

巍巍交大 百年书香  
www.jiaodapress.com.cn  
bookinfo@sjtu.edu.cn



策划编辑 刘子嘉  
责任编辑 胡思佳  
封面设计 张瑞阳

# 液压与气动技术

高等职业教育机电系列精品教材

# 液压与气动技术

主编 张传斌 曹 宾



高等职业教育机电系列精品教材

液压与气动技术

主编 张传斌 曹 宾

免费提供

\*\*\* 精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233  
www.huatengzy.com



扫描二维码  
关注上海交通大学出版社  
官方微信

ISBN 978-7-313-29903-1



9 787313 299031 >

定价: 39.00元



上海交通大学出版社



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

高等职业教育机电系列精品教材

# 液压与气动技术

主 编 张传斌 曹 宾

副主编 秦书祺 李红伟

吕 勇 秦东各



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

本书包含6个项目:液压传动系统认知、液压升降平台液压系统、小型液压钻床液压系统、组合机床动力滑台液压系统、工件夹紧装置气动系统、数控加工中心刀库气动系统。其中,前4个项目涉及液压系统,介绍了液压传动的相关知识;后2个项目涉及气动系统,介绍了气压传动的相关知识。

本书既可作为机械制造及自动化、机电一体化技术、工业机器人技术等机电类相关专业的教材(尤其适合教学做一体化培养模式的教学),也可作为广大工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术 / 张传斌,曹宾主编. -- 上海 :  
上海交通大学出版社,2024.7  
ISBN 978-7-313-29903-1

I. ①液… II. ①张… ②曹… III. ①液压传动 ②气压传动 IV. ①TH137 ②TH138

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2024)第 002552 号

### 液压与气动技术

YEYA YU QIDONG JISHU

主 编:张传斌 曹 宾

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

印 制:大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

字 数:295 千字

版 次:2024 年 7 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-29903-1

定 价:39.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:11.25

印 次:2024 年 7 月第 1 次印刷

电子书号:ISBN 978-7-89424-727-8

版权所有 侵权必究

告读者:如您发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0316-8836866

本书根据装备制造大类中各专业高职毕业生工作岗位能力的目标选择、编排内容,且根据高职学生的认知特点,按照由简入繁、逐渐减少教师指导成分、提高学生通过自主学习完成任务的能力的原则设计教学项目,并借鉴德国海外商会联盟(AHK)技能认证方式编写相关的任务实践项目,培养学生独立完成工作任务的职业行动能力。

高等职业教育培养的是生产、服务和管理第一线的高端人才,特别注重学生职业技能的训练与职业岗位能力的培养,因而本书在编写过程中,始终坚持以学生为中心,以培养学生的实际应用能力为主线,理论内容以“必需、够用”为主,尽量做到少而精,贯彻教、学、做有机结合的指导思想,并结合液压与气动技术在不同类型设备中的使用特点,融入最新科技成果。

结合我国当前高等职业教育教学改革的实际情况,本书在编写过程中突出以下特点。

(1)在教学内容的设计上,注重理论联系实际,在内容的取舍上以实用为主、够用为度,尽量舍弃一些烦琐的理论推导、证明、计算内容。

(2)注重应用能力的培养,突出对学生的技能训练,在训练过程中将理论知识与实际问题融合,真正做到了教、学、做相结合。

(3)参考了相关行业的职业技能鉴定规范和大量的液压与气动方面的资料,吸收了液压与气动领域中的新知识、新技术、新方法。

(4)考虑到液压技术与气动技术的相似性,将液压传动知识与气压传动知识对应讲述,更能加深学生的理解,使其更好地掌握相关知识与技能。

本书由许昌职业技术学院张传斌、河南轻工职业学院曹宾任主编,许昌职业技术学院秦书祺、李红伟、吕勇,郑州城建职业学院秦东各任副主编。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

# Contents

# 目录

## 项目一

# 1

<b>液压传动系统认知</b> .....	1
任务一 液压传动系统概述 .....	2
任务二 液压传动系统原理图绘制 .....	6
任务三 液压油 .....	7
拓展任务 液压辅助元件 .....	12
任务实践与考核 .....	25

## 项目二

# 2

<b>液压升降平台液压系统</b> .....	30
任务一 齿轮泵 .....	32
任务二 液压缸 .....	38
任务三 换向阀 .....	45
任务四 液压升降平台液压系统的工作过程分析 .....	53
拓展任务 其他压力控制阀 .....	54
任务实践与考核 .....	60

## 项目三

# 3

<b>小型液压钻床液压系统</b> .....	66
任务一 叶片泵 .....	68
任务二 活塞式液压缸 .....	75
任务三 溢流阀 .....	77
任务四 小型液压钻床液压系统的工作过程分析 .....	83
拓展任务 执行元件运动速度的调节 .....	84
任务实践与考核 .....	93

项目四

4

<b>组合机床动力滑台液压系统</b> .....	98
任务一 柱塞泵 .....	100
任务二 单向阀 .....	106
任务三 减压阀 .....	109
任务四 组合机床动力滑台液压系统的工作过程分析 .....	112
拓展任务 液压执行元件 .....	113
任务实践与考核 .....	118

项目五

5

<b>工件夹紧装置气动系统</b> .....	125
任务一 气压传动系统概述 .....	127
任务二 气源装置及气动辅助元件 .....	129
任务三 气动执行元件 .....	142
任务四 工件夹紧装置气动系统的工作过程分析 .....	147
拓展任务 气动系统原理图绘制 .....	148
任务实践与考核 .....	149

项目六

6

<b>数控加工中心刀库气动系统</b> .....	154
任务一 气动方向控制阀 .....	156
任务二 逻辑控制回路阀 .....	160
任务三 气动流量控制阀 .....	162
任务四 气动压力控制阀 .....	164
任务五 数控加工中心刀库气动系统的工作过程分析 .....	167
任务实践与考核 .....	167

<b>参考文献</b> .....	173
-------------------	-----



# 项目一 液压传动系统认知

## 项目简介

液压传动是以液体为工作介质进行能量转换、传递、控制的一种传动方式。液压传动系统首先通过动力元件将原动机的机械能转化为液体的压力能,然后通过控制元件、执行元件和辅助元件将液体的压力能转换为机械能输出,驱动负载实现直线或回转运动。本项目以液压千斤顶为对象,分析了液压千斤顶的组成、工作原理等。通过本项目的学习,学生可以初步了解液压传动系统的有关知识。

## 能力目标

- (1)能初步识读液压传动系统原理图。
- (2)能分析液压千斤顶的液压传动原理。
- (3)能说明液压传动系统的组成、工作原理和流量特性。

## 学思园地

### 月球探测车液压技术的应用

航空航天领域是一个高度技术化的领域,它需要各种各样的技术支持,液压技术就是其中之一。液压技术在航空航天领域中发挥着重要的作用,它可以帮助飞机和直升机完成起飞、巡航、着陆等任务。另外,液压技术在月球探测车上也有应用,月球探测车的转向系统通常采用液压助力转向。这种转向系统能够实现车辆的左右转向,使车辆在月球表面行驶更加灵活。

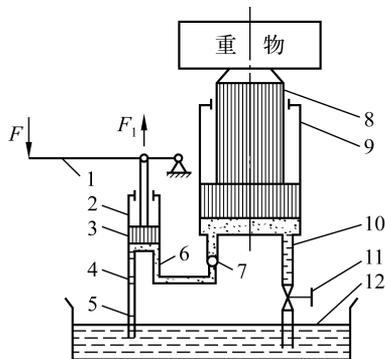
2020年11月24日4时30分,我国长征五号遥五运载火箭成功将嫦娥五号探测器发射升空,嫦娥五号探测器于2020年12月1日23时11分成功着陆在月球表面,着陆器开始持续约2天的月面工作,共采集1731g的月球样品。完成采样任务后,上升器搭载样品在月球表面点火起飞,返回地球。

