

文章编号:0451-0712(2006)03-0105-05

中图分类号:U448.18

文献标识码:B

海上栈桥设计与施工

宋伟峰, 刘国波, 苏高峰

(路桥华东工程有限公司 上海市 200135)

摘 要: 东海大桥Ⅶ标施工采用了栈桥方案,不仅克服了部分不利自然因素,而且大大提高了施工的主动性,工期得到了保证。主要介绍栈桥的结构设计内容和施工要点。

关键词: 海上栈桥; 设计; 施工

1 工程概况

东海大桥Ⅶ标西起颗珠山岛,东接小洋山岛港区,全长1 660 m,桥跨组合为 $7\times 50\text{ m}+(50+139+332+139+50)\text{ m}+12\times 50\text{ m}$ 。其中斜拉桥长710 m,采用双塔双索面叠合梁结构,引桥为等高度预应力混凝土连续箱梁。

2 方案比选

本工程施工除受冬季7级以上大风限制和每年多次台风侵袭外,还受寒潮、雪、龙卷风、雷暴、台风、大雾等不良的自然条件影响,严重地限制了正常作业,一年有效作业天数仅约180 d。而本工程开工日期比其他标段滞后6个月。如能充分利用东西两侧海岛陆上优势,修筑栈桥至各墩位,变水上施工为陆地施工,则可大大提高施工的主动性。采用栈桥施工方案及水上船舶施工方案比较见表1。

表1 方案综合比较

项目	栈桥施工方案	水上船舶施工方案
设备	可减少大型水上设备的投入,如大型驳船、拌和船、浮吊等	需投入大量水上运输设备、拌和船、大型吊装设备等
工期	初步估算可延长有效作业时间至220 d/年,有利于工期的保证	水上船舶作业有效作业天数约为180 d/年
质量	陆地搅拌站生产混凝土,更有利于工程质量的控制	采用水上船舶施工,不可预见因素较多,工程质量控制难度更大
安全	变水上为陆地施工,施工安全风险较小	水上船舶作业施工安全风险较大

从表1可以看出,采用栈桥施工方案,可延长有效的作业时间,更有利于保证工程质量,可减少大型吊装设备和水上拌和设备的投入,有效降低施工安全风险。

经综合比较,东海大桥Ⅶ标东西引桥及西主墩施工采用栈桥方案,分别从颗珠山和小洋山生产场地沿桥轴线右侧搭设栈桥到达各墩位。

3 栈桥设计

3.1 设计条件

3.1.1 地质条件

河床表层为淤泥,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

设计高水位2.15 m;极限高水位3.35 m;设计最大流速 $V=2\text{ m/s}$;小洋山NE向20年一遇的波浪要素值为 $H_5\%=3.35\text{ m}$, $T=4.49\text{ s}$, $L=77.4\text{ m}$;颗珠山NE向20年一遇的波浪要素值为 $H_5\%=2.3\text{ m}$, $T=7.4\text{ s}$, $L=49.1\text{ m}$ 。

