

职业技术教育机类系列教材

ZHIYE JISHU JIAOYU JILEI XILIE JIAOCAI

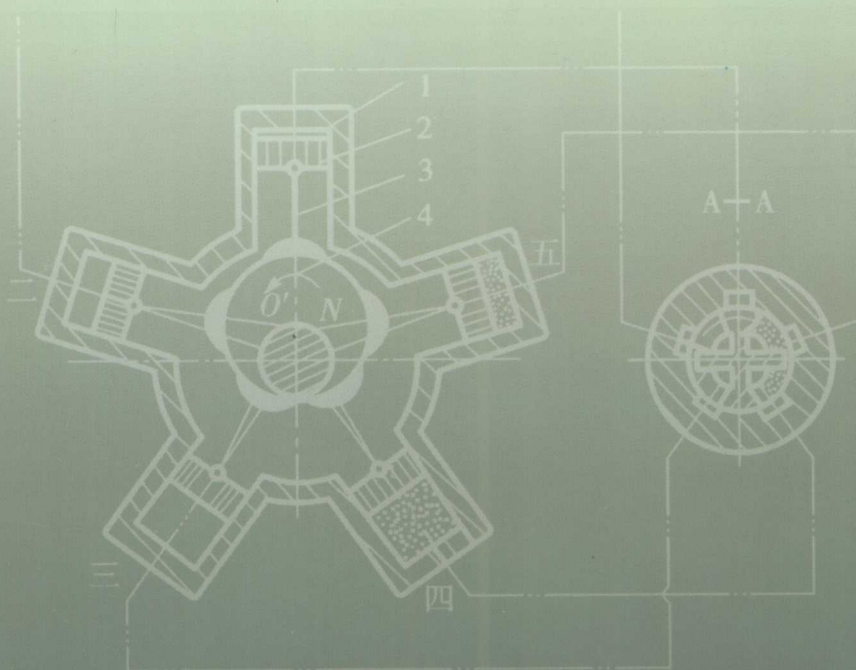


安徽省高等教育“十一五”规划教材

液压与气压传动

YEYA YU QIYA CHUANDONG

● 主 编 潮兴淮 黄红兵
副主编 陈之林 王忠生
主 审 张信群



安徽科学技术出版社

安徽省高等教育“十一五”规划教材

液压与气压传动

YEYA YU QIYA CHUANDONG

●主 编 潮兴淮 黄红兵
副主编 陈之林 王忠生
参 编 汪功明 陈庆来
主 审 张信群

2808250

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/潮兴淮,黄红兵主编. —合肥:安徽
科学技术出版社,2008.8

(职业技术教育机类系列教材)

ISBN 978-7-5337-3804-4

I. 液… II. ①潮…②黄… 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. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 125909 号

液压与气压传动

潮兴淮 黄红兵 主编

出 版 人: 朱智润

责任编辑: 何宗华 期源萍

出版发行: 安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号
出版传媒广场, 邮编: 230071)

电 话: (0551)3533330

网 址: www.ahstp.net

E-mail: yougoubu@sina.com

经 销: 新华书店

排 版: 安徽事达科技贸易有限公司

印 刷: 合肥晓星印刷有限责任公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 13.75

字 数: 330 千

版 次: 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 3 000

定 价: 25.00 元

(本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换)

内 容 提 要

本书共分 11 章,主要包括液压与气压传动的基础、液压与气压传动动力元件、液压与气压传动执行元件、液压与气压传动控制元件、液压与气压传动辅助元件、液压与气压传动基本回路、典型的液压与气压传动系统、液压与气压传动系统的设计、液压与气压伺服系统、液压与气压系统的使用与维护,并在每章后都选编了适应高职教育特点的思考题和习题。

本书可作为高职高专院校机电类、机械类及近机类专业教材,也可作为各类成人高校相关专业教学用书或供机械工程技术人員参考。

前 言

本书以液压传动技术为主线,阐明了液压与气压传动技术的基本原理,着重培养学生分析、设计液压与气动基本回路的能力和安装、调试、使用、维护液压与气动系统的能力,诊断和排除液压与气动系统故障的能力。

本书在编写的过程中充分考虑高职教育的职业特色和高职学生的学习特点,在教学内容的设计上,注重理论联系实际,在内容的取舍上以必需、够用为度,力求做到少而精;液压技术与气动技术两部分内容既有联系,又相对独立,各校可根据学生的专业情况选用;液压气动图形符号严格执行现行国家标准。

