

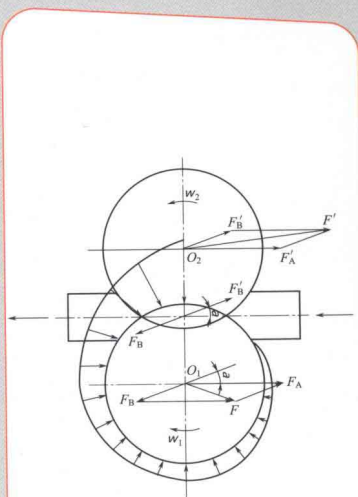
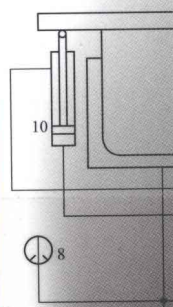
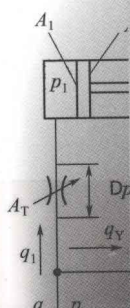
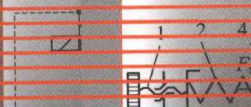
KANTU XUEYI ZHUANYEPIAN

看图
学艺

专业篇

图解液压系统 故障诊断与维修

董林福 于玲 编著



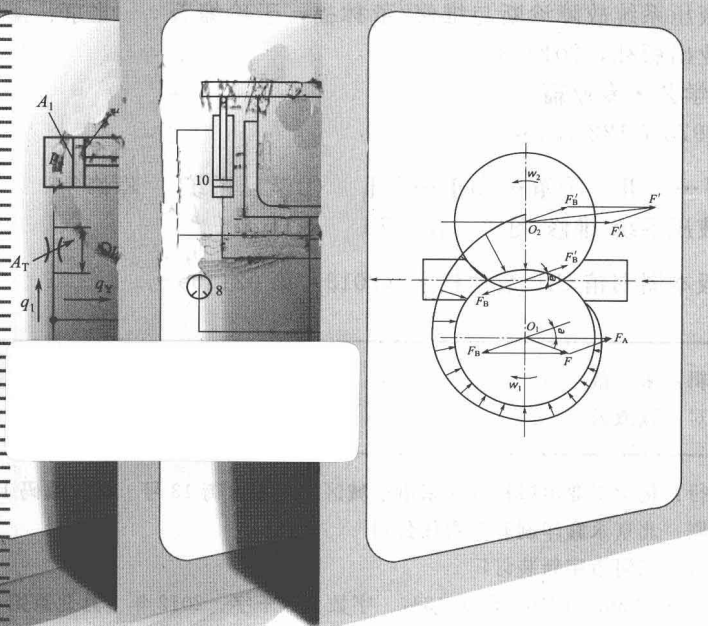
化学工业出版社

看图
学艺

专业篇

图解液压系统 故障诊断与维修

董林福 于玲 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

全书共分8章。第1章主要介绍液压传动的基本原理及组成；第2~4章介绍液压泵、液压马达和液压缸、常用液压阀的原理、结构、应用，常见故障排除与维修；第5章介绍液压基本回路的工作原理、常见故障与排除；第6章介绍电液伺服阀、电液比例阀和数字液压阀的工作原理、结构特点及相应的控制原理；第7章介绍液压系统的正确使用与管理，包括液压油的正确选择、使用、管理和防污措施，液压系统泄漏与密封的相关知识及防治泄漏的措施，以及其它合理使用液压系统的相关知识；第8章介绍液压系统常见故障的诊断内容、方法，常见故障产生的原因、故障类型及其排除方法，实际工程中液压系统典型故障案例分析。

本书可作为从事液压设备的生产、使用、维护保养、修理和管理人员的培训教材和自学使用；也可作为科研设计单位、厂矿、企业技术人员和大专院校的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

图解液压系统故障诊断与维修/董林福，于玲编著. —北京：
化学工业出版社，2012.3
(看图学艺·专业篇)
ISBN 978-7-122-13464-6

I. 图… II. ①董…②于… III. ①液压系统-故障修复-
图解②液压系统-维修-图解 IV. TH137-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第021409号

责任编辑：宋薇
责任校对：顾淑云

装帧设计：尹琳琳

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：北京永鑫印刷有限责任公司

装订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张13 1/4 字数353千字 2012年5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：46.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书是作者根据多年从事液压传动技术的教学、科研设计与工程实践经验和体会,参考有关文献编著而成的。全书从液压传动的基本原理及组成讲起,介绍了液压泵、液压马达和液压缸、常用液压阀的原理、结构、应用,常见故障排除与维修;液压基本回路的工作原理、常见故障与排除;电液伺服阀、电液比例阀和数字液压阀的工作原理、结构特点及相应的控制原理;液压系统的正确使用与管理;液压系统常见故障的诊断内容、方法;常见故障产生的原因、故障类型及其排除方法,实际工程中液压系统典型故障案例分析等内容。每章后面都附有适量的思考题,以巩固和加强所学的知识。书后附有《液压传动》图形符号,便于读者在学习、工作中参考。

本书在撰写过程中,充分考虑了液压传动技术和从事本行业工作者的特点。

(1) 根据液压元件和系统的特点、难易程度,采取由浅入深、从简单到复杂、从局部到整体的写法,逐步培养读者对液压传动基本理论的掌握与应用,正确分析元件和系统的故障原因,初步掌握元件和系统的故障排除方法及维修方法。

(2) 在元件、回路和系统的讲解上引入了大量的图例,为了使读者能直观明了地了解元件的原理、结构,书中不但插有原理图和结构图,还附有相关元件的外观图。书中引入了大量实际工程中的案例。

