

重庆双碑嘉陵江大桥斜拉索安装施工技术

廖德鸿 黄昭辉

(柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005)

摘要:以重庆双碑嘉陵江大桥为例,重点介绍平行钢绞线斜拉索的施工工艺,及单根挂索张拉力配合前支点挂篮施工的复杂工艺。

关键词:平行钢绞线拉索 单根张拉 体系转换 斜拉索

1 工程概况

双碑嘉陵江大桥位于重庆市沙坪坝区双碑,横跨嘉陵江。大桥主桥为高低塔单索面双排索混凝土斜拉桥,主桥跨径为(75+145+330+95)m。设计桥面全宽32.5m,双碑嘉陵江大桥主桥高低塔均为塔梁墩固结,辅助墩及边墩设置竖向支座及横向抗震挡块。主梁横断面采用单箱三室斜腹

板截面,梁高3.6m,顶板宽32.5m,底板宽9m,两侧悬臂长4m,顶面设2%双向横坡。

斜拉索呈扇形单索面双排索布置,斜拉索上端锚固于塔柱,下端锚固于主梁中间两腹板之间,两索面横向间距1.8m,全桥共176根索。其中高塔采用29对斜拉索,矮塔采用15对斜拉索(如图1)。

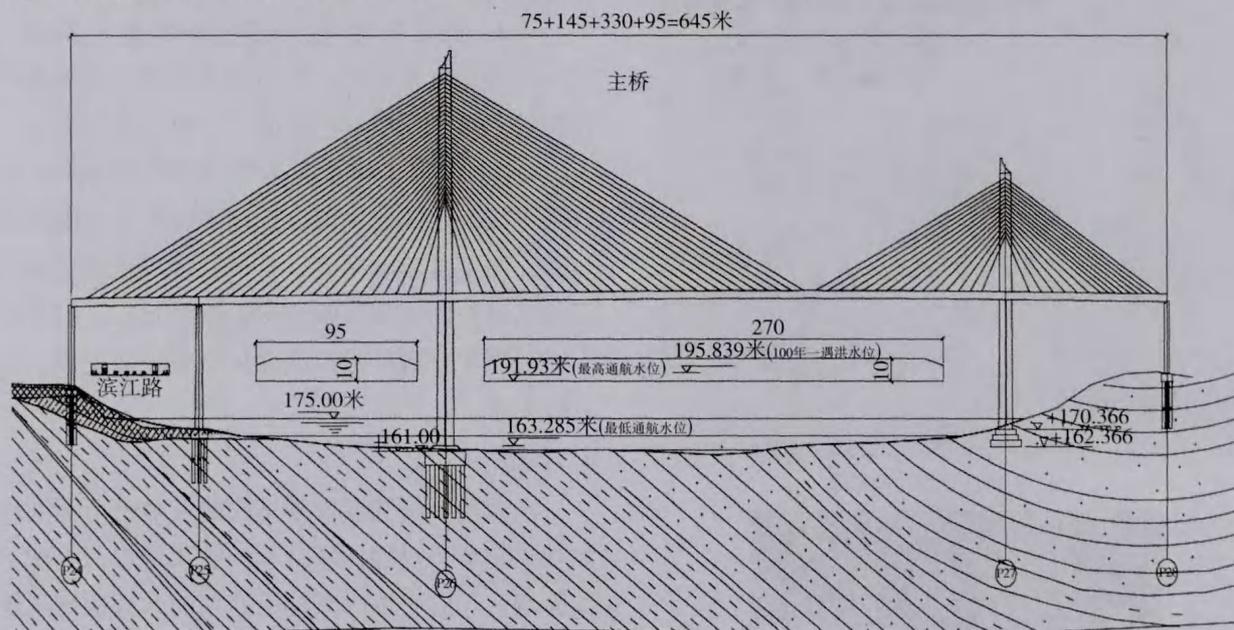


图1 主桥桥跨布置图

2 斜拉索特点

该桥斜拉索采用 $\phi 15.24$ 高强低松弛镀锌钢绞线成索,锚具采用OVM250斜拉索体系。钢绞线标准强度为1860MPa,弹性模量为 $1.85 \sim 2.0 \times 10^5$ MPa;延伸率 $\geq 3.5\%$,其疲劳性能为:应力上限为 $0.45 \delta_b$,应力幅为250MPa的情况下,受200万次荷载作用后不断裂。

