



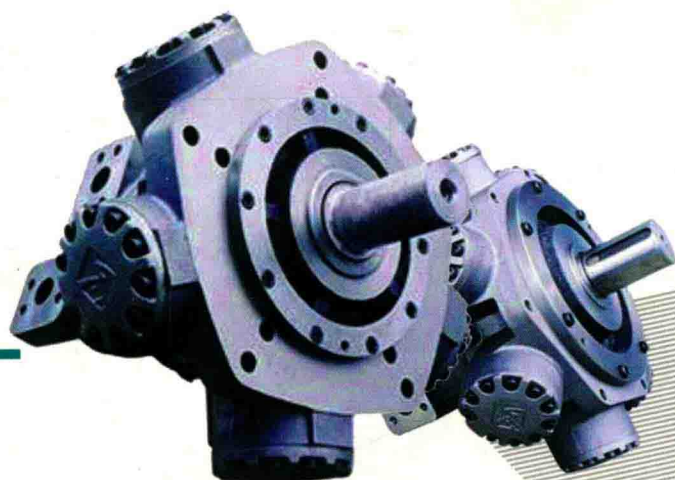
面向十二五规划教材

教育部高等教育课程改革和建设规划教材

液压传动基础

YE YA CHUAN
DONG JI CHU

张东升 张强 ● 主编



 吉林大学出版社

面向十二五规划教材

教育部高等教育课程改革和建设规划教材

本书编写组

液压传动基础

张东升 张 强 主编

吉林出版集团有限责任公司
地址：长春市人民大街4646号
邮编：130021
电话：0431-82520026
网址：http://www.jlpp.com.cn
E-mail: jlpp@jilpp.com.cn

吉林出版集团有限责任公司
地址：长春市人民大街4646号
邮编：130021
电话：0431-82520026
网址：http://www.jlpp.com.cn
E-mail: jlpp@jilpp.com.cn

吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压传动基础 / 张东升, 张强主编. — 长春: 吉林大学出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-5601-8476-0

I. ①液… II. ①张… ②张… III. ①液压传动 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 128757 号

液压传动基础

张东升 张强 主编

书 名: 液压传动基础

作 者: 张东升 张 强 主编

责任编辑: 李国宏 责任校对: 崔晓光

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 14.75 字数: 290 千字

ISBN 978-7-5601-8476-0

封面设计: 刘 瑜

北京鑫益晖印刷有限公司 印刷

2012 年 7 月第 1 版

2012 年 7 月第 1 次印刷

定价: 29.90 元

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-89580026/28/29

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

吉林出版集团

前 言

本书编委会

主 编 张东升 张 强

副主编 贾胜德 魏永乐

编 者 金 宁 晁彩霞 刘晓红

本书可作为高等院校机械类、机电类、能源动力类等专业的教学用书，也可供从事机械、机电、能源动力等工作的工程技术人员参考。

本书主要介绍了液压传动的基本概念、液压传动元件的基本类型、结构及其特点、技术要素；液压传动系统组成、性能分析、液压传动系统的设计等内容，为正确使用和设计液压元件和液压系统，提供良好的理论基础。

本书采用国际单位制，每章开头都有要点提示，能让学习者对重点要点一目了然；为了巩固所学知识，每章的最后都有相应的习题及答案，便于更好地理解教材内容。

本书由辽宁工业大学机械学院张东升、张强任主编，贾胜德、魏永乐任副主编，另外参加编写的人员还有金宁、晁彩霞、刘晓红等老师。

由于时间和水平有限，书中难免存在缺点或错误，恳请同行及读者批评指正。

编 者

2017年6月

前 言

《液压传动基础》为工科院校高职、高专、委培、函授及全日制本科的教学用书，是按照“液压传动”课程教学大纲编写，借鉴和汲取了众多液压传动教材的优点和长处，同时可作为工程技术人员参考用书。

本书主要介绍了液压流体力学基础、液压传动及常用液压传动元件的基本工作原理、结构及其特点、技术要素；液压传动系统原理、性能分析、液压传动系统的设计相关内容，为正确使用和设计液压元件和液压系统，提供良好的理论基础。