本书由淮北职业技术学院机电工程系潮兴淮主编。第一、十一章由潮兴淮编写,第二、五章由王忠生编写,第三、四、六章由陈庆来编写,第七、八章及附录由陈之林编写,第九、十章由汪功明编写。全书由滁州职业技术学院张信群主审。

尽管我们在教材建设的特色方面做出了很多的努力,但由于编者的水平有限,教材中难免存在一些疏漏和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 液压与气压传动系统的工作原理	1
第二节 液压与气压传动系统的组成	4
第三节 液压与气压传动的特点和图形符号	5
第四节 液压与气压传动的应用和发展	6
思考题和习题	7
第二章 液压与气压传动的基础	8
第一节 工作介质	8
第二节 流体力学基础	17
第三节 流体流动时的压力损失	24
第四节 空穴现象和液压冲击	25
思考题和习题	26
第三章 液压与气压传动动力元件	28
第一节 概述	28
第二节 齿轮泵	31
第三节 叶片泵	35
第四节 柱塞泵	41
第五节 液压泵的选用	45
第六节 气源装置	45
思考题和习题	47
第四章 液压与气压传动执行元件	48
第一节 液压缸和汽缸	48
第二节 液压马达和气压马达	61
思考题和习题	69
第五章 液压与气压传动控制元件	70
第一节 概述	70
第二节 方向控制阀	71
第三节 压力控制阀	80
第四节 流量控制阀	89
第五节 液压逻辑阀简介	92
第六节 阀的连接和集成	99
思考题和习题	103

第六章 液压与气压传动辅助元件	105
第一节 油管及管接头	105
第二节 过滤器	107
第三节 蓄能器	109
第四节 油箱、热交换器和流量计、压力表及辅件	112
第五节 密封装置	116
第六节 压缩空气净化设备组成和布置	119
第七节 气压辅件	120
思考题和习题	126
第七章 液压与气压传动基本回路	128
第一节 方向控制回路	128
第二节 压力控制回路	130
第三节 调速回路	135
第四节 多缸及其他运动控制回路	150
思考题和习题	157
第八章 典型的液压与气压传动系统	160
第一节 SZ-250A 型塑料注射成型机液压系统	160
第二节 万能外圆磨床的液压系统	165
第三节 香皂装箱机气压系统	172
第四节 气压传动机械手气压系统	174
第五节 包装机气压系统	175
思考题和习题	176
第九章 液压与气压传动系统的设计	178
第一节 设计步骤和设计要求	178
第二节 工况分析	179
第三节 拟定液压系统原理图	181
第四节 液压元件的选择及安装连接方式	182
第五节 绘制工作图和编写技术文件	184
第六节 液压系统的设计计算举例	185
思考题和习题	189
第十章 液压与气压伺服系统	190
第一节 液压伺服系统	190
第二节 气压伺服系统	196
思考题和习题	196
第十一章 液压与气压系统的使用与维护	197
第一节 系统安装与清洗	197
第二节 系统调试	199
第三节 系统保养	201

第四节 系统故障分析及排除.....	202
思考题和习题.....	205
附录.....	206
附表 1 基本符号、管路及连接	206
附表 2 控制机构和控制方法	206
附表 3 泵、马达和缸	207
附表 4 控制元件	208
附表 5 辅助元件	209
参考文献.....	210

第一章 绪 论

一部完整的机器由原动机、传动部分、控制部分和工作机构等组成。传动部分是一个中间环节,它的作用是把原动机(电动机、内燃机等)的输出功率传送给工作机构。传动有多种类型,如机械传动、电力传动、液体传动、气压传动以及它们的组合——复合传动等。

用液体作为工作介质进行能量传递的传动方式称为液体传动。按照其工作原理的不同,液体传动又可分为液压传动和液力传动两种形式。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量;而液力传动则主要是利用液体的动能来传递能量。根据液压传动的工作特点,它又可称为容积式液压传动。

用气体作为工作介质进行能量传递的传动方式称为气压传动。气压传动是利用压缩气体的压力能来实现能量传递的一种传动方式,其介质主要是空气,也包括燃气和蒸汽。

本书主要介绍以液体为介质的液压传动技术和以压缩空气为介质的气压传动技术。

第一节 液压与气压传动系统的工作原理

一、液压传动系统的工作原理

(一)液压千斤顶

讨论液压传动的工作原理可以从最简单的液压千斤顶入手,图 1-1 所示为该液压系统的工作原理示意图。液压千斤顶由手动柱塞泵和举升缸两部分构成。手动柱塞泵由杠杆 1、小活塞 2、小缸体 3、单向阀 4 和 5 等组成;举升缸由大缸体 6、大活塞 7、卸油阀 9 组成;另外还有重物 8 和油箱 10。

