

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.10.034

# 无支架施工系杆拱桥临时锚固设计与受力特性分析

姜海波

(江苏金堰交通工程有限公司, 江苏 泰州 225300)

**摘要:** 采用无支架方式施工系杆拱桥时, 施工期间的水平推力依靠施加于拱脚间的临时拉索进行平衡, 随着施工过程的进行, 水平推力不断发生变化, 需要相应不停地调整临时索的索力。以泰东河大桥为背景工程, 详细介绍了无支架施工临时索设计方法, 并建立空间实体分析模型, 研究了锚固区的受力特性。结果表明: 临时索的施加对锚固横梁受力影响显著, 横梁呈现明显的横向弯曲效应, 为此提出钢束横向不均匀张拉的施工优化措施; 锚固块主拉应力较大值主要出现在临时索锚下区及与系梁交界位置, 应布置加强钢筋防止施工过程中开裂, 锚固块整体主拉应力较小, 满足受力要求。

**关键词:** 系杆拱; 无支架; 临时索; 锚固区; 局部应力

**中图分类号:** U442.5

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)10-0128-03

## 0 引言

拱桥是一种古老的桥型, 因其造型优美、造价经济和结构独特等优势而得以广泛应用<sup>[1]</sup>。其中, 下承式系杆拱桥作为一种无推力的拱式组合体系桥梁, 因其超强的跨越能力和地基适应能力而被持续建造<sup>[2]</sup>。系杆拱桥分“先梁后拱”与“先拱后梁”两种施工方法<sup>[3]</sup>。当跨越山谷、高等级航道及其他不宜采用支架施工的情况时, 可采用“先拱后梁”的无支架施工方法。

系杆拱桥无支架施工是通过先架设的拱肋作为系梁和桥面系的施工平台, 从而避免桥下支架的搭设<sup>[4]</sup>。永久系杆施工前, 采用“先拱后梁”施工的系杆拱桥需要设置临时索, 用以抵抗施工期间的拱脚推力。为保证施工期间的安全, 临时索的设计是本方法的关键之一, 本文结合实际工程对临时索设计方法进行介绍。

临时索吨位较大, 巨大的水平将由增设的临时锚固块进行承担, 因此临时索锚固块的安全性十分重要。相似工程的研究表明, 该处受力十分复杂<sup>[5]</sup>, 需对其进行局部受力分析。

## 1 工程概况

新建泰东河大桥位于泰州市姜堰区, 上部结构为主跨 115 m 的下承式钢管混凝土系杆拱结构, 原

设计推荐采用少支架拼装的先梁后拱施工方法, 后结合施工现场实际情况, 基于施工便利性和成本分析对施工方法进行了比选。经详细论证, 变更为先拱后梁的无支架施工方法。主桥计算跨径为 111 m, 矢高为 22.2 m, 矢跨比 1/5, 标准桥面宽度(不含拱肋区)12.0 m。横向采用两片拱肋, 拱肋为哑铃型钢管混凝土结构, 拱肋钢管外径 1 m, 两片拱肋间设置风撑; 系梁为预应力混凝土结构, 通过拱脚钢混结合段与拱肋进行有效连接, 系梁高度为 2 m。泰东河大桥主桥的总体布置如图 1 所示。

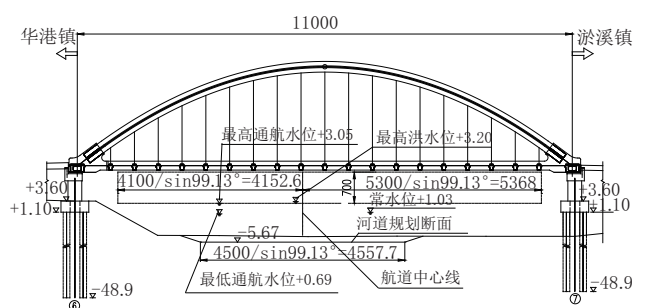


图 1 泰东河大桥总体布置图(单位: cm)

新建泰东河大桥采用无支架施工方法进行安装, 主要的施工步骤如下:

(1) 下部结构和拱脚(含端横梁)施工。该部分施工采用支架现浇法, 支架均设置在通航航道范围之外。

(2) 拱肋安装。无支架施工方法采用“先拱后梁”的顺序施工, 拱肋安装可采用转体、悬臂扣索和整体吊装等多种施工方法。本工程拱肋采用钢管混凝土, 先整体吊装钢管, 拱脚焊接合龙完成后浇筑拱肋混凝土。

