



基于靠泊等级提升的高桩梁板码头加固改造方法

朱鹏宇¹, 杨靖培²

(1. 同济大学, 上海 200092; 2. 上海中交水运设计研究有限公司, 上海 200092)

摘要: 以靠泊等级提升为目的的码头加固改造是当今世界码头工程建设的一种主要方式。以上海港主要码头结构加固改造为例, 系统地介绍了基于靠泊等级提升的高桩梁板码头结构加固改造方法, 可为今后类似工程提供参考和借鉴。

关键词: 高桩梁板码头; 靠泊等级提升; 加固改造

中图分类号: U 656.1⁺13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)06-0099-07

Method of reinforcement and reconstruction for beam-slab high-piled wharf to improve berthing capacity

ZHU Peng-yu¹, YANG Jing-pei²

(1. Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai China Communications Water Transportation Design and Research Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: The reinforcement and reconstruction to improve the berthing capacity is a major way of wharf engineering construction in today's world. Taking the main wharf structure reinforcement and reconstruction of Shanghai port for example, method of reinforcement and reconstruction for beam-slab high-piled wharf to improve the berthing capacity is expounded systematically, the result of which may serve as reference for similar projects.

Keywords: beam-slab high-pile wharf; improvement of berthing capacity; reinforcement and reconstruction

随着我国经济发展对港口规模与运输能力需求的不断提高, 船舶大型化已经成为水路运输的发展趋势; 为适应船舶大型化、适应新货种装卸, 需对现有码头进行改造, 尤其是以提升码头靠泊等级等为目的的码头加固改造是当今码头工程建设的一种主要方式。尽管我国大规模码头加固改造近几年刚刚开始, 但是已有较多成功的工程案例。

高桩梁板码头是我国港口采用最早、应用最广的码头结构形式。高桩梁板码头结构形式多样、使用需求多样等因素决定了码头结构加固改造方法的多样性。近年来, 码头结构加固改造的技术研究很多, 但是没有形成系统、完整的技术体系。本文以上海港外高桥、罗泾、洋山等港区的大型

公共码头近年来实施的码头结构加固改造工程为例, 系统梳理总结并提出基于靠泊等级提升的高桩梁板码头加固改造方法和措施。

1 码头加固改造主要方法^[1]

1.1 局部改造法

是指对既有码头结构通过增加桩基或扩大主要梁板构件尺度等, 与既有码头结构结合成整体, 以提高码头结构整体性能的加固改造方法。该方法适用于既有码头结构工作性能差、结构整体刚度和承载力不足、无法适应码头使用荷载的情况。

1.2 分离式改造法

是指将码头前方桩台部分结构拆除或直接在

收稿日期: 2016-01-11

作者简介: 朱鹏宇 (1977—), 男, 博士研究生, 高级工程师, 从事港口技术管理工作。

既有结构前方通过新建与既有结构分离的系靠结构来独立承受船舶荷载的加固改造方法。该方法适用于既有码头结构基本完好、竖向承载力较高、水平刚度不足、结构性能不满足船舶荷载的情况。

1.3 前方桩台法

是指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，提高结构性能的加固改造方法。该方法适用于原码头桩基和上部结构具有一定承载能力、码头前沿线位置可以前移、码头前沿需浚深的情况。

1.4 扩大护舷法

是指在既有码头前方新设新型护舷，由既有码头排架承受荷载的加固改造方法。该方法适用于原码头结构承载力能够满足要求，工艺荷载维持不变，需基本维持码头前沿线的情况。

1.5 串联式加固法

是指针对有前后桩台的码头结构，且前后桩台排架布置一致，通过将前桩台和后桩台串联连接，形成较大水平刚度的整体受力结构的加固改造方法。该方法适用于码头前沿线、工艺荷载不变、码头前沿需浚深的情况。

1.6 板桩加固法

是指在码头前沿或后方设置板桩墙的加固改造方法。该方法适用于码头结构性能能满足使用荷载但因码头前沿浚深导致岸坡稳定性不足的情况。

1.7 锚杆加固法

是指通过加设锚杆将码头横梁与后方驳岸锚碇墙连接以提高码头结构水平承载力的加固改造方法。该方法适用于码头仅水平刚度不足的情况。

2 基于靠泊等级提升码头加固改造的实例

2.1 码头桩基加固

2.1.1 码头桩基修复加固

1) 水下墩柱玻纤套筒加固系统——夹克法。
玻纤套筒加固系统是采用一个永久性、高强度套筒保护结构，耐盐碱、腐蚀性污染物、干湿循环和冻融循环破坏。该方法主要应用于码头桩基的修复和加固防护，以及对新建结构的预先防护。实践证实了是一种经济、高效和长期维护的

