

# 宁波新典桥施工方案研究与实践

罗干生<sup>1</sup>, 赵 炜<sup>2</sup>, 廖 晓<sup>3</sup>

[1.宁波市城市基础设施建设发展中心, 浙江 宁波 315000; 2.同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海市 200092;  
3.宁波市城市基础设施建设开发有限公司, 浙江 宁波 315000]

**摘 要:** 新典桥位于浙江省宁波市, 主桥为跨径 213 m(桥长 221.6 m)下承式简支系杆拱桥, 一跨跨越奉化江。结合新典桥桥位的周边环境, 综合考虑通航、周边环境等限制因素, 对各类施工方案进行分析和比选, 最终采用了拱梁整体步履式顶推施工。宁波新典桥是国内少见的采用拱梁整体顶推施工的桥梁, 也是宁波市第一座采用该施工工艺的桥梁, 对于宁波市乃至全国的桥梁建设具有重大意义, 对于同类型施工方法的桥梁具有一定的借鉴意义。

**关键词:** 下承式简支系杆拱桥; 施工方案比选; 步履式整体顶推; 施工步骤; 全过程模拟

**中图分类号:** U445

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)06-0167-04

## 0 引 言

市政桥梁建设是我国基础建设中的重要环节, 桥梁工程对城市规划发展以及公众生活有很大影响, 随着建设材料和施工工艺的不断发展, 拱桥的应用变得更加广泛。作为我国现有市政桥梁使用最多的桥型之一, 拱桥具备跨越能力好, 耐久性好, 养护、维修费用低, 造型美观, 构造简单等优点, 成为一种桥梁工程建设中经常采用的类型。拱桥施工工艺的发展经历了从有支架施工到无支架施工的过程。其中有支架施工主要是拱架施工法, 无支架施工法主要是缆索吊装法、转体施工法等<sup>[1]</sup>。

随着国内基础设施的不断完善, 越来越多设计桥梁位置有通行或通航需求, 顶推施工越来越常见, 相对于传统的拖拉或者推动的顶推法, 步履式顶推法近些年也越来越常见。

拱梁整体顶推施工, 类似的实例包括福元路湘江大桥<sup>[2]</sup>、杭州九堡大桥<sup>[3,4]</sup>等。

## 1 工程概况

新典桥位于浙江省宁波市, 主桥为跨径 213 m(桥长 221.6 m)下承式简支系杆拱桥, 一跨跨越奉化江。为给行人增添一种趣味过江通道, 在主梁两侧增加了一条悬挑慢行过江通道, 其包括挑臂系统(受力系统)、副拱(装饰拱)、挑臂人行道系统(功能区)。悬挑的慢行步道与主桥拱肋组合形成一个“甬

动山水”整体意向, 并在桥墩处的滨江大堤内侧落地与两岸步道衔接, 既丰富行人在过江中的行走体验, 同时又与主桥的整体形象融合在一起, 形成了具有鲜明特色的城市景观桥, 见图 1~图 3。



图 1 日景效果图

## 2 施工限制因素

### 2.1 通航

新典桥位于航道转弯处, 水流速度快, 船只通行隐患较大。根据国务院批复的《宁波市城市总体规划(2006—2020 年)(2015 年修订)》, 奉化江航道等级为内河 V 级(300 t 级)。依据《内河通航标准》, 内河 V 级航道直线段单线底宽 22 m, 双向底宽 40 m, 弯曲半径 270 m, 航道水深 2.5 m。

