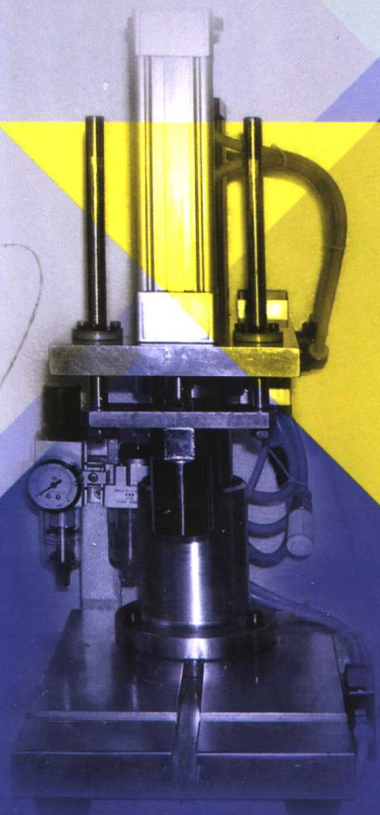


高等院校十一·五机械类统编教材

液压与气压传动

杨文生 主编

沈兆奎 王宝中 戴士杰 副主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

TH137/144

2007

高等院校十一五机械类统编教材

液压与气压传动

杨文生 主编

沈兆奎 王宝中 戴士杰 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是以液压传动为主、气压传动为辅的机械类、机电类专业的教学用书，主要讲述液压与气压传动的基本原理与基本知识。内容包括：液压传动的基础知识，即液压传动的基本概念和液压流体力学基础；液动力元件、执行元件、控制元件及辅助元件；液压基本回路；典型液压系统；液压系统设计；气压传动。

本书可作为高等学校机械类及机电类专业本科学生的教学用书，也可供有关工程技术人员参考。

为方便学习，本书还配备了多媒体电子课件。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动 / 杨文生主编. —北京: 电子工业出版社, 2007.8

高等院校十五机械类统编教材

ISBN 978-7-121-04366-6

I. 液… II. 杨… III. ①液压传动—高等学校—教材 ②气压传动—高等学校—教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 111126 号

策划编辑: 田领红

责任编辑: 韩玲玲

印 刷: 北京市李史山胶印厂

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17.5 字数: 446 千字

印 次: 2007 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 27.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

《高等院校十一五机械类统编教材》

编委会名单

顾问：范顺成

主任：张明路

副主任（按姓氏笔画）：金国光 赵新华 钱东平

唐贵基 路春光

委员（按姓氏笔画）：马跃进 王怀明 尹明富

关玉明 刘恩福 范孝良

杨传民 段星光 徐安平

出版说明

“工欲善其事，必先利其器”。教材建设是高等学校提高教学质量的重要环节，也是一项具有战略性的基本建设。近几年来，我国各高等学校实施了一系列面向 21 世纪教学改革计划，在教学内容和课程体系改革上取得了丰硕的成果，因此，需要适时地将教改成果物化为教材出版，以促进教改成果的实施和推广。

电子工业出版社作为国家级科技与教育出版社，始终关注着我国高等工程教育的改革和发展方向，始终把出版适应我国高等学校发展要求的高质量精品教材放在重要位置。多年来，我社出版了一系列特色鲜明的教材，为我国的高等教育做出了一定的贡献。随着科学技术的发展，学科领域相互渗透、融合，为适应这一特点，我社努力拓展出版领域，并希望通过出版多学科、多领域所需的高质量教材，进一步提升出版质量，更好地为培养高素质人才服务。

迄今为止，高等工程教育已培养了数百万工程专门人才，为社会、经济和科技的发展做出了巨大贡献。但 IMD1998 年的调查显示，我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名第 36 位，与我国科技人员的总数和制造业地位形成明显反差。这表明适于工程一线的应用型技术人才供给不足。

基于上述考虑，经过一年多的调研，并征求多方意见，根据国内高等院校机电类专业的发展现状，我社组织编写了《高等院校十五机械类统编教材》，教材定位于地方工科高校，以应用型、研究应用型人才培养为主，以适应经济、社会发展对工程教育的新要求，满足“厚基础、强能力、高素质”的工程应用型本科人才培养的需要。

