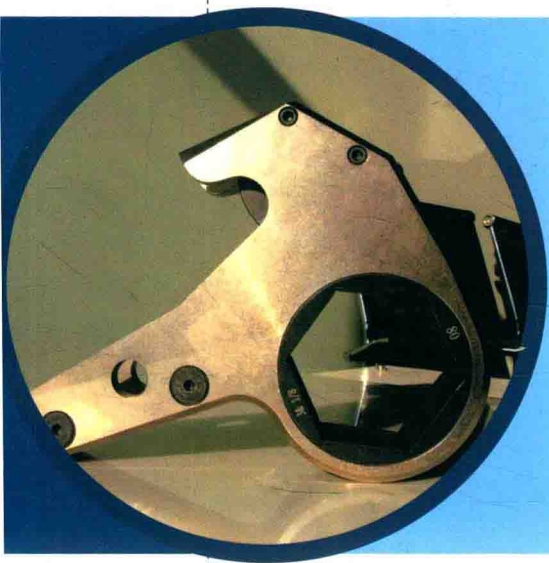




YEYA YU QIYA CHUANDONG YUANLI JI YINGYONG YANJIU

液压与气压传动原理 及应用研究

刘 建 丛锦玲 吴大勇 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

液压与气压传动原理 及应用研究

刘 建 丛锦玲 吴大勇 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以液压与气压传动技术的基本概念、基本理论、基本方法,以及工程实例为主线,介绍了液压与气压传动的典型元件的结构、工作原理及基本参数,典型回路及系统的组成和设计方法等。本书结构合理,条理清晰,理论性与实用性并重,内容翔实,深入浅出,覆盖面广,可读性强,是一本值得学习研究的著作。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动原理及应用研究 / 刘建, 丛锦玲, 吴大勇编著. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 5
ISBN 978-7-5170-4206-8

I. ①液… II. ①刘… ②丛… ③吴… III. ①液压传动—研究②气压传动—研究 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第061215号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:陈 洁 封面设计:马静静

书 名	液压与气压传动原理及应用研究
作 者	刘 建 丛锦玲 吴大勇 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:mchannel@263.net(万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话:(010)68367658(发行部)、82562819(万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京厚诚则铭印刷科技有限公司
印 刷	北京市媛明印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 16.5印张 401千字
版 次	2016年5月第1版 2016年5月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	58.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

在我国经济高速发展的今天,机械产业的快速崛起对于我国的发展起到了关键性的作用。不光是机械生产领域,在其他很多领域对于机械生产上的要求也是越来越多。液压与气压传动技术是机械设备实现传动与控制的关键技术之一,在一些机械的拆装中,液压传动有着独特的工作优势,这一产品在未来的前景也是十分广阔,世界各国对液压与气压传动工业的发展都给予了高度的重视。

计算机控制技术和集成传感技术为液压、气压传动与电子技术相结合创造了条件。随着微电子、计算机技术的发展,出现了各种数字阀和数字泵,并出现了把单片机直接装在液压与气压传动组件上的具有位置或力反馈的闭环控制液压元件及装置。由于优化设计、可靠性设计及有限元法在液压与气压元件设计中的应用,以及新材料、新工艺的发展等,使液压与气压元件的寿命得到提高。对飞机、船舶、冶金等一些重要液压系统采用冗余设计、旁路净化回路及系统自动故障检测仪表等,使液压与气压元件和系统的可靠性逐年提高。集成块的应用以及把各种控制阀集成于液压泵及液压执行元件上形成组合元件,有些还把单片机等集成在其控制机构上,达到了集机、电、液于一体的高度集成化。液压与气压传动技术所具有的这些独特的优点,使其广泛应用于国民经济和国防建设的各个领域。

本书以液压与气压传动技术的基本概念、基本理论、基本方法,以及工程实例为主线,介绍了液压与气压传动的典型元件的结构、工作原理及基本参数,典型回路及系统的组成和设计方法,并例举经典机型加以详解,以增加实用性认知。内容上注重基础知识的掌握,尽量选用原理图、结构图,配以简化叙述,更便于理解。

全书共分9章,第1章为绪论,简单介绍液压与气压传动的基础知识,主要包括液压与气压传动的工作原理、组成、特点、表示方法、应用及发展状况。第2章为流体力学基础,简单介绍流体力学的基础知识。第3~6章分别对液压与气压传动的动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件进行了详叙。第7章为液压与气压传动回路,主要对速度控制回路、压力控制回路、换向回路和锁紧回路、多执行元件动作回路进行了详细的描述。第8章为典型的液压与气压传动系统,主要对组合机床动力滑台液压系统、压力机液压系统、汽车起重机液压系统、气动机械手气压传动系统进行了详细介绍。最后一章主要介绍液压与气压传动系统的设计与计算方法。

