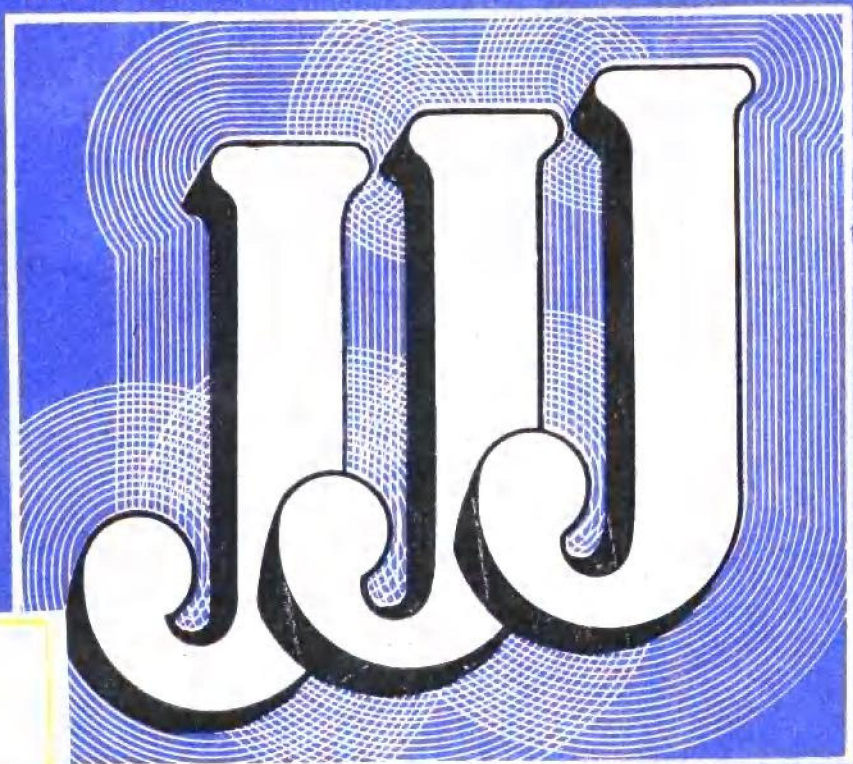


国家机械工业委员会统编

液压传动

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书共八章，第一章介绍液压传动的工作原理、系统的组成、特点和液压传动的基础知识以及液压油的物理性质与选用；二至五章分别介绍常用液压元件的工作原理、结构、应用；第六章介绍基本液压回路；第七章介绍液压系统实例以及液压系统常见故障分析和排除；第八章介绍液压随动系统基础知识。

本书由上海机床厂邓绍规编写；上海机床厂林明炯、上海机电工业学校宋秋云审稿。

液 压 传 动

国家机械工业委员会统编

责任编辑：朱 华 责任校对：宁秀娥
封面设计：林胜利 方芬 版式设计：乔 玲

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）
（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 787×1092¹/₃₂·印张4³/₈·字数 94 千字
1988年9月北京第一版·1988年9月北京第一次印刷
印数 00,001—28,400·定价：1.50元

ISBN 7-111-00860-X/TH·150

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材148种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂，长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会

技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 液压传动的工作原理	1
第二节 液压系统的组成	2
第三节 液压传动的优缺点及其应用	3
第四节 液压传动基础知识	5
第五节 液压油的物理性质与选用	9
复习题	12
第二章 液压泵	13
第一节 齿轮泵	13
第二节 叶片泵	18
第三节 柱塞泵	24
复习题	28
第三章 液压缸和液压马达	29
第一节 典型结构	29
第二节 液压缸的缓冲装置	36
第三节 液压缸的排气装置	38
第四节 轴向柱塞液压马达	38
复习题	40
第四章 液压控制阀	41
第一节 压力控制阀	42
第二节 流量控制阀	55
第三节 方向控制阀	63
复习题	70

