

悬索桥教学难点解析

包立新

(重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074)

摘要:主索鞍与塔顶的相对位置、索鞍预偏量、索鞍顶推原则是悬索桥课程教学难点。文章对此进行了深入剖析,补充了主索鞍与塔顶的相对位置结构图,推导了相对位置及预偏量计算公式,既丰富了教材内容,又有助于学生理解,提高学习兴趣。

关键词:悬索桥;预偏量;顶推;桥梁工程

中图分类号:G642.4;U44

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2013)03-0068-03

悬索桥是一种重要桥型,初学者对主索鞍与塔顶的相对位置、索鞍预偏量、顶推原则的理解不太容易掌握。在运营阶段悬索桥的主索鞍在塔顶是固定不动的,主索在索鞍的索槽里也是不能滑动的,这与一般的缆索吊装系统不同,一般的缆索吊装系统主索鞍是一个定滑轮(有的相当于一个定滑轮),主索可以滑动。在施工阶段悬索桥的主索在索鞍的索槽里是不能滑动的,主塔左右的不平衡力是通过顶推主索鞍实现平衡。通常情况下,悬索桥主索鞍的中心线与主塔的中心线不重合,这也容易被学生误解。为此,通过剖析这几个难点,帮助学生理解这部分内容,为学好悬索桥打下基础。

一、主索鞍与塔顶的相对位置

一般情形下,悬索桥主缆在塔顶处边跨与主跨的水平倾角不相等,这就决定了塔顶处主索鞍中心线与主塔的中心线不重合,且主索鞍的中心线偏向于倾角较小的一侧。通常情况下,在塔顶处主跨的主缆倾角比边跨的主缆倾角小,因此主索鞍偏向主跨侧,如图1。

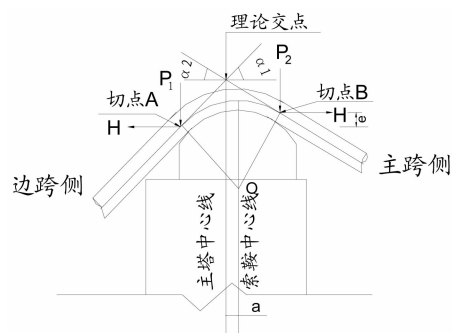


图1 主索鞍与塔顶的相对位置计算示意图

收稿日期:2012-10-03

基金项目:重庆市高等教育教学改革研究项目(103140);中国交通教育研究会教育科学研究课题(交教研1002-93)

作者简介:包立新(1968-),男,重庆交通大学土木建筑学院副教授,博士,主要从事桥梁工程教学和大跨度桥梁结构分析研究,(E-mail)1819341823@qq.com。

为了保证主塔在成桥状态下是垂直的,作用在主索鞍上的力对主塔中心线的力矩为0。

对1-1取矩:

$$p_1 \cdot d_1 - p_2 \cdot d_2 - H \cdot e = 0, \quad (1)$$

$$d_1 + d_2 = 2R \cdot \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}. \quad (2)$$

其中,由于成桥状态下作用于主索鞍的水平力、竖向力均已知,于是:

$$\tan \alpha_1 = \frac{p_1}{H}, \quad (3)$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{p_2}{H}. \quad (4)$$

由几何关系,可知:

$$e = R \cdot (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1), \quad (5)$$

联立方程(1)、(2),并带入式(3)-(5)可得:

$$d_2 = R \cdot \left(2 \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} - \frac{\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1}{\tan \alpha_1} \right) \cdot \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2}, \quad (6)$$

$$d_1 = 2R \cdot \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} - d_2. \quad (7)$$

于是,主塔中心线与主索鞍中心线的水平距离为

$$a = \frac{d_2 - d_1}{2}, \quad (8)$$

$$s = (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot R, \quad (9)$$

$$T_1 = c \tan \alpha_1 - a \cdot \sec \alpha_1, \quad (10)$$

$$T_2 = \tan \alpha_2 \cdot R + a \cdot \sec \alpha_2. \quad (11)$$

其中: T_1 为主缆边跨切线长; T_2 为主缆主跨切线长,其余符号意义见图1。

由上述可见,主塔中心线与主索鞍中心线的水平距离与主缆在主塔两侧的水平倾角以及主索鞍的半径相关。切弧差的修正值:

$$\Delta s = T_1 + T_2 - s. \quad (12)$$

在确定悬索桥主缆的有应力长度和无应力长度时都必须计入这一修正值。从以上推导看,悬索桥主缆的理论交点是一个虚交点,其主跨、边跨跨径均是指相邻两个虚交点之间的水平距离(散索鞍处也是同样道理),不是指两个索鞍顶点间的水平距离。主索鞍的中心线与主塔中心线的水平距离是由主索的水平倾角决定的,而主索鞍上主缆的水平倾角又是由作用在主索鞍上的力决定的,可见恒载力不同主索鞍的位置也会改变。

二、索鞍预偏量

悬索桥与其他桥型不同,在施工过程中必须设置索鞍预偏量,这是悬索桥的一个显著特点。所谓预偏量是指在空缆作用下为了保证主塔垂直(不受弯)而设置索鞍偏移量。一般情况下,主索鞍、散索鞍的偏移量均靠岸侧设置^[1]。

