

新世纪高职高专教改项目成果教材

液压与气动

姚新 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

新世纪高职高专教改项目成果教材

液 压 与 气 动

主编 姚 新

高等教育出版社

内容提要

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材之一,是面向 21 世纪教材。全书包括液压传动和气压传动两部分,分为液压传动与气压传动基础、液压传动、气压传动、液压与气压传动的应用四篇,共十三章,内容有:液压与气压传动概述和基本理论,液压动力元件、执行机构、辅助装置以及控制元件和基本回路;气压传动的气源装置与辅件、执行机构以及控制元件和基本回路;液压与气压传动系统实例、液压伺服系统简介、液压与气动系统的安装调试和故障分析。

附录除列出元件图形符号之外,还附上了液压阀的型号说明、常用词中英文对照等。

本教材适用于高职高专机电类各专业。可作为近机类专业或其他各类成人高校相关专业教学用书,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书,还可供有关工程技术人员和管理人员参考使用。

图书在版编目 (C I P) 数据

液压与气动 / 姚新主编. — 北京: 高等教育出版社,
2003.7
ISBN 7-04-012040-2

I. 液... II. 姚... 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. ①TH137②TH136

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 047631 号

责任编辑 孙鸣雷 封面设计 吴 昊 责任印制 潘文瑞

书 名 液压与气动
主 编 姚 新

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 100011
总 机 010-82028899
传 真 021-56965341

购书热线 010-64054588
021-56964871
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
<http://www.hepsh.com>

排 版 南京理工排版校对公司
印 刷 上海新华印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 12.75
字 数 305 000

版 次 2003 年 7 月第 1 版
印 次 2004 年 8 月第 2 次
定 价 17.60 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高[2000]3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高[2000]2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一些较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2003 年 5 月

前 言

为了适应高等教育的发展和工程技术的进步,贯彻落实第四次全国职业技术教育会议精神,本书作者收集了近年来各院校在本门课程教学上的经验和意见,参阅了相关专业的教学方案与计划,广泛征求了工厂企业、相关研究单位和学生的意见以及对现行教材的看法,努力适应技术发展、满足教学要求,编写了本教材。

本教材特点为:

1. 以流体为主线,以液压为基础,以应用为目的,重点突出,内容全面。从基础理论到常用元件,从基本回路到典型系统,从工作原理到分析应用,从基本设计到调试维护,处处体现既保证高等教育的规格要求,又立意创新,突出职业教育特色的指导思想。

2. 根据专业培养目标,以职业岗位技能要求为出发点,知识以“必须、够用”为度,理论分析重定性、轻定量,简化推导过程,重视结论应用;实践内容重应用、重创新。全书清晰的阐述了基本理论、基本内容和基本方法,着重反映基本原理在现代工业技术上的应用,以典型的数控机床等机电设备为系统实例,配以相关综合训练题,突出应用能力的培养,激发学生的创新意识。

注意反映比较成熟的新技术、新成果,介绍了液压与气动边缘学科知识。

3. 本书注重遵从认知发展规律,从整体到局部,再由局部到整体,力求深入浅出,通俗易懂。减少文字,增加图表,加强直观性。例如,在讲液压与气动基础知识时,多从流体传动的整体概念入手;讲辅助元件时,从连接与密封的共性问题着眼;液压与气动有机结合,共性问题,触类旁通,避免重复讲述。

本教材特别注意“外形图、结构原理图、图形符号”三者之间的对照与对应,从外到内,从感性认识到理性认识,步步对应、对照,逐步认识,逐步提高。

4. 教材提供了一些“倒置水杯小实验”等来源于生活,揭示流体本质的课堂小实验以及作业题,贴近生活,贴近实际,便于理解,便于记忆。

5. 本书尽量避免其他学科不常用专有名词的出现。

6. 为了培养高职人才的现场工作能力,本书加重了典型系统和元件的安装调试、使用维修和故障诊断内容。

7. 本书第一篇为共性的基础,其余各篇相对独立,全书共分十二章,并以“*”区别选修内容,便于学生自学和教师取舍内容。书后附录除列出元件图形符号之外,还附上了液压阀的型号说明、常用词中英文对照等。全书严格执行新的国家标准。

本教材适用授课时数为50~70学时,课时相对较少时,可以液压传动为主,辅以气压传动的共性内容;课时充足时,除了重点讲述液压传动外,还应突出气压传动区别于液压传动的个性问题,力求深入全面地阐述本门学科的精髓。