第五章 液压辅件	72
第一节 油箱	72
第二节 滤油器	74
第三节 空气滤清器	77
第四节 蓄能器	78
第五节 密封件	81
第六节 管件	83
复习题	85
第六章 基本液压回路	86
第一节 压力控制回路	86
第二节 速度控制回路	90
第三节 方向控制回路	97
第四节 同步回路	100
第五节 顺序动作回路	104
复习题	109
第七章 液压系统实例	111
第一节 M1432B万能外圆磨床液压系统	111
第二节 组合机床液压系统	118
第三节 剪板机液压系统	123
第四节 液压系统常见故障分析及排除	124
复习题	128
第八章 液压随动系统	129
第一节 液压随动系统的工作原理	129
第二节 液压随动系统的特点	131
第三节 液压随动系统的基本类型	131
第四节 液压随动系统的应用实例	133
复习题	134

第一章 概 述

第一节 液压传动的工作原理

液压传动是靠密封容器内的液体压力能，来进行能量转换、传递与控制的一种传动方式。

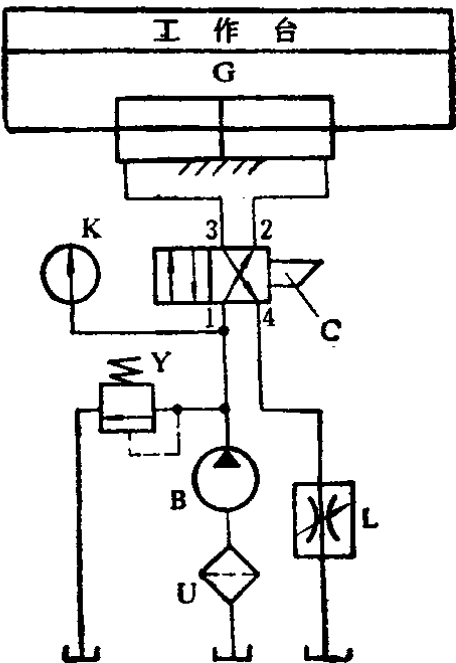


图1-1 机床工作台往复运动液压传动原理

图 1-1 是简化了的机床工作台的往复运动液压传动工作原理。当启动液压泵电机后，液压泵 B 工作，油箱中的油液经滤油器 U 进入液压泵。液压泵输出的压力油经管道至换向

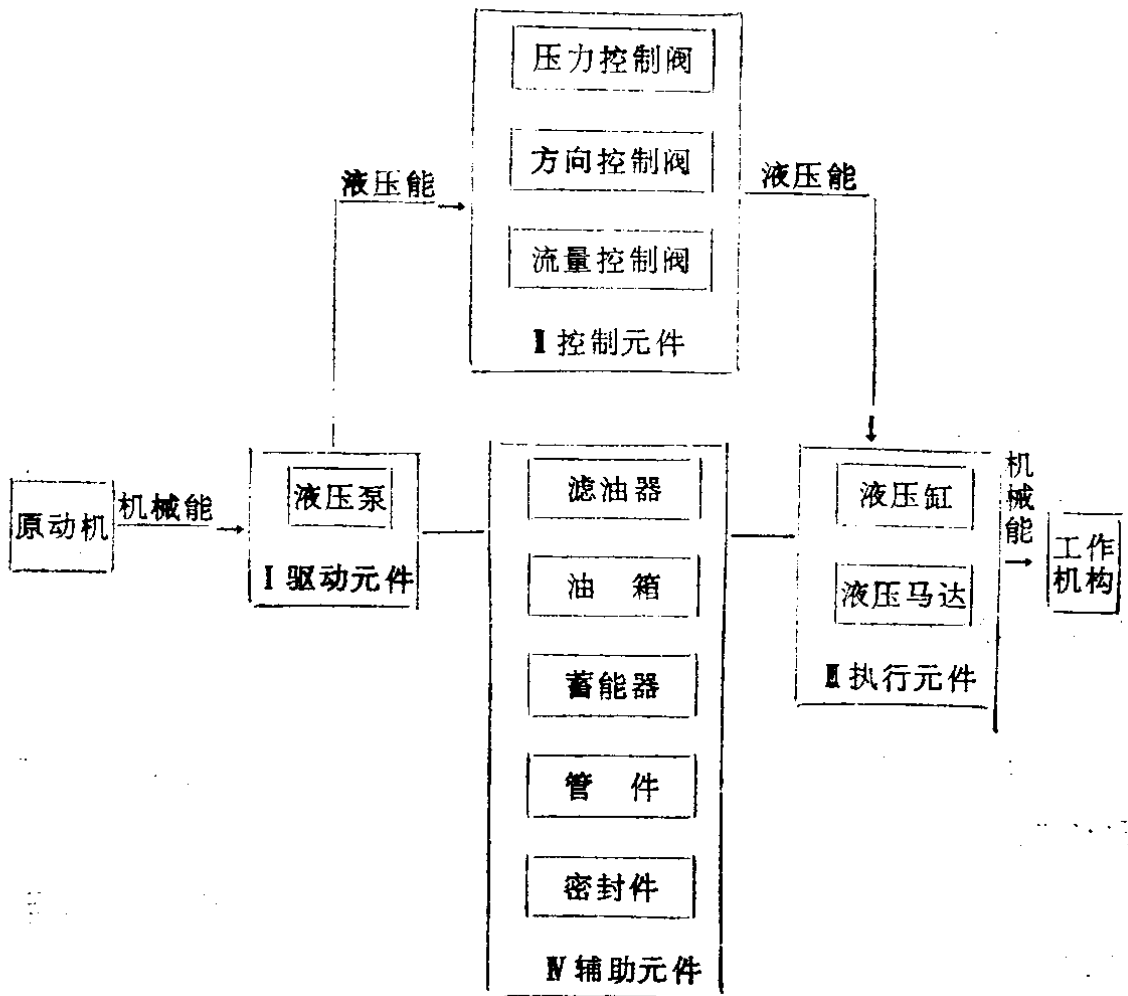
阀C，1与2通，再经管道至液压缸G的右腔。由于液压缸的缸体固定，于是压力油推动活塞连同与活塞杆固连的工作台向左运动。随后，液压缸G左腔的油液经3、换向阀C至4、节流阀L回油箱。当推动换向阀C的阀心右移时，就改变了油液的流动方向，即1与3通，2与4通，工作台向右运动。如此周而复始，即可实现工作台往复运动。

