

部分斜拉桥施工控制特点

孙测世, 周水兴, 童建胜

(重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074)

摘要:部分斜拉桥受力和普通斜拉桥不完全一样, 因而其施工控制具有自身的特点。以龟韭沟大桥为例, 从结构尺寸和受力特点出发, 结合实际施工控制方法和成果, 从线形控制、应力控制和索力控制3方面, 探讨了部分斜拉桥施工控制的特点, 提出了相应的注意事项及解决方法。

关键词:施工控制; 特点; 部分斜拉桥

中图分类号: U448.27

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2010)02-177-03

Discussions on Characteristics of Construction Control for Extra-dosed Partially Cable-stayed Bridges

SUN Ce-shi, ZHOU Shui-xing, TONG Jian-sheng

(School of Civil Engineering & Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Extra-dosed partially cable-stayed bridges are different from common cable-stayed bridges in stress control so that they have their own characteristics of construction control. Take Guijiugou Bridge as an example, we discussed the characteristics of construction control for extra-dosed partially cable-stayed bridges in terms of three aspects: geometry control, stress control and cable-tension control. We presented some possible problems and also proposed the solutions regarding to structure size and stress characteristics as well as the method for the practical construction control.

Key words: construction control; characteristics; extra-dosed partially cable-stayed bridge

部分斜拉桥是近年来兴起的一种桥型, 自1994年日本建成首座部分斜拉桥以来, 瑞士、菲律宾、老挝、韩国等国也相继修建^[1], 在我国也有较大的发展。目前, 我国已建和在建的部分斜拉桥超过30座, 且越来越受到桥梁工作者的重视。部分斜拉桥受力良好, 在跨度介于梁式桥和普通斜拉桥之间的桥梁和对刚度要求较高的铁路桥梁中有很强的竞争力; 当修建斜拉桥塔高受到限制或多塔刚度较难满足时, 也是很好的选择^[1]; 同时在一些对美观要求较高的市政桥梁中也占有重要地位。目前, 对部分斜拉桥施工控制的研究很多, 孙建渊等^[2]介绍了漳州战备大桥的施工控制基本原理与方法, 王军玺^[3]、张善等^[4]都建立了以主梁线型控制为主, 兼顾斜拉索索力和主梁应力的监控体系, 刘汉顺等^[5]从应力、索力、位移的测试等方面介绍了芜湖长江大桥的施工控制方法, 高飞等^[6]从主墩、主梁、主塔和斜拉索4方面介绍了平顶山市湛河一桥的施工控制。部分斜拉桥受力并不与普通斜拉桥完全相同, 因此, 其施工控制存在着自身的特点, 值得注意。目

前, 对部分斜拉桥施工控制特点的探讨较少且比较零散, 谷定宇^[7]提到了斜拉索索力对主梁线形控制及主梁挠度对斜拉索导管角度的影响特点, 李传习等^[8]提到了索力测量时应考虑短索单位索重修正的特点。笔者以龟韭沟大桥为例, 从部分斜拉桥结构尺寸和受力特点出发, 结合实际施工控制的方法和成果, 详细地探讨了部分斜拉桥施工控制特点。

1 龟韭沟大桥工程概况

龟韭沟大桥位于宁夏石嘴山市白银路延伸段, 是国道110线在大武口区的过境段。主体结构为单塔双索面部分斜拉桥, 塔梁固结, 梁底设支座, 桥跨布置为30 m + 2 × 70 m + 30 m; 桥面宽61 m, 路线中心梁高2.8 m, 斜拉索锚固处梁高2.48 m, 双箱三室截面。大桥位于圆曲线上, 曲率半径 $R = 1\,000$ m。平行双索面斜拉索, 与水平面夹角 25° , 每个索面9对, 从主梁根部向外编号依次为C1 ~ C9。主梁道路中心线基本索距5 m, 内外侧索距以此沿圆曲线径向扩散推算, 外侧5.092 m, 内侧4.912 m。主塔高33.50 m, 塔上索距按角度推算, 每根索均不同, 曲线内外侧塔也不

