

---

# 液压元件与系统设计

---

李玉琳 主编

---

YEYIAYUANJIAN YUXITONGSEJI

---

北京航空航天大学出版社

---

# 液压元件与系统设计

李玉琳 主编

北京航空航天大学出版社

---

(京)新登字166号

### 内 容 简 介

本书对液压传动系统中的液压泵(液压马达)、液压缸、液压控制阀(方向阀、压力阀、流量阀等)及液压辅助元件(蓄能器、油箱、滤油器等)的分类、结构、原理、功用、静态特性及设计要点进行了比较详细的阐述。对各种典型回路,液压传动系统(节流调速系统、容积调速系统)的结构、静、动特性作了较深入的分析,并对飞机液压系统与机床液压系统作了扼要的介绍与分析。在飞机液压系统设计一章中介绍了液压管路系统设计计算的程序包,为研究液压系统静、动特性提供了快速、简便的方法。

本书为高等院校机电类专业液压传动方面的教材。也可供从事液压技术工作的广大技术人员参考。

液 压 元 件 与 系 统 设 计

YEYA YUANPIAN YU XITONG SHEJI

李 玉 淑 主 编

责任编辑 曾昭奇

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

北京农业工程大学印刷厂印装

787×1092 1/16 印张: 20 字数: 512千字

1991年12月第一版 1991年12月第一次印刷 印数: 5000册

ISBN 7-81012-256-8/TB·043 定价: 5.20元

# 前 言

液压技术是一门古老而又新兴起的学科，随着技术的不断革新，近百年来有长足的进展。它已广泛应用于各行各业中，诸如，机床液压、矿山机械、石油、化工、冶炼技术以及宇航、航空等方面，可以说液压技术的发展，密切的关系着国计民生的许多方面。尤以计算机技术的广泛应用，更促使这门学科向集成化、标准化、通用化方面发展，以适应新技术的要求。我国已建立了相应的液压产品生产体系，但随着技术不断发展将提出更高的要求，为了促进液压技术向更高层次迈进，本书对高等学校从事液压技术专业学习的学生，提供液压技术基础理论。

本教材根据航空航天工业部教材编审组规划编写，以适应新教学大纲要求，充实了基本知识、基础理论等方面的内容，并增添了一些新元件、新系统。其它新技术领域的基本技能也结合相应的某些章节予以介绍，如计算机技能等。

本书由北京航空航天大学三〇三教研室李玉琳任主编。参加编写的有：西北工业大学张毓铨（编写第七章第三小节第四部分、第八章第六小节）；北京航空航天大学李沛琼（编写第七章第一节第一、二小节，第三小节第一、二、三部分，第二节，第八章第一、二、三、四、五小节）；李培滋（编写第一章、第四章）；喻统武（编写第三章）；唐仁林（编写第二章第四节）；李玉琳（编写第二章第一、二、三节，第五章、第六章及附录）。

本教材完稿后承蒙北京理工大学孙文质教授、谭尹耕副教授审阅原稿并提出宝贵意见。在此向他们表示衷心的感谢。本教材的插图由北京航空航天大学梅冰清同志绘制，在此表示深深的谢意。

由于编写者的水平所限，谬误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1989年6月

# 目 录

## 第一章 概 述

第一节 液压传动基本原理及其特点	(1)
一、液压传动基本原理、特点及分类	(1)
二、液压传动实例与组成	(2)
三、液压传动的优缺点	(3)
第二节 工作液	(4)
一、工作液的分类	(4)
二、工作液的理化特性	(5)
三、对工作液的要求	(10)
四、国产工作液的品种介绍	(10)

## 第二章 液压泵和液压马达

第一节 液压泵的主要性能参数	(11)
一、压力	(11)
二、排量、流量和容积效率	(12)
三、转速	(12)
四、功率	(13)
五、总效率	(13)
六、扭矩与机械效率	(13)
七、自吸能力	(13)
第二节 齿轮泵和齿轮马达	(14)
一、齿轮泵的工作原理	(14)
二、齿轮泵的流量计算	(14)
三、齿轮泵的实际流量及其影响因素	(18)
四、齿轮泵中的一些现象	(20)
五、外啮合齿轮泵的结构特点	(22)
六、外啮合齿轮泵的设计要点	(28)
七、内啮合齿轮泵	(29)
八、齿轮马达	(31)
第三节 叶片泵	(32)
一、单作用式叶片泵	(33)
二、双作用式叶片泵	(34)
三、变量叶片泵	(40)
第四节 轴向柱塞式液压泵和液压马达	(43)

