

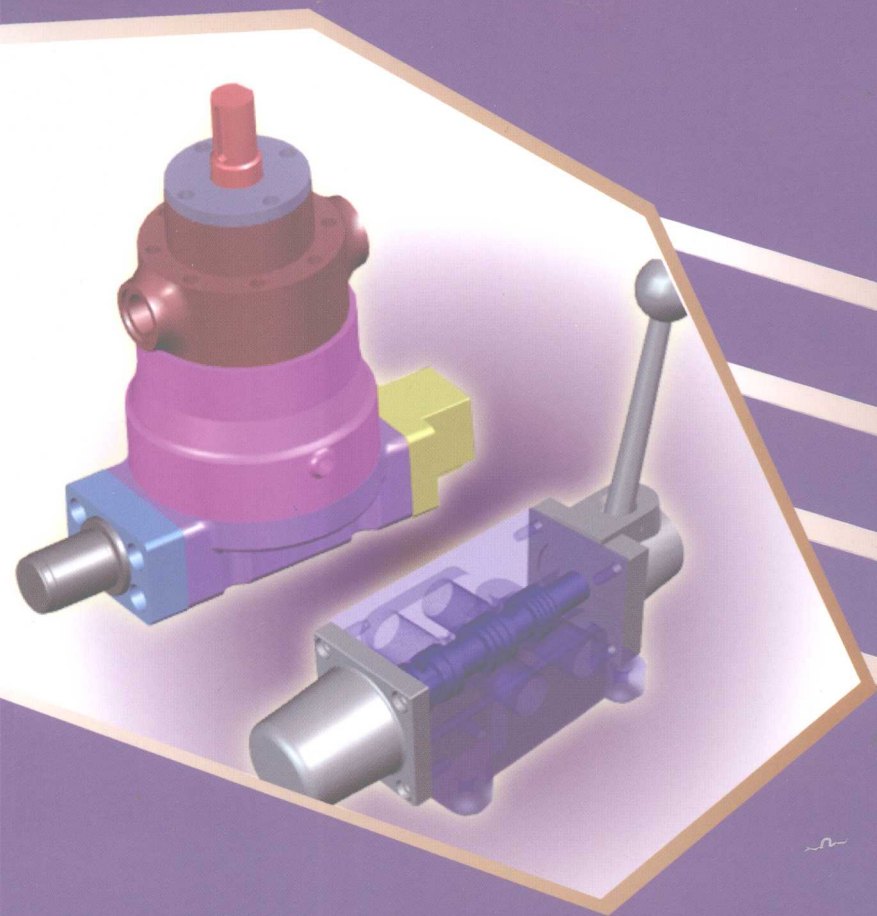


全国高职高专教育“十一五”规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

液压与气压传动技术

张勤 徐钢涛 主编



高等教育出版社

全国高职高专教育“十一五”规划教材

机械制造系列

液压与气压传动技术

张勤 徐钢涛 主编

本书可作为高职高专院校机械类、机电类、能源动力类等专业的教材，也可供从事机械、机电、能源动力等工作的工程技术人员参考。

章 节 名 称	编 者	审 校 者	参 考 文 献
第1章 绪论	张勤	徐钢涛	1
第2章 液压传动	张勤	徐钢涛	10
第3章 气压传动	张勤	徐钢涛	100
第4章 液压与气压传动的应用	张勤	徐钢涛	150

高等教育出版社

ISBN 7-03-012287-0

内容简介

本书是根据高等职业技术教育要求编写的。全书包括液压传动和气压传动技术两部分,共分13章,第1~10章为液压传动技术,第11~13章为气压传动技术。本书主要论述液压传动的基础知识,液压与气动元件的结构原理及应用,液压、气压传动的基本回路组成及功能,典型液压传动系统的组成与分析,液压伺服系统和液压传动系统设计的基本方法,气动回路中的电气控制,可编程控制技术在气动系统中的应用等内容。每章均有章后小结和思考题与练习题。

本书在编写时注重基本概念与原理的讲解,突出实用性,力求章节层次清楚、内容简洁、通俗易懂。在元件的表达方式上,采用立体图等形式,直观形象,易于学习者理解元件的结构原理,有利于学生自主学习。

本书可作为高等职业院校机电类专业教学用书,也可作为教师或企业生产技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动技术/张勤,徐钢涛主编. —北京:
高等教育出版社,2009.2

ISBN 978-7-04-025847-9

I. 液… II. ①张…②徐… III. ①液压传动-高等学校:技术学校-教材②气压传动-高等学校:技术学校-教材 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第206971号

策划编辑 罗德春 责任编辑 贺玲 封面设计 张雨薇 责任绘图 尹莉
版式设计 余杨 责任校对 王效珍 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 人民教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 18.75