工作时,先提起杠杆 1,小活塞 2 被带动上升,小缸体 3 下腔的密闭容积增大,腔内压力降低,形成部分真空,单向阀 5 将所在油路关闭,而油箱 10 中的油液则在大气压力的作用下,推开单向阀 4 的钢球,沿吸油孔道进入并充满小缸体 3 的下腔,完成一次吸油动作。接着压下杠杆 1,小活塞 2 下移,小缸体 3 下腔的密闭容积减小,其腔内压力升高,使单向阀 4 关闭,阻断了油液流回油箱的通路,并使单向阀 5 的钢球受到一个向上的作用力,当这个作用力大于大缸体 6 下腔对它的作用力时,钢球被推开,油液便进入大缸体 6 的下腔(卸油阀 9 处于关闭状态),推动大活塞 7 向上移动,将重物 8 顶起一段距离。反复提压杠杆 1,就可以使大活塞 7 推举重物 8 不断上升,达到起重的目的。将卸油阀 9 转动 90° ,大缸体 6 下腔与油箱连通,大活塞 7 在重物 8 推动下下移,下腔的油液通过卸油阀 9 排回油箱 10。

从液压千斤顶的工作过程可以看出,液压传动有以下特点:

(1) 液压传动以液体(一般为矿物油)作为传递运动和动力的工作介质,而且传动中必须经过两次能量转换。首先,通过动力装置(泵等)把机械能转换为液体的压力能,然后再通过液动机(液压缸或液压马达)把液体的压力能转换为机械能。

(2) 油液必须在密闭容器(或密闭系统)内传送,而且必须有密闭容积的变化。如果容器不

密封,就不能形成必要的压力;如果密闭容积不变化,就不能实现吸油和压油,也就不可能利用受压液体传递运动和动力。

液压传动利用液体的压力能工作,它与在非密闭状态下利用液体的动能或位能工作的液力传动有根本的区别。

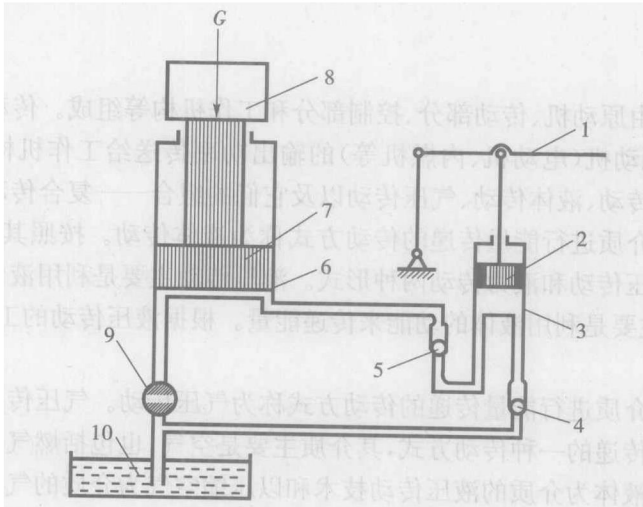


图 1-1 液压千斤顶的工作原理示意图

1. 杠杆 2. 小活塞 3. 小缸体 4,5. 单阀 6. 大缸体
7. 大活塞 8. 重物 9. 卸油阀 10. 油箱

(二)简单机床的液压传动系统

机床的液压传动系统要比千斤顶的液压传动系统复杂得多。图 1-2(a)所示为一台简化了的机床往复运动工作台的液压传动系统。我们可以通过它进一步了解一般液压传动系统应具备的基本性能和组成情况。

