

# 固镇浍河二桥（徐窑渡改桥工程） 悬索系统施工技术

刘安金 湛艳辉

（柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005）

**摘要：**自锚式悬索桥是以承受拉力的缆索或链索作为主要承重构件的桥梁，由悬索、索塔、锚碇、吊杆、桥面系等部分组成。本文结合固镇浍河二桥（徐窑渡改桥工程）工程实例，全面系统地介绍了单塔双跨自锚式悬索桥悬索系统的施工技术和施工工艺，为以后同类型桥梁施工提供了借鉴和经验。

**关键词：**自锚式悬索桥 施工技术 主缆安装 线形调整

## 1 工程概况

安徽省蚌埠市固镇县浍河二桥位于固镇县县城附近，跨越浍河，属徐窑渡改桥工程，项目全

长2.4km（见图1）。主桥为四跨双索面预应力混凝土自锚式悬索桥，主跨为66m，锚固跨为20m，主桥跨径组成为20m+66m+66m+20m，全长172m。

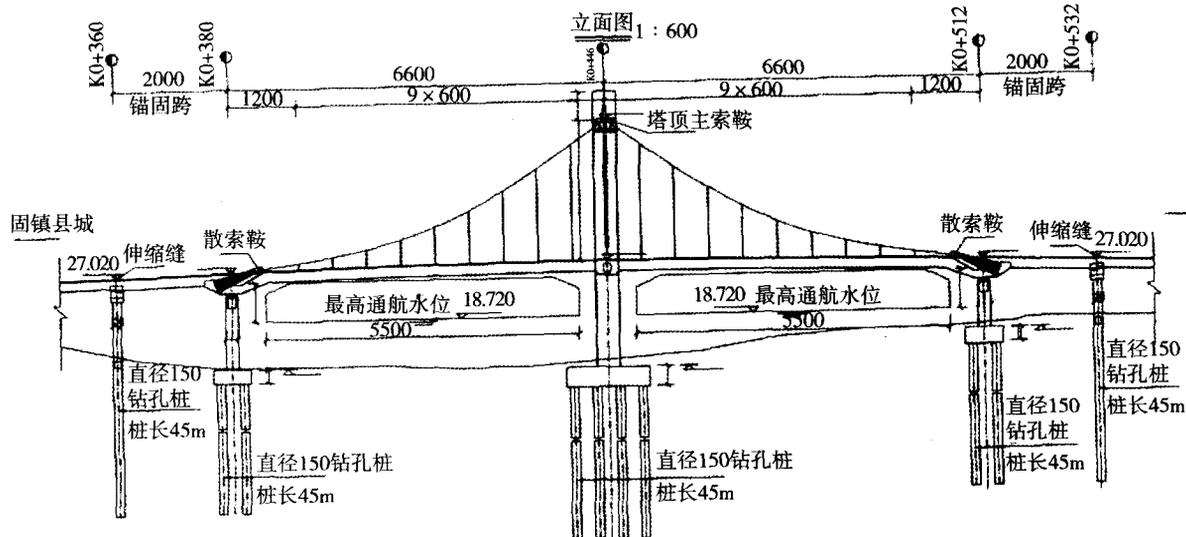


图1 桥梁立面图

### 1.1 主缆

浍河二桥共2根主缆，采用PPWS法（预制平行钢丝索股法）编制，每根主缆由37股91丝 $\phi 5.1\text{mm}$ 、1670MPa镀锌高强钢丝的索股组成（见图2），钢丝总重约为161.6t。主缆索股锚头采用热铸锚，锚固在主跨混凝土梁锚固区内。

### 1.2 吊索（杆）

吊索采用垂直布置，间距6m，全桥共36根（其中有4根刚性吊杆）。每个吊点设一根吊索，吊索采用单根109丝 $\phi 7\text{mm}$ 高强镀锌钢丝组成的成品钢丝绳（带PE护套），钢丝共重12.2243t，两端采用冷铸锚，上端锚头与吊索耳

