

“十三五”普通高等教育本科规划教材
全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

液压与气压传动

马 恩 李素敏 主编

教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材
全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

液压与气压传动

Hydraulic and Pneumatic Transmission

主 编 马 恩 李素敏



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是针对 21 世纪人才培养和教学改革的需要,配合教育部实施的“质量工程”,在总结国内外众多院校教学实践和科学研究成果的基础上编写的。

本书包含液压传动和气压传动两部分内容,配有多媒体课件,全书共分 16 章。第 1 章讲述液压与气压传动的工作原理、组成、图形符号、优缺点、应用和发展;第 2 章讲述液压传动工作介质的性质和选用;第 3 章讲述液压流体力学基础知识;第 4—第 7 章分别讲述液压动力元件、执行元件、控制元件和辅助元件;第 8 章讲述液压传动基本回路;第 9 章讲述典型液压传动系统分析;第 10 章讲述液压传动系统的设计与计算;第 11—第 16 章分别讲述气压传动基础知识、气源装置和辅助元件、气动执行元件、气动控制元件、气动基本回路和气动控制系统分析。每章都有教学要点、导入案例、重点和难点课堂讨论、本章小结、思考题和习题。

本书可作为高等学校机械设计制造及其自动化、汽车服务工程、动力与车辆工程、机械工程及其自动化和机械电子工程等专业教材,也可供从事液压技术的工程技术人员和研究人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/马恩,李素敏主编. —北京:北京大学出版社,2017.1

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-27628-0

I. ①液… II. ①马…②李… III. ①液压传动—高等学校—教材②气压传动—高等学校—教材
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 236983 号

书 名 液压与气压传动

YEYA YU QIYA CHUANDONG

著作责任者 马 恩 李素敏 主编

责任编辑 童君鑫

标准书号 ISBN 978-7-301-27628-0

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博:@北京大学出版社

电子信箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印 刷 者 三河市北燕印装有限公司

经 销 者 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.5 印张 575 千字

2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价 54.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

前 言

Foreword

本书是作者为了适应我国现代工业自动化飞速发展的要求并满足教学需要，在多年教学、科研和生产实践的基础上总结同类教材的编写经验并汲取本学科国内外最新的教学和科研成就精心组织编写的。

液压与气压传动技术是自动化和智能制造生产中的先进科学技术之一，在现代科学技术发展中占有非常重要的地位。

本书包含液压传动和气压传动两部分内容，全书共分 16 章。每章都有教学要点、导入案例、重点和难点课堂讨论、本章小结；每章附有思考题和习题。本书配有电子课件，使用本教材的任课老师可向作者或出版社索取，邮箱地址：maenmaen@163.com。

在编写本书过程中，贯彻了少而精、系统性强、理论联系实际的原则，注重理论教学和实训教学密切结合，注重学生在知识的应用和解决实际问题的能力及工程应用素质等方面的培养，列举了大量实践的例子，使学生具有独立从事液压气动元件与系统工程设计、制造、安装、调试、试验、维修保养和应用的综合能力。

本书适用于普通工科院校机械类各专业，也适用于各类成人高校和参加自学考试的机械类学生，还可供从事液压与气动的工程技术人员和研究人员学习与参考。

本书由马恩、李素敏担任主编，畅为航、唐友亮、于雷、张元越、安爱琴担任副主编。参加本书编写的有：南阳理工学院马恩教授（第 1、4、6、9、10、16 章），长春工程学院于雷副教授（第 2 章），洛阳拖拉机研究所李素敏高级工程师（第 3、5 章），南阳理工学院畅为航讲师（第 7、8 章），宿迁学院唐友亮副教授（第 11 章），河南科技学院安爱琴讲师（第 12、13 章），湖南工学院崔晓利教授和南阳师范学院马世榜副教授（第 14 章），徐州工程学院张元越副教授（第 15 章）。全书由马恩教授完成英文翻译、统稿和修改定稿。本书由河南科技大学博士生导师周志立教授审阅。

