

悬索桥索股架设参数敏感性分析

周伟¹, 夏雪莲², 胡铁山³, 刘成勇¹

(1.湖北交投智能检测股份有限公司, 湖北 武汉 430050; 2.中交第二公路勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430056; 3.湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430051)

摘要:以湖北棋盘洲长江公路大桥为工程背景,在索架设施工阶段中,分析主缆无应力长度、主跨跨度、温度场和主缆弹性模量等参数变化对主缆跨中标高的影响。结果显示,大跨径悬索桥中主缆空缆线形对温度和主缆弹性模量较敏感,而主缆无应力长度及主跨跨度对主缆空缆线形的影响较小。

关键词:桥梁;悬索桥;索股架设;参数敏感性

中图分类号:U448.25

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)03-0104-02

悬索桥施工中,主缆架设中的线形控制是关键。主缆架设分为基准索股架设及一般索股架设,其中基准索股架设精度是决定主缆线形的重中之重。王戒躁等对悬索桥主缆线形影响参数进行了敏感性分析,根据其影响程度把握线形控制重点。钟继卫等认为大跨度悬索桥梁索股施工控制的主要技术要点包括关键参数收集、控制点确定、温度跨度修正和调节比算法等。刘益等认为以主缆无应力长度确定空缆线形是保证成桥状态下结构线形满足设计要求的前提。李传习等认为悬索桥施工控制的关键之一是根据成桥状态线形计算主缆无应力长度,再根据无应力长度进行施工控制。薛光雄等提出以成桥结构线形为目标,通过空缆线形及丝股直径计算基准丝股各跨控制点的理论高程,考虑不同温度变化、索鞍预偏位置及塔顶偏位,确定控制理论高程进行测量

控制。黄浩等考虑主索鞍偏移量等参数对空缆线形的影响,对悬索桥空缆线形进行了模拟计算。王力等针对悬索桥空缆线形对温度变化敏感的特点,根据实际施工温度误差对空缆线形进行了修正。何博文等认为影响桥梁施工结构行为的参数众多,需对重点影响参数进行严格分析。该文以湖北棋盘洲长江公路大桥为研究对象,选取主缆无应力长度、主跨跨度、温度场、主缆弹性模量等参数,分析其对主缆空缆线形的影响。

1 工程概况

棋盘洲长江公路大桥(也称黄石三桥)是湖北省蕲嘉(蕲春—嘉鱼)高速公路的过江通道,桥跨布置为 340 m+1038 m+305 m,矢跨比为 1/9,主桥为 1 038 m 单跨双铰钢箱梁悬索桥(见图 1)。

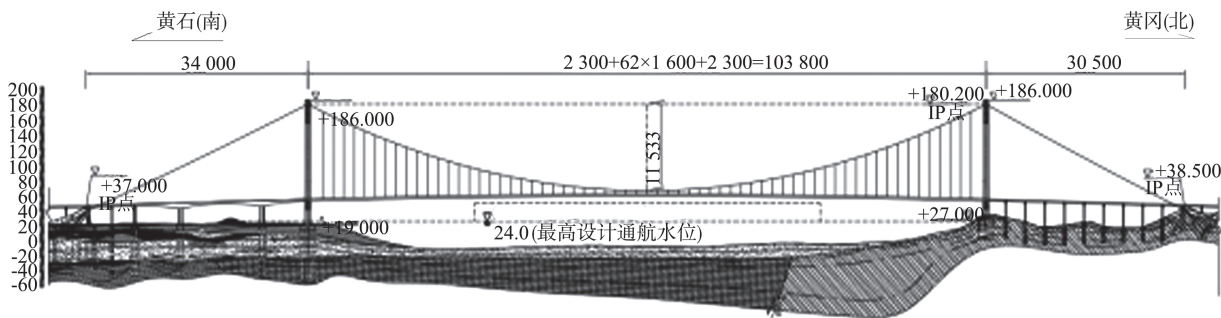


图 1 棋盘洲长江公路大桥主桥总体布置(单位:标高为 m,其他为 cm)

2 主缆线形的参数敏感性分析

选取主缆无应力长度、主跨跨度、温度场和主缆弹性模量等参数,分析这些参数变化对该桥主缆空缆线形的影响。

2.1 主缆索长对主缆线形的影响

分析主缆索长变化对主缆跨中标记点高程的影响。成桥平衡状态计算模型中,限制各 IP 点水平和竖直位移,通过小幅调整索长,计算跨中标志点标高变化。如表 1、图 2 所示,索长每提升 1 mm,中跨跨

中标高变化约 1.94 mm,主缆无应力长度对悬索桥主缆空缆线形的影响较小;主缆无应力长度对悬索桥空缆线形的影响表现为线性相关。

表 1 索长变化对跨中标高的影响

索长变化 $\Delta l/\text{mm}$	跨中标高变 化 $\Delta h/\text{mm}$	$\Delta h/\Delta l$	索长变化 $\Delta l/\text{mm}$	跨中标高变 化 $\Delta h/\text{mm}$	$\Delta h/\Delta l$
-50	97.05	-1.94	10	-19.40	-1.94
-30	58.22	-1.94	30	-58.19	-1.94
-10	19.40	-1.94	50	-96.97	-1.94

