

天河大桥空间自锚式悬索桥体系转换研究

刘欣, 吴友俊, 罗雷

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041)

摘要: 结合吉林省松原市天河大桥北汉桥施工, 介绍了空间自锚式悬索桥体系转换方法; 根据该桥结构受力特点及现场硬件设施, 分析了吊杆张拉控制条件, 提出了吊索张拉方案; 通过有限元方法对体系转换方案进行了验证。

关键词: 桥梁; 吊索张拉; 体系转换; 空间缆; 自锚式悬索桥; 临时吊索

中图分类号: U446.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)04-0143-03

吉林省松原市天河大桥分南汉桥和北汉桥, 北汉桥为双塔三跨式空间索面自锚式悬索桥, 南汉桥为独塔式自锚式悬索桥。北汉桥的跨径布置为 100 m+266 m+100 m, 桥面宽 28.9 m。其空间性决定了其体系转换过程施工工艺复杂, 难度大, 独创性强。该文对北汉桥的体系转换过程进行分析, 为同类桥梁施工提供借鉴。

1 工程概况

松原市天河北汉桥(见图 1)主缆为三跨空间线形, 中跨跨径为 266 m, 边跨跨径为 100 m。从中跨

的跨中对称布置, 桥面纵坡为 2.2%、-2.2%。中跨主缆设计矢跨比为 1/5。中跨 2 根主缆由塔顶鞍座处间距 1.5 m 逐渐过渡到跨中最低点处间距 26.5 m, 边跨 2 根主缆由塔顶鞍座处逐渐过渡到后锚点(后锚点间距 31.2 m)。主梁全宽 28.9 m, 为钢-混组合梁。主塔为独柱式桥塔, 外形酷似人字, 寓意着“天人合一”。边跨设 10 对吊索, 中跨设 31 对吊索, 全桥分为左右幅, 一幅共 51 根吊索, 每根吊索采用双吊杆。近塔柱吊索距离主塔 13 m, 其余吊索间距为 8 m。吊索在顺桥向不倾斜, 垂直于纵桥向, 仅在横桥向发生倾斜, 斜率约 4.21:1。

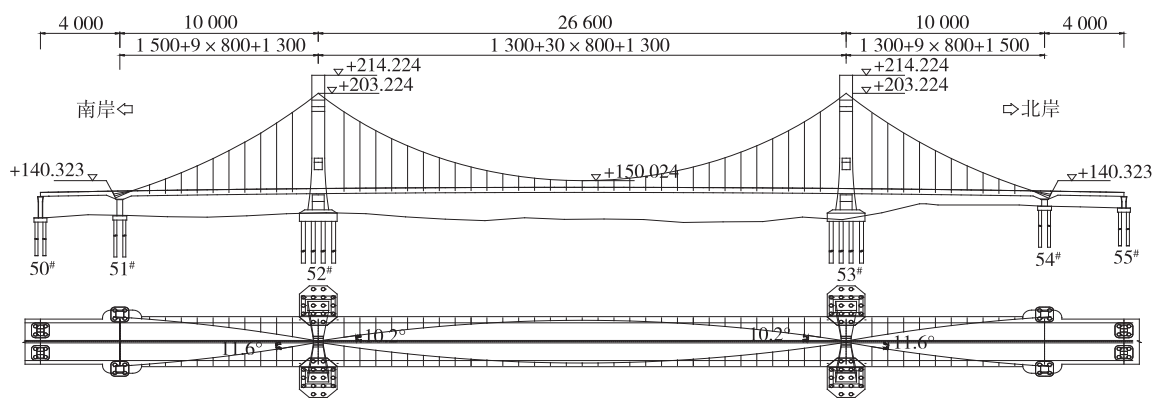


图 1 天河北汉桥桥型总体布置(单位:标高为 m,其他为 cm)

2 体系转换与施工方法

自锚式悬索桥的架设方法不同于地锚式悬索桥, 地锚式是先缆后梁, 自锚式是先梁后缆, 存在体系转换。该桥施工中, 先架设加劲梁, 利用水中临时支墩, 通过顶推形成支承在临时支墩和主塔下横梁上的连续钢梁, 然后按图 2 所示流程施工。其中难