解决方案。

利用氢酯（HYDRO-ESTER）高分子聚合物有高强度的防腐蚀作用，可应对海水腐蚀。由于玻纤套筒对化学反应的惰性，可抗各种化学制剂，耐酸、耐碱性。由于其对水不敏感，在水下施工仍有超强、紧密的粘结力。特别是可在水下施工而不需要搭建围堰、不需要花费高昂的排水设备。是一套省时、省工、省钱的最佳防腐蚀系统。

2) 外加套筒浇筑混凝土修复法。

外套钢板套筒即采用外套钢板套筒并浇筑混凝土形成类似钢管混凝土桩结构。用钢板代替损失的钢筋，现浇混凝土代替原桩截面混凝土。

钢板套筒截面形式主要有钢板方桩和钢管桩两种（图 1、2）。钢板套筒可根据人工作业的质量限制进行分段制作，各段由法兰盘连接或焊接相连成一体。由于码头加固时桩基以上的结构已经存在，因而大型设备无法在码头上部结构下方作业，故作业方式以人工为主。

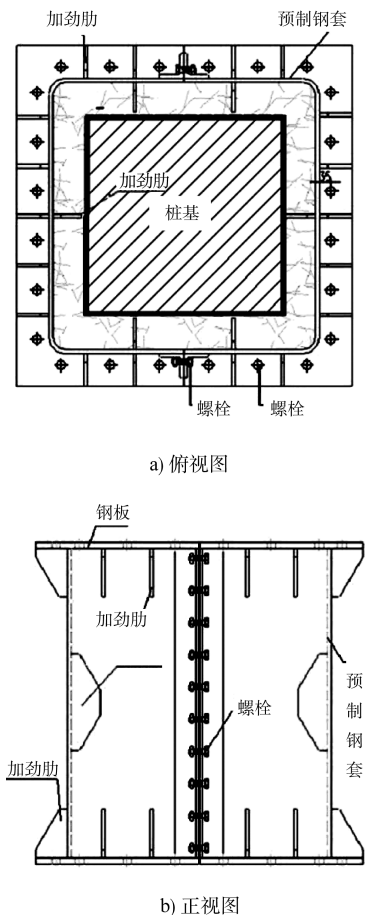


图 1 外套钢方桩加固(法兰盘连接)

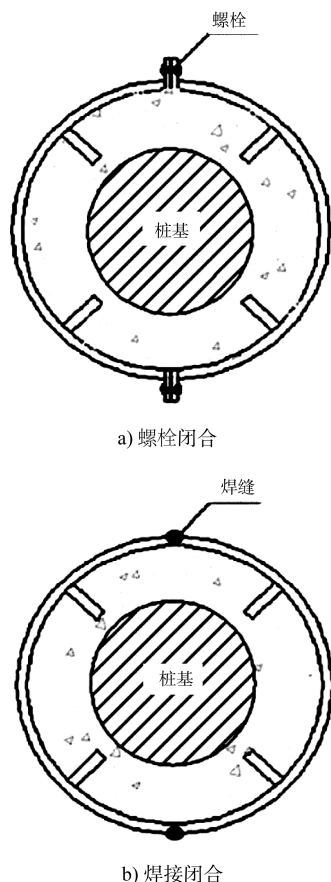


图 2 外套钢管桩加固

3) 沉井修复断桩方法。

沉井修复断桩方法主要是制作钢板薄壁沉井,在高压射水 and 外加荷载下沿桩体下沉至设计高程,在井内进行断桩复位和钢筋混凝土水下浇筑补强。

工程实践证明,该法适用于桩基码头前沿直桩修复和中小型桥梁桩基的修复工程,尤其适用于断桩位置深埋于河床土中的桩基修复。具有设备简单、施工快捷、质量可靠、费用低廉的特点。

