

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2023.03.036

# 变宽截面钢梁拱桥整体顶推施工的临时结构布置方法

罗干生<sup>1</sup>, 张书亚<sup>2</sup>, 陈友生<sup>3</sup>, 丁玮虹<sup>4</sup>

(1.宁波市城市基础设施建设发展中心,浙江 宁波 315010; 2.同济大学土木工程学院,上海市 200092;

3.四川路桥华东建设有限责任公司,四川 成都 610200; 4.四川公路桥梁建设集团有限公司,四川 成都 610041)

**摘要:** 顶推法常用于直线单幅、桥宽不变的桥梁,而变宽截面钢梁拱桥顶推工艺复杂、技术难度大。以宁波新典桥主桥为工程背景,详细分析了桥梁的结构特点,提出了适应桥梁整体顶推的临时结构布置形式,并对该结构开展受力计算与分析,得到安全合理的结构构造。同时根据桥梁的顶推施工具体过程,提出了临时结构与主体结构的合理连接方式。工程实践表明,变宽截面钢梁拱桥整体顶推施工的临时结构布置方法合理可行。

**关键词:** 桥梁工程; 钢拱桥; 整体顶推施工; 变宽梁

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)03-0146-04

## 0 引言

顶推法自第二次世界大战时期产生。1959年,Leonhardt等将顶推施工方法应用到Ager桥的施工当中<sup>[1]</sup>,首次采用将主梁分成多个节段预制拼接,再将其顶推到设计位置的施工方案。自1965年德国Kufstein桥首次将上部结构分节段制作并逐步顶推到位时起<sup>[2]</sup>,顶推施工方法开始逐渐被广泛应用于世界各地的桥梁建设当中。法国Millau桥<sup>[3]</sup>采用双向顶推、跨中合龙的方法施工,顶推单跨跨径达到171 m,顶推总长度为2 460 m,代表着世界顶推技术的先进水平。顶推法在桥梁施工中具有明显的优点,能够实现在良好地基处将桥梁组拼,再逐段或整体顶推至设计位置。因而,在跨域沟谷、既有线路、通航河道时,顶推施工法往往是最理想的施工方法。

1978年4月,我国第一座采用顶推法建造位于西延线上的狄家河桥<sup>[4]</sup>,一年后竣工。此后,顶推法在我国得到了快速发展,40多年来陆续采用顶推法修建了百余座桥梁。杭州九堡大桥<sup>[5-6]</sup>是国内首座采用梁拱整体顶推法施工的桥梁,创造性地研制并采用了步履式千斤顶设备及计算机同步控制系统,其主跨跨径210 m,顶推过程中最大悬臂长度为94 m。此外,长沙福元路湘江大桥<sup>[7]</sup>、孔李淮河大桥<sup>[8]</sup>、齐鲁黄河大桥<sup>[9-10]</sup>等拱桥,均采用步履式顶推法施工。以上几座具有代表性的桥梁均为等截面桥梁。近年来,许多桥梁常被设计为变宽截面,使结构受力更加合

理,又能节省材料。但由于变宽截面的钢梁腹板平面与顶推方向不在同一平面内,顶推施工时需根据腹板位置不断调整顶推支承位置,工艺较为复杂,技术难度高。

新典桥主桥采用变宽截面钢梁,且受到通航限制而采用梁拱整体顶推的施工方案。目前采用此工法施工的变宽截面钢梁拱桥的工程实例并不多。本文以新典桥主桥为工程背景,介绍变宽截面钢梁拱桥顶推新工艺,可为类似工程提供参考。

## 1 背景工程

新典桥主桥为下承式简支系杆拱桥,其钢箱系梁与钢箱拱肋固结,跨径为213 m。主桥拱肋矢高46 m,矢跨比1/4.63,拱轴线为1.7次抛物线。两片拱肋向内倾斜16.928°,形成提篮状。主桥效果图如图1所示。



