



# 装配式高桩码头插槽式横梁安装工艺\*

刘 鹏<sup>1</sup>, 周厚亚<sup>1</sup>, 刘晓曦<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:** 插槽式横梁为一种内置空腔的新型结构, 在安装时不同于高桩码头纵梁等上部预制构件, 其无下部构件作为支撑面, 且需要将桩基套入构件内置空腔内, 施工未有先例, 安装难度大。针对插槽式构件的安装工艺, 开发了构件安装操作平台、集成精确定位装置等, 并研究不同形式起重船的安装方法。通过国内首个全装配式高桩码头上实践应用, 取得良好的效果, 可为类似工程提供参考。

**关键词:** 高桩码头; 装配式; 插槽式横梁; 安装工艺

中图分类号: U 656.1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0147-06

## Installation process for slot-type beams of prefabricated high-piled wharf

LIU Peng<sup>1</sup>, ZHOU Houya<sup>1</sup>, LIU Xiaoxi<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:** Slot-type beam is a new structure with built-in cavities, and it is different from the upper prefabricated components such as the longitudinal beam of the high-piled wharf in terms of installation. In addition, it has no lower component to serve as the bearing surface and requires the pile foundation to be inserted into built-in cavities of the component. The slot-type beam has not been used in projects, and its installation is difficult. In view of the installation process of slot-type components, this paper develops a component installation operation platform and an integrated precise positioning device and studies the installation methods of different crane ships. In addition, the practical application of the first fully prefabricated high-piled wharf in China achieves excellent results and can provide a reference for similar projects.

**Keywords:** high-piled wharf; prefabricated structure; slot-type beam; installation process

水运行业高桩码头结构装配化发展相对滞后, 特别是高桩码头与桩连接的桩帽、下横梁等构件一直采用现浇工艺, 需要提前安设钢抱箍、工字钢、木方等围图支撑系统, 在上部桩帽、横梁等现浇构件浇筑完成后才能依次拆除, 不仅耗用周转材料多、需要大量小型吊机船辅助作业, 而且只能赶潮水施工窗口期作业, 工效受水上环境影响大, 短时间内需要投入大量的施工作业人员、

作业空间小、安全风险大, 一直以来是高桩码头施工无法避免的痛点<sup>[1]</sup>。开展高桩码头桩帽、下横梁等构件的预制安装施工技术研究, 可以解决现浇构件施工时存在的不足。

在桥梁建设领域, 预制拼装桥墩体系作为快速桥梁建设技术 (accelerated bridge construction, ABC) 的重要手段得到了广泛的应用<sup>[2]</sup>, 其连接构造方式主要有预应力、灌浆套筒、灌浆波纹管、

收稿日期: 2022-11-15

\*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFB2600700)

作者简介: 刘鹏 (1989—), 男, 高级工程师, 从事水运工程施工技术管理。

插槽式、承插型、湿接缝连接等,不同的连接方式各有优缺点。插槽式预制连接作为其中的一种连接方式,多用于桥墩与承台或盖梁之间,美国佛罗里达州 St. George Island 桥、Redfish Bay 桥都采用了这种方式,国内鲜有插槽式连接的应用实例<sup>[3]</sup>。

与陆上相比,水上构件的吊装需要采用浮吊船施工,船舶稳态受风、浪、流等影响显著,制约了插槽式预制装配结构的发展。翔安大桥(厦门第二东通道)工程和港珠澳大桥采用上下部插槽式桩基墩台结构,预制墩台上在桩基位置预留现浇孔,上下贯通,安装后与桩基后浇混凝土进行连接<sup>[4-5]</sup>。

在高桩码头领域,尚无插槽式预制横梁安装的应用先例。本工程采用的插槽式横梁为一种新型结构,与港珠澳大桥应用的预制墩台相比,该结构为细长构件,桩基线式布置,现浇空腔下部

无底,上部封闭,安装时无法观察桩基套入空腔情况,需要解决插槽式横梁安装支撑系统、旋转定位、高精度安装等难题,本文将重点介绍其安装工艺。

## 1 工程概况

连云港港徐圩港区 64<sup>#</sup>~65<sup>#</sup> 10 万吨级液体散货泊位码头工程应用了一种模块化全装配式高桩码头结构,由预制插槽式横梁、预制  $\pi$  形梁板组成。码头排架间距 10 m,每个排架含 6 根  $\phi 1\ 200$  mm 混凝土大管桩,前后各 1 根直桩,中间 4 根 5:1 斜桩。

