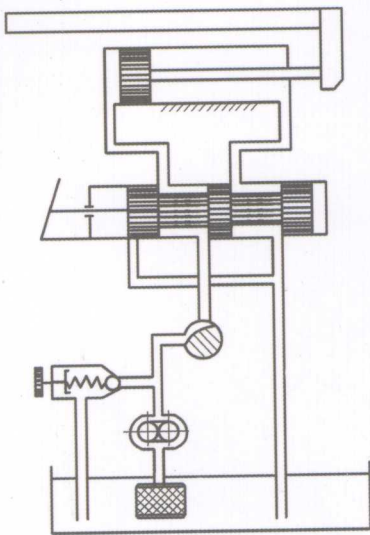


普通高等院校机械工程学科“十一·五”规划教材

液压与气动传动

YEYA YU QIDONG CHUANDONG

主 编 石望远
副主编 李 斌 郑广花



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校机械工程学科“十一五”规划教材

液 压 与 气 动 传 动

主 编 石 望 远

副 主 编 李 斌 郑 广 花

主 审 周 文

国 防 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书主要介绍液压与气动传动技术的原理及其应用,包括液压传动和气动传动两大部分内容。液压传动部分包括液压流体力学基础知识、液压动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件、液压基本回路、典型液压传动应用系统、液压传动系统的设计与计算,以及液压系统的安装、使用与维护。气动技术部分包括气动传动流体力学基础知识、气源装置和气动元件、气动基本回路、气动传动应用实例等。

本书可作为普通高等院校机械学科各专业的教材,亦适用于其他各类成人高校、电大相关专业的教学,还可供机械行业工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动传动 / 石望远主编. —北京: 国防工业出版社, 2009.3

普通高等院校机械工程学科“十一五”规划教材
ISBN 978-7-118-06019-5

I. 液... II. 石... III. ①液压传动—高等学校—教材
②气压传动—高等学校—教材 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 167838 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19 字数 432 千字
2009 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

序

国防工业出版社组织编写的“普通高等院校机械工程学科‘十一五’规划教材”即将出版,欣然为之作“序”。

随着国民经济和社会的发展,我国高等教育已形成大众化教育的大好形势,为适应建设创新型国家的重大需求,迫切要求培养高素质专门人才和创新人才,学校必须在教育观念、教学思想等方面做出迅速的反应,进行深入教学改革,而教学改革的主要内容之一是课程的改革与建设,其中包括教材的改革与建设,课程的改革与建设应体现、固化在教材之中。

教材是教学不可缺少的重要组成部分,教材的水平将直接影响教学质量,特别是对学生创新能力的培养。作为机械工程学科的教材,不能只是传授基本理论知识,更应该是既强调理论,又重在实践,突出的要理论与实践结合,培养学生解决实际问题的能力和创新能力。在新的深入教学改革、新课程体系的建立及课程内容的发展过程中,建设这样一套新型教材的任务已经迫切地摆在我们面前。

国防工业出版社组织有关院校主持编写的这套“普通高等院校机械工程学科‘十一五’规划教材”,可谓正得其时。此套教材的特点是以编写“有利于提高学生创新能力和知识水平”为宗旨,选题论证严谨、科学,以体现先进性、创新性、实用性,注重学生能力培养为原则,以编出特色教材、精品教材为指导思想,注意教材的立体化建设,在教材的体系上下功夫。编写过程中,每部教材都经过主编和参编辛勤认真的编写和主审专家的严格把关,使本套教材既继承老教材的特点,又适应新形势下教改的要求,保证了教材的系统性和精品化,体现了创新教育、能力教育、素质教育教学理念,有效激发学生自主学习能力,提高学生的综合素质和创新能力,为培养出符合社会需要的优秀人才服务。丛书的出版对高校的教材建设、特别是精品课程及其教材的建设起到了推动作用。

衷心祝贺国防工业出版社和所有参编人员为我国高等教育提供了这样一套有水平、有特色、高质量的机械工程学科规划教材,并希望编写者和出版者在与使用者的沟通过程中,认真听取他们的宝贵意见,不断提高该套规划教材的水平!