图1 新典桥主桥效果图

拱肋截面为六边形钢箱,拱肋高度由拱顶处3.5 m线性渐变到拱脚处5 m,拱肋宽度3.0 m不变。钢系梁布置于桥面两侧,采用四边形箱型断面,跨中区域截面尺寸为2.5 m(宽)×2.0 m(高),拱脚区域截面尺寸为5.35 m(宽)×3.0 m(高)。钢箱钢板厚度由两端向跨中逐渐减小。系梁内部设置横隔板、横桥向加劲

收稿日期: 2022-03-27

作者简介: 罗干生(1970—),男,本科,高级工程师,从事项目生产技术管理工作。

肋和纵向加劲肋。系梁平面图如图2所示。

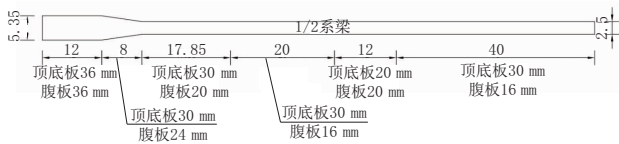


图2 1/2系梁平面图(单位:m)

## 2 整体顶推施工方法及难点

### 2.1 整体顶推施工方法

新典桥主桥采用整体顶推施工方案,主要过程如图3所示。首先在东岸引桥区设置拼装场,采用支架法将主桥拼装成整体,再采用多点步履式顶推系统将拱桥整体逐步顶推过江。



图3 新典桥整体顶推施工图

具体施工流程为:(1)进行桩基、下部构造及龙门吊的安装、施工;(2)进行陆地临时墩、系梁支架等临时设施的施工;(3)在支架上进行钢梁预拼,焊接成整体;(4)采用龙门吊吊装拱肋并逐段焊接成整体;(5)安装导梁,将安装支架改制为拱梁临时撑杆;(6)全桥整体顶推过江;(7)调整高程、落梁,安装挑臂、吊索。

### 2.2 变宽截面钢梁顶推的难点

对等截面梁的桥梁采取顶推施工时,腹板平面与顶推方向一致,只需沿该方向将全桥向前顶推即可。但背景工程中钢主梁存在变宽段,且截面尺寸小、钢板薄,采用顶推施工存在如下难点:

(1)对于变宽截面梁,变宽段的腹板平面与顶推方向并不一致,考虑到结构局部受力问题,钢梁顶推点必须设置在腹板正下方。采用传统顶推方法难以保证施工过程中主梁腹板与顶推支撑点始终贴合,可能会出现局部受力不利甚至支座脱空的现象。

(2)变宽段钢梁底板与顶板每节段渐变,顶推施工过程中顶推支点横桥向不断变化,钢梁每顶推10m,腹板中心最大偏移约1.3m,目前步履式顶推千斤顶难以在横桥方向提供这么大的调整范围,施工难度较大。若采用设置垫块的方式来适应横桥向偏移,如

何快速移动垫块成为施工难点。

(3)系梁截面高度小、钢板薄,导致主体结构刚度和承载力小,顶推施工阶段结构受力安全风险大。

## 3 变高截面钢梁的临时结构布置

### 3.1 总体临时结构的布置

为避免顶推过程中钢梁悬臂长度过大产生的负弯矩,需设置临时墩和导梁。考虑到奉化江通航要求及防洪影响,江中保留70m宽的通航孔。临时墩的布置如图4所示,将其编号为L1~L11,其中L6和L11直接利用主墩作为顶推临时支墩。考虑到顶推过程临时墩中的支承反力分布,除L8布置两套步履式千斤顶外,其余每个临时墩均布置1套步履顶,如图5所示。

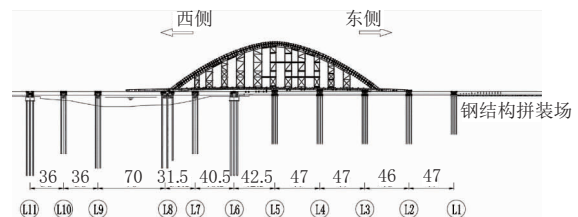


图4 临时墩布置图(单位:m)