本工程共有 60 榀插槽式横梁,宽 2.6 m、高 1.4 m、25 m 通长预制,质量达 198 t,并于底部根据排架桩位开设 6 个  $\phi 1\ 600$  mm、高 1 000 mm 的内置空腔,插槽式横梁通过空腔节点与桩基连接,见图 1<sup>[6]</sup>。

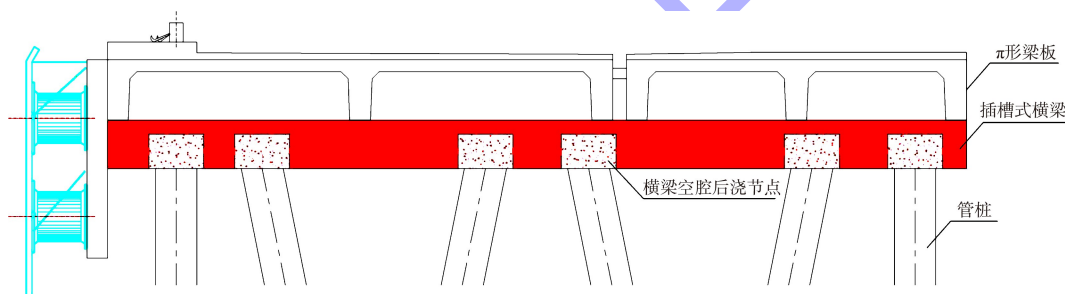


图 1 徐圩港区 64<sup>#</sup>~65<sup>#</sup> 泊位码头断面

## 2 插槽式横梁安装支撑系统

### 2.1 桩顶自支撑系统

插槽式横梁安装后,前后 2 根直桩和斜桩桩芯内置的 32C 型钢结构伸入横梁空腔内 1 m。在安装时,利用桩基顶部、桩芯型钢顶部作为安装搁置面,根据桩基布置,形成“前后 2 根直桩+中间 1 对叉桩”组成的多桩桩顶自支撑系统,使插槽式横梁多支点搁置。构件重力由桩芯型钢与桩内混凝土的摩擦力承担。因此,插槽式横梁安装时不需要设置围囹支撑系统,避免了钢抱箍、工字钢等材料的赶潮安装拆除,见图 2。



图 2 插槽式横梁安装

桩芯混凝土长度为 2 800 mm,其中桩芯型钢结构长度为 1 800 mm,在预制厂加工成型,运输至现场后,使用小型起重船起吊安装,使用搅拌船完成桩芯混凝土浇筑。

中间斜桩桩芯型钢结构作为搁置面时, 横梁荷载通过型钢结构传递到桩芯混凝土。桩芯混凝土与大管桩的连接摩擦阻力  $f_s = 0.07f_c$  ( $f_c$  为混凝土轴心抗压强度设计值),  $f_c$  可按 JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》<sup>[7]</sup> 表 4.1.4-1 取值。

## 2.2 桩顶搁置面处理

横梁安装前应对桩顶搁置面进行处理, 桩顶型钢顶部设置厚 10 mm 钢板, 起到调平作用, 搁置面顶高程应保持一致, 平整度不大于 3 mm; 钢板顶部铺厚 10 mm 橡胶垫或水泥砂浆, 起到横梁安装软着陆作用, 防止横梁搁置时受力不均匀, 见图 3。

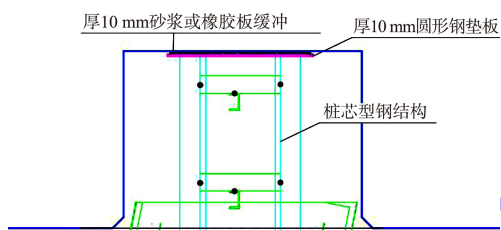


图 3 桩顶搁置面组成

## 3 插槽式横梁安装施工方法

### 3.1 起重船的选择及安装方法

起重船的选择应综合考虑构件结构特点、尺寸、质量、安装吊距、水文条件和作业要求等因素, 并配备力矩显示、超限报警及停止、臂架角度显示及限位等安全保护措施, 同时校核起重吊物对船体稳性的影响, 以及起重船在吊物时受风浪影响的动力响应。

