

DOI: 10.7672/sgjs2026020077

海上有限空间大型钢桥布置与吊装施工

杨艺冠, 卢玉敏

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

[摘要] 针对海上有限空间大型钢桥吊装施工难度大、安全风险高等问题,以实际工程中的大型钢桥安装为例,从钢桥布置设计方案比选、吊装起重船选择、过程中钢桥转动、起重船布缆和移位等方面,系统阐述和分析了海上有限空间钢桥布置设计和吊装施工的技术要点。结论表明,钢桥布置设计方案应结合吊装施工方法综合比选,选择更具可行性、经济性和便利性的方案;相比于旋转式起重船,固定式起重船更适合有限空间内频繁移位的海上吊装施工;固定式起重船可通过旋转吊钩实现起吊过程中钢桥转动;起重船的布缆和移位应结合施工条件编制科学合理的方案并严格遵照执行。

[关键词] 桥梁;钢桥;有限空间;吊装;转动;船舶布缆;移位;施工技术

[中图分类号] U445.4

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)02-0077-05

Layout and Hoisting Construction of Large Steel Bridge in Limited Offshore Space

YANG Yiguan, LU Yumin

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510290, China)

Abstract: In view of the difficulties and high safety risks of large steel bridge installation in limited offshore spaces, this paper takes the installation of large steel bridge in actual project as an example. Key points for steel bridge layout design and hoisting construction in limited offshore spaces are systematically explained and analyzed, from the comparison of steel bridge layout design schemes, crane vessel selection, steel bridge rotation, the anchoring and displacement of crane vessel and so on. The conclusion shows that the steel bridge layout should be considered in combination with the hoisting construction method, and the more feasible, economical and convenient solution should be selected. Compared with the rotating crane vessel, the fixed crane vessel is more suitable for offshore hoisting construction with frequent displacement in a limited space. The fixed crane vessel can realize the rotation of the steel bridge during hoisting process by rotating the hook. The anchoring and displacement of the crane vessel should be scientifically and reasonably planned and strictly followed in combination with the construction conditions.

Keywords: bridges; steel bridges; limited space; hoisting; rotation; vessel anchoring; displacement; construction

0 引言

随着我国近几十年来水运工程行业的快速建设,大部分沿海地区已形成了较为完善的港口布局^[1-2],但与此同时,由于经济发展环境的不断变化和国家区域发展战略的调整等因素,部分区域的码头功能或港口布局需配合新的发展战略进行更新和调整^[3-4],如为适应船舶大型化、多元化发展等特

点进行的码头工程拆除改造^[5-6]和扩建^[7-8]等。这也导致新建工程实施过程中不可避免地要面对已建工程的保护问题,以及新旧结构聚集导致的施工空间受限等问题,大大增加了新建工程的施工难度,尤其是在施工一些超危大或危大工程时,由于施工本身难度较大,受已建工程影响,若施工方法不当或施工措施不到位,极易造成对已建工程的破坏,进而带来较大人员伤亡或经济损失^[9]。

为此,本文以实际工程中的超危大工程即海上

大型钢桥吊装施工为例,从钢桥布置设计方案比选、吊装起重船选择、过程中钢桥转动、起重船布缆和移位等方面,系统阐述和分析了海上有限空间中钢桥布置设计和吊装施工的技术要点,为类似交叉工程和海上有限空间中吊装施工提供经验与参考。

1 工程概况

1.1 工程简介

某工程位于广东省惠州市大亚湾区,与陆地直线距离约 12km 的外海孤岛上,岛上原有一座高桩墩式结构的 15 万 t 油码头和接岸引桥,均建于 20 世纪 90 年代,投用后一直处于正常运营状态,现计划通过码头改造、新建 1 座工作楼和 1 座海上引桥,提升码头的装卸功能和效率,如图 1 所示。

