



码头结构加固改造方法和施工技术

顾宽海, 李增光, 程泽坤, 赵 研
(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 结合近年来我国现有码头结构加固改造工程实例, 通过全面、系统的分析, 形成码头加固改造成套技术, 为码头结构加固改造的设计和施工提供安全、适用和示范性的技术方法。同时, 为构建一整套更加系统完备、科学规范、运行有效的技术体系提供借鉴。

关键词: 加固改造; 高桩码头结构; 重力式码头结构; 板桩码头结构; 关键施工技术

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)06-0174-09

Technology and construction method of strengthening and renovation of wharf structure

GU Kuan-hai, LI Zeng-guang, CHENG Ze-kun, ZHAO Yan
(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Combining with existing wharf structure reinforcement projects in recent years, we carry out a comprehensive and systematic analysis and put forward a complete set of technology for the strengthening and renovation of the wharf structure, which can provide a safe, suitable and exemplary technical method for the wharf structure reinforcement designing and construction. Meanwhile, it provides reference for building up a complete set of more systematic, scientific and standardized and effective technology system.

Keywords: wharf reinforcement; pile wharf structure; gravity quay structure; sheet pile wharf structure; key construction technology

近年来, 随着我国水路运输的快速发展, 老旧码头设施越来越不适应船舶新的发展需要, 如靠泊等级偏低、不能适应货种的变化、岸线资源的利用率偏低、码头通过能力不足等。为进一步完善港口功能, 适应新的发展需要, 需对既有码头结构进行相应的加固改造。但由于国内尚无针对码头结构加固改造方法进行的全面、系统的研究, 更无针对码头结构加固改造的统一技术标准或相关技术规定, 因此加固改造工程的经济性、技术先进性、安全性等难以保障。

基于对国内外大量工程案例的调研, 尤其是对近年来我国现有码头结构加固改造工程实例的调研, 进行了全面、系统的研究和总结, 形成码

头加固改造成套技术, 为码头结构加固改造的设计和施工提供安全、适用和示范性的技术方法。同时, 为构建起一整套更加系统完备、科学规范、运行有效的技术体系提供借鉴。

1 码头结构加固改造的特点及分类

通过对国内外几百个码头加固改造工程的调查研究和对比分析, 总结出码头结构加固改造具有如下特点。

1) 码头结构加固改造是当今世界码头工程建设的主要方式。

欧美等国家经历了新建码头、新建与加固改造并存以及重点放在加固改造方面的码头建设发

收稿日期: 2016-01-11

作者简介: 顾宽海 (1973—), 男, 教授级高级工程师, 从事总图及水工结构设计。

展过程。码头结构加固改造技术已经趋于成熟。尽管我国大规模码头加固改造近年来刚刚开始, 但是已有较多非常成功的案例。

2) 国、内外码头结构加固改造目的一致。

国内、外码头结构加固改造都是为了适应船舶大型化、适应新货种装卸、恢复或提高结构功能等^[1]。

3) 码头结构加固改造的技术方法具有多样性。

由于码头结构类型多样、货种多样、业主要求多样等, 决定了码头结构加固改造的技术方法也具有多样性。

码头结构加固改造关键技术分类如下:

- ① 高桩码头结构加固改造技术;
- ② 重力式码头结构加固改造技术;
- ③ 板桩码头结构加固改造技术;
- ④ 码头结构加固改造关键施工技术。

2 关键技术

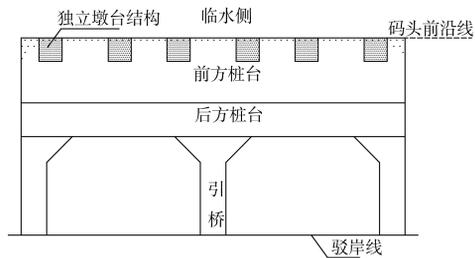
2.1 高桩码头结构加固改造技术

高桩码头加固改造的重点和难点是桩基布置。高桩码头的透空性使其具有一定的空间、水陆域条件, 为码头结构加固改造提供有利的条件, 因此其改造的方法较多。

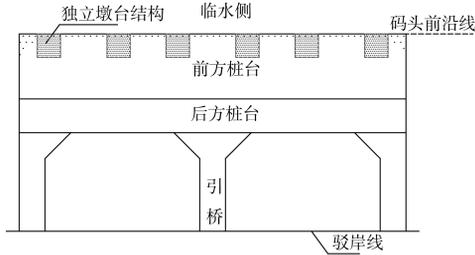
高桩码头结构加固改造工程从平面布置上可以分为: 码头前沿线变化的结构加固改造和前沿线不变化的结构加固改造两大类。根据该分类, 结合所收集的国内外码头结构加固改造的技术方案, 总结出码头前沿线不变前提下可采用分离式墩台法^[2]、局部加固法、板桩加固法、扩大护舷法等基本方法或上述基本方法组合的方法; 码头前沿线变化前提下可采用前方桩台法^[3]、分离式墩台法等基本方法或上述基本方法组合的方法(图1, 表1)。

