

特大跨径悬索桥主缆 PPWS 施工 牵引力近似计算方法

王峻¹, 林帆²

(1. 江苏省长江公路大桥建设指挥部, 江苏泰州 225321; 2. 中交第二公路工程局第二工程有限公司, 西安 710119)

[摘要] 特大跨径悬索桥主缆 PPWS 施工, 索股数量多、牵引距离长, 广泛采用可以连续过塔的门架拽拉式牵引系统进行索股架设。牵引力的准确计算对牵引设备选型、确保工程顺利实施具有现实意义。在早期悬索桥建设中, 牵引设备能力需求和选型主要依靠经验选取, 探索了 PPWS 施工门架拽拉式牵引系统牵引力计算方法, 与工程现场实测比较, 计算结果可靠, 可以用于工程施工计算。

[关键词] 悬索桥; 主缆; PPWS; 索股; 牵引力

[中图分类号] U445 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)05-0037-04

1 前言

PPWS 施工牵引系统通常有轨道小车式、架空索道式、门架拽拉式 3 种方式^[1]。其中轨道小车式、架空索道式索股架设时不能连续穿越塔顶, 因而施工效率比较低。门架拽拉式牵引系统可连续通过塔顶, 索股架设效率高、质量好, 适应特大跨径悬索桥主缆 PPWS 索股数量多, 牵引距离长的施工特点, 应用最为广泛^[2]。牵引系统设计主要是牵引设备的选型, 最关键的是牵引力的计算。以前悬索桥 PPWS 施工牵引力主要依靠经验估算, 准确度不高。例如, 日本明石海峡大桥主缆架设由于牵引力估算

不足, 造成施工过程中索股牵引困难, 最后不得不在回转轮处增加驱动装置。因此, 在特大跨径悬索桥施工中, 有必要对牵引力进行较准确的计算。世界首座主跨跨径超千米的三塔两跨悬索桥——泰州长江公路大桥是国内第一座主缆超过 3 km 的悬索桥工程, 主缆索股长、架设需要穿越 3 个塔顶, 在泰州大桥上部结构安装施工中, 研究总结了 PPWS 施工门架拽拉式牵引系统牵引力的计算方法, 经过与实测数值比较, 计算结果准确可靠^[3]。

2 PPWS 索股架设工况分析

泰州大桥 PPWS 法施工总体布置见图 1。

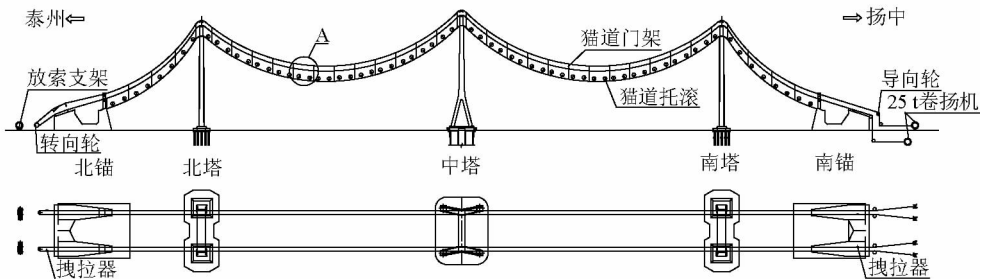


图 1 泰州大桥主缆架设牵引系统总体布置图

Fig. 1 General layout of traction system for main cable erection of Taizhou Bridge

[收稿日期] 2012-03-15

[基金项目] 交通行业联合科技攻关项目(2008-353-332-170); 江苏省“333 高层次人才培养工程”专项资助

[作者简介] 王峻(1973—), 男, 江苏姜堰市人, 高级工程师, 主要从事桥梁工程建设管理工作; E-mail: junwang9370@sina.com

索股牵引各设计参数如下:猫道门架间距 $L = 45 \text{ m}$;猫道门架高度 $h_1 = 7.0 \text{ m}$;牵引索距主缆中心线 $h_1 = 5.2 \text{ m}$;主缆索股单位重量 $q = 0.148 \text{ kN/m}$, 长度约 3107 m ;索股锚头+拽拉器重量为 $G = 6.41 \text{ kN}$;

