

Research on Key Technology of Tension Optimization and tension Adjustment of suspender of Tied Pole Arch Bridge

Zhongyang Sun Peng Ke Xu Meng

China Merchants Chongqing Highway Engineering Testing Center Co., Ltd., Chongqing, 400067, China

Abstract

Based on the engineering background of a steel box girder tied arch bridge with a main span of 110m across the Chishui River Bridge, and based on drawings, construction organization scheme and construction experience of similar Bridges, this paper optimizes the subdivided tension bridge of the suspender into a single tension bridge. The influence on structural deformation, structural stress and suspender force in each construction stage is within the allowable range. The method of selecting different influence factors to correct the initial initial tension was proposed by simulating the different percentage range of deviation between the derrick force and the designed bridge derrick force to calculate the initial tension of the derrick iteratively, which provides a reliable basis for the tension optimization and tension adjustment of the derrick of the same type of bridge.

Keywords

tied arch bridge; suspender tension optimization; iterative adjustment of boom force; range influence factor

系杆拱桥吊杆张拉优化与张拉力调整关键技术研究

孙中洋 柯鹏 孟旭

招商局重庆公路工程检测中心有限公司, 中国·重庆 400067

摘要

论文以跨越赤水河大桥上的某座主跨110m的钢箱梁系杆拱桥为工程背景, 依据图纸、施工组织方案及类似桥梁的施工经验, 将本桥吊杆力张拉分次张拉成桥优化为一次张拉成桥, 对各施工阶段的结构变形、结构应力及吊杆力影响均在允许范围内, 并提出了通过模拟计算吊杆力与设计成桥吊杆力的不同偏差百分比范围, 来选取不同的影响因子来修正初次初拉力的方法进行迭代计算吊杆初拉力, 为同类型桥梁吊杆张拉优化及张拉力调整提供可靠的依据。

关键词

系杆拱桥; 吊杆张拉优化; 吊杆力迭代调整; 范围影响因子

1 引言

论文以跨越赤水河大桥上的某座主跨 110m 的钢箱梁系杆拱桥为工程背景, 桥梁孔跨布置为 1-20m 预应力钢筋砼箱梁 +1-110m 钢箱梁系杆拱桥。桥梁全长为 145.96m, 桥宽 16.5m; 桥梁平面布置与河道正交, 按直桥设计。主桥拱圈结构采用箱型截面, 主梁为钢箱梁, 以钢箱梁作为系杆使结构形成无推力系杆拱桥, 拱圈吊索下端锚固钢箱梁底板处。

2 研究主要内容

根据系杆拱桥设计图纸及实施性施工组织设计中的施工流程, 结合以往类似桥梁的施工经验, 对本桥的施工顺序进行适当调整优化, 将系杆拱桥吊杆张拉由原来的两次

张拉工艺, 优化为现在的一次张拉工艺, 以节约工期, 减少成本, 提出施工阶段及成桥阶段张拉力调整的有限迭代方法, 保证成桥后吊杆力能满足设计要求^[1]。给出按照调整优化施工顺序后的计算结果, 形成以下成果资料文件: ①吊杆力一次张拉顺序及优化后的一次张拉力; ②提供分次张拉、一次张拉施工阶段各控制参数计算结果; ③成桥后吊杆力测量及张拉力调整迭代方法分析, 并提供关键位置计算成果。

3 结构计算模型及参数选取

全桥结构计算分析采用有限元程序 MIDAS/Civil。根据《桥梁设计图纸》《桥梁实施性施工组织设计》等中的结构布置、结构尺寸及实际制作线形等, 将全桥结构离散成 243 个节点、237 个单元, 其中吊杆采用只受拉单元模拟, 其余均采用梁单元模拟。全桥计算模型见图 1。模型中沿桥纵向为 X 轴, 竖向为 Z 轴, 横桥向为 Y 轴。

【作者简介】孙中洋(1986-), 男, 中国山东济宁人, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁检测及监控研究。



图 1 全桥计算模型

4 施工阶段吊杆张拉优化

本桥的原设计主要施工工序为下部结构的施工及钢栈桥的搭设、一般钢箱梁的吊装、端横梁的吊装、拱肋支架的安装、拱肋节段吊装、拆除拱肋支架、安装并初张拉吊杆、拆除钢栈桥、二次张拉吊杆、桥面附属结构的施工等。结合以往类似桥梁的施工经验,对本桥的施工顺序进行适当调整优化,将系杆拱桥吊杆张拉由原来的两次张拉工艺,优化为现在的一次张拉工艺,以节约工期,减少成本,优化前后的施工工序见表 1。

