

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.03.025

悬索桥施工期间主索鞍顶推优化方案研究

赖敏芝¹, 周伟¹, 罗明²

(1. 湖北交投智能检测股份有限公司, 湖北 武汉 430050; 2. 四川公路桥梁建设集团有限公司)

摘要:悬索桥在主梁安装施工过程中,中、边跨主缆力持续变化,导致主索鞍需要频繁顶推调整位置,主索鞍顶推方案的优化是悬索桥主梁架设技术微革新的重要内容之一。该文以某跨长江悬索桥为工程背景,以索塔容许偏位作为控制参数,通过比较分析主索鞍不同顶推方案的差异,在容许偏位范围内确定了最优化的主索鞍顶推时机和顶推量,减少了主索鞍顶推对施工的影响,同时确保了施工过程中索塔的安全性和稳定性。

关键词:悬索桥; 主索鞍; 索塔; 主索鞍顶推

随着悬索桥建造和施工技术日趋完善,大跨度悬索桥越来越多。其中,主索鞍的顶推时机和顶推量是主梁架设和桥面铺装阶段(荷载发生变化)最重要且涉及安全的工序。王喜良等对比了两种索塔允许位移的控制标准:以混凝土截面上不出现拉应力且压应力小于抗压设计强度值所能允许的塔顶最大位移作为允许位移以及以混凝土截面的最大拉应力达到 C50 混凝土设计强度 $\sigma_t = 2.45 \text{ MPa}$,且压应力小于抗压设计强度值所能允许的塔顶最大位移作为允许位移;梅葵花等提出预偏量设置的双重目的,阐明顶推阶段和顶推量的确定原则和索鞍顶推的实质;何为等提出了主索鞍的小步快跑顶推原则;孙胜江等定量分析施工阶段考虑 $P-\Delta$ 效应对主塔容许偏位和不平衡水平力的影响;齐东春等确定了主索鞍预偏量的计算控制原则以及塔顶容许偏位的计算理论;孙胜江等提出主索鞍可控状态下自由滑移控制方法,即主索鞍在加劲梁吊装和二期恒载施工过程中可自由滑移;张飞进等提出了一基于数值分析法的、能全面考虑鞍座影响的主缆线形计算方法,并通过算例探讨了确定鞍座顶推时机的合理方法,即以塔身应力或强度为控制条件确定鞍座顶推时间的合理方法;杨国俊等用 Rayleigh-Ritz 法推导了主塔最大容许偏位计算公式,从主塔塔顶偏位和塔底应力两个角度提出优化主索鞍的顶推方法,最后通过有限元法验证近似公式的精度;姜宏维采用有限元分析软件 Midas/Civil 利用正装分析方法模拟索鞍顶推过程,同时,提出加劲梁吊装时模拟临时连接的一种简单有效的方法;王达等对比分析了主索鞍常规

顶推、主索鞍不顶推及主索鞍自由滑动 3 种施工方案分别对应的结构变位和受力状态,得出主索鞍超量顶推的优化施工方案;沈锐利、肖汝城等基于有限元法研究了主索鞍的模拟方法;黎志忠等提出了一种适用于有限元程序的索鞍顶推精细化模拟方法,重点研究不同索鞍模型的对比和主缆抗滑安全系数。该文以某跨长江悬索桥为工程背景,以索塔容许偏位作为控制参数,通过比较分析主索鞍不同顶推方案的差异,在容许偏位范围内确定了最优化的主索鞍顶推时机和顶推量,减少了主索鞍顶推对施工的影响,同时确保了施工过程中索塔的安全性和稳定性。

1 工程背景

某跨长江大桥采用双塔单跨钢箱梁悬索桥方案,主跨为 1 038 m,悬索桥桥跨为(340+1 038+305) m,锚碇 IP 之间的距离为 1 683 m,矢跨比为 1/9(图 1)。