与以往出版的同类教材相比，这套教材具有以下特点。

(1) 专业特色鲜明：以地方工科院校本科机电类专业的专业课程教材为主线，兼顾其他相关选修专业课程。

(2) 突出系统性：本套规划教材覆盖了本科机电类专业的基础课、专业方向课及专业选修课，形成了一个完整的教材系列。同时，注意教材之间内容的合理划分与衔接，层次分明，重点突出，各高校可以根据需要组合选用。

(3) 体系、内容新颖：整个知识结构建立在“高”、“新”平台上。基本理论阐述精练，深入浅出，便于自学；注意吸收新理论、新技术成果在人才培养中的作用；加强实践性与应用性，结合实例进行讲解。

(4) 配套教学支持：多数教材配有教学课件（电子教案），部分重要课程配套出版了教学辅导书或实验教材。

为做好本套教材的出版工作，本丛书成立教材编委会，并聘请了多位高等工程教育、学科领域的著名专家、教授作为教材顾问，从根本上保证了本系列教材的高质量。在此，对他们的辛勤工作也表示衷心的感谢。

今后，我社将进一步加强与各高校教师的密切联系和合作，广泛听取一线教师对教材的反馈意见和建议，以便使我们的教材出版工作做得更好。

电子工业出版社

2006 年 7 月

前 言

液压与气压传动技术是近些年发展迅速、应用领域越来越广的技术之一，随着相关技术的发展，液压技术也向着高压、高速、大流量、高效率、低噪声、集成化的方向发展。气压技术也以微型化、高精度控制为发展特点，广泛应用于各个领域。液压与气压传动作为机械工程类专业的一门重要的专业课，需要不断地适应该技术的发展趋势，不断调整知识结构和充实新的内容。为此我们编写了本书。

全书共分 10 章。第 1、2 章为液压传动的基础知识，即液压传动的基本概念和液压流体力学基础；第 3~6 章分别讲述了液压动力元件、执行元件、控制元件及辅助元件；第 7 章为液压基本回路；第 8 章为液压系统实例分析；第 9 章为液压系统设计计算；第 10 章为气压传动。学时安排：总学时 52 学时，课内讲授 48 学时，实验 4 学时。各教学单位可根据具体情况对教学内容和学时安排进行取舍。

本书力求语言简练，条理清晰，深入浅出，难点分散。在编写过程中以实用性和指导性为原则，在强化基础知识、基础理论教育，突出职业能力和职业技能训练的前提下，重组课程结构，更新教学内容，并力求切实起到帮助学生灵活运用知识、培养学生解决实际问题的能力。本书根据专业需要和现场的实际，着重考虑以下几点：

1. 液压与气动，以液压为主，气动为辅；
2. 元件与基本回路、系统，要讲透元件和基本回路，介绍典型系统；
3. 常用元件和回路为重点，其他做一般介绍；
4. 简要介绍液压与气动的发展趋势。

本教材定位为本科生用教材，可兼作专科生，职教、职专及工程技术人员参考用书。

本书由杨文生主编，沈兆奎、王宝中、戴士杰副主编，由贵阳工业大学窦一兵主审。编者分工为：第 1 章、第 4 章由河北理工大学王宝中编写；第 2 章由河北理工大学杨文生编写；第 3 章由天津理工大学沈兆奎编写；第 6 章由天津理工大学郭津津编写；第 9 章由天津理工大学杨秀萍编写；第 5 章由沈兆奎、郭津津、杨秀萍共同编写；第 7 章、第 8 章由河北工业大学戴士杰、刘茜编写；第 10 章由天津工业大学杜玉红编写。王宝中、杜玉红负责多媒体课件的制作，全书由杨文生定稿。

