



# 新型全装配式高桩码头 π 形梁板制作工艺

张国明<sup>1</sup>, 王士勇<sup>1</sup>, 刘社豪<sup>2</sup>

(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:** 针对新型装配式高桩码头 π 形梁板无底板薄壁框架结构预制过程中因箱室内温度高、内模拆除难的问题, 对无底板框架结构的预制工艺进行分析, 同时引入分体式液压伸缩自动脱模工艺和电热蒸汽养护工艺。结果表明, 自动脱模工艺解决了因 π 形梁板浇注混凝土后内腔温度高无法进行人工作业的难题; 电热蒸汽养护工艺压缩构件起吊所需龄期, 节约模板用量, 提高预制效率。

**关键词:** 装配式; π 形梁板; 蒸汽养护; 自动脱模

中图分类号: U 656. 1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0143-04

## Production process of π-shape beam plate for new fully prefabricated high-piled wharf

ZHANG Guoming<sup>1</sup>, WANG Shiyong<sup>1</sup>, LIU Shehao<sup>2</sup>

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

**Abstract:** The thin-walled frame structure without a bottom plate of π-shape beam plate for a new prefabricated high-piled wharf faces high temperatures in box rooms and difficult inner mold removal during the prefabrication process. In order to solve these problems, this paper analyzes the prefabrication process of the frame structure without a bottom plate and introduces the split-type hydraulic telescopic automatic demolding process and the electric steam curing process. The results show that the automatic demolding process solves the problem that manual work cannot be carried out due to the high temperature in the inner cavity after concrete pouring of the π-shape beam plate. The electric steam curing process can compress the age required for lifting components, save the amount of formwork, and improve the prefabrication efficiency.

**Keywords:** prefabricated structure; π-shape beam plate; steam curing; automatic demolding

高桩码头是一种适合软土地基的码头结构形式, 下部结构采用混凝土桩或钢管桩, 上部结构为桩帽+梁+板结构, 其中桩帽、下横梁一般为现浇混凝土结构, 纵梁和面板一般采用陆上预制、水上安装的工艺。高桩码头施工的特点是水上施工量大、施工周期长、陆上预制构件数量多、构件制作功效低、人工成本较高, 由此带来的安全

隐患和施工组织难度也相对较大。为了减少水上作业、提高施工效率, 连云港港徐圩港区 64#~65#液体散货泊位首次采用了全新装配式结构, 围绕大构件和高装配率进行了工艺创新, 将桩帽与下横梁合并成一根大横梁, 将纵梁与面板组合成 π 形框架梁板结构, 见图 1。

收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 张国明 (1967—), 男, 高级工程师, 从事港口工程施工技术管理。

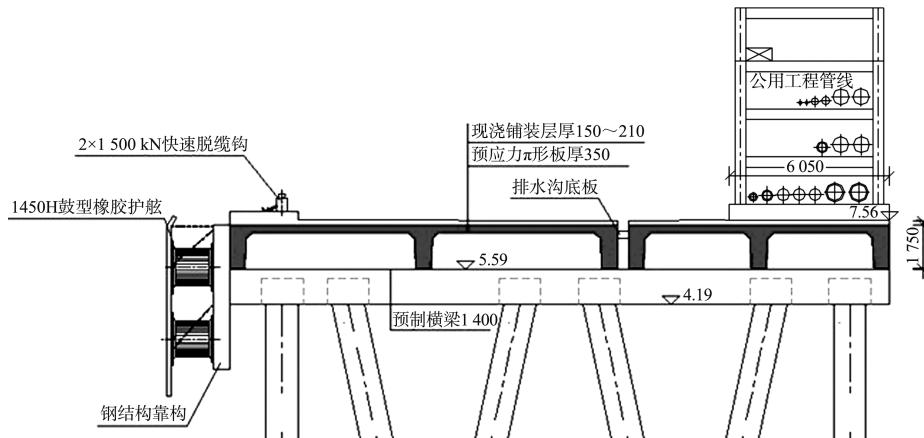
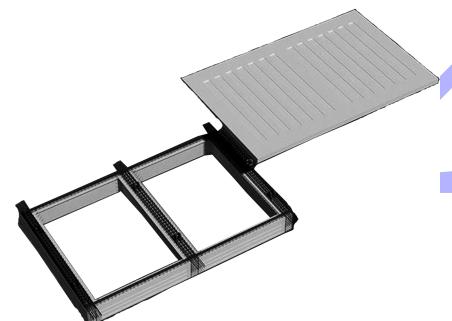


