

# 江珠高速公路荷麻溪特大桥斜拉索施工技术

农为英 韦福堂

(柳州欧维姆工程有限公司 柳州 545005)

**摘要:**江珠高速公路荷麻溪特大桥是目前国内第一跨度矮塔斜拉桥,也是第一次应用环氧喷涂钢绞线成品索的矮塔斜拉桥。本文主要介绍该桥斜拉索施工工艺,为以后同类型桥梁施工提供借鉴和经验。

**关键词:**环氧喷涂钢绞线成品索 悬浮张拉 张拉力

## 1 概述

荷麻溪特大桥主桥为预应力混凝土部分斜拉桥,全长480m,跨径组合为125m+230m+125m=480m,主桥桥面宽28.3m。共设两个索塔,布置在中央分隔带上,索塔桥面以上高39.0m,断面尺寸为顺桥向宽5.0m,横桥向宽2.5m。斜拉索在塔顶的锚固采用内外钢管鞍座结构,埋设于混凝土塔内,如图1。

斜拉索为单索面,布置在中央分隔带上,梁上索距4.0m,塔上索距为0.8m。每个索塔共设16对(32根)斜拉索,在横向分为2排。斜拉索采用环氧喷涂钢绞线成品拉索,其标准强度为1860MPa。斜拉索共有两种规格:其中C1#至C8#为OVM250-31,C9#至C16#为OVM250-43。

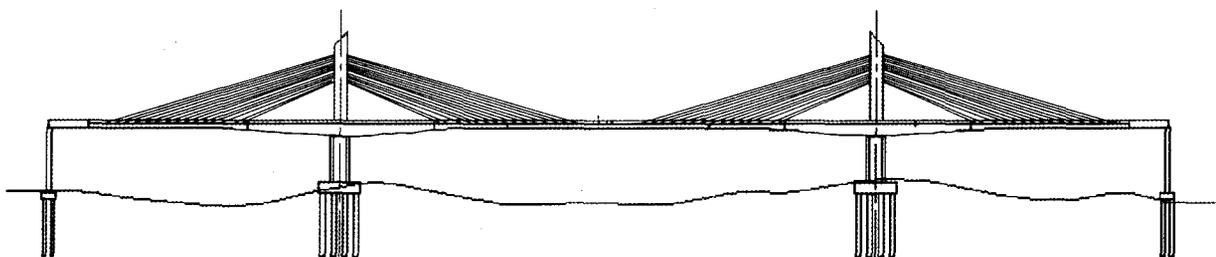


图1 大桥立面图

## 2 斜拉索安装

### 2.1 斜拉索索体特点

荷麻溪特大桥斜拉索采用环氧喷涂钢绞线成品索,该成品索具有多层防护:第一道防护为单根环氧涂层;第二道防护为单根涂抹油脂;第三道防护为单根热挤聚乙烯层;第四道防护为整体热挤聚乙烯层。钢绞线成品索在工厂加工制作然后卷成盘用汽车运至施工现场,然后进行整体穿束安装,见图2。

### 2.2 斜拉索安装的总体思路

斜拉索在工厂预制成成品索后卷盘运至工地。由于索体及索盘比较重,根据现场的垂直运输设备条件,索体及索盘安置在桥底进行放索。斜拉索安装采用卷扬机为牵引动力,牵引卷扬机安放

在桥面上,在桥面上及索塔上布置索体的牵引行走路线,利用钢丝绳来牵引成品索体。

### 2.3 展盘机构

斜拉索安装放索时需要一个专用的放线盘,根据索盘尺寸大小制作专用的放线盘,放线盘采用平放式。放线盘由底座、上下承压板、中间环形导轨、滚珠、定位轴组成,这种放线盘易于加工,操作简单方便。

