

大跨钢—混凝土组合箱梁无支架顶推技术与控制计算

陈军刚¹, 王学勇¹, 周洲², 陈刚²

(1. 云南省交通规划设计研究院有限公司, 云南 昆明 650041; 2. 北京中汉威工程咨询有限公司)

摘要: 该文对目前工程界常用的桥梁顶推施工技术进行了梳理,并对确定桥梁顶推方案的控制因素进行了讨论;对云南一座(70+110+70) m 钢箱—混凝土组合梁桥的顶推方案和控制验算进行了阐述,结果表明:采用强梁措施并适时辅以压重后的组合梁,能满足顶推跨度达 110 m 之需要。

关键词: 大跨; 组合结构; 顶推; 控制计算

1 概述

中国西南山区地形条件复杂,桥隧比例高,且河流多为各大江大河的中上游段,河流比降大、流速快、环水保要求高;对于涉水跨河桥梁架设往往不具备水中建墩的条件;顶推施工作为当代桥梁施工的重要方法之一,往往会具有较大的优势。

顶推法施工自 1959 年在奥地利 Ager 桥成功实施以来,在世界范围内路桥工程界得以迅速发展,国外采用顶推法施工具有代表性的桥梁为 2004 年竣工的法国米约大桥,大桥为主跨 342 m 的七塔斜拉桥,最高墩墩高 245 m,主跨为 342 m,该桥施工采用多点柔性正交顶推法施工,为了缩短顶推距离,在中间各跨跨中均架设一套横截面 12 m×12 m、装有两套顶推设备的钢管桁架的临时支架,顶推跨度达 171 m,代表了当时世界顶推技术的先进水平。

中国首次采用顶推法施工的桥梁为 1977 建成的狄家河桥。中国桥梁顶推施工始于铁路 PC 梁桥,但混凝土结构自重大、架设困难,梁体和下部结构开裂问题突出,故其顶推跨径多控制在 60 m 以内,代表性桥梁为福建丘墩桥,顶推跨度为 52 m;对于山区深切峡谷、地形复杂地区长隧间夹大中桥梁、湍急河流地区常常难以满足;由此钢结构和钢—混凝土组合结构桥梁依托顶推施工法得以发展。中国国内顶推法施工代表桥梁是 2012 年建成的杭州九堡大桥,主桥为 3 跨连续组合梁—钢拱拱桥,主跨 210 m 中间仅设置 1 座临时墩,具有顶推跨径大、悬臂长、重心高及质量大等特点,

施工首次采用中国自主研发的步履式平移顶推装置及计算机同步控制系统,顶推总重 14 000 多 t;一举将传统顶推法施工由原来以拖拉法施工为主,发展至目前以拖拉式和步履式两种形式为主的局面。据统计:2014 年施工的石济铁路济南黄河公铁两用桥钢梁最大顶推重量达 37 000 t,为中国目前可查资料中顶推重量最大者;从顶推距离来看,杭州钱塘江二桥单点顶推距离为 800 m,南北引桥合计顶推距离总计达 1 504 m;顶推重量、距离在一定程度上反映了中国现阶段路桥建设的施工技术水平。该文介绍云南某(70+110+70) m 钢混凝土组合梁桥的顶推方案与施工控制验算过程。

2 大跨桥梁顶推方案的选择

大跨顶推桥梁施工控制关键因素为顶推跨度。梁体顶推施工过程中,主梁前端支点处的梁体由于负弯矩和支点反力过大,且梁体在顶推过程中结构体系不断变换,各截面承受正负弯矩的交替,顶推过程主梁的受力和变形往往成为其可行顶推跨径的控制。为增大顶推的适用跨径,常采用的措施主要有以下几种:

(1) 设置导梁

导梁的设置可以有效缓解主梁的受力状况,目前已成为桥梁顶推施工的标准配置措施。导梁的类型和参数的选择会对桥梁顶推产生重要的影响。导梁可采用形式主要包括:桁架导梁、工字形钢板导梁、波形钢腹板导梁。文献[7]曾对桁架导梁和工字形变截面实腹钢板导梁进行了对比分析,由于桁架梁节点受力性