一、直轴式轴向柱塞泵工作原理与性能参数	(44)
二、直轴式轴向柱塞泵运动学及流量品质分析	(47)
三、柱塞受力分析与设计	(53)
四、滑靴受力分析与设计	(59)
五、配油盘受力分析与设计	(65)
六、缸体受力分析与设计	(72)
七、柱塞回程机构设计	(80)
八、斜盘力矩分析	(83)
九、变量机构	(87)
十、斜轴式轴向柱塞泵	(96)
十一、轴向柱塞式液压马达	(97)

### 第三章 液压控制元件

第一节 方向控制元件	(101)
一、单向阀	(101)
二、换向阀	(108)
第二节 压力控制元件	(123)
一、溢流阀的工作原理与应用	(123)
二、溢流阀的主要性能	(126)
三、先导式溢流阀的几种结构形式	(129)
四、溢流阀的设计	(130)
五、减压阀	(139)
六、顺序阀	(142)
七、卸荷阀	(143)
八、压力继电器	(144)
第三节 流量控制元件	(145)
一、节流原理与节流口结构形式	(145)
二、节流阀	(148)
三、带压力补偿的节流阀	(149)
四、节流阀的温度补偿	(151)
五、定流量阀	(151)
六、分流阀	(152)
七、定量器	(153)
第四节 电液比例阀	(153)
一、电液比例压力先导阀	(154)
二、电液比例调速阀	(155)
三、电液比例换向阀	(155)
第五节 逻辑阀	(156)

- 一、逻辑阀的锥阀式元件.....(156)
- 二、由逻辑元件组成逻辑阀.....(158)

#### **第四章 液压往复式执行元件**

- 第一节 直线运动型——液压缸.....(160)
  - 一、应用及工作原理.....(160)
  - 二、结构型式及其分类.....(160)
  - 三、基本特性计算和分析.....(162)
  - 四、液压缸的设计思路和方法.....(164)
  - 五、结构设计中的几个问题.....(170)
- 第二节 摆动液压缸.....(175)
  - 一、曲柄连杆型.....(175)
  - 二、旋板型.....(175)

#### **第五章 液压辅助附件**

- 第一节 油箱及冷却器.....(176)
  - 一、油箱.....(176)
  - 二、冷却器.....(182)
- 第二节 滤油器.....(183)
  - 一、滤油器的种类.....(183)
  - 二、滤油器的选择和计算.....(185)
  - 三、油液污染度的测定.....(187)
  - 四、滤油器的安装方式.....(187)
- 第三节 蓄能器和缓冲瓶.....(189)
  - 一、蓄能器的功用.....(189)
  - 二、蓄能器的类型.....(190)
  - 三、蓄能器的性能与参数确定.....(191)
  - 四、蓄能器的安装.....(196)
  - 五、缓冲瓶.....(197)
- 第四节 导管与接头.....(197)
  - 一、导管分类.....(198)
  - 二、导管内径和壁厚的确定及受力分析.....(198)
  - 三、管接头的选用与使用.....(201)
- 第五节 密封装置.....(203)
  - 一、密封装置的分类和对它的要求.....(204)
  - 二、几种常用密封件.....(204)
  - 三、间隙密封.....(207)
  - 四、端面密封.....(208)

## **第六章 液压基本回路与调速**

第一节 液压基本回路	(209)
一、压力控制回路	(209)
二、速度控制回路	(214)
三、方向控制回路	(220)
四、安全回路	(222)
五、其它回路	(223)
第二节 液压调速系统的分析	(225)
一、节流调速系统	(225)
二、容积调速系统	(236)

## **第七章 液压传动系统实例**

第一节 飞机液压系统实例	(247)
一、供压部分	(247)
二、工作部分	(252)
三、典型飞机全机液压系统实例	(257)
第二节 其它液压系统	(272)
一、M131W外圆磨床液压系统的组成	(272)
二、M131W外圆磨床各部分工作原理	(274)
三、HYY21/3P-25T 液压操纵箱工作原理	(276)

## **第八章 飞机液压传动系统设计**

一、概述	(278)
二、液压系统设计指标与要求	(279)
三、液压系统原理图设计与参数初步估算	(281)
四、系统主要参数的确定与估算	(283)
五、选择液压附件、确定新研附件的指标要求	(286)
六、液压系统工作特性校核计算	(288)

<b>附录</b>	<b>(301)</b>
-----------	--------------

<b>参考文献</b>	<b>(312)</b>
-------------	--------------



# 第一章 概 述

## 第一节 液压传动基本原理及其特点

### 一、液压传动基本原理、特点及分类

#### (一) 原 理

图 1-1 所示为液压传动原理的一个模型。它由两个液压缸（又称作动筒、动作筒、液压筒）1 和 2 组成，中间用管道连接，内部充满了液体（暂且忽略液体的压缩性和泄漏）。当液压缸 1 的活塞向左移动时，则缸 1 左腔的液体被挤入缸 2 右腔，这两腔内压力升高，缸 2 活塞被迫向左移动，若连续地推动活塞 1，则液体连续地流经管道并推动活塞 2 连续运动，这就是液压传动的基本原理。在此，液压缸 1 推动液体流动并使液体具有压力，它就是一个手动液压泵；液压缸 2 用来推动外界负载，就是液压执行元件。