液压技术对于此次航天任务的成功起到了很大作用,因此液压技术的发展可以推动航天技术的发展。

## 任务一 液压传动系统概述

## 一、液压千斤顶的组成和工作原理

液压千斤顶由手动液压泵、举升油缸、截止阀、油管、油箱和液压油组成,图 1-1 所示是液压千斤顶的工作原理图。其中,杠杆手柄 1、小油缸体 2、小活塞 3、单向阀 4 和单向阀 7 组成手动液压泵,负责向举升油缸提供压力能;举升油缸由大活塞 8 和大油缸体 9 组成,举升油缸将压力能转换成机械能,可以产生很大的力,用以举升重物;截止阀 11 控制举升油缸的运动方向,油箱 12 用以储存工作介质液压油,油管 6、10 等用来输送压力能。当提起杠杆手柄 1 时,小活塞 3 向上移动,小活塞 3 下端油腔封闭容积增大,形成局部真空,这时油箱 12 中的液压油在两端压力差的作用下,通过吸油管 5、单向阀 4 进入小活塞 3 下腔,完成吸油。当用力压下杠杆手柄 1 时,小活塞 3 下移,小活塞 3 下腔压力升高,单向阀 4 关闭,单向阀 7 打开,小活塞 3 下腔的液压油经油管 6、单向阀 7 进入大活塞 8 的下腔,作用在大活塞 8 下端,使大活塞 8 克服重物的作用力向上移动,顶起重物。当再次提起杠杆手柄 1 时,单向阀 7 自动关闭,使举升油缸内的液压油不能倒流回小油缸,从而保证了重物不会自行下落。不断往复地扳动杠杆手柄 1,就能不断地把液压油吸入小油缸,再由小油缸压入举升油缸下腔,使重物逐渐升起。当需要放下重物时,打开截止阀 11,举升油缸下腔的液压油在重物的作用下通过油管 10、截止阀 11 流回油箱 12,重物向下移动。



1—杠杆手柄; 2—小油缸体; 3—小活塞; 4、7—单向阀; 5—吸油管; 6、10—油管;  
 8—大活塞; 9—大油缸体; 11—截止阀; 12—油箱(液压油)。

图 1-1 液压千斤顶的工作原理图

液压千斤顶省力的原因有两个:其一是手动液压泵的杠杆手柄利用杠杆原理,使手施加给杠杆手柄的作用力  $F$  小于小活塞对杠杆手柄的反作用力  $F_1$ ;其二是手动液压泵的小活塞下端液压油的作用面积  $A_1$  远小于大活塞下端液压油的作用面积  $A_2$ 。根据帕斯卡定律(静压传递原理),由外力作用在液体上引起的静压力可以等值传递到液体内部的各点,小活塞对液压油的作用力产生的静压力  $p_1 = F_1/A_1$  可以等值传递到举升油缸内,且与重物的重力  $mg$

通过大活塞对液压油的作用力  $p_2$  相等,则有

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} = p_2 = \frac{mg}{A_2} \quad (1-1)$$

$$F_1 = mg \times \frac{A_1}{A_2} \quad (1-2)$$

由式(1-2)可知,杠杆手柄对小活塞的作用力远小于重物的重力。实际操作液压千斤顶时,施加给杠杆手柄的作用力  $F$  并不是一个常数,它与液压千斤顶顶起重物的重力大小成正比。重物的重力就是液压千斤顶的工作负载,因此小油缸内液压油的静压力取决于工作负载,或者说液压系统的压力取决于工作负载。

通过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。压下杠杆手柄时,小油缸输出液压油,将机械能转换成液压油的压力能,液压油经过油管及单向阀进入举升油缸,推动大活塞举起重物,举升油缸又将液压油的压力能转换成机械能,实现了力的放大。大活塞举升的速度取决于单位时间内流入大油缸体中的液压油的容积。由此可知,液压传动是一种利用工作介质的静压力传递动力的过程。

由液压千斤顶的工作过程可以总结出液压传动有以下几个特点。

- (1)能量传递必须依靠工作介质(液压油)。
- (2)传动过程中必须经过两次能量转换。
- (3)传动必须在密封容器内进行,而且容积要发生变化。

## 二、液压传动系统的组成

为了克服移动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液压油的压力产生的。要克服的阻力越大,液压缸中的液压油的压力越高;反之液压油的压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理——液压油的压力取决于工作负载。从液压千斤顶的工作过程可知,一个完整的、能够正常工作的液压传动系统,应该包含以下五个主要部分。

(1)能源装置。能源装置是将机械能转换成压力能的装置,负责供给液压传动系统所需的液压油。能源装置常见的形式是液压泵,又称液压传动系统的动力元件。

(2)执行装置。执行装置是将压力能转换成机械能的装置,负责驱动各种工作装置。其形式有输出直线运动的液压缸、输出回转运动的液压马达。执行装置又称液压传动系统的执行元件。

(3)控制调节装置。控制调节装置是指对系统中的压力、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。控制调节装置又称液压传动系统的控制元件。

(4)辅助装置。辅助装置是指除上述三部分之外的其他装置,如油箱、滤油器、油管等,对保证系统正常工作是必不可少的。辅助装置又称液压传动系统的辅助元件。

(5)工作介质。工作介质是指传递能量的流体,液压传动系统的工作介质为液压油。

## 三、液压传动的优缺点

### 1. 液压传动的优点

液压传动之所以能得到广泛的应用,是因为它与机械传动、电气传动相比具有以下优点。

(1) 液压元件安装布置方便灵活。液压传动系统借助油管可以方便灵活地布置液压传动装置,这是液压传动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,因此在挖掘机等重型工程机械上,液压传动已基本取代了传统的机械传动。液压缸不仅操作方便,而且外形美观大方。

(2) 液压元件质量轻、结构紧凑、惯性小。例如,相同功率下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质量指标(N/W)目前是发电机和电动机的十分之一,液压泵和液压马达单位功率质量指标可达0.0025 N/W,发电机和电动机单位功率质量指标则约为0.03 N/W。这种差异使得液压传动在需要轻量化和紧凑设计的场合中具有明显的优势。

(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,并可在液压系统运行的过程中进行调速。

(4) 运动平稳,冲击小,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基本采用液压传动。

(5) 使用寿命长,易于实现过载保护。液压元件能借助液压油自行润滑冷却,因此使用寿命长。液压传动还能借助安全阀进行过载保护,且过载时不损坏液压系统的任何元件。

(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控制时,液压系统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) 液压元件实现了标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

## 2. 液压传动的缺点

(1) 传动效率低。液压传动中不仅有机械传动的摩擦损失,而且有压力损失、泄漏损失和溢流损失,因此总效率比其他传动方式低。

(2) 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。

(3) 不能在环境温度很高或很低的场合工作。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,使得液压系统工作的稳定性受到影响,所以液压系统不宜在温度变化很大的环境条件下工作。

(4) 液压元件价格较高。为了减少泄漏,液压元件的配合件的制造精度要求较高,加工工艺较复杂,因而液压元件价格较高。

(5) 液压要求有单独的能源,不像电源那样使用方便。

(6) 液压系统发生故障时不易检查和排除。

总之,液压传动的优点是主要的,而且随着液压元件设计、制造和使用水平的不断提高,有些缺点正在逐步加以克服,因此液压传动仍然具有较好的发展前景。

## 四、液压传动的主要应用及发展概况

### 1. 液压传动的主要应用

驱动工作装置的传动方式有多种,可分为机械传动、电力传动、液压传动和气压传动。实际应用中,还可将不同形式的传动方式组合起来运用——四位一体。由于液压传动具有

很多优点,使得这种传动方式发展得很快。

在机床上,液压传动常应用在以下装置中。

(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,六角车床、自动车床的刀架或转塔刀架,铣床、刨床的工作台及组合机床的动力滑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,有的要求无级调速,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,有的要求良好的换向性能,等等。这些要求都是可以通过液压传动来实现的。

(2)往复直线运动传动装置。龙门刨床的工作台、牛头刨床或插床的滑枕,由于要求做高速往复直线运动,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)仿形加工装置。车床、铣床、刨床上的仿形加工可以采用液压传动来完成。其精度可达 $0.01\sim 0.02\text{ mm}$ 。此外,磨床上的成型砂轮修正装置亦可采用液压传动。

(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。

液压传动在各类机械行业中的应用实例如表 1-1 所示。

表 1-1 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、轧钢机、压力机等

## 2. 液压传动的发展概况

自 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机起,液压传动已有二百多年的历史。直到 20 世纪 30 年代,它才较普遍地应用于起重机、机床及工程机械。

