



演讲嘉宾介绍

陈向阳，浙江省交通规划设计研究院有限公司第二分院主任工程师，教授级高工、工学博士，交通运输青年科技英才。从事公路工程设计、科研工作18年，主要致力于跨海特大桥和快速施工技术研究，曾负责金塘大桥、台州湾大桥、乐清湾大桥、鱼山大桥和宁波舟山港主通道等大型跨海桥梁工程设计，累计投资约400亿元，曾获交通部优秀设计一等奖二次，省优秀设计一等奖四次，获国家专利10余项，在核心期刊发表论文20余篇。

2018 第十二届国际大口径工程井（桩）高峰论坛





2018 第十二届
SUPER PILE WORLD
国际大口径工程井(桩)
高峰论坛

时间: 2018年10月17-19日

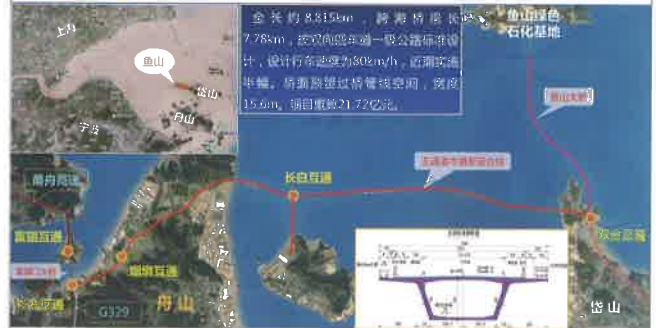
地点: 南京·江苏省会议中心(南京市玄武区中山东路307号)

鱼山跨海大桥大直径
钢管复合桩设计与施工

C 目录
Contents

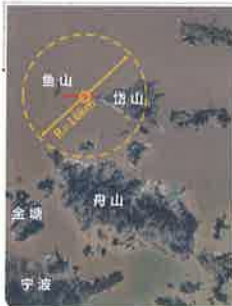
- 01 工程概况
- 02 设计方案
- 03 施工工艺
- 04 总结与思考

工程概况 地理位置



工程概况 建设难点

- 支撑条件缺乏
- 建设条件复杂
- 建设桥墩高大
- 建设工期紧迫
- 工程品质严苛

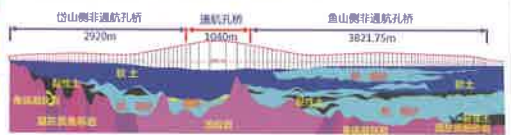


鱼山大桥孤悬海外, 是岛屿和岛屿间的跨海大桥, 海况复杂, 支撑条件差。
 ■ 鱼山和鱼山距离舟山本岛在16km以上, 两者均无陆路通道与大陆连接;
 ■ 鱼山和鱼山以海洋渔业和旅游业为支柱产业, 工业基础薄弱, 各项物资均需海上运输;
 ■ 桥位缺乏遮蔽, 岛礁杂乱分布, 海床地形变化大;
 ■ 大桥施工与围垦同步展开, 作业船舶众多, 且由于围垦影响, 海床和潮流变化大;

工程概况 建设难点

- 支撑条件缺乏
- 建设条件复杂
- 建设桥墩高大
- 建设工期紧迫
- 工程品质严苛

- ◆ 设计基准风速44.35m/s, 岱北大围垦实施后, 流速达3.69m/s; 潮差达6.9m;
- ◆ 水深5m以上路线占比60%, 10m以上路线总长大于3km。
- ◆ 基岩埋深大于100m, 最大埋深140m以上。基岩岩性复杂, 有6大类、12小类。
- ◆ 跨越2000级航道, 附近规划有多座码头, 船舶风险大
- ◆ 通航孔桥跨越舟山多端柔性直流输电示范工程海底电缆
- ◆ 与围垦同步施工, 围垦区海底标高-7m, 设计高度+4m



