



高等 教育 规划 教材

液压系统 PLC控制

李 粤 主 编

廖宇兰 王 涛 副主编



化学工业出版社



高等 教育 规划 教材

液压系统 PLC控制

李 粤 主 编

廖宇兰 王 涛 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书详细介绍了可编程控制器在液压系统设计中的开发方法。全书共分 8 章：第 1 章介绍了液体传动系统的 PLC 控制概况；第 2 章介绍了液压元件与逻辑控制元件的基本原理及其结构特点；第 3 章主要介绍了液压传动控制系统的分析；第 4 章主要介绍了液压系统的逻辑设计；第 5 章介绍了液压系统的 PLC 设计，可编程控制器在液压传动系统上的工作原理和开发方法；第 6 章介绍了 PLC 在 PID 控制中的应用；第 7 章介绍了 PLC 在控制算法上的应用，包括模糊控制等；第 8 章列举了机械加工和机械工程上的应用实例，介绍了数控机床上的液压系统的 PLC 控制，系统的原理和应用，包括液压系统的 PLC 控制设计方法和步骤、硬件设计、软件设计、编程等内容。每章后附有思考题和练习题。

本书可作为高等院校工科机械类专业的教材，也可作为其他工科相关专业的教材和教学参考书，还可供科研、设计单位及工厂的工程技术人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压系统 PLC 控制/李粤主编. —北京：化学工业出版社，2009.8
高等教育规划教材
ISBN 978-7-122-06022-8

I. 液… II. 李… III. 可编程序控制器-应用-液压系统：自动控制系统-高等学校-教材 IV. TP332.3 TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 099609 号

责任编辑：韩庆利

文字编辑：张燕文

责任校对：宋 玮

装帧设计：史利平

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 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 271 千字 2009 年 9 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：22.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是基于高等教育教学改革的不深入、专业课程设置精炼、实践能力的培养以及当今社会对液压系统可编程控制设计创新人才素质的需求状况而编写的。

本书以加强基础、拓宽知识面、突出创新设计能力的培养为出发点，注重分析和解决工程问题能力的培养，适当介绍学科的前沿内容和某些扩展内容。

本书具有以下特点。

① 可编程控制器（简称 PLC）技术和传统液压传动技术进行了有机结合。

② 分单元编写，结构清晰。全书共分液压传动、液压传动的 PLC 设计及应用实例三大模块：液压传动模块包括常用的液压元件及逻辑控制元件、液压传动控制回路两方面；液压传动的 PLC 设计模块包括液压系统的逻辑设计、顺序设计、PID 控制、模糊控制等几方面，并且作为本书的重点介绍，突出其设计方法和设计技能；在此基础上，选用了若干具有代表性的实例，作为本书的最后一个加强模块，以达到理论与实践有机结合的教学目的。

③ 突出工程应用，不作繁琐理论推导。本书对一些理论性较强的内容，如液压流体力学，进行了精减；对一些经验性的工程结论，书中直接给出；大量的工程图都用示意图简单明了地表示，大大缩减了本课程的教学学时数。

④ 采用最新的国家标准。编者密切注意本领域的国家标准颁布情况，凡是在脱稿前收到的新标准，均在书中体现。

本书适用于高等院校工科机械类专业，本书大致按 50 学时编写，各高校、各专业可根据自身的课程安排和学时情况灵活取舍。也可供有关工程技术人员参考。

本书由李粤任主编，廖宇兰、王涛任副主编，郭志忠、林茂也参加了编写。本书编写具体分工：王涛编写第 1、5、6 章，廖宇兰编写第 2 章，郭志忠编写第 3 章，李粤编写第 4 章，林茂编写第 7、8 章。全书由李粤和张燕修改定稿。

在教材编写过程中，王文、张方刚对本书的编辑和图片处理给予了指导与帮助，在此一并表示感谢。

由于水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请各位同仁和读者批评指正。

编者

2009 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 液压系统分类与工作原理	1
1.2 液压系统的 PLC 顺序控制	4
1.3 液压技术的优缺点	5
1.4 液压技术的发展状况	6
参考文献	8
第 2 章 液压控制元件	9
2.1 概述	9
2.1.1 液压控制阀的分类	9
2.2.2 对液压控制阀的要求	9
2.2 压力控制阀	9
2.2.1 溢流阀	10
2.2.2 顺序阀	12
2.2.3 减压阀	13
2.2.4 压力继电器	16
2.3 流量控制阀	16
2.3.1 节流阀	17
2.3.2 调速阀	18
2.4 方向控制阀	20
2.4.1 单向阀	20
2.4.2 换向阀	22
2.5 插装阀	28
2.5.1 方向控制插装阀	28
2.5.2 压力控制插装阀	28
2.5.3 流量控制插装阀	29
2.6 伺服控制阀	29
2.6.1 电液伺服控制阀	29
2.6.2 电液比例控制阀	33
2.6.3 电液数字控制阀	34
思考题及练习题	36
参考文献	36
第 3 章 液压基本回路	38
3.1 速度控制回路	38
3.1.1 调速回路	38
3.1.2 快速运动回路	47

