



老码头混凝土方桩修复加固方案及技术要点

王飞朋, 郑娟, 吴浩杭, 王泽磊
(宁波中交水运设计研究有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 老高桩码头桩基多采用混凝土方桩, 经长期运营后, 桩基普遍存在不同程度的破损缺陷, 严重威胁结构的安全性和耐久性, 影响码头的正常使用, 亟需对破损桩基进行修复加固。目前, 混凝土方桩修复加固通常采取粘贴碳纤维布、加大桩帽、局部外包、钢抱箍、玻纤套筒等措施, 均取得良好的工程效果。探讨各措施的实施方法、特点、要点以及适用工况等, 以便为合理选用提供参考。应用结果表明: 针对老高桩码头混凝土方桩的破损缺陷, 根据不同破损特征和施工条件合理选择修复加固方案, 可满足安全可靠且经济合理的维护要求。

关键词: 老高桩码头; 混凝土方桩; 修复加固; 措施比选

中图分类号: U 656.1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)01-0087-08

Repair and reinforcement measures and technical points of concrete square pile for old wharf

WANG Fei-peng, ZHENG Juan, WU Hao-hang, WANG Ze-lei

(Ningbo China Communication Water Transportation Design and Research Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: Concrete square piles are mostly used in the pile foundation of the old high pile wharf. After long-term operation, the pile foundation generally has different degrees of damage defects, which seriously threaten the safety and durability of the structure and affect the normal use of the wharf. It is urgent to repair and reinforce the damaged pile foundation. At present, the repair and reinforcement of concrete square pile usually adopts such measures as pasting carbon fiber cloth, increasing pile cap, local outsourcing, steel hoop, glass fiber sleeve, etc., which have achieved good engineering results. This paper discusses the specific implementation scheme, characteristics, key points and applicable conditions of each measure to provide reference for reasonable selection. The application results show that in view of the damage defects of prestressed concrete square piles of the old high pile wharf, according to different damage characteristics and construction conditions, the reasonable selection of repair and reinforcement measures can meet the safe, reliable, economic and reasonable maintenance requirements.

Keywords: old high pile wharf; concrete square pile; repair and reinforcement; comparison and selection of measures

早期高桩码头桩基多采用混凝土方桩, 由于耐久性设计标准较低、长期环境侵蚀、荷载反复作用等因素影响, 经多年运营后, 桩基普遍存在不同程度的破损缺陷, 严重威胁结构安全, 影响码头的正常使用和生产运营, 亟需对破损桩基进行修复加固, 确保在剩余使用年限内能够继续发

挥其预定功能。除传统方法外, 随着新技术、新材料和新工艺的发展及应用, 桩基修复加固方案更趋多样化和规范化。目前, 老高桩码头混凝土方桩修复加固通常采取粘贴碳纤维布、加大桩帽、局部外包、钢抱箍、玻纤套筒等措施, 并取得良好的成效, 掌握上述各措施的特点和要点对确定

收稿日期: 2021-03-27

作者简介: 王飞朋(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口与航道工程设计工作。

合理的修复加固方案并成功实施尤为关键。因此，针对不同破损特征和施工条件，研究并应用安全可靠、经济合理、切实可行的混凝土方桩修复加固方案具有重要的意义。

本文探讨老高桩码头混凝土方桩的常见破损缺陷、修复加固方案以及各措施的特点和要点等问题，以便为类似项目提供参考。

1 常见破损缺陷

老高桩码头混凝土方桩常见破损缺陷包括桩身开裂(纵向、横向或环向裂缝)、局部混凝土破损(剥离、剥落)、露筋锈蚀、断桩等(图 1)，往往导致桩基承载能力和耐久性下降，若不及时对其进行检测与评估并采取有效的修复加固处理措施，既有破损缺陷将加剧劣化，潜在的事故风险增加，严重影响码头的结构安全和使用功能。



