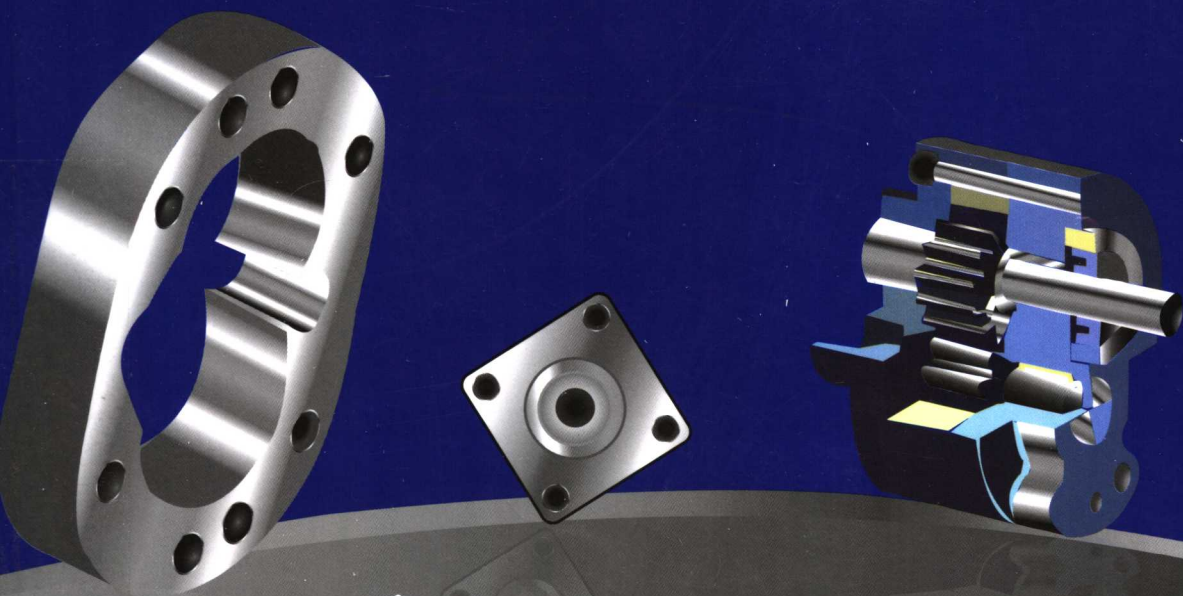


YEYA YUANJIAN SHIYONG ZHINAN

液压元件

使用指南

● 刘延俊 编著



化学工业出版社

TH137.5/21

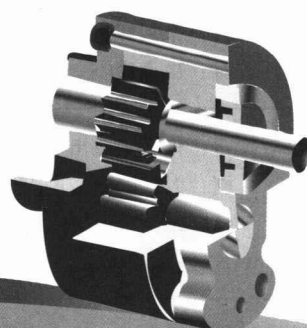
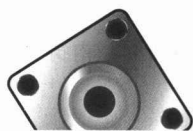
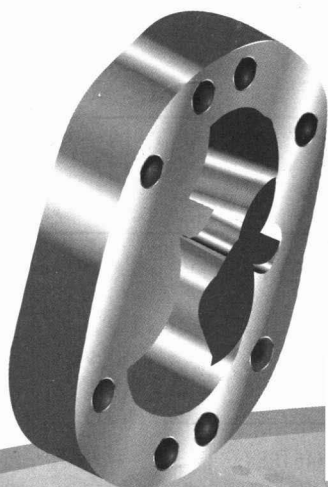
2008

YEYA YUANJIAN SHIYONG ZHINAN

液压元件

使用指南

● 刘延俊 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在简要介绍了液压传动系统工作原理、组成、液压系统图的识图方法和步骤的基础上,重点介绍了液压油的特性、选用以及污染防治,各种常用典型液压元件(动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件)的工作原理、结构、型号编制、选用注意事项、常见故障与排除方法等。本书所介绍的典型液压元件全部采用国内外著名厂商的产品,并且全部采用了国标的最新符号。为便于查阅,在附录中列出了常见液压元件的故障现象及其排除方法。

本书主要面向在一线工作的工程技术人员以及技术工人,也可供从事液压技术的工程技术人员在设计、现场使用与维护液压设备、处理故障时参考使用,同时也可作为工厂、企业的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

液压元件使用指南/刘延俊编著. —北京:化学工业出版社, 2007. 10

ISBN 978-7-122-00773-5

I. 液… II. 刘… III. 液压元件-指南 IV. TH137.5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 099016 号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:钱 诚

责任校对:徐贞珍

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 22¼ 字数 548 千字 2008 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前言