斜拉索的组成由单根独立包裹PE材料的钢绞

线,外层为HDPE套管。拉索采用四层防护:第一层为钢绞线外镀锌涂层;第二层为无粘结筋专用油脂;第三层为热挤单层HDPE层;第四层为整体索外包HDPE护套。

由锚固段+过渡段+自由段+过渡段+锚固段构成(如图2)。

2.1 锚固段

主要由锚板、夹片、锚固螺母、密封装置、

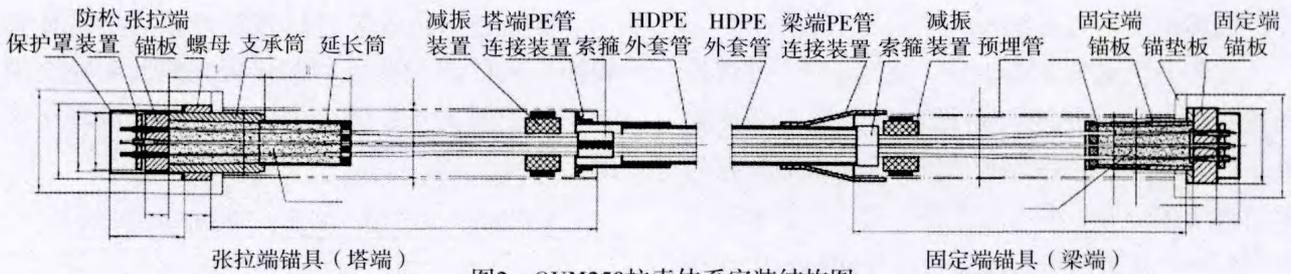


图2 OVM250拉索体系安装结构图

防松装置及保护罩组成。在锚固段锚具中，夹片、锚板、锚固螺母是加工上主要控制件，也是结构上的主要受力件。主要受力件除对其几何尺寸、表面处理等进行常规检测外，还进行超声波探伤、磁粉探伤、硬度及材质等方面的检测。

2.2 过渡段

主要由预埋管及垫板、减振器组成。预埋管及垫板：在体系中起支承作用，同时垫板正下方最低处应设有排水槽，以便施工过程中临时排水。减振器是对索体的横向振动起减振作用，从

而提高索的整体寿命。

2.3 自由段

主要由带HDPE护套的环氧喷涂钢绞线、索箍、HDPE外套管、梁端防水罩、塔端连接装置等构成。环氧喷涂钢绞线为拉索的受力单元。索箍主要作用是将索体收紧保持成一个整体。外套管对钢绞线起整体防护作用，本工程采用整体圆管。其连接方式采用专用HDPE焊机进行对焊。