a) 桩顶混凝土破损



b) 桩身开裂、局部混凝土破损



c) 桩身混凝土剥落、露筋锈蚀



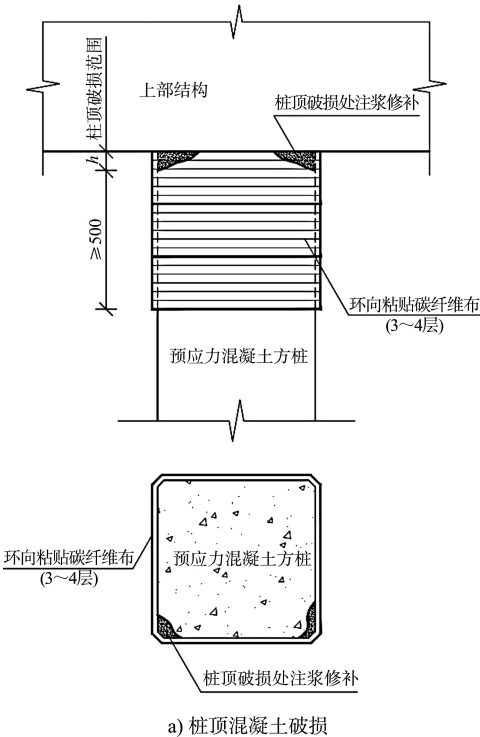
d) 断桩

图 1 混凝土方桩典型破损形式

2 修复加固方案

2.1 粘贴碳纤维布修复加固

粘贴碳纤维布修复加固具有施工简便、施工效率高、无需大型设备及模板、不增加结构尺寸及自重、耐腐蚀性和耐久性好、成型方便等特点，在施工工期和施工条件方面具有显著优势，已在港口码头修复加固项目中广泛应用。混凝土方桩粘贴碳纤维布的方法通常有 2 种，分别为沿桩基纵向和环向粘贴，其中沿桩基纵向粘贴碳纤维布主要利用其较高的抗拉强度以提高桩基的抗弯能力；沿桩基环向粘贴的碳纤维布等同于附加箍筋，可约束桩基的横向变形，抑制混凝土剥落、裂缝扩展和纵筋屈曲，从而提高桩基的延性和抗剪能力(图 2)。



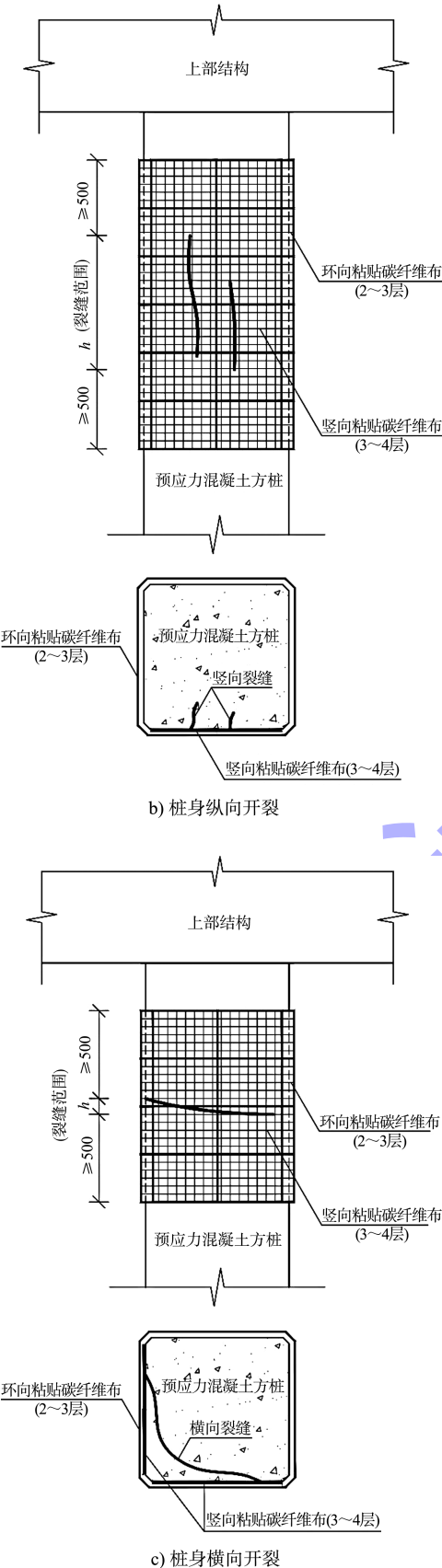


图 2 粘贴碳纤维布修复加固 (单位: mm)

碳纤维布粘贴方案及注意事项如下:

1) 若桩顶混凝土破损, 先注浆修补破损处, 再在桩顶至破损区域下边缘以下不小于 0.5 m 范围内环向粘贴 3~4 层碳纤维布。若桩身存在纵向或横向开裂, 先封闭或灌浆修补裂缝, 再在桩基开裂各面竖向粘贴 3~4 层碳纤维布, 然后环向粘贴 2~3 层碳纤维布, 粘贴范围为裂缝最顶部以上不小于 0.5 m 或桩顶至裂缝最底部以下不小于 0.5 m 之间。

2) 碳纤维布性能指标要求: 高强度 I 级。

3) 粘贴碳纤维布修复加固技术关键在于保证碳纤维布与桩基粘结牢固, 形成整体, 达到共同受力的目的, 以便充分发挥碳纤维布的拉伸性能。为保证黏结效果, 应重视基面处理、胶黏剂选用和粘贴操作。

①基面处理: 粘贴前应清除桩基粘贴区域的松散混凝土及附着物, 并对破损缺陷进行修补, 再通过找平胶实现基面平整, 避免后期缺陷继续发展劣化或空洞起鼓导致局部黏结失效, 进而大幅缩减碳纤维布修复加固的有效保护期。此外, 为避免碳纤维布脆性弯折和剥离, 还应通过打磨对桩基棱角进行圆化处理, 倒角半径不应小于 25 mm。

②胶黏剂选用: 应选用浸润性、渗透性、抗老化性和耐久性好、抗剥离能力强、硬化收缩性小的胶黏剂, 涂抹应饱满。

③粘贴施工: 碳纤维布应重复碾压, 清除气泡, 保证有效黏结面积不小于 95%^[1]。

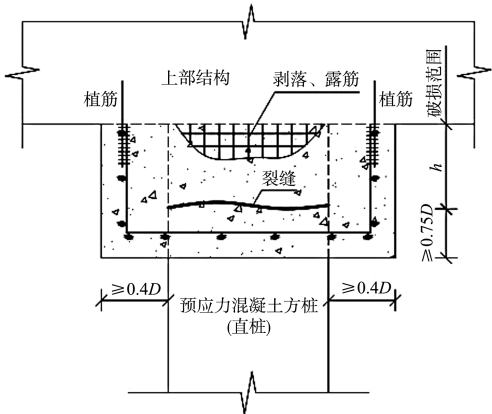
4) 环向围束碳纤维布上下层之间的搭接宽度不应小于 50 mm, 环向截断点的延伸长度不应小于 200 mm, 且各条碳纤维布搭接位置应相互错开^[2]。

5) 碳纤维布粘贴完成后, 可对其外表面喷涂不小于 20 mm 的丙乳砂浆, 并涂装防腐涂料, 以提高材料耐久性, 降低后期维护成本。

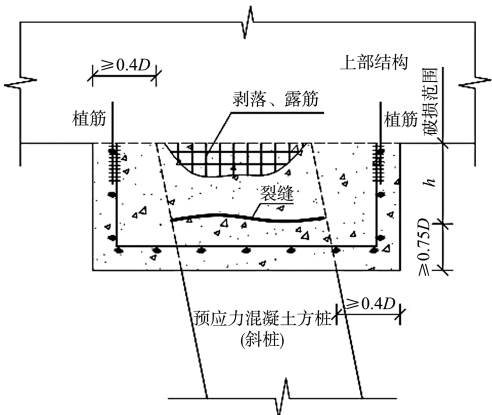
2.2 加大桩帽修复加固

若桩顶混凝土破损、露筋锈蚀严重甚至产生断桩缺陷, 一般可通过加大桩帽将破损区域包覆, 使其与外界环境隔绝, 由破损区域以下完好桩身承担荷载传递作用, 以达到修复加固目的(图 3)。

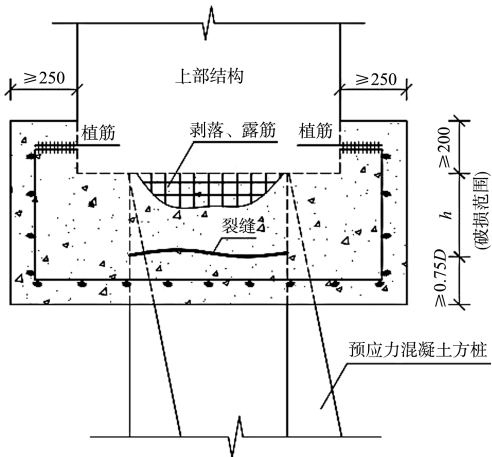
该方案具有可靠性高、施工技术成熟等优点，但破损区域一般处于水位变动区，施工空间狭小且工艺复杂，须支模、振捣、浇筑、养护等工序，受潮位变化影响较大，施工工期相对较长。此外，加大桩帽会增加上部结构自重，对桩基受力略有影响。