点在于安装吊索的顺序及每根吊索的张拉力, 需确定适合现场条件的最优方案。

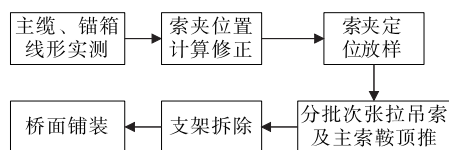


图 2 天河北汉桥体系转换方案

3 吊索张拉方案及控制条件

3.1 吊杆张拉控制条件

制订张拉方案时,需充分考虑现场的硬件设施及桥梁的结构受力特点。考虑到吊索生产时是无应力长度,安装过程中可能遇到索夹和锚箱之间的距离大于吊索长度的情况,考虑对吊索接长。该过程中吊索张拉次数、索鞍顶推次数、接长杆数量、张拉工装数量对施工量、工期及费用都有较大影响,需及时和施工方进行交流。张拉过程中结构内力状态随时都在变化,需时刻关注结构安全系数。总的来说,天河北汉桥张拉控制条件如下:

(1) 工期的控制。尽可能减少张拉次数,能一次张拉到位的吊索尽量一次张拉到位;主索鞍顶推能提前的也尽量提前,因为越往后,主索鞍顶推越不容易,这样也能减少工作量。

(2) 张拉过程中确保主缆和索鞍之间不滑移,并保证顶推装置有足够承载力抵御塔顶的不平衡水平力。

(3) 主塔的受力安全。从施工方便和安全性考虑,砼桥塔塔底应力宜按不出现大于 0.5 MPa 的拉应力且压应力小于 0.5 倍轴心抗压强度来控制。

(4) 主梁的受力安全。该桥主梁为钢—混组合结构,按砼桥面板不出现拉应力控制最合适。

(5) 保证吊索在张拉过程中具有足够的安全系数,不低于 2。主缆安全系数不低于 3。

(6) 考虑到销接式吊索只能最大适应 $\pm 6^\circ$ 的转角,在激活相应吊索的工况下吊索的倾角不能超过 $\pm 6^\circ$,否则不好安装。

3.2 吊索张拉方案

制订吊索张拉方案前,单独对人字形主塔进行受力分力,看主塔塔顶能承受多大的水平位移(在不出现拉应力的情况下),为主索鞍顶推提供参考依据(这种最为安全、保守)。方案模拟试算中发现最难控制的是使吊索倾角、内力及主塔位移达到一个相互妥协的安全范围。只要把吊杆力控制好了,砼桥面板一般不会出现拉应力。根据自锚式悬索桥的力学特性,主缆位移的弱相干性和吊杆力的相邻影响原理,以这种方法为主导方向模拟吊索张拉方案,施工控制会较方便,也能大大缩短工期。

在天河南汉桥体系转换中发现,随着吊索力的逐渐增大,内索夹和外索夹接触处的相互作用力加大,造成外索夹转动困难。而由于吊索力的作用,外

索夹必然向锚箱侧转动,会带动主缆受扭及索夹的耳板和吊索产生折角。为避免出现这种现象,在天河北汉桥体系转换中,中跨采用 3 对临时吊索,分别位于中跨的 1/4、1/2、3/4 处。通过对临时吊索的张拉,将主缆横移致倾斜面,使主缆接近成桥线形,使吊索的横向偏角大大减小,方便吊索的安装和张拉,从而减少主缆受扭程度。临时吊索设置在 M08、M16 附近,便于模型模拟,也方便施工。图 3 为天河北汉桥吊索编号。

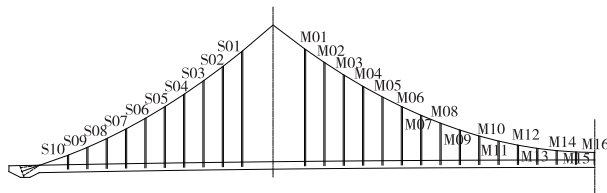


图 3 天河北汉桥吊索编号

张拉过程中让能一次到位的吊索尽量一次到位,这样能减少工人的重复性张拉,节省时间,还能减少张拉工装数量,节省费用。

4 体系转换方案的模拟

4.1 计算模型

采用 MIDAS/Civil 建立有限元模型(见图 4)对天河北汉桥体系转换方案进行正装分析,全桥共采用 441 个单元,其中主塔与主梁采用梁单元、主缆和吊索采用索单元模拟。一期恒载为 324 kN/m,二期铺装重量为 109.6 kN/m,空缆状态下主索鞍向边跨预偏 47.3 cm。

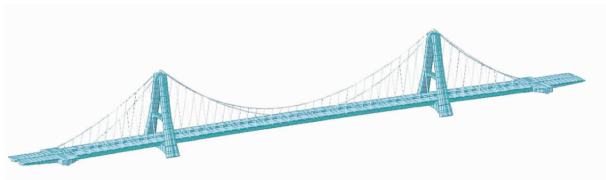


图 4 天河北汉桥有限元模型

4.2 计算结果分析

吊索张拉工况见表 1。所有不能一次张拉到位的吊索,中间过程都用张拉力来控制;能一次张拉到位的吊索和最后一次张拉到位的吊索都用无应力索长来控制。吊索张拉完成后,主索鞍理论上尚有 6.3 cm 才能达到设计位置,需在二期铺装过程中通过实时观测主索鞍位置逐级顶推至设计位置。

