

高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



液压传动

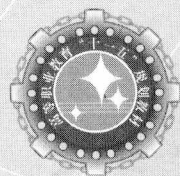
张红俊 熊光荣 苏 明 主编
钟宝华 主审



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



液压传动

主 编 张红俊 熊光荣 苏 明
副主编 贾淑娟 滕文建 凌肃明 林 跃
参 编 熊霞丽 张卫利
主 审 钟宝华



华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

液压传动/张红俊 熊光荣 苏 明 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2009年9月
ISBN 978-7-5609-5465-3

I. 液… II. ①张… ②熊… ③苏… III. 液压传动-高等学校:技术学校-教材
IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 094662 号

液压传动

张红俊 熊光荣 苏 明 主 编

策划编辑:张 毅

责任编辑:吴 晗

责任校对:周 娟

封面设计:刘 卉

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉市兴明图文信息有限公司

印 刷:武汉首壹印刷厂

开本:787 mm×1092 mm 1/16

印张:16.5 插页:2

字数:370 000

版次:2009年9月第1版

印次:2009年9月第1次印刷

定价:28.00 元

ISBN 978-7-5609-5465-3/TH·196

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

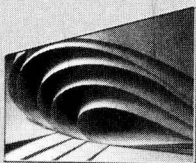
高等职业教育“十一五”规划教材 21世纪高职高专机电类规划教材 编审委员会

顾问 陈吉红（教授，华中科技大学博士生导师）

委员 （以姓氏笔画为序）

丁原廉 王 瑞 尹玉珍 刘合群 牟应华 许小明
李传军 李正峰 李振斌 余小燕 苏 明 吴水萍
陆全龙 陈新耘 张晓娟 张 健 张安全 邱文萍
杨继宏 杨晓光 林承全 明志新 周卫东 娄 琳
俞礼钧 洪 霞 贺 剑 郭建农 徐国洪 游英杰
崔梁萍 盛国林 熊裕文 熊光荣 熊建云 管 剑

秘书 张 毅



内 容 简 介

本书共分 11 章:第 1 章介绍液压传动的基本概念、工作原理、基本组成及应用;第 2 章介绍工作液体的性质、类型和流体力学的基本概念;第 3 章至第 6 章分别介绍液压动力元件、液压执行元件、液压控制元件和液压辅助装置的分类、作用、性能参数、原理及结构和应用等;第 7 章至第 9 章分别介绍液压基本回路的类型及原理、典型液压系统的功能及原理和液压传动系统的设计与计算;第 10 章介绍液压伺服系统的基本知识;第 11 章介绍液压系统的安装、调试、使用与维护等内容。



本书在编写过程中,力求贴近工程实际,注重实践教学环节,以实践教学设置教学内容,减少理论分析和理论推导内容,注重结构原理内容,突出实际应用知识。为了培养学生的动手能力和职业岗位能力,本书安排了认识和组装系统、元件拆装等实践内容,指导学生动手组装液压系统并观察其工作过程,加深对其结构和工作原理的理解与掌握。各章最后均安排了本章小结和思考与练习,以指导学生复习和巩固所学知识,培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书由张红俊编写第1章、第2章、第4章(4.4节和4.5节)和附录,滕文建编写第3章,贾淑娟编写第4章(4.1节、4.2节和4.3节)和第5章,熊光荣编写第6章,熊霞丽编写第7章,林跃编写第8章,凌肃明编写第9章,苏明编写第10章,张卫利编写第11章。本书由张红俊、熊光荣、苏明主编,由钟宝华主审。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年1月



第 1 章 液压传动概述	(1)
1.1 液压传动的工作原理及其组成	(1)
1.1.1 液压传动的工作原理	(1)
1.1.2 液压传动系统的组成及图形符号	(2)
1.2 液压传动的特点及应用	(4)
1.2.1 液压传动的特点	(4)
1.2.2 液压传动的应用	(4)
实训 认识液压系统	(5)
本章小结	(6)
思考与练习	(6)
第 2 章 液压传动基础知识	(7)
2.1 液体的物理性质	(7)
2.1.1 密度	(7)
2.1.2 可压缩性	(7)
2.1.3 黏性及黏度	(8)
2.2 液压油	(11)
2.2.1 液压油的要求	(11)
2.2.2 液压油类型	(12)
2.2.3 液压油的选用	(13)
2.2.4 使用液压油的注意事项和鉴别液压油品种的简易方法	(14)
2.2.5 液压油的污染与控制	(15)
2.3 液体静力学基础	(16)
2.3.1 液体的静压力及其特性	(16)
2.3.2 液体静力学的基本方程	(17)
2.3.3 压力的传递	(18)
2.3.4 压力的表示方法	(19)
2.4 液体动力学基础	(20)
2.4.1 基本概念	(20)
2.4.2 流态和雷诺数	(22)