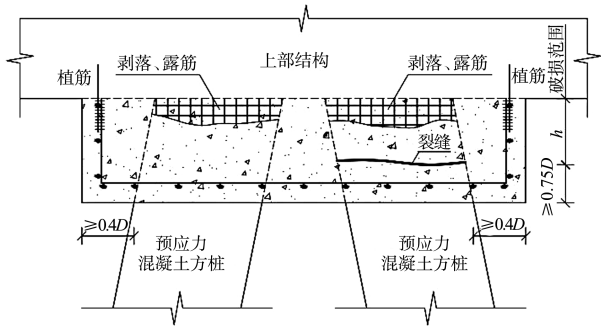
a) 单直桩(上部结构底面空间足够)



b) 单斜桩(上部结构底面空间足够)



c) 单桩(上部结构底面空间不足)



b) 叉桩

图 3 加大桩帽修复加固 (单位: mm)

加大桩帽方案及注意事项:

1) 参照 JTS 167—2018《码头结构设计规范》关于桩基与桩帽或横梁刚接设计要求: 对于单桩而言, 桩基与加大桩帽的连接宜满足外包宽度不小于 $0.4D$ (D 为桩径), 桩帽底面与桩基破损边缘距离不宜小于 $0.75D$, 具体应根据配筋、保护层厚度、浇筑施工要求等因素综合确定。若上部结构底面空间足够, 加大桩帽则可完全设置于底面上, 并通过竖向植筋方式在底面新增钢筋; 若上部结构底面空间不足, 加大桩帽可超出底面外边缘设置, 并通过水平植筋方式在侧面新增钢筋, 以满足桩基与加大桩帽之间的连接要求。加大桩帽超出上部结构底面外边缘的宽度不宜小于 250 mm , 具体应根据配筋、保护层厚度、植筋规格、焊接要求等因素综合确定。对于叉桩而言, 若桩顶间距较小, 即便 2 根桩基破损程度差异较大, 一般也考虑加大桩帽将叉桩整体包覆, 包覆的高度范围应根据破损位置较低的桩基确定, 外包宽度可参考单桩。

2) 通常情况下, 各桩基破损的最低位置即所需的包覆范围不尽相同, 可将加大桩帽的包覆高度根据桩基破损的最低位置按照一定高度差划分为若干部分, 既能简化设计和施工, 又能确保修复加固的可靠性和经济性。此外, 考虑到原沉桩施工可能存在打桩偏位 (允许偏差 $100\sim 250\text{ mm}$), 导致叉桩实际桩顶间距可能略有差

异, 因此在施工过程中加大桩帽的实际平面尺寸须根据现场逐一测量确定, 以保证外包宽度满足设计要求。

3) 加大桩帽施工应重视基面处理、植筋、新旧混凝土结合面处理、浇筑、养护等工序。

①基面处理: 清理桩基和上部结构新旧混凝土结合面至密实部位并将表面凿毛, 要求打成麻坑或沟槽, 锈蚀钢筋采用除锈剂除锈。

②植筋锚固长度应满足 GB 50367—2013《混凝土结构加固设计规范》的构造规定。在施工过程中建议采用钢筋探测仪查明原钢筋分布, 可适当调整植筋位置, 避免破坏原钢筋。

③新旧混凝土结合面处理: 在浇筑前应先在新旧混凝土结合面上涂刷一层具有高黏结性能的界面黏结剂, 确保新旧混凝土结合牢靠。

④浇筑: 为保证新浇混凝土与旧混凝土以及新增钢筋之间具有足够的黏结强度, 同时为避免因施工条件限制导致在小空间模板内浇筑的混凝土均匀性较差、强度偏低等问题, 新浇混凝土强度等级有必要比原结构提高一级, 并宜采用高早强、微膨胀、自密实混凝土。