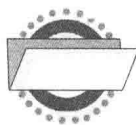
本书采用国际制单位制。每章开头都有要点提示，能让学习者对重点要点一目了然；为了巩固每章内容，每章的结尾都有对应的习题及答案，便于更好地理解教材内容。

本书由辽宁工程技术大学机械学院张东升、张强任主编，贾胜德、魏永乐任副主编，另外参加编写的人员还有金宁，晁彩霞，刘晓红等老师。

由于时间和水平有限，书中难免存在缺点或错误，恳请同行及读者批评指正。

编 者

2012 年 6 月



目 录

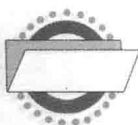
第1章 绪 论	1
1.2 液压传动的工作原理及其组成	2
1.2.1 液压传动的工作原理	2
1.2.2 液压传动系统的组成	3
1.2.3 液压传动系统图的图形符号	4
1.3 液压传动的优缺点	5
1.4 液压传动在机械中的应用	6
章后习题	7
第2章 液压传动基础知识	9
2.1 液压油	9
2.1.1 液压油的分类	9
2.1.2 液压油的物理特性	10
2.1.3 液压系统对液压油的要求	13
2.1.4 液压油的选用	14
2.1.5 液压油的污染与防护	15
2.2 液体静力学	16
2.2.1 液体静压力及其特性	17
2.2.2 液体静力学方程	17
2.2.3 压力的表示方法及单位	18
2.2.4 帕斯卡原理	20
2.2.5 液压静压力对固体壁面的作用力	20
2.3 液体动力学	21
2.3.1 基本概念	22
2.3.2 连续性方程	25
2.3.3 伯努利方程	26
2.3.4 动量方程	28
2.4 管道内压力损失的计算	28
2.4.1 液体在直管中流动时的压力损失	28
2.4.2 局部压力损失	31





2. 4. 3 管路系统中的总压力损失与效率	31
2. 5 小孔及间隙流动	32
2. 5. 1 小孔流动	32
2. 5. 2 间隙流动	33
2. 5. 3 流经平行圆盘间隙的径向流动	38
2. 5. 4 圆锥状环形间隙流动	39
2. 6 液压冲击及空穴现象	39
2. 6. 1 液压冲击现象	39
2. 6. 2 空穴现象	43
章后习题	43
第3章 液压泵	47
3. 1 液压泵的概	47
3. 1. 1 液压泵的工作原理及特点	47
3. 1. 2 液压泵的主要性能参数	48
3. 2 齿轮泵	51
3. 2. 1 齿轮泵的工作原理和结构	51
3. 2. 2 齿轮泵存在的问题	53
3. 2. 3 高压齿轮泵的特点	55
3. 2. 4 内啮合齿轮泵	55
3. 3 叶片泵	56
3. 3. 1 单作用叶片泵	56
3. 3. 2 双作用叶片泵	58
3. 3. 3 双级叶片泵和双联叶片泵	64
3. 3. 4 限压式变量叶片泵	65
3. 4 柱塞泵	67
3. 4. 1 径向柱塞泵	68
3. 4. 2 轴向柱塞泵	69
3. 5 液压泵的噪声	73
3. 5. 1 产生噪声的原因有	73
3. 5. 2 降低噪声的措施	73
3. 5. 3 液压泵的选用	74
章后习题	74
第4章 液压马达	80
4. 1 液压马达的特点及分类	80