板联接，耳板通过销栓与索夹铰接，下端锚头通过螺母和球形垫圈与主梁锚箱连接，下端锚杯上设有螺纹用以调节吊索长度（见图3）。

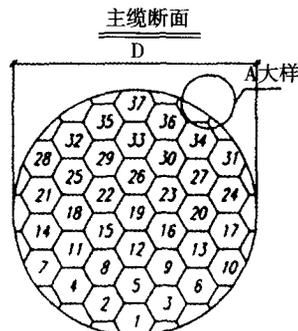


图2 主缆截面图

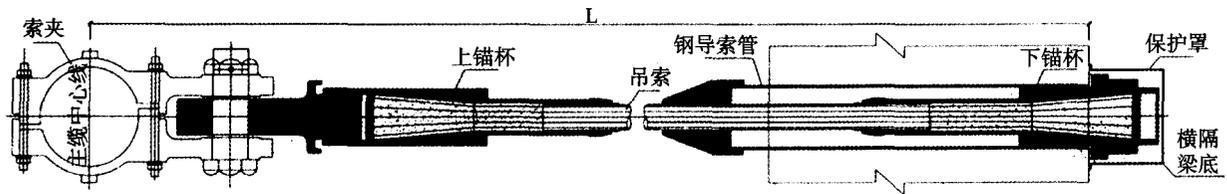


图3 吊索构造图

## 2 主要施工工艺

### 2.1 工艺流程 (见图4)

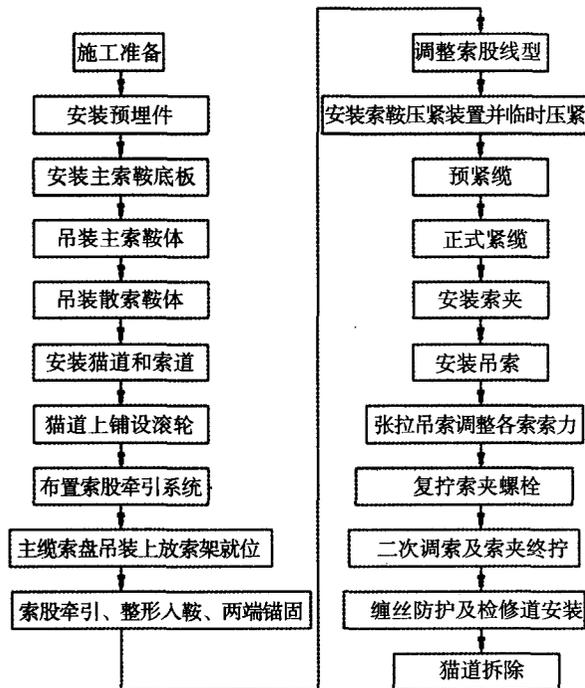


图4 施工工艺流程图

### 2.2 施工平台及通道的搭设

施工平台及通道的搭设主要包括:

- (1) 桥面至索塔顶部沿主缆线形架设猫道。
- (2) 塔顶设防护栏, 主要是指施工人员在施工过程中的安全防护栏。
- (3) 梁底施工平台, 主要供吊索安装、索力调整及防护时使用。

### 2.3 预埋件制作及安装

(1) 塔顶及塔身: 塔顶预埋件主要包括塔顶门架的预埋件, 塔身预埋件主要包括猫道连接装置的预埋件。

(2) 梁端混凝土梁面: 两端混凝土梁面预埋件主要包括索道、卷扬机、猫道预埋件。

### 2.4 塔顶门架安装

塔顶混凝土强度达到后, 在塔顶预埋件上用型钢制作塔顶门架。门架净高约为4.5m, 利用该

门架作为索道在塔顶的支撑点, 及索股入鞍时作为手拉葫芦的挂点。塔顶门架采用20#槽钢在桥面焊接完成框架, 然后用塔吊吊到塔顶与塔上预埋钢板焊接组装。

### 2.5 吊装主、散索鞍

单件吊装重量最重为主索鞍体, 单件吊装最重约21.127t, 选用汽车吊吊装。将经检验合格的上下平板、主索鞍体用汽车运至桥面塔底附近, 用200t汽车吊依次吊到塔顶安装, 调整好位置后安装上限位条, 防止架设主缆过程中主索鞍纵向滑移。散索鞍体重量约为7.3t, 用25t汽车吊吊装到散索鞍底座上方, 调整好位置, 上好螺栓。