本书是在河南省科技厅重点科技攻关计划项目（142102210313）和河南省教育厅重点科学技术研究计划项目（14A460026）的资助下完成的。

由于编者水平有限和液压气动技术发展迅速，加之时间仓促，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2016 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.2.1 液压传动工作介质污染物的种类	23
1.1 液压与气压传动的研究对象	2	2.2.2 液压传动工作介质污染的原因	23
1.2 液压与气压传动的工作原理及特征	2	2.2.3 液压传动工作介质污染度的测定	24
1.2.1 液压与气压传动的工作原理	2	2.2.4 液压传动工作介质污染度的等级	25
1.2.2 液压与气压传动的特征	4	2.2.5 液压传动工作介质污染的危害	27
1.3 液压传动系统的组成	5	2.2.6 液压传动工作介质污染的控制及措施	28
1.4 液压传动系统的图形符号表示	6	重点和难点课堂讨论	30
1.5 液压传动的控制方式	6	本章小结	30
1.6 液压传动的优缺点	7	思考题和习题	30
1.7 液压传动的应用	8	第 3 章 液压流体力学基础知识	31
1.8 液压传动技术的历史进展和发展趋势	9	3.1 液体静力学基础知识	32
1.8.1 液压传动技术的历史进展	9	3.1.1 液体静压力及特征	32
1.8.2 液压传动技术的发展趋势	10	3.1.2 重力作用下静止液体中的压力分布和静力学基本方程	33
重点和难点课堂讨论	10	3.1.3 帕斯卡原理	34
本章小结	11	3.1.4 绝对压力、相对压力和真空度	35
思考题和习题	11	3.1.5 液体静压力作用在固体壁面上的力	35
第 2 章 液压传动工作介质	12	3.2 流体动力学基础知识	36
2.1 液压传动工作介质的性能和选用	13	3.2.1 流动液体的基本概念	37
2.1.1 液压传动工作介质的分类	13	3.2.2 流量连续性方程	38
2.1.2 液压传动工作介质的物理性能	14	3.2.3 伯努利方程	39
2.1.3 液压传动工作介质的化学性能	19	3.2.4 动量方程	43
2.1.4 对液压传动工作介质的主要性能要求	20	3.3 液体在管路中流动时压力损失	46
2.1.5 液压传动工作介质的选择	20	3.3.1 层流、紊流和雷诺数	46
2.1.6 液压传动工作介质的使用	22	3.3.2 沿程压力损失	48
2.2 液压传动工作介质的污染和控制	23	3.3.3 局部压力损失	50



3.3.4 管路系统总压力损失	51	4.4 柱塞泵	92
3.4 液体流经小孔的流量	52	4.4.1 斜盘式轴向柱塞泵	92
3.5 液体流经缝隙的流量	54	4.4.2 通轴式轴向柱塞泵	95
3.6 液压冲击	62	4.4.3 斜轴式轴向柱塞泵	96
3.7 空穴现象	66	4.4.4 径向柱塞泵	97
重点和难点课堂讨论	67	4.4.5 柱塞泵的主要性能	99
本章小结	67	4.4.6 柱塞泵的优缺点	99
思考题和习题	67	4.5 各类液压泵的主要性能及应用	99
第4章 液压动力元件	69	重点和难点课堂讨论	100
4.1 液压泵概述	70	本章小结	100
4.1.1 液压泵的工作原理	70	思考题和习题	100
4.1.2 液压泵的分类	71	第5章 液压执行元件	102
4.1.3 液压泵的图形符号	71	5.1 液压马达概述	103
4.1.4 液压泵的基本性能参数和计算公式	71	5.1.1 液压马达的特点和分类	103
4.1.5 液压泵的特性曲线和检测	73	5.1.2 液压马达的基本性能参数	104
4.2 齿轮泵	75	5.2 高速液压马达	105
4.2.1 外啮合齿轮泵的工作原理	75	5.2.1 齿轮液压马达	106
4.2.2 外啮合齿轮泵的排量和流量计算	75	5.2.2 叶片液压马达	106
4.2.3 外啮合齿轮泵的结构特点分析	76	5.2.3 轴向柱塞液压马达	106
4.2.4 提高外啮合齿轮泵工作压力的措施	78	5.3 低速液压马达	107
4.2.5 渐开线内啮合齿轮泵	80	5.3.1 单作用曲轴连杆径向柱塞液压马达	107
4.2.6 摆线内啮合齿轮泵	81	5.3.2 多作用内曲线径向柱塞液压马达	108
4.2.7 配装有溢流阀的内啮合齿轮泵	82	5.4 液压缸	110
4.2.8 齿轮泵的主要性能	82	5.4.1 液压缸的分类及特点	110
4.2.9 齿轮泵的优缺点	83	5.4.2 液压缸的结构形式及安装方式	112
4.2.10 螺杆泵	83	5.4.3 液压缸的设计与计算	118
4.2.11 螺杆泵的主要性能	84	5.4.4 液压缸的安装和常见故障分析及排除方法	122
4.2.12 螺杆泵的优缺点	84	5.5 数字控制液压缸和模拟控制液压缸	124
4.3 叶片泵	84	5.5.1 数字控制液压缸	124
4.3.1 双作用叶片泵	84	5.5.2 模拟控制液压缸	125
4.3.2 单作用叶片泵	87	重点和难点课堂讨论	125
4.3.3 限压式变量叶片泵	89	本章小结	126
4.3.4 叶片泵的主要性能	92	思考题和习题	126
4.3.5 叶片泵的优缺点	92		