感谢贵阳工业大学窦一兵老师，在审稿过程中提出了很多宝贵的意见，同时感谢河北理工大学吴丽娟老师在定稿过程中做了大量文字工作。

由于编者水平所限，书中难免会出现错误和不足，希望广大读者提出宝贵意见和建议，我们衷心表示感谢！

编 者
2007 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 液压传动的工作原理及其工作特性	(2)
1.1.1 液压传动的工作原理	(2)
1.1.2 液压传动的工作特性	(3)
1.2 液压系统的组成和图形符号	(3)
1.2.1 液压传动系统的组成	(3)
1.2.2 液压传动系统图的图形符号	(5)
1.3 液压传动的优缺点	(6)
1.3.1 液压传动的优点	(6)
1.3.2 液压传动的缺点	(6)
1.4 液压技术的应用和发展	(7)
1.4.1 液压技术的应用	(7)
1.4.2 液压技术的发展	(7)
本章小结	(9)
习题 1	(9)
第 2 章 液压流体力学基础	(10)
2.1 液压油的性质和选用	(10)
2.1.1 液压油的性质	(10)
2.1.2 对液压油的要求和选用	(14)
2.2 液体静力学	(15)
2.2.1 静压力及其特性	(16)
2.2.2 静压力基本方程式	(16)
2.2.3 帕斯卡原理	(18)
2.2.4 静压力对固体壁面的作用力	(19)
2.3 流体动力学	(20)
2.3.1 基本概念	(20)
2.3.2 流量连续性方程	(21)
2.3.3 伯努利方程	(22)
2.3.4 动量方程	(24)
2.4 管路压力损失计算	(26)
2.4.1 流态、雷诺数	(26)
2.4.2 沿程压力损失	(28)
2.4.3 局部压力损失	(30)
2.5 液体流经小孔及缝隙的流量	(30)

2.5.1	薄壁小孔	(31)
2.5.2	短孔和细长孔	(33)
2.5.3	平板缝隙	(34)
2.5.4	环形缝隙	(35)
2.6	液压冲击和气穴现象	(39)
2.6.1	液压冲击	(39)
2.6.2	气穴现象	(41)
	本章小结	(42)
	习题 2	(42)
第 3 章	液压动力元件	(46)
3.1	概述	(46)
3.1.1	液压泵的工作原理及分类	(46)
3.1.2	液压泵的基本性能参数	(47)
3.2	齿轮泵	(49)
3.2.1	外啮合齿轮泵	(50)
3.2.2	内啮合齿轮泵	(53)
3.3	叶片泵	(55)
3.3.1	单作用叶片泵	(55)
3.3.2	双作用叶片泵	(61)
3.4	柱塞泵	(68)
3.4.1	斜盘式轴向柱塞泵	(68)
3.4.2	斜轴式轴向柱塞泵	(71)
3.4.3	径向柱塞泵	(73)
3.5	液压泵的选用	(74)
3.5.1	类型的选择	(74)
3.5.2	液压泵使用中的注意事项	(75)
	本章小结	(76)
	习题 3	(76)
第 4 章	液压执行元件	(78)
4.1	液压马达	(78)
4.1.1	液压马达的分类及特点	(78)
4.1.2	液压马达的性能参数	(79)
4.1.3	液压马达的工作原理	(82)
4.2	液压缸	(85)
4.2.1	液压缸的类型	(86)
4.2.2	活塞式液压缸	(87)
4.2.3	柱塞缸式液压缸	(89)
4.2.4	其他形式的液压缸	(90)
4.2.5	液压缸的典型结构和组成	(91)
4.2.6	液压缸的设计和计算	(96)
	本章小结	(99)
	习题 4	(100)