滚筒高度 $h_g = 1.1 \text{ m}$;拽拉器高 $h_z = 1.0 \text{ m}$;锚头及连接器高 $l_s = 0.8 \text{ m}$ 。

猫道门架间索股牵引过程受力分析见图2。

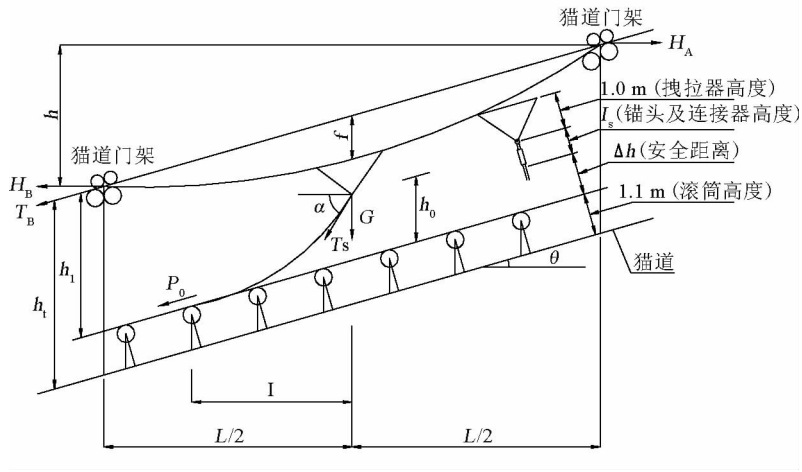


图2 猫道门架间索股牵引过程受力分析图

Fig. 2 Force analysis diagram in wire strand traction process between catwalk gantry

以索股架设牵引过程中索股锚头不能与滚筒干涉为原则,确定锚头与滚筒的竖向安全距离为

$$\Delta h = h_1 - f - [1 + 1.1 + 0.8 \sin(\alpha - \theta)] / \cos \theta$$

为确保安全 $\Delta h = 1.5 \text{ m}$

$$\text{即 } \Delta h = h_1 - f - [1 + 1.1 + 0.8 \sin(\alpha - \theta)] / \cos \theta = 1.5 \text{ m} \quad (1)$$

3 牵引力受力分析及计算

3.1 索股牵引端张力分析

索股在猫道滚筒上牵引端张力分析见图3。

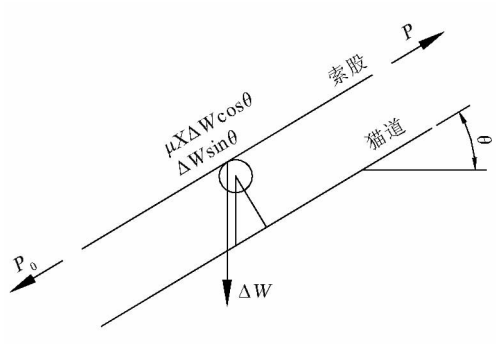


图3 索股牵引过程分析图

Fig. 3 Analysis diagram of wire strand traction process

牵引端张力

$$P = \mu \Delta W \cos \theta + \Delta W \sin \theta + P_0 \quad (2)$$

式(2)中, μ 为索股与滚筒间的摩擦系数, 取 $\mu = 0.1$; P_0 为索股反拉力(6~10 kN), 取 $P_0 = 8 \text{ kN}$; ΔW 为索股在猫道门架间的重量。

