

中等专业学校试用教材

流体传动与控制

田恩远 主编



武汉工业大学出版社

中等专业学校试用教材

流体传动与控制

主编 田恩远

工科参阅室

江苏工业学院图书馆
藏书章

湖北工业大学图书馆

075021 湖北工业大学图书馆

湖北工业大学图书馆

075021 湖北工业大学图书馆

075021 湖北工业大学图书馆

075021 湖北工业大学图书馆

075021 湖北工业大学图书馆

武汉工业大学出版社

内 容 简 介

本书介绍液压、液力和气动的基本概念、常用元件、系统和应用。

全书分为两篇，共十六章。第一篇为液体传动，其中第一章到第十章介绍了液压传动的理论基础，常用液压元件，基本回路和典型系统及液压伺服控制的基本概念；第十一章为液力传动，概括地介绍了液力耦合器和液力变矩器。第二篇为气压传动，简要介绍一般气动的知识，气动元件的工作原理、使用特点；气动逻辑元件、气动逻辑控制及气动回路等。

本书可作为中等专业学校机械类专业的教材，也可供有关工程技术人员参考。

田恩远 主编

责任编辑 韩瑞根 段 超

中等专业学校试用教材

流体传动与控制

田恩远 主编

武汉工业大学出版社出版

(武昌珞狮路 14 号, 邮政编码: 430070)

新华书店湖北发行所发行 武汉工业大学出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 19 字数: 425 千

印数: 2501—5500

1990年8月第1版 1991年5月第2次印刷

ISBN 7—5629—0377—8/TH·0011

定价: 3.40 元

前 言

本教材包括液压、液力及气动三部分，三者都是研究以流体（液体和气体）为工作介质，实现传动与控制的。全书分两篇，共十六章。第一篇液体传动，包括流体力学基本知识，常用液压元件的工作原理、典型结构、性能分析及选用，液压基本回路及典型液压系统实例，液压系统的设计计算及使用维护、故障分析等。液力传动则简要介绍液力偶合器和液力变矩器的工作原理、类型和特性，以及液力元件与动力机的匹配问题。第二篇气压传动，包括气动控制阀、执行元件、气源系统、辅件、气动逻辑元件及气动逻辑控制等方面的基本内容。全书以液压传动为主，气动部分侧重介绍与液压不相同的有关问题。液力传动则介绍有关的基本知识，起到普及作用。

在内容取材和安排上，力求理论与实际结合，学以致用，贯彻少而精的原则，不求深求全，对重点和难点内容阐述详细些；叙述尽量通俗易懂，图文并茂，便于自学和理解。

参加本书编写的有：山东省建材工业学校鲁仲沛，广州市建材中等专业学校朱济涛，北京市建材工业学校田恩远，全书由田恩远主编。

本教材由武汉工业大学张运祺副教授主审。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免存在缺点和错误，诚望读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 液体传动

概述	(1)
第一章 液压传动的基础知识	(6)
§ 1-1 液压传动的工作介质	(6)
§ 1-2 液体静力学基础	(11)
§ 1-3 液体动力学基础	(15)
§ 1-4 液体流动中的压力损失	(19)
§ 1-5 液流流经小孔和缝隙的流量计算	(21)
§ 1-6 液压冲击与气穴现象	(24)
第二章 液压泵和液压马达	(25)
§ 2-1 概述	(25)
§ 2-2 几种液压泵的工作原理与结构	(30)
§ 2-3 常用液压泵的性能比较与选型	(41)
§ 2-4 液压马达	(41)
第三章 液压缸	(46)
§ 3-1 液压缸的类型及其特点	(46)
§ 3-2 液压缸的结构	(53)
§ 3-3 液压缸的设计计算	(61)
第四章 液压控制阀	(66)
§ 4-1 方向控制阀	(68)
§ 4-2 压力控制阀	(79)
§ 4-3 流量控制阀	(90)
§ 4-4 比例阀和插装阀简介	(95)
第五章 辅助装置	(102)
§ 5-1 滤油器	(102)
§ 5-2 蓄能器	(105)
§ 5-3 油箱	(109)
§ 5-4 其它辅件	(112)
第六章 液压基本回路	(115)
§ 6-1 压力控制回路	(115)

