

斜拉索无应力索长计算及与施工过程的关系探讨

赵 辉,周明珩,张广元

(北京市市政工程研究院,北京 100037)

摘要:介绍了斜拉索无应力索长的抛物线计算理论和下料长度计算公式,并依托工程计算了在关键施工阶段和成桥状态下的无应力索长。结果表明:抛物线计算理论完全可以满足工程要求;斜拉索的无应力索长只有在自身张拉时,斜拉索锚固位置通过拔出或放回才会发生改变,外荷载、结构体系改变和其他斜拉索张拉、调索均不影响其无应力索长。

关键词:斜拉桥;斜拉索;无应力索长;抛物线理论

中图分类号:U 448.27 文献标志码:B 文章编号:1009-7767(2018)03-0092-03

On the Relationship between Calculation of Non-stress Cable Length of Stayed-cable and Construction Process

Zhao Hui, Zhou Minghui, Zhang Guangyuan

考虑结构在荷载作用下变形后,斜拉索两端节点的几何长度扣除斜拉索单元轴向力产生的伸长量后即即为斜拉索的无应力索长。斜拉索无应力索长是斜拉桥施工控制的一个重要参数,也是斜拉索施工时下料长度的确定依据。一般是根据成桥构形及索力确定斜拉索无应力索长,然后考虑锚头构造的影响,并给出一定的富余量,据此确定斜拉索的下料长度。斜拉索无应力索长计算方法主要有悬链线法、抛物线法和有限元法(或迭代法)^[1]。悬链线法理论上计算精度非常高,但因其是超越函数(指变量之间的关系不能用有限次加、减、乘、除、乘方、开方运算表示的函数),很难直接应用于实际工程。抛物线法是对悬链线理论的近似修正,即对悬链曲线展开级数式的前几项进行近似修正,目前在斜拉桥施工中普遍采用以抛物线理论为基础的公式求解^[2]斜拉索无应力索长,其计算精度可以满足工程要求。

笔者介绍了斜拉索无应力索长的抛物线计算理论和下料长度计算公式,并以内蒙古通辽市新世纪大桥为例,综合考虑施工过程中的梁体标高、索塔变位、索力变化等因素,计算了关键施工阶段和成桥状态下的无应力索长,并对斜拉索无应力索长与施工过程的关系进行了探讨。

1 斜拉索无应力索长抛物线计算理论

抛物线理论计算简图见图 1。

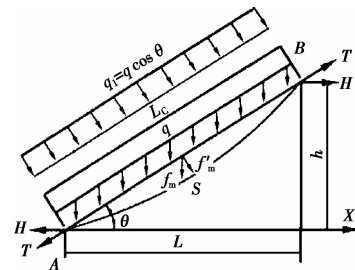


图 1 抛物线理论计算简图

如图 1 所示,在轴向力 T 及自重作用下,斜拉索呈现为悬链线形状。悬链线的弧长 S 大于 A 、 B 之间的直线长度 L_c ,此时斜拉索伸长量 ΔL 由弹性伸长量 ΔL_e 和垂度影响的伸长量 ΔL_f 两部分组成,即

$$\Delta L = \Delta L_e + \Delta L_f \quad (1)$$

弹性伸长量:

$$\Delta L_e = \frac{TL_c}{EA} \quad (2)$$

垂度影响的伸长量:

$$\Delta L_f = S - L_c \quad (3)$$

当斜拉索的垂度较小时,可用抛物线代替悬链线。抛物线弧长为:

$$S_1 = L_c + \frac{8(f_m')^2}{3L_c} \quad (4)$$

忽略高次项的影响,由式(3)可得:

$$\Delta L_f = S_1 - L_c = \frac{8(f_m')^2}{3L_c} \quad (5)$$

根据斜拉索的平衡条件与变形协调条件,最终可得:

$$\Delta L_f = \frac{L_c^3 q^2 \cos^2 \alpha}{24T^2} \quad (6)$$

从而,斜拉索的无应力索长应为:

$$S_0 = L_c - \Delta L_e + \Delta L_f \quad (7)$$

以上公式推导过程中,采用了一些假设,忽略了高次项的影响,因此只适用于垂度较小($f'_m/L_c < 1/12$)的情况。

2 斜拉索下料长度计算方法

文献[3]中的条文说明第 5.4.3 条给出了斜拉索在设计温度时的下料长度计算公式及计算简图,见图 2。

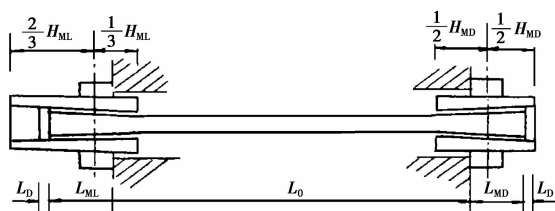


图 2 索长计算

$$L = L_0 - \Delta L_e + \Delta L_f + \Delta L_{ML} + \Delta L_{MD} + 2L_D + 3d \quad (8)$$