3.2 猫道线形分析

猫道线形近似平行于主缆空缆线形,猫道距主缆距离 1.5 m ,为简化计算,猫道线形以主缆线形平移后得到,计算精度可以满足施工需要。泰州大桥主缆空缆线形,见图4。

将主缆空缆线形向下平移后可得猫道线形,按照猫道跨径、垂度、锚固点等特征坐标,依抛物线线形近似计算,以锚固点和主跨跨中为坐标原点,猫道线形方程为

$$y = \frac{4f}{l^2} x(x-l) + \frac{h}{l} x \quad (3)$$

猫道任意点的倾角 θ 可通过对式(2)取导数计算

$$y' = \frac{8f}{l^2} x - \frac{4f}{l} + \frac{h}{l} \quad (4)$$

3.3 索股在拽拉器与滚筒间的线形分析

PPWS 索股由拽拉器牵引,沿滚筒牵引,PPWS 倾斜度与猫道倾斜度相同,见图5。

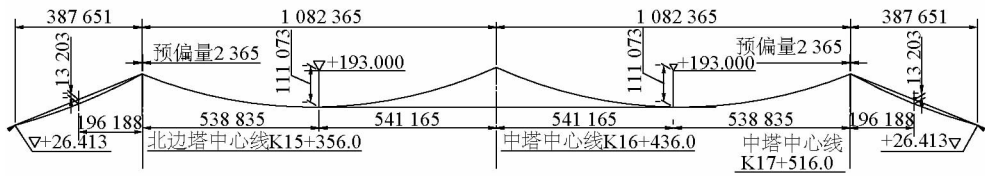


图4 泰州大桥主缆空缆线形(单位:mm)

Fig.4 Main cable profile of Taizhou Bridge before girder lifting(unit:mm)

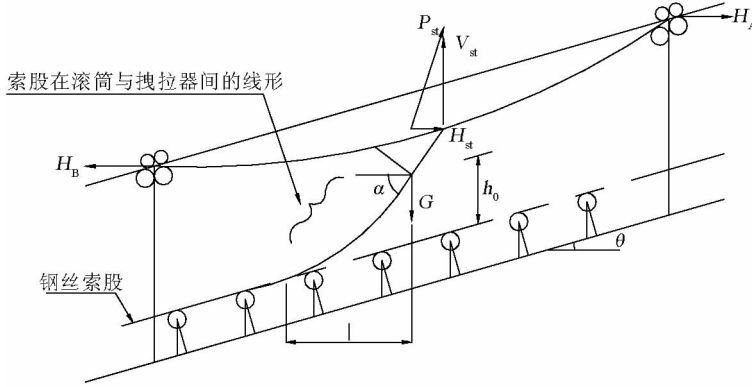


图5 滚筒与拽拉器间索股线形

Fig.5 Wire strand profile between roller and puller

索股与猫道倾角相同,拽拉器与滚筒间索股的线形方程为

$$y = \frac{q}{2H_{st}}x(x-l) + \frac{h_0 + l \tan \theta}{l}x \quad (5)$$

取导数

$$y' = \frac{q}{H_{st}}x - \frac{ql}{2H_{st}} + \frac{h_0 + l \tan \theta}{l} \quad (6)$$

$$y'|_{x=0} = \tan \theta = -\frac{ql}{2H_{st}} + \frac{h_0 + l \tan \theta}{l} \quad (7)$$

得

$$l = \sqrt{\frac{2H_{st}h_0}{q}} \quad (8)$$

$$y'|_{x=l} = \frac{q}{H_{st}}x - \frac{q}{2H_{st}}l + \frac{h_0 + l \tan \theta}{l} = \sqrt{\frac{2qh_0}{H_{st}}} + \tan \theta = \tan \alpha \quad (9)$$

由图5可知

$$H_{st} = P \cos \theta \quad (10)$$

$$P_{st} = P + (h_0 + l \tan \theta)q \quad (11)$$

图5及式(5)~式(11)中, h_0 为拽拉器到滚筒的竖向距离; l 为拽拉器至滚筒间索股自由悬索的跨度; H_{st} 为索股传递给拽拉器的水平力; V_{st} 为索股传递

给拽拉器的竖向力平力; P_{st} 为索股锚头转递给拽拉器的合力; θ 为计算点处猫道倾角。

3.4 索股牵引架设是拽拉器受力分析

索股拽拉器受力简图见图6。

由图6可知

$$\tan \theta_A = \frac{(f + \frac{l}{2} \tan \theta)}{\frac{l}{2}} = \frac{2f}{l} + \tan \theta \quad (12)$$

$$\tan \theta_B = \frac{(\frac{l}{2} \tan \theta - f)}{\frac{l}{2}} = \tan \theta - \frac{2f}{l} \quad (13)$$