第 5 章 液压控制元件	(102)
5.1 液压阀的分类及基本要求	(102)
5.1.1 液压阀的分类	(102)
5.1.2 液压阀的基本性能参数	(104)
5.1.3 对液压阀的基本要求	(104)
5.2 方向控制阀	(104)
5.2.1 单向阀	(104)
5.2.2 换向阀	(107)
5.3 压力控制阀	(116)
5.3.1 溢流阀	(117)
5.3.2 减压阀	(126)
5.3.3 顺序阀	(127)
5.3.4 压力继电器	(128)
5.4 流量控制阀	(129)
5.4.1 节流阀口的流量特性	(129)
5.4.2 节流阀	(130)
5.4.3 调速阀	(131)
5.5 比例阀及插装阀	(133)
5.5.1 比例阀	(133)
5.5.2 插装阀	(136)
本章小结	(139)
习题 5	(140)
第 6 章 液压辅助元件	(144)
6.1 过滤器	(144)
6.1.1 过滤器的功用和类型	(144)
6.1.2 过滤器的选用	(146)
6.1.3 过滤器的安装	(146)
6.2 蓄能器	(147)
6.2.1 蓄能器的功用和分类	(147)
6.2.2 蓄能器的容量计算	(148)
6.2.3 蓄能器的安装	(149)
6.3 油箱	(149)
6.3.1 油箱的功用及典型结构	(149)
6.3.2 油箱设计时应考虑的问题	(150)
6.4 其他辅件	(151)
6.4.1 油管和管接头	(151)
6.4.2 密封件	(153)
6.4.3 热交换器	(156)
6.4.4 压力表及压力表开关	(157)
本章小结	(159)
习题 6	(159)

第7章 液压基本回路	(160)
7.1 调速回路	(160)
7.1.1 节流调速回路	(160)
7.1.2 容积调速回路	(166)
7.1.3 容积节流调速回路	(169)
7.1.4 快速运动回路	(171)
7.1.5 速度换接回路	(174)
7.2 方向控制回路	(176)
7.2.1 换向回路	(176)
7.2.2 锁紧回路	(177)
7.3 压力控制回路	(177)
7.3.1 调压回路	(177)
7.3.2 保压回路	(178)
7.3.3 卸荷回路	(180)
7.3.4 平衡回路	(180)
7.3.5 减压回路	(181)
7.4 多缸运动控制回路	(182)
7.4.1 同步运动回路	(182)
7.4.2 顺序动作回路	(184)
7.4.3 多缸快慢互不干扰回路	(185)
本章小结	(186)
习题7	(187)
第8章 液压系统实例分析	(189)
8.1 组合机床动力滑台液压系统	(189)
8.1.1 概述	(189)
8.1.2 工作原理	(190)
8.1.3 性能分析	(193)
8.2 汽车起重机液压系统	(193)
8.2.1 概述	(193)
8.2.2 工作原理	(194)
8.2.3 性能分析	(196)
8.3 液压机液压系统	(197)
8.3.1 概述	(197)
8.3.2 YA32-200型四柱万能液压机系统工作原理	(197)
8.3.3 YA32-200型四柱万能液压机液压系统的特点	(199)
8.4 XS-ZY-250A型塑料注射成型机液压系统	(199)
8.4.1 概述	(199)
8.4.2 XS-ZY-250A型注塑机液压系统工作原理	(200)
8.4.3 XS-ZY-250A型注塑机液压系统的特点	(202)
本章小结	(203)
习题8	(203)
第9章 液压系统设计计算	(207)
9.1 液压系统设计步骤	(207)

9.1.1	明确设计依据, 进行工况分析	(207)
9.1.2	初步拟定液压系统原理图	(208)
9.1.3	初步确定液压系统参数	(209)
9.1.4	液压元件的计算和选择	(210)
9.1.5	液压系统的性能验算	(211)
9.1.6	绘制系统工作图, 编写技术文件	(213)
9.2	液压系统设计计算举例	(213)
9.2.1	设计依据	(213)
9.2.2	工况分析	(213)
9.2.3	初步拟定液压系统原理图	(215)
9.2.4	确定液压系统参数	(216)
9.2.5	液压元件的计算和选择	(218)
9.2.6	液压系统的性能验算	(220)
	本章小结	(222)
	习题 9	(223)
第 10 章	气压传动	(224)
10.1	气压传动概述	(224)
10.1.1	气压传动系统的组成	(224)
10.1.2	气压传动的优缺点	(225)
10.1.3	气压传动的应用	(225)
10.2	气源装置及辅助元件	(226)
10.2.1	气源装置	(226)
10.2.2	辅助元件	(230)
10.3	气压执行元件	(234)
10.3.1	汽缸	(234)
10.3.2	气动马达	(238)
10.4	气压控制元件	(239)
10.4.1	压力控制阀	(239)
10.4.2	流量控制阀	(243)
10.4.3	方向控制阀	(245)
10.4.4	气压逻辑控制元件	(251)
10.5	气动基本回路	(252)
10.5.1	压力控制回路	(252)
10.5.2	方向控制回路	(254)
10.5.3	速度控制回路	(256)
10.5.4	其他回路	(258)
10.6	气动系统实例	(261)
10.6.1	电控气动线路设计	(261)
10.6.2	气动系统实例	(264)
	本章小结	(267)
	习题 10	(267)
	参考文献	(268)

