

自锚式悬索桥上部结构新颖施工方法介绍

孙剑飞 方建回 谭乔清 李丽芬

(柳州欧维姆工程有限公司 545005)

摘要: 突破传统自锚式悬索桥先有梁后架缆的施工工艺, 介绍自锚式悬索桥一种新颖的上部结构施工方法, 重点介绍苏州竹园大桥上部结构的施工, 并结合该桥及国内工程实际, 对同类型桥施工提出建议。

关键词: 悬索桥 端锚梁 临时锚索 索力转换 防护

1. 工程概述

竹园大桥位于苏州市区, 横跨京杭大运河, 东连劳动路, 西接竹园路, 是连接苏州城区和新区的重要纽带。该桥全长378m, 主桥采用三跨自锚式悬索桥, 跨径组合为33+90+33米, 桥梁全宽37米, 主桥除边跨端锚段采用砼截面形式外, 其余均为叠合截面, 全桥叠合梁高2.45米, 桥梁纵向设 $R=2500$ 米的竖曲线, 竖曲线基本覆盖了主桥全长, 两侧接3%的纵坡, 桥面横坡为双向坡, 坡度为2%。该桥的建设将极大改善苏州城西的交通状况, 加强中心城区和新区的联系, 进一步优化苏州的投资环境, 其新颖的结构造型, 堪称“桥梁皇后”, 为江南水乡增加了一道靓丽的风景(立面图如图1)。

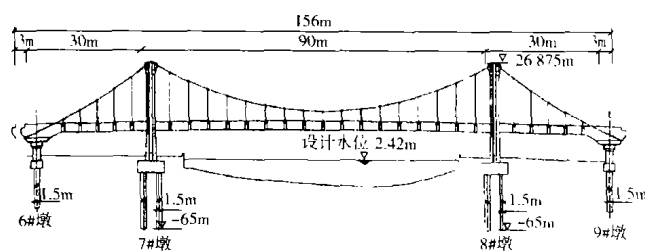


图1 立面图

2. 工程特点

2.1 主跨90m的叠合梁自锚式悬索桥为目前国内跨度之最, 在同类型桥中第一次采用无支架水中施工, 用临时锚碇结构平衡施工各阶段主缆轴力, 技术复杂, 科技含量高。

2.2 主桥采用叠合梁的全漂浮体系, 塔梁分离。

2.3 主塔采用线形流畅的半弓型主塔, 结构新颖, 造型别致。

2.4 该桥位于苏州市区, 横跨京杭大运河, 梁底通道、河道、猫道“三道”立体交叉作业, 其安全生产、环保要求高。

2.5 由于不能断航, 中跨钢梁采用水中无支架吊装。

2.6 施工过程中的主缆轴力平衡靠临时锚索。

2.7 为减小端横梁截面尺寸, 主缆索股一端锚具在该索股架设中现场制作安装。

2.8 主缆截面采用多棱形截面。

3. 总体施工顺序

3.1 工艺流程: 施工准备→基础与临时锚碇施工→主塔、边墩及临时锚碇施工→安装索鞍→架设猫道并建立缆索牵引系统→主缆索股架设→主缆索鞍线形调整→索夹吊杆的安装→跨中钢梁无支架吊装→临时锚索与永久锚索的匹配张拉→钢梁的线形调整→全桥桥面铺装、桥面系施工→主缆防护→施工完成、竣工验收。

3.2 塔的结构形式

竹园大桥索塔采用扁平的半弓形环状双塔, 双塔间不设横梁, 全高约26米, 为钢筋砼结构, 直立部分及弧形部分均为实矩形截面, 采用分离式设计, 线形流畅, 突破了传统中小跨径悬索桥的门式塔形, 施工中特别注意塔外侧相对柔性的弧形结构, 防止混凝土开裂现象。主塔结构如图2所示:

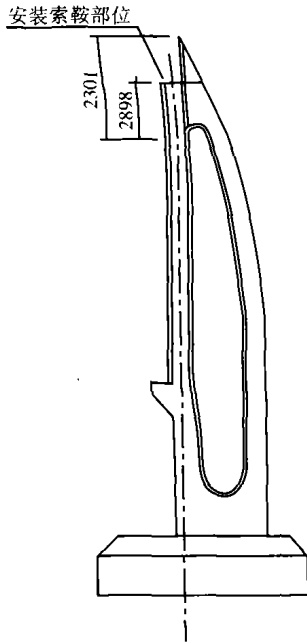


图2 主塔结构示意图

4. 主梁和端横梁

竹园大桥主桥为三跨连续结构,除边跨端锚段采用砣截面形式外,其余均为叠合截面,由二侧箱形钢主梁和钢横梁、小纵梁组成的钢构架与0.25米厚的砣桥面板形成整体叠合截面。