⑤养护: 拆模前浇水保证模板湿润, 使混凝土水化热散发, 拆模后对缺陷部位进行修复, 并经常浇水, 保持混凝土表面湿润直至达到养护期。

4) 加大桩帽新增钢筋若遇桩基应截断并沿桩体轴线向上弯折, 与桩身保留 50 mm 距离, 再在弯折钢筋外围环向均匀搭设箍筋。

2.3 局部外包修复加固

对于斜桩而言, 若桩基破损区域位置偏低, 则不宜采用加大桩帽修复加固, 主要原因是若为达到桩帽外包宽度要求将导致桩帽尺寸过大, 造成施工困难且产生较大自重。对于叉桩而言, 根据实际破损特点, 破损桩基多为向岸斜桩, 向海斜桩的完整性一般较好, 若统一加大桩帽将叉桩整体包覆势必造成材料和投资浪费, 经济性较差。针对上述 2 种情况, 可考虑采用局部外包混凝土方案对桩基进行修复加固(图 4)。

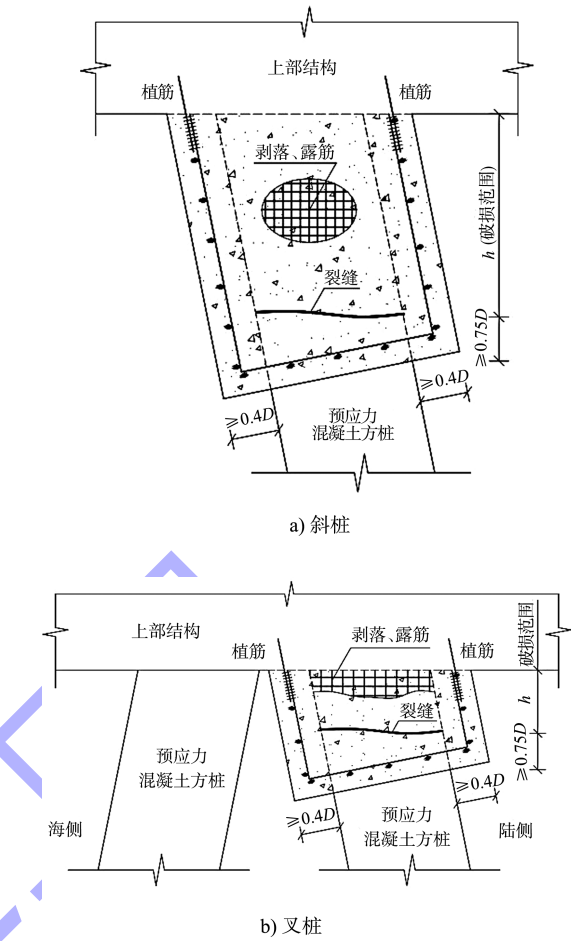


图 4 局部外包修复加固 (单位: mm)

局部外包方案及注意事项:

- 1) 局部外包方向应与桩体轴线一致^[3], 外包混凝土底面与桩基破损边缘的距离以及外包宽度要求同加大桩帽方案, 具体应根据配筋、保护层厚度以及浇筑施工要求等因素综合确定。
- 2) 修复加固范围内的桩基配筋可根据外包截面和新增钢筋计算确定。
- 3) 局部外包施工类似加大桩帽施工, 为保证施工质量和修复加固效果, 同样应重视基面处理、植筋、新旧混凝土结合面处理、浇筑、养护等工序。
- 4) 对于叉桩而言, 若桩顶间距过小导致支模困难, 一般不考虑局部外包混凝土修复加固。

2.4 钢抱箍修复加固

钢抱箍修复加固即利用钢箍环拼接包裹桩基破损区域, 并采用高早强、微膨胀、自密实的水下不离析灌浆料填充桩基与钢箍环之间的空隙, 以填塞封闭桩基裂缝、混凝土剥落、露筋锈蚀等

缺陷,充分发挥钢箍环和灌浆料强度以达到加固目的,一般不需额外配筋(图 5)。该方案具有可带水作业、施工工艺简单、速度快、风险低等优点,但灌浆料填充质量较难保证,钢抱箍易锈蚀问题突出,后期防腐蚀维护成本较高,施工时应加强质量控制。

