

# 系杆拱桥吊杆更换、调索张拉及效果分析

陈玉根 于 高

江苏乾程信息技术有限公司 江苏 无锡 214000

**【摘要】**：本文以某吊杆拱（钢结构）（1×44.8）m 为工程背景，结合本桥现阶段存在的严重病害导致承载能力不足的情况，主要提出了吊杆更换、全桥调索的维修加固方案。建立有限元仿真计算模型对吊杆更换进行理论计算分析，同时，施工过程中进行施工监控。监控结果表明：本桥维修加固效果显著，能为类似桥梁维修加固提供相关参考。

**【关键词】**：吊杆拱（钢结构）；吊杆更换；有限元仿真计算模型；施工监控

DOI:10.12417/2811-0528.26.11.037

## 引言

桥梁结构是交通运输系统的重要组成部分，其状态直接影响交通安全与畅通。随着使用年限的推移，以及受各种环境因素的影响，桥梁结构会出现不同程度的病害，进而影响桥梁结构使用性能。因此，需要及时对桥梁结构进行养护、加固维修等工作，以确保桥梁结构的安全性、耐久性。<sup>[1]</sup>

## 1 工程概况

本桥全长 50.0m，为人行景观桥。全桥共计 1 跨，桥跨布置为：1×44.8m；桥梁全宽 4.2m，桥面横向布置为：0.2m（护栏）+3.8m（人行道）+0.20m（护栏）。上部结构采用吊杆拱（钢结构），全桥共 46 根吊杆，下部结构采用重力式桥台、桩孔灌注桩基础，桥面铺装采用木质桥面铺装层。桥梁实景照如图 1-1 所示。

根据《城市桥梁养护技术标准》（CJJ 99-2017）第 3.0.3 条规定，确定本桥养护类别为 I 类养护城市桥梁，养护等级为 I 等。桥梁设计荷载取值：①桥面永久荷载：0.7kN/m<sup>2</sup>；②桥面可变荷载：4.5kN/m<sup>2</sup>；③基本风压：0.45kN/m<sup>2</sup>；④温度作用：±25℃。



(a) 正面照

(b) 桥梁侧面照

图 1-1 桥梁正侧面照

## 2 吊杆更换设计

### 2.1 吊杆更换设计思路

吊杆安全更换后，最终应确保本桥在设计荷载作用下，满

足规范对于正常使用极限状态和承载能力极限状态的相关要求。本桥吊杆采用柔性吊杆，现有成桥状态下的各吊杆内力可以通过吊杆索力测量方法获得；同时，根据桥梁设计图纸进行桥梁成桥过程分析，可得到理想状态下的结构内力和吊杆内力情况；成桥状态下实测吊杆内力与理论吊杆内力的差异会导致结构实际受力状态与理论设计状态间的偏差。吊杆更换施工前，有必要确定实际成桥结构在设计荷载作用下能否满足规范对于正常使用极限状态和承载能力极限状态的相关要求，从而确定具体的吊杆更换目标内力。

### 2.2 吊杆更换设计的理论计算分析

#### 2.2.1 原设计下的理论计算

(1) 基于原设计、实际施工过程的成桥内力计算

主要是在调查原设计资料、实际施工过程基础上的进行有限元仿真分析，以确定成桥状态下的结构、吊杆内力等。

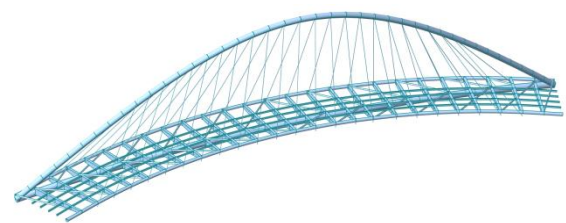


图 2-1 桥梁有限元模型图

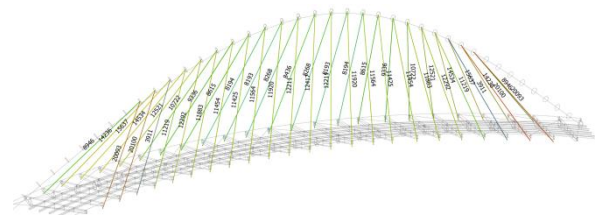


图 2-2 成桥吊杆内力图（单位：N）

(2) 相应的规范验算

在前一步理论计算基础上,进一步计算桥梁结构在设计荷载作用下的结构内力、变形等,并根据设计规范进行相关项目的验算,以便确定是否有必要进行一定程度的吊杆内力优化调整。