根据《新典桥及接线(鄞奉路—广德湖路)工程航道通航条件影响评价报告》, 拟建桥梁通航净宽 80 m, 航道中心线与桥梁的最大夹角为 17°。

施工期间的通航宽度将决定桥梁施工时支架的跨度, 对于主桥的施工方案的选择起到决定性的作用, 将决定桥梁施工的成本和安全性, 对桥梁的建设至关重要。

此外, 由于通航净高的限制, 主梁高度受限, 对于大跨度的桥梁施工来说也是一大挑战。

收稿日期: 2022-03-08

作者简介: 罗干生(1970—), 男, 学士, 高级工程师, 从事市政道路桥梁建设管理工作。

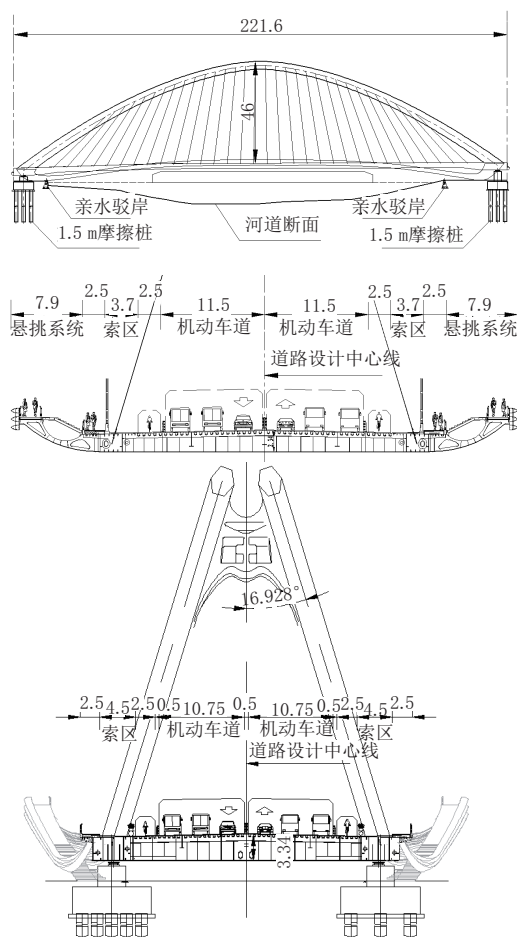


图2 总体布置(单位:m)

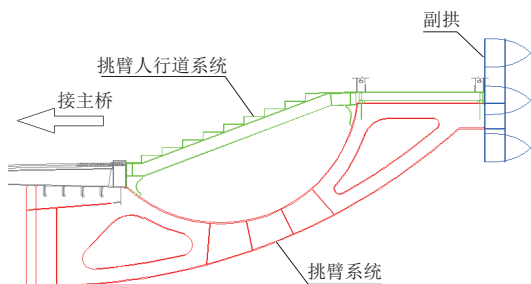


图3 悬挑慢行系统横断系统图

## 2.2 高压线

奉化江东岸沿线敷设有 110 kV 高压线,拟建桥梁位于 2# 与 3# 铁塔中间,与高压线路处于斜交的位置,见图 4、图 5。



图4 现状 2# 与 3# 高压塔



图5 高压线塔平面位置

高压线临近樟溪北路,与设计道路中心线斜交  $28^\circ$ ,桥位处与设计地面高差为 28 m,与设计高程的高差约为 16 m,见图 6。

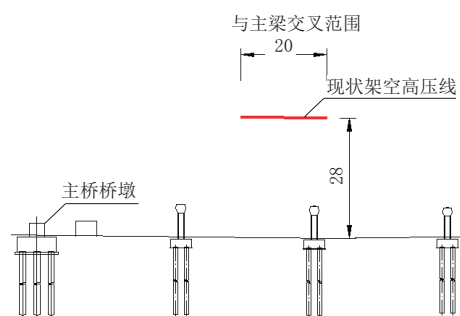


图6 高压线与拟建桥梁交叉位置(单位:m)

## 3 基于限制因素下的多方案比选分析

### 3.1 限制因素的影响

主桥为一跨过江简支下承式系杆拱桥。新典桥位于航道转弯处,水流湍急,船只在此处转向难以控制,过往船只密集。施工期间的通航孔宽度将决定桥梁施工时支架的跨度。

高压线对于本工程桥梁施工的影响很大,对于主桥来说,其限制了主桥施工的方案选择,如果采用顶推施工,高压线在预制安装平台上方,为了满足垂直方向的安全距离,就不能采用拱梁整体顶推施工,但当采用先顶推梁的施工方案时,如果需要采用安装桁架的方式来加强钢梁,则需要顶推一定距离后再安装,影响工期的同时还增加了施工风险。

