

无支架施工系杆拱桥在泰东河大桥中的应用

姜海波

(江苏金堰交通工程有限公司, 江苏 泰州 225300)

摘 要: 系杆拱桥是大跨度桥梁中最常见的一种桥型结构,其施工方法主要分为先梁后拱和先拱后梁两种。结合泰东河大桥工程,对系杆拱桥两种施工方法进行了介绍,并对两种施工方法的优缺点展开对比分析,泰东河大桥跨越繁忙的高等级航道,最终选取了对航运影响最小的无支架施工方案。接着,对无支架施工方法及详细的施工流程进行了介绍,总结了系杆拱桥无支架施工的技术难点。其成果可为同类工程应用该方法提供参考。

关键词: 系杆拱;无支架;航道;快速施工;临时索

中图分类号: U445.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)07-0173-03

0 引言

竖向荷载下产生水平力是拱桥最主要的特征。初期拱桥设计均依靠基础直接抵抗水平力,而在软土地基处采用该方式十分不经济,因此大跨径拱桥在南方应用较少^[1]。随着系杆拱桥的提出,拱桥水平力通过专用的水平系杆来平衡,基础不再承担水平力。在软土地基采用拱桥极具竞争力,因此拱桥成了大跨度桥梁中最常用的一种桥梁形式。

系杆拱施工方法分为先梁后拱和先拱后梁两大类^[2]。最常用的施工方法为先梁后拱支架法,即先在支架上完成桥面系的施工,再在桥面上搭设支架进行拱肋的施工^[3]。即使在有通航要求时,如航道等级不高时,也可将满堂支架改为少支架,在河道中预留较窄的临时通航孔。当桥下航道为高等级航道时,航运繁忙,长时间的压缩航道给航运带来较大影响,同时船撞支架的风险较高。为减少对航道的影响,降低施工风险,系杆拱无支架施工技术应运而生。

系杆拱无支架施工是一种先拱后梁的施工方法。通过先架设的拱肋作为施工桥面系时的支撑,同时通过设计的永久拉索或增设的临时体外索平衡施工期间的拱脚水平推力,从而实现桥下不搭设支架的目的^[4]。而在拱肋的安装时为实现施工全过程的无支架,需采取拱肋整体吊装的方式^[5]。

1 工程概况

泰州市姜堰区 X304(淤溪段)泰东河大桥工程起于华庄公路与 S231 交叉处,向东上跨泰东河,终点接淤溪镇东南环交叉处。桥梁全长 461.44 m,上部结构主桥为下承式钢管混凝土系杆拱结构,引桥为先张法预应力混凝土空心板梁,下部结构均为柱式墩。泰东河是《江苏省干线航道网规划》中规划的三级航道,规划通航净空为 70 m × 7 m 矩形断面。泰东河大桥主桥采用 115 m 的钢管混凝土系杆拱桥一孔跨越航道水域。泰东河大桥总体布置如 1 所示。

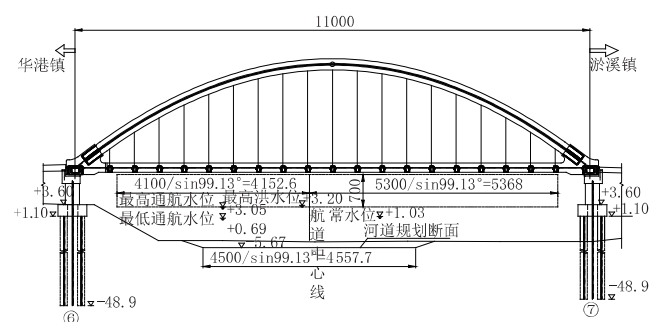


图1 泰东河大桥总体布置图(单位:cm)

主桥为预应力钢管混凝土系杆拱结构,采用刚性系梁刚性拱,计算跨径 $L=111.0$ m,拱轴线为二次抛物线,矢跨比为 1/5,矢高 22.2 m。拱肋采用哑铃型钢管混凝土,每个钢管外径 100 cm,钢管及腹板壁厚 1.4 cm,内充 C50 微膨胀混凝土,沿拱轴线每隔 0.5 m 腹腔截面设置 1 道 $\Phi 24$ mm 的拉杆。系梁采用箱形断面,系梁高为 200 cm,宽为 120 cm,顶板厚 30 cm,底板厚 30 cm,系梁构造见图 2 所示。吊杆间距为 5.35 m,每片拱肋设吊杆 19 根,吊杆采用 LZM7-61