3.1.3 速度换接回路·····	48
3.2 压力控制回路·····	49
3.2.1 调压及限压回路·····	49
3.2.2 减压回路·····	50
3.2.3 增压回路·····	51
3.2.4 卸荷回路·····	51
3.2.5 保压回路·····	52
3.2.6 平衡回路·····	53
3.3 方向控制回路·····	53
3.3.1 换向回路·····	53
3.3.2 锁紧回路·····	54
3.4 多缸动作回路·····	55
3.4.1 顺序动作回路·····	55
3.4.2 同步回路·····	56
3.4.3 多缸快慢速互不干涉回路·····	57
思考题及练习题·····	58
参考文献·····	60
第4章 液压系统的逻辑设计 ·····	61
4.1 概述·····	61
4.2 逻辑代数的基本定律·····	61
4.3 实现基本逻辑函数的液压元件·····	64
4.3.1 与门元件·····	64
4.3.2 非门和禁门元件·····	64
4.3.3 或门元件·····	65
4.3.4 记忆元件·····	65
4.4 基本液压逻辑回路·····	66
4.4.1 基本液压逻辑回路简介·····	66
4.4.2 基本液压逻辑回路的扩展·····	69
4.5 液压系统逻辑回路设计方法·····	71
4.6 液压系统逻辑回路的简化·····	72
4.6.1 代数法·····	73
4.6.2 卡诺图法·····	76
4.7 液压系统逻辑设计实例·····	81
4.7.1 组合线路设计·····	82
4.7.2 时序线路设计·····	83
思考题及练习题·····	90
参考文献·····	91
第5章 液压系统的 PLC 设计 ·····	93
5.1 概述·····	93
5.2 可编程控制器硬件与工作原理·····	93
5.3 可编程控制器编程语言与逻辑指令·····	95

5.4 顺序控制梯形图的编程方式·····	99
5.5 PLC 控制系统的设计步骤·····	109
思考题及练习题·····	114
参考文献·····	118
第 6 章 PLC 系统的 PID 控制 ·····	119
6.1 概述·····	119
6.2 PID 控制的基本原理·····	119
6.3 PLC 实现模拟量 PID 控制·····	122
6.4 PID 控制实例·····	123
思考题及练习题·····	126
参考文献·····	126
第 7 章 液压系统的模糊控制算法 PLC 实现 ·····	127
7.1 概述·····	127
7.1.1 模糊控制的发展·····	127
7.1.2 模糊控制在液压系统中的应用研究·····	128
7.2 模糊控制的基本原理·····	128
7.2.1 模糊控制基础理论·····	129
7.2.2 模糊控制系统的工作原理·····	132
7.3 PLC 实现模拟量模糊控制设计·····	135
7.3.1 PLC 实现模糊控制的设计·····	135
7.3.2 模糊控制的 PLC 实现·····	135
7.4 模糊控制系统的实例·····	137
思考题及练习题·····	153
参考文献·····	153
第 8 章 液压系统的 PLC 控制实例 ·····	154
8.1 数控机床液压系统的 PLC 控制·····	154
8.2 组合机床液压系统的 PLC 控制·····	156
8.3 数控机床液压机械手的 PLC 控制·····	158
8.4 液压动力滑台 PLC 的控制·····	162
思考题及练习题·····	165
参考文献·····	165

第 1 章 绪 论

在机械工程领域中，机器是一种综合性的工具，它们由能源装置、工作装置和中间传动装置三个主要部分组成。目前，传动方式有以下几种，即机械传动、电气传动、液压传动、气压传动、计算机控制传动等，其中机械传动是通过轴、齿轮、齿条、蜗轮、蜗杆、链条等直接传递动力和进行控制的一种传动方式。它是发明最早，应用得最普遍，也是最基本的传动方式。机械传动的优点是传动准确可靠、操作简单、负载对传动特性几乎没有影响，传动效率高、制造容易、维护简单，但是一般不能进行无级调速，机械无级变速装置虽然能实现无级调速，但是多应用于小功率的传动中。随着传递功率的增加和生产工艺过程的复杂化，单纯采用机械传动方式会使得传动装置变得非常笨重，控制困难。随着现代电子技术的发展，许多执行机构的发明为电气控制创造了条件，由电机、各种低压电器（如接触器、继电器、电磁阀、行程开关等）和保护电器等组成的电气传动控制系统应用逐渐广泛。电气传动的优点是能量传递方便、信号传递迅速、标准化程度高、容易实现自动化，但是电机容易受到外界负载的影响，受温度、湿度、振动、腐蚀等环境影响较大。由于电器元件受磁通密度饱和现象的限制，运用电气传动方式常常感到容量不足，因而实现低速运行和无级调速有一定的困难。液压传动可以弥补机械传动和电气传动的不足，它是指利用流体进行控制的各种控制元件及装置，组成控制回路，进行自动控制，流体包括液体与气体。在密闭的容器内，以液压油作为工作介质，利用它的静压力进行能量传递的液压传动得到迅速发展。气压传动结构简单、成本低、易实现无级调速；气体黏性小，阻力损失小，流速很高，可以使气动内圆磨头的转速达到 $10 \times 10^4 \text{ r/min}$ ，同时能防火、防爆、可以在高温下工作。几种传动方式各有优缺点，通常要根据实际系统的要求来选用。例如，在食品机械加工中，如果在与产品直接接触的地方使用液压传动，就会产生食品污染问题，这时应采用电-气传动；而对于需要控制大功率、快速、精确反应的控制系统，往往采用液压传动系统，如在国防工业中，飞机的操纵系统、导弹的自动控制系统、火炮操纵系统、雷达跟踪系统，在一般工业中，机床、冶炼、轧钢、铸锻、动力、工程机械、拖拉机、船舶系统等拖动也需要液压传动。现在复杂的机械往往不是一种单一的传动方式，而是几种传动方式的密切配合，如机-电传动，机-液传动，电-液传动，机-电-液传动等。这样才能充分发挥各种传动的长处，综合优化利用各种传动功能。

