

普通高等教育规划教材

液压传动

HYDRAULIC
TRANSMISSION

主 编◎任好玲 林添良
副主编◎陈其怀 付胜杰



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育规划教材

液 压 传 动

主 编 任好玲 林添良
副主编 陈其怀 付胜杰



机械工业出版社

本书共分八章,从一个简单的液压系统入手,逐渐介绍液压系统中各元件的结构、分类、工作原理、性能及应用,简单液压回路的组成、特点及应用。每章均附有习题,书末有习题参考答案。同时附赠课件。

书末附有液压基本元件的图形符号、常用液压术语的英文名称及常用的液压有关国家标准、行业标准及国际标准目录及名称,便于读者进行查阅和参考。

本书汲取了国内外的液压新技术、新成果,协调了理论与实际应用的关系,以增强读者分析、解决实际问题的能力及工程应用素质。

本书是普通高等学校机械类专业的本科教材,也适合其他近机类专业使用,同时可作为液压工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压传动/任好玲,林添良主编. —北京:机械工业出版社, 2019. 4

ISBN 978-7-111-62672-5

I. ①液… II. ①任… ②林… III. ①液压传动-教材
IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 085448 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张秀恩 责任编辑:张秀恩

责任校对:王明欣 封面设计:鞠 杨

责任印制:郜 敏

北京富生印刷厂印刷

2019 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·23.25 印张·477 千字

0001—2500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-62672-5

定价:55.00 元

电话服务

客服电话:010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机 工 官 网: www.cmpbook.com

机 工 官 博: weibo.com/cmp1952

金 书 网: www.golden-book.com

机工教育服务网: www.cmpedu.com

前 言

液压传动是机械类专业的一门专业基础课程，适合于机械工程、机械设计制造及自动化、机械电子工程、机械设计、车辆工程等专业。

本书共分为八章。第一章 绪论，总体介绍液压传动的发展、工作原理及其组成、液压传动系统的图形符号、优缺点，并重点介绍了液压传动在各个领域的应用；第二章 液压介质，主要介绍了常用介质——液压油的主要特性、选用、污染及其控制方法，并分析了常见问题和解决措施；第三章 流体力学基础知识，主要介绍了流体的静力学、动力学基本方程，以及压力损失、缝隙及孔口流动、气穴及液压冲击等，以及它们在液压系统中的应用；第四章 液压泵和液压马达，主要介绍了各种液压泵和液压马达的结构、工作原理、特点、选用及使用过程的注意事项；第五章 液压缸，主要介绍了各种液压缸的结构和设计计算，并重点介绍了单出杆双作用液压缸在不同供油情况下的输出推力和速度；第六章 液压控制阀，主要介绍了液压系统的三大类控制阀：方向控制阀、压力控制阀和流量控制阀，它们的具体结构、分类、工作原理和使用等，并简单介绍了各种新型液压控制阀；第七章 液压辅件，介绍了油箱、蓄能器、过滤器、热交换器、管件、密封及各种测试仪表；第八章 液压基本回路，主要介绍了速度控制回路、压力控制回路、多缸工作回路和其他回路等。

本书在讲解理论的同时，加强知识的应用及能力的培养，协调了理论与实际应用的关系，加强分析、解决实际问题的能力及工程应用素质的培养。另外，为培养学生的工程实践能力和国际化的视野，本书对液压专业术语进行了英文标注，所涉及的国家标准、行业标准及国际标准等均采用最新标准并在附录中进行了相应罗列。

本书是教学团队在多年教学与科研的基础上，汲取国内外同类教材的编写经验，摘取知名液压元件生产厂家产品成果和最新技术，精心编写而成的。

本书由任好玲、林添良主编，陈其怀、付胜杰任副主编，任好玲负责第二、三、八章的撰写，林添良负责第一、六章的撰写，陈其怀负责第四、五章的撰写，付胜杰负责第七章的撰写。另外，缪骋、李钟慎和叶月影参与了本书部分章节的编写工作。全书由任好玲统稿。

感谢浙江大学流体动力与机电系统国家重点实验室杨华勇院士、王庆丰教授、徐兵教授和谢海波教授等长期对华侨大学智能机电液一体化及节能技术研究团队成

员的栽培和支持；感谢太原理工大学权龙教授课题组、哈尔滨工业大学姜继海教授课题组、燕山大学孔祥东教授课题组、北京航空航天大学焦宗夏教授课题组等对华侨大学智能机电液一体化及节能技术研究团队的支持和关心；感谢为本书的编写提供素材的各位专家、企业，感谢各位专家提出的宝贵意见和建议，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平和经验有限，书中难免存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