水平方向与竖直方向合力为

$$T_A \cos \theta_A = T_B \cos \theta_B + P_{st} \cos \alpha \quad (14)$$

$$T_A \sin \theta_A = T_B \sin \theta_B + P_{st} \sin \alpha + G \quad (15)$$

得

$$T_A = \frac{T_B \cos \theta_B + P_{st} \cos \alpha}{\cos \theta_A} \quad (16)$$

$$T_B = \frac{P_{st} (\sin \alpha - \tan \theta_A \cos \alpha) + G}{\tan \theta_A \cos \theta_B - \sin \theta_B} \quad (17)$$

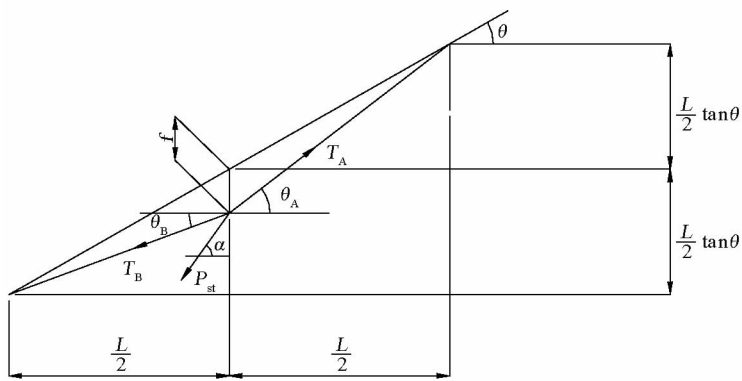


图 6 索股拽拉器受力简图

Fig. 6 Loading sketch of wire strand puller

图 6 及式(12)~式(17)中, T_A 为拽拉器前端牵引索张力; T_B 为拽拉器后端牵引索反张力; θ_A 为拽拉器前端牵引索与水平面的夹角; θ_B 为拽拉器后端牵引索与水平面的夹角。

3.5 牵引力计算结果

根据式(1)~式(17)分析, 对各猫道门架间的索股自重按照门架间倾斜直线长度计算、猫道门架间猫道倾角按照门架间中点处近似计算, 利用 Excel 建立电子计算表格, 对索股通过各猫道门架间牵引力进行逐段叠加计算。泰州大桥 PPWS 架设牵引力计算结果为最大张力 172 kN。

3.6 牵引力计算结果与实测牵引力比较

根据牵引力计算结果, 泰州大桥选用 250 kN 专用牵引卷扬机进行索股架设, 该机具有实时测长、测力功能, 索股架设已于 2011 年 1 月 11 日完成, 使用情况良好, 卷扬机选型合理。

根据实测情况, 在索股架设初期, 最大牵引力在 196 kN 左右。在完成 8 根索股架设之后, 最大牵引力基本稳定在 155~175 kN。分析原因, 牵引系统初始作业时, 约两年时间未使用的导轮组摩阻力较

大, 经过几天磨合趋于正常。经过工程实践, 牵引力近似计算结果较为准确, 可以用于指导实际工程施工。

4 结语

笔者介绍了特大跨径悬索桥主缆 PPWS 施工, 门架拽拉式牵引系统牵引力的近似计算的方法。经过泰州大桥三塔悬索桥工程实践, 牵引力计算结果较为准确, 对今后悬索桥建设、主缆牵引设备能力需求提供了一种具有现实意义的计算方法, 对牵引设备的选型具有重要的参考价值。

参考文献

- [1] 王峻, 杨宁, 吉林. 江阴大桥主缆施工[C] // 中国公路学会桥梁和结构工程学会一九九九年桥梁学术讨论会论文集. 1999.
- [2] 薛光雄, 金仓, 杜洪池, 等. 润扬大桥悬索桥牵引系统设计与施工[J]. 桥梁建设, 2004(4): 25-28.
- [3] 杨进. 泰州长江公路大桥主桥三塔悬索桥方案设计的技术理念[J]. 桥梁建设, 2007(3): 33-35.

(下转 61 页)