字 数 450 000

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

网上订购 <http://www.landrace.com>

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

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009年2月第1版

印 次 2009年2月第1次印刷

定 价 22.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25847-00

前 言

本书是根据高等职业技术教育要求编写的,适合作为高等职业院校机电类专业的教学用书,也可作为教师和企业生产技术人员的参考用书。

在本书编写过程中,以机电类相关岗位技能为出发点,以液压传动为主线,力求理论联系实际,着重论述液压与气压传动技术的基本概念、基础知识、基本原理,突出理论知识的应用,章节层次清楚,内容简洁,通俗易懂,实用性强。在较全面阐述液压传动与气压传动基本内容的基础上,着重分析各类元件的工作原理、结构特点及应用。在图形处理上,将元件的结构图以立体图或灰度图的形式呈现,直观形象,易于学习者理解元件的结构原理,增强学习兴趣,有利于学习者自主学习。

本书是《液压与气压传动技术》立体化教学包中的一部分,另外还有配套的电子教案、多媒体素材库、网络课程、试题和习题库等,见精品课程网站:<http://jpk2.zzrvtc.edu.cn/ec2006/c21/zcr-1.htm>。教师可通过数字化系统利用现代多媒体技术辅助授课。授课时,通过教学资源素材库中提供的素材、互联网素材或自己引入到本系统的素材按自定的教学顺序组织自己的电子挂图或电子教案,既符合课程的一些共同规律,又能充分满足教师的个性化教学需要。通过配套的试题库系统,可根据要求快速生成试卷及对应的答案,并且以 Word 文档形式输出,适用于教考分离。

本书共 13 章,由郑州铁路职业技术学院张勤、徐钢涛担任主编。参加各章编写的有山西机电职业技术学院张亚军(第 1、10 章),郑州铁路职业技术学院徐彦(第 2 章)、徐钢涛(第 3、4 章)、毛胜辉(第 5、9 章)、徐建国(第 7 章)、张勤(第 6、8 章)、岳丽敏(第 11 章),江西环境职业技术学院陈春柳(第 12 章),郑州铁路局工务机械段王旭娜(第 13 章)。全书由张勤统稿,徐钢涛、徐建国一起参加审核,由徐钢涛负责全书插图修描和立体图的制作。本书附录中的元件图形符号、回路以及系统原理图,全部根据最新图形符号的规定绘制。

在本书编写过程中,得到了许多同志的帮助,在此表示感谢。

限于编者水平和经验,书中难免存在不妥之处,恳请读者给予指正。

编 者

2008 年 12 月

主要参数的符号与字母

1. 主要物理量符号	
A —面积	t —时间
$B(b)$ —宽度	u —流速
C_q —流量系数	V —体积;排量
$D(d)$ —直径	v —平均流速
$^{\circ}E$ —恩氏粘度	W —重力
e —偏心距	x —湿周
F —作用力	z —齿数;叶片(柱塞)数
f —摩擦系数	α —动能修正系数
g —重力加速度	β —动量修正系数
h —深度	Δ —粗糙度
h_w —单位体积的能量损失	δ —厚度;节流缝隙
K —液体体积模量;系数	ε —相对偏心率
$L(l)$ —长度	ξ —局部阻力系数
m —质量;齿轮模数;指数	η —效率
n —指数;转速	μ —动力粘度
P —功率	θ —角度
p —压力	κ —压缩率
q —流量(体积流量)	λ —沿程阻力系数
R —半径;水力半径	ν —运动粘度
Re —雷诺数	ρ —密度
r —半径	τ —切应力
T —转矩	ω —角加速度
2. 主要下标符号	
a —大气	p —泵
L —管路;负载	s —弹簧
M —液压马达或图中表示电机时用 M	t —理论值
m —机械	V —容积
n —公称值	y —液压
O —液面	

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 液压与气压传动的工作原理及其系统组成	1
1.2 液压与气压传动系统的组成与实例	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
思考题与练习题	8
第 2 章 液压流体力学基础	9
2.1 液压油	9
2.2 液体静力学	13
2.3 液体动力学	16
2.4 液体流动时的压力损失	21
2.5 液体流经小孔及缝隙的流量	25
2.6 液压冲击及空穴现象	30
本章小结	31
思考题与练习题	32
第 3 章 液压泵与液压马达	35
3.1 概述	35
3.2 齿轮泵	39
3.3 叶片泵	47
3.4 柱塞泵	56
3.5 液压马达	61
本章小结	64
思考题与练习题	64
第 4 章 液压缸	66
4.1 液压缸的类型和特点	66
4.2 液压缸的结构	72
本章小结	76
思考题与练习题	77
第 5 章 液压辅助装置	79
5.1 油箱	79
5.2 蓄能器	81
5.3 过滤器	83
5.4 管件及接头	87
5.5 其它辅助元件	92
本章小结	95
思考题与练习题	95
第 6 章 液压控制阀	97
6.1 液压控制阀概述	97
6.2 方向控制阀	98
6.3 压力控制阀	110
6.4 流量控制阀	121
6.5 新型液压控制阀及应用	125
本章小结	133
思考题与练习题	134
第 7 章 液压基本回路	139
7.1 速度控制回路	139
7.2 方向控制回路	151
7.3 压力控制回路	153
7.4 多缸工作控制回路	160
7.5 液压马达制动回路	164
本章小结	168
思考题与练习题	169
第 8 章 典型液压系统	174
8.1 组合机床动力滑台液压系统	174
8.2 YA32-200 型万能液压机液压系统	178
8.3 Q2-8 型汽车起重机液压系统	182
8.4 全液压铁路路基渣石边坡整形机液压系统	184
本章小结	187
思考题与练习题	187
第 9 章 液压伺服系统	189
9.1 液压伺服系统概述	189
9.2 液压伺服系统的基本形式及应用	192
本章小结	202

