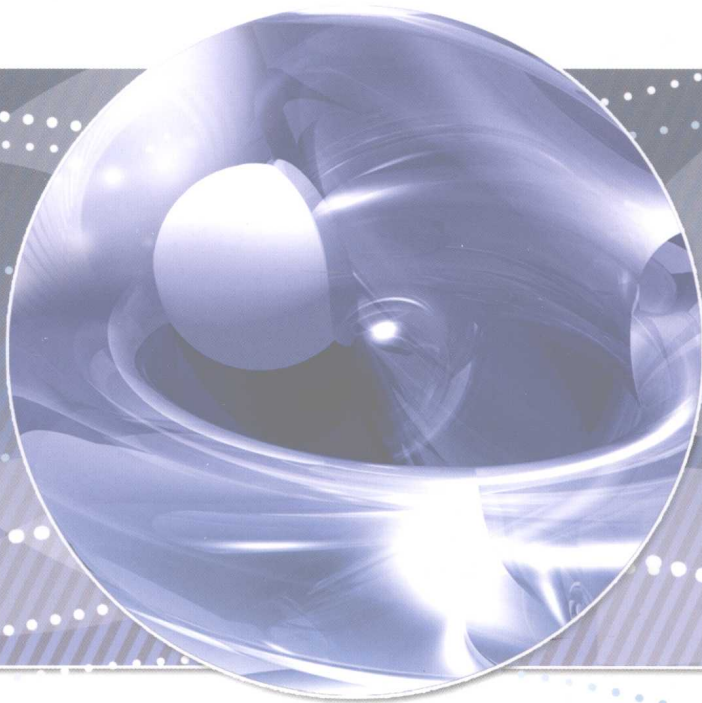


中等职业教育机电技术应用专业规划教材

液压与气动

◎ 李乃夫 丛书主编
◎ 孙名楷 主编
◎ 王永润 副主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业教育机电技术应用专业规划教材

液压与气动

李乃夫 丛书主编

孙名楷 主 编

王永润 副 主 编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是中等职业教育机电技术应用专业规划教材之一。全书主要包括四个单元的内容：液压传动原理、力学基础及基本元器件；液压阀与基本液压回路；气压传动基础知识和基本元器件；气压传动基本回路。

在本书的编写过程中，编者按照当前中等职业教育的大纲要求，根据当前职业教育教学改革和教材建设的总体目标，努力体现教学内容的先进性和前瞻性，注重实际应用，而不拘泥于传统的理论研究。本书可作为中等职业教育机电技术应用专业教材，也可供工科其他相关专业（如数控设备维修、数控技术应用等专业）使用。

本书配有实训教材《液压与气动技能训练》和电子教学资料包（包括教学指南、电子教案、习题答案等），详见前言。

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。

图书在版编目（CIP）数据

液压与气动 / 孙名楷主编. —北京：电子工业出版社，2009.1

中等职业教育机电技术应用专业规划教材

ISBN 978-7-121-06274-2

I. 液… II. 孙… III. ①液压传动—专业学校—教材 ②气压传动—专业学校—教材 IV.TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 158987 号

策划编辑：白 楠

责任编辑：李 影 张 凌 特约编辑：李印清

印 刷：涿州市京南印刷厂

装 订：涿州市桃园装订有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：10.25 字数：257.6 千字

印 次：2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：17.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前言

液压与气动技术相对于机械传动来说，是一门新兴技术，但从 1795 年第一台水压机诞生到现在，它已经走过了数百年的发展历程。从 20 世纪中期开始，液压技术就已经广泛应用在工程机械、冶金、农机、军工、汽车、船舶、石油和机床等行业中。气动技术则应用在汽车自动门、采矿风钻、机车抱闸系统，以及轻工、化工和食品等行业中。现今，液压气动技术的发展程度及普及性，已经成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

随着科学技术，特别是机电一体化技术的快速发展，机械自动化程度不断提高，液压与气动的优势日趋明显。如今的液压气动元件已经标准化、系列化，并且集成了传感技术、自动控制技术，利用计算机进行液压气动系统的设计、仿真、实验、调试，这些都为液压气动技术的发展提供了更广阔的前景。

