

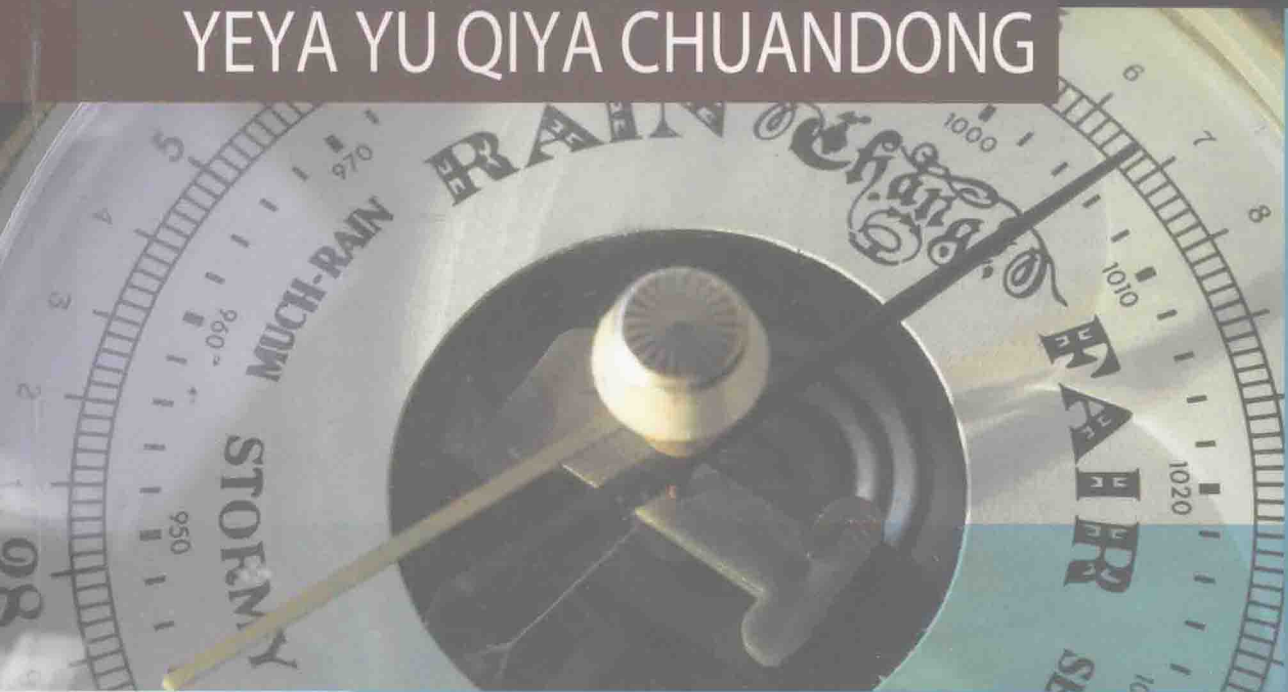
校企合作优秀教材

普通高等教育机械工程类“十二五”规划教材

总主编 张元越

液压与气压传动

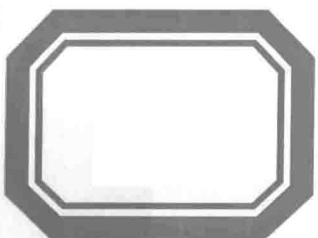
YEYA YU QIYA CHUANDONG



主 编 郝志刚 张 鹏 刘朝福



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)



校企合作优秀教材

普通高等教育机械工程类“十二五”系列规划教材

总主编 张元越

主 编 郝志刚 张 鹏 刘朝福

副主编 杨存智 汪 菊 李 芳

王仁志 谢晓华 刘方方

液压与气压传动

YEYA YU QIYA CHUANDONG



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动 / 张元越总主编. - 成都:西南交通大学出版社,2014.1

普通高等教育机械工程类“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5643 - 2851 - 1

I. ①液… II. ①张… III. ①机械工程 - 基础 - 高等学校 - 教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 012202 号

普通高等教育机械工程类“十二五”规划教材

液压与气压传动

张元越 主编

责任编辑	孟苏成
助理编辑	罗在伟
封面设计	唐韵设计
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028 - 87600564 028 - 87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	北京市昌平百善印刷厂
成品尺寸	185mm × 260mm
印 张	23.75
字 数	556 千字
版 次	2014 年 1 月第 1 版
印 次	2014 年 1 月第 1 次
书 号	ISBN 978 - 7 - 5643 - 2851 - 1
定 价	45.00 元