1.1 液压系统分类与工作原理

液压系统按工作特性和控制方式的不同，分为液压传动系统和液压伺服系统。液压传动系统通常为开环控制，以传递动力为主，传递信息为辅，追求传动特性的完善；系统的工作特性由各组成液压元件的特性和它们的相互作用来确定，其控制质量受工作条件变化的影响大。液压伺服系统通常采用伺服阀等控制阀，且多为闭环控制，以传递信息为主，传递动力为辅，追求控制特性的完善。由于伺服系统中加入了检测反馈元件，所以能形成精确的控制系统，其控制质量受工作条件变化的影响比较小。随着科学技术的飞速发展和现代化机械设

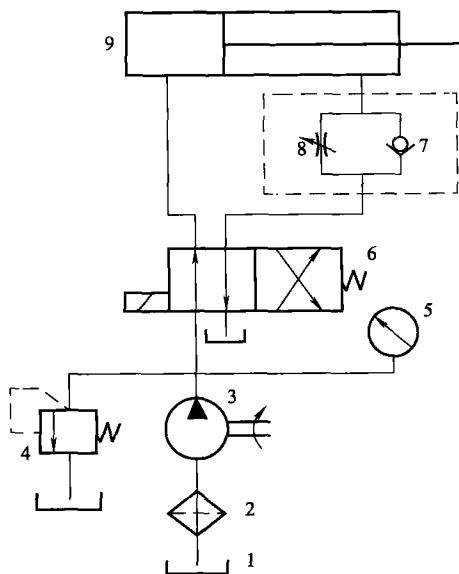


图 1-1 机床工作台液压传动系统图

- 1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—溢流阀；
5—压力表；6—电磁换向阀；7—单向阀；
8—节流阀；9—液压缸

备技术性能的要求不断提高，现代机械设备的动力传递和控制指标都很重要，其液压传动系统和液压控制系统在具体结构上融为一体，这时很难断定这样的系统是传动系统还是控制系统。图 1-1 所示为机床工作台液压传动系统图。

工作台要求实现慢速向右进给，然后向左快速退回的动作循环。图 1-1 中液压缸活塞通过活塞杆与工作台固定在一起，液压缸固定在机床床身上。电磁换向阀 6 通电后，阀体左位相通。液压泵 3 排出的液体流入液压缸 9 的左腔，推动活塞杆向右做进给运动，液压缸右腔的液压油通过管道及节流阀 8 返回到油箱。调节节流阀 8 的阀口通流面积，便可控制液压缸右腔的回油流量，达到控制进给速度的目的。如果电磁换向阀失电，则通过右边的弹簧压力作用使电磁换向阀阀芯左移，使其处于右位工作。这时液压泵排出的液体经过单向阀 7 输到液压缸的右腔，右腔压力增大，推动活塞杆和工作台向左返回，而液压缸左腔的油液经过电磁换向阀 6 直接流回油箱。在这个过程中，液体不受节流阀的控制，工作台快速返回。溢流阀 4 与液压泵的出口并联，当活塞进给速度较慢时，系统中多余的液体将使压力升高并克服溢流阀 4 阀芯的弹簧作用力，使多余的液体直接返回油箱，防止系统压力过大。压力表 5 能实时监测管路压力；滤油器 2 可防止工作液体中的大颗粒固体杂质进入液压泵和系统，避免损坏液压元件。

从以上实际例子可以看出，完整的液压传动系统由两部分组成：液压传动装置和自动控制装置。液压传动装置包括四部分：能源装置、控制调节装置、执行装置、辅助装置。自动控制装置通过前者中的控制调节装置对液压传动系统起到中心控制调节作用。

(1) 能源装置 是将机械能转换成液压能的元件，即液压泵。液压泵主要采用齿轮泵、柱塞泵两种类型，它给液压系统提供压力油。其中，齿轮泵多用于中低压、小流量系统，柱塞泵主要用于中高压、大流量系统。齿轮泵的优点是结构简单，尺寸小，重量轻，制造方便，价格低廉，工作可靠，对油污不敏感，维护容易；缺点是流量和压力脉动大、噪声高。柱塞泵通过柱塞在腔内往复运动，改变柱塞腔容积实现吸油和排油的工作。按柱塞运动形式通常分为轴向柱塞泵和径向柱塞泵。轴向柱塞泵的优点是压力脉动小，流量可以自动调节，容积效率高；缺点是结构复杂，制造精度高，使用条件要求高。

(2) 控制调节装置 液压系统的控制元件根据其功用分为压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等。

压力控制阀：利用阀芯上的液压作用和弹簧力保持平衡来进行工作，主要功用是调节或限制油液的压力，常用的有安全阀、减压阀、顺序阀、压力继电器。

流量控制阀：依靠改变阀口通流面积的大小或流通通道的长短来改变液阻，从而控制通过阀的流量，达到控制执行元件（液压缸或马达）运动速度的目的，常用的有节流阀、流量调节阀。

方向控制阀：通过控制阀口的通断来控制液体流动的方向，常用的有单向阀、电磁换向阀。

(3) 执行装置 执行机构是一种能量转换装置，它将液压能转换为机械能，实现不同的运动形式，常见的执行机构有液压缸实现直线运动形式和液压马达实现旋转运动形式。

(4) 辅助装置 除了上面叙述的几个部分之外，液压系统的其他组成元件都可称为辅助元件，如导管和接头、油箱、滤油器、密封件等。辅助元件对于保证系统使用功能、改善系统的性能起着重要作用，是不可缺少的组成部分。

