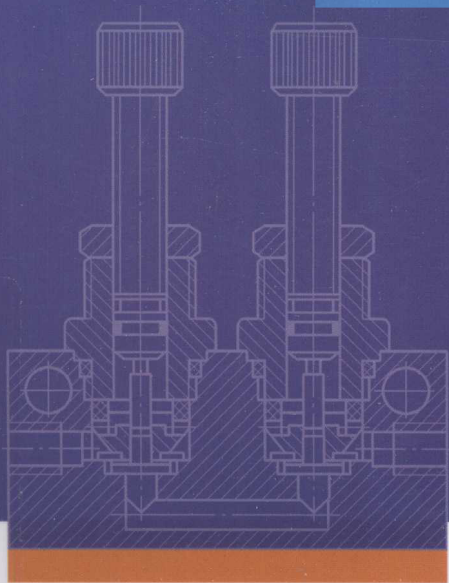


深入浅出机电一体化技术应用丛书

液压与气压传动 原理及应用

吴 博 主 编

徐 莉 付彦虹 王 巍 副主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

深入浅出机电一体化技术应用丛书

液压与气压传动 原理及应用



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《深入浅出机电一体化技术应用丛书》之一,全面、系统地介绍了液压与气压传动的基本理论和基本知识。全书由液压传动和气压传动两部分组成,共分为14章。第一部分包括第1~8章,主要介绍了液压传动的基础知识,各类液压元件(包括动力元件、执行元件、控制元件和液压辅助装置)的结构、工作原理、性能特点及选用,液压传动基本回路的组成、功能、特点及应用,典型液压传动系统的组成、工作原理和系统特点;第二部分由第9~14章组成,主要介绍了气压传动基础知识、气源装置及气动辅助元件、气动执行元件、气动控制元件、气压传动基本回路及典型应用实例等。

本书在注重基本原理和基本方法的同时,突出其具体实际应用,可作为高等院校机械设计及自动化、机电一体化、车辆工程、工业自动化等专业的本科生教材或参考书,也可供从事流体传动与控制技术的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动原理及应用/吴博主编. —北京:中国电力出版社, 2010.3

(深入浅出机电一体化技术应用丛书)

ISBN 978-7-5083-9975-7

I. ①液… II. ①吴… III. ①液压传动②气压传动
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第002013号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010年5月第一版 2010年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 19印张 461千字

定价 36.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

机电一体化作为理工科院校的一个重要专业,随着微电子、计算机等新技术的发展和应
用,近年来发展十分迅速。其中,液压与气压传动技术是机电一体化人才所应必备的控制与
伺服驱动控制技术的重要组成部分。

为了提高机电一体化专业的高年级本科生的理论基础和实际应用能力,帮助其顺利实现
由学校向工作环境的过渡,组织编写了《深入浅出机电一体化技术应用丛书》。本书是《深
入浅出机电一体化技术应用丛书》之一,可作为大中专院校机械设计制造及自动化、机电一
体化、车辆工程、工业自动化等相关专业高年级本科生的液压与气压传动课程的教材和毕业
设计参考书,也可供从事流体传动及控制技术的工程技术人员参考使用。

本书的内容既注重基础性、系统性,同时兼顾应用性。在编写过程中,贯彻少而精、理
论联系实际、学以致用原则,着重从元件、回路和系统各个不同层次讲解其基本原理,并
通过对典型回路和系统实例的分析,加深读者对流体传动系统分析和设计方法的理解和
应用。

本书由哈尔滨理工大学机械动力工程学院吴博担任主编,黑龙江工程学院徐莉、付彦虹
和王巍担任副主编,参加编写的有哈尔滨理工大学机械动力工程学院王志伟和东北林业大学
交通学院岳永恒。其中,第1、4、7、13章及附录由吴博编写,第5、12章由徐莉编写,第
2、3、9章由付彦虹编写,第6、10、11章由王巍编写,第8章由王志伟编写,第14章由
岳永恒编写。全书由吴博统稿完成。

另外,本书在编写过程中参阅了大量相关文献和教材,在此向相关作者表示衷心的感谢。
同时,还要感谢协助本书编写的黄智、单志民、迟明善、蔡兆辉、孙桂涛等研究生,感谢
他们对本书的帮助和支持。