图1-1中节流阀L，用以调节工作台运动速度。L的节流开口通流面积大，工作台速度快；反之，节流开口通流面积小，工作台速度慢。液压泵输出的油液，在满足工作台的运动速度要求之后，多余的油液经溢流阀Y流回油箱。溢流阀Y用以调节液压系统的压力。因若要使工作台运动，必须克服背压力、切削力、摩擦力等阻力，而且这些阻力是变化的，所以，调节压力应根据最大阻力来调整。这样，当系统压力低于这一调节压力时，溢流阀Y关闭，当阻力大，系统压力升高到调节压力时，溢流阀打开。

上面所举的例子，虽与实际使用的不尽相同，但说明了液压传动的工作原理。即以具有一定压力能的油液作为工作介质，液压泵输出的压力油经液压控制阀，进入液压缸推动工作机构运动。工作机构运动速度的快慢，取决于在一定时间内进入液压缸内的油液容积的多少；液压缸推力的大小，取决于油液的压力高低和液压缸活塞有效工作面积的大小。

第二节 液压系统的组成

从图1-1看出，液压系统是由具有各种功能的液压元件有机地组合而成的。不论最简单的液压系统，还是很复杂的液压系统，都是由驱动元件、执行元件、控制元件和辅助元件四个部分组成。



第三节 液压传动的优缺点及其应用

液压传动之所以得到广泛地应用和不断发展，是由于液压传动与机械传动及电气传动相比具有许多优点：

- (1) 液压传动易获得很大的力或力矩，并易于控制。
- (2) 在输出同等功率下采用液压传动，体积小和重量轻，因此惯性小，动作灵敏，便于实现频繁的换向。
- (3) 液压传动可实现较宽的调速范围，而且较方便地实现无级调速。
- (4) 液压传动易于实现过载保护。
- (5) 液压传动因采用油液作为工作介质，它具有防锈

