



## 重力式码头沉箱水下修复技术

潘晓军, 黄汉明

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

**摘要:** 对已建码头的加固改造, 实现码头质量安全水平的有效提升, 可推动基础设施的集约利用。本文以海南某已服役多年的3.5万吨级散货码头项目为例, 对主体沉箱结构破损的加固实践研究, 提出水下修复的解决方案。研究表明: 1) 通过水下摄像及探摸, 可准确判断沉箱损坏情况; 2) 对于沉箱壁碎裂、钢筋裸露锈蚀严重或断裂的现象, 可先采用高压水冲洗或凿槽切除处理, 然后支立模板与浇筑高强灌浆料, 并采用水下包覆层材料对沉箱壁进行修补; 3) 对于沉箱内填料部分掉落的现象, 可在沉箱仓格内整体浇筑水下不分散混凝土。经现场试验检测, 该施工修复技术满足设计要求, 且归纳总结了相应的质量控制要点及水下作业安全管理要求, 旨在为类似工程提供参考。

**关键词:** 重力式码头; 裂缝; 水下修补; 水下不分散混凝土

中图分类号: U65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0329-04

### Underwater restoration technology for gravity quay caisson

PAN Xiaojun, HUANG Hanming

(CCCC-FHDI-Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

**Abstract:** The reinforcement and renovation of the existing wharfs can effectively improve the quality and safety level of the wharfs, and promote the intensive utilization of infrastructure. Taking a 35,000-ton bulk cargo terminal project that has been in service for many years in Hainan as an example, this paper studies the reinforcement practice of the main caisson structure damage, and puts forward the solution for underwater repair. The results show that: 1) the damage condition of caisson can be accurately judged by detailed underwater photography and exploration. 2) For the phenomenon of caisson wall breakage and serious bare rust or fracture of steel bars, high pressure water flushing or gouging can be treated first, and then the formwork and high-strength grouting material are supported, and the underwater coating material is used to repair the caisson wall. 3) For the phenomenon that the packing part in the caisson drops, the underwater non-dispersed concrete can be poured in the caisson compartment as a whole. The field test shows that the construction repair technology meets the design requirements, and the corresponding quality control points and underwater operation safety management requirements are summarized, aiming to provide reference for similar projects.

**Keywords:** gravity quay; crack; underwater restoration; underwater non-dispersible concrete pouring

重力式沉箱结构码头施工期间, 沉箱在施工现场存放、安装、使用过程中受到风浪的作用、船舶碰撞等因素影响, 经常出现沉箱结构受损的情况, 表现为沉箱隔墙出现裂缝、隔墙变形、外墙局部混凝土脱落、钢筋裸露甚至撞出大洞、混凝土被撞坏等<sup>[1-2]</sup>。另外由于船舶操作不当致使头

部撞击码头结构损坏, 失去使用功能。

与同类沉箱受损后采用传统的沉箱壁浇筑混凝土后回填块石不同<sup>[3]</sup>, 本项目采用沉箱壁修补与沉箱仓格内水下整体浇筑不分散混凝土, 该方案不仅技术可行, 而且施工难度小, 沉箱结构耐久性好, 延长了码头寿命。

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 潘晓军 (1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口、航道及近海工程的设计及项目管理工作。

### 1 工程概况

海南某 3.5 万吨级散货码头始建于 1993 年，1995 年完工投产。经过近 30 多年的服役，码头存在的主要问题包括：面层多处不均匀沉降、轨道整体锈蚀严重，胸墙表面有贯穿裂缝、普遍存在钢筋裸露和混凝土开裂、脱落破损，沉箱外壁破损、系船柱整体锈蚀严重、护轮坎完全破损、护舷全部缺失，码头前沿存在淤积，与相邻泊位存在高差(约 35 cm)等。

探摸显示沉箱壁存在破损区域，破损部位呈半圆形，破损部位上沿位于码头面下方 6 m 位置，破损部位高度 1.3 m，宽度 1.3 m，深度 0.7~0.8 m。在破损区有 3 条裂缝(图 1)，分别在 3 点、7 点、10 点位置，其中裂缝①长 700 mm、宽 2~3 mm；裂缝②长 1 260 mm、宽 2~3 mm；裂缝③长 1 000 mm、宽 2~3 mm，其中 7 点方向的裂缝已经到达沉箱边缘，10 点方向的裂缝已经到达沉箱顶部，沉箱内未发现裂缝，外部裂缝未贯穿沉箱内。

沉箱破损区域向沉箱仓格侧凹陷，沉箱壁混凝土未全部掉落，但是混凝土已经碎裂，沉箱钢筋裸露锈蚀严重，部分钢筋已经锈蚀断裂。沉箱破损处周围附着大量海洋生物，沉箱内部回填料 10~100 kg 块石已部分掉落，且沉箱破损区域钢筋并未完全脱落，破损区被大块石堵塞，内侧填料存在少量流失。沉箱外壁破损位置及尺寸见图 1~3。

