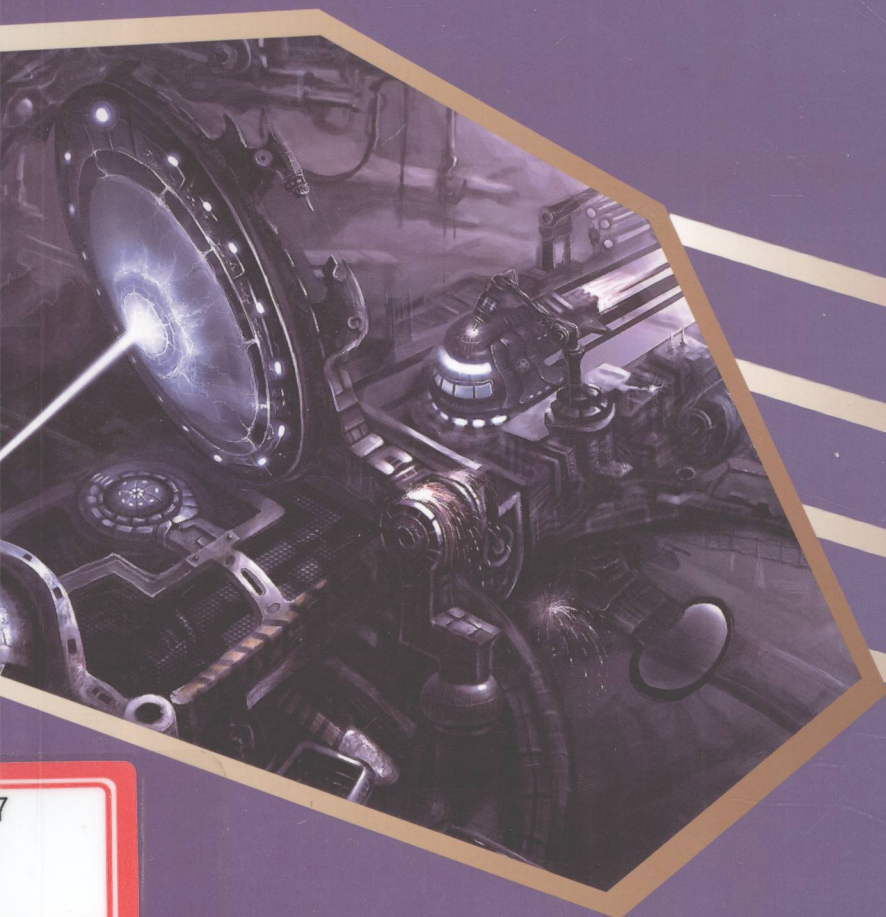


全国高职高专教育规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

液压传动

张兴军 吴晓路 主 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育规划教材
机械制造系列

液 压 传 动

Yeya Chuandong

张兴军 吴晓路 主 编
刘 彬 齐爱霞 吴 冉 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是根据高等职业技术教育的教学要求,为适应现代企业对液压高端技能型人才的需求编写而成的。全书共分为10章,第1章介绍液压传动的基本知识、液压油的性能、污染检测及其控制方法;第2章~第5章介绍各类液压元件的类型、工作原理、结构特点以及常见故障;第6章通过应用实例介绍液压基本回路的功能和回路分析方法;第7章介绍几种典型液压传动系统工作原理、特点和液压系统分析方法;第8章介绍液压系统的安装使用和故障分析处理方法,并通过实例对系统故障进行分析;第9章介绍液压传动系统的设计计算;第10章设计了液压传动的一些实训课题。

本书依据职业岗位能力需求,结合了最新的高职院校职业教育课程改革经验,将理论和实践深度融合,增强了针对性和实用性,突出了液压元件和液压系统的故障处理技术,且在内容选取上力求简单明了、通俗易懂。书中配有大量工业应用图例,便于学生理解和掌握。

本书可作为高职高专院校机电类专业的教学用书,也可作为岗前培训教材以及企业中专业技术人员的参考工具书。

414891

图书在版编目(CIP)数据

液压传动 / 张兴军, 吴晓路主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2012. 8
ISBN 978 - 7 - 04 - 035851 - 3

I. ①液… II. ①张… ②吴… III. ①液压传动 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 178821 号

策划编辑 张玉海 责任编辑 李文轶 特约编辑 沈韶华 封面设计 张雨薇
版式设计 余 杨 插图绘制 尹 莉 责任校对 王 雨 责任印制 刘思涵

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 100120
印 刷 煤炭工业出版社印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 14
字 数 340 千字
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2012 年 8 月第 1 版
印 次 2012 年 8 月第 1 次印刷
定 价 25.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 35851 - 00

前 言

《国家高等职业教育发展规划(2011—2015)》指出:高等职业教育以培养生产、建设、管理、服务第一线的高端技能型专门人才为根本任务,在建设人力资源强国和高等教育强国的伟大进程中发挥着不可替代的作用。高等职业教育作为培养高端技能型人才的主要基础力量,必须全面提高人才培养质量,为加快发展先进制造业培育一批具有精湛技艺和创新能力的高端技能型人才;为促进现代服务业发展培养一批掌握现代服务技术的高端技能型人才;为加强基础产业、基础设施建设培养一批“下得去、用得上、留得住”的高端技能型人才。本书正是基于这种人才培养需求而编写的。