(3) 编写内容将基本原理与实际应用、现场操作、系统综合分析等知识点有机结合到一起。在讲清基本原理的基础上,力图反应典型元件的结构原理、应用、故障排除和维修以及回路、系统的工作原理和故障排除。

(4) 书中所采用的元件符号是最新的国家标准。

本书由沈阳化工大学董林福编写第1章~第5章;沈阳化工大学于玲编写第6章~第8章,全书由沈阳化工大学倪洪启主审。董研、曾祥福、王立强、何晓梅、刘岩松进行了部分CAD图的绘制和表格录入,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中若有错误和不足之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2012年1月

目 录

1 液压传动概述	1
1.1 液压传动的基本性能参数	1
1.2 液压传动的工作原理	1
1.3 液压传动的组成	2
1.4 液压传动系统图的表示方法	3
思考题	4
2 液压泵的原理、结构、应用与维修	5
2.1 液压泵概述	5
2.1.1 液压泵的基本工作原理、分类与职能符号	5
2.1.2 液压泵的主要性能参数	6
2.2 齿轮泵的原理、结构、应用与维修	7
2.2.1 外啮合齿轮泵的原理、结构及其特性	7
2.2.2 内啮合齿轮泵的工作原理	12
2.2.3 齿轮泵的应用	13
2.2.4 齿轮泵的维修	14
2.3 叶片泵的原理、结构、应用与维修	15
2.3.1 单作用叶片泵的原理、结构特性	16
2.3.2 双作用叶片泵的原理、结构特性	17
2.3.3 叶片泵的应用	23
2.3.4 叶片泵的维修	23
2.4 轴向柱塞泵的工作原理、结构、应用与维修	26
2.4.1 斜盘式轴向柱塞泵的原理、结构特性	26
2.4.2 斜轴式轴向柱塞泵原理与结构	30
2.4.3 轴向柱塞泵的应用	32
2.4.4 轴向柱塞泵的维修	33
思考题	35
3 液压执行元件的原理、结构、应用与维修	37
3.1 液压马达的原理、结构、应用与维修	37
3.1.1 液压马达概述	37
3.1.2 高速小扭矩液压马达的原理、结构、应用与维修	39
3.1.3 低速大扭矩马达的原理、结构、应用与维修	43
3.2 液压缸的原理、结构、应用与维修	47
3.2.1 液压缸的类型及特性	47
3.2.2 液压缸的结构组成	51
3.2.3 液压缸的安装连接方式	55
3.2.4 液压缸的拆装	57
3.2.5 液压缸的维修	58

3.2.6 液压缸选用时应注意的问题	59
3.2.7 液压缸安装时应注意的问题	59
思考题	60
4 常用液压阀的原理、结构、应用与维修	62
4.1 液压阀概述	62
4.2 方向控制阀的原理、结构、应用与维修	62
4.2.1 单向阀的原理、结构、应用与故障排除	62
4.2.2 换向阀的原理、结构、应用与故障排除	65
4.3 压力控制阀的原理、结构、应用与故障排除	73
4.3.1 溢流阀的原理、结构、应用与故障排除	73
4.3.2 减压阀的原理、结构、应用与故障排除	76
4.3.3 顺序阀的原理、结构、应用与故障排除	78
4.3.4 压力继电器的原理、结构、应用与故障排除	81
4.4 流量控制阀的原理、结构、应用与故障排除	82
4.4.1 常用的节流口形式及特点	82
4.4.2 影响流量稳定性的因素	83
4.4.3 节流阀的原理、结构、应用与故障排除	84
4.4.4 调速阀的原理、结构、应用与故障排除	86
4.4.5 溢流节流阀的原理、结构特性、应用与故障排除	87
4.5 插装阀的原理、结构、应用与故障排除	88
4.5.1 盖板式二通插装阀的原理、结构、应用	88
4.5.2 插装阀的常见故障与排除	93
思考题	94
5 液压基本回路的工作原理与常见故障分析	96
5.1 液压基本回路的工作原理	96
5.1.1 压力控制回路	96
5.1.2 速度控制回路	100
5.1.3 方向控制回路	106
5.1.4 多缸动作控制回路	108
5.1.5 插装基本回路	112
5.2 液压基本回路的常见故障分析与排除	113
5.2.1 压力控制回路的常见故障分析与排除	113
5.2.2 速度控制回路的故障现象与排除	119
5.2.3 方向控制回路的故障现象与排除	122
思考题	124
6 液压控制技术基本知识	127
6.1 电液伺服控制技术	127
6.1.1 电液伺服控制系统的工作原理及其组成	127
6.1.2 电液伺服控制系统的分类和基本特点	129
6.1.3 电液伺服阀	129
6.2 电液比例控制技术	136
6.2.1 电液比例控制技术的工作原理及组成	136
6.2.2 电液比例阀	138
6.3 数字液压控制技术	142
6.3.1 数字液压控制技术的组成及工作原理	143
6.3.2 数字液压元件	143

