



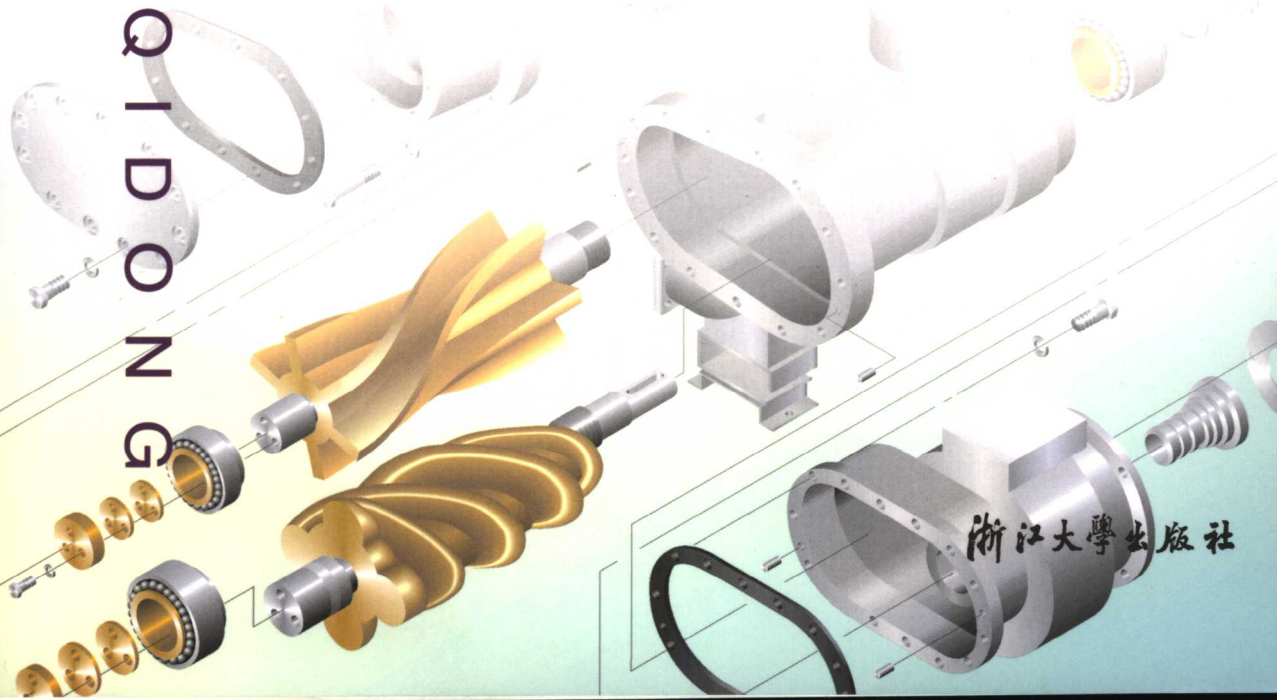
高职高专规划教材

Y E Y A
Y U
Q I D O N G

液压与气动

主 编 张 剑

副主编 马金河 朱旭霞 杜巧连



浙江大學出版社

高职高专规划教材

液压与气动

主 编 张 剑

副主编 马金河 朱旭霞 杜巧连

浙江大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动 / 张剑主编. —杭州: 浙江大学出版社,
2004. 8
高职高专机电类规划教材
ISBN 7-308-03842-4

I. 液... II. 张... 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 (2004) 第 085899 号

丛书策划 樊晓燕
封面设计 刘依群

责任编辑 王大根 陈培里
出版发行 浙江大学出版社
(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心
印 刷 富阳市育才印刷有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 16
字 数 332 千
版 次 2004 年 8 月第 1 版 2006 年 1 月第 3 次印刷
印 数 5001—8000
书 号 ISBN 7-308-03842-4/TH·068
定 价 21.00 元

内 容 简 介

本书共分13章,包括液压、气动两部分。主要内容有液压和气动基础知识、液压和气动元件、基本回路、典型系统、液压系统设计初步以及液压设备的安装、调试和故障诊断初步。每章附有习题。