中国工程院院士

2008年6月

前 言

机、电、光、液一体化技术应用于现代机械,构成了现代机械产品的重要特点。其中“液”指利用流体传动与控制技术实现将机器原动机输出的机械能(动力和运动)传递给工作执行机构的中间传动环节。本书所讨论的液压与气动传动即为流体传动与控制技术。

多年来液压传动技术一直以一门独立的课程被各普通高校教学采用,很少将其作为机、电、光、液一体化技术的一个有机组成部分来看待。本书在内容上力图体现一体化技术理念,并作了初步尝试,在典型液、气传动系统应用相关章节中小有体现。为突出实践性教学,本书在系统设计和计算、系统的安装、使用和维护等内容上略有加强。

本书包括液压传动和气动传动两大部分内容。第一章至第十章为液压传动部分,包括液压流体力学基础知识、液压泵、液压马达与液压缸、液压控制元件、液压辅助元件、液压基本回路、典型液压系统分析、液压传动系统设计与计算,以及液压系统的安装、使用与维护。第十一章至第十三章为气动技术部分,包括气动传动的基础知识、气动传动的气源装置和气动元件、气动传动基本回路及系统应用实例等。

本门课程的教学多媒体课件在网上有很多,读者可以很容易地选择下载,也可登录国防工业出版社网站(www.ndip.cn)下载。为降低学生的购书成本,减轻学习负担,本书不再同书出版多媒体课件,请读者给予谅解。

本书的第一章、第十二章由石望远编写,第二章和第十一章由牛国玲编写,第三章、第四章由王永进编写,第五章、第六章由李斌编写,第七章和第十三章由黄伟华编写,第八章、第九章由何涛编写,第十章由郑广花编写。全书由石望远主编并统稿,李斌和郑广花为副主编。

全书由太原理工大学周文教授主审。他详细、认真地审阅了书稿,提出了许多宝贵意见和建议,在此谨向周教授表示诚挚的感谢。

本书作为由国防工业出版社组织编写的普通高校机械学科系列教材中的一本出版,编者深感荣幸。由于我们的水平有限,书中难免有疏误和缺陷,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年2月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 液压与气动传动工作原理	1
一、力的放大效应	1
二、速度关系	2
第二节 液压与气动传动系统的组成和图形符号	2
第三节 液压与气动传动的优缺点	4
一、液压传动的优缺点	4
二、气动传动的优缺点	4
参考文献	5
第二章 流体力学基础知识	6
第一节 液压传动工作介质	6
一、液压油的性质	6
二、液压油的种类及选用	10
第二节 液体静力学	15
一、液体静压力及其特性	15
二、静压力基本方程	16
三、压力的单位及表示方法	17
四、帕斯卡原理	17
五、液压静压力对固体壁面的作用力	18
第三节 液体动力学	18
一、基本概念	19
二、连续性方程	23
三、伯努利方程	24
四、动量方程	28
第四节 管道内压力损失的计算	29
第五节 小孔及间隙流动	32
一、小孔流动	32
二、间隙流动	34
三、流经平行圆盘间隙的径向流动	37
四、圆锥状环形间隙流动	38
第六节 液压冲击及空穴现象	39
一、液压冲击	39

二、空穴现象	41
本章小结	42
习题	43
参考文献	45
第三章 液压泵	46
第一节 液压泵概述	46
一、液压泵的基本工作原理	46
二、液压泵的性能参数	47
三、液压泵的特性曲线	48
四、液压泵的分类	48
五、液压泵的图形符号	49
第二节 齿轮泵	49
一、外啮合齿轮泵	49
二、内啮合齿轮泵	54
三、螺杆泵	54
第三节 叶片泵	55
一、双作用叶片泵	55
二、单作用叶片泵	59
第四节 柱塞泵	61
一、轴向柱塞泵	62
二、径向柱塞泵	66
第五节 液压泵的使用	67
一、液压泵的选用	67
二、液压泵的工作特点	68
本章小结	69
习题	69
参考文献	70
第四章 液压马达与液压缸	71
第一节 液压马达	71
一、液压马达概述	71
二、高速液压马达	73
三、低速液压马达	75
第二节 液压缸	78
一、活塞式液压缸	78
二、柱塞式液压缸	81
三、摆动式液压缸	81
四、其他形式液压缸	82
五、液压缸的结构	84
六、液压缸主要尺寸的确定	87

