

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.02.031

# 虎门二桥悬索桥浅滩区钢箱梁吊装施工技术

朱小金, 武尚伟, 王博, 郭雷刚, 杜海峰

(中交二公局第五工程有限公司, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 为解决悬索桥浅滩区钢箱梁的安装就位, 创新性地采用了荡移的施工技术, 提高了功效, 减少了对航道的影响, 取得了良好的经济效益和社会效益, 对类似工程的施工具有很好的借鉴意义。

**关键词:** 悬索桥; 浅滩区; 钢箱梁吊装

## 1 工程概况

虎门二桥于广州市南沙区东涌镇与广州市南二环段对接, 沿线跨越珠江大沙水道、海鸥岛、珠江坭洲水道, 于东莞市沙田镇与广深沿江高速公路连接。主线全线均为桥梁工程, 总长度 12.891 km, 包括两座悬索桥——主跨 1 200 m 的大沙水道桥和主跨 1 688 m 的

坭洲水道桥, 采用双向八车道的高速公路标准, 设计速度 100 km/h, 桥梁宽度 40.5 m。

主跨 1 200 m 的大沙水道桥为双塔单跨悬索桥, 跨径布置为 (360+1 200+480) m, 矢跨比为 1:9.5。主缆横桥向中心间距 42.1 m, 吊索顺桥向标准间距 12.8 m。全桥共有钢箱梁段 94 榀, 标准节 88 片, 最长梁段为 E 类, 重量 347.6 t。大沙水道桥主桥布置见图 1, 钢箱梁标准断面见图 2, 钢箱梁工程概况见表 1。

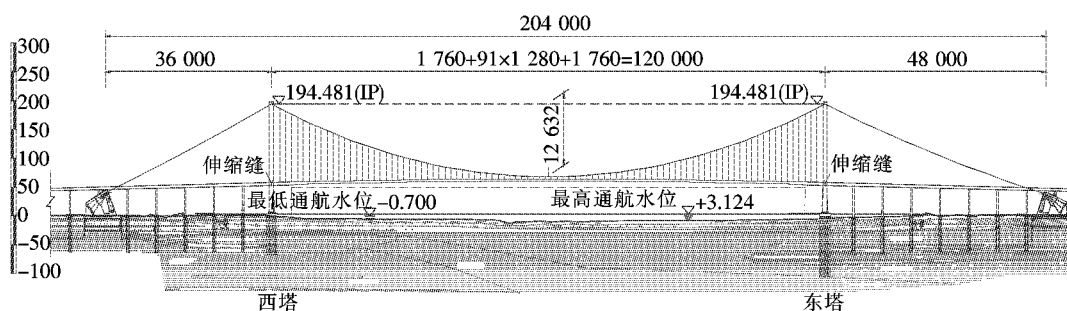


图 1 大沙水道桥主桥布置图(除标高单位为 m 外,其余单位:mm)

[4] Mattock A H, And Hawkins. Shear Transfer in Reinforced Concrete—Recent Research[J]. PCI JOURNAL, 1972, 17(2): 55—75.

[5] Annamalai G B. Shear Strength of Post-Tensioned Grouted Keyed Connections[J]. PCI Journal, 1990, 35(3): 64—73.

[6] Gaston J R, And Kriz, L. B. Connections in Precast Concrete Structures—Sarf Joints[J]. PCI JOURNAL, 1964, 9(3): 37—59.

[7] 宋宇峰, 孙勇, 杨立坡. 空心板梁桥铰缝受力特性与破坏模式的试验与理论研究[J]. 中外公路, 2018(2).

[8] 叶见曙, 刘九生, 俞博. 空心板混凝土铰缝抗剪性能试验研究[J]. 公路交通科技, 2013(6).

[9] 庄茁, 由小川. 基于 ABAQUS 的有限元分析和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

[10] 赵秋, 陈美忠, 陈孔生. 开孔钢板铰缝连接构造推出试验与数值模拟[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2017(4).