第 6 章 液压控制元件	127
6.1 液压控制阀概述	129
6.1.1 液压控制阀的基本结构和 工作原理	129
6.1.2 液压控制阀的分类	129
6.1.3 液压控制阀的基本性能 参数	130
6.1.4 对液压控制阀的 基本要求	130
6.2 方向控制阀	131
6.2.1 单向阀	131
6.2.2 换向阀	133
6.3 压力控制阀	140
6.3.1 溢流阀	140
6.3.2 顺序阀	145
6.3.3 减压阀	147
6.3.4 压力继电器	150
6.4 流量控制阀	151
6.4.1 节流口的形式和 流量特性	152
6.4.2 节流阀	154
6.4.3 调速阀	155
6.4.4 旁通式调速阀	156
6.4.5 分流集流阀	158
6.4.6 限速切断阀	160
6.5 叠加阀	161
6.6 多路阀	162
6.7 插装阀	163
6.8 电液比例控制阀	167
6.8.1 电液比例控制阀的 主要性能指标	167
6.8.2 电液比例压力控制阀	169
6.8.3 电液比例流量控制阀	170
6.8.4 电液比例方向控制阀	172
6.9 电液数字控制阀	173
6.9.1 增量式电液数字控制阀	173
6.9.2 脉宽调制式电液数字 控制阀	174
6.10 电液伺服控制阀	176

6.10.1 液压伺服控制元件的 基本类型	176
6.10.2 机液伺服控制阀	180
6.10.3 电液伺服控制阀	180
重点和难点课堂讨论	184
本章小结	184
思考题和习题	184
第 7 章 液压辅助元件	187
7.1 液压密封装置	188
7.1.1 对密封装置的基本要求	188
7.1.2 密封件的分类	188
7.1.3 常用密封件的材料	190
7.1.4 常用密封件的结构与 性能	190
7.2 液压油箱	197
7.2.1 液压油箱的功能与类型	197
7.2.2 液压油箱容积的计算	198
7.2.3 液压油箱的设计要点	199
7.3 加热器	200
7.4 冷却器	200
7.4.1 无冷却介质冷却器	201
7.4.2 有冷却介质冷却器	201
7.4.3 冷却器的计算	201
7.5 管道及管接头	203
7.5.1 管道的种类及材料	203
7.5.2 管道内径及壁厚的确定	204
7.5.3 管道安装要求	205
7.5.4 管接头	205
7.6 过滤器	209
7.6.1 过滤器的基本性能参数	209
7.6.2 过滤器的分类和 结构特点	210
7.6.3 过滤器的选用	213
7.6.4 过滤器的安装	214
7.7 蓄能器	215
7.7.1 蓄能器的类型、结构和 工作原理	215
7.7.2 蓄能器参数的计算	217
7.7.3 蓄能器的安装和选用	219



重点和难点课堂讨论	219	9.1.3 全液压挖掘机液压传动系统的主要特点	267
本章小结	220	9.2 XS-ZY-250A型塑料注射成型机液压传动系统分析	268
思考题和习题	220	9.2.1 概述	268
第8章 液压传动基本回路	222	9.2.2 塑料注射成型机液压传动系统及其工作原理	269
8.1 速度控制回路	224	9.2.3 塑料注射成型机液压传动系统的主要特点	273
8.1.1 速度控制回路概述	224	9.3 3150kN 液压机液压传动系统分析	273
8.1.2 节流调速回路	225	9.3.1 概述	273
8.1.3 容积调速回路	230	9.3.2 液压机液压传动系统及其工作原理	274
8.1.4 容积节流调速回路	234	9.3.3 液压机液压传动系统的主要特点	278
8.1.5 快速运动回路	237	9.3.4 液压机插装阀集成液压传动系统及其工作原理	278
8.1.6 速度换接回路	238	9.4 YT4543型组合机床动力滑台液压传动系统分析	282
8.2 压力控制回路	240	9.4.1 概述	282
8.2.1 调压回路	240	9.4.2 YT4543型组合机床动力滑台液压传动系统工作原理	283
8.2.2 卸荷回路	241	9.4.3 YT4543型组合机床动力滑台液压传动系统特点	285
8.2.3 减压回路	243	9.5 Q2-8型汽车起重机液压传动系统分析	286
8.2.4 增压回路	243	9.5.1 概述	286
8.2.5 保压回路	244	9.5.2 Q2-8型汽车起重机液压传动系统工作原理	287
8.2.6 释压回路	245	9.5.3 Q2-8型汽车起重机液压传动系统特点	289
8.2.7 平衡回路	246	9.6 计算机电液控制技术分析	289
8.3 方向控制回路	247	9.6.1 概述	289
8.3.1 换向回路	247	9.6.2 液压泵控制容积调速计算机电液控制系统组成	290
8.3.2 锁紧回路	248	9.6.3 液压泵控制容积调速计算机电液控制系统硬件设计	290
8.3.3 浮动回路	248	9.6.4 液压泵控制容积调速计算机电液控制系统软件设计	291
8.3.4 制动回路	249		
8.4 多执行元件运动控制回路	250		
8.4.1 多路换向阀控制回路	250		
8.4.2 顺序运动回路	251		
8.4.3 同步运动回路	253		
8.4.4 互不干扰回路	256		
重点和难点课堂讨论	258		
本章小结	258		
思考题和习题	259		
第9章 典型液压传动系统分析	261		
9.1 1m ³ 单斗全液压挖掘机液压传动系统分析	264		
9.1.1 概述	264		
9.1.2 全液压挖掘机液压传动系统及其工作原理	265		