式中: L 为斜拉索下料长度; L_0 为斜拉索的长度基数,为该斜拉索上下索孔出口处在拉索张拉完成后锚固面的空间距离; ΔL_e 为拉力作用下斜拉索弹性伸长修正; ΔL_f 为拉力作用下斜拉索垂度修正; ΔL_{ML} 为张拉端锚具位置修正; ΔL_{MD} 为锚固端锚具位置修正; L_D 为锚固板厚度; $3d$ 为斜拉索两端所需的钢丝镦头长度, d 为钢丝直径。

3 工程应用

3.1 工程概况

新世纪大桥主桥为支承体系独塔斜拉桥,跨径布置为 100 m+100 m,塔高 80 m,采用空间布置的双索面斜拉索,每个索塔分别设有 12 对索,塔上斜拉索索距由 2.7 m 渐变至 3.7 m,主梁上斜拉索索距为 7 m。其施工工序为:1)在支架上施工完钢主梁和主塔;2)按照 1~12 号的编号顺序逐根对称张拉斜拉索;3)拆除支架,进行二次调索,其中针对 3~7 号索进行了二次索力调整;4)完成桥面铺装,成桥。主桥总体布置图见图 3。

3.2 关键施工阶段斜拉索状态

以该桥北侧上游方向 12 根斜拉索为研究对象,图 4 和图 5 分别给出了各关键施工阶段斜拉索下锚点 Z 坐标和索力变化情况。

由图 4 和图 5 可以看出,各施工阶段斜拉索锚点的坐标和索力都不相同,即无应力索长计算公式中 L_c

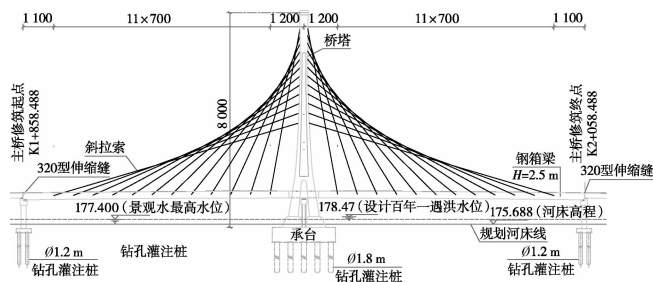


图 3 主桥总体布置图(cm)

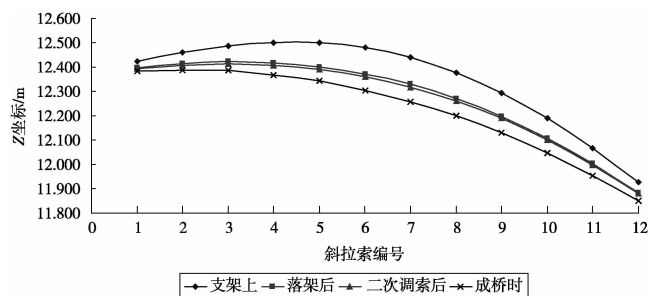


图 4 各关键施工阶段斜拉索下锚点 Z 坐标

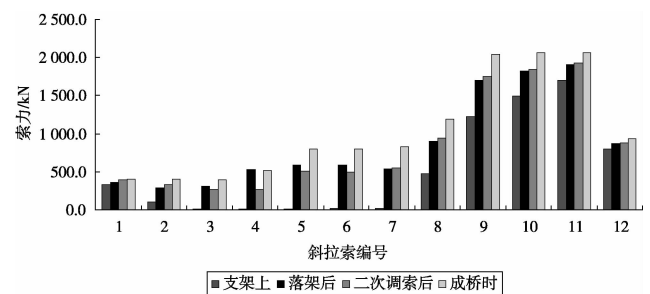


图 5 各关键施工阶段斜拉索索力

和 T 参数对于整个施工过程来讲是个变量,下面对无应力索长在关键施工阶段中的变化进行计算分析。

3.3 关键施工阶段斜拉索无应力索长计算

公式中 L_c 的长度是由斜拉索两端锚点坐标计算得出,与各施工阶段主梁线形和索塔变位密切相关。随着施工的进展,主梁和索塔的位移在不断发生变化,因此斜拉索两端锚点坐标在各施工阶段中是不同的。由于斜拉桥为高次超静定结构,有牵一发而动全身的特点,每次斜拉索张拉都会引起其他索索力变化,导致各施工阶段索力不同,即无应力索长计算公式中的 T 在各阶段的取值不同。

