

# 缆风绳初始拉力与工作拉力的计算方法

13  
82-86

田明  
(重庆建筑大学科研处 630045)

TH213.203

**摘要** 采用柔性体变形协调原理和数学手段, 推导出了桅杆式起重机稳定系统——缆风绳的初始拉力和工作拉力的计算公式, 为桅杆式起重机初始状态的调整以保证被吊设备就位的准确性、吊装过程中的安全性和钢丝绳的选择提供了理论计算依据。也为设备吊装工程提供了一种准确实用的计算方法。

**关键词** 缆风绳, 吊装, 拉力, 计算方法

**中图分类号** TH213.2 起重机, 桅杆式

缆风绳, 也称拖拉绳, 是桅杆式起重机的稳定系统。它的受力大小与方向对起重机的安全使用、吊装设备就位时的准确性, 以及桅杆主体截面、缆风盘、地锚的选择起着重要作用。目前国内使用桅杆式起重机吊装设备时, 缆风绳的初始拉力主要按经验确定。其方法有如下:

- 1) 初始拉力取主缆风绳工作拉力的 15% ~ 20%。
- 2) 按所选用钢丝绳直径  $d$  确定:  
 当  $d \leq 22$  mm 时, 初始拉力  $T_{初} = 10$  kN(轻)  
 当  $22 < d \leq 37$  mm 时,  $T_{初} = 30$  kN(中)  
 当  $d > 37$  mm 时,  $T_{初} = 50$  kN(重)
- 3) 取缆风绳自重的 50% ~ 100%。

这三种方法皆经验所得, 既不好使用又误差较大; 下面推导出一种理论上可行且实用, 简单准确的计算缆风绳初始拉力与工作拉力的公式。

## 1 建立缆风绳挠度方程

桅杆式起重机工作时力学简图如图 1 示, 视缆索两端为铰接, 则垂直支反力

$$F_A'' = F_B'' = \frac{qL}{2}$$

其中  $q$  为缆风绳单位长度的重量在  $x$  轴的投影。截其缆绳一段(含一支座)如图 2, 建立平衡方程为:

$$\begin{cases} F_A''x - \frac{1}{2}qx^2 - F_A' \cos \alpha \cdot y + F_A' \sin \alpha \cdot x = 0 \\ H = F_A' \cos \alpha = \text{常量} \end{cases}$$

收稿日期: 1996-04-15

田明, 男, 1956年生, 讲师

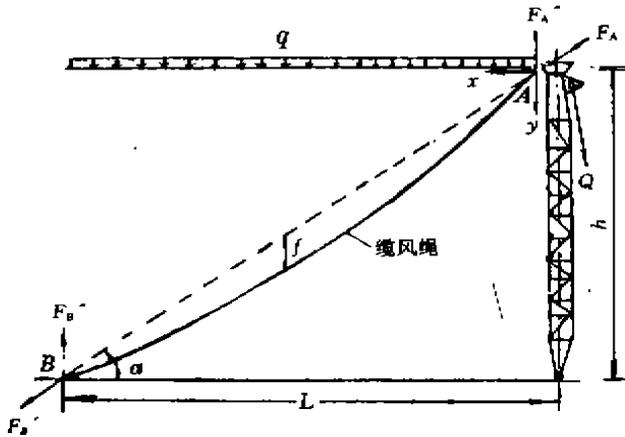


图 1

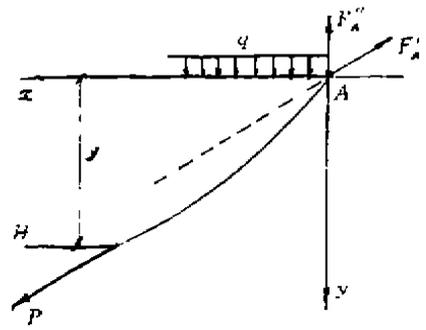


图 2

得 
$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{F_{A''} \cdot x - \frac{1}{2} q x^2}{F_{A'} \cos \alpha} = \frac{h}{l} x + \frac{1}{H} \left( \frac{q}{2} l \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 \right)$$

