



# 妈湾电厂重力式码头升级改造技术与应用

李华强, 蔡苏荣, 陈照乾

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

**摘要:** 为解决妈湾电厂专用卸煤码头升级改造中的稳定和安全靠泊问题, 提出模袋混凝土护底结构、基床局部高压灌浆及大型漂浮式护舷等技术解决方案。通过试验研究方法, 解决了码头前沿基床挖除施工控制、模袋混凝土护底结构及基床局部高压灌浆施工工艺等技术难题, 成果值得在同类工程中借鉴、推广及应用。

**关键词:** 妈湾电厂; 重力式码头; 升级改造; 前沿基床开挖; 模袋混凝土; 高压灌浆; 漂浮式护舷

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>11

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)02-0121-05

## Technology and application of upgrading and reconstruction of Mawan power plant gravity quay

LI Hua-qiang, CAI Su-rong, CHEN Zhao-qian

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

**Abstract:** In order to overcome the stability and safety issues of the project of Shenzhen Mawan power plant specialized coal unloading terminal during its upgrading process, the technical proposal of using mold bag concrete for quay foundation protection, high-pressure grouting of partial foundation bed and large floating fender is presented. Through experimental studies, the technical problems including the construction control of front quay basin dredging, foundation protection structure of mold bag and construction technology of foundation partial high-pressure grouting are resolved. The experience of this project may serve as reference for similar projects.

**Key words:** Mawan power plant; gravity quay; upgrading and reconstruction; front quay dredging; mold bag concrete; high-pressure grouting; floating fender

近年来, 海运市场不断朝着船舶大型化、专业化发展, 我国部分沿海港口泊位已不能满足运输生产需要, 亟需通过技术改造走内涵式扩大生产能力的道路, 提高老旧码头对新货种和新船型的适应能力, 进一步完善港口功能, 适应船舶大型化发展的要求, 使港口更好地为经济社会发展服务。

深圳妈湾电厂专用卸煤码头于1993年建成投入使用, 码头结构形式为带卸荷板的沉箱重力式。岸线总长984.48 m, 需要改造的码头区由南泊位(280 m)、工作船码头(67 m)、出水口(87 m)和北泊位(301 m)组成, 码头岸线总长735 m。由于深圳能源集团自有运煤船型和国际主流运煤

船型已达7万吨级, 专用卸煤码头已无法满足使用要求, 亟需通过技术改造, 使原来5万吨级的重力式码头泊位升级改造成7万吨级泊位, 适应国际主流运煤船型的要求和自有运煤船的靠泊要求。

2011年, 中交第四航务工程勘察设计院有限公司(简称“四航院”)采用EPC模式承接了深圳妈湾电厂专用卸煤码头的升级改造项目。对重力式码头而言, 码头前沿基床区的挖深将使基床形式发生改变, 必须采用必要的工程措施和施工措施保证施工期和使用期码头整体稳定及抗滑、抗倾和地基应力要求。通过调查研究与采用试验研究方法, 引入模袋混凝土护底结构等综合改造

收稿日期: 2013-11-12

作者简介: 李华强(1977—), 男, 高级工程师, 从事港口工程专业。

技术,四航院成功完成了码头的升级改造。

本文主要总结妈湾电厂专用卸煤码头升级改造项目的基床挖除与施工控制方法、模袋混凝土护底结构试验研究、施工控制方法、基床局部高压灌浆施工方法、大型漂浮式护舷的制造安装方法等主要技术的研究和应用成果。

## 1 改造设计方案

深圳妈湾电厂原5万吨级专用卸煤码头为重力式沉箱结构,码头面高程5.354 m,码头前沿设计底高程为-13.5 m,暗基床,基床面及沉箱底高程为-14.0 m。码头升级改造为7万吨级泊位后,要求卸船工艺不变,由于原有码头泊位长度已满足7万吨级船舶靠泊要求,故本码头升级改造主要为结构改造,改造设计方案采用的主要技术如下:

1) 重力式码头前沿停泊水域及港池浚深。码头升级改造为7万吨级后,前沿停泊水域及港池设计底高程由-13.5 m浚深为-15.06 m,需要挖除基床及港池的局部块石,码头浚深后,沉箱底-14.0 m处的前沿基床肩宽为1.6 m。考虑到需开挖的基床离沉箱前趾很近,开挖施工极易影响沉箱下的基础,从而对码头结构安全稳定产生不利影响,需要施工前制定可靠的基床开挖安全控制措施。

2) 设置大型漂浮式护舷。码头浚深后,码头前沿的基床面高程为-14.0 m,高于前沿停泊水域底高程-15.06 m,为明基床,7万吨级船舶靠泊码头时,为保证船体与码头基床间有足够的距离,防止触碰,船舶边缘与码头胸墙之间允许的最小间距将比码头改造前有较大的增加,因此需设置大型漂浮式(充填型)护舷,作为限制船体与码头及基础最小安全距离措施,同时作为船舶靠泊时的防撞设施,需满足吸能量及变形要求,护舷直径为3.7 m,长度为5.9 m,通过锚链系统安装在胸墙上。

3) 码头前沿明基床局部加固处理。为了加强对码头前沿明基床的保护,并减少水流、船舶靠泊引起的水体紊动等对基床稳定产生不利影响,改造设计方案在码头前沿基床面铺设了250 mm厚的模袋混凝土护面,并在明基床肩部及斜坡段范围采用高压灌浆进行加固处理,加固宽度约3.2 m,加固深度1.80 m。

4) 为了尽量减少大型漂浮式(充填型)护舷的直径,使得船体离码头前沿尽可能靠近,在工艺设备不变的情况下,保证船舶装卸效率,根据业主统计的“码头以往靠泊超过5万吨级的船舶以及深能集团建造的拟靠泊妈湾电厂的7万吨级船舶的船底弧度半径、船底舭龙骨长度”资料,提出“靠泊码头的7万吨级船舶船底弧度半径不得小于1.7 m、船底舭龙骨长度不得大于0.4 m”的限制条件。

码头改造断面示意及基床局部加固处理大样见图1和图2。

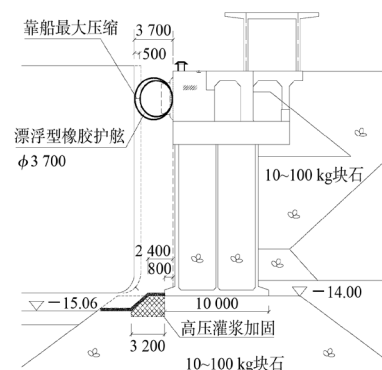


图1 模袋混凝土护底结构设计断面

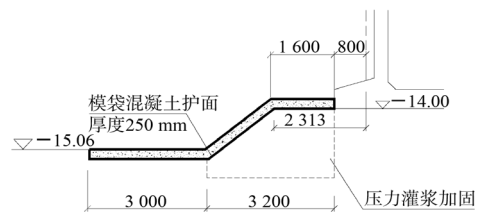


图2 基床局部加固处理大样

## 2 前沿基床挖除施工控制方法

为保证前沿基床浚深挖除过程中码头的安全稳定,设计规定码头前沿7 m范围内采用潜水员人工挖除的方法形成开挖断面。但通过试施工后发现,码头经多年使用,前沿区域已覆盖厚2~4 m的煤渣和泥沙混合物,与前沿基床结合紧密,人工挖除方法无法实现。

为解决前沿基床开挖难题,四航院通过充分的调查论证以及组织专家论证、试验性施工验证的方法,形成码头前沿基床开挖专项施工控制方案,成功完成了前沿基床的浚深挖除施工。其主要工艺控制要点如下:

1) 离码头胸墙前沿1.8~7.0 m内,采用抓斗挖泥船进行开挖,开挖深度控制在高出设计高

程0.5 m以上;

2) 离码头胸墙1.8 m内淤积的煤渣和淤泥采用高压水枪喷射,使其塌落至1.8 m外,再由挖泥船开挖清除;

3) 预留的50 cm未开挖厚度,通过高压水枪喷射,清除泥沙,块石由潜水员搬运至7 m范围外,再由抓斗船进行开挖清除;

4) 施工过程中,采用回声测深仪配合水砣检查开挖质量,及时进行扫浅和超深回填;

5) 基床开挖粗平后,由潜水员携带理坡架下水,用二片石和碎石进行平整,实现基床的细平。

施工安全控制要点如下:

1) 抓斗安装限位限深装置,码头上设置导标,并在岸上安排专人看护,控制抓斗边缘与码头胸墙的安全距离;

2) 抓斗船开挖时应顺码头方向布置,抓斗开口方向亦顺码头方向,避免张合抓斗时碰撞码头胸墙;

3) 开挖时,抓斗应轻放,利用自重沉放,严禁采用冲击的开挖方法;

4) 及时进行检测,抓斗船每前进20 m进行一次检测,并由潜水员下水进行实际开挖情况检查,如有超挖及时回填,并及时调整抓斗下放深度;

5) 开挖全过程中进行码头的沉降位移监测,确保码头安全。

### 3 护底模袋混凝土的实验室和现场试验

由于模袋混凝土作为重力式码头基床护底结构在国内首次应用,且施工位置水深流急,能见度差,最大水深达18 m,从码头面至模袋混凝土的落差高达18~21 m。为实现设计意图,我们采用试验研究方法,通过实验室和现场试验手段,检验确定模袋混凝土技术的适应性、合适的混凝土配合比以及模袋混凝土施工工艺。

#### 3.1 实验室模拟试验

根据模袋混凝土断面由上下2个平台和中间斜坡段组成的特点,以及模袋混凝土护底结构的施工环境和施工特点,在实验室开展以下5个方面的模拟试验:

1) 普通细石混凝土、水下不分散混凝土遇水对比试验;

2) 水下不分散混凝土配合比试验;

3) 普通细石混凝土和水下不分散混凝土在水下水平模袋中的灌注模拟试验;

4) 水下不分散混凝土水下无模袋灌注试验;

5) 水下不分散混凝土在斜坡段模袋中的灌注试验。

对试验结果进行分析,得到如下结论:

1) 普通细石混凝土遇水立即离析,不适合用于模式混凝土护底结构;

2) 科学合理配合比下的水下不分散混凝土施工性能良好,适用于本项目模袋混凝土施工;

3) 在水平状态下的模袋混凝土,受模袋约束,不分散混凝土摊开困难,灌注施工难度大;

4) 水下不分散混凝土在顶部无约束情况下,在水平面上灌注性能良好,证明只要改进水平模袋形式,即可适应水下水平模袋的施工;

5) 在斜坡段,混凝土重力可克服约束,水下不分散混凝土在斜坡段模袋中灌注性能良好。

#### 3.2 现场试验

为进一步验证实验室的试验结论和确定模袋混凝土施工工艺,四航院在工作船码头区域设置试验区(图3)进行现场试验性施工。

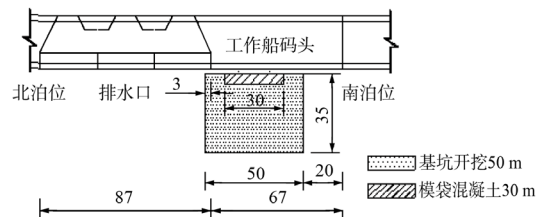


图3 现场试验区平面布置

试验区宽度30 m,由15个2 m×6.66 m模袋组成。根据实验室试验成果,土工模袋改为上下开敞的改良模袋,使用水下不分散混凝土,采用泵送施工工艺进行试验性施工。质量监控方面,除了对施工过程进行检查记录外,试验区设置小型模袋同步浇筑、水下取样制作混凝土强度试件、潜水员探摸、抽芯检验等质量监控手段。