综合考虑梁、塔变位和索力变化情况,以成桥状态为例,计算斜拉索无应力索长和下料长度,结果如表 1 所示。斜拉索上、下锚点的坐标为设计成桥坐标叠加施工监控提供的预拱度所得。

表 1 成桥状态斜拉索无应力索长计算结果

索号	上、下锚点距离/m	索力/kN	弹性伸长量/m	垂度修正值/m	上锚固长度/m	下锚固长度/m	拉索下料长度/m
1	60.278	402.3	0.055	0.000	1.060	1.196	62.478
2	59.232	404.3	0.055	0.000	1.055	1.225	61.457
3	59.229	396.0	0.054	0.000	1.665	1.285	62.125
4	60.088	513.6	0.056	0.000	1.520	1.355	62.907
5	61.670	796.6	0.089	0.000	1.430	1.475	64.485
6	63.999	802.4	0.093	0.000	1.297	1.620	66.823
7	66.924	830.2	0.101	0.000	1.233	1.810	69.866
8	70.378	1192.6	0.153	0.000	1.400	2.036	73.661
9	74.245	2047.2	0.186	0.000	1.365	2.340	77.764
10	78.498	2068.4	0.199	0.000	1.275	2.715	82.290
11	83.012	2066.0	0.210	0.000	1.245	3.200	87.247
12	87.713	931.6	0.150	0.000	1.210	3.820	92.593

由表 1 可以看出,1~12 号索的垂度修正值可以忽略不计,说明该工程斜拉索长度较短,其非线性效应的影响很小。以同样的方法计算落架前、后和二次调索、桥面铺装阶段的无应力索长,如表 2 所示。

表 2 关键施工阶段和成桥状态无应力索长 m

索号	落架前	落架后	二次调索	桥面铺装
1	62.478	62.478	62.478	62.478
2	61.457	61.457	61.457	61.457
3	62.113	62.110	62.125	62.125
4	62.891	62.869	62.907	62.907
5	64.480	64.466	64.485	64.485
6	66.814	66.803	66.823	66.823
7	69.870	69.860	69.866	69.866
8	73.661	73.661	73.661	73.661
9	77.765	77.764	77.764	77.764
10	82.290	82.290	82.290	82.290
11	87.247	87.247	87.247	87.247
12	92.593	92.593	92.593	92.593

由表 2 可以看出,1、2、8~12 号索在各关键施工阶段的无应力索长是一致的;而 3~7 号索由于进行了二次调索,其无应力索长在施工过程中有所变化。这表明,斜拉索的无应力长度不会随着外荷载和结构体系的改变而变化,只有在自身张拉时,斜拉索的锚固位

置通过拔出或放回索长才会发生改变,在斜拉桥的施工过程中,斜拉索索力和无应力索长是 2 个既相互联系又完全独立的量。

4 结语

笔者依托实际工程,采用抛物线理论并综合考虑梁、塔变位和索力变化情况,分别计算斜拉桥各关键施工阶段的无应力索长,其结果表明该理论完全可以满足工程要求。斜拉索的无应力长度只有在自身张拉时,斜拉索的锚固位置通过拔出或放回索长才会发生改变,外荷载、结构体系改变和其他斜拉索张拉、调索均不影响其无应力长度。斜拉索无应力索长的变化必然唯一的对应索力的变化,在实际工程中,可以根据这一原理,用锚头伸缩量来控制索力。MET

参考文献:

- [1] 秦顺全. 桥梁施工控制——无应力状态法理论与实践[M]. 北京:人民交通出版社,2007:32-38.
- [2] 郝超,裴岷山,强士中. 大跨度斜拉桥拉索无应力长度的计算方法比较[J]. 重庆交通学院学报,2001,20(3):1-3.
- [3] 交通部重庆公路科学研究所. 公路斜拉桥设计规范(试行):JTJ 027-1996[S]. 北京:人民交通出版社,1996.

收稿日期:2017-11-28

基金项目:北京市市政工程研究院自主项目(纵 188 科-J-17010)

作者简介:赵辉,女,高级工程师,硕士,主要从事大跨度及复杂桥梁结构静动力分析与施工监控技术研究工作。

北京新机场线将北延至丽泽商务区 预计 2018 年年底开工

2018 年 4 月 23 日从北京市轨道交通建设管理公司获悉,新机场快轨一期工程正在加紧建设,2018 年年底力争实现隧道段、高架段的贯通,2019 年实现开通运营。此外,新机场线预计在 2018 年年底启动北延至丽泽商务区的工程。