2.4.3	连续性方程	(24)
2.4.4	伯努利方程	(25)
2.4.5	动量方程	(26)
2.5	流动液体在管路中的压力损失	(27)
2.5.1	沿程压力损失	(28)
2.5.2	局部压力损失	(28)
2.5.3	管路系统的总压力损失	(29)
2.6	液体流过小孔和缝隙的流量	(29)
2.6.1	小孔流量	(29)
2.6.2	缝隙流量	(32)
2.7	液压冲击和空穴现象	(33)
2.7.1	液压冲击	(33)
2.7.2	空穴现象	(33)
	本章小结	(34)
	思考与练习	(35)
第3章	液压动力元件	(37)
3.1	液压泵概述	(37)
3.1.1	液压泵的分类	(37)
3.1.2	液压泵的工作原理	(37)
3.1.3	液压泵的主要性能参数	(38)
3.2	齿轮泵	(40)
3.2.1	齿轮泵的工作原理	(40)
3.2.2	齿轮泵存在的几个问题分析	(41)
3.2.3	齿轮泵的结构	(43)
3.2.4	齿轮泵流量	(45)
3.2.5	内啮合齿轮泵	(46)
3.3	叶片泵	(47)
3.3.1	单作用叶片泵	(47)
3.3.2	限压式变量叶片泵	(48)
3.3.3	双作用叶片泵	(50)
3.3.4	YB ₁ 双作用叶片泵结构	(52)
3.3.5	双联叶片泵	(53)
3.3.6	叶片泵的排量和流量	(53)
3.4	柱塞泵	(54)
3.4.1	径向柱塞泵	(54)
3.4.2	轴向柱塞泵	(55)
3.4.3	柱塞泵的排量和流量	(56)
3.4.4	CY 系列轴向柱塞泵的结构原理	(57)
3.4.5	ZB 系列轴向柱塞泵的结构原理	(59)



3.5 液压泵的选用	(60)
3.5.1 液压泵的参数确定	(60)
3.5.2 液压泵类型的选择	(60)
实训 液压泵实训	(62)
实训1 液压泵拆装	(62)
实训2 液压泵静态特性测试	(63)
本章小结	(65)
思考与练习	(65)
第4章 液压执行元件	(67)
4.1 液压执行元件概述	(67)
4.1.1 液压马达的分类	(67)
4.1.2 液压马达的工作原理	(68)
4.1.3 液压泵与液压马达的可逆性	(68)
4.1.4 液压马达的主要性能参数	(68)
4.2 高速小转矩马达	(69)
4.2.1 齿轮马达	(69)
4.2.2 叶片马达	(70)
4.2.3 轴向柱塞马达	(70)
4.3 低速马达	(71)
4.3.1 曲轴连杆式径向柱塞马达	(71)
4.3.2 多作用内曲线径向柱塞马达	(73)
4.4 液压缸的典型结构和组成	(75)
4.4.1 液压缸的类型	(75)
4.4.2 活塞式液压缸	(75)
4.4.3 柱塞式液压缸	(79)
4.4.4 摆动式液压缸	(80)
4.4.5 其他液压缸	(82)
4.4.6 液压缸的典型结构	(83)
4.5 液压缸的设计和计算	(87)
4.5.1 液压缸的设计步骤	(87)
4.5.2 液压缸主要尺寸的确定	(87)
实训 液压执行元件的拆装	(91)
实训1 液压马达的拆装	(91)
实训2 液压缸的拆装	(92)
本章小结	(93)
思考与练习	(94)
第5章 液压控制阀	(96)
5.1 概述	(96)