思考题与练习题	202
第 10 章 液压系统设计计算	203
10.1 液压系统的设计	203
10.2 液压系统设计计算实例	209
本章小结	216
思考题与练习题	216
第 11 章 气动元件	217
11.1 气源装置及辅助元件	217
11.2 气动执行元件	226
11.3 气动控制元件	235
11.4 气动逻辑元件	245
本章小结	250
思考题与练习题	250
第 12 章 气动回路及气动系统	252

12.1 气动基本回路	252
12.2 其它常用回路	258
12.3 气压传动系统	261
本章小结	271
思考题与练习题	271
第 13 章 气动回路中的电气控制系统	273
13.1 电 - 气动基本回路	273
13.2 典型气动系统及其电气控制	276
13.3 PLC 气动控制简介	281
本章小结	285
思考题与练习题	285
附录 常用液压与气动元件图形符号	286
(GB/T 786.1—1993)	286

第1章 绪论

液压与气压传动技术是自动控制领域的一门重要学科。从世界上第一台水压机诞生开始,它的发展已有二三百年的历史。特别是近年来,随着机电一体化技术的发展,液压与气压传动技术向更广阔的领域深入,已经成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动控制技术。它是实现工业自动化的一种重要手段,具有广阔的发展前景。

1.1 液压与气压传动的工作原理及其系统组成

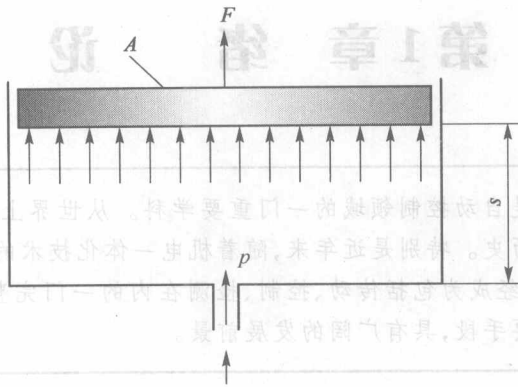
液压与气压传动是以有压流体(液压油或压缩空气)为传动介质来实现能量传递和控制的一种传动形式。其中,液体传动是以液体为工作介质来传递动力(能量)的,它又分为液压传动和液力传动两种形式。液压传动主要是以液体压力能来传递动力,液力传动主要是以液体动能来传递动力,如图1-1所示。气压传动主要是以压缩空气的压力能来传递动力的,如图1-2所示。液压和气压传动是将多种元件组成不同功能的基本回路,再由若干个基本回路有机组合成能完成一定控制功能要求的液压(气压)传动系统来进行能量的传递、转换和控制,以满足机电设备对各种运动和动力的需求。

液压与气压传动的基本工作原理、元件工作机理及回路构成等诸多方面都很相似,所不同的是作为液压传动的液压油几乎不可压缩,作为气压传动的空气具有较大的压缩性。下面以液压千斤顶为例说明其工作原理。

如图1-3所示,杠杆手柄、小缸体、小活塞、两个单向阀组成手动液压泵,大缸体和大活塞组成举升缸。当抬起手柄使小活塞向上移动时,小缸体下腔容积变大,产生一定的真空度,在大气压力作用下,油箱中的油液通过吸油管推开单向阀1进入小缸体下腔(此时单向阀2关闭)。当压下手柄时,小活塞下移,其下腔的密封容积变小,油压升高,使单向阀1关闭、单向阀2打开,小缸体下腔的油液经油管顶开单向阀2进入大缸体的下腔,迫使大活塞向上移动,抬高重物。如此反复地提、压手柄,就能不断地把油液压入大缸体的下腔,使重物逐渐升起,达到起重的目的。当工作完成,打开截止阀,大缸体下腔的油液经过油管、截止阀流回油箱,大活塞也在重物和自重作用下回落,回到起始位置。大、小缸体组成了最简单的液压传动系统,实现了运动和动力的传递。

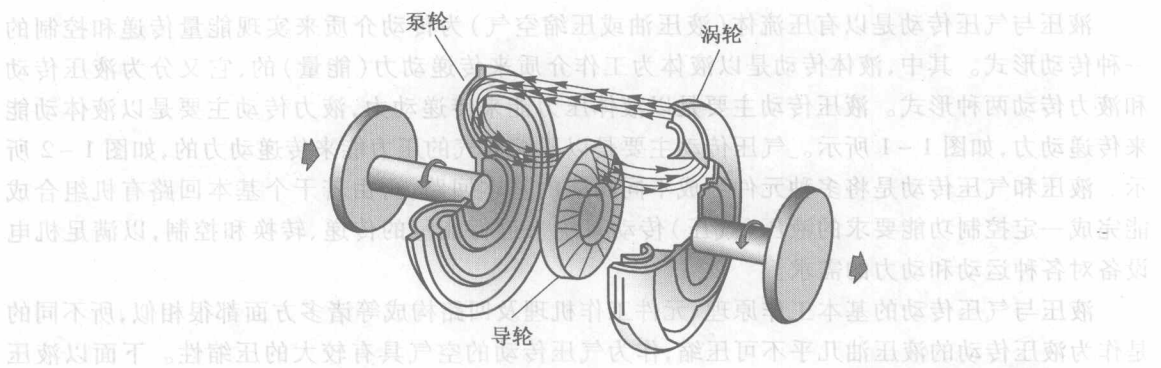
由上例可见,液压传动具有以下基本特点:

- 1) 以液体为传动介质来传递运动和动力。
- 2) 液压传动必须在密闭的容器内进行。
- 3) 依靠密闭容器的容积变化传递运动。
- 4) 依靠液体的静压力传递动力。



(a) 液压传动

1.1 液体传动及其主要元件



(b) 液力传动

图 1-1 液体传动

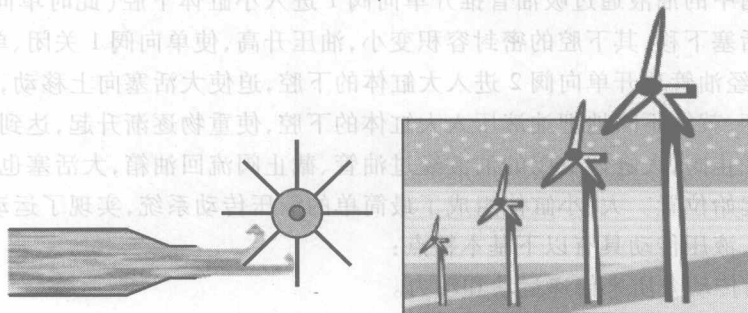


图 1-2 气压传动示意图

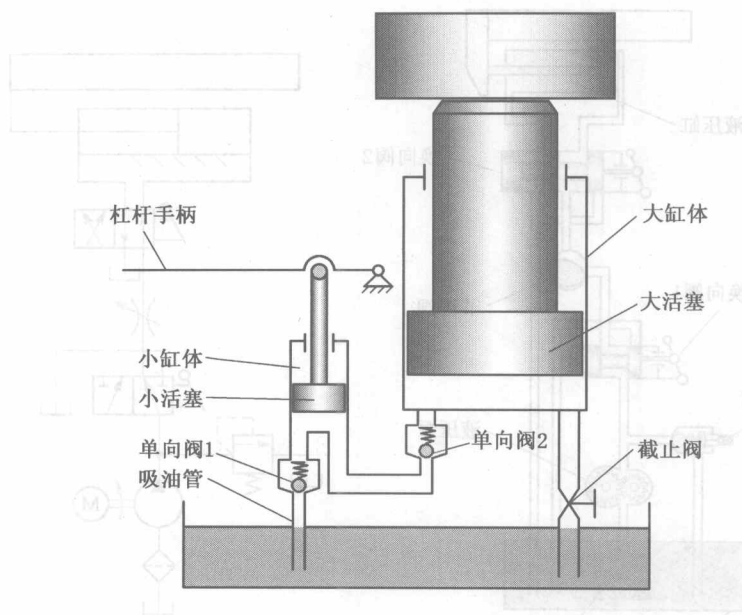


图 1-3 液压千斤顶工作原理

1.2 液压与气压传动系统的组成与实例

1.2.1 液压与气压传动系统的实例

图 1-4 所示为机床工作台液压系统结构原理图。它由油箱、过滤器、换向阀、溢流阀、节流阀、截止阀、液压缸和液压泵及油管等组成。

该系统的工作原理是：液压泵由电动机带动旋转，从油箱经过滤器吸油，由泵输出压力油→换向阀 1→节流阀→换向阀 2→液压缸左腔，推动活塞并带动工作台向右移动；此时，液压缸右腔的油液→换向阀 2→回油管→油箱。如果将换向阀 2 的手柄转换到右位，则经节流阀的压力油→换向阀 2→液压缸右腔，推动活塞并带动工作台向左移动；此时，液压缸左腔的油液→换向阀 2→回油管→油箱。工作台的运动速度由节流阀调节，并与溢流阀配合实现。改变节流阀的开口大小，可以改变进入液压缸的流量，由此可控制液压缸活塞的运动速度，并使液压泵输出的多余流量经溢流阀流回油箱。节流阀的主要功用是控制进入液压缸的流量，进而控制液压缸活塞的运动速度。

工作台运动时还要克服所受到的各种阻力，如摩擦阻力、切削阻力等，这些阻力由液压泵输出油液的压力来克服。根据工作时阻力的不同，要求液压泵输出的油液压力能够进行调节，这个功能是由溢流阀实现的。当油液压力对溢流阀阀芯的作用力略大于溢流阀中弹簧对阀芯的作用力时，阀芯才能移动，使阀口打开，油液经溢流阀流回油箱，泵输出的压力将不再升高。由此可知，液压泵出口处的油液压力是由溢流阀决定的，溢流阀在液压系统中的主要功用是调节和稳定系统的最大工作压力。