版权所有 盗版必究 举报电话:028 - 87600562

高等院校教育

教材研究与编审委员会

主 任: 陈德怀

常务委员: 胡宝华 李 雷 潘力锐 龚 波
夏 巍 丽 平 刘铁明 朱志峰

委 员: (排名不分先后)

江 敏	吴志全	刘庚碧	邓有林	朱长元
黄 海	韩丽莎	刘仁芬	张叶栩	刘志东
阳 源	初秀伟	李以渝	刘建国	徐春桥
禹利萍	周启胜	万智勇	李建宁	熊 婷
刘 涛	高 进	吴志明	郑 晖	叶春辉
李裕民	夏洁云	吴立炎	黄伟祥	钟建坤
喻凤生	侯德宏	武怀军	赵锦权	冯国敏
吴士田	彭继玲	李友云	蔡映红	郑明娥
陈灵仙	丁良南	刘 永	张洪雷	绳传冬
杨中纲	李庆东	田 嘉	李丰雪	张 华
赵海燕	王 军	郭伟伟	刁 俊	吴 坤
郑 涛	杨 耘	齐振东	顾美君	陈华平
张宏旭	姜胜中	霍义平	李志敏	诺 敏
龚云平	李 梅	沈易娟	袁 芬	魏 宁
郑 聪	刘 延	汤伟光	张海彬	李 霞
王志强	彭晓娟	那仁图亚		

前 言

本教材是作者为了适应现代工业自动化飞速发展的要求,为了满足应用型教学的需要,在多年教学、科研和生产实践的基础上,总结同类教材的编写经验,引用本学科国内外的最新研究成果,精心组织编写而成的。

本教材包含液压传动和气压传动两部分内容,共14章。主要讲述了液压与气压传动的流体力学基础知识;液压与气动元件的工作原理、组成、特性分析、运动分析、受力分析及结构特点;液压与气压传动基本回路和典型系统的组成与分析;液压与气压传动系统原理图的拟定、设计计算;液压与气压传动系统常见故障分析与排除方法。在每章开始有学习指南,说明本章的主要内容、重点、难点、教学目的和要求;每章附有思考题和习题;每章结束有本章小结。附录中简明扼要地介绍了最新国家标准 GB/T786.1-2001 中规定的部分液压与气压传动图形符号。本书反映了本学科国内外的最新研究成果和发展趋势,体现了教学内容的系统性、实用性和前瞻性。

本教材为了适应目前的教育教学改革需要,在内容上贯彻理论联系实际的原则,把理论教学和实训教学有机联系起来,注重学生在知识的应用和解决实际问题的能力 & 工程应用素质等方面的培养。

本书共有十四章,由张元越担任总主编并负责编写第一章至第五章;由稀志刚、张鹏、刘朝福担任副主编并负责编写第六章至第十章;由杨宇智、汪菊、李芳、王仁志、谢晓华、刘方方担任参编并负责编写第十一章至第十四章。

本教材适用于应用型本科院校机械设计制造及其自动化专业、机械电子工程专业和机械工程及自动化等专业的液压与气压传动的课程教学;也可供有关本专科、高职院校机电类与机械类学生使用,同时可供有关工程技术人员参考。

本书由主审。对书稿进行了细致详尽的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者
2014 年 1 月



目 录

绪论 (Introduction)	(1)
0.1 液压与气压传动的工作原理及特征 (Characters and operating principles of hydraulic and pneumatic transmission)	(1)
0.2 液压与气压传动系统的组成 (Components of hydraulic and pneumatic transmission)	(3)
0.3 液压与气压传动的优缺点 (Advantages and disadvantages of hydraulic and pneumatic transmission)	(5)
0.4 液压与气压传动的应用和发展 (Application and development of hydraulic and pneumatic transmission)	(6)
本章小结 (Summary)	(7)
思考题和习题 (Review Questions)	(7)
第1章 液压流体力学基础 (Hydro-mechanics basic knowledge of hydraulic transmission)	(8)
1.1 液压油液 (Hydraulic oil)	(8)
1.2 液体静力学 (Hydro - static mechanics basic knowledge)	(14)
1.3 液体运动学和液体动力学 (Hydro - kinematics and Hydro-dynamics basic knowledge)	(18)
1.4 管路流动的压力损失 (Pressure losses at pipes' surface and within the liquids move in pipes)	(25)
1.5 孔口流动 (Flow of liquid moving through orifice)	(29)
1.6 缝隙流动 (Flow of liquid moving through narrow clearance)	(31)
1.7 液压冲击和气穴现象 (Pressure shock and cavitation)	(35)
本章小结 (Summary)	(38)
思考题和习题 (Review Questions)	(38)
第2章 液压泵 (Hydraulic pump)	(43)
2.1 液压泵概述 (Introduction of the hydraulic pump)	(43)
2.2 齿轮泵 (Gear pump)	(47)



