

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.02.041

浅滩跨海特大桥下构施工平台方案比选分析

刘卓,董宏源*,解威威,王振琦

(广西路桥工程集团有限公司,广西 南宁 530000)

摘要:下部结构施工平台是决定跨海特大桥施工进度、安全、成本等的关键因素,该文以广西某跨海特大桥为工程背景,结合经济效益及社会效益进行不同方案的分析,通过3种不同下构施工平台的方案进行比选,结合地形地貌、水文条件及施工工期等因素,得出钢栈桥通长方案为某跨海特大桥最优下构施工平台方案,为相似跨海大桥的建设提供了依据与参考。从目前方案的实施效果看,钢栈桥通长施工平台运输具有便道运输稳定、交叉作业风险低、施工技术成熟且质量易控制、对外界影响程度低等优点。

关键词:特大桥;施工平台;钢栈桥;浮式平台;方案比选

中国海岸线分布具有南北跨度大及不同的海湾海况差异较大的特点,跨海大桥需跨越错综复杂的地层及承受水域海水潮汐、流速、方向等水文的变化,这些现场外部环境增加了跨海桥梁的建设难度。

下部结构是跨海大桥的重要组成部分,其施工进度控制着桥梁建设的工期。下构施工平台作为下部结构施工材料运输的通道及人员作业场地。材料的运输及人员作业的效率决定着桥梁下部结构施工的进度,但目前缺乏统一的下构施工平台标准,因此有必要结合现场工程概况对下部结构施工平台的建设方案进行优化比选,选取最优方案,为桥梁工程的建设提供强有力的保障。跨海大桥工程规模大,受自然条件影响大,施工制约因素多,特别是桥梁下部结构施工对其质量和工期有着关键影响,直接影响跨海大桥的建设成败,为确保在规定的工期内安全高效高质量地完成桥梁工程的建设,根据现场不同因素对工程的影响进行分析,该文对跨海大桥的不同下构施工平台方案进行比选,为相似桥梁下构施工平台的建设提供参考依据。

1 工程概况

某跨海特大桥位于广西北部湾海岸,是某高速公路由原双向四车道高速公路改扩建为双向八车道高速公路项目的控制性工程,原桥宽26.5 m,特大桥改扩建方案为在桥梁前进方向右侧新建一桥,当新桥施工时旧桥维持交通通行,待新桥建成后分流社会车辆,再将旧桥上部及盖梁拆除重建整合为一幅宽20.5 m的桥。其中,特大桥旧桥全长为2 898 m,上部结构为 $(27 \times 30 + 3 \times 50 + 27 \times 30 + 56 \times 20)$ m布置,跨径20、30 m上部结构为宽幅预应力混凝土空心板,先简支后连续结构,跨径50 m的上部结构为槽形梁,四支座受力,桥面连续,全桥共113跨。特大桥新桥上部结构初步设计以 $(13 \times 40 + 27 \times 30 + 3 \times 50 + 27 \times 30 + 56 \times 20 + 23 \times 40)$ m布置,其中20、30、40 m跨采用预应力混凝土先简支后连续小箱梁进行架设,50 m跨采用钢—混工字组合梁架设,桥梁全长4 338 m,桥宽20.5

拉桥,成桥索力优化有待进一步验证。

参考文献:

- [1] 戴杰. 钢箱梁斜拉桥合理成桥状态与合理施工状态优化方法研究[D]. 长安大学博士学位论文, 2016.
- [2] 谢耿, 蒋云锋, 刚果(布)小曲线平弯斜拉桥斜拉索张力敏感性分析[J]. 中外公路, 2018(2).
- [3] 陈德伟, 白植舟, 黄峥. 用遗传算法确定斜拉桥的恒载初

始索力[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2003(1).

- [4] 周银, 张雪松. 基于最小弯曲能的结合梁斜拉桥恒载索力优化计算方法[J]. 中外公路, 2018(4).
- [5] 云庆夏. 遗传算法和遗传规划[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1987.
- [6] 王晟, 颜东煌, 宁平华, 等. 确定钢桁梁斜拉桥合理施工阶段索力的索长迭代法[J]. 中外公路, 2019(3).