图 1-4b 所示为该液压系统的图形符号图。结构原理图直观形象，易于理解，但图形复杂，

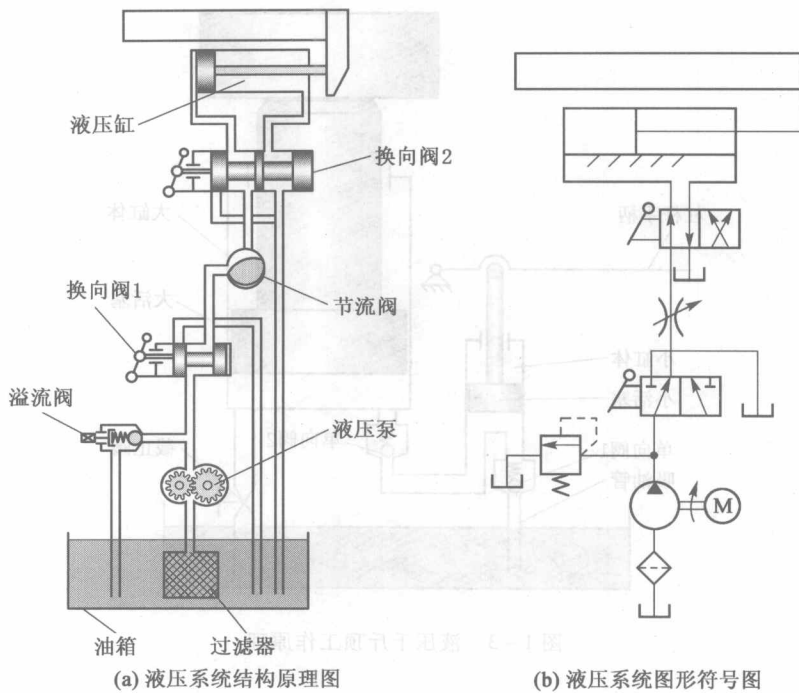


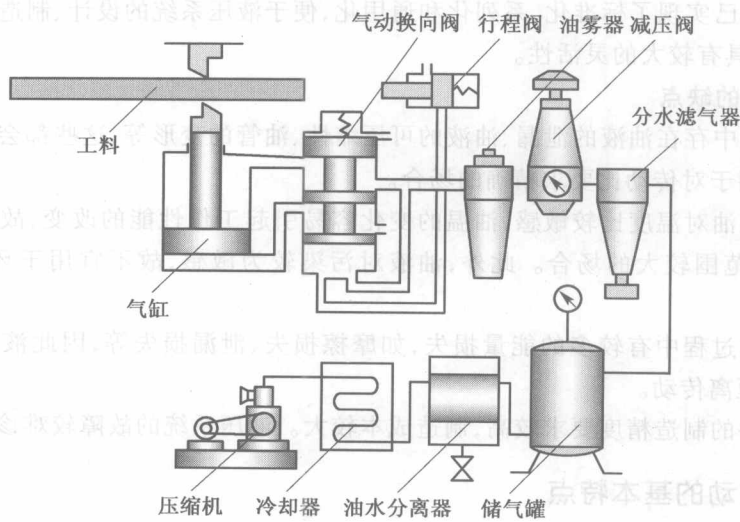
图 1-4 机床工作台液压系统结构原理图

不便于绘制,一般常用标准的元件图形符号来绘制液压和气压系统图。这些符号只表示元件的职能、控制方式及外部接口,不表示元件的具体结构、参数及接口的实际位置和元件的安装位置。按照规定,液压与气压元件符号均以元件的非工作位置(静止位置)或零位表示。

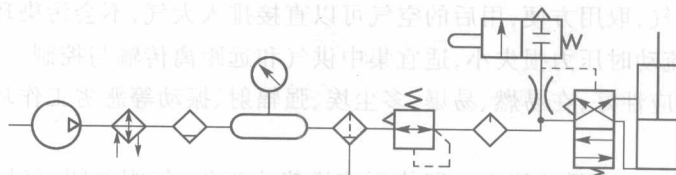
图 1-5 所示为气动剪切机的工作原理图。当工料送入剪板机并达到预定位置时,工料将行程阀的阀芯向右推动,换向阀的下腔经行程阀与大气相通,换向阀阀芯在弹簧作用下移到下位,将气缸上腔与大气连通,下腔与压缩空气连通。气缸活塞向上移动带动剪刀将工料切断,并随之松开行程阀的阀芯使之复位,将排气口堵死,换向阀的下腔压力上升,阀芯上移,使气路换向。气缸上腔进压缩空气,下腔排气,活塞带动剪刀向下移动,剪板机再次处于预备状态。

1.2.2 液压与气压传动系统的组成

- 1) 动力元件:液压泵、空压机——将原动机输入的机械能转换为压力能,向系统提供压力介质。
- 2) 执行元件:液压缸、气缸——直线运动,输出力、位移;液压马达、气马达——回转运动,输出转矩、转速。执行元件是将介质的压力能转换成机械能的能量输出装置。
- 3) 控制元件:压力、方向、流量控制的元件。用来控制液压、气动系统所需的压力、流量、方向和工作性能,以保证执行元件实现各种不同的工作要求。
- 4) 辅助元件:油箱、管路、压力表等。它们对保证液压系统可靠和稳定工作具有非常重要的作用。
- 5) 工作介质:液压油、空气。是传递能量的介质。