20 世纪 60 年代以后,液压传动随着原子能、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在近几十年。液压传动正向迅速、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)、直接数字控制(DDC)、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。

我国的液压传动最初应用于机床和锻压设备,后来又应用于拖拉机和工程机械。近年来,我国在国外引进的一些液压元件、生产技术上不断推陈出新,进行自主设计,我国生产的液压元件现已形成了成熟系列,并在各种机械设备上得到了广泛的使用。

## 任务二 液压传动系统原理图绘制

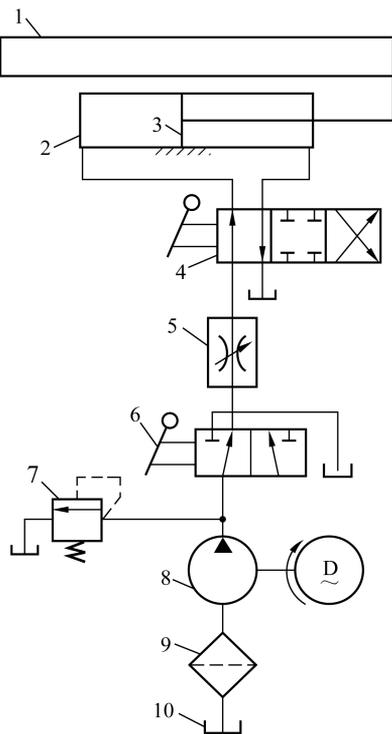
图 1-1 所示的液压千斤顶的工作原理图是一种半结构式原理图,它有直观性强、容易理解的优点。当液压系统发生故障时,根据半结构式原理图检查十分方便,但图形比较复杂,而且绘制比较麻烦,不便于沟通交流。为此我国制定了国家标准《流体传动系统及元件 图形符号和回路图 第 1 部分:图形符号》(GB/T 786.1—2021)。用规定的图形符号来表示液压传动系统原理图中的各元件的连接关系非常简洁、直观,且便于沟通交流,为液压与气动技术的推广应用带来便利。我国制定的液压传动系统图形符号有以下几条基本规定。

(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)元件符号内的液压油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位置表示,当系统的动作另有说明时,可作例外。

图 1-2 所示为根据《流体传动系统及元件 图形符号和回路图 第 1 部分:图形符号》(GB/T 786.1—2021)绘制的机床工作台液压传动系统原理图。使用这些图形符号绘制的液压传动系统原理图简单明了,而且方便绘制。



1—工作台; 2—液压缸; 3—活塞; 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。

图 1-2 机床工作台液压传动系统原理图

## 任务三 液 压 油

液压油是液压传动系统的工作介质,是一种液体物质。因此,研究了解液体的主要物理性质,掌握液体平衡和运动的主要力学规律,对于正确理解液压传动的原理及分析、设计、使用和维护液压传动系统都是十分重要的。

液压油不仅作为工作介质传递能量,而且具有润滑、防腐、防锈及冷却作用。液压传动系统的故障有约 60% 都是由液压油引起的,因此液压油质量直接影响液压传动系统的工作性能和可靠性。

### 一、液压油的主要物理性质

#### 1. 密度

液体单位体积内的质量称为密度,通常用“ $\rho$ ”表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-3)$$

式中, $\rho$  为液体的密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); $m$  为液体的质量( $\text{kg}$ ); $V$  为液体的体积( $\text{m}^3$ )。

液体的密度随温度的升高略有减小,随着工作压力的升高略有增加。一般情况下,压力和温度引起的密度变化都比较小,可忽略不计,密度近似为常数。

#### 2. 黏性

液体在外力作用下流动(或有流动趋势)时,液体分子间的内聚力会产生一种阻碍液体分子之间进行相对运动的内摩擦力,液体产生内摩擦力的性质称为液体的黏性。由于液体具有黏性,当液体发生剪切变形时,液体内就产生阻滞剪切变形的内摩擦力,由此可见,黏性表征了液体抵抗剪切变形的能力。处于相对静止状态的液体中不存在剪切变形,因而也就不存在剪切变形的抵抗,只有当运动液体流层间发生相对运动时,液体对剪切变形的抵抗,也就是黏性才表现出来。黏性所起的作用为阻滞液体内部的相互滑动,在任何情况下它都只能延缓滑动的过程而不能消除这种滑动。

黏性的大小可用黏度来衡量,黏度是选择液压用液体的主要指标,是影响流动液体的重要物理性质。液体的黏度通常有三种不同的表示方法。

(1) 绝对黏度  $\mu$ 。绝对黏度又称动力黏度,它直接表示液体的黏性,即内摩擦力的大小。绝对黏度  $\mu$  在物理意义上讲,是当速度梯度  $du/dz=1$  时,单位面积上的内摩擦力的大小。绝对黏度的国际单位制(SI)单位为  $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$  或  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 运动黏度  $\nu$ 。运动黏度是绝对黏度  $\mu$  与密度  $\rho$  的比值,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-4)$$

式中, $\nu$  为液体的运动黏度( $\text{m}^2/\text{s}$ ); $\rho$  为液体的密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

运动黏度的 SI 单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ ,还可用 CGS(厘米·克·秒)制单位——斯(stokes)表示。斯的单位太大,应用不便,常用 1% 斯,即 1 厘斯来表示,符号为 cSt,即

$$1 \text{ cSt} = 10^{-2} \text{ St} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

运动黏度  $\nu$  没有什么明确的物理意义,它不能像绝对黏度一样直接表示液体的黏性大小,但对密度值相近的液体,如各种矿物油系液体,可用来大致比较它们之间的黏性。由于在理论分析和计算中常常碰到绝对黏度与密度的比值,为方便分析和计算,才采用运动黏度这个概念来代替  $\mu/\rho$ 。它之所以被称为运动黏度,是因为在它的量纲中只有运动学的长度和时间因素。液体的牌号上所标明的号数是当温度为  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,运动黏度  $\nu$  的平均值,以厘斯为单位。例如,10号机械油指明该油液在  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  时其运动黏度的平均值是  $10\text{ cSt}$ 。蒸馏水在  $20.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  时的运动黏度恰好等于  $1\text{ cSt}$ ,所以从机械油的牌号便可知油液的运动黏度相对于水的运动黏度的倍数。例如,20号机械油的运动黏度约为水的运动黏度的20倍,30号机械油的运动黏度约为水的运动黏度的30倍,依此类推。绝对黏度和运动黏度是理论分析和推导中经常使用的黏度概念,它们都难以直接测量,因此工程上一般采用另一种可用仪器直接测量黏度大小的黏度概念,即相对黏度。

(3) 相对黏度。相对黏度是以液体相对于蒸馏水的黏性的大小来表示该液体的黏度。相对黏度又称条件黏度。各国采用的相对黏度单位有所不同,有的采用赛氏黏度,有的采用雷氏黏度,我国采用恩氏黏度。恩氏黏度的测定方法如下。

测定  $200\text{ cm}^3$  某一温度的被测液体在自重作用下流过直径  $2.8\text{ mm}$  小孔所需的时间  $t_A$ ,然后测出同体积的蒸馏水在  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  时流过同一孔所需时间  $t_B$  ( $t_B = 50 \sim 52\text{ s}$ ),  $t_A$  与  $t_B$  的比值即为液体的恩氏黏度值。恩氏黏度用符号  $^{\circ}\text{E}$  表示。被测液体温度为  $t\text{ }^{\circ}\text{C}$  时的恩氏黏度用符号  $^{\circ}\text{E}_t$  表示。

液体的黏度是随着液体的温度和压力的变化而变化的。液体的黏度对温度的变化是十分敏感的。当温度升高时,其分子之间的内聚力减小,黏度就随之降低。不同种类的液体,它的黏度随温度变化的规律也不同,通常用黏度指数度量黏度随温度变化的程度。液体的黏度指数越高,其黏度随温度的变化就越小,黏温特性也越好,该液体应用的温度范围也就越广。在一般情况下,压力对黏度的影响比较小,在工程中,当压力低于  $5\text{ MPa}$  时,黏度值的变化很小,可以不考虑其影响。当液体所受的压力加大时,分子之间的距离缩小,内聚力增大,其黏度也随之增大。因此,在压力很高以及压力变化很大的情况下,压力对黏度的影响就不能忽略。