思考题	145
7. 液压系统的使用维护与管理	146
7.1 液压系统的合理使用	146
7.1.1 液压系统使用管理目的	146
7.1.2 液压系统管理体系基础	147
7.2 液压系统工作介质的使用和管理	148
7.2.1 液压油选用的基本原则	148
7.2.2 液压油的更换与系统的清洗	151
7.2.3 液压油的管理	151
7.2.4 液压油的污染	151
7.3 液压系统的正确维护	153
7.3.1 正确选择使用液压油、确保液压油和液压系统清洁	153
7.3.2 防止液压系统油温过高	153
7.3.3 防止液压系统混入空气	154
7.3.4 正确执行操作规程、防止粗暴操作和随意操作作业	154
7.3.5 加强液压系统的日常维护和保养	154
7.4 液压系统的泄漏与密封	155
7.4.1 液压系统的泄漏的种类与危害	155
7.4.2 泄漏原因及泄漏机理	155
7.4.3 液压油常见的泄漏形式及原因	156
7.4.4 液压系统泄漏的控制措施	157
7.5 液压控制系统的污染控制	159
7.5.1 污染对液压控制系统的危害	159
7.5.2 液压控制系统污染的控制措施	160
思考题	160
8 液压系统常见故障的诊断与排除	161
8.1 液压系统故障诊断的基本内容与方法	161
8.1.1 液压系统常见故障诊断的基本内容	161
8.1.2 液压系统故障诊断基本步骤	162
8.1.3 液压系统故障诊断基本方法	162
8.2 液压系统故障产生原因	170
8.2.1 设计原因	171
8.2.2 制造原因	171
8.2.3 使用原因	172
8.3 液压系统常见的故障及排除方法	172
8.3.1 液压系统压力不足或完全无压力	172
8.3.2 工作机构运动速度不够或完全不动	172
8.3.3 工作部件运动不均匀（有爬行现象）	173
8.3.4 液动机工作速度在载荷下有较显著的降低	173
8.3.5 油温过高	173
8.3.6 噪声和振动	174
8.3.7 自动循环不能正确实现	174
8.3.8 液压系统工作过程中应注意的问题	174
8.4 液压系统典型故障案例分析	175
8.4.1 挖掘机液压系统常见故障分析	175
8.4.2 数控机床液压系统常见故障分析	182

8.4.3	注塑机液压系统常见故障分析·····	187
8.4.4	密炼机液压系统常见故障分析·····	188
8.4.5	汽车起重机液压系统常见故障分析·····	192
8.4.6	汽车卸煤机液压系统的典型故障举例·····	193
8.4.7	液压升降台的典型故障举例·····	195
8.5	液压控制系统常见故障与排除·····	196
8.5.1	液压控制系统的故障与排除的工作内容·····	196
8.5.2	液压控制系统的常见故障及其原因·····	196
8.6	现代液压系统故障诊断的技术途径·····	199
8.6.1	振动诊断法·····	199
8.6.2	热力学诊断法·····	199
8.6.3	灰色系统诊断法·····	199
8.6.4	主元分析诊断法·····	199
8.6.5	模糊诊断法·····	200
8.6.6	神经网络诊断法·····	200
8.6.7	专家系统诊断法·····	200
8.6.8	远程故障诊断法·····	201
思考题	·····	201
附录	液压传动常用图形符号 ·····	202
附表1	基本要素、功能要素、管路及连接·····	202
附表2	控制机构和控制方法·····	203
附表3	泵、马达和缸·····	204
附表4	控制元件·····	205
附表5	辅助元件·····	208
参考文献	·····	210

1 液压传动概述

1.1 液压传动的基本性能参数

液压传动的基本性能参数是压力和流量

(1) 压力。压力是指液体单位面积上所受到的垂直作用力。严格应称为静压力，但工程上习惯称之为压力，物理学称之为压强。

(2) 流量。流量是指单位时间内流入某一通流截面的液体体积。液压传动所用的传动介质都具有黏性，具有黏性的液体流过某一通流截面时，各点的瞬时流速不等。压力和流量是液压传动中最基本、也是最重要的两个参数，其乘积称为液压功率。

1.2 液压传动的工作原理

所谓液压传动是以有压液体作为传动介质来实现能量传递、转换和控制的一种传动形式。将各种液压元件组成不同功能的基本控制回路，若干基本控制回路再经过有机组合，就构成一个完整的液压传动系统。下面以图 1-1 的液压千斤顶工作原理示意图为例说明其工作原理。

如图 1-1 所示，当向上提杠杆 1 时，小缸 3 内的小活塞 2 上移，小缸下部形成真空，此时单向阀 4 关闭，油箱 6 内的液压油通过油管 and 单向阀 5 被吸入小缸下腔。当向下压杠杆 1 时小活塞下移，油液被挤出，压力升高，此时单向阀 5 关闭，小缸 3 内的油液顶开单向阀 4 进入大缸 8 下腔，迫使大活塞 9 向上移动举起重物。经过反复提升和下压杠杆时，就能将油箱的油液不断吸入小缸，压入大缸，推动大活塞逐渐上移而将重物举起。为使被举高的重物顺利放下，设置了截止阀 7。上述液压千斤顶的工作过程充分揭示了液压传动的以下两个重要特性。

(1) 液压系统的压力取决于外负载。在图 1-1 中，由大、小液压缸下腔和连通常导管所形成的密闭容器内的油液，具有相等的压力值。液压传动就是利用液体的这一性质来进行力传递的。设大、小活塞的面积分别为 A_2 和 A_1 ，作用在大活塞上的外负载为 W ，大活塞下端受力为 F_2 ，施加于小活塞上的作用力为 F_1 。则液体的压力 $p = F_1/A_1 = W/A_2$ ，外负载 W 增大（或减小）时，压力 p 随着 W 增大（或减小）。由此可以得出液压传动的第一个重

