



高桩码头插槽式横梁免拆模凿毛预制工艺

王士勇¹, 周厚亚¹, 陈海峰²

(1. 中交第三航务工程局有限公司江苏分公司, 江苏 连云港 222042;
2. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 现行高桩码头结构中, 与桩基连接的桩帽或横梁一般采用现浇工艺。依托连云港港徐圩港区码头工程, 采用一种插槽式预制构件与桩基形成连接的上部结构, 桩芯预埋型钢插入该构件内置空腔内, 通过后浇空腔节点与桩基形成连接。插槽式构件为一种新型结构, 分析其预制施工工艺, 并研制出一种免拆模凿毛施工工艺。结果表明, 该工艺可解决空腔支模拆模的技术难题, 提高新结构的预制效率和质量。

关键词: 高桩码头; 插槽式构件; 内置空腔; 免拆模凿毛

中图分类号: U 656.1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0128-05

Mold disassembly-free chiseling prefabricated process for slot-type beams of high-piled wharf

WANG Shiyong¹, ZHOU Houya¹, CHEN Haifeng²

(1. Jiangsu Branch of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Lianyungang 222042, China;
2. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: In the existing high-piled wharf, the pile cap or beam connected to the pile foundation generally adopts the cast-in-place process. Based on the wharf project in Xuwei Port area of Lianyungang Port, this paper adopts a superstructure with a slot-type prefabricated component connected with the pile foundation. The pile-core embedded steel is inserted into the built-in cavity of the component and connected with the pile foundation through the post-pouring cavity node. The slot-type component is a new structure, so this paper analyzes its prefabricated construction process and develops a mold disassembly-free chiseling construction process. The results show that this process can solve the technical problems of mold supporting and disassembling in the cavity, improve the prefabricated efficiency and quality of the new structure, and provide a reference for similar projects in the future.

Keywords: high-piled wharf; slot-type component; built-in cavity; mold disassembly-free chiseling

由于受沉桩精度、施工环境、起重设备等多种因素的影响, 在我国水运码头建设史上, 高桩码头桩基上部结构如桩帽、下横梁等一般采用现浇工艺, 主要施工方法^[1]为先架设钢抱箍围囹结构^[2], 再依次绑扎钢筋、安装模板、浇筑混凝土、拆模和拆除底部围囹, 其作业工序多、需要赶潮水施工、受海上风浪影响大, 尤其是在夏季大风或冬季寒潮期间施工可作业时间较少、工效较低、

对总体工期控制不利。开展桩基与桩帽(下横梁)上下部预制装配, 能够解决现浇桩帽(下横梁)施工存在的不足。

在桥梁建设领域, 预制装配式盖梁的应用越来越广泛, 与墩柱的连接构造方式多采用灌浆套筒连接、灌浆波纹管连接等^[3], 也有工程采用预埋钢板焊接连接、预应力筋连接、榫头式连接等方式^[4], 预制安装施工技术较为成熟。但在高桩

收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 王士勇 (1969—), 男, 工程师, 从事水运工程施工建设。

码头建设领域, 插槽式构件应用较少。翔安大桥(厦门第二东通道)工程和港珠澳大桥采用了上下部插槽式桩基墩台结构^[5-6], 其现浇孔为上下贯通。连云港港徐圩港区盛虹炼化配套码头工程进行了桩帽预制安装试验^[7], 与本文所述插槽式横梁类似, 后浇节点下端无底、上端封闭, 但该预制桩帽应用数量仅2个, 没有针对插槽式构件的空腔支模拆模技术难题进一步分析研究。

本文重点研究插槽式横梁的预制工艺, 解决了新结构的施工技术难题, 可为后续类似构件施工提供借鉴和参考。

1 插槽式横梁特点

连云港港徐圩港区64#~65#液体散货泊位码头工程采用一种新型全装配式高桩码头结构, 首次应用一种插槽式横梁, 长25 m、宽2.6 m、高1.4 m, 内置6个直径1.6 m、高1 m的空腔, 见图1。本工程共布置60榀插槽式横梁。

