

 21世纪全国高职高专机电类规划教材

液压与气压传动

YEYA YU QIYA CHUANDONG

赵世友 主 编
孙红雨 副主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电类规划教材

液压与气压传动

赵世友 主编

孙红雨 副主编

贾晓华 王凤鸣 宫鸣 胡占明 栾祥 参编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书紧紧围绕高职高专教学基本要求选取教学内容,全书共分16章,内容包括:液压传动基础知识,液压元件的工作原理、性能及应用,液压回路及典型系统分析与排除;气压传动知识,气动元件的工作原理、性能及应用,气压回路及典型系统分析等主要内容。简明地介绍了液压与气动系统使用和维护方面的基本知识。本书每章均有学习提要与习题,供读者参考。

本书适用于机电类各专业使用,也可作为机械类工程技术人员、液压与气压设备维护人员培训之用。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/赵世友主编. —北京:北京大学出版社, 2007.1
(21世纪全国高职高专机电类规划教材)
ISBN 978-7-301-09967-4

I. 液… II. 赵… III. ①液压传动—高等学校:技术学校—教材 ②气压传动—高等学校:技术学校—教材 IV. TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第132741号

书 名: 液压与气压传动

著作责任者: 赵世友 主编

责任编辑: 温丹丹 董超

标准书号: ISBN 978-7-301-09967-4/TH·0051

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×980毫米 16开本 16.75印张 369千字

2007年1月第1版 2007年1月第1次印刷

定 价: 27.00元

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

举报电话: 010-62752024; 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书是为高等职业技术、高等专科学校机电类及机械类专业编写的教学用书。全书包含液压传动和气压传动两部分内容，共16章。第1~10章主要论述了液压传动的流体力学基础知识，液压元件的工作原理和结构特点，液压基本回路的组成和典型系统分析，液压伺服控制系统；第11~16章主要论述了气压传动的基础知识，气源装置和气动元件的工作原理以及结构特点，气动基本回路和气动系统分析，气动系统的安装、调试和维护保养要点。此外，对液压与气动系统常见故障分析与排除方法也作了适当的介绍。

目前，培养实用型和技能型人才已成为我国高等职业技术教育和高等专科学校教育的发展方向。能用会学，是对技能型人才提出的更高要求。因此，对相关教材的针对性、实用性、新颖性就提出了较高的要求，本书正是基于这种理念编写的。

本书在内容上贯彻基础知识部分必需够用、专业知识部分加强实用性，注意理论教学与实训教学的密切结合，注重学生在应用技术方面的能力培养。为便于学生阅读和理解，各章节叙述通俗易懂，范例实用，各章末归纳出本章节重点及小结，复习思考题；介绍元件工作原理多配以简化的原理图；典型结构示例配以常用新型的结构图；同时液压气动图形符号全部采用新的国家标准。

本书由赵世友任主编；孙红雨任副主编。参加编写工作的有：赵世友（第1、2、3章），栾祥（第4章），贾晓华（第5、6章），胡占明（第7、15章），宫鸣（第8、9、16章），孙红雨（第10、11、12章），王凤鸣（13、14章），全书由赵世友统稿。在本书的编写过程中，孙红雨等人对本书的编写，提出了十分有益的建议和修改意见，在此表示衷心的感谢！由于编者水平有限，书中难免有误，敬请广大读者指正。

编 者
2006年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 液压与气压传动的研究对象	1
1.2 液压与气压传动的工作原理	1
1.3 液压与气压传动系统的组成	3
1.4 液压与气压传动的特点	4
1.5 液压与气压传动的应用及发展	5
1.6 小结	6
1.7 复习思考题	7
第 2 章 液压流体力学基础	8
2.1 液压传动工作介质	8
2.1.1 液压油的性质	8
2.1.2 液压油的分类和选用	10
2.2 液体静力学	13
2.2.1 液体静压力及其特性	13
2.2.2 液体静压力基本方程	14
2.3 液体动力学	17
2.3.1 基本概念	17
2.3.2 连续性方程	18
2.3.3 伯努利方程	18
2.3.4 动量方程	21
2.4 管道内的压力损失	22
2.4.1 液体的流动状态	22
2.4.2 液体流动时的压力损失	24
2.5 液体流经小孔和间隙(缝隙)的流量	26
2.5.1 液体流经小孔的流量—压力特性	26
2.5.2 液体流经间隙的流量	28
2.6 液压冲击和空穴现象	31
2.6.1 液压冲击	31
2.6.2 空穴现象	31

