

步履式顶推系统的控制策略研究

刘俊 吕振刚 彭先振 郭世滔 彭莎

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:随着国家建设的不断推进,跨线桥及跨江河流域桥也日益增多,但建设过程中由于地形位置、气候、通航通车等诸多因素影响,通用的架桥设备难以满足其施工要求。现采用一种步履式顶推施工工法,此工法所需的装置是一套集顶推、平移、横向纠偏于一体的新一代桥梁顶推施工装置,其施工方法是多点同步顶推移梁,装置内设滑动面,滑动面不在主梁底部,可有效保证顶推装置与主体结构的接触,改善主体结构受力,对主体结构几乎零损伤。本文主要针对该装置的控制系统的控制策略及设计算法进行研究,并结合实际工况,阐述一些关于步履式顶推的控制理论及研究方向。

关键词:步履式顶推 控制策略 设计算法

1 设计背景

目前,铁路建设正处于大建设时期,铁路法已明确规定:针对跨既有线路桥梁采用可减少封车时间的转体法或顶推法。对于大跨径桥梁,由于其顶推重量重,顶推跨径大,结构受力复杂,为保证桥梁的整体结构性,故采用整体顶推法施工。某地区跨线桥位于半径为1000m的圆曲线和缓和曲线上,桥梁全长997.08m。桥面采用双幅,每幅桥面宽度16.5m,位于3.5%的上坡和0.3%的下坡,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为4.5m高

度槽型钢梁+0.3m等厚度钢筋混凝土桥面板,全桥梁高4.8m,使用步履式顶推装置,分四个阶段将128m长的钢主梁顶推至设计位置。单幅桥梁顶推总重约1800t,单次顶推行程约0.25m,顶推平均速度3m/h~4m/h。

2 设计思路

按照方案设计及现场工况,需同时运行的步履式顶推装置共十二套(如图1所示),其中单套步履式顶推设备主要由滑箱、滑道、竖向顶升千斤顶、水平平移千斤顶、纠偏装置、液压泵站及分控制系统组成。十二套步履式顶推装置共用一套主控制系统。