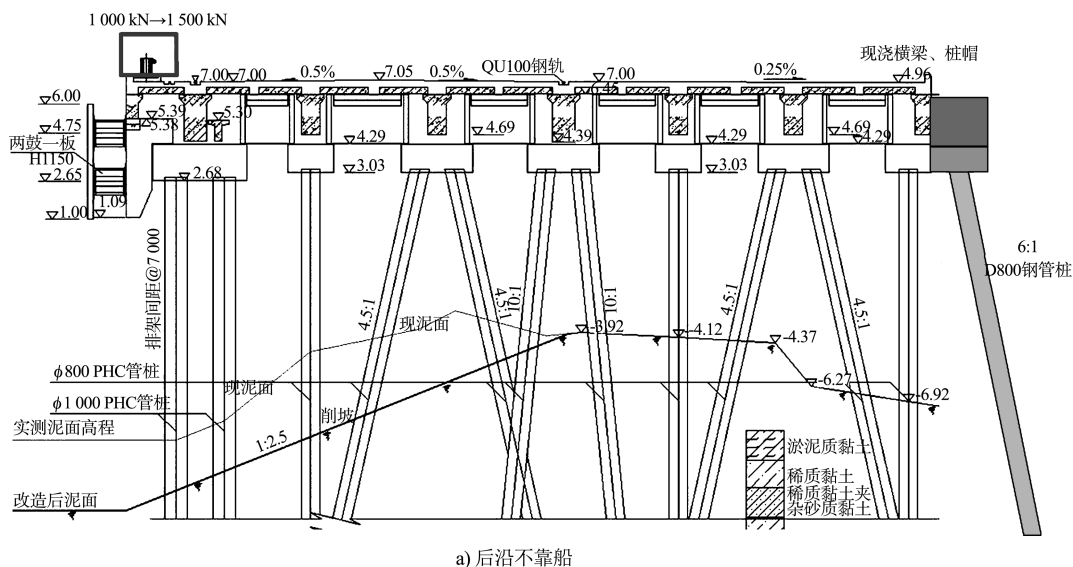
4) 碳纤维复合材料加固法。

粘贴碳纤维复合材料加固法可用于平均潮位以上受弯、受拉、实心轴心受压和大偏心受压构件的加固。不应用于素混凝土和纵向受力配筋率低于 JTJ 267—1998《港口工程混凝土结构设计规范》规定的最小配筋率的构件加固。

碳纤维加固分为碳纤维板和碳纤维布加固系统，在桩基裂缝修补加固中有所应用。碳纤维板粘贴后体系厚度小（胶粘剂厚度 1~3 mm），抗拉强度高、弹性模量高，碳纤维含量高达 70% 以上，配套粘板胶共同使用可保证整个加固系统适配性，可大幅提高混凝土构件抗弯能力。常规的碳纤维布用于结构构件的抗拉、抗剪和抗震加固。

2.1.2 码头排架后沿加桩^[2]

对于主要由水平力(船舶荷载)造成的桩基承载能力不足的码头,需要增加斜桩来提升码头水平承载能力;码头后沿如无靠泊功能,一般可采用后沿加桩的方式提高码头等级,可在每个结构分段两侧的第1、3榀排架或每榀排架后沿加长横梁或桩帽,并增加节点,下设桩基。该方法对码头正常生产影响最小(图3a))。