2.7	小结	32
2.8	复习思考题	33
第3章	液压动力元件	35
3.1	液压泵概述	35
3.1.1	液压泵的工作原理和类型	35
3.1.2	液压泵的主要工作参数	36
3.2	齿轮泵	39
3.2.1	外啮合齿轮泵	39
3.2.2	内啮合齿轮泵	43
3.3	叶片泵	43
3.3.1	单作用叶片泵	44
3.3.2	双作用叶片泵	45
3.3.3	限压式变量叶片泵	48
3.4	柱塞泵	49
3.4.1	斜盘式轴向柱塞泵	50
3.4.2	径向柱塞泵	52
3.5	液压泵的主要性能和选用	53
3.5.1	液压泵的主要性能和选用	54
3.5.2	液压泵常见故障的分析和排除方法	55
3.6	小结	56
3.7	复习思考题	57
第4章	液压执行元件	59
4.1	液压缸概述	59
4.1.1	常用液压缸及其特点	59
4.1.2	活塞缸	61
4.1.3	柱塞缸	63
4.1.4	摆动缸	65
4.2	液压缸的结构分析	65
4.2.1	液压缸的典型结构形式	65
4.2.2	液压缸结构设计	69
4.3	液压马达	70
4.3.1	液压马达的类型与特点	70
4.3.2	液压马达的工作原理	70
4.3.3	液压马达的选择	72
4.4	液压缸、液压马达常见故障的分析和排除方法	72

4.5	小结.....	74
4.6	复习思考题.....	75
第 5 章	液压控制元件.....	77
5.1	液压控制阀概述.....	77
5.1.1	液压阀的分类.....	77
5.1.2	对液压阀的基本要求.....	77
5.2	压力控制阀.....	78
5.2.1	溢流阀.....	78
5.2.2	减压阀.....	82
5.2.3	顺序阀.....	84
5.2.4	压力继电器.....	84
5.3	流量控制阀.....	85
5.3.1	节流口的形式和流量特性.....	86
5.3.2	节流阀.....	87
5.3.3	调速阀.....	89
5.4	方向控制阀.....	90
5.4.1	单向阀.....	90
5.4.2	换向阀.....	92
5.5	其他控制阀.....	99
5.5.1	叠加阀.....	99
5.5.2	插装阀.....	101
5.5.3	电液比例控制阀.....	102
5.5.4	电液数字阀.....	103
5.6	液压阀的选择与使用.....	104
5.6.1	液压阀的选择.....	104
5.6.2	液压阀的安装.....	104
5.6.3	液压阀常见故障的分析和排除方法.....	105
5.7	小结.....	105
5.8	复习思考题.....	107
第 6 章	液压辅助元件.....	110
6.1	管道及管接头.....	110
6.1.1	管道的种类和选用.....	110
6.1.2	管道的尺寸.....	111
6.1.3	管接头.....	111
6.2	油箱.....	112

6.2.1	油箱的结构	112
6.2.2	设计时的注意事项	113
6.3	蓄能器	114
6.3.1	蓄能器的类型、结构及特点	114
6.3.2	蓄能器功用	115
6.3.3	蓄能器的安装和使用	115
6.4	过滤器	116
6.4.1	过滤器的功用和基本要求	116
6.4.2	过滤器的种类和结构特点	116
6.4.3	过滤器的选用	117
6.4.4	过滤器的安装	118
6.5	密封装置	119
6.5.1	间隙密封	119
6.5.2	接触密封	120
6.6	小结	122
6.7	复习思考题	123
第7章	液压基本回路	124
7.1	压力控制回路	124
7.1.1	调压回路	124
7.1.2	减压回路	126
7.1.3	增压回路	126
7.1.4	保压回路	127
7.1.5	卸荷回路	128
7.1.6	平衡回路	129
7.2	速度控制回路	130
7.2.1	调速回路	130
7.2.2	快速运动回路	141
7.2.3	速度换接回路	143
7.3	方向控制回路	145
7.3.1	换向回路	145
7.3.2	锁紧回路	146
7.4	多缸动作控制回路	147
7.4.1	顺序动作回路	147
7.4.2	同步回路	149
7.4.3	互不干扰回路	151