本章小结	88
习题	88
参考文献	89
第五章 液压控制元件	90
第一节 液压阀概述	90
一、液压阀的基本结构与原理	90
二、液压阀的分类	90
三、液压阀的性能参数	92
四、对液压阀的基本要求	93
第二节 压力控制阀	93
一、溢流阀	93
二、减压阀	98
三、顺序阀	100
四、压力继电器	101
第三节 方向控制阀	102
一、单向阀	102
二、换向阀	104
第四节 流量控制阀	113
一、流量控制原理	113
二、节流阀	114
三、调速阀	115
四、分流集流阀	118
第五节 新型控制阀	120
一、插装阀	120
二、叠加阀	124
三、伺服阀	124
四、电液比例阀	130
五、电液数字阀	134
实验:溢流阀启闭特性测定	136
本章小结	137
习题	138
参考文献	140
第六章 液压辅助元件	141
第一节 油箱	141
一、油箱的基本功能	141
二、油箱结构特点	141
第二节 滤油器	142
一、滤油器的分类	142
二、滤油器的选用	144

三、滤油器的安装位置	144
第三节 蓄能器	145
一、蓄能器的结构形式	145
二、蓄能器的功能	146
二、蓄能器的容量计算	147
第四节 密封装置	148
一、对密封装置的要求	148
二、密封装置的分类及特点	149
第五节 其他辅助元件	152
一、管道	152
二、管接头	153
三、冷却器与加热器	154
本章小结	155
习题	155
参考文献	156
第七章 液压基本回路	157
第一节 方向控制回路	157
一、换向回路	157
二、锁紧回路	158
三、制动回路	159
第二节 压力控制回路	160
一、调压回路	160
二、减压回路	161
三、增压回路	161
四、卸荷回路	162
五、保压回路	163
六、平衡回路	164
第三节 流量控制回路	165
一、调速回路	165
二、快速运动回路	176
三、速度换接回路	178
第四节 多缸动作控制回路	179
一、顺序动作回路	179
二、同步回路	181
三、多缸快慢速互不干扰回路	182
本章小结	184
习题	184
参考文献	186

第八章 典型液压系统分析	187
第一节 工业机械手液压传动系统	187
一、概述	187
二、JS01 工业机械手液压系统原理及特点	188
第二节 组合机床动力滑台液压系统	190
一、概述	190
二、YT4543 型动力滑台液压系统的工作原理	190
三、YT4543 型组合机床动力滑台液压系统的特点	191
第三节 塑料注塑成型机液压系统	193
一、概述	193
二、系统工作原理	194
三、系统性能分析	197
第四节 汽车动力转向液压系统	198
一、概述	198
二、动力转向装置的功用、组成及类型	199
三、汽车动力转向液压系统的特点	202
第五节 数控车床液压系统	202
一、工作原理	202
二、特点	204
本章小结	204
习题	204
参考文献	205
第九章 液压传动系统设计与计算	206
第一节 液压传动系统主要工作参数的确定	206
一、明确设计要求进行工况分析	206
二、确定液压系统主要参数	210
第二节 拟定液压系统原理图	211
一、所用液压执行元件的类型	211
二、液压回路的选择	212
三、液压回路的综合	212
第三节 液压元件的选择	212
一、泵与所需功率的计算	212
二、阀类元件的选择	214
三、辅助元件的选择	214
第四节 液压系统性能的验算	216
一、管路系统压力损失的验算	217
二、系统发热温升的验算	217
三、系统效率的验算	218
第五节 绘制工作图和编写技术文件	219