收稿日期: 2022-01-27

作者简介: 姜海波(1973—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事公路桥梁施工管理工作。

系梁施工完成前,拱脚需要设置抗推构造抵抗拱脚水平推力。因拱脚推力较大,如采用桥墩本身进行被动抗推,桥墩和桩基将设计的十分强大,经济性和美观性较差。基于此,本工程采用临时索进行主动控制。钢管拱肋焊接完成后即进行临时索安装。

(3)系梁安装。系梁采用预应力混凝土箱梁,梁高2 m,梁宽1.2 m,采用分段预制安装的施工方法。每片系梁分为9个节段,节段长度为9.9~15.25 m,系梁节段之间、系梁与拱脚之间现浇湿接缝进行连接。

系梁安装分步进行,每个节段安装后,拱脚水平推力逐渐增大,拱脚位移增大,因此安装后均需要进行临时索的张拉,将拱脚位移控制在允许范围内。系梁节段安装完成后,进行临时锁定并浇筑湿接缝形成整体,预应力钢束张拉后拆除临时索完成体系转换。

(4)桥面系施工。桥面系施工主要包括横梁施工、桥面板安装、附属设置施工。其中,中横梁与桥面板均采用预制构件,中横梁与系梁采用湿接缝连接,桥面板筒支支撑于横梁上。

## 2 泰东河大桥临时锚固设计

临时索的设计主要包含两个步骤:(1)根据全过程施工模型,计算各阶段需要的水平推力,确定最大临时索力,并合理选取临时索总根数;(2)根据确定的临时索总根数,结合锚固构造与施工条件,进行锚固区详细设计。

### 2.1 最大临时索力的确定

为计算施工过程中各阶段的水平推力,建立全过程施工模型(见图2),两侧拱脚边界条件均设置水平约束,拱脚水平反力即为水平推力。

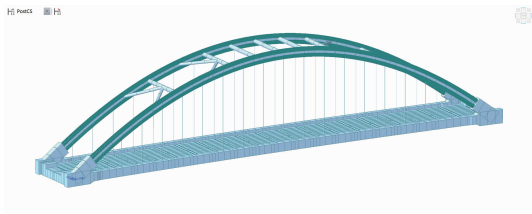


图2 全过程施工模型

临时索主要在系梁湿接缝浇筑前用以抵抗拱脚推力,系梁浇筑完成后即可拆除临时索,拱脚水平力通过系梁(内置预应力束)抵抗。将系梁湿接缝浇筑前的单个支座水平推力变化过程绘制成曲线图,如图3所示。

从图3可以看到,随着施工过程的进行,结构承

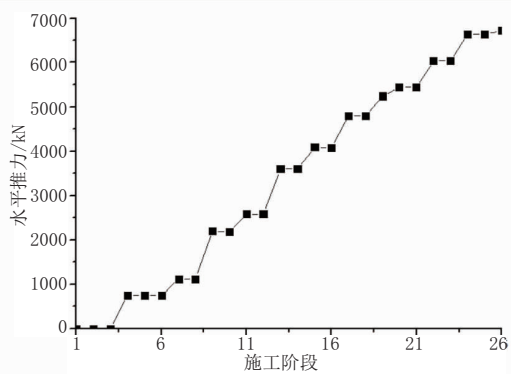


图3 拱脚水平推力变化曲线

担的竖向荷载越来越多,水平推力也逐渐增大,湿接缝合龙阶段,水平推力达到最大值,最大值为6719 kN,临时索的设计荷载即为上述最大水平推力。

### 2.2 锚固构造设计

系梁拱脚与端横梁区域设置了体外预应力钢束的锚固块,根据上述最大临时索力进行体外束的选取与布置,两侧各布置了4束19φ<sup>s</sup>15.2 mm钢绞线,其张拉控制应力小于0.65 f<sub>pk</sub>=1209 MPa。具体临时索布置及锚固详细构造如图4所示。

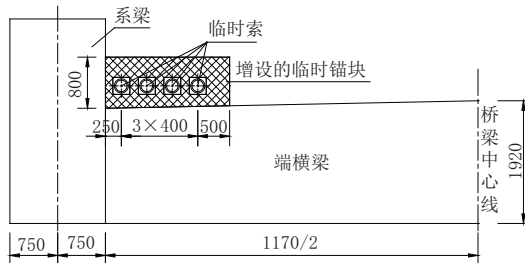


图4 临时索布置示意图

## 3 临时锚固受力特性分析

### 3.1 有限元分析模型

为精细化分析临时体外预应力钢束锚固区系梁拱脚和端横梁混凝土的局部应力水平和局部变形情况,采用土木工程非线性和细部分析软件Midas FEA,在体外预应力钢束作用下对系梁拱脚与端横梁区域混凝土进行三维仿真分析。为正确模拟边界条件,模型考虑同时建立拱脚系梁、端横梁、钢管混凝土拱肋、体外束、锚固块及端横梁加强构造。本文建立的有限元分析模型如图5所示。