### 3.2 施工方案比选

对于跨江的系杆拱桥,常用的施工方案包括支架施工法、大节段浮吊施工、缆索扣挂法和顶推施工法。

传统的支架施工法通常在桥下无水或者通航要求不高的情况下采用,桥位所在奉化江通航要求高,通行风险大,不适宜采用支架施工。大节段浮吊施工时,部分时段需要封航,对施工期间的通航影响也较大。缆索扣挂法对桥位两岸的安装空间有要求,桥位距离交叉口太近,也不太适用用此方案。

施工期间通航孔的实际大小及位置须结合桥位处实际通航船只的航迹线、通航船只类型、通航频率和各管理部门的管理需求等确定。

经过与相关单位沟通协商,最终定下来施工期间通航孔径为70 m,针对该通航孔情况,从施工方案的特点、经济性、工期和结构受力等方面进行比选研究。

考虑到本桥施工期间通航需求的限制因素,适合的施工方式是顶推施工法。顶推施工法包括以下两个方案:

- 方案一:拱梁整体顶推。
- 方案二:先顶推钢梁后梁上架拱。

方案一因拱肋和钢梁组合受力,相对于方案二来说受力更为合理,仅需要对个别不利工况位置的钢梁进行局部加强即可,但需要对高压线进行迁改入地,根据相关规划可知,110 kV 高压电力线架空改埋地是可行的方案。

但方案二中钢梁是主要受力构件,应用于大孔径通航孔时,需要对钢梁进行大规模临时加强,临时措施造价过高,且施工风险大。

两个方案的优缺点对比见表1。

表1 方案对比

| 方案 | 方案一                                                                                                                                                                                             | 方案二                                                                                                                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 优点 | 1.主梁仅需要局部加固,加固刚才用量约为30 t;2.将水上施工转为岸上施工,能保证较大的通航净宽且不需要封航,占用航道时间短,考虑到临时结构的施工及顶推施工,需要占用6~8个月时间;3.主梁和主拱可以采用一套设备分别进行吊装,避免了主梁顶推到位后再投入大型机具设备进行主拱拼装;4.在预制拼装场拼装,相对于桥位拼装,临时支墩高度低临时结构安全性和经济性增加;5.施工工期船撞风险小 | 1.相对于整体顶推,对顶推设备的吨位要求较低;2.顶推吨位小,对于临时墩要求低;3.不需要封航                                                                                                                       |
|    |                                                                                                                                                                                                 | 1.需要对钢梁进行大规模的临时加固,钢梁加固钢材需要约150 t,还要增加一些临时加固措施,安全性和经济性一般;2.通航条件不如整体顶推方案,除了临时结构的施工及顶推施工,还需要6个月时间进行拱肋的架设,总共需要占用12~14个月;3.架设拱的时候为小节段施工,施工速度慢;4.占用航道时间长,航道管理费贵;5.施工工期船撞风险大 |
| 缺点 | 1.顶推重量较大,对于主桥结构及临时顶推支墩受力较为不利;2.顶推过程中主结构重心较高,对顶推设备的要求也较高;3.需要对现场的高压线进行迁改                                                                                                                         |                                                                                                                                                                       |

纵横考虑安全性、经济性和施工期间的通航条件,本桥最终采用了拱梁整体顶推的施工方式。

4 施工方案实践情况

新典桥最终采用拱梁步履式整体顶推施工方案,整体顶推施工的跨径布置35 m+36 m+70 m+5 m+26.5 m+40.5 m+42.5 m+47 m+47 m+46 m+47 m(千斤顶位置)。顶推施工总体布置见图7。

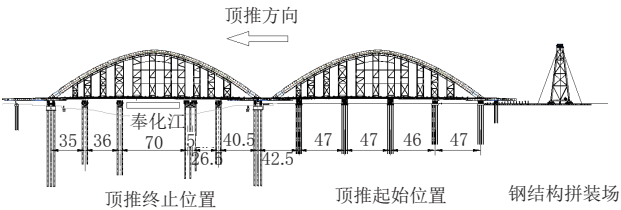


图7 顶推施工总体布置(单位:m)