### 2.4 牵引系统

索体牵引动力设主牵引卷扬机和辅助牵引卷扬机,卷扬机采用5t卷扬机,在中跨桥面上安装主牵引卷扬机,辅助牵引卷扬机安装在边跨桥面上靠近索塔根部。主牵引卷扬机牵引索体从地面的索盘处到桥面再经过索鞍座,最后牵引索体至

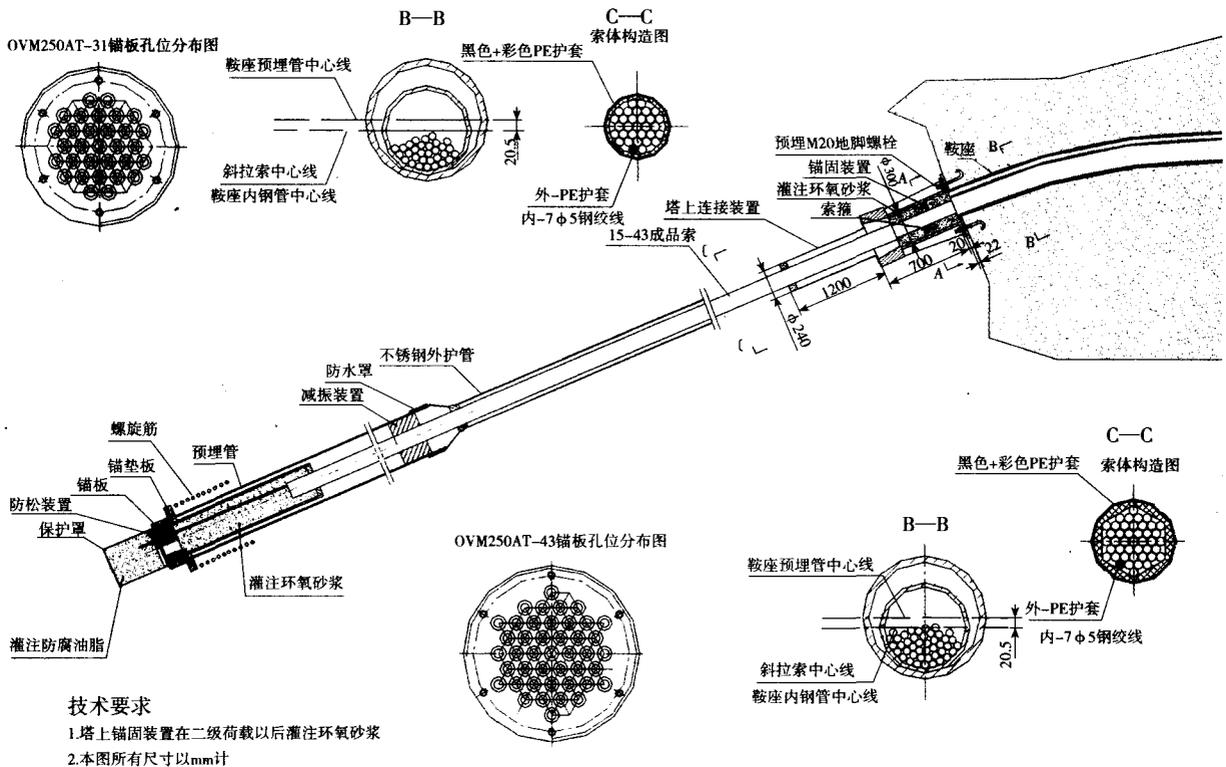


图2 成品索结构示意图

中跨梁端预埋管口处。辅助牵引卷扬机辅助主牵引卷扬机牵引索体从地面的索盘处牵引到桥面。

### 2.5 旋转式转向索鞍

索体穿索线路上有高低落差，索体在牵引过程中在截段箱梁端面及索塔鞍座预埋管口两侧产生较大的折角，因此在梁端及索塔预埋管口两侧设置转向滚轮，转向滚轮采用两到三个滚轮组，形成夹角大于150度的圆弧线。转向滚轮进行临时固定，在梁端面处把转向滚轮与预埋钢筋焊接牢靠，在索鞍出口处把转向滚轮与脚手架连接固定，同时增加必要的支撑。