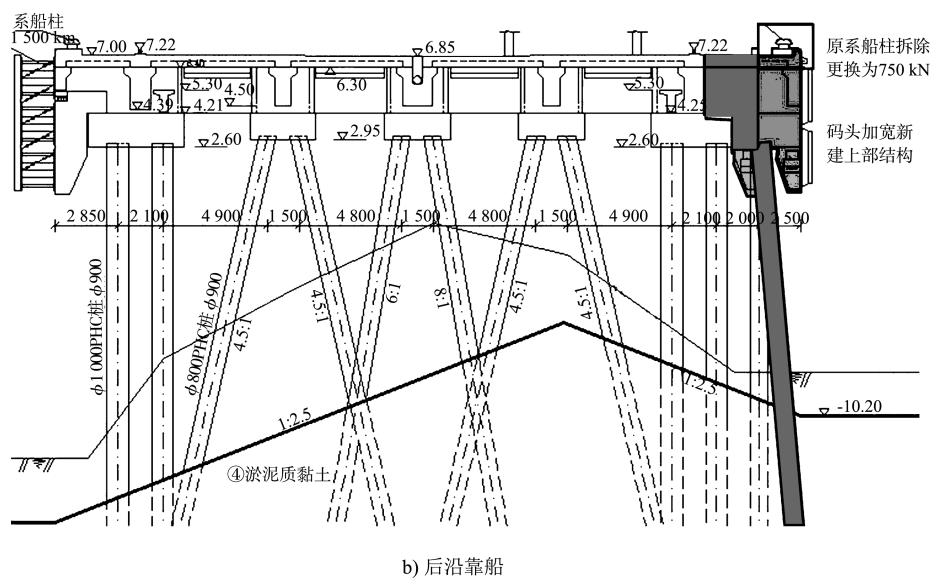


图 3 码头后沿加桩 (高程: m; 尺寸: mm。下同)

施工主要有 2 种方法, 后沿水域如有足够的空间和水深条件, 可采用打桩船来施打桩基; 如后沿水域空间狭小或水深严重不足, 可采用履带式打桩机进行施打, 在码头上打桩。

对于后沿有靠泊功能的码头, 在码头后沿加桩时, 通常可将后沿靠船系缆设施拆除, 增设桩基后将码头梁系加宽, 并新建靠船构件及附属设施(图 3b))。后沿若无装卸设备, 上述改造方式对装卸工艺不会产生很大影响, 否则需要复核码头面加宽后造成的机械有效臂长减小可能会导致装卸困难的情况。

2.1.3 码头排架前沿加桩^[3]

当需提高码头前沿靠泊等级时, 如码头前沿控制线无特殊要求, 可在码头前沿加桩(图 4)。如在前沿每榀排架增加 1 根钢管桩或 PHC 管桩, 并新增桩帽、横纵向梁系及面板, 码头宽度亦相应增加。

码头前沿多数情况下有装卸机械作业, 前沿加宽后, 需要复核由于码头宽度增加而造成的机械有效臂长减小, 可能会导致装卸困难的情况。

2.1.4 码头排架两侧加桩^[3]

如码头前后沿均设有固定的机械设备, 在前后沿加桩难度较大, 可在码头每榀排架下增设一个节点, 该节点由位于排架两侧的两根钻孔灌注桩(PHC 管桩或钢管桩) 和与横梁连接的桩帽组成, 以增加码头的靠泊等级(图 5)。此方法主要可以大

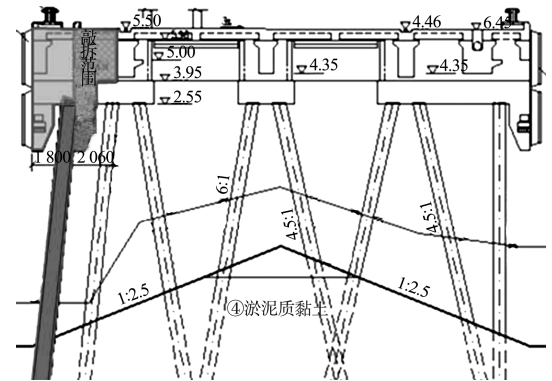


图 4 码头前沿加桩

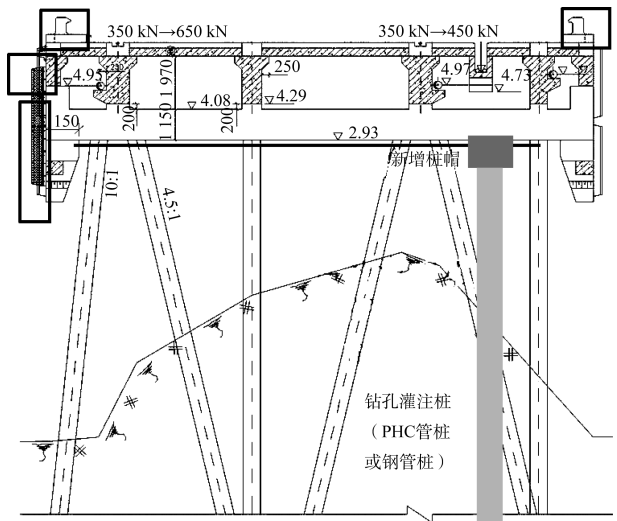


图 5 码头排架两侧加桩

幅度提高码头的竖向承载能力, 同时也可利用灌注桩自身的刚度局部提高码头的水平承载力。

2.1.5 墩式加桩

如码头靠泊等级提升较多, 在每榀排架前、后沿或两侧加桩无法满足靠泊能力提升的要求时, 可考虑将码头前沿局部拆除, 增设多根桩基, 上部现浇整体混凝土, 形成靠船墩或系缆墩(图6)。此结构完全不需考虑原码头排架承受水平力, 水平力由增设的靠船墩或系缆墩来承受, 而原结构仅承受竖向荷载。实际受力时, 新增墩台又与老码头结构相互依靠、互为补充, 形成一个较为完整、安全的码头结构。