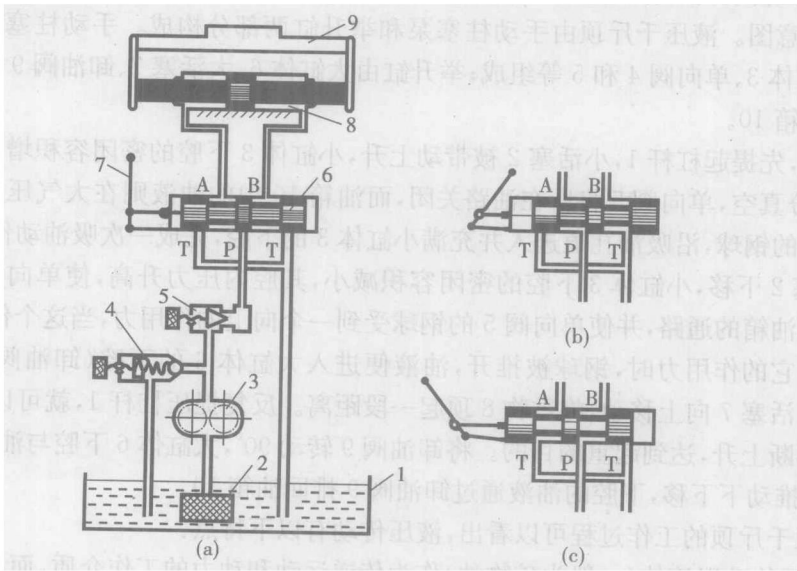


图 1-2 液压传动系统的工作原理及组成

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

在图 1-2(a)中,液压缸 8 固定在床身上,活塞连同活塞杆带动工作台 9 做往复运动。液压泵 3 由电动机(图中未示出)驱动,通过滤油器 2 从油箱 1 中吸油并送入密闭的系统内。

若将换向阀手柄 7 向右推,使阀芯处于如图 1-2(b)所示位置,则来自液压泵的压力油经节流阀 5 到换向阀 6 并进入液压缸 8 左腔,推动活塞连同工作台 9 向右移动。液压缸 8 右腔的油液经换向阀 6 流回油箱。若将换向阀手柄 7 向左拉,使阀芯处于如图 1-2(c)所示位置,则来自液压泵的压力油经节流阀 5 到换向阀 6 并进入液压缸 8 右腔,推动活塞连同工作台 9 向左移动。液压缸 8 左腔的油液经换向阀 6 流回油箱。

若换向阀阀芯处于如图 1-2(a)所示中间位置时,液压缸两腔被封闭,活塞停止不动。

工作台移动的速度通过节流阀 5 调节。当节流阀的阀口增大时,进入液压缸的油液流量增大,工作台的移动速度加快;关小节流阀,则工作台的移动速度将减慢。

转动溢流阀 4 的调节螺钉,可调节弹簧的预紧力。弹簧预紧力越大,密闭系统中的油压就越高,工作台移动时,能克服的最大负载就越大;预紧力越小,其能得到的最大工作压力就越小,能克服的最大负载也越小。另外,在一般情况下,泵向系统的输油量多于液压缸所需油量,多余的油液须通过溢流阀及时地排回油箱。所以,溢流阀 4 在该液压系统中起调压、溢流的作用。