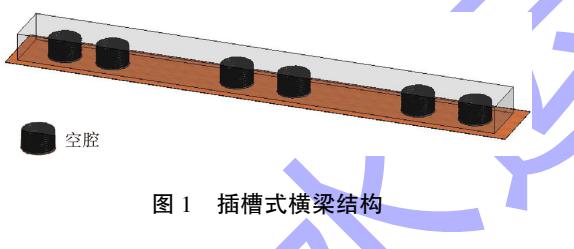


图1 插槽式横梁结构

插槽式横梁特点为: 1) 结构尺寸大。传统高桩码头结构预制横梁为上部结构, 搁置在下部桩帽或下横梁, 尺寸小、质量轻, 而插槽式横梁与桩基连接, 为通长结构, 尺寸、质量更大。2) 局部为变截面。插槽式横梁在空腔位置存在变截面, 内置空腔断面为倒凹字形, 存在局部薄弱断面。

2 插槽式构件预制施工难点分析及解决措施

2.1 空腔内模的支立、拆除

插槽式构件预制时需要提前支立空腔内模, 以形成空腔, 内模应采取可拆式设计, 便于周转使用, 空腔内模的拆除是影响预制效率的关键因素, 可有2种施工思路:

1) 在预制台座上拆除空腔内模。采用固定式+活动式预制台座, 预制台座高度不小于1.5 m, 便于

人员进入。空腔位置台座采用活动式, 其他位置为固定式, 见图2。混凝土强度达到设计强度的50%后, 施工人员拆除活动式台座, 进入空腔内, 将空腔内模拆除。采用该方法, 预制台座耗用材料较多, 经济性较差。

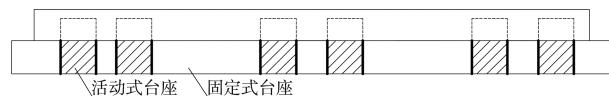


图2 固定式+活动式预制台座

2) 堆存台座上拆除空腔内模。采用该方法时对预制台座不做特殊要求, 插槽式横梁强度达到设计要求后吊运至高1.5 m条形堆存台座上拆除空腔内模, 见图3。但横梁占用预制台座时间较长, 影响了内模周转使用效率。

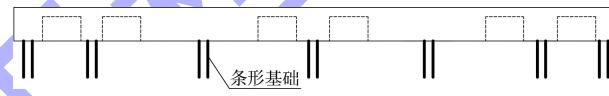


图3 预制横梁堆存台座

2.2 空腔内壁混凝土面的凿毛

插槽式横梁空腔内壁需要保持粗糙度, 以与后浇混凝土结合面形成良好连接, 一般方法为: 1) 拆模后人工机械凿毛, 但单榀横梁凿毛面积达42 m², 施工耗时费力, 人工成本高; 2) 在内模板面上增设凸面, 在空腔内壁上形成凹凸槽效果, 但增加了内模板的拆除难度。

2.3 解决措施

针对以上的预制难点, 通过改变传统设置内模的施工方法, 提出一种免拆模凿毛预制工艺。该工艺创新采用燕尾止浆条+波纹钢管+封顶钢板组合结构作为空腔内模(图4), 并利用波纹钢管形成凹凸槽效果, 与后浇混凝土有效嵌合连接, 结合效果强。

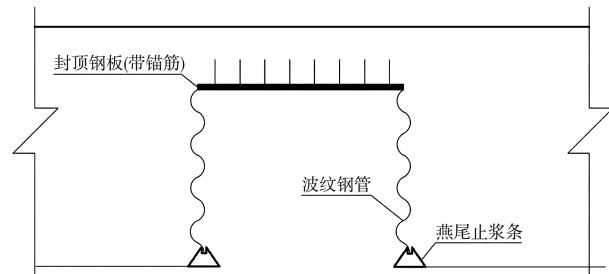


图4 波纹钢管应用

3 插槽式横梁免拆模齿毛预制工艺

3.1 燕尾止浆条位置的确定

海上沉桩不可避免地存在偏位, 规范要求沉桩允许偏差合格率达到 80% 即可, 一般直桩允许偏差为 100 mm, 斜桩允许偏差为 150 mm, 最大偏差不能超过允许值的 1.5 倍, 而横梁内腔和桩壁设计间距为 200 mm。因此, 插槽式内置空腔的位置需要根据实测沉桩偏位确定, 按照以下原则控制: 1) 横梁内置空腔处混凝土最小厚度不得小于 $0.25D$, D 为桩基直径; 2) 横梁内置空腔距桩壁不宜小于 100 mm。