由于时间仓促,作者水平有限,本书难免疏漏,恳请广大读者批评指正,不吝赐教。

作 者

2015年11月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 液压与气压传动的工作原理	1
第二节 液压与气压传动的特点	4
第三节 液压与气压传动系统的组成和表示	5
第四节 液压传动的工作介质	8
第五节 液压与气压传动的应用	10
第二章 流体力学基础	12
第一节 基本物理性质	12
第二节 流体静力学基础	15
第三节 流体动力学基础	19
第四节 流态及流体压力损失	26
第五节 空穴现象和液压冲击	30
第六节 气体动力学	32
第三章 液压与气压传动动力元件	45
第一节 液压泵基本工作原理	45
第二节 齿轮泵	48
第三节 叶片泵	55
第四节 柱塞泵	64
第五节 各类液压泵的主要性能及其应用	73
第六节 气源净化设备	73
第四章 液压与气压传动执行元件	77
第一节 液压马达	77
第二节 气动马达	83
第三节 液压缸	86
第四节 气缸	97

第五章 液压与气压传动控制元件	107
第一节 液压阀概述	107
第二节 方向控制阀	113
第三节 压力控制阀	120
第四节 流量控制阀	129
第五节 集成式液压阀	137
第六节 伺服阀	143
第七节 电液比例控制阀	146
第八节 电液数字控制阀	153
第六章 液压与气压系统辅助元件	155
第一节 蓄能器	155
第二节 过滤器	158
第三节 密封装置	163
第四节 油箱与冷热换热器	171
第五节 管件	175
第七章 液压与气压传动回路	182
第一节 速度控制回路	182
第二节 压力控制回路	195
第三节 换向回路和锁紧回路	201
第四节 多执行元件动作回路	205
第八章 典型的液压与气压传动系统	210
第一节 组合机床动力滑台液压系统	210
第二节 压力机液压系统	214
第三节 汽车起重机液压系统	216
第四节 气动机械手气压传动系统	219
第九章 液压与气压传动系统的设计与计算	224
第一节 液压传动系统的设计与计算	224
第二节 气压传动系统的设计	237
第三节 计算机在液压系统中的应用	251
参考文献	258

第一章 绪 论

第一节 液压与气压传动的工作原理

一、液压传动系统的基本工作原理

液压传动的工作原理以图 1-1 所示液压千斤顶为例来说明。

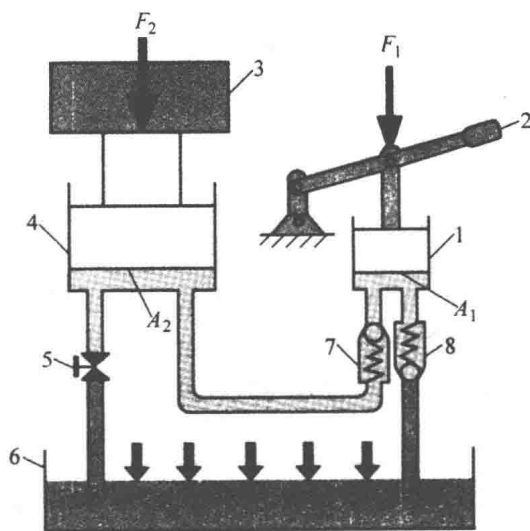


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—小液压缸；2—杠杆；3—重物；4—大液压缸；
5—截止阀；6—油箱；7、8—单向阀

如图 1-1 所示，截止阀 5 关闭。当向上抬起杠杆 2 时，小液压缸 1 的活塞向上运动，小液压缸下腔容积增大形成局部真空，至单向阀 7 关闭，而单向阀 8 则在油箱 6 中油液（大气压力）作用下打开，油液经吸油管，单向阀 8 进入小液压缸下腔。此时因单向阀 7 关闭，大液压缸 4 所托举重物 3 原位不动。当向下压杠杆 2 时，小液压缸 1 中油液产生压力，至单向阀 8 关闭，单向阀 7 打开，其中的油液经大、小液压缸中的油管进入大液压缸 4，推举重物 3 上升。如此不断上下扳动杠杆 2，就会不断有油液进入大液压缸 4 的下腔，使重物逐渐被举升起来。当杠杆 2 停止动作，大液压缸 4 下腔油液压力将使单向阀 7 关闭，大活塞连同重物一起被自锁不动，停止在举升位置。如打开截止阀 5，大液压缸 4 下腔通油箱，大活塞在自重作用下向下移，恢复到原始位置。