9.7 带钢光电液伺服跑偏控制 系统分析	292	本章小结	328
9.7.1 概述	292	思考题和习题	328
9.7.2 带钢光电液伺服跑偏控制 系统组成及工作原理	292	第 12 章 气源装置和辅助元件	329
9.8 液压助力器伺服控制系统分析	294	12.1 气源装置	329
9.9 $\phi 710$ 盘式热分散机电液比例流量和 压力液压传动系统分析	295	12.1.1 气源装置的组成及 工作原理	330
9.9.1 概述	295	12.1.2 空气压缩机	330
9.9.2 $\phi 710$ 盘式热分散机液压传动 系统组成及工作原理	295	12.1.3 压缩空气净化设备	332
9.9.3 $\phi 710$ 盘式热分散机液压传动 系统的主要特点	296	12.2 辅助元件	334
重点和难点课堂讨论	297	12.2.1 分水过滤器	335
本章小结	297	12.2.2 油雾器	335
思考题和习题	297	12.2.3 消声器	337
第 10 章 液压传动系统的设计与 计算	299	本章小结	338
10.1 液压传动系统设计要求及 工况分析	309	思考题和习题	338
10.2 确定液压传动系统 主要性能参数	311	第 13 章 气动执行元件	339
10.3 液压传动系统方案设计	314	13.1 气缸	340
10.4 液压元件的计算与选择	316	13.1.1 气缸的分类	340
10.5 液压传动系统的性能验算	317	13.1.2 典型气缸的工作原理	340
10.6 绘制工作图和编写技术文件	319	13.1.3 气缸的输出力和耗气量 计算	344
重点和难点课堂讨论	320	13.2 气动马达	345
本章小结	320	13.2.1 气动马达的分类	345
思考题和习题	320	13.2.2 典型气动马达的 工作原理	346
第 11 章 气压传动基础知识	322	13.2.3 气动马达工作特性与 工作压力的关系	346
11.1 概述	322	本章小结	347
11.1.1 气压传动系统的组成及 工作原理	323	思考题和习题	347
11.1.2 气压传动的优缺点	324	第 14 章 气动控制元件	348
11.1.3 气压传动的应用和发展	325	14.1 方向控制阀	349
11.2 气动工作介质的性质	325	14.1.1 单向阀	349
11.2.1 气动工作介质的组成	325	14.1.2 换向阀	351
11.2.2 气动工作介质的基本状态 参数	325	14.2 压力控制阀	353
		14.2.1 安全阀	354
		14.2.2 减压阀	354
		14.2.3 单向顺序阀	356
		14.3 流量控制阀	357



14.3.1 节流阀	357
14.3.2 单向节流阀	357
14.3.3 排气消声节流阀	358
本章小结	359
思考题和习题	359
第 15 章 气动基本回路	360
15.1 速度控制回路	361
15.2 压力控制回路	362
15.3 方向控制回路	363
15.4 气—液联动控制回路	365
15.5 连续往复运动回路	366
本章小结	366
思考题和习题	366
第 16 章 气动控制系统分析	367
16.1 气动控制系统举例	370
16.1.1 工件夹紧气动控制 系统分析	370
16.1.2 数控加工中心换刀气动 控制系统分析	371
16.2 气动行程程序控制系统的 $X-D$ 线图法设计	372
16.3 气动控制系统的安装、调试、使用与 维修	373
重点和难点课堂讨论	379
本章小结	379
思考题和习题	380
参考文献	381