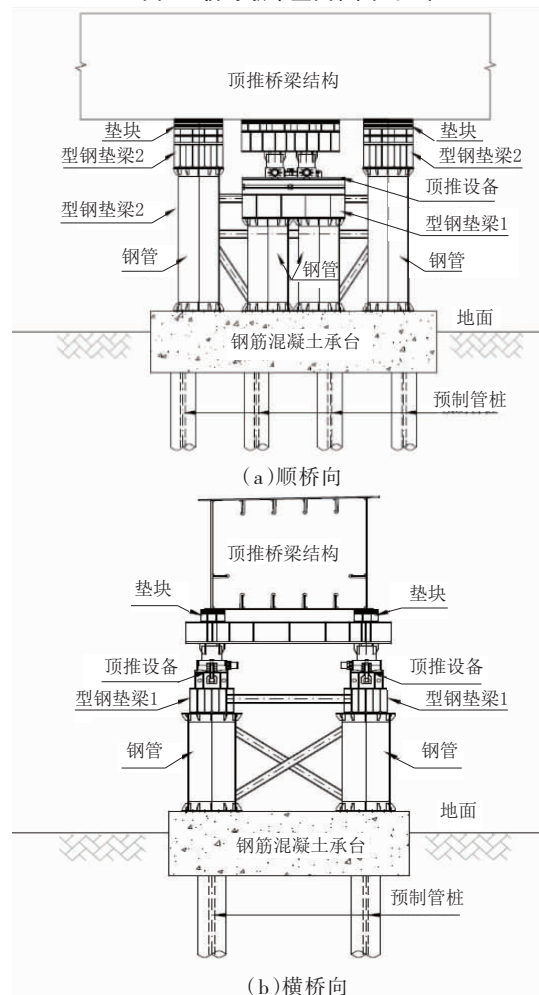
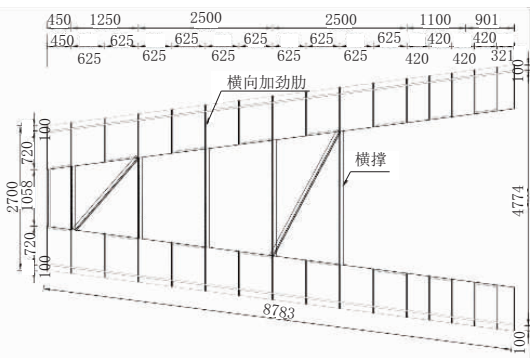


图5 墩顶千斤顶布置(单位:mm)

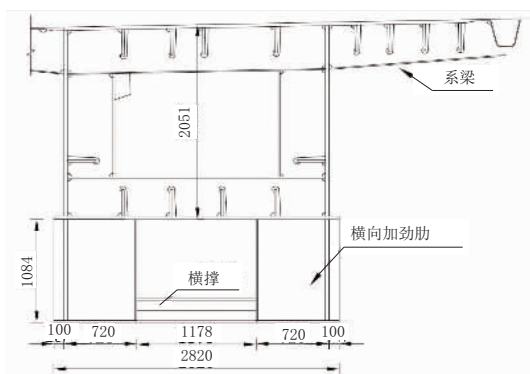
### 3.2 变宽段临时结构的布置

#### 3.2.1 垫梁

背景工程的钢系梁由 2.5 m 宽和 5.35 m 宽的等梁宽段以及两者间的变宽截面梁段组成,若不采取任何措施,则在此节段过墩时腹板难以与顶推支撑点始终贴合,且腹板较薄易导致局部受力较差。为了便于连续顶推、优化局部受力,在变截面段钢系梁的每道腹板下方各设置一道垫梁,垫梁之间设置横撑。如图 6 所示,垫梁采用 U 形截面,由 2 道腹板和 1 块底板构成,其腹板与钢箱底板焊接。其中一道腹板与主桥钢箱梁的腹板上下在同一竖平面内,另一道腹板置于梁体内侧方向,两腹板中心距 0.72 m,底板宽度为 0.82 m,腹板高度随钢系梁高度变化,U 形垫梁内部设置横向加劲肋,横向加劲肋的间距最大处为 0.625 m。垫梁材质为 Q345qC 钢材。