安装好的主索鞍体纵、横向偏差 $\leq 10\text{mm}$ ,  $0 < \text{高程偏差} \leq 20\text{mm}$ , 四角高差 $\leq 2\text{mm}$ 符合设计要求。

### 2.6 安装猫道

猫道是为了完成架设主缆、安装吊索等一系列工序而专门设置的施工通道。猫道主要由承重索、猫道面层、栏杆、扶手、滚轮等组成 (见图5)。猫道面在主跨低于主缆中心约1.2m。在综合考虑主缆直径、主跨主缆间距、紧缆机和缠丝机最小工作空间的基础上, 猫道面层的宽度为2.4m。

在主桥的索塔混凝土浇筑前, 在索塔主跨面一定高程的塔壁内预埋锚固钢板, 模板拆除后将连接钢板焊接于预埋钢板上。梁端在两主跨猫道与梁理论交点处预埋钢筋。

主跨的每幅猫道均选用4根 $\phi 32\text{mm}$ 的钢丝绳作承重索, 承重索用钢丝绳夹头分别锚固于塔端、桥面的连接件上, 承重索分两跨断开布置。横梁采用2.4m的10#槽钢和2.4m的8#槽钢制作而成, 按3m间距交替布置, 并用U形螺栓将横梁与承重索扣紧固定。猫道面网的底层用 $\phi 5.0\text{mm}$  (孔 $60\text{mm} \times 60\text{mm}$ ) 的大方眼焊接钢丝网, 以增加面层刚度。面层用 $\phi 1.0\text{mm}$  ( $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ ) 的小方眼钢丝网, 以防小工件坠落。另外, 在底

层和面层两层钢丝网上每隔0.6m绑扎固定规格为60mm×40mm×800mm的防滑木，用14#铁丝连于面层上，以利于施工人员行走。在猫道面层上每隔6m设一猫道滚轮，供拖索股用，滚轮高度约为0.5m。在塔顶两侧各10m范围内的滚轮，其高度适当增加，以增加索股越过塔顶时的弯曲半径。沿猫道两侧每6m设一根6#槽钢立柱，立柱下

端固定在10#槽钢横梁上，立柱上设2根φ15.5mm钢丝绳作为栏杆，间距50cm，用U型螺栓固定在6#槽钢立柱上。在两侧的栏杆上用高1.2m的φ5.0mm（孔80mm×80mm）大方眼钢丝网进行防护，钢丝网用14#铁丝绑扎固定在钢丝绳和立柱上。

采用φ15.5mm钢丝绳将猫道与桥面拉结，主跨各设1道。

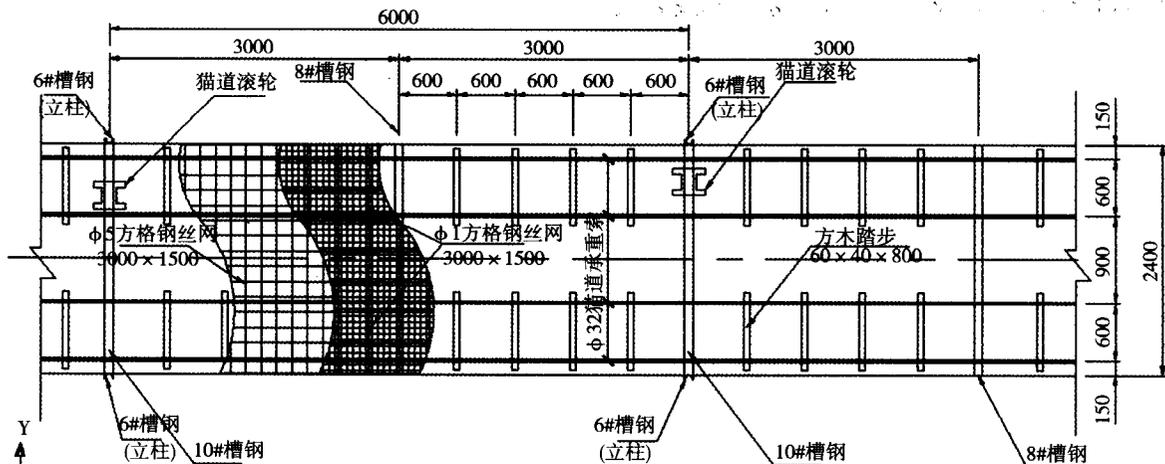


图5 猫道结构图

### 2.7 安装索道

索道由塔架（即塔顶门架）、承重索、牵引循环索、锚固点、驱动系统、行走小车等组成。索道分别设置在两根主缆之上，根据本桥实际情况和施工需要，每幅索道分两段布置。索道设置