### 2.2.2 吊杆更换目标内力确定

根据本桥检测报告提供的吊杆实测频率、并根据现场踏勘情况,计算出成桥恒载状态下的实测吊杆内力;另根据有限元模型计算出成桥状态各吊杆内力。

### 2.2.3 新吊杆设计计算

根据现场踏勘情况,本桥 R16、R17、L5、L11、L17 共计 5 根吊杆下锚头完全失效,故对上述 5 根吊杆进行更换。

新吊杆的设计计算主要包括吊杆在设计荷载作用下的应力计算、吊杆破断力计算等,主要保证新吊杆能满足使用要求,且有足够的安全系数。

## 3 吊杆更换、全桥调索张拉施工顺序

根据有限元仿真计算分析并结合现场实际情况,确定如下更换顺序:

- 步骤 1: 拆除 L11 旧吊杆;
- 步骤 2: 安装 L11 新吊杆,并张拉至 10000N;
- 步骤 3: 拆除 L5 旧吊杆;
- 步骤 4: 安装 L5 新吊杆,并张拉至 15000N;
- 步骤 5: 拆除 L17 旧吊杆;
- 步骤 6: 安装 L17 新吊杆,并张拉至 15000N;
- 步骤 7: 拆除 R16 旧吊杆;
- 步骤 8: 安装 R16 新吊杆,并张拉至 15000N;
- 步骤 9: 拆除 R17 旧吊杆;
- 步骤 10: 安装 R17 新吊杆,并张拉至 15000N;
- 步骤 11: 全桥调索张拉。

(注:吊杆编号纵桥向由南向北、横桥向由西向东,表中 RX 表示东侧第 X 根吊杆、LX 表示西侧第 X 根吊杆。)

## 4 吊杆更换、全桥调索张拉施工监控

### 4.1 监控内容

- (1) 全桥索力测试;
- (2) 桥面线形测量。

## 4.2 监控结果

### 4.2.1 索力

本桥吊杆采用 PES5-19 型号吊杆,本次索力测试以维修时的目标索力作为对比,测试结果见表 4-1。

表 4-1 索力检测结果汇总表

吊杆编号	线密度 (kg/m)	测试主频 (Hz)	计算索长 $l$ (m)	实测索力值 (N)	目标索力值 (N)	实测与目标索力相对差值 (%)
L-1#	2.93	5.953	7.875	25396	24500	3.66%
L-2#	2.93	3.703	9.318	13696	14000	-2.17%
L-3#	2.93	4.875	9.344	24061	23000	4.61%
L-4#	2.93	4.578	9.232	20673	20000	3.36%
L-5#	2.93	3.938	10.161	18541	19000	-2.41%
L-6#	2.93	3.938	9.308	15483	15000	3.22%
L-7#	2.93	3.594	10.153	15385	15000	2.56%
L-8#	2.93	3.172	11.175	14544	15000	-3.04%
L-9#	2.93	3.141	10.454	12428	12000	3.57%
L-10#	2.93	2.469	11.672	9567	10000	-4.33%
L-11#	2.93	2.563	11.813	10579	11000	-3.83%
L-12#	2.93	3.469	11.862	19684	20000	-1.58%
L-13#	2.93	2.797	11.213	11349	11000	3.17%
L-14#	2.93	2.625	11.422	10365	10000	3.65%
L-15#	2.93	2.844	11.454	12264	12000	2.20%
L-16#	2.93	3.281	11.175	15577	15000	3.85%
L-17#	2.93	3.281	10.853	14672	15000	-2.19%
L-18#	2.93	3.438	10.508	15088	15000	0.59%
L-19#	2.93	4.031	10.161	19445	19000	2.34%
L-20#	2.93	4.625	9.832	24002	24000	0.01%
L-21#	2.93	4.344	9.544	19896	20000	-0.52%
L-22#	2.93	4.313	8.218	14388	14000	2.77%
L-23#	2.93	4.922	9.175	23633	24500	-3.54%
R-1#	2.93	4.500	7.316	12282	12000	2.35%
R-2#	2.93	5.422	8.252	23133	24000	-3.61%
R-3#	2.93	5.000	8.304	19880	21000	-5.33%

R-4#	2.93	5.469	8.344	24082	23500	2.48%
R-5#	2.93	3.188	8.651	8611	8500	1.31%
R-6#	2.93	4.828	8.900	21358	20500	4.19%
R-7#	2.93	4.313	9.169	18058	17500	3.19%
R-8#	2.93	3.688	9.433	13930	14000	-0.50%
R-9#	2.93	3.547	8.871	11319	11000	2.90%
R-10#	2.93	3.703	9.262	13525	13000	4.04%
R-11#	2.93	2.766	9.986	8715	9000	-3.17%
R-12#	2.93	3.203	10.030	11875	12000	-1.04%
R-13#	2.93	3.625	7.786	8967	9000	-0.36%
R-14#	2.93	3.328	9.862	12394	13000	-4.66%
R-15#	2.93	3.141	9.671	10573	11000	-3.88%
R-16#	2.93	4.219	8.433	14520	14000	3.72%
R-17#	2.93	4.250	9.169	17530	17500	0.17%
R-18#	2.93	4.656	8.900	19845	20500	-3.20%
R-19#	2.93	3.734	7.401	8542	8500	0.49%
R-20#	2.93	5.219	8.444	22445	23500	-4.49%
R-21#	2.93	5.281	8.204	21669	21000	3.19%
R-22#	2.93	5.734	8.102	24958	24000	3.99%
R-23#	2.93	3.844	8.306	11620	12000	-3.17%