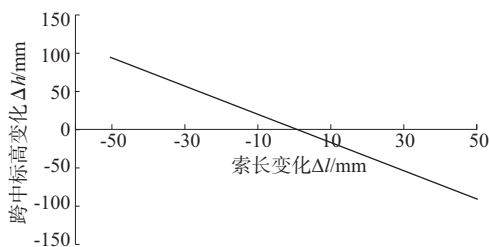


图 2 索长变化对跨中标高的影响

2.2 主跨跨度对主缆线形的影响

由于锚碇、主塔实际施工误差及温度的影响,主跨实际跨度与理论值会存在偏差。在成桥平衡状态下,固定散索鞍 IP 点的水平和竖直位移,小幅调整塔顶 IP 点的水平位移,计算主缆跨中标记点高程变化。如表 2、图 3 所示,主跨跨度变化与主缆跨中标高变化的比值 $\Delta h/\Delta u \approx 1.87 \sim 1.94$,主跨跨度对悬索桥主缆空缆线形的影响较小;主跨跨度对悬索桥空缆线形的影响表现为线性相关。

表 2 主跨跨度对跨中标高的影响

主跨跨度变 化 $\Delta u/\text{mm}$	跨中标高变 化 $\Delta h/\text{mm}$	$\Delta h/\Delta u$	主跨跨度变 化 $\Delta u/\text{mm}$	跨中标高变 化 $\Delta h/\text{mm}$	$\Delta h/\Delta u$
-100	-188.35	1.88	10	19.44	1.94
-50	-93.95	1.88	30	57.27	1.91
-30	-56.17	1.87	50	95.11	1.90
-10	-18.37	1.84	100	189.76	1.90

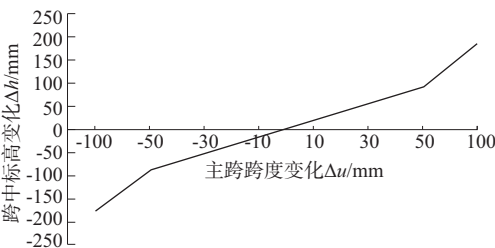


图 3 主跨跨度对跨中标高的影响

2.3 温度对主缆线形的影响

在索股施工过程中,计算不同温度下主缆跨中标记点的标高。考虑索股受环境温度的均匀升降温情况,假定散索鞍和塔顶的位置不变,以设计温度 20 ℃为基准温度,温度变化范围为 0~40 ℃,分析不同温度间隔对主缆跨中标记点标高的影响。如表 3、图 4 所示,温度对中跨跨中标高的影响相当大,温度每升高 1 ℃,标高变化接近 25 mm,即 $\Delta h/\Delta t \approx 25 \text{ mm}/\text{℃}$,大跨径悬索桥主缆空缆线形对温度较敏感;温度对悬索桥空缆线形的影响表现为线性相关。

表 3 温度荷载对跨中标高的影响

温度变化 $\Delta t/\text{℃}$	跨中标高变 化 $\Delta h/\text{mm}$	$\Delta h/\Delta t$	温度变化 $\Delta t/\text{℃}$	跨中标高变 化 $\Delta h/\text{mm}$	$\Delta h/\Delta t$
-20	498.58	-24.93	1	-24.87	-24.87
-15	373.73	-24.92	2	-49.74	-24.87
-10	249.02	-24.90	3	-74.60	-24.87
-5	124.44	-24.89	4	-99.46	-24.86
-4	99.54	-24.89	5	-124.31	-24.86
-3	74.65	-24.88	10	-248.48	-24.85
-2	49.76	-24.88	15	-372.52	-24.83
-1	24.88	-24.88	20	-496.43	-24.82

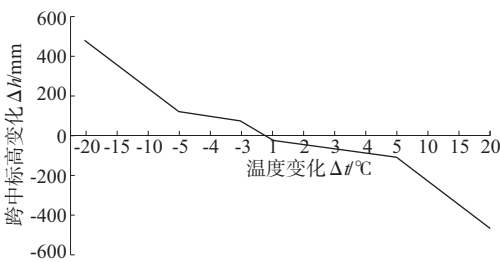


图 4 温度荷载对跨中标高的影响

2.4 索股弹性模量对主缆线形的影响

索股的弹性模量会有一定波动。根据制造厂家现场试验,该桥索股的弹性模量为 $1.98 \times 10^5 \text{ MPa}$ 。取弹性模量为 $1.94 \times 10^5 \sim 2.02 \times 10^5 \text{ MPa}$,分析弹性模量变化对主缆空缆线形的影响。如表 4 所示,弹性模量变化 1%时,跨中标高变化约 27 mm,大跨径悬索桥主缆空缆线形对主缆弹性模量较敏感;主缆弹性模量对悬索桥空缆线形的影响表现为线性相关。