液压技术由于其独特的优点，在国民经济各个行业得到了广泛应用。由于国内外液压元件在结构特点、型号编制方面的不同，给使用液压设备单位的一线工程技术人员和操作人员带来了诸多不便；然而液压元件的工作原理是不变的，作者编著本书的目的就是要揭示液压元件的共性，同时指出其特性，为现场液压系统的故障排除，液压元件的备货、替代、使用与维护，提供便捷的解决方法。本书中的许多实例是作者近二十年从事液压系统设计、制造、调试、使用与维护、故障排除等方面所做的工作以及经验总结。

本书在简要介绍了液压传动系统工作原理、组成、液压系统图的识图方法和步骤的基础上，重点介绍了液压油的特性、选用以及污染防治，各种常用典型液压元件（动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件）的工作原理、结构、型号编制、选用注意事项、常见故障与排除方法等。本书所介绍的典型液压元件全部采用国内外著名厂商的产品，并且全部采用了国标的最新符号。为便于查阅，在附录中列出了常见液压元件的故障现象及其排除方法。

本书主要面向在一线工作的工程技术人员以及技术工人，也可供从事液压技术的工程技术人员在设计、现场使用与维护液压设备、处理故障时参考使用，同时也可作为工厂、企业的培训教材。

本书由山东大学刘延俊编著。谢玉东、任慧丽、孔祥臻、王辉、高新华等为本书的资料搜集、文稿录入以及部分插图的绘制做了大量工作。

感谢在本书编写过程中曾给予大力支持的单位、液压元件产品的制造商，特别感谢山东山大液压气动有限公司为本书编写过程中提供的大量翔实的技术资料。由于作者学识水平有限，书中难免存在不妥之处，恳求广大读者和从事液压技术的专家及同行们批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 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	2
1.2 阅读液压系统图的主要要求	2
1.3 液压系统图的识图步骤与分析方法	2
1.3.1 液压系统图的识图步骤	2
1.3.2 液压系统图的分析方法	3
1.4 液压系统的优缺点及其应用	3
1.4.1 液压传动的优缺点	3
1.4.2 液压传动在机械中的应用	5
第 2 章 液压油的选用与污染防治	6
2.1 液压油的物理性质	6
2.1.1 密度	6
2.1.2 液压油的可压缩性	6
2.1.3 黏性	7
2.2 液压油的种类与选用	10
2.2.1 液压油的要求	10
2.2.2 液压油的分类	10
2.2.3 常用液压油	11
2.2.4 液压油的选用	15
2.3 液压油的污染控制	17
2.3.1 液压油污染的危害	17
2.3.2 污染物的形态和来源	18
2.3.3 污染度的测定和污染物等级	18
2.3.4 液压油液品质的判定	21
2.3.5 污染控制措施	21
2.4 液压油的使用与维护	22

2.4.1 液压油的存放	22
2.4.2 液压油存放过程的问题	23
2.4.3 液压油的使用与维护	23

第3章 液压动力元件使用指南 25

3.1 概述	25
3.1.1 液压泵的工作原理和分类	25
3.1.2 液压泵的主要参数	25
3.1.3 液压泵的工作特性	27
3.2 齿轮泵	27
3.2.1 齿轮泵的工作原理	27
3.2.2 CBG 系列高压齿轮泵使用指南	29
3.2.3 NB 系列内啮合齿轮泵使用指南	30
3.2.4 顺威 P1 和 P2 系列定量齿轮泵使用指南	31
3.2.5 进口 GPY 系列齿轮泵使用指南	35
3.2.6 意大利 DUPLOMATIC (迪普马) 1P 系列外啮合齿轮泵	37
3.2.7 意大利 DUPLOMATIC (迪普马) IGP 系列内啮合齿轮泵	41
3.2.8 齿轮泵的使用注意事项	41
3.3 叶片泵	42
3.3.1 叶片泵的结构和工作原理	42
3.3.2 叶片泵常见故障及排除	44
3.3.3 顺威 HVP 系列叶片泵	45
3.3.4 顺威 VQ 系列叶片泵	48
3.3.5 顺威 150T+50T、150T+150T 系列双联定量叶片泵 (低压型)	50
3.3.6 意大利 DUPLOMATIC (迪普马) PVD 系列变量叶片泵	51
3.3.7 加拿大 METARIS (麦塔雷斯) 叶片泵的型号编制	53
3.4 柱塞泵	57
3.4.1 柱塞泵的工作原理	57
3.4.2 柱塞泵的常见故障及排除	59
3.4.3 CY14-1 轴向柱塞泵使用指南	61
3.4.4 V 系列柱塞泵使用指南	66
3.4.5 AR 系列变量柱塞泵使用指南	69
3.4.6 意大利 DUPLOMATIC (迪普马) VPPL 系列轴向柱塞变量泵	70
3.4.7 美国 DENISON (丹尼逊) 金杯系列轴向柱塞式液压泵	72
3.5 液压泵的选用	77
3.5.1 液压泵的性能比较	77
3.5.2 液压泵的连接注意事项	77
3.5.3 液压泵的使用注意事项	79