第 1 章

绪 论

Chapter1 Introduction



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
静压传递原理	熟练掌握帕斯卡原理在液压与气压传动中的应用	液压与气压传动的工作原理
两个重要特征	熟练掌握与运用“系统压力取决于外负载”和“外负载的运动速度取决于流量”这两个重要特征	液压与气压传动的特征



导入案例

如图 1 所示的大小两个液压缸由连通管相连构成密闭容器。已知大液压缸内径 $D=200\text{mm}$ ，小液压缸内径 $d=20\text{mm}$ ，大活塞上的外负载力 $F_1=20000\text{N}$ ，要想使大活塞顶起重物需要在小活塞上施加多大的推力 F_2 ？

解：大小两个液压缸活塞面积分别为

$$A_1 = \frac{\pi D^2}{4} \quad A_2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

根据帕斯卡原理可知，由外负载力产生的液体压力在两缸中相等，即

$$p = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} = \frac{4F_2}{\pi d^2} = \frac{4F_1}{\pi D^2}$$



故顶起重物时在小活塞上应施加的推力为

$$F_2 = \frac{d^2}{D^2} F_1 = \frac{(20\text{mm})^2}{(200\text{mm})^2} \times 20000 \text{ N} = 200\text{N}$$

上式表明,只要大小两个液压缸活塞面积之比 A_1/A_2 足够大,用很小的推力 F_2 就可以产生很大的推力 F_1 。这说明液压传动装置具有力的放大作用,液压压力机和液压千斤顶就是根据这一原理制成的。

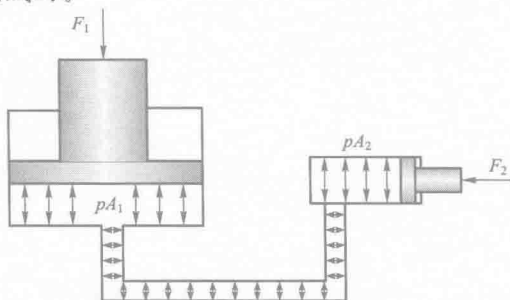


图1 帕斯卡原理应用实例

(FIGURE1 Application example of Pascal' s Law)

1.1 液压与气压传动的研究对象 (Study on hydraulic and pneumatic transmission)

液压与气压传动(Hydraulic and pneumatic transmission)被称为流体传动与控制(Fluid transmission and control),是研究以有压流体为传动介质来实现各种机械的传动和控制的学科。液压与气压传动技术是机电领域发展速度最快的技术之一。

液压传动与气压传动实现传动和控制的方法是基本相同的,它们都是基于流体力学的帕斯卡原理,利用各种控制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传动和控制系统,从而实现能量的传递、转换与控制。

用液体作工作介质进行能量传递和控制的称为液体传动。按其工作原理的不同,液体传动又被分为液压传动(静液压传动)(Hydrostatic pressure transmission)和液力传动(动液压传动)(Hydrokinetic energy transmission)。静液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量;动液压传动主要是利用液体的动能来传递能量。

用气体作工作介质进行能量传递和控制的称为气压传动(Pneumatic transmission)。气压传动所用的工作介质是空气。

1.2 液压与气压传动的工作原理及特征 (Operating principles and features of hydraulic and pneumatic transmission)

1.2.1 液压与气压传动的工作原理(Operating principles of hydraulic and pneumatic transmission)

液压与气压传动的工作原理基本相似,是根据17世纪法国物理学家帕斯卡(Blaise

Pascal)提出的液体静压力传动原理来实现的。现以图 1.1 所示的液压千斤顶(Hydraulic jack)为例,简述液压传动的工作原理。

如图 1.1 所示,当使液压千斤顶的杠杆 1 向上移动时,小液压缸 2 中的小活塞 3 向上移动,小液压缸 2 无杆腔内的容积增大形成局部真空,排油单向阀 13 关闭。液压油箱 6 中液体在大气压力作用下,经吸油管 5 打开进油单向阀 4 流入小液压缸 2 无杆腔;当使杠杆 1 向下移动时,小活塞 3 受驱动力 F_1 的作用,向下移动 s_1 的位移量,小液压缸 2 无杆腔容积减小,油液受挤压,压力 p 升高,关闭进油单向阀 4,打开排油单向阀 13,油液经压油管 12 流入大液压缸 10 无杆腔,使大活塞 9 上移 s_2 的位移量,克服重物即外负载 11 的重力 F_2 而做功,即完成一次压油动作;如此不断地使杠杆 1 上下移动,就会有油液不断地流入大液压缸 10 无杆腔,使外负载 11 逐渐举升;当停止杠杆 1 的上下运动时,大液压缸 10 无杆腔中的油压 p 关闭排油单向阀 13,使油液不能倒流,大活塞 9 和外负载 11 就停止在举升位置被锁住不动;当需要大活塞 9 和外负载 11 向下返回到原始位置时,就打开截止阀 8,在外负载 11 重力 F_2 的作用下,大液压缸 10 无杆腔的液体经截止阀 8 和回油管 7 流回液压油箱 6,大活塞 9 和外负载 11 即可回到原始位置。这就是液压千斤顶的工作原理。