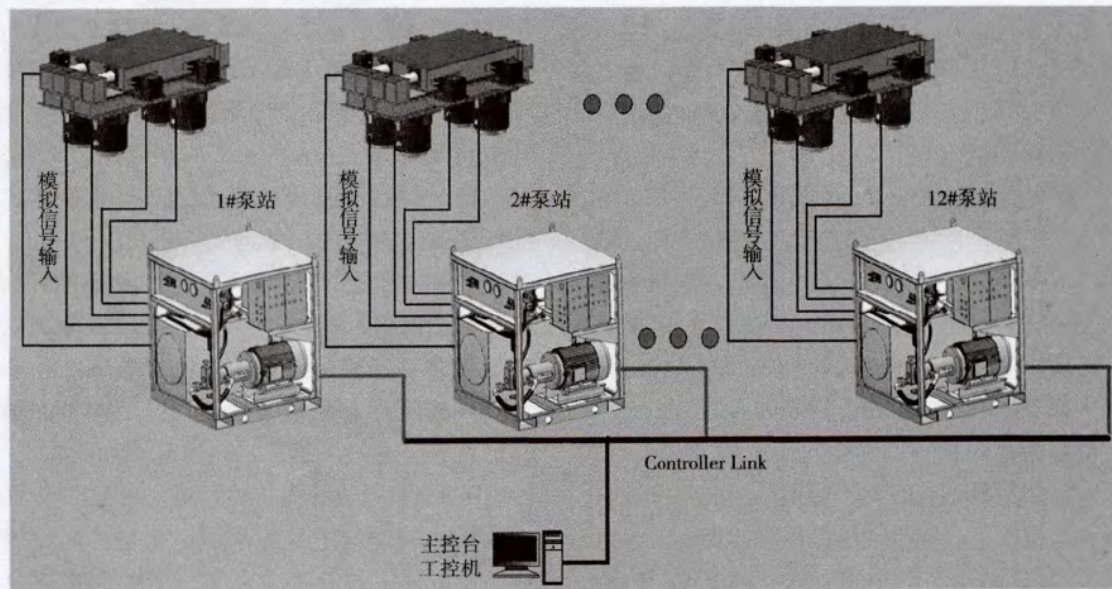


图1 系统框图

主控制系统采用分布式计算机网络控制系统, 仅需1个主控台。考虑到系统的可靠性、稳定性和操控性, 主控台内由工控机、液晶显示屏、备用电源、PLC模块等组成, 操作软件为组态软件。采用屏蔽双绞线作为Controller Link网络的通信介质, 介质访问方式为令牌总线方式(如图2)。每套分控制系统均可向主控制系统或其它分控制系统发送及接收信息, 隶属同一个网络共享信息平台。分控制系统将采集到的模拟信号, 通过分控制系统内的CPU处理转换为数字信号, 通过网络访问传送至主控制系统, 主控制系统再按照一定的控制程序和算法, 控制传动机构的响

应时间及顺序, 完成集群执行机构的协调工作, 同时记录实时数据和报警信息, 并保存数据信息。

分控制系统由控制器、传感器、数据线及控制线等组成。每套分控制系统上都附有触摸屏, 用于监控分控制系统状态和数据。分控制系统内含有一个控制器, 控制器包括CPU单元、电源单元、I/O单元、D/A单元、A/D单元。控制器负责将采集到并处理过的信息, 传送至触摸屏上和主控制系统上显示用于监控, 每台控制器可以独立操纵与之相连接的分控制系统, 在联网状态下可以响应主控制系统发出的命令。为了适应特殊情况, 每套分控制系统还具有有线遥控控制功能。

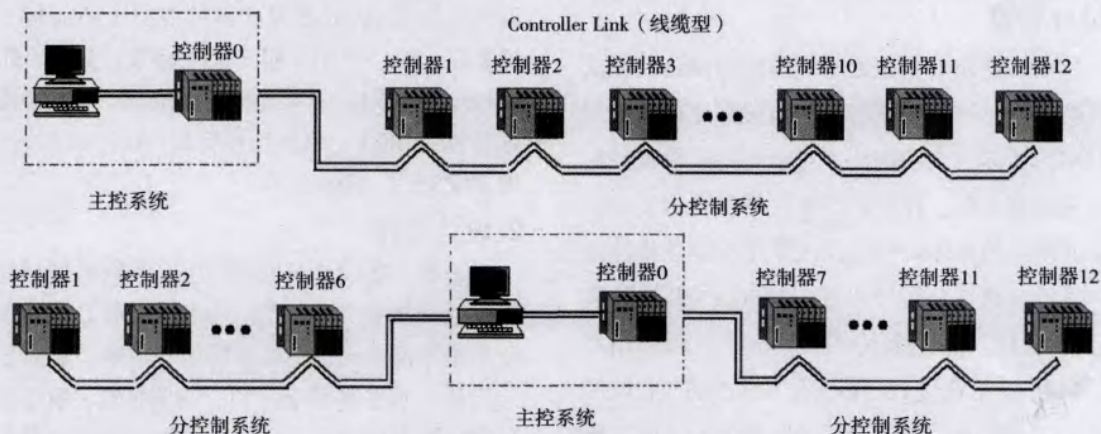


图2 主、分控制系统网络组成框图

3 系统及控制策略

整个系统的可控制输入点共400多点, 输出点将近300多点, 模拟量输入点达近百个。输入点主要集中为状态位和选择位的输入, 输出点为控制电磁阀群组, 模拟量输入为压力传感器和位移传感器的信号输入, 此外还需控制两组模拟量输出点, 故整个系统属中型较复杂控制系统。结合工程实际, 其控制策略有几个难点, 也是关键点, 分别是: 同步控制策略、初始位的选择策略、对象控制策略、数据处理策略、信息响应策略, 下面分别就这几点进行分析及探究:

3.1 同步策略

在控制集群系统方面, 特别是工况要求控制精度较高情况下, 同步性能是控制的难点。为更好的控制系统的同步性, 则加入“基准位”的概念设计, 基准位的选择原则上为负载承载量最重

的分控制系统, 在负载承载量转移时, 需调整对基准位的选择。同步控制策略以位移差值作为参考控制, 控制精度为毫米级, 不同分控制系统间采用PID增量式同步调节策略, 独立的分控制系统中同类的执行机构间采用平衡同步调节策略。

PID增量式同步调节: 用通常的控制方式对液压电磁阀的控制, 流量的控制和电磁阀的响应控制是不太稳定的。为保证系统的稳定性和精密性, 采用PID控制算法对液压系统的控制, 以模拟、仿真和经验值, 去拟合同步调节的预期线形, 从模糊控制到精确控制, 以求同步的精准性。首先, 通过系统的液压原理(如图4), 来绘出PID控制算法的简化示意图(如图3)。同步控制所需控制的不是控制量, 而是控制量的增量, 所以采用增量式PID控制。其控制算法为:

比例+积分+微分控制公式

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

K_p —比例放大系数

T_i —积分时间

T_d —微分时间

由(1)可以得出控制器的第 $k-1$ 个采集时间的公式:

$$u_{k-1} = K_p [e_{k-1} + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^{k-1} e_j + T_d \frac{e_{k-1} - e_{k-2}}{T}] \quad (2)$$

将(1)与(2)相减并整理,得出增量式PID的计算公式:

$$\begin{aligned} \Delta u_k &= u_k - u_{k-1} \\ &= K_p [e_k - e_{k-1} + \frac{T}{T_i} e_k + T_d \frac{e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}}{T}] \quad (3) \\ &= K_p (1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T}) e_k - K_p (1 + \frac{2T_d}{T}) e_{k-1} \\ &\quad + K_p \frac{T_d}{T} e_{k-2} \\ &= A e_k - B e_{k-1} + C e_{k-2} \end{aligned}$$

其中

$$A = K_p (1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T})$$

$$B = K_p (1 + \frac{2T_d}{T})$$

$$C = K_p \frac{T_d}{T}$$

由(3)可以看出,只要控制系统采用恒定的采集周期 T ,通过确定 A 、 B 、 C 的值,使用前后三次的偏差值,就能得出控制增量。

以水平方向平移同步控制为例:将1#千斤顶作为主动点及比较基准位(速度恒定),2#千斤顶为随动点并与1#千斤顶的速度(位移值)比较。取 $A=2$, $B=3.5$, $C=1$,以一定的采集周期,逐次采集1#、2#千斤顶的位移差值,通过公式(3)得出调节幅度,通过对比例阀的开口值进行算术运算,来控制比例阀的流量输出,以达到稳定的动态平衡(如图5)。