工程概况 建设难点

- 支撑条件缺乏
- 建设条件复杂
- 建设桥墩高大
- 建设工期紧迫
- 工程品质严苛

- ◆ 路线总长8.815km, 设置连续跨海大桥一座, 长7.782km
- ◆ 上部结构全部节段预制拼装, 共计2370榀节段梁, 及89m长钢箱梁
- ◆ 下部结构包括180余根超大超长桩基, 最大桩径5m, 最大桩长148.2m



工程概况 建设难点

- 支撑条件缺乏
- 建设条件复杂
- 建设桥墩高大
- 建设工期紧迫
- 工程品质严苛

本项目直接服务于舟山国际绿色石化基地, 要求作为交通支撑项目同步服务于石化基地建设及运营, 故大桥建设周期尤为紧迫。大桥主线于2016年9月开工建设, 将于2018年底全线贯通, 建设工期27个月, 桥址有效作业时间仅20个月, 可用工期短、质量要求高、建设资金有限条件下, 选取何种方案, 是设计面临的重大工程难题。





工程概况 建设难点

- ⬆ 支撑条件缺乏
- ⬆ 建设条件复杂
- ⬆ 建设难度极大
- ⬆ 建设工期紧迫
- ⬆ 工期限制严格

- ◆ 本项目是交通运输部“品质工程”示范项目,且88.3%的路段地处外海,对结构的耐久性、施工工艺要求高。
- ◆ 项目建成后将移交地方政府,限于地方专业能力和财政压力,力求最小养护工作量。因此项目方案要综合结构管界维护,从结构全寿命周期出发进行设计。



设计方案 桥位设计



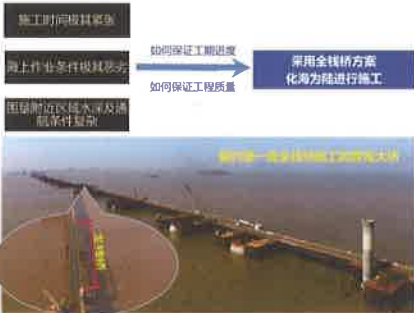
- ◆ 起点接主通道。远期北向大通道的G526,位置明确
- ◆ 通航孔兼顾航道和菜童电缆交点,高效经济
- ◆ 路线避让花鼓山蒸流区和深水区,控制施工难度,节约造价
- ◆ 终点顺接石化大道,正交跨越圆通大堤

翩若惊鸿

宛若游龙

路线因起终点、水深和航道限制,在大海上画出了优美的“S”型曲线。

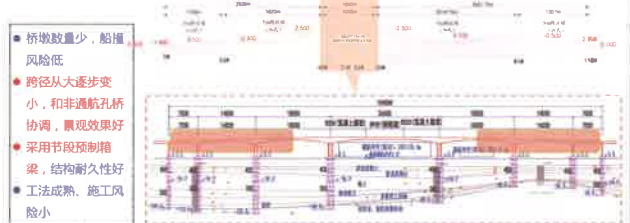
设计方案 施组设计



- ◆ 航道通行问题——临时航道改到鱼山西侧
- ◆ 通航孔跨越菜童电缆问题——采用2×62.25m主栈桥
- ◆ 围堰影响区栈桥——与围堰区对接,优先进行桥位附近围堰施工

- ◆ 扭转作业不利条件;
- ◆ 施工组织物资运输效率提升;
- ◆ 保障有效作业时间;

设计方案 主桥设计



- ◆ 桥墩数量少,船撞风险低
- ◆ 跨径从大逐步变小,和非通航孔桥协调,景观效果好
- ◆ 采用节段预制箱梁,结构耐久性好
- ◆ 工法成熟,施工风险小

- ◆ 通航孔桥跨布置为70+140+180+260+180+140+70m,总长1040m,跨中89m采用钢箱梁。
- ◆ 尽可能降低节段种类,次边墩和次中墩四个T采用相同的抛物线方程。

设计方案 非通设计



设计方案 基础设计

桩基形式	钢管桩 (元/m ²)	钻孔灌注桩 (元/m ²)
深水高冲刷区	9707	8716
中等水深中等冲刷区	7336	6363
浅水低冲刷区	6657	5295
比较意见	比较方案	推荐方案

