

工程训练·工程实践

液压与气动技术

陆一心 主 编 ●
顾 建 凌智勇 副主编 ●



化学工业出版社
教材出版中心

工程训练·工程实践

液压与气动技术

陆一心	主 编
顾 建 凌智勇	副主编
王存堂	主 审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气动技术/陆一心主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 8
(工程训练·工程实践)
ISBN 7-5025-6060-2

I. 液… II. 陆… III. ①液压传动②气动技术
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 087798 号

工程训练·工程实践

液压与气动技术

陆一心 主 编

顾 建 凌智勇 副主编

王存堂 主 审

责任编辑: 陈 丽 程树珍

责任校对: 吴桂萍

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 16¼ 字数 338 千字

2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6060-2/TB·72

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

流体（液体、气体）由于它的流动性及其他一些特性，在许多领域中得到很好的应用，如作为工作介质传递功率和运动，充填在相对运动表面之间建立流体膜层减少摩擦磨损，流体的射流控制信号切换，阻尼抗振、减振等。

本书着重在流体技术应用这个层面，叙述流体技术的基本定律、工作原理、主要元件、系统性能和应用实例。

本书是流体技术应用的技术书，是大工程背景下技术人才培养的教科书，是高等院校的教学用书，也是高校师生和工程技术人员的参考用书。

本书由陆一心任主编，顾建和凌智勇任副主编，王存堂教授主审，陆一心编第一章、第九章、第十章、第十一章；顾建编第五章、第六章、第八章；吴彤编第二章、第四章；刘文生编第三章；凌智勇编第七章，全书由陆一心、顾建和凌智勇统稿。

我们力求将流体技术很好地展示在应用这个层面上。由于编者本身水平和能力的局限性，书中难免会有错误和不足，恳请阅者指正。

编者

2004 年 6 月

内 容 提 要

本书展示了液体、气体技术应用的技术，阐述流体在传动及控制、流体静压、流体射流、阻尼抗振等方面的内容，具有鲜明的流体技术应用性。

本书是大工程背景下技术人才培养的教科书，可作为高等学校教材，亦可供相关的工程技术人员参考。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 液压和气压传动的工作原理	1
第二节 液压、气压传动系统的组成及图形符号	3
一、液压、气压传动系统的组成	3
二、液压、气压传动系统的图形符号	4
第三节 液压、气压传动的特点与应用	5
一、液压传动的特点	5
二、气压传动的特点	5
三、液压、气压传动的应用	6
四、液压与气动技术的发展趋势	6
第二章 液压与气动的基础理论	7
第一节 流体的物理性质	7
一、流体的基本概念	7
二、流体的密度	7
三、流体的压缩性和热膨胀性	8
四、流体的粘性与粘度	9
五、液压油的选用	12
第二节 气体的状态变化	13
一、空气	13
二、气体的状态方程和状态变化	15
第三节 流体静力学	17
一、流体静压力基础	17
二、流体静力学基本方程式	18
三、帕斯卡原理	18
四、压力的表示方法及单位	20
五、流体静压力作用在固体壁面的力	20
第四节 流体流动性质	21
一、基本概念	21
二、流量连续性方程	22
三、能量方程（伯努利方程）	23

四、动量方程	28
第五节 流体管流性质	30
一、流动状态、雷诺数	30
二、圆管中的层流流动	32
三、圆管中的紊流流动	33
四、压力损失	33
第六节 孔口和缝隙流动	38
一、孔口流动	39
二、缝隙流动	42
第三章 液压传动基本元件	47
第一节 液压泵和液压马达	47
一、液压泵和液压马达的基本工作原理	47
二、液压泵和液压马达的分类	48
三、液压泵和液压马达的性能参数	48
四、齿轮泵	50
五、叶片泵	51
六、柱塞泵	53
七、其他类型液压泵	56
八、液压马达	57
九、液压泵和液压马达的选用	59
第二节 液压缸	60
一、液压缸的类型	60
二、活塞式液压缸	61
三、柱塞式液压缸	63
四、伸缩式液压缸	64
五、摆动液压缸	64
第三节 液压阀	65
一、方向控制阀	66
二、压力控制阀	72
三、流量控制阀	79
第四节 液压辅助元件	82
一、油箱	82
二、滤油器	83
三、蓄能器	85
四、热交换器	86

