

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.12.034

复杂组合线形钢桁梁顶推轨迹线拟合技术研究

张 健¹,张 敏²,师秀锋²,郭鑫义²,杨 典²

(1.中交路桥华东工程有限公司技术中心,上海市 201203; 2.中交路桥建设有限公司,北京市 100027)

摘 要: 顶推法施工属于异位安装,即钢桁梁安装位置与成桥位置不同,在顶推施工过程中,需将钢桁梁整体抬高,沿着合适的顶推轨迹线进行顶推,最后整体落梁至成桥线形。合适的顶推轨迹线对顶推施工至关重要。以浙江永宁大桥项目为工程背景,针对该项目大纵坡+复杂竖曲线的组合线形,通过采用抛物线、椭圆曲线、圆曲线三种形式进行顶推轨迹线线形拟合,最终确定顶推轨迹线为半径 15 670 m 的单圆曲线,将顶推施工由刚性转动+平动转变为绕固定的圆心转动旋转,有效地降低了施工难度和风险,为后续复杂组合曲线顶推施工提供相关经验。

关键词: 顶推法;组合线形;线形拟合

中图分类号:U445.462

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2024)12-0158-04

0 引 言

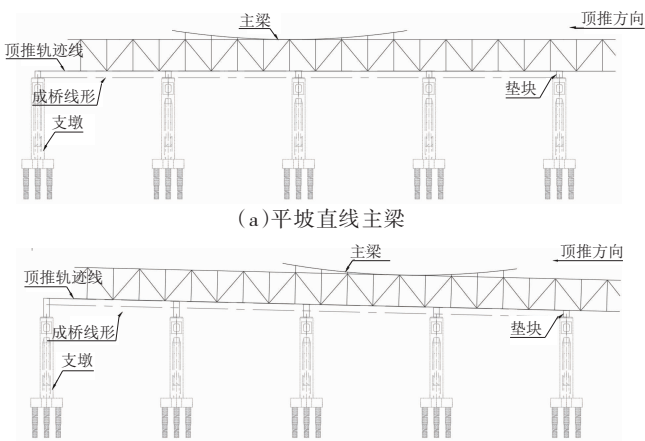
顶推法施工工艺在大型桥梁主梁架设中应用十分广泛,具有节省机械投入、施工便利、工期短等优势。在涉及航道要求、跨线路施工时,顶推法工艺更是首选。然而,相较于悬臂吊装法、缆索吊装法等工艺,顶推法施工属于异位安装,即钢桁梁安装位置与成桥位置不同^[1-2],在顶推施工过程中,需将钢桁梁整体抬高,沿着合适的顶推轨迹线进行顶推,最后整体落梁至成桥线形。因此,合适的顶推轨迹线对顶推施工至关重要。

当主梁线形为带一定纵坡的直线时,顶推轨迹线常采用简单的平动线形(见图 1)。当主梁线形为简单的竖曲线时,顶推轨迹线常采用圆曲线进行拟合^[3](见图 2)。当主梁线形为复杂的组合线形时,顶推轨迹线则需要采用不同的曲线进行拟合^[4],寻找最合适的顶推轨迹线。

1 工程简介

1.1 项目概况

温州市域铁路 S3 线附属配套工程(瑞安段)永宁大桥项目是集市域铁路、快速路、一级公路、慢行系统、市政管线过江等功能于一体的复合型特大桥,



(a)平坡直线主梁

(b)带纵坡直线主梁

图 1 直线主梁顶推示意

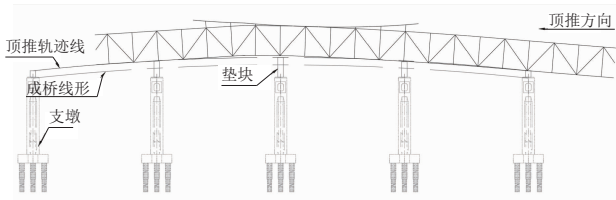


图 2 竖曲线主梁顶推示意

采用双层桥梁建设。该桥是浙江省首座“三桥合一”的复合型交通特大桥,涉及城市、公路和轨道交通三种技术标准,也是国内迄今为止最大跨度的公轨两用多塔钢桁梁悬索桥。

永宁大桥水域正桥从北至南桥跨布置依次为:(90+90)m 简支钢桁梁+(140+200+260+140)m 刚性悬索桥+(90.4+94.6)m 简支钢桁梁,全程 1 105 m,是全线的控制性工程(见图 3)。