收稿日期: 2018-05-15

作者简介: 朱小金, 男, 大学本科, 高级工程师. E-mail: 272386315@qq.com

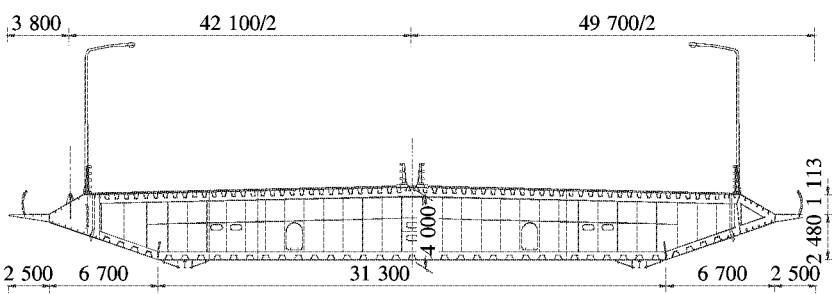


图 2 钢箱梁标准横断面(单位:mm)

表 1 钢箱梁工程概况

梁段类型	梁段长度/m	梁段约重/t	梁段数量/个	备注
A	8.8	290.4	1	无吊索梁段
B	12.8	267.3	88	标准梁段
C	12.8	285.1	2	特殊吊索梁段
D	8.8	290.4	1	无吊索梁段
E	14.4	347.6	1	特殊吊索梁段
F	12.8	308.9	1	特殊吊索梁段

注:梁段编号:T1、Z1~Z92、T2。

2 水文航道资料

项目范围内主要河流为珠江口的大沙(浮莲岗)水道,河面宽广呈喇叭形,水系发达,河网密布,水量大,迳流量变幅大;水道为潮汐水道,既受径流作用,又受潮汐影响。珠江口为潮差<2.9 m 的弱潮河口,潮水顶托强弱随径流量大小而变化;潮汐为不规则半日潮,在一个太阳日内两涨两落,且两次高、低潮位和潮差各不相同,涨落潮历时亦不相等。根据施工期间的观测,水位一般在-0.5~+2 m 之间。最高通航水位+3.124 m,最低通航水位-0.700 m(国家 85 高程),通航净空尺度:单孔双向通航 1 114 m×49 m。

3 钢箱梁安装

3.1 钢箱梁总体安装方案

钢箱梁采用跨缆吊机按照从跨中向塔柱方向的顺序依次对称安装,先安装 Z46、Z47 梁段。根据水深实测情况及现场环境,为确保能垂直起吊安装合龙段,确定 Z4 和 Z89 梁段为合龙段。钢箱梁垂直起吊如图 3、4 所示。

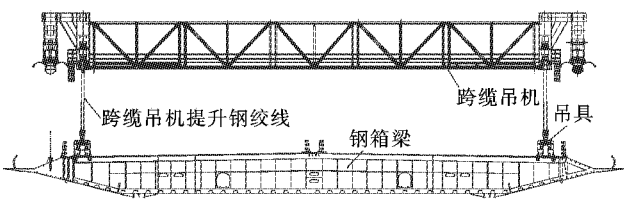


图 3 跨缆吊机吊装钢箱梁横断面示意图

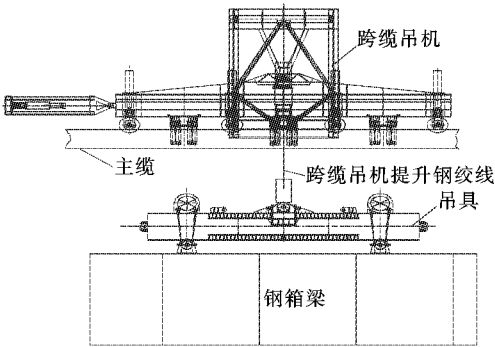


图 4 跨缆吊机吊装钢箱梁纵断面示意图

根据现场实测河床标高,西塔处的无吊索梁段(梁段编号 T1)、1#~3# 吊索梁段、91#~92# 吊索梁段和东塔处的无吊索梁段(梁段编号 T2)位于浅滩区(图 5),无法采用跨缆吊机垂直起吊安装。