本书的编写以当前中等职业教育的大纲要求为依据，以切实培养和提高中等职业学校机电类专业学生的专业技能为目的，突出实用性和针对性，不拘泥于理论研究，重在实际应用。

本书可作为中等职业学校机电技术应用专业教材，也可供其他相关专业（如数控设备维修、数控技术应用等专业）学生及工程技术人员使用。

本书分四个单元，共 11 章。第 1 章介绍了液压传动的基本原理、应用、系统组成、优缺点、液压油的选用等；第 2 章主要介绍了液压传动的力学原理及相关知识；第 3 章介绍了常用的液压元件；第 4 章讲述了液压方向控制阀及方向控制回路；第 5 章讲述了压力控制阀及压力控制回路；第 6 章讲述了流量控制阀与速度控制回路；第 7 章介绍了液压传动一些常用的其他回路；第 8 章介绍了气压传动的基础知识，包括其应用、优缺点等；第 9 章介绍了气压传动常用的元器件；第 10 章介绍了气压传动的基本回路；第 11 章介绍了气压传动中的其他常用回路。

建议课时分配如下：

章 节	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	机 动	总 计
方案 1	3	4	8	4	4	2	3	2	2	2	2	4	40
方案 2	4	6	10	6	6	3	4	3	3	3	3	4	55

在教学过程中，可根据实际情况进行调整。其中有个别章节或知识点可作为选授或学生自学内容，已在书中用*注明。

本书由孙名楷、王永润分别担任主编、副主编。各章的编写情况如下：第 1 章、第 2 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章由孙名楷编写；第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章由王永润编写。

由于作者水平所限，加之时间仓促，书中疏漏和错误之处在所难免，欢迎广大读者提出宝贵意见。联系方式：孙名楷：mingkaisun@163.com。

为了方便教师教学，本书还配有教学指南、电子教案及习题答案（电子版），请有此需要的老师登录华信教育资源网（www.huaxin.edu.cn 或 www.hxedu.com.cn）免费注册后再进行下载，在有问题时请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系（E-mail:hxedu@phei.com.cn）。

编 者

2008 年 10 月



目 录

第一单元 液压传动原理、力学基础及基本元器件

第 1 章 液压传动绪论	2
1.1 液压传动基本工作原理	2
1.1.1 液压千斤顶的工作原理	2
1.1.2 液压传动的工作原理	3
1.2 液压传动系统的组成	3
1.2.1 磨床工作台液压传动系统	4
1.2.2 液压传动系统的组成	4
1.2.3 液压传动系统的符号	4
1.3 液压传动的优、缺点	5
1.4 油液的主要性能及选用	5
1.4.1 液压油的用途	6
1.4.2 油液的分类	6
1.4.3 黏性	7
1.4.4 如何正确选择液压油	8
本章小结	10
思考与练习	10
第 2 章 液压传动力学基础	11
2.1 液压静力学基础	11
2.1.1 液体静压力	11
2.1.2 液体静力学基本方程	12
2.1.3 静压力的传递	12
2.1.4 绝对压力、相对压力和真空度	13
2.1.5 液体对固体壁面的作用力	14
2.2 液压动力学基础	14
2.2.1 基本概念	14
2.2.2 液体的流态和雷诺数	15
2.2.3 液体流动的连续性方程——质量方程	17
*2.2.4 液体流动的伯努利方程——能量方程	17
2.2.5 压力损失	19

2.3 液压冲击和气穴现象	19
2.3.1 液压冲击	19
2.3.2 气穴现象	20
本章小结	21
思考与练习	21
第3章 基本液压元件	22
3.1 液压泵概述	22
3.1.1 液压泵的工作原理	23
3.1.2 液压泵的主要性能参数	24
3.1.3 液压泵的分类和选用	25
3.2 柱塞泵	26
3.2.1 径向柱塞泵	26
3.2.2 轴向柱塞泵	28
3.3 叶片泵	30
3.3.1 双作用叶片泵	31
3.3.2 单作用叶片泵	35
3.4 齿轮泵	36
3.4.1 外啮合齿轮泵	37
3.4.2 内啮合齿轮泵	39
*3.4.3 螺杆泵	40
3.5 液压泵的选用	41
3.6 液压马达和液压缸	42
3.6.1 液压马达	43
3.6.2 液压缸	44
3.7 液压辅助元件	53
3.7.1 蓄能器	53
3.7.2 过滤器	55
3.7.3 油箱	55
3.7.4 热交换器	56
3.7.5 管件	57
本章小结	58
思考与练习	59