一样。斜拉索经塔内转向鞍座,对称锚固于梁体底部。整体布置和主梁分段见图 1。

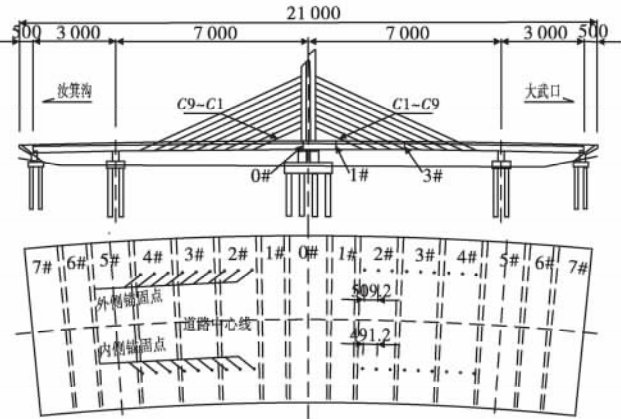


图 1 整体布置与主梁分段图(单位:cm)
Fig.1 Elevation and girder segments

大桥采用支架现浇的施工方法,施工步骤为:浇注主梁各梁段;依次张拉斜拉索 C 1 ~ C 3 ,浇注后浇段 2 ~ 3 #;依次张拉斜拉索 C 4 ~ C 6 ,浇注后浇段 3 ~ 4 #;依次张拉斜拉索 C 7 ~ C 9 ,浇注后浇段 4 ~ 5 #;最后浇注合龙段至成桥竣工。

2 施工控制方法及成果

施工控制原则上以设计索力为基础,根据施工控制测量数据和计算的线形与应力结果,对索力进行合理的调整,以确保施工过程应力不超限及成桥线形和应力合理。

2.1 计算方法与原理

采用 Midas/Civil ,用梁格法建立大桥有限元模型。梁格法分析原理是使梁格节点与实际结构重合的点承受相同挠度和转角时,梁格产生的内力局部静力等效于结构的内力。其实质是将传统的一维杆系计算模型或板推进到二维网格计算模型,将结构的重量和刚度集中到纵向和横向杆件上,用一个二维网格来模拟结构的受力特性。各构件截面特性计算见文献[9]。

2.2 线形控制

一般斜拉桥线形控制主要依靠斜拉索索力和立模标高来实现,但部分斜拉桥主梁刚度大,线形控制应主要依靠立模标高,索力的效果并不明显。监控根据实测标高与理论值的差值,不断地修正计算模型。同时通过立模标高和索力对标高误差进行调整,使标高朝着理想的状况发展,最终使成桥线形满足要求。在曲线内外侧同时布置高程测点,这样即能观测主梁高程也能了解主梁扭转状况。监控得到的合龙状态内外侧主梁各梁段高程见表 1。另外,在索导管安装时注意标高误差对导管角度的影响,并保证定位准确,以避免给斜拉索穿束和张拉带来

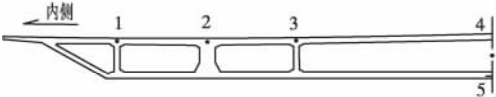
不利影响。

表 1 内外侧高程与理论值比较
Tab.1 Elevation differences /m

梁段	理论值	大武口岸		汝箕沟岸	
		内侧	外侧	内侧	外侧
7 #	1 101.246	1 101.264	1 101.246	1 101.254	1 101.256
	1 101.361	1 101.368	1 101.373	1 101.377	1 101.358
6 #	1 101.471	1 101.476	1 101.496	1 101.475	1 101.481
	1 101.574	1 101.594	1 101.584	1 101.592	1 101.586
5 #	1 101.670	1 101.679	1 101.672	1 101.681	1 101.673
	1 101.852	1 101.869	1 101.854	1 101.855	1 101.865
4 #	1 101.912	1 101.924	1 101.908	1 101.925	1 101.914
	1 102.066	1 102.056	1 102.053	1 102.073	1 102.071
3 #	1 102.134	1 102.154	1 102.163	1 102.156	1 102.154
	1 102.240	1 102.235	1 102.256	1 102.250	1 102.256
2 #	1 102.286	1 102.311	1 102.306	1 102.287	1 102.309
	1 102.340	1 102.349	1 102.326	1 102.335	1 102.344
1 #	1 102.356	1 102.349	1 102.334	1 102.346	1 102.325
	1 102.367	1 102.367	1 102.371	1 102.365	1 102.347
0 #	1 102.373	1 102.376	1 102.377	1 102.375	1 102.372

2.3 应力控制

在大桥主塔和主梁控制截面布置应力观测点,以观察施工过程中应力变化及应力分布情况。同时不断根据实际施工调整计算模型,预告今后施工可能出现的状态并预报下一阶段当前已浇注梁段或即将浇注梁段是否出现不满足强度要求的状态。控制截面选取跨中截面 3 #、内力最大截面 1 #和根部截面 0 # (图 1)。截面测点布置如图 2。