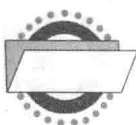
4. 2 液压马达的性能参数	81
4. 3 液压马达的工作原理	84
章后习题	87
第 5 章 液压缸	93
5. 1 液压缸的类型和特点	93
5. 2 液压缸的典型结构和组成	98
5. 3 液压缸的设计和计算	103
章后习题	107
第 6 章 液压控制阀	111
6. 1 概述	111
6. 1. 1 液压阀的作用	111
6. 1. 2 液压阀的分类	111
6. 1. 3 对液压阀的基本要求	112
6. 2 方向控制阀	112
6. 2. 1 单向阀	112
6. 2. 2 换向阀	114
6. 3 压力控制阀	123
6. 3. 1 溢流阀	123
6. 3. 2 减压阀	128
6. 3. 3 顺序阀	131
6. 3. 4 压力继电器	132
6. 4 流量控制阀	132
6. 4. 1 流量控制原理及节流口形式	132
6. 4. 2 普通节流阀	135
6. 4. 3 调速阀和温度补偿调速阀	137
6. 4. 4 溢流节流阀 (旁通型调速阀)	138
章后习题	139
第 7 章 辅助装置	146
7. 1 蓄能器	146
7. 1. 1 功用和分类	146
7. 1. 2 容量计算	147
7. 1. 3 使用和安装	149
7. 2 滤油器	150
7. 2. 1 功用和类型	150





7. 2. 2	滤油器的主要性能指标	150
7. 2. 3	选用和安装	153
7. 3	油箱	153
7. 3. 1	功用和结构	153
7. 3. 2	设计时的注意事项	154
7. 4	热交换器	155
7. 4. 1	冷却器	156
7. 4. 2	加热器	157
7. 5	管件	157
7. 5. 1	油管	157
7. 5. 2	接头	158
7. 6	密封装置	159
7. 6. 1	对密封装置的要求	159
7. 6. 2	密封装置的类型和特点	160
章后习题		163
第 8 章	液压基本回路	164
8. 1	速度控制回路	164
8. 1. 1	调速回路	164
8. 1. 2	快速运动回路	176
8. 1. 3	速度换接回路	177
8. 2	压力控制回路	179
8. 2. 1	调压及限压回路	180
8. 2. 2	减压回路	181
8. 2. 3	增压回路	182
8. 2. 4	卸荷回路	183
8. 2. 5	保压回路	184
8. 2. 6	平衡回路	185
8. 3	方向控制回路	186
8. 3. 1	换向回路	186
8. 3. 2	锁紧回路	187
8. 4	多缸动作回路	188
8. 4. 1	顺序动作回路	188
8. 4. 2	同步回路	190
8. 4. 3	多缸快慢速互不干涉回路	192





章后习题	193
第 9 章 典型液压系统	196
9.1 组合机床液压系统	196
9.1.1 组合机床液压系统	196
9.1.2 液压系统的特点	198
9.2 M1432A 型万能外圆磨床液压系统	199
9.2.1 机床液压系统的功能	199
9.2.2 液压系统的工作原理	199
章后习题	203
第 10 章 液压传动系统设计与计算	206
10.1 明确设计要求进行工况分析	206
10.2 确定液压系统主要参数	210
10.2.1 液压缸的设计计算	210
10.2.2 液压马达的设计计算	211
10.3 液压元件的选择	212
10.4 液压系统性能的验算	216
10.5 绘制正式工作图和编写技术文件	218
10.6 液压系统设计计算举例	218
章后习题	223



第1章 绪论

要点提示

1. 液压传动的工作原理是利用有压力油液进行能量的转换和传递。
2. 液压传动系统主要由能源装置、执行装置、控制调节装置、辅助装置和工作介质五个部分组成。

1.1 液压传动发展概况

自18世纪末英国制成世界上第一台水压机算起,液压传动技术已有二三百年的历史。直到20世纪30年代它才较普遍地用于起重机、机床及工程机械。在第二次世界大战期间,由于战争需要,出现了由响应迅速、精度高的液压控制机构所装备的各种军事武器。第二次世界大战结束后,战后液压技术迅速转向民用工业,液压技术不断应用于各种自动机及自动生产线。

上世纪60年代以后,液压技术随着原子能、空间技术、计算机技术的发展而迅速发展。因此,液压传动真正的发展也只是近几十年的事。当前液压技术正向迅速、高压、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。同时,新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机直接控制(CDC)、机电一体化技术、可靠性技术等方面也是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。