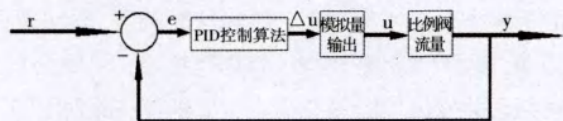


图3 增量式PID控制算法的简化示意图

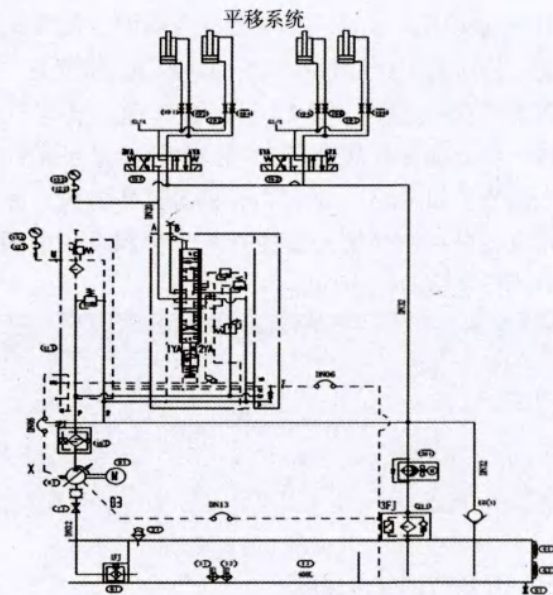


图4 平移系统液压原理图

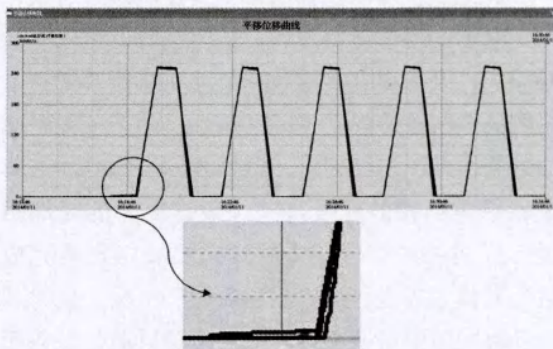


图5 增量式PID控制同步调节效果图

平衡同步调节:以一定的时间间隔,获取各个监测点的数值,从中取最大值和最小值,以最大值和最小值的差值与系统预设值作比较,超出该值进行调节,调节是以关断的形式,待差值趋于预设值时导通,以此达到平衡。其公式算法如下:

$$y_{max} = \max\{f(a_1), f(a_2), f(a_3), f(a_4)\}; \quad (4)$$

$$y_{min} = \min\{f(a_1), f(a_2), f(a_3), f(a_4)\}; \quad (5)$$

$$y_{max} - y_{min} > \delta$$

$$Q[\max f(a_n)] = 0$$

δ —系统预设值

a_n —实时位移值, n 代表编号

Q —输出电平

以竖直方向顶升同步控制为例:1#、2#、3#、4#千斤顶以一定的速度竖直顶升,但由于受

力不均等因素影响,速度会有所不同,假设速度(位移值) $1\#>2\#>3\#>4\#$,且 $1\#-4\#>$ 预设值,则系统会关断 $1\#$,待 $1\#-4\#<$ 预设值,再导通 $1\#$ 。如此循环比较调节,达到各个点的平衡同步调节(如图6)。通过以上两种同步方式,能完成各分控制系统间及独立的分控制系统中同类执行机构的同步功能。

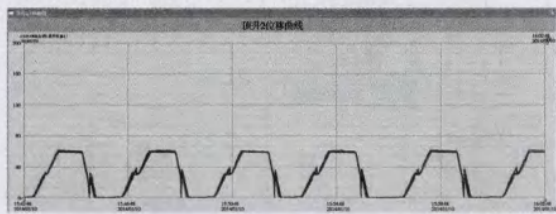


图6 平衡同步调节效果图

3.2 初始位的选择策略

此系统主要以位移值作主要控制参考对象,对于众多的位移值监测点,如何选取位移值的初始位值,来获得真实有效的位移实时值,于整个系统的控制策略起到关键性作用。由于工程工况的复杂性和不定性因素,譬如机械结构的加工误差,承重结构的建设高差,顶推物体的底部曲线、纵向弧度等。在步履式顶推装置安装完成后,其位置需进行调整以适应现场工况,此时装置的竖向位置可通过调节初始位置供调整设备摆放平衡度,可调整各个步履式装置与顶推物底部接触面间的间隙。随着顶推物的底部曲线的过渡,在顶推循环过程中,系统会自动找寻各个监测点的位移初始值。在顶举重物前,原始位置基础上,先进行的是预顶升过程,此过程是消除步履式装置与重物底部间的间隙,预顶升过程完成后的当前位置是作为此次顶举的第二次初始位,顶举和顶推完成后,在下降重物至第二次初始位后,再下降当前初始位以下一定的距离作为下一次顶举的原始位置,如此循环后,初始位已在不断的变化,不过也可以通过设定回到最初的原始位置(如图7)。初始位的选择策略是以系统自适应选取为主,这样可适应来自重物底部曲线带来的渐变波动。