本书附赠课件下载：

网址：<https://pan.baidu.com/s/1BWgdCF5ieSU4P6xZbfQdYg>

提取码：ldm4

编者
于福建厦门

目 录

前 言

第一章 绪论	1	二、控制液压液污染的措施	32
第一节 液压传动的国内外发展概况	1	三、污染物等级	33
第二节 液压传动的工作原理及组成	2	第四节 常见问题及解决措施	33
一、基本工作原理	2	一、液压系统的清洗及换油	33
二、液压系统的组成	3	二、液压液进水的危害	33
三、液压系统的图形符号	5	三、内燃机油、工业齿轮油与矿物 液压液	34
第三节 液压传动的基本方式及控制 方式	6	四、不同厂家同种类、同黏度级的 液压液混用	34
一、液压系统的分类	6	小结	34
二、工业液压和移动液压	6	习题	34
三、开环控制与闭环控制	8	第三章 流体力学基础知识	36
第四节 液压传动的优缺点	10	第一节 流体力学简介	36
一、液压传动的优点	10	一、流体的基本特性	36
二、液压传动的缺点	11	二、研究内容	36
三、功率传递的类型及特点	12	三、应用	36
第五节 液压传动系统的应用场合	13	第二节 流体静力学	37
一、液压技术的应用场合	14	一、液体静压力及其特性	37
二、液压技术不能应用的场合	16	二、液体静压力的基本方程	38
第六节 液压传动的发展趋势	16	三、压力对固体壁面的作用力	42
第七节 学好液压传动技术的意义	20	第三节 液体动力学	43
习题	20	一、基本概念	44
第二章 液压介质	21	二、液体流动的连续性方程	46
第一节 液压液的种类与特性	21	三、伯努利方程	48
一、液压液的种类	21	四、液体稳定流动时的动量方程	54
二、液压液的特性	23	第四节 管路流态及压力损失	59
第二节 液压液的选用	30	一、液体的流态	59
一、液压液选用的基本要求	30	二、压力损失	64
二、液压液选用的注意事项	30	第五节 孔口和缝隙液流	65
第三节 液压液的污染及控制	31	一、孔口液流特性	65
一、液压液的主要污染源	31	二、液流流经缝隙的流量	67

第六节 气穴现象	71	二、工作原理	127
一、节流口处的气穴现象	71	三、液压马达与液压泵的区别	131
二、液压泵吸油口的真空度	72	四、液压马达的参数计算	131
三、减小气穴现象的措施	73	小结	132
第七节 液压冲击	73	习题	133
一、液压冲击的类型	73	第五章 液压缸	136
二、液压系统中液压冲击的危害	75	第一节 液压缸的分类及特点	136
小结	76	第二节 典型液压缸的参数计算	138
习题	77	一、活塞缸	138
第四章 液压泵和液压马达	82	二、柱塞缸	140
第一节 基本原理和性能参数	82	三、其他液压缸	141
一、液压泵的工作原理	82	第三节 典型液压缸的结构	143
二、液压泵正常工作的三个必备条件	83	一、典型结构	143
三、液压泵的分类	84	二、液压缸的组成	144
四、液压泵的符号	84	第四节 液压缸的设计和计算	148
五、主要性能和参数	85	一、液压缸设计应注意的问题	148
六、例题	87	二、液压缸关键尺寸的确定	149
第二节 齿轮泵	88	三、强度校核	151
一、外啮合齿轮泵	88	四、稳定性校核	152
二、内啮合齿轮泵	96	五、缓冲计算	153
三、螺杆泵	97	小结	154
第三节 叶片泵	98	习题	155
一、单作用叶片泵	99	第六章 液压控制阀	158
二、双作用叶片泵	101	第一节 概述	158
三、限压式变量泵	108	一、作用和分类	158
四、叶片泵的特点	111	二、特点和要求	159
五、使用注意事项	112	三、基本参数	159
六、叶片泵的应用	112	四、安装连接方式	160
第四节 柱塞泵	113	第二节 方向控制阀及其应用	166
一、轴向柱塞泵	114	一、单向阀	166
二、径向柱塞泵	117	二、换向阀	173
三、柱塞泵的变量控制	119	第三节 压力控制阀及其应用	188
第五节 液压泵的选用和注意事项	123	一、溢流阀	188
一、使用液压泵的主要注意事项	123	二、减压阀	201
二、液压泵类型的选用原则	123	三、顺序阀	207
三、液压泵的参数计算	124	四、平衡阀	211
第六节 液压马达	127	五、卸荷阀	212
一、分类及特点	127	六、压力继电器	212
		七、压力阀的比较	214