本书适合高等职业院校、高等专科学校以及成人高等院校机械类专业的学生使用,也可作为中等专业学校机械类专业的学生使用。

高职高专机电类规划教材

参编学校(排名不分先后)

浙江机电职业技术学院

杭州职业技术学院

宁波工程学院

宁波职业技术学院

嘉兴职业技术学院

金华职业技术学院

温州职业技术学院

浙江工贸职业技术学院

台州职业技术学院

浙江水利水电高等专科学校

浙江轻纺职业技术学院

浙江工业职业技术学院

丽水职业技术学院

湖州职业技术学院

前 言

根据教育部对高职、高专教育人才培养的指导思想,以岗位技能要求为出发点,本教材对理论内容以必须、够用为度,以液压为主线,着重基本概念和原理的阐述,强化元件的基本工作原理,着重系统分析、应用能力以及综合能力的培养。为读者在今后的实践工作中,打下一定的基础。

本书包括液压与气压传动两部分,主要内容有液压与气压元件的基本原理和结构特点、液压与气压基本回路以及典型回路的工作原理、排除液压故障的一般方法等。

在理论教学方面,在压力控制元件工作原理的阐述上,紧紧围绕“控制油”这一关键展开,着重三类元件的共性即控制油作用于阀芯上的力与弹簧力相平衡,使阀芯相对阀体产生位移,从而控制系统的压力,或因系统压力的变化从而实现油口的通断等功能。这样,便于读者加深理解和巩固所学内容。

在设备的安装、调试以及故障诊断方面,针对初学者提出一种初步的、一般的思路,使学生敢于跨出第一步,以利于实践经验的积累,少走弯路。

本书由张剑任主编,马金河、朱旭霞、杜巧连任副主编。参加编写的人员有;

金华职业技术学院杜巧连——第1、3章;

宁波高等专科学校朱旭霞——第2、7章;

温州职业技术学院季凌斌——第4章;

温州职业技术学院张剑——第5、8、9章;

温州职业技术学院游震洲——第6章;

台州职业技术学院马金河——第10、11、12、13、14章。

全书由浙江大学吴根茂教授主审。

本书在编写过程中,得到温州光明塑机厂的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编写时间仓促,加之编者水平有限,书中如有不妥之处,敬请指教。

编 者

2004 年 4 月 26 日

目 录

第 1 章 液压与气动概述.....	1
1.1 液压与气压传动的工作原理及特征	1
1.2 液压与气压传动系统的组成	3
1.3 液压与气压传动的优缺点	5
1.4 液压与气动技术的发展及应用	7
复习思考题.....	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.....	14
2.3 流体动力学基础.....	17
2.4 液体流动时的压力损失.....	22
2.5 小孔和缝隙流量.....	24
2.6 液压冲击和气穴现象.....	28
复习思考题	29
第 3 章 液压泵和液压马达	31
3.1 液压泵概述.....	31
3.2 齿 轮 泵.....	34
3.3 叶 片 泵.....	38
3.4 柱 塞 泵.....	45
3.5 液压泵的主要性能和选用.....	49
3.6 液压马达概述.....	50
复习思考题	53

第4章 液压缸	54
4.1 分类与功用	54
4.2 结 构	55
4.3 液压缸安装方式	60
4.4 液压缸缓冲装置、排气装置	62
4.5 液压缸设计计算	64
复习思考题	66
第5章 液压控制阀	67
5.1 概 述	67
5.2 压力控制阀	69
5.3 方向控制阀	84
5.4 流量控制阀	95
5.5 二通插装阀	100
5.6 叠加阀	109
5.7 比例阀	109
复习思考题	111
第6章 辅助装置	113
6.1 蓄能器	113
6.2 过滤器	117
6.3 油 箱	124
6.4 冷却器	126
6.5 密封装置	126
6.6 油管与管接头	130
6.7 压力表和压力表开关	132
复习思考题	133
第7章 液压基本回路	134
7.1 压力控制回路	134
7.2 速度控制回路	140
7.3 多缸工作控制回路	152
复习思考题	157