图 1 64#~65#液体散货泊位码头结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

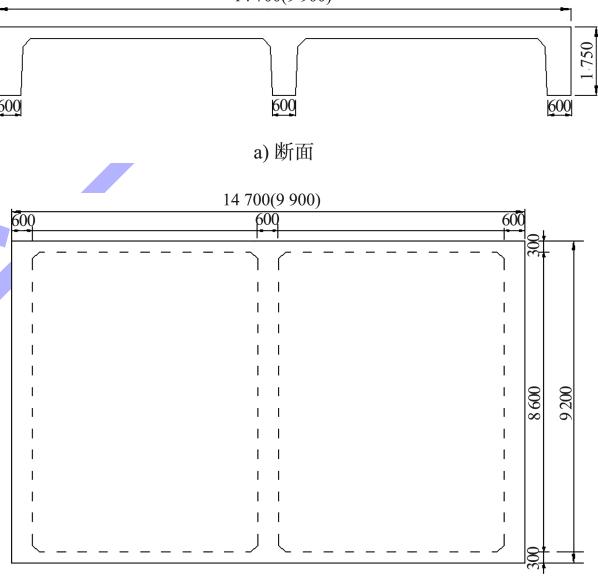
## 1 结构形式

设计将每排架的纵梁、面板组合成前、后两种型号的  $\pi$  形薄壁模块，前、后板之间设置宽 400 mm 的排水沟，利用前、后板预留外伸 40 mm 钢筋作为底板钢筋，排水沟底板采用现场浇注工艺。 $\pi$  形梁板由 3 根纵梁与面板组成，两端另设混凝土肋板与纵梁、顶板连接成整体，见图 2。

a)  $\pi$ 形梁板构造b)  $\pi$ 形梁板外观图 2  $\pi$  形框架梁板结构

前、后板长度分别为 14.7 和 9.9 m，宽度均为 9.2 m，顶板厚度为 0.35 m、高度为 1.75 m。

前、后板单件质量分别为 212.5、162.4 t。断面尺寸见图 3。

图 3  $\pi$  形梁板尺寸 (单位: mm)

## 2 施工难点

与该结构形式类似的混凝土构件尚无先例，也无制作经验可以借鉴。由于  $\pi$  形梁板的顶板及四周需要预留外伸钢筋、吊环和护舷预埋件等，无法进行立式和仰式预制，只能采用平卧式方法，该方法的主要制作难点为内模脱模作业，原因分析如下：

- 1) 内模如果采用组合模板工艺，不但模板安装、拆除效率低，而且箱室内因混凝土水化热产生的高温也不便于人工作业。矿渣硅酸盐水泥混凝土水化热峰值一般出现在混凝土浇注后 24~48 h，

内部最高温度可达 60~70 ℃。同时,  $\pi$  形梁板结构也难以将箱室内环境温度在短时间内降低至人工作业所需的环境温度, 如果采用物理降温方法降低箱室内温度, 则容易因混凝土温度与环境温度温差过大而产生表面裂缝; 如果等到箱室内环境温度降至人工作业所需的环境温度, 则至少需要 5~6 d 时间, 将大幅降低模板的周转效率, 并势必占用更多的场地。

2) 内模如果采用固定式钢模, 通过起重机起吊构件进行整体脱模, 则混凝土水化热产生的高温将导致钢模板变形受限而产生凹凸变形现象, 起吊脱模时, 模板无法与构件正常分离。

### 3 应对措施

基于上述实际情况, 本着安拆简单、周转高效的原则, 研发分体式液压伸缩自动脱模工艺, 将内模分成 4 块活动模板和 4 块固定角模, 利用模板自身重力并通过液压系统辅助脱模, 模板间预留一定的间隙确保钢模板遇热伸缩而不发生凹凸变形。另外, 为了提高模板周转效率, 还采用了蒸汽养护工艺和保温措施, 提高混凝土早期强度,