表1 高桩码头结构各种加固改造基本方法特征

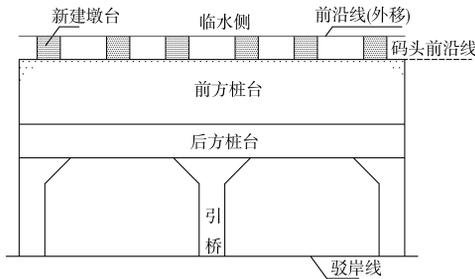
项目	定义	适用范围	技术特点
分离式墩台法	在连片式码头前沿线不变的情况下, 对原有码头结构通过增加桩基础、扩大码头主要受力梁板构件尺度, 提高码头结构整体承载能力的方法	既有连片式码头结构工作性能差, 结构整体刚度和承载能力不足, 不能适应使用荷载的要求, 需增设桩基、重建节点轨道梁等情况	可充分利用原结构体系及发挥原有基桩承载力, 减少新增基桩的数量或基桩规格, 改造位置相对灵活; 但受码头空间约束, 沉桩限制较多, 新老结构间结合技术要求高
局部加固法	根据到港船舶尺度, 将码头前方桩台部分结构物拆除, 或直接在既有码头结构前方, 新建与原结构分离的系、靠墩结构, 用于独立承受船舶荷载作用	既有码头结构基本完好, 码头结构竖向承载能力较高, 水平刚度不足, 结构性能不能满足船舶荷载作用	前沿线保持不变时, 施工干扰少、改造面小、速度快、造价低, 但桩基施工受限制; 前沿线外移时, 桩基施工较方便, 但减少了码头装卸臂有效作业范围, 施工时需停产
板桩加固法	为了加大高桩码头前沿水深, 保持驳岸整体稳定, 在码头前沿或后方设置板桩墙的方法	码头结构性能较好, 能够满足船舶荷载和工艺荷载的使用要求	全面提升码头等级, 但是需停产施工, 工程量略大
前方桩台法	在既有码头结构基本完好情况下, 在码头结构前方新建平台结构, 对原码头结构进行扩大, 提高结构性能的方法	码头前沿浚深, 前沿线位置可以前移, 工艺荷载变化, 原码头桩基承载力及上部结构具备一定承载能力	全面提升码头等级但需停产, 工程量略大
扩大护舷法	在既有码头前方新设新型护舷, 由新建墩台或既有码头排架承受船舶荷载	维持码头前沿线位置, 将到港船舶停泊位置微量外移, 前沿泥面适当浚深	提升了码头等级, 工程造价较低, 工程实施周期短; 但减少码头装卸设备吊臂作业范围