端横梁为锚碇横梁,承担传递主缆的锚固力,并平衡压重用,为混凝土截面,结构尺寸3318cm×345cm×600cm的双箱梁截面形式,每个端横梁的混凝土用量为C₅₀的砣632m³。

5. 主缆工程

竹园大桥主缆共有2根,横向间距为29.5m,矢跨比1/8,设计索力为3000吨/根,设计采用每根主缆由19股平行钢丝索股编制而成,每股索股由φ7-61丝的镀锌钢丝组成,每股索的破断荷载为3920kN,标准强度 $\sigma_b=1670\text{MPa}$,安全系数 $K=2.5$ 。

主缆采用冷铸锚固体体系,冷铸锚头一端由工厂加工索股时制作,另一端由现场制作。每根主缆分成19股,在散索套和端横梁之间呈辐射形散开,分别锚固在两端的端横梁上。

工艺流程:全桥下部结构施工,主塔施工及预埋件安装→索塔顶前安装塔顶反力托架及索鞍下底板→安装索鞍→架设猫道→主缆索股架设→线形调整→安装索夹、吊杆→钢梁提升→临时索力转换及吊杆索力、桥面高程调整→防护。

5.1 索鞍:由索鞍底座下平板、上平板、鞍槽及索鞍盖板等组成。

①下底板安装误差控制:

- 平面位置与设计中线偏差 $\pm 2\text{mm}$
- 高程与设计高程偏差 $\pm 2\text{mm}$
- 同一平面内四角高差 $\geq 2\text{mm}$
- 扭转 $\pm 1\text{mm}$

②上底板安装

要求表面清洗,与下平板对齐,用高强螺栓连接,周边用电焊固定。

③鞍槽的安装

鞍槽与上平板间垫聚四氟乙烯板,利用大吨位汽吊安装,设16mm的偏移量,并设反力顶推调整支架,加恒载过程中自动滑移,待恒载上完鞍槽顶推复位,用高强螺栓连接,周边坡口焊接。索鞍顶推装置如图3:

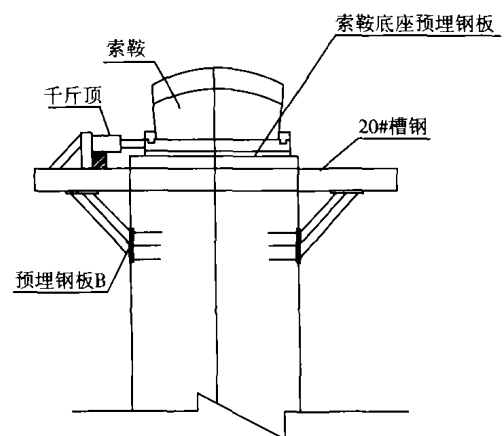


图3 反力装置图

④压盖

主缆架设完毕,安装压盖,并用高强螺栓联接紧固

5.2 猫道

由于该桥采取水中无支架施工,架设主缆前需先架设猫道,猫道面的线形应与主缆线形一致,尽量减轻自重,减少正风面,既要满足施工作业的工作面和操作净空,又要满足安装和拆除方便。猫道面低于空缆中心1.4~1.5m,由支架、小索鞍、承重索、猫道面、栏杆、扶手风缆和支撑滚轮等组成。

5.3 索股架设

原则:架设过程中,必须保护好每根索股的

外包,调整好各索股的矢度及对应标记点,使每根索股受力均匀。

顺序:上下游对称平行进行,按图示顺序进行架设。

5.4 索股牵引过河

由于场地布置,选择由河东向河西侧单方向牵引,准备工作将牵引钢丝绳按序号穿过锚梁预埋管与放线架上的牵引头相连,驱动另一侧的卷扬机带动索股向河西移动,索股的其他部分在边跨支架和猫道的橡胶滚轮上支承,并将索股一直牵引出河西端锚梁预埋管出口1.8m左右。索股牵引过河要点:

① 派专人负责索股前端,尤其是翻越塔顶时用手动葫芦人工调整,使索股移动时避免与索塔门架相撞和直接与索塔摩擦。

② 要求缓慢放索,并设专人随索前进,注意弯折、扭转,发现情况及时处理。

③ 索股放出牵引时,为保护好缠包带及索型,应尽量避免主缆与刚性物体接触。索股牵引如图4所示:

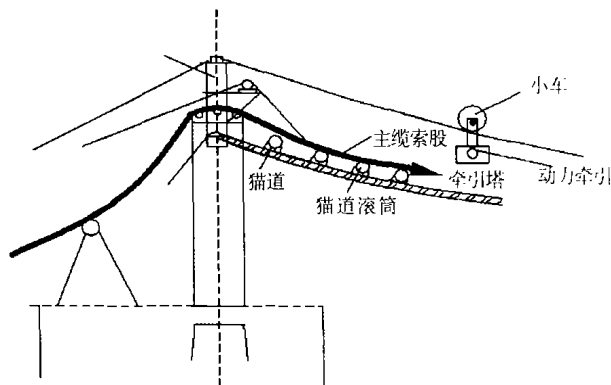


图4 索股牵引示意图

5.5 现场制锚

由于端横梁截面尺寸有限,致使预埋管尺寸无法满足锚头穿过,故有一端锚头需现场制作,锚头为冷铸锚头锚具。制锚的工艺如下:

① 裁索:先将索股牵引出洞口1.5~1.8m,用握索器固定,放松并拆除牵引绳,按标记点切除索股,将钢丝断面打磨平整。

② 穿丝、锚头:首先清洗锚杯内部以及钢丝700mm长,将钢丝依次穿过锚具各部件;然后进行锚头,注意调整好压力使锚头直径在标准要求范

围之内。最后将中心丝裁断100mm长,打出锚板令锚头贴紧受力面。

③ 灌注环氧铁砂:首先按配方将各组分混配形成环氧浆,按成熟工艺往锚杯内及延长筒内灌注浆体。

④ 固化:清洗锚具各处残浆后将锚头置于固化炉内进行高温固化,制锚完成。

5.6 提索入鞍并调整单股线形

利用塔顶的反力支架,选择吊点,在单根索股上安装握索器,利用倒链将索股提起并移至鞍座上方,在鞍座范围内将索股整方,入鞍时严格控制索股着色丝在鞍槽中的位置,以防索股扭转。索鞍与主缆间的空隙用铅块填塞满,避免破坏镀锌层,为使已入鞍索股线形达到设计线形,需在温度、风速比较稳定的时候进行测量,并进行调整。

5.7 按设计顺序安装其余各索股,并调整线形,直至把主缆安装完毕。如图5所示:

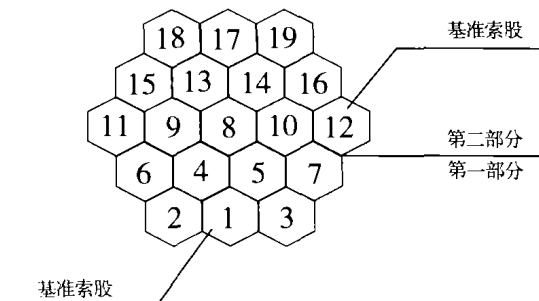


图5 索股安装顺序图

6. 制作安装临时锚索

该桥设计采用水中无支架施工,施工中采用了临时锚索和端横梁连接,用以平衡施工过程中的主缆轴力和端横梁位置。临时锚索采用钢绞线群锚拉索体系,一端采用P锚与端横梁相连,一端用OVM15-16锚具锚于临时地锚,在施工过程中安装8台YCW400千斤顶,用以随时调节锚碇横梁位置(详见第九项介绍)。

7. 安装索夹、吊杆

主缆架设完毕,进行预紧缆,上临时索箍或打钢带,利用承重缆和卷扬机系统配合进行索夹安装,安装后注意调整间隙,复核位置准确后用扭矩扳手紧固螺栓,待钢梁合拢后复拧索夹螺

栓, 全桥恒载加完后进行索夹螺栓的终拧, 利用承重缆和卷扬机系统提升吊杆至索夹位置并与其连接好。

8. 钢梁的提升

由于该桥突破了传统自锚式悬索桥先有梁后有索的格局, 待主缆、索夹、吊杆安装完毕后进行中跨钢梁的提升, 利用吊杆作为反力点, 采用OVM公司的ZLD连续顶升千斤顶进行施工。为节约工期, 除靠近塔柱和跨中点合拢段采用两台千斤顶顶升外, 其余梁段由厂内两段合并, 采用4台千斤顶施工。竹园大桥中跨钢梁共17片, 钢梁提升顺序是从两侧塔柱向跨中对称进行, 最后在跨中点进行合拢。由于在整个阶段中钢梁的位置难以确定, 所以增加了将吊杆接长用的接长杆。钢梁提升过程如下:

8.1 钢梁制作好之后用船只运送至安装所在位置。

8.2 依次安装好提升各组件: 将接头旋入吊杆锚杯内, 接长杆与接头相连, 套上接长杆螺母, 提升筒与接长杆可靠连接, 如图6所示:

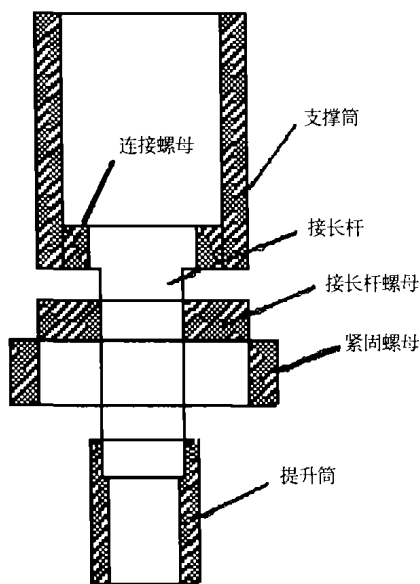


图6 提升组件示意图

8.3 将提升千斤顶置于钢箱梁底, 提升索依次穿过钢梁与千斤顶, 准确调节夹持装置, 提升索采用钢绞线, 一端挤压P锚与提升筒相连。

8.4 将泵站及主控台放置于钢梁顶上, 并与提升顶正确连接好管路和信号线等。

8.5 临时封航, 在主控台及专业操作人员控制下将钢梁顶升至预定位置, 旋紧吊杆紧固螺

母, 放松千斤顶, 提升完成。钢梁提升示意图如图7:

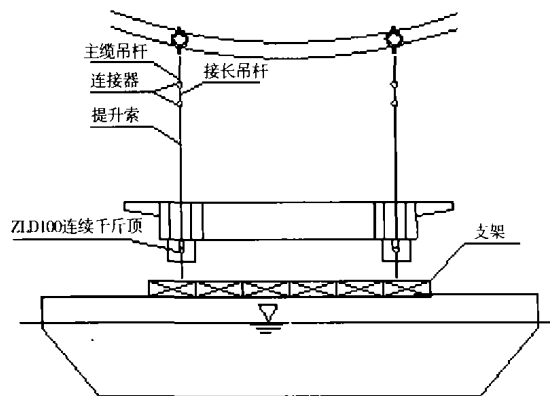


图7 钢梁提升示意图

9. 临时锚索的张拉及索力转换

设置临时锚索来平衡施工过程中的主缆轴力, 待主桥钢梁合拢后拆除临时锚索, 进行索力转换是本工程的最大特点之一。

9.1 临时锚索张拉

竹园大桥两侧端横梁处各设置4束临时锚索和端横梁相连, 临时锚索采用OVM钢绞线拉索群锚体系, 锚具采用钢绞线拉索专用锚具。施工过程中安装8台YCW400千斤顶随时进行张拉, 以控制端横梁的位移。

由于依靠张拉临时索来平衡各施工阶段的主缆轴力, 因此, 随时测量端横梁及索鞍的位移, 合理控制临时锚索的张拉时机及张拉吨位就显得非常重要。其中最重要的是要控制好钢梁吊装阶段, 因为该阶段主缆的轴力变化最大。钢梁吊装期间临时锚索的张拉要求如表1所示:

表1 钢梁吊装期间临时锚索张拉要求

施工阶段	索鞍滑移参考值(mm)	临时锚索张拉力(kN)	备注
吊装7#段	0.0	1000	吊装前张拉完成
吊装23#段	1.1	1300	吊装前张拉完成
吊装8、9#段	4.3	1800 2700	吊装前张拉完成 吊装后张拉完成
吊装21、22#段	6.7	3800	吊装后张拉完成
吊装10、11#段	10.1	4900	吊装后张拉完成
吊装19、20#段	13.1	6200	吊装后张拉完成
吊装12、13#段	16.8	7500	吊装后张拉完成
吊装17、18#段	20.4	8600	吊装后张拉完成
吊装14#段	22.4	9300	吊装后张拉完成
吊装16#段	24.5	10000	吊装后张拉完成
吊装15#段	26.6	10500	吊装后张拉完成

