

安康七里沟汉江大桥环氧钢绞线斜拉索 安装工艺

唐顶峰 陈双庆

(湖南路桥建设集团公司 湖南长沙 410004)

摘要:斜拉索为环氧喷涂钢绞线拉索体系,其优点是可使用轻便施工设备、有效地完成斜拉索的安装和张拉,但技术含量高,在斜拉索的安装施工中对接力控制精度高。通过介绍陕西安康七里沟汉江大桥矮塔斜拉桥斜拉索的安装施工,详细阐述了环氧喷涂钢绞线拉索的安装施工工艺,以及单根钢绞线等值法张拉控制的方法,供施工人员借鉴。

关键词:环氧喷涂钢绞线 斜拉索 安装 等值法 张拉

1 工程概述

陕西安康七里沟汉江大桥是安康横跨汉江的第三座城市桥梁,设计轻盈,造型美观。主桥为2塔3跨预应力混凝土单索面矮塔斜拉桥,引桥为35m预制箱梁,桥跨布置为 $3 \times 35\text{m} + 75\text{m} + 125\text{m} + 75\text{m} + 3 \times 35\text{m}$ 。斜拉索采用OVM250AT钢绞线拉索体系,单面索,每个索塔设9对斜拉索,布置在中央分隔带上,横向布置间距1m,梁上索间距4m,塔上索距2m。斜拉索在塔上部通过分丝

管转向鞍,两侧对称锚于主梁上,如图1。

2 斜拉索结构设计

斜拉索采用OVM250AT-34、31可换索型单丝喷涂的环氧钢绞线拉索体系,每根拉索由31或34根单根环氧防腐钢绞线组成。每根斜拉索由锚固段+过渡段+自由段+抗滑锚固段+塔柱内索鞍段+抗滑锚固段+自由段+过渡段+锚固段构成。该体系是目前矮塔斜拉桥广泛应用的一种新型的OVM钢绞线斜拉索体系,如图2所示。

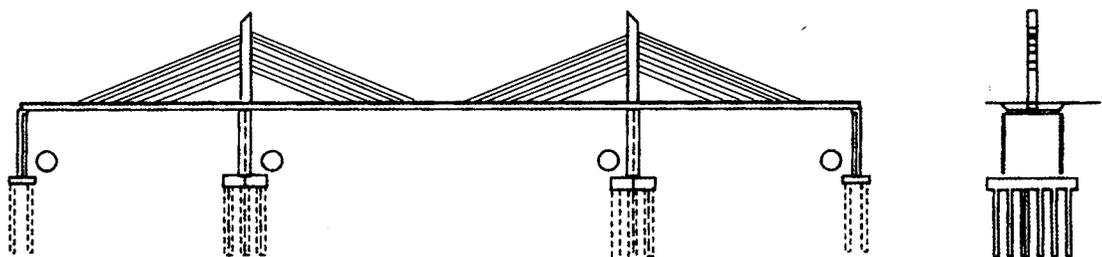


图1 桥型构造图(单位:cm)