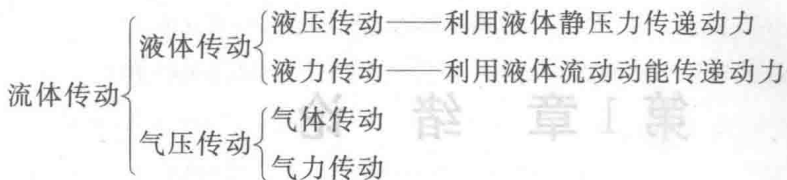
我国的液压技术最初应用于机床和锻压设备上,后来又用于拖拉机和工程机械。现在,我国的液压元件随着从国外引进一些液压元件、生产技术以及进行自行设计,现已形成了系列,并在各种机械设备上得到了广泛的使用。

机械的传动方式

一切机械都有其相应的传动机构借助于它达到对动力的传递和控制的目的。

机械传动——通过齿轮、齿条、蜗轮、蜗杆等机件直接把动力传送到执行机构的传递方式。

电气传动——利用电力设备,通过调节电参数来传递或控制动力的传动方式。



1.2 液压传动的工作原理及其组成

1.2.1 液压传动的工作原理

液压传动的工作原理,可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

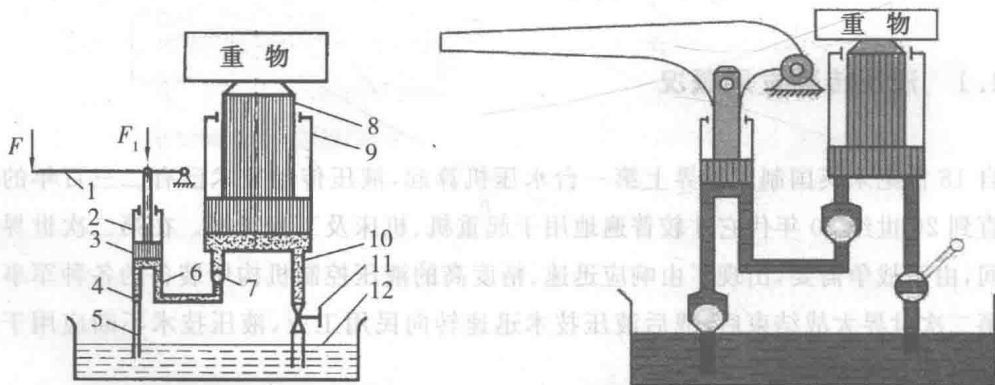


图 1.2.1 液压千斤顶工作原理图

- 1—杠杆手柄 2—小油缸 3—小活塞 4,7—单向阀 5—吸油管
6,10—管道 8—大活塞 9—大油缸 11—截止阀 12—油箱

图 1.2.1 是液压千斤顶的工作原理图。大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动,小活塞下端油腔容积增大,形成局部真空,这时单向阀 4 打开,通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油;用力压下手柄,小活塞下移,小活塞下腔压力升高,单向阀 4 关闭,单向阀 7 打开,下腔的油液经管道 6 输入举升油缸 9 的下腔,迫使大活塞 8 向上移动,顶起重物。再次提起手柄吸油时,单向阀 7 自动关闭,使油液不能倒流,从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄,就能不断地把油液压入举升缸下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11,举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱,重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。

通过对上面液压千斤顶工作过程的分析,可以初步了解到液压传动的基本工作原理。液压传动是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。压下杠杆时,小油缸 2 输出压力油,是将机械能转换成油液的压力能,压力油经过管道 6 及单向阀 7,推动大活塞 8

