

# 基于Midas下承式系杆拱桥吊杆索力控制分析

程利婷 曾德森

浙江致欣检测技术有限公司 浙江 嘉兴 314000

**摘要：**系杆拱桥在施工过程中最重要的施工工序就是吊杆张拉力及吊杆张拉顺序的确定，合理的吊杆张拉顺序不仅能保证全桥结构的受力安全，又能防止拱肋、系梁等变形过大。本文通过对某座下承式钢管混凝土系杆拱桥通过midas有限元优化模拟分析计算得到合理的吊杆张拉顺序，通过施工监控进行理论与实测数据的对比分析，验证了吊杆张拉顺序的合理性，实际监控中桥梁结构变形及应力均能满足设计要求，可为同类桥梁施工提供参考。

**关键词：**系杆拱桥；吊杆张拉顺序；变形；应力

## 前言

系杆拱桥属于外部静定，内部超静定结构，本文系杆拱桥施工方法采用先梁后拱，在施工过程中影响桥梁线形和结构受力的因素很多，其中张拉吊杆阶段属于结构体系转换阶段，直接关系到拱肋和系梁的线形和应力，在施工过程中采用合理的吊杆张拉顺序以及尽可能精确的测量吊杆的内力，是整个施工控制中的重点，本次监控的主要内容有利用有限元模拟计算得到合理的吊杆索力张拉顺序进行指导施工，监测实测吊杆索力、拱肋及系梁的应力和变形数据，保证拱肋、系杆等主要部件的标高、应力、索力在合理的控制范围内，满足设计要求。

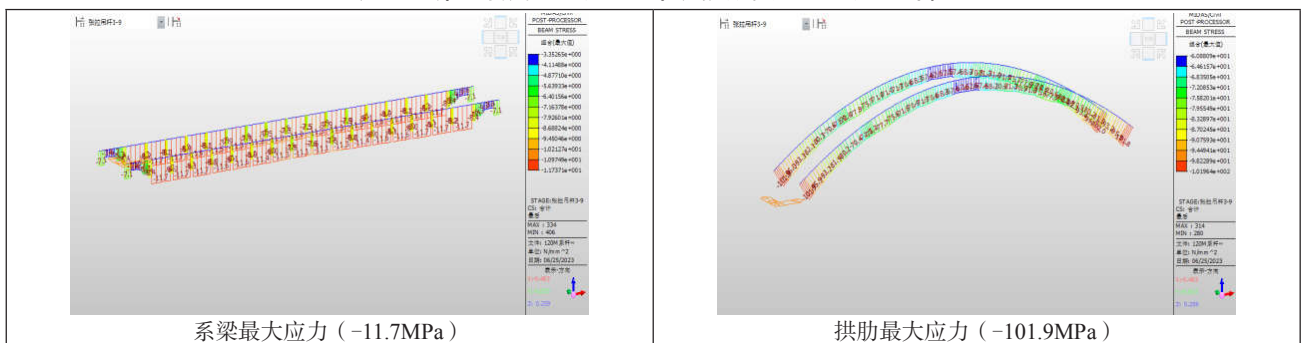
## 1 工程概况

某拱桥采用120m预应力钢管砼系杆拱结构，计算跨径 $L = 119.8\text{m}$ ，拱轴线为二次抛物线，矢跨比为1/5。横桥向共设置2片拱肋，拱肋采用哑铃型钢管混凝土截面，钢管内充C40微膨胀砼；系梁为预应力砼结构，采用矩形截面，系梁内设置预应力束，横梁为预应力砼结构，共17片，对应17对吊杆（34根），吊杆间距640cm，吊杆采用GJ15-19型钢绞线整束挤压式吊杆体系；钢绞线性能为：19ΦS15.2预应力钢绞线。拱肋钢管及缀板内预