表中临时锚索的张拉力为每侧(全桥宽)的总值, 注意张拉力应对称于桥中轴线。

9.2 索力转换

待中跨钢梁合拢后,进行临时索力的转换,并拆除临时索锚索。

① 索力转换的目的:是将主缆的轴力转换为由钢梁来承受以达到自锚效果。

② 转换原理:转换过程中,主桥内部结构主要是钢梁逐渐产生变形承担临时锚索放松后传递的主缆轴力形成自锚。

③ 转换要求:钢梁固结后方可进行索力转换,转换前后应对端横梁位置及索鞍的偏移量进行观测。

④ 转换措施:两侧端横梁应同步、对称、分级、缓慢地放松临时锚索,应防止同一端横梁两端出现倾斜、位移差值过大现象,必须避免端横梁遭受太大震动导致钢梁变形过大。

⑤ 转换结果:实现预期目标,达到良好的自锚效果。

10. 调整吊杆索力

利用YCW150-200千斤顶安装在梁底,四点对称进行调整,全桥反复循环调整,直至桥面标高达到设计要求。各吊杆索力与设计值偏差小于5%且符合设计要求。

11. 主缆防护

主缆作为悬索桥的生命线,防腐尤为关键。该桥采用了六道防护,按顺序依次为:底漆、密封剂、填充特殊材料、纤维带、密封剂、面漆。

12. 施工结果

12.1 竹园大桥自2002年6月15日开工以来,经过建设各方的不懈努力,于2003年10月1日竣工通车,现运行良好,通车前做的索力测试及静动载等试验,实测结果和设计数据,具有良好的

吻合性,完全满足运营要求。

12.2 省去缠丝工艺,使用碳纤维带使主缆的空隙率得到保证,索夹未超过18%,非索夹带未超过20%。

12.3 索力转换是本工程难点,在无经验可借鉴的前提下,通过建设单位、设计部门和监控部门密切配合协调,使工程顺利完成且达到了预期目标。

12.4 关于边跨线型,应通过临时固定散索套处的主缆索股,使主缆线形受控。

13. 结语

13.1 就自锚式悬索桥而言,国内正在兴起,跨度不断增大,施工方法也不断地有所突破和创新,没必要恪守“先有梁后架缆”的方法。

13.2 突破了先有梁后有索的传统自锚式悬索桥的格局,水上作业无须封航节流,大大压缩成本,具有很高推广价值。

13.3 省去缠丝工艺,用碳纤维带代替,在碳纤维技术日趋成熟的今天,用于同类型桥上可大大降低成本。

13.4 无支架施工方法为平衡施工过程中的端横梁位移,该桥采用了临时锚索。往后可用扣索架梁,无须临时拉杆。

参考文献

- [1] 颜娟,自锚式悬索桥[J],国外桥梁,2002,(1):19-22.
- [2] 楼庄鸿,自锚式悬索桥[J],中外公路,2002,(6):49-51.
- [3] J.F.Klein.瑞士日内瓦湖上的新型悬索桥方案[A],哥本哈根IABSE学术论文集[C],1996.
- [4] 交通部第一公路工程总公司《公路桥涵施工技术规范》,人民出版社,2000年10月.
- [5] 铁道部大桥工程局桥梁科学研究所,悬索桥[M],北京科学技术文献出版社,1996.

中国科学技术发展基金会欧维姆预应力技术发展基金 第二届专家评审委员会成立

中国科学技术发展基金会欧维姆预应力技术发展基金(原海威姆基金)第一届管委会和评委会于2000年设立,任期已满四年。经设奖单位与有关专家学者商议,并报中国科学技术发展基金会和国家科学技术奖励工作办公室批准,现已组成第二届管委会和评委会工作班子,管委会委员10人,专家评审委员会32人,其中桥梁专家17人、建筑专家(含特

种结构、空间结构专家)10人、水利水电岩土专家5人。另新增荣誉委员3人。

设专项基金和技术奖单位对首届管委会和评委会全体委员几年来为企业办基金和社会力量设奖所付出的辛勤劳动和富有成果的工作表示衷心感谢!对第二届全体委员为支持欧维姆基金和技术奖继续发展,热情参加此项公益性活动表示衷心感谢!