液压伺服系统是以液压动力元件作驱动装置的反馈控制系统。在这种系统中，输出量（位移、速度、加速度或力等）能以一定的精度自动、快速、准确地复现输入量的变化规律。液压伺服系统除了具有液压传动的各种优点外，还有反应快、系统刚度大、伺服精度高等特点。

例如，带材（钢带、铝箔、塑料编带和纸张分切等）在卷曲过程中，由于卷辊系统的制造偏差、卷曲带材的张力以及带材的厚度不均匀等因素的影响，常常产生带材跑偏的现象。这样就会产生带材卷边不齐而不利于包装、运输和码放的问题。为了实现带材在卷曲过程中的跑偏控制，目前多采用电-液位置伺服和气-液位置伺服等控制装置。图 1-2 所示为带材卷曲纠偏气-液位置伺服系统原理图。它由带材位置偏差信号检测器、气-液伺服阀、液压缸以及液压油源和气源等主要部分组成。气-液伺服阀由液压滑阀和前置级的隔膜阀构成，与隔膜连在一起的驱动杆推动滑阀阀芯移动。前置级隔膜阀接受来自带材位置偏差信号检测器的压差信号进行控制。带材位置偏差信号检测器是一个具有狭缝状喷嘴的 U 形测头。通过空气过滤组合稳压后的压缩空气分为两路进入 U 形测头上的喷嘴和隔膜阀的右腔室。接收口与隔膜阀的左腔室连通，由于喷嘴的开口形状按一定的曲线形状刻制而成，接收口的压力随带材跑偏的偏差呈线性规律变化。这一压力直接传输到隔膜阀的左腔室。借助于隔膜阀左、右两腔的压力差的作用，使滑阀阀芯产生移动，油源提供的液压油通过伺服阀驱动液压缸，从而使卷曲带材的导辊移动，实现带材位置偏差的调整。

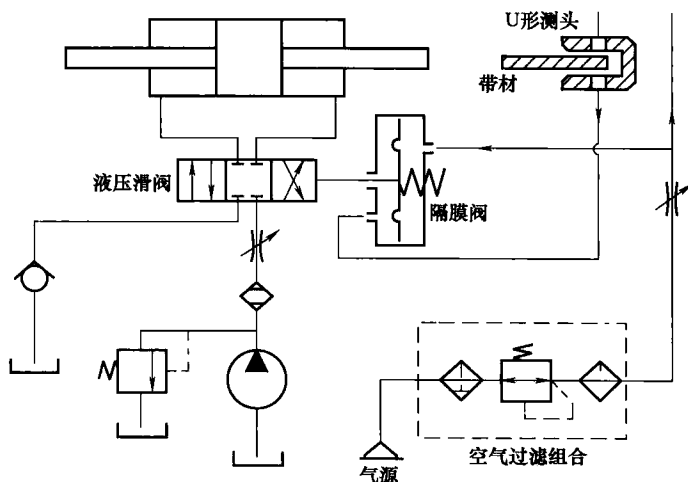


图 1-2 带材卷曲纠偏气-液位置伺服系统原理图

综上所述，液压伺服控制的基本原理就是液压流体的反馈控制，即利用反馈连接得到偏差信号，再利用偏差信号去控制液压系统向减小偏差方向变化，从而使输出信号总是跟踪输入信号。

1.2 液压系统的 PLC 顺序控制

机械手是工业自动控制领域中经常遇到的一种控制对象。机械手可以完成许多工作，如搬物、装配、切割、喷染等，应用非常广泛。应用 PLC 控制机械手实现各种规定的工序动作，可以简化控制线路，节省成本，提高劳动生产率。图 1-3 所示为应用于自动生产线的搬物转位工业机械手原理图，系统启动运行后，可将传送带 A 上的物体逐个搬运到传送带 B 上。在机械手的极限位置安装了限位开关 SQ1、SQ2、SQ3、SQ4、SQ5，对机械手分别进行抓紧、左转、右转、上升、下降动作的限位，并发出动作到位的输入信号。传送带 A 上装有光电开关 SQ6，用于检测传送带 A 上物品是否到位。机械手的启、停由启动按钮 SB1、停止按钮 SB2 控制。传送带 A、B 由电机拖动。机械手的上、下、左、右、抓紧、放松等动作由液压缸驱动，并分别由六个电磁阀来控制。

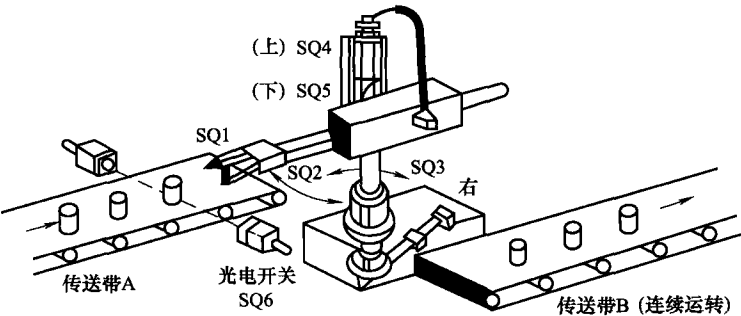


图 1-3 工业机械手原理图

按下启动按钮 SB1 时，机械手系统工作。首先上升电磁阀通电，手臂上升，至上升限位开关动作；左转电磁阀通电，手臂左转，至左转限位开关动作；下降电磁阀通电，手臂下降，至下降限位开关动作；启动传送带 A 运行，由光电开关 SQ6 检测传送带 A 上物品送来，若检测到物品，则抓紧电磁阀通电，机械手抓紧，至抓紧限位开关动作；手臂再次上升，至上升限位开关再次动作；右转电磁阀通电，手臂右转，至右转限位开关动作；手臂再次下降，至下降限位开关再次动作；放松电磁阀通电，机械手松开手爪，经延时 2s 后，完成一次搬运任务，然后重复循环以上过程。按下停止按钮 SB2 或断电时，机械手停止在现行工步上，重新启动时，机械手按停止前的动作继续工作。

