

柳州双拥大桥缆索体系转换

卢小芬 张枫林 甘科 向宝城

(柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005)

摘要:柳州双拥大桥跨越柳江,主桥为三跨连续钢箱梁悬索桥,采用单主缆重力式锚碇悬索结构。主桥采用主缆架设和箱梁顶推同步,最后通过吊杆张拉实现体系转换的方式进行施工。独特的主桥结构和新颖的施工程序,为该桥建设过程增加了亮点。

关键词:双拥大桥 悬索桥 单主缆 体系转换

1 工程概况

柳州双拥大桥跨越柳江,全长1938.091m,主桥桥式为A塔单索面(40+430+40)m三跨连续钢箱梁悬索桥。全桥仅设单根主缆,主缆两端采用重力式锚碇,主缆在成桥状态下的矢跨比为1:9。主跨内的吊杆采用斜吊杆(靠近塔柱部位)和直吊杆(跨中部位)两种形式。双拥桥缆索系统平面及立面布置图见图1。

一般情况下,地锚式悬索桥采用先缆后梁的架设方法,即先进行主缆安装,后逐段吊装钢箱梁的方法进行施工。由于本桥为单主缆结构,吊装时结构的稳定性较难掌控,且主缆架设和钢箱梁吊装焊接施工都要占用主工期,施工工期较

长。经多方面对比和研究,最终选定缆索架设、主梁顶推同步施工,最后通过张拉吊杆实现体系转换的方式进行施工,一举解决上述两个难题。

2 缆索结构简介

本桥仅设1根主缆,采用PPWS法(预制平行钢丝索股法)编制,主缆由91股预制平行钢丝索股组成,每根索股含有127根直径为 $\phi 5.2\text{mm}$ 的镀锌钢丝,抗拉强度为1670MPa。主缆索股锚头采用套筒式热铸锚,通过锚碇前端的预应力锚固系统锚固在锚碇的前锚面上。主缆紧缆后索夹处直径为 $\phi 617\text{mm}$,索夹间为 $\phi 625\text{mm}$ 。主缆索股结构见图2。

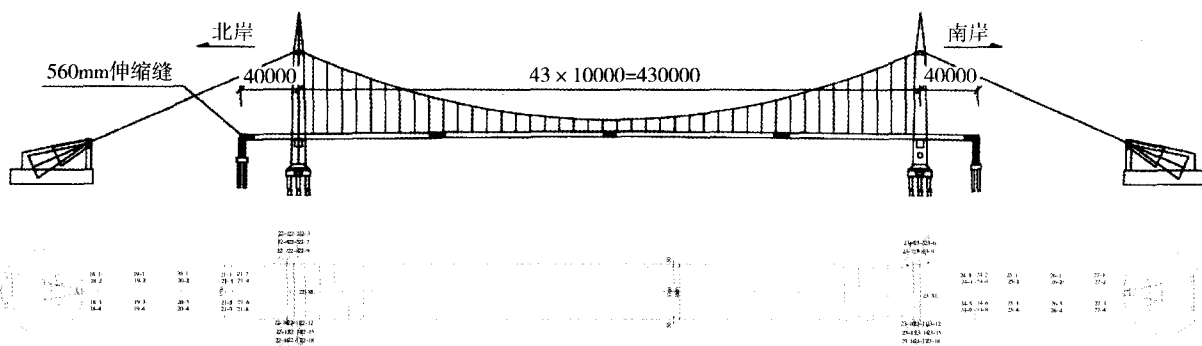


图1 双拥桥缆索系统平面及立面布置图

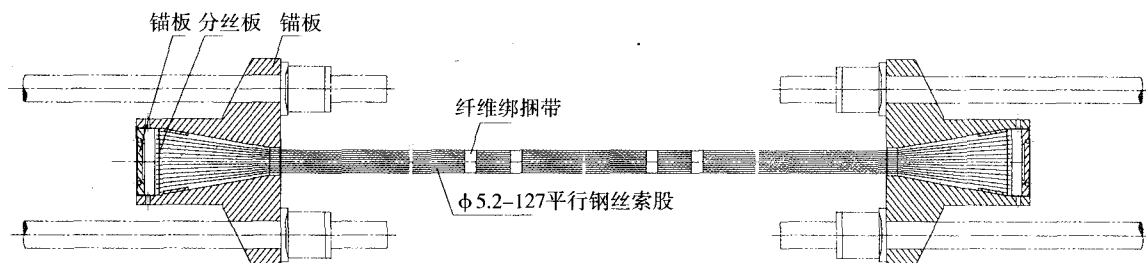


图2 主缆索股结构

吊杆仅设于中跨，全桥共84根，采用长度可调节平行钢丝索，靠塔侧5对吊杆在横桥向人字形布置为斜吊杆，其余为竖直吊杆。吊杆上、下端均采用叉耳形式分别与索夹耳板和钢箱梁吊点连接。吊杆下端设有调节装置和连接杆，通过旋转调节装置可以改变吊杆的长度。吊杆长度可调节范围可达±200mm，以满足将来桥梁在使用状态下可能出现的对吊杆长度进行调节的需要。吊