结合沉桩偏位, 施工人员测放内置空腔的中心点, 使用底宽 100 mm、高 50 mm 的燕尾止浆条固定在底模上, 作为波纹钢管的支垫 (图 5), 并可在空腔底部形成无棱化, 后浇混凝土后避免波纹钢管底部直接锈蚀问题。



图 5 燕尾止浆条支垫

3.2 波纹钢管的选择

3.2.1 波纹钢管的规格

本工程波纹钢管型号为 ACSP-1600-5.0, 根据 GB/T 34567—2017《冷弯波纹钢管》^[8], 其性能参数为: 波形代号 F, 波距 150 mm, 波深 50 mm, 净内径 1 600 mm, 壁厚 5 mm, 截面积 6.21 mm^2 , 单位长度惯性矩 $1 840 \text{ mm}^4/\text{mm}$ 。

根据 JT/T 791—2010《公路涵洞通道用波纹钢管(板)》^[9], 该型号波纹钢管柔度系数 F_F 的计算公式为:

$$F_F = \frac{D^2}{EI} \quad (1)$$

式中: D 为波纹钢管直径(净内径), mm; E 为钢的弹性模量, MPa; I 为单位长度惯性矩, mm^4/mm 。

按式 (1) 计算可得该型号波纹钢管的 F_F 为 $6.75 \mu\text{m}/\text{N}$ 。

本工程横梁高度为 1.4 m, 最大侧压荷载 $p=35 \text{ kPa}$, 取长 1 m、宽 1 mm 段计算, 得最大侧压力 $F_{\max}=35 \text{ N}$; 底部最大变形挠度 $L_{\max}=0.236 \text{ mm}$, 可见, 波纹钢管侧向变形极小, 可忽略不计。

在工程应用中, 可根据混凝土侧压力, 并查询规范中波纹钢管的相关参数, 合理选择波纹钢管的型号。

3.2.2 波纹钢管的高度

本工程插槽式横梁空腔顶部为厚 400 mm 的混凝土, 波纹钢管顶部承受 10 kPa 的混凝土荷载, 使底部燕尾止浆条产生压缩。

为便于精确确定波纹钢管的高度, 开展了压载试验, 使用质量为 1 t 的混凝土标准块, 分 4 次逐个加载, 每次加载 1 t, 研究波纹钢管底部燕尾止浆条的压缩量, 见图 6。通过 4 次加载, 得出橡胶止浆条累积变形情况见表 1。



图 6 波纹钢管顶部加载

表 1 燕尾止浆条压缩量

加载质量/t	波纹钢管顶部变形/mm	底模板变形/mm	燕尾止浆条压缩量/mm
0	0	0	0
1	4	0	4
2	7	0	7
3	8	1	7
4	9	2	7

由表 1 可看出, 随着加载质量的增加, 燕尾止浆条压缩量增加, 但至 2 t 后趋于稳定, 燕尾条压缩至极限达到 7 mm, 随着加载质量增加也不再出现明显压缩。

本工程插槽式横梁空腔高度为 1 000 mm, 燕尾止浆条高 50 mm, 浇筑压缩后约为 46 mm, 因此, 波纹钢管高度选择为 954 mm。

3.3 波纹钢管封顶钢板的设置

封顶钢板安装时采用可调高度定位支架控制钢板的高度, 确保内腔高度一致, 防止插槽式横梁搁置时部分桩顶与空腔顶部未接触而产生悬空。

单个空腔封顶钢板的顶面平整度应不大于 3 mm, 采用水准仪、靠尺等工具测量符合标准后, 方可将封顶钢板与波纹钢管焊接在一起。

3.4 内置空腔后灌注孔的设置

插槽式横梁在安装后浇筑空腔混凝土, 因此, 横梁在预制时应考虑设置好灌注孔和溢浆孔, 孔数不少于 3 个, 宜按横梁纵向布置。

混凝土泵管直径为 125 mm, 为便于泵管下放及振捣, 灌注孔、溢浆孔直径确定为 200 mm。封顶钢板开设圆孔, 放置塑料波纹管, 形成孔道, 见图 7。根据直桩、斜桩空腔节点形式的不同, 选择不同的埋置方式, 合理确定孔道的位置, 以保证在无论何种沉桩偏位下始终有孔道能够灌浆和溢浆。