7.5	小结.....	152
7.6	复习思考题.....	156
第8章	典型液压传动系统.....	159
8.1	液压传动系统分析.....	159
8.1.1	液压传动系统的类型.....	159
8.1.2	阅读液压系统图的步骤.....	160
8.2	组合机床动力滑台液压系统.....	160
8.2.1	概述.....	160
8.2.2	T4543型动力滑台液压系统的工作原理.....	162
8.2.2	YT4543型动力滑台液压系统的特点.....	163
8.3	压力机液压系统.....	163
8.3.1	液压压力机概述.....	164
8.3.2	YB32—200型液压压力机液压系统工作原理.....	164
8.3.3	YB32—200型液压压力机液压系统的特点.....	167
8.4	塑料注射成形机液压系统.....	168
8.4.1	概述.....	168
8.4.2	注塑机液压系统工作原理.....	169
8.4.3	XS—ZY—250A型注塑机液压系统的特点.....	171
8.5	液压传动系统的设计、安装和调试.....	172
8.5.1	液压传动系统设计的一般步骤.....	172
8.5.2	液压系统的安装.....	173
8.5.3	液压系统的调试.....	174
8.5.4	液压系统的使用与维护.....	175
8.6	液压系统常见故障的分析和排除方法.....	176
8.6.1	液压系统发生故障的规律.....	176
8.6.2	液压系统常见故障的分析和排除方法.....	177
8.7	小结.....	179
8.8	复习思考题.....	180
第9章	液压伺服控制系统.....	182
9.1	概述.....	182
9.1.1	液压伺服控制系统的工作原理及特点.....	182
9.1.2	液压伺服系统的类型及组成.....	183
9.2	液压伺服控制.....	184
9.2.1	滑阀.....	185
9.2.2	喷嘴挡板阀.....	186

9.2.3	射流管阀.....	187
9.3	电液伺服阀.....	187
9.4	液压伺服控制系统举例.....	188
9.4.1	机液伺服系统.....	188
9.4.2	电液伺服控制系统.....	190
9.5	小结.....	193
9.6	复习思考题.....	193
第10章	气压传动基础知识.....	194
10.1	空气的性质.....	194
10.1.1	空气的组成.....	194
10.1.2	空气的密度和黏度.....	194
10.1.3	空气的湿度与露点.....	194
10.1.4	气体体积的易变特性及压缩空气.....	195
10.2	气体状态方程.....	196
10.2.1	理想气体的状态方程.....	196
10.2.2	理想气体的状态变化过程.....	196
10.3	小结.....	198
10.4	复习思考题.....	198
第11章	气源装置及气动辅助元件.....	200
11.1	气源装置.....	200
11.1.1	气源系统的组成.....	200
11.1.2	空气压缩机.....	201
11.1.3	气源净化装置.....	201
11.2	气动辅件.....	205
11.2.1	油雾器.....	206
11.2.2	消声器.....	207
11.2.3	转换器.....	208
11.3	小结.....	208
11.4	复习思考题.....	209
第12章	气动执行元件.....	210
12.1	气缸.....	210
12.1.1	气缸的分类.....	210
12.1.2	气缸的工作原理.....	210
12.1.3	标准化气缸.....	214
12.2	气动马达.....	215

12.2.1	气动马达的工作原理.....	215
12.2.2	气动马达的特点及应用.....	216
12.3	小结.....	217
12.4	复习思考题.....	217
第 13 章	气动控制元件	218
13.1	压力控制阀.....	218
13.1.1	减压阀.....	218
13.1.2	单向顺序阀.....	219
13.1.3	溢流阀(安全阀).....	220
13.2	流量控制阀.....	221
13.2.1	节流阀.....	221
13.2.2	排气节流阀.....	221
13.3	方向控制阀.....	222
13.3.1	单向型控制阀.....	222
13.3.2	换向型控制阀.....	224
13.4	气动逻辑元件.....	224
13.4.1	气动逻辑元件的特点.....	225
13.4.2	几种常见的气动逻辑元件.....	225
13.5	小结.....	227
13.6	复习思考题.....	228
第 14 章	气动基本回路	229
14.1	方向控制回路.....	229
14.1.1	单作用气缸换向回路.....	229
14.1.2	双作用气缸换向回路.....	229
14.2	压力控制回路.....	230
14.2.1	一次压力控制回路.....	230
14.2.2	二次压力控制回路.....	231
14.3	速度控制回路.....	231
14.3.1	单向调速回路.....	232
14.3.2	双向调速回路.....	232
14.3.3	气—液调速回路.....	233
14.4	其他常用基本回路.....	233
14.4.1	安全保护回路.....	233
14.4.2	延时回路.....	235
14.4.3	顺序动作回路.....	236