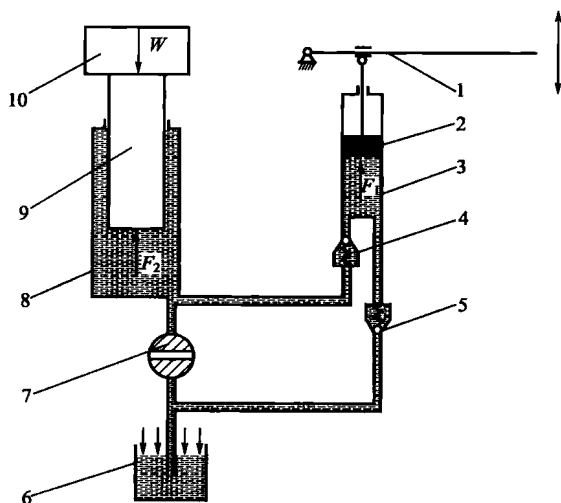


图 1-1 液压千斤顶的传动原理

1—杠杆；2—活塞；3,8—液压缸；4,5—单向阀；
6—油箱；7—截止阀；9—柱塞；10—重物

要特性：液压传动是用液体作为工作介质来进行力的传递，液体的工作压力取决于外负载的大小，而与流入的液体体积多少无关。

(2) 执行元件的速度取决于系统的流量。在图 1-1 中，若忽略泄漏、液体的压缩性、缸和油管的弹性变形，则从小缸中压出的液体体积一定等于大缸中由于活塞上升而扩大的容积。单位时间流入大缸的液体体积越多，大缸活塞举起重物的速度就越快。由此可以得出液压传动的第二个重要特性：液压执行元件的运动速度取决于输入流量的大小，而与液体压力大小无关。

1.3 液压传动的组成

液压传动系统是由能源装置、执行元件、控制元件和辅助元件所组成。下面以图 1-2 机床工作台液压系统工作原理图为例，说明这四部分的功能和元件作用。

(1) 能源装置。将机械能转化为液体压力能的装置。液压传动的能源装置是液压泵。在图 1-2 中，液压泵 4 由电机带动旋转后，从油箱 1 吸油，当阀 12 的阀芯处于图 1-2(a) 所示位置时，液压油经滤油器 2、液压泵 4、压力油管 9，节流阀 10，换向阀 12 进入液压缸 15 的左腔，推动活塞 14 向右移动，使工作台 16 克服阻力而作功。在这一过程中，液压泵将电机旋转的机械能转化为输入到管道中的液压能。

(2) 执行元件。将液体的压力能转化为机械能的元件。液压传动的执行元件是液压缸和液压马达。在图 1-2 的液压缸 15 中，输入到液压缸内的为液压油，液压油具有一定压力能，液压缸将此压力能转化为活塞 14 往复运动的机械能，输出力和速度。

(3) 控制元件。用来控制流体的压力、流量和流动方向的元件。如：压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等。在图 1-2 中，液流方向由换向阀 12 控制，当其处于图 1-2(b) 所示的位置时，液压油进入缸 15 的右腔，缸左腔的液压油经换向阀 12 流回油箱。调节节流阀的开口，就可以改变液压油进入液压缸的流量，从而改变活塞的运动速度。溢流阀 7 与节流阀相配合，节流阀开口关小时，多余的液压油顶开钢球 6 流回油箱。液压泵的输出压力由溢流阀调定，它的最大调定压力是油缸的最大工作压力和液压油的压力损失之和。

(4) 辅助元件。除上述元件以外的其他元件，它是保证液压系统正常工作的其它辅助元件。如：油箱、滤油器、蓄能器、管道、管接头、密封件、压力计等。

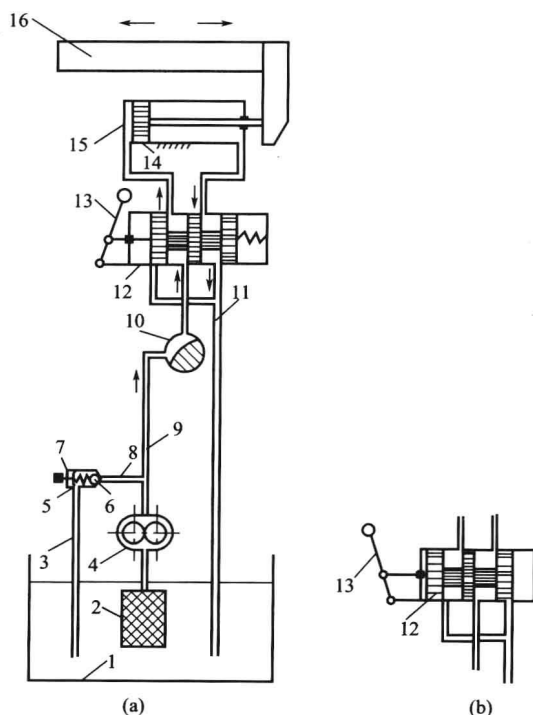


图 1-2 机床工作台液压系统的工作原理图

- 1—油箱；2—滤油器；3、11—回油管；4—液压泵；5—弹簧；6—钢球；7—溢流阀；8—压力支管；9—压力油管；10—节流阀；12—换向阀；13—换向手柄；14—活塞；15—液压缸；16—工作台

1.4 液压传动系统图的表示方法

液压传动系统的工作原理,是以传动原理图来表示的。所谓液压传动原理图是指:由代表各种液压元件、辅助元件及连接形式的图形符号组成,用来表示液压工作原理的简图。液压传动的原理图通常有两种表示方法,一种是以元件的结构、半结构简图表示的原理图,如图 1-2(a) 所示,这种图形比较直观、清楚明了,但图形太繁琐,绘制麻烦,元件多时几乎不可能绘制出来。另一种是用图形符号绘制的原理图,它简单明了,便于绘制,是常用的方法。图 1-2(a) 改用图形符号绘制的原理图,如图 1-3 所示。

迄今为止,中国分别于 1956 年、1976 年、1993 年和 2009 年先后四次颁布了液压与气动图形符号标准,国家标准 GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图第 1 部分:用于常规用途和数据处理的数据符号》,等同 ISO 1219—1:2006《流体传动系统和元件 图形符号和回路图第 1 部分:用于常规用途和数据处理的数据符号》(英文版)。