(a) 结构原理图



(b) 图形符号图

图 1-5 气动剪切机的工作原理图

1.3 液压与气压传动的优缺点

1.3.1 液压传动的特点

1. 液压传动的优点

- 1) 单位功率的重量轻(比功率大),即在相同功率输出的条件下,体积小、重量轻、惯性小、结构紧凑、动态特性好。如轴向柱塞泵的重量只是同功率直流发电机重量的 10% ~ 20%, 前者的外形尺寸只有后者的 12% ~ 13%。
- 2) 可在较大范围内实现无级调速。
- 3) 工作平稳、反应快、冲击小,能快速起动、制动和频繁换向。
- 4) 容易获得很大的力和转矩,可以使传动结构简单。
- 5) 操作控制方便,调节简单,易于实现自动化。当机、电、液配合使用时,易于实现较复杂的自动工作循环和较远距离操控。
- 6) 易于实现过载保护,安全性好。采用矿物油为工作介质,相对运动表面间能自行润滑,可以延长元件的使用寿命。

7) 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,便于液压系统的设计、制造和使用。液压元件的排列布置也具有较大的灵活性。

2. 液压传动的缺点

1) 液压系统中存在油液的泄漏、油液的可压缩性、油管的变形等,这些都会影响运动传递的准确性,故不宜用于对传动比要求精确的场合。

2) 由于液压油对温度比较敏感,油温的变化容易引起工作性能的改变,故液压传动系统不宜用于温度变化范围较大的场合。此外,油液对污染较为敏感,故不宜用于环境差、粉尘多的场合。

3) 由于工作过程中有较多的能量损失,如摩擦损失、泄漏损失等,因此液压传动的效率不高,不宜用于远距离传动。

4) 液压元件的制造精度要求较高,制造成本较大。液压系统的故障较难诊断排除。

1.3.2 气压传动的基本特点

1. 气压传动的优点

1) 工作介质是空气,取用方便,用后的空气可以直接排入大气,不会污染环境。

2) 空气粘度小,流动时压力损失小,适宜集中供气和远距离传输与控制。

3) 对工作环境适应性好,在易燃、易爆、多尘埃、强辐射、振动等恶劣工作环境下仍能可靠地工作。

4) 气压传动有较好的自保持能力。即使压缩机停止工作,气阀关闭,气压传动系统仍可以维持稳定的压力。

5) 维护简单方便,管道不易堵塞,使用安全可靠,并不易发生过热现象。

2. 气压传动的缺点

1) 工作压力低(一般低于 1 MPa),一般用于小功率的场合。在相同输出力的情况下,气压传动装置比液压传动装置的尺寸大。

2) 由于空气的可压缩性大,气压传动的速度稳定性差,给系统的位置和速度控制精度带来很大影响,一般采用气液联动能获得较理想的效果。

3) 排气噪声大,需加消声器。

4) 与液压系统相比,气压传动的工作介质本身没有润滑性,需另外加油雾器进行润滑。

1.4 液压与气压传动的应用

液压传动因具有结构简单、体积小、重量轻、反应速度快、输出力大、可方便地实现无级调速、易实现频繁换向、易实现自动化等优点,所以在机床、工程机械、矿山机械、压力机械和航空工业等领域得到广泛应用。图 1-6 所示为液压传动在汽车制动系统中的应用。

气压传动因具有操作方便、无油、无污染、防火、防电磁干扰、抗振动、抗冲击等优点,所以在电子工业、包装机械、印刷机械、食品机械等领域应用广泛。图 1-7 所示为列车车辆空气制动系统工作原理示意图。

