

广珠城际轨道西江特大桥斜拉索施工技术

吴云寿¹ 谭乔清¹ 袁胜彬²

(1 柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005 2 中铁二局第五工程有限公司 四川德阳 618000)

摘要: 本文通过平行钢绞线拉索在广州至珠海城际交通轨道跨西江特大桥的施工实践, 重点介绍平行钢绞线斜拉索的施工工艺及在高铁斜拉桥上的成功应用实例, 并对平行钢绞线拉索施工中出现的一些问题进行了探讨。

关键词: 平行钢绞线拉索 城际轨道 斜拉索 安装工艺

1 工程概述

西江特大桥位于广州至珠海城际交通轨道中山至江门支线, 起于中山市古镇, 止于江门市外海镇。主桥横跨西江, 采用(100+2×210+100)m独塔斜拉连续刚构预应力混凝土组合结构(如图1)。

塔梁墩固结, 主梁采用单箱双室截面, 斜拉索采用箱外锚固形式。梁高为4.5m至11m变高二次抛物曲线, 梁宽11.6m, 索梁锚固区局部加宽到13.8m。

索塔采用曲线形钻石桥塔, 塔高109.0m,

桥面以上塔高70.0m。上塔柱高28m, 中塔柱高39.5m, 下塔柱高28m, 斜拉索设在上塔柱, 采用空间双索面体系。斜拉索梁上索距6.0m, 塔上索距分1.6m和1.7m两种。斜拉索采用 $\phi 15.24$ 高强度低松弛环氧喷涂钢绞线成索, 外套HDPE防护层。钢绞线标准强度为1860MPa, 弹性模量为 1.95×10^5 MPa, 斜拉索规格分43-7 $\phi 5$ mm, 37-7 $\phi 5$ mm, 31-7 $\phi 5$ mm, 27-7 $\phi 5$ mm, 22-7 $\phi 5$ mm五种, 端索水平夹角为 28.192° 。斜拉索最长约139m, 最短约68m, 张拉方式采用先单根张拉、再整体调索, 全桥斜拉索共13对。

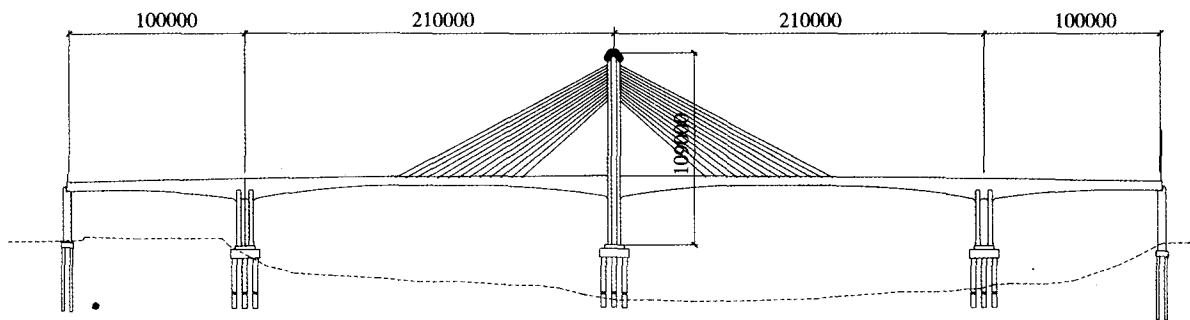


图1 孔跨布置图(单位: mm)

2 拉索特点

该桥斜拉索为OVM250体系拉索, 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、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: 对索体的横向振动起减振作用, 从而提高索的整体寿命。