第 1 章 绪 论



学习要点: 本章要重点掌握液压传动的工作原理、液压传动的特点、液压传动的发展趋势、液压系统图形符号的相关规定和意义。

液压传动和气压传动被称为流体传动,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一门新兴技术,在工农业生产中广为应用。如今,流体传动技术水平的高低已成为一个国家工业发展水平的重要标志。

1795 年,英国的约瑟夫·布拉曼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——世界上第一台水压机诞生。1905 年又进一步得到改善,即将工作介质水改为油。

第一次世界大战后,液压传动广泛应用,特别是 1920 年以后,其发展更为迅速。液压元件大约在 19 世纪末 20 世纪初的 20 年间,才开始进入正规的工业生产阶段。1925 年维克斯发明了压力平衡式叶片泵,为近代液压元件工业或液压传动的逐步建立奠定了基础。

第二次世界大战期间,由于战争需要,出现了由响应迅速、精度高的液压控制机构所装备的各种军事武器。“二战”结束后,液压技术迅速转向民用工业,不断应用于各种自动机及自动生产线。20 世纪 60 年代以后,液压技术随着原子能、空间技术、计算机技术的发展而迅速发展。

当前,液压技术正向迅速、高压、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。同时,新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机直接控制(CDC)、机电一体化技术、可靠性技术等方面也是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。随着应用电子技术、计算机技术、信息技术、自动控制技术及新工艺、新材料的发展和应用,液压传动技术也在不断创新。液压传动技术已成为工业机械、工程建筑机械及国防尖端产品不可缺少的重要技术。而其向自动化、高精度、高效率、高速化、大功率、小型化、轻量化方向的发展,是不断提高它与电传动、机械传动竞争能力的关键。

液压、气动元件是各类现代化机械装备的动力,是传动与控制的关键基础件。它们直接决定着主机的性能、水平、质量及可靠性。

我国的液压技术开始于 1952 年,液压元件最初应用于机床和锻压设备,后来应用于工程机械。1964 年我国从国外引进了一些液压元件生产技术,同时自行设计液压产品。经过多年的艰苦探索和发展,特别是 20 世纪 80 年代初期,引进美国、日本、德国的先进技术和设备,使我国的液压技术水平上了一个新的台阶。与机械工业各类主机相比,本行业起步较晚,其现有技术水平已严重影响和制约主机的现代化水平。此问题引起了相关部门

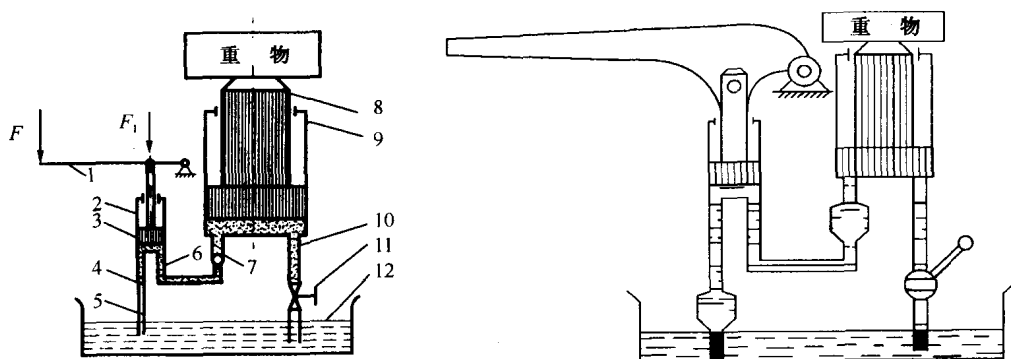
的重视，近年来将液压与气动作为国家重点支持的产业，在规划、引资、引进技术及科研开发等方面得到重点支持。目前，我国已形成门类齐全的标准化、系列化、通用化液压元件系列产品，并在消化、吸收国外先进液压技术的同时，大力研制、开发国产液压元件新产品，加强产品质量可靠性及新技术应用的研究，积极采用新的国际标准，不断调整产品结构。由此可见，随着科学技术特别是控制技术和计算机技术的发展，液压传动与控制技术将得到进一步发展，其应用将更加广泛。

