

文章编号:0451-0712(2006)03-0006-06

中图分类号:U445.4

文献标识码:B

固定式海上桥梁施工平台的设计与施工

杨思民¹, 张鹏飞², 师建洲²

(1. 路桥集团国际建设股份有限公司 北京市 100027; 2. 路桥华东工程有限公司 上海市 200135)

摘 要: 东海大桥是我国第一座真正意义上的跨海大桥, 施工环境恶劣, 无经验可以借鉴。Ⅶ标主桥斜拉桥——颗珠山大桥主墩平台采用了打桩船直接插打大直径钢护筒(直径 3.2 m)并作为平台主要承重构件的施工方法, 该施工方法质量优、速度快、效益好。

关键词: 东海大桥; 打桩船; 钢护筒; 平台; 设计; 施工

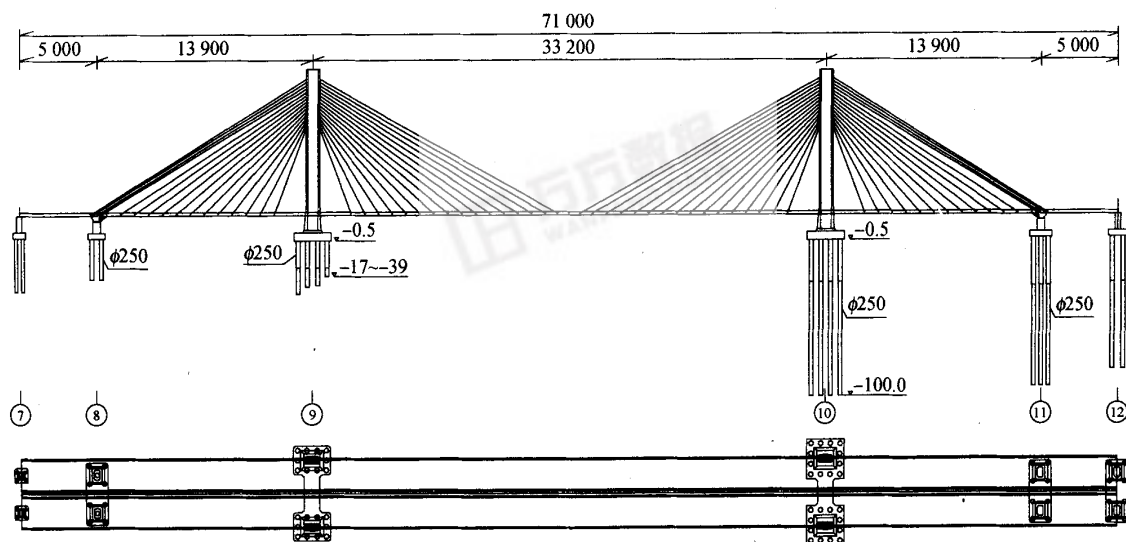
1 工程概况

东海大桥起始于上海浦东南汇区芦潮港镇, 跨越杭州湾北部海域, 直达浙江省嵊泗县崎岖列岛的小洋山岛, 工程全长 31 km, 自然条件十分恶劣, 无论是工程规模, 还是施工难度、技术含量在国内均是首屈一指。东海大桥Ⅶ标西起颗珠山岛, 东连小洋山山港区, 距上海市南汇区芦潮港镇约 30 km。

桥区不利的自然条件主要包括气象因素和水文因素。不利气象因素主要有大风、雾、大雨、雷暴以及高温和严寒的天气条件; 不利水文因素主要为波浪,

潮位及海流对施工作业的影响; 综合考虑各种不利因素, 一年有效作业天数约 200 d。

东海大桥Ⅶ标——颗珠山大桥起点桩号为 K29+387.929, 终点桩号为 K31+047.929, 全长 1 660 m, 桥跨组合为 $7 \times 50 \text{ m} + (50 + 139 + 332 + 139 + 50) \text{ m} + 12 \times 50 \text{ m}$ 。其中主桥为斜拉桥, 全长 710 m, 采用双塔双索面叠合梁结构, 基础为钻孔灌注桩, 全桥主墩桩基共计 52 根, 桩径为 250 ~ 300 cm, 最大桩长约 100 m。主桥桥型布置见图 1 所示。