§ 6-2	速度控制回路	(124)
§ 6-3	多缸动作回路	(135)
§ 6-4	其它基本回路	(139)
第七章	典型液压系统	(143)
§ 7-1	组合机床液压系统	(143)
§ 7-2	液压机的液压系统	(145)
§ 7-3	汽车起重机液压系统	(149)
§ 7-4	石料磨光机的液压系统	(152)
§ 7-5	注塑成型机液压系统	(156)
第八章	液压系统的设计计算	(162)
§ 8-1	液压系统的设计内容和步骤	(162)
§ 8-2	明确设计依据, 进行工况分析	(162)
§ 8-3	拟定液压系统原理图	(167)
§ 8-4	液压元件的计算和选择	(169)
§ 8-5	液压系统的验算	(170)
§ 8-6	绘制工作图, 编写技术文件	(172)
§ 8-7	液压系统设计计算举例	(173)
第九章	液压伺服系统概述	(179)
§ 9-1	液压伺服系统的工作原理与类型	(179)
§ 9-2	液压伺服系统的应用举例	(184)
第十章	液压系统的使用维护、故障分析及排除	(187)
§ 10-1	液压系统的安装与调试	(187)
§ 10-2	液压系统的使用与维护保养	(189)
§ 10-3	液压系统常见故障及排除	(190)
第十一章	液力传动	(196)
§ 11-1	概述	(196)
§ 11-2	液力耦合器	(200)
§ 11-3	液力变矩器	(206)
第二篇 气压传动		
概述		(212)
第十二章	气源系统及气动辅件	(214)
§ 12-1	气源系统概述	(214)
§ 12-2	气源净化装置	(215)
§ 12-3	其它辅助装置	(218)
§ 12-4	管网布置及用气量计算	(222)

第十三章 气动执行元件	(226)
§13-1 气缸的工作原理及类型	(226)
§13-2 气缸的选择及使用	(231)
§13-3 气动马达	(234)
第十四章 气动控制阀	(236)
§14-1 压力控制阀	(236)
§14-2 流量控制阀	(242)
§14-3 方向控制阀	(243)
§14-4 控制阀的选择与使用维护	(250)
第十五章 气动逻辑元件及逻辑控制回路	(252)
§15-1 基本逻辑单元	(253)
§15-2 气动逻辑元件	(256)
§15-3 逻辑控制回路简介	(263)
第十六章 气动基本回路及气动系统实例	(275)
§16-1 气动基本回路	(275)
§16-2 气动系统实例	(282)
附录	(287)
附录一 常用液压及气动图形符号	(287)
附录二 本书常用计量单位及其换算	(294)

第一篇 液体传动

概 述

任何一台完整的机器都是由动力机、传动装置和工作机构三部分组成的。动力机是机器的动力源；工作机构是完成该机器工作任务的部分；传动装置在机器中除了把动力机提供的能量传送到工作机构上去以外，还起着连接、变速、换向、改变运动形式、启动、停车、安全保护等作用，在很大程度上它决定机器性能的优劣。

传动装置的形式很多，目前广泛应用的主要有机械传动、电力传动、气体传动和液体传动等四种形式，以及这几种传动形式的联合使用。

所谓液体传动，就是用液体作为介质传递或控制动力的装置。按照工作原理的不同，液体传动又分为液力传动和液压传动。前者是利用运动液体具有的动能进行动力的传递与控制；后者则利用密闭容器内有压液体具有的静压能进行动力的传递与控制。液力传动的应用不如液压传动广泛，本书只作简要介绍，着重介绍液压传动。

早在17世纪，帕斯卡就提出了用液体的静压力来传递动力的原理。这一原理在18世纪末第一次实际应用于水压机，那时还是用水作为传递动力的介质，到20世纪初采用油液作为工作介质以后，液压技术才有了初步发展。直到第二次世界大战以后，随着各种液压元件的迅速发展和元件性能日趋完善，液压传动才开始得到广泛的应用。但作为液压行业的出现却只有近二三十年的历史。70年代的液压行业已成为机械工业的重要组成部分，并广泛应用于各个工业领域中。当前世界各国都在大力研究和开发液压技术，随着现代技术的不断发展，对液压元件的结构和性能提出了更高的要求。各国提高液压元件质量的着重点是高压、大流量、微型化、集成化、低噪声和长寿命。

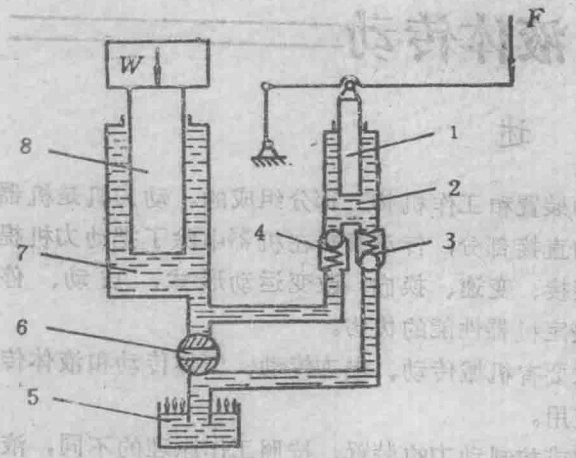
我国的液压工业是解放后才发展起来的，目前已经初步建立起一个较完整的液压工业体系，并已制定出我国自己的液压标准。在建材工业领域中应用液压技术也日益增多，如水泥回转窑、机械立窑、破碎机、矿山机械、玻璃加工机械、压制成型机械、石材加工机械，以及各种自动生产线上都有应用。今后，随着机械化自动化水平的提高，液压技术必将得到更加普遍的应用和推广，液压技术知识已成为机械工程技术人员必须掌握的基本知识之一。

