

漳州战备大桥斜拉索制作与安装施工技术

韦福堂 孙长军 孔建华 李丽芬

【摘要】漳州战备大桥系国内首次采用的矮塔部分斜拉索桥。主塔上部设有内外钢管的圆弧形索鞍，两侧斜拉索出口处设抗滑锚具。斜拉索穿过内钢管对称锚固于梁体。索鞍处外包裹PE镀锌钢绞线为裸露，待施工完毕，内管和抗滑锚具内灌注环氧水泥砂浆。张拉施工采用两端对称同步张拉。

【关键词】部分斜拉索 索鞍 抗滑锚具 对称同步张拉

1 概况

漳州战备大桥位于福建省漳州市南部，横跨九龙江西溪，为旧桥改建工程，上游距离中山桥450m，下游距离东新桥410m。桥梁北接新华南路、南连南大道。

战备大桥主桥为单索面三跨预应力砼部分斜拉桥，主桥长293.6m、宽27m。跨径布置为80.8m+132m+80.8m，如图1。梁体为高强度预应

力砼箱梁，单箱三室截面，采用逐段现浇法施工。主塔高18m，为主跨的1/8，实心矩形截面，顺桥向长3m，横桥向宽1.7m。塔身上部竖直方向设有10排鞍座，鞍座采用圆弧结构，由内钢管、外钢管组成，外钢管预埋于塔内，内钢管置于外钢管内，拉索在内钢管内通过。为防止索体滑动，位于索体离开鞍座处设抗滑锚具。如图2所示。

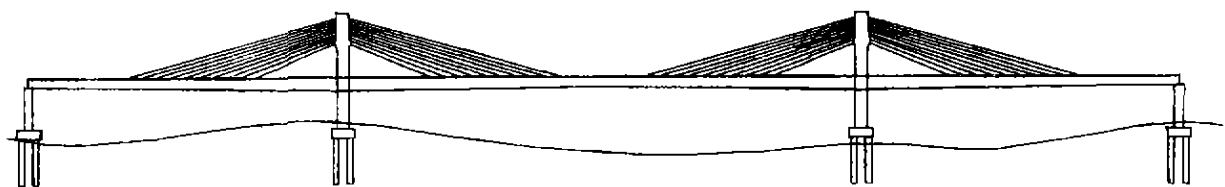


图1 主桥立面图

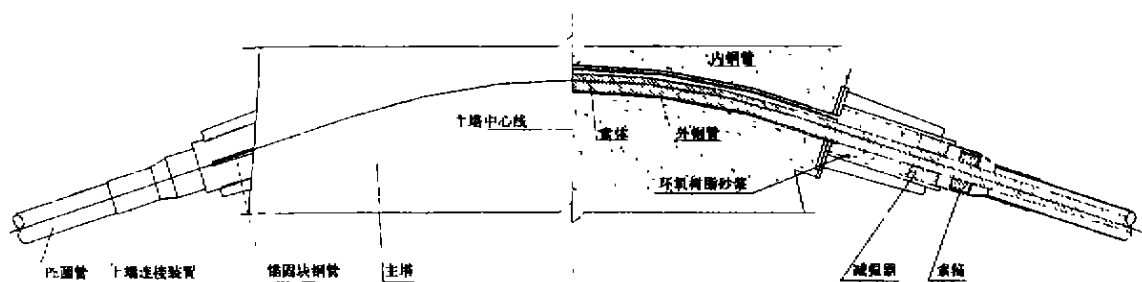


图2 索鞍结构图

韦福堂、孙长军：柳州欧维姆工程有限公司工程师

斜拉索为双塔单索面，双排索，每塔共设10对索，布置在桥面中央隔离带上，顺桥向集中布置在梁体的1/3跨度附近。梁上顺桥向两排索索距为4m，横桥向上游索与下游索索距为80cm，塔上竖向索距为70cm。