### 2.6 牵引挂索

索体的安装以设置在桥面的主、辅助牵引卷扬机为牵引动力，布置牵引钢丝绳在索体的牵引线路上形成连续的行走路线。具体的索体牵引安装如下：

(1) 释放牵引钢丝绳，钢丝绳从中跨桥面上放出，穿过索塔鞍座内管，经过边跨桥面，穿进边跨梁端预埋管，牵引至桥底地面索盘处。同时把索体及索盘安装到放线盘上。

(2) 把牵引钢丝绳与索体通过高强卸扣连

接，启动卷扬机收紧牵引钢丝绳牵引索体，同时需转动索盘释放索体。

(3) 索体牵引至梁端前，用手拉葫芦把索体前端拉高，再缓慢收紧牵引钢丝绳把索体牵引上滚轮。当索体牵引至索塔鞍座预埋管前以同样的方式把索体牵引进内管。

(4) 把索体牵引至中跨梁端预埋管口后，解除牵引钢丝绳。

(5) 索体两端及索鞍段剥除PE层后清洗干净，安装锚具，把工作螺母卸下，用专用的牵引索把索体牵引出锚垫板，然后安装上工作螺母。把索体及锚具牵引出梁端锚垫板之前，在索鞍两侧预埋管出口处用索夹把索体固定以阻止索体在索鞍预埋管内及来回托动，索体牵引安装完成。

### 2.7 斜拉索锚固段特殊出路

本桥斜拉索结构上要求斜拉索有三处锚固部位：锚具段+索鞍抗滑段+锚具段。

#### 2.7.1 索鞍抗滑段剥皮清洗

斜拉索索体采用了多层防护，索鞍段的剥皮和清洗包括：索体最外防护层大HDPE层（彩色和黑色层）及缠包带，钢绞线的小PE层，清洗

喷涂环氧钢绞线上的油脂。

大HDPE层剥除长度=索鞍预埋管长度+锚固管长度；小PE层剥除长度=索鞍预埋管长度+锚固管长度。

索体在制作时把索长的中心点做好标识，从索体中心往两边量取剥皮长度，用钢锯弓或者可调锯齿高度的切割机沿索体四周把HDPE层锯断，然后用可调锯齿高度的切割机沿索体纵向把HDPE层剖开。索体在制作时产生2~3度的扭转角，因此剥除完大HDPE层的索体钢绞线扭转互相挤压，钢绞线外的小PE层很难剥除。在索鞍段两端用专用索夹夹持索体，然后提升收拢，形成钢绞线起拱、分散，再用专用刀具顺序剥除无粘结筋外套护管，然后用工业酒精来清洗油脂。

### 2.7.2 锚固段剥皮清洗

把索体两端牵引头用砂轮切割机切除，用钢锯弓和可调锯齿高度的切割机把外层HDPE层剥除掉，然后把一根根钢绞线单独剥皮、清洗干净。剥除索体外圈HDPE层及单根钢绞线PE层时要保护好单根钢绞线的环氧涂层。

由于现场条件限制，难度大效果不理想，因此除了C1~C3索在现场进行剥除PE层及清洗工作外，其余索体在工厂制索时就完成，即在制索时把索鞍段的钢绞线小PE层剥除清洗油脂干净，然后进行编束，在索鞍段用缠包带缠包后进行挤压大HDPE层。在现场索体牵引安装后索鞍段只需剥除大HDPE层及缠包带。

## 2.8 斜拉索张拉

### 2.8.1 单根索力的均匀性

由于成品索存在轻度扭转，实际上整索的整体性较好，按照钢丝成品索张拉工艺，只要保证所有钢绞线单元在初始张拉时伸长一致，即可认为钢绞线单元的均匀性满足要求。为了检验单根索力均匀性，检测单位在C1索安装传感器进行试验，检测方法采用EM sensor传感器来监测。实验的数据见表1。