(a)俯视图



(b)横截面

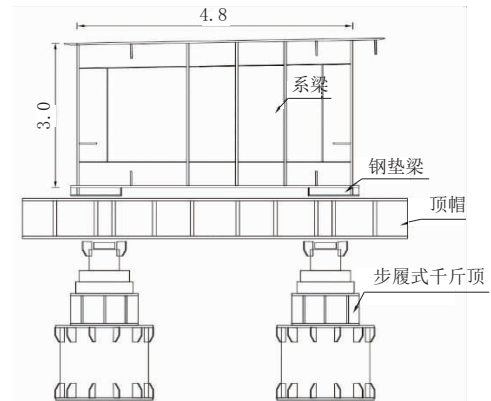
图 6 垫梁详图(单位:mm)

通过设置钢垫梁,增大了步履式千斤顶或临时支垫与系梁的接触面积,以保证系梁变宽段的顺利顶推,同时也减小了系梁局部压应力,增强系梁局部稳定性。

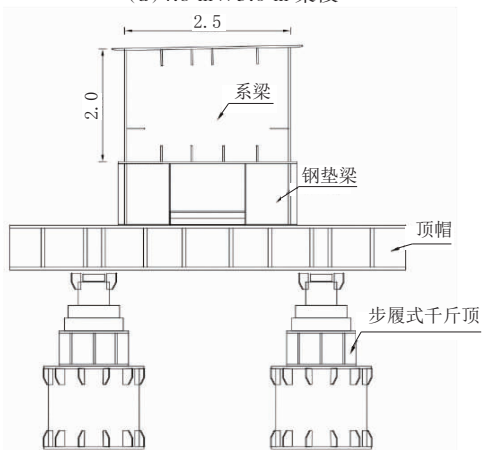
#### 3.2.2 顶帽

由于步履式千斤顶在临时墩横桥向位置固定,而钢垫梁支撑点随顶推过程不断变化。为此,在步履式千斤顶设置一个宽度=最大腹板宽度+1 m 的顶帽钢梁,来承担 U 形钢垫梁传递的竖向荷载并分配

至千斤顶,从而适应系梁腹板宽度的改变。不同宽度处顶帽及钢垫梁的横向布置如图 7 所示。



(a)4.8 m × 3.0 m 梁段



(b)2.5 m × 2.0 m 梁段

图 7 不同宽度系梁顶推横向布置图(单位:m)

#### 3.2.3 系梁局部加厚

新典桥系梁截面小、钢板薄,钢板厚度从 16 mm 到 30 mm 不等,刚度较小。系梁在顶推阶段以横向力为主,弯矩、剪力、局部压力均很大,局部稳定性差。为了解决应力过大和局部稳定性差问题,对系梁局部钢板进行加厚,以减小剪应力,增强局部稳定性。

此外,还采取了以下工艺:(1)优化临时墩间距的设计,控制局部压力的大小。(2)顶推阶段主动控制,以减小系梁薄弱位置受到的顶推力。例如,在顶推阶段,根据钢板厚度,主动调节各个临时墩上顶推力的大小;在落梁阶段,将各个临时墩支垫板距离系梁底面的高度调成一致,保证结构安全。(3)采用柔性支架,允许支撑架发生较大变形甚至局部屈服,从而减小系梁的局部受力。

### 4 施工过程受力性能计算

新典桥进行顶推施工时,竖向荷载由钢垫梁经顶帽分配至各步履式千斤顶。按《公路钢结构桥梁设计规范》第 5.3.4 条对该临时结构进行安全性验算,