五、密封装置	87
六、管件	89
第四章 液压与气动基本回路	91
第一节 方向控制回路	91
一、一般方向控制回路	91
二、复杂方向控制回路	92
第二节 压力控制回路	96
一、调压回路	96
二、减压回路	96
三、保压回路	97
四、卸荷回路	98
五、平衡回路	99
六、释放回路	99
七、气源压力控制	100
第三节 速度控制回路	101
一、调速回路	101
二、快速运动回路	108
三、速度换接回路	109
第四节 多缸运动控制回路	110
一、顺序动作回路	110
二、同步动作回路	111
三、多缸快慢速度互不干涉回路	113
四、气液联动调速回路	114
第五章 典型液压传动系统	115
第一节 组合机床动力滑台液压系统	115
一、概述	115
二、1HY 滑台液压系统工作原理	116
三、1HY 系列滑台液压系统的特点	118
第二节 外圆磨床液压系统	119
一、概述	119
二、外圆磨床工作台换向回路	119
三、M1432A 型万能外圆磨床液压系统的工作原理	120
四、液压系统的主要特点	123
第三节 液压机液压系统	123

一、概述	123
二、YF32-100A 型四柱式万能液压机的液压系统	124
三、液压系统的主要特点	127
第四节 汽车起重机液压系统	128
一、概述	128
二、Q ₂ -8 型汽车起重机液压系统工作原理	128
三、系统主要特点	130
第六章 气动的基本元件及控制功能	131
第一节 气源及气动辅件	131
一、概述	131
二、气源装置	131
三、辅助元件	137
第二节 气缸和气马达	143
一、概述	143
二、气缸	144
三、气动马达	152
第三节 气动控制元件及控制功能	156
一、概述	156
二、方向控制阀	156
三、压力控制阀	164
四、流量控制阀	168
第七章 气动逻辑元件及逻辑运算基础	170
第一节 基本逻辑单元	170
一、与门	170
二、或门	171
三、非门	171
四、双稳	171
第二节 气动逻辑元件	172
一、气动逻辑元件	172
二、截止式逻辑元件	172
三、膜片式逻辑元件	174
四、滑阀式逻辑元件	179
第三节 气动系统卡诺图	180
一、概述	180

二、卡诺图的概念	181
三、卡诺图法的设计步骤	182
四、在卡诺图中画工作循环顺序线	182
五、逻辑函数的简化	183
六、画气动控制系统逻辑原理图	185
七、画气动控制系统原理图	185
八、卡诺图的扩展	187
第八章 典型气动系统	189
第一节 气动控制机械手	189
一、概述	189
二、系统工作原理	189
三、系统特点	191
第二节 2ZZ8625 型射芯机气压系统	191
一、概述	191
二、气压系统的工作原理	191
三、气压系统的特点	193
第三节 DPP-130B 型多功能自动铝塑泡罩包装机	193
一、概述	193
二、结构与原理	194
三、气压传动系统原理	194
四、气压系统特点	196
第九章 液压控制系统	197
第一节 机液伺服系统	197
第二节 液压放大器	199
一、滑阀	199
二、喷嘴挡板阀	204
三、射流式阀	206
第三节 电液伺服阀	207
一、结构及工作原理	207
二、特性分析及性能指标	210
第四节 液压动力机构	212
第五节 电液伺服系统	218
第六节 气压伺服阀和气动伺服机构	219

第十章 流体静压技术	221
第一节 流体静压技术的特点与应用	221
第二节 流体静压润滑原理	221
第三节 液体静压轴承	223
一、节流器的作用	223
二、节流器的种类	224
三、径向液体静压轴承	226
第四节 气体静压轴承	229
一、气体静压轴承的工作原理	229
二、静压气体轴承的优点及其应用	230
三、静压气体轴承的形式	231
第五节 静压导轨	233
一、液体静压导轨的工作原理	233
二、静压导轨的特点	234
三、静压导轨的节流器	235
四、静压导轨的几个问题	235
第六节 液体静压丝杠	236
一、液体静压丝杠的工作原理	236
二、液体静压丝杠的特点	238
三、静压丝杠的几个问题	238
第十一章 射流技术	239
第一节 射流装置的工作原理	239
第二节 常用的几种射流元件	240
一、附壁式射流元件	240
二、动量交换式的无源“与门”元件	243
三、紊流式射流元件	243
第三节 射流技术的应用举例	244
第四节 液体射流	246
参考文献	247

