

文章编号: 0451-0712(2004)12-0047-06

中图分类号: U448.255

文献标识码: B

钢筋混凝土自锚式悬索桥施工

陈长明¹, 樊铁石², 石占良¹

(1. 中铁大桥局集团第二工程有限公司 南京市 210015; 2. 抚顺市公路管理处 抚顺市 150015)

摘 要: 抚顺万新大桥为主跨 160 m 的自锚式钢筋混凝土悬索桥, 主梁采用单箱 5 室钢筋混凝土箱梁, 主缆每根索股首尾相连形成环绕闭合结构。介绍了主梁滑动模架施工、鞍座安装、环绕闭合钢丝绳主缆无猫道施工、索股下料误差的解决、体系的转换施工等, 同时还介绍了该桥采用的新技术及对新技术的分析。

关键词: 万新大桥; 自锚式悬索桥; 主梁施工; 鞍座安装; 主缆施工; 体系转换

1 工程概述

抚顺万新大桥主桥为双索面自锚式钢筋混凝土悬索桥, 主跨 160 m, 边跨 70 m, 锚固跨 15 m, 全长 330 m。全桥立面布置见图 1 所示。主梁采用单箱 5 室钢筋混凝土箱梁, 梁体中心高为 2.5 m, 设双向 1.5% 横坡, 纵向设半径 $R=7\ 000$ m 凸形竖曲线。主缆由 85 根 $\phi 54$ mm 镀锌钢丝绳组成, 钢丝标准强度为 1 960 MPa, 主缆直径 546 mm, 主缆中心距 26.5 m, 中跨矢跨比为 1/6。塔顶设可滑动索鞍, 每个锚固跨

主梁内设 2 个滑动索鞍和 1 个固定索鞍, 全桥共 10 个索鞍。单根钢丝绳索股绕过全桥 10 个索鞍后, 在锚固跨梁内通过螺纹连接杆与连接套筒首尾相连形成环绕闭合索股, 每根索股仅 1 个接头, 全桥分 4 个接头区(8 个主要接头断面)对接主缆索股。主梁每 5 m 设一道横梁, 横梁两端设索导管, 吊杆采用 121 $\phi 7$ mm 镀锌高强平行钢丝, 强度为 1 670 MPa, 吊杆穿过索导管, 用螺母锚于横梁下。主缆平面及放索平面布置见图 2 所示。

收稿日期: 2004-07-26

时除按常规法进行锚头下及内球面垫圈下压应力和剪应力及各主要截面的弯曲、剪切应力的验算外, 还采用了三维有限元法进行应力、变形校核计算。

5.2.3 预应力锚固组件件

预应力锚固组件件由钢绞线、锚具、预埋钢管和防护帽组成。锚具由锚头、夹片、锚下垫板、螺旋筋及密封圈等组成。为方便施工, 采取前锚面一端张拉, 张拉控制应力为 $0.7 R_y^b$ 。张拉完毕后, 从后锚面向前锚面方向压注防腐油脂。在后、前防护帽端部设有注油孔和出油孔。

锚具静载锚固效率系数 $\eta_A \geq 95\%$, 破断时总应变 $\epsilon_u \geq 2\%$; 动载性能通过应力上限为 $0.65 \sigma_b$, 应力幅为 130 MPa, 循环次数均为 200 万次的疲劳试验。

预应力管道内径为 158 mm 和 209 mm, 管道及锚头孔眼设计应保证钢绞线不弯曲、不扭绞。锚头设有过油孔。锚下垫板及螺旋筋的设计应满足锚下混凝土为 30 号的受力要求, 通过三维有限元锚下应力分

