

文章编号: 1002-0268 (2007) 10-0104-04

澜沧江特大桥主桥悬索桥施工阶段 控制索塔内力的新方法

张发春

(云南省公路规划勘察设计院, 云南 昆明 650011)

摘要: 云南祥临澜沧江特大桥为主跨 380 m 的单跨钢-混组合加劲梁悬索桥, 在加劲梁段的架设阶段, 由于中跨加劲梁段的吊装等因素导致主跨侧主缆的水平分力要大于边跨侧。为了将索塔的塔根弯矩控制在容许范围之内, 该桥不采用传统的预偏索鞍法而是采用了一种新的方法即通过边缆拽塔法来实现调整索塔在施工阶段的内力。并重点阐述了边缆拽塔方法的设计理念、关键技术及施工方法。该技术在国内外尚属首例, 国外也没有成熟的经验可循, 它的成功实践对国内今后同类桥梁的设计施工具有重要的参考意义。

关键词: 桥梁工程; 悬索桥; 边缆拽塔; 施工控制; 索塔; 钢-混组合加劲梁

中图分类号: U448.25

文献标识码: A

A New Method of Controlling Pylon's Stress in Lancang River Main Suspension Bridge

ZHANG Fa-chun

(Yunnan Highway Planning Prospecting and Designing Institute, Yunnan Kunming 650011, China)

Abstract: Yunnan Xianglin Lancang River Bridge is a single span suspension bridge with main span of 380 m and applies steel-concrete composite stiffening girder. During the installation stage of stiffening girder, the horizontal component force of main cable in main span is bigger than in side span. In order to control the bending moment in the lowerest section of the pylon within the allowable limit, the method of pulling pylon with stressing side main cable is applied to adjust the pylon's stress during the construction stage. The design idea, the key technologies and construction of this method is elaborated. The method is first used in China and there is no successive overseas experience. Its practice will present the important reference to the design and construction of similar bridges.

Key words: bridge engineering; suspension bridge; pulling pylon with stressing side main cable; construction control; pylon; steel-concrete composite stiffening girder

0 祥临澜沧江特大桥概况

祥临澜沧江特大桥位于国道 214 线云南省祥云—临沧公路上, 跨越澜沧江, 是连接云南省大理州和临沧地区的重要枢纽, 同时也是祥云—临沧公路的关键性工程。主桥为主跨 380 m 的单跨钢-混组合加劲梁悬索桥, 垂跨比为 1/10.857, 总宽 16 m (包括风嘴)。主塔采用实心断面门式框架结构, 塔基采用直径 5.5 m 的大直径挖孔桩。主缆直径为 390 mm, 包括 52 根索股, 每股由 91 ϕ 5.2 mm 平行钢丝组成。梁上吊索间距 12 m。大桥总体布置见图 1。

本桥结构复杂, 施工难度较大, 有较多的新工艺和新技术: 除了采用开口钢-混组合加劲梁结构以及全新的栓接装配式主索鞍 (已在有关文献中介绍过)^[1,2] 以外; 本文将着重介绍控制加劲梁吊装阶段索塔内力的新方法——边缆拽塔法。

1 施工阶段控制索塔内力的新方法

在悬索桥施工阶段, 随着加劲梁段的架设, 主缆索力逐步增大。由于主索鞍两侧主缆垂角不同及中跨加劲梁段的吊装, 导致主跨侧主缆的水平分力要大于边跨侧, 从而使索塔根部产生顺桥向的弯矩, 塔顶向

收稿日期: 2007-03-21

作者简介: 张发春 (1962-), 男, 山东东明人, 高级工程师, 从事道路与桥梁设计研究。(hsx16@126.com)