斜拉索采用柳州市建筑机械总厂研究开发的OVM200型平行钢绞线拉索，锚具内灌注建筑油脂的拉索群锚，索体为内涂白蜡外包PE护套的低松弛镀锌钢绞线，强度等级为1770Mpa。每束拉索由31根Φ15.24mm镀锌钢绞线组成，外面套以HDPE整圆式圆管。拉索穿过塔上索鞍对称锚固于梁体内。位于锚具内和索鞍处的钢绞线为裸索，待整体调索后，在锚具内灌注建筑油脂，索鞍内钢管和抗滑锚具内灌注高强环氧树脂砂浆。

2 斜拉索施工工艺

2.1 斜拉索制作与安装工艺流程图

2.2 下料

2.2.1 下料长度确定

主索下料时，一方面考虑主跨、边跨和主塔

高程，锚垫板高程以及索鞍弧长计算所得的设计长度，另一方面考虑锚具的安装尺寸、张拉端的工作长度、垂度影响长度、梁塔施工误差影响长度等影响因素，按下列公式计算出无应力状态下索体的自由长度。其中每号索下4根长度为 $L_0+100\text{cm}$ ，以供吊挂HDPE圆管。

$$L_0=L_{01}+L_{02}+2A_1+2L_1+L_2+L_3+L_4+5\text{cm}$$

式中： L_{01} ---边跨锚垫板之间的直线距离；

L_{02} ---中跨锚垫板之间的直线距离

A_1 ---锚具外露长度；

L_1 ---张拉工作长度；

L_2 ---有圆管限制时垂度影响长度；

L_3 ---塔梁施工误差的影响长度；

L_4 ---鞍座两端锚垫板中心线长度（弧长+侧长）。

根据设计和斜拉索安装上的需要，梁端锚具内及鞍座内钢绞线的HDPE护套要剥除，其剥除长度由下列公式决定：

$$\text{张拉端：} L=L_1-L_5+\Delta L+A_2+5\text{cm}$$

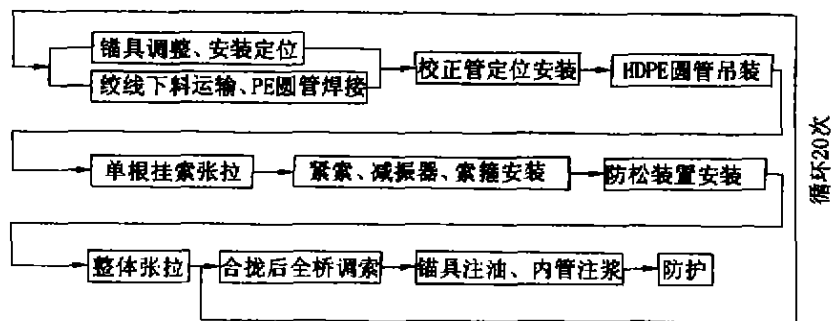


图3 斜拉索制作与安装工艺流程图

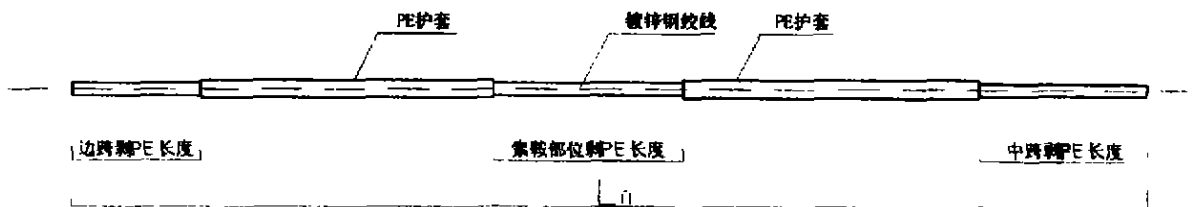


图4 下料示意图

索鞍部： $L' = L_4 + 2L_5 - 2L_7$

式中：

L_5 ---HDPE护套进入锚具内的长度；

ΔL ---该索单根张拉时的伸长量；

A_2 ---锚具结构长度；

L_6 ---抗滑锚具长度；

L_7 ---HDPE护套进入抗滑锚具内长度，取25cm。

2.2.2 下料工艺

根据拉索具体情况，下料长度和剥PE护套长度要求比较严格，下料长度误差大小直接影响到今后索体制作时控制精度。为此设计一套机械下料线，它由放线架、龙门架、自动卷盘机、切割机、放线轨道以及卷扬机组成。下料过程如下：