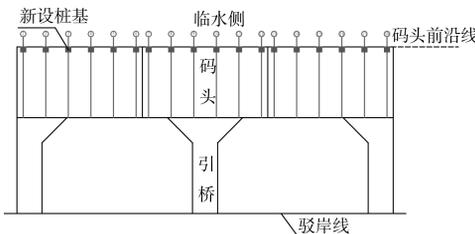
a) 等高分离式



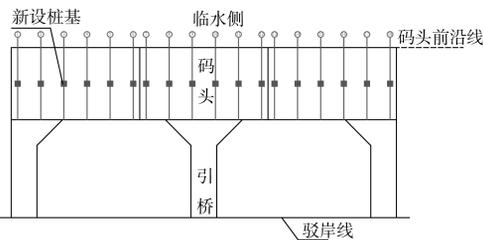
b) 嵌入分离线



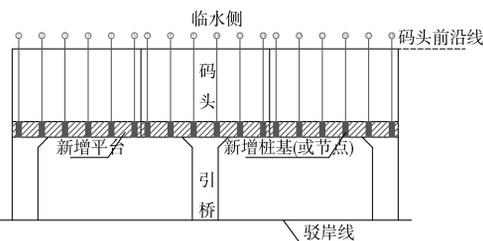
c) 前方墩台法



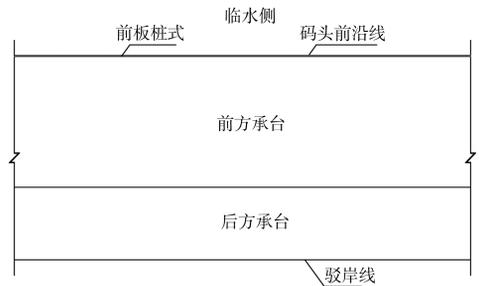
d) 前节点局部式



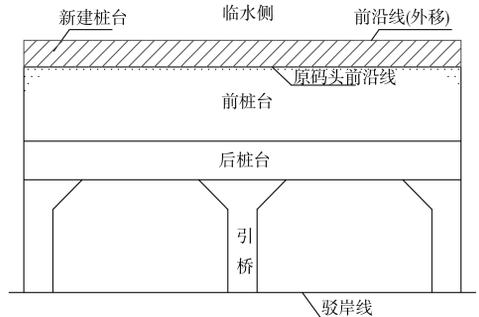
e) 中部节点局部式



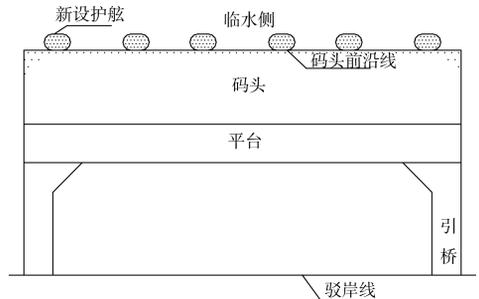
f) 后节点局部式



g) 板桩加固法



h) 前方桩台法



i) 扩大护舷法

注: a)~c)为分离式墩台法; d)~f)为局部加固法。

图1 高桩码头结构加固改造方法

2.2 重力式码头结构加固改造技术

重力式码头结构加固改造的技术难点主要是码头前沿的浚深直接影响重力式结构的稳定性。结合所收集的工程实例以及理论上成立的技术方法,重力式码头结构加固改造有3条技术途径:

1) 新建结构如新建码头、墩台,扩大胸墙块体,墙后减压承台法等;

2) 升浆改变基床散粒力学特性,固化基床,直接传导荷载至地基基础;

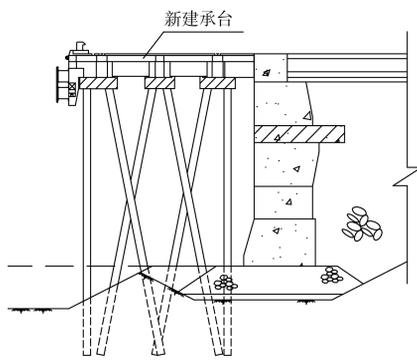
3) 结合目前较为成熟的地基加固技术,改善后方填料性质,减少或隔离直接作用于墙身的土压力。

结合所收集的国内外码头结构加固改造的技术方案, 得出以下认识: ①码头前沿线不变前提下, 墙前少量疏浚, 可采用扩大护舷法、基床升浆法、墙身注浆法、胸墙扩大法、墙后地基处理

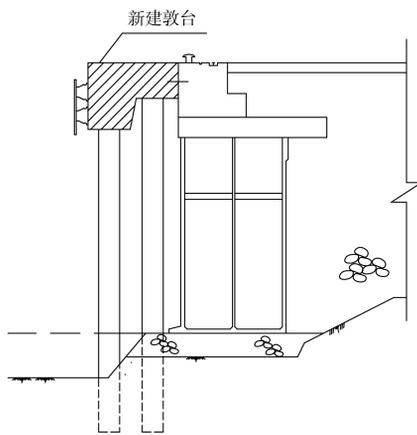
法^[4]、墙后减压承台法; ②码头前沿线变化、墙前浚深可采用墙前桩台法、墙前墩台法。重力式码头技术加固改造方法可同时采用多种方法相结合。各种加固改造基本方法见图 2, 特征见表 2。

