

普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等院校机电工程类规划教材

液压与气压传动

宋新萍 主编
权 龙 主审

普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等院校机电工程类规划教材

液压与气压传动

宋新萍 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书为机械设计制造及其自动化等相关专业本科及研究生教学用书,也可供其他相关专业(汽车、航空等)的高校学生、工程技术人员参考。

全书分三篇,共9章,主要讲述液压、气压传动的基础知识、工作原理、基本回路及电、液、气动控制的工业应用。

本书注重理论教学与实践教学的密切结合,注重学生在应用技术方面的能力培养,在内容编排上密切与生产实际相联系,选用较为先进、典型的线路和实例,使学生获得实用的技术知识。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/宋新萍主编.--北京:清华大学出版社,2012.5

(普通高等院校机电工程类规划教材)

ISBN 978-7-302-28105-4

I. ①液… II. ①宋… III. ①液压传动—高等学校—教材 ②气压传动—高等学校—教材
IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 033099 号

责任编辑:庄红权 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17 字 数:378 千字

版 次:2012 年 5 月第 1 版 印 次:2012 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:34.00 元

产品编号:044723-01

前 言

《液压与气压传动》一书分三篇,共9章,除了传统教材包含的液压传动篇、气压传动篇外,还增加了机电液气一体化篇。液压传动篇主要讲述液压传动的基础知识、液压元件的工作原理和基本结构、液压基本回路、工业应用及常见故障分析;气压传动篇主要讲述气压传动的基础知识、气压元件的工作原理和基本结构、气压基本回路及其工业应用;机电液气一体化篇则通过实例介绍机电液气联动的工业应用。

本书在内容取舍上贯彻少而精、理论联系实际的原则,避免选用繁琐的理论推导和设计原理内容,使内容更简洁、实用。应用部分加强针对性和实用性,注意理论教学与实践教学的密切结合,注重学生在应用技术方面的能力培养,在内容编排上密切与生产实际紧密联系,选用较为先进、典型的线路和实例,使学生获得实用的技术知识。为便于学生阅读和理解,介绍元件工作原理多配以简单的原理图,典型结构图配以新型的结构图;各章末均附有习题,以便于学生课后对学习内容的巩固。

本书可作为高等院校、成人教育学院、职工大学、夜大、函授大学等机电类及机械设计制造及其自动化专业的本科、研究生教学用书,也可供其他有关专业(汽车、航空等)学生、工程技术人员参考。液压传动篇、气压传动篇、机电液气一体化篇三篇的内容既有联系,又相互独立,各校可根据需要选用。

感谢太原理工大学权龙教授,对全稿提出了宝贵指导意见;无锡柴油机股份有限公司孙腊元高工对本书的编写大纲、图例选用等都提出了十分宝贵的建议,提出许多修改意见,在此表示衷心的感谢!

本书为国家自然科学基金项目 51105241。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在缺点和不足之处,恳切希望同仁和广大读者批评指正。

编 者
2012.1

目 录

绪论	1
习题	5

第一篇 液压传动篇

第 1 章 液压传动基础知识	9
1.1 液压传动工作介质	9
1.1.1 液压传动工作介质的主要物理性质	9
1.1.2 液压油的分类、基本要求和选用	11
1.1.3 使用液压油的注意事项及识别油品品种的简易方法	14
1.1.4 液压油的污染及控制	15
1.2 液体静力学	16
1.2.1 液体的压力	16
1.2.2 液体压力的表示方法及单位	17
1.2.3 液体静压力基本方程	17
1.3 液体动力学	18
1.3.1 基本概念	18
1.3.2 液体流动的连续性原理	19
1.4 液体流动时的压力损失	20
1.4.1 层流、紊流、雷诺数	20
1.4.2 压力损失	21
1.5 小孔和缝隙的流量	22
1.5.1 小孔流量特性	22
1.5.2 缝隙液流特性	23
1.6 液压冲击和气穴现象	23
1.6.1 液压冲击	23
1.6.2 气穴现象	24
习题	24
第 2 章 液压元件	25
2.1 液压动力元件	25
2.1.1 液压泵的基本常识	25