◆ 钢管桩: 上部承载力差,深于75m才开始起作用,不经济。



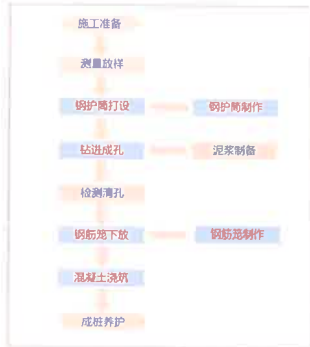
2018 第十二届 SUPER PILE WORLD 国际大口径工程井(桩) 高峰论坛

时间：2018年10月17-19日

地点：南京·江苏省会议中心（南京市玄武区中山东路307号）

施工工艺 总体施组

鱼山大桥由浙江省交通工集团股份有限公司和中文第二航务工程局有限公司联合体施工



施工工艺 钢护筒制作

制作时一个大节由若干小节焊接而成。

制作流程

材料定制、采购→划线、号料和切割→接缝处磨光磨平→卷制钢护筒短节→拼缝开V型坡口→将短节组焊成长节段→除锈、防腐。



施工工艺 钢护筒制作

制作流程

材料定制、采购→划线、号料和切割→接缝处磨光磨平→卷制钢护筒短节→拼缝开V型坡口→将短节组焊成长节段→除锈、防腐。



>防腐方案:

直径≤4m:
双层环氧粉末涂层(涂层厚度≥600微米)
直径>4m:
环氧富锌防腐涂料,干膜厚度≥1100μm



施工工艺 钢护筒打设

>对于船舶及浮吊无法进入的浅水区钢护筒在平台下放时采用2台100t履带吊进行抬吊。钢护筒采用大型液压顶升装置顶下放。

>分两节下放,现场对接,防腐补涂。

>采用双层型钢定位导向框进行定位,通过导向架四个角螺母顶进行调节水平位置,双梁导向架可以大大提高钢护筒下沉时的垂直精度。



>单桩的成桩精度:

>平面偏位小于30mm,垂直度小于1/200。



施工工艺 钢护筒打设

>采用国内最大的打桩船进行打设,为了测定设计精度要求,采用先下一根沉管(直径比护筒直径大60cm),沉管顶部安装定位导向装置的方法进行钢护筒的施打

>护筒导向架下沉及定位→钢护筒吊起→钢护筒定位→钢护筒打设

>单桩的成桩精度:

>平面偏位小于30mm,垂直度小于1/200。



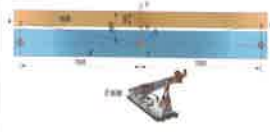
施工工艺 钢护筒打设

"T型测量定位法":定位精度高,工效快。

A、B、C、D四个控制点,其中,A、B点架设全站仪,C点架设J2-2型经纬仪,D点架设高精度测距仪,A、D点为左右距离监测点,进行方位控制;B、C两个监测点为钢护筒的切线方位控制点,计算B、C点和钢护筒壁外缘的理论切线方位角,进行垂直度控制。

>单桩的成桩精度:

>平面偏位小于30mm,垂直度小于1/200。





2018 十二届 SUPER PILE WORLD 国际大口径工程井(桩) 高峰论坛

时间：2018年10月17-19日

地点：南京·江苏省会议中心（南京市玄武区中山东路307号）

施工工艺 钻进施工

- 采用回旋钻进行钻孔施工（1#~6#桩采用冲击钻，112#~118#采用冲击钻配合回旋钻施工）。
- 根据桩径及桩长不同，采用CK-3000冲击钻、KTY-3000型大功率回旋钻机、KTY-4000型大功率回旋钻机、KTY-5000型大功率回旋钻机进行钻孔作业。



设备型号	KTY-3000	KTY-4000	KTY-5000
最大钻孔直径 (m)	3.0	4.0	5.0
最大钻孔深度 (m)	130	150	180
最大输出扭矩 (KN·m)	200	300	400
最大提升能力 (t)	120	180	300
钻杆规格 (长×宽×高)	5.0m×4.5m×7.2m	7.4m×7.5m×8.2m	12m×7.5m×10m
钻杆 (直径×长度) (mm)	φ300×3000	φ300×3000	φ350×3000
钻杆重量 (不含钻杆)	40t	53t	120t
钻机总功率 (不含空压机)	235 kw	285 kw	315 kw