收稿日期: 2020-12-06

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

成品索。中横梁高度为 1.30 ~ 1.42 m, 宽 0.75 m (不包括牛腿)。端横梁采用箱型断面, 高 1.80 m ~ 1.92 m, 宽 3.0 m。桥面 2.0% 横坡通过横梁高度的变化进行调整。风撑采用 4 道 K 型和 3 道一字撑, 由外径 100 cm 和 70 cm 钢管焊接而成。

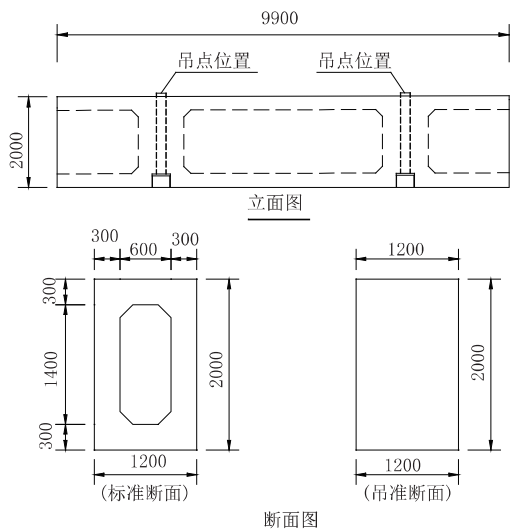


图2 系梁标准节段构造图(单位:mm)

桥面系为系梁与横梁组成的纵横梁体系, 系梁采用分段预制吊装, 每片系梁分为 A~I 九个节段, 标准节段长度为 9.9 m, 最大节段长度为 15.25 m, 系梁节段之间、系梁节段与拱脚之间均通过湿接缝连接形成整体。中横梁采用整体预制, 通过湿接缝与系梁连接形成整体。预制桥面板筒支支撑于横梁上方, 不参与结构整体受力。

2 泰东河大桥施工方法的比选

泰东河大桥跨越规划的三级航道, 设计院提供的施工图推荐采用先梁后拱的少支架法。针对该桥桥下通航要求高的特点, 正式施工时提出了无支架施工方法, 并对施工方法进行了深入的比选。

2.1 先梁后拱的少支架施工

先梁后拱的施工工艺是应用较多的方法, 因其具有施工难度小, 施工控制简单, 对于桥下通航要求不高或无通航要求时是一种十分经济的方案。该桥原设计采用的少支架施工方案如图 3 所示。

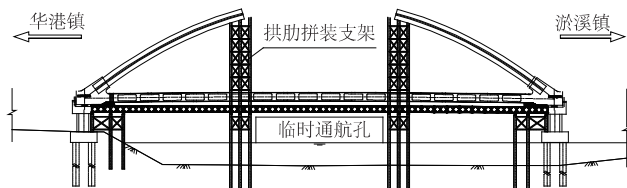


图3 少支架施工示意图

先梁后拱施工流程主要包括八个主要步骤:

(1) 下部结构施工及临时支架搭设, 并对支架进

行预压。

(2) 在支架上对称分段浇筑系梁和拱脚端横梁, 同步预制中横梁。

(3) 安装中横梁并张拉中横梁预应力, 之后张拉部分系梁预应力。

(4) 搭设桥面支架并分段吊装拱肋, 焊接完成后从下而上对称泵送钢管混凝土。

(5) 安装吊杆并按规定的张拉顺序进行吊杆张拉。

(6) 拆除支架, 安装桥面系并张拉剩余钢束。

(7) 护栏、铺装等附属设置施工。

(8) 吊杆索力调整至设计的成桥索力。

大跨径拱桥施工周期长, 该方案的缺点是长时间压缩航道, 原设计方案预留 30 m 宽度的临时航道, 该桥位处航运繁忙, 施工期间船撞风险高。

2.2 先拱后梁的无支架施工

基于少支架施工的缺点, 提出了无支架施工方案。该方案的优点是施工期间航道内不设置临时支架, 仅拱肋和系梁吊装期间临时封航, 对现状航道影响小, 实践证明效果是较好的。

泰东河大桥无支架施工方法主要包括六个大步骤: (1) 下部结构及拱脚施工; (2) 钢管拱肋整体吊装 (见图 4); (3) 临时索安装 (见图 5); (4) 灌注拱肋混凝土; (5) 预制系梁安装 (见图 6); (6) 桥面系施工。