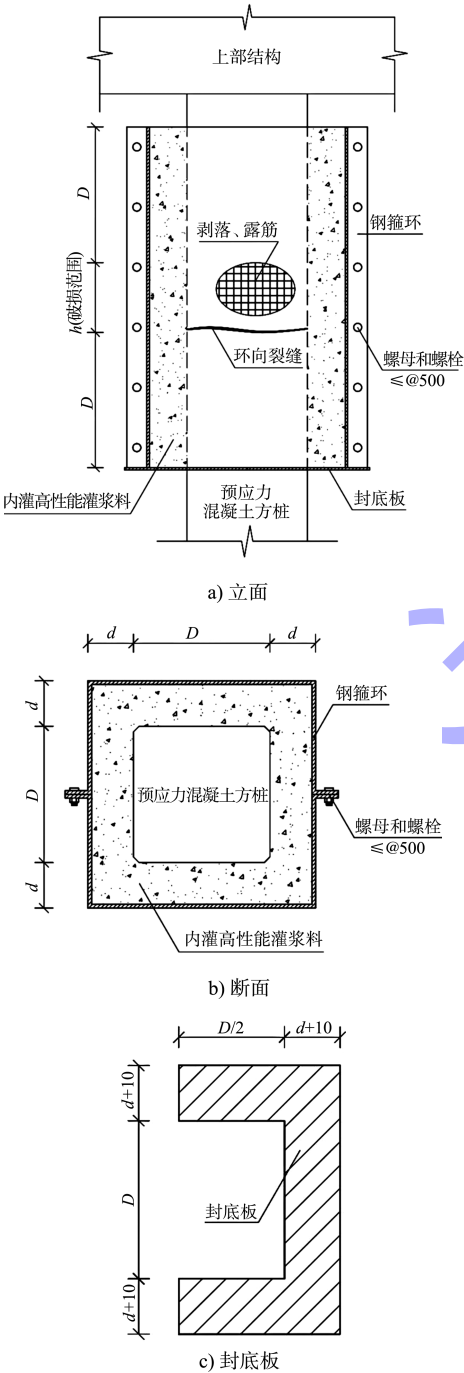


图 5 钢抱箍修复加固 (单位: mm)

钢抱箍方案及注意事项:

1) 安装钢抱箍前应清理灌浆区桩基表面至密

实部位,剔除表层疏松物并凿毛,锈蚀钢筋采用除锈剂除锈,再用高压清水冲洗干净。

2) 根据设计范围要求并结合现场实测定位,标明钢抱箍安装位置。

3) 参照 JTS 167—2018《码头结构设计规范》桩基与桩帽或横梁刚接设计要求:钢抱箍安装部位宜为桩基破损边缘上下不小于 $1D$ 范围,钢箍环壁厚 d 不宜小于 12 mm,与桩基之间的空隙不宜小于 100 mm。安装时将 2 块 U 形钢箍环对称包裹在预定位置,并通过螺栓和螺母固定,固定点间距不应大于 0.5 m。此外,应在钢箍环底部对称安装 2 块封底板,封底板之间以及封底板与钢箍环之间通过焊接固定,为避免漏浆,封底板应适当超出钢箍环外边缘,超出宽度不宜小于 10 mm。

4) 若相邻桩基间距较小,在结构满足要求的前提下,可通过减小钢抱箍尺寸适应桩基间距。

5) 钢箍环与桩基之间内灌高性能灌浆料,直至最终溢浆,浆体固化。

6) 为确保钢抱箍安装质量,且能观察到灌浆施工的溢浆情况,钢抱箍安装以及灌浆施工宜在落潮时段开始,以尽量延长钢抱箍的安装时间和灌浆管线的连接时间。灌浆施工完成后,应采取临时措施对灌浆口、溢浆口进行临时封堵,以确保钢抱箍与桩基之间的环形空隙内的浆料充分固化^[4-5]。在灌注过程中,可用橡皮锤敲打钢箍环以确认空隙是否灌注密实,若发现存在空洞,应及时补灌。

7) 灌注施工完成后,应对钢抱箍外表面进行防腐处理,且涂装防腐涂料前,应确保钢箍环外露面无油污、铁锈等附着物。

2.5 玻纤套筒修复加固

玻纤套筒修复加固又称“夹克法”,具有套筒高强、耐腐蚀、耐老化、轻便且易于安装、无需支模与排水、可不建造围堰进行水下施工、对施工作业空间需求小、无需大型设备起吊、施工工期短等优点,安全风险相对较小。该系统可以隔绝外界侵蚀,对桩基受损部位起到长期防护作用(图 6)。