表 2 重力式码头结构各种加固改造基本方法特征

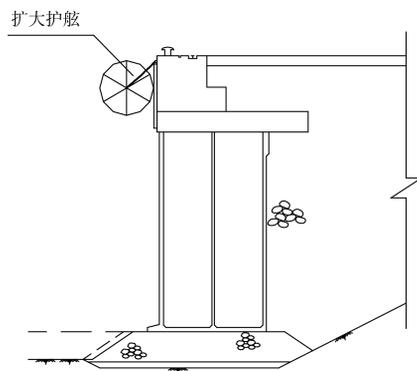
项目	定义	适用范围	技术特点
墙前桩台法	在既有码头地基应力、抗滑、抗倾安全度偏低, 现状条件下在墙前浚深不具备条件, 通过在其前方新建桩台, 并浚深码头前沿水深, 达到停靠大型船舶的目的	既有码头前方水域或港池开阔, 具备将前沿线外推的条件; 码头前沿地质条件较好, 有一定厚度土层, 可利用水上打桩或嵌岩桩桩型建设新桩台	码头提高等级较大, 新建结构安全性、适用性和耐久性达到规范要求, 基本不影响堆场的作业; 但码头须全面停产, 工程量大
墙前墩台法	既有码头地基应力、抗滑、抗倾安全度有限, 在墙前不具备浚深条件下, 通过在其前方新建墩台, 并有限浚深码头前沿水深, 达到停靠大型船舶的目的	既有码头前方水域或港池开阔, 可适当将前沿线外推, 码头前沿地质条件较好, 有一定厚度土层, 可利用水上打桩或嵌岩桩桩型, 建设高桩墩台	码头前沿可浚深, 提升停靠船舶等级。新建结构安全性、适用性和耐久性达到要求, 基本不影响堆场的作业。但码头须全面停产
扩大护舷法	既有码头地基应力、抗滑、抗倾安全度满足要求, 维持码头前沿线不变, 通过增大护舷尺度, 将船舶停泊位置适当外移, 少量浚深码头前沿水深, 达到停靠大型船舶的目的	既有码头前方水域或港池尺度有限制, 码头前沿线维持不变, 需少量浚深, 维持原有的工艺流程	码头前沿可少量浚深, 停靠船舶等级略有提升, 基本不影响码头的作业, 工程量小; 但减少了码头装卸臂有效作业范围
基床升浆法	通过注浆将基床的散粒体转化成胶结体, 并与底板连成一块, 固化基床, 改善基床应力分布, 直接提高基床承载力和抗滑能力	对抛石基床的地基加固, 如既有码头墙前基床肩台出现空洞、垮塌直接威胁码头安全	该技术相对成熟, 分段施工, 对码头正常生产影响较小; 但水下工作量大, 升浆实际范围和升浆量难确定
墙身注浆法	既有码头块体出现碎裂、崩塌等影响块体的抗滑、抗倾稳定性, 通过在格构中注浆加大重量, 提升码头抗滑能力	对既有码头加固, 提升结构安全	提升结构安全性, 工程量小
胸墙扩大法	既有码头地基应力、抗滑、抗倾安全度较大, 墙前水深无需浚深, 但因船舶荷载增大, 需通过增大胸墙块体, 以满足胸墙抗滑稳定要求	墙前水深有富裕, 原结构安全	码头等级可适当提高, 改造作业面小, 陆上作业, 工程量小
墙后地基处理法	既有码头地基应力、抗滑、抗倾安全度有限, 通过采用地基处理改变墙后回填砂的力学性质, 减少墙后土压力, 适应大型船舶靠泊要求	码头地基应力、抗滑、抗倾安全度有限。通过改变墙后回填砂的力学性质, 减少作用于墙身的水平土压力	提升结构安全性, 陆上施工; 但码头须全面停产, 工程量大
墙后减压承台法	既有码头地基应力、抗滑、抗倾安全度有限, 通过采用新建低桩承台, 直接将上部荷载传递至地基而减少墙后土压力, 适应大型船舶靠泊要求	码头地基应力、抗滑、抗倾安全度有限。采用新建低桩承台, 减少墙后水平土压力, 提升码头的抗滑、抗倾稳定性	提升结构安全性。需解决前后轨差异沉降问题; 但码头须全面停产, 陆上冲孔成孔较困难, 工程量大