1.1 液压传动的工作原理及其工作特性

1.1.1 液压传动的工作原理

液压传动的工作原理，可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

如图 1.1 所示，是液压千斤顶的工作原理图。大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动，则小活塞下端油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 4 打开，通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油；用力压下手柄，小活塞下移，小活塞下腔压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，下腔的油液经管道 6 输入举升油缸 9 的下腔，迫使大活塞 8 向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，单向阀 7 自动关闭，使油液不能倒流，从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄，就能不断地把油液压入举升缸下腔，使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11，举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱，重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。



1—杠杆手柄；2—小油缸；3—小活塞；4、7—单向阀；5—吸油管；6、10—管道；
8—大活塞；9—大油缸；11—截止阀；12—油箱

图 1.1 液压千斤顶工作原理图

通过对液压千斤顶工作过程的分析，可以初步了解到液压传动的基本工作原理。液压传动利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。压下杠杆时，小油缸 2 输出压力油，将机械能转换成油液的压力能；压力油经过管道 6 及单向阀 7，推动大活塞 8 举起重物，将



油液的压力能又转换成机械能。大活塞 8 举升的速度取决于单位时间内流入大油缸 9 中油容积的多少。由此可见，液压传动是一个能量的转换过程。

1.1.2 液压传动的工作特性

1. 力的比例关系

$$p = \frac{W}{A_2} = \frac{F_1}{A} \quad (1-1)$$

式中， W 为作用在大活塞上的负载（重物）； F_1 为作用在小活塞上的力； A_1 、 A_2 分别为小、大活塞的面积。在 A_1 、 A_2 一定时，负载力 W 越大，系统的压力也越高，所需的作用力 F_1 也越大，即系统压力与外负载密切相关。这是液压传动区别于其他传动方式的基本特征：力（或力矩）的传递是靠液体压力来实现的；或者说，力（或力矩）的传递是按帕斯卡原理（即静压传递原理）进行的。因此，有人把液压传动称为“静压传动”。帕斯卡原理即静压传递原理是：“在密闭容器内，施加于静止液体上的压力将以等值同时传到液体各点。”

由式（1-1）可知：在液压传动中，工作压力取决于负载，而与流入的液体多少无关。注意：负载包括有效负载、无效负载（如摩擦力）及液体的流动阻力。

2. 运动关系

如果不考虑液体的可压缩性、泄漏和缸体、管路的变形，小活塞缸排出的液体体积必然等于进入大活塞缸的液体体积。设小活塞缸位移为 H_1 ，大活塞缸位移为 H_2 ，则有