第一章 绪 论

液体和气体统称为流体，由于其独特的物理性能，将流体作为工作介质，在传递能量、系统控制、支承减摩等方面发挥着很好的作用，液压和气动技术发展很快，其应用领域也在迅速扩大，几乎遍及国民经济各个部门。随着应用范围的扩大和技术的进步，对液压、气动系统提出了越来越高的要求。

要研究流体作为介质进行工作，就要了解流体这个介质的基本物理性能及其静力学、运动学和动力学特性。流体的运动（流动）遵循物理定律中的质量守恒定律——连续性方程、动量守恒定律——动量方程和能量守恒定律——能量方程（伯努利方程）。还要了解流体工作元件的结构、工作原理和工作性能。并在此基础上分析流体组成的工作系统。流体，从微观上看，是一个一个的、不断作不规则运动的分子组成的。分子之间存在着间隙，它们是不连续的。但是由于分子之间的间隙是极其微小，即使在工程计算单位最小空间里，也包含了不可数计的分子，这些分子虽然处于永恒的运动状态，但从宏观来研究，可认为流体是一种连续介质，分析这群分子运动参数（速度、压力、密度等）的统计平均值。

液体分子与分子间的内聚力极小（气体分子之间内聚力则更小），几乎不能抵抗任何拉力但能承受较大的压应力；不能抵抗剪切变形但能对变形速度呈现阻力。不管作用的剪力怎样微小，液体总会发生连续的变形，这就是液体的易流动性，它使液体本身不能保持一定的形状，只能呈现所处容器的形状。

对于一定质量的液体，它有与容器形状无关的确定的体积，而液体的形状取决于容器的形状，充满与其体积相等的那部分容积。气体则不然，一定质量的气体，其容积是变化的，它始终充满容纳它的容积。

对于液体，压力变化时其体积的变化很小，以致在大多数工程应用场合可以忽略。压力对气体的影响很大，如一定质量的气体压力增加，气体容积减小；压力减小，气体容积增大。

第一节 液压和气压传动的工作原理

把液体或气体作为工作介质，运用介质的压力能，进行动力或运动传递的称液压传动或气压传动。这是液压气动技术应用的一个主要方面。

以磨床工作台换向系统来说明液压传动的工作原理 [图 1-1 (a)]，以气动剪料机系统来说明气动工作原理 [图 1-1 (b)]。

图 1-1 (a) 系统中，液压泵 4 由电动机带动旋转后，从油箱 1 经过滤器 2 吸油。油液经液压泵加压后压入管道 10 中。当手动开停阀 11 把压力油接通系统，而系统各元件处在图示位置时，油液便可通过节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 19 左腔，推动