二、气压传动系统的工作原理

现以气动剪切机为例,介绍气压传动的工作原理。图 1-3(a)所示为气动剪切机的结构

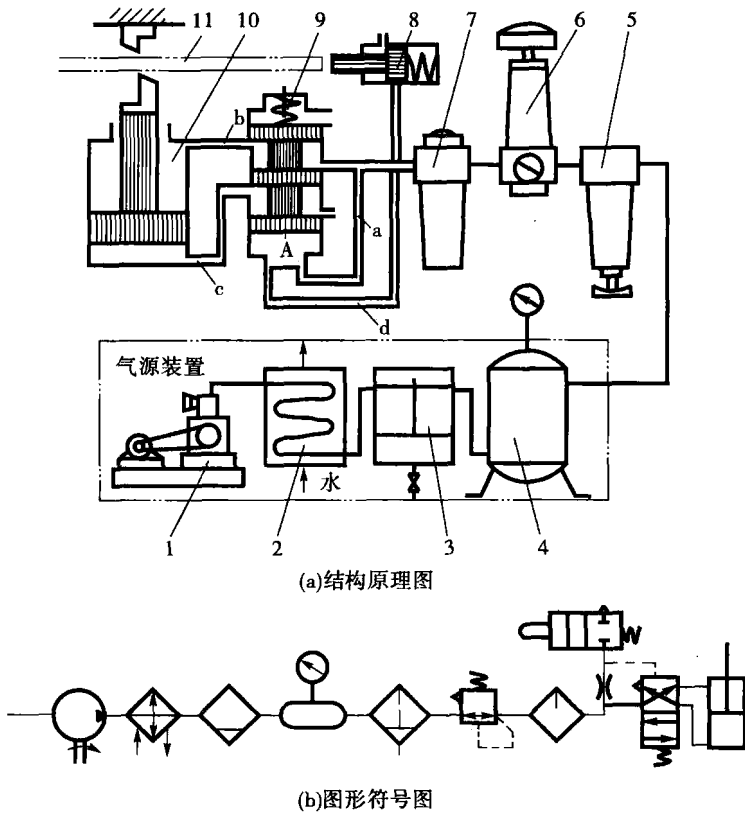


图 1-3 气动剪切机的工作原理图

1. 空气压缩机 2. 冷却器 3. 分水排水器 4. 贮气罐 5. 空气过滤器
6. 减压阀 7. 油雾器 8. 行程阀 9. 换向阀 10. 汽缸 11. 工件

原理图,图示位置为剪切前的情况。空气压缩机 1 产生的压缩空气经冷却器 2、分水排水器 3、贮气罐 4、空气过滤器 5、减压阀 6、油雾器 7 到达换向阀 9,部分气体经节流通路 a 进入换向阀 9 的下腔,使上腔弹簧压缩,换向阀阀芯位于上端;大部分压缩空气经换向阀 9 后由 b 路进入汽缸 10 的上腔,而汽缸的下腔经 c 路、换向阀与大气相通,故汽缸活塞处于最下端位置。当上料装置把工料 11 送入剪切机并到达规定位置时,工料压下行程阀 8,此时换向阀阀芯下腔压缩空气经 d 路、行程阀排入大气,在弹簧的推动下,换向阀阀芯向下运动至下端;压缩空气则经换向阀后由 c 路进入汽缸的下腔,上腔经 b 路、换向阀与大气相通,汽缸活塞向上运动,剪刀随之上行剪断工料。工料被剪下后,即与行程阀脱开,行程阀阀芯在弹簧作用下复位,d 路堵死,换向阀阀芯上移,汽缸活塞向下运动,又恢复到剪断前的状态。

由以上分析可知,剪刀克服阻力剪断工料的机械能来自于压缩空气的压力能,提供压缩空气的是空气压缩机;气路中的换向阀、行程阀起改变气体流动方向、控制汽缸活塞运动方向的作用。图 1-3(b)所示为用图形符号(又称职能符号)绘制的气动剪切机系统原理图。

从液压传动系统和气压传动系统这两个例子可以看出:

- (1) 液压与气压传动是分别以液体和气体作为工作介质来进行能量传递和转换的。
- (2) 液压与气压传动是分别以液体和气体的压力能来传递动力和运动的。
- (3) 液压与气压传动中的工作介质是在受控制、受调节的状态下进行工作的。

第二节 液压与气压传动系统的组成

尽管液压传动系统和气压传动系统的各自特点不尽相同,但其组成形式类似,下面简述它们的组成。

从上述的液压和气压传动系统的工作原理图可以看出,液压与气压传动系统大体上由以下 5 部分组成:

(1) 动力装置 动力装置是指能将原动机的机械能转换成液压能或气压能的装置,它是液压与气压传动系统的动力源。对液压传动系统来说是液压泵,其作用是为液压传动系统提供压力油;对气压传动系统来说是气压发生装置,也称为气源装置,其作用是为气压传动系统提供压缩空气。

(2) 控制及调节装置 它包括各种阀类元件,其作用是用来控制工作介质的流动方向、压力和流量,以保证执行元件和工作机构按要求工作。

(3) 执行元件 执行元件指缸或马达,是将压力能转换为机械能的装置,其作用是在工作介质的作用下输出力和速度(或转矩和转速),以驱动工作机构做功。

(4) 辅助装置 除以上装置外的其他元器件都称为辅助装置,如油箱、过滤器、蓄能器、冷却器、油雾器、消声器、管件、管接头以及各种信号转换器等。它们是一些对完成主运动起辅助作用的元件,在系统中也是必不可少的,对保证系统正常工作有着重要的作用。