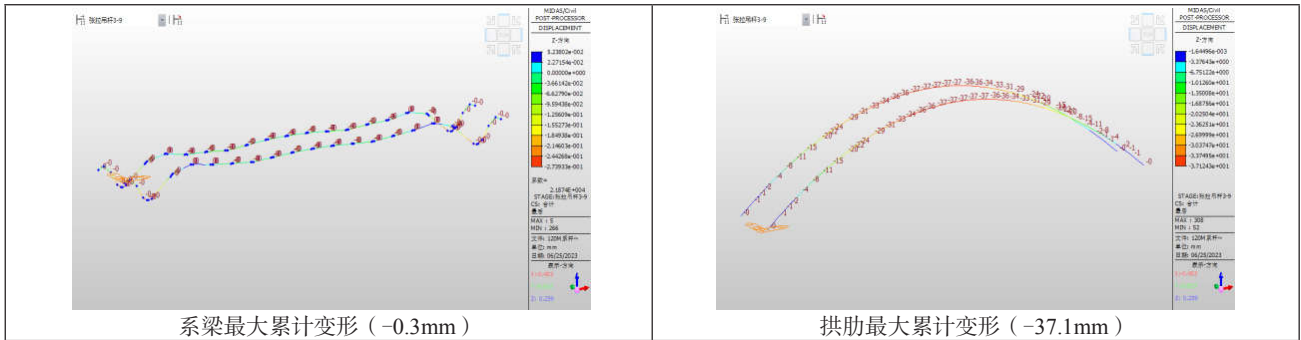
埋Φ245×20mm钢管，露出拱肋下弦管底部0.1m；横梁段预埋Φ245×10mm钢管，下端变径钢管将高出保护板顶面0.2m。系梁、端横梁与拱脚现场浇筑，中横梁分段预制拼装。端横梁采用单箱单室截面，中横梁采用T形截面，拱脚为钢筋混凝土结构。桥面横向布置：0.5m（防撞护栏）+11.0m（机动车道）+0.5m（防撞护栏），桥面铺装采用10cm厚沥青混凝土+10cm厚C50；汽车荷载等级：公路-I级。

本桥的施工工序为采用先梁后拱，搭设系梁、横梁支架，现浇拱脚、系梁和端横梁、拼装中横梁及进行系梁横梁张拉施工，搭设拱肋支架，分段吊装预制拱肋钢管、安装风撑，灌注拱内混凝土，安装吊杆进行吊杆的第一次张拉，张拉力为每根400kN；张拉以跨中为对称，2根对应吊杆同时进行；安装预制桥面板，进行系梁横梁二次张拉、吊杆的第二次张拉，每根吊杆的张拉力为700kN；二期铺装施工及吊杆的第三次张拉；最后拆系梁支架成桥。本文以第三次吊杆张拉为例模拟2种吊杆张拉顺序对拱肋、系梁的影响：①从拱顶到拱脚依次四根对称张拉；②5、13→3、15→7、11→4、14→2、16→6、12→1、17→8、10→9。不同张拉顺序下系梁、拱肋变形及应力结果见下表所示：