沿机械下料线预先对下料长度、PE护套剥除长度进行放样，反复校核无误后用红油漆标记。如图4所示。

将绞线盘放置到放线支架上，利用卷扬机钢丝绳端部的索夹夹紧钢绞线并将之牵引到对应标记处，切断。同时根据PE剥除标记剥除张拉端和鞍部钢绞线的PE。因为裸露钢绞线表面有白蜡，它对锚固效率和环氧树脂握裹效果都有影响，因此用OVM专用清洁剂把裸露处白蜡清洗干净。把清洗好的钢绞线张拉端打散，在端头10cm长度范围内切除周围六丝，用LD10 镦头器把中心丝镦成半圆形镦头，以供挂索时牵引用。然后将钢绞线复原，并从边跨端一根接一根地卷成盘，搬运到主塔附近桥面，以方便挂索。

2.3 HDPE圆管焊接与下料

漳州战备大桥索体整体防护采用灰白色HDPE圆管，其规格尺寸为： $\phi 180 \times 8$ ，每段7m。采用发热式对焊连接，焊接条件较苛刻，与环境温度、湿度、风级，工作平面水平度等因素有关，尤其温度、压力控制最为重要。

2.3.1 工艺流程

如图5所示。

2.3.2 焊接参数如下表

管材规格	$\phi 180 \times 8$
预热温度	$210 \pm 10^\circ\text{C}$
预热压力	11bar
预热完成后加热时间	69s
允许最大切换时间	4s
焊接压力	11bar
冷却时间	10s

根据梁、塔锚垫板之间的设计距离，梁下预埋管长度，塔上锚固块的长度，考虑到温度的影响以及HDPE圆管与预埋管连接固定的基本尺寸，还有挂索需要的工作空间、减振器、索箍的安装尺寸等，决定了HDPE圆管的下料长度。漳州战备大桥斜拉索安装施工安排在4月到7月，环境温度较高，而且昼夜温差较大，所以下料时根据温度变化对HDPE圆管下料长度进行必要修正。在施工中，取环境温度 30°C 、极限温差 60°C ，当环境温度升高时，预留有伸长空间，温