析, 确定锚下垫板、螺旋筋的构造及尺寸。由于为无粘结式, 为保证安全, 锚头夹片后设置防松装置。

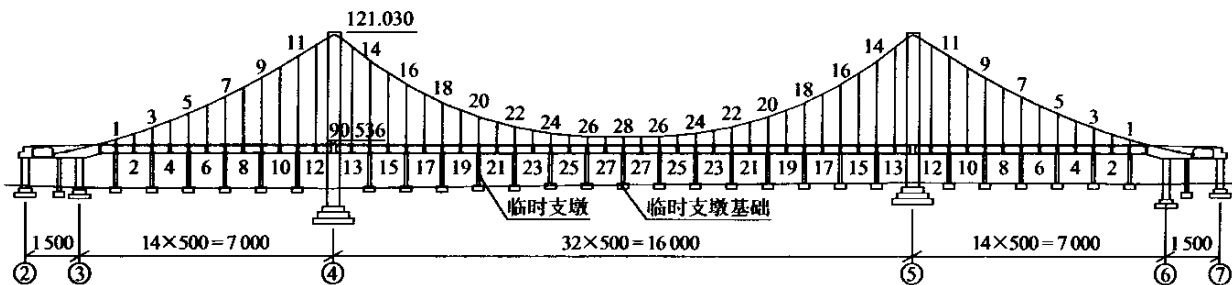
5.3 锚固系统的防腐

在锚室内设抽湿设备使锚室内相对湿度不大于 40%。

钢绞线采用表面喷涂环氧树脂防腐保护层及预应力管道内灌注防腐油脂的双重防腐体系, 在前锚面设置有油脂面观测管, 桥梁运营期间根据油面观测结果决定是否实施补充灌注。

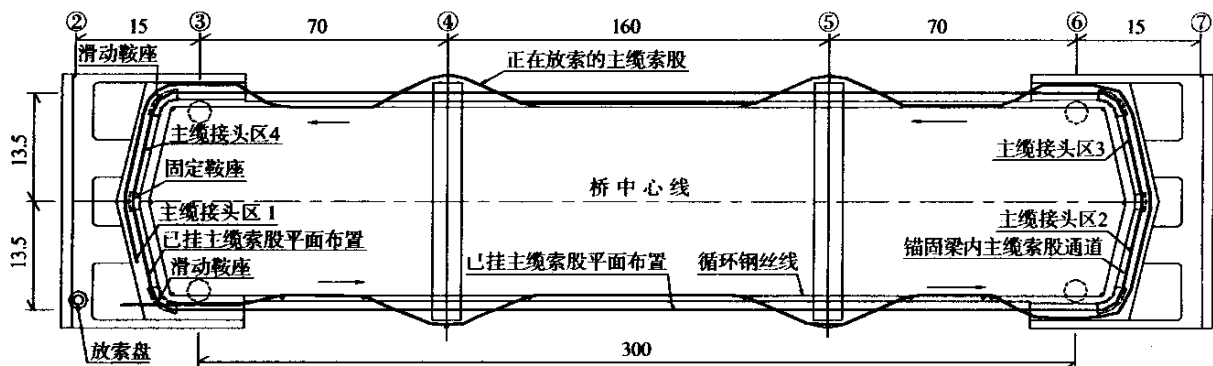
参考文献:

- [1] 刘明虎. 悬索桥重力式锚碇设计的基本思路[J]. 公路, 1999, (7).
- [2] 刘明虎. 桥梁深大基坑工程方案设计[A]. 第五届交通青年学术会议论文集[C], 2003.
- [3] 周山水, 刘明虎, 等. 厦门海沧大桥锚碇设计[A]. 1999 年桥梁及结构工程学会论文集[C].
- [4] 润扬长江大桥南汊桥锚碇投标方案及施工图设计文件.



单位:cm

图 1 全桥立面布置



单位:m

图 2 主缆平面布置及放索平面布置

2 工程特点

(1) 自锚式钢筋混凝土悬索桥需先在支架上浇筑完成主梁,再安装主缆及索夹,最后张拉吊索将主梁荷载转换到主缆上,完成受力体系转换。主梁在无预应力或少预应力下需存放一段时间。