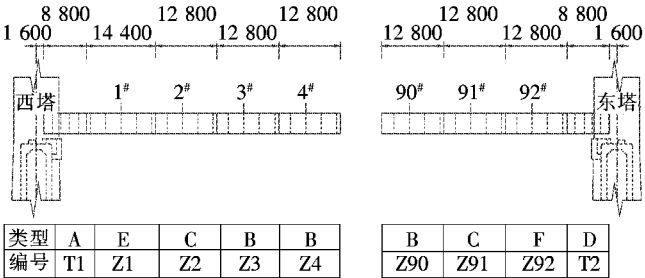


图 5 浅滩区梁段分布(单位:mm)

根据常规工法,浅滩区钢箱梁施工时,需要将栈桥搭设至运输船舶就位处,由浮吊或跨缆吊机提升梁段至栈桥移位器上,由卷扬机水平牵拉至起吊位置,跨缆吊机行走至起吊位置垂直起吊钢箱梁。该工法投入

大,周期长,对航道影响大。

为减少钢箱梁安装对航道的影响,该项目创新性地采用荡移法对浅滩区梁段进行安装。

### 3.2 钢箱梁荡移施工流程

荡移分两种情况:吊索荡移和牵引荡移。吊索荡移即跨缆吊机提升梁段至荡移高度后,牵拉其他梁段的吊索与吊机吊具相连,通过跨缆吊机的主动加载或卸载而引导吊索的卸载或加载,从而实现梁段由起吊位置向安装位置移动,到达安装位置后,将梁段对应吊索与该梁段连接完成或将梁段放置在支撑支架上,完成该梁段的荡移施工。牵引荡移即跨缆吊机提升梁段至荡移高度后,利用卷扬机水平牵引吊机吊具,使梁段由起吊位置向安装位置主动偏移,在梁段对应吊索与该梁段连接完成后,跨缆吊机卸载,完成该梁段的牵引荡移。一般情况下,荡移距离较短(跨缆吊机的倾角在吊机的允许范围之内)时,采用牵引荡移;牵引距离较长时,采用吊索荡移。吊索荡移时,可采用牵引荡移配合,以实现更远距离的荡移安装。牵引荡移应用较多,该文主要叙述吊索荡移。

吊索荡移的主要步骤为:

第 1 步:跨缆吊机在第  $a$  根吊索处垂直起吊钢箱梁,第  $(a+i)$  根永久吊索与吊机吊具上的转换工装相连[注:  $(a+i)$  表示吊索的编号之差为  $i$ ,以此类推]。

第 2 步:跨缆吊机逐级卸载至第  $(a+i)$  根吊索垂直受力,跨缆吊机松勾。

第 3 步:跨缆吊机行走至第  $(a+i+j)$  个索夹处,跨缆吊机吊具与转换工装相连。

第 4 步:跨缆吊机逐渐受力,吊索逐渐偏转至跨缆吊机钢绞线垂直,完成一个周期的荡移施工,其他依次进行。

$i$  和  $j$  的取值依赖于吊机的性能要求和主缆的倾斜度,任何情况下,跨缆吊机的偏转角度不能大于吊机的允许角度。

西塔侧荡移梁段多于东塔,以西塔侧为例,荡移施工流程为:

第 1 步:① 无吊索梁段支撑托架施工完成并通过验收;② 跨缆吊机在 4# 吊索处就位;③ 运梁船运输 T1 梁段在跨缆吊机正下方就位;④ 跨缆吊机下放吊具与钢箱梁临时吊耳相连;⑤ 跨缆吊机垂直起吊 T1 梁段至荡移高度(图 6)。

第 2 步:① 牵拉 2# 吊索至吊具处;② 将 2# 吊索与吊具相连(图 7)。

第 3 步:跨缆吊机逐级卸载。卸载过程中,2# 吊

索逐渐受力,直至钢箱梁荷载全部转移至吊索上(图 8)。

第 4 步:① 解除跨缆吊机锚头与吊具之间的连接;② 跨缆吊机行走至 1# 吊索处固定;③ 牵拉跨缆吊机锚头至与吊具相连(图 9)。

第 5 步:① 跨缆吊机逐级加载提升钢箱梁,吊索受力逐渐减小;② 当钢箱梁荷载全部转移至跨缆吊机钢绞线后,解除吊索与梁段的连接(图 10)。

第 6 步:① 在边跨侧布置水平牵引卷扬机,卷扬机钢丝绳与吊具相连;② 卷扬机收绳牵引梁段荡移至安装位置,并下放至支座和支架上;③ 解除吊具与钢箱梁临时吊耳的连接;④ 跨缆吊机行走在 4# 吊索对应位置,继续起吊 1# 吊索对应的 Z1 梁段(图 11)。