由于编者水平所限,书中难免有不妥和缺陷之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010年1月

前言

1 绪论	1
1.1 液压与气压传动的工作原理	1
1.2 液压与气压传动的组成	3
1.3 液压与气压传动的优缺点	5
1.4 液压与气压传动的应用	6
2 液压传动的基础知识	8
2.1 液压油	8
2.2 液体静力学	16
2.3 液体动力学	18
2.4 管道中液流的特性	24
2.5 孔口和缝隙的压力流量特性	29
2.6 液压冲击和气穴现象	32
3 液压泵	36
3.1 液压泵概述	36
3.2 液压泵的基本工作原理	36
3.3 液压泵的分类及图形符号	36
3.4 液压泵的性能参数和特性曲线	37
3.5 液压泵性能参数的选择	39
3.6 齿轮泵	41
3.7 叶片泵	45
3.8 柱塞泵	49
3.9 螺杆泵	54
4 液压执行元件	57
4.1 液压缸	57
4.2 液压马达	78
5 液压控制阀	82
5.1 概述	82
5.2 方向控制阀	83
5.3 流量控制阀	97
5.4 压力控制阀	108

6	液压辅助元件	124
6.1	蓄能器	124
6.2	滤油器	129
6.3	油箱	133
6.4	热交换器	136
6.5	密封装置	139
6.6	管道与管接头	142
7	液压基本回路及其应用	147
7.1	压力控制回路	147
7.2	调速回路	163
7.3	方向控制回路	175
7.4	多缸控制回路	179
8	液压传动系统典型应用实例	185
8.1	阅读和分析液压系统原理图的方法和步骤	185
8.2	YT4543 型组合机床动力滑台液压系统	185
8.3	Q2-8 型汽车起重机液压系统	189
8.4	JS01 工业机械手液压系统	192
9	气压传动的基础知识	197
9.1	空气的物理性质	197
9.2	空气的热力学性质	200
9.3	气体的流动规律	209
9.4	气体在管道中的流动特性	212
10	气源装置及气动辅助元件	216
10.1	气源装置	216
10.2	油雾器	227
10.3	气动辅助元件	231
11	气动执行元件	234
11.1	气缸的分类	234
11.2	气缸的基本结构及特性计算	234
11.3	特殊气缸	238
11.4	气动马达	240
12	气动控制元件	242
12.1	压力控制阀	242
12.2	流量控制阀	247
12.3	方向控制阀	250
12.4	气动逻辑元件	260
13	气动基本回路和常用回路	265
13.1	基本回路	265
13.2	气动常用回路	274

14 气动系统典型应用实例	282
14.1 阅读和分析气动系统原理图的一般步骤.....	282
14.2 H400 型卧式数控加工中心气动系统	282
14.3 气液动力滑台气动系统.....	286
14.4 2ZZ862 型射芯机	288
附录 常用液压与气动元（辅）件图形符号	290
参考文献	295

绪 论

液压与气压传动是以流体（液体或气体）为工作介质来进行能量传递和控制的一种传动形式，也称为流体传动。这种传动形式主要由各种元件组成不同功能的基本回路，然后再由若干基本回路有机地组合成具有一定控制功能的传动系统。

1.1 液压与气压传动的工作原理

液压与气压传动系统都是由一些功能不同的液压和气压元件组成，在密闭的回路中依靠运动的液体或气体进行能量传递，通过对液体或气体的相关参数（压力、流量）进行调节和控制，以满足工作装置输出力、速度（或转矩、转速）的一种传动装置。液压和气压传动的元件工作原理、系统构成等方面都极其相似，所不同的是作为液压传动介质的液体几乎不可压缩，气压传动的空气有较大的压缩性。

液压与气压传动系统的类型很多，应用范围也十分广泛，下面以图 1-1 所示的液压千斤顶为例说明其工作原理。

当向上提起手柄 5 使小液压缸 4 的活塞上移时，小液压缸下腔容积增大而形成局部真空，单向阀 3 关闭，油箱 1 的油液在大气压作用下经吸油管顶开单向阀 2 进入小液压缸下腔。当向下压动手柄 5 使小液压缸的活塞下移时，小液压缸下腔容积减小，油液受挤压而压力升高，单向阀 2 关闭，单向阀 3 打开，小缸下腔的油液经排油管进入大液压缸 7 下腔，推动大活塞上移顶起重物 6。如此不断扳动手柄，油液就不断进入大液压缸下腔，将重物逐渐举起。如果打开截止阀 8，大液压缸下腔油液在重物作用下排回油箱，重物下移回到原始位置。其中，手柄 5、小液压缸 4、单向阀 2 和 3 一起完成吸油与排油，将手柄杠杆的机械能转换为油液的压力能输出，称为（手动）液压泵。大液压缸 7 将液压能转换为机械能输出，举起重物，称为（举升）液压缸。它们组成了最简单的液压传动系统，实现了力、运动和功率的传递。