$$H_1 A_1 = H_2 A_2 \quad (1-2)$$

式（1-2）两边同除以运动时间 t 得

$$Q_1 = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 = Q_2 \quad (1-3)$$

式中 V_1 、 A_2 —小、大两个活塞缸的平均运动速度；

Q_1 、 Q_2 —小活塞缸输出的平均流量和大活塞缸输入的平均流量。

由式（1-3）可知：

（1）活塞的运动速度正比于流入液压缸中的油液流量，与负载无关。也就是说，活塞的运动速度可以通过改变流量的方式进行调节。基于这一点，液压传动可以实现无级调速。

（2）活塞的运动速度反比于活塞面积，所以可以通过对活塞面积的控制来控制速度。

在液压传动中，压力 p 和流量 Q 是最基本、最重要的两个参数。

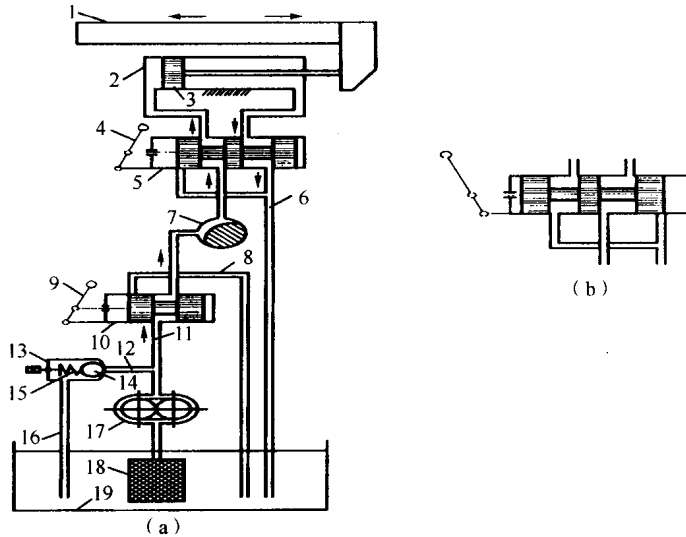
1.2 液压系统的组成和图形符号

1.2.1 液压传动系统的组成

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置。下面分析一种驱动工作台的液压传动系统。如图 1.2 所示，它由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸

及连接这些元件的油管、接头组成。其工作原理如下：液压泵由电动机驱动后，从油箱中吸油。油液经滤油器进入液压泵，油液在泵腔中从入口的低压转化为泵出口的高压，在图 1.2 (a) 所示状态下，通过开停阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔，推动活塞使工作台向右移动。这时，液压缸右腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

如果将换向阀手柄转换成图 1.2 (b) 所示状态，则压力管中的油将经过开停阀、节流阀和换向阀进入液压缸右腔，推动活塞使工作台向左移动，并使液压缸左腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。



1—工作台；2—液压缸；3—活塞；4—换向手柄；5—换向阀；6、8、16—回油管；7—节流阀；9—开停手柄；10—开停阀；11—压力管；12—压力支管；13—溢流阀；14—钢球；15—弹簧；17—液压泵；18—滤油器；19—油箱

图 1.2 机床工作台液压系统工作原理图

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开大时，进入液压缸的油量增多，工作台的移动速度增大；当节流阀关小时，进入液压缸的油量减小，工作台的移动速度减小。为了克服移动工作台时所受到的各种阻力，液压缸必须产生一个足够大的推力，这个推力是由液压缸中的油液压力所产生的。要克服的阻力越大，缸中的油液压力越高；反之压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理——压力决定于负载。从机床工作台液压系统的工作过程可以看出，一个完整的、能够正常工作的液压系统，应该由以下五个主要部分组成。

(1) 能源装置。能源装置是供给液压系统压力油、把机械能转换成液压能的装置。最常见的形式是液压泵。

(2) 执行装置。执行装置是把液压能转换成机械能的装置。其形式有做直线运动的液压缸、做回转运动的液压马达等。它们又称为液压系统的执行元件。

(3) 控制调节装置。控制调节装置是对系统中的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置，如溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等。



