

液压控制应用 案例精选

YEYA KONGZHI YINGYONG
ANLI JINGXUAN

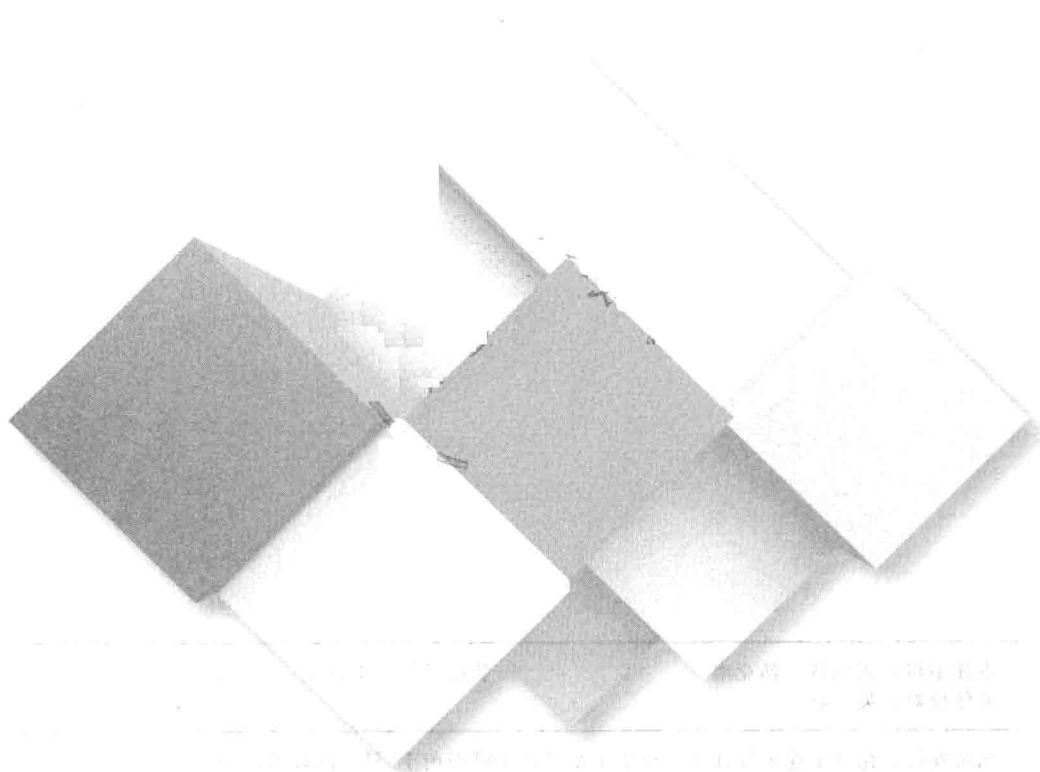
黄志坚 罗佑新 编著



化学工业出版社

液压控制应用 案例精选

黄志坚 罗佑新 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

液压控制应用案例精选/黄志坚, 罗佑新编著. —北京:
化学工业出版社, 2014. 2
ISBN 978-7-122-19428-2

I. ①液… II. ①黄…②罗… III. ①液压控制-案例
IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 319958 号

责任编辑: 张兴辉 韩亚南
责任校对: 吴 静

装帧设计: 王晓宇



出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司
装 订: 三河市前程装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 454 千字 2014 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 69.00 元

版权所有 违者必究



前言

Foreword

液压传动与控制技术在各领域的应用日益广泛，液压设备在装备体系中占十分重要的位置。液压系统是结构复杂且精密度高的机、电、液综合系统，液压技术涉及机械、电气、流体力学、控制工程等学科。同时，液压技术在不断进步与更新。

本书精选了液压控制的应用案例，其特点主要是：

所选案例按控制方式进行分类，包括压力控制、速度控制、方向控制、同步与位置控制，依此划分章节。

所选案例主要是国内专业技术人员液压系统设计开发、技术改进等实践活动的总结。案例包括课题分析，技术目标设定，技术方案探索与确定，液压元件计算与选择、试验、应用效果等，既有丰富的技术内容，也体现了技术活动过程。本书中一些案例是新技术的典型应用，一些案例是液压技术在特殊工况或极端情况下的应用。

所选案例具有较广的代表性，它们分别取自于机械制造、轻工、化工、冶金、材料、建筑、交通、起重运输、水利电力、煤矿、石油、地质、国防等领域。这样，更有利于各行业专业技术人员阅读。

所选案例体现了技术进步与技术创新，本领域的新技术如数字控制、变频调速、阀岛技术、超高压技术、海水液压传动等应用的具体情况在书中有体现。同时，案例也反映了设计开发人员在工作中解决复杂技术矛盾灵活机动的策略技巧，系统把握与综合运用新技术的能力，锐意进取的创新精神。

本书主要读者是液压设计开发人员。案例中的技术措施与方法为读者的设计开发活动提供了翔实具体的参考模型与判别依据。通过这些案例，读者可开阔视野，了解液压技术发展应用热点与趋势，掌握新技术与设计方法，这有利于同行之间的技术交流，从而推动液压技术创新与进步。作为案例，技术内容是具体的，技术方案是针对某特定技术问题的，故个性鲜明；同时，它又是液压工程技术一般规律与方法的应用，蕴含着共性。因此，读者在阅读此书时，一方面应通过这些案例提炼归纳出相应的技术理论；另一方面，又要通过案例深入考察并领会他人根据实际情况，恰到好处地运用专业知识，圆满解决问题的方略。本书也可用作液压系统使用维修人员、机械类大专院校师生学习液压新技术的参考读物。