“液压传动”课程在机电一体化技术及相关专业的学习中有着重要的作用。现代机电设备是机械、电子、液压等技术融合的产物,而液压技术是机械和电子技术的桥梁,在专业学习领域中必不可少。

本书的编者长期从事高职教育相关教学和科研工作,主持和参与了“液压系统的维修与应用”等多门省级精品课程的建设,有丰富的课程开发和教材开发经验;另外,有丰富实践经验的高级工程师也参加了本书的编写工作,为教材的编写提供了生产一线的技术资料。

本书共分为10章,第1章介绍液压传动的基本知识,其中包括液压传动的原理、液体静力学和动力学理论,液压油的性能、污染检测及其控制方法;第2章~第5章介绍包括液压泵、液压马达、液压缸、液压控制阀和液压辅助元件等各类液压元件的类型、工作原理、结构特点以及常见故障的分析;第6章通过应用实例介绍液压基本回路的功能和回路分析方法;第7章介绍几种典型液压传动系统工作原理、特点和液压系统分析方法;第8章介绍液压系统的安装使用和故障分析处理方法,并通过实例对系统故障进行分析;第9章介绍液压传动系统的设计计算;第10章设计了液压传动的一些实训课题,便于进行“理实一体化”的教学。

全书具有以下几个特点:一是内容上强调基础。在内容的取舍上,根据高职学生就业岗位所需的技能和职业素养来选择教学内容,以液压技术实际应用的基本知识为线索来组织写作思路,坚持针对性原则,将企业实际所需的最基础的知识传递给学生。二是方法上注重与生产实际紧密结合,突出了液压元件和液压系统的故障处理技术,选用较为典型的实例,使学生获得实用的技术知识。三是教材力求表达简洁,内容生动,方法具体,基本技能可操作性强,让学生易于理解、掌握和实践。为此,在教材中,配有大量的元件实物图片和回路应用实例,每章设有“知识点”、“技能点”、“自我评估练习”等,既便于学生理解,又方便教师教学。四是本教材使用最新的国家标准 GB/T 786.1—2009——常用液压元件图形符号,便于大家及时掌握新国标的使用。

本书不仅可以作为职业技术学院相关专业的教材或培训资料,还可以供教师、学生、企业中技术人员课内外学习、拓展视野或进一步提高时参考。

本书建议教学学时数为68学时,各章学时分配见下表(供参考)。

参考学时分配表

序 号	授课内容	学时分配	
		讲课	实践
1	第1章 液压传动基础	6	2
2	第2章 液压泵和液压马达	6	4
3	第3章 液压缸	4	2
4	第4章 液压控制阀	6	6
5	第5章 液压辅助元件	4	—
6	第6章 液压基本回路	6	6
7	第7章 典型液压系统	6	—
8	第8章 液压系统的安装使用和故障分析	6	2
9	第9章 液压传动系统的设计计算	2	—
10	第10章 液压传动实训	穿插到理论教学中	
合 计		68	

本书由济宁职业技术学院张兴军、吴晓路任主编，刘彬、齐爱霞、吴冉任副主编。参加本书编写的人员有：济宁职业技术学院张兴军(第1、5章)、吴晓路(第2、4章)、吴冉(第3章)、刘彬(第6章)、齐爱霞(第7、9章)，济宁液压研究所高级工程师曾璇(第8、10)章。

限于编者的水平和经验，书中不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

2012年4月

目 录

第1章 液压传动基础..... 1

- 1.1 液压传动的工作原理..... 2
- 1.2 液压传动系统的组成..... 3
- 1.3 液压传动的优缺点..... 4
- 1.4 液压油..... 5
 - 1.4.1 液压油的主要性质..... 5
 - 1.4.2 液压油的污染检测及控制..... 7
- 1.5 液压传动的基本理论..... 9
 - 1.5.1 液体压力..... 9
 - 1.5.2 静压力基本方程..... 9
 - 1.5.3 静压传递..... 10
 - 1.5.4 压力的表示方法..... 10
 - 1.5.5 流量的概念..... 11
 - 1.5.6 连续性方程..... 11
 - 1.5.7 伯努利方程..... 12
 - 1.5.8 液体流动时的压力损失..... 13
 - 1.5.9 液体流经小孔的流量..... 15
 - 1.5.10 液体流经间隙的流量..... 16
 - 1.5.11 液压冲击和空穴现象..... 16
- 1.6 自我评估练习..... 17