(2) 梁上滑动鞍座成螺旋形将主缆转向至桥中心线处,同时将主缆荷载传至主梁。通过滑动鞍座的滑动将锚固跨内的主缆受力伸长量转移至边跨。

(3) 钢丝绳主缆索股自身空隙率较大。

(4) 主缆经塔顶鞍座转向后,在边跨内索股由塔顶水平面进行空间旋转至锚固跨滑动索鞍出口处变为铅垂面,最后在锚固跨梁内首尾相连接,形成环绕闭合结构,结构独特、新颖。

(5) 自锚式悬索桥吊索必需严格按照一定的安装和张拉顺序、张拉力进行施工,才能在确保结构安全的前提下将主梁荷载由临时支墩转移到主缆上,才能减少临时接长杆和张拉次数。

3 主梁施工技术

3.1 施工进度数据

采用临时支墩加滑动模架法施工主梁。主要施工

方法为:在主梁横梁下采用钢管桩作为临时支墩,临时支墩间设桁架分配梁,分配梁上设滑动模架,主梁施工完成后支架及模板在分配梁上向前滑移,施工下一节段,临时支墩支撑主梁。

该方案支架模板能周转使用,因此投入较少,不受洪水影响,但需采取技术措施防止主梁施工形成多跨连续梁后在大温差环境下的开裂问题。

3.2 施工方法

3.2.1 施工布置

临时支墩纵向按 10 m 间距布置在主梁的横隔墙的下方(见图 1)。主梁纵向除第一段浇筑 13 m 外,其余每次均浇筑 10 m。滑动模架纵向长 24 m,其上铺 21 m 长的底模,浇筑两段梁体混凝土后,前移贝雷梁支架及模板。主梁施工纵向布置见图 3 所示。