须注意，如果活塞 2 上没有受到外力（负载），则推动活塞 1 很省力，液体受挤压程度不大，内部压力就很小。若活塞 2 杆上承受着外力，从右缸中排出的液体即受到外力的阻碍，推动活塞 1 就较费力，液体的挤压程度就大，内部压力就高。所以，液压泵出口压力的大小取决于液体流动时受阻的大小。受阻大，液压泵排油压力就高；受阻小，压力就低。有人把额定压力为 10MPa 的液压泵理解为该泵打出的油压便是 10MPa，那是错误的概念。正确的理解应该是：额定压力为 10MPa 的液压泵，就是允许该泵能在低于或等于 10MPa 的压力下工作。然而，使液体产生压力的还是液压泵，而不是阻力。

此外，液压缸 2 的活塞移动以后，若没有液体的连续供给，即没有流量供给时，活塞 2 便不会连续运动。所以，液体流量是使执行元件产生速度的因素。

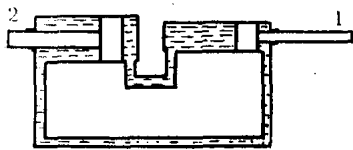


图 1-1 液压传动原理模型

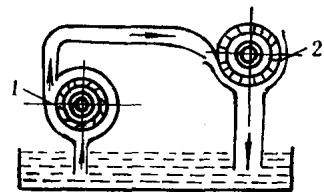


图 1-2 液力传动模型

#### (二) 分 类

在工程上采用的液压传动分为两大类型：（1）液压传动（又称静液传动），它是利用液体静压能为主来实现传动功能的，图 1-1 属于液压传动的范畴；（2）液力传动，如图 1-2 所示，它是由离心泵 1 和涡轮 2 组成的系统，主要是利用液体动能为主来实现传动功能的。前者广泛应用于航空、机床、采矿、建筑、锻压等设备上；后者多用于汽车、机床的动力传动上（作液力联轴器或液力变矩器用）。

如果液压装置能跟随控制信号的规律而工作，称为液压伺服控制装置。

### (三) 特点

通过上述液压传动原理模型，可归纳出液压传动与液压伺服控制技术的基本特点如下：

- (1) 采用液体作为传动介质；
- (2) 必须在封闭的容器内进行；
- (3) 以液体静压能为主（静压能大大超过液体动能）；
- (4) 代表液压传动性能的主要参数是压力 $p$ 和流量 $Q$ 。

## 二、液压传动实例与组成

### (一) 液压千斤顶

液压千斤顶是工农业生产中常用的一种小型液压机械（见图1-3），在修理飞机、汽车或拖拉机时，常用来顶起机身或车身。在使用中只要用较小的力不断提起和压下小活塞，大活塞就能不断地升起，把重物顶起来。

液压千斤顶工作原理如图1-4所示。当提起小活塞时，小油缸空出一段容积，油箱中的油就要顶开小油缸下面的钢珠填补空出的容积；当压下小活塞时，小油缸中的油要排出，但钢珠受压将回油箱的通路堵死，于是油从另一条通路顶开大油缸下面的钢珠进入大油缸，便可将大活塞顶起，而大油缸中的油由于钢珠的作用不能倒流至小油缸。因此，不断地提压小活塞就能不断地把大活塞顶起。如果把大油缸通油箱路上的针阀（节流阀）松开，大油缸内的油便可回到油箱，使大活塞下降。

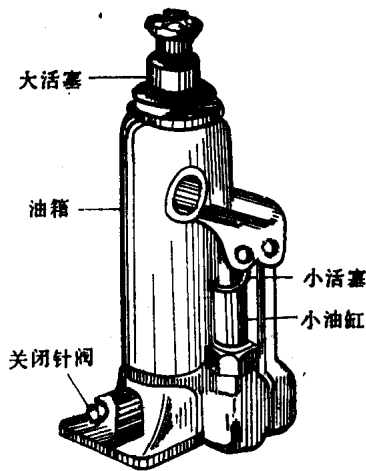


图1-3 液压千斤顶外观

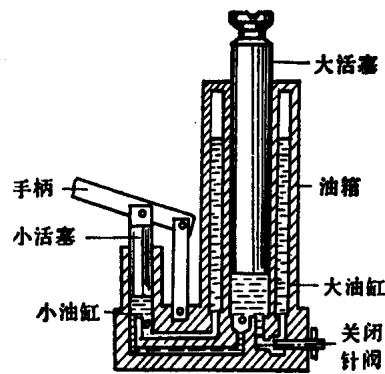


图1-4 液压千斤顶工作原理

### (二) 飞机前起落架液压收放系统

现代飞机起落架的收放动作，几乎全是采用液压传动的。图1-5所示是收放前起落架的一种液压系统实例。图中：1—油箱；2—液压泵；3—滤油器；4—安全阀；5—单向阀；6—蓄能器；7—电磁阀；8—开锁液压缸；9—液压锁；10—前起落架收放液压缸；11—单向节流阀；12—热安全阀（热膨胀活门）；13—单向阀。此系统泵源部分的工作原理为：液压泵2从油箱1吸油，其排油经滤油器3、单向阀5供向电磁阀7，一小部分油填充蓄能器6。