5.1.1 液压控制阀的类型	(96)
5.1.2 液压阀的共同点及基本要求	(97)
5.2 方向控制阀	(97)
5.2.1 单向阀	(97)
5.2.2 换向阀	(99)
5.3 压力控制阀	(105)
5.3.1 溢流阀	(105)
5.3.2 减压阀	(107)
5.3.3 顺序阀	(109)
5.3.4 压力继电器	(111)
5.4 流量控制阀	(111)
5.4.1 节流阀的流量特性与节流口的结构形式	(111)
5.4.2 节流阀的结构	(113)
5.4.3 调速阀的工作原理和结构	(113)
5.4.4 溢流节流阀	(115)
5.5 电液比例阀、插装阀和数字阀	(116)
5.5.1 电液比例阀	(116)
5.5.2 插装阀	(119)
5.5.3 数字阀	(122)
实训 液压控制阀拆装	(123)
实训1 换向阀的拆装	(123)
实训2 溢流阀的拆装	(124)
实训3 溢流阀静态特性测试	(125)
本章小结	(128)
思考与练习	(128)
第6章 辅助装置	(130)
6.1 油管 and 管接头	(130)
6.1.1 油管	(130)
6.1.2 管接头	(131)
6.2 油箱	(132)
6.2.1 油箱的结构	(132)
6.2.2 油箱的设计	(132)
6.3 过滤器	(134)
6.3.1 过滤器的要求	(134)
6.3.2 过滤器的基本类型及其性能	(134)
6.3.3 过滤器的安装	(135)
6.4 热交换器	(136)
6.4.1 冷却器	(136)
6.4.2 加热器	(137)



6.5 蓄能器	(137)
6.5.1 蓄能器的功用	(137)
6.5.2 蓄能器的类型及特点	(138)
6.5.3 蓄能器的容量计算	(139)
6.5.4 蓄能器的使用及安装	(140)
6.6 密封装置	(140)
6.6.1 间隙密封	(140)
6.6.2 O形密封圈	(141)
6.6.3 唇形密封圈	(142)
6.6.4 油封	(143)
6.7 仪表	(144)
6.7.1 压力计	(144)
6.7.2 流量计	(145)
6.7.3 压力计开关	(145)
实训 辅助装置的拆装	(146)
实训 1 过滤器的拆装	(146)
实训 2 蓄能器的拆装	(147)
本章小结	(148)
思考与练习	(148)
第7章 液压基本回路	(150)
7.1 概述	(150)
7.2 速度控制回路	(150)
7.2.1 调速回路	(150)
7.2.2 快速回路	(158)
7.2.3 速度换接回路	(160)
7.3 压力控制回路	(162)
7.3.1 调压回路	(162)
7.3.2 卸荷回路	(164)
7.3.3 减压回路	(164)
7.3.4 增压回路	(165)
7.3.5 平衡回路	(166)
7.3.6 保压回路	(166)
7.3.7 卸压回路	(167)
7.3.8 缓冲回路	(168)
7.4 方向控制回路	(169)
7.4.1 换向回路	(169)
7.4.2 锁紧回路	(169)
7.5 多执行元件控制回路	(170)
7.5.1 顺序动作回路	(170)

7.5.2 同步回路	(172)
7.5.3 多缸快慢速互不干扰回路	(173)
实训 液压传动系统回路	(174)
实训 1 液压传动系统调速回路组装实验	(174)
实训 2 液压传动系统压力回路组装实验	(175)
实训 3 液压传动系统顺序回路组装实验	(177)
本章小结	(178)
思考与练习	(178)
第 8 章 典型液压系统	(181)
8.1 概述	(181)
8.2 组合机床动力滑台液压系统	(182)
8.2.1 概述	(182)
8.2.2 工作原理	(183)
8.2.3 YT4543 动力滑台液压系统的特点	(185)
8.3 万能外圆磨床液压系统	(185)
8.3.1 概述	(185)
8.3.2 外圆磨床工作台换向回路	(186)
8.3.3 M1432A 型万能外圆磨床液压系统工作原理	(187)
8.3.4 M1432A 型万能外圆磨床液压系统组成及主要元件功能	(190)
8.3.5 M1432A 型万能外圆磨床液压系统的特点	(191)
8.4 液压压力机系统	(191)
8.4.1 概述	(191)
8.4.2 YB32-200 型液压压力机液压系统工作原理	(192)
8.4.3 YB32-200 型液压压力机液压系统的特点	(194)
8.5 机械手液压系统	(195)
8.5.1 概述	(195)
8.5.2 液压机械手液压系统工作原理	(195)
8.5.3 液压机械手液压系统的特点	(198)
实训 观察液压系统的工作过程	(198)
本章小结	(199)
思考与练习	(200)
第 9 章 液压传动系统的设计	(202)
9.1 液压传动系统的设计步骤和设计要求	(202)
9.1.1 液压传动系统的设计步骤	(202)
9.1.2 液压传动系统的设计要求	(202)
9.2 液压传动系统的设计与计算	(203)
9.2.1 明确设计要求,进行工况分析	(203)
9.2.2 确定液压系统的主要参数	(206)