主梁横向布置 4 根钢管桩,钢管桩支撑在梁底。临时支墩间焊接连接系桁架以安放滑动模架纵梁。纵梁下设卸落装置。主梁施工横向布置见图 4 所示。

3.2.2 滑动模架标高调整及卸落装置

为方便脱模,在滑动模架下设砂筒,砂筒顶用楔块调整标高。主梁施工完成后,将砂筒内的沙放出,滑动模架脱模。

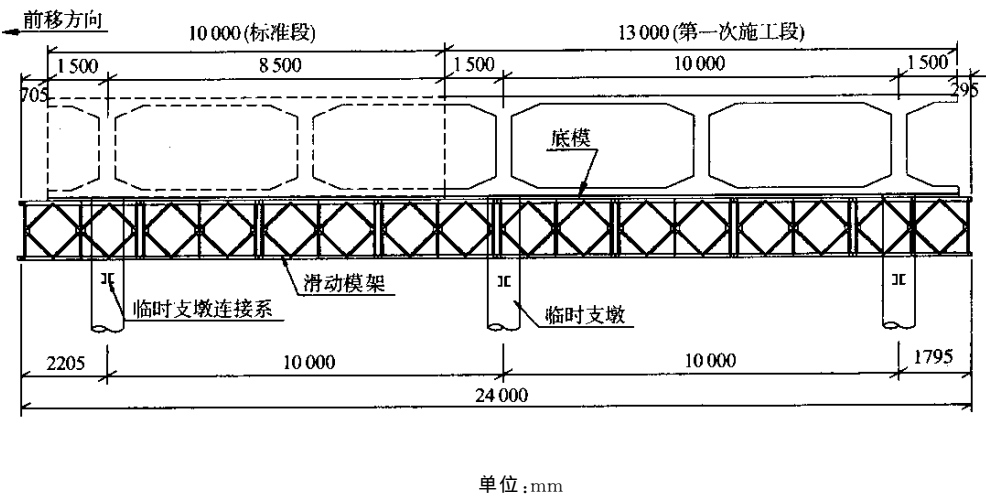


图 3 主梁施工纵断面布置

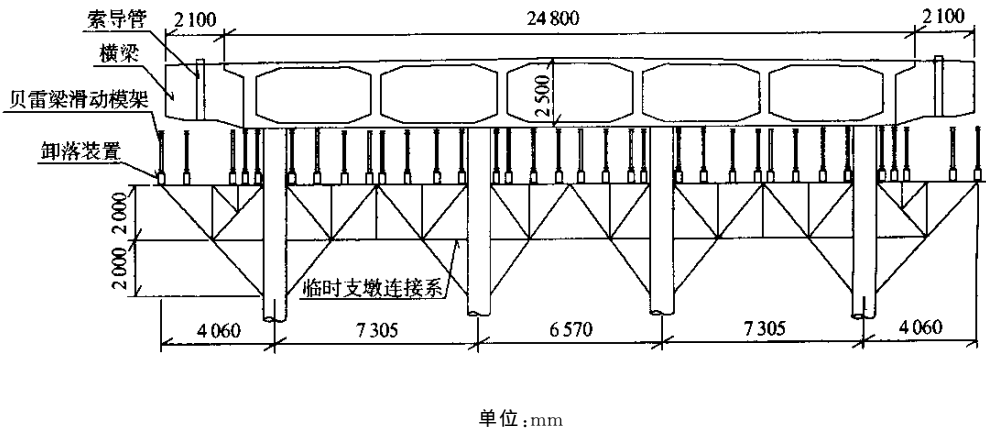


图 4 主梁施工横断面布置

3.2.3 滑动模架的前移

在每组贝雷梁前端设牵引装置,牵引滑动模架前移,施工下一节段梁体。全桥主梁施工完成后,临时支墩支撑主梁(见图 1)。

4 鞍座施工技术

4.1 塔顶鞍座安装

利用塔顶鹰架将鞍座从主塔上(下)游侧起吊至超过塔顶 0.5 m 后,再用水平向的导链将起吊底座水平横移到塔柱中心线,缓慢放下鞍座至底板,并用 2 台手动千斤顶及 2 台倒链配合,将鞍座就位。

4.2 梁内鞍座安装

梁内固定鞍座为整体铸件,重 6.4 t;滑动索鞍鞍体与座板分离,接触面为圆弧状滑动面,其底板重 3.2 t,鞍体重 12.7 t。固定鞍座成 13.025°水平倾斜安装,滑动索鞍成螺旋形水平倾斜安装。施工锚固梁混凝土时,鞍座后预留足够空间锚块混凝土暂不浇注,

仅浇注该部分底板混凝土,在底板上埋设预埋件,焊接定位支架,用调整支架来调整滑动鞍座底板和固定鞍座的空间位置,将鞍座底板作为模板的一部分与预留的锚固梁混凝土一起浇注,以保证鞍座与梁体紧密接触。待滑动鞍座底板后面混凝土达到强度后,再设调整支架安装滑动鞍座鞍体。

5 主缆施工技术

5.1 施工方案

由于主缆索股线形的控制可以仅在主、边跨跨中进行测量监控;自锚式悬索桥具备梁面放索条件;环绕闭合钢丝绳主缆采用猫道放索时对猫道侧向刚度要求高,且牵引力损失较大,猫道上放索较为困难;钢丝绳主缆索股不同于平行钢丝索股,不会出现鼓丝现象,不需要处理丝股。因此采用了梁面展放主缆索股、单根索股闭合后整体起吊的无猫道法安装索股方案。单根索股起吊入鞍后,在主、边跨跨中测量支架

上测量并控制索股线形,直至该索股线形满足设计及规范要求后,再安装其他索股;一个接头区索股安装完后,同理安装其他三个接头区主缆索股。

主缆索股架设完成后,利用吊篮进行初紧缆;然后在主缆上设移动平台作为索夹及吊索安装工作平台;作体系转换时用吊篮施拧高强螺栓;由于主缆采用不缠丝防腐体系,当体系转换完成后利用主缆检查走道和施工吊篮进行防护施工。

5.2 安装方法

5.2.1 梁面放索

在主梁顶面沿主塔内侧布置闭合钢丝绳作循环索(见图 2)。循环索带动主缆索股从放索盘中牵引出来,进入边跨主梁顶面,绕过主塔外侧,再进入主跨主梁顶的放索道上,接着绕过另一主塔外侧进入另一侧边跨主梁顶面,然后进入到锚固梁内主缆索股通道,转向到下游。同理从下游循环至放索端,索股首尾相接,将主缆索股在梁面完全展开。索股接头连接前,必须检查同一根钢丝绳是否有扭转,若钢丝绳有扭转应先将钢丝绳放松扭转力,并顺直后方可连接接头。