第2章 液压泵和液压马达..... 19

- 2.1 液压泵概述..... 20
 - 2.1.1 液压泵的工作原理..... 20
 - 2.1.2 液压泵的性能参数..... 20
 - 2.1.3 液压泵的分类..... 22
- 2.2 齿轮泵..... 22
 - 2.2.1 外啮合齿轮泵..... 22
 - 2.2.2 内啮合齿轮泵..... 26
 - 2.2.3 齿轮泵的常见故障与排除..... 27
- 2.3 叶片泵..... 28
 - 2.3.1 双作用叶片泵..... 29
 - 2.3.2 单作用叶片泵..... 32
 - 2.3.3 叶片泵的常见故障与排除..... 35
- 2.4 柱塞泵..... 37

- 2.4.1 径向柱塞泵..... 37

- 2.4.2 轴向柱塞泵..... 39

- 2.4.3 柱塞泵的常见故障与排除..... 41

- 2.5 液压马达..... 43

- 2.5.1 液压马达的性能参数..... 43

- 2.5.2 液压马达的分类..... 44

- 2.5.3 液压马达的常见故障与排除..... 46

- 2.6 自我评估练习..... 48

第3章 液压缸..... 50

- 3.1 液压缸的类型和特点..... 51

- 3.1.1 活塞式液压缸..... 51

- 3.1.2 柱塞式液压缸..... 53

- 3.1.3 摆动式液压缸..... 54

- 3.1.4 其他液压缸..... 55

- 3.2 液压缸的结构..... 57

- 3.2.1 液压缸的典型结构..... 57

- 3.2.2 缸体与端盖的连接..... 58

- 3.2.3 活塞与活塞杆的连接..... 59

- 3.2.4 液压缸的密封装置..... 59

- 3.2.5 液压缸的缓冲和排气装置..... 60

- 3.2.6 液压缸的常见故障与排除..... 61

- 3.3 液压缸的设计计算..... 62

- 3.3.1 液压缸主要尺寸的计算..... 62

- 3.3.2 液压缸的校核..... 63

- 3.4 自我评估练习..... 64

第4章 液压控制阀..... 66

- 4.1 方向控制阀..... 67

- 4.1.1 单向阀..... 67

- 4.1.2 换向阀..... 69

- 4.1.3 方向控制阀的常见故障与排除..... 76

- 4.2 压力控制阀..... 78

- 4.2.1 溢流阀..... 79

4.2.2 减压阀	83	第6章 液压基本回路	123
4.2.3 顺序阀	85	6.1 方向控制回路	124
4.2.4 压力继电器	87	6.1.1 换向回路	124
4.2.5 压力控制阀的常见故障 与排除	88	6.1.2 锁紧回路	124
4.3 流量控制阀	93	6.1.3 方向控制回路应用实例	125
4.3.1 流量控制原理及节流口 形式	93	6.2 压力控制回路	126
4.3.2 节流阀	95	6.2.1 调压回路	126
4.3.3 调速阀	96	6.2.2 减压回路	128
4.3.4 流量控制阀的常见故障 与排除	98	6.2.3 增压回路	129
4.4 插装阀、比例阀和叠加阀	100	6.2.4 卸荷回路	130
4.4.1 插装阀	100	6.2.5 平衡回路	130
4.4.2 比例阀	104	6.2.6 压力控制回路应用实例	131
4.4.3 叠加阀	106	6.3 速度控制回路	133
4.5 自我评估练习	108	6.3.1 调速回路	133
第5章 液压辅助元件	112	6.3.2 快速运动回路	138
5.1 蓄能器	113	6.3.3 速度换接回路	139
5.1.1 蓄能器的功用	113	6.3.4 速度控制回路应用实例	141
5.1.2 蓄能器的类型和结构 特点	113	6.4 多缸动作控制回路	141
5.1.3 蓄能器的安装使用	114	6.4.1 顺序动作回路	141
5.2 滤油器	114	6.4.2 同步回路	144
5.2.1 滤油器的功用	114	6.4.3 多缸动作控制回路应用 实例	145
5.2.2 滤油器的类型和结构 特点	114	6.5 自我评估练习	146
5.2.3 滤油器的选用和安装	117	第7章 典型液压系统	150
5.3 压力表及压力表开关	117	7.1 组合机床动力滑台液压系统	151
5.3.1 压力表	117	7.1.1 概述	151
5.3.2 压力表开关	118	7.1.2 工作原理	153
5.4 油管 and 管接头	119	7.1.3 液压系统的特点	154
5.4.1 油管	119	7.2 液压压力机液压系统	154
5.4.2 管接头	119	7.2.1 概述	154
5.5 油箱	121	7.2.2 工作原理	156
5.5.1 油箱的功用	121	7.2.3 液压系统的特点	158
5.5.2 油箱的类型和结构特点	121	7.3 单斗挖掘机液压系统	158
5.6 自我评估练习	122	7.3.1 概述	158
		7.3.2 工作原理	159
		7.3.3 液压系统的特点	161
		7.4 液压伺服系统	162
		7.4.1 液压伺服控制原理	162

