

# 预应力钢结构斜拉索的挂索与张拉方法探讨

武 雷,陶礼芸

(东南大学,江苏 南京 210096)

[摘要] 预应力斜拉索吊拉结构中斜拉索施工的关键在于正确选择挂索方法以及如何采用普通预应力张拉千斤顶设备进行索的张拉,本文对此进行了探讨。

[关键词] 预应力工程;钢结构;斜拉索;挂索;牵引;张拉

[中图分类号] TU757

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2004)07-0015-03

## Research on Installation and Tension Method of Stay Cable of Prestressed Steel Structure

WU Lei, TAO Li-yun

(Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China)

**Abstract:** In recent years many huge exhibition buildings adopt inclined tension cables to hang space structure. The key technique in this kind of structure is how to install and stretch the stay cable. In this paper we discussed these key techniques.

**Key words:** prestress engineering; steel structure; stay cable; cable installation; tow; tension

目前索在大跨空间钢屋盖结构中的应用主要有 3 种形式:悬索结构;索与空间钢桁架结构(或梁)形成的张弦桁架(梁)结构;斜拉索吊拉结构。不同的预应力钢结构形式有不同的挂索与张拉方法,特别是对于斜拉索吊拉结构,其挂索高度高,张拉条件也较其它结构形式更为复杂,如何针对此类结构的特点采用合理的挂索与张拉方法是此类结构成功安装的关键。

### 1 斜拉索的挂索

斜拉索的上索头往往固定于耸立的竖向结构上,这一竖向结构可以是钢桅杆,也可以是组合柱。目前正在建设的郑州会展中心采用直径 1700mm、壁厚 36mm 的钢管桅杆,斜拉索上索头位于屋面上方近 20m 处;天津泰达国际会展中心则采用了组合钢管柱,高度 40m。无论采用何种竖向结构形式,挂索的施工难度为作业高度高,索头重,有时吊机无法配合。

挂索安装分为 2 个阶段,即上索头就位连接及下索头就位连接阶段。上索头的就位连接又包括放索之后索体的垂直运输及上索头与桅杆节点连接 2 个过程。第 1 阶段要解决的主要问题是采用何种垂直运输手段来实现索体的运输,以及如何实现索头与节点的连接。第 2 阶段主要解决下索头的牵引就位及索头连接。

#### 1.1 索体的垂直运输

索体在放索之后为了使索头能到达指定安装位置,需对索体进行垂直运输,主要有 3 种方法。

(1) 吊机吊运挂索方法 直接利用塔吊或起重机,吊住上索头至安装位置处挂索。主要优点:索体起升灵活机动。主要缺点:起吊受竖向结构(桅杆或组合柱)位置影响,一般需较高的起升高度,需配置大吨位吊机,挂索期间吊机始终占用。适用范围:索体规格较小,索数量少,具备起重作业条件。

(2) 直接牵引提升挂索方法(见图 1) 利用安装于竖向结构(桅杆或组合柱)上的牵引设备(葫芦、卷扬机等)向上直接牵引提升索体至安装位置挂索。主要优点:利用小型设备进行挂索安装,机械台班量低,不受竖向结构位置及场地条件限制。主要缺点:竖向结构上需临时安装牵引提升的辅助设施,索体重量大斜度大时,安全度降低。适用范围:索体规格不大,索斜度不大,芯棒连接式需采取其它措施。

(3) 滑道牵引滑升挂索方法(见图 2) 在竖向结构(桅杆或组合柱)与屋盖结构间架设临时索滑道,利用桅杆上的牵引设备牵引使索体沿临时索道滑升至安装位置挂索。主要优点:安全度加大,除具备(2)的优点外,还解决了索体起升过程中的定向及规格较大的索牵引力过大的问题。主要缺点:增加了施工临时滑道