3.1.3 海床面标高及冲刷

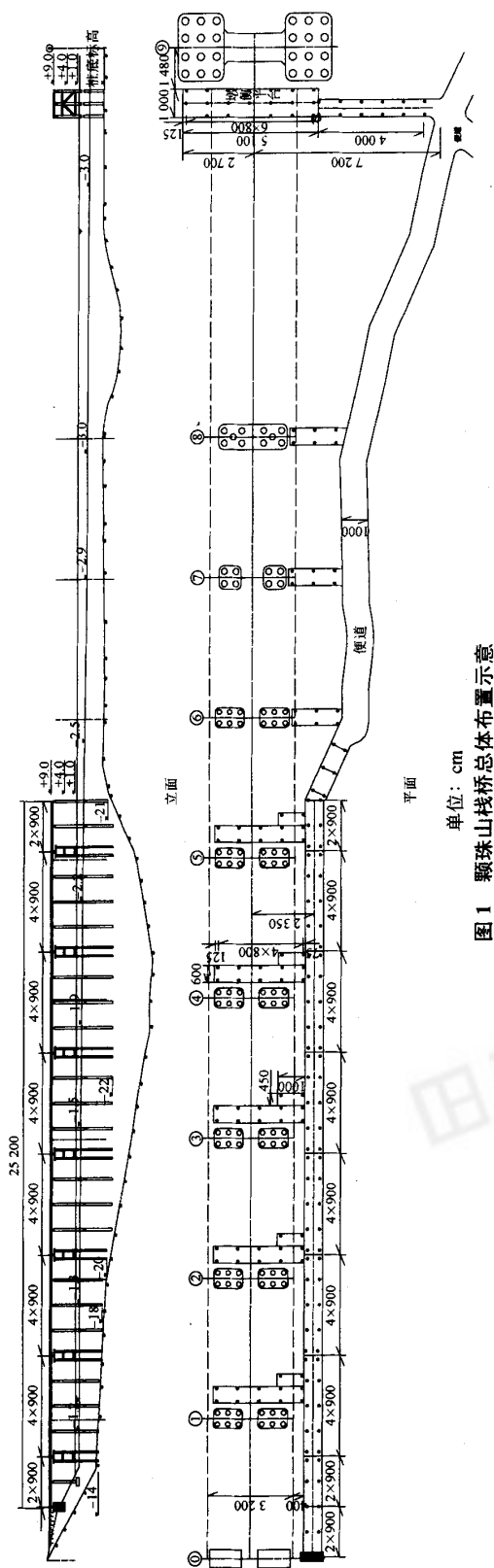
颗珠山侧最低海床标高约-4.5 m,小洋山侧最低海床标高约-19.0 m,桥位一般冲刷约2 m。

3.2 栈桥结构简介

东海大桥Ⅶ标海上栈桥由两大部分组成,以下简称为颗珠山栈桥和小洋山栈桥,分别与颗珠山岛和小洋山岛连接。其中颗珠山栈桥全长363 m;小洋山栈桥全长46 m;在墩旁一侧设有施工平台,栈桥与平台连成一体。

3.2.1 颗珠山栈桥

颗珠山栈桥以岛上生产场地(6号墩~9号墩、5号墩附近)为起点,沿桥轴线右侧搭设至各墩位,与引桥梁顶面外边缘净距为4 m。栈桥布置示意图1、图2所示。



(1) 颗珠山栈桥搭设区域为 K29+406.429~+658.429 m, 全长为 252 m; 与 6 号墩~9 号墩连接的墩侧栈桥全长合计 111 m。

(2) 栈桥上部结构采用型钢; 基础均为钢管桩, 各联中墩均采用单排 2 根桩, 边墩均采用双排 4 根桩。墩侧栈桥均采用单排 2 根桩。钢管桩直径为 1 000 mm, 壁厚为 12 mm。

(3) 桥跨组合: 栈桥分为 9 联, 共计 30 孔, 2 孔或 4 孔一联。墩侧栈桥每墩一联, 共计 11 孔。栈桥设计跨径为 8 m 或 9 m。

(4) 横断面布置: 栈桥标准断面宽为 7.0 m, 墩侧栈桥及施工平台横断面宽度为 6 m、10 m 和 10.5 m。

(5) 标高确定: 桥面标高与钻孔平台顶标高一致, 为 +9.0 m。根据地质资料, 桥区西侧覆盖层相对较薄, 仅仅依靠桩身摩阻力不能满足承载要求, 因此桩尖必须支撑在强风化或中风化岩层上, 且钢管桩尖进入风化岩层约 1~1.5 m。

