

全国高等院校“十一五”规划教材

液压与气压传动

高连兴 姬长英 史 岩 主编

 中国农业出版社

TH137/148

2007

全国高等院校“十一五”规划教材

液 压 与 气 压 传 动

高连兴 姬长英 史岩 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动 / 高连兴, 姬长英, 史岩主编. —北京:
中国农业出版社, 2007. 8
全国高等院校“十一五”规划教材
ISBN 978-7-109-10609-3

I. 液… II. ①高…②姬…③史… 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 126154 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 郭元建

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 820mm×1080mm·1/16 印张: 21.5

字数: 511 千字

定价: 32.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材分流体力学基础、液压传动和气压传动三部分。流体力学基础部分主要讲述液压与气压传动的工作介质——流体及其性质、流体静力学、流体动力学和能量损失等；液压传动部分主要讲述液压泵、液压马达与液压缸、液压控制阀、液压辅助装置、液压基本回路、典型液压系统、液压系统的设计与计算；气压传动部分主要讲述气源及辅助装置、气缸与控制元件、气动基本回路、典型气动系统应用。

· 本教材的特点是：以流体力学和热力学理论为基础，以流体压力（液压与气压）能进行能量传递为主线，以液压与气压系统元件为基本点，以液压与气压传动回路为基本框架，以典型液压与气动系统应用及液压系统初步设计为目的，使学生对液压与气压传动基础知识进行全面、深入的了解，掌握重点内容，并注意传授知识和培养能力并重。

本教材是普通高等院校机械类、交通运输类和农业工程类各相关专业系列教材之一，被列为全国高等院校“十一五”规划教材。也适用于各类电大、成人高校、职工大学相关专业，也可供从事液压与气压传动技术的工程技术人员参考使用。

前 言

本教材是全国高等院校“十一五”规划教材，适用于普通高等学校机械类、交通运输类和农业工程类等各专业，也可供有关科研与工程技术人员参考。

本教材是根据教育部高等院校工科专业教学计划调整后最新设置的“液压与气动技术”课程教学大纲，结合多年教学与科研实践，总结同类教材编写经验，并汲取本领域内最新成果的基础上而精心组织编写的。

其特点是：结合全国高等院校工科专业教学内容与课程改革实践，注重基础理论掌握、专业知识应用与能力培养并重；在内容选取与章节安排上既注重液压与气压传动知识和流体力学理论的有机结合、融会贯通，又考虑了内容之间的相互独立性、完整性和系统性；在重点论述基础理论知识的基础上，结合了大量的工程应用实例，内容阐述由浅入深、循序渐进、少而精，有利于教学和自学。

参加本教材编写的人员：沈阳农业大学高连兴（绪论）、南京农业大学姬长英（第一章、第三章）、沈阳农业大学刘志侠（第二章、第四章、第五章第二节和第三节）、西北农林科技大学郭贵生（第五章第四节）、内蒙古农业大学张丽春（第六章、第七章第一节、第二节、第四节）、内蒙古农业大学张云（第七章第三节、第五节）、山西农业大学陈振宇（第八章、第十一章）、青岛农业大学史岩（第九章）、南京农业大学何瑞银（第十章）、四川农业大学吴晓强（第十二章、第十四章、第十五章）、中国农业大学谭或（第十三章）、大连水产学院郭文洋（第五章第一节）。

本教材在组织和编写过程中，得到了各参编兄弟院校的大力支持，同时也得到了航天新光集团张晶和沈阳农业大学王君玲、杨德旭老师和刘宏力、张永丽、程献丽等研究生的大力帮助，在此一并表示诚挚的谢意！

液压与气压传动技术内容较多而且发展较快，加之学时和篇幅所限，尽管我们付出了长时间的努力，但因水平有限，书中难免存在不足和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