根据控制要求分析，对输入输出点进行分配，分别见表 1-1 和表 1-2，PLC 硬件连接图如图 1-4 所示。

表 1-1 输入分配表

X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
SB1	SB2	SQ6	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5

表 1-2 输出分配表

Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
KM1	KM2	YA1	YA2	YA3	YA4	YA5	YA6

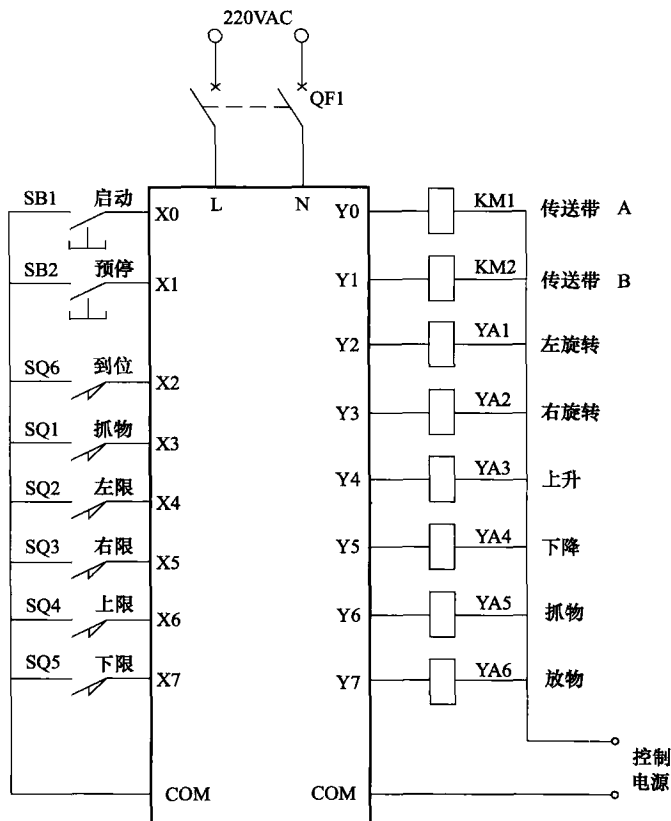


图 1-4 PLC 硬件连接图

1.3 液压技术的优缺点

(1) 应用液压技术的优点

① 液压元件的功率-重量比和力矩-惯量比大。一般液压泵的重量是同功率电动机重量的 10%~20%，尺寸约为电动机的 12%~13%，液压马达的功率-重量比一般为相当容量电动机的 10 倍，而力矩-惯量比为电动机的 10~20 倍。正因为液压元件这一良好的性能，可以组成结构紧凑、体积小、重量轻、加速性能好的伺服系统，对于中大功率的机床及野外工作的工程机械，这一优点更为突出。

② 易获得较大的力和力矩，工作比较平稳，反应快，冲击小，可在负载下直接换向或启动，快速性能好，系统响应快。如启动中等功率的电动机需 1~2s，而加速同功率的液压马达的时间为 0.1s。液压传动装置回转运动每分钟可达 500 次，往复直线运动每分钟可达 400~1000 次。

③ 容易实现复杂的动作、集中操作或远距离控制，而且省力。操作简便、易于实现自动控制和遥控。特别是电-液联合应用时，能够充分发挥优势。它还能在运行过程中进行调速。液压系统容易实现自动化，它易于对液体压力、流量或流动方向进行调节和控制。当将液压和电气控制、电子控制或气动控制结合起来时，整个传动装置能实现很复杂的顺序动作，也能方便地实现过程控制。

④ 易于实现过载保护。由于各个液压元件中的油液介质对各个部件进行润滑作用,使之磨损减轻、经久耐用、工作可靠、使用寿命长。

⑤ 液压传动装置能在运行过程中进行无级调速,调速方便且调速范围较大,达 $100:1$ 甚至到 $2000:1$ 。

⑥ 液压传动装置由于元件实现了系列化、标准化、通用化,所以容易设计、制造和推广使用,液压传动装置能方便地实现直线运动和回转运动,液压元件的排列和布置也具有很大的灵活性。

⑦ 在液压传动装置中,由于功率损失等原因所产生的热量可由流动着的液体带走,可以避免在系统某些局部产生过度的温升现象。

(2) 应用液压技术的缺点

① 液压元件,特别是精密的液压控制元件抗污能力差,对工作液的清洁度要求高。污染的油液会使阀磨损而降低其性能,甚至被堵塞而不能正常工作。

② 当液压元件出现密封不严时容易产生泄漏,对环境造成污染,而且由于对制造精度要求高,成本相对较高。

③ 液压传动装置由于在能量转换和传递过程中存在着机械摩擦损失、压力损失和泄漏损失而使总效率降低。

④ 液压传动装置对油温度和负载变化都比较敏感,不适宜在低温及高温下工作。

⑤ 液压传动装置出现故障不容易追查原因,维修困难。

1.4 液压技术的发展状况

液压技术是在 18 世纪末开始的,1795 年英国制成了世界上第一台工业设备水压机。它的问世是流体动力学应用于工业的成功典范,到 1826 年液压机已经被广泛应用。19 世纪末,德国制造了龙门刨床,美国制造了液压六角车床和液压磨床。1905 年美国人 Janney 设计并研制了带轴向柱塞机械的液压传动装置,并于 1906 年应用于军舰的炮塔装置上,为现代液压技术的发展奠定了基础。随着生产力的提高,于 20 世纪 30 年代前后一些国家生产了液压元件,开始在机床上应用。1922 年瑞士人托马发明了径向柱塞泵。1936 年美国人威克斯发明了先导控制式压力控制阀。以后,电磁阀和电液换向滑阀的问世,使先导控制形式多种多样。