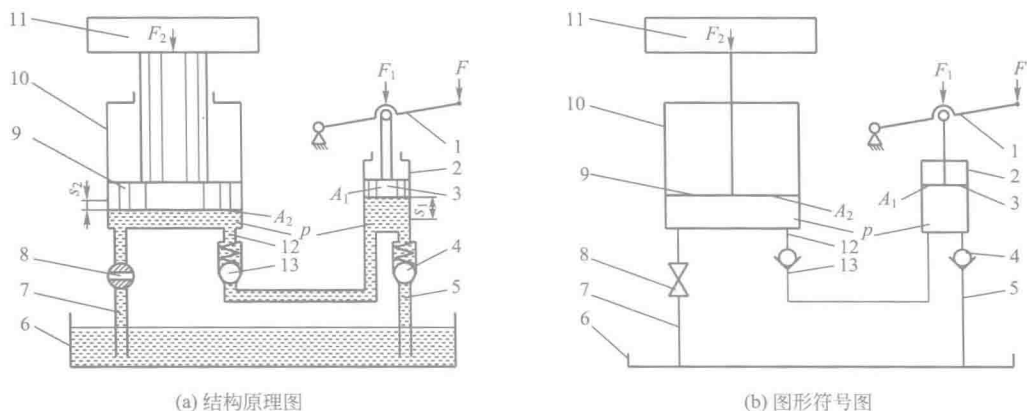


图 1.1 液压千斤顶工作原理图

(FIGURE 1.1 Schematic illustration of operating principles of hydraulic jack)

- 1—杠杆; 2—小液压缸(手动液压泵); 3—小活塞; 4—进油单向阀;
5—吸油管; 6—液压油箱; 7—回油管; 8—截止阀; 9—大活塞;
10—大液压缸(执行元件); 11—重物(外负载);
12—压油管; 13—排油单向阀

由液压千斤顶的工作原理可知,小液压缸 2 被称为手动液压泵(Hand hydraulic pumps),它与进油单向阀 4 和排油单向阀 13 一起完成吸油与压油,将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出。大液压缸 10 被称为举升液压缸即执行元件,它将油液的压力能转换为机械能输出,顶起外负载 11。图 1.1 中的所有元件组成了一个最简单的液压传动系统,实现了力和运动的传递。



1.2.2 液压与气压传动的特征 (Features of hydraulic and pneumatic transmission)

液压与气压传动具有以下两个基本特征。

1. 按照帕斯卡原理(静压传递原理)进行力(或力矩)的传递 (Force or torque transmission with respect to Pascal's Law or Hydrostatic Pressure Transmission Theory)

在液压千斤顶工作的过程中,进油单向阀 4 和小活塞 3 无杆腔通过管路与大活塞 9 无杆腔和截止阀 8 之间形成了密闭的工作容积,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到液体各点”的描述,密闭容器内液体的压力 p 即液压泵的排油压力,又称为系统压力。其平衡方程式为

➤ The effect of a force acting on stationary liquid spreads within the liquid. The amount of pressure in the liquid is equal to the acting force, with respect to the area being acted upon. The pressure always acts at right angles to the limiting surfaces of the container.

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (1-1)$$

其中: p 为系统压力; F_1 为驱动力; F_2 为外负载力; A_1 为小液压缸活塞面积; A_2 为大液压缸活塞面积。

可见在 A_1 、 A_2 一定时,外负载力 F_2 越大,系统压力 p 也越高,所需的驱动力也越大,即系统压力是由外负载建立起来的,而与流入执行元件大液压缸 10 的流体多少无关。这是液压与气压传动工作原理的第一个重要特征:系统压力取决于外负载。

➤ The pressure of system is dependent on the external load

2. 按照容积变化相等的原则进行速度或转速的传递 (Speed or rotate speed with respect to Variable Volume Equivalence Principle)