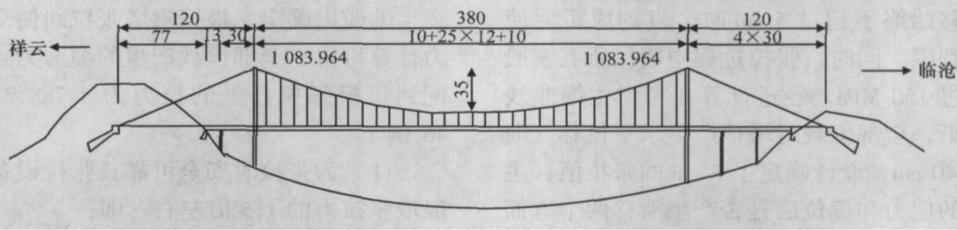


图 1 总体布置图 (单位: m)

Fig 1 General layout (unit: m)

主跨侧偏移。当塔顶两侧水平分力差较大时, 必须采取措施将塔根弯矩控制在容许范围之内。

常规悬索桥施工过程中采用的传统方法是将塔顶的主索鞍设预偏值, 当塔顶水平位移达到一定程度时顶推主索鞍, 以减小塔根弯矩, 然后继续架设加劲梁, 经过分阶段的数次顶推, 最终在所有恒载施工完毕后将主索鞍顶推到设计位置固定。

祥临澜沧江特大桥设计中, 根据本桥跨径不是太大的特点, 采用了完全不同的设计新理念, 提出了采用边缆拽塔来控制索塔内力。其原理是在施工过程中全过程地监测塔顶水平位移及索股应力, 确保塔顶水平位移不超过规定值 (经计算本桥取为 5 m), 到成桥后使塔顶水平位移恢复到零。同时, 确保所有索股的应力差异值不超过 150 MPa。采用边缆拽塔, 是有意识地利用主索鞍的摩擦力, 使主索鞍两侧主缆的水平分力相等, 而主缆索力不相等。该技术在国内外尚属首例, 国外也无成熟经验可循。

本桥采用边缆拽塔法来控制索塔内力, 具有如下优点:

(1) 适合于本桥主跨不很大且采用散索套来发散索股的特点。

(2) 塔顶主索鞍不用预偏, 可以减小塔顶的纵向尺寸。

(3) 简化了主索鞍构造, 不设塔顶顶推等装置。

采用边缆拽塔法控制索塔内力的缺点是: 施工控制较复杂, 加劲梁吊装阶段需要多台千斤顶同时由液压泵站通过多路分流阀供油, 须保证流量、压力而且要满足施工控制精度。目前从国内外的液压泵的技术参数来看, 单泵同时控制多个千斤顶工作会随着控制千斤顶数量增多而控制精度下降, 而且同步性会由于各千斤顶内摩的差异使输出力存在一定的误差, 因此千斤顶及泵站精度与同步性水平要求较高。

2 边缆拽塔法的关键技术

2.1 张拉值的确定

边缆拽塔的具体操作方式如下: 在散索段所有索股均安装应变测试设备, 以便在张拉边跨时基本做到索股应力均衡。空缆施工与常规设计完全相同, 中跨吊杆、加劲梁、桥面系等施工过程中将不断引起塔顶向主跨方向偏移, 要求在所有施工过程中始终有专用设备监测塔顶位移, 采用千斤顶张拉索股连接杆 (锚体预应力锚索布置见图 2), 同时监测塔顶位移, 确