2007年7月

目 录

前言

绪论	1
第一节 液压与气压传动的发展概况	1
第二节 液压与气压传动的工作原理及特征	1
一、液压与气压传动的工作原理	2
二、液压与气压传动的基本特征	3
第三节 液压与气压传动系统的组成、表示方法及分类	5
一、液压与气压传动系统的组成	5
二、液压与气压系统的图形符号表示法	5
三、液压系统分类	5
第四节 液压与气压传动的优缺点	6
一、液压传动的优缺点	6
二、气压传动的优缺点	7
第五节 液压与气压传动的应用、发展水平及发展趋势	7
一、液压与气压传动的应用	7
二、液压与气压传动的发展水平	8
三、液压与气压传动的发展趋势	9
第一章 流体及其压力传动介质	10
第一节 流体及其主要物理性质	10
一、流体及其特征	10
二、流体的主要物理性质	10
三、理想流体、流体质点及连续介质的概念	13
第二节 液压油(液)的种类、性质及其选用	14
一、液压油(液)的种类	14
二、液压油(液)应具备的性质	15
三、液压油(液)的选用	15
第二章 流体静力学	17
第一节 平衡流体上的作用力	17

一、质量力	17
二、表面力	18
第二节 流体静压力及其特性	18
一、流体静压力	18
二、流体静压力的性质	19
第三节 流体平衡的微分方程式	19
一、欧拉平衡方程式	19
二、质量力的势函数	20
第四节 重力场中的平衡流体	21
一、不可压缩流体的静压力基本方程式	21
二、静压力基本方程式的物理意义	22
三、静压力的计算标准及计量单位	24
四、帕斯卡原理	25
第五节 平衡流体对固体壁面的作用力	25
第三章 流体动力学基础	29
第一节 流体运动的描述方法	29
一、拉格朗日法和质点系	29
二、欧拉法和控制体	30
第二节 流体运动的基本概念	30
一、物理量的质点导数	30
二、定常场和均匀场	31
三、迹线和流线	32
四、一维流动	33
五、流管、流束与通流断面	33
六、流量和平均流动速度	34
第三节 流体运动基本方程	35
一、流量连续方程	35
二、理想流体的运动微分方程	37
三、理想流体的伯努利方程及其应用	38
四、不可压黏性流体的伯努利方程	42
五、定常场中不可压黏性流体的动量方程及其应用	43
第四节 气体状态方程	46
一、理想气体状态方程	47
二、气体状态变化过程	47
三、气体流动基本方程	48
四、充放气过程	49
第四章 能量损失	51
第一节 流体管中流动	51

一、流体的流动形态和雷诺数	51
二、管路中的压力损失	56
第二节 孔口流动	58
一、孔口流动	59
二、短孔和细长孔	61
第三节 缝隙流动	62
一、平行平板间隙	63
二、环形缝隙	64
第四节 气穴现象与液压冲击	67
一、气穴现象	67
二、液压冲击	71
第五章 液压泵	74
第一节 概述	74
一、液压泵的工作原理和分类	74
二、液压泵的主要性能参数	75
三、液压泵的性能曲线	78
第二节 齿轮泵	79
一、外啮合齿轮泵的工作原理	79
二、外啮合齿轮泵的流量计算	80
三、外啮合齿轮泵的结构特点	81
四、提高外啮合齿轮泵压力的措施	83
五、CB-B型外啮合齿轮泵	84
六、螺杆泵和内啮合齿轮泵	85
第三节 叶片泵	86
一、单作用式叶片泵	86
二、双作用式叶片泵	88
三、限压式变量叶片泵	93
第四节 柱塞泵	97
一、轴向柱塞泵	97
二、径向柱塞泵	100
第六章 液压马达与液压缸	101
第一节 液压马达	101
一、液压马达的工作原理	101
二、液压马达的主要性能参数	102
三、液压马达的类型	103
四、典型液压马达的结构和工作原理	103
第二节 液压缸	105