2.3 叶片泵(Vane pump)	(53)
2.4 柱塞泵(Piston pump)	(60)
2.5 液压泵的选用(Selection of hydraulic pump)	(66)
本章小结(Summary)	(68)
思考题和习题(Review Questions)	(69)
第3章 液压执行元件(Hydraulic actuator)	(70)
3.1 液压缸(Hydraulic cylinder)	(70)
3.2 液压缸的设计和计算(Design and calculation of hydraulic cylinder)	(81)
3.3 液压马达(Hydraulic motors)	(83)
本章小结(Summary)	(89)
思考题和习题(Review Questions)	(90)
第4章 液压控制阀(Hydraulic control valves)	(92)
4.1 液压阀概述(Introduction of the hydraulic Valves)	(92)
4.2 压力控制阀(Press control valves)	(94)
4.3 流量控制阀(Flow control valves)	(107)
4.4 方向控制阀(Directional control valves)	(117)
4.5 插装阀和叠加阀(Cartridge valves and modular valves)	(131)
4.6 电液数字控制阀(Electro-hydraulic proportional pressure control valves)	(137)
4.7 电液比例控制阀(Electro-hydraulic proportional directional control valves)	(139)
本章小结(Summary)	(145)
思考题和习题(Review Questions)	(145)
第5章 液压传动辅助元件(Accessories of hydraulic transmission)	(149)
5.1 蓄能器(Accumulators)	(149)
5.2 过滤器(Filters)	(154)
5.3 油箱、密封件、油管及管接头(Oil tanks, seals, pipes and pipe fittings) ...	(157)
5.4 加热器和冷却器(Heaters and coolers)	(168)
本章小结(Summary)	(169)
思考题和习题(Review Questions)	(170)
第6章 液压基本回路(Hydraulic basic circuit)	(171)
6.1 压力控制回路(Pressure control circuit)	(171)
6.2 速度控制回路(Speed control circuit)	(178)
6.3 方向控制回路(Direction control circuit)	(194)



6.3 方向控制回路 (Direction control circuit)	(194)
6.4 多执行元件控制回路 (Multi-actuators control circuit)	(197)
本章小结 (Summary)	(202)
思考题和习题 (Review Questions)	(203)
第7章 典型液压传动系统 (Typical hydraulic transmission systems)	(207)
7.1 组合机床动力滑台液压系统 (Hydraulic transmission system of power work table in combining machine tool)	(208)
7.2 液压机液压系统 (Hydraulic transmission system of press machine) ...	(212)
7.3 挖掘机液压系统 (Hydraulic transmission system of excavator)	(219)
7.4 塑料注射成型机液压系统 (Hydraulic transmission system of plastic injection machine)	(223)
本章小结 (Summary)	(229)
思考题和习题 (Review Questions)	(229)
第8章 液压传动系统的设计计算 (Design and calculation of hydraulic transmission system)	(231)
8.1 液压传动系统的设计 (Design of hydraulic transmission system)	(231)
8.2 液压传动系统的设计计算举例 (Examples of design and calculation of hydraulic transmission system)	(245)
本章小结 (Summary)	(258)
思考题和习题 (Review Questions)	(258)
第9章 液压传动伺服控制系统 (Servo control system of hydraulic transmission)	(260)
9.1 概述 (Introduction)	(260)
9.2 液压传动伺服控制元件种类 (Types of servo control component of hydraulic transmission)	(266)
9.3 电液伺服阀 (Servo control valves)	(269)
9.4 液压传动伺服控制系统举例 (Examples of servo control system of hydraulic transmission)	(271)
本章小结 (Summary)	(273)
思考题和习题 (Review Questions)	(274)
第10章 气压传动基础知识 (Basic knowledge of pneumatic transmission)	(275)
10.1 空气的物理性质 (Physical properties of the air)	(275)
10.2 气体的状态变化 (The state change of gas)	(279)
10.3 气体的流动规律 (Gas flowing law)	(284)



