

步履式顶推法的平衡控制技术研究与应用

刘俊 邹易清 刘显晖 陈立 郭世滔

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

摘要:随着国家建设的不断推进,跨线桥及跨江河域桥日益增多,对于组合结构桥梁,因其钢结构部分多为薄壁结构,有一定受力局限性,施工过程中的结构应力与线性控制难度大,为满足施工快速、安全可靠、质量完好等要求,步履式顶推法施工是较好的施工工艺。通过以昆明南连接线高速公路五标段跨线桥步履式顶推法施工为背景,针对施工过程中控制方案和控制流程进行详细设计和研究,设计出一套平衡控制策略,解决了因重心偏载、轴线偏移及底部多曲线梁的施工难题,为桥梁施工的顺利进行提供了保障,并阐述了其在工程上的应用情况。

关键词:步履式顶推 平衡控制 桥梁施工

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2017.04.005

引言

随着国家建设的不断推进,跨线桥及跨江河域桥日益增多,但建设过程中由于地理位置、气候、通车通航、桥梁结构等诸多因素的影响,施工过程中既要保证施工进度,又要保证施工安全和质量,同时跨线桥还需考虑减少封车时间。对于组合结构桥梁,采用步履式顶推法能解决施工中的结构应力与线性控制问题,能实现前后双向顶推优势,能减少跨线桥施工中临时设施掉落的风险,相比传统施工法具有安全性、实用性和先进性^[1]。

昆明南连接线高速公路五标段跨线桥主桥上部为(65+100+65)m三跨钢混结合连续梁,主桥结合梁断面形式设计为4.5m高槽型钢梁+0.3m等厚度钢筋混凝土桥面板;桥面采用双幅,每幅桥面宽度16.5m,单幅桥梁总重约1800t,顶推距离为128m。在跨南昆铁路段48.35m范围处需安装桥面板、现浇桥面板湿接缝、浇筑防撞墙、安装防抛网等,即钢主梁的重心不对称,出现前轻后重的工况,且需跨越正在营运的铁路之上,这就对顶推过程中的安全、质量和进度要求控制非常严格,对桥梁施工也提出了巨大的挑战,也对步履式顶推法施工的平衡控制技术提出了全新的要求。针对施工过程中控制方案和控制流程进行了详细设计和研究,提出了一套平衡控制策略,

引入新的控制理念和设计算法,解决了因重心偏载、轴线偏移及底部多曲线梁的施工难题,并对其应用情况进行了详细阐述。

1 施工方案分析

步履式顶推法施工融顶升、顶推、纠偏,集检测、监控为一体。在顶推施工过程中,不仅需要保证钢主梁的安全顶升,而且在顶推平移过程中需要实时对其轴线位置进行监控,当出现轴线偏移时需要实时动态纠偏,在偏差超出预设或特殊工况下实施静态纠偏,使顶推钢主梁处于安全的范围内平移。

根据跨线桥梁端的实际工况采用步履式顶推法施工,分4个阶段将128m长的钢主梁顶推至设计位置。该施工方案具有以下优点:(1)梁体顶推有着较高的适用性和安全性;(2)能较好地控制临时墩或结构墩的水平力;(3)竖向调整便捷,可有效控制各支点反力;(4)可满足结构受力局限性要求,确保梁体的整体结构性;(5)在顶推速度上有较高的提升空间;(6)数据的采集与处理功能对整个施工过程中的安全性提供了保障;(7)可进行多站点监测,实时的数据及视频实况可通过互联网共享传输,实现远程监控。

2 系统控制策略

顶推施工主要的几个控制要求:(1)顶推

施工中的数据监测；（2）竖向顶升同步性控制；（3）水平顶推同步性控制；（4）整体平衡度控制；（5）纠偏控制措施；（6）累计误差的控制。

控制主要参数要点如表1所示。

表1 控制主要参数要点

编号	项目	参数要点
1	顶推平均速度	4m/h~6m/h
2	竖向顶升同步性	同墩间最大位移差 $\leq 4\text{mm}$ 异墩间最大位移差 $\leq 5\text{mm}$
3	水平顶推同步性	同墩间最大位移差 $\leq 4\text{mm}$ 异墩间最大位移差 $\leq 5\text{mm}$
4	轴线对中性	轴线左右偏差 $\leq 6\text{cm}$