[收稿日期] 2004-06-01

[作者简介] 武 雷(1971—),男,江苏连云港人,东南大学土木工程学院讲师,在职博士,南京四牌楼 2 号 210096,电话:(025) 83793150

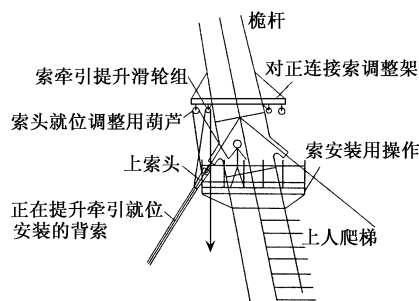


图 1 直接牵引提升法挂索安装示意

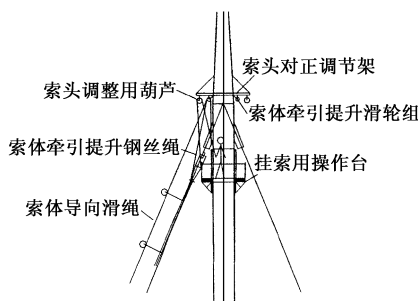


图 2 滑道牵引滑升法挂索安装示意

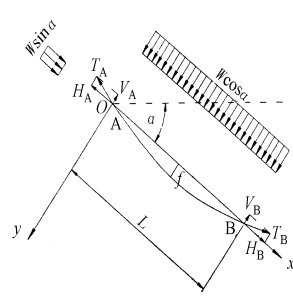


图 3 索牵引力计算简图

设施时间,挂索速度减慢。适用范围:大规格索,大斜度索。

### 1.2 上索头就位连接

索头的连接形式主要有 3 类: 销接; 旋入式芯棒连接; 类似于斜拉桥的索头穿入锚管,用螺母旋紧锚固。

销接连接为最常用的连接方式,有单耳式及双耳式索头 2 种。由于索头大而重(与索体规格有关),不论采取上述何种挂索方式,牵引索的索夹应距索头约 1m,将索头牵引至安装位置时,用 2 台葫芦接引索夹并作左右方向微调,插入销子连接。

对于旋入式芯棒连接则必须在就位过程中始终保持索头的方向与连接索帽的方向一致,只有这样才能顺利旋入芯棒实现连接。为了使索头方向与索帽方向一致,需在桅杆顶部设调节校正用葫芦设备,来调整索头连接过程中的姿态,实现顺利连接。

索头穿入锚管,用螺母旋紧锚固。其锚头前端设置调节导向用葫芦,校正索头方向后,利用端部牵引设备将索头引入锚管后旋上紧固螺母。

### 1.3 下索头的就位连接

在斜拉索吊拉结构中,斜拉索与被吊拉的结构有一夹角。在上索头已连接完成的情况下连接下索头,牵引下索头至接近就位位置时,斜拉索被张紧,索体在自重下呈悬链线状态。要实现索头就位连接,就必须有足够大的牵引力。对于这一过程中牵引下索头所需的最大张力,可采用有限元建模分析的手段予以计算确定,也可以采用下述的计算方法予以确定。

斜拉索的线重量为  $w$ ,挂索牵引力为  $T$ ,抛物线垂度为  $f$ 。建立图 3 所示的坐标系,将自重作用及挂索的牵引力分别向两坐标轴方向分解。

(1) 平衡自重沿  $x$  方向的分力所需的端部牵引力

此时可近似地认为自重沿  $x$  方向的分力全部由上索连接点拉力承担,即上索端部的拉力  $H_A = Wf \sin \alpha$ ,此分力并不增加下索头挂索的牵引力。

(2) 平衡自重沿  $y$  方向的分力所需的端部牵引力由等效荷载理论得:

$$\frac{1}{8} L^2 W \cos \alpha = H_B f \Rightarrow H_B = \frac{W L^2 \cos \alpha}{8 f}$$

$$V_B = (1/2) W L \cos \alpha$$

(3) 索下端牵引时所需牵引力

索下端牵引时的牵引力  $T_B$  为  $H_B$  与  $V_B$  的合力

$$F = \sqrt{H_B^2 + V_B^2} = \frac{1}{2} W L \cos \alpha \sqrt{\left(\frac{L}{4f}\right)^2 + 1}$$