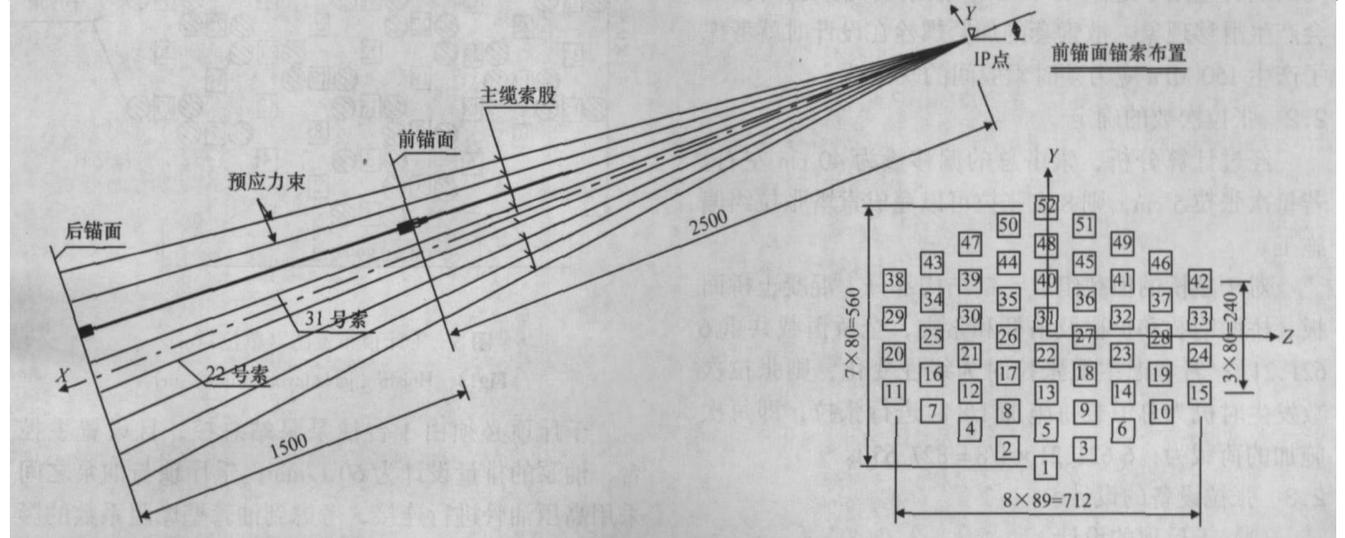


图 2 锚索布置图 (单位: cm)

Fig 2 Anchor cable layout (unit: cm)

保塔顶水平位移始终不超过 5 cm 时,直到成桥后使塔顶位移恢复到零。同时,张拉过程中确保所有索股应力差别不超过 150 MPa。经过计算在考虑主缆非线性影响的条件下,全部恒载对塔顶产生水平位移(向主跨方向)为 40 cm,设计确定了 5 cm 的张拉值,主要从单根索股的应力和偏位后是否产生滑移两个方面考虑。

(1) 张拉达到索股所需的应力值时,若 22 号与 31 号索股张拉 5 cm 长度,则其他索股为达到与 22 号与 31 号索股受力一致,其他索股张拉长度为:

$$\Delta = L_1/L_2 \times 5 \quad (\text{cm}) \quad (1)$$

式中, Δ 为索股张拉长度; L_1 为其他索股全长; L_2 为 22 号与 31 号索股的全长 (L_1 和 L_2 基本全接近于 691 m,最长与最短相差 652.1 mm)。

从公式中可以判断,此时索股的张拉值均可以取为 5 cm。

(2) 在张拉初期,张拉时可采用伸长值控制,监控单位要对张拉中的索股进行应力监控,防止索股间应力差超标。

(3) 对于塔顶水平位移不超过 5 cm,已考虑了在中跨施加恒载的过程中若向中跨方向的水平位移超过 8 cm,此时索股在主鞍处所产生的摩擦力克服不了边跨与主跨的不平衡力,就要产生滑移;选定 5 cm 的限值是从张拉安全性方面考虑的,保留了一定的安全系数,但并不是从保证索塔的安全性方面考虑的,索塔水平位移安全限值超过 20 cm。

150 MPa 应力差基于考虑散索套所夹紧的 52 根索股在张拉过程中,塔顶水平位移不超过 5 cm,索股间的应力差则不超过 150 MPa,散索套处索股间就不会产生滑移现象。散索套的加紧螺栓在设计时就考虑了产生 150 MPa 应力差时索股间的安全性。

2.2 张拉次数的确定

经过计算分析,索塔总的偏移量为 40 cm 左右,若每次张拉 5 cm,则 8 次张拉可以完成索塔张拉纠偏施工。

对于主桥的恒载组成:钢结构部分、混凝土桥面板、桥面铺装和护栏及吊杆和索夹,全桥恒载共重 6 621.21 t;若考虑主缆张拉时为线性变化,则张拉次数发生时为总恒载每施加 1/8 时进行张拉,即每次施加的荷载为: $6\,621.21 \times 1/8 = 827.65 \text{ t}$ 。