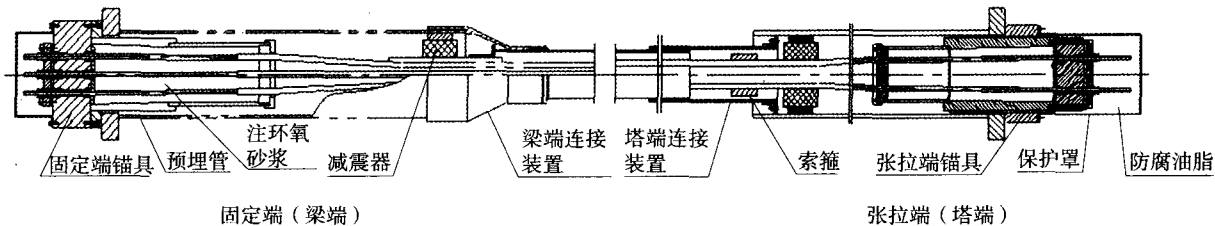


图2 OVM250体系斜拉索总图

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 斜拉索安装施工方法

3.1 斜拉索相关主要施工工序

挂篮预压完成后，采用悬臂挂篮对称悬臂浇筑主跨及边跨梁段。由于主梁刚度极大，斜拉索施工比主梁施工滞后一个节段。安装对应步骤如下：

挂篮前移、梁段模板立模到位→梁段钢筋施工→浇筑混凝土→混凝土养护→体内预应力张拉→滞后一个节段单根挂索、单根张拉→整体张拉→下节段梁体施工。

3.2 斜拉索安装工艺流程

斜拉索安装工艺流程见图3。

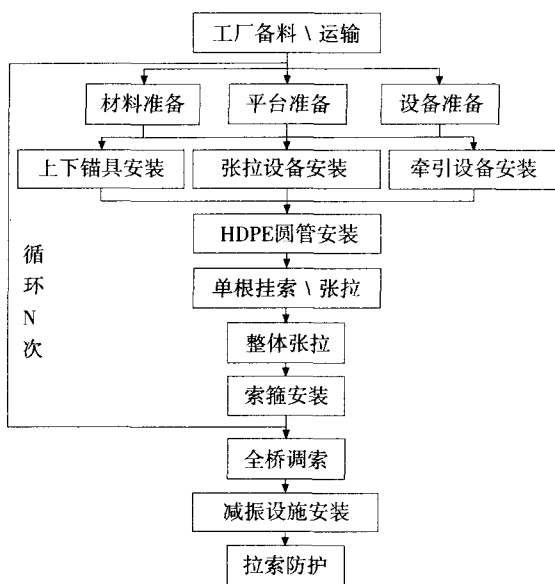


图3 斜拉索制作安装工艺流程

3.3 循环牵引动力系统安装

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）。

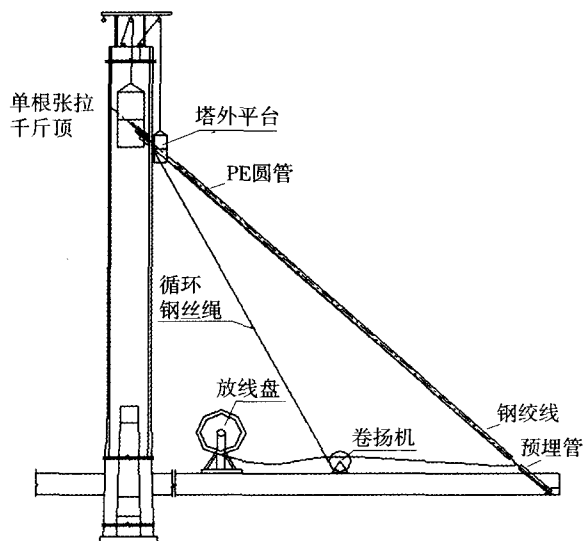


图4 循环系统安装示意图

3.4 HDPE管焊接与安装

HDPE管焊接时，应对段管编号、段管长度、焊接头预热温度、预热压力、加热时间、切换时间、焊接压力、冷却时间和焊接时间等进行记录。HDPE段管的连接采用专用发热式工具对焊方式。

HDPE管焊接时，根据管材规格，其焊接条件如表1所示。

表1 HDPE管焊接条件

管材规格	预热温度 ($^{\circ}\text{C}$)	H=1.0mm 时的预热 压力 (bar)	预热完 成后加 热时间 (s)	允许最 大切换 时间 (s)	焊接 压力 (bar)	冷却 时间 (min)
$\phi 180 \times 10$	210 ± 10	16	102	7	16	14
$\phi 200 \times 10$	210 ± 10	18	114	8	18	15
$\phi 235 \times 10$	210 ± 10	21	128	8	21	16

HDPE管焊接前,将管材旋转于夹紧装置内并将之夹紧,在压力作用下用平行机动旋刀削平两个管材的被焊端面。在焊接过程中,无论如何焊接压力都必须保持至焊缝完全满足冷却时间且硬化后才能撤去。

HDPE套管吊装前,应先在有条件的场地上按设计要求的长度将HDPE套管焊接好,焊接要做好焊接记录,运输至塔下栈道上,以备起吊。摆放时用支架或枕木将套管架立,防止HDPE管损伤。在套管内穿入一根已计算好长度的钢绞线,同时在HDPE套管两端安装抱箍。利用塔吊等起吊设备将钢绞线和套管一起吊起,到达预定高度后将钢绞线穿入塔上锚具并固定,利用千斤绳和葫芦将套管吊挂在塔外管口相应位置。套管下端牵引至下端预埋管口,先将钢绞线穿入下端锚具并固定。通过张拉钢绞线使套管挺直抬起达到设计的角度,以方便下一步挂索工作的进行(如图5)。