2.1 系统设计

根据方案设计及现场工况，共采用12套步履式顶推装置。其中装置主要由竖向顶升系统、水平顶推系统、纠偏系统、液压系统及控制系统组成^[2]。所有装置由1套主控制系统和12套分控制系统进行控制，其中主控制系统由工控机、显示单元、备用电源、PLC模块组组成；分控制系统由控制器（CPU单元、电源单元、I/O单元、D/A单元、A/D单元、信号放大器等）、传感器（压力传感器、位移传感器、位置传感器、光电传感器等）、数据线及控制线等组成^[3]。控制软件为组态软件，系统采用Controller%Link网络的通信连接和信号传输方式^[4]（见图1）。

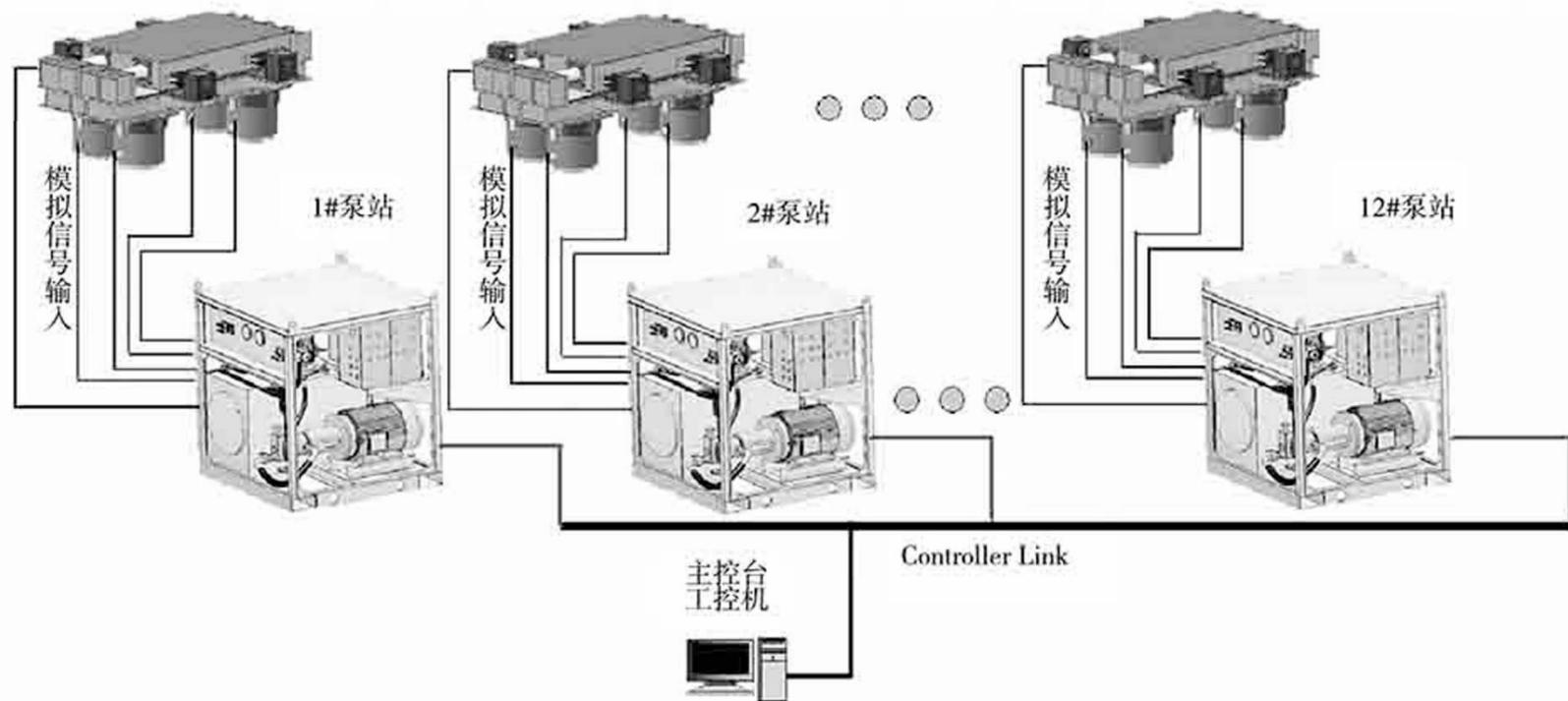


图1 顶推系统框图

2.2 系统控制流程

系统的控制流程包括系统（数据）初始化、顶升复位、顶推复位、预顶升、同步顶升、同步顶推、纠偏等，其系统控制流程如图2所示：

（1）系统初始化：对系统的数据和状态的初始化，对初始位置的调整过程；

（2）顶升复位：第一次执行时，竖向顶升系统下落至设置的初始位置，下一次循环系统自适应找寻初始位置，作同步控制下落；

（3）顶推复位：水平顶推系统回程至设置的初始位置，无同步控制要求；

（4）预顶升：设定竖向顶升系统的预顶升

力值，竖向顶升至钢主梁底部，消除装置上的顶推系统与钢主梁底部的间隙。此阶段是以力值作主要控制对象，不作同步控制。预顶升完成后的位置作为此次顶升的初始位置。预顶升力值理论上取顶推重物自重的3%~5%；

（5）顶升：设定竖向顶升系统的位移最大行程，控制其在初始位置的基础上将钢主梁顶升至设定行程位置，钢主梁离开垫箱一段距离。此阶段以位移作主要控制对象，作同步控制；

（6）顶推与纠偏：设定水平顶推系统的位移最大行程，控制其在初始位置的基础上顶推系统带动钢主梁向前平移至设定的行程位置，此阶

段以位移作主要控制对象，作水平顶推的平衡控制。若出现轴线偏离情况，执行减速顶推并自动纠偏功能，待纠偏完成后，继续全速顶推。

顶推完成后，执行顶升复位，回到预顶升位置，继续下落至初始位置。此时钢主梁落在垫箱上，完成力系转换后执行水平顶推复位。以上步骤动作作为一个循环，反复此循环，可实现钢主梁的顶推到位。