第四节 流量控制阀及其应用	215	一、静密封	264
一、流量控制原理及节流孔的节流特性	215	二、动密封	265
二、节流阀	218	第七节 液压参数测试传感器	271
三、调速阀	221	一、压力测量仪表	271
四、温度补偿调速阀	228	二、流量测量仪表	273
第五节 其他控制阀	228	三、油液品质传感器	274
一、比例控制阀	228	四、液位液温传感器	278
二、数字控制阀	230	习题	279
三、伺服阀	232	第八章 液压基本回路	280
小结	234	第一节 概述	280
习题	235	第二节 速度控制回路	280
第七章 液压辅件	240	一、节流调速回路	281
第一节 油箱及其配件	240	二、容积调速回路	289
一、油箱的主要作用	240	三、容积节流调速回路	299
二、油箱的结构和分类	241	四、调速回路的比较	301
三、油箱的设计	242	五、快速运动回路	302
第二节 液压蓄能器	245	六、速度换接回路	304
一、结构和分类	245	第三节 压力控制回路	306
二、典型液压蓄能器的性能对比	248	一、调压回路	306
三、蓄能器在液压系统中的用途	248	二、减压回路	307
四、蓄能器的容量计算	248	三、卸荷回路	308
第三节 过滤器	250	四、增压回路	311
一、过滤器的主要作用及基本要求	250	五、保压回路	311
二、过滤器的基本结构	250	六、平衡回路	312
三、过滤器的关键参数	253	七、制动回路	314
四、过滤器的安装部位	254	第四节 单泵多执行元件工作回路	315
五、过滤器的组合单元	255	一、分流同步回路	316
六、过滤器的选用	255	二、顺序动作回路	319
第四节 热交换器	257	小结	320
一、冷却器	257	习题	321
二、加热器	258	附录	327
第五节 管件	259	附录 A 常用液气压动图形符号	327
一、管道	260	附录 B 液压传动术语中英文对照	335
二、管接头	260	附录 C 液压相关标准	342
第六节 密封元件	264	附录 D 习题答案	346
		参考文献	363

第一章

绪 论

第一节 液压传动的国内外发展概况

液压传动和气压传动统称为流体传动，相较于机械传动而言是一门新技术，是根据 17 世纪帕斯卡提出的液体静压力传动原理而发展起来的。1795 年英国约瑟夫·布拉曼（Joseph Braman，1749—1814），在伦敦用水作为工作介质，以水压机的形式将其应用于工业上，诞生了世界上第一台水压机。1905 年人们将工作介质由水改为油，性能又进一步得到改善。迄今为止，液压技术的应用已经有二三百年的历史。

第一次世界大战（1914—1918）后液压传动获得广泛应用，特别是 1920 年以后，其发展更为迅速。液压元件在 19 世纪末 20 世纪初的 20 年间，开始进入正规的工业生产阶段。1925 年维克斯（F. Vickers）发明了压力平衡式叶片泵，为近代液压元件工业和液压传动的逐步发展奠定了基础。20 世纪初康斯坦丁·尼斯克（G·Constantimseo）对能量波动传递进行了理论及实际研究。

第二次世界大战（1941—1945）期间，有 30% 的美国机床应用了液压传动技术。20 世纪 50 年代，随着世界各国经济的恢复和发展，生产过程自动化地不断增长，液压技术很快转入民用工业，在机械制造、起重运输机械及各类施工机械、船舶、航空等领域得到了广泛的发展和应用。20 世纪 60 年代以来，随着原子能、航空航天技术、微电子技术的发展，液压技术在更深、更广阔的领域得到了发展。20 世纪 60 年代出现了板式、叠加式液压阀系列，发展了以比例电磁铁为电气-机械转换器的电液比例控制阀并被广泛用于工业控制中，提高了电液控制系统的抗污染能力和性价比。随着科学技术的进步和人类环保、能源危机意识的提高，近 30 年来，人们重新认识和研究历史上以水作为工作介质的水液压传动技术。在理论上和应用研究上，水液压传动技术都得到了复苏与持续稳定的发展，正在逐渐成为现代液压传动技术中的热点问题和新的发展方向之一。