第二单元 液压阀与基本液压回路

第4章 方向控制阀与方向控制回路	61
4.1 单向阀与液控单向阀	61

4.1.1 普通单向阀	61
4.1.2 液控单向阀	62
4.2 换向阀	63
4.2.1 换向阀概述	63
4.2.2 滑阀式换向阀	63
4.3 方向控制回路	69
4.3.1 换向回路	69
4.3.2 锁紧回路	70
本章小结	71
思考与练习	71
第5章 压力控制阀与压力控制回路	73
5.1 溢流阀和调压回路	73
5.1.1 溢流阀	73
5.1.2 溢流阀的应用	75
5.2 顺序阀及顺序动作回路	76
5.2.1 顺序阀	77
5.2.2 顺序阀的应用	78
5.3 减压阀及减压回路	79
5.3.1 减压阀	79
5.3.2 减压阀的应用	80
5.4 压力继电器	80
本章小结	81
思考与练习	81
第6章 流量控制阀与速度控制回路	83
6.1 流量控制阀	83
6.1.1 流量控制原理	83
6.1.2 节流阀	83
6.1.3 调速阀	85
6.2 速度控制回路	86
6.2.1 节流阀调速回路	86
6.2.2 调速阀调速回路	87
本章小结	88
思考与练习	88
第7章 其他基本回路	90
7.1 压力控制回路	90

7.1.1	调压回路	90
7.1.2	卸荷回路	92
7.1.3	减压回路	92
7.1.4	增压回路	93
7.1.5	平衡回路	94
7.1.6	保压回路	94
7.2	速度控制回路	96
7.2.1	容积调速回路	96
*7.2.2	增速回路	98
7.2.3	速度换接回路	100
7.3	多执行元件控制回路	102
7.3.1	顺序动作回路	102
7.3.2	同步回路	103
7.3.3	互不干扰回路	103
	本章小结	105
	思考与练习	105

第三单元 气压传动基础知识和基本元器件

第 8 章	气压传动基础知识	107
8.1	气压传动概述	107
8.1.1	气压传动基本原理	107
8.1.2	气压传动系统组成	108
8.1.3	气压传动的优缺点	109
8.2	空气的物理性质	110
8.2.1	空气的组成	110
8.2.2	空气的压力	110
8.2.3	空气的黏性	111
8.2.4	空气的其他性质	111
*8.3	理想气体的状态方程	112
8.3.1	基本概念和气体状态方程	112
8.3.2	理想气体状态方程的几种特殊形式	112
	本章小结	113
	思考与练习	113
第 9 章	气源、气压传动基本元器件	114
9.1	气源装置	114
9.1.1	气压传动系统对压缩空气的要求	114

9.1.2 气源装置的组成	114
9.2 气动辅件	117
9.2.1 油雾器	117
9.2.2 消声器	119
*9.2.3 转换器	119
9.3 气动控制元件	120
9.3.1 压力控制阀	120
9.3.2 方向控制阀	123
9.3.3 流量控制阀	127
9.4 气动执行元件	128
9.4.1 汽缸	128
9.4.2 气马达	130
本章小结	130
思考与练习	130

第四单元 气压传动基本回路

第 10 章 气动基本回路	132
10.1 压力控制回路	132
10.1.1 一次压力控制回路	132
10.1.2 二次压力控制回路	133
10.1.3 高低压转换回路	133
10.2 方向控制回路	133
10.2.1 单作用汽缸的换向回路	134
10.2.2 双作用汽缸的换向回路	134
10.3 速度控制回路	134
10.3.1 单向调速回路	134
10.3.2 双向调速回路	135
10.3.3 速度换接回路	135
10.3.4 缓冲回路	135
本章小结	136
思考与练习	136
第 11 章 气动常用回路	137
11.1 安全保护回路	137
11.1.1 过载保护回路	137
11.1.2 双手保护回路	138
11.1.3 互锁回路	138