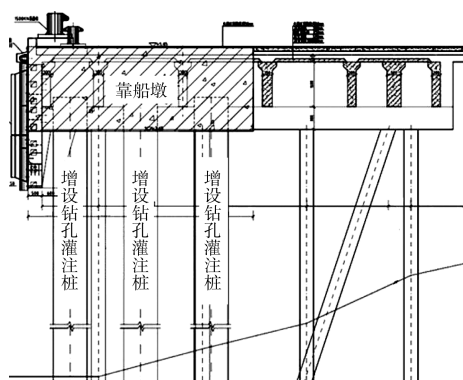


图6 码头墩式加桩

2.2 码头纵横梁系加固

2.2.1 正截面梁底加固

1) 增大梁截面和配筋加固法。

当梁的强度、刚度、稳定性和抗裂性能不足时, 通常可采用增大构件截面和增加配筋的加固方法, 要求被加固原构件混凝土强度等级不宜低于C20。

采用增大截面加固法时, 新增截面部分可用现浇混凝土、自密实混凝土或喷射混凝土浇筑而成。可在原有主筋上焊接需要补强的钢筋, 补强钢筋的尺寸和数量应按强度计算确定。该方法多需水下作业, 受到潮水影响较大, 施工不便, 故采用较少。

2) 喷射混凝土加固法。

喷射混凝土是采用压缩空气将按一定比例配合的混凝土拌合料通过管道输送并以高速高压喷射到受喷表面的一种混凝土。该法主要适用于粘贴钢板及粘贴碳纤维加固均不适合的情况。

3) 粘贴加固法。

①外包型钢加固法。

外包型钢加固法分为外粘型钢加固法和无粘结外包型钢加固法, 均适用于需要大幅度提高截面承载能力和抗震能力的钢筋混凝土梁的加固。工程允许使用结构胶黏剂, 原梁状况适于采取加固措施时宜选用外粘型钢加固法。该方法属复合截面加固法, 加固后承载力和截面刚度可按整截面计算。

②粘贴钢板加固法。

粘贴钢板加固法适用于对钢筋混凝土受弯、大偏心受压和受拉构件的加固; 不适用于素混凝土以及纵向受力钢筋一侧配筋率小于0.2%的构件加固。被加固构件的实测混凝土强度等级不得低于C15, 且混凝土表面的正拉粘结强度不得低于1.5 MPa。

粘贴钢板的外表面应进行防锈蚀处理, 表面防锈蚀材料对钢板及胶粘剂应无害。加固时应采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

粘贴钢板宽度不宜大于100 mm, 采用手工涂胶时钢板厚度不应大于5 mm, 采用压力注胶时钢板厚度不应大于10 mm, 且应按外粘型钢加固法的焊接节点构造进行设计。对钢筋混凝土受弯构件进行正截面加固时, 均应在钢板的端部(包括截断处)及集中荷载作用点的两侧, 对梁设置U型钢箍板; 对板应设置横向钢压条进行锚固。

③粘贴纤维复合材料加固法。

粘贴纤维复合材料加固法适用于钢筋混凝土受弯、轴心受压、大偏心受压及受拉构件的加固, 不适用于素混凝土以及纵向受力钢筋一侧配筋率小于0.2%的构件加固。被加固构件的实测混凝土强度等级不得低于C15, 且混凝土表面的正拉粘结强度不得低于1.5 MPa。

采用此法加固时应将纤维受力方式设计成仅承受拉应力作用。纤维复合材料不得直接暴露于阳光或有害介质中, 其表面应进行防护处理。表面防护材料应对纤维及胶粘剂无害且应与胶粘剂