这是一个最简单的液压传动系统,通过分析其运动过程可以看出,液压传动是一个运动和动力的传动系统,同时它是以液体为媒介进行运动和动力传动的。这就是液压传动的基本原理。

(一)力的传递

如图 1-1 所示,设大液压缸活塞面积为 A_2 ,作用在其活塞上的负载力为 F_2 ,则该力在液压缸中所产生的液体压力为

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2} \quad (1-1)$$

由图 1-1 又可知,大小两个液压缸想通,构成一个密闭容积,因此根据帕斯卡原理,若使大液压缸中油液具备压力 p_2 ,则小液压缸中的油液压力 p_1 应与其相等。若把这个压力称为系统压力 p ,则必有 $p_1 = p_2 = p$ 。

为使小液压缸具有压力 p ,作用在液压泵活塞上的作用力 F_1 应为

$$\begin{aligned} F_1 &= pA_1 \\ &= p_1 A_1 \\ &= p_2 A_1 \\ &= \frac{A_1}{A_2} F_2 \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中, A_1 为小液压缸活塞面积。

由上述分析可知:在 A_1 、 A_2 一定时,负载力 F_2 越大,系统中的压力 p 也就越高,所需的作用力 F_1 也就越大,反之亦然。显然,系统压力与外负载密切相关。

由此得出液压传动工作原理的第一个重要特征:液压传动中工作压力取决于外负载。

(二)运动的传递

设小液压缸活塞位移为 S_1 ,大液压缸活塞位移为 S_2 ,如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、管路的变形,图 1-1 中小液压缸排出的液体体积必然等于进入大液压缸的液体体积。则有

$$S_1 A_1 = S_2 A_2 \quad (1-3)$$

上式两边同除以运动时间 t 得

$$\begin{aligned} q_1 &= v_1 A_1 \\ &= v_2 A_2 \\ &= q_2 \end{aligned} \quad (1-4)$$

式中, v_1 、 v_2 分别为小液压缸活塞和液压缸活塞的平均运动速度; q_1 、 q_2 分别为小液压缸输出的平均流量和大液压缸输入的平均流量。

由此可知,液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即可调节活塞的运动速度,由此得出液压传动工作原理的第二个重要特征: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。

二、气压传动系统的基本工作原理

以气动剪料机(图 1-2)为例介绍气压传动系统的基本工作原理。

在图 1-2 的气动剪料机系统中,当工料 11 送入剪料机并达到预定位置时,行程阀 8 的阀芯被向右推移至图示位置,致使换向阀 9 的控制腔 A 就与压力气体接通,阀芯上移。由空气压缩机 1 产生经净化储存在储气罐 4 中的压缩空气,经分水滤气器 5、减压阀 6、油雾器 7、换向阀 9 进入气缸 10 下腔,推动气缸和活塞向上运动并使气缸 10 上腔的气体经换向阀 9 排入大气,气缸活塞带动剪刀将工料 11 剪断并随之松开行程阀 8 的阀芯使之复位,换向阀 9 的 A 腔压缩空气经行程阀 8 排气,其阀芯在弹簧作用下向下移动,使来自压缩机的压缩空气接通气缸 10 的上腔,气缸活塞向下运动并使气缸下腔排气。活塞的向下运动带动剪刀复位,准备第二次下料。