(6) 连接方式: 栈桥与墩侧施工平台、钻孔平台均采用刚性连接, 桩基础之间设置钢管平联及斜联, 以形成整体。

3.2.2 小洋山栈桥

小洋山栈桥以 24 号墩桥头引道为起点, 沿桥轴线右侧搭设至 22 号墩。栈桥与引桥梁顶外边缘净距为 4 m。栈桥布置示意图 3 所示。

(1) 小洋山栈桥起点桩号为 K30+975.929, 终点桩号为 K30+929.929, 全长 46 m。

(2) 栈桥上部结构采用万能杆件。基础采用钢管桩, 直径均为 1 200 mm; 靠岛侧桥墩位覆盖层较薄, 为加强其整体稳定, 桩基础采用 6 根钢管桩; 靠海侧桥墩桩基础采用 4 根钢管桩; 钢管桩之间采用直径为 800 mm 的钢管连接。

(3) 桥跨组合: 栈桥共 1 联 2 孔, 设计跨径为 22.0 m。

(4) 横断面布置: 栈桥标准断面宽为 7.0 m, 墩侧施工平台横断面宽度为 6 m。

(5) 标高、连接方式均与颗珠山栈桥相同。

3.2.3 结构稳定措施

(1) 抗冲刷措施。

栈桥桥墩一般冲刷约 2 m。钢管桩横向之间设有钢管平联, 大大提高了栈桥的整体稳定性。在搭设和使用阶段, 派专人负责测量各墩位冲刷深度, 并采取抛石、抛砂袋等措施进行冲刷防护, 以确保栈桥整体稳定及钢管桩的入土深度满足要求。

