



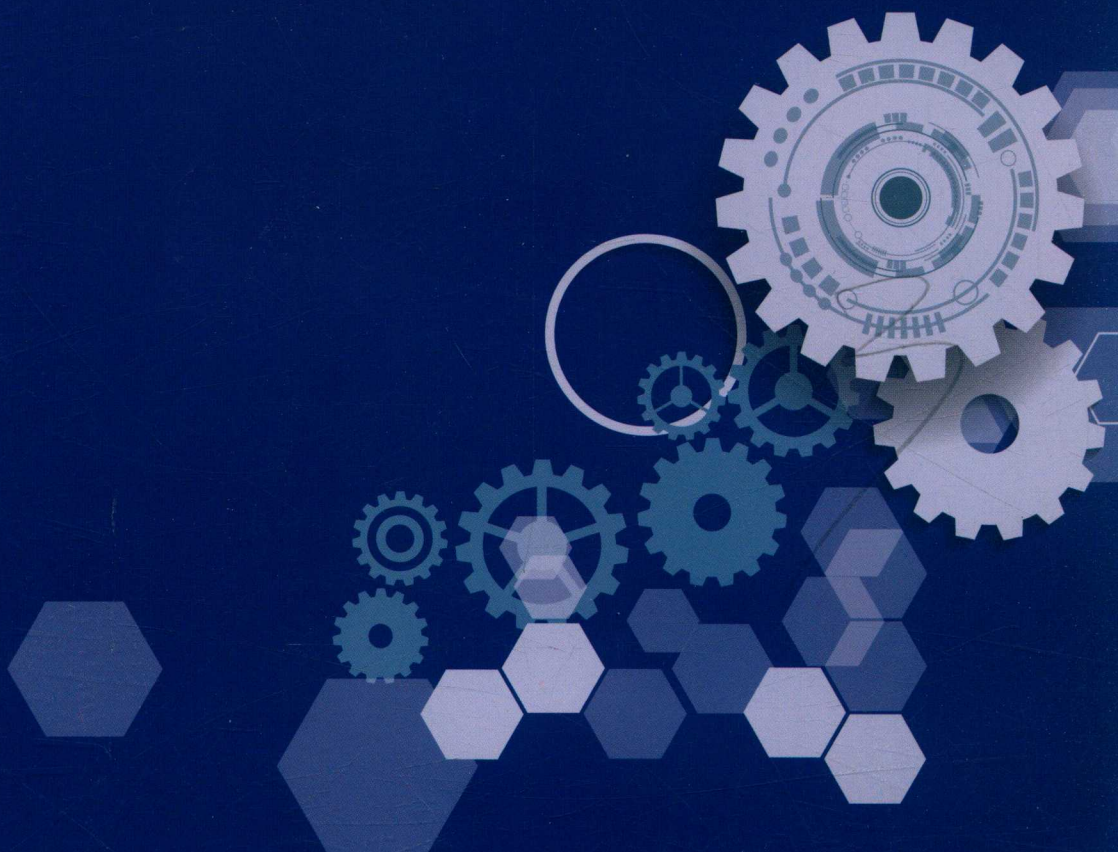
高等教育“十三五”应用型规划教材



液压与气动控制

YEYA YU QIDONG KONGZHI

杜巧连 沈 伟 主编



科学出版社

高等教育“十三五”

液压与气动控制

杜巧连 沈伟 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书强调以应用能力培养为主线,内容以液压为主,气动为辅,从应用型高校课程改革出发,结合学生的特点,将“流体力学”“液压传动”“气压传动”等课程的重要知识点进行整合,充分考虑到新技术、新成果的应用,突出实用性和先进性。

本书既可作为应用型本科高校、职业院校机械类、机电类各专业的教材,也可作为“液压与气压传动”网络课程教材,并适合作为各类成人高校、在职教育等机械类和机电类各专业的教材,还可供从事液压技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动控制/杜巧连,沈伟主编. —北京:科学出版社,2017
(高等教育“十三五”应用型规划教材)

ISBN 978-7-03-053456-9

I. ①液… II. ①杜… ②沈… III. ①机电设备—液压控制—高等学校—教材 ②机电设备—气压传动—控制系统—高等学校—教材
IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第134516号