由此分析可知,气压传动和液压传动类似,只不过是气体为介质来传递运动和动力的,这即为气压传动的工作基本原理。

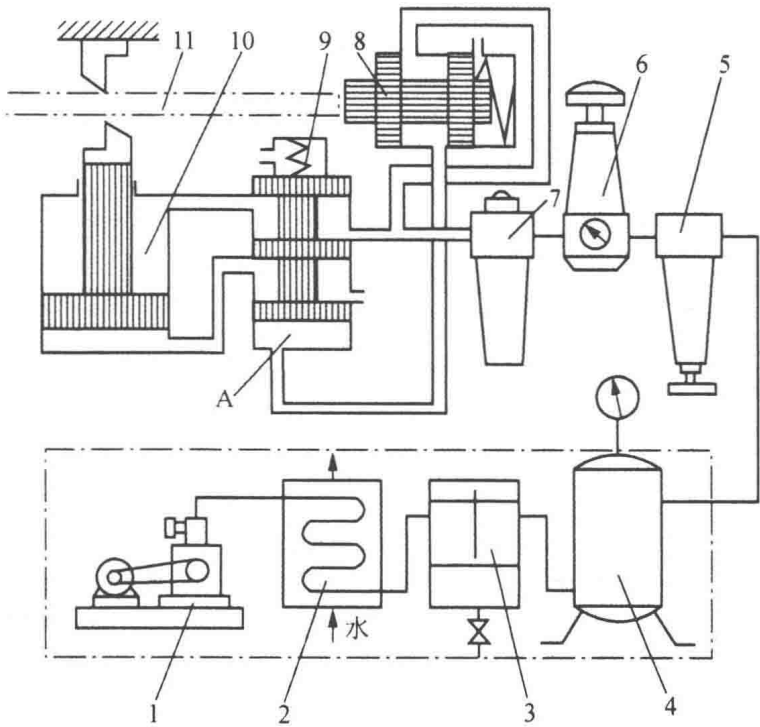


图 1-2 气动剪料机系统

- 1—压缩机;2—冷却器;3—油水分离器;4—储气罐;
5—分水滤气器;6—减压阀;7—油雾器;8—行程阀;
9—换向阀;10—气缸;11—工料

第二节 液压与气压传动的特点

一、液压传动的特点

液压传动的优点有很多,具体如图 1-3 所示。
 虽然液压传动有很多优点,但同样也存在着一些缺陷,具体如图 1-4 所示。

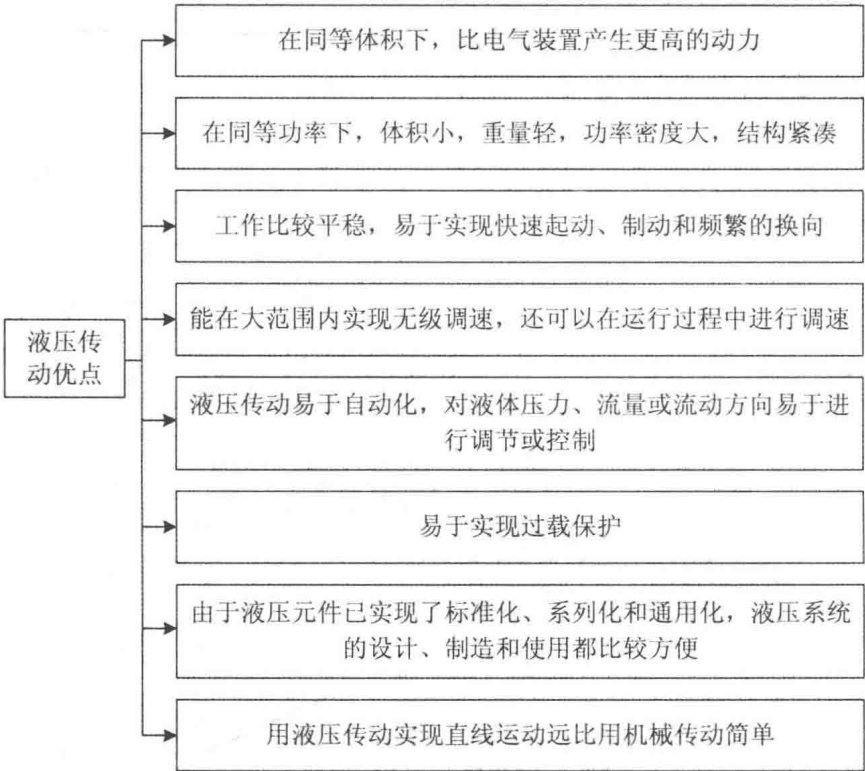


图 1-3 液压传动的优点

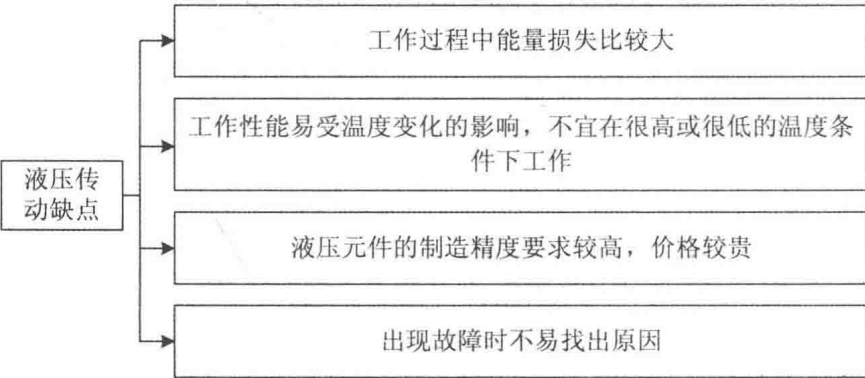


图 1-4 液压传动的缺点

二、气压传动的特点

气压传动的特点如图 1-5 所示。

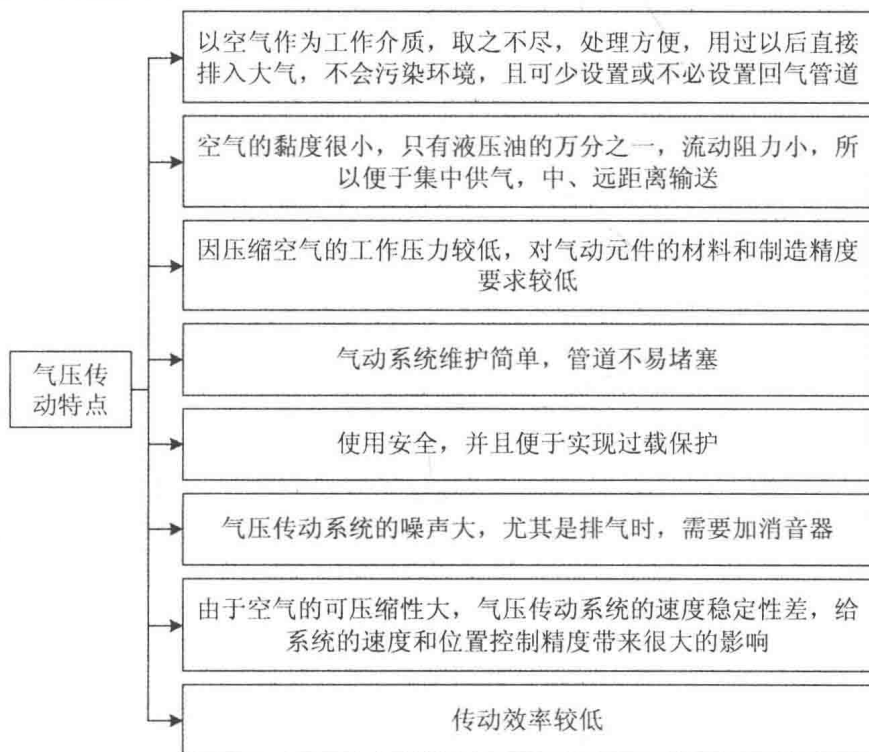


图 1-5 气压传动的特点

第三节 液压与气压传动系统的组成和表示

一、液压传动系统的组成

所谓液压传动系统，就是根据机械设备的生产工艺循环和生产能力的要求，用管路将具有不同功能的液压元件按照一定的要求合理、有机地连接起来，形成一个整体，用以完成规定的动力传动职能。