本书共4章，由黄志坚与罗佑新合作编著，其中1.3节、2.2节、3.2节由罗佑新执笔，其余由黄志坚执笔，全书由黄志坚统稿。

本书得到湖南省“十二五”重点建设学科（机械设计及理论）资助，在此诚表谢意。

编者



目 录

Contents

第 1 章 压力控制应用案例

1.1 比例调压回路应用案例	1
1.1.1 利用液压垫进行四角调压的压机液压系统	1
1.1.2 大流量电液比例插装阀液压测试试验台	4
1.1.3 水平式压力机液压系统	7
1.1.4 铆接压机液压系统	9
1.1.5 折弯机液压系统	11
1.1.6 造纸机液压系统及计算机闭环控制	13
1.1.7 密炼机比例伺服系统	16
1.1.8 摩擦焊压力闭环控制系统	19
1.1.9 MPS 型中速磨煤机自动加载系统	21
1.2 减压回路应用案例	23
1.2.1 曲轴连杆颈磨床液压系统	23
1.2.2 冷轧重卷线皮带助卷器液压系统	25
1.2.3 铝合金轮毂矫形机液压系统	26
1.2.4 桥梁支座更换工程装备液压系统	27
1.3 保压回路应用案例	30
1.3.1 用蓄能器保压的大容量启闭机液压系统	30
1.3.2 斗轮堆取料机尾车变幅液压系统	34
1.3.3 数控线圈压床液压系统	37
1.3.4 真空自耗电弧炉液压系统	40
1.3.5 打包机液压系统	41
1.4 泄压回路应用案例	44
1.4.1 自动压滤机液压系统	44
1.4.2 滚切式定尺剪液压系统	46
1.4.3 卫生瓷高压注浆成形机液压系统	51
1.5 卸荷回路应用案例	53
1.5.1 卸荷阀在小方坯连铸机上的应用	53
1.5.2 升降台液压系统	55
1.5.3 油压机液压系统	56
1.6 平衡回路应用案例	59
1.6.1 风电叶片模具液压翻转机构	59

1.6.2	冲孔压机液压系统	61
1.6.3	海上石油平台液压升降回路	63
1.6.4	水利工程启闭机平衡回路	64
1.7	增压回路应用案例	67
1.7.1	增压型钢筋挤压机液压系统	67
1.7.2	自动连续液压增压器及应用	69
1.7.3	一种液压增压缸及应用	71
1.8	超高压回路应用案例	72
1.8.1	夹板类零件专用压机超高压液压系统	72
1.8.2	液压爆破试验系统	75
1.8.3	超高压管材成形液压系统	77
1.8.4	挤压机主轴轴向液压缸超高压密封	80

第2章 速度控制应用案例

2.1	比例调速应用案例	84
2.1.1	热压成形机液压系统	84
2.1.2	步进式加热炉电液比例控制系统	86
2.1.3	磨蚀系数试验台液压系统	89
2.2	转速控制应用案例	92
2.2.1	传输链电液伺服马达控制系统	92
2.2.2	采用 PWM 控制的水轮机电液调速器	94
2.2.3	摆丝机电液比例控制系统	97
2.3	容积调速应用案例	99
2.3.1	盾构机刀盘驱动液压系统	99
2.3.2	采用负载敏感技术的变量泵及应用	102
2.3.3	提梁机行走液压系统	104
2.3.4	注塑机变量泵伺服系统	106
2.3.5	钻机液压系统中的电控比例变量泵	108
2.3.6	萨澳轴向柱塞泵及其应用	110
2.4	变频容积调速应用案例	128
2.4.1	阀控-变频液压电梯	128
2.4.2	采用二次调节静液传动-变频回馈技术的抽油机液压系统	130
2.4.3	煤矿变频容积调速液压系统	133
2.4.4	液压绞车 PLC 控制的变频容积调速系统	137
2.5	快速回路应用案例	139
2.5.1	单臂油压机液压系统	139
2.5.2	快进稳定加压的组合式两级液压缸	143
2.5.3	高速旋压机液压系统	144
2.5.4	数控母排冲孔机液压系统	146
2.5.5	电液锤液压系统	147
2.5.6	高速注塑机注射部件液压系统	149
2.5.7	组合液压缸节能液压抽油机	151

2.6 速度换接回路应用案例	153
2.6.1 动力滑台双泵供油液压回路及其 PLC 控制	153
2.6.2 全自动多片锯铣床液压系统	158

第 3 章 方向控制应用案例

3.1 换向回路应用案例	163
3.1.1 磨床液压系统	163
3.1.2 混凝土输送泵开式液压系统	166
3.1.3 轿车电控液压助力转向系统	170
3.1.4 数字阀在电控液压动力转向系统中的应用	171
3.1.5 基于电液比例技术的内河船舶液压舵机	174
3.1.6 插装式海水液压电磁换向阀	177
3.2 锁紧回路应用案例	181
3.2.1 高速铁路箱梁液压内模液压系统	181
3.2.2 滩海油田修井作业防喷器液控系统	183
3.2.3 钢卷运输链升降液压系统	185
3.3 制动回路应用案例	186
3.3.1 挖掘机回转马达制动回路	186
3.3.2 汽车 ABS 液压系统	188
3.4 多路阀应用案例	196
3.4.1 汽车起重机液压系统	196
3.4.2 装载机液压系统	204
3.4.3 M7-22 型多路阀及其在石油平台起重机的应用	206
3.4.4 AV-170 型多路阀及其在挖掘机上的应用	209
3.4.5 高速数字开关阀为导阀的多路换向阀	217
3.5 阀岛应用案例	219
3.5.1 铝合金液压阀岛	219
3.5.2 现场总线型液压阀岛在墙体砖压机的应用	220

第 4 章 同步控制与位置控制应用案例

4.1 采用分流集流阀的同步回路应用案例	224
4.1.1 同步控制在摊铺机液压系统中的应用	224
4.1.2 隧道维修作业平台液压系统	226
4.2 采用同步缸的同步回路应用案例	229
4.2.1 同步缸的应用	229
4.2.2 能自动消除误差的同步液压缸	230
4.2.3 同步缸同步回路的改进	232
4.3 采用同步马达的同步回路应用案例	235
4.3.1 辊式淬火机液压多缸同步系统	236
4.3.2 箱梁架桥机支腿液压系统	240
4.4 比例同步控制应用案例	242