试验性施工情况表明,采用适当的技术措施和施工工艺,土工模袋沉放、就位固定容易,混凝土灌注连续性好,从灌注后的模袋实地取样和同步灌注的小模袋取出的结果可以看到(图4)。



图4 同步灌注的小型模袋混凝土情况



图6 土工模袋加工及固定在模袋架上

混凝土和易性良好，没有发生离析现象。抽芯试验和强度试验表明，模袋混凝土质量良好，平均抗压强度达到32.7 MPa，高于设计要求的20 MPa，试验性施工获得成功。

根据现场试验性施工的试验成果和试验总结的护底模袋混凝土施工工艺和控制措施，顺利完成了整个项目的模袋混凝土护底结构施工任务。

#### 4 护底模袋混凝土施工工艺

##### 4.1 工艺流程

护底模袋混凝土施工工艺流程见图5。

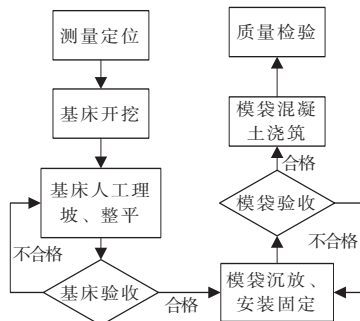


图5 模袋混凝土施工工艺流程

##### 4.2 主要工序施工方法

###### 1) 基床开挖、理坡整平。

基床开挖和理坡整平的施工及控制方法如2节所述。

###### 2) 模袋加工、沉放、安装固定。

土工模袋根据设计要求指标在专业生产厂家加工制作。根据前沿基床的尺寸把上平台和下平台的模袋改为敞开式，斜坡段模袋则为密封式，并预留混凝土灌注口。在现场把上下平台的模袋绑扎固定在模袋架上，与模袋架一同沉放铺设，模袋架为钢管焊接而成的钢架，起到支撑和控制模袋混凝土尺寸作用（图6）。

模袋沉放由操作工在设计位置的上游逐步下放模袋架。为减少水流影响，模袋架下放时可配压重，增加模袋架的质量，以顺利下放至指定的位置。

在模袋架下放到达基床后，由潜水员安装固定至设计位置。

###### 3) 模袋混凝土浇筑。

模袋混凝土采用的水下不分散混凝土按照设计配合比在专业混凝土生产厂家生产，混凝土坍落度宜控制在220~260 mm。

混凝土的浇筑采用泵送工艺。因为浇筑位置离码头面高差近21 m，且上下平台高程不同，泵管必须可以灵活调整浇筑位置，保证混凝土浇筑质量。

每个模袋浇筑混凝土的顺序为：先由上平台开始浇筑，再浇筑下平台，最后浇筑斜坡段，避免在斜坡段混凝土自重作用下，模袋发生位移。

#### 5 基床局部高压灌浆

在基床肩部和斜坡段采用局部高压灌浆进行加固处理，加固宽度3.2 m，加固深度1.80 m，灌浆孔孔距2.0 m。采用浆液配比为：水泥：水=1：1~0.5的水泥浆，灌浆压力0.4~0.6 MPa。

基床局部高压灌浆的施工难点为灌浆管埋设与密封。由于灌浆位置离码头面距离达20 m，深度只有1.8 m，用常规施工方法在块石层中钻孔埋管，施工难度大，效率低。同时在水下要使孔口密封达到抵抗灌浆压力要求也不易保证。

通过试验性施工，四航院采用预埋管工艺较好地解决了上述施工难题。根据灌浆管埋设深较浅的特点，在模袋安装之前，潜水员根据设计位置用人工埋管法埋设灌浆管，灌浆管露出基床面0.5 m。模袋安装时，灌浆管穿过模袋，与混凝土浇灌在一起，较好地解决管口密封问题。