注:图中圆点 1 ~ 4 表示纵向布置;矩形点 5 表示横向布置;曲线外侧对称测点以 x' 表示。

图 2 应力传感器布置

Fig.2 Sensors arrangements

一般实测应力比理论值大,这是由于实测应力包含混凝土收缩徐变引起传感器变形。可以采用文献[10]的方法:在施工现场用混凝土做一个试验块,在试验块中埋应变计,测出不同时间混凝土的收缩量,再对实测值加以修正,但试验块理论厚度和实际结构必然存在一定差异,且实际结构施工过程中的收缩徐变是在受力状况下产生的,这都会带来一定误差。笔者采用的方法为:从计算模型中提取出各施工阶段传感器位置混凝土收缩徐变应变,如图 3 模型中埋植有传感器的单元长为 l ,传感器长为 l' ,提取出收缩徐变工况下单元两端轴向位移 x_i 和 x_j ,则传感器的混凝土收缩徐变应变 $\varepsilon = \frac{|x_i - x_j|}{l} l'$,再对实测应力加以修正。只要计算模型的相关参数正确,该方法应该是可行的。

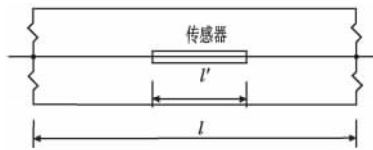


图 3 传感器混凝土收缩徐变应变计算图

Fig.3 Strain of sensors due to concrete shrinkage & creep

理论上刚浇注的混凝土在加载之前应力为 0 , 但由于混凝土浇注过程中传感器可能会有不正常的变形 ,此时实测应力不等于 0 ,之后的实测值可扣除该值以更好的和理论值吻合。由于篇幅原因仅列出 0 # 截面的 6 个测点在各阶段实测应力和理论应力比较图 ,如图 4。

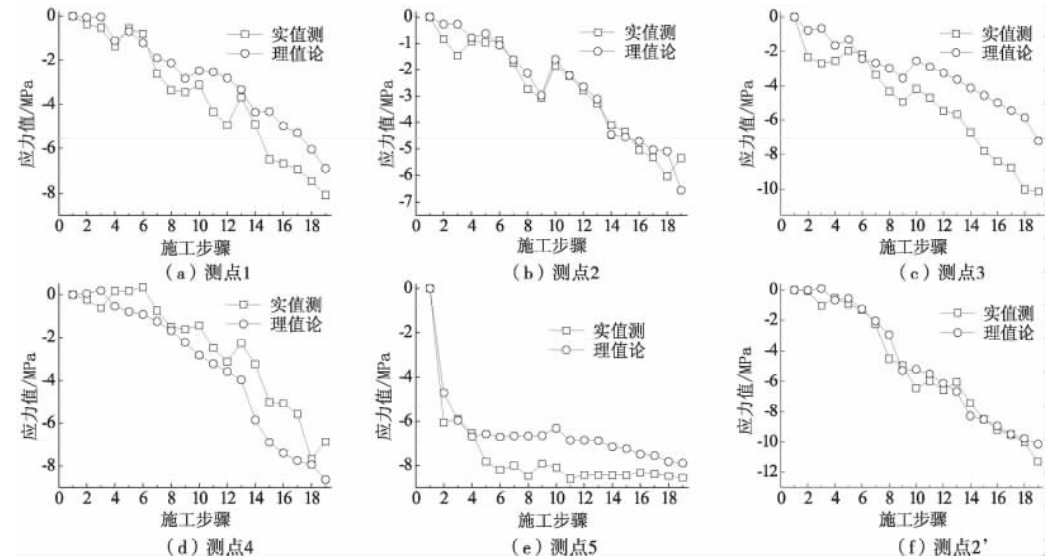


图 4 应力实测值与理论值比较

Fig.4 Comparison of measurement to theoretic value

从图 4 可知:斜拉索锚固腹板位置的测点 2 及 2' 与理论值吻合较好 ,其它测点误差稍大 ,但数据的整体走势较为吻合 ,对于施工控制还是具有指导意义的。误差原因有多方面 ,主要有主梁剪力滞效应、材料特性差异、温度影响等。施工过程中主梁应力不大 ,最大值仅 12 MPa ,这是因为部分斜拉桥主梁较高 ,应力变化不如普通斜拉桥明显。