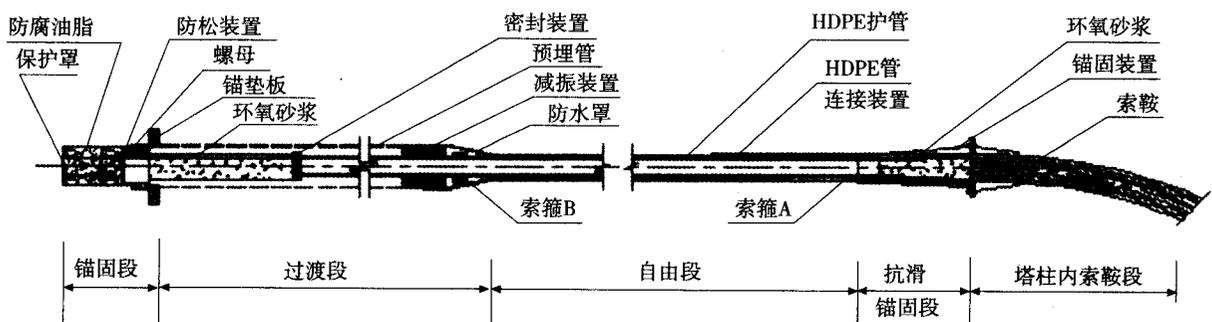


图2 OVM250AT体系结构图

3 斜拉索安装施工工艺

3.1 准备

斜拉索体系应提前订制采购；索塔施工时准确安装转向鞍；主梁施工时准确安装索套管。

3.2 钢绞线下料

拉索下料包括单根钢绞线下料和剥PE护套以及油脂清除。下料时，场地要平整，保护钢绞线PE护套不受损伤，发现破损应及时修补，下料长度准确，注意防火。

3.2.1 下料长度计算

$$L=L_0+2\times A_1$$

式中， L_0 为梁端锚垫板地面之间的中心线，该数据由设计图纸提供； A_1 为1.5m~2.0m，工作长度，包括张拉长度、支撑高度、锚板厚度、施工误差。

3.2.2 钢绞线PE剥除长度

张拉端（一端） $L_{\text{张}}=A_1+A_2$ ， A_2 =张拉延伸量；

塔端（一端） $L_{\text{塔}}=0.5\text{m}$ ，略大于塔端防滑锚筒长度。

3.2.3 清除油脂

钢绞线剥除PE部位油脂应清除，以保证环氧砂浆的握裹力和张拉时的握裹力且方便施工。清除油脂可先用干棉纱擦拭，再用洗涤剂清洗。

3.3 HDPE护管下料与施工

3.3.1 下料长度

根据斜拉索设计长度、梁上索套管及防水罩长度、塔端锚固筒长度和HDPE伸缩管装置、转向鞍、HDPE圆管伸缩长度，决定HDPE圆管下料长度。

$$L_{\text{管}}=L_0/2-L_1-L_2-L_3/2+L_4$$

式中， L_0 为斜拉索中心线，该数据由设计图纸提供； L_1 为梁端索套管及防水罩长度； L_2 为2.7m，塔端锚固筒和HDPE伸缩管装置长度； L_3 为2.8m，转向鞍长度； L_4 为0.6m~1.0m，HDPE圆管伸缩长度。

3.3.2 HDPE管焊接

HDPE管单根长约8m，采用专用发热式对焊机，在桥面对焊成长为 $L_{\text{管}}$ 的一条整管，焊接实

物照片如图3。HDPE管焊接时，根据管材规格，其焊接条件见表1。

表1 HDPE管焊接条件表

管材规格 (mm)	加热温度 / 时间	切换	焊接压力	冷却时间
$\phi 200 \times 7.7$	170℃ / 40s	8 s	4MPa	360 s



图3 焊接施工照片

3.3.3 HDPE护管吊装

(1) 在桥面上将HDPE护管焊接好，然后将塔端伸缩装置、防滑锚固装置等部件组装并临时固定好，再在管内穿一临时定位导向钢丝绳。

(2) 利用塔吊将拼好的HDPE护管上端吊起，接近索塔上指定转向鞍时再利用千斤绳和葫芦将护管吊挂在转向鞍管口相应位置，将定位钢丝绳上端锁紧在分丝管口，牵引钢丝绳下端将HDPE护管下端牵引至梁端索套管口。

(3) 利用葫芦拉直定位钢丝绳使HDPE护管就位，待HDPE护管基本顺直后再固定，即可安装钢绞线，安装第一根钢绞线完毕后再拆除此钢丝绳。

3.4 环氧钢绞线安装

3.4.1 安装顺序

梁端安装张拉锚具，使锚具孔与分丝管孔对应平行，一一对应编号→第一根钢绞线安装，张拉初应力后锚固→第二根钢绞线安装，张拉初应力后锚固，如此类推，直至全部安装完毕→钢绞线张拉至控制应力→拉索安装索夹，锚固夹片安装防松装置→安装减振装置→安装保护罩并注防腐油脂，防滑装置内注环氧砂浆→防水罩密封，外包不锈钢管。

3.4.2 单根钢绞线安装工艺

(1) 将下好料的钢绞线运至桥面穿索点附近, 抽出钢绞线的一头(称前端, 另一头称为后端), 人工将其从HDPE管一端喂进, 穿过HDPE管到达转向鞍, 从对应分丝管孔穿过, 进入另一侧HDPE管, 直至梁端索套管口;

(2) 在梁端从锚具对应孔位安一牵引钢丝, 将该钢丝与钢绞线前端连接好, 在牵引钢丝的牵引下, 人工将钢绞线推进穿过锚具, 直至露出所需的工作长度;