在模袋混凝土达到设计强度后,即可开始进行高压灌浆,高压灌浆采用常规施工工法施工,潜水员负责灌浆管与预埋管间的装、卸,并由潜水员负责监控是否存在漏浆情况。

妈湾电厂的施工实践证明,用上述方法,实际施工效果良好,施工效率和施工质量均满足要求。

## 6 漂浮式护舷的制造与安装

妈湾电厂南、北泊位各新增配置漂浮式(充填型)橡胶护舷6套,共12套,每套护舷由护舷本体、锚链、锚栓、吊钩及其它配套部件等组成。护舷本体直径为3.7 m,长度为5.9 m。

在漂浮式护舷的设计施工上,四航院根据目前国内尚没有漂浮式护舷的相关规范,护舷构造、使用材料及厂家的生产工艺、质量性能指标等差异较大的实际情况,与生产厂家开展技术合作,生产实心漂浮式护舷。护舷芯层采用全自动热粘合XPE泡沫芯材、采用聚脲和尼龙子午线作为护舷外层。为确保产品的技术性能满足设计要求,护舷芯材技术指标的选择采用模型试验方法,护舷成品则采用实体靠泊试验进行质量验证。

漂浮式护舷利用现有的卸船机进行安装、拆卸,采用锚链系统固定在码头胸墙上,安装拆卸简便。

## 7 升级改造效果

施工全过程的监测结果证明,在码头升级改造施工期间,码头未观测到沉降及位移变形,也未出现基床局部塌陷问题,升级改造施工安全可控。

对南北两个泊位进行钻孔抽芯取样及施工过程进行的混凝土强度试验结果证明,模袋混凝土的厚度、混凝土强度,基床局部高压灌浆的施工质量均满足设计要求。

通过运煤船减载靠泊试验(由7.4万t减至6.5万t)以及满载(7.4万t)靠泊试验结果证明,漂浮式护舷的最大压缩量为25 cm,平均压缩量为15.8 cm,小于设计限定值( $\leq 50$  cm),证明漂浮式护舷的设计参数取值合理,制造及安装质量可靠。

一年多来,升级改造后的妈湾电厂专用卸煤码头已经安全靠泊运煤船接近100艘,使用效果良好,完全达到设计要求。

## 8 结论及建议

1) 模袋混凝土护底结构、基床局部压力灌浆较好地解决了基床局部加固处理难题,是质量可控的一套成熟技术解决方案,值得在同类升级改项目中推广应用。

2) 前沿基床浚深挖除施工是影响码头稳定安全的主要因素,必须充分论证,采用科学合理的施工工艺和保证措施以及严密的施工监控手段,以确保施工期码头安全。

3) 试验证实,作为护底结构的模袋混凝土不能使用普通混凝土。水下不分散混凝土在深水条件下施工性能良好,质量可靠,适合在模袋混凝土护底结构中使用。模袋混凝土护底结构的施工环境、条件有特殊性,应根据不同情况制定科学合理的施工工艺。

4) 高压灌浆技术在采用相应的技术措施后,可适合作为码头前沿基床块石固化的有效手段,成为重力式码头升级改造中基床整体化技术的重要组成部分。

5) 大型漂浮式护舷性能可靠,安装拆卸简便,适合作为重力式码头升级改造后船舶安全靠泊的重要附属设施。

## 参考文献:

- [1] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 深圳妈湾电厂专用卸煤码头改造工程可行性研究报告[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2010.
- [2] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 深圳妈湾电厂专用卸煤码头改造工程设计文件[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2011.
- [3] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 深圳妈湾电厂专用卸煤码头改造工程施工文件[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2011.
- [4] 范生雄, 丁昕, 宋春山. 模袋混凝土护坡的结构设计[J]. 黑龙江水利科技: 2005(2): 49.