大功率回旋钻机采用浮吊进行转场运输。

施工工艺 钻进施工 慢

钢护筒内钻进选用大直径刮刀钻头，钻头上口和钻杆处安装钢丝绳，可以实现边钻孔边扫孔。当钻头钻出钢护筒底部后，开始更换小直径刮刀钻头，钻至岩层，然后起钻，最后改用与桩底直径相同滚刀钻头钻进至终孔标高，然后清孔。



垂直度控制

为保证钻孔的垂直度，在钻头上部加设配重，配重和钻头的总重量超过60t，使钻具在重力的作用下始终垂直向下。

每加1~2节钻杆，检查一次钻杆的垂直度。出护筒钻进时在刮刀钻头上增加扶正器，保证出护筒时上下孔同心要确保钻孔的垂直度。



施工工艺 钢筋笼制作

- 钢筋笼下料
- 钢筋笼成品加工
- 钢筋笼成品堆放
- 钢筋笼制作
- 钢筋笼成品堆放



钢筋笼在工厂采用长线法加工制作。各节钢筋笼在胎架上制作并逐节接长，整个钢筋笼接好验收合格后，在折分用平板车运输至现场。

施工工艺 钢筋笼下放 稳

大直径钢筋笼采用专用吊具；专门设计了“钢筋笼悬挂环”，“钢筋笼悬挂环”置于钢平台孔口位置，钢筋笼下放时，整个钢筋笼由精轧螺纹钢吊钩作为吊杆作用在专用吊具上，专用吊具置于钢筋笼悬挂环上，最后移走浮吊吊钩。



钢吊钩转移浮吊的方法：

单节钢筋笼对接时采用钢吊钩进行起吊，对接后的钢筋笼采用浮吊进行下放，钢筋笼顶端设置4条供钢吊钩起吊的短钢丝绳和4条供浮吊起吊的长钢丝绳。单节钢筋笼对接完成后，解除钢吊钩吊具，工人在平台上将4条长钢丝绳采用吊扣与浮吊的吊具连接，起吊单节钢筋笼。

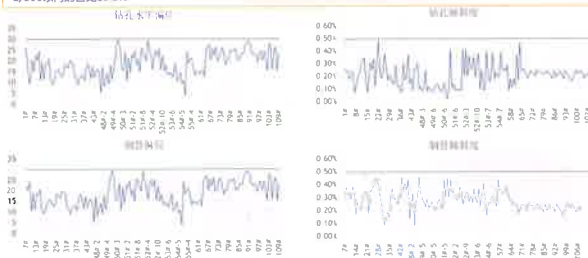
施工工艺 混凝土浇筑 快

- 现场布置3台HBT105型拖泵作为主要浇筑设备
- 桩基量大方量2001 m³，为了保证成桩质量，在12小时内需要浇筑完成，浇筑工效达170m³/h
- 混凝土运输采用12台10m³罐车，最大运距为8.5km
- 专门制作32方大漏斗和2方的普灌漏斗
- 混凝土由2台180m³/h和1台120m³/h混凝土拌合站供应
- 施工期间对沿线进行交通管制，建立沟通信息平台，便于浇筑前以及过程中各方人员的沟通。



施工工艺 成桩质量

- 桩基经检测，均为快桩
- 桩基钢管及钻孔水平偏位在3cm以内，倾斜度均小于1/200，其中钢管倾斜度在1/300以内的占比77.4%，钻孔倾斜度1/300以内的占比89.6%