2.4 索力控制

索力是改善主梁受力的有效手段。各斜拉索张拉力根据实际施工状况确定 ,并保证成桥线形满足要求以及应力合理。本桥斜拉索为一次张拉 ,索力控制难度较大 ,采用等值张拉法张拉并严格控制油

压 ,张拉完成后采用索力动测仪对每根斜拉索索力进行复测 ,保证误差在 3% 以内。监控得到的合龙状态斜拉索索力实测值与理论值比较见表 2。

3 部分斜拉桥施工控制的特点

整体上 ,部分斜拉桥一般跨径较小 ,刚度较大 ,结构非线性不明显 ,故施工控制中一般不需要考虑结构非线性影响。笔者从线形、应力和索力 3 方面具体探讨其施工控制特点。

3.1 线形控制的特点

1) 部分斜拉桥一般为一次张拉或少数张拉 ,主梁刚度大 ,变形小 ,线形控制不能太多的依靠索力 ,而是更多的通过立模标高来控制 ,因此 ,应综合考虑挂蓝变形(或支架沉降等)、结构刚度、温度效应等因素影响 ,准确确定立模标高 ,并保证放样精度。

2) 主梁标高偏差引起斜拉索角度的偏差较大。如图 5 ,设斜拉索主梁锚固点标高偏差 δ ,则有 $\Delta\theta \approx \cos\theta(\delta/l)$,可知:标高偏差 δ 一定时 , θ 和 l 越小 ,角度偏差 $\Delta\theta$ 就越大。部分斜拉桥一般跨度较小 ,拉索角度也较小 ,因此 ,相同的主梁标高偏差引起斜拉索角度偏差也大 ,也意味着斜拉桥与索导管角度偏差较大 ,这不仅影响斜拉索的安装和张拉 ,更影响减震装置的安装和结构的寿命。所以应严格控制标高 ,必要时还可对索导管角度进行偏移。

(下转第 253 页)

表 2 合龙索力实测值与理论值比较

Tab.2 The differences of cable tensions

索号	曲线内侧			曲线外侧		
	理论/kN	实测/kN	差值/%	理论/kN	实测/kN	差值/%
C1	7 136.2	7 455.1	4.47	7 026.0	7 151.3	1.78
C2	6 984.7	6 870.3	-1.64	6 849.3	6 958.6	1.60
C3	6 872.0	6 811.3	-0.88	6 851.1	6 758.9	-1.35
C4	6 864.3	7 091.9	3.32	6 741.5	6 895.1	2.28
C5	6 838.8	7 102.8	3.86	6 728.7	6 966.1	3.53
C6	7 028.2	7 151.3	1.75	6 959.1	6 817.9	-2.03
C7	6 593.5	6 591.8	-0.03	6 578.0	6 530.3	-0.73
C8	6 579.7	6 569.7	-0.15	6 564.5	6 407.7	-2.39
C9	6 727.4	6 826.6	1.47	6 691.0	6 698.4	0.11

5 结 论

1) 笔者提出的合乘优先规划的影响因素与主要内容,涵盖了规划所需的诸多方面,紧密结合了我国大城市及中心区的特点,因此,具有较高的参考价值。

2) 试点案例表明,该合乘优先规划方法是可行的,具有较强的指导性作用。但实际运用中,还需对相关的保障措施进行研究。

参考文献:

- [1] Collura, Dr. John P E. Improving Transportation Mobility, Safety and Efficiency: Guidelines for Planning and Deploying Traffic Signal Priority Strategies [M]. Massachusetts: University of Massachusetts Transportation Center 214, Marston Hall Amherst, 2007.
- [2] McCormick Rankin Corporation. High Occupancy Vehicle Systems Committee-Arterial Applications Sub-Committee Signalized Arterial Road HOV Lane Database [R]. Toronto, Canada: Transportation

Research Board, 2004.