3.3 对象控制策略

在针对较大吨位的重物的顶举,采用以位移作控制对象还是以力值作控制对象?当以力值作

控制参考对象时,对重物的受力及内部应力变化、步履式装置的荷载平衡有较大的受益,但对于步履式装置的偏转和重物的旋转是不可控的,这样危险系数较高。当以位移作为控制参考对象时,对步履式装置的荷载存在偏载隐患,重物底部的应力可能会有偏集中现象。两者均存在优点和缺陷,纵观综合因素,采取折中的方式,以位移作为主要控制参考对象,力值控制为辅,取得位移与力值间的稳态区域,以一定的安全力值差内,使得装置平稳、同步顶举重物(如图8)。

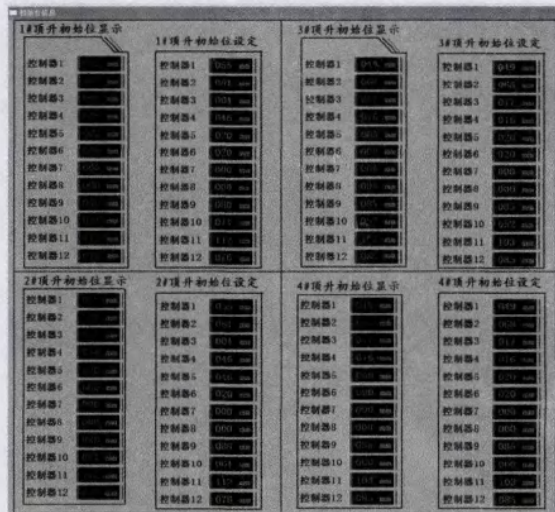


图7 初始位显示及设定界面

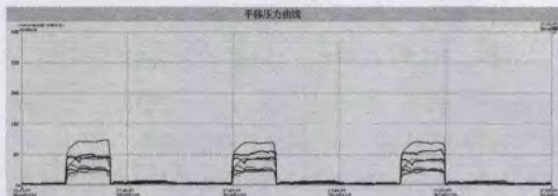


图8 位移作控制对象时的压力曲线

3.4 数据处理策略、信息响应策略

整个系统的数据库是庞大的,在对数据进行处理方面,采用组态软件对其整个系统的有效数据进行实时记录,并对运行过程中的数据以曲线的显示方式呈现,生成的数据建立数据库,以excel表格进行自动保存(如表1,表2)。在产生的报警类信息实行高中低等级报警响应,对出现错误、故障性报警及高级临界性报警,系统会自动判别并发出中断紧急命令,立即停止系统,确保系统处于安全、稳定的状态。