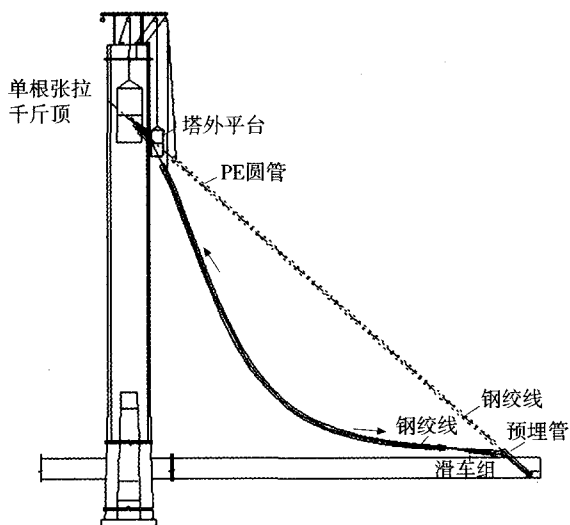


图5 HDPE管吊装示意图

3.5 斜拉索单根挂索

挂索工艺示意图见图6。

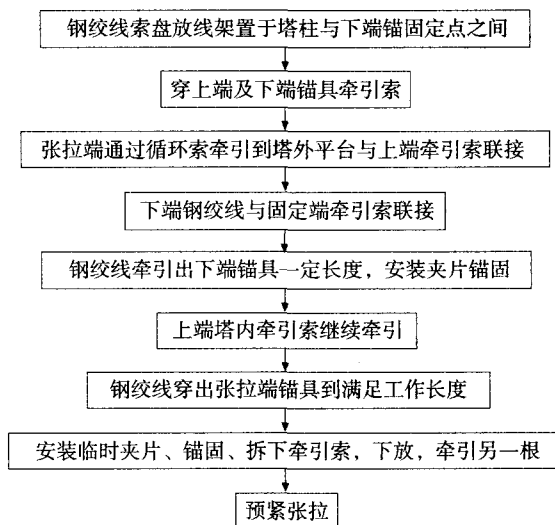


图6 挂索工艺流程图

钢绞线运输到施工现场后,将索盘吊装于放线架上,考虑挂索时从PE管下端向上牵引,将放线方向朝向梁端预埋管处,放线架与预埋管之间应设铺垫及导向,以防钢绞线PE损伤。将盘好的钢绞线放盘打开张拉端与循环钢丝绳上的专用牵引装置连接,启动循环系统将钢绞线顺着HDPE护管牵引至上端管口,将已牵引出的钢绞线从盘上全部放出,与穿过下端锚具的牵引索连接,用人工穿过锚孔,安装夹片锚固;在塔外将钢绞线和从锚具孔穿过的牵引索连接,解除循环系统上的牵引装置通过塔柱内的葫芦等工具将钢绞线拉出锚板孔,塔内作业人员相应辅助直到满足单根张拉所需的工作长度后锚固,准备牵引下一根钢绞线。单根挂索时,注意PE护套的保护、严防打绞、旋转、扭曲现象发生。利用循环牵引钢丝绳可同步一次牵引两根钢绞线。

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

所在垂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,由斜拉索产品提供方提供。

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7)。

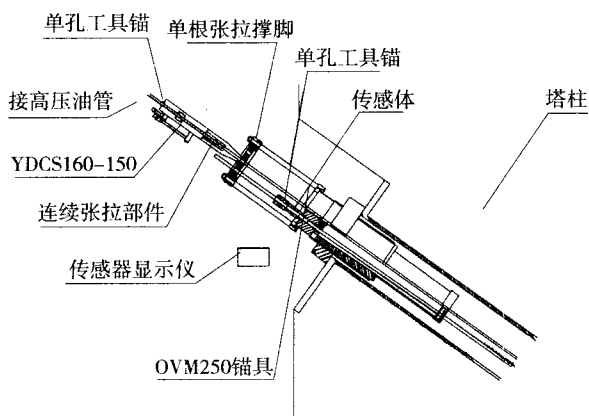


图7 单根张拉工艺图

单根钢绞线张拉锚固钢绞线采用YDCS160-150千斤顶,选用0.4级防震型油表配套标定,标定周期为一个月。张拉采用油压控

制为主,伸长值控制为辅,传感器实时反馈读数指导张拉。

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。

3.6 整体张拉工艺

整体张拉时,必须根据索号选择千斤顶,并配套张拉连接套、张拉杆和张拉撑脚(如图8)。

在塔内进行设备安装可利用塔吊将撑脚、千斤顶、张拉杆、连接套吊至塔内平台上,然后利用活动平台移动到相应索号张拉端位置,借助于手拉葫芦将连接套、张拉杆、千斤顶及撑脚、张拉螺母依次安装固定,千斤顶安装时对中误差 $\leq 5\text{mm}$ 。