假定系统密封非常好没有任何损失,手动液压泵 2 排出的液体体积必然等于进入大液压缸 10 的液体体积,即

$$A_1 s_1 = A_2 s_2 = V \quad (1-2)$$

其中: V 为小液压缸排出的液体体积; s_1 为小液压缸活塞位移; s_2 为大液压缸活塞位移。

式(1-2)两端同除以活塞运动时间 Δt 得

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = \frac{V}{\Delta t} \quad (1-3)$$

式中: v_1 为小液压缸活塞平均运动速度; v_2 为大液压缸活塞平均运动速度。

在流体力学中,单位时间内流过某一通流截面的流体体积叫做流量 (Liquid volume V divided by time Δt is flow q)。则流量

$$q = \frac{V}{\Delta t} \quad (1-4)$$

则式(1-3)可变为

$$v_2 = \frac{q}{A_2} \quad (1-5)$$

因为 A_1 、 A_2 是常数,所以大液压缸活塞的平均运动速度 v_2 正比于进入其内的流量 q ,而与流体压力大小无关,即与外负载无关。这是液压与气压传动工作原理的第二个重

要特征：外负载的运动速度取决于流量。

➤ The speed, at which the external load moves, is dependent on the flow which is fed to the actuator components.

由式(1-1)和式(1-5)可以看出，液压与气压传动的两个重要特征是相互独立的。压力 p 和流量 q 是液压与气压传动中两个最基本的参数。

在图 1.1 中，若忽略各种能量损失，小液压缸输入的机械功率等于大液压缸输出的机械功率，即

$$P = F_1 v_1 = F_2 v_2 = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = p A_2 \frac{q}{A_2} = p q \quad (1-6)$$

在式(1-6)中，压力 p 的单位为 Pa，流量 q 的单位为 m^3/s ，则功率 P 的单位为 W。由此可见，液压传动系统工作压力 p 与流量 q 之积就是功率，被称为液压功率 P (Operating pressure p times flow q is hydraulic power P of hydraulic transmission system.)。上述液压千斤顶的工作过程是先将手驱动的机械能转变为液体压力能，后又将液体压力能转变为机械能。

1.3 液压传动系统的组成 (Components of hydraulic transmission system)

液压千斤顶是一种较完整又简单的液压传动系统。下面以图 1.2 所示的磨床工作台液压传动系统为例，进一步说明其组成。其工作原理是：液压泵 5 由电动机 4 驱动旋转，从油箱 2 经过滤器 3 吸油，排出的压力油经节流阀 6、手动换向阀 7(假设手动换向阀左位工作)进入液压缸 8 的右腔，推动活塞和工作台 9 向左运动。液压缸左腔的油液经手动换向阀 7 左位和回油管道流回液压油箱。当手动换向阀 7 换向到右位工作时，液压缸活塞和工作台 9 反向向右运动。当手动换向阀 7 处于中位时，工作台 9 停止运动，此时液压泵 5 排出的压力油经溢流阀 1 和回油管道流回液压油箱 2。当工作台做往复运动时，其速度由节流阀 6 调节，克服外负载所需的工作压力则由溢流阀 1 控制。因为液压传动系统的工作压力不会超过溢流阀 1 的调定值，所以溢流阀 1 还对液压传动系统起到过载保护的作用。

根据液压千斤顶和磨床工作台液压传动系统的工作原理可知，液压传动是以液体为工作介质的，一个完整的液压传动系统由以

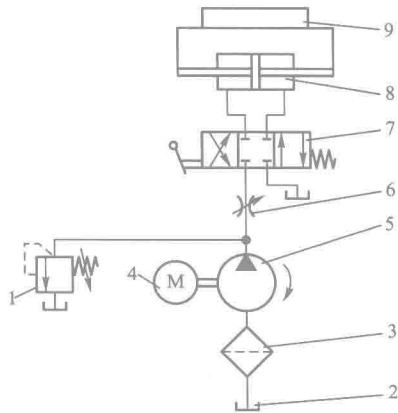


图 1.2 磨床工作台液压传动系统工作原理图
(FIGURE 1.2 Schematic illustration of hydraulic transmission system operating principles of power work table in grinding machine)

- 1—溢流阀；2—液压油箱；3—过滤器；
4—电动机；5—液压泵；
6—节流阀；7—手动换向阀；
8—液压缸；9—工作台



下 5 个主要部分组成。

1. 液压动力元件 (Hydraulic power components)

液压动力元件是将原动机输出的机械能转换成液体压力能的元件, 向液压传动系统提供压力油。常见的是液压泵。

2. 液压执行元件 (Hydraulic actuator components)

液压执行元件是将液体的压力能转换成机械能的元件, 液压马达是驱动外负载作回转运动, 液压缸是驱动外负载作直线运动。

3. 液压控制元件 (Hydraulic control components)