如果将图 1-1 中两根通油箱的管道与大气相通，则变成了气动系统原理图，其工作原理同液压系统的一样。但是，气体有压缩性，不会一按手柄 5 重物就立即上移，而是手柄需按动多次，使进入大缸 7 下腔中的气体逐渐增多，压力逐渐升高，一直到气体压力达到使重物上升所需的压力值时，重物才开始上升。在重物上升过程中，也不像液压系统那样，压力

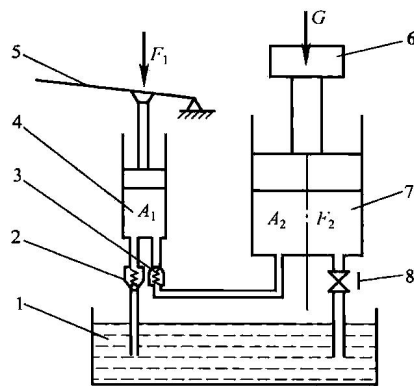


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

- 1—油箱；2、3—单向阀；4—小缸；
5—手柄；6—重物（负载）；
7—大缸；8—截止阀

值基本保持不变（重物负载不变），气压值会发生波动。

1.1.1 压力与负载的关系

在图 1-1 中，设大、小活塞的面积分别为 A_2 和 A_1 ，大活塞上的外负载为 G ，负载作用在大活塞上的力为 F_2 ，则大缸下腔的液体压力为（忽略活塞自重、摩擦力等） $p_2 = \frac{G}{A_2} = \frac{F_2}{A_2}$ ；施加于小活塞上的作用力为 F_1 ，则小缸下腔的压力为 $p_1 = \frac{F_1}{A_1}$ 。根据帕斯卡原理“加在密封连通容器中的压力（压强）能够按照原来的大小无损失地向液体的各个方向传递”，可得 $p_1 = p_2 = p$ 。若忽略压力损失，则压力 p 为

$$p = \frac{G}{A_2} = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} \quad (1-1)$$

或

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 \quad (1-2)$$

式（1-1）说明，在 A_1 和 A_2 一定时，负载 F_2 越大，系统压力 p 越高，外界对系统的作用力 F_1 也越大，系统压力 p 取决于外负载的大小。式（1-2）表明，当小活塞面积 A_1 远小于大活塞面积 A_2 时，在小活塞上作用一个很小的力 F_1 ，便可在大活塞上产生一个很大的力 F_2 ，可见这是一个力放大机构，即液压系统具有增力效应。

1.1.2 速度与流量的关系

在图 1-1 中，如果不考虑液体的泄漏、可压缩性和系统的弹性变形等因素，则从小缸中排出的液体体积一定等于进入大缸中的液体体积，供大缸活塞上升。设大、小缸活塞的位移分别为 h_2 和 h_1 ，则有

$$h_1 A_1 = h_2 A_2 \quad (1-3)$$

或

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1-4)$$

式（1-4）表明两活塞的位移与活塞的面积成反比。

将式（1-3）两边同除以活塞运动时间 t 得

$$q_1 = A_1 v_1 = A_2 v_2 = q_2 = q \quad (1-5)$$

式中 v_1 、 v_2 ——小缸活塞和大缸活塞的平均运动速度；

q_1 、 q_2 ——小缸液体和大缸液体的平均流量。

由此可见，这是一个速度变换机构，速度的变换和传递是依据液体容积变化相等原则进行的。还可以看出，活塞的运动速度取决于输入流量的大小，和负载无关。

根据式（1-5）可得速度的一般公式为

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-6)$$

式（1-6）为液压传动中速度调节的基本公式，此公式说明通过调节进入液压缸的液体

流量，即可调节活塞的速度。

1.1.3 能量转换关系

由图 1-1 可知，大缸活塞工作时输出的瞬时功率为负载与速度的乘积，即

$$P = F_2 v_2 = F_2 \frac{q_2}{A_2} = p_2 q_2 \quad (1-7)$$

式中 P ——液压缸的输出功率。

式 (1-7) 表明，液压传动的功率等于液体的压力 p 与流量 q 的乘积，压力和流量是液压传动中两个重要的基本参数，它们相当于机械传动中直线运动的力和速度，旋转运动的转矩和转速。