3 斜拉索施工工艺

3.1 斜拉索安装工艺流程见图3

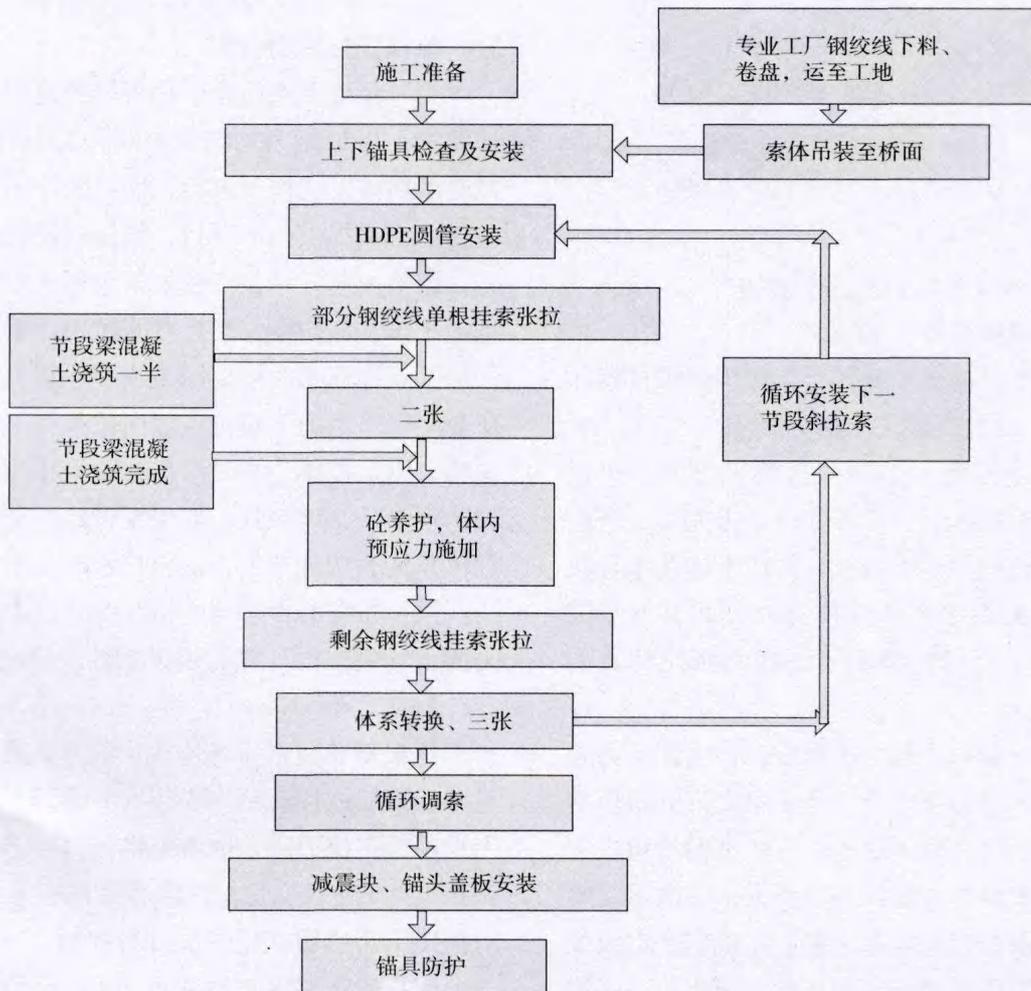


图3 斜拉索制作安装工艺流程

3.2 循环牵动力系统安装

循环系统安装步骤如下：设置导向、并将卷扬机移动到位→从塔外将循环钢丝绳一端加配重，穿过HDPE护管放到桥面→桥面人员将它与牵引器连接→另一端通过塔外导向后，沿索塔向放到桥面→在桥面将它通过桥面导向后，引入卷扬机→从卷扬机引出循环钢丝绳，通过挂索点导向后与牵引器另一端连接→在桥面导向出用2T葫芦对循环钢丝绳进行预紧→操作卷扬机进行试循环→循环装置安装完成（如图4）。

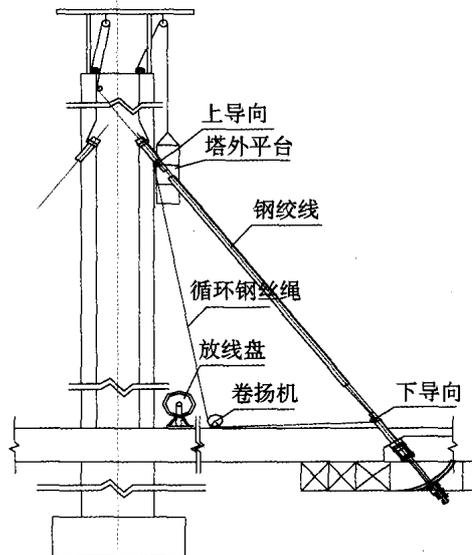


图4 循环系统安装示意图

3.3 斜拉索单根挂索（如图5）

考虑前支点挂篮刚度较小，空挂篮时只挂部分钢绞线索（约1/3至1/2）。

浇注混凝土到一半时，需要进行第二次张拉，但此时单根挂索、单根张拉尚未完成，塔内不宜安装大顶进行整体张拉，故而考虑在下端通过转换装置的大顶整体张拉完成，此时下端锚板与锚垫板之间的间隙由于斜拉索张拉伸长而扩大。