7.4.2 液压伺服系统的基本特点	163	9.3.1 液压缸的设计计算	184
7.4.3 液压伺服系统实例	163	9.3.2 液压马达的设计计算	185
7.5 自我评估练习	164	9.3.3 液压泵的确定与所需功率的计算	185
第8章 液压系统的安装使用和故障分析	167	9.3.4 阀类元件的选择	187
8.1 液压系统的安装及调试	168	9.3.5 蓄能器的选择	187
8.1.1 液压系统的安装	168	9.3.6 管道的选择	188
8.1.2 液压系统的调试	169	9.3.7 油箱的设计	188
8.2 液压系统的使用及维护	170	9.3.8 滤油器的选择	189
8.2.1 油液清洁度的控制	170	9.4 液压系统技术性能的验算	189
8.2.2 液压系统泄漏的控制	171	9.4.1 系统压力损失的验算	189
8.2.3 液压系统噪声的控制	171	9.4.2 系统发热温升的验算	190
8.2.4 液压系统的检查和维护	172	9.4.3 系统效率验算	190
8.3 液压系统的故障排除	172	9.5 绘制正式工作图和编写技术文件	191
8.3.1 液压系统的故障分析方法	172	9.6 液压系统计算机辅助设计概述	191
8.3.2 液压系统常见故障及排除方法	173	9.6.1 液压 CAD 软件的特点	191
8.3.3 液压系统的故障分析实例	176	9.6.2 液压 CAD 软件的应用	192
8.4 自我评估练习	177	9.7 自我评估练习	193
第9章 液压传动系统的设计计算 ..	179	第10章 液压传动实训	194
9.1 明确设计要求 进行工况分析	180	10.1 液压油的污染检测与更换	195
9.1.1 运动分析	180	10.2 液压泵拆装	196
9.1.2 动力分析	181	10.3 液压控制阀拆装	199
9.2 液压系统原理图的拟定	183	10.4 液压缸拆装	201
9.2.1 确定油路类型	183	10.5 差动连接回路搭接	203
9.2.2 选择液压回路	184	10.6 节流调速回路性能	204
9.2.3 绘制液压系统原理图	184	10.7 液压回路连接设计	206
9.3 液压元件的计算和选择	184	附录 常用液压元件图形符号 (GB/T 786.1—2009)	207
		参考文献	212

第1章 液压传动基础

知识点

1. 液压系统工作原理；
2. 液压系统的组成；
3. 静压力概念及静压力基本方程；
4. 连续性方程、伯努利方程；
5. 液压油的性质；
6. 液压油的污染及危害；
7. 液压油的污染检测方法。

技能点

1. 学会简单的液压油污染的检测方法；
2. 学会更换液压油。

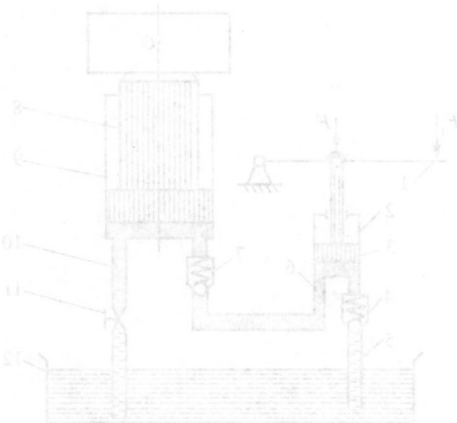


图1-1-1 液压系统示意图

图1-1-2 液压系统示意图

图1-1-2 液压系统示意图

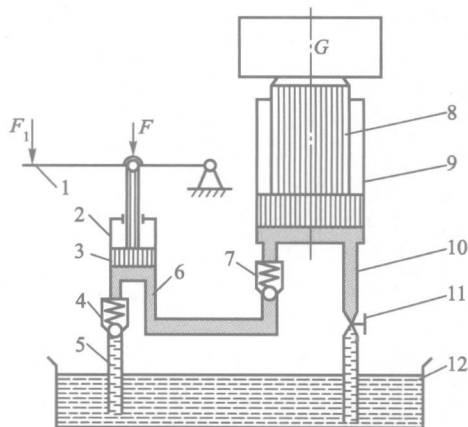
图1-1-2 液压系统示意图

1.1 液压传动的工作原理

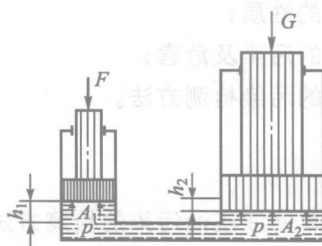
液压传动是以液体为工作介质并以压力能的方式来进行能量传递和控制的一种传动形式。液压传动和气压传动称为流体传动,是根据17世纪帕斯卡提出的液体静压力传动原理而发展起来的一门新兴技术,是工农业生产中广为应用的一门技术。如今,流体传动技术水平的高低已成为一个国家工业发展水平的重要标志。