在成桥状态下,索鞍的位置被固定,原则是保证主塔垂直。但在施工状态下,主缆只受自重力,而主缆在索鞍中不能滑动,即各跨的主缆无应力长度不变。为了保证主塔垂直,即左右水平力相等,就必须适当移动索鞍。通过改变各跨索鞍顶点间的水平距离来实现这一目标。这也是设置预偏量的目的,也是求算预偏量的依据。

这里需要约定一个固定点来说明各跨无应力长度不变,可以设定索鞍的顶点为这个固定点,因为在空缆时,主缆在主索鞍上的切点不会超越顶点。下面给出预偏量的计算过程。

空载状态下主缆的受力如图2所示。在笛卡尔坐标系下任意一段主缆的方程可以表示为^[2]:

$$x(S_0) = \frac{H \cdot S_0}{EA} + \frac{H}{q} \operatorname{Ln} \frac{q \cdot S_0 - V + \sqrt{H^2 + (q \cdot S_0 - V)^2}}{\sqrt{H^2 + V^2} - V} \quad (13)$$

$$y(S_0) = \frac{(q \cdot S_0 - V)^2 - V^2}{2EAq} + \frac{1}{q} \left[\sqrt{H^2 + (q \cdot S_0 - V)^2} - \sqrt{H^2 + V^2} \right] \quad (14)$$

其中: T 为主缆轴向力; H 为主缆水平力; V 为主缆竖力; S_0 为主缆无应力长度; q 为主缆的自重集度; EA 为主缆轴向刚度,其余符号意义见图2。

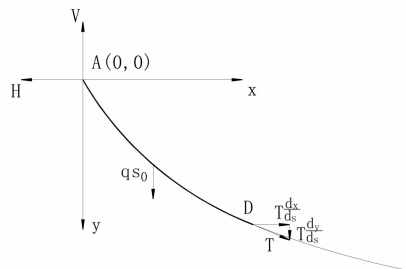


图2 主缆自重作用下受力示意图

从该组方程看,主跨的跨径、主塔两点的高差和主跨的无应力长度已知,就可以求出主跨的水平力和竖向反力;同样,边跨也可以求出相应的水平力和竖向反力。当主跨与边跨的水平不相等时,就可以通过改变主跨与边跨的跨径,即移动索鞍,直到主跨与边跨的水平力相

等,此时,索鞍的移动量就是预偏量。

三、索鞍顶推原则

在悬索桥的施工中,索鞍的顶推是必须的。因为一旦设置了索鞍预偏量就一定会顶推,最终把索鞍从空缆状态下的位置顶到成桥状态下的位置。但是,一次顶推的量、顶推的次数都是可以控制的,当然顶推次数越少施工越方便。控制索鞍顶推量的原则是主塔的偏位不能使主塔任意截面产生拉应力。在施工过程中,主塔始终是一个偏心受压构件,它承受主缆传来的竖向压力和不平衡水平力。只要这个不平衡水平力不足以让主塔产生拉应力,就不必顶推。可见,顶推主索鞍的量完全取决于主塔的应力是否出现拉应力。根据这一原则,可以灵活制定顶推方案。悬索桥的施工正是在主塔左右摆动的过程中得以实现。由于施工过程中,各跨主缆的无应力长度不变,因此顶推的计算过程与预偏量的计算过程类似,但施工中要计入温度对主缆伸长量的影响^[4]。

$$s_0' = s_0 + \alpha \cdot \Delta t \cdot s_0, \quad (15)$$

式中: α 为主缆线膨胀系数; Δt 为温度改变量;温升为“+”;温降为副“-”。

四、结语

(1)悬索桥主索鞍中心线与主塔中心线一般情

况下不重合,其之间的距离取决于主缆在主塔两侧的水平倾角及主索鞍的设计半径。

(2)索鞍的预偏量是指空缆状态下为了保证主塔垂直而设置的偏移量,其计算是以各跨主缆无应力长度不变为前提进行。

(3)主索鞍的顶推过程是以主塔应力不出现拉应力为前提,其顶推的次数、顶推量可以调整。学生通过编写计算机程序可以加深对此问题的理解,提高学习兴趣。

参考文献:

- [1]牛和恩. 虎门大桥工程:2册[M]. 北京:人民交通出版社, 1998.
- [2]周水兴. 桥梁工程[M]. 2版. 重庆:重庆大学出版社, 2011.
- [3]李学文, 颜东煌. 桥梁工程专业毕业设计教学改革和实践[J]. 交通高教研究, 2002(4): 75-76.
- [4] Prem Krishna. Cable-suspended roots [M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1978.
- [5]李国强, 陈以一, 朱合华, 等. 土木工程专业结构工程课程体系与教学内容改革总体方案[J]. 高等建筑教育, 2006(2): 53-54.

Several difficulties in suspension bridge teaching

BAO Lixin

(School of Civil Engineering and Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, P. R. China)

Abstract: In the teaching of suspension bridge, the main cable saddle and the relative position of the tower, cable saddle preliminary deviator, cable saddle pushing principle understanding are difficult. The structure chart for the relative position of the saddle and the tower should be appropriately complemented, and the relative position and preliminary deviator calculation formula were deduced. The main rope saddle line and the center line of the main tower generally are not coincidence, preliminary deviator is to point out an empty line state to ensure the main tower vertical and set the rope saddle offset, and jacking times and pushing quantity can be adjusted. It enriched the content of the teaching material which can help students understand this part and improve their learning interest of the suspension bridge.

Keywords: suspension bridge; preliminary deviator; pushing; bridge engineering

(编辑 梁远华)