在第二次世界大战期间,由于战争的需要,反应迅速、动作准确、输出功率大的液压传动装置用于各种飞机、坦克、大炮和军舰,促使液压技术得到迅速的发展和应用。同时,自动控制理论与工程实践相结合,也为液压传动控制技术的进步提供了强有力的理论基础和技术支持。线性控制理论完善,对液压系统的建模、仿真、分析,从理论上进行细致的研究,使液压控制技术产生了深刻的变化。20 世纪 50 年代,摩根研制成功采用微小输入信号的电液伺服阀后,美国麻省理工学院在系统高压化和电液伺服机构方面进行了深入研究,使电液伺服机构成功地应用于飞机、火炮等液压控制系统,后来也广泛应用于机床伺服控制等系统中。20 世纪 70 年代前后,信号功率介于开关控制和伺服控制之间的比例阀问世,随着电子技术和计算机技术的发展,使液压系统与电子技术进行了有效的结合,使电液先导控制技术趋于成熟。液压技术在民用工业得到进一步的应用,在机床、工程机械、农业机械、汽车等行业都有较大发展。20 世纪 80 年代以来,随着自动化程度的提高,液压传动充当了连接微电子技术和大功率控制对象之间的桥梁,从手动控制、机械控制向电液控制、计算机控制的

方向发展, 开关阀的响应速度更快, 体积更小, 还出现了不需要 D/A 转换而直接由计算机控制的数字阀, 利用数字信号直接控制液体压力、流量和方向, 价格低廉, 功耗小, 阀口对污染不敏感, 操作方便, 是液压技术和计算机技术、电子技术结合的关键元件, 在液压控制技术方面有着广阔的应用前景。

液压技术的若干发展动向有下列几方面。

(1) 提高效率 液压系统在能量转换和传输过程中不可避免地存在能耗问题, 其系统总效率等于液压泵站的效率、系统传输效率和执行机构效率三者的乘积。一般液压传动的效率为 50%~70%, 而某些行走机械上其效率则不到 10%。液压泵的变量调节装置采用压力补偿、负载传感系统, 使它具有流量适应控制和负载压力自动补偿功能, 这样, 效率可提高 30% 以上, 如日本某公司生产的比例压力流量控制变量柱塞泵用于塑料注射机, 可节省能耗达 45%。采用二次调节技术实现能量的再生控制, 如挖掘机升降臂的多余能量和回转制动能量的再利用等。研制新型密封和减摩材料, 改进相对运动件间油膜润滑设计方法, 可以有效地减少润滑泄漏损失, 提高容积效率。采用插装阀替代常规的圆柱滑阀, 以减少阀压力降损失和提高工作性能; 采用集成元件和系统设计以减少管路压力损失; 合理地设计管路管径和管路布局以减少管路压力损失。根据系统压力、流量要求来控制电机转速, 使功率消耗最少, 可节省能耗达 50%, 而在系统保压时, 电机以极低转速运行来补偿泄漏, 使得系统发热小, 并延长液压泵的使用寿命。

(2) 注重系统集成性 由于芯片等电子件的小型化、集成化, 现在可以将电子线路内置封装于阀或泵等中, 亦即将电子驱动线路和信号处理、储存等元件都直接安装在液压件的壳体内。对一些大型的电液系统, 如冶金、大型矿山机械及工程机械、大工业生产过程控制等, 可实行分布或分布递阶控制。中央工控机起中央调度、分配、优化、管理、监控、故障诊断等作用, 可靠的可编程序控制器直接控制各子系统或液压件, 各子系统或液压件能根据自身特殊要求完成采集、处理、储存某些信号的功能。在满足使用性能的前提下, 实现系统的简单化、集成化和模块化, 以提高系统的可靠性、操作性和易维护性。充分借鉴电子、控制、计算机和网络技术的研究发展成果, 提高机电液一体化技术水平, 以提高系统的可靠性, 降低现场安装、调试、维护的费用, 满足现代生产设备自动化、智能化和网络化的发展方向要求。

(3) 注重环境保护 噪声问题是一个难题, 多年来在科研机构已进行了不少研究, 主要从流体力学及机械壳体振动两个角度来解决。目前, 工业中已生产出噪声低于 60dB 的泵, 但要从根本上解决这个问题几乎是不可能的, 因为流体传动的工作原理就是要把液体从低压转化到高压, 或相反转化, 这就必然造成振动与冲击, 然后通过液压元件壳体发出噪声。液压系统内部的压力和流量脉动所产生的流体噪声, 压力脉动所引起泵壳体、配流盘结构变形而产生的振动噪声, 汽蚀现象所产生的空气噪声, 对周围环境会产生污染, 影响身心健康。因此, 降低液压泵的噪声应注重改进泵的结构设计使流体流动平稳, 减少压力脉动; 其次, 提高液压泵壳体和配流盘(系统)结构刚度, 以减少其变形所产生的振动。面对环保、节能和可持续发展的要求, 以水作为传动介质的液压传动既有液压传动功率密度大的优点, 又有气压传动清洁、价廉的优点, 近年来备受关注。