第 8 章 典型液压系统	160
8.1 概 述	160
8.2 YT4543 型动力滑台液压系统	161
8.3 M1432A 型万能外圆磨床液压系统	165
8.4 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统	172
8.5 注塑机液压系统	177
第 9 章 液压系统的设计计算、安装调试及维修初步	183
9.1 液压传动系统的设计计算初步	183
9.2 液压传动系统的安装调试初步	189
9.3 液压传动系统的维修初步	190
9.4 故障实例及分析、处理过程	192
9.5 利用现有系统,现场组成元件性能测试台架	193
第 10 章 气压传动基本知识	195
10.1 空气的主要性质及气体状态方程	195
10.2 气源装置	197
10.3 气动三大件	201
复习思考题	205
第 11 章 气动执行元件	207
11.1 气 缸	207
11.2 气动马达	212
复习思考题	215
第 12 章 气动控制阀和气动回路	216
12.1 常用气动控制阀及其基本回路	216
12.2 其他常用气动回路	222
12.3 气动逻辑元件	227
复习思考题	235
第 13 章 典型气压传动系统	236
13.1 阅读气压传动系统图的一般步骤	236

13.2 气液动力滑台	237
13.3 气动机械手	238
13.4 工件夹紧气压传动系统	239
附录 常用液压传动图形符号.....	241
参考文献.....	246

液压与气动概述

任何一部完整的机器都有动力部分和工作装置部分,能量从动力部分到工作装置部分的传递形式可概括为机械传动、电力传动、流体传动(包括液力传动和液压传动)和气压传动。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。随着机电一体化技术的发展,现代液压气动技术与微电子技术、计算机技术及传感技术紧密结合,进入了一个新的发展阶段。

1.1 液压与气压传动的工作原理及特征

液压与气压传动是以流体(液压油、水等液体或压缩空气)为传动介质,主要利用流体的压力能来进行能量传递和控制的传动方式。液压与气压传动都是基于流体力学的帕斯卡原理,因而它们实现传动和控制的方法基本相同,都是通过各种元件组成具有所需功能的基本回路,再由若干基本回路有机组合成具有一定控制功能的传动系统,从而实现能量的转换、传递和控制。因此,要研究液压与气压传动及其控制技术,首先要了解传动介质的物理性质及力学特性,研究各类元件的结构、工作原理和性能,以及研究各种基本回路的性能和特点,并在此基础上对液压与气压传动控制系统进行分析和设计。

液压传动所用的工作介质是液体,气压传动所用的工作介质是空气。由于这两种流体的性质不同,所以液压与气压传动又有各自的特点。液压传动传递力大(液体工作压力高),运动平稳,但液体粘性较大,流动过程中阻力损失大,因而不宜作远距离的传动和控制;气压传动由于空气的可压缩性大,工作压力低(通常在 1MPa 以下),故传递动力小,运动也不够平稳,但空气粘性小,流动过程中阻力小、速度快、反应灵敏,因而能用于较远距离的传动和控制,且组成系统的成本较低。

液压传动与气压传动的工作原理基本相似,现以图 1-1 所示的手动液压千斤顶为例,说明它们的工作原理。手动液压千斤顶由大缸体 5 和大活塞 6 组成举升液压缸;由手动杠杆 4、小缸体 3、小活塞 2、进油单向阀 1 和排油单向阀 7 组成手动液压泵。

当手动杠杆摆动时,小活塞作往复运动。小活塞上移,泵腔(小缸体 3)内的容积扩大而形成局部真空,油箱中的油液在大气压力的作用下,经进油单向阀 1 进入泵腔内;小活塞下移,泵腔内的油液的压力升高,进油单向阀 1 关闭,并顶开排单向阀 7 进入液压缸使大活塞带动重物一起上升。反复上下扳动杠杆,重物就会逐步升起。手动泵停止工作,大活塞停止运动;打开截止阀 8,油液在重力的作用下排回油箱,大活塞落回原位。这就是液压千斤顶的工作原理。