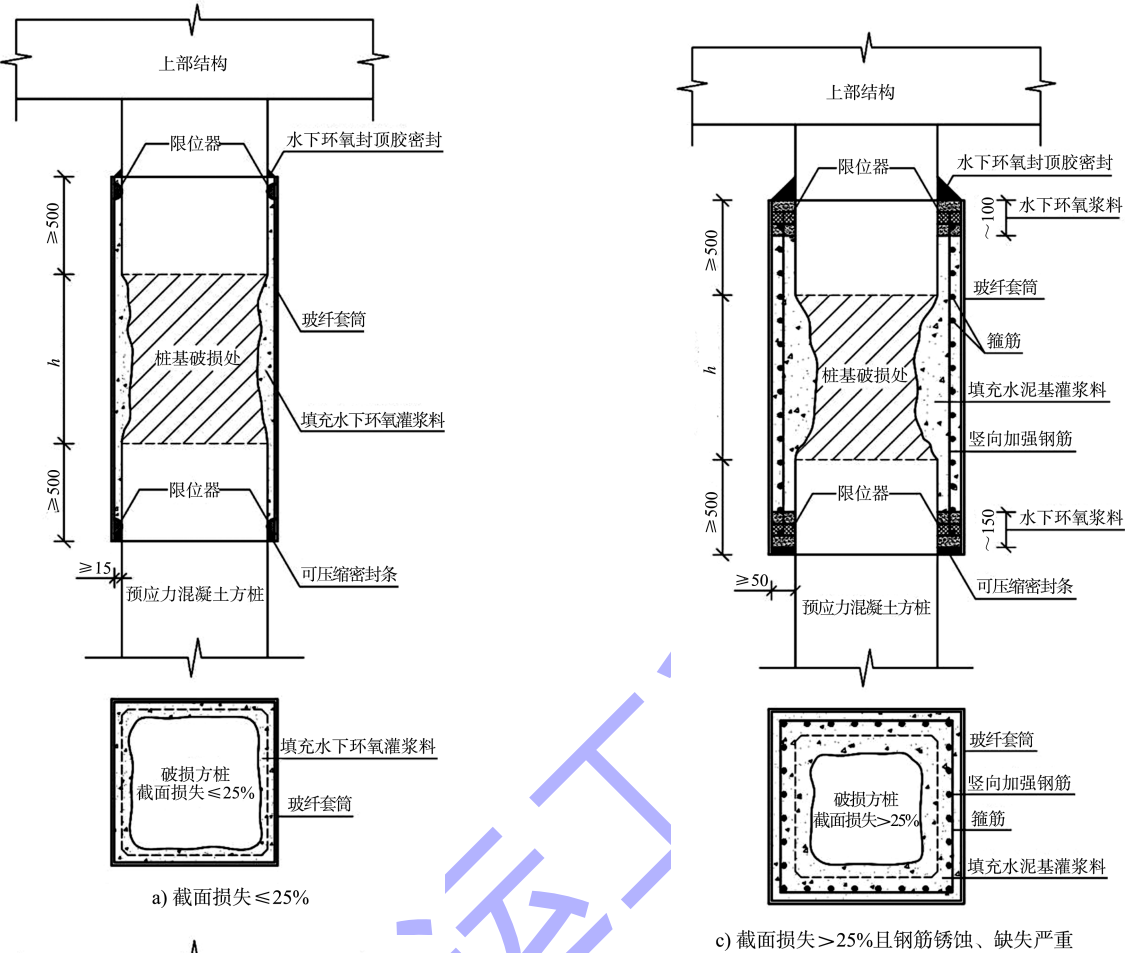


图 6 玻纤套筒修复加固 (单位: mm)

玻纤套筒方案^[6-7]及注意事项:

- 1) 套筒安装前应清除桩基破损区域表面松散混凝土及附着物, 并确保钢筋除锈到位, 利用高压水枪清理, 提高基面与灌浆料的黏结力。
- 2) 在套筒的锁扣槽内注入封口胶。
- 3) 根据设计要求并结合现场实测定位, 标明套筒安装位置, 套筒应包覆桩基破损边缘上下不小于 0.5 m 范围。
- 4) 使用紧固带临时固定套筒。
- 5) 每隔 10~15 cm 使用不锈钢自攻螺丝紧固套筒锁扣扣紧。
- 6) 使用可压缩密封条封住套筒底部。
- 7) 首次先将水下环氧灌浆料注入套筒底部至 15 cm 高度处, 待固化后继续灌注空隙内剩余的灌浆料。水下环氧灌浆料应具备以下性能: 可在水下和潮湿环境固化, 具有极佳流动性、

高强度和低吸水性，水中施工时可自流平、不离析。

8)待底部灌浆料固化后，再将重新混合好的水下环氧灌浆料注入套筒内，直至套筒内的水全部排出并填满。若桩基截面损失不超过 25%，套筒和桩基之间空隙不宜小于 15 mm，并采用水下环氧灌浆料填充；若桩基截面损失大于 25%但钢筋锈蚀程度较轻，套筒和桩基之间空隙不宜小于 50 mm，并可配合使用水下环氧灌浆料和水泥基灌浆料，以节省工程费用，其中套筒底部和顶部采用水下环氧灌浆料密封，中间空隙部分由水泥基灌浆

料填充；若桩基截面损失大于 25%且钢筋锈蚀、缺失严重，可在桩基和套筒之间的空隙内布置纵向主筋和环向箍筋，以增强桩基抗弯和抗剪能力。

9)灌浆料应严格按照比例配制且随用随调，避免因固化造成材料浪费。

10)在套筒顶部采用封顶密封。

11)待灌浆料固化后，取下临时紧固带。

3 修复加固方案比选

老高桩码头混凝土方桩修复加固方案比选见表 1。

表 1 老高桩码头混凝土方桩修复加固方案比选

修复加固方案	优点	缺点	关键工序	适用工况
粘贴碳纤维布	施工简便、无需大型设备及模板、不增加结构尺寸及自重、耐腐蚀性好、维护成本低、成型方便、适用构件类型广泛	胶黏剂在水下或潮湿环境易老化而影响黏结力、碳纤维材料存在应力滞后导致其强度难以充分发挥、破损较为严重的桩基不适用	基面处理、胶黏剂选用、粘贴操作	桩身纵向和横向开裂、局部混凝土破损但未露筋锈蚀
加大桩帽	可靠性高、施工技术成熟	施工空间狭小、工艺复杂、受潮位变化影响大、工期较长、可修复加固范围较小	基面处理、植筋、新旧混凝土结合面处理、浇筑、养护	破损缺陷位于桩顶附近
局部外包	可靠性高、材料较省、与加大桩帽措施相比可修复加固范围较大	施工空间狭小、工艺复杂、受潮位变化影响大、工期较长、若相邻桩基间距过小导致支模困难则不适用	基面处理、植筋、新旧混凝土结合面处理、浇筑、养护	破损缺陷位于施工水位以上且相邻桩基间距可满足外包施工要求
钢抱箍	可显著提高桩身强度、工艺简单、施工速度快、可水下施工	灌浆料填充质量较难保证、钢抱箍易锈蚀问题突出、后期防腐蚀维护成本较高、若相邻桩基间距过小导致钢抱箍安装困难则不适用	基面处理、钢抱箍安装、灌浆料浇筑	不同程度和位置的破损缺陷均可适用，相邻桩基间距可满足钢抱箍安装要求
玻纤套筒	套筒高强、耐腐蚀、耐老化、轻便且易于安装、无需大型设备及支模、可水下施工、无需建筑围堰及排水、对施工作业空间需求小、施工工期短、对相邻桩基间距要求小	对施工人员专业性要求较高、设计和施工标准尚不完善、材料价格较高	基面处理、玻纤套筒安装、灌浆料浇筑	不同程度和位置的破损缺陷均可适用

各修复加固方案的特点、要点以及适用工况各不相同，在实际工程中应根据桩基破损特征和施工条件合理选择。一般情况下，在同一项目中可能会采取多种措施对方桩进行修复加固，以达到安全可靠、经济合理、切实可行的目的。

4 结论

1)老码头混凝土方桩修复加固通常采取粘贴碳纤维布、加大桩帽、局部外包、钢抱箍、玻纤套筒等措施，各措施的特点、要点以及适用工况各不相同，应重视措施方案选择和施工质量控制。

(下转第 130 页)