表1 压力实时数据记录

日期	时间	控制器1			控制器2			控制器3			控制器4			...	控制器12		
		顶升压力1	顶升压力2	平移压力	顶升压力1	顶升压力2	平移压力	顶升压力1	顶升压力2	平移压力	顶升压力1	顶升压力2	平移压力		顶升压力1	顶升压力2	平移压力
2014-1-6	15:39:30	0.4	0.7	0.3	0.5	0.5	0.2	0.7	0.7	0.4	0.3	0.5	0.1		0.4	0.4	0.2
2014-1-6	15:39:40	0.6	0.7	0.4	0.5	0.6	0.2	0.7	0.6	0.4	0.4	0.5	0.1		0.4	0.4	0.2
2014-1-6	15:39:50	0.6	0.6	0.4	0.5	0.7	0.2	0.7	0.7	0.4	0.4	0.5	0.1		0.5	0.5	0.2
2014-1-6	15:40:00	0.8	1.1	0.3	0.9	1	0.2	0.7	0.7	0.4	0.5	0.6	0.1		1.9	2	0.2
2014-1-6	15:40:10	0.7	1	0.2	0.8	0.9	0.1	0.7	1.1	0.3	1.2	0.6	0		1.8	1.9	0.2
2014-1-6	15:40:20	0.7	1	0.1	0.8	0.9	0.1	0.6	0.9	0.2	0.9	0.6	0		1.6	1.6	0.1
2014-1-6	15:40:30	4.9	5.3	0.4	4.2	4.5	0.2	1.1	1.1	0.4	1.1	1.1	0.1		7.5	7.3	0.2
2014-1-6	15:40:40	6.1	6.1	0.4	4.5	5.1	0.2	0.8	0.8	0.4	1.2	1.3	0.1		10.4	10.4	0.2
2014-1-6	15:40:50	6.1	6.2	0.5	3.7	6.4	0.2	0.8	0.8	0.4	0.7	1.1	0		11.5	8.7	0.2
2014-1-6	15:41:00	5.8	5.8	0.2	3	6.8	0.1	0.8	1.1	0.3	0.4	0.9	0	...	12.1	8.4	0.2
2014-1-6	15:41:10	5.8	5.8	0.2	3	6.7	0.1	0.8	1	0.3	0.4	0.9	0		12	8.4	0.1
2014-1-6	15:41:20	5.8	5.8	0.2	3	6.7	0.1	0.8	1.1	0.2	0.4	0.8	0		12	8.4	0.2
2014-1-6	15:41:30	5.6	6.1	9.5	3.2	6.7	4.2	0.6	1	4.5	0.4	0.8	1.5		12	8.5	1.3
2014-1-6	15:41:40	6.1	5.8	7.4	3.4	6.5	7.5	0.9	1	3.7	0.5	1	4.4		12.6	8.1	10
2014-1-6	15:41:50	6.5	5.6	6.2	3.7	6.1	5.3	0.9	1	3.4	0.6	0.9	3.1		13.2	7.9	7.6
2014-1-6	15:42:00	6.5	5.6	8.9	3.9	5.9	6.5	0.9	0.9	3.9	0.7	0.9	3.2		13.8	7.6	7.1
2014-1-6	15:42:10	6.8	5.4	8.6	4.1	5.6	7.4	0.9	0.9	4.2	0.8	0.8	4.2		14.5	7.3	8.7
2014-1-6	15:42:20	12.3	11.5	0.6	10.7	11.2	0.7	6.6	6.5	0.7	8	8.1	0.5		12	12.4	0.4
2014-1-6	15:42:30	7.3	7.7	0.7	7.8	7.7	0.8	6.5	6.6	0.7	7.6	7.9	0.6		4.9	8.8	0.4
2014-1-6	15:42:40	7.1	7.6	0.7	7.6	7.4	0.7	6.4	6.5	0.7	7.4	7.6	0.5		3.4	3.4	0.4