(4) 辅助装置。上述装置之外的其他装置，如油箱、滤油器、油管等。它们对保证系统正常工作是必不可少的。

(5) 工作介质。工作介质是传递能量的流体，即液压油等。

1.2.2 液压传动系统图的图形符号

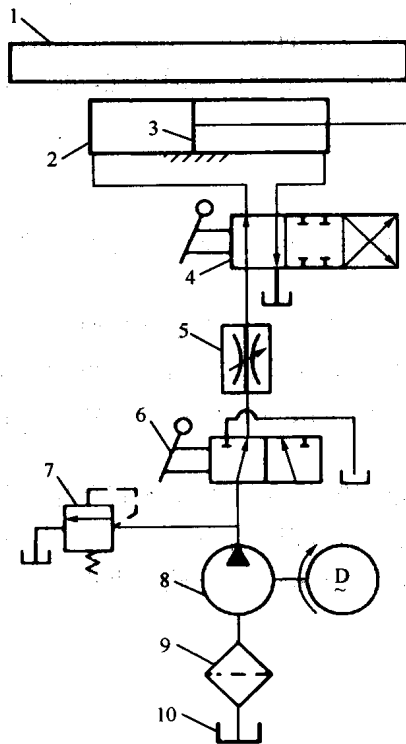
图 1.2 所示的液压系统是一种半结构式的工作原理图。它有直观性强、容易理解的优点，当液压系统发生故障时，根据原理图检查十分方便，但图形比较复杂，绘制比较麻烦。我国已经制定了一种用规定的图形符号来表示液压系统原理图中的各元件和连接管路的国家标准，即 GB 786.1—1993《液压系统图图形符号》。其中，有以下几条基本规定。

(1) 符号只表示元件的职能、连接系统的通路，既不表示元件的具体结构和参数，也不表示元件在机器中的实际安装位置。

(2) 元件符号内的油液流动方向用箭头表示。

(3) 符号均以元件的静止位置或中间零位置表示，当系统的动作另有说明时，可作例外。

如图 1.3 所示，为根据 GB 786.1—1993《液压系统图图形符号》绘制的图 1.2 (a) 的图形符号图。使用这些图形符号可使液压系统图简单明了，且便于绘制。



1—工作台；2—液压缸；3—活塞；4—换向阀；5—节流阀；6—开停阀；7—溢流阀；8—液压泵；9—滤油器；10—油箱

图 1.3 机床工作台液压系统的图形符号图



1.3 液压传动的优缺点

1.3.1 液压传动的优点

(1) 由于液压传动是油管连接, 所以借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构, 这是比机械传动优越的地方。例如, 在井下抽取石油的泵可采用液压传动来驱动, 以克服长驱动轴效率低的缺点。液压缸的推力很大, 又极易布置, 在挖掘机等重型工程机械上, 已基本取代了老式的机械传动, 这样不仅操作方便, 而且其外形美观大方。

(2) 液压传动装置的重量轻、结构紧凑、惯性小。例如, 相同功率的液压马达的体积为电动机的 12%~13%。液压泵和液压马达单位功率的重量指标, 目前是发电机和电动机的 1/10(液压泵和液压马达可小至 0.002 5 N/W(牛/瓦), 发电机和电动机则约为 0.03 N/W)。

(3) 可在大范围内实现无级调速。借助阀或变量泵、变量马达, 可以实现无级调速, 调速范围可达 1:2 000, 并可在液压装置运行的过程中进行调速。

(4) 传递运动均匀平稳, 负载变化时速度较稳定。正因为此特点, 金属切削机床中的磨床传动现在几乎都采用液压传动。

(5) 液压装置易于实现过载保护——借助于设置溢流阀等, 同时液压件能自行润滑, 因此使用寿命长。

(6) 液压传动容易实现自动化——借助于各种控制阀, 特别是采用液压控制和电气控制结合使用时, 能很容易地实现复杂的自动工作循环, 而且可以实现遥控。

(7) 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化, 便于设计、制造和推广使用。

1.3.2 液压传动的缺点

(1) 液压系统中的漏油等因素, 影响运动的平稳性和精度, 使得液压传动不能保证严格的传动比。

(2) 液压传动对油温的变化比较敏感, 温度变化时, 液体黏性变化, 引起运动特性的变化, 使得工作的稳定性受到影响, 所以它不宜在温度变化很大的环境条件下工作。

(3) 为了减少泄漏, 以及为了满足某些性能上的要求, 液压元件的配合件制造精度要求较高, 加工工艺较复杂。

(4) 液压传动要求有单独的能源, 不像电源那样使用方便。

(5) 液压系统发生故障时不易检查和排除。

随着设计制造和使用水平的不断提高, 有些缺点正在逐步加以克服。总之, 液压传动有着广泛的发展前景。