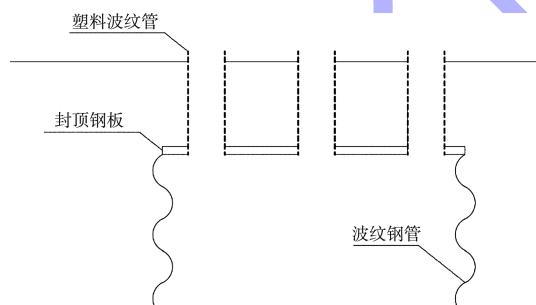


图 7 空腔顶部孔道

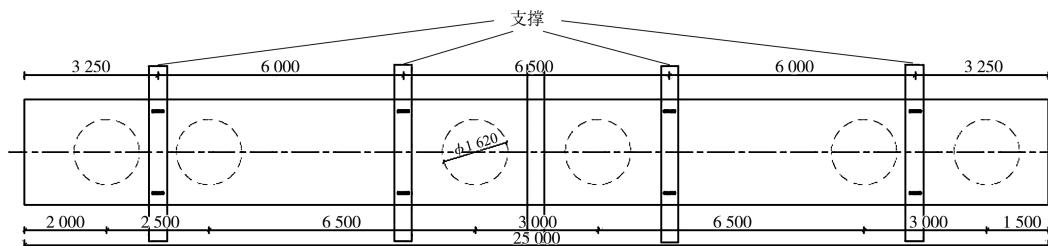


图 8 横梁堆存搁置位置

考虑到横梁防腐施工, 可采用钢结构作为垫楞, 高度不宜小于 700 mm。垫楞顶部采用厚

4 插槽式横梁吊运堆存

4.1 横梁吊运

插槽式横梁内置 6 个空腔, 不同于全断面横梁, 局部为厚 400~500 mm 的薄壁混凝土, 在吊运时应采取措施, 防止局部产生裂缝, 应满足下列要求: 1) 钢丝绳水平夹角不得小于 60°; 2) 吊高受限时, 宜采用吊梁辅助吊运; 3) 横梁强度应达到 80% 或设计强度要求; 4) 插槽式横梁构件质量较大, 采用双机抬吊工艺时, 应注意 2 个吊机的同步起吊、同步行走, 起吊速度保持均匀、不宜过大; 5) 起吊脱模验算时, 除构件自身重力外, 应加上脱模吸附力作为等效静力荷载进行计算, 应根据构件和模具的实际情况取用, 且不宜小于 1.5 kPa^[10]。

双机抬吊时, 钢丝绳连接完成后, 吊机司机在统一指挥下, 同步缓慢提升吊钩, 至横梁提升脱离地面约 100 mm 后, 暂缓提升, 检查龙门吊吊力、横梁两端提升高度、主钩钢丝绳垂直度。如不满足, 调整龙门吊主钩高度、主钩位置等, 使横梁两端高度一致, 主钩钢丝绳始终保持垂直状态。起重指挥检查确认无误后, 各吊钩再次同步缓慢提升, 至设定高度后停止提升, 龙门吊司机开启大车行走机构电机, 同步移动, 移动过程中观察龙门吊间距, 保持 2 台龙门吊的同步性。

4.2 横梁堆放

插槽式横梁堆存时注意检查支撑情况, 应确保每个空腔中间均得到有效支垫, 本工程插槽式横梁内置 6 个空腔节点, 设置了 5 道支撑, 分别位于 4 对吊环下和中间处, 见图 8。