5.2.2 主缆起吊入鞍

在 4 号、5 号主塔每个塔柱附近设 2 个主缆钢丝绳夹具,利用 4 号、5 号墩塔吊同时起吊上(下)游侧单根钢丝绳索股。将索股标记点与索鞍对齐,然后将索股放入鞍槽内。

5.2.3 主缆调整

将主缆索股中点附近的固定索鞍标记点对齐梁上固定索鞍,并临时固定;然后向两侧滑动索鞍调整。接着再按边跨、主跨、边跨方向上下游同时调索,最后调整索股接头处的长度。

调整时采用同步对称均衡调整法,防止主缆发生循环错动。每根索股调整好后,做好标记以观测索股是否错动。

为方便主缆线形调整,先计算出调整参数间的相互关系可大致调整索股,然后再微调。索股垂度与无应力索长的关系:中跨 $\Delta f_{\text{中}} = 1.345 \cdot \Delta S_{\text{中}}$,边跨 $\Delta f_{\text{边}} = 3.875 \cdot \Delta S_{\text{边}}$ 。索股垂度与温度之间的关系:中跨 $\Delta f_{\text{中}} = 2.9 \cdot \Delta t_{\text{中}}$,边跨 $\Delta f_{\text{边}} = 4.685 \cdot \Delta t_{\text{边}}$ 。

5.2.4 主缆整形

主缆索股安装完成后,先在主、边跨跨中位置用专用整形工具将主缆初整形后,用钢丝将其绑扎固定,然后再进行加密整形。由于采用大直径钢丝绳作主缆,无法将主缆挤圆,且两索夹间空隙仅约为 4 mm,

主缆未进行挤圆。

5.2.5 索夹安装

在主缆上设移动平台,用塔顶卷扬机牵引移动平台到索夹待安装位置,塔吊或汽车吊起吊索夹,然后安装。由于索股间缝隙较大,索夹安装前在索股最外层缝隙内填充 3 种规格,不同数量的镀锌圆钢,将主缆初步填充为圆形,防止受力后发生变位,影响索夹对主缆的握裹力。

5.2.6 吊索安装

1~14 号吊索因其下端锚杯露出锚垫板,故随索夹一起安装;15~28 号吊索下端锚杯未露出锚垫板,故在体系转换时将接长杆及张拉杆安装于吊索上,整体穿入主梁索道管内。

6 体系转换施工技术

6.1 体系转换方案

经优化采用上下游、南北侧 4 点同步对称张拉方案。第一遍张拉时边跨吊索不张拉,通过顶推鞍座和中跨吊索张拉,使边跨吊索受力和中跨主缆迅速下降,减少接长杆数量和长度。

采用同直径同螺纹拆装式接长杆将部分吊索接长,然后分级多遍张拉吊索,将接长杆逐步张拉出锚板后分节拆除,最后将吊索锚杯螺母按设计要求戴到位,梁体荷载转移到主缆上,完成体系转换。

6.2 体系转换施工方法

6.2.1 第 1 遍张拉

先安装 1~13 号吊索并将吊索下端锚杯螺母戴帽,见图 5(1);然后将鞍座顶推 10 cm,再安装 14 号吊索,4 点同步对称张拉 14 号吊索至锚杯完全戴帽;依次张拉 15~20 号吊索至锚杯戴帽,见图 5(2);安装 21~28 号吊索接长杆(共 30 根),再依次张拉 21~28 号吊索至接长杆戴帽,见图 5(3)。第 1 遍张拉后鞍座预偏量由 53 cm 变为 15 cm。