4.4.1	液压同步连续升降控制系统	242
4.4.2	液压顶升同步控制系统	243
4.4.3	带恒压模块的比例同步控制系统	245
4.5	采用数字阀的同步回路应用案例	247
4.5.1	采用液压数字控制器 (HNC) 的同步系统	247
4.5.2	基于新型数字同步阀的液压同步系统	250
4.6	位置控制应用案例	251
4.6.1	闭环控制数字液压缸及其控制系统	251
4.6.2	数控液压伺服阀与伺服缸的性能	255
4.6.3	无阀电液伺服系统在位置控制中的应用	260
4.6.4	高速开关阀先导控制的电液位置系统	262
4.6.5	装胎机液压伺服-PLC 控制系统	263
4.6.6	水电站事故检修闸门液压启闭机	267
4.6.7	车载高炮液压自动调平控制系统	270

参考文献

第1章

压力控制应用案例

在液压系统中，压力的调节与控制极为重要，压力的调控主要通过调压回路、减压回路、保压回路、泄压回路、卸荷回路、平衡回路、增压回路、超高压回路等来实现。

1.1 比例调压回路应用案例

电液比例压力阀与手动调节的普通液压阀相比，能实现无级调压，便于机电一体化，通过电信号实现远距离控制，能显著地简化液压系统，大大提高液压系统的控制水平。

1.1.1 利用液压垫进行四角调压的压机液压系统

随着汽车等行业的不断发展，用户除了要求性能满足使用工况外，对产品外观的要求也越来越高，因此对液压机的要求也在不断提高，希望在一般的冲压液压机上也可以实现对复杂不规则工件进行预压料、打料等功能，然而传统的冲压液压机不能实现这些功能，传统的技术无法对工件四角按所需调压，造成压料困难，废品率高，无法满足生产需求，特别是特殊工件的加工问题更加突出，制约了冲压制品向多样化、复杂化、多品种发展。

为了满足客户需求，实现液压机的多样化生产，在结构、液压系统和控制系统上必须改进，因此增加了上液压垫，并增加功能元件用于调节和控制上液压垫四角的压力。

液压机上液压垫的主要技术参数见表 1-1。

表 1-1 上液压垫主要技术参数

序号	项 目	规格	备注
1	公称力/kN	2000	可调
2	回程力/kN	550	
3	工作行程/mm	150	
4	压料速度/(mm/s)	30~50	可调
5	打料速度/(mm/s)	50	可调
6	退回速度/(mm/s)	75	可调
7	液体最大工作压力/MPa	25	

(1) 上液压垫运行工况分析和主要技术要求

1) 工况分析 上液压垫主要用于两种工艺动作：压料和打料。

上液压垫安装在主机滑块内部，靠上液压垫缸实现下行和退回动作，在上限位和下限位都设有行程限位装置。用于打料工艺时，上液压垫处于上限位，当液压机拉伸动作完成，滑块开始回程过程中，上液压垫下行，通过顶杆把模具上的制品顶出，实现打料过程；用于压料工艺时，上液压垫处于下限位，在滑块下行接触到工件时，上液压垫通过顶杆压料，工件四角的压料力可调，然后滑块加压，使工件实现拉伸过程。

2) 主要技术要求 上液压垫四角压力可直接在触摸屏上设定和显示，压力显示精度为

0.1MPa, 压力控制精度应该在 0~3MPa 内。上液压垫安装有绝对值式直线位移传感器, 使液压机能方便地实现液压垫行程转换位置的数字设定和压边力的比例控制。上液压垫采用钢板焊接件, 上面布置淬火垫, 硬度 50HRC 以上。上液压垫压力控制采用比例压力控制系统, 并可实现四角压力的数字显示和数字控制。压力测量元件采用压力传感器, 调压控制元件采用高频响带反馈精密控制的比例溢流阀, 压力通过触摸屏显示。这套比例压力控制系统能使液压垫压力在公称压力的 15%~100% 内无级调节。整套液压系统可实现压力的连续调节、位移的连续调节; 并可结合电气系统通过各种传感器将压力、位移及各种报警信号经 PLC 可编程序控制系统处理, 完成对整机的控制。压力和行程位置的调整可通过触摸屏上的友好人机界面进行便捷的远程数字化调节。

该液压系统的目的是提供一种具有结构简单、控制方便、稳定可靠、功能全面、性能优良、运行成本低, 易于实现复杂工件的压制成形等特点的液压机上液压垫的四角调压装置。

实现上液压垫四角调压的控制是在上液压垫的四角上液压垫缸上设置一个独立的液压控制系统。

控制系统中, 上液压垫缸参与压料工艺动作, 为一套独立的小系统; 上液压垫缸实现打料工艺动作时, 为另一套独立的小系统。通过控制不同的电磁阀的通断, 可以选择上液压垫是否参与工作。比例溢流阀控制上液压垫的压料压力, 通过选择各个上液压垫缸相对应的比例溢流阀, 控制其本身的压力。

(2) 液压系统方案

根据上述的工况分析和液压系统的要求, 设计液压系统原理如图 1-1 所示, 其结构组成主要包括: 上液压垫 1, 上液压垫缸 2, 测压接头 3, 压力传感器 4, 比例溢流阀 5, 单向阀 6 和 11, 压力表 7, 插装阀组 8, 手动调压阀 9, 压力油进油管 10 等。

