

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.01.007

PWM 液压控制多点同步顶升系统设计*

周重威, 杨自建, 汤关荣
(宁波赛维思机械有限公司, 浙江 宁波 315135)

摘要: 针对桥梁建设、改造、维修工程中定位精度差、可靠性低以及质量和安全等问题,将可编程逻辑控制器(PLC)技术和脉宽调制(PWM)技术应用到液压多点同步顶升系统中。该系统通过 PLC 控制脉冲信号的周期和占空比来调节电磁阀的开闭频率,实现了多点(液压缸)负载不均同步升降;分析了该液压同步顶升系统的工作原理,给出了系统软硬件实现方式;利用组态软件监视与控制各顶升点(液压缸)实时运动情况,实现了对该系统压力、位移以及故障的实时远程监控。实际应用结果表明,该系统运行稳定,能满足现场工作要求。

关键词: 脉宽调制; 液压控制; 多点同步顶升系统; PLC

中图分类号: TH137; TH39 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)01-0031-04

Hydraulic multi-point synchronized lifting system based on PWM

ZHOU Chong-wei, YANG Zi-jian, TANG Guan-rong
(Ningbo Saivs Machinery Co., Ltd., Ningbo 315135, China)

Abstract: Aiming at solving the problem of low positioning precision, low reliability, quality and safety on bridge construction, reconstruction and maintenance, a hydraulic multi-point synchronized lifting system based on programmable logic controller(PLC) and pulse width modulation(PWM) was designed. In the system, the on/off frequency of the electromagnetic valve was controlled by the PLC-based pulse signal. The multi-point (hydraulic cylinder) synchronized movements of unbalanced load was realized. After analysis of principle, the method of software and hardware was given. Remote control of the pressure, displacement and breakdown was realized by the controlling of each point movement using KingView. The practice results indicate that the system runs steadily, meets the requirements of field work.

Key words: pulse width modulation(PWM); hydraulic control; multi-point synchronized lifting system; PLC

0 引 言

随着我国经济的平稳快速发展,铁路、公路、轻轨交通建设,特别是快速(高速)铁路、高速公路建设已得到并将继续高速发展。截至2011年底,全国高速铁路营业总里程已达到约1.1万公里,居全球第一,到2015年将达到1.6万公里。2011年末,高速公路总里程达8.5万公里,通车总里程达7.8万多公里,仅次于美国居世界第二位,2015年将达到11万公里。因而大型桥梁的新建工程、改造工程不断增多。随着经济的发展,通行于高速铁路、公路的交通量与重载交通骤

增,作为高速铁路、公路重要组成部分的桥梁也承受着日益繁重的交通压力。高速铁路、公路昼夜不停运营的特点对桥梁的安装或改造、维修技术提出了较高的要求,因此对于大型箱梁、桥梁支座更换维修、定位安装、顶升调坡、整体加高的 PLC 大吨位液压控制多点同步顶升系统装备的需求越来越多^[1]。

国外大型建筑物平移技术最早开始于20世纪20年代,在发达国家,该项技术已发展到相当高水平,并有多家工程化公司。1901年美国衣阿华大学采用转向技术将重约60 000 kN的科学馆整体平移,该馆历经一百多年的考验,仍在使用中。随着整体平移技术

收稿日期: 2012-07-27

基金项目: 科技部科技型中小企业技术创新基金资助项目(09C26113311366)

作者简介: 周重威(1971-),男,浙江宁波人,总工程师,主要从事机电液技术方面的研发工作。E-mail: HD@saivs.com

的发展,一些附属设备也应运而生。

在梁体同步顶升过程中,由于PLC的I/O响应滞后^[2],液压回路存在流量压力波动、工作负荷偏载、系统安装误差积累等因素造成定位精度差等问题^[3]。尤其在多点(多油缸)控制过程中,控制方案及策略是否合适直接影响系统控制精度及可靠性^[4],其调平精度又直接影响大型桥梁的安装工程质量和运行安全。为适应不同桥梁建设、改造维修工程的市场需求,研发经济实用的PWM液压控制多点同步顶升系统非常必要。