杆规格有PES(H)7-109和PES(H)7-85两种，破断力分别为7005kN和5463kN。吊杆构造图见图3。

吊杆索夹分为A、B、C、D、E、F类，其中A、B类索夹安装斜吊杆，下设双耳板向两侧张开，每个耳板安装1根吊杆，指向对应的下吊点位于钢箱梁两侧。其他竖吊杆的索夹为单耳板，对应的下吊点位于箱梁中线上。吊杆索吊点示意图见图4。

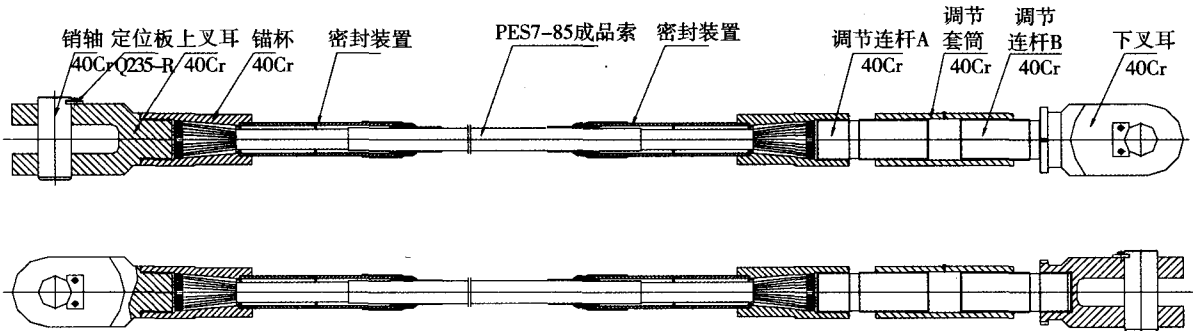
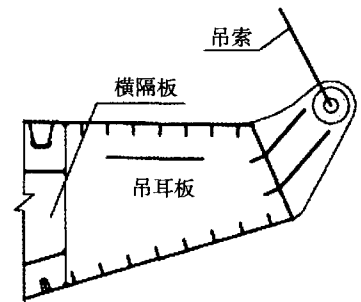
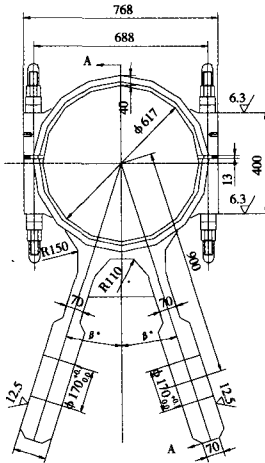
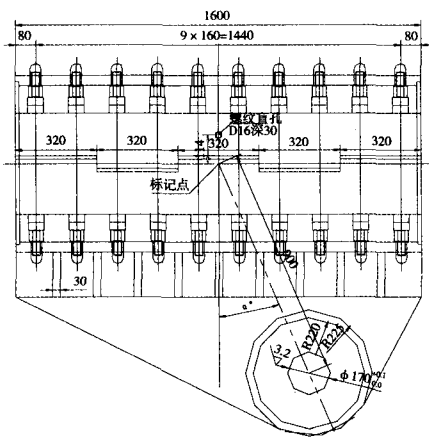
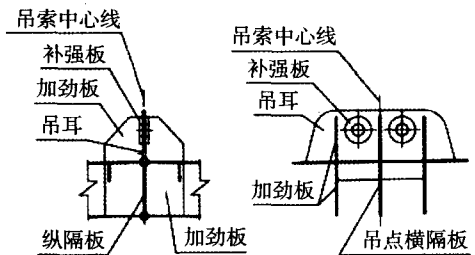
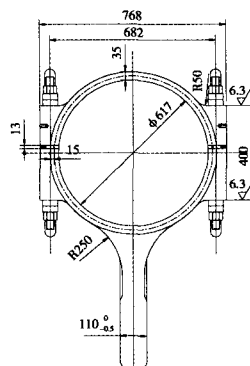
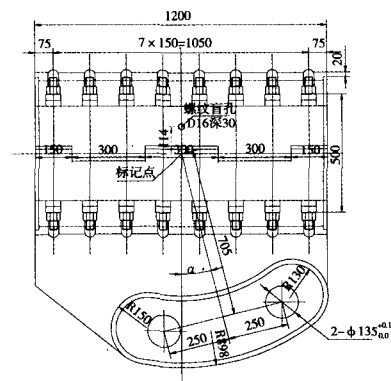