2.3 张拉设备的设计

(1) 千斤顶的设计

(a) 张拉设备所需要的张拉力由张拉杆产生的拉力确定,张拉杆的拉力由索股在恒载不断施加过程中

产生的缆力确定。根据索塔张拉纠偏受力分析主缆缆力计算可得,全部恒载产生的缆力为 4 788.2 t,则分配到每根张拉杆上的拉力为 $4\,788.2 \sqrt{52} \text{ 股}/2 \text{ 根} = 46.04 \text{ t}$ 。

(b) 为张拉时安全可靠,张拉设备的张拉能力一般取张拉力的 1.5 倍左右。即:

$$F = 1.5 \frac{N}{1\,000} \quad (2)$$

式中, F 为张拉设备所需要的张拉能力; N 为张拉杆的拉力。

(c) 张拉索股锚环处的张拉杆,考虑设计时的 10% 偏载系数,则千斤顶的张拉力为 $1.5 \times 46.04 \times 1.1 = 760 \text{ kN}$,选取 1 000 kN 千斤顶。

张拉千斤顶受力 1 000 kN 时满足稳定性、刚度及强度条件下设计油压面积为 $A_n = 2.050 \times 10^{-2} \text{ m}^2$,然后再考虑锚杯的支撑面尺寸限制,可满足油压面积的要求。设计参数初步定为 YC1000 型。

(2) 千斤顶的数量

考虑到施工工期和劳动力因素,本桥采用 208 台千斤顶平均分布于 4 个锚碇张拉作业面,每次同步对称张拉 1/2 索股。26 对千斤顶采用米字形布置,即每间隔一个布置一个,即第 1 次张拉单号,第 2 次在张拉双号索股,具体布置如图 3。

(3) 油泵的设计

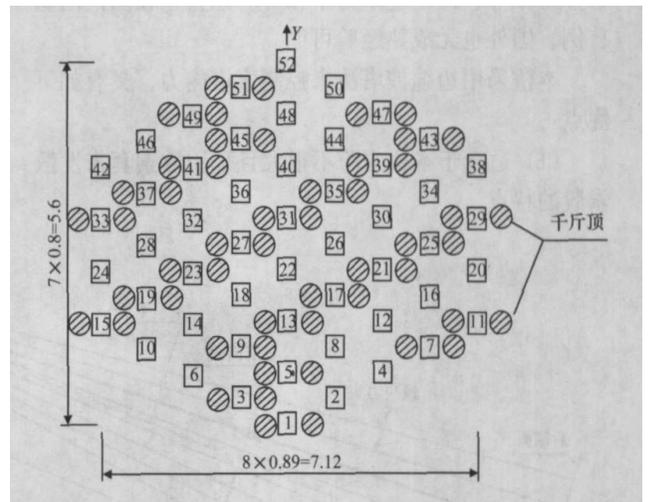


图 3 千斤顶布置图 (单位: m)

Fig 3 Hoisting jack layout (unit: m)

千斤顶必须由 1 台油泵泵站总控,且设置主控台,油泵的排量设计为 60 L/min;千斤顶与油泵之间采用高压油管进行连接,考虑到油管壁摩擦阻系数的影响因素,每根连接油管设计长度一样,不随距离远近而改变。

3 边塔拽塔控制索塔内力过程分析

澜沧江特大桥加劲梁的吊装顺序按照设计要求,并结合现场施工的实际情况确定的,梁段吊装的总体顺序为先跨中、后端部,最后合龙,首先安装 15[#] 梁段,然后从跨中 14[#] 梁段向边跨方向 3[#] 梁段依次吊装,吊装 0[#] 梁段和 1[#] 梁段,将 2[#] 梁段作为合龙段最后安装。预制桥面板的安装和湿接缝的浇注也遵循由跨中向端部的施工顺序。根据这一吊装顺序在施工期间逐步对索塔进行张拉边跨索股纠偏,具体张拉过程及两岸索塔偏位情况见表 1。