备注: 实测与目标索力相对差值=(实测索力值-目标索力)/目标索力。

由上表可知, 本桥实测索力与 2024 年 1 月份维修中采用的目标索力对比, 变化范围在-5.33%~4.61%之间, 满足《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》(JTG F80/1-2017) 的要求。

#### 4.2.2 桥面线形

桥面线形测点布置: 横向沿人行道左侧、中线、右侧共设三条测线, 纵向在墩台顶及拉索位置布置测点, 每条测线分别设 25 个测点, 全桥共计 75 个测点。桥面线形测试结果见表 4-2 所示。

表 4-2 桥面线形测量结果表

测试断面	左侧高程 (m)	中线高程 (m)	右侧高程 (m)	左侧横坡	右侧横坡
0#台处	0.026	0.012	0.000	0.64%	0.63%

1#拉索断面处	0.253	0.237	0.222	0.73%	0.79%
2#拉索断面处	0.469	0.434	0.419	1.59%	0.79%
3#拉索断面处	0.635	0.605	0.586	1.36%	1.00%
4#拉索断面处	0.777	0.753	0.731	1.09%	1.16%
5#拉索断面处	0.928	0.887	0.862	1.86%	1.32%
6#拉索断面处	1.049	1.006	0.972	1.95%	1.79%
7#拉索断面处	1.171	1.132	1.096	1.77%	1.89%
8#拉索断面处	1.241	1.196	1.169	2.05%	1.42%
9#拉索断面处	1.300	1.257	1.227	1.95%	1.58%
10#拉索断面处	1.339	1.296	1.264	1.95%	1.68%
11#拉索断面处	1.363	1.314	1.281	2.23%	1.74%
12#拉索断面处	1.353	1.304	1.285	2.23%	1.00%
13#拉索断面处	1.332	1.301	1.280	1.41%	1.11%
14#拉索断面处	1.315	1.271	1.246	2.00%	1.32%
15#拉索断面处	1.271	1.224	1.204	2.14%	1.05%
16#拉索断面处	1.216	1.166	1.138	2.27%	1.47%
17#拉索断面处	1.128	1.085	1.061	1.95%	1.26%
18#拉索断面处	1.023	0.990	0.971	1.50%	1.00%
19#拉索断面处	0.931	0.890	0.867	1.86%	1.21%

20#拉索断面处	0.800	0.762	0.742	1.73%	1.05%
21#拉索断面处	0.632	0.616	0.602	0.73%	0.74%
22#拉索断面处	0.457	0.442	0.435	0.68%	0.37%
23#拉索断面处	0.260	0.238	0.230	1.00%	0.42%
1#台处	0.049	0.043	0.038	0.27%	0.26%
注：1、表中高程系统为假设高程系统。					
2、表中各点高程均以米为单位。					

桥面线形测量结果表明，桥面实测线形整体较为平顺，最高点与最低点高差为 1.363m，与原设计图纸设计值 1.500m 相比有所下挠。该桥左侧实测横坡为 0.27%~2.27%；右侧实测横坡为 0.26%~1.89%。

## 5 结语

本项目涉及到的技术主要包括吊杆/斜拉索的检、养、修一体化等方面的先进技术，具有较高的科研价值和实际应用前景。项目成果将在吊杆/斜拉索更换方面具有较强的创新性和推广价值，有望为吊杆/斜拉索的检、养、修一体化的发展和普及做出积极贡献。

## 参考文献：

- [1] 蒋国富等.城市大跨下承式单承载面系杆拱桥吊杆更换施工监控技术[J].城市道桥与防洪,2025.
- [2] 丘北刘等.系杆拱桥吊杆更换的索力转移规律与施工控制研究[J].广州建筑,2025.
- [3] 交通运输部.公路桥梁加固设计规范:JTG/T J22-2008[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2008.
- [4] 中国工程建设标准化协会.拱桥吊杆更换技术规程:T/CECS 1546-2024[S].北京,2024.
- [5] 交通运输部.公路桥梁加固施工技术规范: JTG/T J23-2023[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2023.