从表中数据看，斜拉索单根索力相对误差在规定值内，张拉力越大单根索力相对误差值越小。采用这种张拉方式单根索力的均匀性能够满足设计和规范的要求。

表1 C1索EM sensor传感器监测实验数据

部位	传感器编号	第一次测量单位 (kN)		相对误差	第二次测量单位 (kN)		相对误差
		计算平均值	显示力值		计算平均值	显示力值	
上游	6#	46.0	44.0	-1.3%	96.0	93.5	-1.9%
	8#		45.0	-2.2%		94.0	-2.0%
	14#		46.0	0.0%		94.0	-2.0%
	15#		47.0	2.1%		95.0	-1.0%
	16#		44.0	-1.5%		93.5	-1.5%
下游	7#	46.0	45.0	-2.2%	96.0	94.0	-1.6%
	10#		46.5	1.1%		96.0	0.0%
	11#		45.5	-1.1%		94.5	-1.6%
	12#		44.0	-1.4%		93.5	-1.6%

### 2.8.2 整体张拉

由于索体较长且其垂度较大，从索体预紧到张拉至设计索力，需反复地进行张拉和临时锚固。鉴于钢绞线外有环氧涂层，为防止环氧涂层的脱落而影响钢绞线的锚固效果。采用悬浮张拉法进行整体张拉。

#### 2.8.2.1 张拉机具

张拉机具采用YDCS5500千斤顶及工具锚板配套进行张拉，张拉所用的千斤顶、油压表、油泵配套标定，标定在华南国家计量检测中心、广东省计量院完成。在使用时千斤顶、油压表、油泵一一配套使用。

#### 2.8.2.2 张拉系统安装

整体张拉系统包括限位装置、千斤顶、张拉撑脚、EM sensor传感器及工具锚板。张拉系统部件质量大，安装时借用手拉葫芦将限位装置、千斤顶、张拉撑脚及工具锚板依次安装。

#### 2.8.2.3 张拉力

张拉控制应力由监控单位提供。根据标定校准报告书提供的标定曲线回归方程把张拉力换算成油压值，以控制油压值来进行张拉。由于采用悬浮张拉方式进行，张拉到位后锚固时通过调节活动限位板把工作夹片锚固到位。张拉以应力控制为主，以伸长值来校核。整体张拉采用4台顶同步对称加载张拉至控制力，测量各级伸长值。

#### 2.8.2.4 张拉锚固力

张拉到控制应力后,进行锚固。为保证千斤顶卸载后锚下应力能满足设计要求,张拉方式采用超张拉。根据本工程实际情况锚下应力损失主要有锚具变形、钢绞线的松弛、夹片回缩、混凝土徐变收缩引起的应力损失。因此锚下应力可以简化为超张拉应力-夹片回缩损失应力。夹片回缩损失应力计算如下:

$$\Delta\sigma = \Delta s \times E \times A / L,$$

$\Delta\sigma$ : 夹片回缩引起的应力损失

$\Delta s$ : 夹片回缩量

$E$ : 钢绞线的弹性模量

$A$ : 钢绞线截面积

$L$ : 索的计算长度

通过计算夹片的回缩量可以简略地计算出锚下应力,然后与设计张拉力进行比较两者偏差值是否符合要求。同时监控单位在张拉过程及张拉锚固后用传感器测量索力来进行索力跟踪监测。由检测索力数据和其它监控项目反馈数据表明张拉工艺满足施工要求。下面以2墩C1#斜拉索施工及检测进行说明。其中检测单位采用频率法和油压传感器法方法进行测量,测量数据结果见表2。