计算结果显示,主缆最大内力为 51 971.6 kN,而极限承载力为 163 225.6 kN,安全系数大于 3;吊

表 1 吊索张拉工况

施工步	施工内容	备注	施工步	施工内容	备注
1	张拉 S01、M01 到无应力长度		22	张拉 M10	3 169.5 kN
2	张拉 S02、M02 到无应力长度		23	主索鞍顶推 6 cm	
3	张拉 S03、S04 到无应力长度		24	张拉 M11	2 881.7 kN
4	张拉 S05、S06 到无应力长度		25	张拉 M10 到无应力长度	
5	张拉 M08 临时索	700 kN	26	张拉 M11	3 118.2 kN
6	主索鞍顶推 6 cm		27	张拉 M12	2 821.6 kN
7	张拉 S10、S07 到无应力长度		28	主索鞍顶推 7 cm	
8	张拉 S08、S09 到无应力长度		29	张拉 M11 到无应力长度	
9	张拉 M03、M04 到无应力长度		30	张拉 M12	2 928.9 kN
10	张拉 M16 临时索	698 kN	31	张拉 M13	2 961.6 kN
11	张拉 M05、M06 到无应力长度		32	张拉 M12	2 337.5 kN
12	张拉 M07、M08 到无应力长度		33	张拉 M14	2 774.5 kN
13	主索鞍顶推 5 cm		34	张拉 M13	2 511.9 kN
14	张拉临时索 M16	2 948 kN	35	张拉 M14	2 815.5 kN
15	主索鞍顶推 4 cm		36	张拉 M15	2 887.9 kN
16	张拉 M15	1 544.5 kN	37	主索鞍顶推 4 cm	
17	主索鞍顶推 5 cm		38	张拉 M13 到无应力长度	
18	张拉 M09	2 897.6 kN	39	张拉 M14 到无应力长度	
19	主索鞍顶推 4 cm		40	张拉 M12 到无应力长度	
20	张拉 M10	2 698.8 kN	41	张拉 M15 到无应力长度	
21	张拉 M09 到无应力长度		42	张拉 M16 到无应力长度	

索 M09 出现最大内力,为 3 199 kN,而吊索的破断力为 7 812 kN,安全系数大于 2.3;砵桥面板全截面受压,最大压应力为 10.5 MPa,主梁结构安全;主塔的最大拉应力为 0.5 MPa。说明上述体系转换方案安全、可行。

5 结语

空间自锚式悬索桥体系转换中需考虑的因素很多,其中关键在于吊索的角度和内力控制。引进临时吊索可大大降低张拉限制条件,给施工带来方便。需注意:1) 可转动索夹在定位安装时不拧紧,待索夹装上吊杆并使上力让其转过一个角度后再将其拧紧,以减少主缆的受扭。2) 以吊杆的无应力长度控制为主,力控制为辅。3) 在主索鞍处做好压重措施,不要让主缆在鞍槽内滑动。4) 实时对主塔和主

索鞍的偏位进行观测,严格加以控制。

参考文献:

[1] 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,2010,12(7).
[2] 李盼到,徐艳玲,姜鹏.基于无应力状态法的自锚式悬索桥吊杆张拉方案[J].特种结构,2012,29(3).
[3] 沈洋.江东大桥空间缆自锚式悬索桥体系转换分析研究[J].上海公路,2009(1).
[4] 檀永刚,张哲,严伟飞.自锚式悬索桥施工控制中的力学特性[J].公路交通科技,2006,23(6).
[5] 邱文亮,张哲.自锚式悬索桥施工中吊索张拉方法研究[J].大连理工大学学报,2007,47(4).
[6] JTG D60—2004,公路桥涵设计通用规范[S].

收稿日期:2019—03—25

(上接第 142 页)

[3] JTG D60—2004,公路桥涵设计通用规范[S].
[4] 交通部公路科学研究所.大跨径混凝土桥梁的试验方法[S].
[5] 宋敬杰.斜拉桥检测中的静载试验研究[J].交通世界:

运输.车辆,2013(1).

[6] 宋一凡.公路桥梁荷载试验与结构评定[M].北京:人民交通出版社,2012.

收稿日期:2019—03—22