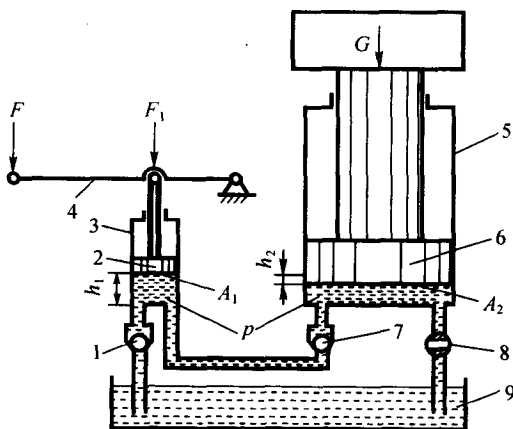


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

下面以图 1-1 所示为例,分析两活塞之间力的传递、运动传递和功率关系,说明液压传动的基本特征。

1. 力的传递

当大活塞上有重物负载时,其下腔的油液将产生一定的液体压力,即

$$p = G/A_2 \quad (1-1)$$

在千斤顶工作中,从小活塞到大活塞之间形成了封闭的工作容积,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”,因此要顶起重物,在小活塞下腔就必须产生一个等值的压力 p ,即小活塞上施加的力为

$$F_1 = pA_1 = (A_1/A_2)G \quad (1-2)$$

可见在活塞面积 A_1 、 A_2 一定的情况下,液体压力 p 取决于举升的重物负载,而手动泵上的作用力 F_1 则取决于压力 p 。所以,被举升的重物负载越大,液体压力 p 越高,手动泵上作用力 F_1 也就越大;反之,如果空载工作,且不计摩擦力,则液体压力 p 和手动泵上的作用力 F_1 都为零。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一个基本特征:液压与气压传动中工作压力取决于外负载。

2. 运动传递

由于小活塞到大活塞之间为封闭工作容积,小活塞向下压出油液的体积必然等于

大活塞向上升起缸体内扩大的体积,即 $A_1 h_1 = A_2 h_2$ 。

上式两端同除以活塞移动时间 t 得

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (1-3)$$

或

$$v_2 = (A_1/A_2)v_1 = q/A_2 \quad (1-4)$$

式中, $q = v_1 A_1 = v_2 A_2$, 表示单位时间内液体流过某截面的体积。

由于活塞面积 A_1 、 A_2 已定, 所以大活塞的移动速度 v_2 只取决于进入液压缸的流量 q 。这样, 进入液压缸的流量越多, 大活塞的移动速度 v_2 也就越高。由此可见, 液压与气压传动是靠封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。这是液压与气压传动工作原理的另一个基本特征: 液压与气压传动中, 当活塞面积一定时, 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。

这里需要着重指出, 以上两个特征是独立存在的, 互不影响。不管液压千斤顶的负载如何变化, 只要供给的流量一定, 活塞推动负载上升的运动速度就一定; 同样, 不管液压缸的活塞移动速度怎样, 只要负载一定, 推动负载所需的液体压力则确定不变。当然, 在工程实践上, 由于使用实际流体的液压器件不可避免地存在泄漏和摩擦力, 压力与流量之间存在一定程度的相互影响。

3. 功率关系

若不考虑各种能量损失, 手动泵的输入功率等于液压缸的输出功率, 即

$$F_1 v_1 = G v_2$$

或

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = p q \quad (1-5)$$

可见, 液压传动的功率 P 可以用液体压力 p 和流量 q 的乘积来表示, 压力 p 和流量 q 是液压传动中最基本、最重要的两个参数。

上述千斤顶的工作过程, 就是将手动机械能转换为液体压力能, 又将液体压力能转换为机械能输出的过程。

综上所述, 可归纳出液压与气压传动的基本特征是: 以流体为工作介质, 依靠处于封闭工作容积内的流体压力能来传递能量; 工作压力的高低取决于外负载; 速度的大小取决于流量; 压力和流量是液压传动中最基本、最重要的两个参数。