责任编辑:张振华 / 责任校对:马英菊

责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年7月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年7月第一次印刷 印张:17 1/4

字数:390 000

定价:36.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新科〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135120-2005 (VT03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

本书为顺应我国普通高等院校向应用技术型高校转型发展而编写,注重学生对液压与气动基本原理的掌握,理论知识以够用为基本原则,运用大量的实际案例,旨在培养学生的系统分析与设计能力、实践能力与综合运用知识能力。同时,本书适当增加液压比例与伺服控制技术的相关内容,更加突出教材的实用性和先进性,将最新的液压与气动控制技术融入其中,切实做到理论指导实践,用实践提升理论。

本书从目前应用技术型高校课程改革出发,结合学生的特点,在内容的选择和安排上进行了取舍。将“流体力学”“液压传动”“气压传动”等课程的重要知识点进行整合,使学生全面掌握液压与气动控制技术相关知识,为后续的课程设计、毕业设计奠定基础。

本书由具有多年液压与气动方面教学经验的教师在吸取同类教材经验基础上精心编写而成。本书主要面向应用型工科院校,着重培养学生对液压与气动系统设计、调试、使用和维护的能力;编写过程中紧密结合当今液压与气动技术的最新成果;增加了常见的液压与气动系统故障与排除方法,充分锻炼学生的实际动手能力和解决问题的能力。

本书共 12 单元。单元 1、单元 2 主要介绍液压与气动的基本知识及流体力学的基本理论,单元 3~单元 6 主要介绍液压与气动元件的主要结构、工作原理、性能参数及选用准则,单元 7、单元 8 主要介绍液压与气动基本回路和典型液压与气动系统的组成、功能、特点及应用,单元 9、单元 10 简要介绍液压比例控制系统和液压伺服控制系统的基本原理和实际应用,单元 11 介绍常见液压与气动系统故障与排除方法,单元 12 介绍液压系统的设计步骤与计算实例。

本书由杜巧连(浙江师范大学)、沈伟(天津理工大学中环信息学院)任主编,宋明星(河北建筑工程学院)任副主编,张婷(湖北工程职业学院)参编。具体编写分工如下:宋明星编写单元 1、单元 2,杜巧连编写单元 3~单元 6,沈伟编写单元 7~单元 10,张婷编写单元 11、单元 12。

在编写本书过程中,编者参阅了国内外同行的文献,并得到了许多同行和专家的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 12 月

目 录

单元 1 绪论	1
1.1 液压与气动技术的应用与发展	2
1.2 液压与气动技术的工作原理	4
1.3 液压与气动技术的工程表示和特点	7
思考与习题	9
单元 2 液压与气动基础知识	10
2.1 液压油	11
2.2 流体静力学基础	15
2.3 流体动力学基础	19
2.4 管路流动液体的能量损失	25
2.5 液体流经小孔和缝隙的流量	28
2.6 液压冲击和气穴现象	31
2.7 气动技术基础知识	32
思考与习题	34
单元 3 液压动力元件	36
3.1 液压泵概述	37
3.2 齿轮泵	40
3.3 叶片泵	44
3.4 柱塞泵	51
3.5 液压泵的选用	55
思考与习题	55
单元 4 液压执行元件	57
4.1 液压马达	58
4.2 液压缸	61
4.3 液压缸结构设计	69
思考与习题	72
单元 5 液压与气动控制元件	74
5.1 液压控制阀概述	75

5.2 方向控制阀	76
5.3 压力控制阀	83
5.4 流量控制阀	90
5.5 插装阀与叠加阀	93
5.6 气动控制阀	98
思考与习题	102
单元 6 液压与气动辅助元件	105
6.1 液压辅助元件	106
6.2 气动辅助元件	121
思考与习题	128
单元 7 液压与气动基本回路	129
7.1 压力控制回路	130
7.2 速度控制回路（调速回路）	137
7.3 速度控制回路（快速运动回路）	147
7.4 方向控制回路	149
7.5 多缸运动回路	151
7.6 气动基本回路	155
思考与习题	163
单元 8 典型液压与气动系统	165
8.1 组合机床动力滑台液压系统	166
8.2 M1432A 型万能外圆磨床液压系统	169
8.3 SZ-250/160 型塑料注射成形机液压系统	173
8.4 汽车起重机液压系统	178
8.5 数控加工中心气动换刀系统	181
8.6 自动调节病床气动系统	182
8.7 教学型自动装配分拣机压装单元气动系统	184
思考与习题	185
单元 9 液压比例控制系统	187
9.1 电液比例控制技术	188
9.2 电液比例阀	190
9.3 液压比例控制技术的应用	197
思考与习题	202
单元 10 液压伺服控制系统	203
10.1 液压伺服控制系统概述	204