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

液压千斤顶是一个简单而典型的液压传动装置,下面以它为例简述液压传动的工作原理。图1.1所示为液压千斤顶工作原理图,由图a可知,大缸体9和大活塞8组成举升液压缸。杠杆手柄1、小缸体2、小活塞3、单向阀4和7组成手动液压泵。假设活塞在缸体内可自由滑动,液压缸的工作腔与油管都充满油液并与大气隔绝——即液体在密封容积内。当提起杠杆手柄1使小活塞3向上移动时,小活塞下端油腔容积增大,形成局部真空,此时单向阀4被打开,通过吸油管5从油箱12中吸油;当压下杠杆手柄,小活塞下移,小活塞下腔压力升高,单向阀4关闭,单向阀7被打开,下腔的油液经管道6流入大缸体9的下腔,使大活塞8向上移动,顶起重物。为防止再次提起手柄吸油时,举升缸下腔的压力油逆向流入手动泵(小缸),设置一单向阀7,使其自动关闭,则油液不能倒流,以保证重物不会自行下落。往复扳动手



(a) 液压千斤顶原理图



(b) 液压千斤顶简化模型图

图 1.1 液压千斤顶

1—杠杆手柄; 2—小缸体; 3—小活塞; 4、7—单向阀; 5—吸油管; 6、10—管道;
8—大活塞; 9—大缸体; 11—截止阀; 12—通大气式油箱

柄,就能不断地将油液压入举升缸下腔,使重物逐步升起;当打开截止阀 11,举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱,大活塞在重物和自重作用下回到原始位置。

由此得出结论:密封容积中的液体既可以传递力,又可以传递运动。因此液压传动又称容积式液压传动。

液压传动的工作原理可以概括如下。

① 液压传动是以液体为工作介质来传递运动和动力的,并且在传递的过程中实现了两次能量转换:先把机械能转换为液体压力能,然后把压力能转换为机械能对外做功。

② 油液必须在密闭系统中传递,并且密闭容积要有变化。

1.2 液压传动系统的组成

平面磨床液压系统是一个更为全面的液压传动系统,通过这个系统,可以更清晰地了解液压传动系统的组成。

图 1.2 所示是磨床工作台液压系统工作原理图。油液由油箱 1 经滤油器 2 被吸入液压泵 3,由液压泵输出的压力油经过节流阀 5、换向阀 6 进入液压缸 7 的左腔(或右腔),液压缸 7 右腔(或左腔)的油液则经过换向阀 6 后流回油箱,工作台 9 随液压缸中的活塞 8 实现向右(或向左)移动,当换向阀 6 处于中位时,工作台停止运动。工作台实现往复运动时,其速度由节流阀 5 调节,克服负载所需的工作压力则由溢流阀 4 控制。图 1.2 中(a)、(b)、(c)分别表示了

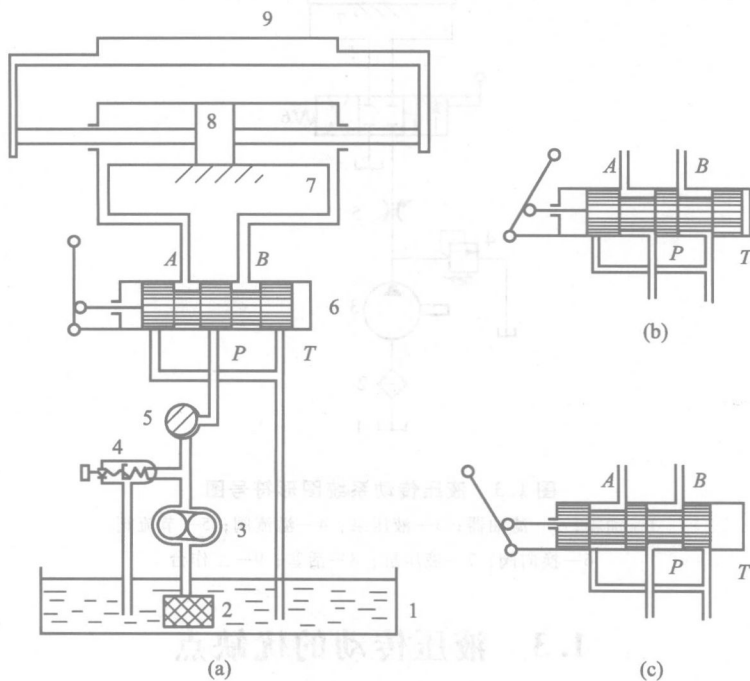


图 1.2 磨床工作台液压传动系统工作原理图

1—油箱;2—滤油器;3—液压泵;4—溢流阀;5—节流阀;

6—换向阀;7—液压缸;8—活塞;9—工作台

换向阀处于3个工作位置时, 阀口 P 、 T 、 A 、 B 的接通情况。

根据磨床工作台液压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必须由动力元件、执行元件、控制元件和辅助元件几部分组成, 见表1-1。

表1-1 液压传动系统的组成

组成部分	功 用	举 例
动力元件	将机械能转换为液体的压力能	液压泵
执行元件	将液体的压力能转化为机械能	液压缸、液压马达
控制元件	控制流体的压力、流量和方向, 保证执行元件完成预期的动作要求	方向阀、压力阀、流量阀等
辅助元件	起连接、贮油、过滤、测量等作用	油管、油箱、滤油器、压力表等