一、液压传动的工作原理

液压传动是用液体作为工作介质，通过动力元件将原动机的机械能转换为液体的压力能，然后通过管道、控制元件，借助执行元件将液体的压力能转换为机械能，驱动负载实现预定的动作。下面以液压千斤顶为例来说明其工作原理。

图 I-1 是液压千斤顶的工作原理图。图中大、小两个液压缸相互连通着，里面充满油液。由流体力学得知，液体具有两个重要的特性：液体几乎不可压缩；密闭容积中静止液体

的压力以同样大小向各个方向传递。工作时当向上扳动手柄时，小柱塞 1 向上移动，使小液压缸的工作容积增大形成真空，油箱 5 里的油液便在大气压作用下，经吸油管及单向阀 3 进入小液压缸 2 中。



当用力压下手柄使小柱塞 1 向下移动，迫使液压缸 2 下腔的工作容积减小，油液压力升高，压力油通过单向阀 4 流入大液压缸 7 内，推动柱塞 8 将重物 W 顶起。管道中单向阀 4 阻止油液从液压缸 7 倒流回液压缸 2，这就保证了重物不致因自重落下。反复扳动手柄，油液就不断地输入大液压缸 7 的下腔，推动柱塞 8 上升，从而达到起重目的。若将阀门 6 旋转 90° ，在重物 W 的重力作用下，液压缸 7 内的油液排回油箱。从能量转换角度来看，小液压缸是把小柱塞作用的机械能转变成液体的压力能；

大液压缸则把液压能又重新转换成提升重物的机械能。在液压传动中，凡是将机械能转变成液压能的装置都通称为液压泵，而把液压能转换成机械能的装置称为执行元件。

为进一步了解液压传动工作原理，下面分析磨床工作台液压系统的工作情况（见图 I-2）。电动机带动液压泵 3 从油箱 1 内吸油，并将有压力的油液输送到管路中去，从液压泵输出的压力油就是推动工作台动作的动力源。压力油首先经过节油阀 4，再经过换向阀 6，进入液压缸 8。当换向阀处于图 I-2 (a) 所示位置时，压力油经阀芯左边的环槽再经管路 11 进入液压缸 8 的左腔。液压缸 8 是固定在床身上不动的，因此在压力油的推动下，活塞