9.2.3 拟定液压系统原理图	(207)
9.2.4 液压元件的选择	(208)
9.2.5 液压系统性能验算	(212)
9.2.6 液压系统的安装连接	(214)
9.2.7 绘制正式工作图和编写技术文件	(214)
9.3 液压传动系统的设计与计算举例	(214)
本章小结	(223)
思考与练习	(224)
第 10 章 液压伺服系统	(225)
10.1 概述	(225)
10.1.1 液压伺服系统的工作原理	(225)
10.1.2 液压伺服系统的特点	(226)
10.1.3 液压伺服系统的组成和分类	(226)
10.2 液压伺服阀和伺服机构	(227)
10.2.1 机液伺服阀	(227)
10.2.2 电液伺服阀	(229)
10.2.3 数控伺服机构	(231)
10.3 液压伺服系统实例	(234)
10.3.1 车床液压仿形刀架	(234)
10.3.2 数控机床液压伺服系统	(235)
本章小结	(235)
思考与练习	(236)
第 11 章 液压系统的安装、调试、使用与维护	(237)
11.1 液压系统的安装与调试	(237)
11.1.1 液压系统的安装	(237)
11.1.2 液压系统的调试	(238)
11.2 液压系统的使用与维护	(239)
11.2.1 液压系统使用注意事项	(239)
11.2.2 液压系统维护保养	(239)
11.3 液压系统的故障分析与排除	(240)
11.3.1 故障分析与检查方法	(240)
11.3.2 液压系统故障特点	(242)
11.3.3 液压系统常见故障现象、产生原因与排除方法	(242)
本章小结	(244)
思考与练习	(244)
附录 常用液压元件图形符号	(245)
参考文献	(250)

第1章 液压传动概述

液压传动是一门研究以液体为传动介质来实现各种机械的传动和自动控制的学科,是利用密闭系统中的受压液体来传递运动和动力的一种传动方式。液压传动的工作介质是液体,靠静压力来传递能量,因此又称为静压传动。由于在传动过程中密封容积不断发生变化,因此,液压传动也称为容积式液压传动。

1.1 液压传动的工作原理及其组成

1.1.1 液压传动的工作原理

现以如图 1-1 所示液压千斤顶为例来讲述液压传动的工作原理。

液压千斤顶由手把 1、小活塞 2、小缸体 3、大活塞 7、大缸体 6、吸液阀 4、排液阀 5、放油阀 9 和油箱 10 等组成。由小活塞 2、小缸体 3、吸液阀 4、排液阀 5 和油管及大活塞 7、大缸体 6、排液阀 5、放油阀 9 和油管分别组成两个密封容积。

当手把 1 上移,带动小活塞 2 上移,使小活塞 2 和小缸体 3 形成的密封容积增大,压力下降,形成真空,打开吸液阀 4,关闭排液阀 5,在大气压作用下从油箱 10 中进行吸油,油液被吸入由小活塞 2、小缸体 3、吸液阀 4、排液阀 5 和油管组成的密封容积内。

当手把 1 下移,带动小活塞 2 下移,使小活塞和小缸体 3 形成的密封容积减小,油液被挤压,压力增大,打开排液阀 5,关闭吸液阀 4,排出的高压油,进入大缸体 6,推动大活塞 7 向上运动,举起重物 8。