举起重物,是将油液的压力能又转换成机械能。大活塞 8 举升的速度取决于单位时间内流入大油缸 9 中油容积的多少。由此可见,液压传动是一个不同能量的转换过程。

1.2.2 液压传动系统的组成

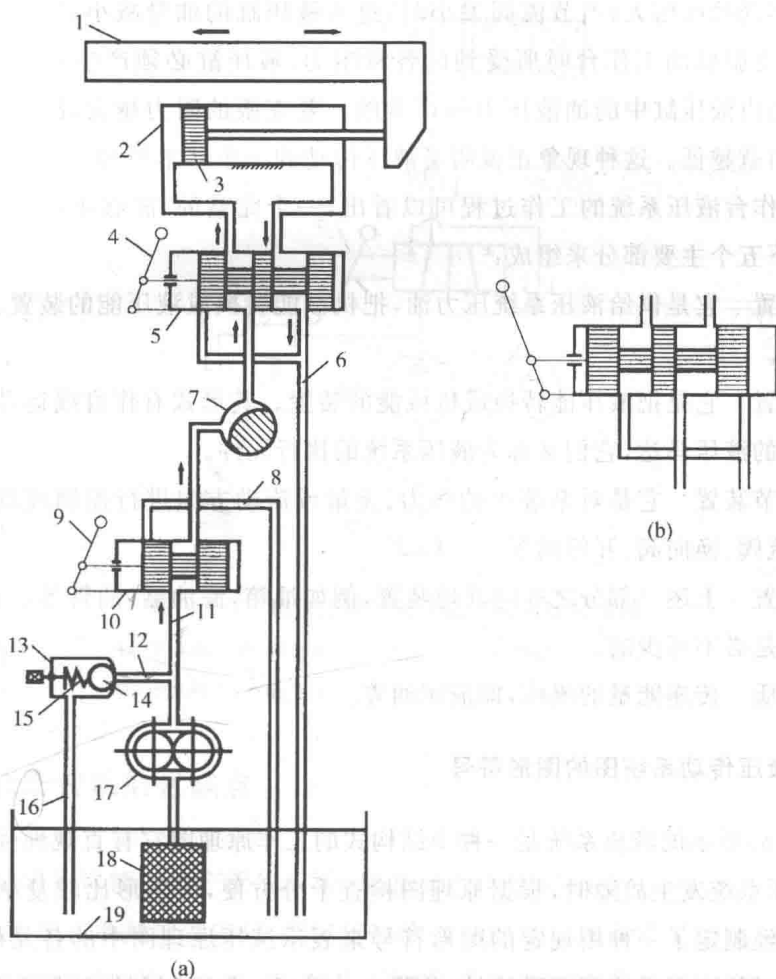


图 1.2.2 机床工作台液压系统工作原理图

1—工作台 2—液压缸 3—活塞 4—换向手柄 5—换向阀 6,8,16—回油管

7—节流阀 9—开停手柄 10—开停阀 11—压力管 12—压力支管

13—溢流阀 14—钢球 15—弹簧 17—液压泵 18—滤油器 19—油箱

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置。下面分析一种驱动工作台的液压传动系统。如图 1.2.2 所示,它由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头组成。其工作原理如下:液压泵由电动机驱动后,从油箱中吸油。油液经滤油器进入液压泵,油液在泵腔中从入口低压到泵出口高压,在图 1.2.2(a)所示状态下,通过开停阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔,推动活塞使工作台向右移动。这时,液压缸右腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

如果将换向阀手柄转换成图 1.2.2(b) 所示状态, 则压力管中的油将经过开停阀、节流阀和换向阀进入液压缸右腔、推动活塞使工作台向左移动, 并使液压缸左腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开大时, 进入液压缸的油量增多, 工作台的移动速度增大; 当节流阀关小时, 进入液压缸的油量减小, 工作台的移动速度减小。为了克服移动工作台时所受到的各种阻力, 液压缸必须产生一个足够大的推力, 这个推力是由液压缸中的油液压力所产生的。要克服的阻力越大, 缸中的油液压力越高; 反之压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理——压力决定于负载。从机床工作台液压系统的工作过程可以看出, 一个完整的、能够正常工作的液压系统, 应该由以下五个主要部分来组成:

1. 能源装置 它是供给液压系统压力油, 把机械能转换成液压能的装置。最常见的形式是液压泵。
2. 执行装置 它是把液压能转换成机械能的装置。其形式有作直线运动的液压缸, 有作回转运动的液压马达, 它们又称为液压系统的执行元件。
3. 控制调节装置 它是对系统中的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置。如溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等。
4. 辅助装置 上述三部分之外的其他装置, 例如油箱, 滤油器, 油管等。它们对保证系统正常工作是必不可少的。
5. 工作介质 传递能量的流体, 即液压油等。