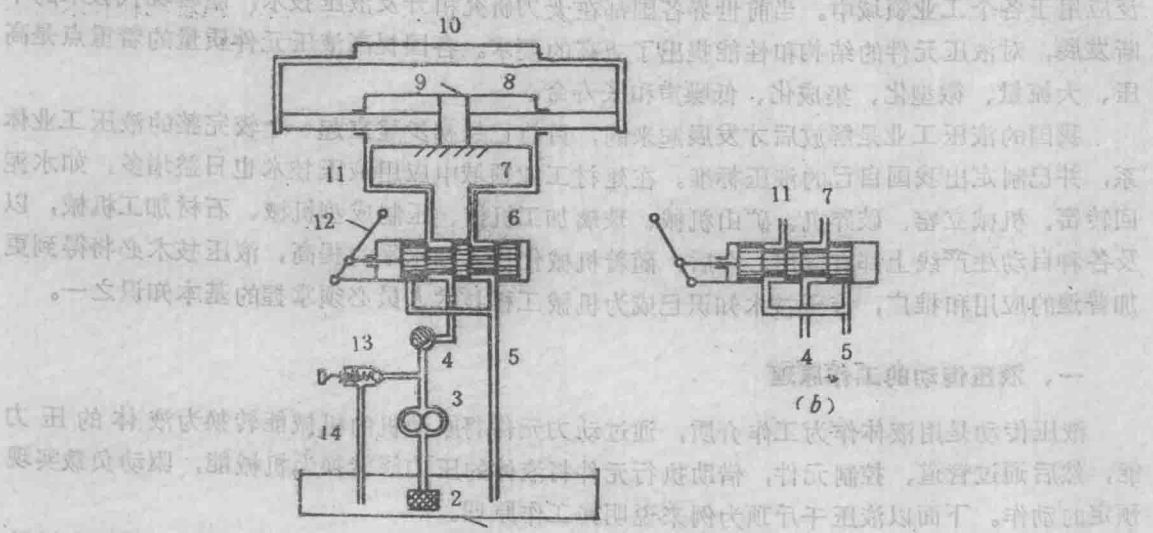


图 I-2 磨床工作台液压系统原理简图

9 带动工作台 10 向右运动（工作台和活塞杆固定在一起）。与此同时，液压缸右腔的油液被排出，经油管 7、换向阀右边的环槽和油管 5 流回油箱。

磨床在磨削工件时，根据加工要求的不同，工作台的运动速度应可以调整；同时为了连续进行磨削，工作台要作往复运动，也就是移动到一定位置后需要换向。图中的节流阀 4 和换向阀 6 就是为了满足这些要求而设置的：节流阀的作用与自来水龙头相似，改变节流阀开口量的大小，就能调节通过节流阀的油液流量，因而控制了工作台的运动速度；换向阀 6 是控制工作台运动方向用的，在图 I-2 (a) 所示的换向阀的位置，工作台是向右移动的，如果扳动手柄 12 使换向阀的阀芯移到左端位置，如图 I-2 (b) 所示，压力油就通过阀芯右边的环槽经油管 7 进入液压缸的右腔，使工作台向左移动，从液压缸左腔排出的油液就经换向阀流回油箱。

磨床工作台在运动时受有磨削力及相对运动件表面之间的摩擦力等，这些阻力是由液压泵输出的压力油来克服的。根据工作情况的不同，泵输出油液的压力应当能够调整，这个功能是由溢流阀 13 来实现的；从泵 3 输出的压力油一部分经节流阀进入液压缸，还有一部分是经过溢流阀并经油管 14 流回油箱。作用于溢流阀芯上的油液作用力达到能克服阀芯上弹簧力时，将阀芯顶开溢流，同时也就限制了油压的继续升高，因此调节阀中弹簧的压紧力，就可控制油路中的最高压力。

图中的 2 为滤油器，用以滤除油液中的污物杂质，保证油液的清洁，使系统正常工作。

通过上述简单的例子，可以看出该系统是利用运动着的液体压力能来传递动力和运动的传动装置，故称液压传动系统。

二、液压系统的组成

液压传动中把由若干液压元件与管路组合起来，能完成一定动作的整体，称为液压系统。

与液压千斤顶相比，磨床是一个更有代表性的系统，它所用的元件数量、种类较多，通过以上介绍，可看出，液压传动系统主要由以下几部分组成的：

1. 动力元件 它是将机械能转换成油液压力能的装置，一般常见的就是液压泵，它给液压系统提供压力油，是整个系统的能源。

2. 执行元件 是将油液的压力能转换成机械能的装置，带动工作机构完成预期的动作，包括液压缸和液压马达。

3. 控制元件 用来控制液压系统中液流的压力、流量及方向的装置，包括压力阀、流量阀、方向阀等。

4. 辅助元件 除上述三类元件以外的其他装置，如油管、油箱、滤油器、蓄能器、压力表等，在系统中起连接、输油、贮油、过滤、贮存压力能、测量等作用。虽然称为辅助元件，但它们对保证液压系统可靠、稳定、持久地工作也是不可少的。

上述这些液压元件将在以后各章中分别介绍。

三、液压系统图的图形符号

图 I-2 所示的液压原理图，其中各元件的图形基本上表示了它的结构原理，称为结构式原理图。这种原理图比较直观，容易理解，当液压系统发生故障时根据原理图检查也比较方便，但绘图比较复杂，特别是系统中元件较多时更是如此。为了简化液压原理图的绘制，另有一种职能符号式液压原理图，在这种原理图中，各种液压元件都用符号表示，这些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。我国已制定的“液压及气动图形符号”（GB786-76）就是属于职能符号。常见的液压及气动图形符号见附录。一般液压及气动系统原理图都应按照此标准规定的图形符号绘制，当无法用职能符号表示，或者有必要特别说明系统中某一重要元件的结构及动作原理时，也允许局部采用结构简图表示。现在世界各国液压原理图大多采用职能符号表示，表示的方法也大同小异。

图 I-3 就是按 GB786-76 规定的图形符号绘制的磨床工作台液压系统图（图中各元件的标号与图 I-2 相对应）。本书主要用图形符号来说明液压系统和回路的工作原理。在讲述到各种液压元件时，要介绍相应的图形符号，并要求熟练掌握它们。