收稿日期:2023-12-13

作者简介:张健(1995—),男,硕士,助理工程师,从事桥梁设计及施工工作。

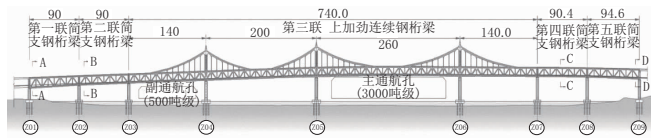


图3 永宁大桥跨江正桥总体布置(单位:m)

1.2 工艺简介

永宁项目主桥第2、3、4联钢桁梁采用顶推法施工,第2联、第4联简支钢梁与第3联钢梁间设置临时固结连接。由两岸向江中进行顶推,最后在A29~A30节间完成合龙。其中,北岸顶推主梁长度为342.75 m,南岸顶推主梁长度为536.25 m(见图4)。

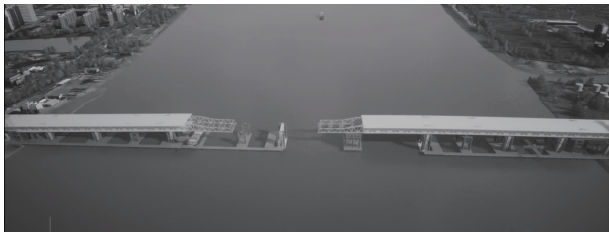


图4 正桥顶推施工效果

1.3 线形组合

本桥水域正桥全长1 100 m,桥面纵曲线为双向直线和竖曲线组合线形。其中,北岸侧桥面纵坡为2.95%,南岸侧桥面纵坡为0.65%,中间使用半径8 000 m的竖曲线衔接,竖曲线长度为284 m,外矢高1.26 m。正桥竖曲线设计见图5。

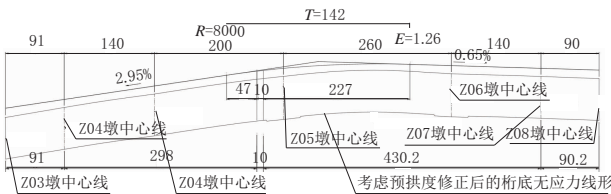


图5 正桥竖曲线设计(单位:m)

南岸顶推段主梁共536.25 m长,有227 m处于竖曲线上,且为双向纵坡变坡。另外,主桁还存在预拱度(最大值为565 mm)(见图6)。正桥桁梁无应力构型见图7。

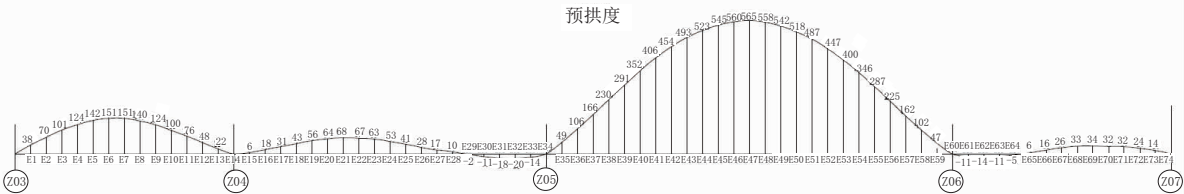


图6 正桥预拱度设计(最大565 mm)