若液压泵2出口压力超过规定值,则安全阀4接通回油路卸压;单向阀5防止蓄能器6的压力油倒流。

当飞机着陆时放下起落架的工作过程为:驾驶员将座舱内的“起落架开关”置于“放下”位置,电磁阀7右端的电磁铁通电,将高压油接通至放下管路。高压油首先进入开锁液压缸8的无杆腔,推动活塞向左运动,使起落架的锁钩开锁,开锁后活塞将中间油路打开,高压油便通过开锁液压缸8和液压锁9进入前起落架收放液压缸10的无杆腔,推动活塞放下起落架。同时,开锁液压缸8和起落架液压缸10有杆腔的工作液,经电磁阀回到回油总管,流回油箱。单向节流阀11,使工作液流出时有较大液阻,以减小起落架放下速度和撞击。液压锁9的作用是当起落架放下后,封闭液压缸10无杆腔,将起落架锁在放下位置,与液压缸10内的机械钢珠锁(黑三角)一起起双套保险作用。由于液压锁9的闭锁作用,温度上升时油液无处膨胀,故设热安全阀12,在超压时可经它卸压。

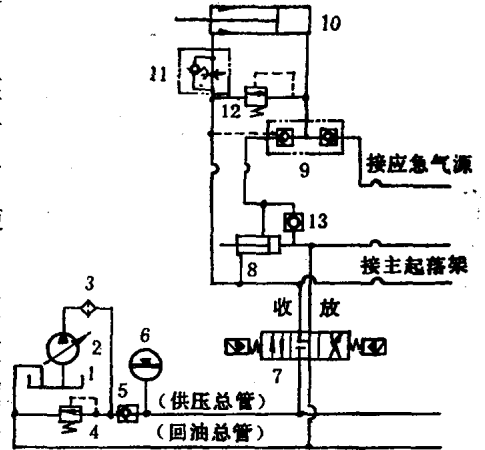


图1-5 起落架液压收放系统

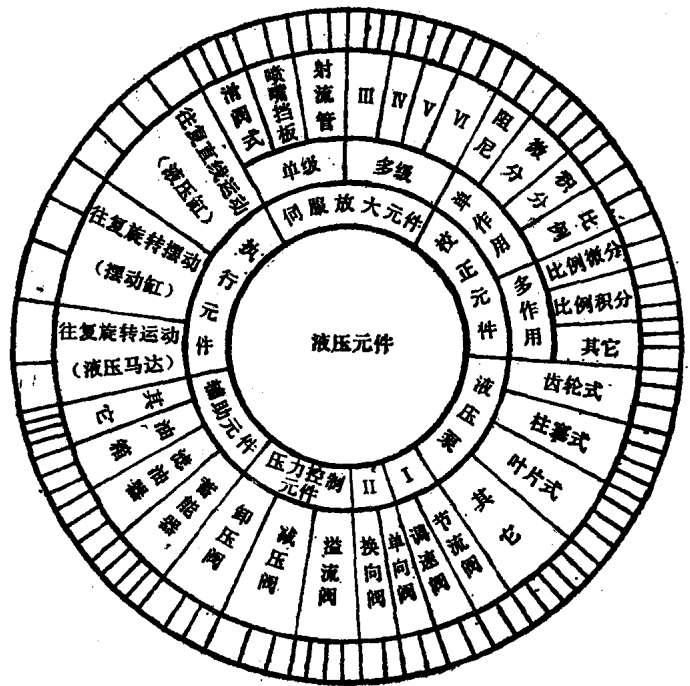
当飞机起飞后,收起落架的工作过程与放下过程相反。

### (三) 液压系统的组成及元件分类

通过以上应用实例,可知任何液压传动系统或液压伺服控制系统均由以下几部分组成:

1. 执行部分 即液压缸(作动筒)或旋转式液压马达。
2. 控制部分 其中包括:控制液流方向的元件(单向阀、电磁阀等);控制压力的元件(安全阀等);控制流量的元件(节流针阀等)。
3. 能源部分 即供压部分(泵和蓄能器等)。
4. 辅助装置 即油箱、导管等。
5. 传动介质 即工作液体。