本研究主要探讨PWM液压控制多点同步顶升系统设计。

1 箱梁顶升对多点同步液压顶升控制系统的要求

1.1 顶升力控制

桥梁或箱梁结构形式各异,且负载质量分布不均,故分散布置在其下的各点的承载力也不尽相等,液压系统应满足各液压缸压力自动调整,以适应各分散点负载。称重阶段中系统通过对顶升力合理控制以完成桥梁或箱梁试顶升,同时保证桥梁或箱梁的内应力最小。

1.2 位置同步控制

在桥梁或箱梁顶升过程中,为了防止梁体扭曲变形、应力集中和开裂,各顶升点在负载不均的情况下必须保持位置同步。

1.3 压力、位移和故障实时监控

压力监控有助于顶升力的控制,位移监控能保证顶升过程中位置同步,通过故障监控能及时发现和排除问题。在箱梁顶升中,梁体结构的内应力是由各项升点的压力和位移共同作用的结果,因此,在没有应力监控时,研究者可通过对压力和位移的实时监控来判断梁体结构内应力是否超过允许值。

2 多点同步液压顶升系统

2.1 多点同步顶升工作原理

桥梁或箱梁同步顶升,分称重、顶升、保持和带载下降4步^[5]。桥梁或箱梁顶升前,研究者首先对桥梁或箱梁进行称重,称重是为了找出所有顶升点的实际负载压力。在称重开始后,系统以预先估算的各项升点负载压力为依据,控制各溢流阀出口压力逐步上升,当各液压缸由于压力变化使其出力超过顶升点的负载时,活塞杆伸出使该点产生位移,压力和位移的实时变化,通过压力和位移传感器传回主控电脑。当位移传感器测得微小位移时,和该位移传感器关联的液压缸停止动作,即溢流阀出口压力停止上升,当所有溢流阀出口压力平稳

后,箱梁的重量完全由液压缸承载,箱梁处于悬浮状态,称重结束。这时各液压缸负载与该点桥梁或箱梁的重量平衡,压力传感器传回的压力称为平衡压力 p 。

顶升时,本研究调整各溢流阀,使其出口压力在平衡压力 p 的基础上都增加 Δp ,由于各溢流阀出口压力 p_a 均大于该点的平衡压力 p ,且差值相等,由前面分析可知,各液压缸可同步上升。并可根据工程实际要求的顶升速度,实时调整 Δp 大小^[6]。

带载下降时,各溢流阀出口压力在平衡压力 p 的基础上减小 Δp 即可。带载上升和下降时电磁换向阀均处在正向供油状态,即各溢流阀入口压力均为系统压力。由于该系统采用了平衡均载保护阀,使带载下降的顶升油缸不至失压下滑,无泄漏地将下腔封闭,保证负载平稳下降。

液压油缸是通过高压软管进出油的,一旦软管受损爆裂,后果不堪设想,为确保安全,本研究在每个液压油缸的缸体上安装了液控单向阀,这不仅解决了安全问题,还为顶升作业带来了方便,可以允许千斤顶在任意位置停留。

2.2 系统设计总体方案

对于大跨度桥梁或箱梁同步顶升,执行机构分散布置在大范围内,多点同步系统必须满足执行机构多、布置分散的特点。因此本研究采用“计算机+可编程控制器+PWM液压控制装置”组成的分布式控制系统,实现执行机构的分散控制,集中操作,压力、位移和故障的动态实时监控。多点(液压缸)同步液压顶升控制系统由计算机主控系统、PWM液压动力系统和压力、位移及故障实时监控系统三大部分组成。