11.2 同步动作回路	138
11.2.1 机械连接控制的同步回路	138
11.2.2 气/液转换同步回路	139
11.3 往复动作回路	139
11.3.1 单往复动作回路	139
11.3.2 连续往复动作回路	139
本章小结	140
思考与练习	140
附录 A 常用液压与气动元件图形符号（摘自 GB/T786.1—1993）	141
附录 B 常用单位换算表	147
参考文献	149

第一单元

液压传动原理、力学基础及基本元器件

-  第1章 液压传动绪论
-  第2章 液压传动力学基础
-  第3章 基本液压元件



第 1 章 液压传动绪论

小故事：假期，我和父母一起回祖母家。在路途当中，车子爆胎了，于是父亲便把随车工具——扳手、千斤顶等器具拿出来，再取出备胎，就在路边直接修理更换。看着父亲只靠着千斤顶，不费吹灰之力就把车子顶高，然后换胎。哇！好厉害。这样的话，岂不是每个人都能成为大力士……

1.1 液压传动基本工作原理

【学习目标】

了解液压传动的基本工作原理。

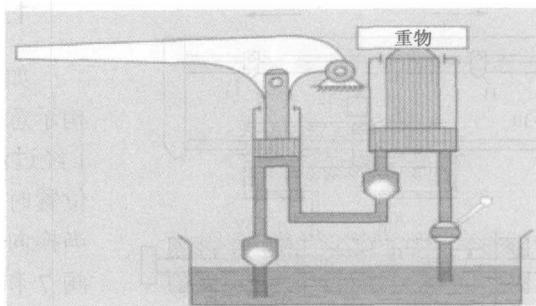
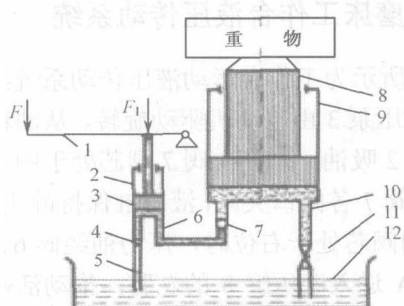
【学习重点难点】

液压千斤顶的工作过程。

1.1.1 液压千斤顶的工作原理

前面的小故事告诉我们，利用液压千斤顶，可以达到省力的目的。下面我们来了解液压千斤顶的工作原理。

如图 1.1 所示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，这时在大气压的作用下，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。



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 1.1 液压千斤顶的工作原理图

1.1.2 液压传动的工作原理

通过上面对液压千斤顶工作过程的分析，可以初步了解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工作介质，来传递运动和动力的**，但必须强调的是，**液体必须在密封容积中才能起到传动的作用**。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**。

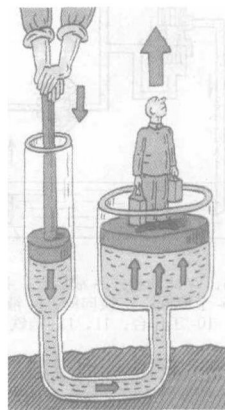


图 1.2 受力分析



思考

观察图 1.2，仔细思考一下，利用液压千斤顶，可以达到省力的目的，那么是否可以省功呢？

提示：注意大、小活塞的行程。

1.2 液压传动系统的组成

【学习目标】

了解液压传动系统组成及各部分的功用。

【学习重点、难点】

阅读液压系统图。



1.2.1 磨床工作台液压传动系统

如图 1.3 所示为工作台运动液压传动系统结构示意图。液压泵 3 由电动机驱动旋转，从油箱 1 经过滤油器 2 吸油。当换向阀 7 阀芯处于图示位置时，换向阀 7 各阀口关闭，液压缸保持静止。当换向阀 7 的阀芯处于右位时，压力油经阀 6、阀 7 和阀口 A 进入液压缸 8 的左腔，推动活塞向右运动。液压缸右腔的油液经阀口 B、阀 7 和阀口 T 流回油箱。改变阀 7 阀芯的工作位置，使之处于左端时，液压缸活塞反向运动。