1.2 液压与气压传动的组成

1.2.1 液压传动系统的组成

下面以如图 1-2 所示的驱动机床工作台的液压传动系统为例，说明液压传动系统的组成。该液压系统能实现机床工作台的往复运动及运动过程中的换向、调速及进给力的控制。系统工作原理如下：电动机驱动液压泵 3 旋转，从油箱 1 经过滤器 2 吸油，向系统中提供具有一定流量的压力油。换向阀 5 的作用是实现机床工作台的换向运动。当换向阀 5 阀芯处于图 1-2 所示位置时，压力油经节流阀 4、换向阀 5 和管道 9 进入液压缸 7 的左腔，推动液压缸 7 的活塞向右运动，液压缸 7 右腔油液经管道 6、换向阀 5 和管道 10 流回油箱。当改变换向阀 5 阀芯工作位置，使其处于左端位置时，液压缸 7 的活塞将反向运动。当换向阀 5 阀芯停在中间位置，压力油不能进入液压缸，液压缸活塞就停止不动。节流阀 4 的作用是用来调节机床工作台的运动速度，节流阀开口变大，缸 7 进入流量增多，工作台移动速度增大；反之，工作台的移动速度减慢。溢流阀 11 的作用是根据负载的不同来调节并稳定液压系统工作压力，同时泄掉液压泵 3 排出的多余压力油，对整个液压系统起稳压和过载保护作用。系统工作时，液压缸 7 工作压力取决于工件加工所需进给力，液压泵 3 工作压力由溢流阀 11 调定。

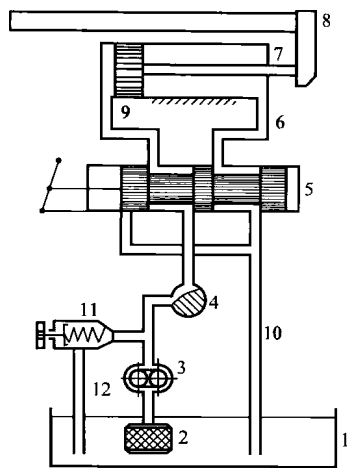


图 1-2 机床液压系统原理结构示意图
1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—节流阀；5—换向阀；6、9、10、12—管道；7—液压缸；8—工作台；11—溢流阀

液压传动系统主要由以下四部分组成：

(1) 能源装置。把机械能转换成液压能的装置。如图 1-2 中所示的液压泵，它能为液压系统提供压力油。

(2) 执行元件。把油液的液压能转换成机械能输出的装置，如图 1-2 中所示的液压缸。

(3) 控制元件。对系统中油液压力、流量和流动方向进行控制或调节的装置，如图 1-2

中的溢流阀、节流阀和换向阀等。

(4) 辅助元件。保证系统正常工作所需的上述三种以外的其他装置，如油箱、过滤器、油管、蓄能器等。

1.2.2 气动系统的组成

典型气压传动系统由气源装置、控制元件、执行元件和辅助元件四部分组成，如图 1-3 所示。

(1) 气源装置。获得压缩空气的装置，其主体部分是空气压缩机，它将电动机供给的机械能转变为气体的压力能。使用气动设备较多的厂矿常将气源装置集中于压气站（俗称空压机站）内，由压气站统一向各用气点分配压缩空气。

(2) 控制元件。用来控制压缩空气的压力、流量和流动方向的装置，包括各种压力阀、流量阀和方向阀、射流元件、逻辑元件、传感器等。

(3) 执行元件。将气体压力能转换成机械能的一种能量转换装置，包括实现直线往复运动的气缸和实现连续回转运动或摆动的气马达或摆动马达等。

(4) 辅助元件。实现压缩空气净化、元件润滑、元件间连接及消声等所必需的辅助装置，包括过滤器、油雾器、管接头及消声器等。

图 1-2 和图 1-3 分别为液压系统半结构式工作原理图和气压系统半结构式工作原理图，这样的图直观性强、容易理解、读图方便，但绘制较为麻烦，元件多时几乎不可能绘制出来。为了简化液压、气动系统的表示方法，通常采用图形符号来绘制系统原理图。各类元件的图形符号完全脱离了其具体结构形式，只表示其职能，由它们组成的系统原理图能简明表达系统工作原理及各元件在系统中的作用。

图 1-2 和图 1-3 的工作原理图图形符号分别如图 1-4 和图 1-5 所示。

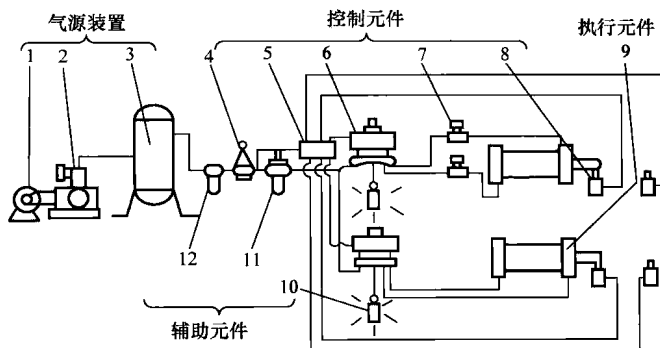


图 1-3 气压传动系统的组成

- 1—电动机；2—空气压缩机；3—气罐；4—压力控制阀；
5—逻辑元件；6—方向控制阀；7—流量控制阀；
8—行程阀；9—气缸；10—消声器；
11—油雾器；12—分水滤气器