能薄弱,工字形梁各方面更占优势。主梁的结构形式往往会主导导梁结构的选择,如:波形钢腹板组合梁需要顶推时,导梁多采用波形钢腹板导梁;主梁为钢桁梁时,导梁亦往往采用钢桁架做导梁。当导梁形式选定后,其具体刚度和长度取值可参阅文献[8],该文不再赘述。

(2) 增设临时墩,减小顶推跨径

对于大跨顶推桥梁,最直观、简单的方法便是中间设临时墩,缩小实际顶推跨度,减小主梁顶推过程中受力变化幅值和变形。该方法对于桥面以下墩高小、水流缓的桥梁而言,不失为一种好的方法;但对于墩高大、水流急、水深大、水环保要求高等一些外部约束条件要求高的桥梁,往往适应性差。

主梁采用两岸相向对顶,也是有效减小顶推跨径的方式之一,采用此工法施工时,桥梁前端往往不设钢导梁,以利跨中合龙。但实际施工中,不设导梁、双向对顶工法适用的跨径一般也较小,在此不再赘述。

(3) 增加强梁措施,提高主梁顶推阶段跨越能力

对于无法增设临时墩的顶推施工大跨桥梁,为了提高主梁顶推过程中的截面抗力、减小变形,可选择在结构选型及增加施工临时措施两方面考虑对主梁进行加强。

结构选型时选用主梁整体刚度大、受力强的结构类型,可满足顶推所需的主梁应力和变形要求。例如:2017年11月主体完工的京张高铁跨官厅水库特大桥,大桥跨越水源地湖面达880 m,施工面临水深、风大、环保要求高的制约,大桥上部采用110 m跨简支拱形钢桁梁结构,顺利完成了110 m的顶推跨度。

当主梁结构自身无法满足顶推所需跨度时,也可采用临时外部措施,对主梁进行加强,或形成一种新的临时结构体系,常采用的是一种俗称“钓鱼”式的施工工法:梁上设临时斜拉索和塔架,以解决因顶推跨径大带来的主梁悬臂弯矩过大问题,如图1所示。

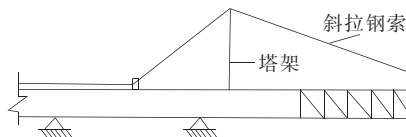


图1 “钓鱼”式方案

对于钢结构桥梁,也可考虑主梁上缘临时增设标准件桁片,制成钢箱—钢桁临时组合结构,对顶推阶段主梁进行加强,该工法与钓鱼法相比,工程措施费或有增加,但施工期建筑界限小,对于桥上净空有严格限制

的桥梁可以考虑采用。随着中国桥梁技术的不断发展和钢结构的不断推广,在顶推辅助措施采用方面,也将会有更大的发展空间。施工中,各桥梁可根据各自特点,选择合理、可行、经济的施工方法和措施。

3 应用实例

3.1 项目背景

为满足云南保(山)泸(水)高速公路建设需求,施工便道需在康浪村附近跨越怒江,以满足怒江两岸隧道施工物资运送,需尽快完成施工。康浪跨江桥桥跨布置为: $2 \times 30 \text{ m} + (70 + 110 + 70 \text{ m})$;引桥采用 $2 \times 30 \text{ m}$ 钢板—混凝土组合梁,主桥采用 $(70 + 110 + 70) \text{ m}$ 钢箱—混凝土组合梁,下部结构桥墩采用柱式墩、桩基础,桥跨总体布置如图2所示。

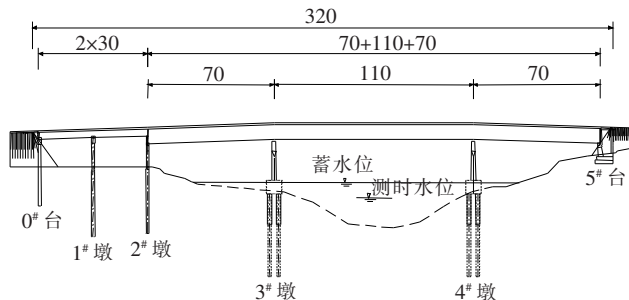


图2 康浪跨江桥桥跨总体布置示意图(单位:m)