一、液压缸的类型及其特点	105
二、液压缸的结构	110
三、液压缸的设计计算	112
第七章 液压控制阀	117
第一节 概述	117
一、液压控制阀的作用	117
二、液压阀的分类	117
第二节 方向控制阀	118
一、单向阀	118
二、换向阀	120
第三节 压力控制阀	131
一、溢流阀	131
二、减压阀	138
三、顺序阀	140
四、压力继电器	143
第四节 流量控制阀	144
一、流量控制原理	144
二、节流口的流量特性	144
三、普通节流阀	147
四、调速阀	148
五、旁通式调速阀	150
第五节 其他液压控制阀	151
一、电液伺服阀	151
二、电液比例阀	154
三、电液数字控制阀	157
第八章 液压辅助装置	159
第一节 油箱	159
一、油箱容积的确定	159
二、油箱的结构	160
第二节 蓄能器	161
一、蓄能器的工作原理	161
二、蓄能器在液压系统中的应用	161
三、蓄能器的类型	162
第三节 滤油器	164
一、滤油器的作用及类型	164
二、对滤油器的基本要求	166
三、滤油器在液压系统中的安装位置	166

第四节 管件与密封件	167
一、油管	167
二、管接头	168
三、密封件	170
第九章 液压基本回路	176
第一节 调速回路	176
一、调速原理和调速回路的分类	176
二、节流调速回路	177
三、容积调速回路	184
四、容积—节流调速回路	189
五、三类调速回路的比较	191
第二节 快速运动和速度换接回路	191
一、快速运动回路	191
二、速度换接回路	194
第三节 压力控制回路	196
一、调压回路	196
二、减压回路	198
三、卸荷回路	199
四、平衡回路	202
第四节 换向回路和锁紧回路	203
一、往复直线运动换向回路	203
二、锁紧回路	204
第五节 多缸工作控制回路	205
一、顺序动作回路	205
二、同步回路	207
三、多缸快慢速互不干扰回路	209
第十章 典型液压传动系统	211
第一节 组合机床动力滑台液压系统	211
一、概述	211
二、YT4543 型动力滑台液压系统的工作原理	212
三、YT4543 型动力滑台液压系统的特点	214
第二节 拖拉机液压悬挂系统	214
一、概述	214
二、东方红—802 拖拉机液压系统工作原理	215
三、东方红—802 拖拉机液压系统的主要特点	216
第三节 压力机液压系统	216
一、概述	216

二、YB32—200 型压力机液压系统工作原理	217
三、压力机液压系统的主要特点	218
第四节 联合收割机液压系统	219
一、概述	219
二、Ce—1 型洋马联合收割机液压系统工作原理	219
三、系统特点	222
第五节 汽车起重机液压系统	222
一、概述	222
二、Q2—8 型汽车起重机液压系统原理	223
三、汽车起重机液压系统的特点	226
第六节 挖掘机液压系统	226
一、概述	226
二、单斗液压挖掘机的工作原理	227
三、系统特点	229
第十一章 液压系统的设计与计算	231
第一节 液压系统的设计内容与步骤	231
一、液压系统设计依据	231
二、液压系统设计内容及设计步骤	231
第二节 负载分析与系统方案的确定	232
一、系统的负载分析	232
二、液压系统方案设计	235
第三节 液压系统参数的确定与元件的选择	238
一、液压泵的选定	238
二、液压控制阀的选择	239
三、液压辅件的选择	239
第四节 液压装置结构形式的选择	240
一、液压装置常用的结构形式	240
二、液压元件的配置形式	240
三、集成块设计	240
第五节 液压系统的验算及技术文件的编制	241
一、液压系统的验算	241
二、技术文件的编制	244
第十二章 气源及辅助装置	246
第一节 气压发生装置	247
一、空气压缩机的类型	247
二、空气压缩机工作原理	247
三、空压机组容量的计算及空压机的选用	248