(2) 防船撞措施。

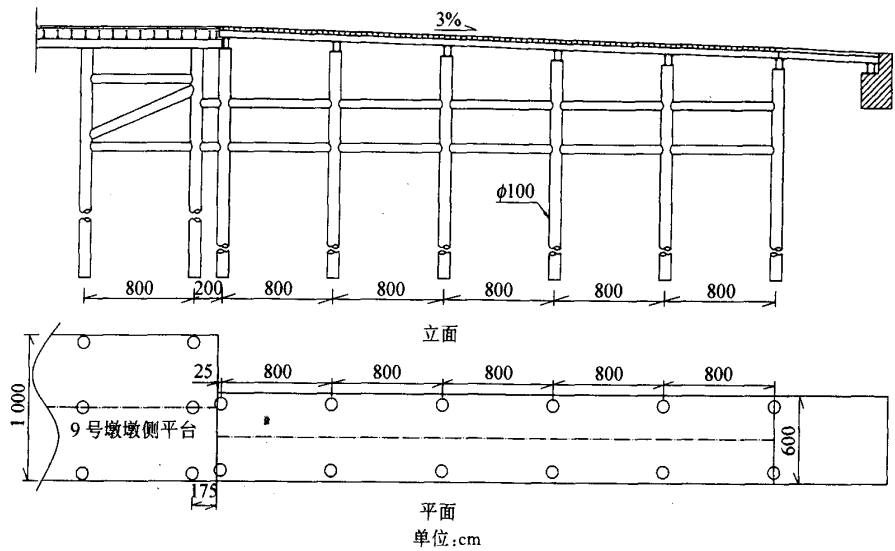


图2 颗珠山栈桥(与9号墩连接)布置示意

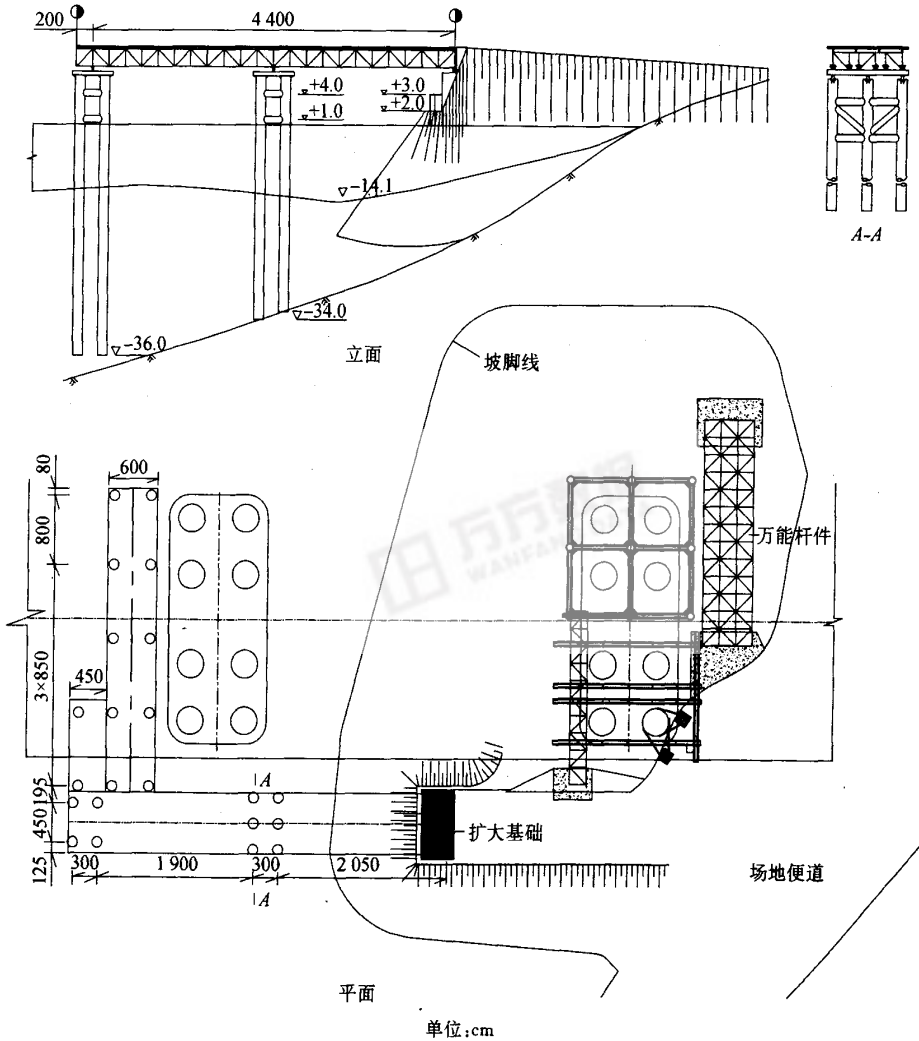


图3 小洋山栈桥布置示意

为防止船只碰撞栈桥,在栈桥沿线设置警示标志。此外,还将栈桥与钻孔施工平台、墩侧施工平台连成一体,以增加栈桥的防撞能力。

(3)抗海潮、台风措施。

结构设计时将栈桥2孔或4孔作为一联,增强了整体稳定;其次钢管桩横向之间采用钢管连接,并将桩顶型钢横梁与钢管桩施焊固结成整体,而且在墩位处与钻孔平台、墩侧施工平台连成整体,进一步加强了栈桥的整体稳定。

3.3 结构计算

3.3.1 荷载参数

荷载参数包括:

栈桥结构自重;

施工荷载1,履带吊自重50 t+吊重30 t;

施工荷载2,平板车荷载;

施工荷载3,混凝土运输车自重20 t+6 m³混凝土自重15 t;

20年一遇风暴高水位时的波流力;

2年一遇风暴高水位时的波流力;