插槽式横梁安装技术要点为横梁吊起后纵向转至横向 90° 旋转控制。因此, 安装时宜优先选择可旋转单钩, 采用双钩时, 应制作专用可旋转吊具。起重船按其动作方式主要分为固定扒杆式和全回转式<sup>[8]</sup>, 可综合考虑施工可作业水域范围、施工成本、工期要求等因素合理选择。

#### 3.1.1 固定扒杆式起重船安装方法

采用固定扒杆式起重船安装时, 起重船前后抛八字边锚, 并抛设前后抽芯缆用于横向前后移动。起重船吊起构件后, 先纵向绞锚移动至安装排架前, 见图 4a)。通过船上卷扬机牵引 90° 旋转

横梁后, 起重船再横向绞锚移动至构件安装中心处, 见图 4b)。

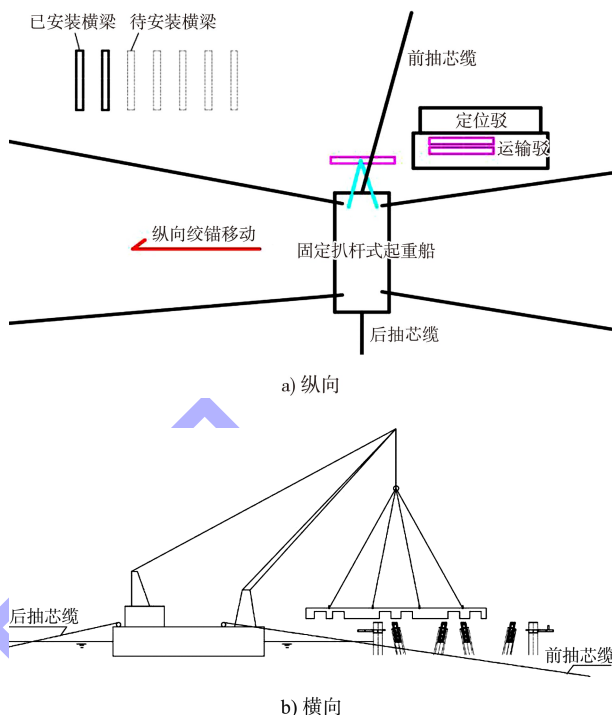


图 4 固定扒杆式起重船移船就位

固定扒杆式起重船由于起重机臂架在船上固定, 只能前后摆动实现重物的起吊, 吊点就位需要通过起重船绞锚纵、横向移位实现。因此, 固定扒杆式起重船移船就位时间相对较长, 对施工作业水域范围也有一定要求。

#### 3.1.2 全回转式起重船安装方法

采用全回转式起重船安装时, 起重船根据待安装横梁位置预先布设好交叉锚缆, 起重船与排架前沿桩保持 2 m 安全距离, 横梁由运输驳运至现场后, 停靠在起重船旁。横梁安装前, 保持安装排架、起重船大臂旋转中心和运输驳上安装横梁中心保持在一条直线上, 见图 5。

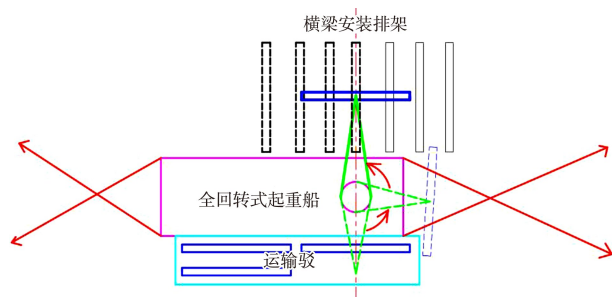


图 5 全回转式起重船取梁旋转就位

起重船主钩与横梁通过钢丝绳连接后,主钩保持在横梁重心之上后开始提升,至钢丝绳受力绷紧,检查主钩钢丝绳是否存在斜拉情况,如有,则放松主钩,调整大臂或船位,使主钩基本处于横梁重心之上。当横梁抬高甲板面约 50 mm 时,暂停提升主钩,待横梁稳定不再摆动后继续提升。