一、绘制工作图	219
二、编写技术文件	219
第六节 液压系统设计计算实例	219
一、双机液压台车的结构、工作性能及对液压系统的技术要求	219
二、确定系统方案和拟订液压系统原理	220
三、选择液压执行元件和计算工作参数	221
四、确定系统的工作压力和流量	222
五、选择液压泵和电动机	223
六、选择控制阀	223
七、选择辅助装置	223
八、编制明细表	224
第七节 CAD 在液压系统设计中的应用	225
本章小结	225
习题	225
参考文献	226
第十章 液压系统的安装、使用与维护	227
第一节 液压系统的安装与调试	227
一、液压系统的安装	227
二、液压系统的调试	230
第二节 液压系统的使用与维护	232
一、液压系统日常使用要求	232
二、液压系统的维护	233
第三节 液压系统故障诊断与排除	234
一、液压系统故障的特点	235
二、液压系统常见故障、产生原因和排除的方法	236
本章小结	238
习题	239
参考文献	239
第十一章 气压传动的基础知识	240
第一节 空气的物理性质	240
一、空气的特性	240
二、湿度和含湿量	241
第二节 气体的状态方程及其变化过程	242
一、理想气体状态方程	242
二、气体状态变化过程	242
第三节 气体流动规律	244
一、运动方程	244
二、连续性方程	244
三、能量方程	244

四、通流能力	244
五、充气、放气温度与时间的计算	246
本章小结	246
习题	247
参考文献	247
第十二章 气压传动的气源装置和气动元件	248
第一节 气源装置	248
一、气压发生装置	248
二、压缩空气净化、储存装置	252
三、压缩空气输送管道系统	260
第二节 气动传动系统执行元件	261
一、汽缸	261
二、气马达	265
第三节 普通气动控制阀	266
一、压力控制阀	267
二、方向控制阀	267
三、流量控制阀	273
本章小结	273
习题	275
参考文献	276
第十三章 气动传动基本回路及系统应用实例	277
第一节 气动传动基本回路	277
一、换向回路	277
二、压力控制回路	278
三、速度控制回路	279
四、气液联动回路	282
五、安全保护回路	282
六、延时回路	283
七、往复动作回路	283
第二节 气动传动系统应用实例	284
一、气动机械手	284
二、气液动力滑台气压传动系统	285
三、工件夹紧气压传动系统	286
本章小结	287
习题	287
参考文献	287
附录 常用液压与气动元件图形符号(GB/T 786.1—93)	288

第一章 绪 论

机、电、光、液一体化技术应用于现代机械,构成了现代机械产品的重要特点。其中“液”指利用流体传动与控制技术实现将机器原动机输出的机械能(动力和运动)传递给工作执行机构的中间传动环节。本书所讨论的液压与气动传动即为流体传动与控制技术。

流体传动以流体(液体或气体)为工作介质实现能量传递和控制。按工作介质不同有液体传动和气动传动之分。按工作原理不同,液体传动分为液力传动和液压传动。液力传动是利用液体的动能传递动力和能量转换;液压传动是利用液体的静压能来传递和控制动力及运动。气动传动是利用压缩空气的静压能传递及控制动力和运动。液压与气动技术在各类机械上得到了广泛应用,在冶金机械、机床、工程机械、矿山机械上已成为主要的传动方式。