### 3. 可压缩性

液体受压力作用而使体积变小的特性称为液体的可压缩性。在压力作用下,液体的体积变化用压缩率  $\beta$  表示,即单位压力变化下体积的相对变化量。而液体的体积弹性模量  $K$  则是压缩率  $\beta$  的倒数。

一般在中低压液压系统中,液压油的可压缩性很小,因而可以认为液压油是不可压缩的。而在压力变化很大的高压液压系统中,就需要考虑液压油可压缩性的影响。当液压油中混入空气时,可压缩性将显著增加,并将严重影响液压系统的工作性能,因而在液压系统中,应使油液中的空气含量减少到最低限度。

液压油除以上几项主要性质外,还有比热容、润滑性、抗磨性、稳定性、挥发性、材料相容性、难燃性等其他性质。这些性质对液压油的选择和使用都有着重要影响,其中大多数性质可以通过在油液中加入各种添加剂来改变。

## 二、液压系统对液压油的要求

液压油是液压系统的重要组成部分,是用来传递能量的工作介质。除了传递能量外,它还起着润滑运动部件和保护金属不被锈蚀的作用。液压油的质量及其各种性能将直接影响液压系统的工作。液压系统对液压油主要有以下几点要求。

(1)适宜的黏度和良好的黏温性能。一般液压系统所用的液压油的黏度范围为

$$\nu=11.5\times 10^{-6}\sim 35.3\times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}(2\sim 5\text{ }^{\circ}\text{E}_{50})$$

(2)润滑性能好。在液压传动机械设备中,除液压元件外,其他一些有相对滑动的零件也要用液压油来润滑,因此,液压油应具有良好的润滑性能。为了改善液压油的润滑性能,可加入添加剂以增加其润滑性能。

(3)良好的化学稳定性,即对温度、氧化、水解、相容等变化都具有良好的稳定性。

(4)对金属材料具有防锈性和防腐性。

(5)比热容、热传导率大,热膨胀系数小。

(6)抗泡沫性好,抗乳化性好。

(7)油液纯净,含杂质量少。

(8)流动点和凝固点低,闪点(明火能使油面上油蒸气内燃,但油本身不燃烧的温度)和燃点高。

此外,应根据不同的使用情况,对油液的无毒性、价格等有所要求。

## 三、液压油的分类

液压油的种类繁多,分类方法各异,可以根据用途分类,也可以根据油品类型、化学成分或可燃性分类。我国采用ISO标准制定了国家标准《润滑剂、工业用油和相关产品(L类)的分类 第2部分:H组(液压系统)》(GB/T 7631.2—2003),对液压油进行了品种分类。

我国各种液压设备所采用的液压油,按抗燃性可分为矿物油型(石油基液压油)和难燃油型(难燃液压油)。液压油的类别如表1-2所示。

矿物油型液压油是将提炼后的石油制品加入各种添加剂精制而成的,具有品种多、润滑性好、腐蚀性小、化学稳定性好等优点,是目前较常用的一种液压油,几乎90%以上的液压设备都是使用这种类型的液压油。为满足液压装置的特别要求,可以在基油中加入添加剂来改善性能。液压油的添加剂主要有抗氧化剂、防锈剂、抗磨剂、消泡剂等。

难燃油型液压油可分为水基液压油(含水液压油)和合成液压油两种。水基液压油的主要成分是水,再通过加入某些具有防锈、润滑等作用的添加剂制成。水基液压油具有价格便宜、抗燃等优点,但润滑性能差,腐蚀性强,适用温度范围小。因此,水基液压油一般用于水压机、矿山机械和液压支架等特殊场合。合成液压油由多种磷酸酯和添加剂经化学方法合成,其优点是润滑性能好、凝固点低、防火性能好,缺点是黏温特性和低温性能差、价格昂贵、有毒。因此,合成液压油一般用于钢铁厂、压铸车间、火力发电厂和飞机等有高等级防火要求的场合。

表 1-2 液压油的类别

类别		组成与特性			代号	
石油基液压油		无添加剂的石油基液压油			L-HH	
		L-HH+抗氧化剂、防锈剂			L-HL	
		L-HL+抗磨剂			L-HM	
		L-HL+增黏剂			L-HR	
		L-HM+增黏剂			L-HV	
		L-HM+防爬剂			L-HG	
		无特定难燃性的合成油(特殊性能)			L-HS	
难燃液压油	含水液压油	高含水液压油	水包油乳化液	含水大于80% (体积分数)	L-HFA	L-HFAE
			水的化学溶液			L-HFAS
		油包水乳化液		含水小于80% (体积分数)	L-HFB	
		含聚合物水溶液/水-乙二醇液			L-HFC	
	合成液压油	磷酸酯无水合成油			L-HFD	L-HFDR
		氯化烃无水合成油				L-HFDS
		L-HFDR 和 L-HFDS 液混合的无水合成油				L-HFDT
		其他成分的无水合成油				L-HFDU

#### 四、液压油的选用

正确合理地选用液压油,是保证液压设备高效率、正常运转的前提。

##### 1. 液压油的品种选择

选用液压油首先是选择品种,油液的品种选择是否合适,对液压系统的工作影响很大。选择液压油品种时,可根据是否是本系统专用、有无起火危险、工作压力和工作湿度范围是否适用等因素来选择不同性质的液压油,如抗磨液压油、低温液压油、难燃液压油、专用液压油等。

##### 2. 液压油的黏度等级选择

液压油品种确定后,再选择液压油的黏度等级。黏度等级的选择是十分重要的,因为黏度对液压系统工作的稳定性、可靠性、效率、温度及磨损都有很大的影响。液压油的黏度选择应充分考虑以下因素。

(1) 液压系统的工作压力。工作压力高的液压系统,泄漏问题较为突出,应选用黏度较高的液压油,以减少泄漏,提高容积效率;反之,则应选择黏度较低的液压油,以减少压力损失。

(2) 环境温度。液压油的黏度受温度影响较大,为了保证在工作温度下液压油有较适宜的黏度,还必须考虑周围环境温度的影响。环境温度高时,应选用黏度较高的液压油;环境温度低时,应选用黏度较低的液压油。

(3) 运动速度。工作部件运动速度较高时,流量较大,液压油的流动速度也高,压力损失也增大,而泄漏相对减少,为减少液压油的压力损失,宜选用黏度较低的液压油;工作部件运动速度较低时,流量较小,泄漏较大,为减少泄漏,提高容积效率,宜选用黏度较高的液压油。

## 五、液压油的污染与防护

液压油是否清洁,不仅影响液压系统的工作性能和液压元件的使用寿命,而且直接关系到液压系统是否能正常工作。液压系统多数故障与液压油受到污染有关,因此控制液压油的污染是十分重要的。

### 1. 液压油污染的原因

液压油污染是指油液中混入水分、空气、微小固体颗粒及胶状生成物等杂质。

液压油污染的原因主要有以下几方面。

(1)残留物污染。液压系统的管道及液压元件内的型砂、切屑、磨料、焊渣、锈片、灰尘等污垢在系统使用前冲洗时未冲洗干净,当液压系统工作时,这些污垢就进入液压油。

(2)侵入物污染。外界的灰尘、砂粒等,在液压系统工作过程中通过往复伸缩的活塞杆等进入液压油。此外,当检修液压系统时,稍不注意也会使灰尘、棉绒等进入液压油。

(3)生成物污染。液压系统本身也在不断地产生污垢,使污垢直接进入液压油,如金属和密封材料的磨损颗粒、过滤材料脱落的颗粒或纤维及油液因油温升高氧化变质而生成的胶状物等。

### 2. 液压油污染的危害

液压油污染严重时,直接影响液压系统的工作性能,使液压系统经常发生故障、液压元件使用寿命缩短,造成这些危害的原因主要是污垢中的固体颗粒。对于液压元件来说,这些固体颗粒进入元件中,会使元件的滑动部分磨损加剧,并可能堵塞液压元件中的节流孔、阻尼孔,或使阀芯卡死,从而使液压系统发生故障。水分和空气的混入会使液压油的润滑能力降低并加速其氧化变质,产生气蚀,使液压元件加速腐蚀,液压系统出现振动、爬行等故障。