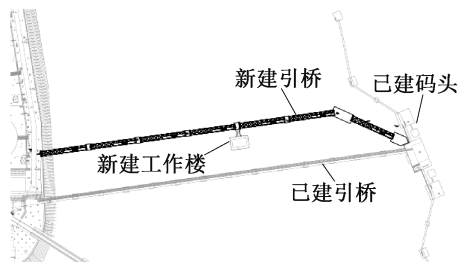


图 1 项目总平面布置

Fig. 1 General layout of the project

工程分 2 个标段同时实施,新建引桥工程为一个标段,其余码头改造和新建工作楼等工程为另一个标段。本项目为新建引桥工程标段,新建引桥长约 500m,结构形式为高桩墩式,墩台间通过拱桁式钢桥进行连接。

1.2 有限空间影响

新建引桥工程紧邻已建码头和引桥,且施工顺序要求新建引桥墩台和工作楼墩台完成后才可进行钢桥安装。因此,当进行 7 号钢桥吊装施工时,将面临工作楼墩台-引桥墩台-已建码头和引桥形成的海上有限空间,如图 2 所示。由图 2 可知,海上有限空间平面长度约为 136m、宽度约为 55m,由于大型钢桥吊装的起重船长度在 50~55m、宽度在 24~28m,船身活动的调整空间非常有限,加之工程所在地的外海涌浪较大,使得 7 号钢桥的安装面临很大施工困难,若控制不当,极易发生结构间的刮蹭和碰撞等安全风险。

为此,项目筹划期间一直将 7 号钢桥的安装作为工程的实施重点,从设计和施工的角度综合考虑,不断对比、细化,最终确定了更加适合现场条件的钢桥布置和吊装施工方案,并在工程实施中取得了良好成效。

2 钢桥布置比选

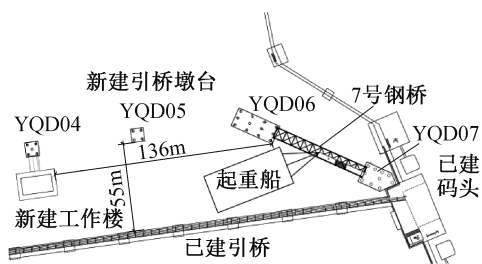


图 2 海上有限空间平面

Fig. 2 Plan of limited offshore space

2.1 钢桥布置方案

设计阶段分别提过 2 种钢桥布置方案:一种是如图 2 所示方案①,即在有限空间中进行钢桥吊装;另一种则是避开有限空间中吊装的方案②(见图 3),主要区别在于墩台 YQD06 和 YQD07 间增加 1 个墩台,相应减小拐角处 YQD06 的面积,以减小 7、8 号钢桥的跨距和自重。

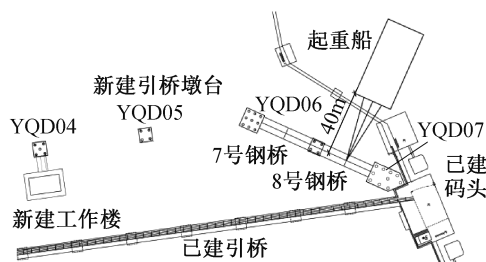


图 3 钢桥布置方案②平面

Fig. 3 Plan for steel bridge layout scheme ②

方案①的施工思路为,起重船通过不断移位和转向进入有限空间并逐渐靠近安装位置,再慢慢落位至钢桥支座完成安装;方案②的施工思路则是将起重船布置在已建码头前沿,吊起钢桥跨过码头后,向前移动至钢桥安装位置后落位安装。

2.2 方案比选

相比于方案①,方案②可避免起重船在有限空间中作业的施工风险,但起吊(水平)工作幅度也会大大增加,2 种布置方案的主要吊装参数如表 1 所示。可看出,方案②比方案①钢桥长度上减少 26m、质量减小 84t,但(水平)工作幅度增加约 18m,导致方案②计划使用的起重船最大工作吊重远大于方案①,根据工程所在地周边的市场调研信息,700t 起重船的月租赁费用为 400t 起重船的 2~3 倍。

另外,方案②中新增的墩台会导致墩台 YQD06 和 YQD07 间的施工空间变得更加狭小,使得用于钢桥安装前其他施工的驳船无法靠近或进入,尤其是对于墩台 YQD07,灌注桩和墩台施工将会受到严重影响,如图 4 所示。