有可靠的粘结强度及相互协调的变形性能。加固时应采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

2.2.2 正截面梁顶加固

受码头面施工机械的影响，一般正截面梁顶加固采用开槽加钢筋的方式。以上海港某码头加固为例，当横梁顶部纵向受力钢筋数量不能满足加固要求时，在横梁顶部一定范围内，开设 3.85/2.85 m×0.7 m×0.35 m 的槽，增设 4@25 mm 钢筋，加筋后回浇混凝土。开槽敲拆时保留原面层钢筋；开槽加筋时，新加入钢筋需与原横梁箍筋采用点焊连接。

2.2.3 斜截面加固

1) 粘贴钢板加固法。

受弯构件斜截面受剪承载力不足，应采用胶黏的箍板进行加固，箍板宜设计成加锚封闭箍、胶锚 U 形箍或钢板锚 U 形箍（图 7、8）。箍板应垂直于构件轴线方向粘贴，不得斜向粘贴。

2) 粘贴纤维复合材料加固法。

采用纤维复合材料条带对受弯构件斜截面受剪承载力进行加固时，应粘贴成垂直于构件轴线方向的环形箍或其他有效的 U 形箍，不得采用斜向粘贴。

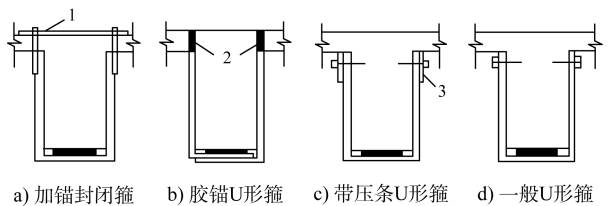


图 7 扁钢抗剪箍及其粘贴方式

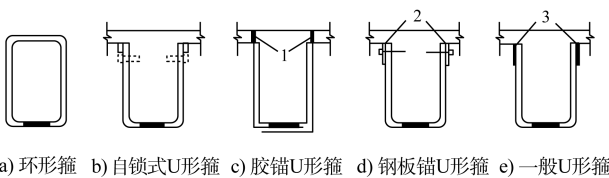


图 8 U 形箍及纵向压条粘贴方式

2.2.4 裂缝、露筋加固

裂缝、露筋加固多采用粘贴加固法。粘贴加固技术是一种用化学粘贴剂从结构外部粘贴补强材料的补强方法。在受损构件表面粘贴碳纤维布

后，在不增加原截面的条件下，当梁受力后残余变形对梁造成的损害可变得很小，从而有效地阻止原有裂缝进一步的开裂，保护钢筋不受氧离子的侵害，同时，修复部位不受湿度影响及有害物质的侵害。

以上海港某码头加固为例，码头横梁存在裂缝及露筋的现象，须对锈蚀部分的钢筋进行除锈，并涂刷混凝土阻锈保护液，然后用环氧砂浆修补平整，再在表层粘贴碳纤维布一层。粘贴部位必须超出露筋部位 200 mm。当纤维布沿其受力方向需沿构件转角处粘贴时，转角处构件表面的倒角半径应不小于 30 mm。

2.3 码头面板加固

2.3.1 承载能力不足情况加固方法

1) 底部承载能力不足。

由于面板底部没有浇筑混凝土施工的条件，一般采用粘贴加固的方法，也可采用喷射混凝土加固方法。增加支点以减小跨度的方法适用于板结构的加固，按支撑结构受力性能的不同可分为刚性支点加固法和弹性支点加固法两种。设计时，应根据被加固结构的构造特点和工作条件选用其中一种。

2) 顶部承载能力不足。

顶部承载能力不足一般采用增大截面加固法。一般情况下，除混凝土表面应予打毛外，尚应采取涂刷结构截面胶、种植剪切销钉或增加剪力键等措施以保证新旧混凝土共同工作。新增混凝土层的最小厚度不应小于 40 mm。加固用的钢筋应采用热轧钢筋，板的受力钢筋直径不应小于 8 mm。

2.3.2 裂缝、露筋修复方法

面板加固修复采用的方法多为使用修复砂浆、粘贴碳纤维布、灌浆修复等加固方法。

1) 宽 0.1~0.3 mm，同区裂缝≤2 条。

沿裂缝走向骑缝凿深不小于 30 mm 和宽度不小于 20 mm 的 U 型槽；清除槽内松散层和其他不牢附着物；准确称重和配制改性高性能修复砂浆，然后一次或分次压入 U 型槽使其略高出槽面，并