起重船旋转大臂至安装排架上方,旋转过程中由于构件重心在平面上不断变化,应注意船舶平衡的调整。同时,吊物的重心宜低不宜高,防止吊物对船体稳性造成不利的影响。横梁旋转至安装排架上方后,位于纵向位置,横梁前沿侧两个吊环分别带缆绳至起重船上卷扬机,通过卷扬机的绞动拉动缆绳,实现横梁由纵向至横向的 90° 旋转,见图 6。

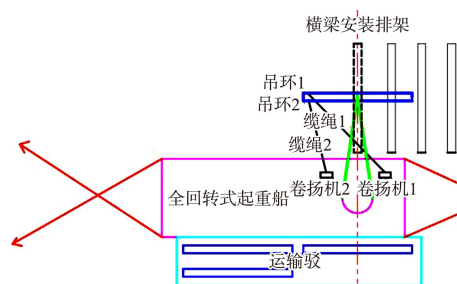


图 6 全回转式起重船横梁旋转

全回转式起重船可在起重船不移位的情况下完成吊物的移动,机动性大幅优于固定扒杆式起重船。因此,全回转式起重船无需频繁移船就位,对施工作业水域范围要求较低,但横梁吊起旋转过程中,起重船需要 2 次调整船体平衡,增加了安装时间。

### 3.2 钢丝绳配置

起重船吊钩通过钢丝绳与插槽式横梁吊环连接,钢丝绳系统应进行计算。由于钢丝绳加工存在精度偏差,钢丝绳实际长度可能与计算存在差异,应在正式安装前进行试吊,检查横梁起吊后两侧高差情况,并可通过调整花篮螺丝的左右旋螺纹调节连接长度,减少横梁起吊后的高差。

为减少钢丝绳系统的复杂度,插槽式横梁在设计上宜保持结构对称,吊环数量宜少,可采用有限元分析的方法检查吊装阶段的位移、轴力和弯矩等。以徐圩港区 64#~65# 泊位为例,采用 8 个吊环对称布置,通过有限元分析,梁跨中最大位移 0.29 mm,见图 7a)。混凝土裂缝分布主要在吊点附近,最大值 0.1 mm,应加强吊点附近局部钢筋布置,见 7b)。沿横梁纵向弯矩分布最大值为 323 N·m,见图 7c)。

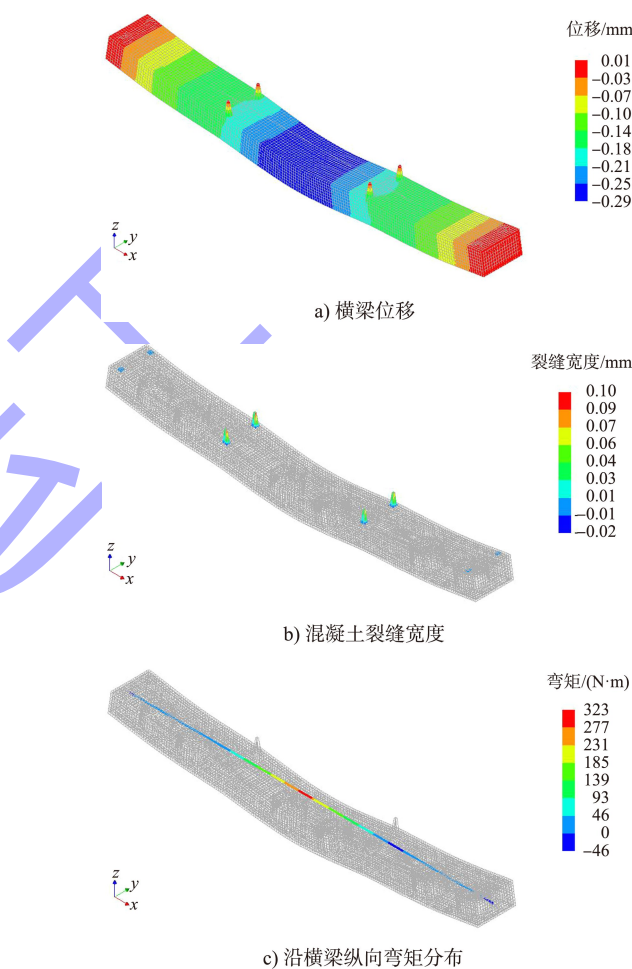


图 7 吊装阶段有限元分析结果

当单侧吊环数量大于 4 个时,宜采用上、下吊索的连接方式,保持“山字形”,即主钩两侧均只有 2 根钢丝绳环绕连接,并应保持任意一根钢丝绳与水平面的夹角不小于 60°。以非对称吊环布置为例,见图 8。计算钢丝绳内力时,可按左右拉力相等计算。