1.2.3 液压传动系统图的图形符号

图 1.2.2(a) 所示的液压系统是一种半结构式的工作原理图它有直观性强、容易理解的优点, 当液压系统发生故障时, 根据原理图检查十分方便, 但图形比较复杂, 绘制比较麻烦。我国已经制定了一种用规定的图形符号来表示液压原理图中的各元件和连接管路的国家标准, 即“液压系统图图形符号 (GB786—76)”。我国制订的液压系统图图形符号 (GB786—76) 中, 对于这些图形符号有以下几条基本规定。

- (1) 符号只表示元件的职能, 连接系统的通路, 不表示元件的具体结构和参数, 也不表示元件在机器中的实际安装位置。
- (2) 元件符号内的油液流动方向用箭头表示, 线段两端都有箭头的, 表示流动方向可逆。
- (3) 符号均以元件的静止位置或中间零位置表示, 当系统的动作另有说明时, 可作例外。

图 1.2.3 所示为图 1.2.2(a) 系统用国标《GB786—76 液压系统图图形符号》绘制的工作原理图。使用这些图形符号可使液压系统图简单明了, 且便于绘图。

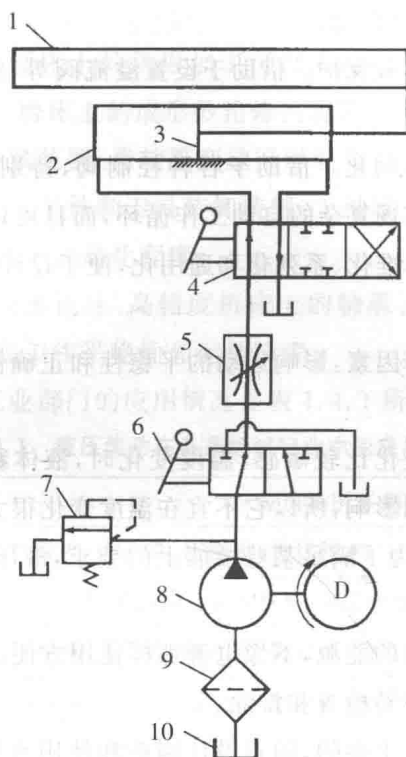


图 1.2.3 机床工作台液压系统的图形符号图

1—工作台 2—液压缸 3—油塞 4—换向阀 5—节流阀
6—开停阀 7—溢流阀 8—液压泵 9—滤油器 10—油箱

1.3 液压传动的优缺点

液压传动之所以能得到广泛的应用,是由于它具有以下的主要优点:

(1)由于液压传动是油管连接,所以借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构,这是比机械传动优越的地方。例如,在井下抽取石油的泵可采用液压传动来驱动,以克服长驱动轴效率低的缺点。由于液压缸的推力很大,又加之极易布置,在挖掘机等重型工程机械上,已基本取代了老式的机械传动,不仅操作方便,而且外形美观大方。

(2)液压传动装置的重量轻、结构紧凑、惯性小。例如,相同功率液压马达的体积为电动机的 12%~13%。液压泵和液压马达单位功率的重量指标,目前是发电机和电动机的十分之一,液压泵和液压马达可小至 0.0025N/W(牛/瓦),发电机和电动机则约为 0.03N/W。

(3)可在大范围内实现无级调速。借助阀或变量泵、变量马达,可以实现无级调速,调速范围可达 1:2000,并可在液压装置运行的过程中进行调速。

(4)传递运动均匀平稳,负载变化时速度较稳定。正因为此特点,金属切削机床中的

磨床传动现在几乎都采用液压传动。

(5) 液压装置易于实现过载保护。借助于设置溢流阀等,同时液压件能自行润滑,因此使用寿命长。

(6) 液压传动容易实现自动化。借助于各种控制阀,特别是采用液压控制和电气控制结合使用时,能很容易地实现复杂的自动工作循环,而且可以实现遥控。

(7) 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

液压传动的缺点是:

(1) 液压系统中的漏油等因素,影响运动的平稳性和正确性,使得液压传动不能保证严格的传动比。

(2) 液压传动对油温的变化比较敏感,温度变化时,液体黏性变化,引起运动特性的变化,使得工作的稳定性受到影响,所以它不宜在温度变化很大的环境条件下工作。

(3) 为了减少泄漏,以及为了满足某些性能上的要求,液压元件的配合件制造精度要求较高,加工工艺较复杂。

(4) 液压传动要求有单独的能源,不像电源那样使用方便。

(5) 液压系统发生故障不易检查和排除。

总之,液压传动的优点是主要的,随着设计制造和使用水平的不断提高,有些缺点正在逐步加以克服。液压传动有着广泛的发展前景。

1.4 液压传动在机械中的应用

驱动机械运动的机构以及各种传动和操纵装置有多种形式。根据所用的部件和零件,可分为机械的、电气的、气动的、液压的传动装置。经常还将不同的形式组合起来运用——四位一体。由于液压传动具有很多优点,使这种新技术发展得很快。液压传动应用于金属切削机床也不过四五十年历史。航空工业在1930年以后才开始采用。特别是最近二三十年以来液压技术在各种工业中的应用越来越广泛。

在机床上,液压传动常应用在以下的一些装置中:

1. 进给运动传动装置磨床砂轮架和工作台的进给运动大部分采用液压传动;车床、六角车床、自动车床的刀架或转塔刀架;铣床、刨床、组合机床的工作台等的进给运动也都采用液压传动。这些部件有的要求快速移动,有的要求慢速移动。有的则既要求快速移动,也要求慢速移动。这些运动多半要求有较大的调速范围,要求在工作中无级调速;有的要求持续进给,有的要求间歇进给;有的要求在负载变化下速度恒定,有的要求有良好的换向性能等等。所有这些要求都是可以用液压传动来实现的。

2. 往复主体运动传动装置龙门刨床的工作台、牛头刨床或插床的滑枕,由于要求作高速往复直线运动,并且要求换向冲击小、换向时间短、能耗低,因此都可以采用液压

传动。

3. 仿形装置车床、铣床、刨床上的仿形加工可以采用液压伺服系统来完成。其精度可达 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 。此外,磨床上的成形砂轮修正装置亦可采用这种系统。

4. 辅助装置机床上的夹紧装置、齿轮箱变速操纵装置、丝杆螺母间隙消除装置、垂直移动部件平衡装置、分度装置、工件和刀具装卸装置、工件输送装置等,采用液压传动后,有利于简化机床结构,提高机床自动化程度。

5. 静压支承重型机床、高速机床、高精度机床上的轴承、导轨、丝杠螺母机构等处采用液体静压支承后,可以提高工作平稳性和运动精度。

液压传动在其他机械工业部门的应用情况见表 1.4.1 所示。

表 1.4.1 液压传动在各类机械行业中的应用实例

行业名称	应用场所举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、压路机、铲运机等
起重运输机械	汽车吊、港口龙门吊、叉车、装卸机械、皮带运输机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、开采机、破碎机、提升机、液压支架等
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等农业机械联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
冶金机械	电炉炉顶及电极升降机构、轧钢机、压力机等
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车中的转向器、减振器
等智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人等

章后习题

思考问答题

1.1 液体传动有哪两种形式? 它们的主要区别是什么?

答:用液体作为工作介质来进行能量传递的传动方式被称之为液体传动。按照其工作原理的不同,液体传动又可分为液压传动和液力传动,其中液压传动是利用在密封容器内液体的压力能来传递动力的;而液力传动则是利用液体的动能来传递动力的。

1.2 什么叫液压传动? 液压传动所用的工作介质是什么?

答:利用液体的压力能来传递动力传动方式被称之为液压传动。液压传动所用的工作介质是液体。

1.3 液压传动系统由哪几部分组成? 各组成部分的作用是什么?

答:(1)动力装置:动力装置是指能将原动机的机械能转换成为液压能的装置,它是液压系统的动力源。