收稿日期: 2020-12-28

作者简介: 刘卓, 男, 硕士, 工程师. E-mail: 392166430@qq.com

* 通信作者: 董宏源, 男, 硕士研究生, 助理工程师. E-mail: hydong_gxu@163.com

m,全桥 149 跨(图 1)。整个项目工期 3 年,新桥共 148 个桥墩,456 根桩,1 043 片梁;旧桥共 112 个墩,348 根桩,791 片梁。

根据现场实地勘察,跨海大桥示意图如图 2 所示,将特大桥新桥施工区分为浅水区(漫滩段)、深水区和桥头公路段。其中,浅水区长度约 2.1 km,深水区长

度约为 1.4 km(低潮时水位大于 5 m),桥头公路段可利用现有便道进行桥梁下构(下部结构)施工。该处海港潮汐为非正规全日潮,每天的涨退潮时间都在变化,涨潮历时约 15 h,退潮历时约 9 h。漫滩段涨潮时有 1~4 m 水深,退潮时全为干处,且每个月有 9 d 是低潮位时期,船舶无法通行。

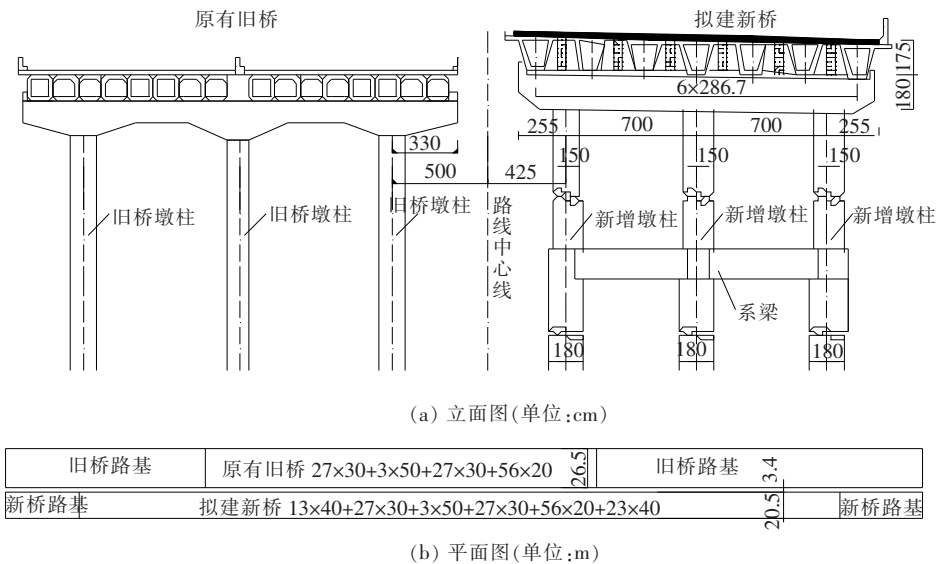


图 1 跨海大桥布置图



图 2 跨海大桥示意图

2 下构施工平台方案

钢栈桥通长方案、钢栈桥通长+占用车道拆桥方

案及浅滩钢栈桥+浮式平台方案 3 种方案分别命名为方案 1、方案 2、方案 3。通过对 3 种方案工程进行安全性、经济性、社会效益及施工效率等方面综合分析,比选出该跨海大桥下构施工平台的最优方案。

2.1 钢栈桥通长方案

新桥建设时钢栈桥通长架设(总体平面布置如图 3、施工布置如图 4 所示)主要由主栈桥、支栈桥及钢平台等组成,新桥建好后将主钢栈桥拆除移至旧桥一侧继续通长架设。根据水文资料,海湾水位变化主要受潮汐作用影响,历史最高潮位为 6.31 m,由此拟定钢栈桥桥面标高为 9 m;根据地质勘测资料,计算出钢管桩平均桩长约为 11 m。