3.7 减振措施安装

利用专用紧索器按设计截面将整束紧固成

形。索箍和减振器按设计位置进行安装，拧紧索箍紧固螺栓，为方便施工过程中监控测量索力，减振装置不作最后固定，待整体张拉、全桥调索结束后再进行。

3.8 调索

在梁段悬浇过程中或成桥后，如需调整结构受力，则需进行整体调索，调索工艺与整体张拉一致。至于调索工况、顺序、部位、应力则根据监控指令而定。

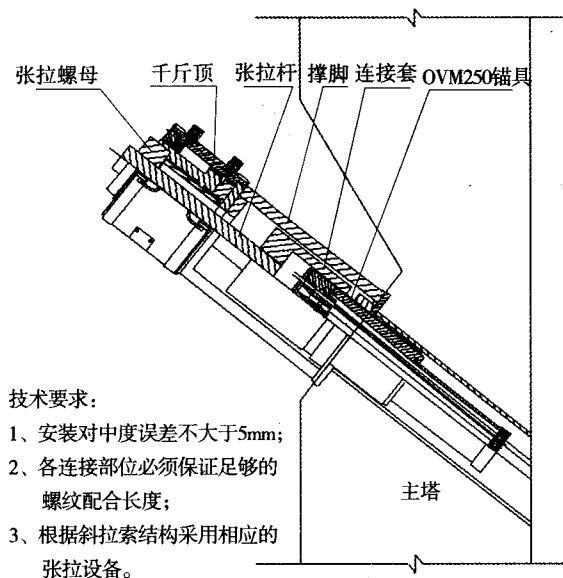


图8 整体张拉示意图

4 斜拉索防护

斜拉索是斜拉桥的生命线，索体、锚头防腐需高度重视，按国家有关标准和OVM250平行钢绞线拉索体系技术标准进行。

4.1 斜拉索索体防腐

索体材料采用带PE环氧涂层钢绞线，PE层与钢绞线间涂专用油脂，如在下料、挂索等过程中发现PE有破损处，立即用焊枪修补，谨防钢绞线锈蚀。

索体外用HDPE套管防护，成桥调索结束，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，可有效防止水份进入PE管内，并隔绝了紫外线照射，进而起到保护索体的作用。假如预埋管因偏心过大造成防水罩无法顺利联接，预埋管安装方可考虑将预埋管接长，只要保证该接长段与索体同心即可。

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，需在锚具内灌注环氧树脂砂浆。注浆设备采用OVM活塞式注浆泵，待调索结束后，用该泵把砂浆压进锚具内。

4.3 锚头端面、夹片、外露钢绞线的防腐

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涂上防腐油脂。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。调索结束后，锚具外安装保护罩，罩内注油对裸露钢绞线、夹片、锚板等进行防护。须预设防水、防潮措施，下端锚垫板应设有排水槽。

5 结语

(1) 斜拉索是斜拉桥的重要组成部分，是主梁的直接受力结构物，斜拉索的施工质量直接影响斜拉桥的质量和使用寿命。

平行钢绞线拉索的索体材料和锚具可零星地在斜拉索的“索位”处简便地直接组装成索，制索与钢绞线牵挂张拉合二为一，因而无需庞大的制索场，不再有整索预制、运输和安装的困难；

(2) 平行钢绞线拉索的施工工艺成熟，使用设备轻巧；

(3) 该索采用多层防护，防护层次明确，其耐久性优于预制品索；

(4) 平行钢绞线逐根穿挂、逐根张拉和锚固，不会受到索长计算、下料长度等偏差的影响；

(5) 平行钢绞线拉索在广珠城际西江特大桥中得到成功应用，经济效益显著。为今后平行钢绞线拉索在高铁斜拉桥的拉索体系的应用提供了工程实例，值得推广使用。

参考文献

- [1] 张灵湘, 陈定平. 钢绞线斜拉索存在的技术问题与改进措施[J]. 《湖南交通科技》, 2003.6 (VOL.29NO.2)
- [2] TZ213-2005《客运专线铁路桥涵工程施工技术指南》