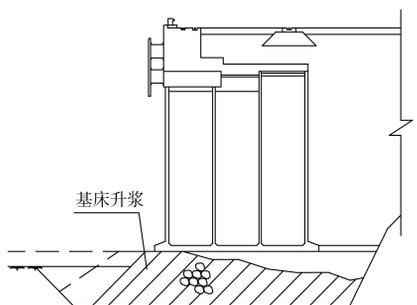
a) 墙前桩台法



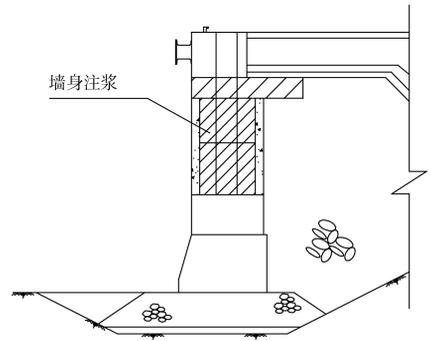
b) 墙前墩台法



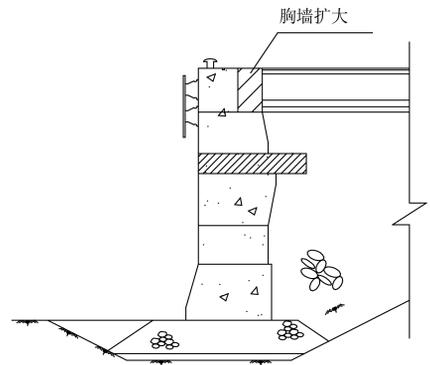
c) 扩大护舷法



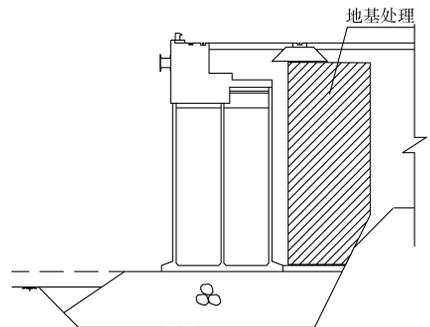
d) 基床升浆法



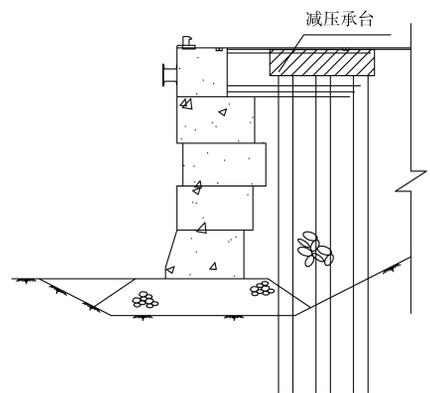
e) 墙身注浆法



f) 胸墙扩大法



g) 墙后地基处理法



h) 墙后减压承台法

图2 重力式码头结构加固改造方法

2.3 板桩码头结构加固改造技术

板桩码头结构加固改造的关键技术之一是采取有效措施降低作用在板桩上的土压力、提高板桩结构的安全性以达到码头结构加固改造的目的。结合工程实例以及理论上可行的技术方法, 板桩码头加固改造的技术途径可从以下 5 个方面考虑:

- 1) 新建结构如新建桩台、墩台, 将原板桩码头作为直立式驳岸使用或设置新板桩及锚碇设施;
- 2) 调整、加密或新设拉杆和锚碇设施;
- 3) 在墙后设置新结构如半遮帘、全遮帘桩、减压平台, 减少或调整墙后土压力的大小及分布;

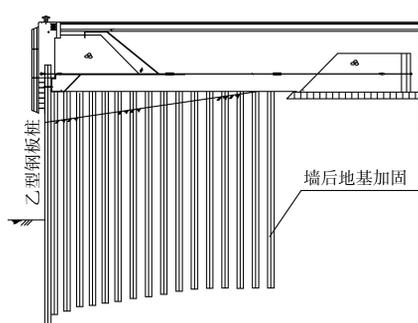
4) 结合目前较为成熟的地基加固技术, 改善后方填料性质, 减少直接作用于板桩墙的土压力。

其中, 墙前新建结构的技术途径或多或少改变前沿线位置, 较大幅度提升码头等级; 其余的可在既有码头前沿线不变的情况下加固改造既有码头, 提升码头结构安全度或有限度提升码头的等级。

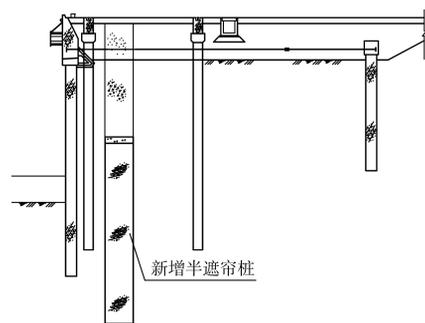
板桩码头结构加固改造技术方法有墙前桩台法、墙前墩台法、墙后地基加固法、新建板桩法、墙后减压承台法、墙后半遮帘或遮帘桩法、调整锚碇设施法。各种加固改造方法见图 3, 特征见表 3。