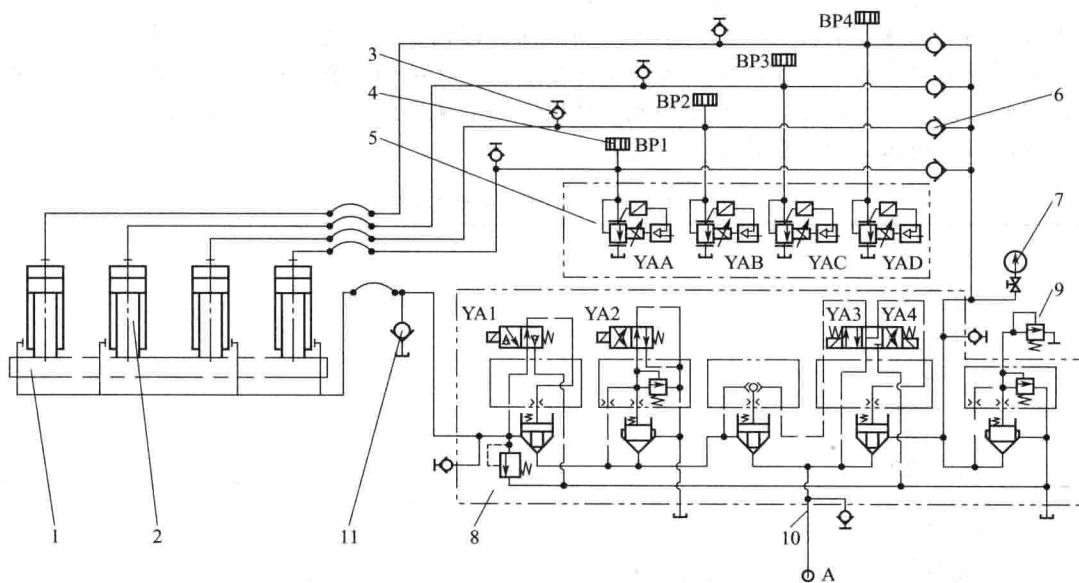


图 1-1 液压系统原理图

- 1—上液压垫; 2—上液压垫缸; 3—测压接头; 4—压力传感器; 5—比例溢流阀;
6, 11—单向阀; 7—压力表; 8—插装阀组; 9—手动调压阀; 10—压力油进油管

实现上液压垫四角调压的控制是在上液压垫 1 的四角上液压垫缸 2 上设置一个独立的液压控制单元。其特点为: 液压控制机构分别为比例溢流阀 5 和单向阀 6 连接构成的独立的压

料控制机构和插装阀组 8 构成的独立的打料控制机构；液压控制机构设有可编程控制器和压力传感器，可编程控制器控制比例溢流阀、插装阀组电磁阀和压力传感器；通过控制不同的电磁阀的通断，可以选择上液压垫是否参与工作；比例溢流阀控制上液压垫的压料压力，通过选择各个上液压垫缸相对应的比例溢流阀，控制其本身的压力。

通过综合分析与研究，决定上液压垫与主系统共用一个恒压变量泵，泵型号为 A4VSO180，向系统提供最大流量 265L/min，工作压力为 25MPa 的工作油源，液压泵出口安全阀压力调至 27.5MPa。上液压垫缸的速度用此恒压变量泵控制（此恒压变量泵还用于下液压垫顶出脱模调速和滑块工作下行调速），压力控制采用比例溢流阀控方案，恒压变量泵与比例溢流阀组合实现输入上液压垫缸流量和压力的精确控制，既节省能源又易于实现自动化。

上液压垫的各种工作过程中电磁铁的动作顺序见表 1-2。

表 1-2 电磁铁动作顺序表

项目	YA1	YA2	YA3	YA4	YAA	YAB	YAC	YAD
上液压垫打料	+	—	+	—	∧	∧	∧	∧
上液压垫退回	—	+	—	+	∨	∨	∨	∨
上液压垫压料	—	—	—	—	≡	≡	≡	≡

注：∧—比例阀通过电流为最大值；∨—比例阀电流为零；≡—比例阀通过固定电流；+—电磁铁吸合；—电磁铁不吸合。

上液压垫打料工作过程：此时上液压垫处于上限位，主液压泵来油进入 A 口，通过插装阀组 8 提供给上液压垫缸 2 的无杆腔，上液压垫下行，通过顶杆把模具中的制品顶出，有杆腔油液通过插装阀组排回油箱，打料过程完成。通过调节手动调压阀 9 的压力控制打料力，压力表 7 和手动调压阀 9 安装在主机支柱上易于操作者观察和调节的位置，此时比例溢流阀 5 通过电流为最大值。

上液压垫退回工作过程：此时上液压垫处于下限位，主液压泵来油进入 A 口，通过插装阀组 8 提供给上液压垫缸 2 的有杆腔，压力达到可以克服上液压垫 1 和上液压垫缸 2 的自重时上液压垫开始回程，此时比例溢流阀 5 通过电流为最小值，上液压垫缸 2 的无杆腔油液通过比例溢流阀排回油箱。

上液压垫压料工作过程：此时上液压垫处于下限位，随滑块同时下行，当上液压垫 1 中的顶杆接触到模具顶杆，模具顶杆接触到工件时，无杆腔压力被动升高，上液压垫 1 四角的压力通过单独控制四个比例溢流阀 5 的电流实现压力调节，四个比例溢流阀的电流可根据工件的压料力要求在触摸屏上单独控制，任意匹配，通过压力传感器 4 及电气控制将数据反馈到 PLC 中，通过数据的转换处理，显示在触摸屏上，方便操作者读取和设置工作参数。

压料是指上液压垫带预压力，停止在上液压垫行程的下限位上，由滑块体承受此预压力，不得传递到模具上；滑块下行至模具压料机构工作行程内时，此预压力传递到模具顶杆上。随滑块下行，上液压垫保持比例溢流阀预先设定的压力被动上行；当滑块下行到下止点并持压结束时将此垫力减至预压力（此力可调，用于滑块上行时脱模），随滑块上行上液压垫在自重作用下主动下行至垫行程的下限位，以备下一工作循环。

考虑到该液压系统的特点，为了提高安全可靠，还做了以下几点细节补充：为了避免压料时压料力被手动调压阀 9 干扰，在比例溢流阀 5 和插装阀组之间采用单向阀 6，实现独立控制；由于压料时为被动建压，此时主液压泵不供油，上液压垫缸 2 有杆腔通过单向阀 11 从油箱补油，避免系统产生真空吸入空气；打料时上液压垫 1 在上限位，为了避免上液压垫缸 2 有杆腔油液泄漏产生下滑，有杆腔支撑采用电磁球阀（插装阀组 8 中的 YA1 电磁