10.2 伺服阀	208
10.3 液压伺服控制系统举例	213
思考与习题	216
单元 11 常见液压与气动系统故障与排除方法	217
11.1 常见液压系统故障	218
11.2 液压系统故障诊断的步骤	228
11.3 液压系统故障诊断及排除的方法	229
11.4 气动系统的常见故障与排除方法	231
思考与习题	236
单元 12 液压系统的设计与计算	238
12.1 液压系统的设计步骤	239
12.2 液压系统设计计算实例	254
思考与习题	260
附录 常用液压与气动图形符号 (GB/T 786.1—2009)	261
参考文献	266

1

单元

绪 论

>>>>

◎ 单元导读

传动机构主要分为机械传动机构、电气传动机构和流体传动机构。流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的传动，包括液压传动、液力传动和气压传动。液压传动主要利用液体的压力能来传递能量，而液力传动主要利用液体的动能来传递能量。气压传动与控制又称为气动技术，它以压缩空气作为传递动力和控制信号的工作介质，提供驱动力或力矩，并对执行元件的位置、速度、力或力矩进行控制。本单元主要介绍液压与气动技术的应用与发展、液压与气动技术的工作原理。

◎ 学习目标

- 1) 了解液压与气动技术的应用与发展；
- 2) 掌握液压与气动技术的工作原理；
- 3) 掌握液压与气动技术的工程表示；
- 4) 了解液压与气动技术的优缺点。

重点：液压与气动技术的工作原理、液压与气动技术的工程表示。

难点：液压与气动技术的工作原理。

1.1

液压与气动技术的应用与发展

1.1.1 液压技术的应用与发展

近代液压传动是由 19 世纪崛起并蓬勃发展的石油工业推动起来的。最早实践成功的液压传动装置是舰艇上的炮塔转位器，第二次世界大战期间，在一些兵器上用上了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置，大大提高了兵器的性能，也大大促进了液压技术的发展。战后，液压技术迅速转向民用，并随着各种标准的不断制订和完善及各类元件的标准化、规格化、系列化，在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业中迅速推广。20 世纪 60 年代后，原子能技术、空间技术、电子技术等的发展再次将液压技术向前推进，使其在国民经济的各方面都得到广泛的应用。

我国的液压工业开始于 20 世纪 50 年代，其产品最初只用于机床和锻压设备，后来用到拖拉机和工程机械上。自从 60 年代从国外引进一些液压元件生产技术，同时自行设计液压产品以来，我国生产的液压件已从低压型到高压型形成系列，并在各种机械设备上得到了广泛的使用。我国从 80 年代起加速了对国外先进液压产品和技术有计划引进、消化、吸收和国产化工作，以确保我国的液压技术能在产品质量、经济效益、研究开发等各个方面全方位地赶上世界水平。

近年来，液压传动由于应用了计算机技术、信息技术、自动控制技术、摩擦磨损技术及采用了新工艺、新材料等取得了新的发展，使液压系统和元件正向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、低能耗、经久耐用和高度集成化方向发展，在完善比例控制、伺服控制、数字控制等技术上取得新成就。此外，液压元件和液压系统在计算机辅助设计、计算机仿真和优化及微机控制等方面，也取得显著的成绩。

液压技术的持续发展体现在如下一些比较重要的特征上。

1. 研制新型节能、微型元件

国外已研制出一种液压变换器，它是一种从恒定的压力网上实现低能耗能量转换的节能装置。为了能在尽可能小的空间内传递尽可能大的功率，液压元件的结构不断地在向微小方向发展。