待混凝土养护达到一定强度，体内预应力施加完成后，体系转换之前，在主梁允许的斜拉索索力变化范围内，整体放松一定幅度的斜拉索索力，紧接着单根挂索张拉补足索力，多次重复整体放松、单根挂索张拉补足索力完成剩余钢绞线的挂索，直至所有钢绞线索均按照等张拉法张拉完，方可拆除单孔传感器。

然后在塔内安装整体张拉设备进行体系转换，使固定端锚板与锚垫板之间间隙完全消除，并使前支点挂篮受力完全转移至混凝土主梁上。

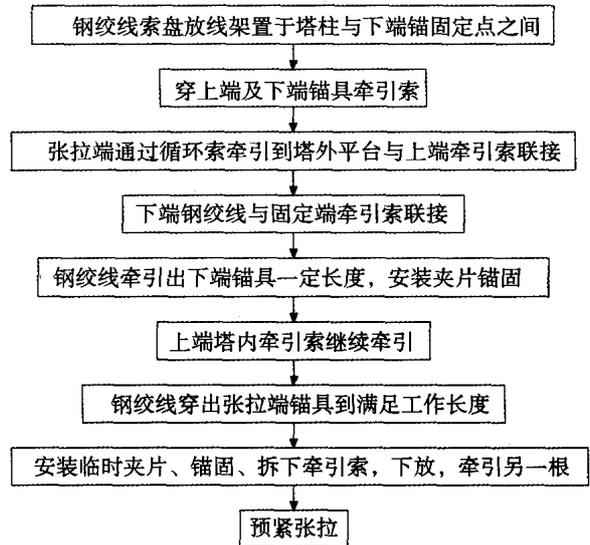


图5 挂索工艺流程图

3.4 单根张拉索力控制

为了保证单束拉索中每根钢绞线应力满足设计要求，保证索力均匀度控制在2%范围内，张拉时严格按工艺控制进行，做好张拉记录，而且施工前必须提供以下项目：斜拉索安装控制张拉力，该值由监控单位以监控指令形式提供给安装施工单位；斜拉索安装控制张拉力作用下，斜拉索锚固点计算相对位移量（或变形量），是该索所在竖直平面内下端锚点竖向位移和上锚点水平位移，由监控单位临时给出；主梁相应截面的相关物理参数，该参数一般根据设计而定；斜拉索索体几何和物理参数，由斜拉索产品供方提供。

第一根安装传感器的钢绞线张拉力按设计索力的平均值乘以计算的超张系数来确定：

$$T=K \times N/n=N/n+Ec \times A \times h \times \sin \alpha / L$$

单根钢绞线索力均匀性（索力离散性）控制是平行钢绞线拉索制作安装的关键，本工程控制上采用等张拉力法，也就是将压力传感器安装在张拉端第1根钢绞线上，以后每根钢绞线的张拉力按压力传感器变化情况进行控制。

斜拉索第一次张拉是通过单根张拉索力累积达到整束设计第一次张拉索力的，实际施工操作

时按以下原则:

A. 第一、二根: 为减少HDPE外套管对单根张拉力造成过大的非线性影响, 第一、二根钢绞线用来承受HDPE外管的自重, 所以张拉力由该管的垂度确定;

B. 第三根: 根据整束拉索索力平均之后由主梁及索塔的变形量进行修正, 使安装完成之后单根索力累计值与设计接近, 避免单根挂索之后索力大调整。

C. 第*i*根: $T_i = T_{i-1} - \Delta_i$, Δ_i —第*i*根安装时传感器变化值;

D. 第一、二根补拉时按 $T_i = T_{i-1} - \Delta_i$ 控制方法确定。单根张拉过程采用振弦式传感器控制, 该传感器使用时安装在第三根钢绞线上, 通过单孔锚具临时锚固, 待该整束斜拉索安装完成之后拆除。其中传感体通过导线与显示仪相联, 压力变化值从显示仪中读取(如图6)。