我国在液压技术上的相关研究始于 1952 年。最初的液压传动技术用于机床和锻压设备，因此最初的液压传动教材称作《金属切削机床液压传动》，后来才被逐

渐应用于工业设备、航空航天装置和工程机械等。1964年，通过引进、消化吸收国外产品，国内开始自行设计液压产品。经过多年的艰苦探索，在20世纪80年代后期我国的液压技术登上一个新的台阶。目前，我国的液压元件和产品门类齐全，并已实现标准化、系列化和通用化。国内也逐渐涌现了一大批液压元件生产厂家和液压系统设计厂家等。

第二节 液压传动的工作原理及组成

原动机（各种发动机及电动机等）的输出特性往往不能和执行机构的要求（力、速度和位移）相匹配，因此，就需要某种传动装置，将原动机的输出量进行适当变换，使其满足工作机构的要求。常用的传动装置包括机械传动、电气传动和流体传动（液压传动和气压传动）等。其中，液压传动是一种广泛使用的传动形式，其主要以液体作为介质，通过产生的压力传递能量。

本书对其进行详细描述。

一、基本工作原理

图1-1是机床工作台液压传动系统工作原理示意图，主要包括油箱1、过滤器2、液压泵3、溢流阀7、换向阀10和15、节流阀13、液压缸18和工作台19、连接这些元件的管路、管接头，以及充满整个系统的液压油等。它的工作原理如下：液压泵3在原动机带动下旋转，从油箱1中汲取液压油。油箱1中的液压油经过过滤器2后进入液压泵，经过液压泵将油压升高后输入到压力管9，在图1-1a所示状态下，液压油经过换向阀10、节流阀13、换向阀15后进入液压缸18的无杆腔（左腔），推动活塞17和工作台19向右运动。此时液压缸18的有杆腔（右腔）中的液压油经过换向阀15和回油管14后回到油箱1中。

如果将换向阀15的操作手柄16扳到图1-1b所示位置，则液压泵输出的液压油经过压力管9、换向阀10、节流阀13、换向阀15后进入液压缸18的有杆腔（右腔），推动活塞17和工作台向左运动。液压缸18无杆腔（左腔）的液压油则经过换向阀15、回油管14后回到油箱1中。

活塞17和工作台19的运动速度由节流阀13来控制。当节流阀的开度增大时，进入液压缸18中的液压油就增多，工作台的运动速度就增大；反之，当节流阀的开度减小时，工作台的运动速度就减小。

液压缸带动工作台运动的过程中，必然受到一定的阻力作用，液压缸中的压力油就是用来产生推力以克服阻力，从而使工作台运动的。阻力越大，则需要液压缸中的油液压力越高。液压缸和工作台的运动速度取决于进入液压缸的油液多少，而液压泵提供的多余液压油则需经过溢流阀7和回油管4回油箱。液压泵输出的压力油作用于钢球5上，当该油液产生的压力大于弹簧6的预紧力时，钢球5离开阀

座，打开阀口通道，使得压力支管 8 中的压力油可以经由溢流阀回油箱。此时液压泵的出口压力就由溢流阀 7 所决定，这个压力略大于液压缸中推动负载所需的压力。

当换向阀 10 的操作手柄 11 处于图 1-1c 所示位置时，液压泵输出的压力油经压力管 9、换向阀 10 和回油管 12 回油箱 1 中。此时由于液压油往液压缸支路的阻力大，而回油箱支路基本无阻力，因此液压泵输出的压力油基本上都回到油箱，并无压力油进入液压缸 18 的任何一腔，故此时液压缸处于停止状态。

从上面的工作过程可以看出，液压系统的工作是依靠液体的压力能进行的，具体表现在：

1) 液压传动是以液体为工作介质来传递动力。

2) 液压传动依靠液体的压力能来传递动力，与依靠液体的动能来传递动力的液力传动不同。

3) 液压传动中的工作介质是在受控、受调节的状态下工作的，因此液压传动与液压控制很难截然分开。

4) 液压系统在工作时，存在机械能与液压能或压力能的多次相互转换。

5) 液压传动系统必须满足所驱动负载在力或速度方面的要求。

二、液压系统的组成

从图 1-1 所示系统的工作过程可以看出，液压传动系统的组成可以分为以下四部分。

(1) 能源装置 把机械能（发动机或者电动机等）转换为油液的压力能的装置。最常见的就是液压泵，常用的液压泵如图 1-2 所示，按结构分为齿轮泵、叶片泵和柱塞泵等，其主要作用是给液压系统提供压力油，使整个液压系统能够按照设定的功能来满足负载在力或速度方面的要求。