表2 C1索张拉控制力

测点位置		边跨左	中跨左	边跨右	中跨右
20%控制力	对应频率	1.578		1.594	
	理论索力	820	820	820	820
50%控制力	对应频率	2.553		2.552	
	理论索力	2050	2050	2050	2050
100%控制力	对应频率	3.529		3.509	
	理论索力	4100	4100	4100	4100
103%控制力	对应频率	3.554	3.557	3.539	3.54
	理论索力	4223	4223	4223	4223
回油后	对应频率	3.478	3.477	3.475	3.493
	计算索力	3971	3981	3988	4030
	理论索力	4100	4100	4100	4100
	索力差值	3.14%	2.90%	2.73%	1.70%

注:表中频率Hz,索力kN

对表2数据进行分析,C1#索设计初张拉力为4100kN,张拉采用103%超张拉,由回缩量测的锚下应力为:上游中跨为4048kN,索力差值-1.2%;上游边跨为4048kN,索力差值-1.2%;下游中跨为4030kN,索力差值-1.7%;下游边跨为4048kN,索力差值-1.2%。由频振仪测得索力为上游中跨为3981kN,索力差值-2.9%;上游边跨为3971kN,索力差值-3.14%;下游中跨为4030kN,索力差值-1.7%;下游边跨为3988kN,索力差值-2.73%。从张拉结果看,锚下应力与设计初张拉力出现了负偏差,考虑其他无法检测的应力损失以及操作、检测误差的影响,对以后张拉的斜拉索适当增加超张拉按106%进行。

### 3 索鞍段的防护

斜拉索的索鞍段组件有内外钢管、锚固管、索夹、减振器、PE连接装置。内钢管及锚固管处索体已剥除PE防护层,因此内钢管及锚固管里灌注环氧砂浆起到阻止索体的滑移和防腐的作用。锚固管出口处在PE连接装置内的索体外HDPE防护层剥除掉,以便索体外HDPE防护层能够自由的热胀冷缩,索体钢绞线的单根PE层在施工过程可能有被碰伤或者被刮伤,可采用热缩带缠包进行防护。

#### 3.1 灌注环氧砂浆

索鞍段在索体张拉完成到灌注环氧砂浆时间段较长,且施工所在地处于广东沿海,雨水多、空气潮湿,可采取对灌浆管道进行通气,用空压机对孔道进行吹气,然后对孔道进行密封的措施,以保证灌浆前索鞍内的干燥。

环氧砂浆材料为环氧树脂、固化剂、增韧剂、填料,质量配合比为1:0.23:1.95:0.05。在现场进行了配合比实验,检测得环氧砂浆试块7天的抗压强度为70.4MPa。压浆设备采用OVM专用环氧砂浆压浆机,压浆机布置在索塔脚手管架上。压浆的顺序为从下往上进行,一个鞍座内管设置一个进浆口和一个排气孔。先灌满进浆口这一侧的锚固管,然后浆体从内管弧顶向另一侧进浆,当浆体从内管弧顶处的出浆口冒浆后,则表明内管已灌满环氧砂浆。压浆完成,把压浆管转

移到下一内管,继续压浆。

### 3.2 缠包热缩带

剥除了外HDPE防护层的索体用热缩带来缠包。热缩带选用长春热缩通缆销售公司出产的热缩补口片,热缩补口片能抗化学腐蚀、抗霉菌和细菌的侵蚀。根据需要缠包位置的索径和长度,剪裁好热缩补口片,如:长 $L=1.15 \times \text{索径} \times \pi + 85$ ,宽 $b=\text{外露已剥除外HDPE长度} + 100$ 。把剪裁好的补口片缠包在索体上,用煤气喷灯均匀地加热,补口片产生径向收缩,同时胶层融化,均匀地包覆在钢绞线的PE层上,形成一个整体。热缩补口片上端即锚固管出口处与索体形成一个环向接缝,为防止水汽从此处侵入,用环氧砂浆嵌缝密实。

