

# 福州港马尾老码头维修加固和短索预应力技术

黄德斌

(福州市港务局, 福建 福州 350015)

**摘要:**分析福州港马尾老码头经过二十多年的运行后存在的沉降、位移、梁板开裂等损坏情况,对码头安全性态进行检测与计算,提出维修加固的措施与对策。尤其是采用短索预应力新技术进行纵向连续梁抗剪加固,取得了预期效果。

**关键词:**码头检测;安全复核;维修加固;短索预应力技术

**中图分类号:** U656.108

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-9592(2003)01-0025-03

## 1 前言

福州港马尾作业区 1、2 泊位为万 t 级杂货泊位,3、4 泊位为 5 000 t 级杂货泊位,设计吞吐能力为 150 万 t/a。码头总长 592 m,结构型式为钢筋混凝土高桩梁板式,前平台宽 14 m,后平台宽 10.5 m。桩基为非预应力钢筋混凝土空心方桩,断面尺寸分 45 cm×45 cm 和 50 cm×50 cm 两种,排距 6 m,码头上布置 Mn-40-25 型门机轨道,轨距 10.5 m。1、2、3 号泊位前平台均布荷载为 20 kN/m<sup>2</sup>,后平台为 30 kN/m<sup>2</sup>,4 号泊位前后平台均布荷载分别为 30 kN/m<sup>2</sup> 和 60 kN/m<sup>2</sup>。

码头地基土层为近代沉积的淤泥、细砂、粘土层,桩尖高程-19~-22 m,持力层为细砂层。

马尾作业区 1~4 号泊位,承担着福州港主要货物装卸任务,长期处于超负荷运行状态,为福州市和福建省的经济发展发挥了重要的作用。

## 2 码头安全性态检测与计算

经过 20 多年装卸作业,码头相继出现了不同损伤现象,其中以 1 号泊位尤为严重。南京水利科学研究院对马尾老码头 1~4 号泊位结构安全性态作了详细的检测和安全复核,存在的主要问题有:

1) 沉降和不均匀沉降严重,其中 1、2 泊位尤为突出。如 1 号泊位沉降约为 3 号泊位的 3~3.5 倍,同一泊位自码头前沿至后沉降逐步增大,后者约为前者 3 倍。码头面倾角约 0.16°,呈后仰状态。1 号泊位上游段实测最大沉降值达 18 cm。

2) 泊位相对水平位移较大,前后桩台间空隙及部分泊位后桩台与档土墙间空隙均因互相挤压而减少或消失。现场压载试验还证实桩台空间变位形态

较为复杂,除垂直和水平位移外还发生扭转变形。

3) 普遍存在斜度不足,斜桩竖向夹角小于原设计值。直桩偏位严重,据统计偏位大于 10 cm 的桩约占总数的 40%。

4) 前后桩台特别是后桩台各桩在离桩顶 1.5 m 范围内普遍发生裂缝。以靠近后方堆场最短的 A 桩为例,在 3 泊位区缝宽达 3~5 mm,在 1 号泊位缝宽达 0.9~1.33 mm,均超过规范允许值 0.3 mm。

5) 分析和验算表明,1 号泊位(上游段)、2、3 泊位后方桩台桩的承载能力不足。

6) 对于各种纵梁构件如门机梁、火车轨道梁、前后边梁和后桩台各纵梁经调查和计算表明,针对不同工况存在抗力不足的情况。1~4 号泊位纵向梁系查得裂缝共 257 条,其中 1 泊位门机梁有裂缝 31 条,需进行抗剪为主的加固。

7) 靠船构件设计较为单薄,抗力不足。护舷原为护木,虽经更换,仍破损严重,不适应船舶靠泊。

为了延长老码头使用寿命,保证船舶安全靠泊和码头的正常使用,必须对马尾 1~4 号泊位进行维修加固,改变老码头带病运行状态。

## 3 维修加固的措施及设计研究重点

经研究确定以 1 号泊位作为维修加固试点,在试点取得成功后再实施 2~4 泊位维修加固工程。

老码头维修加固主要对策与措施有:

### 3.1 靠船构件改造与新型橡胶护舷的置换

将靠船构件从原来的宽 40 cm,两侧各加宽 30 cm。新加固靠船构件包括预制与现浇两部分,下部主要为预制,只在下连系梁同高处设一槽孔,使其通过部分现浇混凝土与旧靠船构件及下连系梁结合传力;上面一部分现浇,尽量缩短影响正常生产的时间,也减少预制构件的重量,便于现场吊装定位施