在绘制和读识用图形符号所表示的原理图时,应注意以下几个问题:

(1) 绘制原理图时,应注意的问题:

① 原理图中,元件符号应以元件未受激励的状态(非工作状态)来表示。

② 元件符号一般不代表元件的实际结构。

③ 图形符号的模数尺寸、字符高、线宽请查阅 GB/T 786.1—2009。也可以根据需要进行改变图形符号的大小以用于元件标识和样本。

④ 元件的图形符号在传动系统中的布置,在不改变它们含义的前提下可以将它们水平翻转或 90° 旋转(油箱应水平绘制且开口向上)。

(2) 读识原理图时,应注意的问题:

① 分清元件的职能符号,以免混淆。液压、气动元件的种类繁多,每一种元件都有其职能符号,有的职能符号比较相像,应加以区别。如溢流阀与顺序阀、单向阀与液控单向阀等。

② 一个完整的原理图,除了图本身以外,还应注明元件的规格、参数,并附有电磁铁、行程阀及其它控制元件动作顺序表。在读识时做到全面完整的了解,不能忽略这些因素。

③ 对于较复杂的系统,可以将其分解为几个基本回路,先读懂基本回路的原理,再将基本回路联系起来,读识整个系统的原理。

④ 注意识别回路中换向阀的滑阀机能(不工作时各油口的连通状态)。滑阀机能不同,系统的功能也不相同。

⑤ 弄清执行元件的类型、规格和运动情况,以便了解液压设备性能。

⑥ 分清系统是开式回路还是闭式回路,以了解系统的特点。开式回路中液压泵从油箱吸油,执行元件的回油直接流入油箱,液压油温升高,但空气和脏物易进入回路。闭式回路

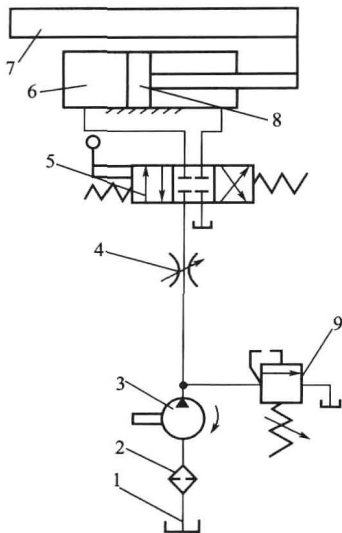


图 1-3 机床工作台液压系统的图形符号图

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

执行元件的回油直接与主油泵吸油腔相连接,采用补油泵补充管路中的泄漏,液压油冷却条件差、温升高。

思 考 题

- 1-1 什么是液压传动?
- 1-2 液压传动由哪几部分组成?每部分的功能是什么?
- 1-3 简述液压传动的两个重要特性。

2 液压泵的原理、结构、应用与维修

液压泵是把机械能转换成液压能的能源元件，它输入的是机械参量（扭矩、转速），输出的是液压参量（压力、流量），为系统提供一定压力和流量的液体。

2.1 液压泵概述

2.1.1 液压泵的基本工作原理、分类与职能符号

(1) 液压泵的基本工作原理。目前液压系统中所使用的各种液压泵都是容积式泵，即靠液压泵密封工作容腔大小的交替变化来实现能量转换。图 2-1 所示是单柱塞泵工作原理。它由凸轮 1、传动轴 2、柱塞 3、弹簧 4、缸体 5、吸油阀 6、排油阀 7 等组成。当传动轴 2 带动凸轮 1 顺时针旋转时，柱塞 3 在凸轮和弹簧 4 的作用下，在缸体 5 内左右移动。当其向右移动时密封工作容腔容积增大，形成一定的真空度，油箱内的液压油在大气压的作用下，通过吸油阀 6 被吸入密封工作容腔。此时排油阀 7 关闭。当柱塞 3 向左移动时，密封的工作容腔容积减小，吸入的液压油通过排油阀 7 被压入系统中，此时吸油阀 6 关闭。凸轮每转一转，柱塞吸油和压油各一次。单柱塞泵中，密封容积处于吸油时，叫吸油腔，处于压油时叫压油腔。为保证液体有规律、连续地单向流动，吸油阀和压油阀在逻辑上是互逆的，不能同时打开。这里的吸油阀和压油阀叫做配流阀（除了配流阀之外还有配流盘和配流轴）。在不考虑泄漏的情况下，柱塞每次吸入和排出的液体体积只取决于密封的工作容积几何尺寸的变化量，与工作容腔的压力大小无关。由以上分析可知，构成容积式泵必须具备以下三个基本条件：

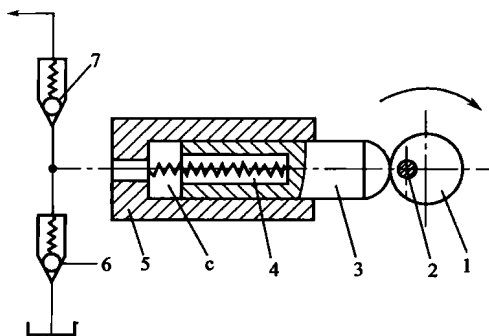


图 2-1 容积泵的工作原理

1—凸轮；2—传动轴；3—柱塞；4—弹簧；
5—缸体；6—吸油阀；7—压油阀

① 机构上应能实现具有密封性能的可变的工作容腔。

② 密封的工作容腔能周而复始的增大和减小，当它增大时与吸油腔相通，当它减小时与压油腔相通。

③ 吸油腔与压油腔不能互通，即不能同时打开。

(2) 液压泵的分类。液压泵的种类很多。按结构形式的不同，可分为齿轮泵、叶片泵、柱塞泵和螺杆泵四大类。每一类中还可以分成多种形式，如齿轮泵可分为外啮合和内啮合，叶片泵可分为单作用式和双作用式，柱塞泵可分为轴向柱塞泵和径向柱塞泵，螺杆泵可分为双螺杆泵和三螺杆泵等。按排量是否可变可分为定量泵和变量泵。定量泵的工作容腔的容积变化量为常数，变量泵工作容腔的容积变化量是可以调节的。液压泵的具体分类情况见图 2-2。