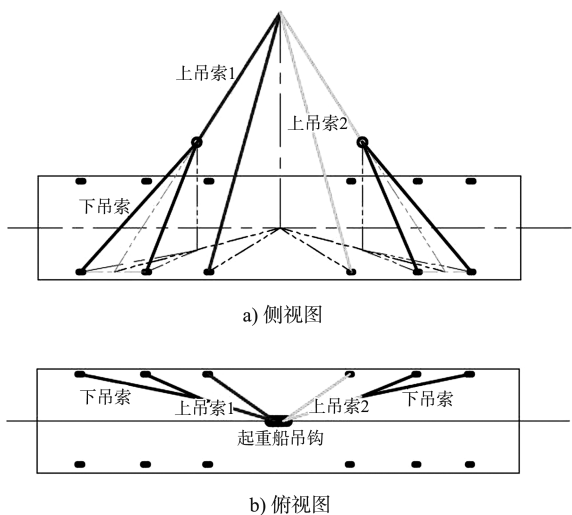


图 8 多吊点横梁起吊用钢丝绳系统

3.3 插槽式横梁定位安装

插槽式横梁安装分粗定位和精定位 2 个阶段，测量人员使用后方的全站仪和水上操作平台上单侧限位装置共同控制横梁安装位置。安装前，先测放横梁安装边线，将单侧限位装置固定在轻型抱箍操作平台上，码头后沿设置 1 个，横梁一侧设置 2 个，单侧限位装置起到下落就位时导向定位的作用。

粗定位时，起重船通过绞锚、移动扒杆或大臂，使横梁中心基本在安装排架上方。在起重指挥的统一指挥下，起重机操作员缓慢下落主钩，当横梁底部距桩顶搁置面约 200 mm 时暂停，施工人员观察横梁与单侧限位装置的相对距离，并引导起重船适当调整船位或大臂，使横梁距离限位装置不大于 100 mm 后（此时，空腔距桩边距离不小于 100 mm），起重船即可再次开始缓慢下落主钩，此时桩顶开始套入横梁空腔节点内，见图 9。

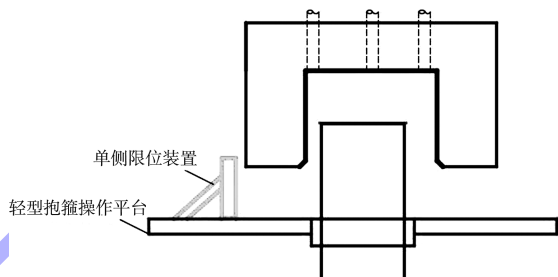


图 9 横梁安装下落就位

精定位时，横梁下落至距安装搁置面约 50 mm 时，再次暂停，横梁悬停在空中，通过牵拉或顶推，微调横梁至限位装置处，靠着限位装置缓慢下落至桩顶搁置面上，见图 10。

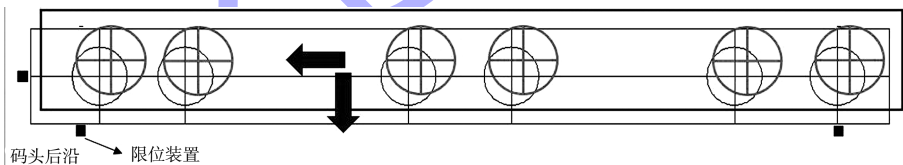


图 10 横梁安装精定位

4 工程应用效果

连云港港徐圩港区 64#~65#泊位插槽式横梁于 2021-08-11 开始首件施工，60 榀横梁于 2021-10-24 全部安装完成。经统计，本工程使用固定扒杆式起重船安装，单日最多安装 5 榀，单榀横梁安装耗时仅约 1 h，见表 1。