(2) 执行装置 把油液的压力能转换为机械能的装置，如图 1-3 所示，液压系统中的执行机构主要包括两类：①作直线运动的液压缸；②做旋转运动的液压

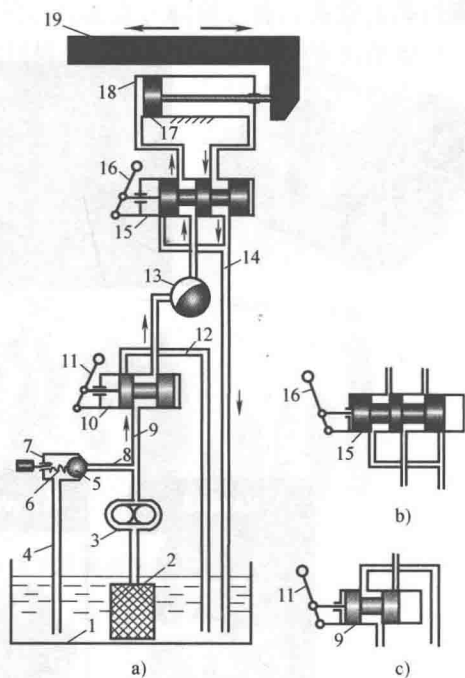


图 1-1 机床工作台液压传动系统工作原理

- 1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4、12、14—回油管
5—钢球 6—弹簧 7—溢流阀 8—压力支管
9—压力管 10、15—换向阀 11、16—操作手柄
13—节流阀 17—活塞 18—液压缸 19—工作台

马达。

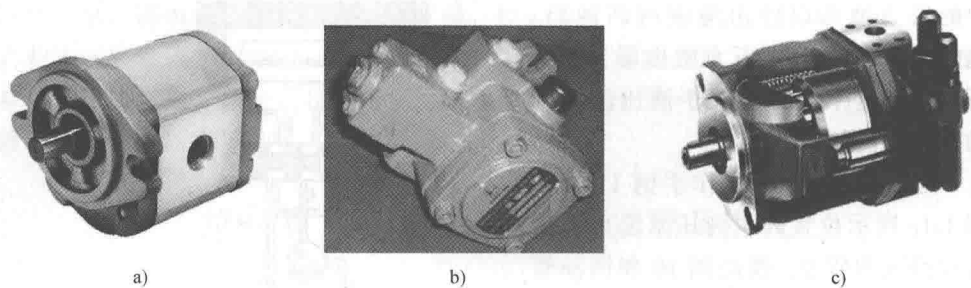


图 1-2 不同类型的液压泵
a) 齿轮泵 b) 叶片泵 c) 柱塞泵

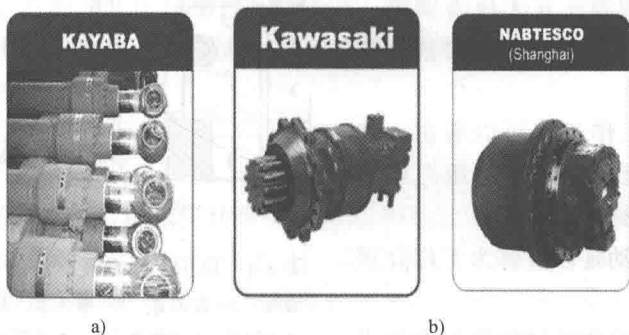


图 1-3 不同类型的执行机构
a) 液压缸（直线运动） b) 液压马达（旋转运动）

(3) 控制调节装置 对液压系统中油液的压力、流量和流动方向进行控制和调节的装置，如图 1-4 所示的换向阀、溢流阀、调速阀等。通过对这些元件的组合使用即可实现液压系统的不同功能。