表 1 澜沧江特大桥加劲梁吊装阶段索塔张拉情况表

Tab 1 Pulling pylon stressing data of the stiffening girder installation

阶段	内容	祥云岸 88 m 塔 塔顶水平位移/cm	临沧岸 90 m 塔 塔顶水平位移/cm
1	吊装钢梁跨中 15 [#]	4.8	4.83
2	第 1 次张拉锚跨索股	-0.87	-0.87
3	吊装钢梁 14 [#]	4.4	4.42
4	第 2 次张拉锚跨索股	-1.51	-1.51
5	吊装钢梁 13 [#]	1.81	1.82
6	吊装钢梁 12 [#]	4.19	4.2
7	第 3 次张拉锚跨索股	-1.91	-1.91
8	吊装钢梁 11 [#]	-0.13	-0.12
9	吊装钢梁 10 [#]	1.29	1.3
10	吊装钢梁 9 [#]	2.47	2.48
11	吊装钢梁 8 [#]	3.47	3.48
12	吊装钢梁 7 [#]	4.31	4.32
13	吊装钢梁 6 [#]	4.8	4.83
14	第 4 次张拉锚跨索股	-0.35	-0.31
15	吊装钢梁 5 [#]	0.13	0.16
16	吊装钢梁 4 [#]	0.6	0.61
17	吊装钢梁 0-1 [#]	0.79	0.8
18	吊装钢梁 2 [#]	0.84	0.86
19	吊装合龙段 3 [#]	0.91	0.95
20	吊装 15 [#] 梁上板	2.8	2.76
21	吊装 14 [#] 梁上板	4.64	4.54
22	第 5 次张拉锚跨索股	-1.54	-1.42
23	吊装 13 [#] -12 [#] 梁上板	1.81	1.81
24	吊装 11 [#] -10 [#] 梁上板	4.71	4.62
25	第 6 次张拉锚跨索股	-1.45	-1.35
26	吊装 9 [#] -6 [#] 梁上板	0.3	0.3
27	吊装 5 [#] -4 [#] 梁上板	4.86	4.74
28	第 7 次张拉锚跨索股	-1.27	-1.2
29	吊装 3 [#] -0 [#] 梁上板	0.29	0.29
30	预压并二期铺装	3.28	3.19
31	第 8 次张拉锚跨索股及 设计位置	0.23	0.23

从表 1 中可以看出,索塔在加劲梁吊装阶段塔的水平偏心位移始终不超过 5 cm,索塔应力也始终处于安全的范围内。

4 结束语

本桥施工难度大,结构复杂,采用边缆拽塔法来控制加劲梁吊装阶段索塔内力的技术,它的成功实践填补了国内空白,对今后类似桥梁的设计施工将产生积极的影响。云南祥临澜沧江特大桥已于 2005 年 4 月 19 号顺利合龙,2005 年 7 月 1 号建成通车。

参考文献:

- [1] 周泳涛,等. 云南祥临澜沧江大桥钢板加劲梁设计[J]. 世界桥梁,2004(2): 12-15.
- [2] 周洲,等. 云南澜沧江大桥栓接型装配式主鞍概况[C]// 北京建达道桥咨询有限公司桥梁学术论文集. 北京: 建达道桥咨询有限公司,2006.
- [3] 周泳涛,等. 云南祥临澜沧江大桥总体设计[J]. 桥梁建设,2003(5): 42-45.
- [4] 《公路悬索桥设计规范》(报批稿)[S].
- [5] BS5400, 钢桥、混凝土桥及结合桥(英国标准学会)[S].
- [6] 日本本州四国联络公团, 钢床版设计要领同解说[S].
- [7] 美国各州公路和运输工作者协会(AASHTO), 美国公路桥梁设计规范[S].
- [8] 陈仁福. 大跨度悬索桥理论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1994.
- [9] 吕建鸣. 大跨度悬索桥施工控制分析[J]. 公路交通科技, 1994, 11(1): 33-39.
- [10] 严国敏. 现代悬索桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [11] 罗喜恒. 悬索桥主缆线形的鞍座影响[J]. 公路交通科技, 2005, 22(8): 36-39, 48.