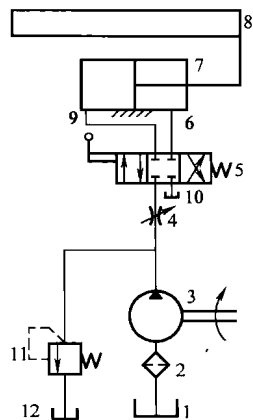


图 1-4 机床液压系统工作原理图形符号图

- 1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；
4—节流阀；5—换向阀；
6、9、10、12—管道；
7—液压缸；8—工作台；
11—溢流阀

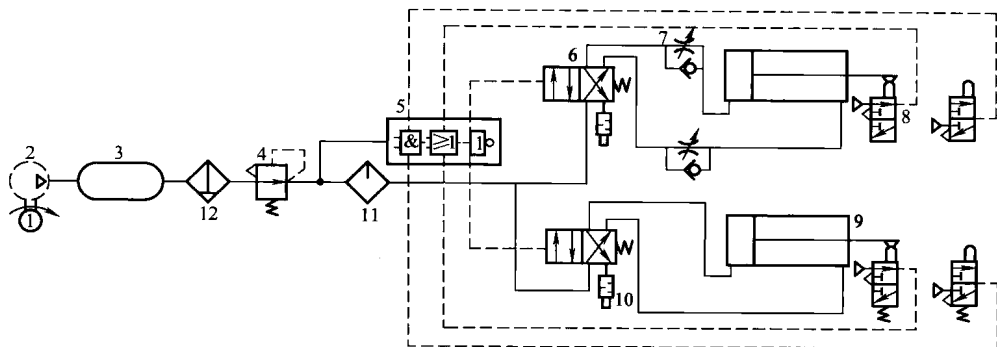


图 1-5 气压传动系统工作原理图形符号图

- 1—电动机；2—空气压缩机；3—气罐；4—压力控制阀；5—逻辑元件；6—方向控制阀；
7—流量控制阀；8—行程阀；9—气缸；10—消声器；11—油雾器；12—分水滤气器

1.3 液压与气压传动的优缺点

1.3.1 液压传动的优点

- (1) 易于在大范围内实现无级调速，调速范围可达 2000 : 1，同时通过调节流量系统可在运动过程中进行无级调速。
- (2) 液压传动过程中运动比较平稳。液压油具有吸收冲击的能力，使执行元件运动平稳。
- (3) 在相同的体积下，比电气传动更能承受大的负载。
- (4) 系统易于实现过载保护，液压缸和液压马达可以长时间运行，而电气传动和机械传动无法做到，同时液压传动有多种过载保护措施，能自动防止过载，避免事故发生。
- (5) 液压系统易于实现自动化。系统压力、流量和运动方向很容易实现调节和控制，特别是和电气控制联合使用时，能使系统实现复杂的动作，也可方便实现远程控制。
- (6) 易于实现标准化、系列化和通用化。除了少量的专用元件和油箱外，一般的液压元件都已经规格化，可直接购买。

1.3.2 液压传动的缺点

- (1) 由于液压油具有可压缩性和泄漏等因素的影响，液压传动传动比没有机械传动精确，不能实现严格的传动比。
- (2) 液压传动中能量损失较多，传动效率较低特别是长距离传输时。
- (3) 液压油黏度受油温变化影响较大，从而影响系统工作稳定性，不适宜在很高或很低的温度下工作，采用石油基液压油为工作介质时还需注意防火问题。
- (4) 如果液压油中混入空气，则容易产生振动和噪声。
- (5) 发生故障不易检查与排除。液压元件与系统容易由于工作介质被污染等原因发生系统故障，而且故障不易诊断。使系统不能正常工作。
- (6) 液压元件制造精度要求高，系统维护技术水平要求高。

1.3.3 气压传动的优点

- (1) 工作介质为空气，随处可见，获取容易，可以从大气中获取，在大多数应用场合中排气可以直接排放到大气中去，不会污染环境，处理方便。

- (2) 可以利用空气的可压缩性储存能量, 实现集中供气 and 远距离输送。
- (3) 输出力和速度调节容易, 变化范围广。
- (4) 气动系统结构简单、维修方便, 管路不易堵塞, 也不存在介质变质、补充更换等问题。
- (5) 气动系统的压力较低, 对气动元件的材料和制造精度要求低。
- (6) 工作环境适应性好。气动装置具有防火、防爆、防潮等特点, 使用温度范围广, 便于实现过载自动保护, 特别适合在易燃、易爆、多尘埃、强磁、高温、辐射和振动等恶劣环境下工作。

