DOI:10.14048/j.issn.1671－2579.2019.03.032

悬索桥浅滩区钢桁梁吊装施工新技术

袁理，黄影，赵宇清
（湖南路桥建设集团有限责任公司，湖南 长沙 410004）

摘要：以解决悬索桥浅滩区钢桁梁吊装为目的，该文以大岳高速洞庭湖大桥A1标钢桁梁吊装施工为背景，开发了一种新的悬索桥浅滩区梁段吊装施工技术。该技术根据悬索桥主缆与钢桁加劲梁的空间结构特点，对悬索桥主缆施工时已有的卷扬机、钢丝绳、转向轮、滑轮组等设备进行二次利用，在浅滩区范围进行施工布置，使之能应用于后续的浅滩区钢桁梁吊装施工，并在洞庭湖大桥钢桁梁施工中取得了良好的效果。该技术操作简便、经济性好、安全性高、对环境影响小。

关键词：钢桁梁；临时起吊系统；钢栈桥；浅滩区

1 工程概况

大岳高速洞庭湖大桥位于洞庭湖入长江的湘江洪道，全长2 390.18 m，主桥设计为(1 480＋453.6) m双跨钢桁加劲梁悬索桥，钢桁梁主桁架为带竖腹杆的华伦式结构，标准梁段长16.8 m，桁高9.0 m，桁宽35.4 m，最大重量约320 t。

该标段浅滩区的钢桁加劲梁共计17个梁段，其中需跨越防洪大堤、七里山港区及湘江航道，水上交通繁忙，施工环境复杂，安全风险大。根据海事要求，浅滩区梁段施工应尽量减少对航道及港口的影响。经过安全、成本、可操作性等方面比选，决定采用临时起吊系统将浅滩区钢桁梁吊装至栈桥，平移到位后再采用缆载吊机垂直吊装。

2 方案比选

大桥下方湘江航道水运繁忙，主航道靠近岳阳岸一侧，按照海事部门要求，施工期间不得断航。根据以上施工条件，先后拟定了以下3种施工方案：

方案1：搭设运梁栈桥至深水区域，通过浮吊将钢桁梁直接吊装至栈桥上，之后将梁段移运至设计位置，通过缆载吊机进行吊装。

方案2：在运梁栈桥前端增加一台缆载吊机，专门用作钢桁梁起吊荡移上栈桥的设备。

方案3：采用一套由25 t卷扬机、钢丝绳、转向轮、临时索夹、滑车组、吊索及水平牵引索组成的临时起吊系统，将钢桁梁起吊荡移上栈桥。

各方案的技术指标比选见表1。

****

期温度场开裂问题，应用于实际工程，起到了良好的效果。

(2) 针对张拉横向预应力钢束引起主梁起拱、脱架，导致主梁失稳。笔者运用Midas/Civil建立有限元模型，结合实际工程，提出“张拉钢束N1→初张拉索力→二次张拉索力(同时张拉附近钢束N2)”的方案，确保施工安全，很好地解决该问题。

参考文献：

[1] 李琦，陈骑彪，王鹏.混凝土斜拉桥π型主梁早期温度场测试分析[J].公路交通技术，2012(4).
[2] 郭健.混凝土斜拉桥主梁的非稳态温度场与应力场分析[J].中国公路学报，2005(2).
[3] 汪建群.大跨预应力混凝土箱梁桥早期开裂和远期下挠控制[D].湖南大学博士学位论文，2011.
[4] 王宗林，孙勇，李国栋.寒冷地区冬季施工大体积混凝土温度控制[J].中外公路，2015(5).
[5] 李巍，石振武，姜洪伟，等.寒区独塔斜拉桥支架施工控制过程仿真分析[J].中外公路，2015(1).