1.2 液压与气压传动系统的组成

图 1-2 所示为一机床工作台的液压传动系统, 它由液压泵、溢流阀、节流阀、换向阀、液压缸、油箱以及连接管道等组成。

其工作原理是: 液压泵 3 由电动机带动旋转, 从油箱 1 经过滤器 2 吸油, 液压泵排

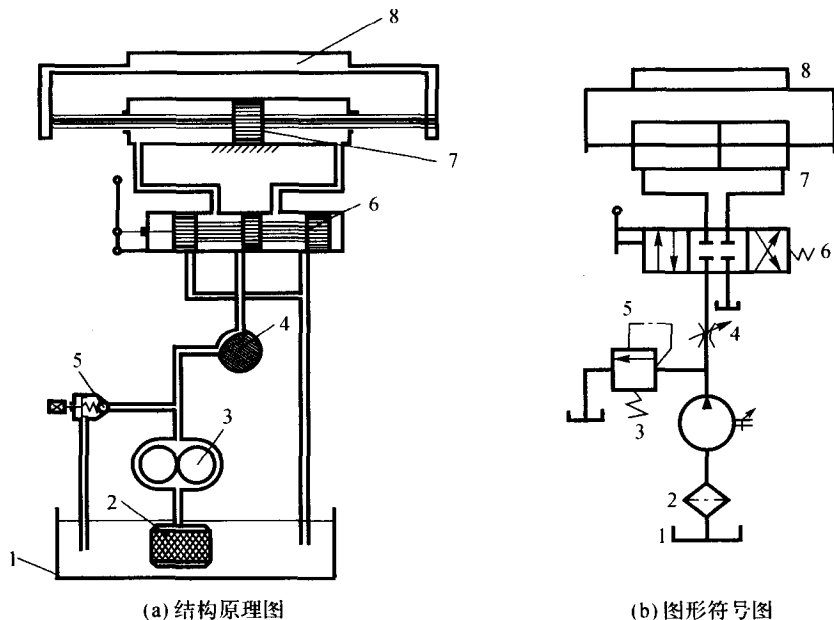


图 1-2 机床工作台液压系统的工作原理图

出的压力油先经节流阀 4 再经换向阀 6 (设换向阀手柄向右扳动, 阀芯处于右端位置) 进入液压缸 7 的左腔, 推动活塞和工作台 8 向右运动。液压缸右腔的油液经换向阀 6 和回油管道返回油箱。若换向阀芯处于左端位置 (手柄向左扳动) 时, 活塞及工作台反向运动。改变节流阀 4 的开口大小, 可以改变进入液压缸的液压油流量, 实现工作台运动速度的调节, 多余的液压流量经溢流阀 5 排回油箱。液压缸的工作压力由活塞运动所克服的负载决定。液压泵工作压力由溢流阀调定, 其值略高于液压缸的工作压力, 系统的最高工作压力通常在溢流阀的调定值内。

图 1-2(a) 所示的液压系统工作原理是半结构式的, 其直观性强, 易于理解, 但绘制起来比较繁杂。图 1-2(b) 所示是用液压图形符号绘制成的工作原理图, 其简单明了, 便于绘制, 图中的符号可参见书末附录常用液压与气动图形符号 (GB/T 786.1—1993)。

图 1-3 所示为气动剪切机的系统工作原理图。空气压缩机 1 由电动机驱动, 产生的压缩空气经冷却器 2、油水分离器 3 进行降温及初步净化后, 送入贮气罐 4 备用; 再经气动三联件 (分水滤气器 5、减压阀 6 和油雾器 7)、换向阀 9 (阀芯在压缩空气作用下处于图示位置) 到达气缸 10 活塞处上腔。剪切机此时剪口张开, 处于预备工作状态。当送料机构将原材料 12 送入剪切机并到达预定位置 (将行程阀 8 的触头向左推) 时, 换向阀 9 下腔经行程阀 8 与大气连通, 在弹簧作用下阀芯下移, 使气缸上腔连通大气而下腔进入压缩空气, 活塞 10 连同动剪刀 11 快速向上运动将坯料 12 切下。坯料 12 落下后, 行