下构平台从两端同时施工,主栈桥单跨跨径 9 m,

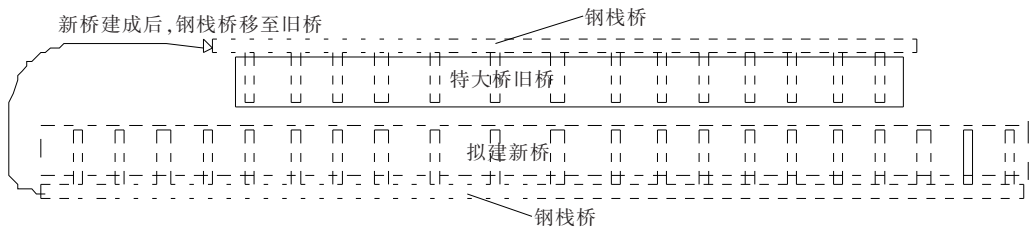


图 3 方案 1 总体平面布置示意图

一天可架设 2 跨,单个支栈桥和钢平台架设工期约为 4 d。下构墩柱施工以 4 个阶段为单桩号施工单元(表

1),进行循环施工,直至桥梁墩柱施工完毕。钢栈桥采用“钓鱼法”施工,在主栈桥全线贯通时,支栈桥双边设

置 36 个进行周转,钢平台双边共设置 30 个进行周转。

旧桥拆除方案为单侧拆除,从小桩号方向往大桩号进行拆除,旧桥盖梁拆除后即进行墩柱接高与新浇筑盖梁施工,旧桥单跨上部结构拆除需要 4 d,旧桥墩柱接高及新浇盖梁需设置 5 个工作面。新桥施工后期

可拆除富余的钢栈桥转运至旧桥侧搭设,钢栈桥从小桩号往大桩号搭设。旧桥拆除翻新的两个阶段,如表 2 所示。此外,按施工顺序及经验计算,该方案新桥建设工期为 507 d,旧桥改造工期为 566 d,总工期为 1 073 d。

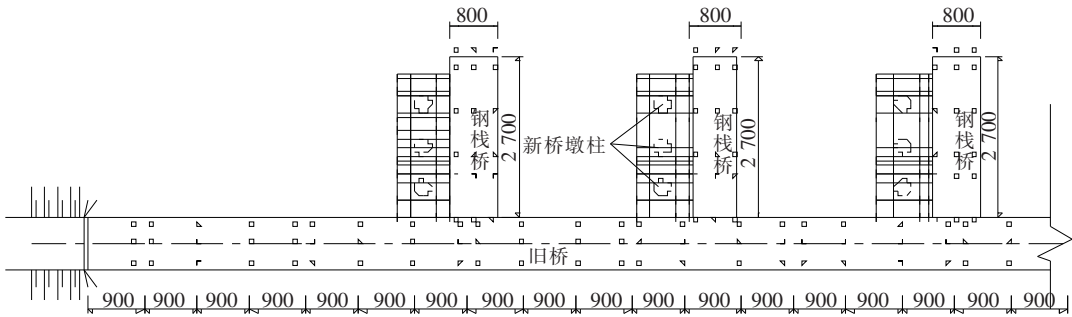


图 4 栈桥施工布置示意图(单位:cm)

表 1 墩柱施工次序

施工阶段	作业情况
1	完成 1 [#] ~3 [#] 墩中桩的基础,同时施工 1 [#] ~3 [#] 墩的边桩及 4 [#] ~6 [#] 墩的中桩,桩基施工工作面共 9 个
2	施工 1 [#] ~3 [#] 墩的墩柱及 4 [#] ~6 [#] 墩边桩、7 [#] ~9 [#] 墩中桩,墩柱施工工作面 9 个,桩基施工工作面 9 个
3	桩基施工继续往前推进,同时施工 1 [#] ~3 [#] 墩盖梁,4 [#] ~6 [#] 墩墩柱
4	1 [#] ~3 [#] 墩下构施工完毕,拆除 1 [#] ~3 [#] 支架桥及钢平台,转移至下一桩号

表 2 旧桥建设

施工阶段	作业情况
1	拆除上部结构及盖梁,上部梁板的拆除采用 JQG120-30A3 架桥机,进行切割后采用架桥机逐跨拆除箱梁
2	对已拆除的旧桥部分进行墩柱接高及盖梁浇筑,待盖梁达到设计强度即可架设新箱梁