### 3. 防止液压油污染的措施

造成液压油污染的原因多而复杂,且液压油自身又在不断地产生污垢,因此要彻底解决液压油的污染问题是很困难的。为了延长液压元件的使用寿命,保证液压系统可靠工作,将液压油的污染度控制在某一限度是较为切实可行的办法。对液压油的污染控制工作主要是从两个方面着手:一是防止污染物侵入液压系统,二是把已经侵入的污染物从液压系统中清除出去。液压油的污染控制要贯穿整个液压系统的设计、制造、安装、使用、维护和修理等各个阶段。

为防止液压油污染,在实际工作中应采取如下措施。

(1)液压油在使用前保持清洁。液压油在运输和存储过程中都会受到外界污染,新采购的液压油看上去很清洁,其实很“脏”,必须将其静放数天,经过滤后再加入液压系统。

(2)液压系统在装配后、运输前保持清洁。液压元件在加工和装配过程中必须清洗干净,液压系统在装配后、运输前应彻底进行清洗,最好用系统工作中使用的油液清洗,清洗时油箱除通气孔(加防尘罩)外必须全部密封,密封件不可有飞边、毛刺。

(3)液压油在工作过程中保持清洁。液压油在工作过程中会受到环境污染,因此应尽量防止空气和水分的侵入,为完全消除水、空气和污染物的侵入,应采用密封油箱,通气孔上加空气滤清器,防止尘土、磨料和冷却液侵入,经常检查并定期更换密封件和蓄能器中

的气囊。

(4)采用合适的滤油器。这是控制液压油污染的重要手段,应根据设备的要求,选用不同过滤方式、精度、结构的滤油器,并要定期检查和清洗滤油器及油箱。

(5)定期更换液压油。更换新液压油前,油箱必须先清洗一次,系统较脏时,可先用煤油清洗,煤油排尽后再注入新液压油。

(6)控制液压油的工作温度。液压油的工作温度过高不仅对液压系统不利,而且会使液压油加速变质,产生各种生成物,缩短使用寿命。一般液压系统液压油的工作温度控制在 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,机床液压系统液压油的温度则应控制在 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。

## 拓展任务 液压辅助元件

液压辅助元件和其他液压元件一样,都是液压系统中不可缺少的组成部分。它们对系统的性能、效率、温升、噪声和寿命的影响很大。液压系统中的辅助元件主要包括油箱、蓄能器、过滤器、换热器、管件、压力计与压力计开关等。

### 一、油箱

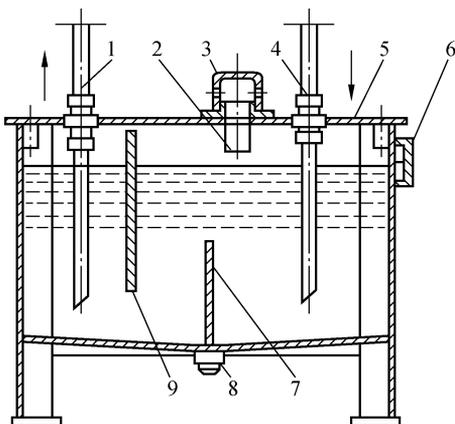
#### 1. 油箱的类型

油箱在液压系统中除了储存液压油外,还起着冷却散热、分离油液中的气泡、消除泡沫和沉淀杂质等作用。油箱按结构不同分为整体式和分离式两种。整体式油箱利用主机的内腔作为油箱,这种油箱结构紧凑,各处漏油易于回收,但增加了设计和制造的复杂性,维修不便,散热条件不好,且会使主机产生热变形。分离式油箱单独设置,与主机分开,减少了油箱发热和液压源振动对主机工作精度的影响,因此应用普遍,特别是在精密机械上。

油箱按箱内空气压力高低不同分为开式液压油箱和闭式液压油箱。开式液压油箱内外的气压相等,均为一个大气压,闭式液压油箱内的空气压力高于一个大气压。闭式液压油箱整个是封闭的,顶部有一个充气管,可充入 $0.05\sim 0.07\text{ MPa}$ 过滤纯净的压缩空气。液压油箱内的空气可以直接与油液接触,也可以输入气囊内,不与油液接触。闭式液压油箱的优点是改善了液压泵的吸油条件,但它会引起回油管、泄油管承受附加的背压。为了确保安全,这类油箱还须配置安全阀、电接点压力表等元件以稳定充气压力,因此闭式液压油箱只在特殊场合下使用。

#### 2. 油箱的结构

油箱的典型结构如图 1-3 所示。油箱内部用隔板 7、9 将吸油管 1 与回油管 4 隔开。顶部、侧部和底部分别装有空气滤清器 2、油位计 6 和排放污油的放油阀 8。安装液压泵及其驱动电机的上盖 5 则固定在油箱顶面上。



1—吸油管；2—空气滤清器；3—观察孔盖；4—回油管；  
5—上盖；6—油位计；7、9—隔板；8—放油阀

图 1-3 油箱的典型结构

设计油箱的结构时应从以下几个方面考虑。

(1) 油箱容量的确定。油箱应有足够的容量储存液压油，油箱容量一般按油泵每分钟最大流量的 2~5 倍选取。当液压系统工作时，油箱油面应保持一定的高度，若油面高度过低，液压泵工作时可能会出现吸空；若油面高度过高，当系统停止工作时，系统中的油液全部流回油箱，可能会导致油液溢出油箱，所以油箱的油面高度一般不应超过油箱高度的 80%。油面高度为油箱高度 80% 的容积称为油箱的有效容积。

(2) 隔板的设置。在油箱中设置隔板，以便将吸、回油口隔开，迫使油液循环流动，利于散热和沉淀液压油中的杂质。

(3) 空气滤清器与油位计的设置。空气滤清器的作用是使油箱与大气相通，保证油泵的自吸能力，滤除空气中的灰尘杂物，有时兼作加油口。油液计一般设置在顶面上靠近油箱边缘处。

(4) 吸油管与回油管位置的设置。吸油管与回油管之间的距离应尽可能远些，管口应插于最低液面以下，且与油箱底的间距要大于 2~3 倍的管径，以免吸空和飞溅起泡。吸油管端部所安装的滤油器，距箱壁要有 3 倍管径的距离，以便从四面进油。回油管口应截成 45° 斜角，以增大回流截面，并使斜面对箱壁，以利于散热。

(5) 放油口与清洗窗口的设置。将油箱底面做成斜面，在最低处设置放油口，不换油时用放油阀堵住，换油时将放油阀打开放走油污。为了便于换油时清洗油箱，大容量的油箱一般均在侧壁设置清洗窗口。

(6) 吊运装置的设置。大容量的油箱四周要有吊耳，以便起吊装运。油箱底距离地面的高度应在 150 mm 以上，以便散热、搬移和放油。

(7) 油箱其他装置的设置。液压油的正常工作温度应在 15~65 °C 之间，若油箱受结构等因素的影响容积较小，导致散热能力不足时应增设冷却器，以加强散热能力；若环境温度过低，可能导致开机时油泵吸不上油，此时应在油箱内增设置电加热器。

### 3. 油箱的选用

(1) 油箱容量的选用。选用油箱时，首先要考虑其容量，一般移动式设备容量选取油泵

每分钟最大流量的 2~3 倍,固定式设备选取油泵每分钟最大流量的 3~5 倍;其次考虑油位高低,当系统液压缸活塞杆全部伸出后油箱油面不得低于最低油位,确保油泵不出现吸空,当液压缸活塞杆回缩或系统停机后油面不得高于最高油位。

(2)油箱类型的选用。按照油泵在油箱上安装位置的不同,油箱可分为上置式油箱、侧置式油箱和下置式油箱。上置式油箱把油泵等装置安装在有较好刚度的上盖上,其结构紧凑、应用最广。此外还可在油箱外壳上铸出散热翅片,以增强散热效果,延长油泵的使用寿命。侧置式油箱是把油泵等装置安装在油箱旁边,油箱油位高于油泵吸油口,故具有较好的吸油效果,且安装与维修方便,但占地面积大,因此当油箱容量较大时通常采用这类结构,侧置式油箱尤其适合一个油箱给多台油泵供油的场合。下置式油箱是把油泵置于油箱底下,不仅便于安装和维修,而且油泵吸入能力大为改善。