图 1-6 所示的是推土机的液压系统结构简图。推土机的液压系统由液压泵 1、液压缸 2、换向阀 3、安全阀 4、滤油器 5 及油箱 6 等组成。发动机带动液压泵从油箱中吸油，并以较高的压力输出，即液压泵把发动机的机械能转变为液压油的压力能。液压缸活塞杆在压力油作用下伸缩使推土机铲刀升降，从而把液压油的压力能转变为机械能传递给铲刀输出。换向阀的作用是控制液流的方向，它共有 P、A、B、O 四个油口，分别与液压泵、液压缸上下腔及油箱相通。阀杆有四个操作位置，对应于推土机的四种工作状态。当阀杆处于中立位置 I 时，在换向

阀内部 P 口与 O 口相通, A 口与 B 口被封闭, 此时液压泵输出的油液不通过液压缸而直接流回油箱, 液压泵卸荷, 液压缸活塞保持在一定位置, 铲刀不动; 当阀杆在位置 II 时, 换向阀内部 P 口与 B 口相通, A 口与 O 口相通, 液压泵输出的油液经换向阀进入液压缸下腔, 液压缸活塞杆缩回, 提升铲刀, 液压缸上腔的油经换向阀流回油箱; 当阀杆在位置 III 时, 换向阀内部 P 口与 A 口相通, B 口与 O 口相通, 液压泵输出的油液进入液压缸上腔, 使铲刀下降, 液压缸下腔的油经换向阀流回油箱; 当阀杆在位置 IV 时, 换向阀内部四个口全通, 此时铲刀处于浮动状态。在阀杆处于位置 II 或 III 时, 如果液压缸活塞杆上升或下降到极限位置, 液压缸内的压力便急剧上升, 可能造成油管破裂等事故, 为此设置了安全阀 4, 以限制系统内的最高压力。当系统压力高于某一限定值时, 安全阀开启, 液压泵出口的油液通过安全阀直接流回油箱。油箱的作用主要是储存液压油并散热。滤油器的作用是滤去工作油液中的杂质, 以减小对液压元件的磨损。