(4) 机电一体化 液压技术与电子技术、控制技术、计算机技术和网络技术相结合, 实现机电一体化集成, 并向自动化、智能化和网络化方向发展嵌入式电液产品的发展, 使流体元件体积小、功能多、自动化程度高, 大大提高了它们的性能。例如, 一个伺服阀装入变量泵中, 可同时控制速度、位置、加速度、力或压力, 仅取决于系统采用的传感器及反馈量。

传统的负载敏感和极限功率调节系统的调节品质和功能得到显著改善,而泵的体积只有很小的增加。各种伺服油缸,不只是伺服阀、比例阀及信号处理线路装在缸上,还在活塞杆上或活塞空心杆中装上了位置传感器,这样液压缸自身就可形成运动闭路控制,构成机电高度集中化的液压件。实际上新开发出来的一些自动控制变量泵也是采用了以上原理。这些伺服变量泵能自动控制流量或压力,以达到控制运动及节能等目的。电液比例伺服控制和可编程控制技术的应用将不断推广扩大。这是因为现代生产设备不仅要完成的功能越来越强,而且要求提高劳动生产率、可靠性并降低能耗以及实现元件和系统的状态监测、故障诊断、安全互锁等,这些难以通过简单的手工操作来完成,而必须提高自动化水平。在现代化设备中,人们很难看到只用阀去控制操纵杆,如行走设备上的控制杆能同时用液压系统提供电气和电子控制。电子技术是增强液压传动能力和满足用户不同要求的关键,电子控制就是未来。气动回路大量采用 PLC,提供低成本的高效设计,比机械设计控制更有效。它能消除机械系统中的离合器、制动器及安全销,实现平稳控制。

(5) 发展轻小型和微型液压技术 鉴于航天、航空、潜艇、轿车、机器人、医用器械等特殊应用部门对液压技术的需求不断增加,它们共同的特点是安装空间狭小,要求附加重量轻、功率密度高、响应频带宽、速度快的液压技术。只有大力发展轻小型和微型液压技术,才能满足这种对液压技术的挑战和苛求。微型液压技术是为满足微型机电系统领域的发展,特征在于需处理采用常规的结构和方式不能解决的难题。它将面临结构、材料、工艺、装配、检验等一系列有待研究解决的新课题,是一种向高密集度的液压集成块或液压“晶体管”的过渡。

总之,液压技术总的发展动向是紧密与高新技术结合,特别是微电子技术、计算机技术、传感器技术等。更重视可靠性、能量利用率、减轻操作者负担、增强环境适应性等综合质量指标的提高。功能上的一体化、复合化,结构上的集成化、小型和微型化,品种上的多样化、特色化趋势将继续向深层次发展。液压技术将成为内涵更为丰富的完整综合自动化技术。

参 考 文 献

- [1] 梁曼. 谈谈液压传动 [J]. 中国远程教育, 1984, (5): 60-61.
- [2] 王春行. 液压控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [3] 官忠范. 液压传动系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [4] 钱祥生. 液压技术发展展望 [J]. 液压气动与密封, 2000, (8): 1-2.
- [5] 王益群. 流体传动及控制技术的评述 [J]. 机械工程学报, 2003, (10): 95-96.
- [6] 金文胜. 液压技术在农牧业机械上应用现状和发展趋势 [J]. 拖拉机与农用运输车, 1999, (4): 14-15.
- [7] 赵亚波. 直升机液压系统现状和发展趋势 [J]. 拖拉机与农用运输车, 2007, (11): 57-58.
- [8] 胡德森. 21 世纪流体传动技术的展望 [J]. 机械制造, 2001, (5): 19-20.
- [9] 姚春东, 刘明珍. 液压传动实用技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [10] 张平格. 液压传动与控制 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.
- [11] 彭熙伟, 陈建萍. 液压技术发展动向 [J]. 液压气动, 2007, (3): 1-4.
- [12] 史维祥. 流体传动及控制技术的现状及新发展 [J]. 流体传动与控制, 2003, (11): 1-5.
- [13] 陈富安. 单片机与可编程控制器应用技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [14] 史国生. PLC 在机械手步进控制中的应用 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2001, (8): 1-5.
- [15] 岳宏, 王秀玲. 带材纠偏气液位置伺服系统动态性能研究 [J]. 机床与液压, 2002, (6): 133-134.

第2章 液压控制元件

2.1 概述

液压控制阀（简称液压阀）是液压系统中的控制元件，液压控制元件是用来控制液压系统中油液流动方向、压力和流量的元件。通过这些控制元件的控制，可以实现液压机械中对液压执行元件的启动和停止、运动方向和运动速度、动作顺序的控制和工作性能的调节，使各类液压机械都能按要求协调工作。

2.1.1 液压控制阀的分类

（1）按作用分 液压控制阀根据作用可分为方向控制阀、压力控制阀和流量控制阀三大类，相应地可由这些阀组成三种基本回路：方向控制回路、压力控制回路和调速回路。

（2）按控制方式分 根据控制方式的不同，液压控制阀又可分为开关阀、普通液压控制阀、电液控制阀等。开关阀只能在调定状态下工作，它是液压系统中使用最为普遍的元件。电液控制阀是液压技术与电子技术相结合发展的一类液压阀，是电液控制的“心脏”，包括电液比例阀、电液伺服阀和电液数字阀。电液控制阀既是系统中电气控制部分与液压执行部分间的接口，又是实现小信号控制大功率的放大元件。电液比例阀的输出量与输入量之间保持一定的比例关系，它根据输入信号连续或按比例控制液压控制阀的参数，一般多用于开环液压控制系统；电液伺服阀一般情况是采用输入信号和反馈信号的偏差来连续地控制液压控制阀的输出参数，多用于要求精度高、响应快的闭环液压控制系统；电液数字阀则用数字信息直接控制液压控制阀的动作。