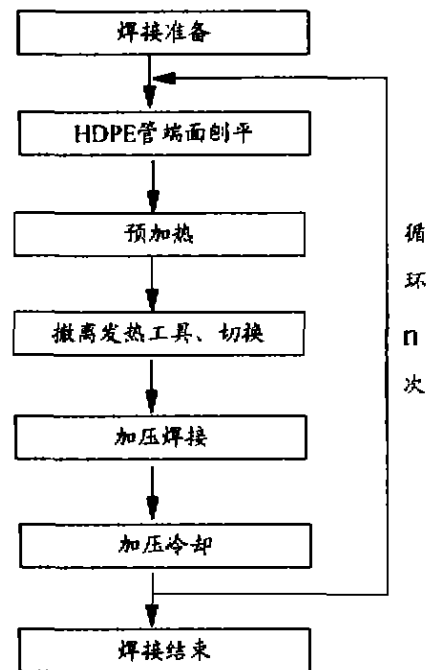


图5 工艺流程图

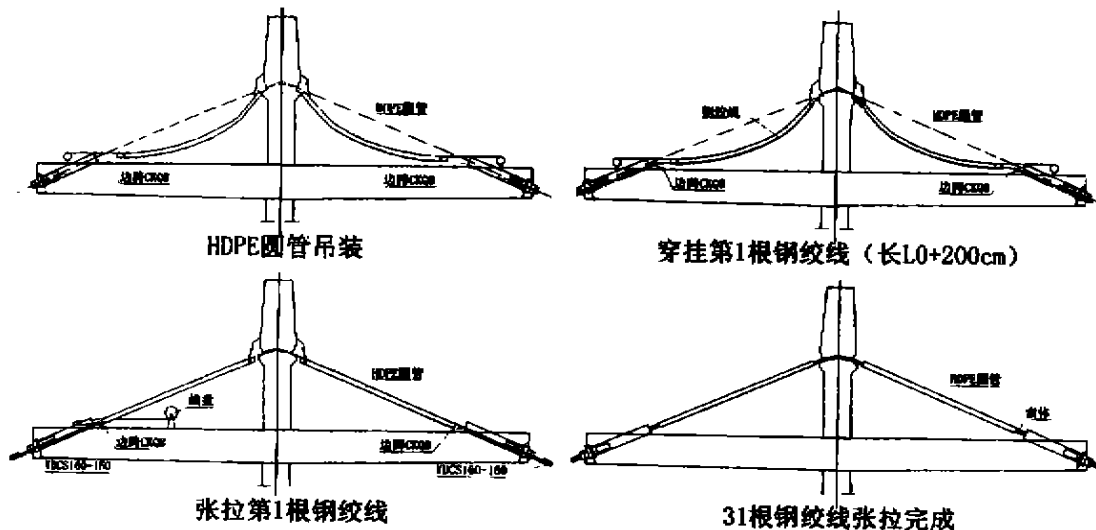


图6 单根挂索张拉工艺图

度下降时，预留有足够的收缩长度，而不致于脱离HDPE圆管的连接装置。

2.3.4 HDPE圆管吊装

将HDPE圆管运至中央分隔带旁，置于支架上，在距离HDPE上端管口80cm附近用管夹夹紧，并套入校正管和锚固块，然后用塔吊将HDPE圆管上端吊至塔上相应预埋管管口附近固定，如图6所示，然后安装下端校正管，并用葫芦适当拉紧HDPE圆管下端，以利于穿挂第一根钢绞线。

2.4 挂索张拉

平行钢绞线拉索体系一个突出特点是在施工现场通过钢绞线逐根穿挂、张拉来完成制索，简单，易操作，但前提是各根钢绞线不能发生打绞、打扭现象，否则就失去了它的本质意义。

2.4.1 挂索工艺

施工中，钢绞线从边跨端往HDPE圆管内推送，沿着HDPE圆管底部匍匐前进。为了防止打绞、打扭现象发生，穿索时统一从索体下游侧穿入、从下游侧往上游翻出，如图6所示。

穿索过程如下：

A、HDPE圆管吊挂起来之后，可以开始挂

索张拉了。先在边、中跨梁下锚具相应锚孔内，穿入 $\Phi 5$ 的牵引钢丝，随后用该牵引钢丝牵引出带有CKQ8的钢丝绳到桥面预埋管管口。

B、先在中跨端绞线头处装上导向帽，钢绞线放盘，然后从索体下游侧穿入HDPE圆管下端管口，并往上推送，如图7。

C、当钢绞线送到塔上边跨侧预埋管口时，从索体下游侧把绞线头翻出穿于内钢管内，然后继续推送，当穿出塔上中跨侧预埋管口时，把钢绞线头从索体下游侧穿入HDPE圆管，然后继续