2.1.2	齿轮泵	28
2.1.3	叶片泵	32
2.1.4	柱塞泵	37
2.1.5	齿轮泵、叶片泵和柱塞泵的性能比较	40
2.1.6	液压泵的安装	40
2.1.7	使用液压泵的注意事项	41
2.1.8	液压泵的故障分析与排除	41
	液压泵拆装实习	42
2.2	液压执行元件	43
2.2.1	液压马达	43
2.2.2	液压缸	44
	液压缸拆装实习	52
2.3	液压控制元件	52
2.3.1	液压阀的基本知识	52
2.3.2	方向控制阀	53
2.3.3	压力控制阀	64
2.3.4	流量控制阀	74
2.3.5	液压阀的连接方式	78
	液压控制阀拆装实习	79
2.4	液压辅助元件	80
2.4.1	管路和管接头	81
2.4.2	油箱	83
2.4.3	过滤器	83
2.4.4	蓄能器	84
2.4.5	密封装置	86
2.4.6	压力表和压力表开关	87
2.4.7	冷却器和加热器	87
2.4.8	液压辅助元件的选用	88
	液压辅助元件拆装实习	88
	习题	88
第3章	液压基本回路	89
3.1	压力控制回路	89
3.1.1	调压回路	89
3.1.2	减压回路	90
3.1.3	增压回路	91
3.1.4	保压回路	91
3.1.5	卸荷回路	93

3.1.6 平衡回路	93
3.2 方向控制回路	94
3.2.1 换向回路	94
3.2.2 锁紧回路	95
3.3 速度控制回路	95
3.3.1 调速回路	95
3.3.2 快速运动回路	102
3.3.3 速度换接回路	103
3.4 多缸工作控制回路	105
3.4.1 顺序动作回路	105
3.4.2 同步回路	107
3.4.3 多缸快慢速互不干扰回路	108
习题	109
第4章 液压传动的工业应用	111
4.1 液压系统工业应用	111
4.1.1 组合机床动力滑台的液压系统	111
4.1.2 压力机液压系统	115
4.1.3 注塑机液压系统	119
4.2 液压系统的安装调试和故障分析	124
4.2.1 液压系统的安装调试	124
4.2.2 液压系统故障分析与排除	128
4.2.3 液压系统中的泄漏	137
习题	141
 第二篇 气压传动篇	
第5章 气压传动基础知识	145
5.1 气压传动工作介质	145
5.2 气体状态方程及流动规律	146
习题	147
第6章 气动元件	148
6.1 气源装置	148
6.1.1 空气压缩机	149
6.1.2 气源净化处理装置	152
6.2 气动执行元件	156
6.2.1 气缸	157

6.2.2 气动马达	161
6.3 气动控制元件	163
6.3.1 压力控制阀	163
6.3.2 流量控制阀	170
6.3.3 方向控制阀	172
6.4 气动辅助元件	183
6.4.1 油雾器	183
6.4.2 消声器	184
6.4.3 转换器	185
6.4.4 传输压缩空气的管道系统	186
6.5 真空元件	188
6.5.1 概述	188
6.5.2 真空系统的组成	188
习题	198
第7章 气动基本回路	199
7.1 压力控制回路	199
7.2 方向控制回路	200
7.3 速度控制回路	201
7.4 位置控制回路	206
7.5 增压控制回路	208
7.6 延时控制回路	209
7.7 安全保护回路	212
习题	215
第8章 气动系统的工业应用	216
8.1 气动夹紧装置	216
8.2 拉门自动开闭系统	217
8.3 液位的气动控制系统	218
习题	219

第三篇 机电液气一体化篇

第9章 机电液气联动传动系统	223
9.1 电气控制的基础知识	223
9.1.1 常用低压电器	223
9.1.2 电气控制基本电路	227
9.2 PLC 控制基础	232

9.2.1 PLC 基本组成	232
9.2.2 PLC 的工作原理	234
9.2.3 PLC 控制系统	236
9.2.4 PLC 顺序控制功能图	242
9.3 机电液气联动传动系统应用实例	244
9.3.1 继电器控制气动系统的应用实例	244
9.3.2 PLC 控制的振动下料机液压系统	246
9.3.3 电动汽车蓄电池热封机的机电液气系统	248
9.3.4 机械手液压系统	251
习题	255
附录 A 液压及气动图形符号(GB/T 786.1—1993 摘录)	256
参考文献	261

绪 论

一部机器通常由三部分组成,即原动机、工作机构及传动装置。原动机的作用是把各种形式的能量转变为机械能,是机器的动力源;工作机构是利用机械能对外做功,来改变材料或工件的性质、状态或位置,以进行生产或达到其他预定目的的工作装置;传动装置设于原动机和工作机构之间,起传递动力和进行控制的作用。