业平台,旧桥通过缆索便桥(图 6、7)为施工作业提供人员、设备进出通道,旧桥盖梁在切割后利用新桥采用履带起重机进行吊移。

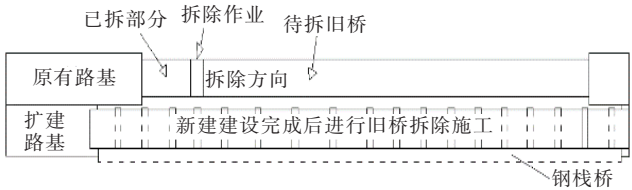


图 5 方案 2 总体布置示意图

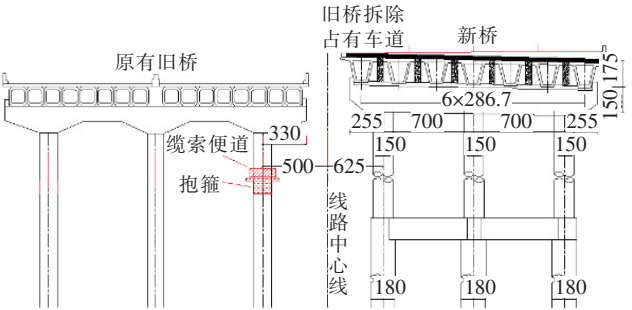


图 6 旧桥缆索布置及拆除作业示意图(单位:cm)

2.2 钢栈桥通长+占用车道拆桥方案

该方案中,新桥建设的方案总体布置如图 5 所示,与方案 1 相同,采用通长架设钢栈桥,旧桥拆除盖梁时不架设钢栈桥,采用搭设抱箍支架进行切割并移除。盖梁拆除方案为单向拆除,从小桩号往大桩号逐跨进行,拆除时需在系梁上搭设支架作为旧桥下构施工

如图 6 所示进行缆索便桥的架设时,缆索设置于旧桥靠近新桥侧墩柱上架的抱箍支点上,且两端锚固于旧桥墩与系梁交汇处。盖梁的拆除采用抱箍法施工,在墩柱顶部设置抱箍支架支撑盖梁,采用绳锯切割线对盖梁进行分块切割,下端垫木楔,切割完成后采用履带起重机吊移。其中履带起重机根据现场作业条件及切割工况分析,采用 90 t SCC900A 履带起重机,起重机设置在新桥左幅,需占用一个车道进行施工,新桥保持双向三车道通行,节假日停止施工维持双向四车道通行,降低施工对社会交通的影响。采用钢栈桥通

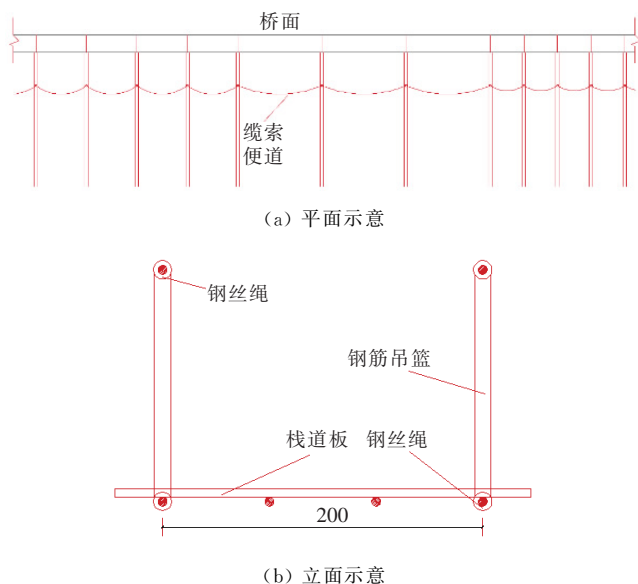


图 7 缆索便道立面示意图(单位:cm)