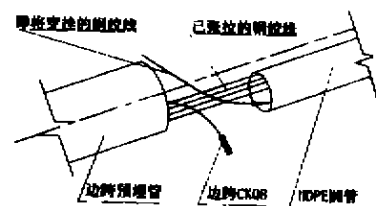


图7

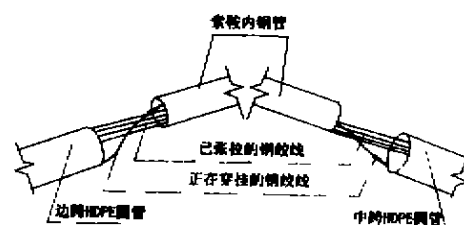


图8

推送,如图8。

D、当钢绞线头穿出中跨HDPE圆管的下端管口时,从索体下游侧把绞线头翻出,拆去导向帽,并把绞线与CKQ8连接,然后边推送边牵引,把绞线牵引出锚具外,直到长度适合后,装上临时夹片,如图9。

E 边跨钢绞线头与CKQ8连接,然后边推送边牵引,把绞线牵引出锚具外,装上临时夹片,单根穿索完毕,如图10。

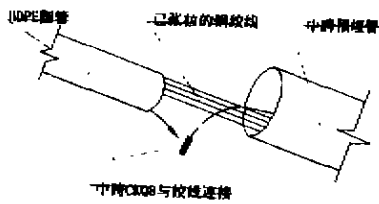


图9

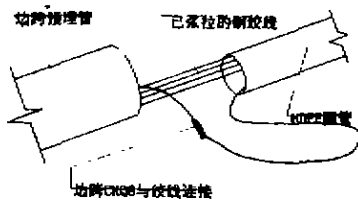


图10

2.4.2 挂索工艺流程

单根挂索工艺如图11所示。

2.4.3 单根挂索与张拉顺序

本桥一个新特点是索体穿过主塔索鞍对称锚固于梁体,在索鞍处钢绞线是从下往上紧密叠加排列的,因此拉索穿挂不能象锚固于梁塔的斜拉桥一样,从上排往下排穿挂,而只能自下排往上排的顺序挂索张拉。

该桥同一横截面的两排索中心轴线距离为80cm,挂索张拉施工中上游穿挂张拉一根,下游穿挂张拉一根,这样交叉循环进行。针对索鞍处索体的叠放排列形式和施工各控制点的统一性,对于同一锚具来说,从上游往下游、从底排往上排的穿挂张拉顺序进行,如图12所示。

张拉时采用中边跨两端对称同步张拉,张拉设备是YDCS160-150千斤顶,配以专用撑脚和连续张拉装置,当张拉到控制吨位后,工作夹片一次性锚固,此时能够保证夹片跟进量、平整度均匀,可以避免工作夹片反复锚固遗留下来的不良影响。

2.5 张拉控制技术

2.5.1 索体偏移量控制

索体在索鞍部位是裸露的,由于摩擦力较小,如果两边对称张拉时不同步,索体会向某一跨偏移。根据安装要求,最大偏移量不能超过10mm,因此张拉时必须严格控制偏移量。在施工过程中,于主塔上设一控制点,由偏离这个点的距离来控制两边的千斤顶的伸长量。另一方