2. 高度的组合化、集成化和模块化

液压系统由管式配置经板式配置、箱式配置、集成块配置发展到叠加式配置、插装式配置，使连接的通道越来越短。这些组合件不但结构紧凑、工作可靠，而且使用简便，容易维护和保养。模块化发展亦是非常重要的方面，对于用户而言，只需简单地将独立的模

块进行组装即可投入使用。

3. 与微电子技术结合, 走向智能化

液压技术从20世纪70年代中期起就开始与微电子技术结合, 尤其近年来, 结合层次不断提高, 由简单拼装、分散混合到总体组合, 出现了多种形式的独立产品, 如内置电子线路的无冲击电磁阀、电子控制的变量液压泵及电液伺服液压缸等。这样一种连接体只要收到从微处理机或微型计算机传输来的信息, 就能实现预先设定的任务。

1.1.2 气动技术的应用与发展

以空气为介质做功的机器发明得很早。1869年, 美国威斯汀豪斯发明火车气动制动器, 1871年, 人们利用风镐采矿。20世纪30年代初, 气动技术成功地应用于自动门的开闭及各种机械的辅助动作上。进入60年代尤其是70年代初, 随着工业机械化和自动化的发展, 气动技术广泛应用在生产自动化的各个领域, 形成现代化气动技术。

据资料统计, 20世纪70年代, 液压元件与气动元件的产值比约为9:1, 如今, 在工业技术发达的欧美各国和日本等国家, 该比例已达6:4, 甚至接近5:5。从70年代起, 我国开始重视气动技术的开发, 特别是改革开放以来, 气动行业发展很快, 气动元件的产值逐年递增。但我国气动行业与世界先进工业国家相比还有很大的差距, 相信在不久的将来, 我国的气动行业将会达到世界先进水平。

纵观世界气动行业的发展趋势, 气动元件的发展方向可归纳为以下几方面。

1. 电气一体化

一方面, 微电子技术与气动元件相结合, 组成了PC-接口-小型阀-气缸的电气一体化的气动系统; 另一方面, 与电子技术相结合的自适应控制气动元件已经问世, 如压力比例阀、流量比例阀、数字控制气缸, 使电气技术从以往的开关控制发展为高精度的反馈控制, 定位精度提高到 $\pm(0.1\sim0.01)\text{mm}$ 。电气一体化已不止用于机械手和机器人这样一些典型产品, 而且渗透到工厂本身的加工、装配、检测等生产环节。

2. 小型化和轻量化

为了让气动元件与电子元件一起安装在印制电路板上, 构成各种功能的控制回路, 气动元件必须小型化和轻量化。

3. 复合化和集成化

为了减少配件、节省空间、简化装拆、提高效率, 多功能复合化和集成化的元件相继出现。阀的集成化是指将所需数目的阀都安装在集成板上, 一端是电接头, 另一端是气管接头。将转向阀、调速阀和气缸组成一体化的带阀气缸, 能实现转向、调速及气缸所承担的功能。

4. 无油化

为适应食品、医药、生物工程、电子、纺织、精密仪器等行业的无污染要求,采用预先添加润滑脂的不供油润滑元件。不供油润滑元件组成的系统,不仅节省大量润滑油,而且不污染环境,系统简单,维护方便,润滑性能稳定,成本低,寿命长。

5. 高精度

位置控制精度已由过去的 1mm 级提高到现在的 0.1mm 级。为了提高气动系统的可靠性,对压缩空气的质量提出了更高的要求。过滤器的标准过滤精度从过去的 70 μm 提高到 5 μm ,并有 0.01 μm 的精密滤芯,除尘率可达 99.9%~99.9999%,除油率可达 100 $\mu\text{g/L}$ 。

另外,气动元件在高质量、高速度、高输出力等方面也有很大的发展。

1.2

液压与气动技术的工作原理

1.2.1 液压千斤顶的工作原理

液压传动的工作原理可以用液压千斤顶的工作原理来说明。

图 1.1 是液压千斤顶的工作原理。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。提起手柄,小活塞向上移动,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,小活塞向下移动,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 输入大油缸 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液压缸下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11,举升液压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。

通过对液压千斤顶工作过程的分析,可以初步了解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 中的油的容积。由此可见,液压传动是一个不同形式能量的转换过程。