图1.2所示的液压系统结构原理图较直观、容易理解, 但图形较复杂, 难以绘制。在实际工作中, 常用图形符号来绘制, 如图1.3所示。图形符号不表示元件的具体结构, 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。

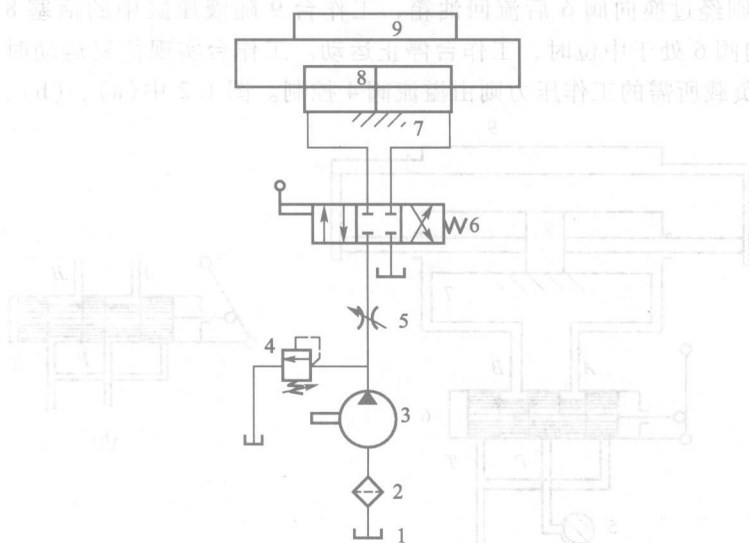


图1.3 液压传动系统图形符号图

- 1—油箱; 2—滤油器; 3—液压泵; 4—溢流阀; 5—节流阀;
6—换向阀; 7—液压缸; 8—活塞; 9—工作台

1.3 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动相比有以下主要优点:

① 体积小、重量轻, 例如同功率液压马达的重量只有电动机的10%~20%。因此惯性力较小, 当液压传动突然过载或停车时, 不会发生大的冲击;

② 能在给定范围内平稳地自动调节牵引速度,并可实现无级调速,且调速范围最大可达 1:2 000(一般为 1:100);

③ 换向容易,在不改变电动机旋转方向的情况下,可以较方便地实现工作机构的旋转和直线往复运动的转换;

④ 液压泵和液压马达之间用油管连接,在空间布置上不受彼此的严格限制;

⑤ 由于采用油液为工作介质,元件相对运动表面间能自行润滑,磨损小,使用寿命长;

⑥ 操纵控制简便,自动化程度高;

⑦ 容易实现过载保护。

⑧ 液压元件实现了标准化、系列化、通用化,便于设计、制造和使用。

液压传动也存在如下缺点:

① 对液压传动的维护要求高,工作油要始终保持清洁;

② 液压元件制造精度要求高,工艺复杂,成本较高;

③ 液压元件维修较复杂,且需有较高的技术水平;

④ 液压传动对油温变化较敏感,这会影响它的工作稳定性。因此液压传动不宜在很高或很低的温度下工作,一般工作温度在 $-15 \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内较合适。

⑤ 液压传动在能量转化的过程中,特别是在节流调速系统中,其压力大,流量损失大,故系统效率较低。

⑥ 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。

1.4 液压油

在液压系统中使用的工作介质有石油基液压油、难燃型液压液、高水基液和水介质(海水、淡水)等,一般称为液压油,在液压系统中起到传递运动和动力以及润滑和冷却的作用。液压油的基本性质和合理选用对液压系统的工作状态影响很大。

1.4.1 液压油的主要性质

1. 黏性

液体分子之间存在内聚力,液体在外力作用下流动时,液体分子间的相对运动导致内摩擦力的产生,液体流动时具有内摩擦力的性质被称为黏性。液体黏性示意图如图 1.4 所示。

实验测定,液体流动时相邻液层间的内摩擦力大小为

$$F = \mu A du/dy \quad (1-1)$$

以 $\tau = F/A$ 表示切应力,则有

$$\tau = \mu du/dy \quad (1-2)$$

式中: μ ——衡量流体黏性的比例系数,称为绝对黏度或动力黏度;

du/dy ——流体层间速度差异的程度,称为速度梯度。

液体的黏性大小用黏度来表示。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 μ

动力黏度直接表示流体的黏性即内摩擦力的大小。由式(1-2)可导出

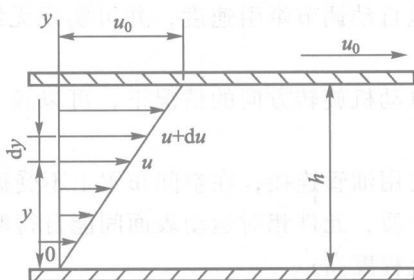


图 1.4 液体黏性示意图

$$\mu = \tau \frac{dy}{du} \quad (1-3)$$

动力黏度 μ 在物理意义上讲, 是当速度梯度 $du/dy = 1$ 时, 单位面积上的内摩擦力的大小。动力黏度的国际(SI)计量单位为牛顿·秒/米², 符号为 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$, 或为帕·秒, 符号为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 运动黏度 ν