阀), 密封可靠, 减少泄漏; 由于上液压垫缸 2 安装在主机滑块中, 滑块为活动部件, 为了避免由于滑块运动时拉断上液压垫缸 2 的油管, 连接上液压垫缸 2 的油管采用液压胶管, 通过拖链安装在主机支柱与滑块之间, 随滑块上下移动。

(3) 小结

液压机上液压垫由于采用了该四角调压的技术方案, 与现有技术相比, 该系统可以有效地调节液体工作压力和流量, 其控制稳定、可靠, 而且将此项技术应用在液压机上后, 可以使该类型液压机在具有拉伸、弯曲、成形等工艺的同时, 还具有反拉伸、打料等功能, 使功能更为全面, 性能更为优良, 同时根据加工工件的外形不同, 任意调节上液压垫四角压力参与工作, 降低了加工过程中的运行成本, 易于实现复杂工件的压制成形, 且节省了能源, 减少液体的冲击, 降低了机器的噪声, 对外界的污染也得到了改善, 保护了环境。

1.1.2 大流量电液比例插装阀液压测试试验台

电液比例插装阀具有流量大、响应快、耐高压、寿命长等特点, 满足快速、平稳、高精度的技术要求。因此, 电液比例插装阀作为关键液压元件, 其性能的好坏直接影响到整个系统的可靠性, 研发高品质的电液比例插装阀并进行全面、准确的试验测试, 并将其推广到市场, 对我国液压技术, 甚至整个工业技术的发展具有重要意义。

为了全面测试电液比例插装阀的各项性能指标, 在已有试验台的基础上, 设计并搭建了瞬态高压大流量试验台。

(1) 测试项目

1) 稳态控制特性测试

① 流量-压差特性: 是电液比例插装阀在实际应用中最受关注的性能之一。反映了电液比例插装阀的通流能力。

② 滞环特性: 该特性由滞环指标 H_x 表示, 是指元件内存在的磁滞、静摩擦、弹性滞环等因素对元件稳态控制特性的影响程度, 反映了电液比例插装阀的控制精度。

2) 动态控制特性测试

① 流量突变时的抗干扰能力: 该项目是在输入信号一定 (即被试阀的开口一定) 的情况下, 测试在输入流量阶跃变化时, 被试阀主阀芯位移的稳定性。

② 阶跃响应特性: 该特性反映了其快速响应能力。在试验台中, 对被试阀在低压情况和高压情况下的阶跃特性均做了准确的测试。

(2) 液压试验台

为了更有针对性地完成上述测试项目, 电液比例插装阀的液压测试试验台分为低压大流量系统和高压试验系统。其中高压系统包括高压小流量和瞬态高压大流量两部分。

1) 低压大流量试验系统 该试验系统主要可以进行流量-压差特性的试验, 液压系统原理图如图 1-2 所示。该液压系统由主回路、循环过滤回路和控制回路组成。主回路由 6 台双轴电动机驱动 12 台定量齿轮泵提供油源, 在工作压力为 2MPa 的情况下, 能够提供 3600L/min 的流量。控制回路为先导阀提供压力油。被试阀前和阀后均设置了压力表和压力传感器, 用以检测压力。

在进行流量-压差特性测试时, 给定被测阀一定的输入信号, 即令其主阀开口固定不变, 改变泵的输入流量, 由于设置了 12 台泵, 所以能够保证 12 组不同的流量输入, 记录在不同流量情况下被试阀前后压差, 这样便可以得到 12 组数据, 从而可以得到被试阀在全开情况下的流量-压差的特性曲线。除了流量-压差特性的测试, 该试验系统还能对被试阀的静态滞环特性、抗流量干扰能力和低压时的动态响应特性进行测试。