## 二、蓄能器

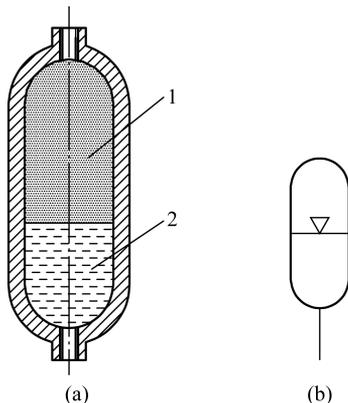
### 1. 蓄能器的类型和结构

蓄能器是一种能在适当的时机将系统中的能量转换为压缩能或位能储存起来,当系统需要时,又能将压缩能或位能转换为液压能或气压能等释放出来,重新供给系统的一种装置。蓄能器的类型较多,按其结构不同可分为充气式蓄能器、弹簧式蓄能器和重锤式蓄能器三类。

#### 1) 充气式蓄能器

充气式蓄能器的工作原理是通过压缩气体完成能量转换。使用时向蓄能器充入预定压力的气体,当系统压力超过蓄能器内部气体的压力时,油液压缩气体,将油液中的压力能转换为气体内能;当系统压力小于蓄能器内部气体压力时,蓄能器中的油液在高压气体的作用下流向外部系统,释放能量。选择适当的充气压力是使用充气式蓄能器的关键。充气式蓄能器按结构可分为气瓶式蓄能器、活塞式蓄能器和气囊式蓄能器三种。

(1)气瓶式蓄能器。图 1-4 所示为气瓶式蓄能器,这是一种直接接触式蓄能器。它是一个下半部盛油液,上半部充压缩气体的气瓶。这种蓄能器容量大、体积小、惯性小、反应灵敏,但是气体容易混入油液中,使油液的可压缩性增大,并且耗气量大,必须经常补气。

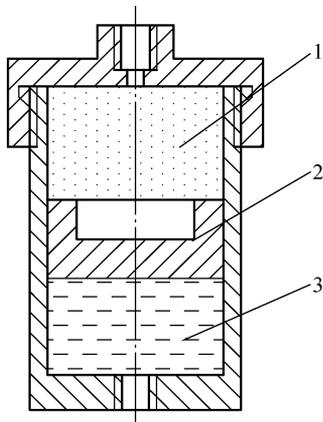


1—气体; 2—油液。

图 1-4 气瓶式蓄能器

(a) 结构; (b) 图形符号

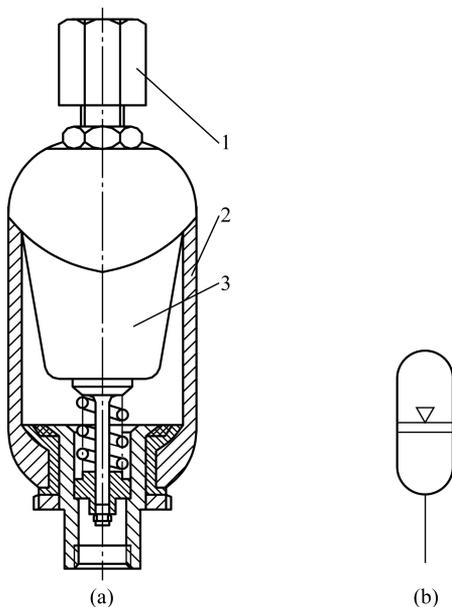
(2)活塞式蓄能器。活塞式蓄能器是一种隔离式蓄能器,如图 1-5 所示。它利用活塞使气体与油液隔离,以降低气体渗入油液的可能性。其容量大,常用于中、高压系统,但正逐渐被性能更完善的气囊式蓄能器所代替。



1—气体; 2—活塞; 3—油液。

图 1-5 活塞式蓄能器

(3)气囊式蓄能器。气囊式蓄能器也是一种隔离式蓄能器,如图 1-6 所示。壳体 2 为两端呈球形的圆柱体,壳体内有一个用耐油橡胶制成的气囊 3。气囊出口上设充气阀 1,充气阀只在为气囊充气时才打开,平时关闭。气囊式蓄能器中的气体和油液完全隔离,而且气囊式蓄能器的质量轻,惯性小,反应灵敏,是当前应用较广泛的一种蓄能器。



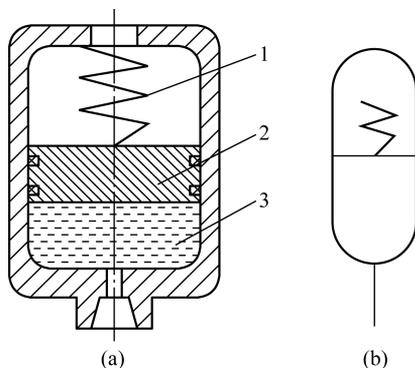
1—充气阀; 2—壳体; 3—气囊。

图 1-6 气囊式蓄能器

(a)结构; (b)图形符号

## 2) 弹簧式蓄能器和重锤式蓄能器

图 1-7 所示为弹簧式蓄能器,它是利用弹簧的压缩和伸长来储存、释放压力能的,其结构简单、反应灵敏,但容量小,可用于小容量、低压回路,起缓冲作用,不适用于高压或高频的工作场合。此外,还有一种重锤式蓄能器,其体积庞大、结构笨重、反应迟钝,在工业上已很少应用。



1—弹簧; 2—活塞; 3—油液。

图 1-7 弹簧式蓄能器

(a)结构; (b)图形符号

## 2. 蓄能器的应用和安装

### 1) 蓄能器的应用

蓄能器主要应用在以下几个方面。

(1)作为辅助动力源。在间歇工作或实现周期性动作循环的液压系统中,蓄能器可以把液压泵输出的多余液压油储存起来。当系统需要流量时,蓄能器将液压油释放出来,这样可以减少液压泵的额定流量,从而减小电机功率消耗,降低液压系统温升。例如,当系统短期需要大流量时,蓄能器与液压泵同时供油,当所需流量较少时,液压泵将多余的液压油充向蓄能器,这样就节省了能源,降低了温升。

(2)实现系统保压或作为紧急动力源。对于执行元件长时间不动作,而要保持恒定压力的系统,可用蓄能器来补偿泄漏,从而使压力恒定。对某些要求若液压泵发生故障或停电,执行元件应继续完成必要动作的系统,需要有适当容量的蓄能器作为紧急动力源。

(3)吸收系统脉动,缓和液压冲击。蓄能器能吸收系统压力突变时的冲击,如液压泵突然启动或停止,液压阀突然关闭或开启,液压缸突然运动或停止;也能吸收液压泵工作时的流量脉动所引起的压力脉动,相当于油路中的平滑滤波(在液压泵的出口处并联一个反应灵敏而惯性小的蓄能器)。

### 2) 蓄能器的安装

蓄能器的安装位置应便于检修,用于补油保压的蓄能器,应安装在执行元件附近;而用于缓和液压冲击、吸收压力脉动的蓄能器,应安装在冲击源或脉动源近旁。选择蓄能器时,需计算蓄能器的容量,其计算方法可参阅有关产品手册。安装蓄能器时还应注意以下问题。

(1)充气式蓄能器应使用惰性气体(一般为氮气),允许工作压力由结构形式而定。

(2)不同蓄能器的适用工作范围不相同,如气囊式蓄能器,其强度不高,不能承受很大的压力波动,而且只能在 $-20\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内工作。

- (3) 充气式蓄能器应油口向下垂直安装。
- (4) 装在管路中的蓄能器,须用支板或支架固定。
- (5) 蓄能器与液压泵之间应安装单向阀,防止液压泵停转或卸荷时,蓄能器内储存的液压油倒流。为便于充气 and 检修,蓄能器与管路系统之间应安装截止阀。