传动装置的传动类型有:单一传动方式、复合传动方式。

单一传动方式中按照传动所采用的机件或工作介质的不同可分为:机械传动、电力传动、液压传动、气压传动。每种传动方式各有其特点、用途和适用范围。

机械传动:是通过齿轮、齿条、皮带、链条等机件传递动力和进行控制的一种传动方式,它是发展最早且应用最为普遍的传动形式。其优点是传动准确可靠、制造容易、操作简单、维护简单和传动效率高等;缺点是一般不能进行无级调速、远距离传动较困难、结构比较复杂等。

电力传动:是利用电力设备并调节电参数来传递动力和进行控制的一种传动方式。其主要优点是能量传递方便,信号传递迅速,标准化程度高,易于实现自动化等;缺点是运动平稳性差,易受外界负载的影响,惯性大,启动及换向慢,成本较高,受温度、湿度、振动、腐蚀等环境因素影响较大。为了改善其传动性能,有些场合,往往与机械、液压或气压传动结合使用。

液压传动:是以压缩液体为工作介质,靠液体的压力能通过各种液压元件进行能量转换、传递和控制的一种传动方式。

气压传动:是以压缩空气为工作介质进行能量转换、传递和控制的一种传动方式。

复合传动方式中有机电复合传动、机液复合传动、电液复合传动、气液复合传动、机电液气复合传动等方式。

本书主要介绍的是液压与气压传动的基本知识和应用特点,为学生今后更好地掌握和运用传动技术打好基础。

1. 液压与气压传动的工作原理和基本特征

帕斯卡原理:在密闭的容器内,施加于静止液体中任一点的压力变化将以等值传递到液体的各点。

对帕斯卡原理,必须注意以下几点。

(1) 所谓压力,是指液体中单位面积上的力,即应力(N/m^2),与中学物理所学的压强相似。所不同的是,压强主要考虑的是量值的大小;而压力则是矢量,考虑量值的同时还要考虑方向性。

(2) 所谓密闭容器,是指容器中的液体与外界大气完全隔绝。

(3) 所谓任一点的压力变化将以等值传递到液体的各点,强调的是压力的变化量,由于重力的作用等原因,液体中各点的初始压力大小与方向可能各不相同,但外力作用造成

任一点的压力变化,将会引起液体中各点都产生同样大小的压力的变化。

(4) 所谓静止液体,是指液体在压力变化前后均为静止状态,这是帕斯卡原理成立的一个重要条件,强调液体静止,是为了排除液体流动引起的动能变化的影响。实际生产中的液压系统中的液体并不完全是静止状态的,但实际液压系统中即使液体处于流动状态,当其动能的影响足够小时,仍可适用帕斯卡原理。

帕斯卡原理最经典的应用是用较小的力,可以推举较重的物体,即所谓的单位体积输出功率较大。现实生活中常见的液压千斤顶就是这种应用的一种具体形式。

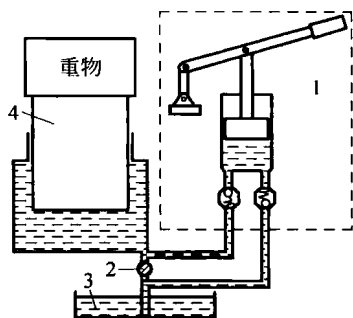


图 0-1 液压千斤顶的工作原理

1—手动泵(含出油阀、吸油阀); 2—截止阀;
3—油箱; 4—顶升缸

图 0-1 所示为液压千斤顶的工作原理,当向上提起手动泵杠杆时,杠杆带动活塞向上运动,该活塞下腔容积增大形成局部真空,油箱 3 内的油液在大气压作用下,经吸油管顶开吸油单向阀进入手动泵 1 中;用力压下手动泵杠杆时,手动泵中的油液压力升高,经单向阀压入顶升缸 4 中,再次抬起杠杆时,单向阀自动关闭,使油液不能倒流,在截止阀 2 的共同作用下,顶升缸活塞连同重物一起被锁住不动,停止在举升位置。如此不断地往复扳动杠杆,则不断地将压力油压入顶升缸下腔,就能使重物逐渐升起在要求的工况位置上。按帕斯卡定