表 3 板桩码头结构各种加固改造基本方法特征

项目	定义	适用范围	技术特点
墙后地基加固法	维持码头前沿线不变, 既有板桩结构断面强度有富裕, 板桩后土层土壤力学指标较差, 通过将地基加固, 减少主动土压力	适用码头工程地质条件较差的小码头	陆上施工, 提高土壤抗剪强度, 减少墙后土压力; 但加固效果较难判定
新建板桩法	当既有板桩码头等级小、板桩断面小、前沿浚深码头结构不具备条件时, 通过将码头前沿线外推, 在前方新设板桩墙, 达到停靠大型船舶的要求	既有码头前方水域或港池具备将前沿线外推的条件	码头前沿线外移不受岸坡稳定影响, 码头提高等级较大; 但码头须停产, 工程量大
墙后减压承台法	维持码头前沿线不变, 通过板桩墙后新建承台, 直接将上部荷载传递至地基, 减少墙后土压力, 实现码头前沿泥面浚深	后方场地条件允许开挖建设减压承台	陆上施工, 作业面相对小; 但对生产干扰较大, 工程量大, 费用较高
墙后半遮帘桩法和墙后遮帘桩法	维持码头前沿线不变, 既有板桩刚度较大, 强度具备一定富裕, 在板桩墙后较小距离内的板桩下部浇注具有一定厚度的连续墙, 作为半遮帘桩或全遮帘桩, 利用其减少作用于前板桩下半部分的土压力, 可适当浚深码头前沿水域以停靠大型船舶	码头工程地质条件较好, 墙后填料采用细颗粒填料等, 便于基槽施工	陆上施工, 施工作业面小, 对生产干扰少, 造价便宜; 但前板桩的土压力分布和大小需通过试验加以验证
调整锚碇设施法	维持码头前沿线不变, 既有板桩码头锚碇设施出现沉降、水平位移, 影响板桩结构受力体系, 通过加密拉杆、新建锚碇结构, 保证结构安全, 维持停靠原设计船型的要求	既有码头前方水域或港池不具备将前沿线外推的条件, 板桩前沿出现向临水侧位移, 适用于小型码头	陆上施工; 但码头须停产, 土方工程量大



a) 墙后地基加固法



b) 墙后半遮帘桩法

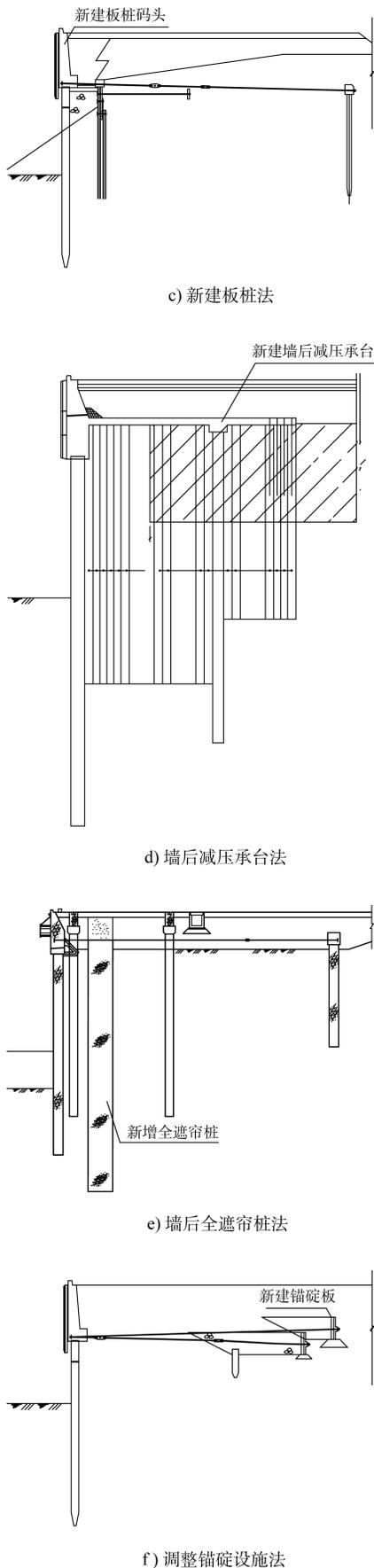


图3 板桩码头加固改造方法

墙前桩台法、墙前墩台法的适用范围、技术特点同重力式码头，不再赘述。

2.4 码头结构加固改造关键施工技术

码头结构加固改造不同于新建项目，它不仅受空间、环境的限制，同时传统的技术方法也存在着局限。本文结合工程实例，总结码头结构加固改造关键施工技术包括无震动直线切割技术、码头气力清淤技术、码头陆上沉桩技术、基床升浆技术、沉箱无损穿洞或深厚抛石(砂)场地成孔技术等关键施工技术方法。