思考题和习题(Review Questions)	(287)
第 11 章 气源装置与气动元件(Pneumatic power source units and components of pneumatic transmission)	(288)
11.1 气源装置及辅助元件(Pneumatic power source units and accessories of pneumatic transmission)	(288)
11.2 气动执行元件(Actuators components of pneumatic transmission)	(296)
11.3 气动控制阀(Control valves of pneumatic transmission)	(302)
11.4 气动辅件(Accessories components of pneumatic transmission)	(305)
11.5 真空元件(Vacuum components of pneumatic)	(306)
11.6 气动逻辑元件	(309)
11.7 气动传感器及气动仪表(Pneumatic sensors and pneumatic instruments)	(314)
本章小结(Summary)	(319)
思考题和习题(Review Questions)	(319)
第 12 章 气动回路(Basic circuits of pneumatic transmission)	(321)
12.1 压力与力控制回路(Press and force control circuits)	(321)
12.2 换向回路(Directional control circuits)	(322)
12.3 速度控制回路(Speed control circuits)	(324)
12.4 气动逻辑回路(Logic circuits of pneumatic transmission)	(327)
12.5 其他常用回路(The others control circuits)	(330)
本章小结(Summary)	(333)
思考题和习题(Review Questions)	(333)
第 13 章 气动程序控制系统设计(Design of pneumatic control system program)	(334)
13.1 气动程序控制系统设计方法(Method of pneumatic process control system)	(334)
13.2 多气缸单往复程序控制系统设计(Design of Single multi-cylinder reciprocating process control system)	(346)
13.3 多气缸多往复程序控制系统设计(Design of multiple multi-cylinder reciprocating process control system)	(349)
本章小结(Summary)	(351)
思考题和习题(Review Questions)	(351)
第 14 章 气压传动系统实例(Examples of control system of pneumatic transmission)	(352)



14.1 气控机械手(Pneumatic manipulator)	(352)
14.2 气动计量系统(Pneumatic measurement system)	(355)
14.3 气动自动钻床(Pneumatic automatic drilling machine)	(357)
本章小结(Summary)	(360)
思考题和习题(Review Questions)	(360)
附录 常用液压与气动元件图形符号(GB/T 786.1—2009)	(361)



绪论(Introduction)

【本章指南】

本章主要内容:主要讲述了液压与气压传动的工作原理、图形符号、组成、优缺点,以及其应用和发展。

本章重点:掌握与运用“系统压力取决于外负载”和“外负载的运动速度取决于流量”这两个重要特征。

本章难点:正确理解液压与气压传动的两个重要特征的相互独立性。

本章教学目的和要求:通过学习液压千斤顶和某机床工作台的气压传动系统的工作原理,正确理解帕斯卡原理,从而学会对液压和气压传动系统的应用。

液压与气压传动,又称液压气动技术,是机械设备中发展速度最快的技术之一,特别是近年来,随着机电一体化技术的发展,与微电子、计算机技术相结合,液压与气压传动进入了一个新的发展阶段。

液压与气压传动是以流体(液压油液或压缩空气)为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式。它们通过各种元件组成不同功能的基本回路,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。

0.1 液压与气压传动的工作原理及特征 (Characters and operating principles of hydraulic and pneumatic transmission)

液压与气压传动的工作原理及特征和液压与气压传动的基本工作原理是相似的,现以图 0.1 所示的液压千斤顶来简述液压传动的工作原理。

如图 0.1 所示,当向上抬起杠杆时,手动液压泵的小活塞向上运动,小液压缸 1 下腔容积增大形成局部真空,单向阀 2 关闭,油箱 4 的油液在大气压作用下经吸油管顶开单向阀 3 进入小液压缸下腔。当向下压杠杆时,小液压缸下腔容积减小,油液受挤压,压力升高,关闭单向阀 3,顶开单向阀 2,油液经排油管进入大液压缸 6 的下腔,推动大活塞上移顶起重物。如此不断上下扳动杠杆,则不断有油液进入大液压缸下腔,使重物逐渐举升。如杠杆停止动作,大液压缸下腔油液压力将使单向阀 2 关闭,大活塞连同重物一起被自锁