性和自润滑能力，故使用寿命长。

(6) 液压传动便于布局，操纵力较小。

(7) 液压传动易于实现系列化、标准化、通用化及自动化。

但液压传动由于本身的特性，也存在一些缺点：

(1) 液压传动因采用油液作为工作介质，由于渗漏和管件的弹性变形等原因，液压传动不宜用于传动比要求严格的场合。

(2) 液压传动如密封不严或零件磨损后产生渗漏，影响工作机构运动的平稳性和系统效率，而且污染环境。

(3) 液压系统混入空气后，产生爬行和噪声等。

(4) 油液污染后，机械杂质常会堵塞小孔、缝隙，影响动作的可靠性。

(5) 液压传动的能量损失较大，系统效率较低，而且均转化为热量，引起热变形。

(6) 液压传动发生故障后不易寻找，分析故障的原因需要有较丰富的经验。

液压传动由于具有许多独特的优点，所以应用领域日益广泛。以机床为例，从工作机构的往复运动、无级调速、进给运动、控制系统、静压支承以至各种辅助运动等都采用了液压传动，从而简化了结构，减轻了重量，降低了成本，改善了劳动条件，提高了工作效率和自动化程度。由于液压执行元件的推力（或扭矩）较大、操作方便、布置灵活、与电器配合易实现遥控等，因此在冶金设备、矿山机械、钻探机械、起重运输机械、建筑机械、塑料机械、农业机械、航空等工业部门被普遍采用。

第四节 液压传动基础知识

一、液体静力学

1. 液体的压力 压强（工厂中常称为压力）是液体在静止状态下单位面积上所受到的作用力。

$$p = \frac{F}{A}$$

式中 p ——压力 (N/m^2);

F ——作用力 (N);

A ——作用面积 (m^2)。

它和法定计量单位的换算关系为:

$$1 \text{ N}/\text{m}^2 = 1 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kgf}/\text{cm}^2 = 0.98 \times 10^5 \text{ Pa} = 0.098 \text{ MPa}$$

$$\approx 0.1 \text{ MPa}$$

在地球表面上，一切物体都受到大气压力的作用并自行平衡，因此，用普通压力表测量，其指针指示为零。所以，通常我们所讲的液压系统的压力，是指大于大气压力的表压力（或称相对压力、计算压力），液体所受到的，包括大气压力在内的压力称为绝对压力。若液体的压力（绝对压力）低于大气压力，则称为真空度。

表压力、绝对压力和真空度三者之间的关系见图1-2。

2. 静压力的传递——帕斯卡定律 加在密闭液体上的压力，能够大小不变地被液体向各个方向传递，这个规律叫帕斯卡定律。

图1-3所示为水压机的的工作原理。在两个相互连通的液压缸中装有油液，液压缸上部装有活塞，小活塞和大活塞的面积分别为 A_1 和 A_2 。如在小活塞上作用一外力 F_1 ，则由 F_1 所

形成的压力为 F_1/A_1 。根据帕斯卡定律，在大活塞的底面上也将作用有压力 F_1/A_1 。则作用于大活塞上的力 $F_2 = F_1 A_2/A_1$ 。设 $A_2/A_1 = n$ ，则大活塞输出的力为 nF_1 。两活塞的面积比 A_2/A_1 越大，大活塞输出的力越大。

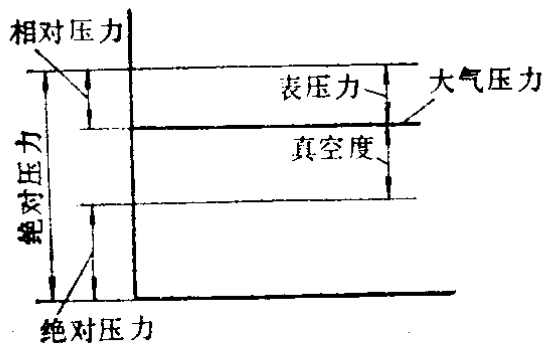


图1-2 绝对压力、表压力及真空度

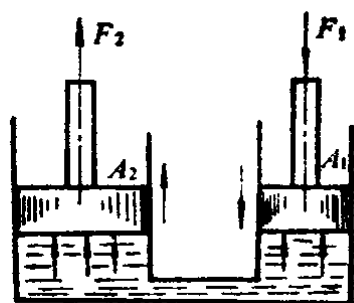


图1-3 水压机工作原理

二、液体动力学

1. 液流的连续性 液体的可压缩性很小，一般可忽略不计。因此，液体在管内作稳定流动（流体中任一点的压力、速度和密度都不随时间而变地流动），则在单位时间内管中每一个横截面的液体质量一定是相等的，这就是液流的连续性