本章介绍液压与气动传动的的基本工作原理,系统的组成及表示方法,液压与气动传动的优缺点等。

第一节 液压与气动传动工作原理

液压传动与气动传动的工作原理是相似的。现以液压千斤顶为例,简述液压传动的基本工作原理。

图 1-1 为液压千斤顶工作原理图。当提起手柄 1 使小液压缸 2 的活塞向上运动时,小液压缸下腔容积增大而形成负压,油箱 5 中的油液在大气压力作用下经进油管单向阀 4 进入小液压缸下腔,此时出油管上的单向阀 3 在液压力作用下关闭。当向下按压手柄使小液压缸的活塞向下运动时,小液压缸下腔容积减小,油液受挤压而压力升高,单向阀 4 关闭,而出油管上的单向阀 3 被顶开,油液经此油管压入大液压缸 7 下腔,推动大活塞上移顶起重物。如此不断提压手柄,油液便不断进入大液压缸下腔,活塞将重物逐渐举起。若要将举起重物下移,只需打开截止阀 6,大液压缸下腔油液在重物作用下排回油箱,大活塞下移,重物回到原始位置。

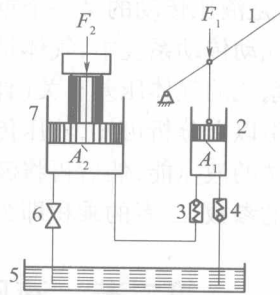


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

液压千斤顶之所以能举起重物,是由液压传动的特性所决定的。现就系统中的力、运动速度和功率的传递关系,对液压传动系统的基本特性分析如下。

一、力的放大效应

如图 1-1 所示,假设大液压缸活塞面积为 A_2 ,作用在大活塞上的负载重力为 F_2 ,则

该力在大液压缸下腔产生的压力为 $p = F_2/A_2$ 。根据帕斯卡原理,在密闭的容器内,施加在静止液体上的压力等值传递到液体各点,此力会以同样大小传递给作用面积为 A_1 的小液压缸活塞上。为了克服负载 F_2 举起重物,手柄杠杆作用在小液压缸活塞上的力应为

$$F_1 = pA_1 = F_2A_1/A_2 \quad (1-1)$$

由式(1-1)可看出,如果 A_1/A_2 值很小,即 A_1 很小, A_2 很大,则只需很小的力 F_1 便能克服很大的负载 F_2 ,将重物举起。可见这是一个力的放大机构,即液压传动力放大效应。同时还可以看出,负载 F_2 越大,液压缸压力 p 也越大。说明系统的工作压力是由负载决定的,这是液压传动的一个重要特性。

二、速度关系

如果不考虑液体的可压缩性、泄露及管路的变形,小液压缸排除的液体体积应等于进入大液压缸的液体体积。设小液压缸活塞的位移为 h_1 ,大液压缸活塞的位移为 h_2 ,则

$$h_1A_1 = h_2A_2$$

两边同除时间 t 得到

$$v_2 = v_1A_1/A_2 \quad (1-2)$$

式中 v_1 ——小液压缸活塞的运动速度;

v_2 ——大液压缸活塞的运动速度。

两液压缸活塞面积 $A_2 > A_1$,则 $v_2 < v_1$,由此可见,它又是一个速度变换机构,其速度的变换和传递是按照液体容积变化相等的原则实现的。

由式(1-2)可得

$$q_2 = v_2A_2 = v_1A_1 = q_1 \quad (1-3)$$

式中 q_1 ——小液压缸输出的流量;

q_2 ——大液压缸输入的流量。

式(1-3)表明,大液压缸活塞的运动速度只取决于输入流量的大小,与负载重量无关,这是液压传动的又一个重要特性。

气动传动系统中,气体是可压缩的,汽缸活塞的运动速度不仅取决于输入气体流量,还与系统的气体压差有关(详见第十二章)。

由以上分析可知,液压传动系统本质上是一种能量转换装置,它先将机械能转换成便于输送的液压能,然后再将液压能转换成机械能做功。压力和流量是液压传动的两个最基本的参数,二者的乘积即为液压传动的功率。

第二节 液压与气动传动系统的组成和图形符号

液压千斤顶工作原理图中的小液压缸也可称为液压泵,由它产生油液的运动和压力;大液压缸即为系统的执行元件,完成举起重物的运动。工程实际中的液压传动系统,除了液压泵和液压执行元件外,还需要设置液压控制元件来控制油液的运动,以实现执行元件运动方向、运动速度和驱动力的控制,同时还可设置必要的辅助元件以保证系统正常工作。