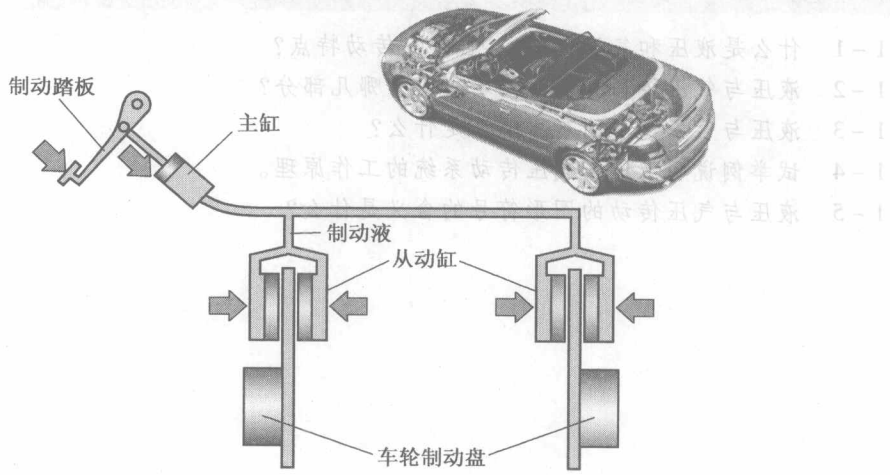


图 1-6 汽车制动系统示意图

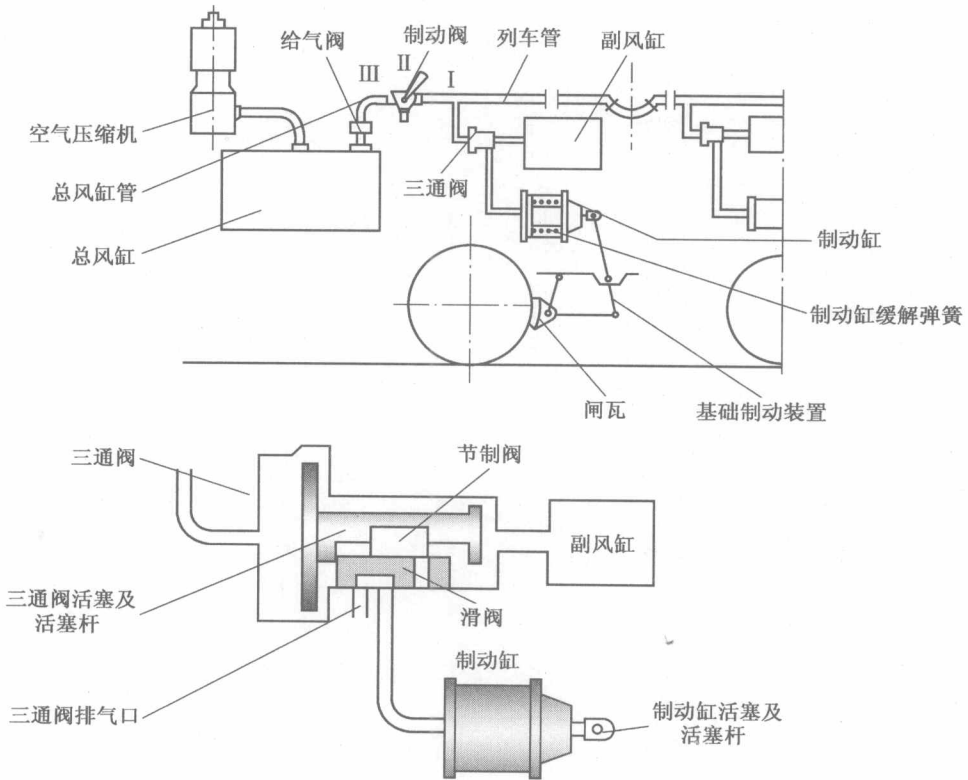


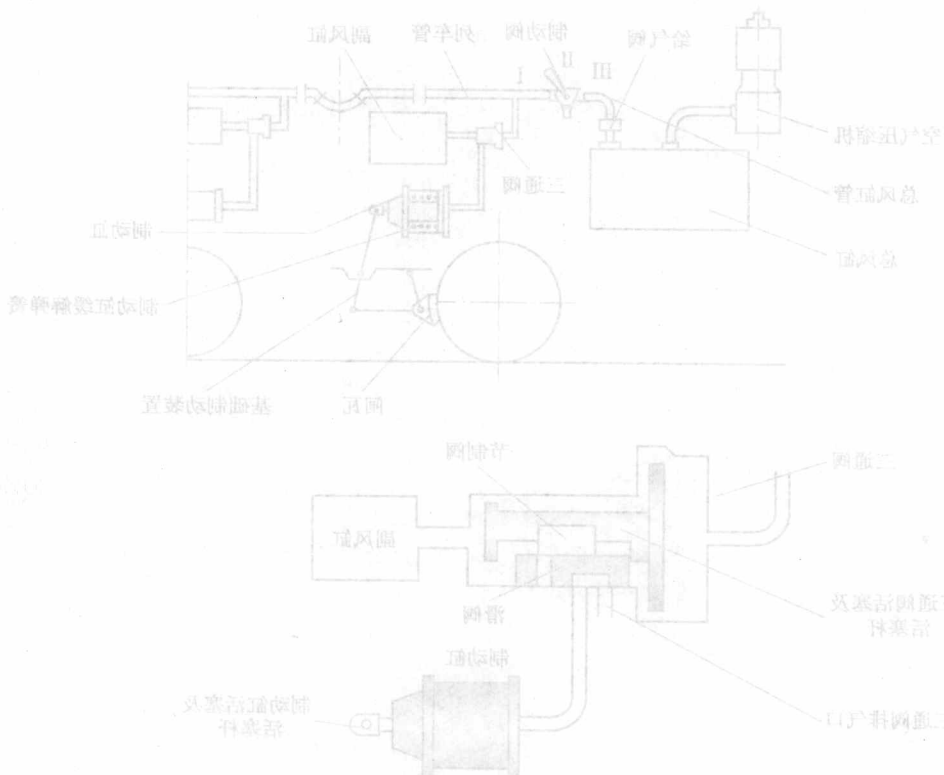
图 1-7 列车车辆空气制动系统示意图

思考题与练习题

- 1-1 什么是液压和气压传动,各自有何传动特点?
- 1-2 液压与气压传动系统的基本组成有哪几部分?
- 1-3 液压与气压传动的基本特征是什么?
- 1-4 试举例说明液压与气压传动系统的工作原理。
- 1-5 液压与气压传动的图形符号的含义是什么?