10 mm 的橡胶板进行找平, 中间位置垫楞顶部宜适当加高 2~3 mm, 不应低于其他垫楞。

5 结论

1) 插槽式横梁免拆模凿毛预制工艺简洁有效,成功解决了横梁内置空腔模板支立拆除的难题,无需混凝土面凿毛,减少了人工投入,使横梁达到设计安装强度后即可出运,加快了码头构件安装进度。

2) 预制插槽式横梁代替传统高桩码头结构与桩基连接的现浇构件,解决了水上现浇赶潮水作业时间紧、水上作业条件差、作业工序多、围囹结构耗用周转材料多等施工弊端,能够减少海上作业人员数量,降低人员作业风险。

3) 构件由水上现浇施工转至陆上工厂化制作,提高了高桩码头的装配化建造水平;同时,大幅改善了工人作业环境,有利于高桩码头装配式构件产业工人的培养。

参考文献:

- [1] 郑春霖. 高桩码头现浇下横梁砼的施工技术[J]. 中国水运(下半月), 2011, 11(6): 251-254.
- [2] 刘宇桥, 王超. 抱箍法在码头现浇桩帽施工中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(3): 223-224.

(上接第 127 页)

5 结论

1) 整体预制装配式横梁与桩帽之间采用型钢及梁内预留孔洞后灌浆的技术方案是可行的。该技术方案可进一步提高预制装配率,节省横梁分段预制、多次吊装的重复工序,避免了现浇梁模板的支立,避免了上桩帽节点大体积混凝土现场浇筑及相关钢筋工程。

2) 型钢及梁内预留孔洞后灌浆技术方案的核心在于等效设计,即替代型钢的用钢量与常规技术方案的外伸连接钢筋的用钢量一致、替代型钢与加密箍筋组合截面惯性矩与常规外伸钢筋连接的截面惯性矩一致。

- [3] 熊辉, 刘朵, 冯晓楠, 等. 预制装配式混凝土盖梁工程应用[C]//施工技术编辑部, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2021 年全国土木工程施工技术交流会论文集(上册). 北京: [出版者不详], 2021: 357-361.
- [4] 欧智菁, 薛文浩, 谢铭勤, 等. 装配式混凝土桥墩施工技术综述[J]. 中外公路, 2020, 40(1): 96-101.
- [5] 林立华, 罗玮, 谢鹏飞. 厦门第二东通道工程跨海段桥梁结构设计[J]. 公路, 2021, 66(6): 200-204.
- [6] 赵传林, 徐波, 秦观. 港珠澳大桥超大型预制墩台吊装工艺探讨[J]. 中国港湾建设, 2013, 33(6): 50-52.
- [7] 孟凡奇. 高桩码头预制桩帽装配式施工技术经济分析[J]. 珠江水运, 2022(11): 114-116.
- [8] 冶金工业信息标准研究院, 衡水益通管业股份有限公司, 河北腾是达金属结构有限公司. 冷弯波纹钢管: GB/T 34567—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [9] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 西安工业大学, 青海路拓工程设施制造有限公司, 等. 公路涵洞通道用波纹钢管(板): JT/T 791—2010[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [10] 程春森, 王晓峰, 郑毅敏, 等. 预制混凝土构件脱模验算国内外标准对比[J]. 施工技术, 2016, 45(9): 46-48.

(本文编辑 王璁)

参考文献:

- [1] 潘潭鲁, 尹洪涛, 严熔. 装配式梁-柱节点研究综述[J]. 建材世界, 2018, 39(4): 57-60.
- [2] 王建刚, 张清, 李智军, 等. 装配式梁-柱-牛腿组合节点承载性能分析[J]. 工业建筑, 2021, 51(1): 68-72.
- [3] 王宗成. 预制装配式梁板免模免支撑安装施工关键技术分析及研究[J]. 福建建设科技, 2021(1): 63-67.
- [4] 焦燏烽, 张店, 刘丰军, 等. 预应力装配式梁-梁拼接节点受力性能研究[J]. 钢结构, 2016, 31(12): 64-68.
- [5] 张雯燕, 马华东. 码头横梁收缩裂缝的产生原因及防治[J]. 水运工程, 2020(11): 186-190.

(本文编辑 王璁)