图 1-2 为一机床工作台液压传动系统图,通过它可以了解一般液压传动系统应具备

的基本功能和基本组成。在图 1-2(a)中,液压泵 3 由电动机(图中未画出)驱动旋转,从油箱 1 中吸油。油液经过滤器 2 过滤后吸入液压泵,液压泵输出压力油。压力油经节流阀 4、换向阀 5 和管路 6 进入液压缸 7 的左腔,推动活塞带动工作台 8 向右运动。此时,液压缸右腔的油液通过换向阀经回油管排回油箱。

如果将换向阀手柄扳到左位,使换向阀处于图 1-2(b)所示状态,则压力油被换向,进入液压缸右腔,推动活塞连同工作台 8 向左运动。同时,液压缸左腔的油液经换向阀排回油箱。图 1-2(c)该液压传动系统的符号表达油路图。

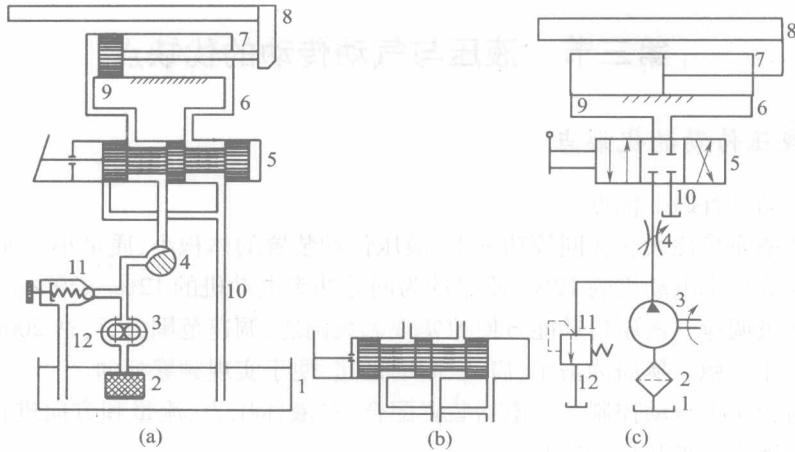


图 1-2 机床工作台液压传动系统图

系统压力调定后,工作台的移动速度是通过节流阀 4 调节的。调节节流阀开口的大小,即可调整进入液压缸的油液流量,从而控制活塞及工作台的移动速度。

液压缸的工作压力是由负载决定的。液压泵出口压力由溢流阀 11 调定,其调定值应为液压缸最大工作压力与系统压力损失之和。系统压力一旦调定,液压缸的最大推力即被确定。当系统油压达到溢流调定值时,溢流阀排油口打开,多余的流量排回油箱,从而稳定油压。同时还能对系统起到过载保护作用。

从上述实例可以看出,液压传动系统由以下五部分组成。

(1) 动力元件:液压泵,它将机械能转换成液压能,为液压系统提供压力油,是系统的动力源。

(2) 执行元件:把油液的液压能转换成机械能输出的装置。它可以是作直线运动的液压缸,也可以是作回转运动的液压马达或摆动缸。

(3) 控制元件:对系统中的油液压力、流量和流动方向进行控制和调节的构件。如上例中的溢流阀、节流阀和换向阀。

(4) 辅助元件:油箱、油管、过滤器以及各种指示器和控制仪表等。它们的作用是提供必要的条件使系统正常工作和便于监测控制。

(5) 工作介质:液压油,系统通过它实现运动和动力的传递。

气动传动系统与液压传动系统的组成相似。动力源为输出压缩空气的气泵,执行元件是汽缸或气马达,控制元件是气动换向阀、调压阀、单向节流阀等,辅助元件是分水过滤器、油雾器、消声器、管件及气动逻辑元件等,工作介质为压缩空气。