表 1 方案①和②主要吊装参数

Table 1 Main hoisting parameters for scheme ① and scheme ②

项目	方案①	方案②	①-②
钢桥长度/m	60	34	26
吊重(含管道)/t	195	111	84
起吊工作幅度/m	22	40	-18
建议起重船最大工作吊重/t	400	700	-300

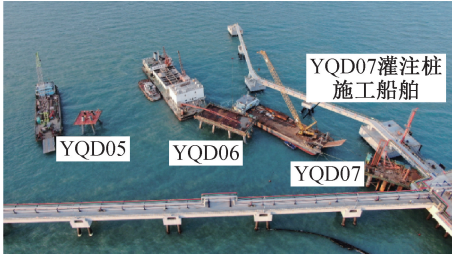


图 4 墩台 YQD07 灌注桩施工

Fig. 4 Cast-in-place piles construction of pier platform YQD07

综上所述,虽然方案②避免了海上有限空间中的作业风险,但在钢桥施工费用、对其他部位的施工影响方面存在明显不足,故选择方案①作为钢桥布置和吊装施工方案。

3 钢桥吊装施工要点

3.1 起重船选择

海上起重船主要有固定式和旋转式,固定式起重船只有纵向固定的起吊方式(正向吊);旋转式起重船则分为纵向和横向 2 种起吊方式,在相同的纵向工作幅度条件下,随着横向工作幅度的增加,起重船的额定起吊量会出现明显下降,因此旋转式起重船在不同方向的起吊性能波动较大。以某 350t 旋转式起重船为例,横向额定起吊量约为纵向固定式起重船的 55%~71%,如表 2 所示。

表 2 某 350t 旋转式起重船起吊参数

Table 2 Hoisting parameters of a 350t rotary crane vessel

主吊角度/°	纵向幅度/m	横向幅度/m	起吊高度(吊钩)/m	横向吊重/t	纵向吊重(纵向幅度为 0m)/t	横向吊重与纵向吊重之比/%
80	5	4	57	250	350	71
75	8	7	56	190	320	59
70	12	14	55	190	290	66
65	17	16	53	160	260	62
60	21	20	50	130	230	57
55	25	24	48	110	200	55
50	28	27	44	95	170	56
45	34	33	41	80	140	57

考虑本工程中起重船计划在吊起钢桥的状态下进行频繁移位,故为了减少移位和风浪等对起重

船起吊状态的影响,决定选择性能更加稳定的固定式起重船进行钢桥吊装施工。工程所选用的固定式起重船总长 50.4m、宽 24m,满载吃水为 1.9m;主钩额定最大起吊量为 400t,工作幅度 22m(角度 60°)时的主钩额定起吊量为 260t>195t,可满足 7 号钢桥的吊装需求。

3.2 钢桥转动

如图 5 所示,进入有限空间后,受已建引桥对起重船船尾的限制,固定式起重船无法以正向吊方式直接进行 7 号钢桥吊装,需在到达安装位置后空中将钢桥转动约 40°后才可落位。