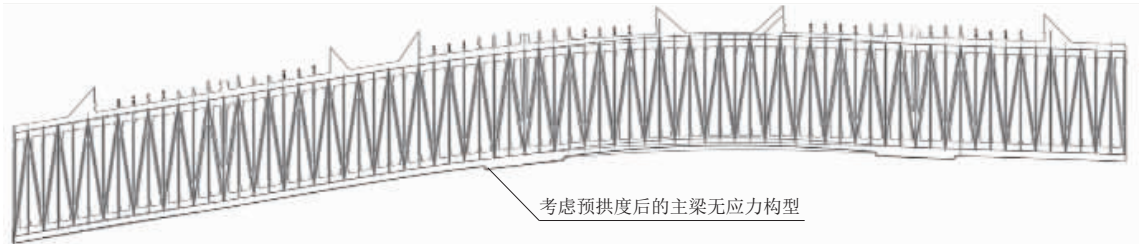


图7 正桥桁梁无应力构型

2 线形拟合

2.1 总体思路

北岸主梁除前端47 m处于竖曲线上外,其余处于2.95%的上坡直线上,因此顶推轨迹线可设为与2.95%平行的斜坡直线,顶推行为为简单的上坡平动(见图8)。

南岸主梁设计线形为纵坡+竖曲线的复杂组合线形。顶推段主梁共536.25 m长,有227 m处于竖曲线上,剩余的均处于0.65%的纵坡直线上。

对于复杂组合线形,顶推施工时,采用何种轨迹线施工至关重要。本文将采用抛物线、椭圆曲线、圆曲线三种形式对组合线形进行线形拟合,得到适合

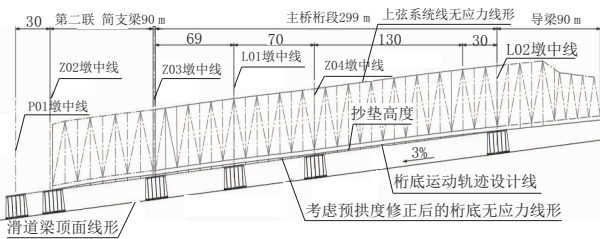


图8 北岸桁梁竖曲线轨迹设计(单位:m)

的顶推轨迹线。

2.2 抛物线拟合

线形拟合均采用插值逼近的方法,故从相对坐标系里选取相应坐标作为线形拟合坐标参数。这里考虑预拱度修正后的桁底无应力线形拐点及导梁最低点作为抛物线拟合坐标,即 $A=(-3\ 473.214\ 8,12.612\ 2)$ 、

$B=(-3\ 368.685\ 1, 30.490\ 6)$ 、 $C=(-3\ 058.689, 42.107)$ 。

采用二次多项式进行拟合,一般方程式为:

$$y = ax^2 + bx + c$$

采用 origin 软件对散点进行抛物线线形拟合,得出方程式为:

$$y = -0.000\ 3x^2 - 2.033\ 5x - 3\ 163.2$$

抛物线线形拟合见图 9。

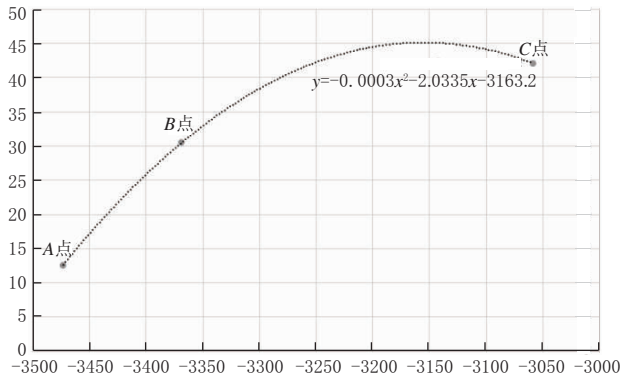


图 9 抛物线线形拟合

钢桁梁整体抬高后,沿着二次抛物线进行顶推施工,主桁桁底高于抛物线处采用活动垫块进行垫高(见图 10)。

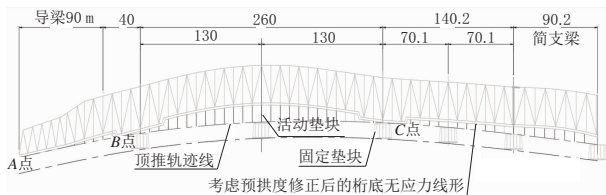


图 10 抛物线顶推轨迹线

2.3 椭圆曲线拟合

椭圆曲线的拟合与其他曲线相比,具有一定难度。它是一种基于最小二乘法的拟合方法,可以将一组离散的数据拟合成一个椭圆状的曲线。在一般情况下,椭圆拟合可以表示为以下方程:

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0$$

式中: A 、 B 、 C 、 D 、 E 和 F 为拟合的参数,需用最小二乘法拟合目标误差,将残差的平方和最小化。

但该方程参数较多,求解较为复杂,可转化为一般方程式:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

式中: a 和 b 分别是椭圆曲线的长轴和短轴长度。同样考虑预拱度修正后的桁底无应力线形拐点、导梁最低点及周围相近点作为椭圆曲线拟合数据,数据如下:

$x=[-3\ 473.214\ 8, -3\ 458.449\ 2, -3\ 443.683\ 6, -3\ 368.685\ 1, -3\ 366.185\ 7, -3\ 363.686\ 3, -3\ 073.307\ 2,$

$-3\ 068.691\ 5, -3\ 063.306\ 5, -3\ 058.689\ 0]$

$y=[12.612\ 2, 15.417\ 9, 18.223\ 6, 30.490\ 6,$

$31.032\ 1, 31.573\ 5, 43.064\ 7, 42.753\ 6, 42.392\ 9,$

$42.107\ 0]$

对散点进行椭圆曲线线形拟合,得出方程式为:

$$\frac{x^2}{310.092\ 9^2} + \frac{y^2}{18.284\ 8^2} = 1$$

钢桁梁整体抬高后,沿着椭圆曲线进行顶推施工,主桁桁底高于椭圆曲线处采用活动垫块进行垫高(见图 11)。

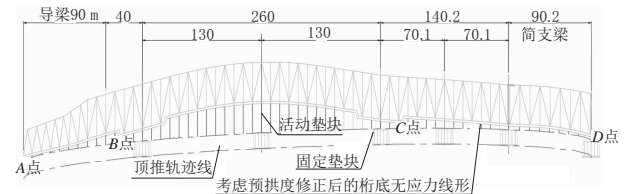


图 11 椭圆曲线顶推轨迹线

2.4 圆曲线拟合

采用常规的圆曲线进行拟合,可将顶推运动由刚性转动+平动转变为绕固定的圆心转动旋转。圆曲线一般方程式为:

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$$

这里考虑预拱度修正后的桁底无应力线形拐点及导梁最低点作为抛物线拟合坐标,即 $A=(-3\ 473.214\ 8, 12.612\ 2)$ 、 $B=(-3\ 368.685\ 1, 30.490\ 6)$ 、 $C=(-3\ 058.689, 42.107)$ 。

线形拟合得出方程式为:

$$(x+3\ 154.829\ 7)^2 + (y+1\ 534.376\ 9)^2 = 15\ 670^2$$

钢桁梁整体抬高后,沿着圆曲线进行顶推施工,主桁桁底高于圆曲线处采用活动垫块进行垫高(见图 12)。

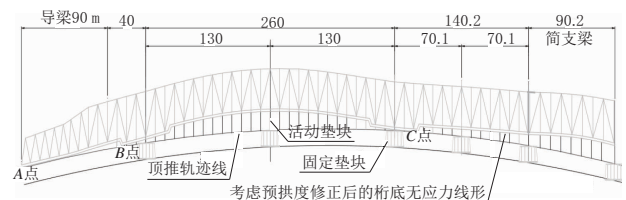


图 12 圆曲线顶推轨迹线

2.5 综合分析

(1)三种拟合曲线的固定垫块基本一致,即成桥梁底线形的基础与顶推轨迹线之间的固定垫块。

(2)为保证梁体线形与拟合曲线线形吻合,在高出顶推轨迹线处设置活动垫块。活动垫块高度为主梁整体抬高后梁体线形与拟合曲线的高差^[5-6],只与梁底位置有关,为固定值。随着梁体转动,在每个支墩处需动态调整活动垫块高度。三种拟合曲线,顶推