对于上述循环中，若中途需要停止系统，此时可选择短时间的暂停和长时间的急停功能。暂停不会中断循环，排除故障后可继续循环；急停则会中断循环，以系统初始化开始执行。

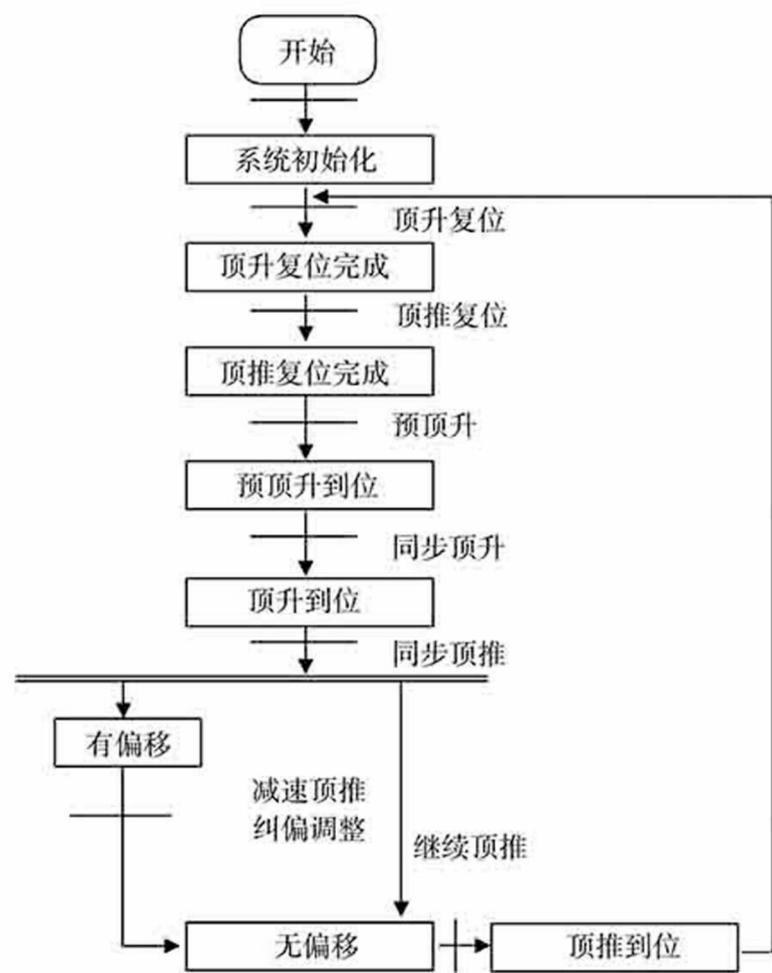


图2 系统控制流程图

2.3 系统平衡策略

整个系统所有平衡控制策略均在实时的数据采集和处理的基础上，预顶升过程采用以力值控制为主，位移控制为辅的原则；顶升与顶推过程则采用以位移控制为主，力值控制为辅的原则，取得位移值与力值间的稳态控制区域。

2.3.1 初始位置的选取与预顶升控制

在初始位置的设定和选取方面，由于重心偏

移因素的存在，随着顶推位置的变化，唯一的初始位置会使钢主梁离装置间的间隙偏差过大，导致顶升过程中钢主梁处于不平衡的状态。同时当钢主梁未设置导梁时，为克服钢主梁的下扰以方便上墩，前端需顶升的高度须高于后端，因此，系统对初始位的选取是以自适应为主，通过预顶升控制判断各装置的状态。预顶升过程中不作位移同步处理，此时以力值控制为主。如图3所示，预顶升阶段位移有所偏差，但此时装置仍处于可控与平衡状态。预顶升完成后的位置作为顶升的起点位置，顶升、顶推结束后下落至零位，此时系统自适应找寻最佳初始位置，此位置作为下一次预顶升前的起始位置，这样不仅可适应来自重物底部曲线带来的渐变波动，且能减小来自钢主梁的重心偏移导致的不平衡问题。

2.3.2 平衡控制要素

本系统中需要控制2个平衡段：竖向顶升与水平顶推过程中的平衡控制。

(1) 竖向顶升过程中的平衡控制：通过对装置中的顶升系统中执行机构的位移值的实时数据采集，对最大位移值和最小位移值循环对比处理，同系统预设值进行比较，实施控制与调节，再取其平均值与同墩间的装置的位移值比较，延伸到与异墩装置进行对比调整，设定好调整间隔，通过液压系统中流量控制，使其所有装置达到同步状态。

(2) 水平顶推过程中的平衡控制：通过对同墩间的水平顶推顶的位移值采集，以趋势调节的方法控制（即以一定的脉冲间隔采集3次经调节后的位移数值，当系统检测到数值趋势减小，则逐渐减小液压系统的流量控制增加量，当检测到趋势增大，则逐渐增大液压系统的流量控制增加量），同理，与异墩装置位移值进行比较处理，反复调节，直至达到动态平衡，如图4所示。