长+占用车道拆桥结合的下部结构施工平台方案,新桥建设工期为 507 d,旧桥拆除工期为 799 d,总工期为 1 306 d。

2.3 浅滩钢栈桥+浮式平台方案

该方案在浅水区(漫滩段)搭设钢栈桥及深水区采用浮式平台形成下构施工平台进行桥梁施工(总体布置见图8)。根据水位实测结果,深水区墩号范围为27#~71#墩,共45个桥墩,方案的施工组织根据工期安排进行设计,新桥主栈桥总长约为2100 m,支栈桥共设置28个,其中西岸9个,东岸19个;钢平台设置22个,其中西岸6个,东岸16个;海上浮式作业平台示意图如图9所示,施工平台共设置8套。深水区桩基施工的海上作业平台采用钢浮箱进行设计,浮式平

旧桥路基	原有旧桥	旧桥路基
新桥路基	拟建新桥	新桥路基
钢栈桥作业区	钢浮箱作业区	钢栈桥作业区

图 8 方案 3 总体布置示意图

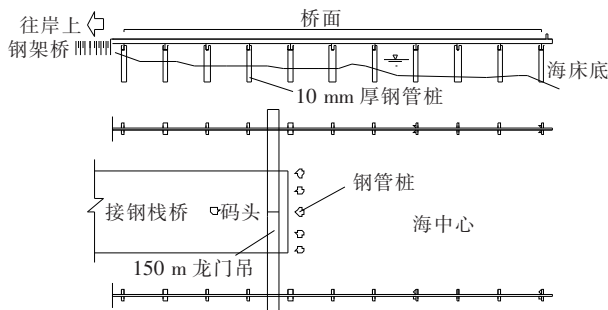


图 9 浮式平台布置示意图

台主要承受平台面荷载、钻机荷载及机械材料堆放荷载等,设计最大荷载为 300 t。

单浮箱结构外形尺寸为 $9\text{ m} \times 2.7\text{ m} \times 1.5\text{ m}$, 浮式平台由 12 个标准浮箱及 2 个 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ 的浮箱拼接而成。浮箱与浮箱的连接采用内嵌式, 通过下部丙丁钩嵌入和上部单双耳插销连接成整体, 桩基间做 4 m 宽搭接盖板, 盖板骨架采用 I30a 工字钢, 间隔 1 m 布置。标准浮箱重 7 t , 浮式平台总重约 91 t , 达到设计荷载 300 t 时吃水深度约为 1.18 m 。此外, 在东、西岸主栈桥端头各设置临时码头一座, 栈桥前端打设一排防撞桩, 两侧架设 40 m 龙门吊轨道, 龙门吊最大吊重为 100 t , 基础采用 $\phi 609 \times 10\text{ mm}$ 钢管桩, 每排 2 根, 中心间距为 60 cm , 轨道架设在 2 根 2I40a 工字钢纵梁上, 施工平台布置示意图如图 10 所示。浮式平台在海上拼装, 通过拖船移动运输, 由于需要先搭建西岸主栈桥建设临时码头, 开工后 3 个月可开始浮式平台的拼装, 深水区 45 个桥墩下构采用浮式平台的总工期为 338 d 。综合建设工期中, 新桥建设工期为 613 d , 旧桥改造工期为 566 d , 总工期为 $1\,179\text{ d}$ 。

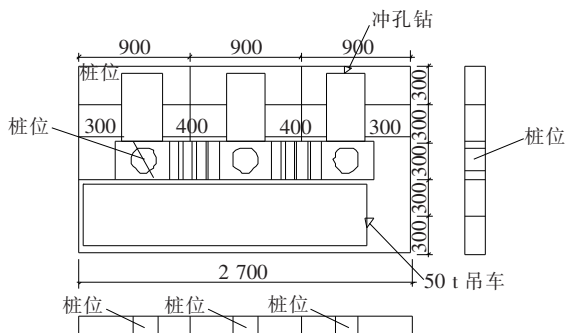


图 10 施工平台布置示意图(单位:cm)