2) 高压试验系统 该试验系统主要进行被试阀的阶跃响应试验, 液压系统原理如图

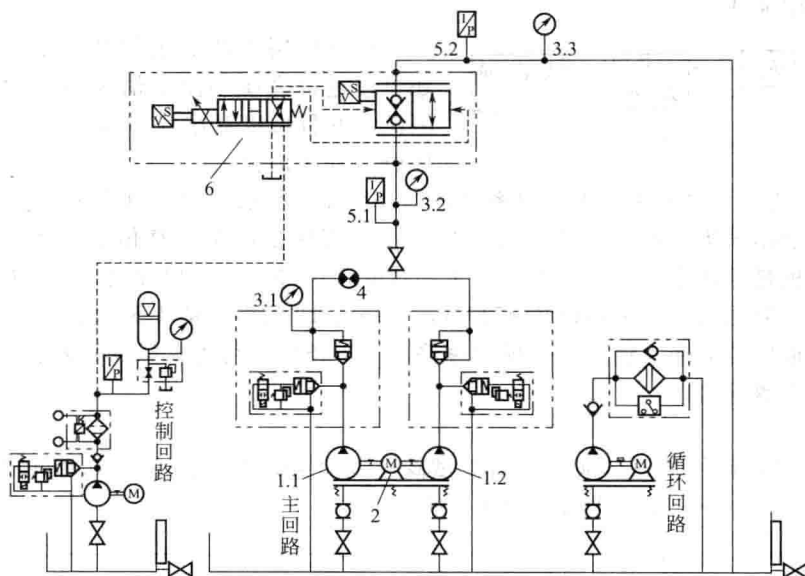


图 1-2 低压大流量试验系统原理简图

1—齿轮泵；2—电动机；3—压力表；4—流量计；5—压力传感器；6—被试阀

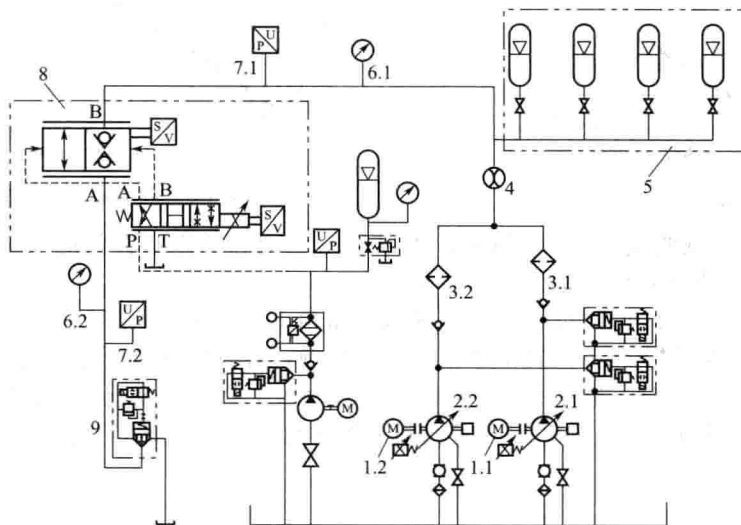


图 1-3 高压瞬态大流量试验系统原理简图

1—电动机；2—比例变量泵；3—过滤器；4—流量计；5—蓄能器组；
6—压力传感器；7—压力表；8—被试阀；9—背压阀

1-3 所示。该液压系统主要由主回路、蓄能器组和控制回路组成。高压小流量系统主回路由 2 台 PVG-10 比例变量泵提供油源，最大稳态流量为 300L/min，最大压力为 31.5MPa。瞬态高压大流量由 4 个容积为 100L 的气囊式蓄能器串联而成，能提供瞬态的高压大流量，功耗低，又能验证被试阀的动态性能。控制回路为先导阀提供压力油。

在进行阶跃响应特性测试时，首先对阀输入信号为关闭，比例变量泵开启向蓄能器充液，当蓄能器充满液体，压力达到设定值后，给被试阀以阶跃信号，这时蓄能器和比例变量泵一起向被试阀供液。数据采集系统记录被试阀前后压力变化和阀芯位移情况，可以得到主

阀芯的阶跃响应曲线。

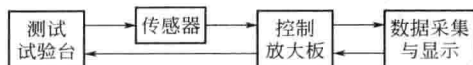


图 1-4 测试系统的组成

在不使用蓄能器组的情况下，该试验系统还可以进行高压小流量情况下的动态响应特性测试，并且可以对小流量范围内的流量-压差特性进行补充试验。

3) 测试系统 该试验系统的测试系统框图如图 1-4 所示，主要由测试试验台、传感器、控制放大板、数据采集与显示四个部分组成。传感器包括两个位移传感器和两个压力传感器，控制放大板是测试系统的控制单元，主要对输入信号进行处理放大，最终控制被测元件主阀芯的位移。数据采集卡采用研华 4711A，是一块 12 位多功能 USB 数据采集卡，可进行数字信号和模拟信号的输入输出，采样速率高达 150kS/s。利用虚拟仪器软件 LabVIEW 实现数据记录和图像输出。

(3) 测试结果

① 被试阀具有良好的通油能力。当被试阀主阀全开，阀前后压差 0.35MPa 的情况下，流量能达到 3000L/min，测试曲线如图 1-5 所示。

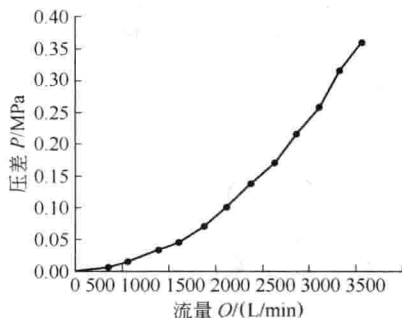


图 1-5 流量-压差特性曲线

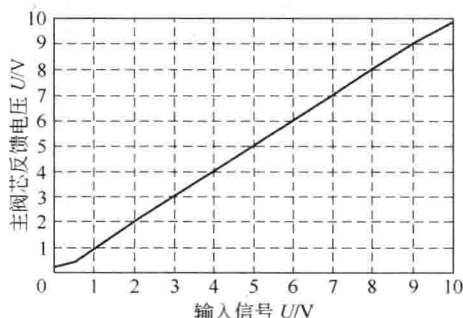


图 1-6 静态滞环测试曲线

② 静态滞环测试曲线如图 1-6 所示，可以看出在阀芯开启和关闭的反馈信号与输入信号的曲线重合，最终计算滞环指标 H_x 仅为 0.13%。

③ 被测试干扰能力如图 1-7 所示。当输入流量由 1200L/min 到 3600L/min 阶跃变化时，被测试进口压力也阶跃变化，但其位移基本不受影响，有较强的抗干扰能力。

④ 在系统压力 15MPa 左右，输入阶跃信号值为 0.3~9.5V 情况下，阶跃响应曲线如图 1-8 所示。从图中可以看出，阶跃上升时间和下降时间以 10%~90% 计算，响应时间在 30~40ms 之间。

(4) 小结

根据电液比例插装阀的测试要求，低压和高压两个测试系统进行测试，解决了大通径电

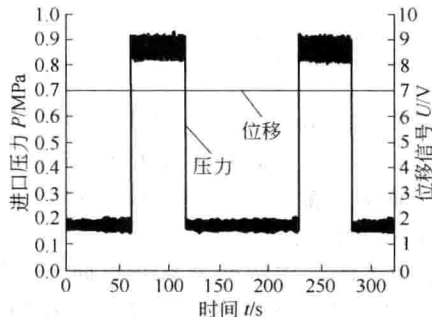


图 1-7 抗流量干扰测试

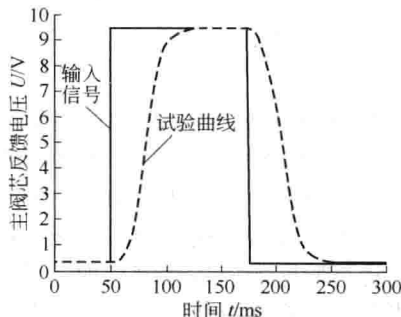


图 1-8 阶跃响应曲线

液比例插装阀测试中常见的大流量稳态测试和高压大流量瞬态测试的问题,全面考查了电液比例插装阀性能,说明此阀通流量能力强,响应速度快,具有良好的品质。

1.1.3 水平式压力机液压系统

各种压力机广泛应用于机械制造,包装成形等行业。有一种双向推进的全自动压力机械液压系统,该压力机械在传动形式的选择上,均采用液压传动,装机容量为150kW,其主要工作部件为一对可双向运动的压头,对放在压头中间的部件进行定位与加工,升降工作托台可架起工件使其脱离生产线的传送机构。其功能示意图如图1-9所示。