收稿日期:2002-12-30

工,并使新加固部分靠船构件、上连系梁及横梁之间结合成一体。新加固的靠船构件伸入横梁侧面及底面部分,是传递船舶荷载至码头排架的重要部分,需采用外加微膨胀剂,以保证新老构件可靠结合。

在加固靠船构件及连系梁修补中,施工期水位变动区的现浇混凝土,用早强微膨胀混凝土,并保证浇后至水位浸没前,混凝土已初凝,或采用设计提供的水下混凝土配方,浇筑水下混凝土。

原布置的护舷反力高,吸能量小,对桩的受力极为不利,改造后的护舷选用沈阳普利司通有限公司生产的 DA-A400H(M1)型橡胶护舷,每一靠船构件上安装2个,在压缩变形52.5%时,防冲设施反力为 $332\text{ kN}\times 2$ ,总吸收能量为 $56\text{ kJ}\times 2$ 。

### 3.2 基桩裂缝的修补

经调查,对大于0.3 mm裂缝宽度的105根基桩予以修补,可采用水泥砂浆或树脂类材料涂层封闭混凝土表面裂缝方法,也可以采用在裂缝内灌树脂材料封闭裂缝的方法。修补中要求修补材料抗渗性高,新老结合好。马尾老码头基桩主要采用掺速凝剂枪喷水泥砂浆施工法,即在有超过允许裂缝宽度的桩顶混凝土表面四周扎少量钢筋,而后喷一层水泥砂浆作为加固层。掺速凝剂水泥砂浆标号C40,钢筋净保护层30 mm。

### 3.3 面板修补与更换

对码头平台外观调查时,发现筏基平台和桩台后部面板有不同数目的横向裂缝并有严重的钢筋锈蚀现象。面板修补措施及方法有:面板底面混凝土裂缝用水泥砂浆枪喷法修补,要求凿除旧混凝土,钢筋除锈焊接补强,枪喷水泥砂浆后并喷水养护。

对于裂缝较少的面板,在面板底面喷涂一层厚5 mm的丙乳砂浆涂层,确保钢筋混凝土的耐久性。作法是先用高压淡水冲洗受喷面,然后用压缩空气吹,经检查合格,才开始喷涂,养护时间14 d。

1号泊位上游段需适应大整件运输需要。将1号泊位上游段后桩台已普遍产生锈蚀裂缝的L型板拆除,代之以新设计的预应力空心板。板长560 cm,板宽148 cm厚48 cm,后浇混凝土磨耗层7 cm。按通行40 t平板车设计,荷载 $30\text{ kN/m}^2$ 。

### 3.4 纵向连续梁抗剪加固——一种新型预应力加固技术

经过码头结构各纵梁内力计算与截面强度验算,表明门机梁斜截面抗剪能力严重不足,因此,妥善处理各纵向连续梁抗力不足问题对码头结构安全是至关重要的。考虑到港口工程特殊的工作环境,如

采用常规的长线预应力加固技术,存在三个方面的不利因素:一是码头底的干湿和温度条件对钢材的腐蚀有严重的影响;二是码头结构的特点是差异沉降较大;三是在长线条件下因沿程摩阻作用沿线预应力分布不均匀。因此,提出以跨度范围为预应力单元的短索预应力新技术,在短束条件下使锚固应力损失和束间内力的均匀性均得到较好的控制。

纵梁整体加固及门机梁加固采用体外预应力加固法,本加固设计采用高强钢丝铸锚束预应力体系及其工艺。其要点是在梁跨两端部钻孔并穿进高强预应力钢丝索。

纵梁整体预应力加固:在门机轨道梁两侧和火车轨道外侧布置两根预应力索,共计8根。预应力索采用19 $\Phi$ 5高强钢丝铸锚束,单索预应力230 kN,加力过程由测力装置控制,通过施加体外预应力,纵梁和面板平均应力达0.2 MPa。以提高横梁顶以上结构的整体性,是一种附加整体安全性的措施。

门机梁预应力加固:该方法是通过穿越横梁的一对斜拉索,并由托梁施以向上的预应力。主要分担由门机荷载引起的门机梁剪力。单索预应力200 kN,使门机梁斜截面抗剪能力满足规范要求。

预应力工艺控制主要有:

1)锚具要求:采用铸锚技术,这种锚具系用合金热铸以锁定预应力钢丝索于端部。锚定时束与传力壳间的相对滑移量与夹片锚和镦锚相比可忽略不计。该技术由浙江省预应力大跨度技术服务部开发。

2)由于束内各根钢丝曲率半径不同,当两端部对称张拉时钢丝内力就会有差异。控制对策一是将整束平均内力定得较低,二是选用铸锚,其内蕊与外壳体之间可产生相对旋转以适应克服束内钢丝内力不均匀性。