第 4 章 液压执行元件使用指南	80
4.1 液压缸的类型和特点	80
4.1.1 活塞缸	80
4.1.2 柱塞缸	82
4.1.3 特殊结构液压缸	82
4.2 液压缸的结构	84
4.2.1 缸体组件	84
4.2.2 活塞组件	85
4.2.3 密封装置	85
4.2.4 缓冲装置	86
4.2.5 排气装置	86
4.2.6 安装连接形式	87
4.3 液压缸使用指南	88
4.3.1 OM 系列液压缸的型号编制及标准液压缸固定形式	88
4.3.2 典型液压缸使用指南	88
4.3.3 意大利 DUPLOMATIC (迪普马) HC3 型液压缸	101
4.3.4 液压缸选用应当注意的问题	104
4.3.5 液压缸常见故障与排除	104
4.4 液压马达	113
4.4.1 液压马达的工作原理	113
4.4.2 液压马达的结构	114
4.4.3 液压马达的主要参数	116
4.4.4 典型液压马达型号编制及主要性能参数	117
4.4.5 美国 DENISON (丹尼逊) 金杯系列轴向柱塞式液压马达	121
4.4.6 液压马达与液压泵的异同点比较	125
4.4.7 液压马达的选用	126
4.4.8 液压马达的常见故障与排除	126
第 5 章 液压控制元件使用指南	129
5.1 概述	129
5.1.1 液压控制元件的作用与分类	129
5.1.2 液压控制元件的性能参数	129
5.1.3 液压控制元件的选型原则	130
5.2 方向控制阀	130
5.2.1 单向阀	130
5.2.2 换向阀	138
5.3 压力控制阀	167
5.3.1 溢流阀	167
5.3.2 减压阀	185

5.3.3	顺序阀	194
5.3.4	压力继电器	201
5.4	流量控制阀	206
5.4.1	普通节流阀与单向节流阀	208
5.4.2	调速阀	209
5.4.3	溢流节流阀	211
5.4.4	顺威系列流量控制阀	212
5.4.5	德国 Bosch-Rexroth (博世力士乐) MG/MK 型节流阀/单向节流阀	216
5.4.6	流量控制阀常见故障与排除	219
5.4.7	分流集流阀	220
5.4.8	齿轮流量分配器	223
5.5	比例阀使用指南	226
5.5.1	概述	226
5.5.2	电液比例压力阀	227
5.5.3	电液比例流量阀	228
5.5.4	电液比例方向阀	229
5.5.5	比例阀的应用	229
5.5.6	顺威系列电液比例控制阀	230
5.5.7	德国 Bosch-Rexroth (博世力士乐) 4WREEM 型 3/4 比例方向阀	238
5.5.8	德国 Bosch-Rexroth (博世力士乐) DBEP 型比例溢流阀	245
5.5.9	比例阀使用注意事项	247
5.5.10	比例阀常见故障与排除	248
5.6	叠加阀使用指南	248
5.6.1	叠加阀的特点	248
5.6.2	叠加阀的结构及工作原理	249
5.6.3	国内外著名厂商叠加阀型号编制	250
5.6.4	意大利 DUPLOMATIC (迪普马) MZD 型叠加式直动三通减压阀	258
5.6.5	叠加阀使用注意事项	263
5.7	插装阀使用指南	265
5.7.1	插装阀的特点	265
5.7.2	插装阀的结构及工作原理	265
5.7.3	插装阀的应用	267
5.7.4	顺威系列插装阀	271
5.7.5	德国 Bosch-Rexroth (博世力士乐) LC 型二通插装式压力阀	271
5.7.6	插装阀使用注意事项	274
5.7.7	插装阀常见故障与排除	274
5.8	伺服阀使用指南	276
5.8.1	伺服阀的分类	276
5.8.2	伺服阀的工作原理	276
5.8.3	北京机械工业自动化研究所 SV 系列电液伺服阀	280