由此可知,除传动介质外,液压传动装置或液压伺服机构均由各种不同的元件组成。液压元件的分类如图1-6所示。



I—流量控制元件 II—方向控制元件 III—滑阀-滑阀  
IV—挡板-滑阀 V—射流管-滑阀 VI—针杆-滑阀

图1-6 液压元件分类

## 三、液压传动的优缺点

### (一) 优点

1. 动作迅速、换向快(时间常数很小)。据统计,液压传动与伺服装置的时间常数( $T_s$ )与电力拖动装置的时间常数( $T_e$ )如下:

$$T_s \mid 0.1 \sim 10^{-3} \text{s}$$

$$T_s \mid 0.5 \sim 10^{-2} \text{s}$$

2. 重量轻、尺寸小。据统计，同等功率的液压泵和液压马达的重量，通常只有电机的1/2~1/5（见表1-1）。

表1-1 液压马达与电动机性能比较

项 目	电 动 机		液 压 马 达
	直 流	交 流 异 步	叶 片 式
功 率 (kW)	2.5	2.8	2.5
转 矩 (N·m)	25	28	20
重 量 (N)	100	70	20
惯 性 矩 (kg·m)	0.073	0.0435	0.000204
最大尺寸 (mm)	583	441	190

3. 运动平稳、不易受外界负载的影响，即机械特性很好。如图1-7所示为液压马达（液动机）和电动机的平稳性特性曲线。由特性曲线可知，在低速时，液压马达的转速平稳性超过电动机许多倍。

4. 调速范围（最大速度与最小速度之比）甚大，达400以上，且可无级调速。

5. 功率放大系数很大，其值可达 $10^6$ 。

6. 效率高，容积调速系统可达0.7~0.8。

### （二）缺 点

1. 液压元件结构复杂、工艺要求高、制造成本高。

2. 液压信号（压力波）传递速度比电信号慢得多。液压信号传递速度大约1100m/s，而电信号为300000km/s，故在信号系统中采用液压信号传递就不适宜。

3. 能量传递的方法很不方便，管路连接麻烦。

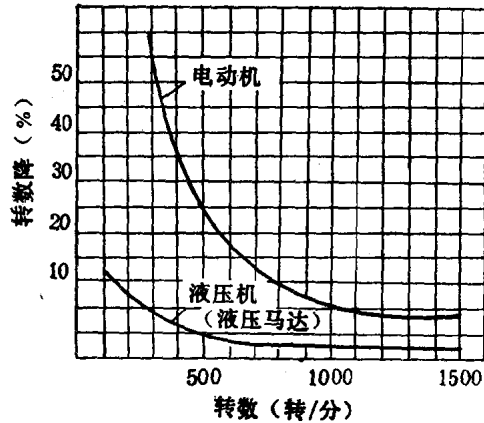


图1-7 平稳特性曲线

## 第二节 工 作 液

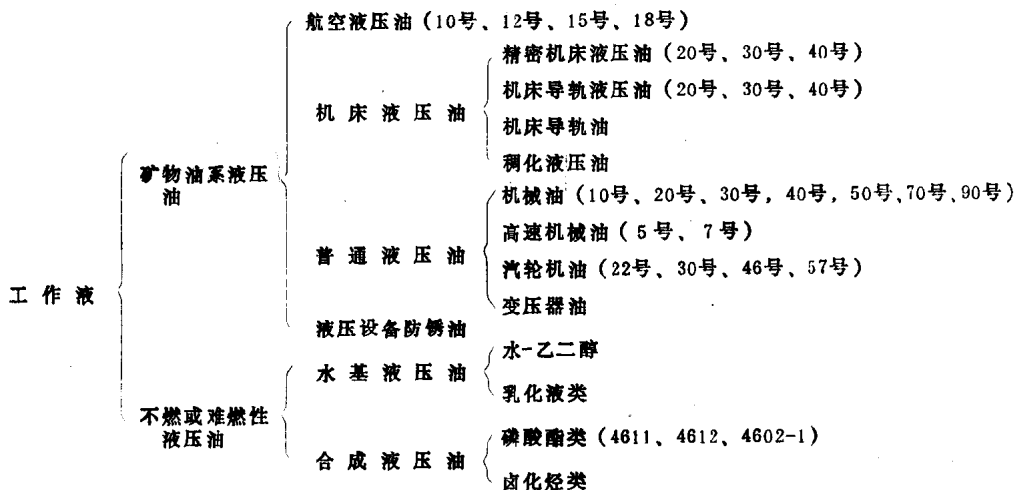
### 一、工作液的分类

液压传动与伺服控制系统中所用的传动介质称为工作液，又称液压油。目前航空和地面各种设备的液压系统中，采用的工作液分两大类：一类为矿物油系，一类为不燃或难燃性油系。矿物油系工作液的主要成分是石油，加入各种添加剂（抗氧化、耐高温等）精制而成。矿物油系工作液的润滑性好、腐蚀性小、化学安全性较好，故被大多数机器液压系统所采