3 结论

(1) 大跨径悬索桥中主缆空缆线形对温度和主缆弹性模量较敏感,主缆架设前需测试主缆的弹性模量,施工过程中需及时监测索股温度,以准确有效

(下转第 109 页)

时中跨侧的压应力得到释放,中跨侧的压应力小于边跨侧的压应力。如此循环,直至吊装完成全部主梁。4) 地锚式悬索桥成桥时,塔顶纵桥向偏位接近于零,主塔控制截面处中跨侧的压应力和边跨侧的压应力几乎相等。这是由于随着主索鞍复位,主塔承受的两侧主缆张力的水平分力平衡,主塔只承受两侧主缆张力的竖向分力。

5 结论

基于 MIDAS/Civil 中累加模型的特点,提出一种能连续正装模拟主索鞍顶推的方法,该方法同时考虑时间依存特性,如砼的收缩、徐变,模拟过程更贴合实际施工步骤,计算结果更真实。将该方法应用于太洪长江大桥(单跨 808 m 的地锚式悬索桥),结合主塔纵桥向偏位和主塔最不利截面轴向应力,分析主索鞍顶推的实质是通过改变各跨的长度改变主索鞍两侧主缆水平不平衡分力的方向,从而保证主塔的受力安全;成桥时塔顶纵桥向偏位接近于零,主塔中跨侧与边跨侧的轴向应力几乎相等。

参考文献:

- [1] 唐茂林.大跨度悬索桥空间几何非线性分析与软件开发[D].成都:西南交通大学,2003.

(上接第 105 页)

地控制主缆线形;而主缆无应力长度及主跨跨度对主缆空缆线形的影响较小。

表 4 主缆弹性模量对跨中标高的影响

弹性模量/ ($\times 10^5$ MPa)	跨中标高 变化 Δh /mm	弹性模量/ ($\times 10^5$ MPa)	跨中标高变 化 Δh /mm
1.94	109.45	2.00	-53.32
1.96	54.42	2.02	-105.00
1.98	0.00		

(2) 温度、主缆弹性模量、主缆无应力长度及主跨跨度对悬索桥主缆空缆线形的影响均表现为线性相关。

参考文献:

- [1] 王戒躁,钟继卫.大跨度悬索桥主缆线形主要参数的影响性分析[J].桥梁建设,2005(3).
[2] 钟继卫,高建学,王戒躁.大跨度悬索桥基准索股施工控制[J].桥梁建设,2006(2).

- [2] 孙胜江,姜军.悬索桥索塔容许偏位及主索鞍顶推分析[J].公路,2007(10).
[3] 王喜良,岳振民.大跨度悬索桥塔顶位移控制分析[J].桥梁建设,2003(6).
[4] 何为,项贻强,徐兴.悬索桥施工中索鞍顶推的小步快跑原则[J].浙江大学学报:工学版,2007,41(1).
[5] 葛俊颖.桥梁工程软件 midas Civil 使用指南[M].北京:人民交通出版社,2013.
[6] 郑宪政.悬索桥架设过程结构分析方法[A].中国土木工程学会桥梁及结构工程学会第十三届年会论文集(上册)[C].1998.
[7] 许世展.桃花峪黄河大桥主桥成桥状态确定及基准索股架设[J].中外公路,2013,33(4).
[8] 刘欣,吴友俊,罗雷.天河大桥空间自锚式悬索桥体系转换研究[J].公路与汽运,2019(4).
[9] 余波,田仲初.钢桁梁悬索桥桥面板吊装方案对比分析[J].公路与汽运,2018(6).
[10] 张炎.自锚式悬索桥主缆线形及吊索张拉方案研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.
[11] 柯红军.复杂悬索桥合理设计及合理施工状态确定[D].长沙:长沙理工大学,2014.
[12] 杨国俊.非对称悬索桥静力性能及动力特性分析[D].西安:长安大学,2016.

收稿日期:2019-03-04

- [3] 刘益,丁志威.柔性悬索桥主缆空缆线形分析及索夹安装位置确定[J].公路与汽运,2012(2).
[4] 李传习,姚明,柯红军,等.悬索桥空间主缆精确解析算法[J].公路与汽运,2008(2).
[5] 薛光雄,沈锐利,先正权,等.悬索桥基准丝股线形的确定与测控[J].桥梁建设,2004(4).
[6] 黄浩,蒋鑫,杜召华.大跨度悬索桥有限元建模策略和易损性分析[J].公路与汽运,2019(5).
[7] 王力,路韡,芮国荣,等.独塔自锚式悬索桥基准索股架设温度影响分析[J].铁道建筑,2017,57(10).
[8] 何博文,王晟,颜东煌,等.矮塔斜拉桥索力与体内预应力参数敏感性分析[J].中外公路,2015,35(1).
[9] 刘欣,吴友俊,罗雷.天河大桥空间自锚式悬索桥体系转换研究[J].公路与汽运,2019(4).
[10] 余波,田仲初.钢桁梁悬索桥桥面板吊装方案对比分析[J].公路与汽运,2018(6).
[11] 张炎.自锚式悬索桥主缆线形及吊索张拉方案研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.

收稿日期:2019-07-23