5.8.4	德国 Bosch-Rexroth (博世力士乐) 4WSE3EE 型伺服方向阀	281
5.8.5	伺服阀的使用注意事项	282
5.8.6	伺服阀常见故障与排除	283
第 6 章	辅助元件使用指南	285
6.1	滤油器	285
6.1.1	滤油器的功用和性能指标	285
6.1.2	滤油器的类型及其性能特点	286
6.1.3	顺威 MF 折叠式滤油器	287
6.1.4	意大利 DUPLOMATIC (迪普马) FRT 型滤油器	288
6.1.5	滤油器的选用与安装注意事项	290
6.1.6	滤油器常见故障与排除	291
6.2	油箱	291
6.2.1	油箱的功用、分类与结构	291
6.2.2	油箱使用中应注意的问题	292
6.2.3	油箱常见故障与排除	293
6.3	热交换器	293
6.3.1	冷却器	293
6.3.2	加热器	294
6.3.3	顺威系列热交换器	295
6.3.4	热交换器的常见故障与排除	296
6.4	蓄能器	298
6.4.1	蓄能器的功用	298
6.4.2	蓄能器的类型和结构	298
6.4.3	蓄能器容量的计算	299
6.4.4	蓄能器的应用和安装使用注意事项	300
6.4.5	NXQ 系列皮囊式蓄能器	302
6.4.6	蓄能器常见故障与排除	303
6.5	压力表开关	303
6.5.1	压力表开关的作用与分类	303
6.5.2	压力表开关的典型结构与工作原理	303
6.5.3	顺威系列压力表开关	305
6.5.4	压力表开关常见故障与排除方法	306
6.6	压力表	307
6.6.1	压力表的作用与分类	307
6.6.2	压力表的典型结构与工作原理	307
6.6.3	顺威系列压力表	308
6.6.4	压力表的选择和使用注意事项	308
6.7	液位继电器	309
6.7.1	液位继电器的功用	309

6.7.2	液位继电器典型结构与工作原理	310
6.7.3	温州远东系列液位继电器	310
6.7.4	液位继电器的使用与维护	310
6.8	连接件	311
6.8.1	油管	311
6.8.2	管接头	312
6.8.3	软管总成及软管接头	313
6.8.4	钢管接头	318
6.8.5	美国 PARKER (派克) 系列快换接头	321
6.8.6	连接件常见故障与排除	327
6.9	密封装置	327
6.9.1	对密封装置的要求	327
6.9.2	密封装置的类型和特点	327
6.9.3	新型密封元件	330
6.9.4	美国 PARKER (派克) 系列密封件	332
6.9.5	密封装置的常见故障与排除	333
附录 液压元件常见故障及其排除方法		335
参考文献		341

第 1 章 概 述

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

为了使读者了解液压传动的工作原理，现以实现工作台往复运动的简单磨床的液压传动系统为例（图 1-1）进行分析。液压缸 8 固定在床身上，活塞 9 连同活塞杆带动工作台 10 作直线往复运动。电动机带动液压泵 3 旋转，液压泵 3 从油箱 1 经过滤油器 2 吸油，油液通过节流阀 4 流至换向阀 6。当手柄 7 处于如图 1-1（a）所示位置时，P 与 A、B、T 均不通，液压缸 8 不通油，所以工作台停止。

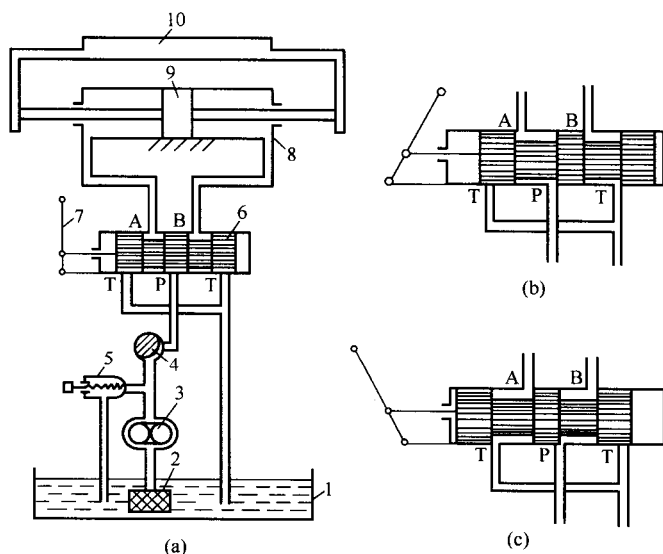


图 1-1 简单磨床的液压传动系统

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

若将手柄 7 推至如图 1-1（b）所示位置，这时油液从 P→A→液压缸 8 左腔；液压缸 8 右腔→B→T，工作台 10 向右移动。

若将手柄 7 推至如图 1-1（c）所示位置，这时油液从 P→B→液压缸 8 右腔；液压缸 8 左腔→A→T，工作台 10 向左移动。

由此可见，由于设置了换向阀 6，所以可改变压力油的通路，使液压缸不断换向实现工作台的往复运动。

工作台速度 v 可通过节流阀 4 来调节。节流阀的作用是利用改变节流阀开口的大小，来调节通过节流阀油液的流量，以控制工作台的速度。

工作台运动时，要克服阻力、切削力和相对运动件表面的摩擦力等，这些阻力由液压泵输出油液的压力来克服，根据工作情况的不同，液压泵输出油液的压力应该能够调整。另外，一般情况下，液压泵排出的油液往往多于液压缸所需油液，多余的油液经溢流阀 5 流回油箱。图 1-1 中 2 为网式滤油器，起滤油作用。