单位: cm

图 1 主桥桥型布置

2 平台方案的比选

根据本工程特点、自然条件以及工期要求,主墩钻孔桩采用搭设海上平台进行施工。

2.1 国内几种常用的施工平台方案

2.1.1 以辅助钢管桩为主要承重结构的常规平台方案

以辅助钢管桩为主要承重结构的平台方案,从施工方法上又可分为散装式和组装式两种。

散装式施工平台的施工方法是将平台的各组成部分均按零部件的形式和施工顺序现场逐步安装,是内河常用的施工平台方案,在水深、流急的海洋环境下采用的不多。

组装式(又称导管架式)平台施工方法是在钢管桩外增加套管,在陆地加工厂内将套管与连接构件先行组装好,然后运至施工现场安装下沉,再安装钢管桩。组装式平台由于增加了套管从而增加了平台用钢量,且受海床面平整度的限制。

2.1.2 以钢护筒为主要承重结构的平台方案

以钢护筒为主要承重结构形式的平台,从施工方法上也分为散装式和组装式两种。

散装式平台施工方法是先施工基础(钢护筒)、再安装平台上部结构,此方案内河偶尔采用,在海洋环境尚无应用先例。

组装式(又称浮式)施工平台的施工方法是先在加工厂内将平台上部结构、钢护筒的导管架和承台施工钢套箱整体加工成浮式结构,经拖轮拖航至施工墩位定位锚固,再施工基础钢护筒。组装式平台设计、制作周期长,用钢量大。

2.2 平台方案选定

根据颗珠山大桥工期短的特点,结合我单位现有的路建桩8号打桩船,并借鉴海上打桩的成功经验,颗珠山大桥主墩平台选定以钢护筒为承重结构的散装式平台方案,钢护筒采用打桩船整根插打。

3 平台设计

3.1 设计条件

3.1.1 地质条件

根据东海大桥Ⅶ标地质详勘报告,海床表面为淤泥,以下依次为淤泥质粉质粘土、粉质粘土、粉细砂等。

3.1.2 水文条件

桥位处设计高水位为2.15 m,极限高水位为3.35 m;设计最大流速 $V=2.1$ m/s;NE向20年一遇

的波浪要素值为 $H\%=6.8$ m, $T=7.8$ s, $L=85.2$ m。

3.1.3 海床面标高及冲刷

颗珠山侧最低海床标高约为-4.5 m,小洋山侧最低海床标高约-19.0 m。桥位局部冲刷为2~3 m。

3.1.4 平台使用功能

为满足钻孔桩施工要求,施工平台必须具备以下使用功能:每座平台需配置4台钻机(每台钻机荷载130 t);50 t履带吊机可在平台上起吊30 t的作业荷载;在左右幅平台之间布置泥浆循环池;靠海一侧可临时锚泊大型施工船舶(5 000 t级)。

同时综合考虑承台、塔柱及桥面系等施工,在墩侧设置了辅助平台,布置拌和站、生活区、发电机房等生活、生产设施。

按照上述使用功能要求,对主墩平台进行了合理的布置,总体平面布置见图2所示。

3.2 平台结构

3.2.1 结构形式

平台基础主要由钢护筒组成,按设计桩位布置。由于承台呈哑铃形,左右幅承台间距较大,设计时在左右幅之间布置了2排辅助钢管桩,每排4根共8根(东主墩)。上部结构由型钢承重梁和型钢分配梁构成,平台顶面铺设钢板,在平台四周设置护栏以及防撞指示灯,靠海一侧设防撞和泊船钢管桩。在墩位一侧设有施工平台,且与钻孔平台连成一体。主墩钻孔桩平台构造示意图3和图4所示(仅示东主墩平台)。