2018 第十二届 SUPER PILE WORLD 国际大口径工程井(桩) 高峰论坛

时间：2018年10月17-19日

地点：南京·江苏省会议中心（南京市玄武区中山东路307号）

总结与思考 设计创新

国内第一座全栈桥施工的跨海大桥，化海为陆，充分保证了工期

主跨260m通航孔桥：

- ◆ 世界第一座节段拼装钢混组合梁桥
- ◆ 世界最大跨径预制节段拼装混凝土梁桥
- ◆ 世界最大高度的混凝土节段梁
- ◆ 世界最长最长的混凝土预制梁桥

世界最大直径的钢管复合桩，海上最大直径钻孔灌注桩

首创50m连续墩顶外表面预制内部现浇结构，成功地克服墩顶现浇段裂缝难题

以问题为导向，用创新破难题。

以创新实现了超短工期下跨海长桥的高品质建造，并保证了合理造价。

设计创新未引起施工困难。



总结与思考 大直径独桩施工工效

根据实际施工情况，对直径5.0m-3.8m的独桩与对应的4-2.5-2.2m的群桩基础进行技术经济比较：

海底标高-16.23m，淤泥质土厚36.50m，粉土和砂层厚36.7m，基岩顶面标高-92.43m

单桩独柱基础与群桩基础施工时间比较表

项目	1-Φ5.0-3.8m	4-Φ2.5-2.2m
钢护筒运输打设	1d	15d
搭设施工平台	10d	15d
钢护筒制作	7d (每桩耗时同步)	3d完成1根,共需要12d (每桩耗时同步)
钻孔	25d	2台钻机同时钻孔, 15d完成2根, 考虑钻机的使用时间, 4根大约需要35天时间
钢护筒安装	6d	单根安装需要2d
混凝土浇筑	二次浇筑浇筑混凝土1.5d	2根二次浇筑浇筑混凝土1d, 4根需要2.5d
合计	单桩施工工期以钢护筒打设+施工平台打设+钻孔+钢护筒安装+混凝土浇筑的时间为主。共43.5d	群桩独桩钻孔时, 进行已完钻孔的桩基钢护筒安装和混凝土浇筑, 桩基施工期间以钢护筒打设+施工平台打设+4根桩基成孔+1根桩基浇筑混凝土浇筑时间为主。共54.5d+承台施工约15d

总结与思考 大直径独桩造价分析

单桩独柱基础与群桩基础施工机具比较表

项目	1-Φ5.0-3.8m	4-Φ2.5-2.2m
钢护筒打设	运船驳船(一次运输1根)	运船驳船(一次运输2根)
钢护筒制作	租用1号打桩船	小吨位打桩船或浮吊
钢管复合桩	船体大, 无法使用普通化桩管成型机和人工和埋管机, 只能人工埋管	集成化钢管成型机和埋管机和埋管机
钻孔	1台大直径气举反循环钻机	2台小直径气举反循环钻机
钢护筒安装	履带吊船吊吊	履带吊船吊吊
混凝土浇筑	3台拌合站, 12辆罐车, 1台汽车泵, 2台地泵, 1个32m³的漏斗和1个2m³的小料斗, 40cm导管	2个拌合站, 12辆罐车, 1台汽车泵, 1台地泵, 1个20m³的漏斗和1个1m³的小料斗, 30cm导管



总结与思考 大直径独桩应用

结构优势

- 复合桩抗水平能力强
- 复合桩节约材料，降低造价
- 单桩结构解决耐久性问题
- 单桩结构降低波浪力和冲刷
- 单桩结构施工快速

施工要求

- 需要搭设施工平台
- 需要满足钢护筒打设需求
- 钻机及钻头的选择
- 长吨位桩需要浮吊吊运
- 混凝土拌合和浇筑能力需要保证

应用与推广

- 单桩结构：
 - 基岩埋深150m以内，或者拥有强砾等较好持力层区域
 - 需要快速建造的项目
 - 防水面积有限区域
 - 群桩结构：
 - 多塔悬索桥/斜拉桥中塔基础
 - 水中锚碇基础
 - 各种复合沉井基础
- 结合目前海上风电钢管桩发展现状，以及国内外大型桩机的使用情况，未来桩基直径可向7m及以上发展
- 桩基可进一步采用空心预应力预制管桩或UHPC高性能混凝土桩基

总结与思考 大直径独桩工法思考

在海中施工，特别没有施工栈桥时，搭设大型施工平台，仅施工一根桩基础，施工成本高。

大直径钻孔桩工法思考：