单台泵站系统的设计图如图1所示。

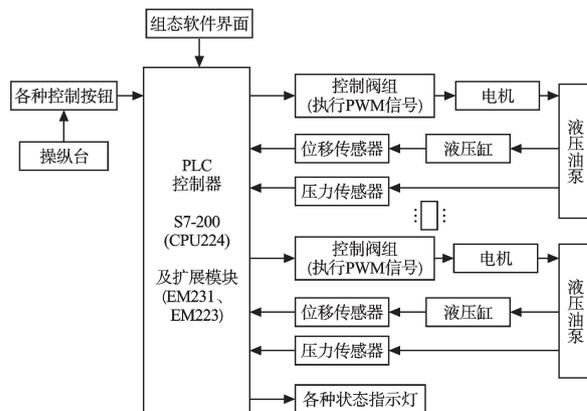


图1 单台泵站系统设计框图

2.3 同步顶升液压动力系统

多点(液压缸)同步升降动力系统包括1组液压泵站,每组泵站驱动由4~8个并联液压千斤顶(液压缸)作为其执行机构。泵站和液压缸(千斤顶)可根据工程实际需要自由配置。其技术方案原理如图2所示。

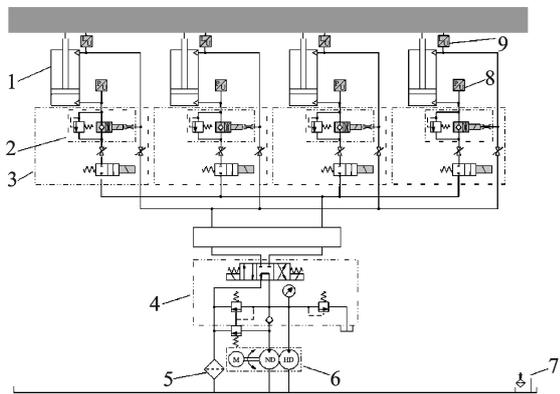


图2 泵站液压系统原理

1—液压缸;2—平衡均载保护阀;3—执行控制阀组;4—总控制阀组;5—过滤器;6—高、低压组合泵站;7—油箱;8—压力传感器;9—位移传感器

泵站使用高低压组合泵,采用低压大流量快速补油及高压顶升的控制方式。除了泵本身有高低压安全阀,系统中还有一个可调式溢流阀,可设定系统压力,三位四通电磁换向阀控制油缸的升降,4~8套执行控制阀组控制油缸的顶升速度。泵站上另安装有一只精细回油过滤器,以保证油液的清洁,提高同步系统的可靠性和延长泵站使用寿命。

与普通同步系统不同的是,该系统中安装有液压平衡阀,平衡阀为无泄漏锥阀结构,主要功能是平衡油缸的负荷压力,使带载下降时油缸不至失压下滑,保证下降时也能调整油缸下降速度。当油泵停机后,平衡阀立即关闭,无泄漏地封闭油缸下腔,保证工件不会自行下滑,使油缸在停电状态时仍能可靠承载。平衡阀的保压腔还具有过载安全功能,当油缸内的压力超过调定压力时,平衡阀能自动开启,卸掉过高的油压,保护油缸不发生超载^[7]。

2.4 同步顶升液动力系统特点

2.4.1 以一体化结构的径向柱塞副为核心元件

该液动力系统的最大特点是:国内首次采用以柱塞、柱塞套、进油阀、出油阀一体化结构的柱塞副为核心液压元件的超高压径向柱塞泵,作为同步顶升系统的液动力源。

该系统采用一体化结构的柱塞副,进油阀、出油阀均直接安装在柱塞套上,减少了油阀体,直接缩小了轴向尺寸,使柱塞副的体积减小,重量减轻,从而有效缩小了径向柱塞泵泵体的尺寸,使之实现超高压泵小型化、轻量化的目的。