在主缆正上方约6m的位置。

索道分两段独立布置（见图6），按索道设计长度下料并沿猫道展开，塔端利用塔吊提升至门架上安装固定，梁端通过卷扬机牵引到位后固定。

（2）将主缆放索架放在4#墩锚锭附近，主缆索盘堆放在4#墩侧，牵引方向为从4#墩往6#墩方向进行。

（3）按索股安装顺序（1#-37#），用吊车将索股卷盘放在放索架上。

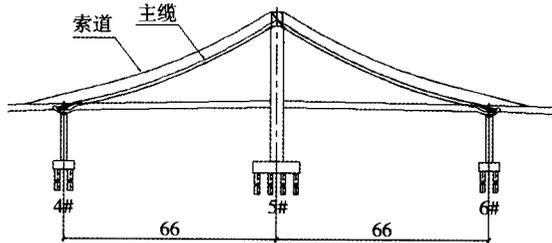


图6 索道立面布置图

主缆索股安装按下列流程进行：前端锚头抽出与牵引系统连接→索股牵引索股放索过程中扭转、散丝等检查调整→索股前端锚头到达另一侧锚锭，穿过预埋管临时锚固→整束通长索股检查调整→后端索股放出索盘→后端锚头牵引穿入锚锭锚管内临时锚固→索塔索股横移，整形入鞍。

### 2.8 主缆安装

（1）布置牵引系统：根据现场情况，在两侧现浇梁段施工时分别在其上表面预埋钢板，作为固定卷扬机之用。主缆架设时，如图7所示，在6#墩附近上表面的预埋件上固定5t卷扬机作为主牵引主缆索股；在4#墩附近上表面的预埋件上

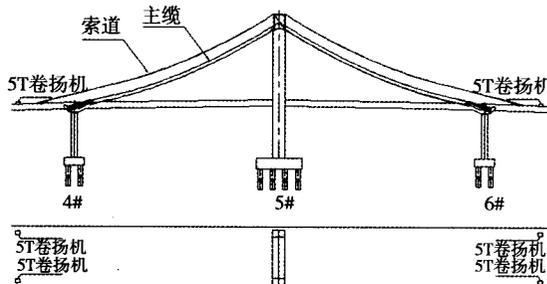


图7 牵引系统布置示意图

## 2.9 调整索股线型

索股垂度调整温度的稳定条件为长度方向索股的温差 $\Delta T \leq 2^\circ\text{C}$ ；断面方向索股的温差为 $\Delta T \leq 1^\circ\text{C}$ ，不具备以上条件时暂不进行调整，待条件成熟时再进行。

(1) 绝对垂度调整：以首根索股为基准索股，其它索股施工的线型控制均参照基准索股进行，因此，基准索股绝对垂度调整是控制全桥施工精度的关键。基准索股的绝对标高控制采用三角高程测量法，利用全站仪进行测量：在基准索股的顶面位置固定一个棱镜，在4#墩上游距主桥约100m的地方设置全站仪测站，通过全站仪观测基准索股上的棱镜，经计算后得出基准索股中点的绝对坐标。基准索股的绝对垂度调整在对跨长、外界气温、索股温度测定后进行。根据测量结果计算出索股绝对垂度调整度。垂度调整方法如图8所示。