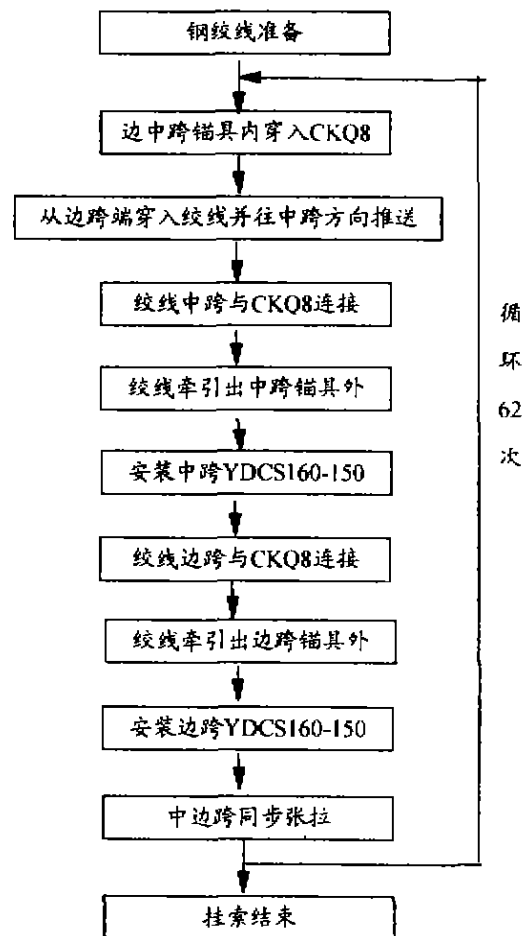


图11 单根挂索工艺流程图

面,千斤顶施力要求同步。控制上,安装好两跨千斤顶后,同时张拉到初应力(控制应力的15%),然后同时加压,此时密切监控主塔上预先设置的控制点,如果发现索体往某一跨偏移,则相应地降低该跨千斤顶的施力速度,当偏移量恢复到控制范围内时,两跨千斤顶再次同步加压,直到达到控制吨位。

2.5.2 索鞍内索体叠放位置的控制

本着同一排各根钢绞线水平方向不能发生交叉的原则。索鞍内管索体叠放是根据锚板锚孔穿索顺序进行的,由于当张拉时,如果不加以控制,而且索体总是落在最底点,这样可能所处的平衡位置将有多种,如图13所示。如果这样,同一排索在索鞍内管将会交叉叠放,这不单达不到设计要求,由于占用空间,还影响穿索施工。

2.5.3 索力离散性控制

2.5.3.1 索力离散性控制方法

斜拉索单根索力离散性(均匀性)是平行钢绞线拉索施工中的关键,它的质量直接关系到斜拉桥施工、营运过程中的质量和寿命。单根张拉时,由于结构变形,其它钢绞线所持应力状态会受到影响,影响程度与梁、塔结构变形程度有关。另一方面,均匀性还与锚孔、夹片的加工精度,施工设备质量、油表精度等因素有关。

施工中,为使每根钢绞线索力均匀,采用等张拉值法进行张拉,所谓等值,就是每根钢绞线在施

工过程中所持应力值相等。它是基于锚具相对于梁、塔来说,可以看作一个点,梁、塔受力变形对各根钢绞线的影响是相等的。控制方法是张拉力以控制压力表读数为准,传感器进行监控,也就是将传感器对称安装在底排第二根钢绞线上。张拉时每根绞线的控制拉力按当时传感器的变化值进行控制。张拉前,先估算单根张拉过程中拉力的损失量,设最后一根拉力为平均拉力时,第一根张拉系数,并将之换算成张拉力、控制油压的变化规律。根据施工的具体情况,第一根钢绞线拉力为设计控制力的95%。