液压控制元件是对液压传动系统中液体的压力、流量和流动方向进行控制和调节的阀类, 如压力、流量和方向等控制阀。

4. 液压辅助元件 (Hydraulic accessories)

液压辅助元件是上述 3 个组成部分以外的其他元件, 如液压油箱、滤油器、蓄能器、加热器、冷却器、管道和接头等。

5. 液压工作介质 (Hydraulic operating medium)

液压工作介质是传递能量和信号的介质, 即液压油。

1.4 液压传动系统的图形符号表示 (Diagram symbols of hydraulic transmission system)

图 1.1(a)所示的液压传动系统工作原理图是一种半结构式的, 其直观性强, 易于理解, 但图形比较复杂, 尤其是液压传动系统中元件数量较多时, 绘制起来就很麻烦。图 1.1(b)所示液压千斤顶和图 1.2 所示磨床工作台的液压传动系统工作原理图就是用液压传动系统图形符号绘制而成的, 表明了组成系统的元件、元件间的相互关系及整个液压传动系统的工作原理。其简单明了, 便于绘制, 图形符号表示元件的功能, 而不表示元件的具体结构、实际安装位置和参数。图中的符号可参见国标 GB/T 786.1—2009《部分液压与气压传动系统图形符号》。

1.5 液压传动的控制方式 (Control modes of hydraulic transmission)

液压传动的控制方式有两种不同的含义: 一种是指对传动部分的操纵调节方式; 另一种是指控制部分本身的结构组成形式。

液压传动的操纵调节方式基本上可以分成手动式、半自动式和全自动式 3 种。图 1.1 所示的液压千斤顶是需要由人提拉和下压杠杆才能实现液压传动系统工作的, 因此属于手动式的操纵调节方式。若需要由人启动之后液压传动系统的所有动作或状态都能在机械

的、电气的、电子的或其他机构操纵下按一定顺序实现出来，且在全部工作完成后就能自动停车的液压传动系统，如图 1.2 所示的磨床工作台液压传动系统，就属于半自动式的。当启动不需要人参与时，这样的液压传动系统操纵调节方式就属于全自动式的。

液压传动系统中控制部分的结构组成形式可分为开环式和闭环式两种，它们的概念和定义与“控制理论”中的描述完全一样。图 1.1 所示的液压千斤顶和图 1.2 所示的磨床工作台液压传动系统都属于开环式液压传动系统。图 1.3 为磨床工作台液压传动系统的开环控制系统方框图。开环控制的精度受外负载和油温等工作条件的影响很大，当工作条件变化很大时，开环式液压传动系统甚至无法达到既定的目标。



图 1.3 磨床工作台液压传动开环控制系统工作原理框图

(FIGURE 1.3 Schematic illustration of operating principles of hydraulic transmission open loop control system)

如将图 1.3 中的换向阀用伺服阀代替，就是一个简单的手动控制闭环液压伺服系统，其闭环控制系统工作原理方框图，如图 1.4 所示。磨床工作台液压传动闭环控制系统能在工作过程中自动调节，控制精度受工作条件的的影响很小，能进行很精确的控制。

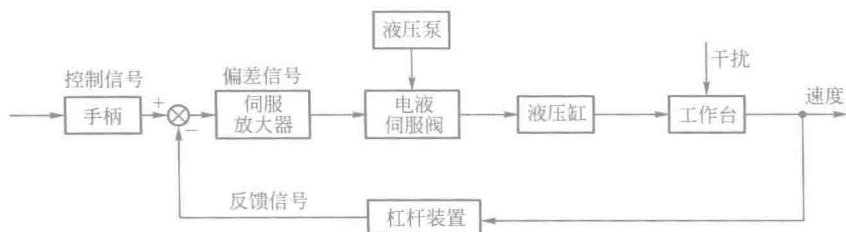


图 1.4 磨床工作台液压传动闭环控制系统工作原理框图

(FIGURE 1.4 Schematic illustration of operating principles of hydraulic transmission closed loop servo control system)

1.6 液压传动的优缺点

(Advantages and disadvantages of hydraulic transmission)

1. 液压传动的主要优点(Main advantages of hydraulic transmission)

(1) 单位功率的重量轻，即能以较轻的设备重量获得很大的输出力和转矩。如在同等功率下，液压马达的重量只有电动机的 10%~20%。液压传动可以采用很高的工作压力，一般已达到 32MPa，个别场合更高。

(2) 液压装置运动比较平稳，由于体积小、重量轻，因此其响应速度快，惯性小、启动、制动迅速，换向冲击小，便于实现频繁换向。如在同等功率条件下，加速电动机需要