本课程应配合安排8~10学时的实验,可安排一次系统回路的设计、安装、调试综合实训。

本书由姚新、王伟、王本岩、陶维利、黄定明、蒋幸幸共同编写,武汉船舶职业技术学院

前 言

长刘民钢教授主审。姚新编写第一、二章,参加编写第三、四、五、七、八、九、十一、十三章;王伟编写第六章;王本岩编写第七、八、九、十一、十三章;陶维利编写第十章和附录 D;蒋幸幸编写第十二章和附录 A、B、C;黄定明编写第三、四、五章。

本书在编写过程中得到华中科技大学和东风汽车股份有限公司等单位的支持和帮助,还参阅了大量科技书籍、教材、手册和科技杂志,编者在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中定有错误和缺点,恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 5 月

目 录

第一篇 液压传动与气压传动基础

第一章 概论	3
第一节 液压与气压传动的工作原理	3
第二节 液压与气压传动系统的组成和图形符号	5
第三节 液压与气压传动的优缺点	7
* 第四节 液压与气动技术的应用和发展	8
第二章 液压与气压传动的基本理论	10
第一节 流体的物理性质	10
第二节 液压与气压传动的工作流体	12
第三节 流体力学基础	15
* 第四节 流体在实际管路系统中的流动	22

第二篇 液 压 传 动

第三章 液压动力元件	33
第一节 概述	33
第二节 柱塞泵	35
第三节 叶片泵	36
第四节 齿轮泵	39
第五节 液压泵的选用	43
第四章 液压执行机构	45
第一节 液压马达	45
第二节 液压缸	46
* 第五章 液压辅助元件	54
第一节 连接与密封	54
第二节 其他辅助元件	57
第三节 油箱	60
第六章 液压控制元件及基本回路	63
第一节 液压控制元件及液压回路概述	63
第二节 方向控制阀及方向控制回路	65

第三节	压力控制阀及压力控制回路	74
第四节	流量控制阀及速度控制回路	86
第五节	其他速度控制回路	97
第六节	其他基本控制回路	100
* 第七节	其他液压阀及其应用	103
* 第八节	液压阀的选择与安装	108

第三篇 气压传动

第七章	气源装置及辅助元件	117
第一节	气源装置	117
* 第二节	其他辅助元件	122
* 第八章	气动系统执行机构	124
第一节	气缸	124
第二节	气动马达	128
第九章	气动控制元件与基本回路	130
第一节	压力控制阀及压力控制回路	130
第二节	流量控制阀及速度控制回路	132
第三节	方向控制阀及方向控制回路	134
* 第四节	气动逻辑元件及逻辑回路	137
* 第五节	其他基本回路	138

第四篇 液压与气压传动的应用

第十章	液压传动系统实例	145
第一节	机床动力滑台液压系统	145
* 第二节	液压压力机的液压系统	150
* 第三节	数控机床液压系统	156
第十一章	气压传动系统实例	160
第一节	工件夹紧气压传动系统	160
* 第二节	数控加工中心气动系统	161
* 第三节	门户开闭装置气压传动系统	162
* 第十二章	液压伺服系统简介	163
第一节	液压伺服控制原理与特点	163
第二节	液压伺服系统的基本类型和系统实例	165

* 第十三章 液压与气动系统的安装调试和故障分析	169
第一节 液压与气动系统的安装.....	169
第二节 液压与气动系统的调试与电气控制.....	170
第三节 液压与气压传动系统的使用与维护.....	171
第四节 液压气动元件与系统的故障分析和排除.....	172
附录.....	177
附录 A 液压与气动元件图形符号摘录	177
附录 B 液压控制阀型号说明(中、高压系列)	183
附录 C 本书常用量及其符号、单位和换算	184
附录 D 液压与气动常用词中英文对照.....	185
参考文献.....	190

第一篇 液压传动与 气压传动基础

第一章 概 论

早在公元前,埃及人就开始利用风箱产生压缩空气用于助燃。17 世纪中叶,帕斯卡(Pascal)提出静压传递原理;英国人约瑟·布拉默(Joseph Bramah)第一个利用这一原理制造出水压机,用于压紧羊毛和榨取植物油等。