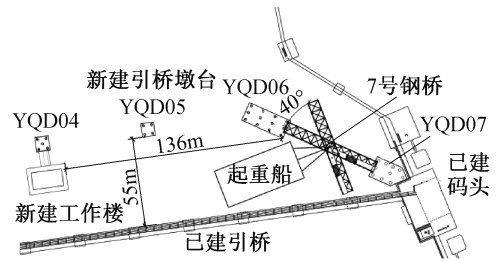


图 5 钢桥转动角度

Fig. 5 Rotation angle of steel bridge

为此,现场采用了额定荷载为 8 000kN 的旋转吊钩,以旋转吊钩的转动来实现钢桥的同步转动,如图 6 所示。采用旋转吊钩进行钢桥吊装的主要步骤如下。



图 6 旋转吊钩

Fig. 6 Rotation hook

1)系挂牵引绳:钢桥吊点系挂完成后,另在钢桥两侧分别系挂旋转牵引绳,牵引绳的松紧通过起重船上的独立锚机进行操控。

2)试吊:吊起钢桥至预定高度,稳吊约 3min,留意旋转吊钩和钢桥的吊装状态,起吊平稳后,略微收紧钢桥两侧牵引绳,减少钢桥的晃动幅度。

3)钢桥转动:钢桥移动至安装位置后,分别放松和收紧钢桥两侧牵引绳,让钢桥和旋转吊钩同步转动,直至对准安装槽口。

4)钢桥落位:慢慢将钢桥下落,接近安装槽口时根据偏差情况微调钢桥转动角度,完全对齐槽口后将钢桥落位完成安装。

3.3 起重船布缆与移位

船舶的布缆和移位,是海上有限空间中大型钢桥吊装的重点和难点。通过对起重船布缆和移位方案进行多次讨论与分析,并通过实地测量、桌面演练等多种方式对方案细节进行校核和确认,现场最终制订了科学合理的方案。方案的主要步骤如下。

1)起吊和进入有限空间:如图 7 所示,在起重船作业活动周围布置①~⑥ 6 个锚点,起重船前锚系挂①,②号锚点,后锚系挂③,④号锚点,借助运输船带前缆靠近吊起钢桥;稳吊后,逐步收紧③,④号缆,让起重船以后退方式通过墩台 YQD05 和 YQD06 间的通道进入有限空间。

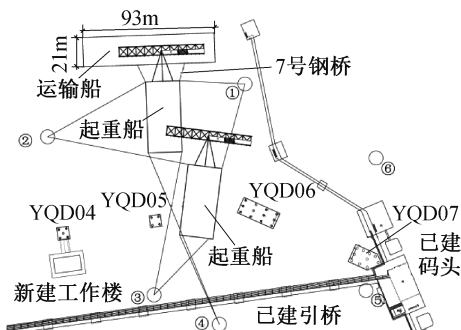


图 7 起吊和进入有限空间

Fig. 7 Lifting and entering limited space

2)船向调整和钢桥越过墩台 YQD06:如图 8 所示,起重船进入有限空间后,右前锚①号缆改系挂至⑤号锚点,接着慢慢收紧⑤号缆,让船身沿着墩台 YQD06 的长度方向逐渐转向,形成与已建引桥近似平行的角度,钢桥也随之越过了墩台 YQD06。

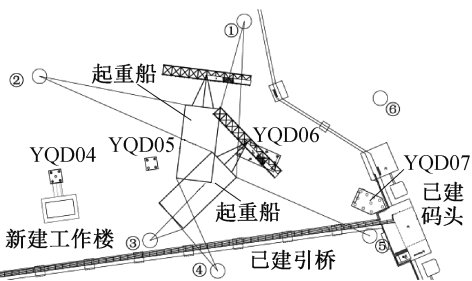


图 8 船向调整和钢桥越过墩台 YQD06

Fig. 8 Vessel direction adjustment and steel bridge crossing pier platform YQD06

3)钢桥转动和落位:如图 9 所示,将起重船的中前锚系挂至⑥号锚位,接着缓慢收紧⑤,⑥号缆,让起吊的钢桥中心移动至设计安装位置,最后如 3.2 节所述,调整钢桥两侧牵引绳使钢桥转动,对齐安装槽后落位至支座,完成钢桥安装。

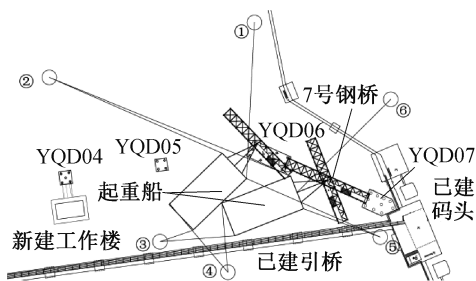


图 9 钢桥转动和落位

Fig. 9 Rotation and fall of steel bridge

4 钢桥吊装施工效果

现场吊装施工安排在了风浪条件较好(东风 2~3 级、浪高约 0.2m)的早晨进行,从起重船开始移动到钢桥完全落位用时约 2.5h,在未发生任何刮蹭和碰撞等问题的情况下,顺利按预定方案完成了 7 号钢桥安装,安装后的钢桥角度、与安装槽口的距离等测量数据均满足设计要求。