主梁钢结构截面由两个钢箱和横梁组合而成,钢箱高为3600 mm,钢箱间横梁采用工字梁进行连接,工字梁梁高为610 mm,主桥钢箱与混凝土桥面板采用剪力钉连接,混凝土桥面板厚为300 mm,宽为7500 mm。钢结构顶底板平行设置,横坡0%;混凝土桥面板顶部横坡为双向1.5%,主桥主梁标准横断面见图3。

3.2 顶推方案的确定

经现场调查:桥位处所跨怒江河段具有流速大、汛期水位高、汛期时间长等特点,桥梁拟考虑采用顶推方案进行上部结构施工。结合桥位河段特点,河中不具备搭设临时墩的条件,但中跨跨径达110 m,需顶推跨越长度大,主梁结构自身显然无法满足顶推受力和变形需要。采用“钓鱼”法增设临时塔和索对主梁进行临时加强,并根据顶推进程的不断变化,适时增设梁段压重,以改善临时结构体系顶推过程中不断变化的受力状态,或可满足此跨径顶推跨越要求。该桥主梁为钢—混凝土组合梁桥,为满足顶推过程中应力变化幅度、

减少顶推重量,主梁顶推阶段钢主梁截面顶推到位后,再进行桥面板混凝土的分段浇筑施工;其中,连续处负弯矩区桥面板纵桥向预应力的施加采用调整支点标高的法。具体施工关键步骤见图4、5。

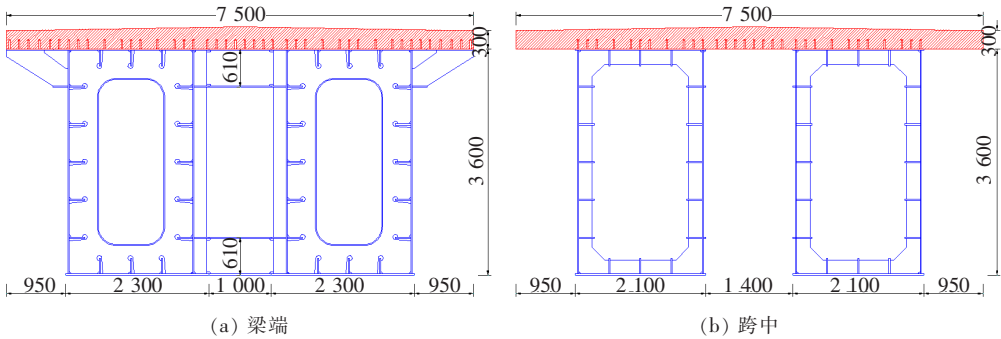
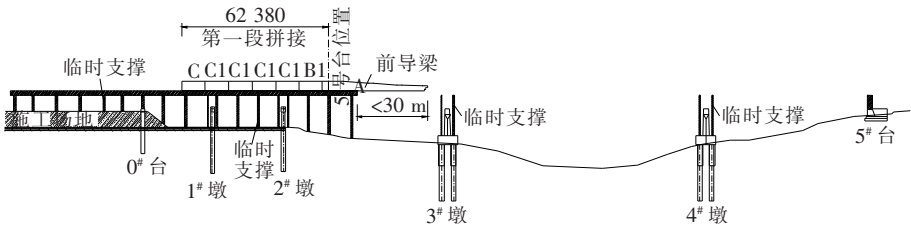


图3 主桥主梁标准横断面图(单位:mm)

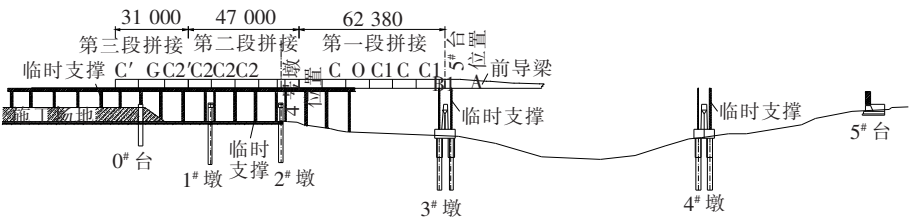
第1步:

- ① 搭设必要的临时支撑;
- ② 完成图示梁段预匹配,并在第一段主梁上安装顶推构造及前导梁(导梁长度应大于42 m)。



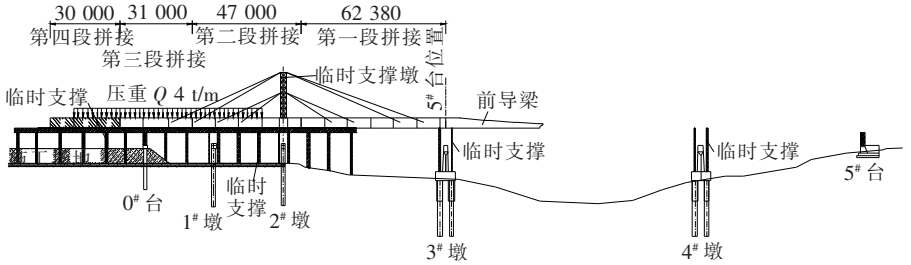
第2步:

通过顶推装置缓慢将前导梁顶推出3#墩临时支撑,使第一段梁落到1#墩临时支撑位置。



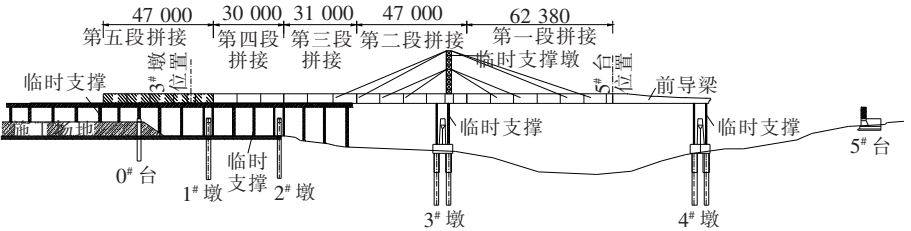
第3步:

- ① 在2#墩位置安装临时支撑塔并设置临时张拉索4对(塔顶两侧临时索设计张拉力均为700 t,塔中部两侧临时索设计张拉力均为600 t)同时还需增加横向抗风等稳定拉索;
- ② 将图示第四段拼接梁段按设计预拱度与第三段拼接,并在图示范围内压重。



第4步:

- ① 将图示第五段拼接梁段按设计预拱度与第四段拼接;
- ② 拆除梁体范围内压重荷载及临时支撑塔。



第5步:

通过顶推装置缓慢将前导梁顶推出4#墩临时支撑,使第一段梁落到4#墩临时支撑位置。

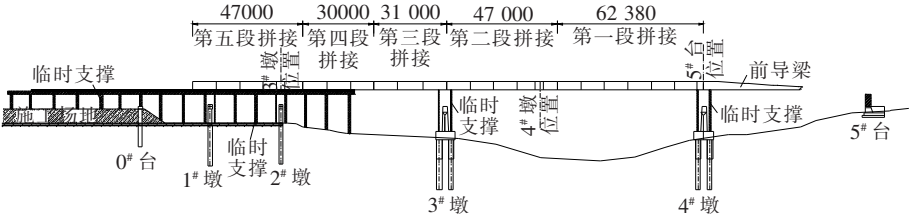
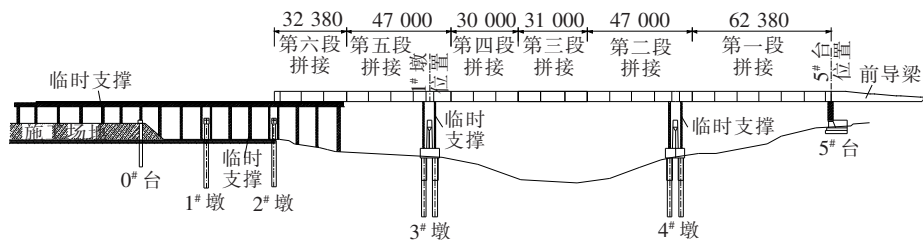


图4 主桥顶推施工关键步骤示意(第1~5步)(单位:mm)

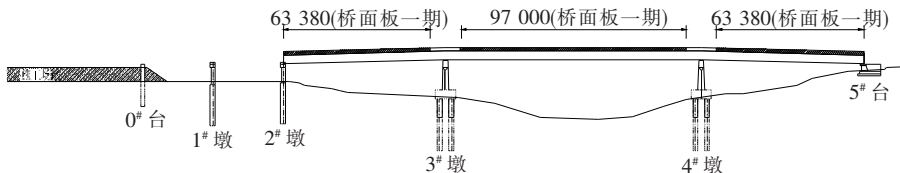
第 6 步:

通过顶推装置缓慢将全桥梁段推到设计位置。



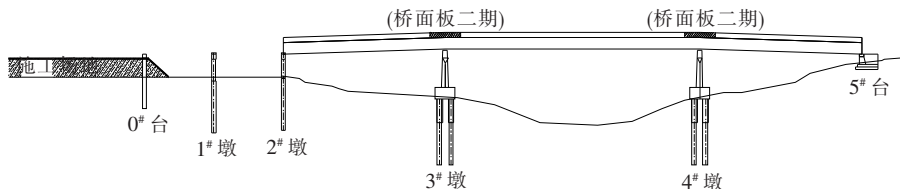
第 7 步:

① 将主梁整体缓慢降低到设计标高; ② 按图示浇注一期混凝土桥面板。



第 8 步:

① 待桥面板一期浇注完成后按图示浇注墩顶二期混凝土桥面板; ② 待桥面板强度达到预定值后将主梁缓慢下沉 20 cm, 完成桥面板混凝土预压力施工。



第 9 步:

① 施工引桥上部结构和剩余桥台; ② 施工桥面系, 完成桥梁施工。

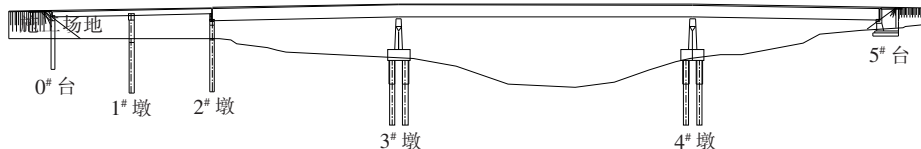


图 5 主桥顶推施工关键步骤示意(第 6~9 步)(单位:mm)

其中,前导梁按 42 m 长、自重 120 t 考虑;临时塔高 18 m,纵桥向长 2.5 m,塔自重按不大于 40 t 控制设计,临时塔两侧各设置 4 束 15—15 临时索,塔顶两侧临时索设计初张力均为 700 t,塔中部两侧临时索设计初张力均为 600 t;为避免顶推侧支承在施工过程中出现支座全部脱空,对主梁部分梁段进行了压重,当顶推主梁跨过中跨、支承于 4[#] 桥墩后,进行临时塔、索和压重的拆卸。

3.3 顶推控制工况结构计算

根据图 4 所示的施工步骤,主梁的控制工况主要为两个:① 工况 1:临时塔通过边跨时对应的主梁最不利受力状态;② 工况 2:顶推主梁至 4[#] 墩之前主梁最大悬臂状态。按以上两个控制工况分别进行建模计算。

3.3.1 工况 1:最大正弯矩验算

顶推阶段中,边跨荷载最大阶段为主塔位于跨径中心附近时的阶段,此时需严格控制主塔与支撑间距离不得大于 20 m。

工况 1 经验算得:主梁最大压应力为 177 MPa,最大拉应力为 125.6 MPa,满足要求。

3.3.2 工况 2:最大负弯矩及最大支反力验算

最大悬臂阶段为前导梁顶推跨越中跨时的最大悬

臂阶段,设计分析时,此阶段需进行必要的压重,压重采用 4 t/m。

工况 2 经验算得到:主梁最大压应力为 101.1 MPa,最大拉应力为 62.8 MPa,满足要求;考虑到此工况下中支座处主梁反力达 13 134 kN;数值较大,需对该处进行局部受力验算,经建模验算得到:

此工况下,主梁中支座区域钢板局部最高组合应力为 250 MPa,支座区钢板应力值小于 180 MPa,受力满足要求。

4 结语

云南跨怒江便桥顶推施工控制计算表明:对于钢—混组合箱梁桥(或钢箱梁)等主梁结构相对较弱的大跨结构,通过在主梁上临时增设塔索结构、并辅以导梁的措施;施工各控制工况均能满足顶推过程中结构受力和变形要求,达到顶推跨越 110 m 距离之目的(目前该项目已顺利实施完成)。随着中国桥梁技术的不断发展,顶推施工作为桥梁建设重要的施工手段之一,也必将有着更大的发展空间。