用。尤其是特制航空液压油，能耐高温、抗低温和防火，但价格较贵。在航空喷气发动机的燃油调节系统中，则直接利用发动机本身的燃油（煤油）作为工作液，其工作性能较差，却很方便。

不燃或难燃性液压油系中分水基液压油和合成液压油两种。水基液压油的主要成分是水，加入某些防锈、润滑等添加剂。水基工作液价格便宜、不怕火，其缺点是润滑性差、腐蚀性大及适用温度范围小，故只在液压机（水压机）上使用。合成液压油是由多种磷酸脂和添加剂用化学方法合成，国内已研制成功4611、4602-1等多个品种，其润滑性较好、凝固点低、防火性能好，目前广泛应用于民航机上，但对人体皮肤有刺激性。

工作液按成分和用途分类如下：



由于飞机向高速、大功率发展，使工作液的工作温度大大增高了。例如，在亚音速飞机上，工作温度一般为 $-55\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，在 $M$ 数是 $2\sim 3$ 的飞机上为 $-55\sim 330^{\circ}\text{C}$ ；在高超音速飞机上，工作温度竟达 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。由于工作温度对液压油的性能影响极大，因此国内外液压油的各类型都标明适用的温度范围，并对液压油按工作温度进行分类。苏联将液压油分为四种类型；美国空军将液压油分成六种类型（现行军用标准三种）；我国也进行了类似的分类（暂未公布）。表1-2和表1-3为苏美的分类法。

表1-2 苏联航空液压油的分类

型 别	工作温度范围 ( $^{\circ}\text{C}$ )
I 型	$-60\sim 200$
II 型	$-60\sim 250$
III 型	$-60\sim 300$
IV 型	$-60\sim 400$

表1-3 美国空军规定的液压油类型

型 别	工作温度范围 ( $^{\circ}\text{C}$ )
I 型	$-54\sim 70$
II 型	$-54\sim 135$
III 型	$-54\sim 232$
IV 型	$-54\sim 290$
V 型	$-54\sim 370$
VI 型	$-7\sim 540$

## 二、工作液的理化特性

### (一) 重度和密度

液体单位体积的重量称为重度，用符号 $\gamma$ 表示，单位为 $\text{N}/\text{m}^3$ ；单位容积的质量称为密度，用符号 $\rho$ 表示，单位为 $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

重度与密度的关系式为

$$\gamma = \rho g \quad (1-1)$$

式中 $g$ 为重力加速度,  $g = 9.81\text{m/s}^2$ 。

表1-4列举了几种液体的密度。

表1-4 几种液体的密度

流 体 名 称	密 度 (kg/m <sup>3</sup> )	t/°C
蒸馏水	1000	4
航空汽油	730~750	15
普通矿物油	850~950	15
航空液压油	800~900	20
航空煤油	800~850	15
润滑油	895	20
空 气	1.188	15

## (二) 粘 度

常用的机械油如20号、30号、40号或10号航空液压油等, 这个号数表示该工作液在50℃时的运动粘度(近似值)。号数越大, 油愈粘。液压传动与控制用工作液, 粘度是一个很重要的指标, 通常把50℃时粘度称为名义粘度。

根据测量粘度的仪器不同及各国的习惯, 粘度的量度分为:

粘 度	绝对粘度	动力粘度 ( $\mu$ ) —— 苏联用
		运动粘度 ( $\nu$ ) —— 中、苏、英、美、日用
	相对粘度 (恩氏粘度, 条件粘度) ( $^{\circ}\text{E}$ ) —— 中、欧用	国际赛氏秒 (SSU; SUS) —— 美国用
		商用雷氏秒 ( $^{\circ}\text{R}$ ; RSS; Redl) —— 英国用
	巴氏度 (巴洛别度) ( $^{\circ}\text{B}$ ) —— 法国用	
	其它	

我们主要采用运动粘度和恩氏粘度单位, 各种粘度单位的换算公式如下:

运动粘度和恩氏粘度之间的换算公式为

$$\nu(\text{cSt}) = 7.31^{\circ}\text{E} - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}} \quad (1-2)$$

运动粘度与动力粘度之间的换算公式为

$$\mu = \nu\rho \quad (1-3)$$

式中  $\rho$  —— 工作液的密度;

$\mu$  —— 动力粘度。

运动粘度与国际赛氏秒(SSU)之间的换算关系如下:

$$\nu(\text{cSt}) = \text{SSU} \times 0.226 - \frac{195}{\text{SSU}} \quad (100\text{SSU以下}) \quad (1-4)$$

$$\nu(\text{cSt}) = \text{SSU} \times 0.220 - \frac{135}{\text{SSU}} \quad (100\text{SSU以下}) \quad (1-5)$$