3.2.2 平台构造及主要设计参数

平台顶面标高根据部颁《海港平面设计规范》4.3.4条,确定为+9.0 m。

护筒及钢管桩底标高确定:根据地质资料,结合钢护筒承载力要求,西主墩钢护筒和钢管桩底口支撑在岩面上,东主墩钢护筒和钢管桩底口支撑在粉细砂层上。

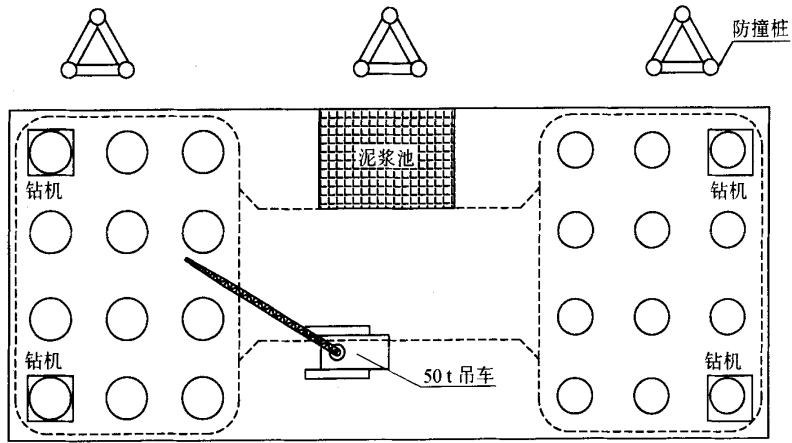
钢护筒平联设置2层,底层标高分别为+1.0 m和+6.0 m。

主墩施工平台主要设计参数见表1。

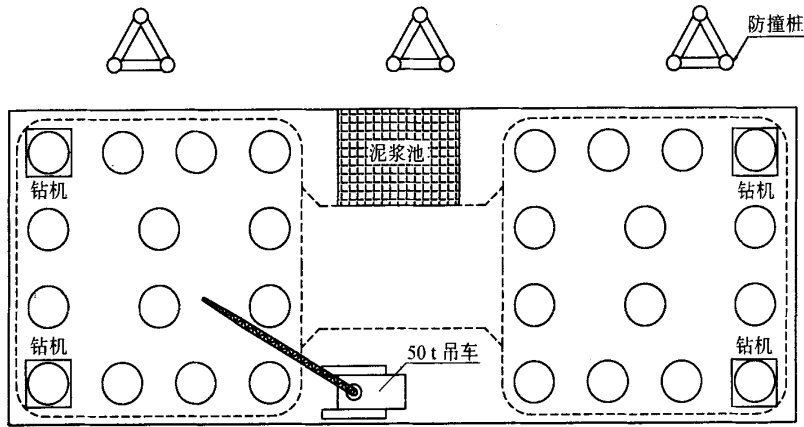
3.2.3 平台整体稳定设计及措施

抗冲刷措施:桥位局部冲刷为2~3 m,在实施和使用阶段,派专人负责测量墩位的冲刷情况,并采取抛石压桩等措施进行冲刷防护,以确保平台整体稳定及钢护筒的入土深度满足设计要求。

防防撞措施:为防止船只碰撞平台,首先在平台上设置警示标志,并且在靠海一侧设置防撞和泊船钢管桩。其次将钻孔平台与墩侧平台连成一体,以增

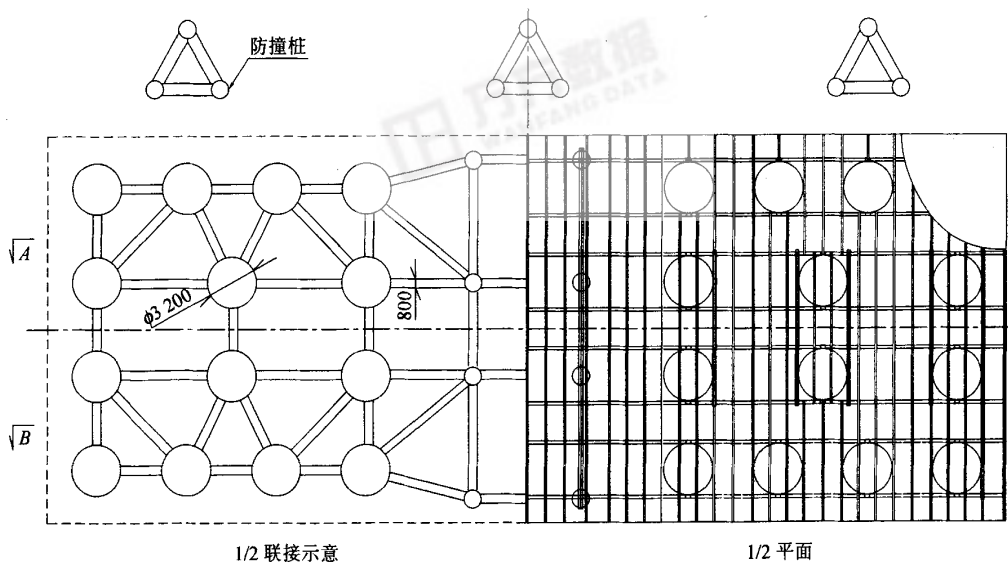


(1) 西侧主墩平面布置



(2) 东侧主墩平面布置

图 2 主墩施工平台平面布置示意(未示辅助平台)