钢桥现场吊装施工过程如图 10 所示。

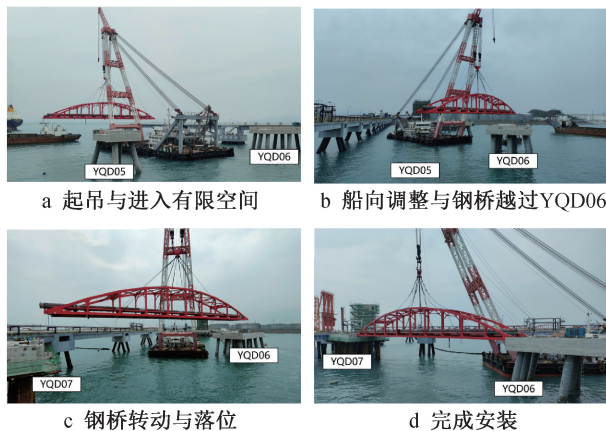


图 10 钢桥吊装施工过程

Fig. 10 Hoisting construction process of steel bridge

5 结语

1)钢桥布置设计方案应结合钢桥吊装施工方法综合考虑,通过不同布置方案对比分析,选出更具可行性、经济性和便利性的布置方案。

2)当需在起吊状态下进行频繁船身移动和转向时,相比于旋转式起重船,固定式起重船起吊性能的稳定性更好,并在相同额定起吊量条件下往往也更经济,是兼具稳定性与经济性的选择。

3)固定式起重船受施工空间限制无法采用正向吊装时,可通过使用旋转吊钩实现吊装结构物在起吊状态下的转动。

4)起重船的布缆和移位是海上有限空间中吊装施工的重难点,应根据作业范围和船身尺寸等资料编制船舶移动方案,相应设计锚点和锚缆路径,

并通过现场考察和桌面演练等方式确定科学合理的布缆和移位方案,在实际施工中严格遵照执行。

5) 风浪条件是影响海上作业能否顺利进行的重要因素,海上大型结构的吊装施工应根据工程所在地的气象数据和信息,结合施工方案和工期安排选择有利时间段进行施工。

参考文献:

- [1] 季则舟,杨兴宴,尤再进,等. 中国沿海港口建设状况及发展趋势[J]. 中国科学院院刊,2016,31(10):1211-1217.
JI Z Z, YANG X Y, YOU Z J, et al. Construction state and development trend of coastal ports in China[J]. Bulletin of the Chinese academy of sciences, 2016, 31(10): 1211-1217.
- [2] 谢凌峰,陈有文. 新时期广东省沿海港口发展环境分析与发展战略思路探讨[J]. 水运工程,2012(5):1-7.
XIE L F, CHEN Y W. Discussion on development environment and strategy analysis of coastal port in Guangdong Province in new era[J]. Port & waterway engineering, 2012(5): 1-7.
- [3] 司增焯. 港口基础设施与港口城市经济互动发展[J]. 管理评论,2015,27(11):33-43.
SI Z C. Interactive development of port infrastructure and port city economy[J]. Management review, 2015, 27(11): 33-43.
- [4] 张志明,杨国平. 我国沿海深水港口建设技术进展、发展趋势和面临的关键技术问题[J]. 水运工程,2011(S1):57-63.
ZHANG Z M, YANG G P. Technology development, development trend and key technical problems of construction of China's coastal deep-water ports [J]. Port & waterway engineering,

2011(S1):57-63.