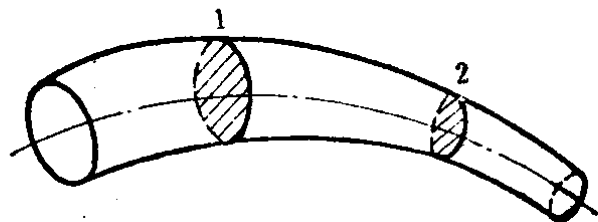


图1-4 液流的连续性简图

原理。如图1-4所示，液体在不等横截面的管中流动，设横截面1和2的直径各为 d_1 和 d_2 ，面积各为 A_1 和 A_2 ，平均流速分别为 v_1 和 v_2 ，两个横截面处液体的密度都为 ρ ，根据液流的连续性原理，流经横截面1和2的液体质量都相等。

$$\rho v_1 A_1 = \rho v_2 A_2 = \rho v A = \text{常量}$$

上式称为液流的连续性方程式，若除以液体的密度 ρ ，
则：

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = v A = \text{常量}$$

或

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

说明通过管内不同截面的液流速度与其横截面积的大小成反比，即管子细的地方流速大，管子粗的地方流速小。

流速 v 和横截面积 A 的乘积表示单位时间内流过管路的液体容积，即为流量，用 Q 表示。

即：
$$Q = v A \text{ (L/min)}$$

故液流连续性方程式也可写成：

$$Q_1 = Q_2 = \text{常量}$$

2. 伯努利定律

液压传动是借助于有压力的流动液体来传递能量的。液体能量的表现形式有三种，即压力能、势能和动能。它们之间可以互相转化，而且液体在管道内任一处的三种能量之和为常数，这就是伯努利定律。它的方程式为：

$$\frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

式中 p ——压力；

v ——流速；

h ——势能；

γ ——液体的重度 ($\gamma = \rho g$)。

从伯努利定律的方程式中看出，当管道水平放置或位置高低的影响都很小，在忽略不计的情况下，液体的流速越

高，压力就越低。如在一粗细不等的管道中，横截面小的部位液体的流速较高，液体的压力就较低；反之，横截面大的部位流速较低，而压力较高。

3. 液体流动中的压力损失 实际流体都是有粘性的，粘性液体流经管道及阀门时，就象电路中导线产生的电阻一样，具有一定的阻力（液阻）。液体流动时要消耗一部分能量来克服这些阻力，这种能量的消耗主要表现在液体的压力损失上。

液压系统中的压力损失可分两种：

（1）在直径相同的直管中流动时的压力损失，称为沿程损失。主要由液体流动时的摩擦所引起。

（2）由于管道截面形状的突然变化（如突然扩大、收缩、分流、集流等）和液流方向突然改变引起的压力损失，称为局部损失。

压力损失实际上就是能量的消耗并转化为热能，使油温升高，进而带来渗漏增多，传动效率降低，使液压系统的工作性能变坏。因此，应尽量采用光滑内壁的管道，尽可能缩短管路长度，减少截面突变及管道弯曲等。

三、功、功率

如图 1-1 所示，活塞在时间 t 内以力 F 推动负载移动距离 S ，所做的功 W 为：

$$W = F S$$

功率 N 是单位时间内所做的功

$$N = W/t = FS/t = Fv$$

因 $F = pA$ ， $v = Q/A$ ，所以 $N = pAQ/A = pQ$

经单位换算后得到：

$$N = \frac{pQ}{60} \text{ (kW)}$$

式中 p —— 压力 (MPa);

Q —— 流量 (L/min)。

由于液压系统在实际工作过程中存在容积损失 η_v 和机械损失 η_m , 所以, 液压泵实际需要输入的功率 N_λ 为:

$$N_\lambda = \frac{pQ}{60\eta} \text{ (kW)}$$

式中 $\eta = \eta_v \times \eta_m$;