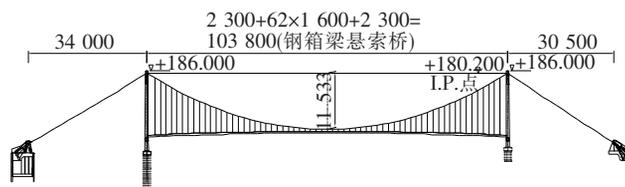


图 1 主桥总体布置图(除标高单位为 m 外,其余:cm)

塔顶高程为 186.0 m,北塔底高程为 29.0 m,南塔底高程为 21.0 m,主索鞍 IP 点高程为 180.2 m。上塔柱高 137.0 m,北索塔下塔柱高 20.0 m,南索塔下塔柱高 28.0 m(图 2)。

收稿日期:2020-09-18

作者简介:赖敏芝,女,硕士,高级工程师。

受力安全的重要条件。在施工过程中,随着钢箱梁的吊装,中跨主缆的轴力越来越大,中边跨的水平分力也越来越大。在强大的水平力作用下,如果索鞍不与索塔固结,索鞍会克服摩擦力,发生滑移,这给工程的安全性带来了不确定因素。为了在施工过程中有稳定的安全环境,主索鞍与索塔需要设置临时刚结,不平衡水平力由索塔来承担。不平衡水平力引起索塔纵向偏位的同时还在塔底产生很大的弯矩,可能会导致塔底混凝土受拉开裂,因此需要及时调整中跨和边跨的跨度来释放不平衡水平力,即主索鞍顶推工序。如此,顶推时机以及顶推量的确定是顶推方案的核心。

通过对整桥的模拟计算得出:南索塔的预偏量为1 985 mm,北索塔的预偏量为1 691 mm。该文拟定3种顶推方案以及自由滑移的施工方案。

方案1:采用各个阶段索塔的极限容许位移值。方案2:索塔的容许位移采用定值,即南索塔最大容许偏位为100 mm,北索塔最大容许偏位为80 mm(主缆:73 mm,安装索夹:75 mm,吊机:76 mm,MJ:179 mm)。方案3:参考文献[3]的小步快跑思路,即索塔不出现拉应力且顶推后使得索塔恢复竖直。但是由于该桥北索塔的下塔柱比较矮,下横梁预应力并不是完全由下横梁承受,而是由下塔柱和下横梁共同承受,下塔柱较矮则刚度大,承担的下横梁预应力也大,导致北索塔在成塔时外侧产生0.2 MPa的拉应力。由此该桥只能放宽要求:在02阶段(主缆架设)至11阶段(J27梁段安装),即前面8次顶推,是顶推至反方向,且在第6次顶推前出现了拉应力;在铺装阶段采用了3次顶推,铺装前、铺装一半和铺装后,此时只要求不出现拉应力。方案4:自由滑移,索塔在各个阶段承受的最大水平力即为各阶段主索鞍在启动滑动时需要克服的摩擦力,虽然能承受的水平力是最小的,但是在荷载(含温度荷载)发生变化时主索鞍会滑动,特别是在主梁吊装过程中,施工风险太大,在实际工程中采用较少。前3种顶推方案的顶推时机和顶推方案见图5。

4 方案比选

方案1顶推11次;方案2顶推13次;方案3顶推22次。方案1和方案2顶推次数差不多,方案3顶推次数过于频繁,方案4很可能仅需要一次顶推就能使主索鞍到规定的设计位置,由于施工安全不足,工程中采用较少。不同顶推方案下关键位置的应力如表3、图6~8所示。