液压与气动技术历史悠久,如今,它仍然是工业技术中发展最快的技术之一。

液压传动与气压传动及其控制技术(简称液压与气动)是研究以流体作为工作介质进行能量转换、传递及控制的学科。

第一节 液压与气压传动的工作原理

一、液压传动的工作原理

液压传动是以液体压力能来实现各种机械的传动与控制的传动方式。

为了对液压传动有一个初步了解,现以液压千斤顶为例,介绍其工作原理。在图 1-1 中可以看到,千斤顶的结构中有二只液压缸(简称油缸),小油缸完成吸压油动作,大油缸则在油液压力的作用下,把重物顶起。其动作过程是:先用手向上扳动手柄,小油缸中的小活塞向上移动,产生抽吸作用。油从油箱经过管道 1、单向阀 1(只准油液单方向流动的阀门)进入油缸下腔。再压下手柄,小活塞下移,将吸入小油缸下腔的油,经管道 2、单向阀 2 压入大油缸下腔。此时左面单向阀不通,迫使大活塞向上移动,顶起重物。这样不断地上下提压手柄就能将油间歇地压入大油缸下腔,使重物逐步上升。工作完毕,若要取出千斤顶,则可拧开放油塞,大油缸的油就可经管道流回油箱,大活塞下移,千斤顶也就取出来了。

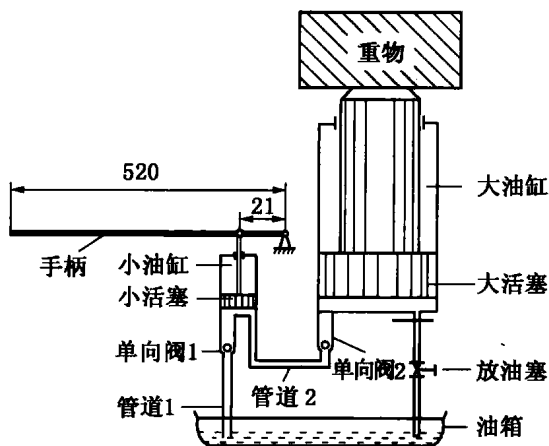


图 1-1 液压千斤顶

上面介绍的这只千斤顶,它的小油缸直径 $d = 12$ 毫米,大油缸直径 $D = 35$ 毫米。当在手柄上施加 320 牛顿时,就能顶起 50 000 牛顿时重物。

下面分析一台简化了的钻孔专用机床的液压系统(图 1-2)。该系统主要由油箱、电机、

液压泵和三个阀、一个液压缸构成,扳动换向阀手柄可实现钻孔动力头(钻头)的进退。当手柄处于图 1-2b 所示的位置时,来自于液压泵的油液经 p 口进入换向阀,从 A 口出来进入液压缸左腔,推动活塞和钻孔动力头后退,右腔的油经换向阀 B 口和 T 口流回油箱。当手柄处于图 1-2d 所示位置时,钻孔动力头前进,实现钻头工进。图中的节流阀手柄可调节油缸运动速度(钻头进给速度),溢流阀手柄可调节系统工作压力以适应相应钻削力。多余油液由溢流阀溢流。