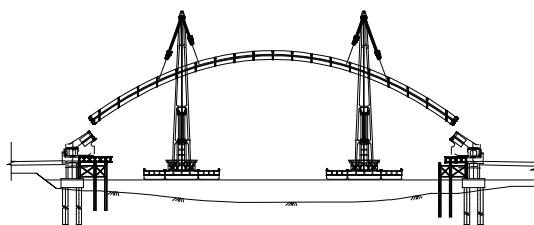


图4 钢管拱肋整体吊装之图示

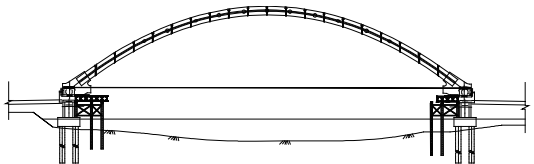


图5 临时索安装之图示

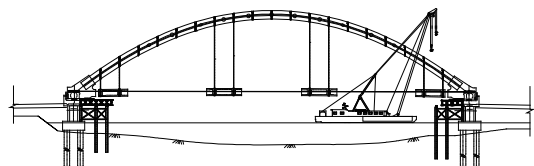


图6 预制系梁安装之图示

每个大的施工步骤又细分成多个工序, 并配合临时体外束的张拉, 采用有限元计算分析的全过程施工步骤如表 1 所列。

表 1 无支架施工仿真分析全过程一览表			
施工步骤	施工内容	施工步骤	施工内容
CS01	下部及拱脚施工	CS20	安装系梁抗扭装置
CS02	拱肋钢管整体吊装	CS21	浇筑系梁湿接缝
CS03	第 1 次临时索张拉	CS22	第 1 批系梁预应力
CS04	钢管拱肋焊接	CS23	安装 4 根中横梁
CS05	第 2 次临时索张拉	CS24	张拉中横梁预应力
CS06	拆除墩顶水平约束	CS25	第 2 批系梁预应力
CS07	灌注拱肋下弦混凝土	CS26	拆临时索、抗扭装置
CS08	第 3 次临时索张拉	CS27	安装剩余中横梁
CS09	灌注拱肋上弦混凝土	CS28	张拉中横梁预应力
CS10	第 4 次临时索张拉	CS29	拆除拱脚支架
CS11	钢管混凝土等强	CS30	安装预制桥面板
CS12	第 5 次临时索张拉	CS31	浇筑桥面板湿接缝
CS13	安装系梁节段 A、I	CS32	第 3 批系梁预应力
CS14	安装系梁节段 D、F	CS33	浇筑混凝土铺装
CS15	第 6 次临时索张拉	CS34	灌注拱肋腹板混凝土
CS16	安装系梁节段 B、H	CS35	钢管混凝土等强
CS17	第 7 次临时索张拉	CS36	护栏、沥青铺装施工
CS18	安装系梁节段 E	CS37	成桥索力调整
CS19	第 8 次临时索张拉	CS38	收缩徐变十年

先拱后梁的无支架施工方法步骤多,施工控制难度大,施工期间临时索随着施工步骤的进行要不断调整,以保证结构各构件的线形及受力满足要求。

2.3 施工方法比选

通过上述介绍,两种施工方法技术上都是可行的,都有各自的优缺点。为了科学决策,对两种施工方法进行综合比选(见表 2)。

通过上述综合比选,采用无支架施工方案虽然技术难度更大,但针对泰东河高等级航道的特殊性,无支架施工能最大限度地降低对桥下通航的影响,且对环境的影响最小,通过专业的施工监控及精细化的施工管理,能保证桥梁的施工安全性。因此,大桥最终采用了该方案。

3 无支架施工方法技术难点

3.1 无支架施工原理

拱桥受力特征是在竖向荷载的作用下,拱脚位置不仅产生竖向力,还将有较大的水平推力,拱脚位置有推力作用是拱桥的主要受力特性之一。为了使拱正常工作,就必须确保拱的推力体系。

无支架施工是一种先拱后梁的施工方法。在施工过程中,通过拱肋承受拱肋自身以及桥面系的自重,随着施工的进行,荷载不断增加,拱脚水平推力

表 2 系杆拱桥施工方案比选一览表		
施工方案	先梁后拱少支架法	先拱后梁无支架法
适用性	适用性较好,通航要求低、地势平坦的情况均可采用	适用性强,对跨越山谷、河流等情况更具优势
施工难度	满堂支架施工,施工难度低	大型吊装,高空拼装等复杂工况,施工难度大
施工速度	系梁支架上现浇,拱肋支架上焊接拼装,施工速度慢	拱肋整体吊装,系梁预制拼装,工业化程度高施工快速
环境影响	现场作业多,水中临时结构多,对环境及河道影响大	全桥基本为预制拼装结构,河中支架少,环境影响小
通航影响	压缩航道,对航运影响大	不侵占航道,对航运影响小
施工风险	桥下航运繁忙,压缩航道后船撞风险较大	高空吊装与拼装工序多,施工风险略大
施工造价	支架投入多,且为高等级航道中搭设,临时措施费高	仅拱肋吊装时增加大型浮吊,但周期短,总体造价低