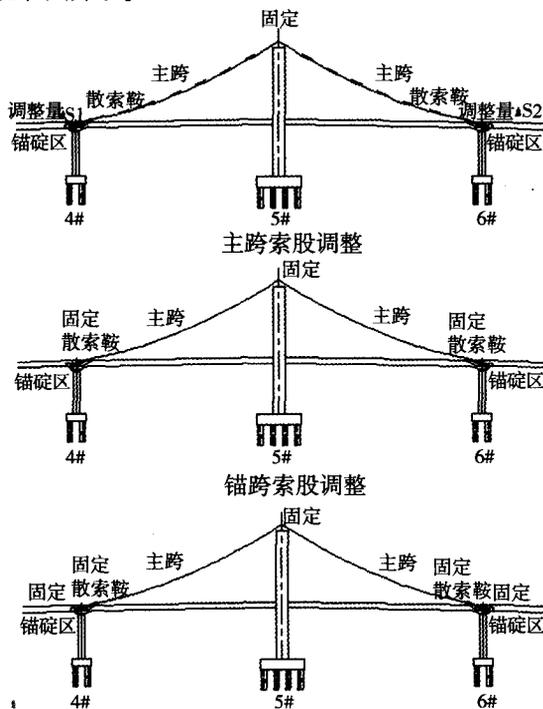


图8 垂度调整方法示意图

垂度调整的顺序是调整主索鞍上的索股位置标志与鞍座中心标志重合并固定。主跨索股调整可两边同时进行，在主跨索股锚固端安装调整装置（YDC240Q千斤顶与撑脚），调整跨内移动索股直至索股的移动量符合垂度调整量。移动索股时，在各鞍座部位为了消除索股间的摩擦，可用塑料小锤敲打。这时注意不要破坏索鞍整形。调

整完了的索股，在塔顶鞍座内和索股上做出标记，然后在塔顶鞍座部位临时固定索股。

因为在锚跨（散索鞍与锚碇之间的索股）不能进行垂度调整，须对它进行索力控制，索力的调整以设计提供的数据为依据，其调整量可根据调整装置中千斤顶的油压表的读数和锚头移动量双控确定。但垂度调整的首要目的是准确确定索股的线形，因此垂度调整必须以线形控制为主，以拉力控制为辅。

在索股的垂度调整过程中，由于自然干扰因素较多，如风的作用、气温的剧变等，会给测量带来不定的影响。因此，需选择气温稳定、风小的时间段进行该项工作。

(2) 相对垂度调整：指一般索股相对于基准索股以外索股（2#~37#）的垂度调整，相对垂度调整方法与绝对垂度调整基本相同。但相对垂度调整时，索股调整量不宜过大，否则被调整索股就压在下面的索股上，不能测定正确的相对垂度。另外，如果压在基准索股上，基准索股的垂度就失常，因此，相对垂度的调整，要在对下面的索股若即若离的状态下进行。相对垂度调整可用小型张拉机具进行，游标卡尺与水平尺配合测量。

按顺序安装完37根索股且调整完索股线形后，即可安装索鞍压紧装置，此前对鞍槽内空隙部分用锌块填满，并用扳手按设计要求拧紧螺栓。

## 2.10 紧缆

(1) 预紧缆为了使主缆索股沿全桥分布均匀，钢丝的松弛不集中在一个地方，预紧缆时可把主跨分别分成8个区域，并如图9所示按序号顺序进行。

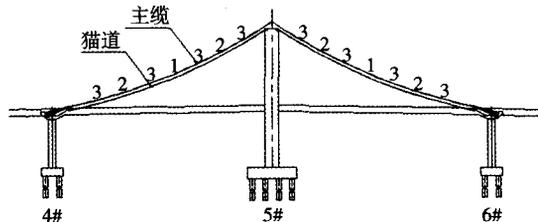


图9 预紧缆顺序图

预紧缆要在索股排列整齐，温度比较稳定的时段进行，索股的绑扎带采取边紧缆边拆除的办法，不能一次全部拆除。首先，将预紧点附近6m~7m范围的外层绑扎带解掉，在主缆外层包

上一层起保护作用的麻布袋或塑料布条。装上 $\phi 16\text{mm}$ 镀锌钢丝绳千斤头,收紧手拉葫芦如图9所示,一边用大木锤沿主缆周围敲打、振动,一边用手拉葫芦加压,使主缆大致成为圆形。同时要注意尽量减少表面钢丝的移动,然后用软皮尺测量主缆的周长。预紧缆完成处必须用铁丝捆紧,保持主缆的形状,钢带的距离可为 $5\text{m}\sim 6\text{m}$ ,预紧缆的目标空隙率在 $26\%\sim 28\%$ 之间。