1) 无震动直线切割技术。

为减少整体拆除构件对环境等的影响，码头结构加固改造中引进了无震动直线切割技术。该项技术具备速度快、环境影响小、噪声低、无粉尘污染的特点，可采用遥控操作，实施水下、危险区域的切割施工，切面整齐，切割块体大小不受限制。在长江某码头施工中创造过单块切除质量40 t、长度12 m的记录(图4、5)。

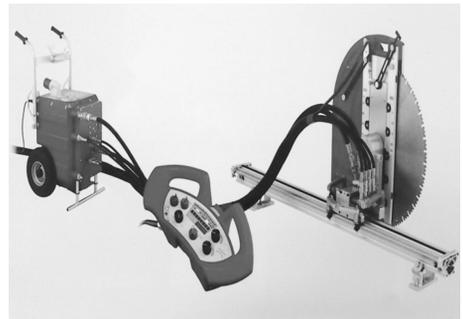


图4 切割设备



图5 水下切除桩基

2) 码头气力清淤技术。

为解决码头生产与码头清淤施工的矛盾以及码头清淤难的问题，清淤施工采用了新工艺——

码头气力清淤技术,码头气力清淤技术是指采用气力泵搅动码头下淤泥,而后使用吸泥管将淤泥输送至泥驳,外运至抛泥区(图6、7)。



图6 码头后方气力设施



图7 码头气力系统和泥驳

3) 码头陆上沉桩技术。

针对高桩码头加固改造局部加固法中存在码头中、后部新设桩基的情况,采用履带式桩基在码头面上沉桩技术以解决受打桩船吊打限制和受打桩水域限制的问题,可减少结构拆除范围,提高改造效率。该工艺的打桩设备主要由履带式DH508打桩机、筒式柴油打桩锤和50t吊车组成。DH508桩机可以通过自身液压系统调节,施工小于等于3.5:1仰角的斜桩及随意扭角的桩,50t吊车辅助吊运第1节桩体。该技术已在扬州港码头加固改造工程等工程中成功应用。

4) 基床升浆技术。

为提高基床承载力和抗滑稳定形、保持前肩台稳定,在重力式码头加固改造中广泛地应用基床升浆。基床升浆就是制备合格的砂浆通过砂浆泵、输浆管、连接器和压浆管,在自重力作用下把砂浆压入基床块石空隙内,形成封闭系统。

5) 沉箱无损穿洞和深厚抛石区成孔技术。

沉箱无损穿洞和深厚抛石区成孔技术主要指在重力式沉箱或大圆筒结构加设土建设施,或设置止滑桩时^[5],采用大直径自由切削刃筒状钻头

及其配套的钻进工艺方法,能够在钢筋混凝土底板上工整、圆顺穿洞,而不破损穿洞以外的其他部位结构,且震动小,风险低,还可将混凝土芯打捞到地面。穿洞之后随即延深桩孔,然后下入钢筋笼,灌注混凝土完成钻孔灌注桩施工。该方法已在4#浮坞靠墩码头基床修复加桩工程以及广西防城港等工程中推广使用,效果良好。具体工程应用见图8、9。



图8 刃筒状钻头



图9 成孔后底板取芯

3 工程案例

该成果已在大连港、青岛港、镇江港、苏州港、宁波港、厦门港、深圳港、湛江港等70多个项目中成功应用,不仅确保了码头结构安全、经济合理,而且促进了我国港口走资源节约的内涵式发展道路,取得了较好的经济和社会效益,加固改造成套技术方法具有广泛的行业应用前景。

以镇江港某港区为例,8个泊位均采用高桩码头结构加固改造基本方法进行了加固改造,装卸货种为散杂货。据测算,这8个泊位经过加固改造之后,新增通过能力382万t/a,按照2012年度镇江港作业货种平均单价计算,这些新增通过能力为港口企业带来的直接财务收入为8118万元/a^[1]。

典型案例1：镇江港某港区6#泊位加固改造工程于1992年建成投产，码头总长度为200.5m，结构形式为高桩梁板式结构。码头原设计停靠5000吨级船舶，经改造后停靠2万吨级船舶。为适应新的船舶靠泊要求，根据结构及周边环境等条件情况，经复核、验算，改造采用定点系靠泊方式，即局部式改造技术方法，施工技术主要采用上部结构施工反吊模工艺，断面见图10。