在竖向和水平调节与控制过程实时监控各墩间的力值，通过设定系统安全范围力值保证顶推的安全性。

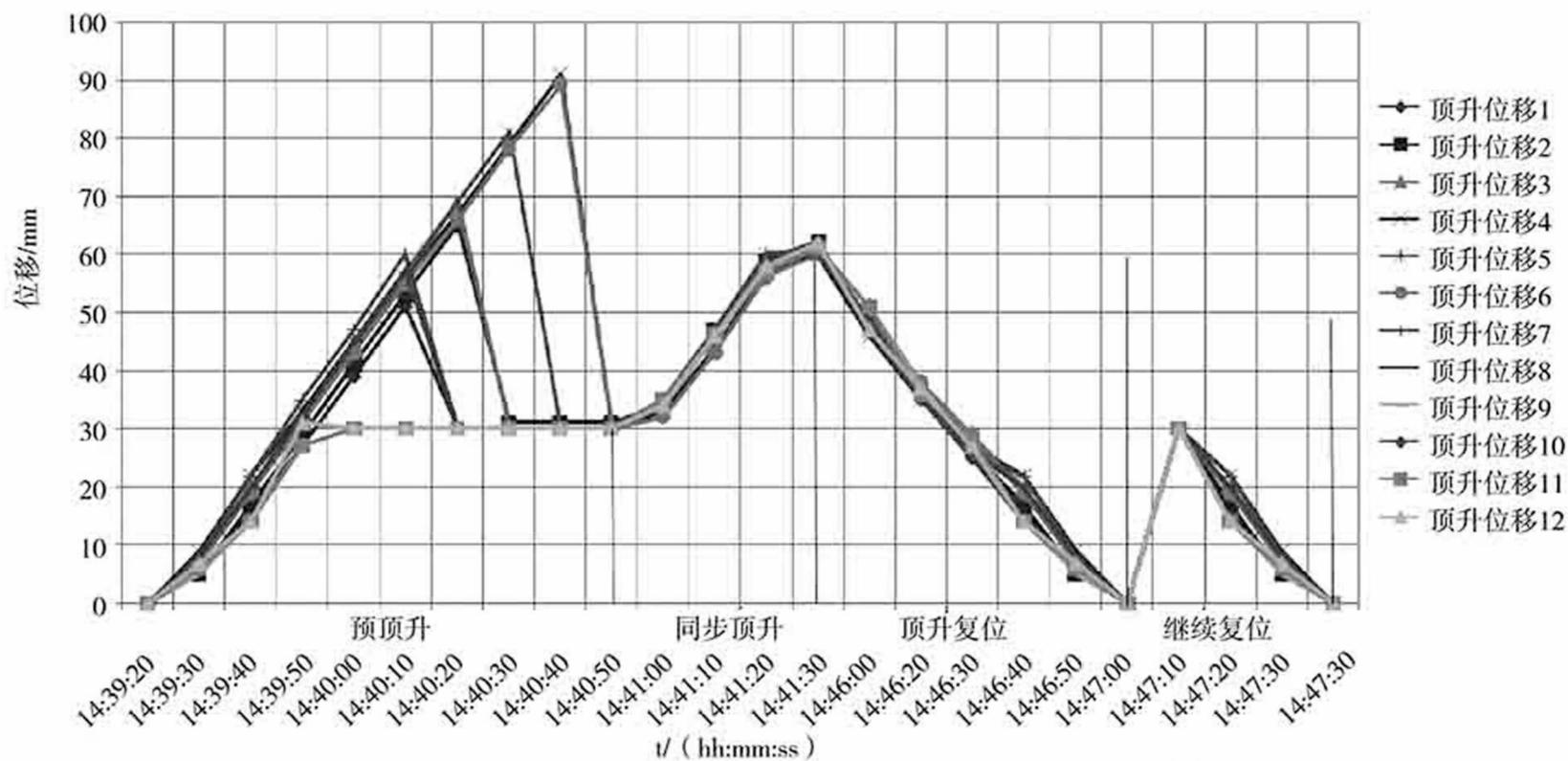


图3 一个顶推循环内各墩竖向顶升系统的位移/时间曲线

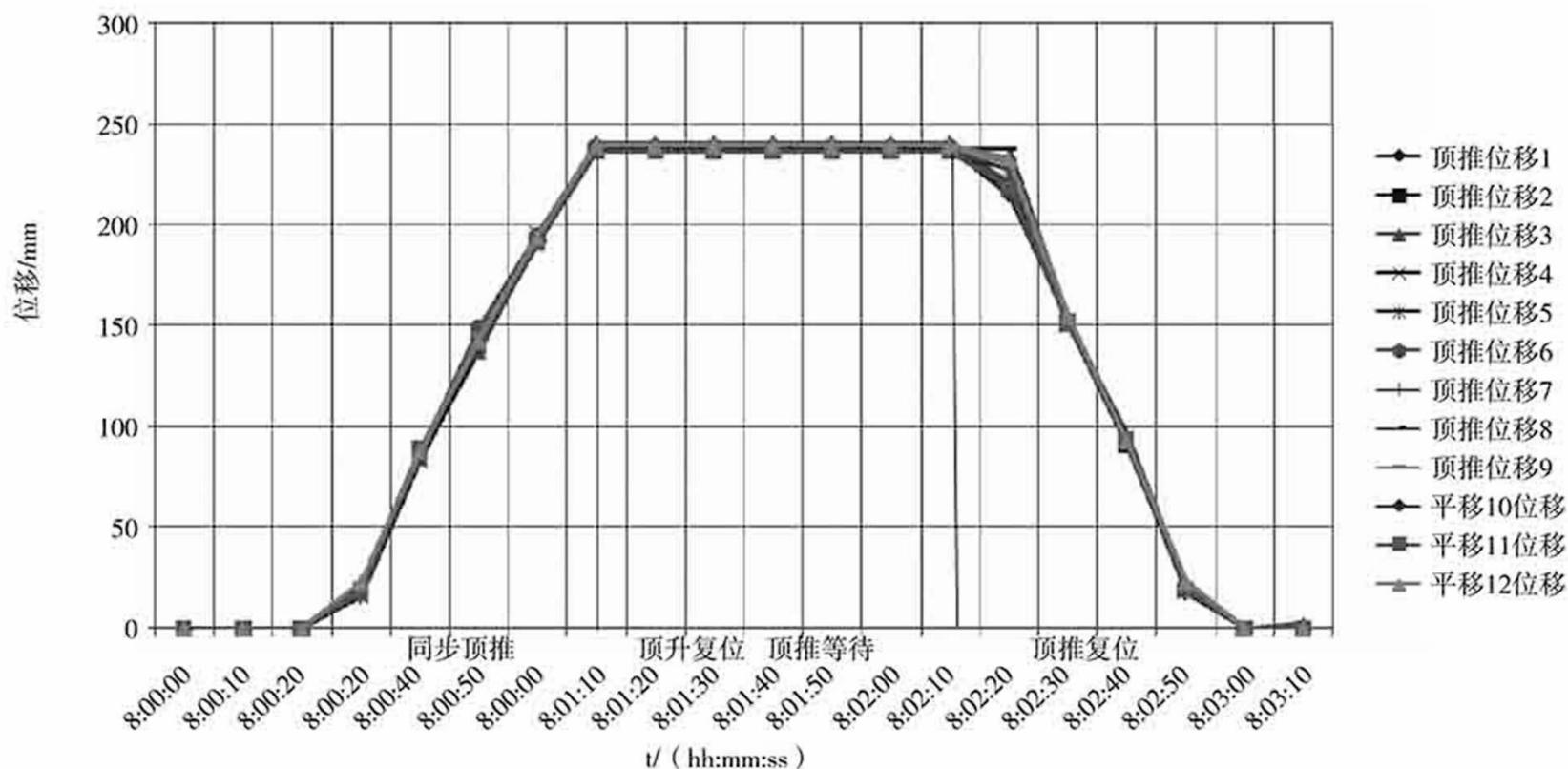


图4 一个顶推循环内各墩水平顶推系统的位移/时间曲线

3 工程应用情况及效果

昆明南连接线高速公路南昆铁路跨线桥采用步履式顶推法施工，为在西南地区桥梁施工中首次采用。该步履式顶推系统的主要优势在于系统运行稳定、安全可靠、自动化程度较高、平衡与同步性好，在状态监控和数据记录方面表现突出，顶推速度较快，综合顶推平均速度达4m/h~6m/h，顺利将左右幅钢主梁顶推128m到达预定位置，在顶推过程中对钢主梁结构几乎零损害。图5为现场应用施工图。