施工期为2021年8月10日至10月18日,总计70 d。

4.1 新典桥施工流程

步骤一:完成桥梁桩基、下部构造施工及龙门吊安装;施工陆地顶推临时墩、系梁安装支架(见图8)。

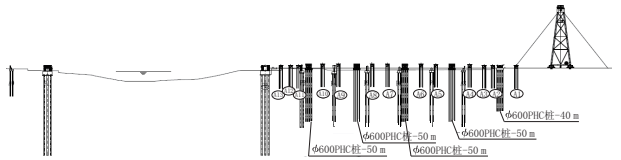


图8 步骤一

步骤二:在胎架上进行钢梁预拼,采用龙门吊吊装钢梁到安装支架,逐段焊接成整体(见图9)。

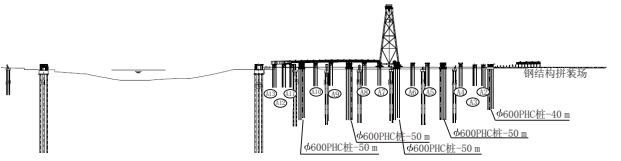


图9 步骤二

步骤三:在支架上拼装拱肋,施工水中栈桥和水中临时墩(见图10)。

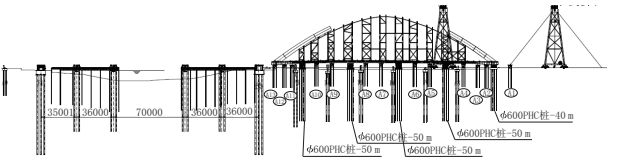


图10 步骤三

步骤四:安装导梁,将安装支架改制为拱梁撑杆(见图11)。

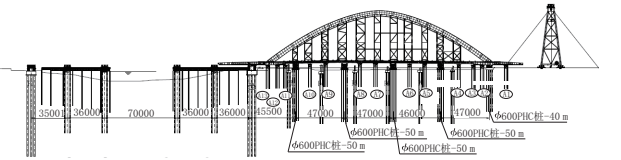


图11 步骤四

步骤五:桥梁整体顶推过江;调整高程、落梁并拆除导梁(见图 12)。

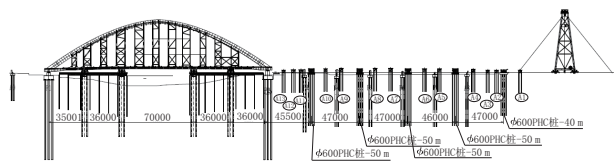


图 12 步骤五

步骤六:安装挑臂、悬臂、副拱等临时构件,拆除临时结构(见图 13)。

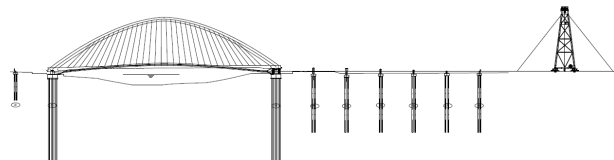


图 13 步骤六

## 4.2 永久结构加强及计算结果

根据该施工方案进行全过程模拟,整体顶推过程中拱肋的受力相对于成桥阶段来说是比较小的,而系梁由于通航净空的一系列不利因素影响,梁高仅有 2 m,刚度很柔,导致其应力较大,为保证安全性,对系梁受力较大部位进行局部加强,主要是部分腹板的厚度由 20/16 mm 增加到 24/20 mm,加强部位见图 14,系梁加固后全过程包络计算结果见图 15、图 16。

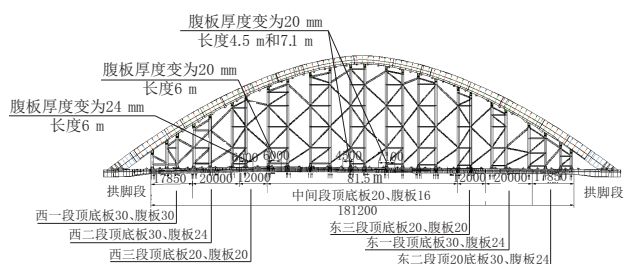


图 14 系梁腹板局部加厚(单位:m)