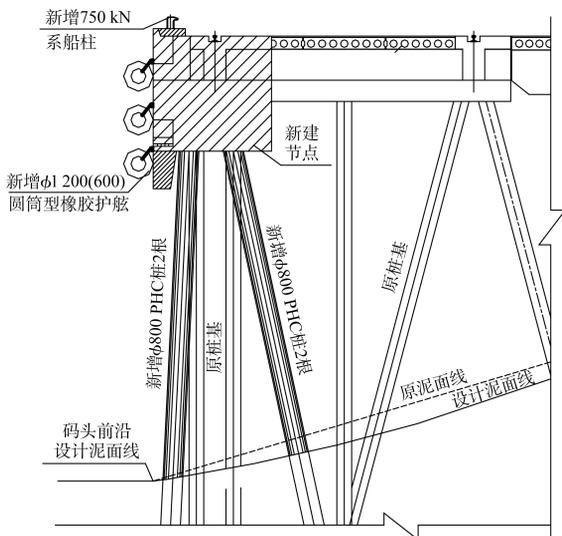


图10 案例1 码头改造断面

典型案例2：厦门港某港区19#泊位加固改造工程，该工程于2011年建成投产，码头长度为289.677m，结构形式为带卸荷板沉箱重力式结构。码头原设计为5万吨级多用途泊位，改造后停靠10万吨级散货船。为适应新的船舶靠泊要求，根据结构及周边环境等条件情况，经复核、验算，码头仅沉箱前趾基床应力稍有不满足要求，改造采用胸墙扩大法解决，施工技术主要采用注浆技术处理，断面见图11。

4 结论

1) 高桩码头结构加固改造工程方法主要包括分离式墩台法、局部加固法、板桩加固法、前方桩台法、扩大护舷法等或上述方法的组合方法。

2) 重力式码头结构加固改造工程方法主要包括墙前桩台法、墙前墩台法、扩大护舷法、基床升浆法、墙身注浆法、胸墙扩大法、墙后地基处理法、墙后减压承台法等或上述的组合方法。

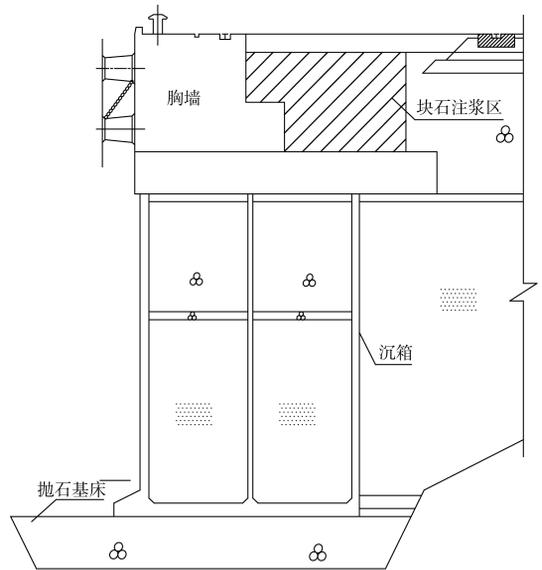


图11 案例2 码头改造断面

3) 板桩码头结构加固改造工程方法主要包括墙前桩台法、墙前墩台法、墙后地基加固法、新建板桩法、墙后减压承台法、墙后半遮帘或遮帘桩法、调整锚碇设施法等或上述的组合方法。

4) 码头加固改造工程涉及的无震动直线切割技术、码头气力清淤技术、码头陆上沉桩技术、基床升浆技术、沉箱无损穿洞或深厚抛石(砂)场地成孔技术等关键施工技术方法，为同类工程提供指导。

参考文献：

- [1] 常勤, 彭玉生, 祝振宇, 等. 全国沿海港口码头结构加固改造工作专题调查报告[R]. 北京: 交通运输部水运局, 中交水运规划设计院有限公司, 2013.
- [2] 吴辉, 顾宽海, 李增光. 分离式码头加固改造结构: 中国专利, ZL201120098179.0[P]. 2012-04-11.
- [3] 王轩. 天津港老旧码头加固和加深改造[J]. 港工技术, 2011(48): 30-32.
- [4] 边树涛, 宓宝勇. 重力式码头结构加固改造设计探讨[J]. 中国港湾建设, 2014(8): 24-27.
- [5] 顾宽海, 李增光, 程泽坤. 一种加固型重力式沉箱码头结构: 中国, ZL201220705068.6[P]. 2013-06-12.