表2 位移实时数据记录

日期	时间	控制器1					控制器2					...	控制器12				
		顶升1位移	顶升2位移	顶升3位移	顶升4位移	平移位移	顶升1位移	顶升2位移	顶升3位移	顶升4位移	平移位移		顶升1位移	顶升2位移	顶升3位移	顶升4位移	平移位移
2014-1-6	15:39:30	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0		1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
2014-1-6	15:39:40	12.0	12.0	11.0	11.0	0.0	13.0	13.0	12.0	12.0	0.0		13.0	13.0	13.0	13.0	0.0
2014-1-6	15:39:50	24.0	24.0	23.0	23.0	0.0	25.0	25.0	24.0	24.0	0.0		25.0	25.0	25.0	25.0	0.0
2014-1-6	15:40:00	30.0	30.0	30.0	30.0	0.0	30.0	30.0	30.0	30.0	0.0		37.0	37.0	38.0	38.0	0.0
2014-1-6	15:40:10	30.0	30.0	30.0	30.0	0.0	30.0	30.0	30.0	30.0	0.0		30.0	30.0	31.0	31.0	0.0
2014-1-6	15:40:20	30.0	30.0	30.0	30.0	0.0	30.0	30.0	30.0	30.0	0.0		30.0	30.0	31.0	31.0	0.0
2014-1-6	15:40:30	35.0	35.0	36.0	36.0	0.0	38.0	38.0	35.0	35.0	0.0		36.0	36.0	37.0	37.0	0.0
2014-1-6	15:40:40	48.0	48.0	47.0	47.0	0.0	50.0	50.0	46.0	46.0	0.0		47.0	47.0	48.0	48.0	0.0
2014-1-6	15:40:50	60.0	60.0	60.0	60.0	0.0	61.0	61.0	58.0	58.0	0.0		58.0	58.0	59.0	59.0	0.0
2014-1-6	15:41:00	60.0	60.0	60.0	60.0	0.0	62.0	62.0	60.0	60.0	0.0	...	60.0	60.0	61.0	61.0	0.0
2014-1-6	15:41:10	60.0	60.0	60.0	60.0	0.0	62.0	62.0	60.0	60.0	0.0		60.0	60.0	61.0	61.0	0.0
2014-1-6	15:41:20	60.0	60.0	60.0	60.0	0.0	62.0	62.0	60.0	60.0	0.0		60.0	60.0	61.0	61.0	0.0
2014-1-6	15:41:30	60.0	60.0	60.0	60.0	12.0	62.0	62.0	60.0	60.0	2.0		60.0	60.0	61.0	61.0	13.0
2014-1-6	15:41:40	60.0	60.0	60.06	60.06	63.0	62.0	62.0	60.0	60.0	66.0		60.0	60.0	61.0	61.0	64.0
2014-1-6	15:41:50	60.0	60.0	60.0	60.0	114.0	62.0	62.0	60.0	60.0	118.0		60.0	60.0	61.0	61.0	116.0
2014-1-6	15:42:00	60.0	60.0	60.0	60.0	165.0	62.0	62.0	60.0	60.0	164.0		60.0	60.0	61.0	61.0	164.0
2014-1-6	15:42:10	60.0	60.0	60.0	60.0	221.0	62.0	62.0	60.0	60.0	219.0		60.0	60.0	61.0	61.0	219.0
2014-1-6	15:42:20	58.0	58.0	57.0	57.0	248.0	60.0	60.0	57.0	57.0	249.0		57.0	57.0	58.0	58.0	250.0
2014-1-6	15:42:30	32.0	32.0	31.0	31.0	248.0	32.0	32.0	29.0	29.0	249.0		33.0	33.0	33.0	33.0	250.0
2014-1-6	15:42:40	26.0	26.0	22.0	22.0	247.0	24.0	24.0	21.0	21.0	248.0		37.0	37.0	37.0	37.0	250.0

4 控制步骤

在实际工程施工使用中,使用步履式顶推施工法对长128m,重约1800t的钢主梁的顶推控制步骤分为以下部分:

4.1 预顶升钢主梁

控制竖向顶升顶以一定的预顶升力接触钢主梁底部,消除步履式顶推装置上的滑箱与主梁底部的间隙。此阶段是以力值做主要控制参考对象,不作同步控制。预顶升结束后的位置作为当前顶升初始位。单套步履式顶推装置的预顶升力一般取主梁重量的3.3%,约60t。