收稿日期：2018－11－30

表 1 施工方案比选

方案	材料投入	设备投入	质安保证	成本比较	综合评级
方案 1	运梁栈桥需加长 60 m，需增加约 440 t 钢材投入	增加 1 台 500 t 浮吊	施工可控性好，质量有保证，操作便捷	348 万元（浮吊租赁 60 万元/月，3 个月共计 180 万元；新增栈桥约 168 万元）	施工简便，安全性高，但成本过高，对航道、港口影响大，不可取
方案 2	无	增加 1 台缆载吊机	缆载吊机荡吊偏角较大，易造成钢绞线受力不均	270 万元（缆载吊机改造费用）	施工简便，对航道、港口影响小，但有一定的安全隐患，且成本偏高，不可取
方案 3	无	增加 2 套 300 t 滑车组，2 套临时索夹及临时吊索	施工可控性好，质量有保证，操作便捷	40 万元（临时索夹及临时吊索制作 10 万元，滑车组改造 30 万元）	施工简便，对航道、港口影响小，安全性高，主要设备均为自有设备，成本投入低，推荐使用

3 实施方案构思

该技术是在避免大型起吊设备投入的前提下，充分利用悬索桥缆索系统施工既有设备的优势，创造性地采用一种由卷扬机、钢丝绳、临时索夹、滑车组、临时吊索组成的临时起吊系统，利用主缆将数百吨梁段荡吊至栈桥上，更加安全、经济、高效地完成非通航区加劲梁架设施工。

关键技术原理：悬索桥浅滩区加劲梁节段的卸船利用一套由 25 t 卷扬机及钢丝绳、转向轮、临时索夹、300 t 滑车组、临时吊索等组成的起吊系统将加劲梁节段垂直起吊至超出运梁栈桥一定高度，然后利用设置于岸侧地面的由两台 10 t 卷扬机和滑车组组成的水平荡移牵引系统将加劲梁节段水平牵引，在牵引至一定位置时，利用临时起吊系统下放加劲梁节段至运梁栈桥移梁支座上，加劲梁节段通过移梁牵引系统移运至设计位置后，再利用缆载吊机进行垂直吊装。

4 施工设备与实施

4.1 临时起吊系统安装

（1）起吊动力设备

根据加劲梁节段的设计重量，起吊动力设备选择 25 t 变频调速卷扬机为主牵引卷扬机，布置在岳阳岸索塔边跨侧地面上。该卷扬机可单独工作，亦可实现两台联机同时工作；具备自动测速、测长、测力和超载报警保护等功能。根据卷扬机的速度、拉力自动调整力矩电机提供适合的定值力矩，使钢丝绳始终处于张紧状态。所有辅机带有机械锁定装置。

（2）牵引钢丝绳

牵引钢丝绳采用ϕ36 mm 直径的 1 870 MPa 级 6×37S＋1WR 纤维芯钢丝绳。钢丝绳提前装入卷扬机，经塔顶门架上的转向轮、主缆处的转向轮，进入临时索夹上悬挂的滑车组。钢丝绳走 12 道丝，牵引绳总长 3 000 m，满足施工要求。

根据 GB 8918－2006《重要用途钢丝绳》中表 11 可知：起吊钢丝绳破断拉力为 800 kN。

吊装最重梁段为 B2，梁重 320.8 t，实际钢丝绳受力为 3 208/12/2＝133.7 kN；安全系数 K＝800/133.7＝6。满足规范要求。

（3）转向轮

单侧两个转向轮设置在塔顶门架顶的前后端横梁上，为防止牵引钢丝绳与主缆相干涉，转向轮位置设置在距主缆中心位置向塔外横向偏 1 m 处。单侧 1 个转向轮设置在临时索夹侧面，利用钢丝捆紧。

（4）临时索夹

临时起吊系统吊点设计在 B16～B17 梁段之间的主缆上，为了保证起吊系统不对主缆造成损坏，在吊点处设置临时索夹。临时索夹设计同永久索夹，长度为 1 320 mm，直径 875 mm，安装及张拉均按照永久索夹的施工方法进行，以确保施工安全、可靠。

（5）滑轮组

根据设计梁重，考虑起吊系统安全系数，采用 300 t 滑车组，安全系数 1.8；钢丝绳走丝 12 道，安全系数约 6，满足要求。

滑轮组与临时索夹之间采用销接，通过临时吊索悬挂在临时索夹上，临时吊索长度和结构参数参照B17号梁段的永久吊索制造。

(6) 荡移牵引系统

荡移采用 10 t 卷扬机，配 ϕ22 mm 钢丝绳，钢丝绳走 6 丝；前端设置单根 ϕ54 mm 钢丝绳与 300 t 滑轮相连。

根据 GB 8918－2006《重要用途钢丝绳》中表 11 可知：ϕ22 mm 钢丝绳破断拉力 299 kN；ϕ54 mm 钢丝绳破断拉力 1 800 kN。通过计算可知，钢桁梁荡移角度为 13°，B2 梁段的单侧荡移牵引力为 716/2＝358 kN，实际 ϕ22 mm 钢丝绳受力为 358/6＝59.7 kN。