(5) 工作介质 工作介质指传动液体或传动气体,在液压传动系统中通常称为液压油液,在气压传动系统中通常指压缩空气。

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见图 1-4。

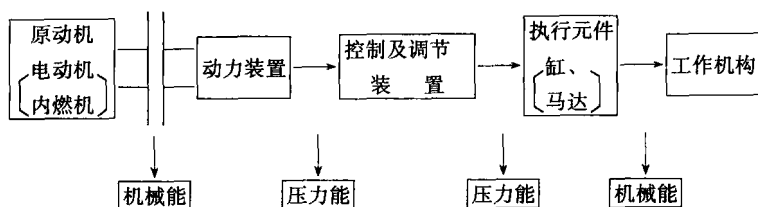


图 1-4 液压与气压传动系统能量转换和传递图

第三节 液压与气压传动的特点和图形符号

一、液压与气压传动的特点

液压与气压传动虽然都是以流体作为工作介质来进行能量的转换和传递，其系统的组成又基本相同，但由于所使用的工作介质不同，使得这两种系统有各自不同的特点。

(一) 液压传动的特点

液压传动的特点主要有以下几方面：

(1) 与电动机相比，在同等体积下，液压装置能产生更大的动力，也就是说，在同等功率下，液压装置的体积小、质量轻、结构紧凑，即它具有大的功率密度或力密度，力密度在这里指工作压力。

(2) 液压装置容易做到对速度的无级调节，而且调速范围大，并且对速度的调节还可以在工作过程中进行。

(3) 液压装置工作平稳，换向冲击小，便于实现频繁换向。

(4) 液压装置易于实现过载保护，能实现自润滑，使用寿命长。

(5) 液压装置易于实现自动化，可以很方便地对液体的流动方向、压力和流量进行调节和控制，并能很容易地和电气、电子控制或气压传动控制结合起来，实现复杂的运动和操作。

(6) 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化，便于设计、制造和推广使用。

(7) 由于液压传动中的泄漏和液体的可压缩性使这种传动无法保证严格的传动比。

(8) 液压传动有较多的能量损失（泄漏损失、摩擦损失等），因此，传动效率相对低。

(9) 液压传动对油温的变化比较敏感，不宜在较高或较低的温度下工作。

(10) 液压传动在出现故障时不易诊断。

(二) 气压传动的特点

气压传动的特点主要有以下几方面：

(1) 气压传动的工作介质是空气，它取之不尽、用之不竭，用后的空气可以排到大气中去，不会污染环境。

(2) 气压传动的工作介质黏度很低，所以流动阻力很小，压力损失小，便于集中供气和远距离输送。

(3) 气压传动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) 气压传动动作速度及反应快。液压油在管道中的流动速度一般为 $1\sim 5\text{ m/s}$ ，而气体流速可以大于 10 m/s ，甚至接近声速，因此在 $0.02\sim 0.03\text{ s}$ 内即可以达到所要求的工作压力及速度。

(5)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,气压传动系统仍可维持一个稳定压力。而液压传动要维持一定的压力,需要能源装置工作或在系统中加蓄能器。

(6)气压传动在一定的超负载工况下运行也能保证系统安全工作,并不易发生过热现象。

(7)气压传动系统的工作压力低,因此气压传动装置的推力一般不宜大于 40 kN,仅适用于小功率的场合。在相同输出力的情况下,气压传动装置比液压传动装置尺寸大。

(8)由于空气的可压缩性大,气压传动系统的速度稳定性差,给系统的位置和速度控制精度带来很大影响。

(9)气压传动系统的噪声大,尤其是排气时,须加消声器。

(10)气压传动工作介质本身没有润滑性,如不采用无给油气压传动元件,需另加油雾器进行润滑,而液压系统无此问题。

二、液压与气压传动的图形符号

如图 1-3(b)中组成气压传动系统的部分元件是用国家标准所规定的图形符号绘制的。用半结构式图形绘制原理图时直观性强、容易理解,但绘制起来比较麻烦,特别是在系统中的元件数量比较多时更是如此。所以,在工程实际中,除某些特殊情况外,一般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。在用图形符号绘制系统原理图时,图中的符号只表示元(辅)件的功能、操作(控制)方法及外部连接口,不表示元(辅)件的具体结构和参数,也不表示连接口的实际位置和元(辅)件的安装位置。在用图形符号绘图时,除非特别说明,图中所示状态均表示元(辅)件的静止位置或零位置,并且除特别注明的符号或有方向性的元(辅)件符号外,它们在图中可根据具体情况水平或垂直绘制。使用这些图形符号后,可使系统图简单明了,便于绘制。当有些元件无法用图形符号表达或在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。当无法用标准直接引用或派生时,或有必要特别说明系统中某一元(辅)件的结构和工作原理时,可采用局部结构简图或采用它们的结构或半结构示意图来表示。在用图形符号绘图时,符号的大小应以清晰、美观为原则,绘制时可根据图纸幅面的大小酌情处理,但应保持图形本身的适当比例。