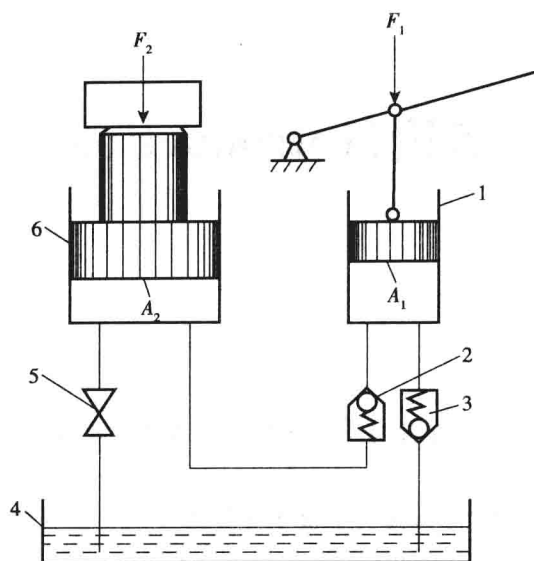


图 0.1 液压千斤顶工作原理图

1—小液压缸；2—排油单向阀；3—吸油单向阀；4—油箱；5—截止阀；6—大液压缸

不动,停止在举升位置。如打开截止阀 5,大液压缸下腔通油箱,大活塞将在自重作用下向下移动,迅速回复到原始位置。

由液压千斤顶的工作原理得知:小液压缸 1 与单向阀 2、3 一起完成吸油与排油,将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 6 将油液的压力能转为机械能输出,抬起重物,称为(举升)液压缸。在这里大、小液压缸组成了最简单的液压传动系统,实现了力和运动的传递。

1. 力的传递

设液压缸活塞面积为 A_2 ,作用在活塞上的负载力为 F_2 。该力在液压缸中所产生的液体压力为 $p_2 = F_2/A_2$ 。根据帕斯卡原理,“在密闭容器内,施加于静止液体上的压力将以等值同时传递到液体各点”,液压泵的排油压力 p_1 应等于液压缸中的液体压力,即 $p_1 = p_2 = p$,液压泵的排油压力又称为系统压力。

为了克服负载力使液压缸活塞运动,作用在液压泵活塞上的作用力 F_1 应为

$$F_1 = p_1 A_1 = p_2 A_1 = p A_1 \quad (0-1)$$

式中 A_1 ——液压泵活塞面积。

在 A_1 、 A_2 一定时,负载力 F_2 越大,系统中的压力 p 也越高,所需的作用力 F_1 也越大,即系统压力与外负载密切相关。这是液压与气压传动工作原理的第一个特征:液压与气压传动中工作压力取决于外负载。

2. 运动的传递

如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体及管路的变形,液压泵排出的液体体积必然等于进入液压缸的液体体积。设液压泵活塞位移为 s_1 ,液压缸活塞位移为 s_2 ,则有

$$s_1 A_1 = s_2 A_2 \quad (0-2)$$



上式两边同除以运动时间 t , 得

$$q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2 \quad (0-3)$$

式中 v_1, v_2 ——液压泵活塞和液压缸活塞的平均运动速度;

q_1, q_2 ——液压泵输出的平均流量和液压缸输入的平均流量。

由此可见, 液压与气压传动是靠密闭工作容积变化相等的原则实现运动(速度和位移)传递的。调节进入液压缸的流量 q , 即可调节活塞的运动速度 v , 这是液压与气压传动工作原理的第二个特征: 活塞的运动速度只取决于输入流量的大小, 而与外负载无关。

从上面的讨论中还可以看出, 与外负载力相对应的流体参数是流体压力, 与运动速度相对应的流体参数是流体流量。因此, 压力和流量是液压与气压传动中两个最基本的参数。

0.2 液压与气压传动系统的组成 (Components of hydraulic and pneumatic transmission)

工程实际中的液压传动系统, 在液压泵 - 液压缸的基础上还设置有控制液压缸的运动方向、运动速度和最大推力的装置, 下面以图 0.2 所示的典型液压系统为例, 说明其组成。