当  $x = \frac{l}{2}$  时有  $y = f + \frac{h}{2}$  得  $f = \frac{q l^2}{8 H}$

或  $H = q l^2 / 8 f$  代入方程得：

$$y = \frac{h}{l} x + \frac{4f(qx - x^2)}{l^2} \tag{1}$$

将(1)式微分得：

$$\frac{dy}{dx} = \frac{h}{l} + \frac{4f}{l} - 8f \frac{x}{l^2} \tag{2}$$

## 2 推导缆风绳长度 S 与荷载的关系式

$$S = \int_0^l \sqrt{dx^2 + dy^2} = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

将上式中被积函数按级数展开得：

$$\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{dy}{dx}\right)^4 + \dots$$

取其前两项代回积分式得：

$$S = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \approx \int_0^l \left[ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \right] dx$$

将(2)式结果代入上式，积分之得：

$$S = \int_0^l \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{h}{l} + \frac{4f}{l} - 8f \frac{x}{l^2} \right)^2 \right] dx = l + \frac{8}{3} \frac{f^2}{l} + \frac{h^2}{2l}$$

或：
$$S = l + \frac{q^2 l^2}{24 H^2} + \frac{h^2}{2l} \tag{3}$$

### 3 建立缆风绳形变与内力变化的关系式

令初始状态(未吊重)缆风绳内水平张力为  $H_0$ , 绳长为  $S_0$ , 跨距为  $l_0$ 。变形状态(已吊重)缆风绳内水平张力为  $H_1$ , 绳长为  $S_1$ , 跨距为  $l_1$ 。

由(3)式得:

$$S_0 = l_0 + \frac{q^2 l_0^3}{24H_0^2} + \frac{h_0^2}{2l_0} \quad (4)$$

$$S_1 = l_1 + \frac{q^2 l_1^3}{24H_1^2} + \frac{h_1^2}{2l_1} \quad (5)$$

绳索在弹性变形范围内服从虎克定律

$$\sigma = \epsilon E_k$$

其中  $E_k$  为钢丝绳弹性模量 ( $E_k = K, E = 0.35 \sim 0.88E$ )  $E$  为钢材的弹性模量。  $K_1$  为与钢丝绳型号有关的系数。) )

绳长的变形量为:

$$\Delta S = S_1 - S_0 = \frac{(H_1 - H_0) l_0}{\cos^2 \alpha \cdot E_k \cdot A} \quad (6)$$

缆风绳截面按下式选择

$$A \geq \frac{H_1}{\cos \alpha \cdot \frac{\sigma_p}{K}} \quad (7)$$

其中:  $\sigma_p$  —— 钢丝绳破断拉力。  
 $K$  —— 钢丝绳安全系数。

$$\text{因为 } q = \frac{q_1}{\cos \alpha} = \frac{\gamma_k A}{\cos \alpha} \quad (8)$$

式中  $q_1$  —— 钢丝绳线重度  
 $\gamma_k$  —— 钢丝绳容重

由公式(4)、(5)、(6)可得:

$$l_1 - l_0 + \frac{q^2}{24} \left( \frac{l_1^3}{H_1^2} - \frac{l_0^3}{H_0^2} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{h_1^2}{l_1} - \frac{h_0^2}{l_0} \right) = \frac{(H_1 - H_0) l_0}{\cos^2 \alpha \cdot E_k \cdot A}$$

设  $H_1/H_0 = \beta$   $\beta$  —— 缆风绳水平力变化系数

略去上式中高阶微量并利用(7)、(8)式可得

$$\beta^2 + M\beta + N = 0 \quad (9)$$

式中:  $N, M$  为常数。(  $\Delta l$  由吊装就位点确定)

$$N = - \frac{24 \cos^3 \alpha \cdot \left( \frac{\sigma_p}{K} \right)^2}{\gamma_k^2 \cdot l^2 \cdot E_k};$$

$$M = \frac{24 \cdot \left( \frac{\sigma_p}{K} \right)^2 \cos^4 \alpha \cdot \left( 1 - \frac{1}{2} \tan^2 \alpha \right)}{l^3 \cdot \gamma_k} \cdot \Delta l - (N + 1)$$