表 1 优化前后施工工序对比表

序号	优化前工序	优化后工序
1	下部结构及钢栈桥施工	下部结构及钢栈桥施工
2	安装钢箱梁第 1-9 段	安装钢箱梁第 1-9 段
3	安装古蔺岸端横梁	安装古蔺岸端横梁
4	安装茅台岸端横梁	安装茅台岸端横梁
5	安装拱肋支架	安装拱肋支架
6	安装拱肋第 1-6 段	安装拱肋第 1-6 段
7	安装拱肋横系梁	安装拱肋横系梁
8	拆除拱肋支架	拆除拱肋支架
9	安装并初张拉 13#-1# 吊杆	安装并一次张拉 13#-3# 吊杆
10	拆除钢栈桥	安装并张拉 1#-2# 吊杆
11	二次张拉 13#-1# 吊杆	拆除钢栈桥
12	桥面铺装	桥面铺装

表 2 成桥吊杆力计算结果 (单位: kN)

吊杆编号	设计成桥吊杆力	优化前		优化后	
		计算成桥吊杆力	与设计偏差	计算成桥吊杆力	与设计偏差
13#	230.3	232.6	1.00%	231.7	0.61%
12#	228.3	226.3	-0.88%	229.2	0.39%
11#	230.0	228.1	-0.83%	231.4	0.61%
10#	226.9	226.9	0.00%	229.2	1.01%
9#	230.5	232.4	0.82%	232.2	0.74%
8#	230.0	233.7	1.61%	232.0	0.87%
7#	230.4	235.6	2.26%	233.3	1.26%
6#	230.4	236.7	2.73%	233.2	1.22%
5#	228.2	235.4	3.16%	232.2	1.75%
4#	226.4	234.4	3.53%	229.6	1.41%
3#	226.9	234.3	3.26%	229.9	1.32%
2#	226.7	229.1	1.06%	227.6	0.40%
1#	226.8	224.4	-1.06%	229.4	1.15%

4.1 吊杆力计算结果

分别按照优化前(吊杆分两次张拉成桥)、优化后(吊杆一次张拉成桥)施工工序对该桥进行模拟计算分析,计算结果见表 2。从表可以看出,吊杆分次张拉与一次张拉成桥模型计算吊杆力与设计的成桥吊杆力相差均较小,其中吊杆分次张拉最大偏差为 3.53,一次张拉最大偏差为 1.75%。

4.2 成桥阶段关键截面位移

从表 3 可以看出,吊杆分次张拉与一次张拉成桥钢箱梁、拱肋关键截面变形值绝对值相差较小,最大仅为 11.1mm,一次张拉成桥后整体变形值偏小。

4.3 成桥阶段关键截面应力

钢箱梁及拱肋各个施工阶段的关键截面上下缘应力计算结果分别见表 4、表 5,可以看出吊杆分次张拉与一次张拉成桥时主拱肋关键截面应力基本一致,绝对值最大差值为 1.6MPa,钢箱梁跨中位置应力相差较大,绝对最大值为 3.9MPa,钢箱梁与主拱肋关键截面应力吻合性较好,应力绝对偏差小,能满足施工及设计要求。

表 3 成桥阶段关键截面位移 (单位: mm)

关键施工阶段	钢箱梁截面位置			拱肋截面位置		
	端部	1/4 跨	跨中	拱脚	1/4 跨	跨中
分次张拉成桥后	-1.9	-15.1	-29.3	-1.9	-19.6	-32.7
一次张拉成桥后	-1.9	-10.2	-18.2	-1.9	-20.1	-31.4
与分次张拉偏差值	0.0	4.9	11.1	0.0	-0.5	1.3
与分次张拉偏差百分比	0.00%	-32.45%	-37.88%	0.00%	2.55%	-3.98%

表 4 成桥阶段钢箱梁关键截面应力 (单位: MPa, 拉为正)

施工阶段	截面位置					
	钢箱梁端部		钢箱梁 1/4 跨		钢箱梁跨中	
	上缘	下缘	上缘	下缘	上缘	下缘
分批张拉成桥后	4.6	1.0	10.7	12.3	3.8	18.8
一次张拉成桥后	4.6	1.0	10.8	12.3	7.7	15.1
与分批张拉偏差值	0.0	0.0	0.1	0.0	3.9	-3.7
与分批张拉偏差百分比	0.00%	0.00%	0.93%	0.00%	102.63%	-19.68%

表 5 成桥阶段主拱肋关键截面应力 (单位: MPa, 拉为正)

施工阶段	截面位置					
	拱脚 (距拱端 5m)		主拱肋 1/4 跨		主拱肋跨中	
	上缘	下缘	上缘	下缘	上缘	下缘
分批张拉成桥后	-29.2	-49.9	-36.1	-32.3	-36.7	-27.2
一次张拉成桥后	-28.9	-50.2	-37.5	-30.9	-38.3	-25.7
与分批张拉偏差值	0.3	-0.3	-1.4	1.4	-1.6	1.5
与分批张拉偏差百分比	-1.03%	0.60%	3.88%	-4.33%	4.36%	-5.51%

5 吊杆初拉力获取与调整

5.1 吊杆初拉力初值获取

吊杆初拉力初值获取从以下几个步骤获得:

①按照优化后的吊杆一次张拉成桥施工逆顺序, 建立桥梁倒拆模型, 获得第一组吊杆初拉力;

②建立优化后施工顺序的正装模型, 代入第一组吊杆初拉力进行模拟计算分析;

③得到第一组成桥吊杆力, 计算与设计成桥吊杆力偏差, 通过不同的偏差百分比来定义影响系数, 修正第一组吊杆初拉力, 重新进入优化后施工顺序的正装模型, 直至模型成桥计算吊杆力与设计偏差满足要求^[2]。

5.2 吊杆初拉力迭代调整

为方便吊杆初拉力的调整及计算, 引入偏差范围影响因子的概念, 即通过模拟计算吊杆力与设计成桥吊杆力的不同偏差百分比范围, 来选取不同的影响因子来修正本次初拉力, 获得下一次的吊杆张拉力代入正装模型计算, 直至计算吊杆力与设计偏差满足要求, 此时的吊杆力即为调整后吊杆一次初拉力, 同时复核计算桥梁结构的各施工阶段的变形及应力状态^[3]。

计算公式如下:

$$F_{i+1}=F_i - P_s \times \delta \times k$$

其中, P_m 为模型计算成桥吊杆力; P_s 为设计成桥吊杆力; F_i 为本次计算采用吊杆初拉力; F_{i+1} 为下次计算采用吊

杆初拉力; δ 为偏差范围, $\left| \frac{P_m - P_s}{P_s} \right|$; k 为偏差范围影响因子, 参见表 6。

表 6 偏差范围与影响因子对照表

序号	偏差范围 (δ)	偏差范围影响因子 (k)
1	[0, 2%]	1/10
2	(2%, 5%]	1/8
3	(5%, 8%]	1/6
4	(8%, 10%]	1/4
5	> 10%	1/2

6 成桥吊杆力量测与优化调整

6.1 成桥吊杆力量的量测

目前索力测试方法主要有油压表读数法、压力传感器直接测定法、磁通量法、自振频率法等方法。自振频率法因其费用低, 操作简便, 可对张拉后拉索进行反复校核测量, 因而在工程实践中具有较强的优势^[4]。本桥采用自振频率法与油压表读数法相结合的方式, 对本桥吊杆力进行测试。方法如下:

①频率法计算吊杆力的边界条件的选择, 短吊索 (8#-13# 吊杆) 采用两端均为固结边界, 其余吊杆 (1#-7# 吊杆) 采用两端铰接边界, 均不考虑吊杆抗弯刚度;

②施工阶段千斤顶张拉吊杆过程中, 同步进行吊杆力

的频率法测量,以千斤顶油压读数为准,完成频率法测量中吊杆有效计算长度的修正,其中吊杆线密度参照设计值、频率采用实测值;

③采用修正后的吊杆有效长度完成后续施工阶段吊杆力的监测;

④针对部分有安装外置式阻尼器要求的吊杆,应注意阻尼器安装前后的吊杆有效计算长度的修正。

6.2 成桥吊杆力的优化调整

成桥后由于施工偏差、环境温度等因素的影响,会导致实际成桥后吊杆力与设计成桥吊杆力、模型计算吊杆力有较大的偏差,需要进一步对全桥的吊杆力进行调整。这里同样采用有限迭代的方式继续调整,可以参照初拉力获取的方式进行。本桥吊杆力调整,参数选取的是梁单元温度变化的方式来实现,在有限元模型中模拟调索顺序及每个需调整吊杆的温度变化量,最后换算成吊杆的长度变化量,提供给施工单位,以方便现场的吊杆的张拉控制^[5]。

7 结语

①按照分次吊杆力张拉计算结果与吊杆一次张拉计算

结的对比,各施工阶段的结构变形和结构应力及吊杆力差异均在正常范围内,成桥后的结构应力、变形及吊杆力也与设计值接近。为便于施工,并缩短工期,同类型跨径及以下跨径系杆拱桥吊杆张拉可采用一次张拉进行施工。

②同类型系杆拱桥吊杆力初拉力获取、成桥吊杆力调整,可以引入偏差范围影响因子进行有限迭代调整,对于吊杆数量少及主梁刚度大的系杆拱桥效果较好。

参考文献

- [1] 高婧,陈龙云.基于影响矩阵法的多跨系杆拱桥吊杆张拉力计算与优化[J].公路,2022,67(9).
- [2] 孙恒飞,王瞳.基于频率法的吊杆索力测试及影响因素研究[J].内蒙古公路与运输,2022(3):5-8.
- [3] 张孟浩.系杆拱桥施工中吊杆索力测试及调试问题的分析研究[D].兰州:兰州交通大学,2019.
- [4] 蔡卡宏,孙卓.钢管混凝土系杆拱桥吊杆索力测试方法与数据分析[J].广东建材,2014(7):27-29.
- [5] 乔壮壮.连续梁拱组合桥吊杆力优化及偏差影响分析[D].石家庄:石家庄铁道大学,2022.