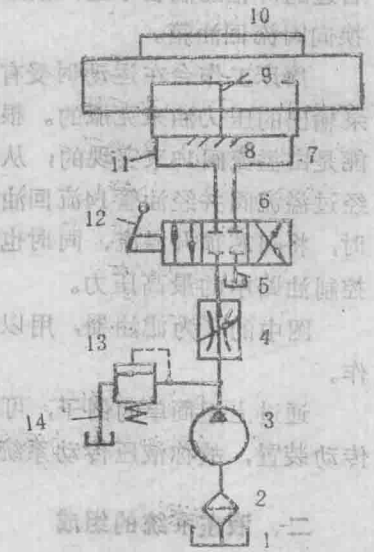


图 I-3 用职能符号表示的液压系统原理图

四、液压传动的优缺点

与机械传动、电力传动相比，液压传动具有以下优点：

1. 在输出同等功率的条件下，液压传动装置的体积小、重量轻、惯性小、动作灵敏，能适应快速启动和频繁换向的工作机械。如液压马达的重量只有同等功率电动机重量 10~20%，启动中等功率的电动机需要 1~2 s，而液压马达的启动时间不超过 0.1s。
2. 可以在运行过程中实现无级调速，调速方便且调速的范围大，其速比可达 400 以上。
3. 传递运动平稳。由于油液本身有吸振能力，不象机械传动因加工和装配误差会引起振动和撞击。
4. 操纵简单，容易实现机器的自动化。
5. 液压传动装置易于实现过载保护，确保机器安全工作，而且安全装置具有继动性。
6. 由于多采用油液作为工作介质，能自行润滑液压元件，还可以把系统产生的热量由流动着的油液带走，使元件有较长的使用寿命。
7. 液压传动系统中的液压缸、液压马达能直接与工作机构的运动部件相联接，完成各种复杂动作，大大简化了机器的传动机构。元件的排列布置也具有较大的机动灵活性。

8. 液压元件易于实现标准化、系列化和通用化，便于设计、制造和推广使用。

液压传动也存在一些缺点，如：

1. 由于采用液体为介质，液体的泄漏和液体的可压缩性使液压传动不易保证严格的传动比和精确定位。

2. 在传动过程中有两次能量转换及存在着机械摩擦损失、压力损失和泄漏损失，使系统总效率降低，不宜作远距离传动。

3. 当油温（影响到油的粘度）或负载变化时，往往不易保持运动速度的稳定。在低温或高温条件下采用液压传动有一定困难。

4. 液压元件加工精度要求较高，一般情况下系统要求有独立的能源（由电动机、液压泵等组成），这些可能使产品成本提高。

5. 液压传动系统的故障分析与排除比机械传动困难，安装使用和维修的技术水平要求较高。

综上所述，液压传动的优点较多，其某些缺点则随着生产技术的发展正在逐步得到克服。因此，液压传动在现代化的生产中有着广阔的发展前途。

附录一 液压传动系统的基本回路

附录一 液压传动系统的基本回路。本附录主要介绍液压传动系统中常用的基本回路，包括压力控制回路、速度控制回路、方向控制回路等。这些回路是构成各种复杂液压系统的基础。在设计和分析液压系统时，应熟练掌握这些基本回路的特点和应用。

附录一 (一) 压力控制回路

附录一 (一) 压力控制回路。压力控制回路主要用于控制液压系统中各执行元件的工作压力，以保证系统的安全和正常工作。常见的压力控制回路有溢流阀稳压回路、减压回路、增压回路等。

附录一 (一) 速度控制回路。速度控制回路主要用于控制执行元件的运动速度，以满足不同的工艺要求。常见的速度控制回路有节流调速回路、容积调速回路等。

附录一 (一) 方向控制回路。方向控制回路主要用于控制执行元件的运动方向，实现换向操作。常见的方向控制回路有换向阀换向回路、顺序换向回路等。

附录一 (一) 其他回路。除了上述基本回路外，还有一些特殊的回路，如制动回路、锁紧回路等，用于满足特定的工艺需求。

附录一 (一) 回路设计原则。在设计液压回路时，应遵循以下原则：1. 满足工艺要求；2. 结构简单、操作方便；3. 安全可靠；4. 节能降耗。

附录一 (一) 回路符号。附录一 (一) 列出了各种基本回路的符号表示方法，以便在设计时参考。

附录一 (一) 回路应用实例。附录一 (一) 给出了几个典型回路的应用实例，包括压力控制回路、速度控制回路和方向控制回路的设计。

第一章 液压传动的基础知识

本章将叙述与液压传动有关的水力学基本内容，以了解液体的一些性质，弄清楚液压传动的一些基本概念。

§ 1-1 液压传动的工作介质

在液压传动系统中，通常多采用石油基的矿物油作为工作介质，所以一般将液压传动工作介质又统称为液压油。除矿物油外，近年来也有用合成液体和高水基液压油等。由于液压油的性质及其质量直接影响液压系统的工作，因此必须了解液压油的性质，以便根据液压系统使用的特点和条件，选择合适的液压油。