1.3.4 气压传动的缺点

- (1) 由于空气具有可压缩性, 气压传动的平稳性差, 当外负载变化时对工作速度的影响较大。
- (2) 系统工作压力较低, 又因结构尺寸不易过大, 因此气压传动的输出力或力矩受到限制, 比液压传动小很多。
- (3) 气压传动中的信号传递速度较慢, 仅限于声速范围内, 不易用于高速复杂回路中。
- (4) 气压传动的排气声音大, 尤其是在超声速排气时需加消声器。
- (5) 气压传动同液压传动相比, 传递效率比较低。

1.4 液压与气压传动的应用

液压与气压传动在国民经济各部门中的应用很广泛, 具体应用出发点不同。工程机械、矿山机械、压力机械和航空工业中采用液压传动主要是由于液压传动具有结构简单、体积小、质量轻、输出力大等特点; 机床上采用液压传动是利用其无级变速方便、运动平稳、易于实现自动化控制、易于实现频繁换向等优点; 在电子工业、印刷机械、包装机械、食品机械等行业应用气压传动是由于其操作方便、无油、无污染等特点。

1.4.1 液压传动的具体应用

在金属成形设备方面的应用包括液压机、折弯机、剪切机、带轮辊压机、铜铝屑压块机等, 在焊接设备方面的应用包括焊条压涂机、自动缝焊机、摩擦焊接机等, 在金属切削机床方面的应用包括自动车床、组合铣床、仿形刨床、平面及外圆磨床、数控刃磨机床、深孔钻床、金刚镗床、拉床、深孔研磨机床、带锯机床、冲床等, 在汽车、摩托车制造设备方面的应用包括轿车座椅泡沫生产线、汽车带轮旋压机、发动机气缸体加工机床、摩托车车轮压窝冲孔机、发动机连杆销压装机、汽车大梁生产线铆接机、无内胎铝合金车轮气密性检测机、汽车零部件试验台, 在家电行业上的应用包括显像管玻壳剪切机、电冰箱压缩机、电动机转子叠片机、冰箱箱体折弯机、电冰箱内胆热成形机、制冷热交换器 U 形管自动成形机等, 在五金行业上的应用包括制钉机、工具锤装柄机、门锁整体成形压机等, 在电力行业上的应用包括电站锅炉、火电厂大型烟囱顶升设备、变压器绝缘纸板热压成形机组、高压输电线间隔棒振摆试验机、电力导线压接钳等, 在煤炭工业上的应用包括煤矿液压支架、煤矿多绳绞车、卸煤生产线定位机车等, 在石油天然气探采机械上的应用包括海洋石油钻井平台、石油钻机、各类抽油机及修井机、绞车、输油管道阀门启闭装置、捞油车、油田管材矫直机及管线试压装置等, 在冶炼轧制设备方面的应用包括高炉液压泥炮、冶炼电炉、轧机及板坯

连铸机、热浸镀模拟试验机等，在纺织机械行业上的应用包括经轴装卸机、纺丝机、印花机、冷压堆卷布机、毛呢罐蒸机、自动堆染机等，在化工机械行业上的应用包括注塑机、吹塑挤出机、橡胶平板硫化机、琼脂自动压榨机、催化剂高压挤条机、乳化炸药装药机、集装箱塑料颗粒倾斜机等，在铁路工程施工设备方面上的应用包括铺轨机、路基渣石机、边坡整形机、钢轨电极接触面磨光机、铁道轮对轴承压装机等，在公路工程及运输方面的应用包括高速公路钢护栏冲孔切断机、隧道工程衬砌台车、汽车维修举升机、地下汽车库升降平台、公交汽车、汽车刹车皮铆钉机、架桥机等，在航空航天工程方面上的应用包括大型客车、飞机机轮轴承清洗补油装置、飞机包伞机、飞机场地面设备、飞机起落架收放试验车、卫星发射设备等，在建材行业上的应用包括卫生瓷高压注浆成型机、石材肥料模压成型机及石材连续磨机、墙地砖压机等，在建筑行业上的应用包括钢筋弯箍机及自动校直切断机、混凝土泵、液压锤、自动打桩机等，在工程机械上的应用包括沥青道路修补机、重型多轴挂车、冲击压路机、越野起重机、起重高空作业车、公路养护车，在农林牧机械方面上的应用包括联合收割机、拖拉机、玉米及谷物收割机、饲草打包机、饲料压块机等。