两压头与升降工作台的驱动由液压缸来实现,其中两压头的液压回路承担着压力机多种控制功能的实现,为系统主回路,这些控制功能如下。

① 系统设计上必须便于实现 PLC 控制,整机自动化程度高,可进行全自动、半自动、手动模式的操作。

② 两压头各自最大行程为2000mm,可产生50kN的最大推力。

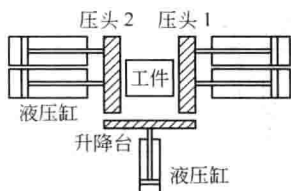


图 1-9 升降工作台
功能示意图

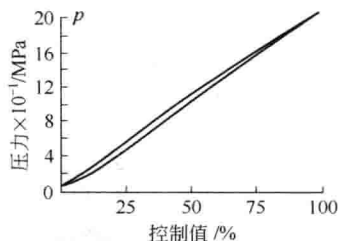


图 1-10 DBE20-5X/200 型比例溢
流阀的特性曲线

③ 两压头可单独动作。在正常工作压进过程中同步伸出,同步精度不低于1%。

④ 两压头的运动速度可实现连续调节。

⑤ 两压头间产生的推力可实现连续调节。

⑥ 两压头压紧工件后,系统可保压定位,同时泄压换向时平稳无冲击。

⑦ 能满足一定的节能要求。

(1) 系统关键功能

两压头同步功能与压头间推压力调节是液压系统的关键。

1) 调压回路 由于两压头的驱动由液压系统来实现,因此改变工作压力即可实现压头输出推力的调整,为方便实现压力自动控制,可采用比例溢流阀。通过调节比例电磁铁的给定(控制电流)来改变液压回路的最高压力。

如图1-10所示为某公司DBE20-5X/200型比例溢流阀的特性曲线,显示了阀开启压力与控制给定的对应曲线。

2) 两压头同步功能 根据压力机功能要求,两压头可联合动作亦可单独动作,并且要求压头速度可方便实现自动连续调节,因此系统主回路设计为两比例方向阀控制液压缸的基本形式。此时,两压头同步功能的实现归结为两比例阀的同步问题。对于两比例阀控制缸的同步实现,可采用“主从控制”思路,因同步回路本质上可归结为位置控制回路,对比例控制系统而言,位置误差的检测可通过位移传感器来进行。“主从控制”就是在系统中设置两个比例换向阀,使其中一个比例换向阀为“主动阀”,其不参与闭环电液控制;另一个比例换向阀为“从动阀”,自动控制系统通过位置误差的检测使从动阀自动跟随主动阀的输出量变化,当出现位置偏差时,比例放大器得到一控制信号,调整从动阀的开口度,使之朝消除偏差的方向变化。该系统的同步控制精度取决于位置检测元件的精度与液压元件的动态性

能。一般而言,主动阀可选用普通比例方向阀,从动阀则根据系统的同步控制精度要求选用高频响比例方向阀或伺服阀。

(2) 液压系统

该压力机主回路液压系统原理如图 1-11 所示。该主液压系统回路由压头控制回路与工件升降台控制回路构成。在图 1-11 中,阀 Y57、V56、V57 及液压缸 C5、C6 组成工件升降托台控制回路,该回路较为简单,可实现工件升降托台在任意位置的可靠定位与支撑。其余元件组成压头控制回路。

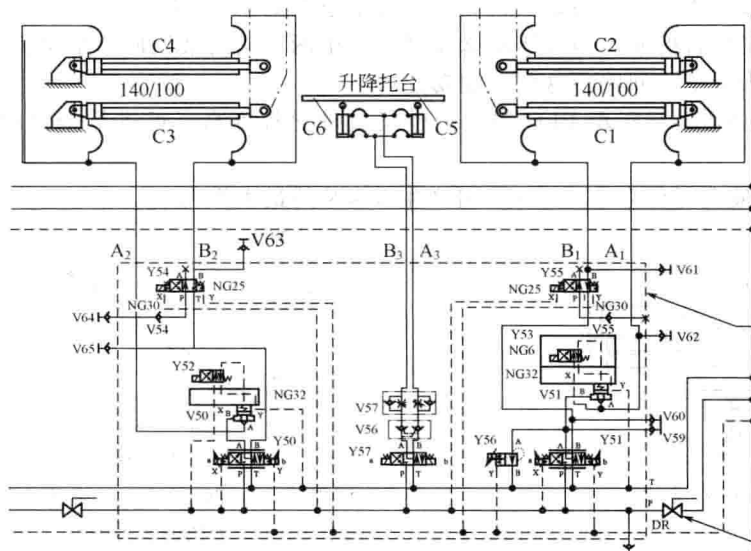


图 1-11 液压系统原理图

C1~C6—液压缸; Y50, Y51—比例换向阀; Y56—比例溢流阀; Y54, Y55—二位四通电液换向阀;

Y52, Y53—二位四通先导电磁换向阀; V50, V51—锥阀(插装阀);