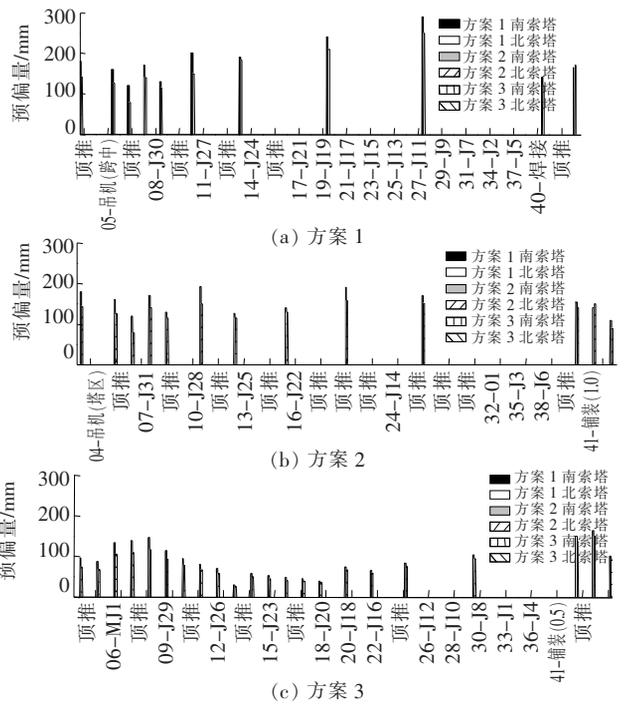


图5 不同顶推方案的顶推时机和顶推方案

表3 不同顶推方案下索塔的最大应力和最小应力

应力	MPa					
	方案1		方案2		方案3	
	南索塔	北索塔	南索塔	北索塔	南索塔	北索塔
最大应力	-0.27	0.44	-0.36	0.44	-0.47	0.27
最小应力	-6.93	-8.21	-6.34	-8.21	-6.25	-7.26

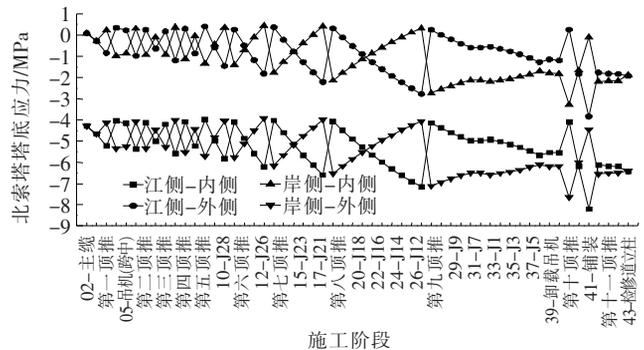


图6 方案1北索塔塔底应力图

从表3可知:3种不同的顶推方案南索塔都没有出现拉应力。从图6可知:索塔应力的控制点均在塔底外侧。从图7、8可知:方案1几乎每次顶推都出现拉应力;方案2在J19之后没有出现拉应力;方案3在J29之后没有出现拉应力。