一、液压油的粘度和粘温特性

液体在外力作用下流动时，液体各层的运动速度是不相等的，这是由于液体分子间内聚力的作用，使液体分子间产生内摩擦力，阻止液层间的相对滑动，液体的这种性质称为粘性，其大小用粘度表示。粘度大，液层间内摩擦力就大，油液就“稠”，反之，油液就“稀”。

(一) 粘度

粘度是液体重要特性之一，是选择液压系统用油的主要依据。我国常用粘度单位有以下三种：

1. 动力粘度 μ

实验证明，液体流动时其层与层之间的内摩擦力 F 与接触面积 A 和速度差 dv 成正比，而与层间距离 dy 成反比（图 1-1），即

$$F = \mu A \frac{dv}{dy} \quad (1-1)$$

以切应力 $\tau = F/A$ 代入，上式可写为

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (1-2)$$

式中 μ ——液体内摩擦系数，称为动力粘度；

dv ——相邻两层液体的相对滑动速度；

dy ——相邻两层液体的距离。

式中 dv/dy 表示液体相对滑动的速度梯度。由式（1-2）可得：

$$\mu = \tau \frac{dy}{dv} \quad (1-3)$$

由此可知，动力粘度 μ 的物理意义是：当速度梯度等于 1 时，接触液层间单位面积上的内摩

擦力， μ 直接表示了内摩擦力的大小。

在国际单位制（SI制）中，动力粘度 μ 的单位是帕秒（Pa·s），即牛顿秒/米²（N·s/m²）。

在CGS制中， μ 的单位为达因秒/厘米²（dyn·s/cm²），称为泊（P），泊的百分之一为厘泊（cP）。这些单位之间的换算关系如下：

$$1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP}$$

2. 运动粘度 ν

液体动力粘度和其密度 ρ 的比值称为运动粘度，用 ν 表示，即

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

运动粘度没有明确的物理意义，只是因为 μ 与 ρ 的比值在流体力学计算中经常出现，因此用 ν 这一符号来代替 μ/ρ ，因其单位中有长度和时间的量纲，所以称为运动粘度。

在SI制中， ν 的单位为米²/秒（m²/s）。

在CGS制中， ν 的单位为厘米²/秒（cm²/s），通常称为斯（St），斯的百分之一是厘斯（cSt）。两种单位制的换算关系为

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt}$$

目前我国生产的润滑油和液压油采用其在50℃时运动粘度的平均值（厘斯数）作为油的标号，如20号机械油即表示这种油在50℃时的平均运动粘度为20cSt。

动力粘度和运动粘度不易直接测量，一般用于理论计算。

3. 相对粘度

相对粘度是以液体的粘度相对于水的粘度来表示的。各国采用的相对粘度的单位是不同的，国际上常用的有赛氏秒（SSU）、商用雷氏秒（°R）、恩氏粘度等。我国采用恩氏粘度。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定，它表示被测定的液体在某一温度下从恩氏粘度计小孔（ ϕ 2.8mm）流出200mL所需的时间 t_1 ，与蒸馏水在20℃流出相同体积所需时间 t_2 的比值。恩氏粘度用符号 $^\circ E$ 表示，即

$$^\circ E = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-5)$$

温度 t ℃时的恩氏粘度用 $^\circ E_t$ 表示，在液压传动中一般以50℃作为测量时的标准温度，用 $^\circ E_{50}$ 表示。

恩氏粘度与运动粘度的换算，可用如下经验公式：

$$\nu = (7.31^\circ E - \frac{6.31}{^\circ E}) \times 10^{-6} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (1-6)$$

当一种标号的油粘度不合要求时，可采用两种不同粘度的油液按一定比例调合起来达到粘度要求。调合油的粘度可用下式计算：

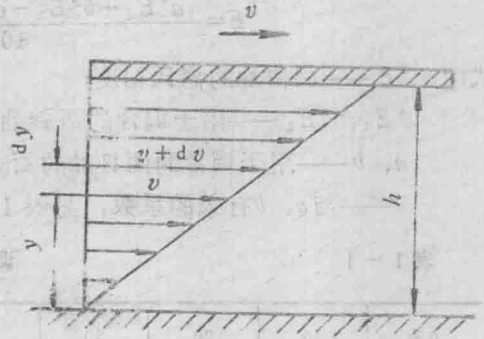


图1-1 液体粘性示意图

$$^{\circ}E = \frac{a^{\circ}E_1 + b^{\circ}E_2 - c(^{\circ}E_1 - ^{\circ}E_2)}{100} \quad (1-7)$$