一体化结构减去了油阀体,消除了安装间隙,不易造成泄漏,提高了柱塞副的容积效率,从而提高了液压系统工作总效率。

柱塞、柱塞套、进油阀、出油阀的一体化,使柱塞副成为独立的液压部件,总装简单。

2.4.2 采用新型的径向柱塞泵

(1) 该系统在径向柱塞泵的曲轴上设有使曲轴受力平衡的动平衡装置,使曲轴在高速旋转时不会因自身受力不平衡而发生振动,保证径向柱塞泵工作稳定可靠。

(2) 径向柱塞泵的凸轮设在曲轴的中段上且该凸轮位于上、下限位轴承之间,曲轴受力部位基本上都在曲轴中段上,离曲轴中心点较近,因此曲轴受力较平衡,提高了曲轴的使用寿命,使柱塞泵工作更稳定。

径向柱塞泵采用以上新结构后,进一步提高了同步顶升执行机构的工作稳定性和可靠性。

2.5 位移和压力监控装置

位移检测监控装置是该控制系统的关键元件。该位移检测装置的核心是增量式或绝对式拉线位移传感器,本研究将该装置安装在如图3所示的位置上,可以实时检测负载的顶升和下降高度。该类位移传感器的脉冲当量为0.01 mm,故当千斤顶(液压缸)运动时,传感器可以用于精确地测定千斤顶(液压缸)的实时位移。检测值通过电器信号接口将信号反馈到电气控制系统中,供实时监控和控制用。



图3 位移检测装置

在每个控制阀块中,液压油缸的无杆腔连接处油口中还安装有压力传感器,系统依靠它可以实时测定液压油缸的负荷。压力传感器还可直接安装在泵出油口处。液压油缸的负荷通过电器信号接口将信号反馈到电气控制系统中,供实时监控用。

2.6 计算机主控系统

系统的工控界面软件是KingView组态软件,主控系统的执行系统采用SIEMENS公司的S7-300可编程控制器。该控制系统有主控制箱,主要由S7-300等组成,作为主站,超高压泵站上的电控柜主要由S7-200等组成,作为从站。主控制箱与超高压泵站之间的信息通过PROFIBUS-DP高速工业总线传输,减少了各部分之间连线数目,改善了系统的控制性能,提高了系统的可靠性^[8]。主控系统原理如图4所示。

系统提供PWM信号控制高速开关阀。高电平电磁阀开启,千斤顶上升或者下降,低电平电磁阀关闭,千斤顶保持在原来位置。而PWM提供连续性变量占

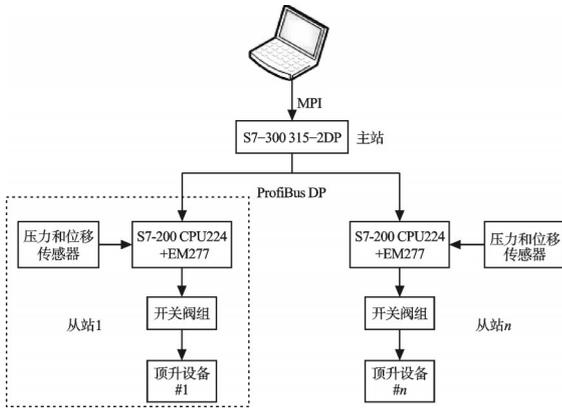


图4 主控制系统原理

空比输出, 配备周期和脉宽用户调节功能^[9-10]。PWM信号的产生方式分为两种: 一种为S7200系统自带的PWM发生器, S7200有两台PWM发生器, 建立脉宽调节信号, 分别指定给数字输出点Q0.0和Q0.1, 并用制定的特殊寄存器SM存储周期和脉冲值等参数; 另一种方式是在软件中, 通过中断和调用子程序来实现对信号的周期和占空比的调节。用户只需设定组态中PWM信号的周期和占空比, 系统会将实际运动情况与设定值不断进行比较和反馈, 即可精确控制电磁阀的开闭频率及时间, 实现对液压缸的精确控制。与其他方式比较, 采用PWM方式控制高速开关阀, 具有结构简单、价格低廉、性能稳定、能耗小等独特优点。