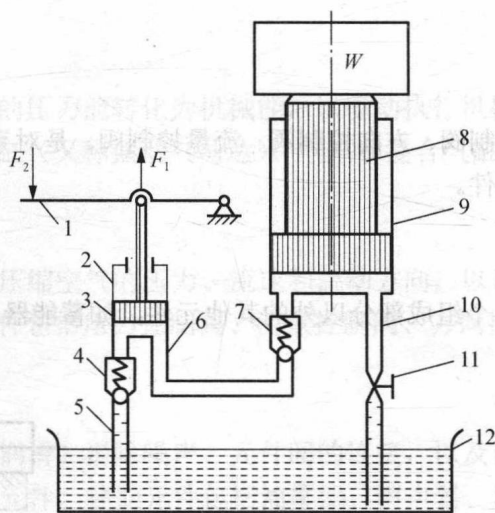


图 1.1 液压千斤顶的工作原理

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

1.2.2 液压传动系统的组成

图 1.2 (a) 和图 1.3 分别为磨床工作台液压控制系统的结构和工作原理。磨床工作台液压控制系统由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、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，油液在泵腔中从低压入口到高压出口，在图 1.2 (b) 所示状态下，通过节流阀、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。如果将换向手柄转换成图 1.2 (c) 所示状态，则压力管中的油将经过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。

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当开大节流阀时，进入液压缸的油量增多，工作台的移动速度增大；当关小节流阀时，进入液压缸的油量减少，工作台的移动速度减小。为了克服工作台移动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。

从上述例子可看出，一个完整的液压传动系统由以下几部分组成。

1. 动力元件

动力元件一般是液压泵。液压泵是将原动机所输出的机械能转换成液体压力能的元件，其作用是向液压系统提供压力油。液压泵是液压系统的核心。

2. 执行元件

执行元件是把液体压力能转换成机械能以驱动工作机构的元件。执行元件包括液压缸

和液压马达。

3. 控制元件

控制元件包括压力控制阀、方向控制阀、流量控制阀，是对系统中的油液压力、方向、流量进行控制和调节的元件。

4. 辅助元件

辅助元件是指上述 3 个组成部分以外的其他元件，如蓄能器、油箱、滤油器、管道、管接头等。

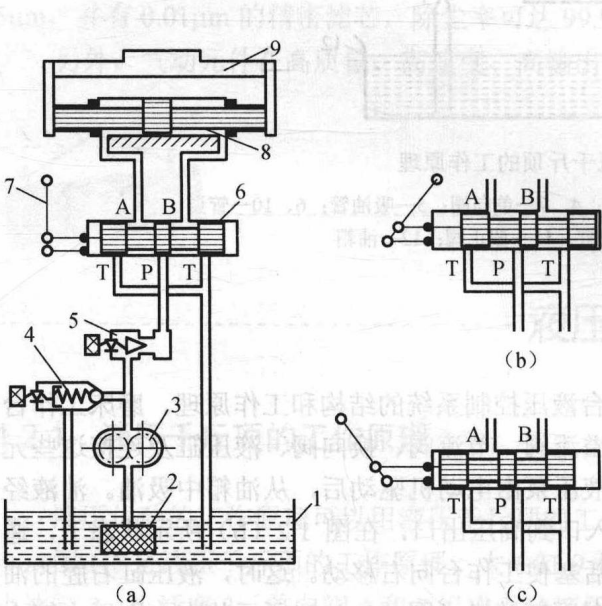


图 1.2 磨床工作台液压系统的结构和工作原理

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

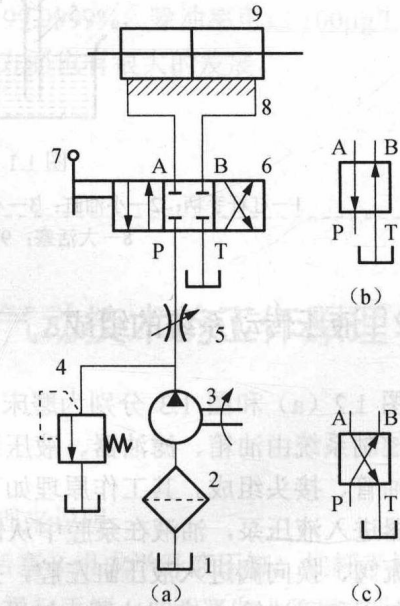


图 1.3 磨床工作台液压系统的工作原理

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

1.2.3 气动系统的组成

气动系统的组成如图 1.4 所示。气压系统以压缩空气为工作介质进行能量和信号的传递。气动元件按功能可分成以下几类。

1. 气压发生装置

气压发生装置将原动机供给的机械能转换成气体的压力能，作为传动与控制的动力源。气压发生装置包括空气压缩机、后冷却器、储气罐、干燥器和自动排水器等（图 1.4 中未全部画出）。