运动黏度是绝对黏度 μ 与密度 ρ 的比值, 即

$$\nu = \mu / \rho \quad (1-4)$$

运动黏度的 SI 单位为米²/秒, 符号为 m^2/s 。还可使用 CGS 制单位: 斯(St)或厘斯(cSt)来表示, $1 \text{ cSt} = 10^{-2} \text{ St} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

(3) 相对黏度 $^\circ E$

我国采用恩氏黏度。

$$^\circ E_t = t_A / t_B \quad (1-5)$$

为了使液体介质得到所需要的黏度, 可以采用两种不同黏度的液体按一定比例混合, 混合后的黏度可按下列经验公式计算

$$^\circ E = [a^\circ E_1 + b^\circ E_2 - c(^\circ E_1 - ^\circ E_2)] / 100 \quad (1-6)$$

式中: $^\circ E_1 > ^\circ E_2$;

a, b ——分别为用于混合的两种液体 $^\circ E_1, ^\circ E_2$ 各自的质量百分数, $a + b = 100$;

c ——与 a, b 有关的实验系数。

黏度是液压油划分牌号的依据。例如, N32 液压油, 是指这种油在 40 ℃ 时的运动黏度平均值为 $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

表 1-2 是常用液压油的新、旧黏度等级和牌号的对照, 旧标准是以 50 ℃ 的黏度值作为液压油的黏度值。

表 1-2 常用液压油的黏度等级和牌号

ISO 3448—1992 黏度等级	40 ℃ 时运动黏度/ (mm^2/s)	现牌号 (GB/T 3141—1994)	过渡牌号 (1983—1990 年)	旧牌号 (1982 年以前)
ISO VG15	13.5 ~ 16.5	15	N15	10
ISO VG22	19.8 ~ 24.2	22	N22	15
ISO VG32	28.8 ~ 35.2	32	N32	20

续表

ISO 3448—1992 黏度等级	40 ℃ 时运动黏度/ (mm ² /s)	现牌号 (GB/T 3141—1994)	过渡牌号 (1983—1990 年)	旧牌号 (1982 年以前)
ISO VG46	41.4 ~ 50.6	46	N46	30
ISO VG68	61.2 ~ 74.8	68	N68	40
ISO VG100	90 ~ 110	100	N100	60

影响液体黏度的主要因素是温度和压力。

当液体所受的压力增加时,其分子间的距离将减小,于是内摩擦力将增加,即黏度也将随之增大,一般情况下,在中、低压液压系统中压力变化很小,因而通常压力对黏度的影响忽略不计。

液压油黏度对温度的变化十分敏感,温度升高,黏度下降,液压油的黏度随温度变化的性质称为黏温特性。一般高温应选择黏度大的液压油,以减少泄漏;低温应选择黏度小的液压油,以减小摩擦。

2. 可压缩性

液体受压后其容积发生变化的性质,称为液体的可压缩性。

一般中、低压液压系统,其液体的可压缩性很小。因而可以认为液体是不可压缩的。而在压力变化很大的高压系统中,就需要考虑液体可压缩性的影响。当液体中混入空气时,可压缩性将显著增加,并严重影响液压系统的工作性能,因而在液压系统中应使油液中的空气含量减少到最低限度。

1.4.2 液压油的污染检测及控制

液压系统能否正常工作,除系统设计、元件制造和维护外,油的清洁度是十分重要的因素。油液的污染将会影响系统的正常工作并使元件过度地磨损,甚至会造成设备的故障。液压油对液压设备犹如血液对生命,清洁的液压油在内循环流动是保证设备正常运行和润滑的重要条件。有关资料表明,液压系统工作不稳定和出现故障 70% ~ 80% 都与液压油的污染有关。

1. 液压油污染的原因

液压油污染原因如表 1-3 所示。

表 1-3 液压油污染原因

污染类型	污 染 原 因
潜在污染	1. 自制件中残存的污染物 2. 外购件中潜伏的污染物
侵入污染	1. 装配时侵入了污染物 2. 使用过程侵入了污染物 3. 液压油带入了污染物 4. 修理时侵入了污染物
再生污染	1. 零件磨损产生的污染物 2. 液压油发生物理和化学变化的生成物及衍生物

2. 液压油污染的危害

液压油严重污染后, 液压系统工作性能变坏, 经常出现故障, 液压元件磨损加剧, 寿命缩短, 甚至产生破坏性故障。这些危害主要是:

- ① 对于泵类元件来说, 污垢颗粒会使泵的滑动部分磨损加剧, 缩短泵的使用寿命。
- ② 对于阀类元件来说, 污垢颗粒会加速磨损, 使阀芯卡紧, 把节流孔和阻尼孔堵塞, 从而使阀的性能变坏或动作失灵。
- ③ 对于伺服阀来说, 污垢颗粒会使阀芯与阀套间的摩擦力加大, 这种摩擦将使伺服阀的滞后增加。污垢颗粒加快滑动面的磨损和节流棱边的磨损, 使内泄漏加大, 零点特性下降。污垢颗粒还会把阀芯卡死或把节流器堵塞而造成事故。
- ④ 对于液压缸来说, 污垢颗粒会加速密封件的磨损, 使泄漏量增大。
- ⑤ 固体颗粒和胶状生成物堵塞过滤器的滤孔时, 使液压泵吸油困难, 回油不畅, 产生气蚀、振动和噪声。滤油器严重堵塞时, 往往会因压力过大而将滤网击穿, 完全丧失过滤能力, 造成液压系统的恶性循环。
- ⑥ 水分混入液压油会腐蚀金属, 使油变质、结冰, 促进细菌生长, 使油液乳化。空气混入液压油会引起噪声、空穴、响应变坏及爬行等。

3. 液压油的污染控制

对液压油的污染控制工作主要从两个方面着手: 一是防止污染物侵入液压系统; 二是把已经侵入的、内部固有的或内部产生的污染物从系统中清除出去。为防止油液污染, 在实际工作中常采取如下措施:

- ① 对新油进行过滤净化。
- ② 使液压系统在装配后、运转前保持清洁。
- ③ 使液压油在工作中保持清洁。液压系统应保持严格的密封, 防止空气、水分和各种固体颗粒的侵入。
- ④ 及时更换液压油。

4. 液压油污染检测方法

液压油通常半年至一年应取样检查一次。

(1) 取油样

- ① 准备油样瓶, 要求清洁、干燥;
- ② 在回油管压力表接头处接塑料管;
- ③ 空转一段时间, 使油混合升温;
- ④ 从塑料管放掉小部分油后取样 2~3 L;
- ⑤ 在油瓶标签上填写时间、地点、设备、部位、油品种和牌号等。

(2) 简易检测方法

- ① 通过看、嗅、摇、摸并与新油对比。
 - 有空气混入: 油变浑浊, 静止 1~2 h 后, 底部变清。
 - 有水分混入: 油乳白色, 静止 24 h 后, 上部变清。
 - 氧化变质: 油暗褐色有臭味, 并有黏性污染物或金属腐蚀。
 - 防锈剂耗尽: 滤器中见铁锈。

- 泡沫剂耗尽：晃动后泡沫消失的速度比新油慢。

② 用玻璃、滤纸、pH 试纸(酸碱性)、金属丝检测。

- 玻璃法：两块玻璃夹油滴，透光观察杂质多少、大小。

• 金属丝滤纸法：金属丝沾油后滴在滤纸上。若为圆形痕迹：均匀浅色，则未污染。若有痕迹且颜色越深，则污染越严重。若呈棕色、灰色则有胶质、沥青和炭渣生成。

- pH 试纸法：先测水，再用试纸测酸碱度。

- 热铁法：将含水油滴到热铁上，若有“哧哧”声，说明有水。

5. 更换液压油

需要更换液压系统内液压油的原因有：液压油劣化严重，因混入水分而引起乳化，大量的金属粉末、尘埃等夹杂物混入液压油，两种不同质量的液压油混合在一起等。若为长期保管的液压装置等特殊情况下，也需要更换其中的液压油。

无论在哪种情况下，凡是更换液压油时都要进行冲洗作业。冲洗作业的目的就是除去附着于泵、阀等装置及其配管内壁的液压油的劣化生成物、锈、防锈油漆、非油容性夹杂物等以及沉淀于储油箱底部的各种夹杂物。

液压系统油液的更换一般采用以下方式：

- ① 定期更换。一般每隔 2 000 ~ 4 000 h 换一次油。

- ② 按照规定的换油性能指标并根据化验结果，科学地确定是否换油。

- ③ 更换新油前，油箱必须先清洗一次。

1.5 液压传动的基本理论

1.5.1 液体压力

液体在单位面积上所受的力称为压力(在物理学中称为压强)，压力通常用 p 表示。若在液体的面积 A 上受均匀分布的作用力 F ，则压力可表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-7)$$

压力的法定计量单位为 Pa(帕)和 MPa(兆帕)， $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ (牛/米²)，即 Pa(帕)；工程上常用 MPa(兆帕)、bar(巴)和 kgf/cm²，它们的换算关系为

$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar} = 10^6 \text{ Pa} = 10.2 \text{ kgf/cm}^2 \quad (1-8)$$

由于液体不能受拉、受剪，只能受压，故有下列特性：

- ① 液体静压力垂直于作用面，其方向与该面的内法线方向一致。

- ② 静止液体任一点，所受到的各方向静压力都相等。

1.5.2 静压力基本方程

静止液体内部受力情况可用图 1.5 来说明。设容器中装满液体，在任意一点 A 处取一微小面积 dA ，该点距液面深度为 h ，距坐标原点高度为 Z ，容器液平面距坐标原点为 Z_0 。为了求得任意一点 A 的压力，可取 $dA \cdot h$ 这个液柱为分离体(图 1.5b)。根据静压力的特性，作用于