1.4.2 气压传动的具体应用

在汽车制造行业上，现代汽车制造生产线，尤其是焊接生产线，几乎都采用气动技术；在电子、半导体制造行业上，彩电、冰箱等家用电器产品的装配生产线上，半导体芯片、印制电路等各种电子产品的装配流水线上，处处可见气缸、气爪，真空吸盘等气动元件；在生产自动化方面，缝纫机、自行车、手表、洗衣机、自动和半自动机床等许多行业的零件加工和组装生产线上，工件的搬运、转位、定位、夹紧、进给、装卸、装配、清洗、检测等许多工序中都使用气动技术，自动喷气织布机、自动清洗机、冶金机械、印刷机械、建筑机械、农业机械、粮食加工机械、制鞋机械、塑料制品生产线、人造革生产线、玻璃制品加工线等许多场合，也都大量使用了气动技术；在包装自动化方面，气动技术广泛应用于化肥、化工、粮食、食品、药品等许多行业，实现粉状、粒状、块状物料的自动计量包装，用于烟草工业的自动卷烟和自动包装等许多工序，用于对黏稠液体（如油漆、油墨、化妆品、牙膏等）和有毒气体（如煤气等）的自动计量罐装。

液压传动的基础知识

液体是液压传动的工作介质,了解和掌握液体的基本性质、液体平衡和运动的主要力学规律,对于正确理解液压传动工作原理、合理设计和使用液压传动系统十分重要。

2.1 液 压 油

在液压传动系统中,液压油是传递动力和信号的工作介质,同时还起到润滑、冷却和防锈的作用。液压传动系统工作的可靠性在很大程度上取决于液压油。

2.1.1 液压油的种类

液压油分矿物油型、乳化型和合成型。

(1) 矿物油型分全损耗系统用油、汽轮机油、通用液压油、液压导轨油和专用液压油。专用液压油包括耐磨液压油、低凝液压油和数控液压油。

(2) 乳化型分为油包水乳化液和水包油乳化液。

(3) 合成型分为磷酸酯基液压油和水—乙二醇基液压油等。

2.1.2 液压油的性质

一、密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,用 ρ 表示,单位为 kg/m^3 ,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中 V ——液体的体积, m^3 ;

m ——液体的质量, kg 。

液体的密度随温度升高而下降,随压力增加而增大。对于液压传动中常用的液压油(矿物油)来说,在正常工作温度和压力范围内,密度变化很小,可视为常数。在进行补充性能计算时,常取液压油在 15°C 时的密度作为液压油密度,其值为 $900\text{kg}/\text{m}^3$ 。

二、可压缩性

液体体积受压力作用而减小的性质称为液体可压缩性。可压缩性的大小用体积压缩系数 κ 来表示,定义为液体在单位压力变化下体积相对变化量,即

$$\kappa = -\frac{1}{\Delta p} \left(\frac{\Delta V}{V} \right) \quad (2-2)$$

式中 V ——压力变化前液体的体积;

ΔV ——在压力变化 Δp 作用下液体体积变化量;

Δp ——液体压力的变化量。

压力增大时液体体积减小,即 ΔV 与 Δp 的符号始终相反,为保证 κ 为正值,在式

(2-2) 右边加一负号。 κ 值越大液体可压缩性就越大, 常用液压油的体积压缩系数为 $5 \times 10^{-10} \sim 7 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$ 。

液体体积压缩系数 κ 的倒数称为液体的体积弹性模量, 用 K 表示, 其计算公式为

$$K = \frac{1}{\kappa} = -\frac{V\Delta p}{\Delta V} \quad (2-3)$$

K 值表示液体产生单位体积相对变化量所需要的压力增量。可用其说明液体抵抗压缩能力的大小。在常温下, 纯净液压油的体积弹性模量 K 一般取 $(1.4 \sim 2.0) \times 10^9 \text{N/m}^2$, 在工程应用中, 矿物油型液压油的体积弹性模量 K 一般取 $(0.7 \sim 1.4) \times 10^9 \text{N/m}^2$ 。

在变压力作用下, 液压油类似一个弹簧, 外力增大, 体积减小; 外力减小, 体积增大。如图 2-1 所示, 当作用在封闭容器内液体所受外力发生 ΔF 变化时, 液体承压面积 A 不变, 液柱的长度变化 Δl , 此时液体的体积弹性模量为