通过对上面系统的分析可以得出如下结论。

① 液压传动是依靠运动着的液体的压力能来传递动力的，它与依靠液体的动能来传递动力的“液力传动”不同。

② 液压系统工作时，液压泵将机械能转变为压力能；执行元件（液压缸）将压力能转变为机械能。

③ 液压传动系统中的油液是在受调节、控制的状态下进行工作的，液压传动与控制难以截然分开。

④ 液压传动系统必须满足它所驱动的机床部件（工作台）在力和速度方面的要求。

⑤ 有工作介质，液压传动是以液体作为工作介质来传递信号和动力的。

1.1.2 液压传动系统的组成

从以上的例子可以看出液压传动系统的组成部分有以下五个方面。

① 能源装置 它把机械能转变成油液的压力能。最常见的就是液压泵，它给液压系统提供压力油，使整个系统能够动作起来。

② 执行装置 将油液压力能转变成机械能，并对外做功。例如液压缸、液压马达。

③ 控制调节装置 它们是控制液压系统中油液的压力、流量和流动方向的装置。上例中，换向阀、节流阀、溢流阀等液压元件都属于这类装置。

④ 辅助装置 它们是除上述三项以外的其他装置，如上例中的油箱、滤油器、油管等。它们对保证液压系统可靠、稳定、持久地工作，有重要作用。

⑤ 工作介质 液压油或其他合成液体。

1.2 阅读液压系统图的主要要求

正确、迅速地分析和阅读液压系统图，对于液压设备的设计、分析、研究、使用、维修、调整和故障排除均具有重要的指导作用，应当说明的是：液压系统原理图仅代表液压元件的相互连接关系，不代表实际的空间安装位置以及元件的尺寸大小。为了能够正确而又迅速地阅读液压系统图，首先必须掌握液压元件的结构、工作原理、特点和各种基本回路的应用，了解液压系统的控制方式、职能符号及其相关标准，了解液压主油路以及控制油路的进、出情况；其次，结合实际液压设备及其液压原理图多读多练，掌握各种典型液压系统的特点，对于今后阅读新的液压系统，可起到以点带面、触类旁通和熟能生巧的作用。

1.3 液压系统图的识图步骤与分析方法

1.3.1 液压系统图的识图步骤

阅读液压系统图一般可按以下步骤进行。

① 全面了解设备的功能、工作循环和对液压系统提出的各种要求。例如组合机床液压系统图，它是以速度转换为主的液压系统，除了能实现液压滑台的快进→工进→快退的基本工作循环外，还要特别注意速度转换的平稳性等指标。同时要了解控制信号的转换以及电磁铁动作表等。这有助于技术人员能够有针对性地进行阅读。

② 仔细研究液压系统中所有液压元件及它们之间的联系，弄清各个液压元件的类型、原理、性能和功用。对一些用半结构图表示的专用元件，要特别注意它们的工作原理，要读懂各种控制装置及变量机构。

③ 仔细分析并写出各执行元件的动作循环和相应的油液所经过的路线。

为便于阅读，最好先将液压系统中的各条油路分别进行编码，然后按执行元件划分读图单元，每个读图单元先看动作循环，再看控制回路、主油路。要特别注意系统从一种工作状态转换到另一种工作状态时，是由哪些元件发出的信号，又是使哪些控制元件动作并实现的。

分析油路的走向时，首先从液压泵开始，从油箱吸油按照油路的走向经过控制元件到达执行元件的一侧，然后从执行元件的另一侧再经控制元件到达油箱，形成一个完整的油路循环。

阅读液压系统图的具体方法有传动链法、电磁铁工作循环表法和等效油路图法等。

1.3.2 液压系统图的分析方法

在读懂液压系统图的基础上，还必须进一步对该系统进行一些分析，这样才能评价液压系统的优缺点，使设计的液压系统性能不断完善。

液压系统图的分析可考虑以下几个方面。

- ① 液压基本回路的确定是否符合主机的动作要求。
- ② 各主油路之间、主油路与控制油路之间有无矛盾和干涉现象。
- ③ 液压元件的代用、变换和合并是否合理、可行。
- ④ 液压系统性能的改进方向。

1.4 液压系统的优缺点及其应用

1.4.1 液压传动的优缺点

液压传动有以下一些优点。

① 在同等的体积下，液压装置能比电气装置产生出更大的动力。在同等的功率下，液压装置体积小，重量轻，功率密度大，结构紧凑。统计资料表明，液压泵和液压马达单位功率的重量只有发电机和电动机的 $1/10$ ，液压泵和液压马达可小至 0.0025N/W ，而同等功率的发电机和电动机则约为 0.03N/W 。至于尺寸，前者约为后者的 $12\%\sim 13\%$ 。就输出力而言，用泵很容易达到极高压力的液压油液，将此油液传送至液压缸后即可产生很大的作用力。所以液压技术有利于机械设备及其控制系统的微型化、小型化，并进行大功率作业。