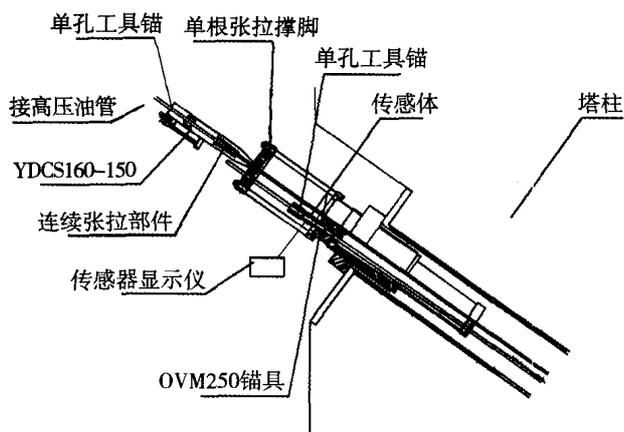


图6 单根张拉工艺图

3.5 前支点挂篮体系转换

当砼强度达到设计强度的90%, 主梁体内预应力张拉完成后可进行索力转换, 将施加在前支点挂篮上的索力转换至砼梁段上。首先确定工作锚板与猫垫板之间的间隙量。再启动油泵使千斤顶活塞打出一定长度, 旋紧张拉螺母, 继续开动油泵, 使活塞伸出, 以达到能旋松锁紧螺母的目的。梁端千斤顶分级卸压回程, 锚具工作锚板支撑到锚垫板上, 同时塔端同步整体张拉配合, 使斜拉索上的受力均匀同步, 使锚固于挂篮上的斜拉索索力转换至锚固于混凝土主梁, 但斜拉索索

力大小基本不发生变化, 即索力转换完成。在操作过程中, 首先检查设备的安全使用性, 卸压回程保持缓慢匀速且各工作点同步。

3.6 低应力锚固技术措施

挂篮施工不可避免钢绞线在低应力工作状态下工作。为保证其夹持质量和夹持效果, 凡是单根挂索时单根索力小于5吨的我们称之为低应力锚固。低应力锚固属于特殊的锚固工况, 为保持锚固效果, 必须加强的具体低应力锚固措施如下:

(1) 控制进场拉索锚、夹具产品质量。

(2) 单根张拉时严格控制夹片的安装质量, 杜绝不规范的安装工艺出现。

(3) 与总包单位、设计、监理及监控单位讨论, 尽量提高拉索初始控制应力, 最好可达 $0.15 \sigma_p$ 以上。

(4) 单根张拉涉及临时锚固, 夹片经过设计改良后, 工作夹片可反复咬合锚固, 但不允许钢绞线上的夹痕出现在夹片下端(即不允许单根放松)。

(5) 单根钢绞线顶压: 利用OVM拉索配套的张拉顶压设备, 用专用顶压器对钢绞线进行逐根顶压, 按该钢绞线工况下锚固应力累加顶压应力控制, 以最大顶压力为15至16吨控制(此力值由锚具厂家提出), 一次性顶压锚固, 使之能适应在低应力状态下的锚固。

(6) 防松装置: 安装夹片防松装置, 用专用扳手将各空心螺栓旋紧, 以随时保持对夹片的压紧力。

(7) 顶压必须在整体张拉之前完成, 利于钢绞线应力增大时夹片夹持。

3.7 技术要求

张拉过程中, 固定端应让夹片跟进同步, 张拉端锚固时, 亦同样要保证夹片平整; 夹片安装前, 检查夹片是否完好, 如有开裂, 该夹片要更换; 张拉端钢绞线若一个行程未能满足张拉要求, 则采用临时工具夹片在该千斤顶的连续张拉部件内临时锚固, 不允许在工作锚板上进行临时锚固; 张拉加载至单根绞线控制应力的15%开始