解方程(9)可得:

$$\begin{cases} \beta_1 = C + D \\ \beta_2 = w_1 \cdot C + w_2 \cdot D \\ \beta_3 = w_2 \cdot C + w_1 \cdot D \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{式中 } C = \sqrt[3]{-\frac{N}{2} + \sqrt{\left(\frac{N}{2}\right)^2 + \left(\frac{M}{3}\right)^3}}$$

$$D = \sqrt[3]{-\frac{N}{2} - \sqrt{\left(\frac{N}{2}\right)^2 + \left(\frac{M}{3}\right)^3}}$$

$$w_1 = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2} \quad w_2 = \frac{-1 - \sqrt{3}i}{2}$$

由(10)式可看出,  $\beta$  是  $\Delta l = l_1 - l_0$  的函数, 即  $\beta$  是桅杆式起重机吊装过程中顶部位移  $\Delta x$  的函数。且缆风绳张力为

$$\text{初始拉力 } F_0 \approx H_0 / \cos \alpha$$

$$\text{工作拉力 } F_1 \approx H_1 / \cos \alpha$$

故方程(10)建立了  $H_1, H_0, \Delta x$  的关系式, 任知其二, 可求另一。

#### 4 公式的应用

1) 由吊重倾复力矩产生的缆风绳水平拉力  $H'$  预定  $H_1$ :

$$H' = M_0 / h; \quad H_1 = H_0 + H'$$

$M_0$  —— 桅杆在外载作用下的倾复力矩(主要由吊重、风载与自重产生)

2) 由  $H_1$  根据公式(7)、(8)确定出  $A, q$ 。

3) 根据工程质量、吊装工艺等要求, 定出桅杆顶部最大水平位移  $\Delta x$ 。

4) 由公式(10)求  $\beta$ , 由式  $H_0 = H_1 / \beta$  定出主缆风绳水平拉力  $H_0$ 。

5) 校核公式  $H_0 + H' \leq H_1$  是否成立, 若不成立(或左边太小), 则增大(或缩小)  $H_1$  再重复计算直至合适为止。

#### 5 计算方法的优点及应用范围

1) 可在未竖立桅杆主体之前确定出较可靠的缆风绳初始拉力  $F_0$ 。

2) 在调整、固接缆风绳时, 不必用测力器, 直接由观察绳的角度(或挠度)而知其内力大小。

3) 按此方法计算结果选择钢丝绳, 只要桅杆顶部位移不超过  $\Delta x$ , 钢丝绳就不会断裂, 并随时观测其形变可算出内力大小, 以保证吊装时安全可靠。

4) 简便、实用, 并比较精确。

此公式一般在吊装过程中, 桅杆顶部位移  $\Delta x$  相对于高度  $h$  较小时( $\frac{\Delta x}{h} < \frac{1}{10}$ )时使用。

### 参 考 文 献

- 1 杨文柱. 重型设备吊装工艺及计算. 北京: 中国建筑工业出版社, 1978
- 2 特种工程与安装工程. 原苏联杂志, 1975. (11)
- 3 起重运输机械. 一机部起重所, 1974. 4
- 4 悬索计算. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980

(编辑: 刘家凯)

## A Calculation Method of Hawser Forces in Loading and Unloading States

*Tian Ming*

(Department of Scientific Researches, Chongqing Jianzhu University)

**Abstract** In this paper, several calculation methods for hawser cables as the crane stability system in loading and unloading forces is put out by coordinating principle of deformed body. It is convenient for adjustment of crane in unloading state to benefit accuracy of the equipment installation and safety of device during hoisting. It is also a more accurate and practical method for choice of the cable.

**Key Words** hawser cable, hoisting, force, calculation method