表1-1 第1种张拉顺序下系梁、拱肋变形及应力累计值

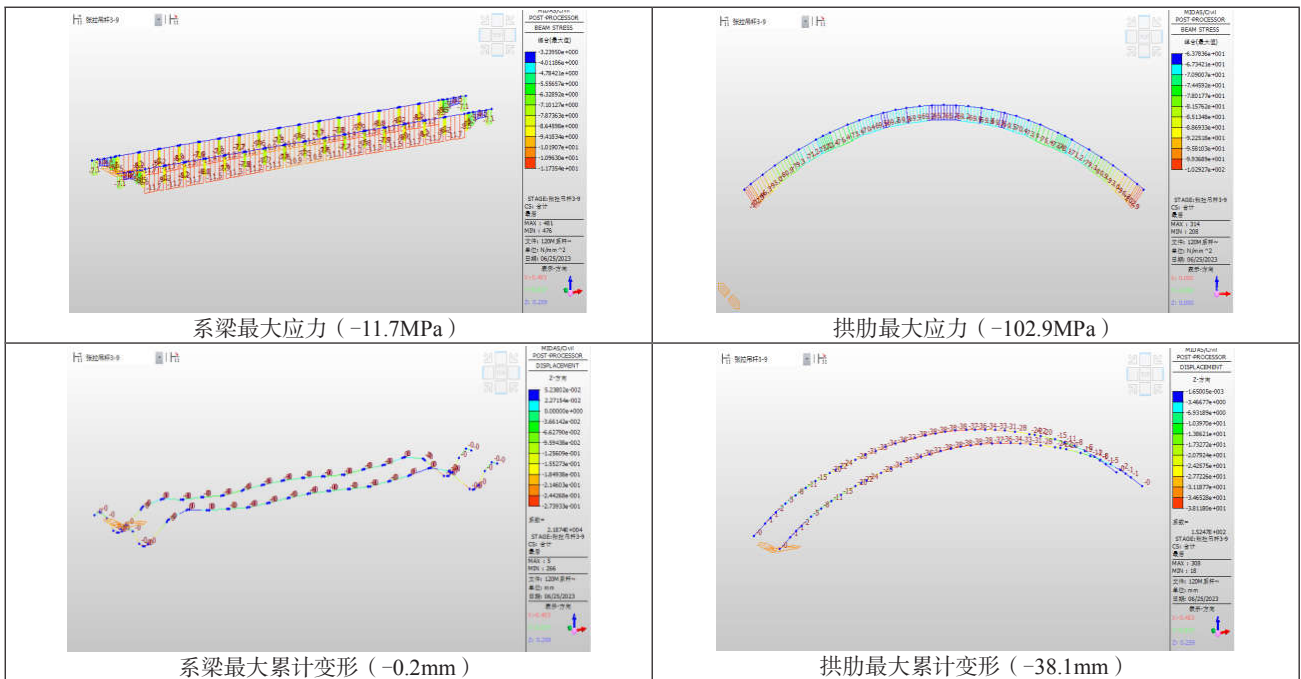


续表:



从图中可知：吊杆从拱顶到拱脚依次左右侧四根对称张拉完成后，系梁最大应力11.7MPa（受压），拱肋最大应力101.9MPa（受压）；系梁最大累计变形-0.3mm，拱肋最大累计变形-37.1mm。

表1-2 第2种张拉顺序下拱肋变形及应力累计值



从图中可知：基于张拉顺序2左右侧四根对称张拉完成后，系梁最大应力11.7MPa（受压），拱肋最大应力102.9MPa（受压）；系梁最大累计变形-0.2mm，拱肋最大累计变形-38.1mm。

因吊杆第三次张拉阶段，系梁支架还未拆除，吊杆张拉顺序的影响对系梁可以忽略不计，两种张拉顺序对拱肋受力及变形的影响程度相对系梁较大，但总体上可以满足施工精度要求，另一方面，从张拉施工过程的安全性、方便性考虑，本次吊杆张拉顺序选择从拱顶到拱脚左右侧四根依次对称张拉的施工方式。

2 基于从拱顶到拱脚张拉顺序下监测结果

2.1 索力监测结果

吊杆在张拉过程中最重要控制要点是左右侧对称吊杆张拉力的准确度及同步性<sup>[1]</sup>，吊杆索力张拉施工采用油压表进行，监测采用振动频率法。通过附着在吊杆上的高灵敏传感器拾取吊杆的振动信号，得到吊杆的自振频率，根据吊杆自振频率与索力的关系确定索力<sup>[2]</sup>。吊杆第三次张拉完成后，吊杆实测索力值与理论索力值对比分析，如图2-1所示。

从图2-1可知，吊杆第三次张拉阶段，吊杆索力实测值与设计值基本相符，误差控制在5%以内，能够满足施工监控的允许误差要求，索力分布比较均匀，同时也说明合理的张拉顺序对吊杆张拉完成后体力索力大小是有影响的<sup>[3]</sup>。

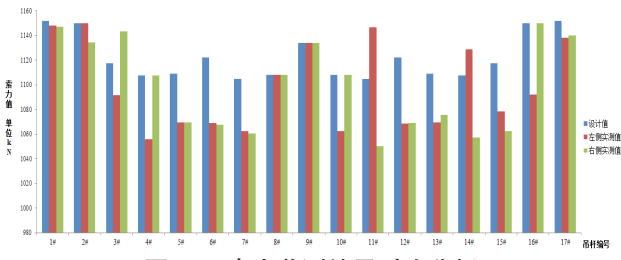


图2-1 索力监测结果对比分析

### 2.2 应力监测结果

吊杆张拉完成后，对拱肋及系梁进行控制截面应力监测，系梁及拱肋纵断面监测点布置在拱脚、L/4截面、L/2截面和3L/4截面，横断面布置在控制截面上下缘位置<sup>[4]</sup>。