第四节 液压与气压传动的应用和发展

一、液压与气压传动的应用

液压传动和气压传动统称为流体传动,它是工农业生产中广为应用的一门技术。如今,流体传动技术水平的高低已成为一个国家工业发展水平的标志。

液压传动有许多突出的特点,因此它的应用非常广泛,如一般工业用的塑料加工机械、压力机械、机床等;行走机械中的工程机械、建筑机械、农业机械、汽车等;钢铁工业用的冶金机械、提升装置、轧辊调整装置等;土木水利工程用的防洪闸门及堤坝装置、河床升降装置、桥梁操纵机构等;发电厂用的涡轮机调速装置、核发电厂等;船舶用的甲板起重机械(绞车)、船头门、舱壁阀、船尾推进器等;特殊技术用的巨型天线控制装置、测量浮标、升降旋转舞台等;军事工业用的火炮操纵装置、舰船减摇装置、飞行器仿真、飞机起落架的收放装置和方向舵控制装置等。

气压传动的应用也相当普遍,许多机器设备中都装有气压传动系统,在工业各领域,如机

械、电子、钢铁、运输车辆及制造、橡胶、纺织、化工、食品、包装、印刷和烟草等领域,气压传动技术已成为其基本组成部分。在尖端技术领域,如核工业和宇航中,气压传动技术也占据着重要的地位。

二、液压与气压传动的发展

液压传动相对于机械传动是一门新学科。但相对于计算机等新技术,它又是一门较老的技术。如果从 17 世纪帕斯卡提出静压传递原理、18 世纪英国制成世界上第一台水压机算起,液压传动已有 200 多年的历史。只是由于在早期没有成熟的液压传动技术和液压元件,而使它没有得到普遍的应用。随着科学技术的不断发展,各行各业对传动技术有了不断的需求。特别是在第二次世界大战期间,由于军事上迫切地需要反应快、质量轻、功率大的各种武器装备,而液压传动技术适应了这一要求,所以使液压传动技术获得了发展,在 20 世纪 50 年代,液压传动技术迅速地转向其他各个部门,并得到了广泛的应用。

气压传动的应用历史悠久。早在公元前,埃及人就开始用风箱产生压缩空气助燃,这是最初气压传动的应用。从 18 世纪的产业革命开始,气压传动逐渐被应用于各类行业中,如矿山用的风钻、火车的刹车装置等。而气压传动应用于一般工业中的自动化、省力化则是近些年的事情。目前世界各国都把气压传动作为一种低成本的工业自动化手段。自 20 世纪 60 年代以来,国内外气压传动的发展十分迅速,目前气压传动元件的发展速度已超过了液压传动元件,气压传动已成为一个独立的专门技术领域。

目前,它们分别在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、长寿命、高度集成化、小型化与轻量化、一体化和执行件柔性化等方面取得了很大的进展。同时,由于与微电子技术密切配合,能在尽可能小的空间内传递尽可能大的功率并加以准确的控制,从而更使得它们在各行各业中发挥出了巨大作用。

思考题和习题

1. 何谓液压传动? 液压传动的基本原理是什么?
2. 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?
3. 液压传动与其他传动方式相比,有哪些优缺点? 其最突出的优点是什么? 其难以克服的缺点是什么?
4. 目前液压技术正向着什么方向发展?

第二章 液压与气压传动的基础

第一节 工作介质

液压与气压传动是用流体作为工作介质来传递能量的。在液压与气压传动系统中,工作介质用来传递动力和信号,对于液压传动系统来说,液压油还起到润滑、冷却和防锈等作用。液压与气压传动系统,特别是液压传动系统能否可靠、有效地工作,在很大程度上取决于系统中所使用的工作介质。因此,必须对工作介质有一清晰的了解。

一、液压工作介质

在液压传动系统中所使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(也称为高水基)和油包水乳化液等。

(一) 液压油的主要性质

1. 密度

单位体积液压油的质量称为该种液压油的密度,以 ρ 表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

式中, V ——液压油的体积;

m ——体积为 V 的液压油的质量。

密度是液压油的一个重要物理参数,随着液压油温度和压力的变化,其密度也会发生变化,但这种变化量通常很小,可以忽略不计,故实际应用中可认为液压油密度不受温度和压力变化的影响。一般液压油的密度为 900 kg/m^3 。