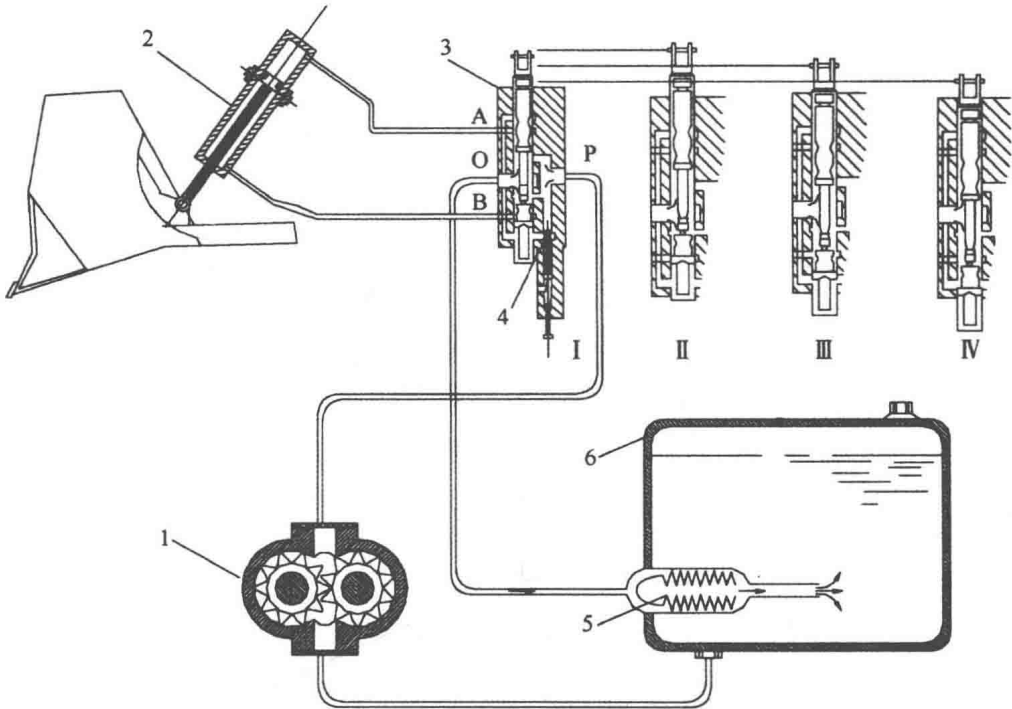


图 1-6 推土机的液压系统结构简图

1—液压泵; 2—液压缸; 3—换向阀; 4—安全阀; 5—滤油器; 6—油箱

- 由上面的例子可以看出, 液压传动系统由以下几部分组成。
- (1) 动力元件——包括各种液压泵。它们用来将原动机的机械能转换成工作液体的压力能。
 - (2) 执行元件——包括各类液压缸和液压马达。负责把工作液体的压力能转变为机械能, 带动负载运动。
 - (3) 控制元件——包括各类压力、流量、方向控制阀等。保证执行元件所要求的输出力、速度和方向。
 - (4) 辅助元件——包括液压油箱、管路、滤油器等等。对保证液压系统正常、可靠、稳定的工作是不可缺少的。
 - (5) 工作介质——也称为工作液体, 是传递能量的媒介。它的性质对液压系统的正常工作

有直接的重要影响。

液压与气压传动系统在工作过程中的能量转换和传递情况如图 1-7 所示。

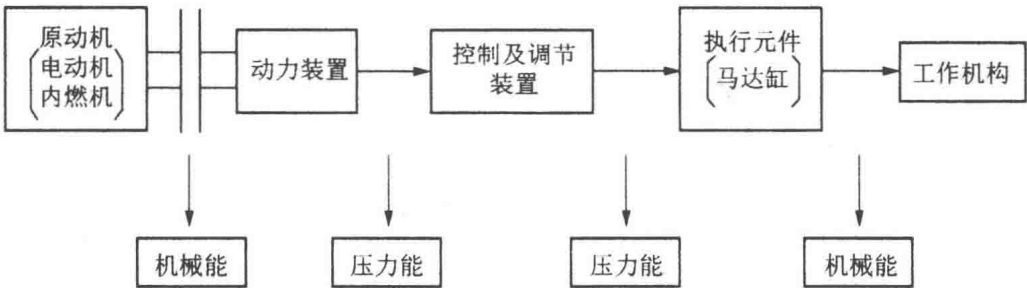


图 1-7 液压与气压传动系统能量转换和传递

二、液压与气压传动系统的表示方法

在图 1-2 所示气动剪料机及图 1-6 所示的推土机系统中，各个元件是用半结构式图形绘制出来的，这种表示方法简单易懂，但元件数量多时，绘制液压系统原理图的工作量巨大。所以，在具体实际工程应用中，绝大多数都是用简单的图形符号来绘制液压与气压传动系统原理图。我国已制定了“液压与气动”图形符号标准 GB/T 786.1—2009。在 GB/T 786.1—2009 的标准中，用粗实线表示主油路，虚线表示控制油路和泄漏油路；使用这些图形符号可使液压系统原理图简单明了，便于绘制。当有些特殊或专用的元件无法用标准图形表达时，仍可使用半结构示意形式。