程阀8复位,换向阀9下腔气压上升,阀芯恢复到图示位置,活塞10下移剪口张开。剪切机再次处于预备工作状态。此外,还可根据需要,在气路中加设节流阀来控制动剪刀的运动速度。

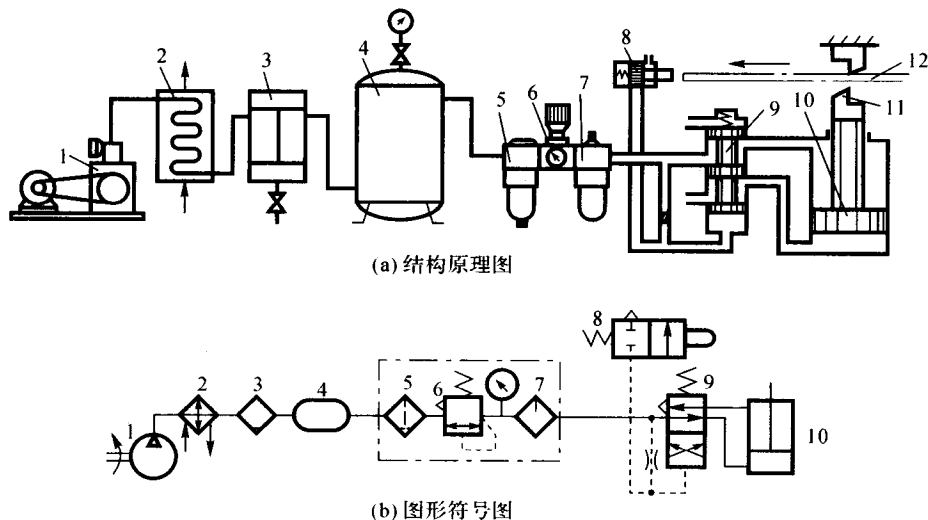


图 1-3 气动剪切机系统的工作原理图

由以上两例可见,液压与气压传动系统通常由四部分组成:

(1)能源装置。液压泵(又称动力元件)或气源装置,其功能是将原动机输出的机械能转换成液体或气体的压力能,为系统提供动力。

(2)执行元件。液压缸或气缸、液压马达或气马达,它们的功能是将液体或气体的压力能转换成机械能,以带动负载进行直线运动或旋转运动。

(3)控制元件。压力、流量和方向控制阀,它们的作用是控制和调节系统中液体或气体的压力、流量和流动方向,以保证执行元件达到所要求的输出力(或力矩)、运动速度和运动方向。