② 液压装置工作比较平稳。由于重量轻、惯性小、反应快，液压装置易于实现快速启动、制动和频繁的换向，往复回转运动的换向频率可达 500次/min ，往复直线运动的换向频率高达 1000次/min ；油液具有弹性，可吸收冲击，故液压传递运动均匀平稳。

③ 液压装置易于实现过载保护。液压缸和液压马达都能长期在堵转状态下工作而不会过热，这是电气传动装置和机械传动装置无法办到的。

④ 液压传动易于自动化，对液体压力、流量或流动方向易于进行调解或控制。当将液压控制和电气控制、电子控制或气动控制结合起来使用时，整个传动装置能实现很复杂的顺序动作，也能方便地实现远程控制。

⑤ 液压装置能在大范围内实现无级调速（调速范围可达 2000：1），它还可以在运行过程中进行调速。

⑥ 液压系统设计、制造和使用维护方便。液压元件属于机械工业基础件，已实现了标准化、系列化和通用化，因此，便于液压系统的设计、制造和使用维护，有利于缩短机器设备的设计制造周期并降低制造成本。

⑦ 用液压传动实现直线运动比用机械传动简单。

⑧ 布局灵活方便。液压元件的布置不受严格的空間位置限制，容易按照机器的需要通过管道实现系统中各部分的连接，布局安装具有很大的柔性，能够组成其他方法难以组成的复杂系统。

液压传动也存在以下一些缺点。

① 液压传动在工作过程中常有较多的能量损失（摩擦损失、泄漏损失等），传动效率偏低，长距离传动时更是如此。

② 不能保证定比传动。由于液体的压缩性和泄漏等因素的影响，液压技术不能严格保证定比传动。

③ 液压传动对油温变化比较敏感，它的工作稳定性很容易受到温度的影响，因此它不宜在很高或很低的温度条件下工作，采用石油基液压油作传动介质时还需要注意防火问题。

④ 造价较高。为了减少泄漏，液压元件在制造精度上的要求较高，因此它的造价较高，而且对工作介质的污染比较敏感。

⑤ 故障诊断困难。液压元件与系统容易因液压油液污染等原因造成系统故障，且发生故障不易诊断。

液压传动与其他传动方式的综合比较见表 1-1。

表 1-1 液压传动与其他传动方式的综合比较

性 能	液压传动	气压传动	机械传动	电气传动
输出力	大	稍大	较大	不太大
速度	较高	高	低	高
质量功率比	小	中等	较小	中等
响应性	高	低	中等	高
负载引起特性变化	稍有	很大	几乎无	几乎无
定位性	稍好	不良	良好	良好
无级调速	良好	较好	较困难	良好
远程操作	良好	良好	困难	特别好
信号变换	困难	较困难	困难	容易
调整	容易	稍困难	稍困难	容易
结构	稍复杂	简单	一般	稍复杂
管线配置	复杂	稍复杂	较简单	不特别
环境适应性	较好,但易燃	好	一般	不太好
动力源失效时	可通过蓄能器完成若干动作	有余量	不能工作	不能工作
工作寿命	一般	长	一般	较短
维护要求	高	一般	简单	较高
价格	稍高	低	一般	稍高
危险性	稍高	几乎无	无特别问题	注意漏电

1.4.2 液压传动在机械中的应用

工业各部门使用液压传动的出发点是不尽相同的：有的是利用它们在传递动力上的长处，如工程机械、压力机械和航空工业采用液压传动的主要原因是其结构简单、体积小、重量轻、输出功率大；有的是利用它们在操纵控制上的优点，如机床上采用液压传动是因其能在工作过程中实现无级变速，易于实现频繁换向，易于实现自动化。

液压技术与现代社会中人们的日常生活、工农业生产、科学研究活动正产生着日益密切的关系，已成为现代机械设备和装置中的基本技术构成、现代控制工程的基本技术要素和工业及国防自动化的重要手段，并在国民经济各行业以及几乎所有技术领域中日益广泛应用，应用液压技术的程度已成为衡量一个国家工业化水平的重要标志。表 1-2 列举了近年来液压传动技术与控制技术的应用领域及大量应用实例。