每根吊索张拉后,立即用频谱分析法测量该根吊索,根据张拉力修正测量值。

6.2.2 全桥吊索第 2~第 4 遍张拉

第 2 遍张拉时以塔顶位移控制,尽量不顶推鞍座,从主塔两侧 12→1 号和 13→28 号吊索交替张拉,第 3 遍从 21→28 号吊索张拉,第 4 遍从主塔两侧 12→1 号和 13→28 号吊索交替张拉,张拉完成后跨中主梁上拱 56 mm。

吊索每遍张拉后,将所有索夹高强螺栓施拧一

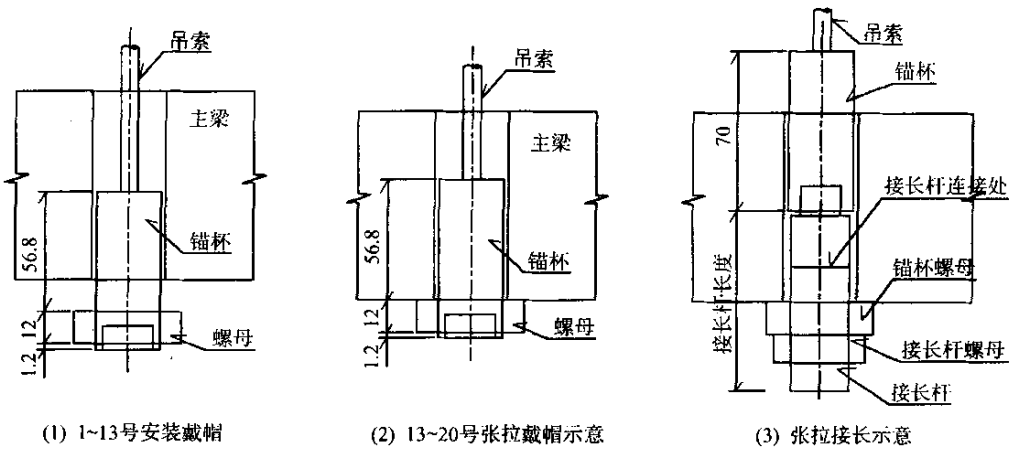


图 5 体系转换状态

遍;同时测量所有吊索拉力,确定下一遍吊索张拉力及主缆下降量。

待桥面铺装完成后,从主跨跨中向边跨(28→1号)吊索张拉;测量吊索拉力,并局部调整吊索拉力。

将主塔顶向边跨预偏 5.5 cm,张拉吊索使主梁跨中上拱 6.5 cm,为该桥活载及混凝土后期收缩、徐变预留安全度,完成体系转换,拆除临时支墩。

6.3 施工控制

该桥施工控制中,重点控制主塔应力及吊索最大张拉力。吊索张拉过程中,每根吊索张拉以200 kN为一级,张拉后立即观测塔柱变形,当塔顶位移初期偏离中心线超过 20 mm,后期超过40 mm时,立即向主跨顶推鞍座,确保主塔应力安全。通过频谱法测定的

吊索拉力与张拉拉力的修正关系,检测吊索张拉过程中非张拉吊索拉力;张拉吊索利用张拉力控制。通过控制吊索拉力来控制梁体应力,确保主梁应力安全。

7 本工程施工的重点、难点及新技术

7.1 多跨连续梁在大温差环境下的施工措施

由于 330 m 主梁合拢后,形成 34 跨连续梁,见图 1。为防止箱梁在大温差下产生温度裂纹,除主跨跨中的临时支墩顶设固定支座外,其余临时支墩墩顶设双向滑动支座。滑动支座顶层钢板预埋在主梁横梁下面。设置滑动支座后,在大温差下梁体发生了较大的纵向位移,见表 1。

表 1 梁体纵向位移实测值

序号	南 观 测 点					北 观 测 点				
	观测日期	观测温度 C	距桥中心 m	理论伸长值 mm	实测伸长值 mm	观测日期	观测温度 C	距桥中心 m	理论伸长值 mm	实测伸长值 mm
1	2003.12.12	-10	161.338	0	0	2003.12.12	-10	162.278	0	0
2	2004.3.17	3	161.338	21	12	2004.3.17	6	162.278	26	18
3	2004.4.11	9	161.338	31	29	2004.4.11	14	162.278	39	37
4	2004.4.29	13	161.338	37	31	2004.4.29	13	162.278	37	31