风载取1.0 kPa。

3.3.2 工况及荷载组合

工况一:栈桥搭设阶段,各墩临时平联形成后。

荷载组合:栈桥自重+2年一遇风暴高水位时的波流力。

工况二:栈桥使用阶段,50 t吊车在栈桥上起吊30 t重物。

荷载组合:栈桥自重+施工荷载1+施工荷载2+2年一遇风暴高水位时的波流力。

工况三:栈桥使用阶段,50 t吊车起吊30 t重物,且混凝土运输车满载6 m³混凝土。

荷载组合:栈桥自重+施工荷载1+施工荷载2+施工荷载3+2年一遇风暴高水位时的波流力。

工况四:台风期,栈桥封闭阶段。

荷载组合:栈桥自重+20年一遇风暴高水位时的波流力+风载。

经分析,栈桥结构以工况三、工况四控制设计。

3.3.3 计算方法和模式

栈桥结构采用Sap2000空间有限元程序进行计算。每座栈桥各选取了两跨进行三维空间建模,见图4、图5所示。

将施工荷载转化为节点力或均布荷载,并垂直作用于各杆件。水流力、波浪力和风载转化为线荷载作用于钢管桩上。

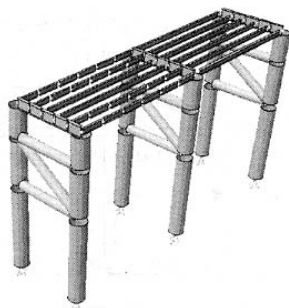


图4 颗珠山栈桥计算模型

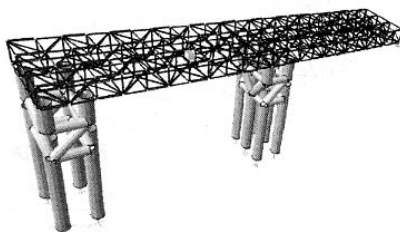


图5 小洋山栈桥计算模型示意

3.3.4 计算内容

(1)搭设阶段:栈桥钢管桩在波流力、自重作用下,计算钢管桩的应力和变形。

(2)使用阶段一:在工况三荷载作用下,计算栈桥各构件的强度和整体稳定。

(3)使用阶段二:在工况四荷载作用下,计算栈桥各构件的强度和整体稳定。

(4)约束条件:钢管桩底视为弹性连接,钢管桩间平联视为铰结,钢管桩间承重梁视为铰结。桩顶以上支点均视为铰支座。

3.3.5 计算成果

3.3.5.1 荷载计算

(1)水流力计算。

按照公式 $F_W = C_W \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A$ 进行计算, C_W 取0.73。

(2)波浪力计算。

速度分力 $P_{Dmax} = C_D \cdot \rho \cdot D \cdot H^2 \cdot k_1 \cdot \alpha / 2$

惯性分力 $P_{Imax} = C_M \cdot \rho \cdot A \cdot H \cdot k_2 \cdot \gamma_p / 2$

计算中, α 取1.12, γ_p 取1.0, $C_D = 1.2$, $C_M = 2.0$ 。

(3)单桩水平总波浪力。

$P_{总} = P_{Dmax} \times (1 + 0.25 P_{Imax}^2 / P_{Dmax}^2)$ 。

(4)对水底最大波浪力矩。

$M_{Dmax} = C_D \cdot \gamma \cdot D \cdot H^2 \cdot L \cdot k_3 / (2\pi)$

$M_{Imax} = C_M \cdot \gamma \cdot A \cdot H \cdot L \cdot k_4 / (4\pi)$, β 取1.1,

γ_M 取1。

(5)钢管桩承载力计算。

采用公式 $P_j = 0.5(U \sum (\tau L_i)) + A_r$ 进行计算。

3.3.5.2 主要计算成果

钢管桩最大应力为 134 MPa, 型钢最大应力为 120 MPa。

4 栈桥施工

4.1 栈桥施工流程

栈桥钢管桩采用打桩船逐墩插打, 上部结构采用履带式吊机或浮吊进行架设。一跨栈桥施工流程为: 钢管桩施工→斜撑与平联焊接→牛腿焊接→桩顶横梁焊接→承重梁安装→分配梁安装→桥面板施工→附属工程施工。