测初始伸长值；当张拉到该根钢绞线计算控制应力的100%时，开始手工安装工作夹片，并采用专用工具适当打紧，保证均匀和跟进同步，同时记录此时传感器的显示值以指导下一根钢绞线张拉；钢绞线索力均匀性还与夹片安装质量有关，所以手工安装时必须保证一致的外露量而且缝隙高差必须保证达到相应控制值，高差 $\leq 2\text{mm}$ ，缝隙 $\leq 15^\circ$ ，使之自锚跟进时同步，保证索力均匀性；夹片安装时必须严格检查夹片的外观质量，牙槽内不允许有杂质、油脂等，避免影响夹持质量，而且夹片外锥面（或锚孔内圆锥面）预先涂退锚灵以利于夹片跟进锚固；由于张拉时采用一端张拉，所以在张拉时保证固定端（梁端）夹片锚固质量，在张拉过程中，轻轻地敲打夹片使之跟进均匀；单根张拉过程中，控制同一塔相应中跨和边跨各索钢绞线根数差不大于控制索力的10%所计算得到的根数。每号索总索力差不能大于3%；同一束斜拉索的各根钢绞线应力差不能大于3%。

4 斜拉索防护

4.1 索体防腐

索体材料采用带PE镀锌钢绞线，PE层与钢绞线间涂专用油脂，如果在下料、挂索使用过程中发现PE有破损之处，立即用焊枪修补，避免钢绞线锈蚀。索体外用HDPE圆管防护，成桥调索结束，并将减振器固定后，固定已预先套在管外的防水罩，与两端预埋管联接，可有效防止雨水气进入HDPE管内，并隔绝了紫外线照射，进而起到保护索体的作用。

4.2 锚头内防腐

锚头内钢绞线由于挂索、张拉需要，两端PE需剥除，剥除段钢绞线必须进行有效防护，方法是在锚具的密封腔内灌注防腐油脂。灌注防腐油脂材料之前，需要拧紧锚板上的密封板拉杆螺帽，压缩三块密封板之间的密封腻子，使其与钢绞线周围的缝隙缩小至消失，保证防腐油脂在锚腔内的完全密封以致不外露。注浆设备采用螺杆泵，待调索完成后，通过锚具注浆孔将防腐油脂压进锚具内，当油脂从锚具排气孔处溢出，则证

明油脂已灌满，封好锚具上灌浆孔和排气孔。

4.3 锚头端面、夹片、外露钢绞线的防腐

用手提砂轮机切除多余的钢绞线，但要考虑到今后单根换索的需要，留足钢绞线的外露长度，同时满足保护罩能够罩上的长度。

(1) 一方面为了整体防腐，一方面为了方便螺母旋动，在锚具安装时预先在支承筒外螺牙上清理所有杂物。

(2) 整体张拉后，支承筒外露部分、锚板、夹片等都涂上防腐油脂，而且支承筒外露部分锚板用封箱带缠绕密封。

(3) 调索结束后，在锚具外安装保护罩，内注油对裸露钢绞线、夹片、锚板等进行防护。

上、下锚箱内必须预设防水、防潮措施，下端锚垫板应设有临时排水槽。

5 结语

(1) 该桥主梁采用前支点挂篮施工，工序众多，协调难度大；

(2) 挂篮定位精度要求高，转换装置锚固点定位要求精度高；

(3) 在节段梁混凝土浇筑前，挂篮上斜拉索钢绞线张拉力较小，在此情况下，需要对拉索钢绞线夹片进行压紧处理，以保证在低应力状态下斜拉索的锚固性能；

(4) 随着斜拉索索力施加，挂篮受不断增大的索力水平分力影响会有向后滑移的趋势，挂篮止推装置的设计和安装预紧非常重要。

(5) 平行钢绞线拉索的施工工艺成熟，使用设备轻巧；

(6) 该索采用多层防护，防护层次明确，其耐久性优于预制成成品索。

参考文献

- [1] 严国敏, 劳远昌. 现代斜拉桥[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1996.
- [2] 张喜刚. 《大跨径预应力混凝土梁桥设计施工技术指南》[M]. 人民交通出版社, 2012.
- [3] 周先念, 杨共树. 预应力混凝土斜拉桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [4] 向中富. 桥梁施工控制技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.