液压泵 3 由电动机驱动旋转, 从油箱 1 经过滤器 2 吸油。当换向阀 5 阀芯处于图示位置时, 压力油经流量控制阀 4、换向阀 5 和管道 9 进入液压缸 7 的左腔, 推动活塞向右运动。液压缸右腔的油液经管道 6、换向阀 5 和管道 10 流回油箱。改变换向阀 5 阀芯的工作位置, 使之处于左端位置时, 液压缸活塞反向运动。

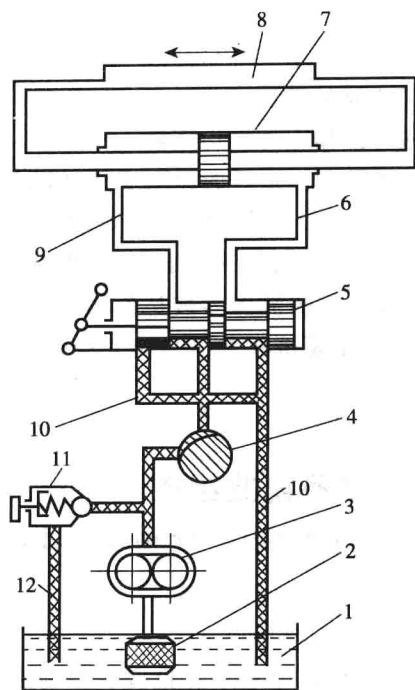
改变流量控制阀 4 的开口, 可以改变进入液压缸的流量, 从而控制液压缸活塞的运动速度。液压泵排出的多余油液经溢流阀 11 和管道 12 流回油箱。液压缸的工作压力取决于负载。液压泵的最大工作压力由溢流阀 11 调定, 其调定值应为液压缸的最大工作压力及系统中油液流经阀和管道的压力损失之总和。因此, 系统的工作压力不会超过溢流阀的调定值, 溢流阀对系统还起着过载保护的作用。

气压传动系统与液压传动系统相似, 如图 0.3 所示, 在气压发生器和气缸之间有控制压缩空气的压力、流量及流动方向的各种动力控制元件和逻辑运算、检测、自动控制等信号控制元件, 以及使压缩空气净化、润滑、消声和传输所需要的一些装置。

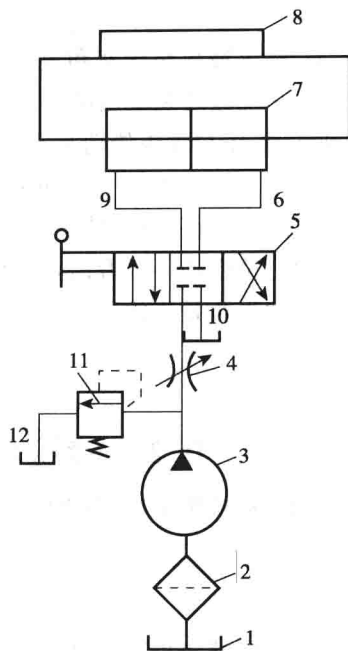
从上面例子可以看出, 液压与气压传动系统主要由以下 5 部分组成:

(1) 能源装置: 将机械能转换成流体压力能的装置。常见的是液压泵或空气压缩机, 为系统提供压力油液或压缩空气。如图 0.1 中, 液压缸 1、单向阀 2、3 组成的阀配流液压泵; 图 0.3 中空气压缩机及贮存、净化压缩空气的附属设备集中在工厂或车间的压缩空气站内, 向各用气点分配压缩空气。

(2) 执行元件: 将流体的压力能转换成机械能输出的装置。它可以是作直线运动的液压缸或气缸, 也可以是作回转运动的液压马达、气马达、摆动缸, 如图 0.1 中的缸 6。



(a)典型液压系统原理结构示意图



(b)典型液压系统原理图形符号图

图 0.2 典型液压系统原理图

(a) 典型液压系统原理结构示意图 (b) 典型液压系统原理图形符号图

1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4—流量控制阀;5—换向阀;
6,9,10,12—管道;7—液压缸;8—工作台;11—溢流阀

(3) 控制元件:对系统中流体的压力、流量及流动方向进行控制和调节的装置,以及进行信号转换,逻辑运算和放大等功能的信号控制元件,如图 0.2 中的溢流阀、流量控制阀、换向阀,以及图 0.3 中的压力阀、流量阀、换向阀、逻辑元件、行程阀等。