第二节 压缩空气的净化处理及贮存装置	249
一、气源净化处理的必要性	249
二、后冷却器	250
三、油水分离器	251
四、贮气罐	252
五、空气干燥器	253
六、空气过滤器	254
第三节 其他辅助装置	256
一、油雾器	256
二、消声器	258
第四节 管路系统布置与计算	259
一、管路系统的布置	259
二、管路系统的计算	261
第十三章 气动执行元件与控制元件	264
第一节 气缸	264
一、气缸的种类和工作特性	264
二、气缸的工作特性	265
三、气缸的性能参数计算	266
四、气缸的主要尺寸及结构设计	267
五、常用其他气缸	270
第二节 气动马达	271
第三节 气动控制元件	272
一、方向控制阀	273
二、压力控制阀	278
三、流量控制阀	279
第四节 气动逻辑元件	280
一、气动逻辑元件的分类及特点	280
二、高压截止式逻辑元件	280
三、高压膜片式逻辑元件	283
第五节 气动传感元件	284
一、气动传感器	284
二、气动差压变送器	286
三、气动调节器	287
第十四章 气动基本回路	288
第一节 方向控制回路	288
一、单作用气缸换向回路	288
二、双作用气缸换向回路	288

第二节 压力与力控制回路	289
一、压力控制回路	289
二、力控制回路	290
第三节 速度控制回路	293
一、气缸节流控制的简单分析	293
二、单作用气缸速度控制回路	293
三、双作用气缸速度控制回路	294
四、气液联动速度控制回路	296
第四节 气动程序控制回路及其设计	297
一、多缸单往复行程程序控制回路的设计	298
二、多缸多往复行程程序回路设计	309
第五节 其他回路	312
一、位置控制回路	312
二、同步控制回路	315
三、计数回路	317
四、往复运动控制回路	317
五、气动逻辑回路	319
第十五章 典型气动系统应用	321
第一节 震压造型气动系统	321
一、造型机的工作过程	321
二、气动系统的工作原理	322
三、气动系统的特点	323
第二节 气动张力控制系统	323
一、张力控制系统的工作原理	323
二、气动系统特点	325
第三节 气动机械手	325
一、列出工作程序图	325
二、画 X—D 线图	326
三、逻辑原理图	326
四、气动回路原理图	327
第四节 气动夹紧系统	328
主要参考文献	329

绪 论

第一节 液压与气压传动的发展概况

液压与气压传动是以流体（液压油液或压缩空气）作为工作介质并以其压力势能进行能量传递的一种传动方式。

液压传动始于 17 世纪中叶帕斯卡提出的液体静压传递原理。液体静压传递原理为液压传动的研究提供了充分的理论依据。1795 年，英国的约瑟夫·布拉曼（Joseph Braman, 1749—1814）首先以水为工作介质，制成了世界上第一台水压机。1905 年又将工作介质改为油，液压传动的发展又向前推进了一步。19 世纪末 20 世纪初液压传动开始进入正规的工业生产阶段。尤其在第二次世界大战期间，液压传动和控制广泛用于兵器领域，大大地提高了兵器的作战性能，同时也促进了液压技术的飞速发展。第二次世界大战以后到 20 世纪 50 年代，液压技术很快广泛应用于机床、工程机械、农业机械、汽车、船舶等行业，并得到了进一步的发展。

气压传动的研究及应用比较早，早在公元前，埃及人就开始用风箱产生压缩空气助燃。1829 年多级空气压缩机问世，为气压传动的发展奠定了基础。1871 年研制出风镐并开始用于采矿。1868 年美国 G·威斯汀豪斯发明了气动制动装置，并在 1872 年将其用于铁路车辆制动系统。后来，随着兵器、机械、化工等工业的发展，在气动机具和控制系统方面进行了深入研究并得到广泛的推广应用。1930 年出现了低压气动调节器；20 世纪 50 年代研制成功高压气动伺服机构并应用于导弹尾翼控制；60 年代发明射流和气动逻辑元件。

随着科学技术水平与生产力的提高，尤其是计算机技术、自动控制技术、机电一体化技术和空间技术等快速发展，将液压与气压传动技术推向前进，使它发展成为包括传动、控制、检测在内的自动化技术的核心，其应用向更广泛的领域扩展。