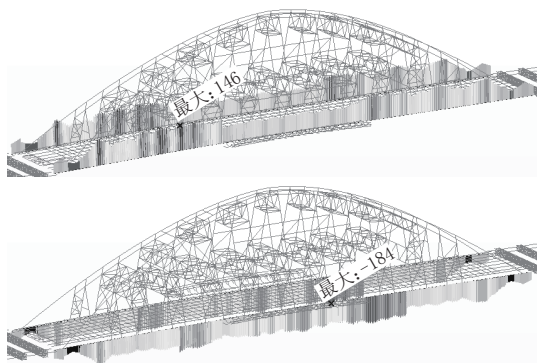


图 15 系梁正应力包络图(单位:MPa)

从整体计算结果可以看出,系梁的正应力与剪应力均满足规范要求。

除了整体受力外,系梁的局部受力也是一大关键,图 17 为全过程的额反力包络图,最大反力为 1 238 t。

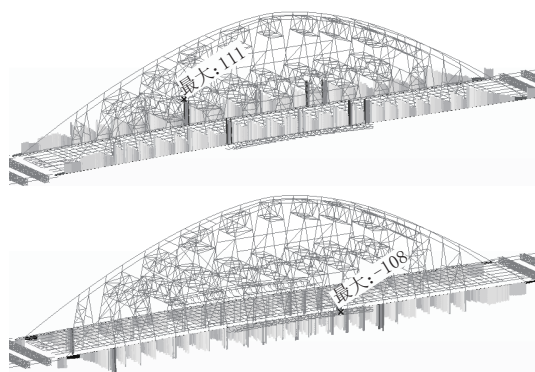


图 16 系梁剪应力包络图(单位:MPa)

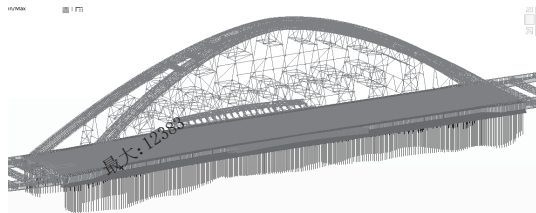


图 17 反力包络图(单位:kN)

根据最大反力,对系梁与支垫接触位置腹板的局部承压强度和局部稳定进行计算,为提高其局部稳定的安全系数,对腹板的竖向加劲肋进行加密设置并调整构造,增大支垫纵向长度内加劲肋的数量及接触面积,提高其稳定性,见图 18。

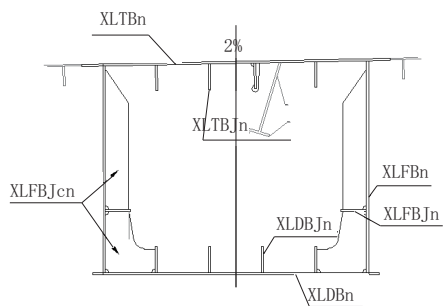


图 18 系梁腹板加劲

## 5 结 语

本文结合新典桥桥位的周边环境,综合考虑通航、周边环境等限制因素,对各类施工方案进行分析和比选,最终采用了拱梁整体步履式顶推施工。

方案确定后,根据施工工况,对钢梁最不利位置进行局部加强,提高施工阶段整体受力和局部受力的安全性,从实际施工过程来看,施工效果较好,最大限度减小对周边环境和航道影响的前提下实现了工程目的。相对于传统的支架方案,安装费用从2 800万减小到大约2 300万,减少约20%,占用河道时间由12~14个月减小到6~8个月,实现了安全性、经济性、时效性的统一。

宁波新典桥是国内少见的采用拱梁整体顶推施工的桥梁，也是宁波市第一座采用该施工工艺的桥

(1)大唐南京热电厂项目所出淤泥力学性质差,含盐量高, $S_i$ 元素含量在26.8%, $F_e$ 元素在25.8%,相对于路基填土而言,其含水量较高、细粒含量较多,属不良级配土,不能直接用于路基填筑,需利用固化剂对其进行固化处理。