(4)辅助元件。保证系统正常工作所需要的辅助装置,包括管道、管接头、油箱或贮气罐、过滤器和指示仪表等。

1.3 液压与气压传动的优缺点

1.3.1 液压传动的优缺点

1. 液压传动的主要优点

(1)体积小、重量轻,单位重量输出的功率大。这是由于液压传动可以采用很高的压

力,因此具有体积小、重量轻的特点。如在同等功率下,液压马达的外形尺寸和重量为电动机的 12% 左右。在中、大功率以及实现直线往复运动时,这一优点尤为突出。

(2) 可在大范围内实现无级调速,且调节方便。调速范围一般可达 $100:1$,甚至高达 $2000:1$ 。

(3) 操纵控制方便,与电子技术结合更易于实现各种自动控制和远距离操纵。

(4) 由于体积小、重量轻,因而惯性小,响应速度快,起动、制动和换向迅速。如一个中等功率的电动机起动需要几秒钟,而液压马达只需 0.1s 。

(5) 易于实现过载保护,安全性好;采用矿物油作工作介质,自润滑性好。

2. 液压传动的主要缺点

(1) 液压传动系统中存在的泄漏和油液的压缩性,影响了传动的准确性,不易实现定比传动。

(2) 由于油液粘度随温度变化,容易引起工作性能的变化,所以液压传动不宜在温度变化范围较大的场合工作。

(3) 由于受液体流动阻力和泄漏的影响,液压传动的效率还不高。

1.3.2 气压传动的优缺点

1. 气压传动的主要优点

(1) 以空气为传动介质,取之不尽,用之不竭,无介质费用,成本低;用过的空气直接排到大气中,处理方便,不污染环境。

(2) 空气的粘度很小,因而流动时阻力损失小,便于集中供气、远距离传输和控制。

(3) 工作环境适应性好,特别是在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射及振动等恶劣环境中工作,比液压、电子、电气控制优越。

(4) 维护简单,使用安全可靠,过载能自动保护。

2. 气压传动的主要缺点

(1) 由于空气的可压缩性大,因而气压传动工作速度的稳定性较液压传动差,但采用气液联合可得到较满意的效果。

(2) 因工作压力低,且结构尺寸不宜过大,气缸的输出力一般不大于 50kN 。

(3) 排气噪声较大,在高速排气时要加消声器。

液压与气压传动的优点是主要的,液压与气动元件已标准化、系列化和通用化,便于系统的设计、制造和推广应用。因此液压与气压传动在现代化的生产中有着广阔的发展前途和应用前景。

1.4 液压与气动技术的发展及应用

1.4.1 液压技术的发展及应用

从1795年英国制成世界上第一台水压机算起,液压技术已有200多年的历史了,然而在工业上的真正推广使用却是20世纪中叶的事。第二次世界大战期间,在一些武器装备上用上了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置,大大提高了武器装备的性能,也大大促进了液压技术本身的发展。战后,液压技术迅速转入民用,在机械制造、工程机械、锻压机械、汽车、船舶等行业中得到了广泛的应用和发展。20世纪60年代以后,原子能技术、空间技术、电子技术等的迅速发展,再次将液压技术向前推进,并在各个工业领域得到了更加广泛的应用。

现代液压技术与微电子技术、计算机技术、传感技术的紧密结合已形成并发展成为一种包括传动、控制、检测在内的自动化技术。当前,液压技术在实现高压、高速、大功率、经久耐用、高度集成化等各项要求方面都取得了重大的进展;在完善和发展比例控制、伺服控制、开发数字控制技术上也有许多新成绩。同时,液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)和测试(CAP)、微机控制、机电液一体化(Hydromechatronics)、液电一体化(Fluitronics)、可靠性、污染控制、能耗控制、小型化等方面也是液压技术发展和研究的方向。而继续扩大应用服务领域,采用更先进的设计和制造技术,将液压技术发展成为内涵更加丰富完整的综合自动化技术。

目前,液压技术已广泛应用于各个工业领域的技术装备上,例如机械制造、工程、建筑、矿山、冶金、军用、船舶、石化、农林等机械,上到航空、航天工业,下到地矿、海洋开发工程,几乎无处不见液压技术的踪迹。液压技术的应用领域大致上可归纳为以下几个主要方面:

(1)各种举升、搬运作业。尤其在行走机械和较大驱动功率的场合,液压传动已经成为一种主要方式。例如,从起重、装载等工程机械到消防、维修、搬运等特种车辆;船舶的起货机、起锚机;高炉、炼钢炉设备;船闸、舱门的启闭装置;剧场的升降乐池和升降舞台;各种自动输送线等。

(2)各种需要作用力大的推、挤、压、剪、切、挖掘等作业装置。在这些场合,液压传动已经具有垄断地位。例如,各种液压机;金属材料的压铸、成型、轧制、压延、拉伸、剪切设备;塑料注射成型机、塑料挤出机;金属材料的压铸、成型、轧制、压延、拉伸、剪切设备;拖拉机、收割机以及其他砍伐、采掘用的农林机械;隧道、矿井和地面的挖掘设备;各种船舶的舵机等。

(3)高响应、高精度的控制。例如,火炮的跟踪驱动、炮塔的稳定、舰艇的消摆、飞机