预紧缆的过程就是将上述工序沿全长反复进行的过程,直至索股群大致整成圆形为止。

(2)正式紧缆采用紧缆机进行主缆紧固时,首先启动2台紧缆机作业液压千斤顶,当紧缆机轴线和主缆中心线重合后,再启动其他2台千斤顶,协调好4台千斤顶的顶进速度,当4台千斤顶达到一样冲程之后,一起联动加压,保持接近相同的油压挤压主缆。作业程序:紧缆机安装→主缆紧固→空隙率计测→钢带安装→紧缆放松→空隙率确认→紧缆移动→紧缆机放松。

正式紧缆是由各跨从散索鞍往塔方向进行(由低往高)(如图10所示)。

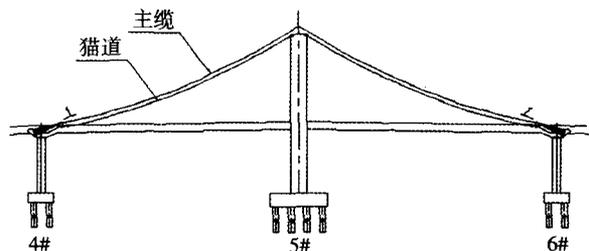


图10 正式紧缆顺序图

### 2.11 索夹安装

安装时在索夹的结合部位需注意不让钢丝发生弯曲。以主塔为中心,从梁端往塔端方向安装。

### 2.12 吊索安装

(1)在吊索待安装位置相应的猫道面层上预留长、宽为 $0.6\text{m}$ 左右的矩形开口,以便于为吊索安装和在体系转换过程中吊索随主缆空间变化而变化提供足够的活动空间。

(2)主要以汽吊安装为主,使用汽吊安装直接从猫道面上放下汽吊钩子到桥面与吊索上端头连接,将吊索吊起至安装位置。

(3)当卷扬机或汽吊提升吊索距离索夹叉耳下 $1\text{m}$ 左右,改用紧固于索夹旁的手拉葫芦提升

吊索,并使其上端与索夹耳板用销子连接。

吊索安装顺序按主跨从梁端往塔端方向安装。

### 2.13 体系转换吊索索力调整

体系转换的目的是将桥梁的承载力由支架承载转换到由主缆及吊索承载的一个过程,这个过程应根据监控的指令进行。自锚式悬索桥的结构特点,吊索的加载是一个复杂的过程,吊索之间的相互影响较大。为了解决这个问题,必须根据主梁和主缆的刚度、自重采用计算机模拟的办法,得出最佳加载程序。

### 2.14 防护

根据设计图纸要求防护。

### 2.15 猫道、索道的拆除

主缆缠丝完成后可拆除索道,主缆防腐工作全部完成后,拆除猫道。

猫道拆除方法:先由高往低人工拆除猫道侧网,然后将猫道由中间沿桥纵向一分为二。拆除时用汽车吊与猫道一半塔端连接并往上提,当各钢销轴均不受力后将其拆除,使猫道与塔柱完全脱离,然后缓慢将猫道放至桥面。另一半用同样的方法拆除。

## 3 结语

本桥为单塔双跨自锚式悬索桥,跨径灵活,紧密结合地形,且不需要修建大体积锚锭。主桥上部悬索结构施工的重点难点在于刚性吊杆的安装与体系转换。因索夹预偏,致使1#短刚性吊杆在张拉到第六轮之后才能从下往上安装。桥面为预应力混凝土梁,张拉过程中为保证梁面不受到较大变形,需要采取少量多次张拉的方法,全桥36根吊杆进行往复8轮共72次张拉,需要临时接长杆较多。施工控制是现代化桥梁建设的必然趋势,本桥施工的施工特点可为今后类似桥梁施工提供借鉴和经验。

### 参考文献

- [1] 刘吉士, 阎洪河, 李文琪. 公路桥涵施工技术规范实施手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.10.
- [2] 中交第一公路工程局有限公司. JTG/T F50-2011 公路桥涵施工技术规范[S]. 人民交通出版社, 2011.
- [3] 中华人民共和国建设部. GB 50017-2003 钢结构设计规范[S]. 中国计划出版社, 2003.
- [4] 中华人民共和国交通部. JTJ076-95 公路工程施工安全技术规程[S]. 人民交通出版社, 1995.