由于结构对称，仅列出0#拱脚截面、L/4截面和拱顶截面进行描述，拱肋、系梁上、下缘应力实测值与理论值如图2-2所示。

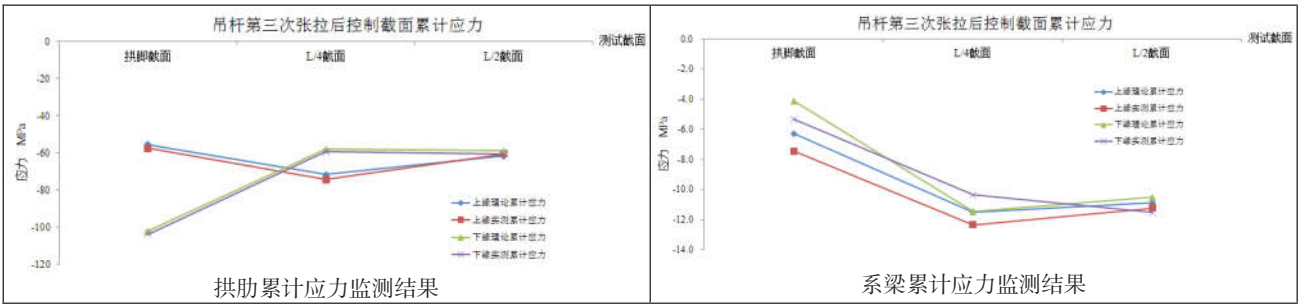


图2-2 吊杆第三次张拉后累计应力监测结果对比分析

从图中可知，吊杆第三次张拉阶段拱肋、系梁上、下缘应力实测值与理论值变化趋势基本一致，均控制在规范允许误差范围之内，实测拱肋下缘钢管应力最大发生在拱脚截面，最大达到103.5MPa，拱肋上缘钢管应力最大发生在L/4截面，最大达到74.2MPa，实测拱肋、系梁全截面受压，结构内力状态处于安全状态，符合设计要求。

### 2.3 线形监测结果

拱肋和系梁是系杆拱桥主要受力构件，通过对拱肋及系梁的标高及变形监测结果得到全桥结构的空状态，拱肋和纵梁测点位置均布置在对应吊杆位置，横断面布置在系梁及拱肋上缘截面<sup>[4]</sup>。拱肋变形实测值与理论值如图2-3所示。

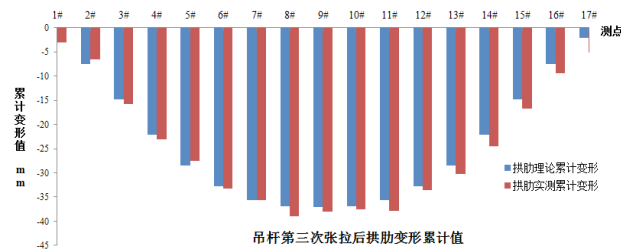


图2-3 拱肋吊杆第三次张拉后累计变形监测结果对比分析

系梁模型中因吊杆第三次张拉阶段系梁支架还未拆除（支架用仅受压弹性支撑模拟），理论累计变形为0，实测累计变形最大为跨中上挠5.4mm，本文中不再给出系梁累计变形对比值。

分析上图可知，在吊杆张拉过程中，拱肋实测值与

理论值变化趋势基本一致，均控制在规范允许误差范围之内，吊杆第三次张拉完成后，拱顶实测下挠累计变形为38.9mm，拱肋理论最大累计变形-37.1mm；系梁总体呈上挠状态，其中跨中截面上挠最大达5.4mm。

### 3 结语

通过对某120m系杆拱桥吊杆张拉顺序进行优化调整进行指导施工，通过施工监控，监测出吊杆索力、拱肋、系梁控制截面的累计应力及变形数据，得出结论如下。

（1）通过Midas有限元模拟计算优化分析的吊杆张拉顺序与桥梁实际受力和变形状况基本一致，能较为准确的反映出吊杆索力、系梁及拱肋等控制截面的应力、变形情况。

（2）在吊杆第三次张拉阶段，吊杆索力较均匀，拱肋、系梁实测累计应力和实测变形基本和理论一致，偏差处于规范要求范围之内，施工控制较为理想，满足设计要求。

### 参考文献

- [1]黄英军,徐立强.某钢管混凝土系杆拱桥的吊杆张拉施工监控分析研究[J].城市道桥与防洪,2014(6):205-207,18.
- [2]刘平.基于自振频率的吊杆拱吊杆张拉力测试方法研究[D].长春:吉林大学,2010.
- [3]陈晨.钢管混凝土系杆拱吊杆张拉顺序优化研究[J].甘肃科技,2017,33(12):77-79.
- [4]《公路桥梁施工监控技术规程》(JTG/T3650-01-2022).