第 7 步:① 跨缆吊机行走至 4# 吊索处垂直起吊 Z1 梁段;② 2# 吊索与吊具相连(图 12)。

第 8 步:跨缆吊机逐步卸载,钢箱梁荷载转移至 2# 吊索(图 13)。

第 9 步:① 跨缆吊机行走至 1# 吊索处;② 跨缆吊机钢绞线与吊具相连(图 14)。

第 10 步:① 跨缆吊机逐级加载,钢箱梁荷载逐渐由吊索受力转移至跨缆吊机受力;② 1# 吊索与钢箱梁吊耳相连,跨缆吊机卸载,连接 Z1 与 T1 之间的临时连接件,完成 Z1 梁段的吊装(图 15)。

第 11 步:① 跨缆吊机在 4# 索夹处垂直起吊 Z2 梁段;② 水平牵引卷扬机牵拉钢箱梁至 2# 吊索位置处;③ 2# 吊索与钢箱梁吊耳相连,跨缆吊机卸载,连接 Z1 与 Z2 之间的临时连接件,完成 Z2 梁段的吊装(图 16)。

第 12 步:① 重复第 11 步,将 3# 吊索与 Z3 钢箱梁吊耳相连,跨缆吊机卸载;② 连接 Z3 与 Z2 之间的临时连接件,完成 Z3 梁段的吊装(图 17)。

### 3.3 吊具转换工装

一般情况下,钢箱梁永久吊耳与钢箱梁节段的重心不在同一个断面上。采用吊索荡移时,为确保钢箱梁在整个施工过程中的平稳,荡移用的吊索不能与钢箱梁永久吊耳相连,必须通过一个转换工装以实现在荡移整个过程中跨缆吊机的吊点与钢箱梁的重心在同一个断面上。

吊具转换工装包括连接板 1、连接板 2、扇形板和三角板,其中吊索通过三角板和连接板 1 与扇形板相连,跨缆吊机锚固座直接与扇形板相连,吊具通过连接板 2 与扇形板相连,各连接处均采用销接,确保在荡移过程中能转动。荡移时,通过扇形板的转动,实现将梁

