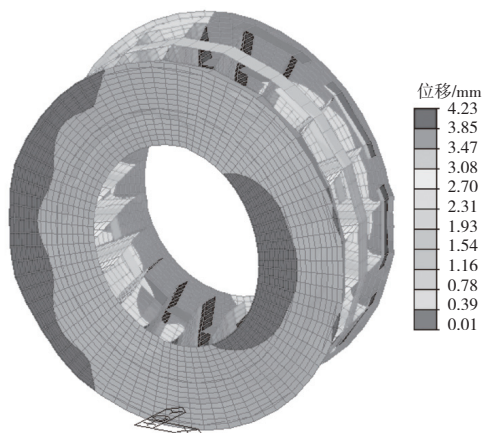


图10 护舷钢架的位移

由以上计算结果可知,悬挑钢架的各向计算指标均满足设计要求。

4 悬挑钢架的安装解决方案

悬挑钢架制作后如图11所示。悬挑钢架安装采用吊装安装和机械手(图12)拧紧螺栓。机械手端部套帽直径130 mm,机械手长度730 mm,支腿长度130 mm。由于设计时为保持整体性,在底板处的加劲肋采用整体连接的方案给机械手的操作造成了一定的困难。为机械手提供操作空间,采用将螺栓孔位置处加劲肋切出94 mm的缺口(图13)的方法处理,并

通过验算构件的应力也都在限制范围之内。



图11 焊接制作后的悬挑钢架

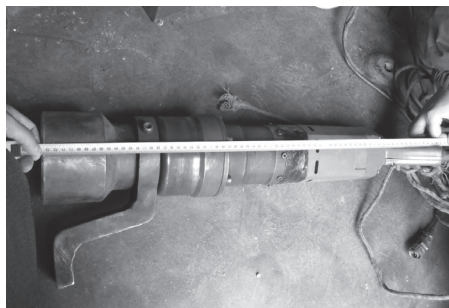


图12 护舷和钢架安装拧紧用机械

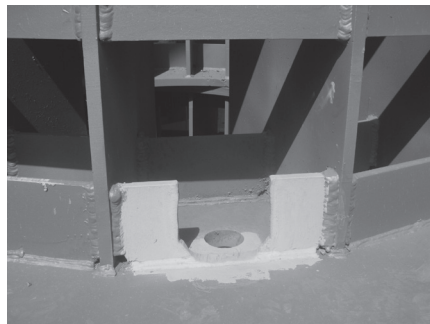


图13 护舷钢架的底板加劲肋的局部处理

6 结语

详细介绍了大连港矿石专用码头泊位升级改造工程护舷改造钢架结构的设计情况,在国内码头升级改造工程中该结构为首次设计。根据护舷钢架的受力特点,比较了2个护舷钢架的设计方案,最后根据受力特点创新性选用了放射竖板加顶底板的方案。详细介绍了护舷改造悬挑钢架的设计分析方法、分析步骤,同时介绍在结构的安装过程中出现安装困难和相应设计解决方案。本文为悬挑钢架的结构方案和设计方法为以后类似的码头改造工程提供了参考和依据。

参考文献:

- [1] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].
- [2] GB 50017—2003 钢结构设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)