大跨度钢管混凝土桁拱桥拱脚外包段受力 分析与优化设计

孙智慧¹, 滕乐^{2*}, 秦健淇²

(1. 内江职业技术学院, 四川 内江 641000; 2. 西南交通大学)

摘要: 为研究大跨度钢管混凝土桁拱桥拱脚结构的复杂构造和受力问题, 该文以一座主跨为 280 m 钢管混凝土桁拱桥为背景, 采用 Midas/FEA 建立基于拱脚和桥面板与钢横梁详细组合单元的全桥模型, 详细计算了外包混凝土拱脚结构各构件在恒载和最不利车道荷载作用下的应力响应规律, 分析了外包混凝土对拱脚各构件的受力影响。进一步对比分析了加大拱脚钢管混凝土构件直径和加厚拱脚外包钢管壁厚两种优化方案对无外包混凝土拱脚各构件的受力影响规律。计算结果表明: ① 外包混凝土可有效减小拱脚各构件的应力; ② 对于无外包混凝土拱脚结构, 拱脚下弦杆是控制设计的关键; ③ 增加钢管混凝土拱脚上下弦杆的管径和外包钢管壁厚均可有效减小无外包混凝土拱脚下弦杆的应力; ④ 考虑施工效率和成本, 实际工程中建议采用增加钢管壁厚的无外包混凝土拱脚设计方案。

关键词: 钢管混凝土桁拱桥; 拱脚外包混凝土; 结构优化; 受力分析

1 引言

钢管混凝土组合结构因具有极限承载能力高、整体和局部稳定性好、便于施工、造价低、耗材少等优点, 近年来被广泛应用在桥梁建设中。钢管混凝土桥拱脚固结点几何形状和受力相当复杂, 且不具有普遍性, 另外, 桁架拱的主管和支管通常采用焊接的方式连接, 由于主拱上、下弦杆为钢管混凝土组合结构, 而支管为空钢管结构, 导致在主管和支管连接的节点处容易产生应力集中和疲劳问题, 此类桥型的钢混构件和拱脚局部受力问题因此成为学者们研究的热点。

刘俊杰等采用 Midas 系列软件建立拱脚局部模型, 研究了主跨为 120 m 钢管混凝土拱脚局部受力问题, 分析了拱脚在不利工况下的应力状态; 李金凯建立钢管混凝土梁组合桥的全桥模型以及拱脚实体模型, 详细分析了拱脚的受力状态, 并对拱脚工字钢和钢箱两种锚固方式进行了对比分析; 杨高等采用 Ansys 建立拱脚三维有限元模型, 分析了下承式钢管混凝土拱桥拱脚在拱肋张拉吊杆前后两种工况下的应力分布规律; 吴刚对三拱肋钢管混凝土系杆拱桥进行了数值仿真研究, 分析了不同工况下拱脚区域的应力分布规律; 陈金龙等采用数值计算的方法研究了钢管混凝土拱桥拱肋与预应力混凝土系梁连接部位在不同荷载工

参考文献:

- [1] 李传习, 邹桂生. 法国米约高架桥——7 塔斜拉桥的设计与施工[J]. 世界桥梁, 2005(4).
- [2] 赵人达, 张双洋. 桥梁顶推法施工研究现状及发展趋势[J]. 中国公路学报, 2016(2).
- [3] 邵厚坤, 周以诚, 等. 用顶推法施工的狄家河桥[J]. 铁道学报, 1979(1).
- [4] 蔺锡九. 逐段顶推架桥技术在我国的应用和发展[J]. 交通科学技术, 1991(8).

- [5] 周光强, 向剑, 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(5).
- [6] 刘迎春, 杨云安, 等. 波形钢腹板 PC 连续梁桥顶推施工过程中受力分析[J]. 公路, 2015(7).
- [7] 田启军, 陈湘林. 顶推施工中导梁的应用与锚固措施的优化[J]. 中外公路, 2003(6).
- [8] 田仲初, 张华年. 顶推施工中系梁的合理配置[J]. 世界桥梁, 2005(4).

收稿日期: 2020-05-10(修改稿)

作者简介: 孙智慧, 男, 硕士, 讲师. E-mail: 376789987@qq.com

* 通信作者: 滕乐, 男, 博士研究生. E-mail: lth74@mst.edu