运动粘度与商用雷氏秒(RSS)之间的换算公式为

$$\nu(\text{cSt}) = \text{RSS} \times 0.26 - \frac{179}{\text{RSS}} \quad (34 \sim 100\text{RSS}) \quad (1-6)$$

$$\nu(\text{cSt}) = \text{RSS} \times 0.247 - \frac{50}{\text{RSS}} \quad (100\text{RSS以上}) \quad (1-7)$$

粘度随温度有很大变化,当温度升高时,粘度显著下降,如图1-8所示。

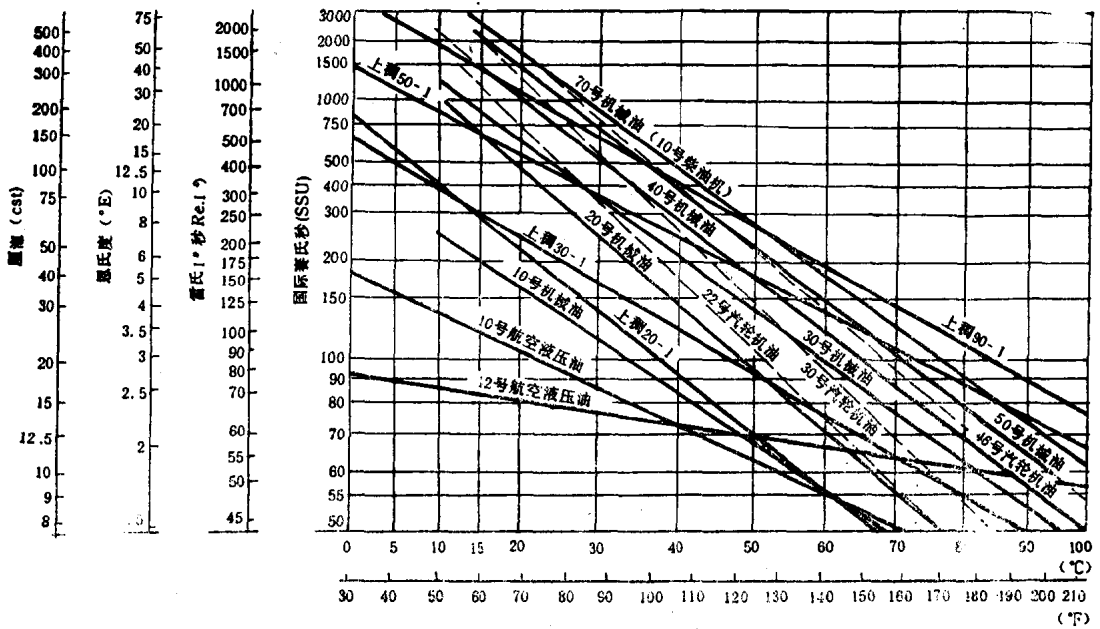


图1-8 常用几种国产油的粘温特性

工作液的粘度随压力亦有变化,压力增加时粘度增大。当压力不太高时,例如在30 MPa以下时,粘度的变化不太大,并与压力的变化差不多成线性关系。当压力很高时,粘度将急剧增大,例如压力从零升高到150 MPa时,矿物油的粘度将增大17倍。

粘度随压力的变化可用下式表示:

$$\nu_p = \nu_0 e^{bp} \quad (1-8)$$

式中  $\nu_p$ ——压力为  $p$  时的运动粘度;

$\nu_0$ ——在一个大气压下的运动粘度;

$b$ ——系数,常用工作液取  $b = 0.002 \sim 0.003$ ;

$p$ ——液体压力。

在实际应用时,当液压传动采用矿物油,压力在  $0 \sim 50$  MPa 时,可用下式计算:

$$\nu_p = \nu_0 (1 + 0.003p) \quad (1-9)$$

### (三) 压缩性和弹性

在工程计算中,液体的压缩性是忽略不计的。但如果液体中溶有大量空气时,  $E_v$  (液体体

积弹性系数) 值将大大下降, 那就需要考虑了, 在计算中取  $E_s = (1.4 \sim 1.9) \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 。

#### (四) 溶解空气的特性

目前液压系统中常用的工作液, 都具有溶解空气和其它气体的能力, 这个问题往往被人们所忽视了。研究表明, 在常温常压下, 矿物油中溶有气体占本身容积的 8~10%, 而水中溶有气体通常只占容积的 1%。表 1-5 为几种液体对空气的溶解度 (溶解空气的容积与工作容积之比)。由该表可知, 重度小的液体对空气的溶解度大。

当液体表面的气体压力增高时, 其溶解度将增加, 一般按下式计算:

$$V_g = 0.109 V_l p \quad (1-10)$$

式中  $V_g$ ——溶于液体中的气体容积 (折合为一个大气压、摄氏零度时的容积), ( $\text{cm}^3$ );