当重物 8 下降时,打开放油阀 9,把大缸体 6 中的油放回油箱 10 中,使大活塞下降到原来位置。

上述原理说明了液压传动的基本工作原理是靠密封容积变化,通过静压力传递来实现传动的。

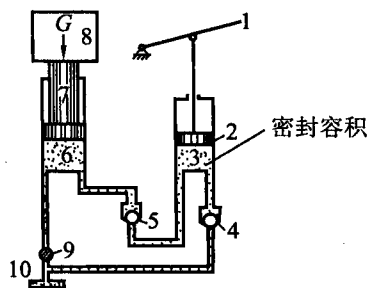


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

- 1—手把;2—小活塞;3—小缸体;
- 4—吸液阀;5—排液阀;6—大缸体;
- 7—大活塞;8—重物;
- 9—放油阀;10—油箱

1.1.2 液压传动系统的组成及图形符号

1. 液压传动系统的工作原理

图 1-2 所示为一台简化的机床工作台液压传动系统,从图中可以进一步了解一般液压传动系统的基本功能和组成情况。

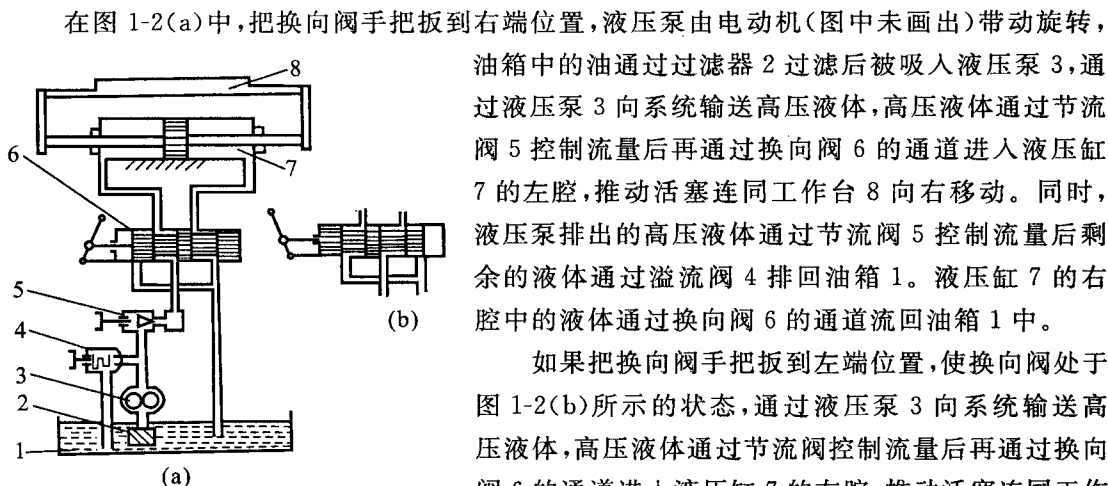


图 1-2 机床工作台液压传动系统

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

油箱中的油通过过滤器 2 过滤后被吸入液压泵 3,通过液压泵 3 向系统输送高压液体,高压液体通过节流阀 5 控制流量后再通过换向阀 6 的通道进入液压缸 7 的左腔,推动活塞连同工作台 8 向右移动。同时,液压泵排出的高压液体通过节流阀 5 控制流量后剩余的液体通过溢流阀 4 排回油箱 1。液压缸 7 的右腔中的液体通过换向阀 6 的通道流回油箱 1 中。

如果把换向阀手柄扳到左端位置,使换向阀处于图 1-2(b)所示的状态,通过液压泵 3 向系统输送高压液体,高压液体通过节流阀控制流量后再通过换向阀 6 的通道进入液压缸 7 的右腔,推动活塞连同工作台 8 向左移动。同时,液压泵排出的高压液体通过节流阀 5 控制流量后剩余的液体通过溢流阀 4 排回油箱 1。液压缸 7 的左腔中的液体通过换向阀 6 的通道流回油箱 1 中。

道流回油箱 1 中。

工作台的移动速度由节流阀来调节,系统的压力是由溢流阀来调定的。

2. 液压传动系统的组成

液压传动系统由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件和工作介质五部分组成。

动力元件的功能是将原动机输入的机械能转变为液体的压力能,输入到系统中。动力元件一般为液压泵。

执行元件的功能是将液体的压力能转变为机械能,带动工作机构工作,执行元件一般为作回转运动的液压马达、作往复直线运动和摆动的液压缸。

控制元件的功能是控制和调节液压系统中流体的压力、流量和流动方向,以保证工作机构完成要求的动作,控制元件一般为各种阀类元件。

辅助元件的功能是保证液压系统正常工作,如油箱、油管、冷却器、过滤器、油雾器、蓄能器和消声器等。

工作介质是传递能量和动力的载体,工作介质还有润滑作用,工作介质一般为液压油。

3. 液压传动系统的符号

液压传动系统的图形表示可采用结构原理图和职能符号图两种方式。在图 1-2 中,组成液压系统的各元件是用结构式图形绘制的,这种图形称为结构原理图,在工程实际中,除某些特殊情况外,一般都用简单的职能符号图来绘制系统原理图,故结构原理图应用较少。