7.2 主缆索股下料误差及处理方法

索股下料长度相对误差及主缆连接螺杆调节范围按±20 cm(精度为 0.278‰)设计。全桥实际索股下料长度相对误差达-850 mm~+766 mm,超出主缆调节螺杆可调范围。

为此现场针对短索采用增加多节接长杆解决;针对索长长度超过标准值 50 cm 以下时,通过将52 cm

长的连接套筒改为 25 cm 的短连接套筒予以解决;针对索长长度超过标准值 50 cm 以上时,采用切除一节主缆长度,现场浇注主缆接头锚具予以解决。

7.3 主缆空隙率处理

由于主缆空隙率较大,当主缆体系转换受力后,其空隙收缩较为明显,但在索夹高强螺栓补拧时,索夹缝隙减小较少,索夹下部索股与索夹脱空,在体系

转换过程中分阶段补充镀锌钢棒保证索夹与主缆的夹紧程度。

7.4 体系转换时的张拉力

体系转换时采用成桥荷载的 1.4 倍拉力进行张拉,减小了体系转换次数,检验了索夹抗滑能力。

7.5 体系转换接长杆

吊索第一遍张拉后,吊索帽杯距锚板最长距离为 135 cm,因此需增设接长杆;受接长杆材质、与张拉杆连接强度、锚杯螺母内螺纹直径等限制,接长杆外径选为 $\phi 216$ mm,由于其大于张拉千斤顶穿心杆直径,因此接长杆必须在撑脚内拆除,而接长杆又太长,所以现场将接长杆设计为两节同直径、同螺纹的接长杆对接,张拉时分段拆除。

同直径接长杆需解决 2 个技术问题:第一,接长杆受力时其螺母需顺利通过接头连接处;第二,接长杆外螺纹加工及拆装张拉杆时不能松动接头连接处螺纹,否则丝扣错位接长杆螺母无法通过接头处。针对该技术问题,增加接头处连接内螺纹精度,组装接长杆并用定位销固定,再整体一次加工接长杆外螺

纹,并配低一级精度的螺母。施工时所有接长杆螺母均顺利通过接头区,且接长杆均分段拆除。

8 结语

实践证明,自锚式钢筋混凝土悬索桥主梁采用临时支墩加滑动模架施工是较为有效的,临时支墩上设置简易的四氟滑板支座较为有效地满足了梁体的自由伸缩;环绕闭合主缆采用梁面放索的无猫道施工方案是可行的,施工也较为方便;环绕闭合主缆下料时宜尽量使其出现负公差,以方便施工,同时闭合主缆接头可采用多节分级接长的办法来适应主缆下料长度误差;同直径、同螺纹分段接长的连接杆可用于受张拉空间、张拉力限制的悬索桥体系转换或斜拉桥拉索张拉。

参考文献:

- [1] 石占良,陈长明. 自锚式悬索桥钢筋混凝土主梁施工[J]. 桥梁建设,2004,(2).

Construction of Reinforced Concrete Self-Anchored Suspension Bridges

CHEN Chang-ming¹, FAN Tie-shi², SHI Zhan-liang¹

- (1. The 2nd Engineering Company of China Zhongtie Major Bridge Engineering Group Co. Ltd., Nanjing 210015, China;
- 2. The administrative office of the Fushun Public Highway, Fushun 113006, China)

Abstract: The Wanxin major bridge in Fushun City is a reinforced concrete self-anchored suspension bridge with main span 160m. The main girder is a single reinforced box with five rooms. The strand head and tail connects each other to become the stemming oval main cable. Main girder slide standard construction device, saddle installation device, erection of stemming oval main cable without catwalk, solution of main cable strand error, system conversion construction device are introduced as well as the new adopted technique and new technical analysis in this paper.

Key words: Wanxin major-bridge; self-anchored suspension bridge; main girder construction; saddle install; main cable erection; system conversion