同步增加。然而,在施工过程中系梁并未完成,需通过增设临时体外束平衡施工期间的拱脚水平推力。

3.2 技术难点

系杆拱桥无支架施工方法施工工序多,技术难度大,通过现场施工,总结如下几点关键技术。

3.2.1 拱肋整体吊装

拱肋整体吊装的重量为 260 t,在一侧岸边拼装成整体后,通过浮船运至桥位,采用两台浮吊抬吊完成就位。该施工过程主要是控制拱脚位移,保证吊装就位时能正确安放于两端拱座上。该项目采取了临时拉索及兜吊系统的控制手段。

3.2.2 临时索平衡设计

临时索的作用是平衡施工过程中的拱脚水平力。在施工过程中竖向荷载不断增加,拱脚水平力相应增大,临时索并不能连续动态地进行张拉调整。因此,如何通过有限次的临时索张拉,实现全过程的结构受力以满足要求,是临时索平衡设计的关键。该项目设置了 8 次临时索张拉,详见表 1 所列。通过横向错开布置,避免系梁安装与临时索位置冲突,临时索布置如图 7 所示。

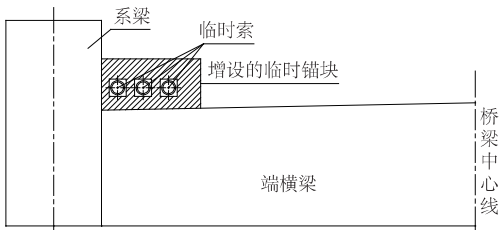


图 7 临时索布置示意图

(下转第 210 页)

4.5 温度监测及控制结果

此次实施的为响水管2号桥梁右幅3#墩承台大体积混凝土温度监测及控制实例。在业主、监理、施工单位及第三方单位的积极配合下,通过16天的温度监测及控制,混凝土最高温度为 64.4°C ,环境最低温度为 16.2°C ,直至监测的第14天,混凝土最高温度为 40.7°C ,与环境最低温度之差为 24.5°C ,温差小于 25°C ,并连续3天温差小于 25°C ,根据《大体积混凝土温度测控技术规范》(GB/T 51028—2015),满足停止监测的条件,故对承台混凝土温度停止监测。所监测的各项温度指标均满足规范要求。承台拆模后,从养护期直至验收,承台混凝土没有出现有害裂缝,混凝土外观质量较好,各项检测指标均符合品质工程要求,为上部结构奠定了一个坚实基础。

5 结 语

综上所述,为了有效地控制混凝土体内温度,有效降低体内最高温度及升温速率、降温速率,采用布设温度传感监测系统及埋设冷却管通水冷却系统。通过温度传感器来进行实时监测内部温度,并根据监测结果实时采取合理通水降温措施,使表里温度差始终保持在规范要求之内,有效避免了温度裂缝的产生,取得了良好的效果,可为今后类似工程的施工提供参考。

参考文献:

- [1] 应泽林,李淑红.添加剂对大体积混凝土温度控制现场试验研究[J].浙江水利水电学院学报,2019,31(6):40-43.
- [2] GB/T 51028—2015,大体积混凝土温度测控技术规范[S].
- [3] 百度文库.《大桥锚定施工温控方案 7.1(2)》[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/187237b6bf23482fb4daa58da0116c175e0e1ec6.html>. (2019-10-16)[2020-12-11].

~~~~~  
(上接第175页)

#### 3.2.3 位移控制

位移控制是无支架施工方法的关键,拱脚的位移时刻发生变化,且受下部桥墩的抗推刚度影响,位移控制难度大。该项目通过建立桥梁上、下部整体模型,考虑桩土作用,进行全施工过程的仿真模拟,精确计算各工序作用下的位移。

## 4 结 语

本文介绍了系杆拱桥无支架施工方法在泰州泰东河大桥中的使用情况,针对系杆拱桥常用的两种施工方法,详细分析了各自的优缺点,并就如何选择做了简单的探讨。先梁后拱支架法技术难度小,在通

航要求不高或地势平坦的情况下可优先选用;在跨越深谷或桥下通航要求高时则应该选用先拱后梁的无支架施工方法。

#### 参考文献:

- [1] 魏乐永.拱式结构体系研究[D].上海:同济大学,2007.
- [2] 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(12):42-47.
- [3] 蔡向军.“先梁后拱”下承式系杆拱桥施工工艺[J].中国水运,2012,12(80):178-179.
- [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] 廖加和.无支架法大跨度钢管拱肋吊装施工技术研究[J].黑龙江交通科技,2016(11):98-99.