2.7 电气控制系统原理

电气控制系统原理图如图5所示。电气控制系统主要是由西门子S7-200等可编程控制器组成, 4~8个点的位移传感器和压力传感器将位移和压力信号送至可编程控制器。根据操纵面板发出的操作指令, 可编程控制器启动高频电磁换向阀组, 输出动力油源使4~8个千斤顶运动。可编程控制器根据检测的位移和压力信号调整PWM的频率, 不断修正运动误差, 保证多个千斤顶同步运动。

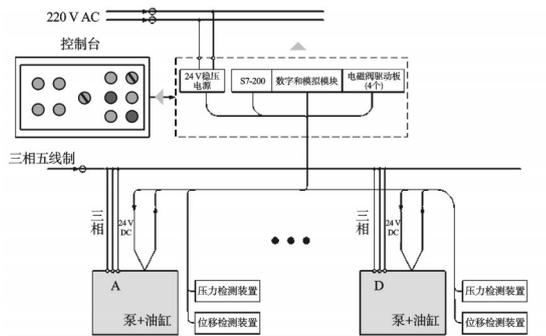


图5 电气控制系统原理

3 工程应用

PWM液压控制多点同步顶升系统集成产品已在国家重大工程“京沪高铁”、“京九铁路房山专线”天津

段、房山段大型铁路桥梁建设中得到应用, 其系统性能也得到了验证。现场图片如图6所示, 监控图片和实测位移误差曲线如图7所示。



图6 现场图片

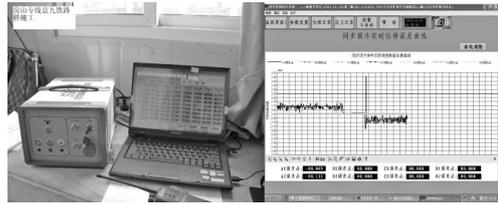


图7 监控图片

4 结束语

PWM液压控制多点同步顶升系统实现了多点(液压缸)负载不均衡同步升降, 同时又能对顶升过程中各项升点压力、位移和故障进行实时监测控制。应用该同步系统, 操作人员只需在中央控制室便可对各液压油缸进行控制和监测, 从而完成梁体同步顶升或下降。

该系统的主要性能指标如下: 同步升降速度(可调)最大15 mm/min; 同步控制精度误差 $\leq \pm 0.5$ mm; 压力控制误差 $\leq \pm 1\%$ 。

参考文献(References):

- [1] 张江宇. 中国十二五期间铁路、高速公路发展规划与建设[J]. 建设机械技术与管理, 2011(6): 78-79.
- [2] 陶亦亦, 查建方. 用PLC控制液压缸的定位精度[J]. 机械设计与制造工程, 2001, 30(1): 51-54.
- [3] 宋新萍. 液压与气压传动[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [4] 李向阳, 周恩涛. 四缸同步液压控制系统的研究[J]. 机床与液压, 2010, 38(10): 28-30.
- [5] 实用动力有限公司. 利用液压控制同步顶升系统实现桥梁改造[J]. 工程机械, 2002(16): 10-12.
- [6] 吴定安. 上海音乐厅顶升和平移工程的液压同步系统[J]. 液压气动与密封, 2004(1): 24-26.
- [7] 张利萍. 液压气压传动与控制[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2012.
- [8] 朱学军. 分布式控制系统发展综述[J]. 机床电器, 2004(1): 5-8.
- [9] 杨红艳, 胡格金. 进口节流调速液压系统动态特性数字仿真[J]. 轻工机械, 2011, 29(6): 66-69.
- [10] 刘青凤. 液压设备故障分析与处理措施[J]. 现代制造技术与装备, 2011(4): 46-47.

[编辑: 张 翔]