式中 $^{\circ}E$ ——调和油的恩氏粘度；

$^{\circ}E_1$ 、 $^{\circ}E_2$ ——用于调合的两种油的恩氏粘度，且 $^{\circ}E_1 > ^{\circ}E_2$ ；

a 、 b ——用于调合的两种油的百分数， $a + b = 100$ ；

c ——与 a 、 b 有关的系数，见表1-1。

表1-1

调合油系数

$a\%$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$b\%$	90	80	70	60	50	40	30	20	10
c	6.7	13.1	17.9	22.1	25.5	27.9	28.2	25	17

(二) 粘度与温度的关系

温度变化对油液的粘度影响很大，当温度升高时其粘度显著下降，油液粘度随温度变化的性质称粘温特性。不同的油液有不同的粘温特性，油液粘度的变化直接影响液压系统的性能和泄漏量，因此希望粘度随温度的变化越小越好。

对于常用的液压油，当运动粘度不超过76厘斯，温度在30~150°C范围内，可用下述近似公式计算温度为 $t^{\circ}C$ 时的运动粘度：

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n \quad (1-8)$$

式中 ν_t ——油液在温度 $t^{\circ}C$ 时的运动粘度，(cSt)；

ν_{50} ——油液在50°C时的运动粘度，(cSt)；

n ——与油液粘度有关的特性指数，其值列于表1-2。

表1-2

$^{\circ}E_{50}$	1.2	1.5	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	15.0
ν_{50} (cSt)	2.5	6.5	9.5	12	21	30	38	45	52	60	68	76	113
n	1.39	1.59	1.72	1.79	1.99	2.13	2.24	2.32	2.42	2.49	2.52	2.56	2.75

我国常用粘温图表示油液粘度随温度变化的关系，部分国产油的粘温特性见图1-2。

(三) 粘度和压力的关系

油液的粘度也受压力变化的影响，当压力增加时，其分子间的距离将缩小，内聚力增大，粘度也随之增大。但压力在200bar以下时，粘度的变化不大，实用上可忽略不计。当压力很高时，粘度将急剧增大，不容忽视。矿物油系液压油的粘度与压力的关系可用下式表示：

厘斯 恩氏度
(cSt) (°E)