图 1-2(a)和(b)所示系统图是一种半结构式的工作原理图,它直观性强,便于理解,但绘制起来比较麻烦,系统中元件数量多时更是如此。为了简化液压与气动传动系统的表达方式,在工程实际中通常采用国家标准规定的图形符号来绘制系统原理图。图形符号不表达元件的具体结构,只表示元件的具体职能,从而使整个系统的原理简单明了,易于绘制。我国于 1993 年就已制定颁布了《液压与气动图形符号标准》(GB/T 786.1—93)(见附录),图 1-2(c)就是按照该国家标准绘制的图 1-2(a)所示系统的工作原理图。

第三节 液压与气动传动的优缺点

一、液压传动的优缺点

液压传动具有以下优点:

- (1) 功率质量比大。在同等功率下,液压传动装置的体积小,质量小。如液压马达的体积约为同等功率电动机的 12%,质量约为同等功率电动机的 12%~20%。
- (2) 无级调速。液压传动能方便地实现无级调速,调速范围大,可达 2000:1。
- (3) 工作平稳。换向冲击小,启动、制动迅速,便于实现频繁换向。
- (4) 易于实现自动控制。与电器装置配合,对液体压力、流量和方向进行控制,易于实现系统的远程操纵和自动控制。
- (5) 易于过载保护。可以方便地使用压力阀控制系统的压力,从而防止过载,避免事故发生。

(6) 标准化、系列化和通用化。液压元件标准化、系列化程度较高,通用性好,便于选择使用,缩短设计、制造周期。

液压传动的缺点是:

- (1) 易出现泄漏。液压系统的油液压力较高,液压油容易通过密封或间隙泄漏,造成油液损失,影响正常传动,并引起环境污染。
- (2) 传动效率低。在能量传递过程中,常存在较多的能量损失(压力损失、流量损失等),传动效率不高,不宜作远距离传动。
- (3) 传动比不准确。由于传动介质的可压缩性、泄漏和管路的弹性变形等因素影响,液压系统不能严格保证定比传动。
- (4) 对温度敏感。油液的黏度随温度变化,引起流量、泄漏量和阻力变化,容易引起工作机构运动不稳定。
- (5) 制造成本高。为了保证液压元件的工作可靠性,减少泄漏,其制造精度要求较高,生产成本低,价格较高。

二、气动传动的优缺点

气动传动与液压传动相比,有一些独特的优点:

- (1) 气动传动中使用的压缩空气取自大气,无传动介质成本。将用过的气体直接排入大气,不会污染环境。

(2) 压缩空气的工作压力较低(一般为 $0.3\text{MPa} \sim 0.8\text{MPa}$),对元件材料和制造精度的要求较低。

(3) 空气的黏度很小,在管路流动过程中的压力损失远远小于液压传动,压缩空气便于集中供应和远程传输。

(4) 使用方便、安全,维护简单。

气动传动的缺点为:

(1) 气动传动装置的信号传递较慢,限制在声速内,因此其工作频率和响应速度远不如电子装置,并且气动信号会产生较大的失真和迟滞,不便于构成较复杂的回路,不宜远距离信号传递与控制。

(2) 空气的可压缩性远大于液压油,因此动作的响应能力和速度的平稳性均不如液压传动,且难以实现定量的流量控制。

(3) 气动传动的输出力较小,载荷能力较低,传动效率较低。

总的来看,液压传动与气动传动的优点是主要的,它的缺点将随科学技术的进步,逐步得到改善和克服。

参 考 文 献

- [1] 左健民. 液压与气压传动. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 许福玲,陈尧明. 液压与气压传动. 北京:机械工业出版社,2004.
- [3] 李笑. 液压与气压传动. 北京:国防工业出版社,2006.
- [4] 何存兴. 液压与气压传动. 武汉:华中科技大学出版社,2002.

项 目	名 称	编 号	出 版 社
1001	液压传动	1000-026	机械工业出版社
1002	气压传动	1000-026	机械工业出版社
1003	气动传动	1000-026	机械工业出版社