### 三、过滤器

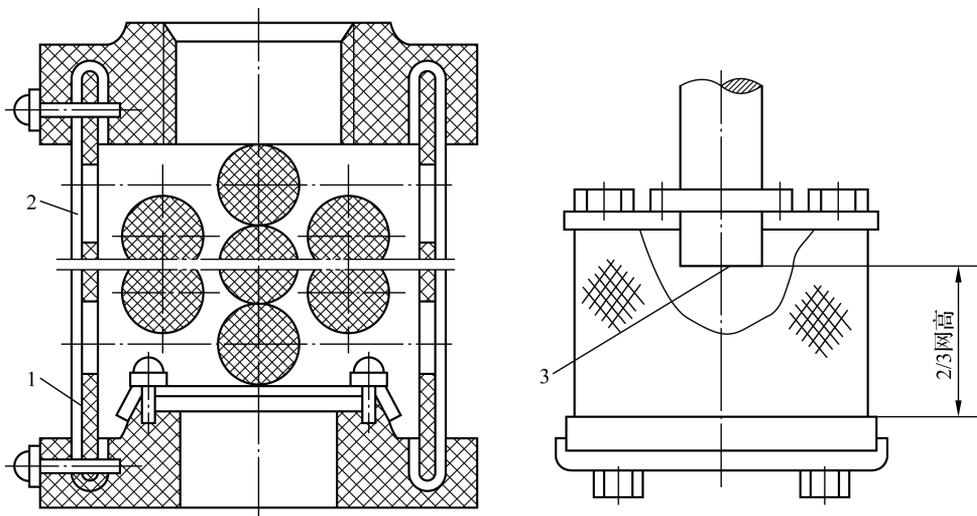
#### 1. 过滤器的类型和结构

按滤芯材料和结构形式的不同,过滤器可分为网式、线隙式、纸芯、烧结式及磁性等类型。

##### 1) 网式过滤器

图 1-8 所示为网式过滤器,在塑料或金属筒形骨架上包着一层或两层铜丝网,过滤精度由网孔大小和层数决定。这种过滤器的特点是结构简单、通流能力大、清洗方便、压力损失小(一般小于 0.025 MPa),缺点是过滤精度低(一般过滤精度为 0.08~0.18 mm)。

网式过滤器一般安装在液压泵的吸油口处,以避免液压泵吸入较大的杂质。



1—铜丝网; 2—骨架; 3—吸油口。

图 1-8 网式过滤器

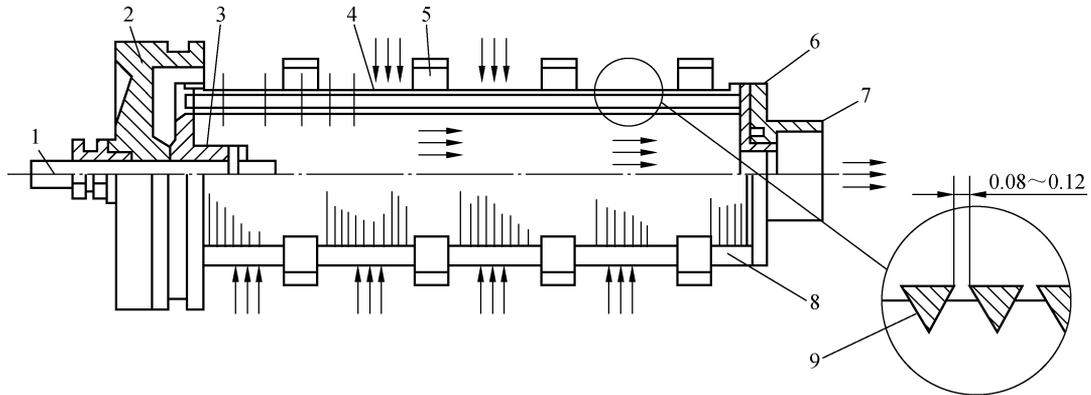
##### 2) 线隙式过滤器

线隙式过滤器的滤芯通常由金属丝(如铜丝、铝丝或不锈钢丝)缠绕在骨架上制成,利用线丝之间形成的缝隙滤除杂质。

图 1-9 所示为线隙式过滤器。线隙式过滤器的过滤元件是断面边长为 $(0.50 \pm 0.02)$  mm 的等边三角形金属丝,将其绕在铝制圆筒形骨架 4 上,线丝间形成 0.08~0.12 mm 的过滤缝隙。滤芯两端盖为铝制前端盘 3 与后端盘 6,并装在由前座 2、后座 7 和四根螺钉 8 及两根管套构成的框架中。与前端盘 3 用圆柱销连接的小轴 1 从前座 2 伸出。转动小轴,滤芯随之转动。在滤芯顺时针转动时,装在其外面框架螺钉 8 上的簧片与刮板 5 即可清除滤芯上的脏物。

线隙式过滤器的过滤精度一般为 0.03~0.1 mm,承压较高,可用于任何油路上。若用

于吸油管路上,应使实际流量为其额定通流量的  $1/2 \sim 2/3$ ,以防过流导致压力损失太大。



1—小轴; 2—前座; 3—前端盘; 4—骨架; 5—簧片与刮板;  
6—后端盘; 7—后座; 8—螺钉; 9—等边三角形金属丝。

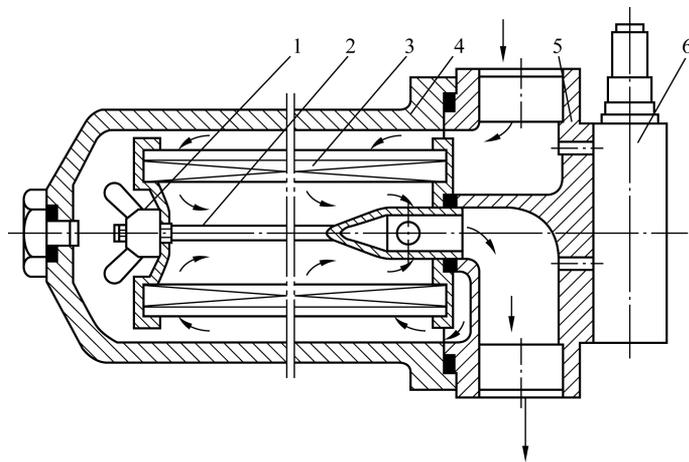
图 1-9 线隙式过滤器

### 3) 纸芯过滤器

纸芯过滤器是以酚醛树脂或纯木浆制成的滤纸为滤芯,以滤纸微孔对油液进行过滤的过滤装置。为增加通流面积,可将滤纸和同尺寸的钢丝网叠放,按 W 形反复折叠形成桶状滤芯,这样不仅可以减小其外形尺寸,而且可以增加其强度。

纸芯过滤器的主要优点是过滤精度高,一般为  $0.005 \sim 0.03 \text{ mm}$ ,最小可达  $0.001 \text{ mm}$ ,压力损失一般为  $0.01 \sim 0.04 \text{ MPa}$ ,不足之处是强度低,容易堵塞,不能清洗复用,需经常更换滤芯。纸芯过滤器广泛用于各种重要的液压回路中,如采煤机液压系统的补油回路。

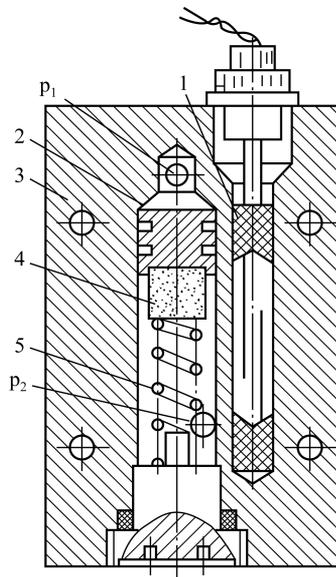
图 1-10 所示为带堵塞发信装置的纸芯过滤器,堵塞发信装置会在滤芯脏(堵)到一定程度时及时发出电信号,防止因杂质堵塞引起通流量不足而影响系统,同时也防止因堵塞引起滤油器进、出油口压力差增大而将滤芯冲破,造成更麻烦的后果。