- [5] 赵渊,黄天荣,汪金勇. 上海国际航运服务中心高桩码头拆除施工工艺[J]. 施工技术,2015,44(S1):836-838.
ZHAO Y, HUANG T R, WANG J Y. Demolition technology of high pile wharf in Shanghai international shipping service center [J]. Construction technology, 2015, 44(S1): 836-838.
- [6] 陈伟,丁嵬,胡家顺. 大连港矿石专用码头泊位改造工程设计[J]. 水运工程,2011(S1):117-122.
CHEN W, DING W, HU J S. Design of Dalian Port specialized ore terminal berth reconstruction project [J]. Port & waterway engineering, 2011(S1): 117-122.
- [7] 吕威,贝建忠,孙国辉. 深厚泥炭质土软基条件下的老码头改扩建[J]. 水运工程,2024(2):66-71, 130.
LÜ W, BEI J Z, SUN G H. Reconstruction and expansion of existing wharf under condition of deep peaty soft soil foundation [J]. Port & waterway engineering, 2024(2): 66-71, 130.
- [8] 宓宝勇. 湛江港铁矿石码头改扩建工程钢管桩试桩成果简介[J]. 水运工程,2004(3):97-100.
MI B Y. A brief introduction of the test piling result of steel pipe piles in the reconstruction and expansion project of Zhanjiang Port iron ore terminal [J]. Port & waterway engineering, 2004(3): 97-100.
- [9] 查京民,杨卫涛,侯建增,等. 港口工程施工中海上作业安全评价方法及应用[J]. 中国港湾建设,2003,23(2):47-50.
ZHA J M, YANG W T, HOU J Z, et al. Methods for assessing safety in offshore construction of port works and their application [J]. China harbour engineering, 2003, 23(2): 47-50.

(上接第 57 页)

参考文献:

- [1] 王振海,周岑,石晋涛. 多连跨中承式拱桥合理结构体系研究[J]. 公路,2019,64(4):131-134.
WANG Z H, ZHOU C, SHI J T. Study on rational structural system of multi-span half-through arch bridge [J]. Highway, 2019, 64(4): 131-134.
- [2] 赵震寅. 中承式柔性系杆拱桥系杆更换关键技术研究[D]. 杭州:浙江理工大学,2023.
ZHAO Z Y. Research on the tie cable replacement key technology of half-through tied-arch bridge [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2023.
- [3] 彭世恩,曹火勇,郝天之. 系杆有效力对系杆拱桥的敏感性分析[J]. 西部交通科技,2020(1):70-73.
PENG S E, CAO H Y, HAO T Z. Sensitivity analysis of tied-bar effectiveness to tied-bar arch bridge [J]. Western China communications science & technology, 2020(1): 70-73.
- [4] 唐辉,崔秀鹏,高燕梅,等. 基于可靠度的柔性系杆更换研究[J]. 公路工程,2016,41(6):29-35.
TANG H, CUI X P, GAO Y M, et al. Replacment scheme analysis of flexible tied bar based on reliability theory [J]. Highway engineering, 2016, 41(6): 29-35.
- [5] 王解元,潘德鹏. 某拱桥系杆换索设计与施工[J]. 世界桥梁,2010,38(2):66-69.
WANG J Y, PAN D P. Design and construction of cable

replacement for tie members of a tied arch bridge [J]. World bridges, 2010, 38(2): 66-69.

- [6] 康孝先,刘路,丁洪华. 系杆拱桥系杆更换关键技术与施工[J]. 公路,2015,60(8):110-114.
KANG X X, LIU L, DING H H. Research and construction on key technologies for replacement of tie rods in arch bridges [J]. Highway, 2015, 60(8): 110-114.
- [7] 张兆强,姜山,康孝先,等. 大跨度飞燕式系杆拱桥系杆更换关键技术与施工[J]. 施工技术,2018,47(22):96-100.
ZHANG Z Q, JIANG S, KANG X X, et al. Tied-bar replacement construction technology of large-span flying-swallow-typed tied-arch bridge [J]. Construction technology, 2018, 47(22): 96-100.
- [8] 俞建立. 中山二桥结构设计[C]//全国城市桥梁青年科学技术学术会议论文集,1996.
YU J L. Structural design of the Second Zhongshan Bridge [C]//Proceedings of the National Urban Bridge Youth Science and Technology Academic Conference, 1996.
- [9] 招商局重庆交通科研设计院有限公司. 公路桥梁施工监控技术规程:JTG/T 3650-01—2022[S]. 北京:人民交通出版社,2022.
China Merchants Chongqing Communications Technology Research & Design Institute Co., Ltd. Technical specifications for construction monitoring and control of highway bridges: JTG/T 3650-01—2022 [S]. Beijing: China Communications Press, 2022.