图3 吊杆构造图



(a) 斜吊杆索夹和下吊点示意图



(b) 竖吊杆索夹和下吊点示意图

图4 吊点示意图

3 转换施工

双拥大桥地锚式悬索桥采用了类似自锚式悬索桥的先梁后缆的施工顺序,通过张拉吊索将主梁的重量转换到主缆上,张拉吊索的过程就是结构体系转换的过程。由于张拉吊索的过程是主缆内力逐渐增加、体系不断变化的过程,每一阶段结构的刚度都不一样,因此吊索张拉的过程需要经过详细的计算,在满足各种控制条件的方案中择优选择。

3.1 主要控制因素

在吊索张拉的初始阶段,由于主缆处在空缆状态,主缆的拉力比较小,因此初始张拉阶段可能出现需要的张拉力小但变形比较大的问题。对于主缆与吊索变形大不会产生过大的内力,但是对于桥塔,由于开始阶段主缆传给桥塔顶的压力比较小,塔顶的变形将引起塔底产生较大的弯矩,使塔可能会因为拉压应力过大而产生开裂,此时桥塔应力与偏位成为控制因素。

随着吊索张拉数量的增多,主缆的内力越来越大,主缆的重力刚度也越来越大,这时张拉吊索结构变形越来越小,但是为张拉到设计位置需要的拉力就远比初始时大得多,这时吊索的承载力、主梁的应力就成为控制因素。对于双拥大桥体系转换工序,应遵循以下原则:

(1) 张拉过程中永久吊索的安全系数不能太小,在吊索张拉过程中吊索单肢(每根吊索由2肢构成)拉力应控制在2250kN以下。对于本桥中C类吊杆采用 $\phi 7-85$ 高强镀锌钢丝索,极限承载力为5463kN,施工过程中安全系数在2.43左右,对吊索的安全是有保证的,对耐久性也不会产生太大的影响。

(2) 张拉过程中主梁的应力满足规范要求。在施工过程中主梁的应力在前期阶段都不大,在最后阶段是控制因素。

(3) 体系转换过程中桥塔的拉压应力不超过规范允许的应力值。

(4) 体系转换过程中结构的稳定性满足要求,主要是考虑临时支墩的受力的合理性。

3.2 转换施工过程

为了体系转换施工顺利进行,采取了如下措施:

(1) 钢箱梁施工时标高预抛高15cm,以降低体系转换施工过程中的吊杆拉力。

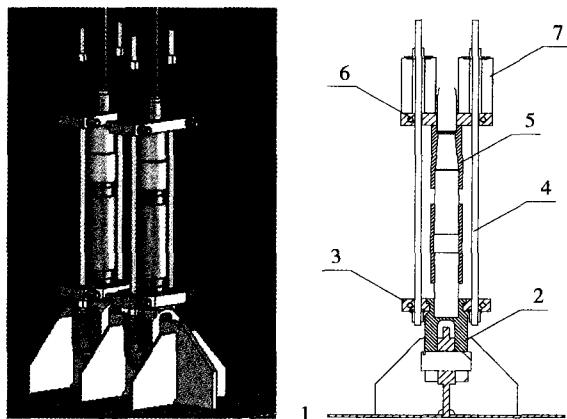
(2) 为了使主塔两侧水平力平衡,主索鞍在初始安装时向边跨侧偏移941mm,在主索鞍的边跨侧安装两台YCW400B千斤顶,随着体系转换的进行,将主索鞍逐步向设计位置顶推,最终达到设计位置。主索鞍顶推量详见表1。

表1 主索鞍顶推量

顶推次数	工况	顶推量(mm)
1	张拉完2#吊杆	341
2	张拉完9#吊杆	200
3	张拉完10#吊杆	110
4	张拉完11#吊杆	115
5	张拉完12#吊杆	70
6	张拉完21#吊杆	105(顶推到位)