减少起吊脱模所需时间。

#### 3.1 内模工艺

##### 3.1.1 模板设计

每箱室内模由 4 块活动内模(1<sup>#</sup>~4<sup>#</sup>)与 4 块固定角模组成。活动内模与底模通过铰接连接, 角模与底模之间采用螺栓连接, 角模与两侧模板之间预留宽 5 mm 变形缝, 防止因模板受热而产生的变形影响内模脱模, 模板伸缩缝处粘贴胶带进行止浆, 见图 4。为便于脱模, 减少内模脱模时的阻力, 1<sup>#</sup>与 2<sup>#</sup>模板接缝处加工成坡口状。

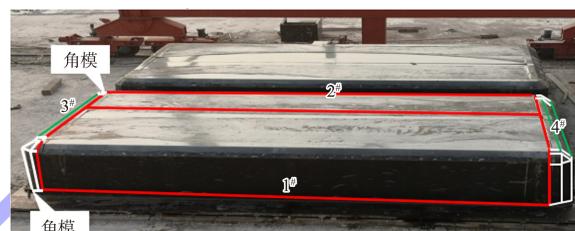


图 4  $\pi$  形梁板内模分块

顶板模板按纵向分成两部分, 分别与纵梁内模加工成 L 形, 与底座通过竖向连动杆连接, 并通过液压千斤顶推、拉水平连动杆进行脱模和支模, 见图 5。

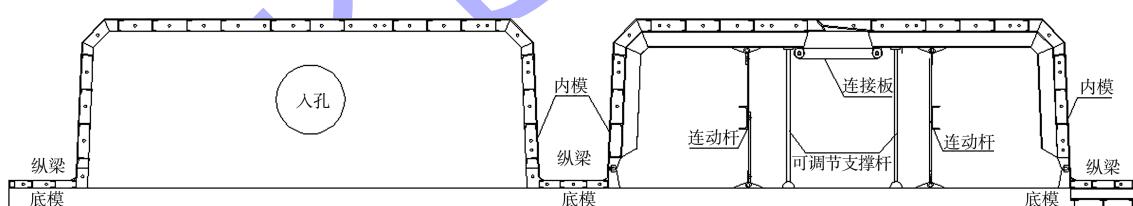


图 5  $\pi$  形梁板 1<sup>#</sup>(2<sup>#</sup>) 内模工艺

内模支立完成后, 为了保证模板稳定性, 两块顶模之间通过连接板连接牢固, 顶模下增设竖向可调节支撑杆, 确保内模的承载力。两侧隔板内模采用调节丝杆通过微调进行脱模和支模, 见图 6。

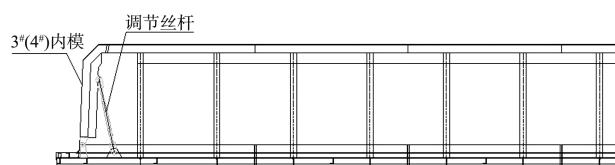
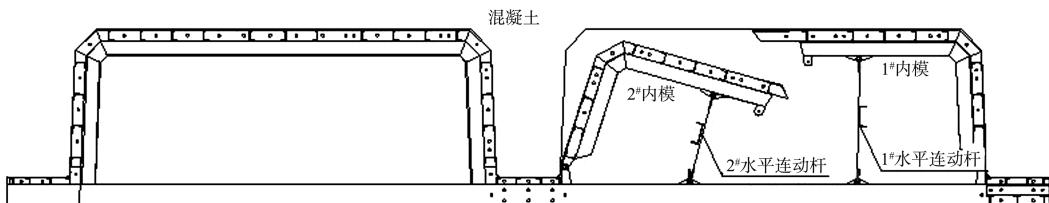