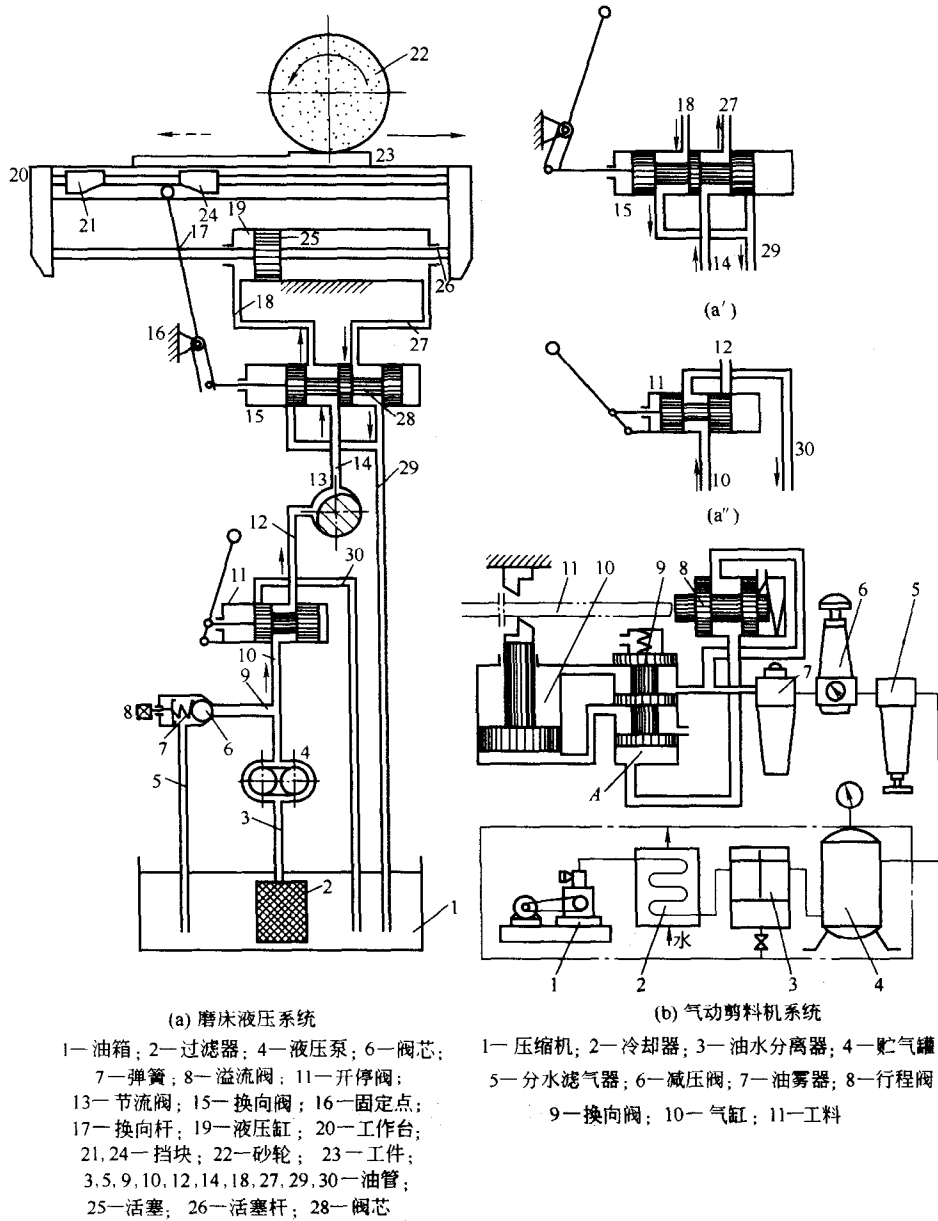


图 1-1 液压传动和气压传动的工作原理

活塞 25 和工作台 20 向右移动，与此同时，液压缸 19 右腔的油液经换向阀 15 和回油管 29 排回油箱。

活塞 25 的移动速度可由节流阀 13 加以调节，当节流阀阀口开大时，单位时间内进入液压缸 19 的油液增多，活塞带着工作台的移动速度增大；当阀口关小时，速度

就变小。为了克服工作台移动时的负载，活塞 25 会自动获得由液压缸内油压产生的推力，且当负载大时，油压及推力也会大。

液压泵 4 输出的油液除被节流阀 13 限制通过的以外，多余的流量将自动打开溢流阀 8 经回油管 5 排回油箱。

当工作台移到一定位置，换向阀 15 的换向杆 17 被安装在工作台上的挡块 21 推动而将阀芯 28 拉至如图 (a') 所示位置时，压力油将从油管 14 经 27 进入液压缸右腔，推动活塞向左移，并使液压缸左腔的油液经管道 18、29 回油箱。当活塞左移至一定位置，挡块 24 将杆 17 拉回至如图 (a) 所示位置时，工作台又被推向右移。如此在挡块 21、24 的控制下，工作台作不间断的往复运动，磨削工件。