1—螺母; 2—拉杆; 3—滤芯; 4—壳体; 5—滤芯座; 6—堵塞发信装置。

图 1-10 带堵塞发信装置的纸芯过滤器

图 1-11 所示为堵塞发信装置。图中  $p_1$  口、 $p_2$  口分别与过滤器的进、出油口连通,若滤油器堵塞超量, $p_1$  口油压力将会升高,其作用力会克服弹簧 5 与  $p_2$  口油压力而向下压活塞 2,这将使永久磁铁 4 向下移动,吸合干簧管 1 中的簧片,从而发出电信号。

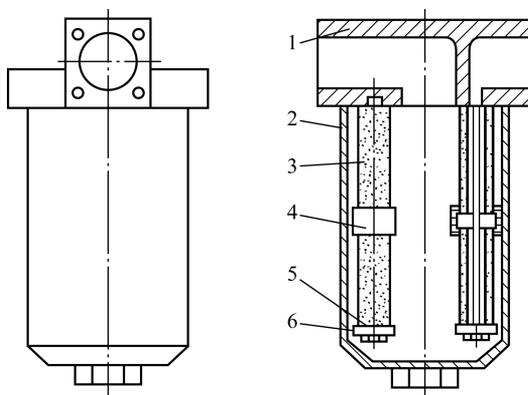


1—干簧管；2—活塞；3—壳体；4—永久磁铁；5—弹簧。

图 1-11 堵塞发信装置

#### 4) 烧结式过滤器

烧结式过滤器常用的滤芯材料有青铜、低碳钢或镍铬粉末。滤芯可以做成杯状、管状(见图 1-12)、碟状和板状等。这种过滤器靠其粉末颗粒间的间隙微孔滤油,选择不同粒度的粉末烧结成不同厚度的滤芯,可以获得不同的过滤精度(0.01~0.1 mm)。



1—滤芯座；2—壳体；3—滤芯；4—连接环；5—压盖；6—螺栓。

图 1-12 烧结式过滤器

烧结式过滤器的优点:过滤精度高,滤芯的强度高,抗液压冲击性能好,能在较高温度下工作,有良好的抗腐蚀性,制造简单。其缺点:易堵塞,难清洗,压力损失大(0.03~

0.2 MPa),使用中烧结颗粒可能会脱落。烧结式过滤器一般用于要求过滤精度较高的液压系统中,如液压绞车辅助泵排油口使用的便是这种过滤器。

### 5) 磁性过滤器

磁性过滤器依靠磁性材料把混在油中的铁质杂质吸出,达到过滤目的。其优点是过滤效果好,缺点是对其他非铁质污染物不起作用,所以常把它与其他类型的过滤器配合使用。

## 2. 过滤器的选用和安装

### 1) 过滤器选用的要求

(1) 过滤精度。过滤精度是指过滤器滤除杂质颗粒直径  $d$  的公称尺寸( $\mu\text{m}$ )。过滤器按过滤精度的不同可分为四个等级:粗过滤器( $\geq 100 \mu\text{m}$ )、普通过滤器( $10 \sim 100 \mu\text{m}$ )、精密过滤器( $5 \sim 10 \mu\text{m}$ )、特精过滤器( $1 \sim 5 \mu\text{m}$ )。

不同液压系统有不同的过滤精度要求,可参考表 1-3 选择。

表 1-3 各种液压系统的过滤精度

系统类别	润滑系统	传动系统			伺服系统
工作压力 $p/\text{MPa}$	0~2.5	<14	14~32	>32	$\leq 21$
过滤精度 $d/\mu\text{m}$	$\leq 100$	25~30	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 5$

研究表明,由于液压元件相对运动表面间隙较小,如果采用高精度过滤器有效控制  $1 \sim 5 \mu\text{m}$  的污染颗粒,液压泵、液压马达、各种液压阀及液压油的使用寿命均可大大延长,液压故障亦会明显减少。

(2) 通流量与压力损失。若选用的过滤器额定通流量过小,会导致清洗或更换周期太短,压力损失增加。若选用的额定通流量过大,虽然压力损失减少,但过滤器体积增大会影响液压系统整体布置。因此一般所选用过滤器的额定通流量应是实际流量的  $2 \sim 3$  倍。

### 2) 过滤器选用的注意事项

过滤器选用时应满足系统(或回路)的使用要求、空间要求和经济性,总体上应注意以下几点。

- (1) 应满足系统的过滤精度要求。
- (2) 应满足系统的流量要求,能在较长的时间内保持足够的通流能力。
- (3) 工作可靠,满足承压要求。
- (4) 滤芯抗腐蚀性性能好,能在规定的温度下长期工作。
- (5) 滤芯清洗、更换简便。

### 3) 过滤器的安装位置

过滤器在液压系统中的安装位置,通常有以下几种情况。

(1) 安装在液压泵的吸油口处。这种安装位置主要是保护液压泵不吸入较大的颗粒杂质。但由于一般液压泵的吸油口不允许有较大阻力,因此只能安装压力损失较小的粗级或普通精度等级的过滤器,如网式过滤器。

(2) 安装在液压泵的压油管路上。这种安装位置主要用来保护除液压泵以外的其他液

压元件。过滤器在高压下工作时,滤芯及壳体应能承受油路上的工作压力和冲击压力。为防止过滤器堵塞而使液压泵过载或引起滤芯破裂,可以并联安全阀和堵塞发信装置。

(3)安装在回油路上。这种安装位置适用于液压执行元件在脏湿环境下工作的系统,可在油液流入油箱以前滤去污染物。由于回油路压力低,因此可采用强度较低的精密过滤器。

(4)安装在液压系统的分支油路上。当液压泵流量较大时,若仍采用上述各种安装方法过滤杂质,则要求过滤器有比较大的通流面积,这使得过滤器的体积变大。为此,在相当于总流量 20%~30%的分支油路上安装一小规格过滤器对油液进行过滤,不会在主油路上造成压力损失,但不能避免杂质进入系统。

(5)单独过滤系统。这种设置方式是用一个液压泵和过滤器组成一个独立于液压系统之外的过滤回路,它可以经常清除系统中的杂质,定时对油箱的油液进行过滤。

为了获得较好的过滤效果,在液压系统中往往综合运用上述几种安装方法。安装过滤器时应当注意,一般过滤器都只能单向使用(滤芯的外围进油,中心出油),进、出油口不能反接,这有利于滤芯清洗和安全。因此,过滤器不要安装在油液方向可能变换的油路上,必要时可增设过滤器和单向阀,以保证双向过滤。目前,市场上也已出现双向过滤器。

## 四、其他辅助元件

### 1. 换热器

换热器是将热流体的部分热量传递给冷流体的设备,又称热交换器,根据使用目的可分为冷却器、加热器等。油液的理想工作温度一般保持在 30~50℃,最高不超过 65℃,最低不应低于 15℃。若油液温度过高,则油液黏度降低,泄漏增加,而且会加速油液变质。当油液依靠油箱自然冷却后,而油温仍超过 65℃时,就需采用冷却器。相反,油温过低,则油液黏度过大,会造成油泵吸油困难,压力损失增加并导致液压系统振动加剧等不良后果,这时就需要采用加热器来提高油液温度。

#### 1) 冷却器

液压系统中的功率损失基本转变成热量,这使得油液温度升高。如果散热面积不够,就需要采用冷却器,使油液的平衡温度降低到合适的范围内。按冷却介质的不同,冷却器可分为风冷、水冷和氨冷等不同形式,一般液压系统主要采用风冷式冷却器和水冷式冷却器。

(1)风冷式冷却器一般安装在回油路上,油液通过散热芯管流回油箱,散热芯管外部安装有散热片,风扇产生的高速气流通过散热片时,将油液中的热量带走,从而降低油温。这种冷却器结构简单,安装位置灵活,因此应用广泛。风冷式冷却器如图 1-13 所示,其冷却器图形符号如图 1-14 所示。

(2)水冷式冷却器根据结构不同可分为蛇形管式冷却器、多管式冷却器等类型。图 1-15 所示为在油箱内铺设的可以通入循环水的蛇形管式冷却器。蛇形管一般使用壁厚 1.15 mm、外径 15~25 mm 的紫铜管盘旋制成。这种冷却器结构简单,但由于油箱中的油液只能对流冷却,因此冷却效果较差。