2. 黏性

(1) 黏性的物理意义 液体在外力的作用下流动时,液体分子间的内聚力阻碍分子相对运动,而在液体内部产生摩擦力。液体流动时,其内部产生摩擦力的这一特性即称为液体的黏性。黏性是液体的重要物理性质,也是选择液压系统中使用油液的主要依据之一。

液体流动时,由于液体的黏性以及液体和固体壁面间的附着力,会使液体内部各层间的速度大小不等。如图 2-1 所示,设两平行平板间充满液体,下平板不动,上平板以速度 u_0 向右平移。由于液体的黏性作用,紧贴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 ,而中间各层液体的速度则根据它与下平板间的距离大小近似呈线性规律分布。

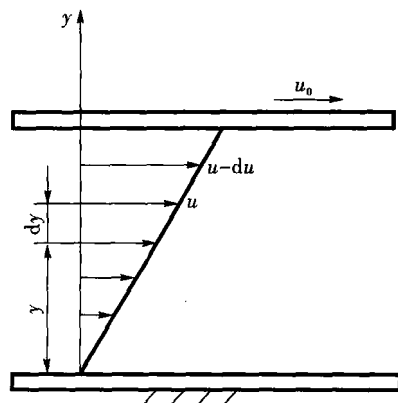


图 2-1 液体的黏性

实验测定结果表明,液体流动时,相邻液层之间的内摩擦力 F 与液层间的接触面积 A 、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

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2.2)$$

若用单位接触面积上的内摩擦力 τ (切应力)来表示,则上式可改写成

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.3)$$

式中, μ ——比例系数,也称为液体的黏性系数或动力黏度;

$\frac{du}{dy}$ ——相对运动速度对液层间距离的变化率,也称速度梯度或剪切率。

式(2.3)表达的就是牛顿内摩擦定律。

在液体静止时,由于 $du=0$,内摩擦力 F 为零,因此,液体在静止状态时不呈现黏性。

(2)黏度 液体黏性的大小用黏度来表示。常用的黏度有3种:动力黏度、运动黏度和相对黏度。

①动力黏度 动力黏度也称为绝对黏度,它是表征流动液体内摩擦力大小的黏性系数,用 μ 表示。其量值等于液体在以单位速度梯度($\frac{du}{dy}=1$)流动时液层接触面单位面积上的内摩擦力,即

$$\mu = \frac{F}{A \frac{du}{dy}} = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (2.4)$$

动力黏度的法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒, $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$),它与以前沿用的非法定计量单位 P (泊, $\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$)之间的关系是 $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P}$ 。

②运动黏度 液体动力黏度 μ 与其密度 ρ 的比值称为该液体的运动黏度,用 ν 表示。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.5)$$

运动黏度的法定计量单位为 m^2/s ,由于该单位偏大,实际上常用 cm^2/s 、 mm^2/s 及以前沿用的非法定计量单位 cSt (厘斯),它们之间的关系为 $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^6 \text{ mm}^2/\text{s} = 10^6 \text{ cSt}$ 。

运动黏度 ν 无物理意义,因为在其单位中只有长度和时间的量纲,类似于运动学的物理量,故称为运动黏度。它是工程实际中常用的一个物理量。国际标准化组织 ISO 规定,各类液压油的牌号是按其在一定温度下运动黏度的平均值来标定的。例如,牌号为 L-HL32 的液压油就是指这种油在温度为 40°C 时,其运动黏度的平均值为 $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

③相对黏度 相对黏度又称条件黏度。它是采用特定的黏度计在规定的条件下测出来的液体黏度。测量条件不同,采用的相对黏度单位也不同。例如,中国及德国、俄罗斯采用恩氏黏度($^\circ\text{E}$),美国采用国际赛氏黏度(SSU),英国采用商用雷氏黏度($^\circ\text{R}$)等。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定。温度为 $t^\circ\text{C}$ 的 200 cm^3 被测液体由恩氏黏度计的小孔中流出所用的时间 t_1 ,与温度为 20°C 的 200 cm^3 蒸馏水由恩氏黏度计的小孔中流出所用的时间 t_2 (通常 $t_2=51 \text{ s}$)之比,称为该被测液体在 $t^\circ\text{C}$ 下的恩氏黏度,记为 $^\circ\text{E}_t$,即

$$^\circ\text{E}_t = \frac{t_1}{t_2} = \frac{t_1}{51 \text{ s}} \quad (2.6)$$

恩氏黏度与运动黏度(mm^2/s)的换算关系为

当 $1.3 \leqslant ^\circ\text{E} \leqslant 3.2$ 时,