(2)结合大唐南京热电厂项目所出淤泥各项指标的检测结果,提出了固化剂固化效果评价指标及固化剂选择依据。以强度为控制指标,确定了不同种类固化剂固化效果,其中钙化聚酸30%,氧化钙20%,改性硅粉50%为多个配方中表现最佳。

(3)设置不同的固化剂掺量。进行无侧限抗压强度试验、直剪试验、单轴压缩等试验来评价固化剂掺量对淤泥土的固化效果,最终确定最优的固化剂掺量为5%。

(4)固化土的强度来源于固化剂溶解后,形成分子级链状微单元;其侧链基团与土壤颗粒与土壤矿物离子发生静电螯合作用,形成加强网络,同时锁住自由水;最后,土壤颗粒与固化剂发生矿化,形成矿化链,使得强度增加。

(5)通过对最优固化剂掺量的淤泥试样进行不同条件的实验室养护以及一系列的土工试验来研究固化剂对淤泥土力学性质的影响。所得结果对于大唐南京热电厂项目所出淤泥的绿色化处理有着实际意义。

#### 参考文献:

[1] 李芳菲,华渊,刘文化,等.干湿循环条件下水泥固化疏浚淤泥的物

理力学特性[J].硅酸盐通报,2019(2):344-350.

[2] 顾竹璿,陈夷萍,冯嘉萍,等.城市河道底泥基于固化/稳定化处置技术的发展瓶颈与可持续利用途径[J].净水技术,2017(6):22-29.

[3] 李大鹏,黄勇,袁砚,等.城市重污染河道底泥对外源磷的吸附和固定机制[J].环境科学,2011,32(1):96-101.

[4] 刘敏,钟继承,余居华,等.湖泊疏浚堆场淤泥污染及潜在生态风险评价[J].湖泊科学,2016,28(6):1185-1193.

[5] 林安珍,郑荣跃,黄亦真.固化疏浚泥作为填方材料的试验研究[J].宁波大学学报(理工版),2006(4):525-528.

[6] 张义贵,丁如珍,缪林昌.淤泥类水泥土的强度特性试验研究[J].公路交通科技,2004(11):27-29.

[7] 范昭平,朱伟,张春雷.有机质含量对淤泥固化效果影响的试验研究[J].岩土力学,2005(8):1327-1330.

[8] 周理玥,朱书景.城市内河疏浚淤泥固化试验研究[C].//中国环境科学学会.中国环境科学学会2019年学术年会论文集.2019:2343-2348.

[9] Sezer A, Yilmaz H R, Ramyar K. Utilization of a very high lime fly ash for improvement of Izmir clay [J]. Building and Environment, 2006, 20(6):150-155.

[10] Lin D F, Lin K L, Hung M J. Sludge ash/hydrated lime on the geotechnical properties of soft soil[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 145(8):58-64.

[11] Yong R N, Ouhadi V R. Experimental study on instability of bases on natural and lime/cement-stabilized clayey soils [J]. Applied Clay Science, 2007, 35(9): 238-249.

[12] Shenbaga R. Kaniraj, Vasant G. Havanagi. Compressive strength of cement stabilized fly ash-soil mixtures[J]. Cement and Concrete Research, 1999(29): 673-677.

[13] 白玉恒.粉煤灰固化淤泥路用性能及填筑技术研究[D].上海:上海交通大学,2009.

(上接第170页)

梁,对于宁波市乃至全国的桥梁建设具有重大意义,对于同类型施工方法的桥梁具有一定的借鉴意义。

#### 参考文献:

[1] 王思宇.拱桥施工方法之浅谈[J].四川水泥,2019(11):276.

[2] 周仁忠,杨炎华,卢勇.福元路湘江大桥整体顶推施工技术研究[C].//

中国公路学会桥梁和结构工程分会2013年全国桥梁学术会议论文集,2013.

[3] 周光强,向剑,舒大勇,等.杭州九堡大桥多跨连续组合拱桥步履式整体顶推技术[J].施工技术,2011,40(9):27-31.

[4] 常晨曦,薛华.杭州九堡大桥钢拱梁整体顶推技术[J].施工技术,2012,41(23):32-33,46.