(4) 辅助装置 液压系统的正常工作，除了需要上述三大装置外，还需要配

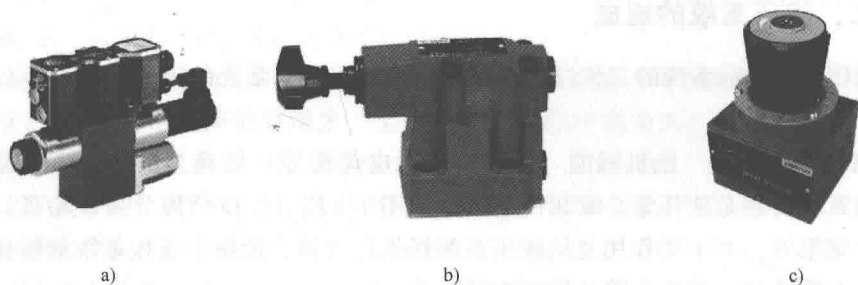


图 1-4 不同类型的液压控制装置
a) 换向阀 b) 溢流阀 c) 调速阀

置相应的辅助装置，比如图 1-5 所示的油箱、过滤器、软管、管接头以及液压蓄能器等。它们对保证液压系统的稳定、可靠和持久地运行起着举足轻重的作用。



图 1-5 不同类型的液压系统辅助装置

三、液压系统的图形符号

图 1-1 所示原理图为半结构式的液压系统原理图，直观性强，容易理解，但是图形绘制复杂，尤其是对于有较多元器件的复杂系统而言更是如此。为了简化原理图的绘制，系统中各元件可采用图形符号来表示，这些符号只代表元件的职能，不表示元件的具体结构和参数，只反映各元件在油路连接上的相互关系，不反映其空间安装位置，只反映静止位置或初始位置的工作状态，不反映其过渡过程。

国标 GB/T 786.1—2009 中对常规用途的流体传动系统及元件的图形符号进行了规定。以图 1-1 为例，介绍各元件的图形符号与半结构图的对应关系。

一般液压符号图应该以该元件处于静止或零位时的状态来表示，图 1-1 半结构式原理图对应的符号图如图 1-6 所示。

(1) 液压泵 由一个圆加上一个实心的三角形以及在圆外的旋转运动方向来表示，其中，三角形的角向外，表示油液的流动方向，如图 1-6 中的元件 3 所示。

(2) 换向阀 一般具有两个或以上的工作位置，用来改变液体的流动方向，根据与其连接的管路数量，其通道数（油口）也不相同，如图 1-6 中的元件 5 和 7 所示，换向阀 5 具有两个工作位置，三个连接通道，而换向阀 7 具有三个工作位置，四个工作通道。一般用 P 口代表压力油的入口，T 口代表压力油的出口，A 口和 B 口用来代表与负载或下一级油路相连的通道。

(3) 溢流阀 一般方格代表阀芯，中间的箭头代表液体的流动方向和流通通道，两侧的直线代表进出油路，虚线代表控制油路。压力阀就是利用作用在阀芯上的液压力与另一侧的弹簧力平衡进行工作的，如图 1-6 中的元件 4 所示。

(4) 节流阀 由两段圆弧组成的狭小缝隙即为节流阀, 由于节流阀的开口是可以调整的, 因此添加了一个斜向的箭头, 如图 1-6 的元件 6 所示。

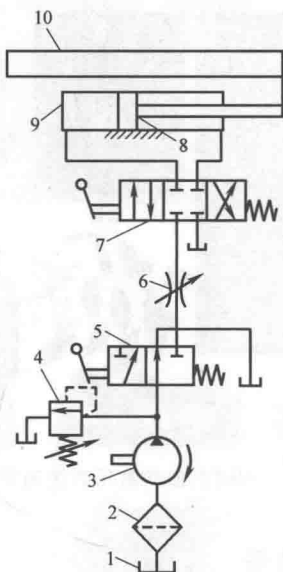


图 1-6 液压传动系统的图形符号图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—溢流阀 5、7—换向阀
6—节流阀 8—活塞 9—液压缸 10—工作台

第三节 液压传动的基本方式及控制方式

一、液压系统的分类

液压系统的种类多、应用范围广, 可按不同的特性进行分类, 典型的液压系统分类如下。

- 1) 应用场合: 工业液压和移动液压。
- 2) 不同的控制方式: 手动/自动, 开环/闭环。
- 3) 不同的功率: 小、中、大功率。
- 4) 不同的精度: 换向/比例/伺服。
- 5) 不同的控制参数: 位移、力、速度等。
- 6) 不同的结构形式: 单/多执行元件, 缸/马达。
- 7) 不同的使用环境: 室内/室外, 高温/低温。