(3) 体系转换时,跨中主缆最大竖向位移超过6m,而吊杆的正常可调节长度为 ± 200 mm。为了顺利完成体系转换,采用临时拉杆将吊杆接长。在下端锚具顶端设置一扁担梁A,在下叉耳台阶处设置另一扁担梁B,扁担梁之间通过张拉杆连接,并在扁担梁A顶部用千斤顶进行张拉(吊杆张拉示意图见图5)。待连接杆和调节套筒对接之后,通过调整连接套筒的位置便可达到调整吊杆索力的目的。

吊杆需接长的连接杆长度如表2所示。



1-箱梁 2-吊耳 3-扁担梁A 4-张拉杆
5-下端锚具 6-扁担梁B 7-千斤顶

图5 吊杆张拉示意图

表2 连接杆长度

工况	连接杆计算长度 (m)
第一次张拉锚固吊索1#	0.370
第一次张拉锚固吊索2#	0.430
第一次张拉锚固吊索3#	0.496
第一次张拉锚固吊索4#	0.499
第一次张拉锚固吊索5#	0.566
第一次张拉锚固吊索6#	0.710
第一次张拉锚固吊索7#	0.830
第一次张拉锚固吊索8#	0.965
第一次张拉锚固吊索9#	1.129
第一次临时张拉吊索10#	1.289
第一次临时张拉吊索11#	1.588
第一次临时张拉吊索12#	2.100
第一次临时张拉吊索13#	2.594
第一次临时张拉吊索14#	2.933
第一次临时张拉吊索15#	3.183
第一次临时张拉吊索16#	3.023
第一次临时张拉吊索17#	2.579
第一次临时张拉吊索18#	2.176
第一次临时张拉吊索19#	1.678
第一次临时张拉吊索20#	0.908
第一次临时张拉吊索21#	0.604

(4) 转换过程中(见图6)多根吊杆分阶段协调张拉,特别是进行到后阶段的时候,吊杆力较初始时大得多,分散张拉能有效降低施工过程中的临时张力。

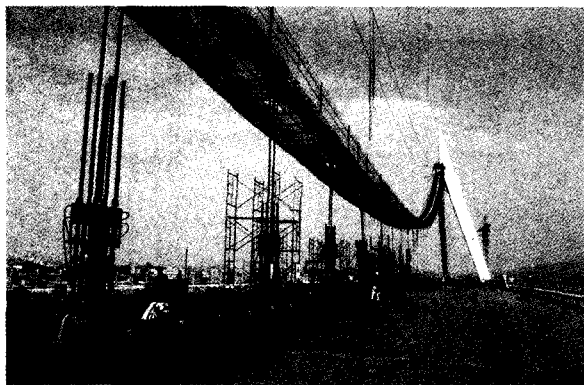


图6 体系转换施工

(5) 根据施工监控指令,体系转换共分为88个工况完成,每一步对吊杆临时张力、位移以及索鞍偏移量严格控制。

(6) 在江中临时墩支架上设计专用的顶升降梁装置,每个支架上安放两台500T顶升千斤顶。待体系转换完成后,将整幅钢梁顶起,拆除下支撑后,将钢箱梁缓缓下放,钢箱梁完全由原来的临时墩支撑状态转换为缆索悬吊状态。

4 技术保证措施

(1) 吊杆需按设计长度精确下料制作。

(2) 索夹位置应按施工监控指令进行精确放样。

(3) 体系转换前张拉吊杆的千斤顶、油表应精确标定,使用刻度分划较细的油表,同一油泵控制的两个同步千斤顶当在满量程时,相同油压下的顶推力差值小于100kg,索力容许误差 $\pm 1\%$ 。

(4) 各鞍座的顶推量偏差在 $\pm 2\text{mm}$ 之内,顶推时机不容许有偏差。纵桥向两个鞍座的顶推必须同步,两个鞍座未完全按控制指令的位置就位前不得进入下一工序的施工。鞍座顶推作业时,施工和监理技术人员一定要在现场。

(5) 纵向同一对吊杆张拉锚固的进度必须同步,采用对讲机通信,纵向同一对吊杆未完全按控制指令就位前,不得进入下一工序的施工。

5 结语

柳州双拥大桥是目前世界上最大跨度的单主缆斜吊杆地锚式悬索桥,采用先梁后缆的方式进行施工,解决了单主缆吊梁稳定性问题,加快了施工进度,但也增加了体系转换施工的难度。最终通过精确模拟计算和严格控制施工过程,完美实现施工目标,许多宝贵经验值得借鉴。

参考文献

- [1] 严国敏编. 现代悬索桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [2] 雷俊卿, 郑明珠, 徐恭义编. 悬索桥设计[M]. 人民交通出版社, 2002.
- [3] 中华人民共和国行业标准. JTJ041-2000 公路桥涵施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.