单位: mm

图 3 东主墩平台平面示意

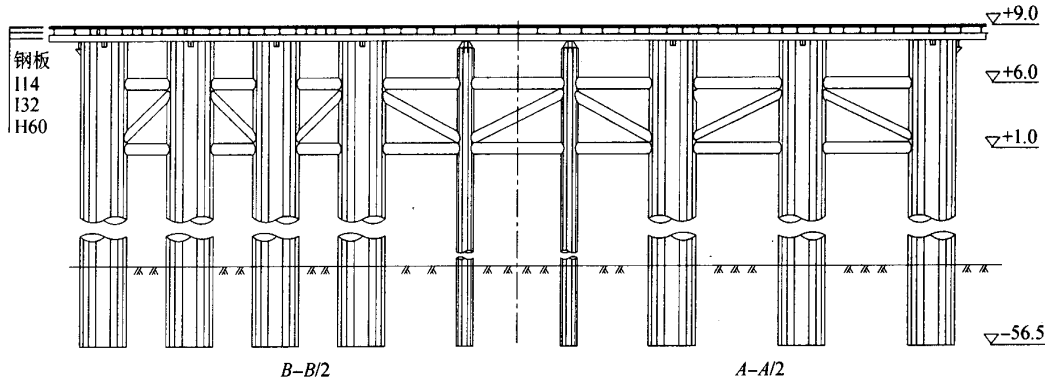


图 4 东主墩平台立面示意

表 1 施工平台设计参数

项 目	东主墩平台	西主墩平台
钢护筒/mm	28 ϕ 3 200 \times 18	12 ϕ 2 700 \times 16 12 ϕ 3 200 \times 18
钢管桩/mm	8 ϕ 1 200 \times 12	12 ϕ 1 200 \times 12
平联及斜撑/mm	ϕ 800 \times 10	ϕ 800 \times 10
平台顶标高/m	+9.0	+9.0
钢护筒底标高/m	-56.5	-17.5~-37.5
钢管桩底标高/m	-56.5	-24~-35.0

加平台的防撞能力。

抗海潮、抗台风设计措施主要有 3 点:其一,钢护筒之间、钢管桩之间均设置 2 层钢管平联和斜撑,以焊接形式连接,整体稳定性强;其二,平台顶标高按照“20 年一遇水位+20 年一遇波浪组合”原则确定,施工平台上部结构不承受波浪浮托力荷载;其三,钻孔平台与墩侧平台连成整体,整体稳定性强。

3.3 结构计算

3.3.1 荷载种类

作用于平台结构的荷载主要有水平荷载和竖向荷载,其中:水平荷载=波流力+风载,竖向荷载=结构自重+施工荷载+其他。各类荷载如下:

- (1)平台结构自重;
- (2)施工荷载 1,4 台 KP3 500 循环钻机或冲击钻;
- (3)施工荷载 2,履带吊自重 50 t+吊重 30 t;
- (4)施工荷载 3,履带吊自重 50 t;
- (5)20 年一遇风暴高水位时的波流力;
- (6)风载 1.0 kPa。

3.3.2 工况及荷载组合

- 工况一:4 台钻机同时钻孔的施工阶段;
荷载组合(1)+(2)+(3)。
- 工况二:台风期,停止施工阶段;

荷载组合(1)+(2)+(4)+(5)+(6)。

综合分析,工况二控制设计。

3.3.3 计算方法、模式

主墩平台结构采用了 Sap2000 空间有限元程序进行计算,选取了半幅平台进行三维空间建模,计算模型见图 5 所示,计算成果见表 2。



图 5 主墩平台整体计算模型

表 2 主墩平台计算成果

构件名称	型号	最大弯矩 kN·m	最大轴力 kN	最大应力 MPa
钢护筒	ϕ 3 200	11 685	2 000	82.1
钢管桩	ϕ 1 200	1646.6	1 000	125.0
钢管平联	ϕ 800	-295.9	509	61.1
上部结构	H60			121