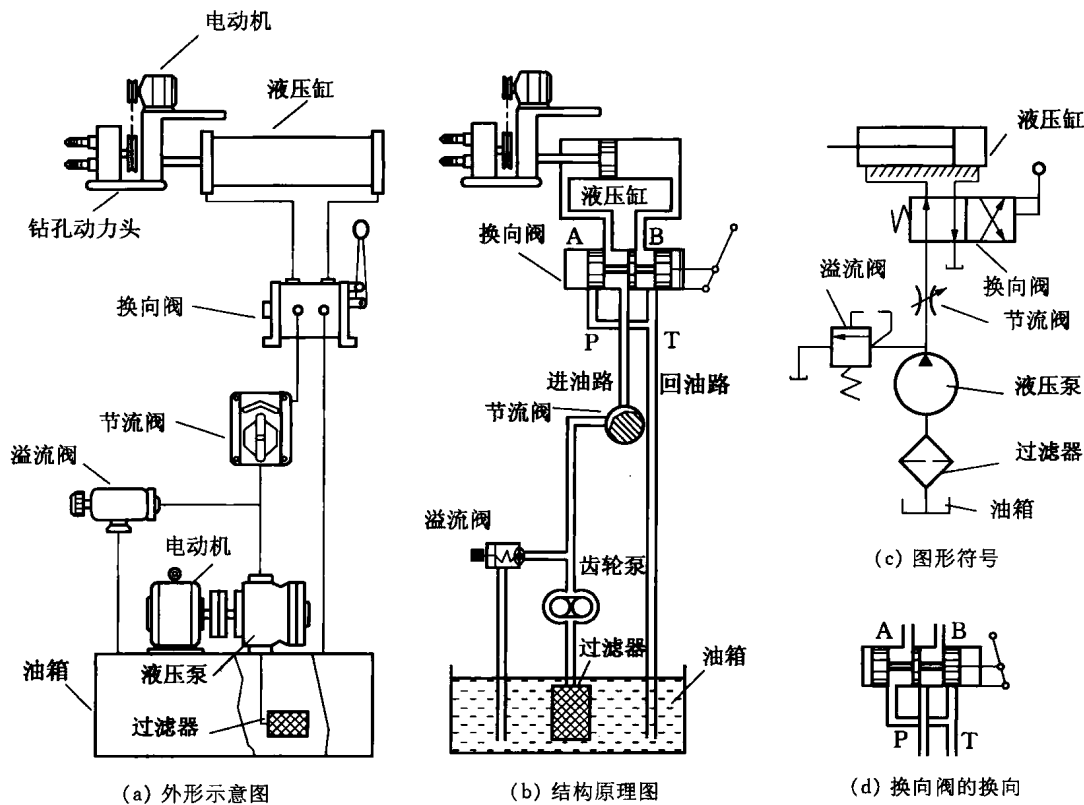


图 1-2 简化了的钻孔专用机床液压系统图

二、气压传动的工作原理

气压传动是以压缩空气作为工作介质进行能量传递的一种传动方式。

图 1-3a 是气压剪切机的结构原理图。工料由上料装置(图中未画出)送到规定位置(图示位置),将行程阀的触头压入后,行程阀的阀芯将其排气通道封死,压缩空气进入换向阀上腔,使换向阀的阀芯下移,压缩空气经换向阀 P 口到 A 口进入气缸的下腔,使气缸活塞上移,气缸上腔的气体经换向阀 B 到 T 口排向大气中,此时剪刀处于剪切状态。当工料剪下后,行程阀复位,换向阀上腔气体通过行程阀排向大气,换向阀在弹簧力的作用下上移,压缩空气进入气缸上腔,气缸活塞下移,下腔气体经换向阀排向大气,剪刀退回。