改变节流阀 6 的开口，可以改变进入液压缸的流量，从而控制液压缸活塞的运动速度。液压泵的最大工作压力由溢流阀 5 调定，对系统起着过载保护作用。

1.2.2 液压传动系统的组成

从上面的例子可以看出，液压系统主要由以下五个部分组成。

(1) 执行元件：一般指液压缸和液压马达，是把流体的压力能转换成机械能输出的装置。可以说，执行元件是最终为我们服务的元器件。

(2) 动力元件：一般指液压泵，是把原动机的机械能转换成流体压力能的装置，是整个系统的动力来源。

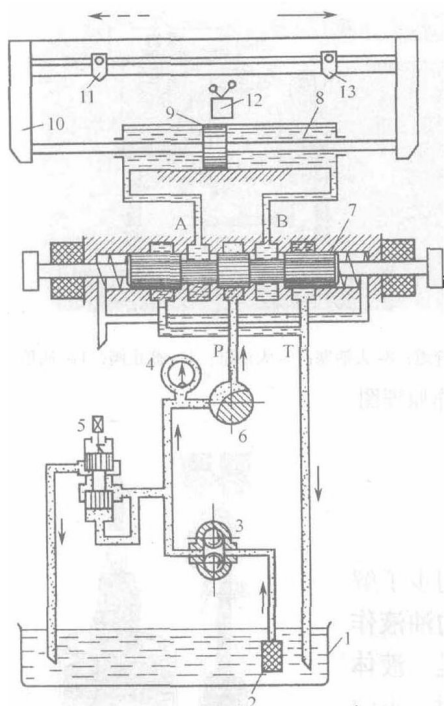
(3) 控制元件：指各种类型的阀，是对系统中流体压力、流量和流动方向进行控制或调节，保证工作机构完成预定动作的装置。

(4) 辅助元件：包括油管、油箱、过滤器、蓄能器、压力表等。它的主要作用是连接各种元器件、监测系统工作情况等，是整个系统必不可少的组成部分。

(5) 传动介质：指液压油，其作用是实现运动和动力的传递。

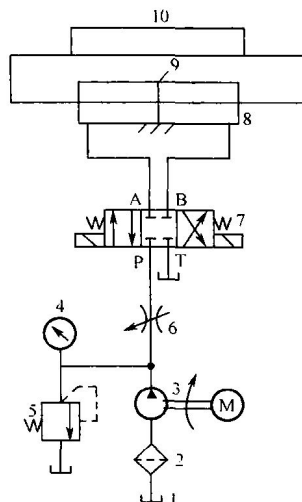
1.2.3 液压传动系统的符号

工程实际中绘制液压传动系统图时，一般采用国标 GB786.1—1993 所规定的元件符号，绘制成液压传动系统符号图，将如图 1.3 所示的液压传动系统绘制成如图 1.4 所示的液压传动系统符号图。图中的符号只表示元件



1- 油箱；2- 滤油器；3- 液压泵；4- 压力表；5- 溢流阀；
6- 节流阀；7- 换向阀；8- 液压缸；9- 活塞；
10- 工作台；11、13- 挡铁；12- 行程开关

图 1.3 工作台运动液压传动系统
结构示意图



1- 油箱；2- 滤油器；3- 液压泵；4- 压力表
5- 溢流阀；6- 节流阀；7- 换向阀；
8- 液压缸；9- 活塞；10- 工作台

图 1.4 液压传动系统符号图



的功能,不表示元件的结构和安装位置。使用这些图形符号,可使液压系统简单明了,便于绘制。国标 GB786.1—1993 常用液压与气动元件图形符号见本书附录 A。

1.3 液压传动的优、缺点

与机械传动和电力拖动系统相比,液压传动具有如下优点。

- (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,液压传动装置体积较小,重量较轻、运动惯性小、反应速度快。各种液压元件之间的布局、安装有很大的灵活性,可以构成其他传动系统难以实现的复杂系统。
- (3) 可实现无间隙传动,工作平稳,冲击小,能高速启动、制动和换向。
- (4) 液压系统便于实现过载保护。
- (5) 液压系统操纵简单,便于实现自动化。特别是和电气控制联合使用时,易于实现复杂的自动工作循环。
- (6) 液压元件能够自行润滑,元件的使用寿命长。
- (7) 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化,故便于设计、制造。