4 结论

本文基于步履式顶推法施工，对施工过程中的平衡控制算法进行了详细的研究，并在实际工程中得到了具体实施，且效果良好。其主要结论如下：

(1) 对重心偏移的重载梁及底部多曲线梁等引入“预顶升”概念，采用以受力值控制为主，位移监控为辅的原则，在平衡受力和消除应力上起到关键的作用。

(2) 在系统控制理论上提出了“初始位”自适应选取论，能减小机械结构中加工误差，承



图5 步履式顶推系统施工现场图

重结构的建设高差等对顶推过程中的影响，能适应顶推物体的底部曲线、纵向弧度等。

(3) 在平衡控制算法上，提出了“同步顶升，对不同类型及功能的执行机构上采取两种不同的控制算法，比如竖向同步性，采取是最大值与最小值、平均值的循环比较法。水平顶推的平衡性，采用脉冲前后增量值的比较法进行调节，在工程实际应用上得到了很好的验证。

(4) 在轴线偏移的工况中，采用静、动态纠偏形式。减速平移过程中纠偏，大大地提高了顶推效率。

(5) 此次研究的平衡控制算法在西南地区桥梁施工中首次采用，在顶推施工过程中运用稳定、安全可靠、自动化程度高、平衡与同步性好，顶推速度上有了很大的突破，在步履式顶推法施工的技术上是一大飞跃。

信息视窗

《预应力技术》约稿函

《预应力技术》前身为《OVM通讯》和《海威姆预应力技术》。《OVM通讯》创办于1997年，《海威姆预应力技术》创办于2000年。2004年，合并为《预应力技术》。由中国科学技术发展基金会欧维姆预应力技术发展基金和柳州欧维姆机械股份有限公司联合主办，双月发行，截止至2016年12月已发行119期。《预应力技术》由我国著名桥梁专家、两院资深院士李国豪题写。目前，《预应力技术》在业内已具有较大的影响，被CNKI中国期刊全文数据库、SWIC中文科技期刊数据库和Airiti Library（台湾华艺线上图书馆）等数据库全文收录。

一、宗旨：为预应力技术行业提供一个学术讨论的园地，以便利于交流预应力技术经验，活跃预应力学术气氛，推广预应力技术的应用，促进预应力技术的发展。

二、栏目设置：《预应力技术》开辟预应力技术工程设计与施工、预应力产品开发与应用、预应力技术研讨与交流，新技术、新材料、新结构、新产品的介绍与信息等栏目，刊登国内外有关预应力方面的技术文章与报道。它的发送对象为我国高等院校、科研部门、设计施工单位及有关专家、学者、工程技术人员。

三、征稿对象：凡工作或研究方向涉及预

应力技术，包括桥梁、建筑、水利水电、岩土锚固等领域的广大专家、学者及工程技术人员。

四、来稿须知：

1、为了提高《预应力技术》质量，现长期向国内外的专家、学者、工程技术人员等征集稿件。来稿一经发表，编辑部按规定支付稿酬，并赠送样刊，欢迎您投稿并来函来电。

2、来稿不涉及保密、署名无争议等，文责自负。编辑部有权对文稿进行删改，如不同意删改，请投稿时注明，因工作量大，请作者自留底稿，恕不退稿。

3、来稿请附作者简介，内容包括出生年月、性别、职称、职务、学历、主要荣誉及联系方式（通讯地址/邮编/电话/电子邮箱）。投稿2个月后如无接到采用通知，可另行处理。

《预应力技术》编辑部

稿件寄送及联系地址：广西柳州市阳和工业园阳惠路1号《预应力技术》编辑部

邮编：545006

电话：0772-3116594

传真：0772-3116594

电子信箱：yyljs@ovm.cn

联系人：王英 陆劭红