2.5.3.2 索力离散性控制过程

A、根据挂索顺序,挂索从上游到下游交叉循环进行。如图五所示(设上游为单序号,下游为双序号)。第1根钢绞线按设计吨位的95%来控制。

B、同样,第2根钢绞线亦按设计吨位的95%来控制。

C、第3根控制吨位也是以设计吨位的95%来控制,并预埋压力传感器1#,张拉到控制吨位锚固后,记录传感器的初始显示值。

D、第4根同第3根一样的控制方法,并预埋压力传感器2#。

E、第5根张拉控制值以设计的95%为加压目标值进行张拉,当传感器1#发生变化时,比如变化 Δ ,则控制油压相应变化 $k\Delta$,其中 k 为传感

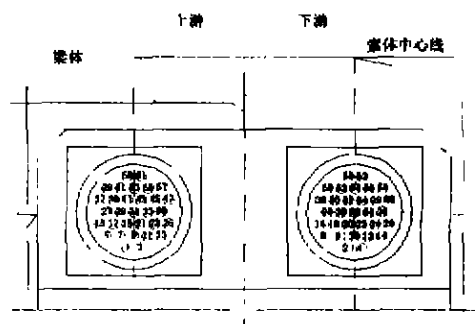


图12 挂索张拉顺序图

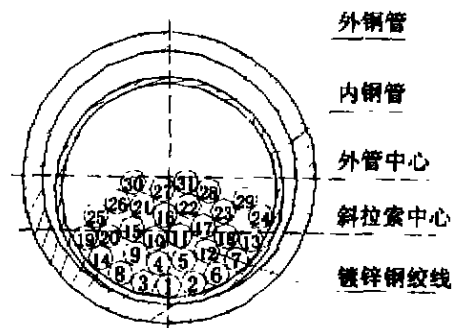


图13 钢绞线叠放顺序

器的变化系数。

F、第6根张拉控制值亦以设计的95%为目标值进行张拉，当传感器2#发生变化时，则控制油压亦相应变化。

G、往下的第7-62根的控制值按该锚具相应传感器的变化来控制。

H、张拉完毕后，更换第1、2根工作夹片，并按该锚具传感器变化值进行补拉。

1、拆除3、4根钢绞线上的传感器，并以当时的相应显示值来控制。

2.6 整体张拉

单根张拉之后必须采用整体张拉来调整。采用YDCS5500型千斤顶来张拉，它包括配套张拉撑脚和张拉连接套、张拉杆等。张拉时，通过张拉连接套，把整个锚具拉出来，当张拉到控制吨位后，通过旋锚具螺母来锁定。

由于两排索距离较小，整体张拉空间有限，上下游两束索不能同时张拉，每次只能对称张拉同一束索。由于结构变形以及张拉设备的变形，后张拉者必对先张拉者锁定应力产生影响，为了克服这个问题，相应进行超张拉，至于超张拉系数，先张拉者为设计控制吨位的1.02%，后张拉者为控制吨位的1.01%。

张拉时，同一束索的边、中跨各先预紧，然后两边同步张拉。当锚具初动时，记录初动值。所谓初动，就是当千斤顶所施的应力等于索体原有锁定应力时，螺母会脱离锚垫板，以此时的油压作为初动值，实际以螺母脱离锚垫板1mm时的油压值作为初动值。确定初动值之后，每2Mpa作为一等级，边中跨分级同步张拉，并记录每级的油压值和伸长值，以伸长值较核该索体的应力，验证索鞍处的索体是否往某一侧滑动。当同步张拉到控制吨位后，持压3min后，锚固卸压，并测出锚具回缩量。

2.7 斜拉索附件的安装

斜拉索附件包括减振器、索箍、HDPE圆管连接装置、抗滑锚头等。这些附件的安装必须按一定顺序进行。

减振器和索箍内截面设计为正六边形，因此根据减振器、索箍、JSZ37紧缩器以及HDPE圆管的具体安装尺寸，对于梁下减振器和索箍的安装，先在索体的六个角上安装6根长800mm的钢绞线，又称假索，用JSZ37紧索器将索体收紧，使之成为正六边形设计断面，以方便安装减振器和索箍。梁下减振器和索箍安装完毕之后，把HDPE圆管沿着索体放下搁在索箍上，以腾出空间安装上端减振器。由于索鞍内管圆形结构使当索体张拉完成之后，内管出口处索体的截面难以形成必要的正六边形截面，因此塔上减振器和索箍安装起来比较困难。针对具体形状，对减振器橡胶块进行稍微加工，并在索体周围表面的空隙里填入200mm和150mm的假索，然后用紧索器和千斤顶互相配合，把索体尽量紧成相应截面，再把减振器和索箍固定螺杆收紧。

减振器和索箍安装好之后，可以安装塔上的抗滑锚具（锚固块）了。由于内外管轴线和索体的实际轴线考虑上有所欠缺，以及垂度的影响，当索体张拉后，索体轴线往下偏移，从C1到C10都有类似情况发生，尤其C1到C5更为严重，索体完全贴到了锚固块内圆下底面。针对这种情况，把锚固块原来的圆形螺孔扩大或者现场加工成槽形孔，把整个锚固块往下挪，再把紧固螺杆拧紧。