理解释液压千斤顶的工作原理:在手动泵杠杆上施加一定的作用力,将使手动泵中的油压升高,则顶升缸中的油压也将产生同样大小的压力变化,由于手动泵面积小而顶升缸面积大,顶升缸就可以顶起较重的物体。当重物升在工况位置完成作业后,打开截止阀 2,顶升缸在重物和自重作用下下移,将顶升缸中的油液通过管道压回油箱,重物回到原始位置。

液压与气压传动的工作原理和基本特征是相似的,是以液体或气体为工作介质,把原动机的机械能先转化成为液体、气体的压力能,再将工作介质的压力能转变为工作机构推动负载运动所需的机械运动和动力。

液压与气压传动是实现能量的转换、传递、分配与运动控制的一种传动技术。

2. 液压与气压传动系统的组成

从液压千斤顶这个简单液压工作系统中,以小见大,可以看出一个正常工作的液(气)压系统在完成传递力和运动这样的基本特征中,主要由以下五个部分组成。

(1) 动力元件:将原动机输出的机械能转换成工作流体的压力能的装置,一般为液压泵或空气压缩机。如液压千斤顶中的手动泵,负责向液压系统提供压力油。

(2) 执行元件:将工作流体的压力能重新转变为机械能,推动负载往复直线运动或回转运动的装置,一般为液(气)压缸,液(气)压马达等。如液压千斤顶中的顶升缸,负责顶举外部负载。

(3) 控制元件:调控液(气)压系统中工作流体的压力、流量、方向的装置,不做能量的转换,这些元件的不同组合能够组成不同功能的液(气)压系统的工作循环。一般为节

流阀、换向阀、截止阀等。如液压千斤顶中的截止阀。

(4) 辅助元件：除上述三种元件之外，保证系统正常工作必不可少的其他元件，在系统中起到输送、储存、加热、冷却、过滤和测量等作用，它们对保证液(气)压系统工作的可靠、稳定起着重要的作用。一般为油箱、过滤器、油雾器、管路、管接头等。

(5) 工作介质：传递能量的流体，即液压油和压缩气体。“巧妇难为无米之炊”，一个再好的液(气)压系统如果没有流体，是无法工作的。流体传递了能量，称为工作介质。

液压与气压传动系统的组成如图 0-2 所示。

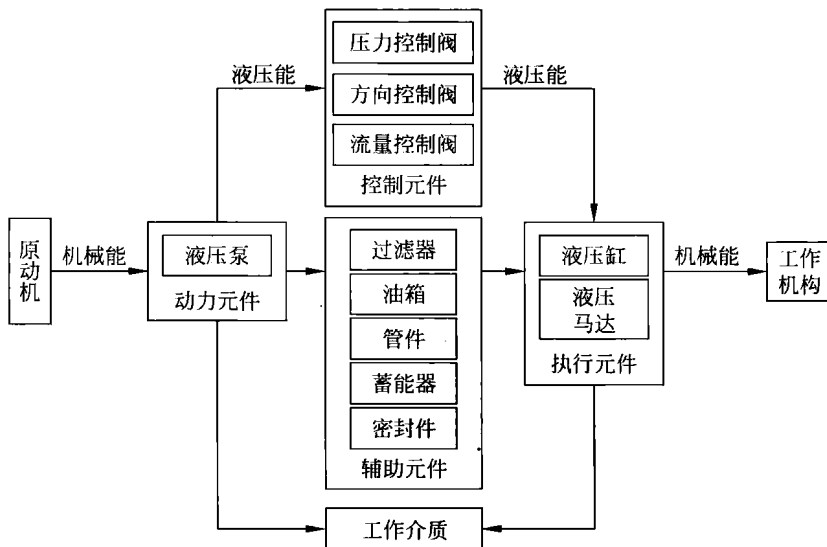


图 0-2 液压与气压传动系统的组成

3. 液(气)压系统的标准图形符号

在液压与气动系统图中，其中的元件用结构(或半结构)式的图形来表示的示意图，称为结构原理图，它直观，容易被理解、接受。如图 0-1 所示液压千斤顶的工作原理图即为结构原理图。

但是实际生产应用中的液压与气动系统图，其图形较复杂、绘制较困难。为了简化液(气)压系统的表示方法，往往将结构(或半结构)式的图形简化，采用标准图形符号来绘制液(气)压系统工作原理图，标准图形符号脱离了元件的具体结构，只表示元件的功能、控制方法及外部连接，方便阅读、分析、设计和绘制。我国制订了液压与气动图形符号标准 GB/T 786.1—1993。如图 0-3 所示为用国家标准规定的图形符号绘制的液压千斤顶的工作原理图。