同时,液压传动也有如下缺点。

- (1) 由于泄漏及流体的可压缩性,使它们无法保证严格的传动比。
 - (2) 能量损失大,系统效率低。
 - (3) 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,且易污染环境。
 - (4) 不宜远距离输送动力。
 - (5) 油液元件制造精度要求高,加工装配较困难,且对油液的污染较敏感。
 - (6) 由于液压元件和工作介质都在封闭的油路内工作,发生故障不易检查。
- 总的来说,液压传动的优点是显著的,其缺点也正在逐步被克服。随着科学技术的发展,液压传动在现代生产中有着广阔的应用前景。

1.4 油液的主要性能及选用

【学习目标】

学习掌握液压油的分类及其物理性质,能够根据系统要求选择合适的油液。

【学习重点难点】

液压油的分类,液压油的黏性。

液压油是传递动力和运动的工作介质,了解液压油的基本性质,对于正确理解液压传动原理与规律,正确使用液压系统,都是非常必要的。



1.4.1 液压油的用途

在整个液压系统中,油液的作用主要有以下4种。

(1) 传递运动和动力:将泵的机械能转换成液压能并传至系统各处。

(2) 润滑:液压油具有一定的润滑性能,可以降低系统中各元器件的磨损。

(3) 冷却:系统中由于摩擦的存在,在运动过程中产生热量。液压油可以带走这些热量,稳定系统。

(4) 密封:由于黏性的存在,液压油可以对细小的间隙起密封的作用。

1.4.2 油液的分类

油液主要分为三大类:矿油型(亦称石油型)、乳化型和合成型。

矿物型液压油以机械油为原料,精炼后按需要加入适量的添加剂。这类液压油润滑性能和防锈性能良好,黏度等级范围宽,能够满足液压传动系统的一般要求,适用于 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的中、低压系统,故其在液压系统中应用广泛。目前有90%以上的液压系统采用矿物型液压油作为系统的工作介质。但其抗燃性较差,不适合在高温、易燃、易爆的场合工作。

液压油的主要品种及特性和用途如表1.1所示。

表 1.1 液压油的主要品种及特性和用途

类 型	名 称	ISO 代号	特 性 和 用 途
矿 油 型	普通液压油	L-HL	精制矿油加添加剂,提高抗氧化和防锈性能,适用于室内一般设备的中、低压系统
	抗磨液压油	L-HM	L-HL油加添加剂,改善抗磨性能,适用于工程机械、车辆液压系统
	低温液压油	L-HV	L-HM油加添加剂,改善黏温特性,适用于一般温度在 $-20\sim -40^{\circ}\text{C}$ 的高压系统
	高黏度指数液压油	L-HR	L-HL油加添加剂,改善黏温特性,VI(黏度指数)值达175以上,适用于对黏温特性有特殊要求的低压系统,如数控机床液压系统
	液压导轨油	L-HG	L-HM油加添加剂,改善黏—滑性能,适用于机床中液压和导轨润滑合用的系统
	全损耗系统用油	L-HH	浅度精制矿油,抗氧化性、抗泡沫性较差,主要用于机械润滑,可用做液压代用油,适用于要求不高的低压系统
	汽轮机油	L-TSA	深度精制矿油加添加剂,改善抗氧化、抗泡沫等性能,为汽轮机专用油,可用做液压代用油,适用于一般液压系统
浮 化 型	水包油乳化液	L-HFA	又称高水基液,特点是难燃、黏温特性好,有一定的防锈能力,润滑性差,易泄漏,适用于有抗燃要求、油液用量大且泄漏严重的系统
	油包水乳化液	L-HFB	既具有矿物型液压油的抗磨、防锈性能,又具有抗燃性,适用于有抗燃要求的中压系统
合 成 型	水-乙二醇液	L-HFC	难燃,黏温特性和抗蚀性好,能在 $-30\sim 60^{\circ}\text{C}$ 温度下使用,适用于有抗燃要求的中性能低压系统
	磷酸酯液	L-HFDR	难燃,润滑、抗磨和抗氧化性能良好,能在 $-54\sim 135^{\circ}\text{C}$ 温度范围内使用,缺点是有毒,适用于有抗燃要求的高压精密液压系统