当考虑索头自重( $G$ )增加的牵引力时,可视为  $G$  直接作用在牵引点处,此时的牵引力为以上计算的牵引力与  $G$  的合力。

由以上计算可见,下索头挂索所需的牵引力与矢跨比( $f/L$ ) 紧密相关,矢跨比越小所需的牵引力就越大,一般斜拉索在设计应力下的矢跨比  $f/L$  在 1/200 左右,挂索期间由于销接索头索长可调,其矢跨比显著增大。斜拉索常用的销接式下索头的调节范围通常在  $\pm 100\text{mm}$  左右,挂索时可将索长调长 + 100mm,若索实际长度为 30m,则调节杆伸长后的索长为 30.1m,忽略应力下索的伸长,其矢跨比  $f/L = 0.035$ ,当索体采用  $\phi 7 \times 187$  钢丝绳(线重 56.5kg/m),夹角  $\alpha = 45^\circ$  与水平线夹角),其索头重量为 300kg 时,挂索所需的牵引力为 48kN。挂索期间索长与矢跨比的关系如表 1 所示。

表 1 挂索期间索长与矢跨比关系表

$f/L$	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
$L_s/L$	1.0011	1.0024	1.0043	1.0066	1.0095

$$L_s/L = \frac{1}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{4f}{L}\right)^2} + \frac{L}{8f} \ln \left[ \frac{4f}{L} + \sqrt{1 + \left(\frac{4f}{L}\right)^2} \right]$$

根据牵引力的大小来选用不同吨位手动葫芦或卷扬机作为牵引设备,当选用手动葫芦时其吨位一般不超过 5t,必要时 2 台葫芦同时牵引,否则葫芦设备自重太大,安装操作非常困难。

## 2 斜拉索的张拉

根据结构设计的要求来确定索体的张拉力。当斜拉索的作用是用来调整结构中的内力达到主动控制结构变形时,索体往往需要较大的张拉力。当斜拉索仅作为吊拉索时,此时的张拉力较小,只需满足索体绷紧

需要即可,必要时复核斜拉索的垂度,基本满足绷紧视觉效果垂度的垂度,一般为  $L/200$  左右。

## 2.1 张拉设备

索的张拉设备选用与张拉节点构造紧密相关,采用芯棒连接的张拉端是通过调整正反牙芯棒旋入的长度来建立索的内力,而采用销接连接的张拉端也通过索头正反牙调节杆来完成预应力的建立。这2种张拉构造都是将千斤顶固定于下索头冷(热)铸锚的锥度头上进行张拉,因此必须设计千斤顶卡座,使卡座与下索头的锥度头卡紧(见图4)。由于索头锥度头处的斜角一般为  $11^\circ \sim 13^\circ$  (较小的仅  $7^\circ$  左右),这一锥角会使卡座中的环向拉力数倍于索的张拉力,因此构造合理、受力安全的环形卡座设计是非常关键的,应考虑以下几点:

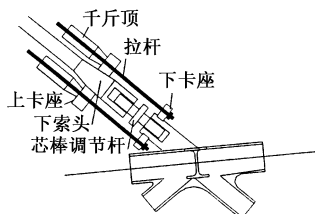


图4 斜拉索张拉方法示意

(1) 环形卡座需设计成两半圆合拼的结构形式,以方便卡座的装拆。

(2) 卡座上预留千斤顶拉杆孔。

(3) 卡座上使用的千斤顶为满足同步张拉的需要,采用同一油泵设三通供油的方式,并应采用标定结果相近的同一型号千斤顶。

另有一种张拉端构造采用的是类似预应力混凝土结构中的螺丝端杆张拉端的方式,此类是将千斤顶设备置于下索头下方进行张拉,可利用普通穿心式千斤顶设拉杆与撑脚进行张拉。

一般不设计在桅杆顶部的索头作张拉端,因为桅杆的高度比较高,在高空进行张拉操作时的作业条件受到了较大的限制。

## 2.2 张拉力与张拉程序

张拉结构的一个显著特点就是不同的张拉程序与张拉力对结构的影响是不同的。预应力斜拉索钢屋盖结构中,屋盖是整体的,而吊拉点为分散的,预应力斜拉索各点的分别张拉,对整体结构的相互影响大。为此需将斜拉索与屋盖结构整体建模,采用有限元分析的手段,模拟张拉过程,如通常采用倒拆法进行计算分析确定各阶段的张拉力。

确定张拉程序时应考虑施工的方便及自身的设备能力等,尽可能避免多台设备的同步张拉。

预应力钢结构斜拉索中的预应力控制与普通预应力混凝土中的预应力控制不同,预应力钢结构斜拉索以变形控制为主,以索力控制为辅。