第二节 液压与气压传动的工作原理及特征

液压传动是以几乎是不可压缩的液压油液作为工作介质，并以其压力势能进行的能量传递方式。而气压传动是以具有较大可压缩性的空气作为工作介质，所以要先把空气通过空气压缩机变为压缩空气，进而以压缩空气的压力势能进行的能量传递方式。

虽然液压与气压传动在工作介质上有所不同，但在基本工作原理、工作特征、主要元件的工作机理、回路的构成及系统的组成等诸多方面都是非常相似的。

一、液压与气压传动的工作原理

液压千斤顶是一种广泛使用的装置，它可以通过施加较小的力而升起重物。现在就以液压千斤顶为例说明液压与气压传动的工作原理。

图 0-1 为液压千斤顶的工作原理图。液压千斤顶由小液压缸 4、大液压缸 7、单向阀 2 和 3、管道及油箱 1 等元件组成。当向上提起手柄 5 时，小液压缸中的小活塞随着手柄向上运动，使小液压缸下腔的容积增大，形成局部真空，此时单向阀 3 关闭，液压油液在大气压力作用下打开单向阀 2，经吸油管道被吸入到小液压缸的下腔内。当向下压下手柄时，小液压缸中的小活塞随着手柄向下运动，下腔的容积逐渐减小，下腔内液压油液的压力由于受小活塞的挤压而升高，因而将单向阀 2 关闭，并将单向阀 3 顶开，当液压油液的压力升高到能够克服作用在大液压缸 7 中的活塞上的负载 6 所需要的压力值时，液压油液经单向阀 3 输送到大液压缸的下腔，并同时推动大活塞向上运动，将负载顶起。打开截止阀 8，将液压油液放回油箱，将负载从举高的位置上放下来。

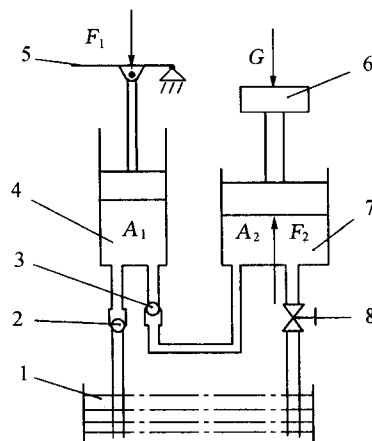


图 0-1 液压千斤顶的工作原理

1. 油箱 2、3. 单向阀 4. 小液压缸 5. 手柄
6. 负载（汽车） 7. 大液压缸 8. 截止阀

如果将图 0-1 液压系统中的工作介质换为空气，即将图中通油箱的两根管路直接与大气相通，图 0-1 就变成了气压传动系统的工作原理图，各液压元件也都变为相应的气压元件，其工作过程与上述液压千斤顶的工作过程一样。只是作为工作介质的空气具有可压缩性，所以大气缸中活塞的上升时间要滞后于手柄的下压时间，需要多次提升和下压手柄，向大气缸下腔不断输送空气，使空气压力逐渐升高而变为压缩空气，直到其压力达到使负载（或重物）上升所需的压力时，负载（或重物）才开始上升。并且在重物上升过程中空气的压力值会发生波动。

图 0-1 所示的系统是一个既简单而又完善的液压与气压传动系统。但在这个系统中，没有对重物的上升速度和系统压力等采取控制措施。

下面介绍一个较完善的液压传动系统，图 0-2 为一种驱动机床工作台的液压系统工作原理图。

液压泵 4 由电动机带动旋转，将油箱 1 中的液压油液经过滤器 2 吸进来，随着液压泵的旋转将液压油液输送到系统中去。由液压泵出来的液压油液进入压力管 9 后，首先通过开停阀 10、节流阀 13 到达换向阀 14 的进油口，在图 0-2 (a) 所示的状态下，换向阀的进油口被阀芯所封闭，油路不通，液压油液不能进入液压缸，工作台 18 不工作。要使工作台工作，必须通过换向阀的手柄来控制阀芯处于合适的位置。