由表 1 可见，横梁挂钩、起钩时间占到总作业时间的 50% 以上，而挂钩、起钩作业时间与吊环数量、钢丝绳系统复杂度成正相关。因此，对于吊环数量多、钢丝绳系统复杂的横梁，可考虑使

用吊梁简化钢丝绳系统，各钢丝绳可快速与吊环连接，缩短挂钩、起钩时间，见图 11。

表 1 插槽式横梁安装各工序作业时间

工序	开始时间	结束时间	用时/min
挂钩(8 个吊环)	15 : 30	15 : 49	19
横梁转运(含起重船绞锚及横梁旋转)	16 : 02	16 : 15	13
横梁就位安装	16 : 16	16 : 29	13
起钩	15 : 49	16 : 02	13
整个过程	15 : 30	16 : 29	59

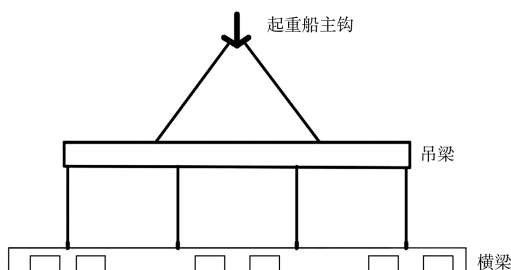


图 11 使用吊梁起吊横梁

## 5 结语

1) 插槽式横梁的应用解决了传统高桩码头水上现浇作业的弊端,真正实现了高桩码头的“搭积木”式作业,提高了高桩码头装配化建造技术水平。

2) 插槽式横梁安装阶段施工作业人员投入少,仅需 10 人左右,避免了水上现浇横梁作业人员数量多、赶潮水作业、周转材料使用多、施工安全风险高等弊端。

3) 通过设置导向限位装置,插槽式横梁安装精度可控,能够满足轴线位置偏差不大于 20 mm、结构前沿线位置偏差不大于 10 mm 的要求。

4) 插槽式横梁安装工艺已通过工程实践,具有安装速度快的突出优势,可快速为上部预制构件

提供安装工作面、缩短整体施工工期,特别适用于施工窗口期短的高桩码头建设。

## 参考文献:

- [1] 江义,程泽坤,吴志良,等.装配式桩基码头设计建造应用现状与展望[J].水运工程,2018(6):103-109.
- [2] 陈宝魁,彭新,王靓妮,等.预制拼装桥墩工程应用与创新研究[J].市政技术,2022,40(6):1-6.
- [3] 陈彦江,丁梦佳,许维炳,等.预制拼装桥墩体系及其抗震性能研究进展[J].中国公路学报,2022,35(12):56-76.
- [4] 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.
- [5] 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(6):50-52.
- [6] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.连云港港徐圩港区六港池 64#~65#液体散货泊位工程 码头结构图[R].上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2021.
- [7] 中交水运规划设计院有限公司.水运工程混凝土结构设计规范:JTS 151—2011[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [8] 张昊,王辉,何宁.海洋工程大型起重设备及其关键技术研究[J].海洋工程,2009,27(4):130-139.

(本文编辑 王璁)

## · 消 息 ·

### 中交集团 6 个项目入选第二十届第一批中国土木工程詹天佑奖

近日,第二十届第一批中国土木工程詹天佑奖获奖名单公布,共评选出 44 项各领域的标志性工程。中交集团 6 个项目榜上有名。

中交集团 6 个获奖项目分别是:上航院、一航院、一航局、水规院、上航局、三航局、三航院、中港疏浚承建的长江南京以下 12.5 m 深水航道工程;一公局集团、二公局承建的浙江省乐清湾大桥及接线工程;二航局参建的芜湖长江公路二桥工程;中交路建参建的济南至青岛高速公路改扩建工程;二公院、一公院参建的乐昌至广州高速公路;一公局集团、三航局参建的上海市轨道交通 15 号线工程。

截至目前,中交集团共有 114 个项目荣获中国土木工程詹天佑奖。

[https://www.ccccltd.cn/news/gsyw/202304/t20230423\\_206457.html](https://www.ccccltd.cn/news/gsyw/202304/t20230423_206457.html) (2023-04-18)