顶推力由两部分组成:摩擦力(不考虑动静摩擦)、主缆的不平衡力。顶推前大部分情况是索塔往江侧

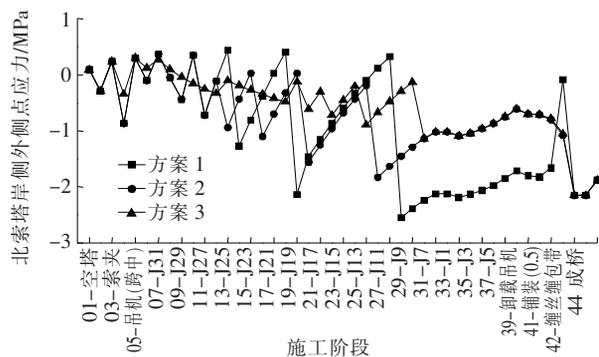


图7 北索塔塔底岸侧外侧应力

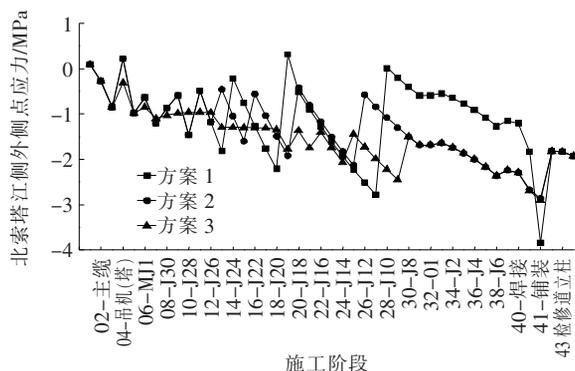


图8 北索塔塔底江侧外侧应力

偏,不平衡水平力会减小顶推力;顶推后大部分情况是索塔往岸侧偏,不平衡水平力会增大顶推力。不同方案摩擦力总是一致的且比不平衡力大一个量级,因此不同顶推方案对顶推力的影响较小(表4)。顶推前的

不平衡力对施工是不利的,在顶推前需要拆除临时固定,此时不平衡力越大,拆除难度越大、时间越长。从表4可知:方案2、方案3中顶推前的主缆不平衡力较小。

表4 不同方案下的摩擦力和不平衡力

MPa

方案	南索塔摩擦力	南索塔顶推前的主缆不平衡力	南索塔顶推后的主缆不平衡力	北索塔摩擦力	北索塔顶推前的主缆不平衡力	北索塔顶推后的主缆不平衡力
1	8 998.2	-1 173.8	1 764.6	9 418.6	-1 242.9	1 660.3
2	8 998.2	-783.5	984.1	9 418.6	-726.1	1 053.2
3	8 998.2	-808.5	952.9	9 418.6	-819.2	1 021.1

通过以上比选可得:①考虑顶推次数,方案1、2优于方案3;②考虑索塔应力,方案3优于方案1和方案2;③考虑顶推力,影响较小,方案2、方案3优于方案1;④考虑顶推前的临时固定拆除,方案2和方案3优于方案1;⑤考虑现场管理,给一个固定的索塔容许位移在整个悬索桥上部结构施工中更方便管理和信息传递,方案2比方案1、方案3好。最终,该桥选择方案2,即索塔的容许位移采用定值,南索塔最大容许偏位为100 mm,北索塔最大容许偏位为80 mm。

5 结论和施工控制建议

(1) 考虑非线性影响的容许位移大于考虑 $P-\Delta$ 效应的容许位移,考虑 $P-\Delta$ 效应的容许位移大于线性分析下的容许位移。在现场可不考虑非线性计算索塔的容许位移。

(2) 顶推方案可采用固定的索塔容许位移为控制,每次顶推可使索塔偏向反方向的容许塔偏。如此顶推次数较少,固定的容许塔偏也有利于参建各方去监测塔偏及时顶推。

参考文献:

- [1] 王喜良,岳振民.大跨悬索桥塔顶位移控制值分析[J].桥梁建设,2003(6).
- [2] 梅葵花.关于悬索桥施工控制中几个问题的探讨[J].桥梁建设,2003(5).
- [3] 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(1).
- [4] 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).
- [5] 齐东春,王昌将,沈锐利,等.悬索桥施工中鞍座顶推的研究[J].中国工程科学,2010(7).
- [6] 孙胜江,王雷刚.悬索桥主索鞍可控状态自由滑移控制[J].桥梁建设,2010(1).
- [7] 张飞进,罗喜恒.确定悬索桥鞍座顶推时间的合理方法[J].公路,2014(4).
- [8] 杨国俊,郝宪武,李子青,等.基于能量法的悬索桥主索鞍顶推计算方法[J].北京工业大学学报,2016(4).
- [9] 姜宏维,郭建明.大跨度悬索桥鞍座顶推研究[J].中外公路,2018(6).
- [10] 王达.悬索桥主索鞍超量顶推施工控制分析[J].交通科学与工程,2019(1).
- [11] 沈锐利.悬索桥主缆系统设计及架设计算方法研究[J].土木工程学报,1996(2).