- [3] U.S Department of Transportation. High Occupancy Vehicle Lanes on Arterial Roadways [R]. Toronto, Canada: Ministry of Transportation of Ontario, 1993.
- [4] Transportation Research Board. National Research Council. Transportation NCHRP Report 414 [R]. Washington: U. S. Department of Commerce, 1993.
- [5] Stephen Schijns, Eng P. High Occupancy Vehicle Lanes-Worldwide Lessons for European Practitioners [R]. Mississauga, Canada: McCormick Rankin Corp., 2006.
- [6] American Association of state highway and transportation officials. A Policy on Geometric Design of Highway and Streets 2004 [S]. American Assn of State Hwy, 2004.
- [7] 郭贞元. 城市静态交通管理理论与应用 [M]. 广州: 广州出版社 2000.
- [8] 刘伟, 别牧, 张建旭, 等. 设置公交专用道的流量条件研究 [J]. 重庆交通学院学报 2005 24(6): 131-132.

(上接第 179 页)

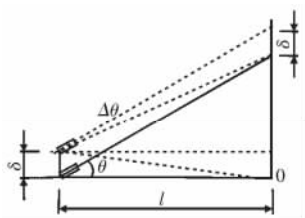


图5 标高偏差影响示意图

Fig.5 Effect of elevation differences

3.2 应力控制的特点

主梁刚度大,应力变化不如普通斜拉桥明显。以图6矩形截面悬臂梁为例。

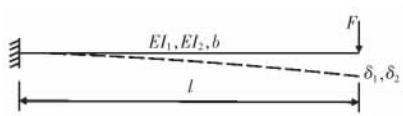


图6 主梁受力比较图

Fig.6 Girder force diagram

两刚度不同悬臂梁均承受力 F 时,主梁应力之比 $\sigma_1/\sigma_2 = W_2/W_1$ 。若主梁宽度相等,则 $\sigma_1/\sigma_2 = h_2^2/h_1^2$ 。部分斜拉桥主梁较普通斜拉桥高,所以对应应力变化不明显。当主梁比普通斜拉桥高 10% 时,上下缘应力小 17.4%。

3.3 索力控制的特点

1) 斜拉索一次张拉或少张拉,索力控制难度较大。实践证明,采用等值张拉法并严格控制油压表读数是能满足精度要求的。

2) 斜拉索较短,索力测试时边界条件对测试结果影响较大;斜拉索在主塔设置转向鞍座,准确确定拉索振动长度较难。利用有限元方法算出一定张拉力下拉索震动的固有频率,再确定震动长度或修正边界条件影响^[11],也可对拉索进行标定。

3) 从部分斜拉桥受力本质来看,部分斜拉桥是介于梁桥和一般斜拉桥的一种体系,斜拉索只是对主梁受力起辅助作用,因而,施工控制应以线形和应力控制为主,索力主要起调整和改善结构受力的作用。

4 结 语

以龟韭沟大桥为例探讨了部分斜拉桥施工控制特点,提出了一些注意事项和解决方法,希望能为了更好的研究和完善部分斜拉桥施工控制方法提供一定参考。

参考文献:

- [1] 高飞. 部分斜拉桥力学性能分析及施工控制研究 [D]. 郑州: 郑州大学 2005.
- [2] 孙建渊, 石雪飞. 漳州战备大桥施工工程控制 [J]. 桥梁建设, 2002(1): 38-40.
- [3] 王军玺, 郝才富, 张自然. 预应力砼部分斜拉桥施工监控技术研究 [J]. 兰州铁道学院学报 2002 21(6): 73-77.
- [4] 张善, 卢明康, 惠新. 单索面预应力混凝土部分斜拉桥施工控制技术及关键施工工艺的研究 [J]. 公路 2004(12): 57-61.
- [5] 刘汉顺, 文武松. 芜湖长江大桥主跨斜拉桥施工监控 [J]. 桥梁建设 2003 19(3): 19-21.
- [6] 高飞, 陈淮, 陈峰. 矮塔斜拉桥的施工控制研究 [J]. 铁道建筑, 2008(4): 1-3.
- [7] 谷定宇. 矮塔斜拉桥施工控制仿真分析 [D]. 郑州: 郑州大学, 2006.
- [8] 李传习, 余支福, 陈富强. 矮塔斜拉桥施工监控 [J]. 公路与汽运 2008(1): 100-102.
- [9] Hambly E C. Bridge Deck Behaviour [M]. (2nd edition). London: Clays Ltd, St Ives plc, 1991: 106-133.
- [10] 林玉森, 张运波, 强士中. 矮塔斜拉桥的施工监控技术研究 [J]. 公路 2005(5): 44-47.
- [11] 苏成, 徐郁峰, 韩大建. 频率法测量索力中的参数分析与索抗弯刚度的识别 [J]. 公路交通科技 2005 22(5): 75-78.