14.5	小结.....	237
14.6	复习思考题.....	238
第 15 章	气压传动系统.....	239
15.1	气动机械手气压传动系统.....	239
15.2	工件夹紧气压传动系统.....	241
15.3	气液动力滑台气压传动系统.....	242
15.4	公共汽车车门气压传动系统.....	243
15.5	小结.....	244
15.6	复习思考题.....	244
第 16 章	气压传动系统的安装调试和故障分析.....	246
16.1	气压传动系统的安装.....	246
16.2	气动系统的调试、使用维护.....	246
16.3	气动系统的故障诊断.....	247
16.4	小结.....	251
16.5	复习思考题.....	251
附录	常用液压与气动图形符号.....	252
参考文献	256

第 1 章 绪 论

一部完整的机器是由多个复杂的子系统组成的，如动力系统、传动系统、控制系统、工作机构等。传动部分是一个中间环节，其作用是把原动力（电动机、内燃机等输出功率）传送给工作机构。传动类型有多种，如机械传动、电力传动、液压传动、气压传动以及它们的组合传动等。本书主要介绍以流体为工作介质的液压与气压传动和控制。

1.1 液压与气压传动的研究对象

液压传动和气压传动称为流体传动，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。液压与气压传动是研究以有压流体为传动介质来实现各种机械传动和控制的学科，主要利用流体的压力能来进行能量传递和控制的传动方式，因而它们实现传动和控制的方法基本相同，都是利用各种元件组成具有所需功能的基本回路，再由若干基本回路有机组合成传动和控制系统，从而实现能量的转换、传递和控制。因此，了解传动介质的基本物理性质及其力学特性，研究各类元件的结构、工作原理和性能以及各种基本回路的性能和特点，并在此基础上形成对传动及控制系统的分析、设计和使用，这就是本学科的研究对象。

液压传动所用的介质是液体（主要是矿物油），气压传动所用的是空气。由于这两种流体的性质不同，所以液压与气压传动又有各自的特点。液压传动传递动力大，运动平稳，但液体黏性较大，流动过程中阻力损失大，因而不宜做远距离的传动和控制；气压传动由于空气的可压缩性大，工作压力低，故传递动力较小，运动也不够平稳，但空气黏性小，流动过程中阻力小，速度快，反应灵敏，且组成系统的成本较低，因而能用于较远距离的传动和控制。为了综合利用两者的优势，也可采用以气压为动力的气液联合传动，以获得既经济又平稳的传动效果。

1.2 液压与气压传动的工作原理

液压与气压传动的工作原理基本相似，现以图 1-1 所示一驱动机床工作台的液压传动

系统为例，说明它们的工作原理。它由油箱1、过滤器2、液压泵3、溢流阀4、换向阀5、节流阀6、换向阀7、液压缸8以及连接这些元件的油管、管接头等组成。该系统的工作原理是：液压泵由电动机带动旋转后，从油箱中吸油，油液经过滤器2进入液压泵的吸油腔，当它从液压泵中输出进入压力油路后，在图1-1a所示状态下，通过换向阀5、节流阀6，经换向阀7进入液压缸左腔，此时液压缸右腔的油液经换向阀7和回油管排回油箱，液压缸中的活塞推动工作台9向右移动。

如果将换向阀7的手柄移动成如图1-1b所示的状态，则经节流阀的压力油将由换向阀7进入液压缸的右腔，此时液压缸左腔的油经换向阀7和回油管排回油箱，液压缸中的活塞将推动工作台向左移动。因而，换向阀7的主要功用就是控制液压缸及工作台的运动方向。系统中换向阀5若处于如图1-1c所示的位置，则液压泵输出的压力油将经换向阀5直接回油箱，系统处于卸荷状态，液压油不能进入液压缸，所以换向阀5又称为开停阀。