η —— 泵的总效率。

第五节 液压油的物理性质与选用

液压油是液压系统的工作介质。即使设计先进、制造精度高的液压设备, 如果不了解液压油的性质及正确选用, 就不仅不能充分发挥液压设备的使用效率, 也会缩短其使用周期, 甚至会使液压设备损坏和造成严重事故。特别在液压技术不断发展、液压油的品种愈来愈多的情况下, 了解液压油的性质、正确地选用液压油显得更为重要。

一、液压油的物理性质

1. 密度和重度 单位体积的油所具有的质量称为密度, 用 ρ 表示; 单位体积的油所具有的重量称为重度, 用 γ 表示。密度与重度的关系则:

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

通常石油基液压油的密度一般取 $9 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ 。

2. 粘度 液体在外力作用下流动时, 液体内部各流层之间产生内剪切摩擦阻力, 称为液体的粘性。表示粘性大小

程度的物理量，称为粘度。

(1) 动力粘度 (绝对粘度)

动力粘度表示面积各为 1 m^2 ，相距 1 m 的两层液体，当其中一液体层对另一液体层以 1 m/s 的速度，作相对运动时所产生的剪切摩擦阻力，用 μ 表示，单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s} (\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2)$ 。

(2) 运动粘度

运动粘度是动力粘度与该液体在同一温度下密度的比值，用 ν 表示。即 $\nu = \mu / \rho$ ，单位为 m^2/s 。

(3) 条件粘度 (相对粘度)

1) 恩氏粘度——将 200mL 的试油，在规定温度下，流经恩氏粘度计的时间与 20°C 时 200mL 蒸馏水流经时间之比值，用符号 $^\circ\text{E}$ 表示。在液压传动中，一般以 40°C 作为测量时的标准温度，用 $^\circ\text{E}_{40}$ 表示。

2) 雷氏粘度——温度一定， 50mL 被试液体流过雷伍德粘度计所需的时间。

3) 赛氏粘度—— 60mL 被试液体，温度一定，流经孔径为 0.176cm (长 1.225cm) 的赛氏粘度计所需的时间。

3. 温度对粘度的影响 所有液体的粘度都随温度变化而变化。当温度升高时，油的粘度降低。工业上常采用粘度指数来评价油的粘度受温度影响的大小。粘度指数越高，表示粘度随温度的变化越小。

4. 压力对粘度的影响 油的粘度随着压力的增加而加大。设大气压力下的粘度为 ν ，任意压力下的粘度 ν_p 为：

$$\nu_p = \nu e^{b p}$$

式中 e ——自然对数的底；

b ——与油液有关的常数。

5. 压缩性 一般情况下油的可压缩性可以不计，但在

精确计算时尤其在考虑系统的动态过程时，油的可压缩性是一个很重要的因素。液压传动用油的可压缩性约比钢的可压缩性大100~140倍。当油中混有空气时，可压缩性将显著增加，常常使液压系统产生噪声，降低系统的传动刚性和工作可靠性。

二、液压油的选用

在选用液压油时，应首先考虑液压系统的工作条件、周围环境，同时还应按照泵、阀等元件产品样本所规定许可采用的液压用油。

(1) 液压系统的工作条件：如工作压力高，宜选用粘度较高的油液，因高压的液压系统泄漏较突出；工作压力较低时，宜选用粘度较低油液。

(2) 液压系统的环境条件：如液压系统油温高或环境温度高，宜用粘度较高的油液，反之，宜用粘度较低油液。

(3) 液压系统中工作机构的速度(转速)：当液压系统中工作机构的速度(转速)高时，油流速度高，压力损失亦大，系统效率低，还可能导致进油不畅，甚至卡住零件。因此，宜用粘度较低油液，反之，宜用粘度较高的油液。

在选用液压油时，有时还要考虑到一些特殊因素，如高速、高压液压系统中的元件，要求所用的油液具有较高的抗磨性或油膜强度以防止急剧的磨损。这时可选用抗磨液压油。对于环境温度在 -15°C 以下的高压、高速液压系统，为保证在低温下有良好的启动性，可选用低凝液压油。在精密机床主轴滑动轴承中，要求其润滑油具有较好的抗氧化、抗磨损、防锈蚀性能，以便能有效地降低主轴温升，延长主轴的寿命，宜选用精密机床主轴油。