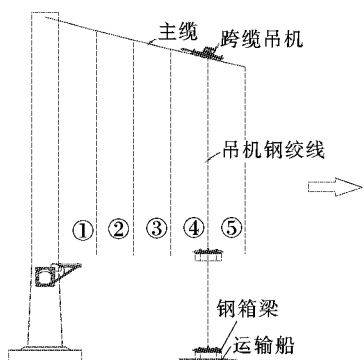


图6 第1步

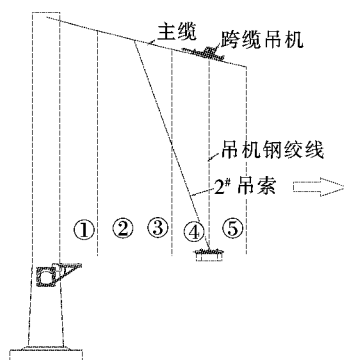


图7 第2步

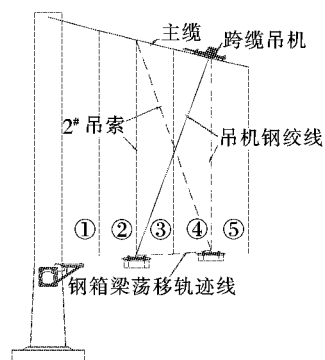


图8 第3步

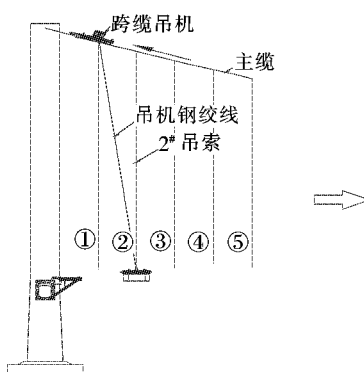


图9 第4步

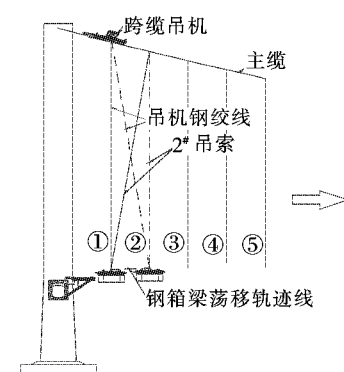


图10 第5步

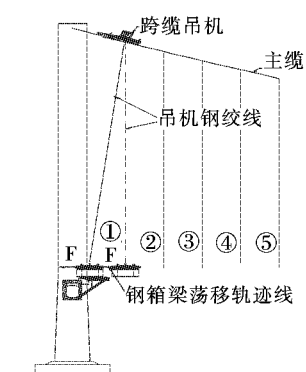


图11 第6步

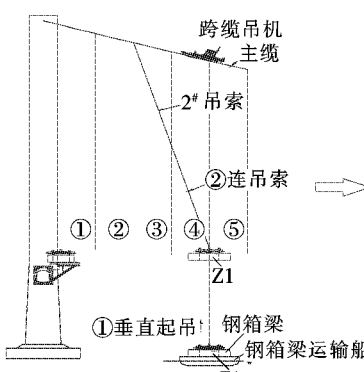


图12 第7步

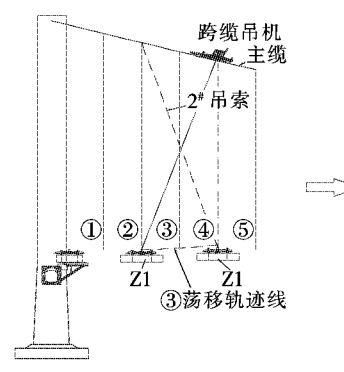


图13 第8步

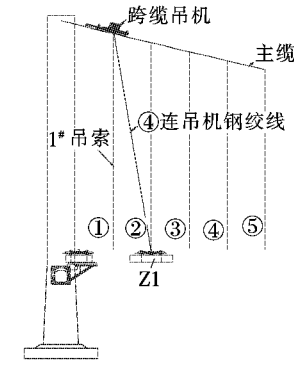


图14 第9步

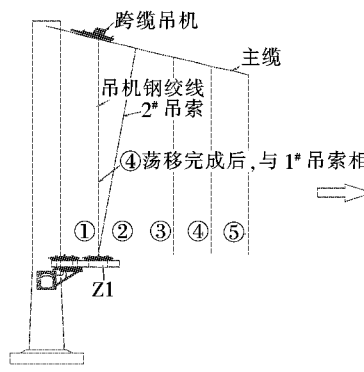


图15 第10步

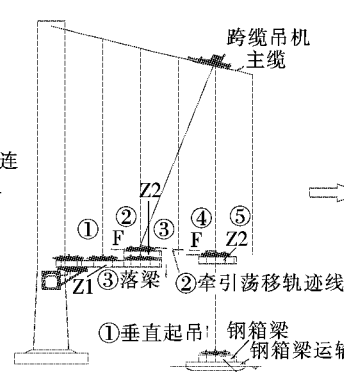


图16 第11步

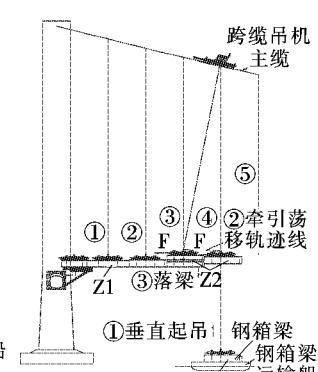


图17 第12步

段的荷载在跨缆吊机和吊索之间的转换。当要进行多个周期的转换时,可通过增加扇形板的吊耳孔来实现。

转换工装所用的结构尺寸和材质要求根据吊装荷载设计确认。

### 3.4 钢箱梁荡移施工

2017年12月31日,虎门二桥大沙水道悬索桥T1梁段在Z4梁段位置垂直起吊至荡移位置后,牵拉2#吊索与扇形板相连,跨缆吊机按单侧每级25 t、两侧每级共50 t卸载,卸载过程平稳。30 min后,跨缆吊机卸载完成,钢箱梁荷载全部转移至2#吊索,荡移角度为 $12^{\circ}$ 。解除跨缆吊机钢绞线锚固座与扇形板之间的连接,跨缆吊机行走至1#吊索处固定,牵引钢绞线锚固座至2#吊索处与扇形板相连,跨缆吊机按单侧每级25 t、两侧每级共50 t加载,加载过程平稳。30 min后,钢箱梁荷载全部转移至跨缆吊机上,2#吊索处于松弛状态,荡移角度为 $6^{\circ}$ 。解除2#吊索与扇形板的连接,卷扬机水平牵引钢箱梁至支座和支架上方,跨缆吊机卸载落梁,完成T1梁段的吊装,历时1 d。随后依次进行了其他梁段的荡移吊装施工,并克服了低温、大雨、寒潮等恶劣天气的影响,于2018年1月9日完成了大沙水道桥悬索桥钢箱梁合龙施工。