3 工期、费用、安全及环境影响对比分析

根据现场施工方案需满足安全、经济及合理的原则,对3种方案从工期、建设费用、安全及环境影响4方面进行对比,选取最优的下构施工方案。

跨海大桥下构施工方案比选经济性分析如表 3 所示,平台施工费用的计算充分考虑了主栈桥、支栈桥、钢平台、支栈桥周转、钢栈桥周转、旧桥拆除时下构平台周转及平台建设的其他工程等建设中的支出费用。其中方案 1 的总建设费用最高为 14 630.8 万元,方案 2 的总建设费用次之为 13 822.5 万元,方案 3 的建设费用最低为 13 235.5 万元,方案 3 总建设费用中的其

他费用包括浮箱额外费用,如表 4 所示,浮箱额外费用由浮箱、交通船、浮吊、拖船及临时码头等费用组成。从工程经济性角度分析,方案 3 经济性最好。

表 3 各方案总费用明细

项目	费用/万元		
	方案 1 (梁桥通长)	方案 2 (单桥通长)	方案 3 (浮箱)
主栈桥	4 601.5	4 601.5	2 843.7
支栈桥	1 486.2	1 486.2	1 155.5
钢平台	1 667.6	1 667.6	1 223.0
支栈桥周转	2 011.9	2 011.9	1 473.0
钢平台周转	2 855.4	2 855.4	1 960.0
旧桥主栈桥周转	1 708.3	0	943.1
其他费用估计	300.0	1 200.0	3 637.1
汇总	14 630.8	13 822.5	13 235.5

安全性能评估结果如表 5 所示,从海洋环境气候、运输风险、吊装风险、交叉作业风险、施工质量隐患、对

表 4 浮箱额外费用明细

项目	单位	工程量	价格/万元
浮箱	t	728	582.4
交通船	艘	2	120.0
浮吊(150t)	台	4	1 800.0
拖船	艘	2	180.0
临时码头	座	2	200.0
码头龙门吊 100 t	台	2	180.0
浮动平台发电机	台	8	274.7
合计			3 337.1

外界影响程度及技术风险等方面对 3 个方案进行综合分析评估,方案 1 中钢栈桥施工技术成熟且材料运输通道稳定,吊装作业、交叉作业少,减少了人员及设备的风险;方案 2 中存在与社会车辆共用车道情况,运输风险较高,同时施工作业面多、吊装作业等存在较大风险;方案 3 中海上运输次数较多,海陆转运及交叉作业多,存在较高风险。

表 5 风险评估对比

影响因素	方案 1 (钢栈桥通长方案)	方案 2(钢栈桥通长+ 占用车道拆桥方案)	方案 3((浅滩钢栈桥+ 浮式平台方案)
海洋环境气候	结构稳定,抵御海洋环境变化的能力较好	结构稳定,抵御海洋环境变化的能力较好	浮式平台作业受海洋环境影响较大
运输风险	钢栈桥运输便道稳定,风险低	与社会车辆共用车道,风险较高	转运次数多,海运风险高
吊装风险	吊装作业少,且作业条件较为理想,风险低	材料吊装运输,且新桥交通不中断,风险高	海陆转运难,受台风影响大,吊运风险高
交叉作业风险	风险低	同时施工作业面多,风险较高	码头、浮箱、拖船交叉作业多,风险高
施工质量隐患	施工定位较为容易,质量易把控,风险低	施工定位较为容易,质量易把控,风险低	浮箱定位难,施工精度保证低,风险高
对外界影响程度	几乎不占用任何外界道路施工,影响极低	旧桥施工需占用新桥 2 个车道,对交通影响极大	海上作业会影响到红树林区域和养殖户,影响一般
技术风险	钢栈桥施工技术成熟,风险低	涉及缆索便道施工,技术风险一般	公司缺乏浮箱施工作业经验,技术风险大
综合安全评价	好	差	差

因此,方案 1 的综合安全性较好,而方案 2 和方案 3 综合安全性较差,从工程建设的安全性考虑,方案 1 最佳。

如前所述,方案 1、2、3 施工工期分别为 1 073、1 306、1 179 d,从工程建设角度出发,方案 1 最优,且只有方案 1 能满足 3 年工期的要求。

根据工程的安全高效、经济效益及施工效率等方面对 3 种方案进行综合分析。方案 1 造价相对最高,经济效益性最差,总施工费用与方案 3 差额 10.5%,与方案 2 差额 8.3%,但工期最短,安全性最高,交叉作业少,施工过程可控,能较好地实现工期、质量的目标。方案 2 造价较低,但占用现有通行车道施工,安全