(3) 液压泵的职能符号。液压泵的职能符号见图 2-3。

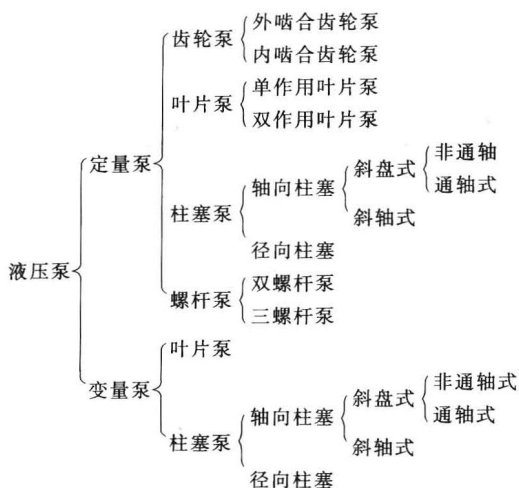


图 2-2 液压泵分类

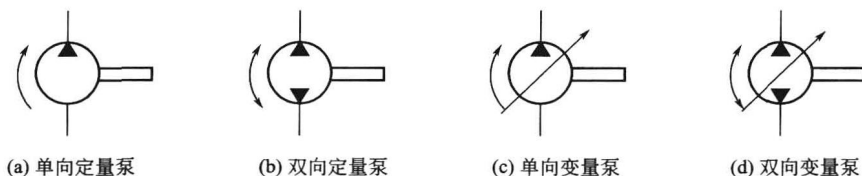


图 2-3 液压泵图形符号

2.1.2 液压泵的主要性能参数

液压泵的主要性能参数包括压力、排量、流量、转速、扭矩、功率和效率。液压泵的基本参数是压力和排量。

(1) 压力 (Pa 或 MPa)。压力有工作压力、额定压力和最高压力之分。

① 工作压力 p 。液压泵实际工作时的压力。是指泵出口处所输出液体的实际压力值，其值取决于负载，负载增大时，泵的压力值升高，负载减小时，泵的压力值降低。

② 额定压力 p_n 。液压泵在正常工作条件下，按试验标准规定能够连续运转所允许的最高工作压力。

③ 最高压力 p_{max} 。液压泵按试验标准规定，允许短暂运转的最高压力，也叫峰值压力。

(2) 排量 V (m^3/r 或 mL/r)。液压泵每转一转，由密封工作容腔几何尺寸的变化计算而得出的所能排出的液体体积。仅与几何尺寸的变化量有关，与泄漏量无关。

(3) 流量 (m^3/s 或 L/min)。流量有理论流量、实际流量和额定流量之分。

① 理论流量 q_t 。在不考虑泄漏的情况下，泵在单位时间内所排出的液体体积。其值等于排量 V 与转速 n 的乘积。

$$q_t = Vn$$

② 实际流量 q 。指单位时间内从泵出口处实际排出去的液体体积。它等于泵的理论流量 q_t 减去泵的泄漏量 Δq 。

③ 额定流量 q_n 。在额定转速和额定压力下泵输出的实际流量。

(4) 功率 (kW 或 W)。功率包括输入功率和输出功率。液压泵的输入功率是指原动机 (电机、内燃机) 作用于泵主轴上的机械功率。输出功率是指泵出口处输出的液压功率，通常情况下 (泵入口处的压力忽略不计时)，输出功率等于泵出口处压力与流量的乘积。在不

考虑效率的情况下,输入功率与输出功率相等。实际上,泵在能量转换过程中会产生一定的功率损失,输入功率与输出功率不相等。

(5) 效率。液压泵在能量转换过程中,都存在着一定的能量损失,其输出功率要小于输入功率。能量损失包括两部分,即容积损失和机械损失。容积损失主要是由于泄漏引起的,泄漏量的大小随压力的升高、转速的降低而增大,由于泵工作时存在容积损失,因此其出口处的流量要小于理论流量。机械损失是指扭矩上的损失,主要是由于摩擦引起的,由于存在机械损失,实际作用到泵主轴上的扭矩要大于理论扭矩。恒量容积损失、机械损失和总功率损失的多少,分别用容积效率 η_v 、机械效率 η_m 和总效率 η 来表述。

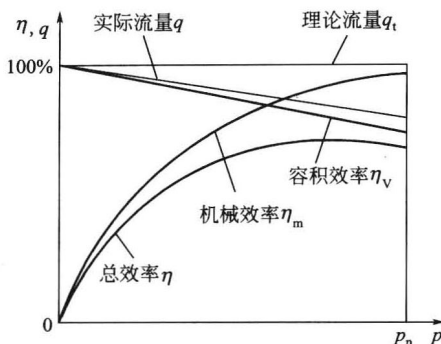


图 2-4 液压泵效率特性曲线

(6) 液压泵的特性曲线。液压泵主要性能参数之间的关系还可以用特性曲线来表示。如图 2-4 所示。特性曲线是在一定介质、转速和温度下试验测得的。由图 2-4 可见,在不同工作压力下,泵的效率是不同的。此外效率还与转速和介质黏度等因素有关。