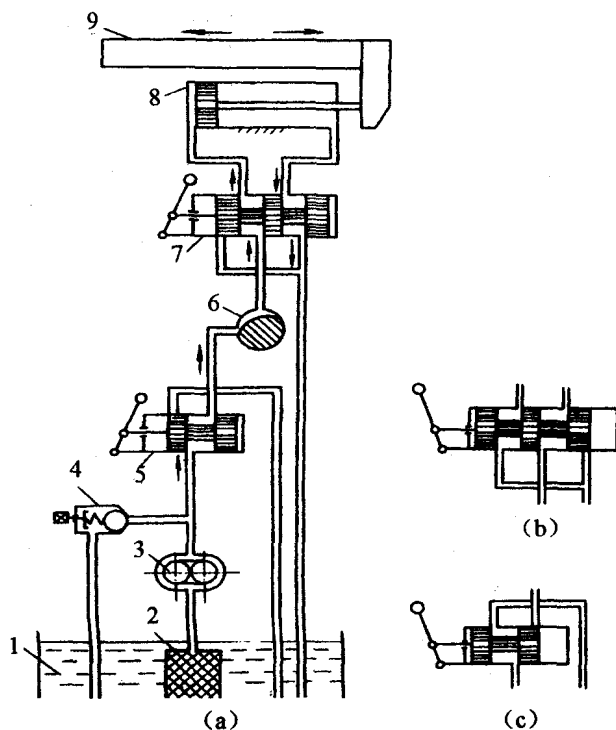


图 1-1 机床工作台液压系统的工作原理图

- 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—液压缸 9—工作台

工作台的移动速度是通过节流阀 6 来调节的, 当节流阀的开口大时, 进入液压缸的油液流量就大, 工作台移动速度就快; 反之, 工作台移动速度将减小。因而, 节流阀 6 的主要功用是控制进入液压缸的流量, 从而控制液压缸活塞的移动速度。

液压缸推动工作台移动时必须有一定的油液压力, 而在图 1-1 所示系统中液压泵出口处的油液压力是由溢流阀 4 决定的, 所以溢流阀在液压系统中的主要功用是控制系统的工作。

通过上述例子可以看出液压传动的特征是: 以液体为工作介质, 依靠处于密封工作容积内的液体压力能来传递能量; 压力的高低取决于负载; 负载速度的大小取决于进入液压缸的流量; 压力和流量是液压传动中最基本、最重要的两个参数。

液压与气压传动是利用流体的压力能来传递动力的一种传动形式, 液压与气压传动的过程是将机械能进行转换和传递的过程。

1.3 液压与气压传动系统的组成

从上述例子可以看出, 一个完整的液(气)压系统由以下五部分组成。

(1) 动力装置(能源装置) 将电动机输出的机械能转换成流体的压力能的装置。一般最常见的是液压泵或空气压缩机。

(2) 执行装置 把流体的压力能转换成机械能的装置, 一般指做直线运动的液(气)压缸、做回转运动的液(气)压马达等。

(3) 控制调节装置 对液(气)压系统中流体的压力、流量和流动方向进行控制和调节的装置, 如溢流阀、节流阀、换向阀等。这些元件的不同组合可以组成能完成不同功能的对液(气)压系统进行控制或调节的装置。

(4) 辅助装置 指除上述三部分以外的其他装置, 如油箱、过滤器、油管、储气罐等。它们对保证液(气)压系统正常工作起着重要的作用。

(5) 传动介质 传递能量的流体, 即液压油或压缩空气。

如图 1-1 所示的液压与气压传动的工作原理图是半结构的, 它直观性强, 容易理解, 但难于绘制。在实际工作中, 除少数特殊情况外, 一般都采用国标 GB/T 786.1