轨迹线为圆曲线时,活动垫块总量最少。

(3)根据顶推运动理论,当梁体处于直线+竖曲线上时,其顶推行为应为主梁的刚性转动+平动^[7]。整个顶推过程需要在平动一定距离后进行主梁刚性旋转的调整,施工作业较为繁琐,工效低,主梁受力不易控制。

相较于抛物线、椭圆曲线,圆曲线更适合作为顶推轨迹线,因为它将刚性转动+平动转变为绕固定的圆心转动旋转,使各顶推运动点都在圆曲线的切线上,有效地降低了顶推施工难度^[8]。

3 结 论

经数据验证,主梁线形为复杂的组合线形时,采用圆曲线拟合曲线作为顶推轨迹线时,能够大大降低顶推施工难度和风险,同时减少了各垫块数量,节约成本,能为其他相类似桥梁施工提供很好的借鉴。

参考文献:

- [1] 熊正强.变曲率竖曲线连续钢梁桥顶推施工线形控制研究[J].中外公路,2015(4):187-191.
- [2] 叶建良.瓯江北口大桥北引桥槽形钢梁顶推施工关键技术[J].桥梁建设,2020,50(增刊2):115-120.
- [3] 杨文爽,阙水杰,楚民红.复杂竖曲线桥梁主梁顶推转动自适应控制法[J].桥梁建设,2022(2):53-59.
- [4] 梁崇双.公铁两用三主桁连续钢桁梁顶推施工新技术[J].铁道工程学报,2021,38(3):41-47.
- [5] 董创文,李传习,张玉平,等.变曲率竖曲线梁顶推过程支点标高调整方案确定的单步模数搜索合成法[J].土木工程学报,2015,48(1):101-111.
- [6] 何文生,徐小怀,曾友治,等.基于顶推法施工的双曲钢桥线形精度分析与控制[J].建筑施工,2023(1):107-109,134.
- [7] 潘强,吕牧.变宽变纵坡曲线钢梁超长距连续顶推施工关键技术[J].施工技术,2019(23):59-61.
- [8] 樊勇,郑海龙,马永军,等.浅谈跨线钢桁架桥顶推滑移施工技术[J].中国建筑金属结构,2020(6):52-54.

~~~~~  
(上接第157页)

- 铁道建筑,2021,61(11):57-60.
- [5] 孟繁增.基坑开挖引起邻近高铁桥墩隆起变形实例分析[J].铁道标准设计,2020,64(4):98-103.
  - [6] 方浩,方磊,童立元.基坑开挖对运营高铁路基变形影响因素分析[J].铁道标准设计,2017,61(6):125-130.
  - [7] 潘振华.超大型深基坑对高速铁路桥墩稳定性影响分析[J].铁道标准设计,2014,58(7):80-84.
  - [8] 马宁.软土地区临近运营高铁路基建筑基坑防护方案研究[J].铁道标准设计,2017,61(4):50-53,63.
  - [9] 邹森,吴禄源,王磊,等.某地铁车站深基坑开挖对临近管线的影响分析[J].铁道标准设计,2016,60(3):106-111.

- [10] 魏丽敏,辛学忠,何群,等.邻近开挖对桥梁桩基变形与内力影响分析[J].铁道工程学报,2017,34(5):38-44.
- [11] 嵯一,张军,宋顺忱.软土地区基坑开挖对临近高铁影响数值分析[J].铁道工程学报,2014,31(2):41-47.
- [12] 王淑敏.软土地区下穿运营高铁通道工程关键技术研究[J].铁道标准设计,2016,60(9):83-88.
- [13] GB 50007—2011,建筑地基基础设计规范[S].
- [14] SL 265—2016,水闸设计规范[S].
- [15] TB 10182—2017,公路与市政工程下穿高速铁路技术规程[S].
- [16] TB 10093—2017,铁路桥涵地基和基础设计规范[S].
- [17] TB 10623—2014,城际铁路设计规范[S].