当将开停阀手柄拨到 (a'') 位置时，则压力管中的油液将直接经开停阀 11 和管道 30 流回油箱，而不输入系统，于是液压缸便停止工作，液压泵卸荷运行。

从上面的例子中可以看出：

① 系统中液体的压力由被电动机驱动的液压泵按照所要克服的负载阻力产生，并自动随阻力变化而作同向变化；

② 由于液体的不可压缩性，液压缸活塞（执行元件）的稳态运动速度正比于输入或排出的负载流量。

液压传动是以液体的静压力传递动力为特征，以区别于以液体动能（或动量）来传递动力的液力传动。

图 1-1 (b) 所示系统中，工料 11 送入剪料机并达到预定位置时，行程阀 8 的阀芯被推向右移，把换向阀 9 的控制腔 A 接通大气，于是，在弹簧力作用下，阀 9 下移。由空气压缩机 1 发生并经净化贮存在贮气罐 4 中的压缩空气，经分水滤气器 5、减压阀 6、油雾器 7、换向阀 9 排入大气。气缸活塞杆带动剪刀将工料 11 剪断并随之松开行程阀 8 的阀芯使之复位，将排气通道隔断，而将进气通道接通。于是换向阀 9 控制腔内的气压升高，阀芯被推向上移，主气路被切换，压缩空气进入气缸 10 上腔，气缸活塞向下运动并使气缸下腔排气。活塞向下运动带动剪刀复位，准备第二次下料。可见，气动系统也是能量转换与传递系统。但和液压系统相比，由于所用的工作介质——气体的可压缩性，尽管工作原理基本一样，但性能和装置构成上有不少差别，气缸内活塞的速度不仅与进入气缸的压缩空气流量有关，还涉及气体的膨胀过程，运动速度不如液压传动那么平稳。因此在考虑气缸工作过程中的压缩流量和压力的时候，往往运用平均的概念，用平均压缩耗气量 $q_v(\text{m}^3/\text{s})$ 和平均气缸工作压力 p (MPa) 来计量。气压传动严格的说不是是一种简单的静压传动。

第二节 液压、气压传动系统的组成及图形符号

一、液压、气压传动系统的组成

1. 能源装置

能量装置是把机械能转换成流体的压力能的装置，是系统的能量来源，系统由此

取得能量。

液压系统的能源装置为液压泵及其保护装置。气压系统的能源装置由空气压缩机、贮气缸、空气净化、安全保护和调压装置等组成。

2. 执行装置

执行装置是把流体的压力能转换成机械能的装置，是系统的输出。它可以是作直线运动或摆动运动的液压缸、气缸，也可以是作回转运动的液压马达、气马达。

3. 控制调节装置

控制调节装置是对系统中流体的压力、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就组成了能完成不同功能的液（气）压系统。

4. 辅助装置

辅助装置是指除以上三种以外的其他装置，如油箱、过滤器、分水滤气器、油雾器和蓄能器等。它们对保证系统可靠和稳定工作有重大作用。

二、液压、气压传动系统的图形符号

图 1-1 所示的系统图是一种用半结构式表示的。这种图直观性强，容易理解，但绘制比较麻烦。图 1-2 是上述同一个系统用标准图形符号绘制。这些图形符号符合 GB 786.1—1993 的标准。使用图形符号使系统图简单明了，便于绘制。当有特殊或专用的元件无法用标准图形表达时，仍可使用半结构示意形式。

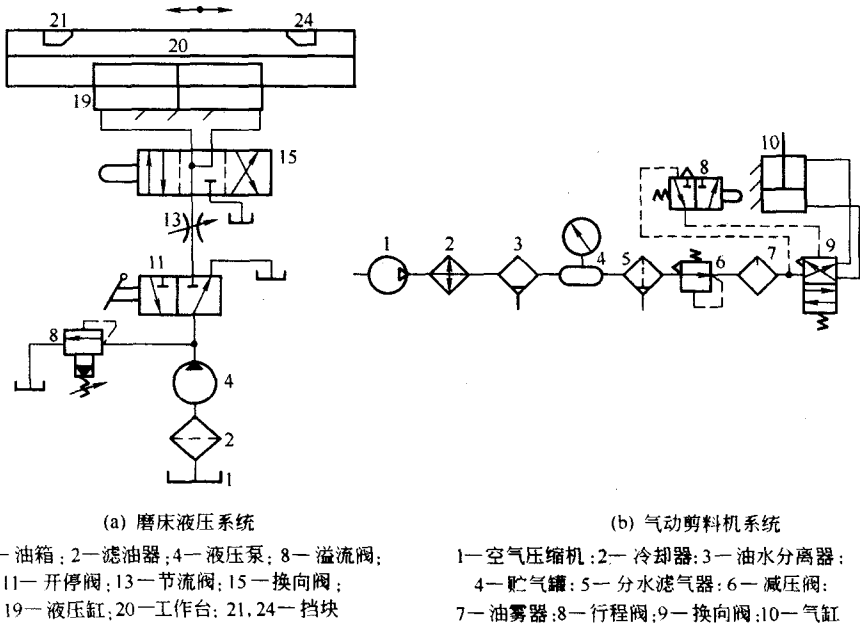


图 1-2 液压、气压传动系统图形符号图

第三节 液压、气压传动的特点与应用

一、液压传动的特点

1. 液压传动的主要优点

① 功率-质量比大。高压液压泵为 $5 \sim 6.8 \text{ kW/kg}$ ，发电机为 $0.5 \sim 0.68 \text{ kW/kg}$ ，且尺寸相当悬殊，前者约为后者的 $12\% \sim 13\%$ ，在同等功率下，液压力设备具有重量轻、体积小、反应灵敏等优点。