当有些特殊或专用的元件无法用标准图形表达时，仍可使用结构示意图。

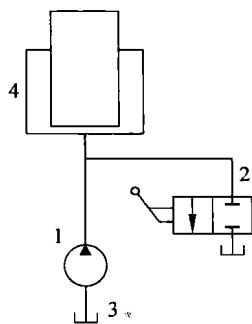


图 0-3 液压千斤顶的工作原理图
(图形符号)

1—液压泵；2—换向阀；
3—油箱；4—柱塞缸

4. 液(气)压传动的优缺点及应用

液压与气压传动与其他形式的传动系统相比,有许多优异的特点。

1) 液压传动的优缺点

(1) 液压传动的优点

① 功率-质量比大,即在输出同等功率的条件下,相比其他传动方式,液压系统体积小、重量轻、惯性小,结构紧凑,通俗地讲,就是在同样体积时,液压系统出力大。

② 液压传动系统能方便地在大范围内进行无级调速。

机械无级调速较为困难,只适用于小功率系统;电气无级调速较为方便,但低速时输出扭矩小,速度稳定性差。液压传动则较容易地在大范围内实现无级调速,这是机械和电气传动所无法比拟的。

③ 液压传动系统的控制、调节比较简单,操纵较方便、省力,易于实现自动化。

④ 液压传动系统易于实现过载保护,油液有润滑作用,液压元件使用寿命较长。

⑤ 液压传动系统工作平稳、冲击小。

⑥ 液压元件已实现标准化、系列化、通用化,方便设计、制造和使用。

(2) 液压传动的缺点

① 液压传动系统不可避免有泄漏,在工作过程中常有较多的能量损失。

② 液压传动系统的液压油会有油温的限制,油温过高,会产生汽化;油温过低,则会凝固,润滑效果不好。

③ 液压传动元件成本较一般机械传动元件要高,这是因为为防止泄漏和保证传动精度,导致液压元件的制造成本提高了。

④ 液压传动系统容易造成环境污染,液压油的泄漏会污染工作环境,同时废油排放与处理不当,也会造成环境污染。

⑤ 液压传动系统故障诊断较困难,需要适当的理论知识和实践经验。

2) 气压传动的优缺点

气压传动与液压传动的特点大体上是相似的,但由于液压传动所用的工作介质为液压油或其他合成液体,气压传动所用的工作介质为空气,这两种流体的性质不同,所以气压传动又有其特点。

(1) 气压传动的工作介质为空气,取用方便,成本低。

(2) 可直接排入大气而无有形污染,无须专设专门的回气装置,但排气噪声较大。

(3) 工作压力较低,一般为 $0.4 \sim 0.8 \text{ MPa}$,出力较液压传动小。

(4) 空气粘度小,流动压力损失小,节能、高效,可集中供气 and 远距离输送供气。

(5) 工作环境适应性好,可适用于易燃、易爆、多尘、潮湿的工作条件下。

(6) 气动速度迅速、反应快,调节方便,维护简单。

(7) 空气无润滑性能,应设油浴(气)润滑装置。

(8) 可远距离控制。

3) 液(气)压传动的应用与发展

在实际应用中,采用液压或气压传动技术的出发点是不同的,在机械、矿山机械、压力机械和航空工业中采用液压传动的主要原因是因其体积小、结构简单、重量轻、输出力大;

在机床控制上采用液压传动的主要原因是因其能方便地实现无级调速、易于实现频繁自动换向、易于实现自动化；在电子工业、包装机械、印染机械、食品机械等方面采用气压传动的主要原因则是因其操作方便、无油、无污染等特点。表 0-1 是液压与气压传动技术在现实工业生产中的应用举例。

表 0-1 液压与气压传动的应用领域

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

自 1795 年英国制成世界上第一台水压机算起,液压技术已有 300 多年的历史了,随着原子能技术、空间技术、计算机技术的高速发展,液(气)压传动技术也得到了很大的发展,并渗透到了各个工业领域,同时随着计算机辅助设计(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的快速发展,研究和开发系统控制技术和机、电、液、气综合控制技术成为各种传动技术发展的必然趋势。

习 题

0-1 液压/气压传动的原理是什么?

0-2 液压/气压传动系统由哪些部分组成?各部分的功用是什么?

第一篇

液压传动篇