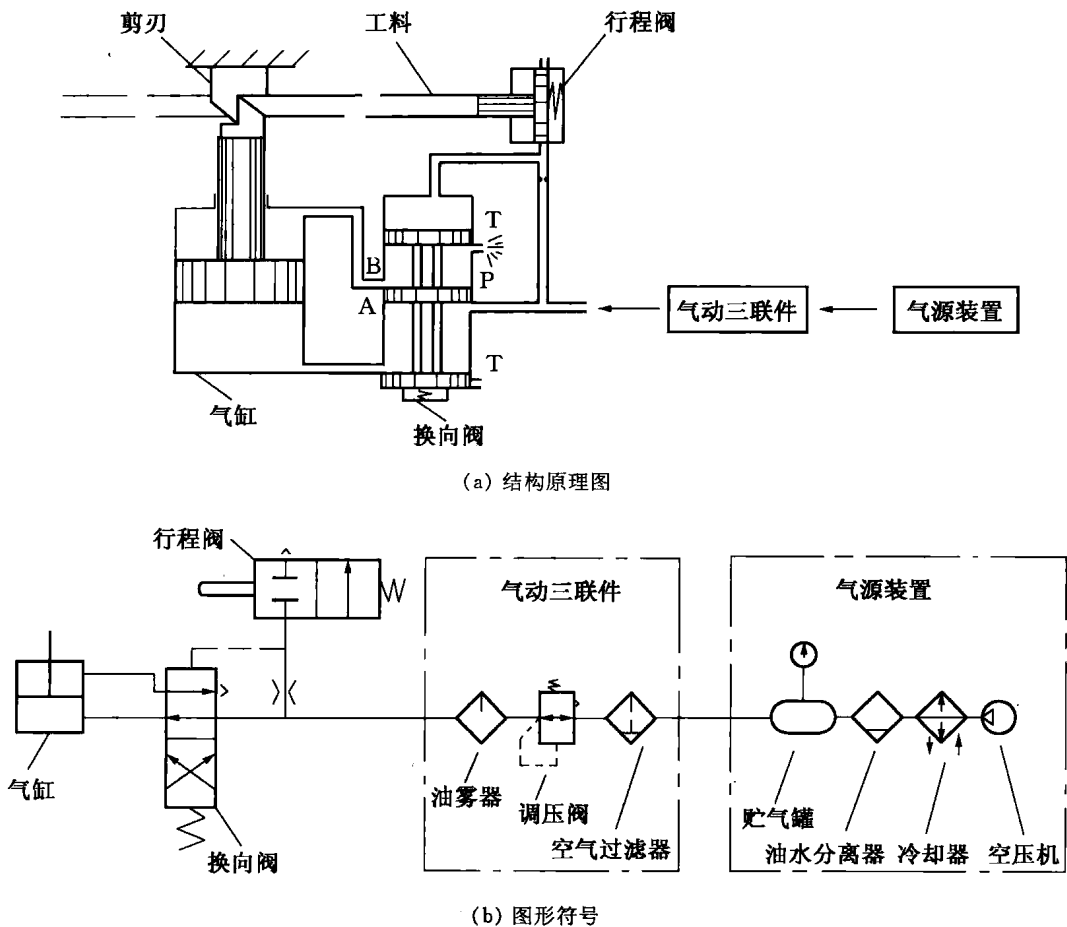


图 1-3 气压剪切机的工作原理图

气源装置用以产生压缩空气并进行初次净化处理；气动三联件对压缩空气进一步净化和减压。

从上述三例可以看出，液压和气压传动都是以流体的压力能来传递运动和动力的一种传动方式；它与利用流体动能传动的方式（液力传动）是不相同的。

第二节 液压与气压传动系统的组成和图形符号

一、液压与气压传动系统的组成

从上面三个例子中可以看出，液压与气压传动系统，都是由表 1-1 所列的五个部分组成。

表 1-1 液压与气压传动系统的组成

系统组成	作 用	液压传动	气压传动
动力装置	将原动机(如电动机)供给的机械能转换为净化流体的压力能	液压泵、泵站	气源装置,主体是空气压缩机
执行机构	将流体的压力能转化为机械能	液压缸、液压马达	气缸、气马达
控制元件	用以控制和调节流体的压力、流量、流动方向及系统执行机构的动作程序	压力阀、流量阀、方向阀等	压力阀、流量阀、方向阀和逻辑元件等
辅助元件	除上述三类机构和元件之外的把系统联接起来的其他元件	管件、压力表、过滤器、油箱等	管件、压力表、过滤器、油雾器等
工作介质	用以传递能量或信息	液压油、工作液	压缩空气

液压与气压传动系统的组成及能量传递见流程图 1-4。

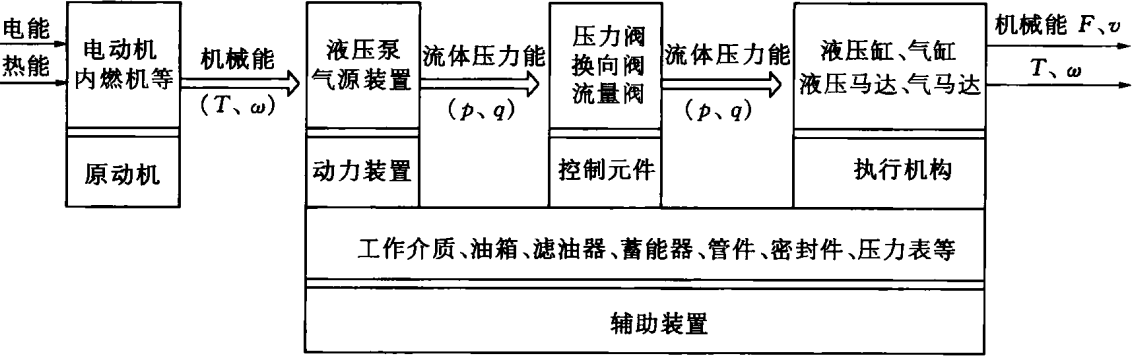


图 1-4 液压与气压传动系统的组成及能量传递流程图

二、液压与气压传动图形符号

在图 1-1、图 1-2a 和图 1-3a 中所示的液压与气压传动系统,都是用结构示意图表示的,其图形画起来较复杂,无规范。为此,目前国内外都广泛采用元件的图形符号来绘制液压与气压的系统图。液压与气压图形符号脱离元件的具体结构,只表示元件的功能,使系统图简化,原理简单明了,便于阅读、分析、设计和绘制。

图 1-2c 和图 1-3b 即为用图形符号绘制的系统原理图。系统图中元件图形符号均应连接于静态(或零工位)位置(在图 1-3b 中,为了与图 1-3a 对应,便于阅读,图形符号没有连接于静态位置)。