抹平修整(措施1)。

2) 宽 0.1 ~ 0.3 mm, 同区裂缝 > 2 条或长度 > 2 m。

水泥裂缝修补同上述措施1, 再进行碳纤维布加固。施工的步骤: 清理构件表面然后涂刷底胶, 用措施1将受损表面修补平整, 涂刷面胶, 粘贴一层纤维布, 涂刷面胶, 粘贴多层碳纤维布, 每层需重复以上步骤, 喷涂改性高性能修复砂浆(措施2)。

3) 贯穿裂缝或U型缝或环缝。

清除混凝土裂缝表面松散物和缝内异物; 在裂缝端部、交叉处及贯穿裂缝的两个侧面均埋设灌浆嘴, 灌浆嘴间距 500 mm; 灌浆嘴的埋设方法按 JTS 311—2011《港口水工建筑物修补加固技术规范》附录 B 第 B.2.1 条的规定; 按措施1先对裂缝进行封缝处理然后压气检测灌浆嘴的连通和封闭效果; 配置灌浆材料, 根据灌浆液的固化时间和灌浆速度随配随用; 竖向缝按自上而下、水平缝自一端向另一端的顺序进行压力灌浆, 灌浆压力 0.2 ~ 0.8 MPa; 待浆液固化后, 拆除灌浆嘴, 并对混凝土表面进行修整; 碳纤维布加固施工措施同措施2; 碳纤维加固后喷涂改性高性能修复砂浆。

以上海港某码头加固为例, 码头横梁存在裂缝及露筋的现象, 先消除被修复构件表面的腐蚀、开裂等劣化混凝土, 露出混凝土结构层, 采用钢丝刷全部清除干净, 对于已经锈蚀的钢筋必须除锈, 并用环氧砂浆将表面修复平整。碳纤维布覆盖面板全部裂缝, 并超出裂缝端部 300 mm。须对锈蚀部分的钢筋进行除锈, 并涂刷混凝土阻锈保护液, 然后用环氧砂浆修补平整, 再在表层粘贴碳纤维布一层。粘贴部位必须超出露筋部位 200 mm。

2.4 码头附属设施加固

2.4.1 系船柱加固

码头靠泊等级提升时, 需将系船柱等级相应提升。目前加固方法多为将原有系船柱本体拆除, 并凿除上部混凝土, 露出原横梁端部钢筋, 通过钻孔植螺栓的方式植入新的锚固构件(避开原有结

构钢筋), 并安装新的系船柱本体。如遇码头横梁宽度不能满足系船柱植筋范围要求的情况, 需将横梁宽度局部加大, 埋入螺栓后, 再安装新的系船柱本体。

2.4.2 橡胶护舷加固

橡胶护舷加固多为码头靠泊等级提升时需将橡胶护舷等级相应提升, 目前加固方法多为将原有护舷本体及螺栓拆除, 通过钻孔植螺栓的方式植入新的锚固构件(尽量避开原有结构钢筋), 并安装新的橡胶护舷本体, 如遇码头横梁靠船构件宽度不能满足系船柱植筋要求的情况, 可将靠船构件外安装钢抱箍, 再在钢抱箍外安装新的橡胶护舷本体。

3 结语

依托上海港近年来实施的大型公共码头结构加固改造工程实例, 对高桩梁板码头结构加固改造方式和方法进行梳理总结, 从而为码头加固改造提供安全可靠、技术合理、经济适用、容易操作的技术方法, 对我国码头结构加固技术的发展具有十分重要的意义。基于靠泊等级提升的高桩梁板码头加固改造中, 应根据码头原设计结构形式、桩基及上部结构承载力余量、码头结构现状完好情况、靠泊等级提升目标等, 有针对性地选择适用的改造方法。同时, 同类改造方法尚应考虑施工条件、工期要求、改造成本、施工中的可操作性和便捷程度等因素, 经综合分析比选后确定。

参考文献:

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 码头结构加固改造技术指南[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2014.
- [2] 中交水运规划设计院有限公司. 上海港外高桥(高桥嘴)港区二期工程码头结构加固改造工程施工图设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2012.
- [3] 中交水运规划设计院有限公司. 上海港罗泾港区二期工程码头结构加固改造工程施工图设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2013.

(本文编辑 武亚庆)