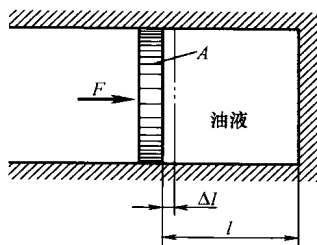


图 2-1 液压弹簧刚度计算

$$K = -\frac{V\Delta F}{A^2\Delta l} \quad (2-4)$$

液压弹簧刚度 k_h 为

$$k_h = -\frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{A^2}{V}K \quad (2-5)$$

三、黏性

(1) 黏性的定义。液体在外力作用下流动时, 分子间的内聚力阻碍分子间的相对运动而产生内摩擦力的性质称为黏性。黏性是液体的重要物理性质, 只有在流动时才能表现出来, 是选择液压用油的主要依据。

液体流动时, 液体和固体壁面间的附着力以及液体本身的黏性, 使其内部各液层间的速度大小不等。如图 2-2 所示, 两平行平板间距为 h , 平板间充满液体。其中一块平板固定, 另一块平板以速度 u_0 运动。紧贴于上平板极薄的一层液体, 在附着力作用下, 随上平板一起以 u_0 的速度向右运动; 紧贴于下平板极薄的一层液体和下平板一起保持不动; 中间各层液体从上到下按递减的速度向右运动。

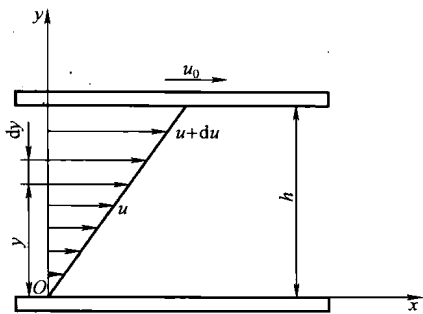


图 2-2 液体黏性示意

实验结果表明, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 成正比, 与液层间的速度梯度 du/dy 成正比, 并且与液体的性质有关, 即

$$F_t = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-6)$$

式中 μ ——由液体性质决定的系数, 也称为动力黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

A ——接触面积, m^2 ;

du/dy ——速度梯度, $1/\text{s}$ 。

由式 (2-6) 可得单位面积上的摩擦力 τ (切应力) 为

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-7)$$

式(2-7)称为牛顿内摩擦定律。

由牛顿内摩擦定律可知,在静止液体中,速度梯度 $du/dy=0$,故内摩擦力为零,因此液体在静止状态下无黏性。

(2)黏度。液体黏性的大小用黏度表示。常用的表示方法有3种,即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

1)动力黏度(或绝对黏度) μ 。动力黏度表征液体黏性内摩擦系数牛顿内摩擦定律可得

$$\mu = \frac{F_t}{A \frac{du}{dy}} \quad (2-8)$$

由式(2-8)可得,动力黏度的物理意义为液体在单位速度梯度下流动或有流动趋势时,相接触的液层间单位面积上产生的内摩擦力。动力黏度国际单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$,工程上常用单位是 P (泊)或 cP (厘泊)。它们之间的关系为

$$1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP}$$

2)运动黏度 ν 。液体的动力黏度 μ 与其密度 ρ 的比值称为液体的运动黏度,用 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-9)$$

液体的运动黏度 ν 没有明确的物理意义,但在液压系统分析和计算时经常用到。因为在单位中有长度和时间的量纲,所以被称为运动黏度,其国际单位为 m^2/s ,计算时常用单位是斯(St)或厘斯(cSt)。它们间的关系为

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St} = 10^6\text{cSt}$$

液压油的牌号常用它在某一温度下的运动黏度平均值来表示。我国把液压油在 40°C 时运动黏度以厘斯为单位的平均值作为其牌号。例如30号液压油,就是在 40°C 时其平均运动黏度值为 30cSt 。

3)相对黏度。动力黏度与运动黏度都很难直接测量,所以在工程上常用相对黏度,又称为条件黏度。相对黏度是采用特定的黏度计,在规定的条件下测量出来的液体黏度。根据测量的条件不同,各国采用的相对黏度也不同,如中国、苏联、德国用恩氏黏度,美国用赛氏黏度,英国用雷氏黏度。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定,将 200cm^3 、温度为 $t^\circ\text{C}$ 的被测液体装入黏度计的容器内,由其下部直径为 2.8mm 的小孔流出,测出全部液体在自重作用下流尽所需的时间 $t_1(\text{s})$,再测出 200cm^3 、 20°C 蒸馏水在同一黏度计中流尽所需的时间 $t_2(\text{s})$ ($t_2=50\sim 52\text{s}$),这两个时间的比值称为被测液体的恩氏黏度,用符号 $^\circ\text{E}$ 表示,其计算公式为

$$^\circ\text{E} = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-10)$$

恩氏黏度与运动黏度的关系可用下面的经验公式换算