二、工业液压和移动液压

液压传动链的基本形式包括工业液压和移动液压两种, 具体分析如下。

1. 工业液压

液压驱动装置的位置是固定的，不需要移动的称为工业液压，也称为固定液压。一般应用于机床、车间等场合，用电方便，空间限制不大。如图 1-7 所示，由于取电方便，一般选用电动机作为原动机来驱动液压泵为液压系统提供动力；此外，由于安装空间不受限制，且不需要移动，因此对液压元件的功率密度（单位质量功率或单位体积功率）、抗振等要求不高。图 1-8 是注塑机的液压系统示意图。

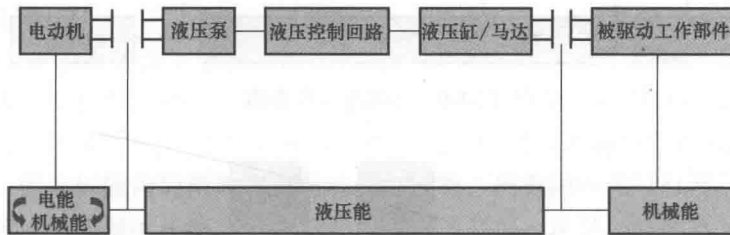


图 1-7 工业液压传动链

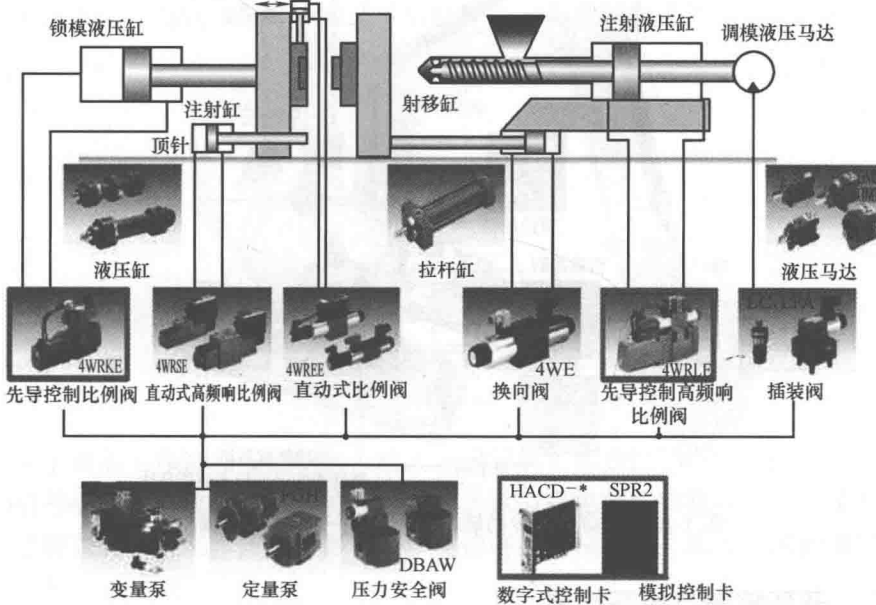


图 1-8 注塑机液压系统示意图

2. 移动液压

广泛应用于工程机械等场合的液压系统，则属于移动液压。由于取电不方便，一般选用柴油机作为原动机，而且安装空间受限制，对关键元件的功率密度要求也较高。近年来，随着新能源和电储能技术的发展，采用电动机代替柴油机驱动液压泵的趋势逐渐加强。进入 21 世纪后，移动液压在整个液压行业所占的比重越来越