4 平台施工

主墩施工平台采用 92 m 桩架的打桩船插打钢护筒和钢管桩,现场人工焊接平联及斜撑,大型浮吊拼装上部结构。

4.1 施工工艺流程

主墩钻孔桩平台施工工艺流程见图 6 所示。

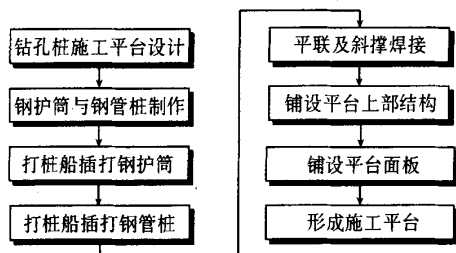


图 6 平台施工工艺流程

4.2 施工准备

4.2.1 打桩船局部改制

路建桩 8 号打桩船从起吊能力、桩架高度、锤击能量方面初步具备了插打大直径钢护筒的能力,为满足直径为 320 cm 的钢护筒插打,打桩船的打桩架需进行局部改制,包括机械手改制、桩锤与轨道连接支腿加长、替打桩帽的加工。

4.2.2 钢护筒及钢管桩加工与运输

钢护筒和钢管桩均采取在工厂通长加工成型,最长钢护筒为 66.5 m,在施沉过程中不需进行管节接长。加工好的钢护筒和钢管桩采用驳船运输至工点。外形尺寸允许偏差见表 3。

表 3 钢护筒和钢管桩外形尺寸允许偏差

项目	允许偏差	说明
钢管外周长	$\pm 0.5\%$ 周长,且不大于 10 mm	测量外周长
管端椭圆度	$\pm 0.5\% d$,且不大于 5 mm	两相互垂直的直径之差
管端平整度	2 mm	多管节拼接时,以整桩质量要求为准
管端平面倾斜	$\pm 0.5\% d$,且不大于 4 mm	
桩长偏差	+300 mm, -0.0 mm	测量整桩长

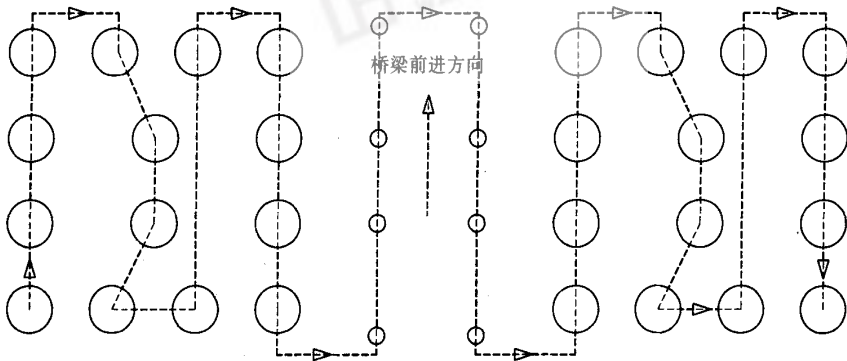


图 7 钢护筒、钢管桩插打顺序

沉桩达不到设计标高时,最后 10 击每击平均贯入度 ≤ 2.0 mm,可以停锤。

4.3 测量放样

平台测量放样采用 GPS 卫星定位和全站仪结合的方式。基础施工放样采用 GPS 定位,全站仪复核;上部结构施工放样则采用全站仪实施。

GPS 安装在打桩船上,共设 3 台,其三维定位精度为 2 cm,满足海上平台的搭建要求。

4.4 钢护筒及钢管桩施工

4.4.1 概述

驳船将钢桩运输至工点后,打桩船起吊钢桩,锚机调整打桩船位置;GPS 定位后,打桩船迅速落桩并插打,直至设计标高或贯入度满足要求后停锤。打桩船主要技术指标见表 4。

表 4 打桩船主要技术指标

船长	60.00 m	架桩高度	水面以上 92 m
船宽	27.00 m	俯仰角度	30°
型深	5.00 m	可打桩径	≤ 3200 mm
打桩锤重	35 t	可打桩长	78 m(水面以下)
起重能力	200 t	可打桩重	160 t

4.4.2 钢护筒与钢管桩插打

(1) 钢护筒、钢管桩施工顺序(以东主墩为例)。

钢护筒、钢管桩采用打桩船顺水插打,横桥向由一侧向另一侧进行,具体顺序见图 7 所示。

(2) 钢护筒、钢管桩施打注意事项。

① 打桩的质量主要是以贯入度和桩底设计标高两个指标控制,本工程两座主墩钢护筒分别位于粉细砂和中风化岩层上,以标高控制为主,贯入度控制为辅,沉桩停锤标准如下:

沉桩至设计标高时,最后 10 击每击平均贯入度 ≤ 3 mm,可以停锤;

② 严格控制桩的平面位置、倾斜度,平面偏位 ≤ 10 cm,倾斜度 $\leq 0.5\%$ 。

③根据地质、水流、水深等特点,适当考虑钢护筒的预偏量,稳桩时测量人员应随时注意桩位的变化情况。

④钢护筒的插打尽量选择在平潮时进行。风力大于7级时,不得进行钢护筒施工。

⑤锤击沉桩时,桩锤、替打、送桩器和桩宜保持同一轴线上,替打应保持平整,避免产生偏心锤击;当船行波影响沉桩稳定时,宜暂停锤击。

⑥做好天气及海洋预报资料的收集,掌握自然规律,适时安排插桩作业。

4.4.3 施加钢管连接结

沉桩完成后,采用浮吊及时将钢护筒、钢管桩的横向钢管平联焊接,同步进行斜撑施工。

联结钢管因护筒、钢管桩偏位会造成支撑长短不一,施工困难,增加工作量,特设计了可调节套管接头形式,钢套管直径比连接钢管大2 cm,长50 cm,布置在连接钢管一侧。套筒接头形式见图8所示。

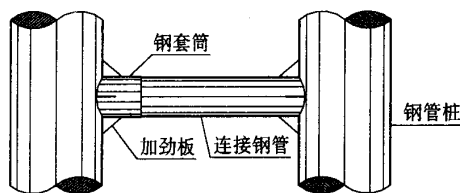


图8 套筒接头布置形式

4.5 上部结构施工

上部结构施工采用100 t浮吊现场组拼。主要施工内容包括:安装型钢承重梁和分配梁、铺设1 cm

厚的平台面板、设置平台栏杆等。

5 结语

采用大型打桩船直接插打直径为320 cm、重量为100 t的钢护筒并以其作为平台的承重构件,在国内尚属首次,该方案实施前针对大直径钢护筒替打、桩平面位置及倾斜度的保证等问题进行了反复的论证,并在实施中采取了切实可行的措施,实施结果表明该方案不仅保证了工程质量和施工速度,而且节约了工程成本。

已施工的钢护筒平面偏差最大为18 cm,在设计允许误差 ± 30 cm范围内(针对海上施工而言)。钢护筒一次性加工成型,避免了钢护筒对接时的竖向误差,保证了钢护筒的顺直度满足设计要求。

用打桩船插打钢护筒,钢护筒在后场一次性加工成型,避免了现场钢护筒对接,减少了海上施工时间,采用GPS定位,昼夜均可施工,一天可插打3~4根钢护筒,施工速度快。以钢护筒作为主要承重结构的钻孔桩平台方案,充分利用了钢护筒,与钢管桩作为承重结构的常规平台方案比较,大大减少了钢管桩用量,节约钢材近500 t。

从颗珠山大桥施工情况来看,主墩桩基施工历时5个月,期间经受了2次台风考验,施工平台均未发生异常现象。实践证明,主墩平台方案是合理可行和安全的,经受了风浪大、水流急、水位深等不利因素的考验,满足了设计要求。同时为深水 and 海上桥梁工程的钻孔桩施工平台的设计与施工提供了宝贵的经验。

Design and Building of Fixed Construction Platform for Maritime Bridges

YANG Si-ming¹, ZHANG Peng-fei², SHI Jian-zhou²

(1. CRBC International Co., Ltd., Beijing 100027, China; 2. Road & Bridge East China Engineering Co., Ltd., Shanghai 200135, China)

Abstract: Donghai Sea Crossing Project is the first sea-crossing bridge in real sense because of hard physical conditions and no similar experience for reference. The main structure of the VII Contract Section—Kezhushan Bridge is a cable-stayed structure whose construction platform of main piers adopts a special building method that steel cofferdams with larger size in diameter (3.2 m) are driven directly by pile driving crane and subsequently serve as principal bearing elements. The method has such merits as higher quality, rapid speed and cost effectiveness.

Key words: Donghai Sea Crossing Project; pile driving crane; steel cofferdam; platform; design; construction