表 1-2 现代液压技术的应用领域及举例

应用 领域	采用液压技术的机器设备和装置
机械制造及汽车工业	铸造机械(铸造生产线振实台、离心铸造机等)；金属成形设备(液压机、折弯机、剪切机、带轮辊轧机、铜铝屑压块机)；焊接设备(焊条压涂机、自动缝焊机、摩擦焊接剂等)；热处理设备(各类淬火机及上下料机械手、淬火炉工件传动机等)；金属切削机床(自动车床、组合铣床、仿形刨床、平面及外圆磨床、数控刃磨机床、深孔钻床、金刚镗床、拉床、深孔研磨机床、带锯机床、冲床等)；汽车摩托车制造设备(轿车座椅泡沫生产线、汽车带轮旋压机、发动机气缸体加工机床、摩托车车轮压窝冲孔机、发动机连杆销压装机、汽车大梁生产线铆接机、无内胎铝合金车轮气密性检测机、汽车零部件试验台)
家用电器与五金制造	家电行业(显像管玻壳剪切机、电冰箱压缩机、电机转子叠片机、冰箱箱体折弯机、电冰箱内胆热成形机、制冷热交换器、U 形管自动成形机等)；五金行业(制钉机、工具锤装柄机、门锁整体成形压机等)
计量质检、装置、特种设备及公共设施	计量与产品质量检验设备(标准动态力源装置、万能试验机、商品出入境检验试验机、墙体砖及砌块试验机、木材力学试验机等各种产品质量检验设备)；特种设备(液压电梯、纯水灭火车等)；公共设施(循环式客运索道、广播电视塔天线桅杆提升装置、大型剧院升降舞台、各类游艺机、自动捆钞机、磁卡层压机、医用牵引床、X 光机隔室透视站等)；环保设备(垃圾压缩机、垃圾破碎机和压榨机、污泥自卸车等)
能源与冶金工业	电力行业(电站锅炉、火电厂大型烟筒顶升设备、变压器绝缘纸板热压成形机组、高压输电线间隔棒振摆试验机、电力导线压接钳等)；煤炭工业(煤矿液压支架、煤矿多绳绞车、卸煤生产线定位机车等)；石油天然气探采机械(海洋石油钻井平台、石油钻机、各类抽油机及修井机、绞车、输油管道阀门启闭装置、捞油车、油田管材矫直机及管线试压装置等)；冶炼轧制设备(高炉液压泥炮、冶炼电炉、轧机及板坯连铸机、热浸镀模拟试验机等)；冶金产品整理(高速线材打捆机、卷材小车、带材导向器、钢管锯机及平头倒棱机、打号机、铝型材连续挤压生产线等)；冶金企业环保设备(钢厂废水处理自动压滤机)
轻工、纺织及化工机械	轻工机械(表壳热冲压成形机、煮糖罐搅拌器、蔗糖生产用自动板框式压滤机、皮革熨平机、原木屑片输送机、人造板压热机、弯曲木家具多向压机、纸张复卷机、植物纤维餐具成形机、竹制菜盘成形机、骨肉分割机等)；纺织机械(纺丝机、印花机、冷压堆卷布机、毛呢罐蒸机、自动堆染机等)；化工机械(注塑机、吹塑挤出机、橡胶平板硫化机、琼脂自动压榨机、催化剂高压挤条机、乳化炸药装药机、集装箱塑料颗粒倾斜机等)
铁路公路工程	铁路工程施工设备(铺轨机、路基渣石机、边坡整形机、钢轨电极接触面磨光机、铁道轮对轴承压装机等)；公路工程及运输(高速公路钢护栏冲孔切断机、隧道工程衬砌台车、汽车维修举升机、地下汽车库升降平台、公交汽车、汽车刹车皮铆钉机、架桥机等)
航空航天工程、河海工程及武器装备	航空航天工程(大型客车、飞机机轮轴承清洗补油装置、飞机包伞机、飞机场地面设备、飞机起落架收放试验车、卫星发射设备等)；河海工程(河流穿越设备、水槽不规则造波机、舵机、深潜救生艇对接机械手、水下机器人及钻孔机、舰船模拟平台、波浪补偿起重机等)；武器装备(炮塔仰俯装置、地空导弹发射装置、枪管旋压机等)
建材、建筑、工程机械及农林牧机械	建材行业(卫生瓷高压注浆成形机、石材肥料模压成形机及石材连续磨机、墙地砖压机等)；建筑行业(钢筋弯箍机及自动校直切断机、混凝土泵、液压锤、自动打桩机等)；工程机械(沥青道路修补机、重型多轴挂车、冲击压路机、越野起重机、起重高空作业车、公路养护车)；农林牧机械(联合收割机、拖拉机、玉米及谷物收割机、饲草打包机、饲料压块机等)

第 2 章 液压油的选用与污染防治

液压油是液压传动与控制系统中用来传递能量的液体工作介质,除了传递能量外,它还起着润滑有相对运动部件和保护金属不被锈的作用。液压油对液压系统的作用就像血液对人体一样重要。所以,合理地选择、使用、维护、保管液压油是关系到液压设备工作可靠性、耐久性和工作性能好坏的重要问题,它也是减少液压设备出现故障的有力措施。据统计,液压系统故障率的 75%~85%是由于液压油的污染造成的,所以为了正确地使用与维护液压系统,应当首先了解液压油的性质、液压油污染的原因以及防治措施。