（3）按安装方式分 根据安装形式不同，液压阀还可分为管式、板式和插装式等若干种。

2.2.2 对液压控制阀的要求

液压系统中所使用的液压控制元件，应具备如下要求。

- ① 动作灵敏，使用可靠，工作时冲击和振动小，寿命长。
- ② 油液流过时压力损失小。
- ③ 密封性能好。
- ④ 结构紧凑，安装、调整、维护、使用方便，通用性强。

2.2 压力控制阀

在液压系统中控制油液压力的阀如溢流阀、减压阀等和控制执行元件及电气元件等在某一调定压力下工作的阀如顺序阀、压力继电器等称为压力控制阀。压力控制阀的工作原理是利用作用在阀芯上的液体压力和作用在阀芯另一端的弹簧力相平衡进行工作的，平衡状态被破坏后会使阀芯的位置发生变化，达到控制阀口开度大小和改变阀口通断的目的。

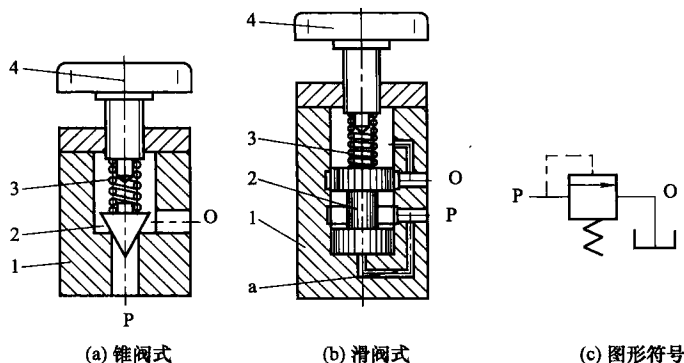


图 2-1 普通直动式溢流阀

1—阀体；2—阀芯；3—调压弹簧；4—调压手轮

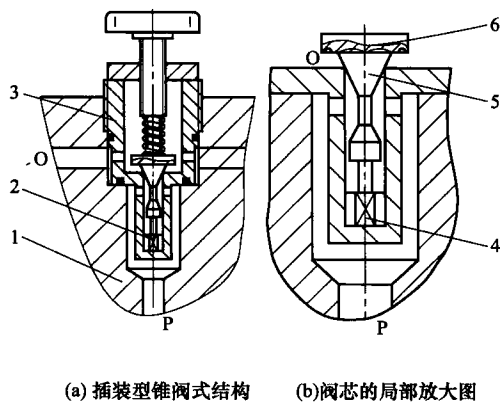
2.2.1 溢流阀

溢流阀有多种用途，主要是采用溢流的方法使液压泵的供油压力得到调整，并保持基本恒定。溢流阀按其结构原理可分为直动式和先导式两种。

对溢流阀的要求主要是：调压范围大，调压偏差小，动作灵敏；过流能力强；工作时噪声小等。

(1) 直动式溢流阀

① 普通直动式溢流阀 图 2-1 所示为锥阀式和滑阀式普通直动式溢流阀的结构原理及



(a) 插装型锥阀式结构 (b) 阀芯的局部放大图

图 2-2 新型直动式溢流阀

1—插装阀体；2—阀芯；3—阀套；4—阻尼
活塞；5—锥阀口；6—偏流盘

图形符号。对于锥阀式溢流阀 [图 2-1(a)]，当进油口 P 的油液压力不高时，阀芯 2 被弹簧 3 压紧在阀座上，阀口关闭。当进口 P 油压升高到能克服弹簧预紧力时，便推开阀芯使阀口打开，油液就从回油口 O 流回油箱（溢流），进油压力也就不会继续升高。对于滑阀式溢流阀 [图 2-1(b)]，其工作原理与锥阀式类似，进口的压力油通过阀体内的通道 a 引入阀芯下端，弹簧腔的泄漏油与出油口相连。当进口油压升高到能克服弹簧预紧力时，便推动阀芯运动，油液就由进油口 P 流入，从回油口 O 流回油箱。当通过溢流阀的流量变化时，阀口开度变化，弹簧压缩量也随之改变。在弹簧压缩量变化甚小的情况下，可以认为阀芯在液压力和

弹簧力作用下保持平衡，溢流阀进口处的压力基本保持在弹簧调定值。拧动调压手轮 4 改变弹簧的预压缩量，便可调整溢流阀的溢流压力。

这种溢流阀因为作用在其阀芯上的液压力直接和调压弹簧力抗衡，所以称为直动式溢流阀。由于液压力直接作用于弹簧的结构原因，需要的弹簧刚度很大，当溢流量较大时，阀口开度增大，弹簧的压缩量增大，控制的油液压力波动大，手轮调节所需力量也大，因此普通直动式溢流阀适用于低压小流量系统。

② 新型直动式溢流阀 直动式溢流阀在结构上采取适当措施也可以用在高压大流量系统中。具有代表性的是德国 Rexroth 公司开发的直动式溢流阀，其压力最高达到 63MPa，