图 6  $\pi$  形梁板 3<sup>#</sup>(4<sup>#</sup>) 内模工艺

##### 3.1.2 内模安、拆顺序

内模安装顺序为: 1) 调节 3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 模板; 2) 通过液压千斤顶和连动杆支立 1<sup>#</sup>模板, 见图 7; 3) 通过液压千斤顶和连动杆支立 2<sup>#</sup>模板; 4) 安装 1<sup>#</sup>与 2<sup>#</sup>模板接缝处的连接片; 5) 安装支撑立杆; 6) 粘贴模板变形缝处胶布, 防止浇注混凝土时漏浆。

内模拆除顺序为: 当混凝土强度达到设计强度的 75% 以上时, 开始拆除内模。拆除内模时, 按照内模的安装顺序的反向顺序进行作业。

图 7  $\pi$  形梁板内模支立

### 3.2 养护工艺

为了加快模板周转速度，减少模板数量，混凝土浇注后，先进行蒸汽养护，脱模后，再分别采用洒水保湿和保鲜膜覆盖相结合的养护工艺。

蒸汽养护的目的在于加快水泥水化反应，并为水泥硬化提供所需的水分，提高混凝土早期强度，便于构件早日脱模，提高模板周转效率。蒸汽养护采用电热蒸汽发生器+保温罩相结合的工艺。

根据  $\pi$  形梁板结构特点和混凝土水化反应的特点，并参照 GB 50164—2011《混凝土质量控制标准》<sup>[1]</sup>，蒸汽养护温度按照 65 ℃、蒸汽养护时间按照 12 h 进行控制，蒸汽养护完成后继续进行 24 h 覆盖养护。蒸汽养护时，严格按照以下流程控制蒸养温度和时间<sup>[2]</sup>：

- 1) 静养 2 h (30 ℃干热保温静停)。
- 2) 升温 2 h ( $30\text{ }^{\circ}\text{C} \xrightarrow{1\text{ h}} 45\text{ }^{\circ}\text{C} \xrightarrow{1\text{ h}} 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。
- 3) 恒温 8 h (稳定在 65 ℃左右)。
- 4) 降温 2 h ( $65\text{ }^{\circ}\text{C} \xrightarrow{1\text{ h}} 45\text{ }^{\circ}\text{C} \xrightarrow{1\text{ h}} 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，降温速率不大于 20 ℃/h)。

本蒸汽养护控制流程适用于夏季，在气温较低的季节施工时，可以在模板内通过蒸汽进行预热，将环境温度控制在 30 ℃左右（达到静养所需的环境温度）。

经过实际监测和检测，在气温 30 ℃时通过蒸汽养护 12 h 后，C50 混凝土强度可以达到设计强度的 70% (35 MPa)，再经过 24 h 的后保湿和洒水养护后，达到设计强度的 80% (40 MPa)，达到起吊脱模的条件。

### 3.3 过程中遇到的问题

首件施工时，因外模拆除过早，拆模后混凝

土表面瞬间产生龟裂，局部颜色不均，见图 8。



图 8 混凝土表面龟裂

经分析，主要是因拆模时混凝土表面温度与环境温差太大所致。拆模时混凝土表面温度在 58 ℃左右，环境气温在 35 ℃左右，混凝土表面与环境温差大于 20 ℃。而后根据气温情况延长了拆模时间，并按照混凝土表面温度与环境气温差不大于 15 ℃的标准进行拆模<sup>[3-5]</sup>，混凝土龟裂问题和局部色差问题均未再次发生。

### 4 结语

1)  $\pi$  形板内模采用自动液压脱模工艺，减少了模板安装、拆除工作量，解决了拆模时箱室内温度高、人工作业难的问题。同时，采用蒸汽养护工艺还可压缩 4~5 d 的脱模时间，提高内模的利用率，减少模板加工数量和费用，节约预制场地。

2)  $\pi$  形板集成了多个单体梁、板，减少了繁琐的工序，在制作期间提高了作业人员总体工作效率；在安装期间，减少了安装数量，提高了安装效率 5~6 倍，并减少大量的水上作业。徐圩港区盛虹二期工程 64#~65#泊位码头通过采用新的装配式结构，与一期工程同规模的 2 个泊位相比，减少预制构件数量 80% 以上，压缩了 40% 的施工工期，为码头的早日投产创造了有利条件。

(下转第 160 页)