2.2 齿轮泵的原理、结构、应用与维修

齿轮泵按啮合形式不同,可分为外啮合和内啮合两种。

2.2.1 外啮合齿轮泵的原理、结构及其特性

2.2.1.1 外啮合齿轮泵工作原理

图 2-5 所示为外啮合齿轮泵的工作原理和内部结构示意图。现以图 2-5(a) 为例说明其工作原理,它主要由一对齿数和模数完全相同的齿轮 1 和 3、壳体 5、两侧端盖(图中未画出)、传动轴 2 和 4 等所组成。相互啮合的一对齿轮、壳体和两侧端盖共同构成了密封的工作容腔。由齿轮的啮合线将工作容腔分隔成吸油腔和压油腔。当齿轮按图示方向旋转时,右侧吸油腔的齿体逐渐脱离啮合,其密封的工作容腔的容积逐渐扩大,形成局部真空,从油箱内吸油,在齿轮连续旋转的作用下,其齿槽的液压油被连续不断地带到左侧压油腔。在左侧压油腔的齿体逐渐进入啮合,密封的工作容腔的容积逐渐减小,齿槽内的液压油受到挤压而排出。

2.2.1.2 外啮合齿轮泵结构上的不足与补偿措施

(1) 间隙泄漏及补偿措施。由于结构和加工精度等原因,齿轮泵有多处间隙泄漏通道。泄漏包括内泄和外泄。内泄是指泵内压油腔的高压油泄漏到吸油腔。外泄是指泵内的油液通过壳体与两侧端盖接合处的间隙,泄漏到泵体外部。泵的泄漏将影响到容积效率和压力的提高。一般来说,外泄通过合适密封和提高接合面的加工精度,是可以解决的。而内泄是不可避免的,只能通过有效措施减少泄漏。齿轮泵的内泄有三个途径:两端面间隙泄漏、径向间隙泄漏和啮合线间隙泄漏。

① 端面间隙泄漏与补偿措施。端面间隙泄漏是指齿轮两端面和两侧端盖、轴套或侧板之间的轴向间隙泄漏。泄漏量与间隙的三次方和压力大小成正比,是泄漏的主要途径,占总泄漏量的 80% 左右。为了减少端面间隙泄漏,必须对端面间隙进行补偿。一般中低压齿轮

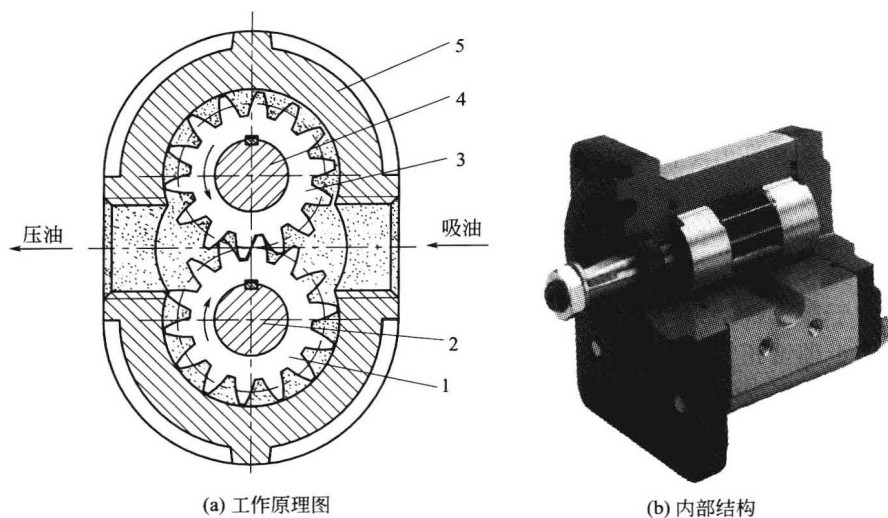


图 2-5 外啮合齿轮泵

1,3—齿轮；2,4—传动轴；5—壳体

泵是采用齿轮端面与端盖内表面的固定间隙来密封，固定间隙大小一般为 $0.02 \sim 0.05 \text{ mm}$ 。对高压或高压齿轮泵，通常采用自动补偿端面间隙装置来减少轴向间隙。自动补偿端面间隙装置的结构和形式有浮动轴套补偿式、浮动侧板补偿式和轴套加浮动侧板补偿式。它们的作用原理相同，现以图 2-6 所示的浮动轴套式补偿为例，说明其补偿原理图。如图 2-6 所示，把压油腔的压力油引到浮动轴套和浮动侧板外侧（压油腔和吸油腔通过适当密封方式分开），产生一个向内的压紧力 F_1 ，在齿轮端面与浮动轴套（或浮动侧板）的间隙处的液压油，产生一个向外推力 F_2 ，为达到可靠的密封，在设计时使 F_1 略大于 F_2 ，这样既可以减少轴向间隙，同时还可以补偿因摩擦而增大的间隙。