Y57—电磁换向阀; V56—液压锁; V57—双向节流阀

1) 压头同步 压头 1 侧的液压缸 C1、C2 采用刚性连接,压头 2 侧的液压缸 C3、C4 采用同样连接形式。系统由比例换向阀 Y51、Y50 实现液压缸 C1、C2 与 C3、C4 的同步运动,从而实现两压头的同步推进。其中,在设计中比例换向阀 Y50 为主动阀, Y51 为从动阀, Y51 控制液压缸 C1、C2 动态跟随液压缸 C3、C4 的运动位移。液压缸 C1、C3 内设置磁环式位移传感器,其最高分辨能力达 $5\mu\text{m}$,用于检测压头位置并参与同步闭环控制。在元件的选型方面, Y50 选用 Rexroth 4W25W6 型无阀芯位置反馈式比例方向阀,而 Y51 选用 Rexroth-4WRDE25W1 高频响比例方向阀。

2) 调压功能 当系统工作时, PLC 根据操作人员的参数设定发送给比例溢流阀 Y56 的比例电磁铁一控制电流,控制其开启压力。当两压头接触工件后,系统压力升高至比例溢流阀 Y56 的开启压力时,压力油液通过 Y56 溢流,此时系统压力不再升高,从而实现了两压头的输出推力在 $0\sim 50\text{kN}$ 间的无级调节。Y56 选用 Rexroth-DBE20-5X/200 型比例溢流阀。

3) 压头的保压定位功能 两压头压紧工件,系统压力升高至比例溢流阀 Y56 的开启压力。此时两压头不再产生相对位移,该状态可通过液压缸 C1、C3 内设置的位移传感器读数对时间的变化率 ds/dt 归零来判断。此时,先导电磁换向阀 Y53、Y52 通电,插装阀 V50、V51 关闭,比例换向阀 Y50、Y51 切换至中位,液压缸 C1、C2、C3、C4 无杆腔油路被锁闭,实现了压头的保压定位要求。

4) 泄压功能 当压头保压过程结束后, 液压缸 C1、C2、C3、C4 无杆腔内存在高压, 此时为减少系统的换向冲击, 在比例换向阀换向前, 电磁换向阀 Y53、Y52 断电, 插装阀 V50、V51 打开, 液压缸 C1、C2、C3、C4 无杆腔内压力油可利用比例换向阀 Y50、Y51 的“Y”型中位机能平稳卸载。

5) 差动回路 根据压力机工况, 在两压头接触工件前, 液压缸仅需很低的工作压力便可驱动压头运动, 为提高工作效率, 此时需快速运动。因此, 回路中设计了实现该功能的差动回路, 如图 1-11 所示, 比例换向阀 Y50、Y51 切换至右位, 液压缸 C1、C2、C3、C4 伸出, 此时, 电液换向阀 Y54、Y55 通电, 液压缸 C1、C2、C3、C4 的无杆腔、有杆腔同时与系统压力供油连通, 构成了差动回路, 当压头开始接触工件时, 电液换向阀 Y54、Y55 断电, 差动回路取消。从而在系统最高工作压力不变的情况下, 将实现一定速度所需要的流量降至最低, 减少了液压系统的功率消耗, 优化了系统。

压力机液压系统, 充分运用比例控制方式, 实现了压力与流量的复合控制, 最大程度简化了系统设计。同时, 巧妙运用差动、卸荷回路, 使系统整体性能得到优化。

1.1.4 铆接压机液压系统

铆接压机的功能主要是对工件上的铆钉施压, 实现工件的铆接。其应用范围广泛, 尤其是在精密仪器和汽车行业。图 1-12 所示的压机的结构形式为梁柱组合式机架, 这也是最为常见的结构形式。铆接压机的液压缸驱动活动横梁完成快速下降→慢速压制→保压→泄压→快速回程→原位停止的工作循环。

(1) 液压系统的特点

铆接压机液压系统以压力控制为主, 压力高, 流量大, 且压力、流量变化大。既要满足系统对压力的要求, 又要注意提高系统效率和防止产生液压冲击。更重要的是系统要安全可靠, 防止误操作、突然停电和元件意外损坏等因素所导致的安全隐患。

(2) 液压系统的构成方案及分析

1) 铆接压机通用液压系统 德国 BOSCH 公司为铆接压机提供了专用的阀组, 如图 1-13 所示。在阀均不得电的情况下, 阀组中的 P 与 T 直接相通, 系统处于卸荷状态, 液压缸停止不动。当电磁铁 Y1、Y2、Y4 和 Y5 得电, 其余失电时, 液压缸快速下降运动。当活动横梁到达要慢速压制位置时, 电磁铁 Y1、Y2 和 Y5 得电, 其余失电; 当活动横梁下的模具压到工件时, 系统开始保压, 保压时间由具体工况决定。保压结束后, 电磁铁 Y1、Y3 和 Y5 得电, 其余失电, 则液压缸快速回程, 到达初始位置停止。

该阀组简单可靠, 易于操作和维护。它的快速下降动作, 采用了差动回路, 减小了泵的排量, 降低了系统的功率和成本。但是该阀组不易于实现压力和流量的切换调节。例如, 仅让慢速压制的速度降低, 其余动作的速度不改变的情况就很难实现。若是把溢流阀 5 的压力调高, 不仅使慢速压制过程的速度降低, 其他动作的速度也会降低。而且也没有压力的切换功能, 同时带来大量发热。

2) 压力和流量可切换的液压系统 若泵为定量泵, 且泵的驱动电动机转数恒定, 即流量输出恒定, 就必须在专用阀组前添加一个压力和流量的阀组切换, 其原理如图 1-14 所示。

当阀组中的电磁铁 Y11 得电时, 压力油经过减压阀, 实现了压力切换功能。当阀组中的电磁铁 Y12 得电时, 压力油经过节流阀, 实现了流量切换功能。但是, 该阀组的压力损失较大, 尤其在实现节流功能时, 加大了系统的温升, 降低了系统效率。而且只能实现流量

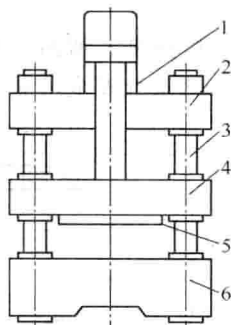


图 1-12 三梁四柱式机架

- 1—液压缸; 2—上横梁;
- 3—导向柱; 4—活动横梁;
- 5—模具; 6—下横梁