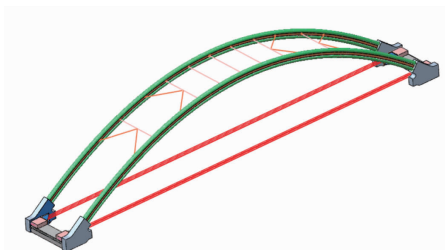


图5 有限元分析模型

模型有限元计算模型中的荷载主要包括结构自重和端横梁预应力荷载,以及体外钢束的水平作用力。其中,结构自重按软件自重计入;预应力荷载通过软件自带预应力荷载功能进行加载;体外钢束的水平作用力通过面荷载施加于钢束孔道范围的节点上;系梁重量通过节点荷载进行施加。施工过程选取了系梁合龙前。

### 3.2 有限元分析结果

#### 3.2.1 端横梁受力分析

在标准组合作用下,端横梁横桥向正应力分布如图6所示。

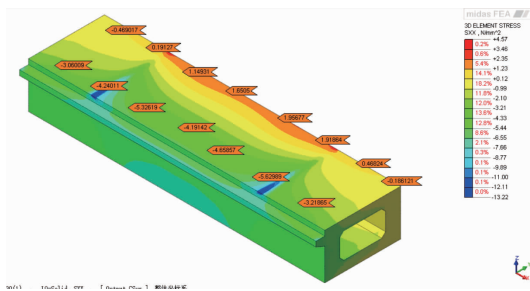


图6 端横梁横桥向正应力分布图

从图6可以看出,(1)临时索力的施加,导致横梁受力发生变化,存在明显的横向弯曲效应,顺桥向应力分布不均匀,呈现梯度分布规律,施工期间预应力张拉时机要充分考虑横向不均匀性,宜采用横向不对称张拉。(2)端横梁横桥向正应力大多处在 $-7.66 \sim 2.35$  MPa;拉应力出现在近跨中侧上缘,最大值为2 MPa,端横梁与锚固块交界局部位置应力集中达到4 MPa。

#### 3.2.2 锚固块受力分析

在标准组合作用下,锚固块主拉应力分布如图7所示。

从图7可以看出,锚固块的主拉应力大多处在 $-0.91 \sim 4.17$  MPa;主拉应力较大值主要出现在临时索锚下区及与系梁交界位置。锚固块整体主拉应力较小,满足受力要求。

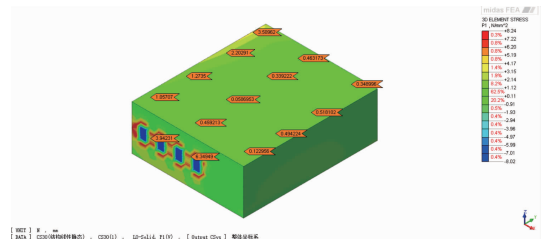


图7 锚固块主拉应力分布图

## 4 结语

本文详细介绍了泰东河大桥无支架施工流程,并对临时索设计方法进行了介绍,在此基础上对锚固横梁和锚固块受力特性进行了精细化计算分析,得到如下结论:

(1)随着施工过程的进行,拱脚水平推力逐渐增大,系梁湿接缝合龙阶段,水平推力达到最大值,本项目单侧最大水平推力为6 719 kN。

(2)临时索力的施加,导致横梁受力发生变化,存在明显的横向弯曲效应。端横梁与锚固块交界局部位置应力集中现象明显,应布置加强钢筋防止施工过程中开裂。

(3)锚固块主拉应力较大值主要出现在临时索锚下区及与系梁交界位置,锚固块整体主拉应力较小,满足受力要求。

### 参考文献:

- [1] 陈宝春,刘君平.世界拱桥建设与技术发展综述[J].交通运输工程学报,2020,20(1):27-41.
- [2] 蔡敏.浅谈下承式系杆拱结构设计及计算分析[J].城市道桥与防洪,2019(5):127-129.
- [3] 邢云,赵荣欣,李博.系杆拱桥典型架设方法的施工控制研究[J].桥梁建设,2012,42(1):42-47.
- [4] 王肖文.系杆拱上部无支架施工技术[J].铁道建筑技术,2012(增1):72-76.
- [5] 盛兴旺,薛洪卫,张杰.湘潭市湘江四桥系杆锚固区局部应力分析[J].铁道科学与工程学报,2006,3(5):27-30.

# 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: [cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)