如果将换向阀的阀芯通过手柄 15 的控制，将其转换成如图 0-2 (b) 所示的状态时，则压

力管路 9 中的液压油液将通过开停阀、节流阀和换向阀进入液压缸左腔,推动活塞 16 和工作台向右运动,同时液压缸右腔的液压油液在活塞的推动下经换向阀和回油管 19 排回油箱。

如果将换向阀的阀芯通过手柄的控制,将其转换成如图 0-2 (c) 所示的状态时,则压力管路 9 中的液压油液将通过开停阀、节流阀和换向阀进入液压缸右腔,推动活塞和工作台向左运动,同时液压缸左腔的液压油液在活塞的推动下经换向阀和回油管 19 排回油箱。

工作台的运动速度是由节流阀来控制的。液压泵输出的液压油液只有一部分通过节流阀进入液压缸。节流阀的阀口愈大,进入液压缸的液压油液的流量就愈大,活塞带动工作台的运动速度就愈大;反之,工作台的运动速度就愈小。液压泵输出的多余油液须通过溢流阀 6 和回油管 3 流回油箱。此时,压力管路 9 中液压油液的压力已达到溢流阀的调定压力,压力油液便克服溢流阀中弹簧 5 的预紧力,将阀芯 7 推开,便由此流回油箱。所以,此系统中液压泵的出口压力是由溢流阀调定的,和液压缸中液压油液的压力不同,液压缸中液压油液的压力是由外负载(即工作台所携带的负载)确定的。

欲使活塞带动工作台产生运动,液压缸必须要有足够的动力来克服负载(包括工作台等)阻力。这个动力就是液压缸中推动活塞的液压油液所产生的液压力和活塞有效工作面积的乘积。液压缸中液压油液压力的大小取决于负载,负载越大,压力越大;反之,压力越小。液压系统的压力取决于外负载是液压系统中很重要的一个概念。

如果将开停阀中的手柄 11 转换成图 0-2 (d) 所示的状态,液压泵输出的液压油液输送不到液压缸中去,工作台将停止运动。液压油液将经过压力管路 9、开停阀和回油管 12 直接流回油箱。此时,液压泵的出口压力为零。

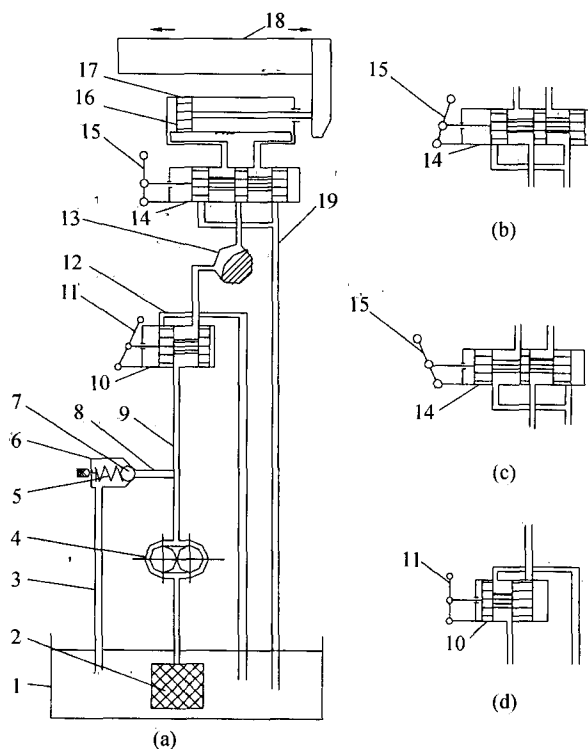


图 0-2 机床工作台的液压系统工作原理

1. 油箱 2. 过滤器 3、12、19. 回油管 4. 液压泵 5. 弹簧
6. 溢流阀 7. 阀芯 8、9. 压力管 10. 开停阀
11. 开停手柄 13. 节流阀 14. 换向阀 15. 换向阀手柄
16. 活塞 17. 液压缸 18. 工作台

二、液压与气压传动的基本特征

以图 0-1 所示的液压千斤顶为例,来研究液压与气压传动的特征。在研究过程中,为了揭