(3) 前端钢绞线到位后, 随即将后端钢绞线与牵引钢丝连接, 同样在牵引钢丝的牵引下将钢绞线后端穿过锚具;

(4) 调整两端工作长度, 对称张拉该钢绞线至初应力并锚固;

(5) 索塔两侧防滑锚固段剥除PE保护层, 并清理油脂;

(6) 完成第一根环氧钢绞线安装后再进行第二根安装, 依此类推。施工中为防止钢绞线打绞现象发生, 穿索时按顺序自上而下逐行逐根进行。

3.5 斜拉索张拉

斜拉索张拉关系桥梁结构受力, 是环氧钢绞线拉索张拉施工中的关键。本桥斜拉索采用单根等值法进行张拉。即逐根张拉钢绞线至控制力, 最后合力达到设计(监控)控制力, 偏差在容许范围之内。单孔张拉实物照片见图4。



图4 单孔张拉照片

3.5.1 张拉机具准备

选用YDCS160-150千斤顶, 0.4级油压表, ZB4-500电动油泵。

3.5.2 计算第一根张拉控制力

根据设计(监控)提供索力 P , 钢绞线根数 N , 得单根钢绞线控制力 $F = P/N$ 。由于在逐根张拉过程中主梁标高逐渐变化使钢绞线拉力逐步变小, 为了使最后结果满足设计(监控)和规范要求: 即索力偏差不超过2%; 单根钢绞线拉力均匀(偏差不超过1%), 必须根据钢绞线拉力变化规律对每根钢绞线张拉控制力进行相应调整。

以A7索第一根钢绞线为例进行说明, 如图5所示, 钢绞线斜拉索张拉前锚点为 P , 标高为 h_1 , 张拉后锚点为 P' , 标高为 h_2 , 标高抬高量为 $\Delta H = h_2 - h_1$ 。一侧斜拉索长度减小 $\Delta L = L_{AP} - L_{AP'}$, $L_{AP} = \sqrt{(H^2 + L^2)}$, $H = L/\tan\alpha$ ($\alpha = 27.32^\circ$, $L = 4744.8\text{cm}$), $L_{AP'} = \sqrt{[(H - \Delta H)^2 + L^2]}$ ($\Delta H = 5.1\text{cm}$ 监控计算分析提供数据), 则得出 $\Delta L = 23\text{mm}$, 另外由于锚固时夹片回缩, 实际斜拉索长度减小 $\lambda = (\delta + \Delta H)$, $\delta = 4\text{mm} \sim 6\text{mm}$, 变化值 ΔF 由式 $\Delta F = EA\lambda / L_{AP}$ 算出, 式中: $EA = 1.95 \times 10^5 \text{MPa} \times 140\text{mm}^2$ 。算出 $\Delta F = 13.8\text{kN}$, 则第一根钢绞线张拉控制力 $P' = (F + \Delta F) = (P/N + \Delta F) = 3000/31 + 13.8 = 110.57\text{kN}$ 。计算中未考虑悬链线和温度场变化的影响。也可直接利用CAD平台计算斜拉索变形值 ΔL , 再计算 $\lambda = (\delta + \Delta H)$ 和 $\Delta F = EA\lambda / L_{AP}$

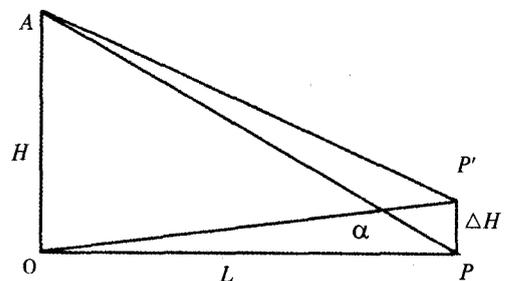


图5 变形计算图示

同理, 第二根钢绞线也存在拉力变小, 只是损失量是在第一根钢绞线张拉后已发生部分标高变化的基础上产生的。依此类推, 除最后一根钢绞线外均存在拉力变小的问题, 都须进行拉力补偿。理论上可以逐根计算出 ΔH , 再逐根计算 P'_i 或每张拉一根实测一下 ΔH , 再现场计算 P'_i , 但非常繁琐, 为此我们采取了等值法进行张拉。

3.5.3 等值法基本原则

(1) 在第一根钢绞线上安装单孔测力传感器和临时锚具,用专用单根千斤顶张拉并反复调整第一根钢绞线拉力直至计算控制力,锚固后第一根钢绞线拉力直接显示在测力传感器的显示器上。