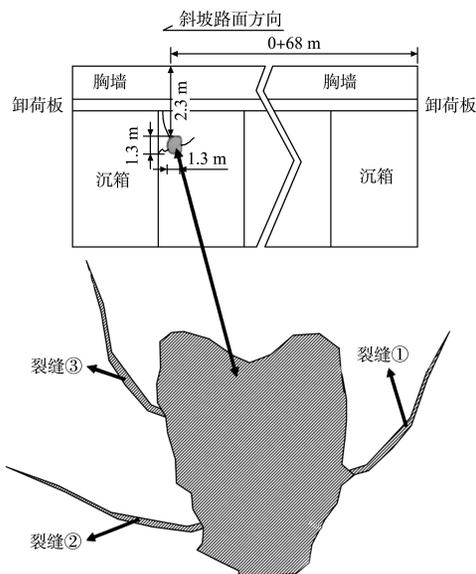


图 1 沉箱破损孔洞及裂缝

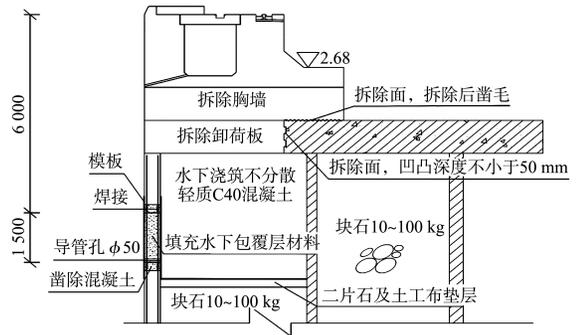


图 2 沉箱修补细部断面 (尺寸: mm; 高程: m)



图 3 沉箱水下破损部位

### 2 沉箱破损处修复方案

1) 对沉箱破损区域进行定位凿除，从破损位置扩拆凿除至周围无松散混凝土区域，并保证钢筋未锈蚀部分长度符合钢筋焊接长度。凿除厚度为整个沉箱壁，切除锈蚀钢筋，并对破损区域内采用高压水冲洗，清除钢筋及混凝土表面浮灰、松散物和其他不牢附着物。

2) 从沉箱外侧伸入沉箱空洞内侧支立模板(模板上预留导管孔)，在沉箱空洞外侧支立模板(模板上预留导管孔)；然后将原设计规格的全新钢筋与切断钢筋进行焊接，采用导管法或料斗法浇筑高强灌浆料，对原有填料进行灌浆；最后采用水下包覆层材料对沉箱壁进行修补，再封闭导管孔。

3) 在前仓格上部胸墙、卸荷板钻贯穿孔向仓格内压力灌浆，填补流失填料。

4) 沉箱修复后，根据影像资料、检测结果及修复后专题会，综合判断沉箱修复情况，给出沉箱修复后的检测结论。

### 3 沉箱修复施工工艺

#### 3.1 工艺流程

沉箱修复工艺流程见图 4。

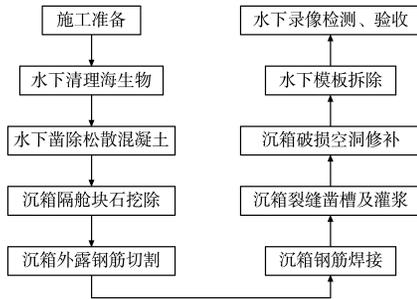


图 4 沉箱修复工艺流程

#### 3.2 施工方法

##### 3.2.1 清理海生物及凿除周围松散混凝土

对沉箱破损位置扩拆凿除至周围无松散混凝土区域, 并保证钢筋未锈蚀部分长度符合钢筋焊接长度。

##### 3.2.2 外露生锈钢筋切割及钢筋焊接加强

凿除松散混凝土露出生锈钢筋后, 使用不锈钢刷子人工清除表面锈积, 再用原设计规格的全新钢筋与切断钢筋进行水下双面焊接。

##### 3.2.3 裂缝凿槽处理及灌浆修补

使用水下压力镐沿裂缝走向骑缝凿深度不小于 70 mm (到钢筋保护层) 和宽度不小于 50 mm 的槽, 灌满水下不分散混凝土。

##### 3.2.4 沉箱破损空洞模板

在陆上制作一块 1.8 m×1.8 m 的平面钢模板, 四周贴软质橡胶带或防水胶, 安装在沉箱破损孔洞沉箱外侧壁; 在破损孔洞内侧布置 4 根双拼槽钢梁, 通过 8 根  $\phi 20$  mm、长度 600 mm 的对拉螺栓将钢模板与双拼钢梁收紧。

##### 3.2.5 沉箱破损孔洞混凝土修补

孔洞混凝土验收合格后, 将沉箱壁的钢筋焊接为整体; 然后安装模板, 在低于沉箱破损口以下 50 cm 处铺二片石找平以及铺设 2 层土工布作垫层; 最后分层浇筑水下不分散轻质混凝土至沉箱仓顶 0.08 m 位置, 待混凝土强度满足 100% 后, 拆除模板<sup>[4]</sup>。