2. 执行元件

执行元件把压缩空气的压力能转化为机械能，以驱动执行机构做往复或旋转运动。执行元件包括气缸、摆动气缸（又称摆动气马达）、气爪和复合气缸等。

3. 控制元件

控制元件控制和调节压缩空气的压力、流速和流动方向，以保证气动执行元件按预定的程序正常工作。控制元件包括压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀和比例控制阀等。

4. 辅助元件

辅助元件指元件内部润滑、消除噪声、元件间的连接，以及信号转换、显示、放大、检测等所需要的各种气动元件。辅助元件包括油雾器、消声器、压力开关、管接头及连接管、气液转换器、气动显示器、气动传感器、液压缓冲器等。

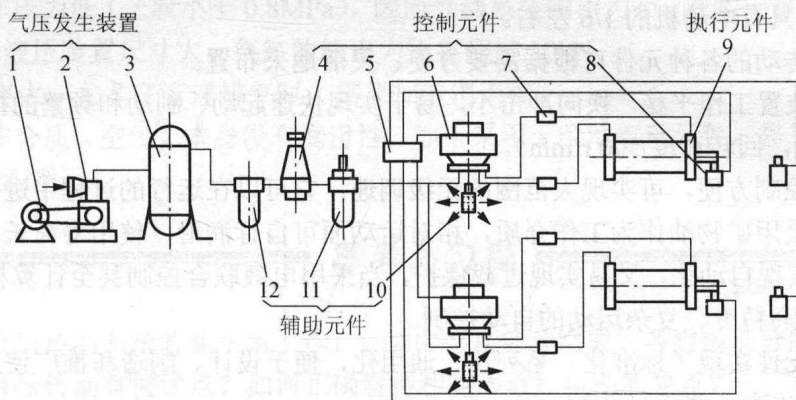


图 1.4 气动系统的组成示意图

- 1—电动机；2—空气压缩机；3—储气罐；4—压力控制阀；5—逻辑元件；6—方向控制阀；
7—流量控制阀；8—行程开关；9—气缸；10—消声器；11—油雾器；12—空气过滤器

1.3

液压与气动技术的工程表示和特点

1.3.1 液压与气动技术的工程表示

图 1.2 (a) 所示的液压系统是一种半结构式的工作原理图。它直观性强，容易理解，但难于绘制。在实际工作中，除少数特殊情况下，一般采用《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第 1 部分：用于常规用途和数据处理的图形符号》(GB/T 786.1—2009) 所规

定的液压与气动图形符号（参见附录）来绘制，如图 1.3 所示。

我国国家标准中，对这些图形符号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，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，线段两端都有箭头的，表示流动方向可逆；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例外。

使用图形符号既便于绘制，又可使液压系统简单明了。当有些元件无法用图形符号表达或国家标准中未列入时，可根据标准中规定的符号绘制规则和所给出的符号进行派生。

1.3.2 液压与气动技术的特点

1. 液压传动系统的特点

液压传动与机械传动、电气传动相比有以下主要优点：

- 1) 在同等功率的情况下，液压执行元件体积小，质量小，结构紧凑。例如，同功率液压马达的质量只有电动机的 1/6 左右。
- 2) 液压传动的各种元件可根据需要方便、灵活地来布置。
- 3) 液压装置工作平稳，换向冲击小，易于实现快速起动、制动和频繁的换向（直线速度 1000 m/min，回转速度 500 r/min）。
- 4) 操纵控制方便，可实现大范围的无级调速，它可以在运行的过程中进行调速。
- 5) 一般采用矿物油作为工作介质，相对运动面可自行润滑，使用寿命长。
- 6) 既易实现自动化，又易实现过载保护，当采用电液联合控制甚至计算机控制后，可实现大负载、高精度、复杂运动的自动控制。
- 7) 液压元件实现了标准化、系列化、通用化，便于设计、制造和推广使用。