HDPE圆管连接装置是“哈弗”结构，它有两个方面的作用：防水和固定HDPE圆管。由于气候特殊，为了防水，该连接装置在原有基础上，增加了一内防水罩，它是锥形结构，大端与预埋管周围焊接，小端套入HDPE圆管内，HDPE圆管内外管壁的水分都通过内防水罩排出预埋管外，解决了以前由于渗水和圆管内水气形

成的水分进入锚具内造成不良影响。安装上, 上端连接装置大端套进锚固块, 套进长度80mm, 并周围焊, 以固定和防水, 小端箍在HDPE圆管上, 保证温度最低时箍抱长度至少200mm。下端连接装置大端箍在预埋管管上, 箍抱长度200mm, 小端箍在HDPE圆管上, 箍抱长度400mm。

2.8 索鞍内管灌注高强环氧砂浆

由于环氧砂浆粘度大, 流动性一般, 采用一般的灌浆方法无法完成。现采用OVM活塞式环氧注浆泵, 可以缓慢把环氧砂浆压进抗滑锚具和内管内。由于塔上减振器处的索体非正六边形, 而且钢绞线之间亦存在着间隙, 如图六。另一方面, 环氧砂浆不能进入减振器之内, 为了防止漏浆, 在灌注之前, 先对该部位进行密封。方法是待塔上减振器安装完成之后, 在它的上端面先用较稠的环氧砂浆环索体封裹, 当凝固之后, 在索体的上侧把较稀的环氧砂浆倒入索体间隙内, 并让其充分渗到索体内部, 等之凝固之后, 减振器上端面也就得到良好密封。压浆时, 根据设计配合比, 用OVM活塞式环氧注浆泵把浆体压入内管内, 当排气孔溢出浆液1~2min后停灌, 并把

灌浆孔封堵。

3 结论

3.1 漳州战备大桥为部分斜拉索桥, 系国内首次采用。相对现有的斜拉索制作与安装施工, 制作工艺技术含量高, 难度大。

3.2 针对这种情况, 制定了可行的施工工艺, 并在施工中采用了新工艺新方法, 使工程施工得到了完美完成, 达到了预期的质量要求。

3.3 漳州战备大桥是柳州建筑机械总厂研制的OVM200拉索体系在部分斜拉索桥的成功应用, 证明其在同类型桥中应用的可行性, 锚固性能好, 现场制作和安装方便, 经济性好。

3.4 该桥无论在设计和施工都存在着不足之处。今后如遇到该类桥, 结构设计, 施工都应进一步深入研究, 使该类桥在质量上、经济上、美观上、施工工艺上更加完善, 应用更加广泛。

参考文献:

1. 《斜拉索施工》 林元培
2. 《公路桥涵施工技术规范》交通部第一公路工程总公司
3. 《漳州战备大桥工程设计图册》铁道部第一勘测设计院
4. 《OVM平行钢绞线拉索施工指南》柳州市建筑机械总厂

柳州人将参与建造“世界第一虹”

OVM产品抢滩大上海

日前, 市建机总厂在上海卢浦大桥工程竞标中, 凭借其高质量的OVM产品及先进的技术, 以绝对优势击败参与竞标的众多国内外同行企业, 一举拿下了总标价为80余万元人民币的大桥扣索供货及施工的合同。

卢浦大桥于今年初开工建设, 是上海市继南浦大桥、扬浦大桥及徐浦大桥等重点工程相继投入使用之后兴建的又一座连接浦东浦西的特大桥

梁。该桥全长6公里, 总投资22亿元人民币, 主桥为钢箱拱中承式结构, 主跨550米, 为同类桥中世界第一, 号称“世界第一虹”。

市建机总厂现已成立卢浦大桥扣索工程项目指挥部, 并做好了组织人员进场施工的准备工

(原载于《柳州日报》2001年10

月2日第一版, 记者刘亮权报道。)