$V_l$ ——液体容积, ( $\text{cm}^3$ );

$p$ ——液体表面上的气体绝对压力, (0.1 MPa)。

表 1-5 几种液体对空气的溶解度

序号	名称	溶解度 (压力为 0.1 MPa 和温度为 20°C 下)	密度 ( $\text{g/cm}^3$ ; 20°C)
1	煤油	0.127	0.813
2	ГМЛІ-2	0.1038	0.834
3	机器油	0.0959	0.854
4	凡士林油	0.0877	0.872
5	变压器油	0.0828	0.884
6	2号锭子油	0.0759	0.901
7	甘油酒精	0.0329	1.009
8	水	0.016	1.000

当压力降低或温度升高时, 溶解于液体中的气体将分解出来, 见图 1-9。分解出来的气体仍留在液体中, 结成许多小气泡, 形成工作液和空气的混合物。液体中溶解气体, 压力降低时气体又从液体中分解出来成为气泡藏在液体内部的这种性质, 严重影响液压系统的正常工作, 使液压泵效率下降, 甚至引起整个系统发生噪音和振动, 这就是气穴现象。

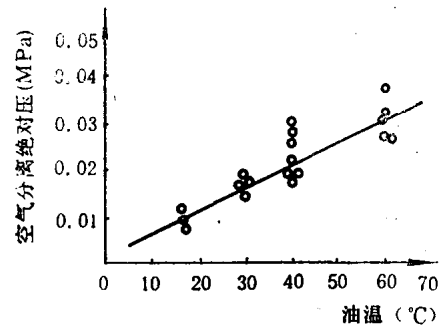


图 1-9 液压油的空气分离压

#### (五) 化学安定性

工作液既是传递能量的介质, 又是液压元件运动部分的润滑剂。所以, 要求工作液能在运动零件的表面上形成一定强度和一定厚度的油膜, 要求工作液具有一定的化学安定性。

然而, 并不理想的是: 液体在高压下工作, 特别是在高压下通过小孔节流, 往往会丧失其原来的粘性和润滑性, 亦即工作液发生老化; 液体与空气接触会发生氧化; 溶有空气和水份的液体容易发生乳化或起泡现象。

实践证明, 工作液 (特别是有添加剂的合成液, 液体本身氧化能力增强) 每当温度增高  $10^\circ\text{C}$  时, 工作液氧化程度增强一倍。所以, 应力求避免或防止工作液温度的升高, 亦即应消除或减小工作液内气泡的压缩、液压元件运动表面的摩擦、液体节流等形成的热源。



计算表明,若将空气进行绝热压缩,由0.1MPa提高到7MPa,则其温度将由0℃增高到700℃。

除温度增高使工作液增强氧化以外,工作液中的机械杂质、金属粉末以及锈皮等都是使工作液氧化的催化剂。此外,工作液中的脏物除增加液体本身的氧化外,它们还容易促使工作液乳化。

因此,将工作液精细地过滤,避免脏物和水份混入其内,保持工作液原有粘性和润滑性,就能少出故障,并能延长液压元件的使用期。

### (六) 热力特性

工作液有两个主要热力特性——比热和导热性。在设计液压能源时是很重要的特性参数。

所谓比热,就是单位重量的液体在温度升高1℃时所吸收的热量,用符号C表示。应注意区分定压比热和定容比热这两个量。

定压比热的定义为

$$C_p = \left. \frac{\partial Q}{\partial T} \right|_p \quad (1-11)$$

定容比热的定义为

$$C_v = \left. \frac{\partial Q}{\partial T} \right|_v \quad (1-12)$$

式中  $C_p$ ——定压比热;

$C_v$ ——定容比热;

Q——工作液每单位重量的加热量;

T——温度;

p——压力;

V——容积。

对于液体来说,随温度升高的膨胀很小。因此, $C_p$ 和 $C_v$ 值几乎相同,工程上取 $C_p$ 作为工作液的比热,“注脚”也忽略不写了。矿物油的比热采用下面的数值。即

$$C = 0.4 \sim 0.5 (\text{kcal/kg} \cdot \text{℃}) \quad (1-13)$$

工作液的导热性用导热系数 $\lambda$ 表示,其含意是当温度每升高1℃时,每单位长度上、每小时传导热量的大小,用公式表示为

$$\lambda = \frac{QL}{F(T_2 - T_1)t} \quad (1-14)$$

式中  $\lambda$ ——导热系数;

Q——热量;

L——热流垂直方向的导热距离;

F——传热面积;

$(T_2 - T_1)$ ——温度差,即温升;

t——时间。

矿物油的导热系数一般取下列数值。即

$$\lambda = 0.1 \sim 0.13 (\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{℃}) \quad (1-15)$$