图 1-8、图 1-9 分别为按照国家标准 GB/T 786.1—2009 规定绘制的与图 1-2、图 1-6 相对应的气动剪料机系统原理图及推土机的液压系统结构原理图。

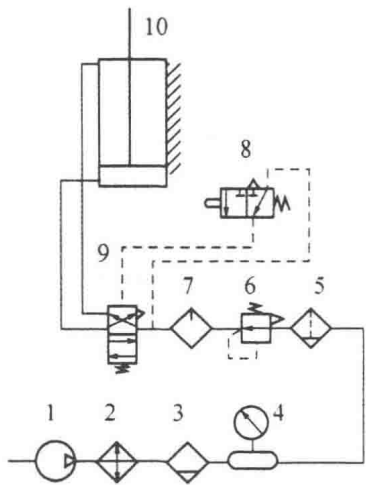


图 1-8 气动剪料机系统原理图

- 1—压缩机；2—冷却器；3—油水分离器；
4—储气罐；5—分水滤气器；6—减压阀；
7—油雾器；8—行程阀；9—换向阀；10—气缸

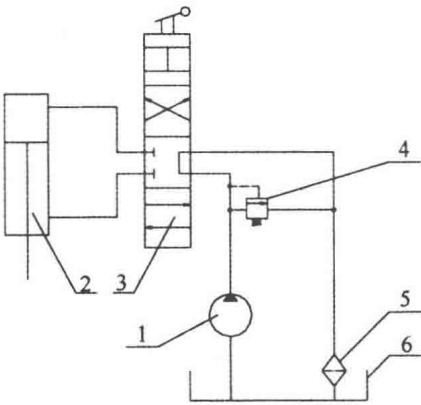


图 1-9 推土机液压系统图

- 1—液压泵；2—液压缸；3—换向阀；
4—安全阀；5—滤油器；6—油箱

第四节 液压传动的工作介质

一、液压传动工作介质的种类

工作介质是液压系统必不可少的一部分,作用是:传递能量;润滑;将热量及污染物带走。
 液压系统使用的工作介质可分为石油基液压油、抗燃液压油和水(海水或淡水)三大类,其中石油基液压油最为常用,石油基液压油的性能特点与适用场合如图 1-10 所示。



图 1-10 石油基液压油的性能特点与适用场合

二、液压油的选用

液压传动是依靠液压油来传递能量的。液压系统所用液压油的要求主要有以下几点。

- (1)具有良好的黏温特性及适宜的黏度。
- (2)具有良好的润滑性能。
- (3)空气分离压、饱和蒸汽压要低;闪点、燃点要高;凝点要低。
- (4)具有良好的化学稳定性,即对热、氧化、水解和剪切都有良好的稳定性;在高温下与空气长时间接触,以及高速通过缝隙后,仍能保持原有的化学成分不变。
- (5)具有良好的防腐蚀性,不腐蚀金属及密封材料。
- (6)对人体无害,质地纯净。

液压油的选用原则如下。

(1)应根据液压元件生产厂推荐的油品及黏度来选择液压油。在液压系统中,工作最为繁重的是泵和马达。针对泵和马达选择的液压油,一般也适用于各类常规液压控制阀。

(2)黏度是选择液压油的重要参数,其高低直接影响系统的润滑、缝隙泄漏量、流动时的压力损失、油液的温升等。因此,要根据具体应用,首先确定适用的黏度范围,再选择合适的油品。例如,对于高温、高压、低速系统,为了减少泄漏,应选用黏度较高的液压油。