##### 3.2.6 沉箱破损孔洞混凝土修补检查验收

潜水施工过程及完成后拆模均进行实时水下录像监测及验收, 对沉箱破损孔洞修补的效果召开专题会。

### 4 沉箱修复的控制要点

#### 4.1 修复方案的确定

根据对水下检测评估报告和沉箱修复专项施工方案研讨, 一致认为沉箱周边的裂缝均未贯通箱壁, 可使用水下不分散混凝土方案, 但需进行相应的复核计算。复核显示沉箱内浇筑水下不分散混凝土技术可行, 而且沉箱的耐久性更好。

#### 4.2 裂缝开槽及修补

施工、质量控制难度大, 不能使用带电工具, 现场选用空压机式水下压力镐, 要求开槽深度不小于 70 mm (到钢筋保护层) 和宽度不小于 50 mm 的槽, 操作不当将使裂缝扩大。

#### 4.3 水下不分散混凝土配合比调试

确保水下不分散混凝土的高抗分散性、优良的施工性、适应性强、不泌水、不产生浮浆, 凝结时间略延长, 经多次调试<sup>[5]</sup>, 最终确定混凝土配合比见表 1。

表 1 混凝土配合比

水泥	粉煤灰	水	配合比/( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )				砂率/ %	水胶比	
			砂	石	减水剂	絮凝剂			
560.0	50.0	210.0	612.0	880.0	6.1	30.5	11.0	41	0.36

注: 材料用量按干料计算。

#### 4.4 沉箱内块石清除

在沉箱内块石清除前，潜水员不能进入沉箱内作业，以免发生安全事故。

#### 4.5 水下钢筋焊接

清除表面锈积，随后用原设计规格的全新钢筋与切断钢筋进行水下双面焊接。作业空间、时间受限，且受风浪影响作业风险大，需2名水下潜水员及2名岸上人员配合完成焊接工作。

#### 4.6 浇筑质量控制

为准确了解水下混凝土浇筑情况，每浇筑

1层30 cm厚，潜水员下水探摸混凝土摊铺及密实情况。

#### 5 修复成果

主体混凝土修复后质量可靠，表面总体平整，未见蜂窝、孔洞等缺陷，外观质量良好，见图5。依据JTJ/T 271—1999《港口工程混凝土粘接修补技术规程》<sup>[6]</sup>及JTS 311—2023《港口水工建筑物修补加固技术规范》<sup>[7]</sup>，经现场试验检测，满足设计修复要求。检验结果见表2。

表2 沉箱修复检验结果

检测项目	检测方法及仪器	检测结果	备注
沉箱裂缝	水下录像 Canon Power Shot G16 水下录像机	涂料与混凝土粘接牢固，裂缝封闭效果良好	设计要求深度不小于70 mm(到钢筋保护层)和宽度不小于50 mm的槽
水下不分散混凝土	取芯，HZC-20 混凝土钻孔取芯机	28 d 抗压强度为43 MPa	设计强度要求不小于40 MPa



图5 沉箱水下修复后状况

#### 6 安全管理

##### 6.1 危险源

沉箱水下潜水作业前必须根据现场的实际情况进行危险源分析及编制防控措施，如：其他区域作业时对潜水作业的影响、凿除破损四周松散混凝土与外露钢筋对潜水员的伤害及供氧管线的影响等。

##### 6.2 水下潜水作业安全管理

1) 水下负重、空间/时间受限、受风浪影响大的作业，必须由2名水下潜水员及2名岸上人员配合完成。

2) 沉箱内块石清除前严禁潜水员进入沉箱内和破损孔洞下方，防止发生块石伤人。沉箱内块

石清除应采用钩机在陆上操作，避免采用因潜水员水下清除块石发生安全事故。

3) 其他运营泊位的船舶必须远离潜水区域100 m外，确保人员及供氧管线不受影响。

#### 7 结语

1) 沉箱裂缝修复检测结果表明，裂缝处部位新旧混凝土结合良好，涂料与混凝土粘接牢固，裂缝封闭效果良好，混凝土强度满足设计要求，达到修复的目的，也证明了沉箱裂缝修补的可行性。

2) 破损沉箱内浇筑水下不分散混凝土的应用，解决了沉箱修补的结构难题，其质量可靠且技术成熟，值得在类似项目中推广应用。

#### 参考文献：

[1] 刘松旺, 孙海嵩, 韩鹏飞. 沉箱修补施工工艺在某码头工程的应用[J]. 中国水运(下半月), 2016, 16(3): 271-273, 275.

[2] 唐家凤. 几种重力式沉箱码头受损沉箱的修复[J]. 港工技术, 2016, 53(6): 27-30.

(下转第337页)