3)对预应力束必须两端对称同步张拉:在短束小曲率半径弯弧情况下束内力的沿程分布具有新的特点,采用两端同步张拉方式,保证节点处所附加的是一平衡力系对排架没有不利的影晌。

4)同一节点处门机两侧并列的两束必须采取分级交错张拉方式,以适应控制垫块和门机梁在张拉过程中的偏心受荷。

5)节点束长放样控制:因节点处横梁尺度不一,预埋管高程有误差等原因,每节点预应力束长度也不完全一样,因此需逐一测量,保证“对号入座”。

6)原观测仪器的埋设和试点试验。在正式张拉前必须先进行试点试验,通过仪器观测和分析总结,对所制定工艺控制的可靠性和适应性、计算参数的

合理性及短期应力损失过程等进行综合分析评估。以最终确定技术控制环节和控制参数。

7)对钢丝束进行砂浆防腐蚀处理。

#### 4 马尾码头维修加固效果及经济效益

1~4号泊位维修工程完成工作量:靠船构件加固89件,更换改造护舷356m;门机梁预应力加固359件;面板置换119块;基桩开裂破损修补410根;面板腐蚀修补及喷丙乳砂浆保护1048m<sup>2</sup>;门机锚碇设施24个。共完成工程投资727.3万元。

经过维修加固,码头使用效果良好,产生经济效益明显:

1)现两台门机可同时在一个泊位段上任意运行作业,提高了装卸效率。门机梁经过加固后,经论证可在1号泊位上添置一台大吨位门机,满足生产发展的需要。

2)码头靠泊能力提高。加固维修后,提高了靠泊能力,最大可靠泊1.3万t杂货轮,可增加吞吐能力10万t,码头使用年限也大大提高。

3)经过更换面板,特种车辆可从该车道通过,无需再对面板事先加固,节省了相关费用。

4)码头面平整,减少了不均匀沉降引起的地面凹凸不平和大面积积水,码头面貌焕然一新。

## Maintenance, Consolidation and Application of Pre-stress Technique of Bridle to the Old Mawei Wharf of Fuzhou Port

Huang De-bin

(Fuzhou Port Authority, Fujian 350015, China)

**Abstract:** The damage conditions of settlement, replacement and beam-slab cracking of the old Mawei Wharf of Fuzhou Port appeared after the operation of more than 20 years are analyzed, the detection and calculation for the wharf safety are given; the measurement and countermeasure of maintenance and consolidation i. e. the new technique of bridle applying to shear resistance consolidation for longitudinal continuous beam are proposed in the paper. This new technique has reached the desired result and can be spread and applied to the maintenance and consolidation of same type of high pile beam-slab wharf.

**Keywords:** wharf detection; safety check; maintenance and consolidation; pre-stress technique of bridle

(上接第24页)

2)隔墙式圆沉箱底板计算方法

底板与隔墙交接处为固定端(矮隔墙的高度须满足嵌固条件),故底板可按四边固定板计算。

### 3 圆沉箱经济分析比较

由于大窑湾港投标要求,集装箱码头作了圆沉箱结构方案,对圆沉箱的几种结构类型分别进行计算,三种不同类型的圆沉箱结构尺寸对照见表1。

表1 大窑湾港圆沉箱设计方案结构尺寸

圆沉箱类型	结构尺寸							
	底板厚	筒内径	筒壁厚	底板外径	沉箱高度	隔墙厚	隔墙高	格宽
空腔式	800	10 400	300	13 000	14 700			
长隔墙	400	10 400	300	13 000	14 700	200	14 300	3 350
矮隔墙	400	10 400	300	13 000	14 700	200	2 000	3 350

根据以上资料,圆沉箱外形尺寸相同,仅底板厚度及隔墙高度不同。其不同设计方案的隔墙和底板工程量见表2。

表2 不同设计方案隔墙及底板工程量表

隔墙及底板工程量	矮隔墙圆沉箱	空腔式圆沉箱	长隔墙圆沉箱
混凝土用量/m <sup>3</sup>	56.8	78.97	159.5
钢筋用量/t	4.8	7.0	12.51

从表2可以看出,矮隔墙薄底板圆沉箱的隔墙和底板混凝土及钢筋用量最少;空腔式圆沉箱方案的工程量次之,其底板混凝土及钢筋用量分别是矮隔墙方案隔墙及底板混凝土和钢筋用量的139%和146%;而隔墙到顶沉箱的隔墙和底板工程量最多,其混凝土及钢筋用量分别是矮隔墙方案的281%和216%。故在采用圆沉箱结构时,如仅从底板受力角度分析以矮隔墙方案受力情况最好也最为经济。