4.2 施工技术要点

4.2.1 桩基施工

4.2.1.1 钢管桩加工及运输

钢管桩由厂家通长加工成型, 用驳船运输至工点。钢管桩进场前严格按质量检查程序进行检验, 主要检查内容包括钢管桩的焊接质量及外形尺寸, 见表 2。

表 2 钢管桩及管节外形尺寸允许偏差

偏差名称	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	
桩管壁厚度	按所用钢材的相应标准规定	
桩长偏差	+300 mm, -0.0 mm	测量整桩长

4.2.1.2 测量方案

栈桥桩基础施工放样采用 GPS 卫星定位和全站仪复核的方式。打桩船上安装有 3 台 GPS, 用于确定打桩船的平面位置和方位。GPS 电缆预先安装在管路中, 接到主控室, 控制台设在打桩船的主控室内。GPS 安装在控制台下, 控制台上安放一台微机主机, 通过分频器连接两个显示器, 一个用于技术人员操作监控, 另一个用于绞锚监控。双频 GPS 的实时动态三维定位精度为 2 cm, 完全可以满足栈桥的施工要求。

4.2.1.3 钢管桩施沉注意事项

(1) 钢管桩施打时要注意桩顶标高的控制, 且应控制在正误差 100 mm 以内。当钢管桩进尺极为缓慢或施沉困难时, 分析原因, 采取措施调整。

(2) 钢管桩施打时, 若桩顶有损坏或局部压屈, 则对该部分予以割除并接长至设计标高。

(3) 钢管桩施工的平面位置、倾斜度必须满足下列要求: 平面偏位 ≤ 20 cm, 倾斜度 $\leq 1\%$ 。

(4) 沉桩停锤标准: 打桩质量主要是以贯入度和桩底设计标高两个指标控制, 栈桥钢管桩尖位于粉细砂或中风化岩层上, 以标高控制为主, 贯入度控制为辅。

① 沉桩至设计标高时, 最后 20 cm 平均贯入度 ≤ 10 mm 可以停锤;

② 沉桩达不到设计标高时, 最后 20 cm 平均贯入度 ≤ 3 mm 可以停锤。

(5) 由于施工环境十分恶劣, 做好天气及海洋预报资料的收集, 并及时进行信息传递。同时设立潮位观测标尺, 适时进行潮水位观测并做好记录。

4.2.1.4 施加钢管联结

(1) 桩的临时牵固: 每墩钢管桩施打完毕后, 及时进行桩的牵固。采用型钢和螺栓将桩牵联成整体。

(2) 钢管桩间的联结: 钢管桩振沉完成后, 采用 50 t 履带式吊车或 100 t 浮吊及时将钢管桩的横向钢管平联焊接, 在桩顶焊接型钢连成整体。

4.2.2 上部结构施工

(1) 上部结构施工采用 50 t 履带吊或 100 t 浮吊现场组拼两种方案。前者适用于型钢栈桥, 后者则适用于万能杆件栈桥。

(2) 上部结构的安装流程为: 安装桩顶横梁→安装万能杆件→安装型钢承重梁→安装分配梁→铺设厚为 1 cm 的桥面板→栏杆施工。

(3) 万能杆件在陆地组拼成桁片后, 运输至现场整体安装。每组桁架梁最大组拼长度为 26 m, 自重 30 t 以内。万能杆件与桩顶承重梁之间采用型钢限位固定。

(4) 上部结构型钢之间采用焊接固定, 型钢与万能杆件之间采用栓结固定。

(5) 栈桥栏杆采用无缝钢管($\phi 45$)。栏杆水平向设置两道, 每 3 m 设置一道竖向支撑, 支撑穿过桥面钢板焊接在横向型钢梁上, 栏杆高度为 1.2 m。

5 结语

东海大桥 VII 标采用栈桥施工方案, 不仅保证了工程质量, 而且大大提高了施工的主动性, 为东海大桥的全线贯通赢得了工期。

实践证明, 栈桥方案是合理可行、安全可靠的, 经受了台风、风浪、急流、深水等不利自然因素的考验, 满足了设计要求。同时为深水 and 海上工程的栈桥设计与施工提供了宝贵的经验。