附录 A 中摘录了我国目前采用的常用液压与气动(压)元件图形符号(GB/T 786. 1-1993)。

第三节 液压与气压传动的优缺点

一、液压传动与气压传动的共性特点

液压与气压传动同属流体的压力传动,与机械传动和电力拖动系统相比,液压与气压传动系统具有以下一些共性特点:

1. 液压与气压传动的优点:

(1) 液压与气动元件的布置不受严格的空間位置限制,布局、安装灵活,可构成复杂系统。

(2) 可实现无级调速,调速范围大。

(3) 可以减少振动与冲击,能快速启动、制动和频繁换向。

(4) 操纵控制方便、省力,易于实现自动控制、中远距离控制和过载保护。

(5) 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、制造和推广使用。

(6) 很容易实现直线运动。

2. 液压与气压传动的缺点:

(1) 在传动过程中,能量需经两次转换,传动效率不高。

(2) 由于传动介质的可压缩性和泄漏等因素的影响,其传动不能保证严格的传动比,气动尤为明显。

(3) 液压与气动元件制造精度高,液压元件尤为如此,系统故障不易诊断排除。

二、液压传动与气压传动的区别

由于液体与气体的来源不同,性质有别,可压缩性也相差甚远,故液压传动与气压传动又各自有以下特点:

1. 液压传动

(1) 与其他各种传动方式相比,同样功率时,液压系统重量轻,结构紧凑。也就是说,同样体积下,液压系统能产生更大的动力。

(2) 液压传动和气液联动传递运动平稳,反应快。

(3) 液压元件能够自行润滑,故使用寿命较长;

但液压传动有油液污染问题;液体流动能量损失大,不能远程输送;对温度变化较敏感,不宜在很高和很低的温度下工作等。

2. 气压传动

(1) 空气取自大气,排向大气,无成本费用,无污染。

(2) 气体流动阻力损失远小于液体,流速快,反应灵敏,可以远程传输和控制。

(3) 无油的气动控制系统特别适用于无线电元器件的生产过程,也适用于食品及医药的生产过程。

(4) 气动元件可以根据不同场合,采用相应材料,使元件能够在恶劣的环境(强振动、强冲击、强腐蚀和强辐射等)下正常工作。

(5) 系统工作压力低,与液压传动相比其元件的材料要求和制造精度低。维护简单,使用安全。

但气压传动的空气压缩性远大于液压油的压缩性,压力低,输出力小,动作的响应能力和运动的平稳性方面不如液压传动,且噪声大。

* 第四节 液压与气动技术的应用和发展

尽管液压与气动技术已有 200 多年的历史,但它真正被推广使用还只是近几十年的事。液压技术在 1905 年以前的 100 多年中的发展几乎停滞不前,自发明使用以油液作为工作介质后,方得以推进。其后产生了径向柱塞泵、斜轴式轴向柱塞泵等一系列液压装置和元件。1936 年美国威格士(Harry Vickers)发明了先导式液压阀;1958 年美国麻省理工学院布莱克本、李(Blackburn、Lee)等学者在电液伺服阀方面取得的研究成果,至今仍为全世界所采用。气动技术的广泛应用也仅是近几十年的事。

液压与气动工业的增长速度,虽然不能与计算机等工业相比,但却明显的快于整个机械工业的发展速度,特别是与微电子、计算机技术相结合,其发展势头更趋强劲。当前它的发展趋势是:高压、大功率、低能耗、低噪音、长寿命、集成化、数字化、机电液一体化和智能化,气动技术还有无给油化、节能化、小型化、电-气一体化等发展趋势。

液压与气动技术的应用与发展已经进入了一个崭新的历史阶段,成为一门交叉性学科,它在国民经济的各个领域都得到了应用。液压与气动技术的应用程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

液压与气动工业已经成为全球性的工业,其生产与销售是国际性的。世界上最大的液压元件制造商有:美国的 Vickers System 公司和 Parker Hannifin 公司;德国的 Mannesmann Rexroth 公司。他们号称液压界的三巨头,形成威格士(Vickers)、力士乐(Rexroth)等著名品牌。

我国液压与气动工业是在建国初期,从仿制原苏联产品起步,附属于机床制造等主机行业,而逐步发展起来。1965 年从日本油研工业公司和纺锭公司引进技术,建立液压元件专业生产厂——榆次液压件厂,同时购进国外样机,测绘仿制。从引进消化到逐步自行设计制造,逐步形成榆次液压件厂系列(中、高压阀),广州机床研究所系列(中、低压阀),原一机部联合设计系列(高压阀)。我国在 20 世纪 60 年代中期开始建立气动元件厂;1984 年组建行