ϕ22 mm 钢丝绳安全系数 K＝299/59.7＝5。满足规范要求。

ϕ54 mm 钢丝绳安全系数 K＝1 800/358＝5。满足规范要求。

4.2 钢桁梁架设施工

(1) 钢桁梁荡吊

在运梁船抛锚定位后，通过 25 t 卷扬机下放下滑车及临时吊索，将临时吊索与加劲梁上的吊耳进行连接，然后开动卷扬机垂直提升加劲梁节段至梁底超出运梁栈桥上的移梁支座顶面。

在加劲梁节段垂直起吊至指定高度后，开动布置于岸侧地面的 10 t 卷扬机，将加劲梁节段水平牵引至移梁支座上方，然后利用 25 t 卷扬机缓缓下放加劲梁节段，将加劲梁节段落位于移梁支座上。

(2) 钢桁梁平移

钢桁梁起吊至移梁支座上，在运梁轨道与移梁支座间安装牵引系统等，利用千斤顶和精轧螺纹钢筋牵引移梁支座，实现钢桁梁的移运。加劲梁节段移运时，应确保上下游移梁牵引系统同步、平稳运行，以确保移梁安全。

(3) 钢桁梁吊装

为加快加劲梁的吊装进度，利用临时起吊系统将加劲梁节段预先吊至栈桥上进行存梁，存梁顺序与梁段吊装顺序应保持一致，即在合龙段江侧梁段吊装的同时，利用临时起吊系统将合龙段岸侧的梁段按照预先确定的安装顺序依次完成卸船，并移运至吊装位置进行临时存储。

在缆载吊机行驶至吊装位置后，再利用缆载吊机逐段垂直起吊，按照安装方案依次完成节段间的临时铰接或刚接，最终完成浅滩区钢桁梁的安装。

5 实施效果

在大岳高速洞庭湖大桥浅滩区钢桁梁吊装过程中，通过方案比选，优化施工方法、创新施工工艺，探索了一种悬索桥浅滩及跨线区等环境条件下的加劲梁架设技术，研发了一套临时起吊系统和跨线移运方法。减少了大型设备的投入，主要利用悬索桥缆索系统施工既有设备组成了临时起吊系统，设备周转效率高，节约直接成本 230 万元，经济效益显著。

相对于多使用柴油发电机组的其他大型吊装设备，临时起吊系统利用电能，相对节省大量油料，且施工噪声小、持续时间短，影响范围小，更加节能环保，为同类型桥梁施工提供了有价值的借鉴。

6 结语

该文为悬索桥浅滩区钢桁梁吊装探索了一种新的方法，体现了资源节约、环境友好的建设理念，经济效果好、安全风险低、操作性更强，具有广泛的推广应用前景。

参考文献：

[1] 王忠彬，沈锐利，唐茂林.悬索桥钢桁架加劲梁施工方法分析[J].石家庄铁道学院学报，2006(1).

[2] 陈重，刘平.钢栈桥施工方法研究[J].技术论坛，2001(1).

[3] 王勇，水上栈桥的设计与施工[J].市政公用建设，2008(5).

[4] 滕小竹.大跨度钢桁梁悬索桥关键问题研究[D].同济大学硕士学位论文，2008

[5] 卫星，刘高，李俊.大跨钢桁加劲梁悬索桥耳板节点试验研究[J].桥梁建设，2009(1).

[6] 姜军，忻刚明，孙胜江.大跨悬索桥加劲梁吊装阶段的施工控制[J].公路，2009(12).

[7] 刘书伟.大跨度悬索桥静动力特性分析[D].长安大学硕士学位论文，2007.

[8] 刘传乐，张国刚.某特大跨径悬索桥跨缆吊机静载试验研究[J].中外公路，2018(5).

[9] GB 8918－2006　重要用途钢丝绳[S].

[10] 田启军，童平江.双导梁架桥机在小半径大横坡山区桥梁施工中的应用[J].中外公路，2018(5).