(4) 辅助元件:保证系统正常工作所需的上述 3 种以外的装置,如图 0.2 中的过滤器、油箱、管件,图 0.3 中的消声器、油雾器、分水滤气器等。

(5) 工作介质:用它进行能量和信号的传递。液压系统以液压油液作为工作介质,气动系统以压缩空气作为工作介质。

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的原理图。各类元件的图形符号脱离了具体结构,只表示其职能,由它们组成的系统原理图表达了系统的工作原理及各元件在系统中的作用,如图 0.2(b)、图 0.3(b) 所示。我国制定的“气动与液压”图形符号标准 GB/T 786.1—2009 见附录。在下面每讲一类元件,都会介绍其图形符号,要求熟记常用元件的图形符号。

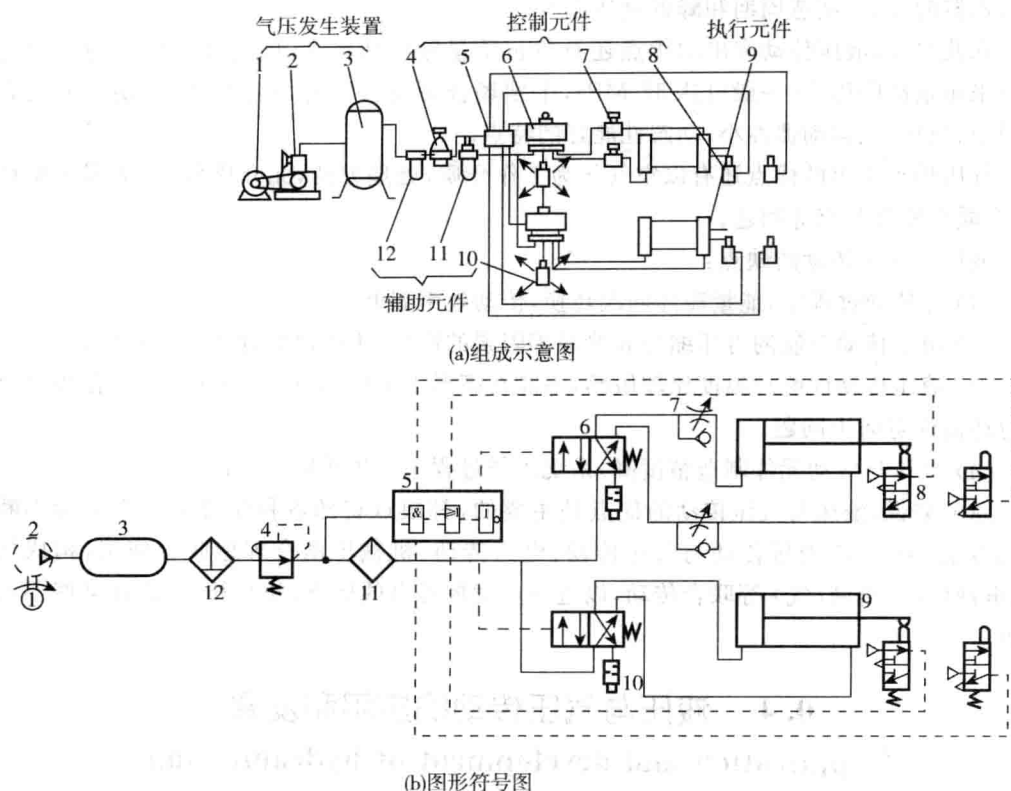


图 0.3 气压传动及控制系统原理图

1—电动机；2—空气压缩机；3—气罐；4—压力控制阀；5—逻辑元件组；6—换向阀；
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

0.3 液压与气压传动的优缺点

(Advantages and disadvantages of hydraulic and pneumatic transmission)

与机械传动和电力传动系统相比，液压与气压传动具有以下优点：

- (1) 液压与气动元件的布置不受严格的空间位置限制，系统中各部分用管道连接，布局安装有很大的灵活性，能构成用其他方法难以组成的复杂系统。
- (2) 可以在运行过程中实现大范围的无级调速，调速范围可达 2 000 : 1。
- (3) 液压传动和液气联动传递运动均匀平稳，易于实现快速启动、制动和频繁的换向。
- (4) 操作控制方便、省力，易于实现自动控制、中远程距离控制、过载保护。与电气控制、电子控制相结合，易于实现自动工作循环和自动过载保护。
- (5) 液压与气动元件属机械工业基础件，标准化、系列化和通用化程度较高，有利于