2.1 液压油的物理性质

2.1.1 密度

单位体积液体的质量称为液体的密度,通常用 ρ 表示,其单位为 kg/m^3 。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中 V ——液体的体积, m^3 ;

m ——液体的质量, kg 。

密度是液体的一个重要物理参数,主要用密度表示液体的质量。常用液压油的密度约为 $900\text{kg}/\text{m}^3$,在实际使用中可认为密度不受温度和压力的影响。

单位体积液体的重力称为液体的重度,通常用 γ 表示,其单位为 N/m^3 。

$$\gamma = \frac{W}{V} = \rho g \quad (2-2)$$

式中 W ——液体的重力, N ;

g ——重力加速度,其标准值为 $g = 9.80665\text{m}/\text{s}^2$ 。

2.1.2 液压油的可压缩性

液体的体积随压力的变化而变化的性质称为液体的可压缩性。其大小用体积压缩系数 k 表示。

$$k = -\frac{1}{dp} \times \frac{dV}{V} \quad (2-3)$$

即单位压力变化时所引起体积的相对变化率称为液体的体积压缩系数。由于压力增大时液体的体积减小,即 dp 与 dV 的符号始终相反,为保证 k 为正值,所以在式 (2-3) 的右边加一负号。 k 值越大,液体的可压缩性越大,反之液体的可压缩性越小。

液体体积压缩系数的倒数称为液体的体积弹性模量,用 K 表示。即

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{V}{dV} dp \quad (2-4)$$

K 表示液体产生单位体积相对变化量所需要的压力增量。可用其说明液体抵抗压缩能

力的大小。在常温下, 纯净液压油的体积弹性模量 $K = (1.4 \sim 2.0) \times 10^3 \text{ MPa}$, 数值很大, 故一般可以认为液压油是不可压缩的。若液压油中混入空气, 其抵抗压缩能力会显著下降, 并严重影响液压系统的工作性能。因此, 在分析液压油的可压缩性时, 必须综合考虑液压油本身的可压缩性、混在油中空气的可压缩性以及盛放液压油的封闭容器 (包括管道) 的容积变形等因素的影响, 常用等效体积弹性模量表示, 在工程计算中常取液压油的体积弹性模量 $K = 0.7 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

在变动压力下, 液压油的可压缩性的作用极像一个弹簧, 外力增大, 体积减小; 外力减小, 体积增大。当作用在封闭容器内液体上的外力发生 ΔF 变化时, 如液体承压面积 A 不变, 则液柱的长度必有 Δl 的变化 (图 2-1)。在这里, 体积变化为 $\Delta V = A\Delta l$, 压力变化为 $\Delta p = \Delta F/A$, 此时液体的体积弹性模量为

$$K = -\frac{V\Delta F}{A^2\Delta l}$$

液压弹簧刚度 k_h 为

$$k_h = -\frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{A^2}{V}K \quad (2-5)$$

液压油的可压缩性对液压传动系统的动态性能影响较大, 但当液压传动系统在静态 (稳态) 下工作时, 一般可以不予考虑。

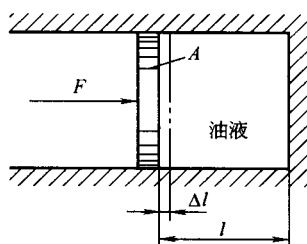


图 2-1 油液弹簧刚度计算

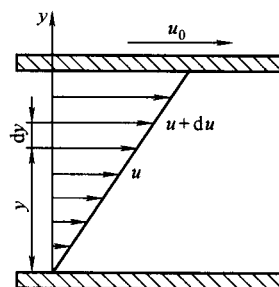


图 2-2 液体的黏性

2.1.3 黏性

(1) 黏性的定义

液体在外力作用下流动 (或具有流动趋势) 时, 分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动而产生一种内摩擦力, 这种现象称为液体的黏性。黏性是液体固有的属性, 只有在流动时才能表现出来。

液体流动时, 由于液体和固体壁面间的附着力以及液体本身的黏性会使液体各层间的速度大小不等。如图 2-2 所示, 在两块平行平板间充满液体, 其中一块板固定, 另一块板以速度 u_0 运动。结果发现两平板间各层液体速度按线性规律变化。最下层液体的速度为零, 最上层液体的速度为 u_0 。实验表明, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F_t 与液层接触面积 A 成正比, 与液层间的速度梯度 du/dy 成正比, 并且与液体的性质有关。即

$$F_t = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-6)$$

式中 μ ——液体的动力黏度, 是由液体性质决定, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

A ——接触面积, m^2 ;