图意示液压传动元件 6-1图



图意示气压传动元件 7-1图

第2章 液压流体力学基础

液压传动是以液体(液压油)作为工作介质来进行能量传递的,因此了解液体的基本性质,掌握液体平衡和运动的主要力学规律,对于正确理解液压传动原理以及合理设计和使用液压系统都是非常必要的。

本章除了简要地叙述液压油的性质、选用要求等内容外,将着重阐述液体的静力学特性、静力学基本方程式和动力学的几个重要方程式。

2.1 液 压 油

在液压传动系统中所用的工作介质大多数是石油基液压油,但也有合成液体、水包油乳化液和油包水乳化液等。液压油不仅是液压系统传递能量的工作介质,而且还起润滑、冷却和防锈等作用。液压油质量的优劣直接影响液压系统的工作性能。

2.1.1 液压油的物理性质

1. 液体的密度

单位体积的液体质量称为密度,通常用 ρ (单位: kg/m^3)表示:

$$\rho = m/V \quad (2-1)$$

式中: m ——液体质量,kg;

V ——液体体积, m^3 。

液压油的密度随压力的增加而加大,随温度的升高而减小,一般情况下,由压力和温度引起的这种变化都较小,可将其近似地视为常数。一般液压油的密度为 $900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

2. 液体的粘性

液体在外力作用下流动或有流动趋势时,分子间的内聚力会阻碍分子间的相对运动而产生一种内摩擦力,这一特性称做液体的粘性。粘性是液体重要的物理特性,也是选择液压油的主要依据。

粘性使流动液体内部各液层间的速度不等。如图2-1所示,两平行平板间充满液体,下平板不动,而上平板以速度 u_0 向右平动。由于粘性,紧贴于下平板的液体层速度为零,紧贴于上平板的液体层速度为 u_0 ,而中间各液体层的速度按线性分布。因此,不同速度流层相互制约而产生内摩擦力,该力对上层液体起阻滞作用,而对下层液体起拖曳作用。

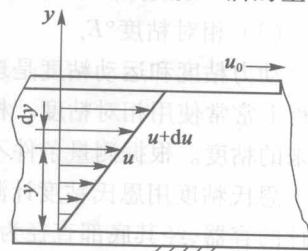


图2-1 液体粘性示意图

实验测定结果表明,液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液

层间的接触面积 A 和液层间的相对运动速度 du 成正比,而与液层间的距离 dy 成反比,即

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

式中: μ ——比例常数,称为粘性系数或动力粘度;

du/dy ——速度梯度。

——如以 τ 表示液体的内摩擦切应力,即液层间单位面积上的内摩擦力,则有

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

这就是牛顿的液体内摩擦定律。在流体力学中,把粘性系数 μ 不随速度梯度变化而发生变化的液体称为牛顿液体,反之称为非牛顿液体。除高粘度或含有特殊添加剂的油液外,一般液压油均可视为牛顿液体。

液体粘性的大小用粘度来表示。常用的液体粘度表示方法有三种,即动力粘度、运动粘度和相对粘度。

(1) 动力粘度 μ

动力粘度可由式(2-3)导出,即

$$\mu = \tau \frac{dy}{du} \quad (2-4)$$

由此可知,动力粘度的物理意义是: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。动力粘度 μ 又称绝对粘度。动力粘度的法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ($1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)。以前沿用的单位为 $\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$,又称 P(泊)。 $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P} = 10^3 \text{ cP}$ (厘泊)。

(2) 运动粘度 ν

液体的动力粘度 μ 与液体密度 ρ 的比值称作液体的运动粘度 ν ,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-5)$$

液体的运动粘度 ν 没有明确的物理意义。但它在工程实际中经常用到,因为它的单位只有长度和时间的量纲,类似于运动学的量,故称为运动粘度。运动粘度的法定计量单位为 m^2/s 。以前沿用的单位为 St(斯)。 $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt}$ (厘斯)。

工程中常用运动粘度 ν 作为液体粘度的标志。例如,国产液压油的牌号就是该种油液在 40°C 时的运动粘度 ν 的平均值。如改善防锈及抗氧化性的精制矿物油(通用机床液压油) L-HL-46 中,数字 46 表示该液压油在 40°C 时的运动粘度为 46 cSt(平均值)。

(3) 相对粘度 $^\circ E$

动力粘度和运动粘度是理论分析和计算时经常使用的粘度,但它们都难以直接测量。因此,在工程上常常使用相对粘度。相对粘度又称条件粘度,它是采用特定的粘度计在规定的条件下测量出来的粘度。根据测量条件不同,各国采用的相对粘度的单位也不同,我国采用的是恩氏粘度 $^\circ E$ 。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定。其方法是:将 200 mL 温度为 t (以 $^\circ\text{C}$ 为单位)的被测液体装入粘度计的容器,经其底部直径为 2.8 mm 的小孔流出,测出液体流尽所需时间 t_1 ,再测出 200 mL 温度为 20°C 的蒸馏水在同一粘度计中流尽所需时间 t_2 ;这两个时间的比值即为被测液体在温度 t 下的恩氏粘度,即