在液压传动系统中,只表示元件的功能,不表示元件的结构和安装位置的图形符号称为职能符号,因此凡是相同功能的液压元件均可用相同职能符号表示。对图 1-2 所示的液压传动系统,其系统原理图如果用国家标准 GB/T 786.1—1993 所规定的液压图形符号绘制时,如图 1-3 所示。学习时应注意,图形符号只表示元件的功能、操作(控制)方法及外部连接口,不表示元件的具体结构和参数,也不表示连接口的实际位置和安装位置,图形符号均以元件的静止状态或零位画出,并水平或垂直绘制,不能倾斜。

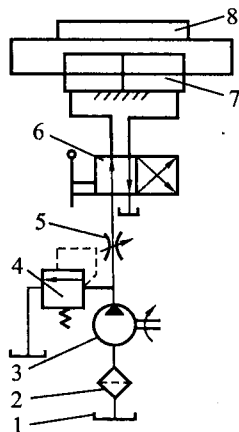


图 1-3 机床工作台液压传动职能符号图

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

4. 液压传动系统参数

液压传动系统是以压力来传递动力的,压力和流量是液压传动的两个重要参数。

压力是指液压泵出口的液压力,系统压力用 p 表示,其单位是 MPa 或 Pa,其换算关系是

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}.$$

流量是指单位时间内流过的液体体积,流量用 q 表示,其单位是 m^3/s ,工程中,液压传动常用 L/min 作为单位,其换算关系是

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 10^3 \text{ L}/\text{s} = 6 \times 10^4 \text{ L}/\text{min}$$

液压传动有两个重要特性:系统压力大小取决于外负载,与流量无关,压力随着外负载的变化而变化;工作机构的运动速度取决于流量,与压力无关(不考虑泄漏),速度随着流量的变化而变化。

一般可以通过液压千斤顶图 1-1 来理解上述两个特性。由于压力是在密封容积内挤压产生的,当重物(外负载)8 较重时,对液体的挤压就大,需要推动大活塞 7 和重物 8 上升的作用力就大,则系统的压力就大;反之,当重物(外负载)8 较轻时,对液体的挤压就小,需要推动大活塞 7 和重物 8 上升的作用力就小,则系统的压力就小。当小缸体 3 在单位时间内输送给大缸体 6 的液体流量(体积)大时,大活塞 7 和重物 8 上升的速度就快;反之,当小缸体 3 在单位时间内输送给大缸体 6 的液体流量(体积)小时,大活塞 7 和重物 8 上升的速度就慢。



1.2 液压传动的特点及应用

1.2.1 液压传动的特点

1. 液压传动的优点

液压传动与其他传动相比,具有如下优点。

- (1) 液压传动能方便地实现无级调速,调速范围大。
- (2) 在相同功率情况下,液压传动能量转换元件比其他传动元件的体积要小,重量要轻。
- (3) 液压传动工作平稳,反应速度快,冲击小,能高速启动、制动和换向。
- (4) 液压传动能自动实现过载保护。
- (5) 液压传动系统操作简单,便于实现自动化。
- (6) 液压传动的元件易于实现系列化、标准化和通用化,便于设计和制造。
- (7) 液压元件能自行润滑,因此使用寿命较长。
- (8) 液压装置比机械装置更容易实现直线运动。

2. 液压传动的缺点

液压传动与其他传动相比,具有如下缺点。

- (1) 由于泄漏及液体的可压缩性,无法保证严格的传动比。
- (2) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在很高和很低的温度下工作。
- (3) 由于泄漏,容易污染周围的环境。

1.2.2 液压传动的应用

液压传动技术广泛应用于工业领域的各个方面。液压传动技术广泛应用于各类机械产品中,以提高产品的自动化程度,增强产品的可靠性和灵活性。液压传动在各类机械中的应用如表 1-1 所示。

表 1-1 液压传动在各类机械中的应用

名 称	应用举例	名 称	应用举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机	轻工机械	打包机、注塑机
矿山机械	提升机、液压支架、采煤机、掘进机	包装机械	食品包装机、化肥包装机
建筑机械	液压千斤顶、起重机	汽车工业	自卸式汽车、汽车起重机
冶金机械	轧钢机、压力机、步进加热炉	铸造机械	加料机、压铸机、沙型压实机
锻压机械	压力机、模锻机	纺织机械	织布机、捻纱机、印染机
机械制造	组合机床、冲床、钻床		