## 4 结论

大沙水道桥悬索桥浅滩区钢箱梁采用荡移法施工替代传统的高低支架牵引移位和存梁,节约支架近800 t,节约工期近1个月,减少了对航道的影响,取得了良好的经济、社会效益。该方案结构简单,受力清晰,操作方便,适应性强,实施效果好。虎门二桥的实践对后续悬索桥加劲梁安装施工具有很好的借鉴作用。施工过程中需要注意以下几个问题:

(1) 钢箱梁的重心位置一定要找准。采用跨缆吊机吊装钢箱梁,只在一个横断面上分布有两处吊点,如果未将吊点位置调整至与重心在同一个横断面上,在吊装过程中,梁会在自重作用下产生一定的倾角;在荡移过程中,随着跨缆吊机千斤顶的加载或卸载,梁会在

纵桥向晃动,从而有可能导致梁段的倾覆。只有在梁水平的情况下,才能确保梁段在荡移过程中的平稳。

(2) 空中穿、取消轴安全措施要到位。梁段在开始荡移前,操作人员才能移至梁段上安装和拆除销轴。在梁段起吊前,应在上下游两吊具之间拉钢丝绳,当操作人员上至待荡移梁段后,将安全绳挂在钢丝绳上,以确保人员的安全。上待荡梁段的人员和机具不能太多,满足施工操作要求即可,人员分布要尽可能对称于吊点断面,防止不平衡荷载引起梁段的倾斜甚至倾覆。起吊提升过程、荡移过程,操作人员必须离开梁段,只有在梁段静止时,操作人员才能移至梁段上操作。

(3) 无论何种荡移状况,跨缆吊机倾角必须在吊机的允许范围之内,才能确保吊机的使用安全。

(4) 为确保销轴的受力安全,销轴和销孔之间的空隙非常小,导致穿销轴和拆销轴的难度很大,效率很低,销轴的安拆在整个荡移过程的时间轴上占比至少达80%。今后可继续优化钢绞线锚固座和吊索与扇形板的连接方式,提高安拆转换过程的功效,提高施工效率。

### 参考文献:

- [1] 邓小华.广东虎门第二公路通道桥位选择[J].中外公路,2013(4).
- [2] 薛光雄,闫友联,沈良成,等.泰州长江公路大桥上部结构施工方案概述[J].桥梁建设,2009(4).
- [3] 王峻,梁进达.泰州大桥悬索主桥钢箱梁吊装施工顺序的确定[J].中国工程科学,2012(5).
- [4] 李昊天,朱小金,杨敏.马鞍山长江大桥钢箱梁合龙施工牵引预偏关键技术[J].世界桥梁,2014(2).
- [5] 常大宝.泰州长江大桥钢箱梁吊装施工关键技术[J].中外公路,2012(8).
- [6] 栾昌花.南京长江第四大桥钢箱梁施工关键技术[J].现代交通技术,2012(4).
- [7] 黄绍结,李莘哲.红水河特大斜拉桥中跨钢主梁缆索吊装施工关键技术[J].中外公路,2017(3).
- [8] 王鹏程,曹水东,李红利,等.港珠澳大桥超大节段钢箱梁整体吊装安全监测技术[J].中外公路,2017(1).