大。图 1-9 为移动液压传动链。图 1-10 为移动液压系统在工程机械中的典型应用——挖掘机的液压系统示意图。

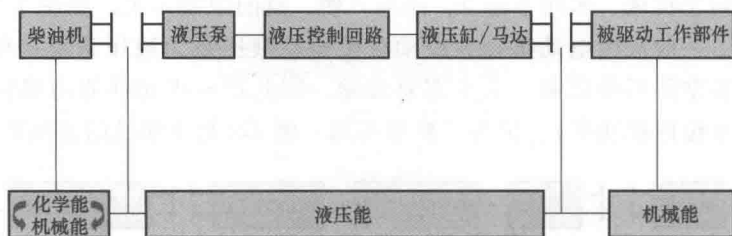


图 1-9 移动液压传动链

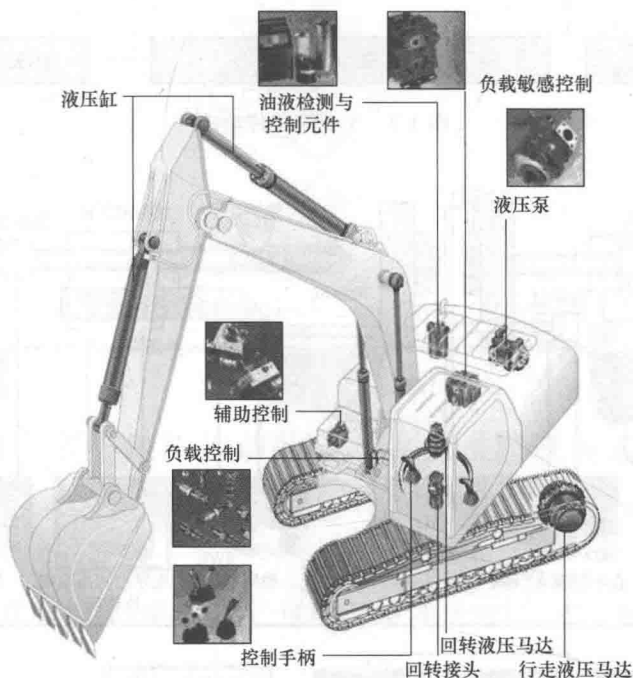


图 1-10 移动液压传动链的典型应用——液压挖掘机

三、开环控制与闭环控制

液压传动的控制方式有两个含义：①对传动部分的操纵和调节方式；②控制部分本身的结构组成方式。对传动部分的操纵方式包括手动、半自动、全自动等。

1. 开环控制

对控制系统本身而言，如图 1-1 所示系统，不论是节流阀、换向阀还是溢流阀都是事先调整好的，在工作过程中，其开度或动作是固定的，称之为开环控制系统，其控制框图如图 1-11 所示。

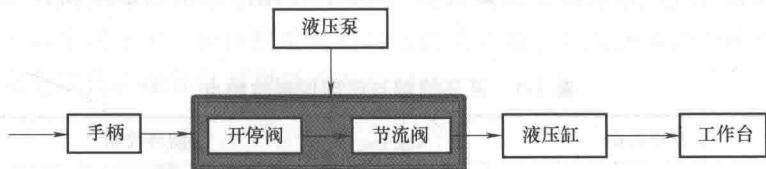


图 1-11 开环控制系统框图

2. 闭环控制

图 1-12 所示系统是手动控制的闭环控制液压系统，其具体工作过程为：当在手柄处输入一个控制信号 x ，使手柄向右运动一定的距离，此时杠杆以 O 为支点旋转一定角度，带动杠杆上的 A 点也相应运动一定距离，而伺服阀的阀芯与 A 点连接在一起，因此伺服阀的阀芯相应运动一定位置，伺服阀的阀口打开，此时液压油从供油口流入伺服阀进入液压缸的右腔，推动活塞向左运动。而活塞又与杠杆的 O 点连接在一起，因此同时带动杠杆向左运动， A 点也向左运动。直到伺服阀的阀芯将阀口堵住，无液压油流入液压缸为止，系统进入新的平衡，其工作过程可以用图 1-13 表示出来。当输入信号 x 向左拉动杠杆时，工作过程类似。

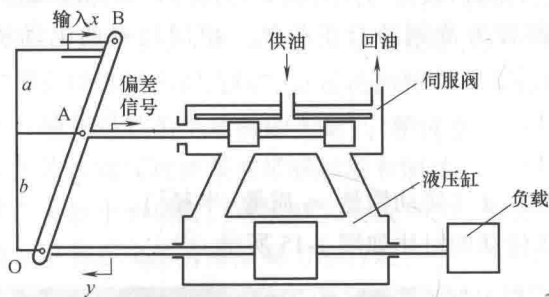


图 1-12 机械液压伺服控制系统

从上面的工作过程可以看出，输入到伺服阀的偏差信号由输入信号及活塞杆的位移信号确定，形成一个闭环的控制系统。该伺服控制系统能在工作过程中自动调节，其控制参数受工作条件的影响较小，控制精度较准确。其中，伺服阀起着开停和节流的双重作用。

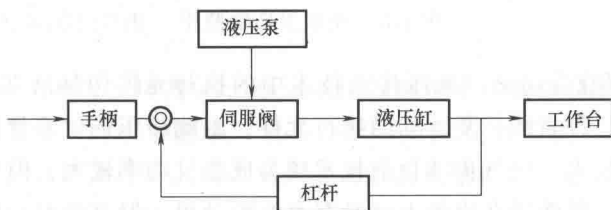


图 1-13 闭环控制系统框图