三、液压油的污染与控制

(一)液压油污染的原因

液压油受污染的原因很多,具体如图 1-11 所示。

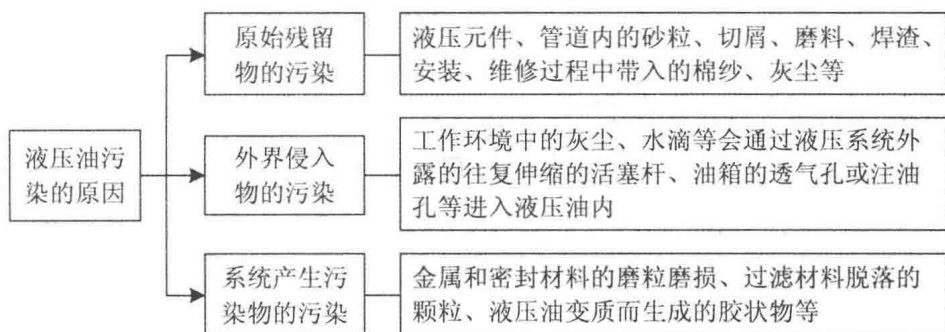


图 1-11 液压油受污染的原因

(二)液压油污染的危害

污染物进入液压油后会直接影响液压系统的工作性能。固体颗粒和胶状物会堵塞过滤器,导致液压泵吸油不畅,运转困难,并产生噪声。固体颗粒进入液压元件,会使元件的滑动部分磨损加剧,还可能堵塞液压元件的节流孔、阻尼孔,造成动作失灵,从而造成系统故障。进入液压系统的水分、空气会降低液压油的黏度、腐蚀金属,加速液压元件的损坏,使液压系统出现振动、爬行等现象。

(三)液压油的污染控制

液压油的污染原因复杂,危害很大,但要完全防止污染几乎是不可能的,但可将液压油污染控制在一定范围内。具体措施如下:

(1)尽量减少外来污染。在液压系统装配、维护时,必须严格清洗各种元件;油箱透气孔要安装空气过滤器;活塞杆处加设防尘装置;向油箱注油要通过过滤器;系统维护、维修尽量安排在无尘区进行。

(2)选用合适的过滤器。

(3)定期检查、过滤或更换液压油。根据液压设备的使用说明要求或维护保养规程的规定,定期检查、过滤或更换液压油。换油时,液压油一定要排放干净,同时要清洗油箱,冲洗系统管道和液压元件。

第五节 液压与气压传动的应用

液压与气压传动应用的范围很广,但不同的场合,使用的精度也就不同,图 1-12 所示为不同精度的液压传动装置应用场合的概况。

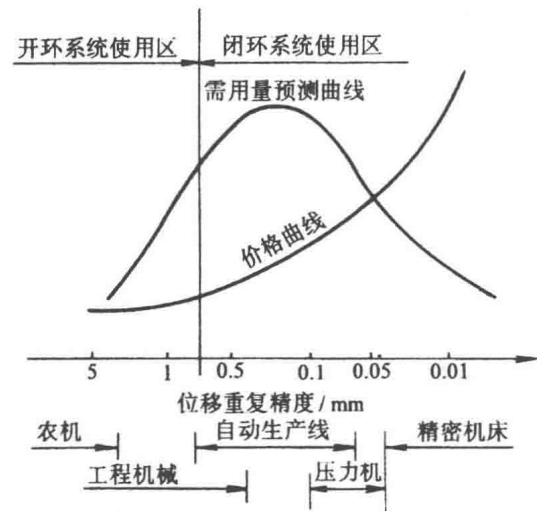


图 1-12 不同精度的液压传动装置的应用场合

液压传动在各类机械行业中的应用实例如图 1-13 所示。



图 1-13 液压传动在各类机械行业中的应用实例

气压传动的应用涉及很多领域,具体如图 1-14 所示。

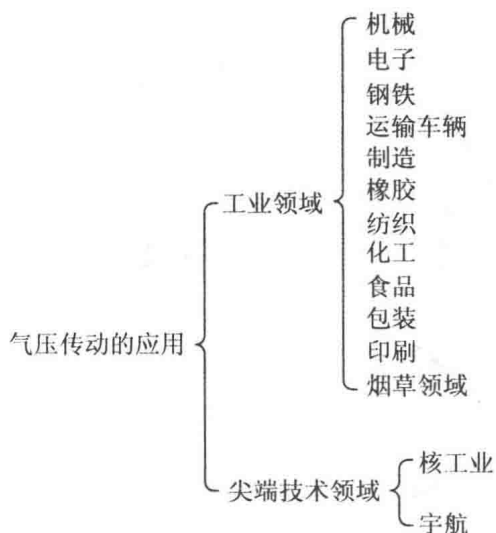


图 1-14 气压传动的应用

我国的液压、气动技术经历着一个起始、成熟与发展的过程,但从总体上来说还落后于世界的先进水平,国产元件以至整机在性能、可靠性、使用寿命和制造技术等方面也存在着不少问题。这和我国的国民经济与科学技术的总体水平、生产管理以至人员的素质都有着密切的关系。因此,应加速对世界先进技术和产品的有计划引进和消化、吸收,加速人才素质的培养和整个科学事业的发展,规范日常的生产管理和技术监督,才能使我国的科学技术在上述领域赶上世界先进水平。