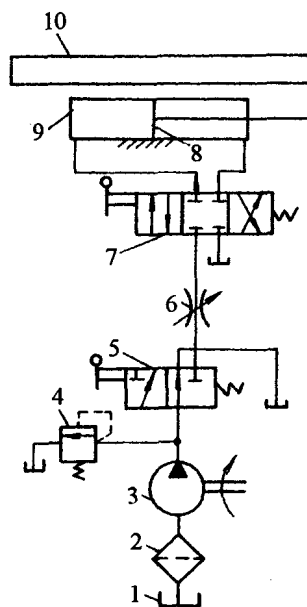


图 1-2 用图形符号表示的机床工作台液压系统的工作原理图

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—液压缸 9—工作台

—93 所规定的液压与气动图形符号（参看附录表 1）来绘制，如图 1-2 所示。图形符号表示元件的功能，而不表示元件的具体结构和参数。使用图形符号既便于绘制，又可使液压系统简单明了。

1.4 液压与气压传动的特点

液压、气压传动与机械传动、电气传动等相比有很多不同之处，液压与气压传动均属流体传动与控制，它们有共同的优缺点。但由于液体与气体的来源不同，可压缩性也相差甚远，故液压与气压传动又有各自的特点。

1. 共同的优点

- (1) 各种组成元件，可根据需要方便、灵活地布置。
- (2) 操纵控制方便，可实现大范围的无级调速。
- (3) 容易实现自动化。
- (4) 可实现过载保护。
- (5) 各种组成元件易于实现系列化、标准化和通用化，便于系统设计、制造。
- (6) 可以减少振动与冲击，能高速启动、制动和换向。
- (7) 很容易实现直线运动。

2. 共同的缺点

- (1) 由于传动介质易泄漏和流体的可压缩性，无法保证严格的传动比，气动尤为突出。
- (2) 系统传动效率不高。
- (3) 元件制造精度高，液压元件尤为如此，系统故障不易诊断排除。

3. 液压传动特点

(1) 同样功率时，液压系统质量小，结构紧凑。同样体积下，液压系统能产生更大的动力。

(2) 运动平稳且反应快，但液压传动有油液污染，因液体流动能量损失大而不能远程输送，对温度变化较敏感等问题。

4. 气压传动特点

- (1) 空气取自大气，排向大气，无成本费用，无污染。
- (2) 气体流动阻力损失远小于液体，流速快，反应灵敏，可以远程传输和控制。

(3) 可用于食品、医药、无线电元器件和其他有特殊要求的工况（如强振动、强冲击、强腐蚀和强辐射等）。

(4) 气压传动压力低、输出力小、运动不够平稳。

总的来说，液压与气压传动的优点是主要的，它们的一些缺点随着生产水平的提高正在被逐步克服。液压与气压传动技术在现代化生产中有着广阔的发展前景。

1.5 液压与气压传动的应用及发展

自18世纪末英国制成世界上第一台水压机算起，液压技术已有300年的历史了，但其真正的发展是在第二次世界大战后的50余年时间内。战后液压技术迅速转向民用工业，在机床、工程机械、农业机械、汽车等行业中被逐步推广。自20世纪60年代以来，随着原子能、空间技术、计算机技术的发展，液压技术得到了很大的发展，并渗透到各个工业领域中。在工业生产中，各个部门应用液压与气压传动技术的出发点是不尽相同的。例如，工程机械、矿山机械、压力机械和航空工业采用液压传动的主要原因是它结构简单、体积小、重量轻、输出力大；机床上采用液压传动是因为它能在工作过程中方便地实现无级调速，易于实现频繁的换向，易于实现自动化；在电子工业、包装机械、印染机械、食品机械等方面应用气压传动主要是因为它操作方便，且无油、无污染。液压与气压传动在机械行业中的应用见表1-1。

表1-1 液压与气压传动在各类机械行业中的应用

行业名称	应用举例	行业名称	应用举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机	轻工机械	打包机、注塑机
矿山机械	凿石机、开掘机、提升机、液压支架	灌装机	食品包装机、真空镀膜机、化肥包装机
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机	汽车工业	高空作业车、自卸式汽车、汽车起重机
冶金机械	轧钢机、压力机、步进加热炉	铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机
锻压机械	压力机、模锻机、空气锤	纺织机械	织布机、抛砂机、印染机
机械制造	组合机床、冲床、自动线、气动扳手		

随着电子技术和计算机技术进入液压气动技术领域，使它得到更蓬勃的发展。当前，液压技术正向高压、高速、高效、大功率、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）、计算机实时控制技术、机电一体化技术、计算机仿真和优化设计技术、可靠性技术以及污染控制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。