(2) 第二根钢绞线同样张拉,在张拉过程中第一根钢绞线拉力显示轻微下降,即有拉力损失,当千斤顶张拉第二根钢绞线的力和第一根钢绞线上读取的力一样时,停止张拉,此时第一根和第二根钢绞线拉力相等。

(3) 第三根钢绞线同样张拉,此时第一根和第二根钢绞线拉力同时轻微下降,当张拉到和第一根钢绞线上读取的力一样时,此时三根钢绞线拉力相等。

(4) 重复操作直至最后一根钢绞线张拉完毕,记录最后的读数。

(5) 拆除第一根钢绞线上的测力传感器重新张拉至显示器最后显示的力值并锚固。

3.5.4 斜拉索张拉实例

A7索张拉时实测读数如表2所示。

表2 斜拉索张拉实测数据表(单位:kN)

钢绞线 编号	传感器 实测拉力	钢绞线 编号	传感器 实测拉力	钢绞线 编号	传感器 实测拉力
1	110.62	12	105.84	23	101.01
2	110.14	13	105.19	24	100.75
3	109.70	14	104.75	25	100.38
4	109.15	15	104.15	26	100.11
5	108.71	16	103.73	27	99.75
6	108.19	17	103.32	28	99.53
7	107.73	18	102.90	29	99.18
8	107.55	19	102.64	30	98.91
9	107.27	20	102.23	31	98.67
10	106.75	21	101.74	1(拆测力 传感器后 重张拉)	98.67
11	106.27	22	101.40		(油表控制)

张拉完后对索力进行检查分析,单根钢绞线之间的(均匀性)偏差都在 ± 1 ,张拉的索力 P 偏差在 $+2\%$ 误差范围内;测量主梁抬高量 $\Delta H = 5.2\text{cm}$,证明单根等张力法张拉一步到位的工艺与方法,完全可以达到拉索整体张拉的应力效果,满足设计和规范要求。

3.6 安装斜拉索附件

3.6.1 安装防松装置

斜拉索张拉完成后尽快安装夹片防松装置。一一对位,先将限位钢板固定,再逐个拧紧限位螺丝顶紧夹片。

3.6.2 安装索夹和减振装置

在塔端锚固装置口和主梁端索套管口安装索夹,可用紧索器先将钢绞线箍紧,再上索夹,也可增加4个长螺杆直接用索夹将平行钢绞线箍紧。安装索夹可以增大斜拉索刚度和阻尼,也为安装减振器作准备。减振器紧抱斜拉索,调节定位钢臂紧贴索套管,再将定位钢臂与减振器抱箍焊牢。对不够紧贴索套管的定位钢臂,用钢板加长。

3.6.3 安装保护罩并注防腐油脂,防滑装置内注环氧砂浆,防水罩密封,外包不锈钢管。

4 质量控制

4.1 斜拉索索力控制

4.1.1 张拉设备及测力传感器质量控制

斜拉索索力是质量控制点,索力的控制主要通过张拉设备及测力传感器来实现,因此,用于斜拉索施工的相关设备性能与质量十分关键。为了能有效地将索力控制在规范允许的范围内,在安康七里沟汉江大桥斜拉索施工中使用精度等级为0.4级油表,0VM专用YDCS160型千斤顶,并配合OVM-CYL300A测力传感器和2000标准负荷测量仪。斜拉索专用张拉设备将按一台千斤顶对应一个油表的要求送集团公司检测中心试验室进行标定,测力传感和2000标准负荷测量仪精度必须有检验合格证和标定书,进场后按一个测力传感器对应一个2000标准负荷测量仪在试验室用数显式压力机对应复核。对于在标定过程中出现异常情况的设备,禁止使用。

张拉设备及测力传感器进场后,应派专人使用和管理,对于发生以下情况将予以重新标定:

- (1) 张拉设备的标定期达到规定有效期,或张拉超过300次;
- (2) 千斤顶经过拆卸修理;
- (3) 压力表受过碰撞或出现异常现象或更换压力表;

(4) 测力传感器及2000标准负荷测量仪更换。

4.1.2 斜拉索的索力控制

如前面3.5所述,采用等值法四台千斤顶同步张拉,直接张拉到控制力,与以前施工普遍采用最后用大千斤顶张拉到控制力的方法不同,最后用大千斤顶张拉到控制力直观明了,但投入大,施工难度大,并且不能简省小顶等值法张拉程序。采用OVM专用YDCS160型千斤顶直接张拉到控制力,既简化了斜拉索张拉工艺,同时在其他设备相同的条件下,索力控制也很容易满足精度要求。分析如下:

假定油表读数偏差0.1MPa,则单根钢绞线受力偏差为 $160\text{kN} \times 0.1 / 50 = 0.32\text{kN}$, 0.33%,整索31根受力偏差为 $31 \times 0.32 / \sqrt{2} = 7.01\text{kN}$, 0.23%。假定用4000kN大顶张拉时油表读数偏差同样0.1MPa,则斜拉索受力偏差为 $4000\text{kN} \times 0.1 / 50 = 8.0\text{kN}$, 0.27%,假定用3500 kN大顶张拉则斜拉索受力偏差为0.23%。可见采用OVM专用YDCS160型千斤顶直接张拉到控制力完全满足精度要求。同时张拉过程中严格实施索力与延伸量双控,较长钢绞线的延伸量的计算应充分考虑桥面与塔柱的变形及来自垂度的影响。

通过以上各方面的控制措施,安康七里沟汉江大桥的索力得到有效地控制。同级的每道索的终值索力偏差都在 $\pm 2\%$ 以内,同级的单根钢绞线的索力除了极少数的略超过 $\pm 1\%$ 外,其余的都在规范的允许范围内。桥面标高变化与理论值相符。

4.2 防腐施工质量控制

OVM250AT矮塔斜拉桥拉索体系斜拉索本身具有优良的防腐性能,而如何在施工中对质量进行有效地控制,从而发挥该体系的优良性能,成为施工控制的关键。

4.2.1 密水和外表防护

HDPE护管作为该斜拉索体系的最外层保护,防晒、抗紫外线,施工必须做到无破损,焊接牢靠,HDPE护管壁厚满足设计,保证在施工吊装中具有足够的强度,桥面2m高度范围HDPE

护管用不锈钢薄板包裹,伸缩长度足够,保证在正常使用过程中具有良好的水密性和耐久性。

4.2.2 环氧钢绞线质量控制

环氧钢绞线PE保护皮对钢绞线的耐久性将有很大的影响。在施工中应对钢绞线的PE皮进行严格的保护,对于PE皮有缺陷的钢绞线及时修复或切除。严格控制钢绞线PE皮的剥除长度,除了计算中做到准确无误外,施工中应严格控制剥皮长度的误差范围。并在每根钢绞线挂索结束张拉之前,对两端剥皮钢绞线露出长度进行测量,检测是否对称。并结合张拉延伸量,推算出带PE皮的钢绞线是否将抵达夹片锚固位置。

环氧钢绞线的环氧树脂层是最好的防腐材料和防腐措施,也是必须严格控制质量的关键点。张拉时工作锚固夹片和工具夹片对钢绞线环氧树脂层不可避免有咬合损伤,为避免反复张拉锚固引起的咬合损伤,因此在张拉施工中应采取特殊工艺:设计有0.4m高张拉台座,在台座上临时锚固钢绞线,反复张拉锚固引起的咬合损伤部位均在台座外,张拉到设计值后再将工作夹片锚固,最后用砂轮切割机将环氧钢绞线从台座上临时锚固位置切割,留下0.4m锚固长度。张拉完成后用环氧漆涂刷切割端头,用环氧树脂砂浆封堵工作锚固夹片,并及时安装保护罩,灌注防腐油脂。

5 结语

斜拉索施工是整个斜拉桥施工的重要内容,各项工作细致复杂,技术含量高。环氧喷涂钢绞线拉索作为一种新型拉索体系,具有运输方便、安装安全、索力易控、防腐优良等优点。鉴于其安装施工技术目前还不为广大桥梁建设者掌握,通过安康七里沟汉江大桥矮塔斜拉桥斜拉索安装施工实践,在此提出以下建议:施工人员必须认真负责,各个环节严格控制质量,斜拉索张拉设备及测力传感器应由专人使用和管理;采用等值法张拉可以直接张拉到控制力;仅采用小吨位千斤顶张拉时不宜调索力。

参考文献

- [1] 林元培 等著. 斜拉桥[M]. 北京:人民交通出版社, 1994.4
- [2] JTJ041—2000. 公路桥涵施工技术规范[s]. 北京:人民交通出版社, 2000.10