4.2 顶升钢主梁

设定竖向顶升顶的位移最大行程,控制其在初始位的基础上将整个钢主梁顶起至设定行程,钢主梁离开垫箱一段距离。此阶段以位移作主要控制参考对象,作同步控制。

4.3 平移顶推钢主梁前移

控制系统同步控制平移顶,推动滑箱带动钢主梁向前移动至设定好的行程位置,钢主梁前移。

4.4 钢主梁下降至垫箱,进行力系转换

竖向顶升顶下落回程,回到预顶升位置下一段距离,此位置作为下次预顶升前的初始位置,此时钢主梁落在垫箱上,完成力系转换;然后水平平移顶回程,带动滑箱回到初始位置。

经过一个循环,钢主梁被前移了一段距离。

以上4步骤动作为一个循环,反复此循环,可实现钢主梁的顶推平移就位(如图9)。

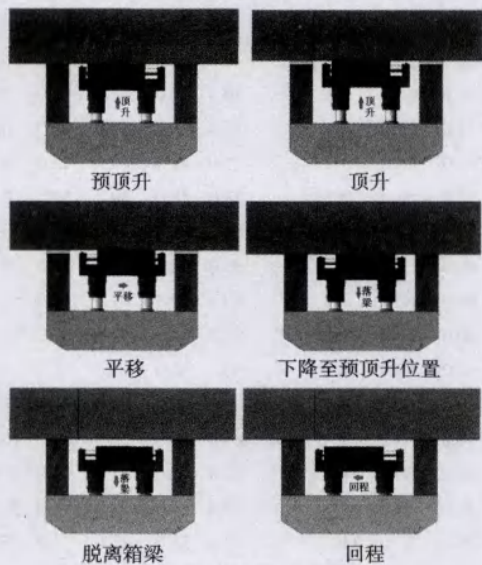


图9 步履式装置顶升平移循环过程

5 结论

采用步履式顶推施工法,对于一些跨线桥的梁体顶推有着较高的适用性和安全性。相对传统的拖拉式顶推有一定的优越性,整幅多点连续顶推法施工能够较好的控制临时墩或结构墩的水平力;竖向调整便捷,可有效控制各支点反力;可采取措施满足结构受力局限性要求,确保了梁体的整体结构性,且在顶推速度上有较高的提升空间。在控制系统上,虽表现的繁琐和庞大,但是对整个施工过程中的状态监控和数据记录,给施工的安全性提供了保障,内部的数据为技术研究提供了有利的依据和资料。在控制系统中还有两个方面需要去研究:

(1) 自动动态纠偏

在进行顶推施工过程中,往往有种种因素导致顶推重物偏移了轴线,此时需要步履式顶推装置上的纠偏系统对其纠正,目前采用静态纠偏,这种方式缺点是纠偏耗时较长。而采用动态纠偏,即在重物顶推平移过程中,出现轴线偏移时,系统实时对其轴线位置的掌控和调正,这在控制上将实现了全智能识别和响应系统。但是对于大吨位重物的轴线偏移,可能是同侧偏移,也可能是扭转偏移。怎样实现动态纠偏,如何准确的控制纠偏装置的力系变化,这将是一门大课题的研究。

(2) 在线视频监控和互联网共享传输

步履式顶推施工法发展至今,步履式顶推装置也在性能上不断更新优化,基本满足工程施工应用。但是使用在大跨径跨线桥上时,由于多站点监测,可能会存在监测热区或监控盲角,故需在关键的位置处安装视频监控装置,用以有效的监控实时工况,确保施工安全。实时的数据及现况可通过互联网传输,远程共享监控,这样对步履式顶推装置在安全性和实用性上将是一个较高的技术飞跃。

参考文献

- [1] 《组态王6.53使用手册》. 亚控公司, 2007
- [2] 胡寿松. 自动控制原理第5版[M]. 科学出版社, 2013.1
- [3] 黄永红. 电气控制与PLC应用技术第1版[M]. 机械工业出版社, 2011.9
- [4] 方承远, 张振国. 工厂电气控制技术第3版[M]. 机械工业出版社, 2009.1