② 快速性好。液压马达加速仅需 0.1 s ，而同功率电动机加速则需 $1 \sim 12 \text{ s}$ 。液压马达高速换向达 8 次/s ，液压缸高速换向达 $7 \sim 8 \text{ 次/s}$ ，电动机达不到。

③ 大范围内实现无级调速，且调速范围大、调速比高达 2000 ，最低稳定转速 1 r/min ，且可在运行中调速。

④ 布局方便灵活。

⑤ 易于实现过载保护。

⑥ 运动平稳可靠，液压元件能自行润滑，使用寿命较长。

⑦ 便于实现自动化和中等距离内的能量分配、传输和控制。

2. 液压传动的主要缺点

① 工作过程中常有较多的能量损失（摩擦损失、泄漏损失等）；易泄漏，不仅污染工作场地，还可能引起失火事故，而且影响执行部件的运动平稳性及正确性。

② 工作时受温度变化影响较大，油温变化使液体粘度变化，引起运动特性变化。

③ 液压脉动和液体中混入空气，易产生噪声。

④ 为了减少泄漏，液压元件制造工艺水平要求较高，且使用维护需要较高技术水平。

二、气压传动的特点

1. 气压传动的主要优点

① 介质提取和处理方便。

② 阻力损失和泄漏较小。

③ 动作迅速，反应灵敏，也能实现过载保护，便于自动控制。

④ 能源可贮存。

⑤ 工作环境适应性好。

⑥ 成本低廉。

2. 气压传动的主要缺点

① 因工作气压较低，输出力较小。

② 空气的可压缩性，使系统动作稳定性稍差。

③ 信号传递速度限制在声速范围内，所以工作频率和响应速度远不如电子装置。

总的说来，液压与气压传动的优点是明显的、独特的，这是其在许多经济领域得到广泛应用的原因。

三、液压、气压传动的应用

工业各部门使用液压与气压传动的出发点是不尽相同的：有的是利用它们在传递动力上的长处，如工程机械、压力机械和航空工业采用液压传动的主要原因是取其结构简单、体积小、重量轻、输出功率大；有的是利用它们在操纵控制上的优点，如机床上采用液压传动是取其在工作过程中实现无级变速，易于实现频繁的换向，易于实现自动化；在采矿、钢铁和化工等部门采用气压传动是取其空气工作介质具有防爆、防火等特点；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取其操作方便，且无油、无污染的特点。表 1-1 是液压与气压传动在各类行业中的应用举例。

表 1-1 液压与气压传动在各类行业中的应用

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、推土机等	轻工机械	打包机、注塑机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、提升机、液压支架等	灌装机械	食品包装机、真空镀膜机、化肥包装机等
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等	汽车工业	高空作业车、自卸式汽车、汽车起重机等
冶金机械	轧钢机、压力机、步进加热炉等	铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机等
锻压机械	压力机、模锻机、空气锤等	纺织机械	织布机、抛砂机、印染机等
机械制造	组合机床、冲床、自动线、气动扳手等	起重运输机械	港口龙门吊车、叉车、装卸机等

四、液压与气动技术的发展趋势

当今，为了和最新技术的发展保持同步，液压与气动技术必须不断创新，不断提高和发展，以满足日益变化的市场需求。液压与气动技术的持续发展体现有如下一些特征。

① 提高元件性能，创制新型元件，体积不断缩小。

如高速气缸的速度可达 17m/s，低速气缸的最小速度可达 5mm/s，不产生爬行。高精度定位气缸的定位精度可达 0.01mm。微型的活塞直径小到 2.5mm 的气缸，10mm 宽的气阀及相关辅助元件已成系列化产品。

② 高度的组合化、集成化和模块化。液压系统的叠加式、插装式使连接通道越来越短。还做成许多泵阀组合、阀缸组合的组合系统，使结构紧凑，工作可靠。模块化发展，完整的模块以及独立的功能单元，用户只需简单组装即可投入使用。

③ 和微电子结合，走向智能化。出现了数字液压泵、数字阀、数字液压缸。把编了程的芯片和液压阀、执行元件或能源装置、检测反馈装置、数模转换装置、集成电路等汇成一体。这种联结体收到微型计算机的信息，就能实现预先设定的任务。

液压气动技术在与微电子技术紧密结合后，将大大地拓宽它的应用领域，使液压气动技术发生飞跃式的发展。