### 4 结语

荷麻溪特大桥在国内同类桥梁中跨度位居第一,在矮塔斜拉桥上第一次使用钢绞线成品索,斜拉索的安装施工难度大,对比单根钢绞线挂索安装有几个难点:(1)现场需要有大型的起重设备配合挂索安装;(2)索鞍段及两端锚固段需要剥除PE防护层和清洗油脂;(3)斜拉索张拉需要大型的张拉设备,张拉宜采用悬浮张拉工艺。

采用成品钢绞线索挂索安装时间短,斜拉索材料有多层防护,增加了斜拉索的使用寿命。

本次工程施工过程得到业主、承包方、监理、华南理工大学监控组等多家单位的指导和帮助,在此表示衷心地感谢!

(上接第28页)

#### 参考文献

- [1] 曾宪明,陈肇元等.锚固类结构安全性与耐久性问题探讨[J].岩石力学与工程学报.2004,23(13):2235-2242(Zeng Xianming, Chen Zhaoyuan, et al. Exploration for the security and endurance of anchorage type of structure[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(13): 2235-2242.(in Chinese))
- [2] 汪剑辉,闫顺等.复合土钉支护在我国的研究与应用[J].施工技术.2006,35(1):15-19(Wang Jianhui, Yan Shun, et al. Research and application of composite soil nail support in China[J]. Construction Techniques, 2006, 35(1): 15-19.(in Chinese))
- [3] 宋二祥,邱玥.基坑复合土钉支护的有限元分析[J].岩土力学.2001.22(3):241-244(Song erxiang, Qiu yue. Finite element analysis of composite soil nailing for excavation support [J]. Rock and Soil Mechanics, 2001.22.(3): 241-244(in Chinese))
- [4] 刘彦忠.复合土钉墙技术在杂填土层基坑支护中的应用[J].岩土力学.2002.23(4):520-523(Liu Yanzhong. Finite element analysis of composite soil nailing for excavation support [J]. Rock and Soil Mechanics, 2001.22.(3): 241-244(in Chinese))
- [5] 陈肇元,崔京浩主编.土钉支护在基坑工程中的应用(第二版)[C],北京:中国建筑工业出版社,2000(Chen Zhaoyuan, Cui jinhao edited Application of Soil Nail Support in Foundation Ditch, the second edition, Beijing: Chinese Building Industry Publishing Company, 2000 (in Chinese))
- [6] 美国交通部联邦部局(FHWA-SA-96-069R),余诗刚译,土钉墙设计施工与监测手册[C],北京:中国科学技术出版社,2005(Federal Highway Administration, translated by Yu Shigang, Handbook of Soil Nail Wall Design, Construction and Measuring[C], Beijing: Chinese Science and Technology Publishing Company, 2005 (in Chinese))
- [7] Gyaneswor Pkharel, Tatsumi Ochiai, Design and Construction of a new Soil nailing (PAN Wall) method[J]. Ground Engineering. 1997,30(5): 28
- [8] 曾宪明,杜云鹤等.土钉支护抗动载原型与模型对比试验研究[J].岩石力学与工程学报.2003,22(11):1892-1897(Zeng Xianming, Du Yunhe, et al. The prototype and model comparison study resisting dynamic load with soil nail supporting [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(11): 1892-1897(in Chinese))
- [9] 喻晓今,曾宪明等.土钉瞬态应力的试验研究[J].岩石力学与工程学报.2004,23(s1):4438-4441(Yu Xiaojin, Zeng Xianming, et al. Testing study on transient stresses in soil nail [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(s1): 4438-4441 (in Chinese))
- [10] 喻晓今,余学文等.数种情形下土钉的瞬态应变累积效应分析[J].华东交通大学学报.2006,23(4):1-4(Yu Xiaojin, Yu Xuewen, et al. Analysis of the effect of cumulation of transient strain on soil nail in several cases[J]. Journal of East China University 2006, 23(4): 1-4 (in Chinese))