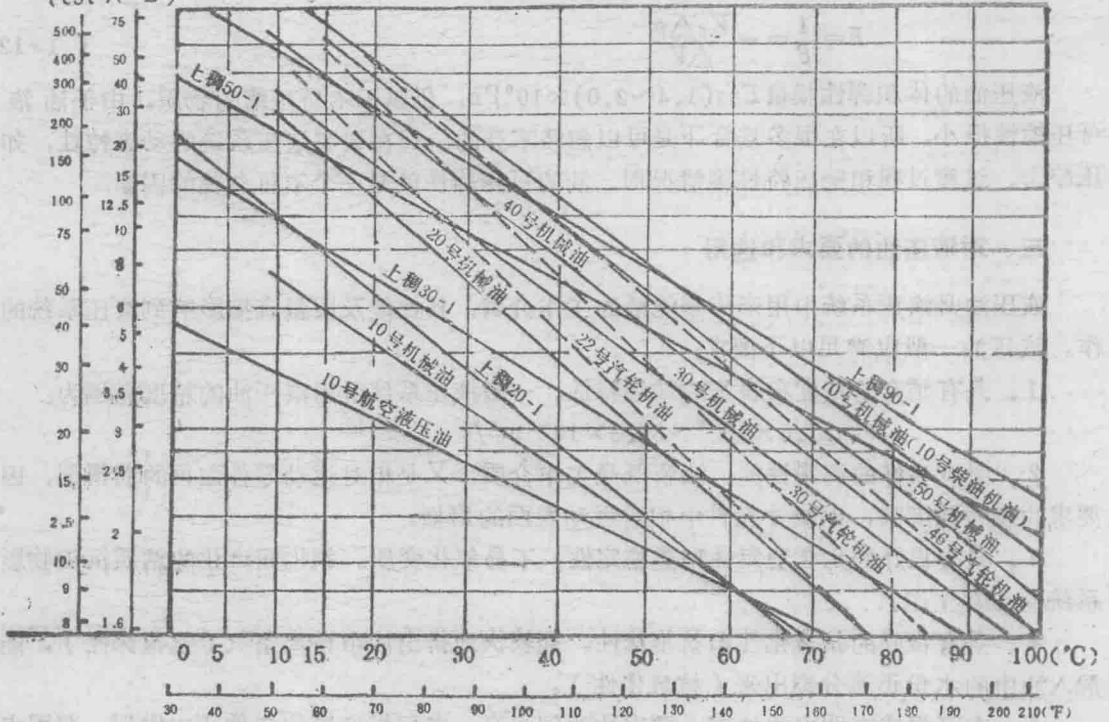


图 1-2 国产常用油的粘温图

$$\nu_p = \nu_0 e^{bp} \approx \nu_0 (1 + bp) \quad (1-9)$$

式中 ν_p ——压力为 p 时的运动粘度；

ν_0 ——压力为 1 个大气压时的运动粘度；

p ——油液的压力；

b ——系数，对一般液压用矿物油， $b=0.002\sim 0.003$ 。

二、液压油的可压缩性

液体受压力作用后其体积缩小的性质叫可压缩性。可压缩性的大小用体积压缩系数 β 表示，其定义是指液体所受压力每增加一个单位压力时，其体积的相对变化量，即

$$\beta = -\frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta V}{V_0} \quad (1-10)$$

式中负号表示压力增加时，液体体积减小。

液体受压后的体积 V 为

$$V = V_0 - \Delta V = V_0 (1 - \beta \Delta p) \quad (1-11)$$

式中 β ——压缩系数，矿物油的 $\beta = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ ；

Δp ——压力的变化值；

V_0 、 ΔV ——分别表示液体的初始体积和受 Δp 作用后体积的变化值。

体积压缩系数的倒数称为体积弹性模量 E ，即

$$E = \frac{1}{\beta} = -\frac{V_0 \Delta p}{\Delta V} \quad (1-12)$$

液压油的体积弹性模量 $E = (1.4 \sim 2.0) \times 10^9 \text{ Pa}$ ，仍属于不易压缩的物质。由于油液的可压缩性很小，所以在很多场合下是可以忽略不计的。但在研究液压系统的动态特性，如液压冲击、过渡过程和响应特性等情况时，油的可压缩性就是一个不可忽视的因素。

三、对液压油的要求和选用

液压油是液压系统中用来传递能量的工作介质，其性能及质量直接影响到液压系统的工作。液压油一般应满足以下要求：

1. 具有适宜的粘度和良好的粘温特性。一般液压系统所用液压油的粘度范围为：

$$\nu = 11.5 \times 10^{-6} \sim 35.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

2. 具有良好的润滑性能。油液既是工作介质，又是相对运动零件之间的润滑剂，因此要求油膜的强度高，以减小元件中相对运动表面的磨损。

3. 具有良好的化学稳定性和热稳定性，不易氧化变质。氧化而产生的胶质沉淀物影响系统的正常工作。

4. 具有良好的抗乳化性和抗泡沫性。能较快地排出油中游离空气（抗泡沫性），能使混入油中的水份迅速分离出来（抗乳化性）。

5. 在高温或有明火的地方，要求油的闪点高；在气候寒冷的条件下工作时，凝固点要低，流动性要好。

6. 质地纯净，杂质含量少。

正确合理的选用液压油，是保证液压设备高效正常运转的前提。选择液压油时，可根据液压元件样本和说明书所推荐的品种牌号来选用；或者根据液压系统的工作压力、工作温度、元件种类及经济性等因素全面考虑。一般是先确定适用的粘度范围，再选择合适的液压油品种，同时还要考虑系统工作条件的特殊要求，如在寒冷地区工作的系统则要求油的粘温性要好、低温流动性好；伺服系统则要求油质纯净、压缩性小；高压系统则要求油液抗磨性好。

在选用液压油时，粘度是一个重要因素。粘度的高低将影响运动部件的润滑、缝隙的泄漏以及流动时的压力损失、系统的发热温升等。

在选用油的品种时，一般要求不高的液压系统可选用机械油、汽轮机油或普通液压油。对于要求条件较高或专用液压传动设备可选用各种专用液压油，如抗磨液压油、稠化液压油、低温液压油等。这些油都加入了各种改善性能的添加剂而使其性能较好。

表 1-3 给出了几种常用国产油的主要性能，可供参考。

在一般情况下还可以按液压泵类型来选择油液，各类泵推荐采用的油液粘度值见表 1-4。

总的说来应尽量选用较好的液压油，这样做虽然初始成本要高些，但由于优质油使用寿命长，对元件损害小，所以从整个使用周期看，其经济性要比用劣质油合算。