隐患高,社会影响大,不利于实现保障社会车辆正常通行的目标,且工期最长,无法实现预期目标工期。方案3造价最低,但安全隐患大,交叉作业复杂,施工不可控因素多,施工质量保证难,工期受外界环境影响大,对施工组织要求极高,且不能满足预定工期要求。

因此,根据项目现场施工安全高效的原则,综合考虑各因素对下构施工平台的影响,该跨海特大桥下构选取方案1进行施工。

4 实施效果

钢栈桥通长方案采用“钓鱼法”导向定位架制作及安装,方便高效地实现了钢栈桥的施工。在定位上,利用悬臂导向架进行钢管桩的定位,导向架采用贝雷桁架与型钢加工形成,其中贝雷桁架长12 m。通过此导向定位架系统实现水上精确定位。

现场施工中准确定出钢管桩桩位及确保钢管桩垂直度满足要求后,采用振桩锤进行钢管桩振沉,在钢管桩下沉过程中不断检测桩位与桩的垂直度,且下沉过程中途不可有较长时间的停顿,避免桩周土扰动恢复造成沉桩困难。钢管桩振沉到位即进行桩顶承重横梁、贝雷梁及桥面板的安装,之后进行插打下一跨钢管桩。

通过钢栈桥(图11)的架设,特大桥下部结构得以迅速开展,大大地加快了项目的建设速度。从现场各项施工作业分析:① 现场人员通道、材料运输、机械设备平台等稳定合理;② 各工作面开展相互独立,交叉作业少,大大降低了施工作业的风险;③ 应对海洋环境气候变化的能力较好,作业平台稳定,满足机械作业的要求,且钢栈桥施工平台对海面环境影响较低。



图11 现场钢栈桥图

5 结论

通过对浅滩跨海特大桥下构施工平台方案从工程安全性、经济性、社会效益及施工效率等方面进行了全面的分析,得到以下结论:

(1) 在跨海大桥选择下部结构施工平台方案时,应充分考虑外界不同因素对平台建设及桥梁施工的影响。

(2) 在桥梁建设中,考虑经济因素的同时,也需结合安全性及施工进度进行全面分析,确保项目安全高效、满足施工工期要求。

(3) 下构施工平台选择应充分考虑下构施工作业工况,尽量避免多工况交叉作业,保障施工安全。

参考文献:

- [1] 周建庭,郑丹. 保障我国桥梁安全的战略思考[J]. 中国工程科学,2017(6).
- [2] 任蒙,易蓓,冯鹏程,莫桑比克马普托跨海大桥设计关键技术研究[J]. 中外公路,2020(6).
- [3] 张雪锋,叶以挺,吴刚,等. 某跨海大桥主墩承台防撞钢套箱设计与施工[J]. 中外公路,2019(6).
- [4] Attanayake U, Abudayyeh O, Cooper J, et al. First Full-Depth Deck-Panel Accelerated Bridge Construction Project in Michigan: Constructability Challenges and Lessons Learned[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2012, 28(1): 128-135.
- [5] 田杰. 秀山跨海大桥深水无覆盖层基础设计与施工[J]. 中外公路,2020(3).
- [6] 袁卫国,刘沐宇. 波浪和地震作用下的跨海大桥桥墩荷载效应分析[J]. 武汉理工大学学报,2013(12).
- [7] 周翰斌. 土耳其伊兹米特海湾大桥设计施工关键技术[J]. 中外公路,2019(6).
- [8] 覃勇刚. 杭州湾跨海大桥南岸超长栈桥设计研究[D]. 东南大学硕士学位论文,2006.
- [9] 李学民. 杭州湾大桥南岸超长栈桥设计参数选取与结构方案研究[D]. 西南交通大学硕士学位论文,2005.
- [10] Stamnas P E, Whittemore M D. All-Precast Substructure Accelerates Construction of Prestressed Concrete Bridge in New Hampshire[J]. PCI Journal,2005,50(3): 26-39.