液压传动也有一些不足之处：

- 1) 液压传动能量损失（摩擦损失、泄漏损失等）较大，传动效率比机械、电力传动低。
- 2) 液压传动不能保证严格的传动比，这是由液压油的可压缩性和泄漏造成的。
- 3) 工作性能易受温度变化的影响，不宜在很高或很低的温度条件下工作。
- 4) 液压系统出现故障不易诊断。

2. 气动技术的特点

气动控制元件的参与方式和实现设备自动化的方法与液压传动大体相同。它们在元件名称、结构、规格等方面有很多类似之处，容易引起用相同方法处理的错觉。实际上将液压技术原封不动地用到气动技术中是不恰当的。由于介质不同，元件的结构及系统的构成方法不完全相同。下面通过气动系统优、缺点的分析进一步证实这一点。

气压传动的主要优点：

- 1) 气动系统的工作介质是空气，它是取之不尽，用之不竭的。当今的工厂内压缩空气输送管路像电气配线一样比比皆是，压缩空气的使用是十分方便的。
- 2) 使用快速接头可以非常简单地配管，因此系统的组装、维修及元件的更换比较简单。

3) 全气动控制装置具有防火、防爆、耐潮的能力。与液压方式相比,气动方式可在高温场合下使用。

4) 由于空气的黏度只有油的万分之一,所以流动阻力小,管道中空气流动的沿程压力损失小,有利于介质集中供应和远距离输送。

5) 做完功的空气可以直接排向大气中,不需要设置回程管道,即使系统中稍微泄漏也不至于造成环境污染。

6) 气动比液压动作快,空气的压力波传递速度每秒达几百米,一般只需 $0.02 \sim 0.3\text{s}$ 就可达到所需的压力速度。气缸的动作速度一般为 $50 \sim 500\text{mm/s}$ 。

7) 气压具有较高的自保持能力,即使压缩机停止运行,由于储气罐的储能,气动系统也可维持一个稳定压力。

气压传动的主要缺点及解决方法:

1) 由于空气是可压缩的,所以气动系统的稳定性较差,对位置控制和速度控制的精度有较大的影响。若气缸运动速度小于 50mm/s ,宜采用气-液联合控制。

2) 工作压力低(一般小于 0.8MPa),因而气动系统输出力小,在相同输出力的情况下,气动装置比液压装置尺寸大。气缸的输出力不宜超过 10kN 。

3) 噪声大,尤其在音速排气时,需要加装消声器。

4) 工作介质(空气)本身没有润滑性,如不采用无给油气动元件,需另加油雾器等装置进行给油润滑。

思考与习题

1-1 液压传动系统若能正常工作,必须由哪几部分组成?各组成部分的作用是什么?

1-2 液压传动有何优点?如何正确看待和克服液压传动的缺点?

1-3 气压传动并不如液压传动那样在输出功率方面有明显的优势,为什么它仍能获得广泛的应用?

2

单元

液压与气动基础知识

>>>>

◎ 单元导读

流体（液体或气体）是液压与气动技术的工作介质，液压与气动系统能否可靠、有效地工作，很大程度上取决于系统中的工作介质。因此，了解流体的基本性质，掌握流体平衡与运动的主要力学规律，对于正确理解液压与气动系统的工作原理及合理设计、使用液压系统都是很重要的。本单元主要介绍液压油液的性质、油液的要求和选择、液压系统中液体静力学与动力学基础知识、气动技术基础知识。

◎ 学习目标

- 1) 掌握液压油的主要性质；
- 2) 掌握流体力学基础知识；
- 3) 了解液体流动时的压力损失；
- 4) 了解液体流经小孔和缝隙的流量；
- 5) 了解液压冲击和气穴现象；
- 6) 掌握气动技术基础知识。

重点：液体静力学的基本方程、流动液体的连续性方程、伯努利方程的物理意义和应用。

难点：绝对压力、相对压力和真空度之间的关系，连续性方程和伯努利方程的应用。