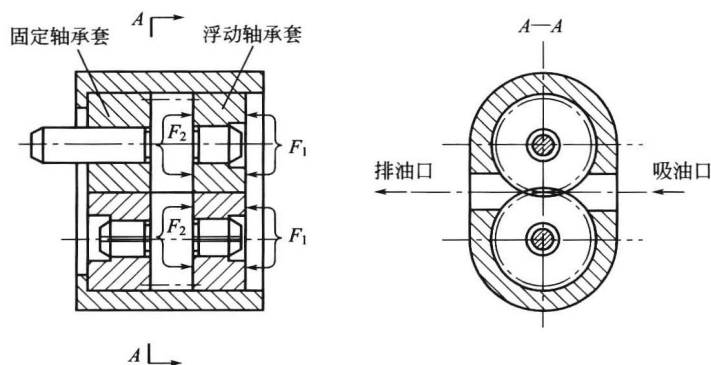


图 2-6 浮动轴套补偿式原理图

② 径向间隙泄漏与补偿措施。径向间隙泄漏是指压油腔的高压油通过齿顶圆与壳体内孔的间隙向低压腔泄漏，径向间隙泄漏约占总泄漏量的 $10\% \sim 15\%$ 。解决径向间隙泄漏用得较多的是“磨齿法”（见图 2-10），它的原理是在设计齿轮泵时，将吸油腔一侧的壳体内孔的 $1.5 \sim 3$ 个齿包角范围内，与齿顶之间设计成零间隙或少量过盈。在加载试验时，再磨合成零间隙。这种方法适用于用铝合金和铸铁制造的壳体。

③ 啮合线间隙泄漏。由于齿轮的加工误差，啮合线接触不良，使压油腔的高压油通过

啮合线泄漏到低压腔。啮合线间隙泄漏约占总泄漏量的5%。

(2) 困油现象与补偿措施。为了保证齿轮泵平稳运转,同时也为了保证齿轮泵的吸、压油腔被啮合线隔开而正常工作,就必须保证齿轮啮合的重叠系数(同时参入啮合的轮齿对数) ϵ 大于1(一般取 $\epsilon=1.05\sim1.30$),这样就有两对轮齿同时进入啮合状态。如图2-7所示,当两对轮齿同时进入啮合时,在这两对轮齿啮合线之间形成了一个封闭空间,一般称为闭死容积。被困在闭死容积的油液,既不与压油腔相通,也不与吸油腔相通。而闭死容积的大小随着齿轮啮合线位置的改变,又在发生周期性的变化。图2-7(a)所示是后一对轮齿刚进入啮合,闭死容积最大,当轮齿运转到图2-7(b)所示位置时,两啮合点处于中心线的对称位置,此时闭死容积最小。在这一过程中,由于闭死容积逐渐减小,被困在闭死容积内的油液竭力从啮合线缝隙中被挤出而使油液产生很高的压力,油液发热,使齿轮、轴承受到很大的额外径向载荷。当轮齿由图2-7(b)运转到图2-7(c)所示的位置时,闭死容积又逐渐增大到最大,而造成部分真空,原来溶解于油液的空气就会分离出来,形成气泡,油液中形成气泡后,便会产生噪声,同时引起泵强烈的振动。这种现象称为困油现象。

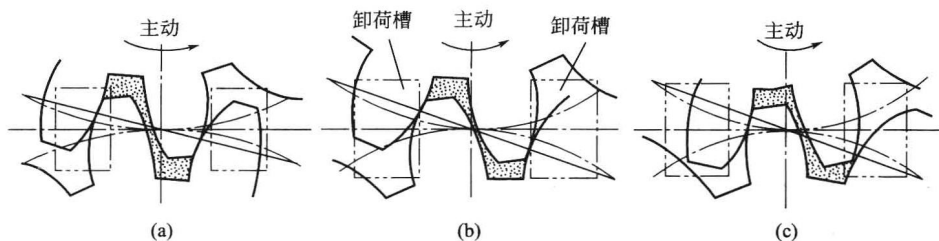


图 2-7 齿轮泵的困油现象

解决困油现象的措施是在泵的两侧端盖或轴承套上开卸荷槽。卸荷槽的位置应能够保证当闭死容积减小时与压油腔相通,当闭死容积增大时与吸油腔相通,图2-8是在浮动承套的端面上开卸荷槽的示意图。

(3) 径向力不平衡与补偿措施。作用于齿轮轴上的径向力由两部分组成,一是由液压力所产生的径向力,二是齿轮传递扭矩啮合时所产生的径向力,主要是液压径向力(约占总径向力的85%)。齿轮泵工作时,在吸油腔一侧,作用于齿轮外圆上的液压力等于吸油腔

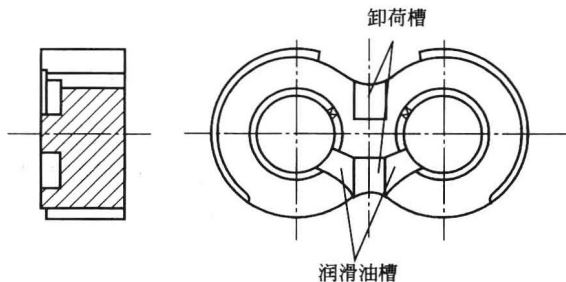


图 2-8 浮动承套端面上的卸荷槽

压力(一般低于一个大气压),在压油腔一侧,作用于齿轮外圆的液压力等于工作压力。由于径向间隙的存在,一般认为从压油腔到吸油腔,其液压力是逐级下降的,其分布如图2-9所示。假设液压径向力的合力为 F_A ,方向近似为从压油腔指向吸油腔,啮合产生的径向力为 F_B , F_A 和 F_B 的合力 F 为径向不平衡力。由于主动轮与从动轮啮合所产生的径向力方向相反,所以从动轮径向不平衡力大于主动轮。径向不平衡力将使齿轮轴产生弯曲,轴承产生磨损,严重时会使齿轮外圆与泵壳内孔产生磨损。径向不平衡力的补偿,应用广泛的是下列两种措施(见图2-10)。

① 缩小排油口,减少液压油的作用面积,使排油压力油仅作用在一个齿到两个齿的范围内(见图2-10)。

② 扩大排油区(高压区),将泵体排油腔的高压油,沿齿顶扩大到离吸油口1.5~3个