

21 CENTURY

21世纪全国高等院校通用教材

21SHIJI QUANGUO GAODENG YUANXIAO
TONGYONG JIAOCAI

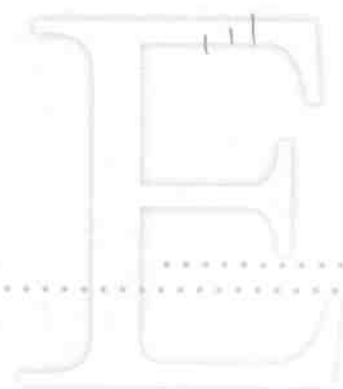
液压传动技术

YEYA CHUANDONG JISHU



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

21 世纪全国高等院校通用教材



YE YA CHUAN DONG JI SHU

液压传动技术

徐瑞银 侯印浩 宋志安 主编



山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压传动技术/徐瑞银等主编. —济南:山东科学技术出版社, 2009

21 世纪全国高等院校通用教材

ISBN 978-7-5331-5128-7

I. 液... II. 徐... III. 液压技术—高等学校:教材
IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 156955 号

21 世纪全国高等院校通用教材

液压传动技术

主编 徐瑞银 侯印浩 宋志安

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098080

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:山东新华印刷厂

地址:济南市胜利大街 56 号

邮编:250001 电话:(0531)82079112

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:13.25

版次:2009 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-5331-5128-7

定价:29.00 元

液 压 传 动 技 术

编 委 会

► 主 编 徐瑞银 侯印浩 宋志安

► 副 主 编 (按姓氏笔画为序)

仇桂玲 刘永海 李文久

陈宏圣 南化鹏 侯顺强

► 视频合成 张成新 彭智娟 郭凡灿 白雪峰

► 动画制作 徐英锋 赵剑波 吴于河 白贤顺

NEI RONG TI YAO

内 容 提 要

本书内容包括液压传动系统的原理、元器件、液压控制回路、电气控制,以及典型液压传动系统分析、液压系统的安装和使用及常见故障分析、液压系统的设计与计算、液压传动系统实训等。在内容安排上,突出重点,详解难点,力求深入浅出、条理清楚;对液压元件的结构及工作原理,在附书光盘中通过视频详细讲解,突出了直观性教学。

本书可作为应用型本科、高职高专院校和技术院校相关专业的教材,也可供相关的技术人员参考。

前

言

P R E F A C E

液压传动技术是机械制造与自动化专业、机电一体化专业的重要技术课程。本书是为了满足高等学校应用型教育发展及课程调整,培养学生理论联系实际的能力,突出职业能力培养的教学要求而编写的。

本书分为理论教学和实践实训教学两部分内容。在体系上,按照“基础理论—液压元件—基本回路—液压系统及其设计—液压系统中的电器控制—实践实训”的顺序进行论述,其中实践实训单独成章,以突出和强调实训的重要性,加强学生的职业能力培养。对于各种液压元件,在对其工作原理、典型结构、主要性能分析的基础上,结合实践实训内容加强应用性方面的叙述。在内容上,突出重点,详解难点,力求深入浅出、条理清楚;对液压元件的结构及工作原理,在附书光盘中通过视频详细讲解,突出了直观性教学。

本书在编写过程中,参阅了以往的同类教材和文献资料,巨林教学仪器设备有限公司提供了实训实验台的有关资料,并得到了许多同志的关心和帮助,在此谨表感谢。

由于水平所限,书中难免有疏漏和错误之处,欢迎读者批评指正。

编 者

目录»

CONTENTS

液 压 传 动 技 术

模块一 概论	(1)
任务一 液压传动系统的工作原理和组成	(1)
任务二 液压传动的特点及应用	(3)
模块二 液压系统流体力学基础	(5)
任务一 液压系统工作液体	(5)
任务二 液压流体静力学	(11)
任务三 液压流体动力学	(14)
任务四 管道中液流的能量损失	(17)
任务五 液体流经孔口的压力流量特性	(19)
模块三 液压动力元件	(22)
任务一 液压泵概述	(22)
任务二 齿轮泵	(25)
任务三 叶片泵	(31)
任务四 柱塞泵	(37)
任务五 液压泵的选用	(41)
模块四 液压执行元件	(44)
任务一 液压马达	(44)
任务二 液压缸	(50)
模块五 液压辅助装置	(62)
任务一 蓄能器	(62)
任务二 滤油器	(64)
任务三 油管及管接头	(67)

任务四 液压油箱	(70)
任务五 压力表及压力表开关	(71)
任务六 密封装置	(72)
模块六 液压控制阀和液压基本回路	(76)
任务一 方向控制阀和方向控制回路	(76)
任务二 压力控制阀和压力控制回路	(84)
任务三 流量控制阀和节流调速回路	(96)
任务四 容积调速回路和容积节流调速回路	(107)
任务五 多执行器动作控制回路	(111)
模块七 典型液压传动系统分析	(118)
任务一 YT4543型组合机床动力滑台液压系统	(118)
任务二 M1432A型万能外圆磨床液压系统	(121)
任务三 数控机床液压系统	(125)
模块八 液压传动系统电气控制	(133)
任务一 常用传感器工作原理及应用	(133)
任务二 典型液压系统及其电气控制	(136)
任务三 PLC控制液压系统事例	(140)
模块九 液压系统的安装和使用及常见故障分析	(148)
任务一 液压系统的安装和调试	(148)
任务二 液压系统的使用与维护	(152)
任务三 液压系统的常见故障和排除方法	(154)
模块十 液压系统的设计与计算	(161)
任务一 设计要求与运动负载分析	(161)
任务二 执行元件主要参数的确定	(164)
任务三 液压系统原理图的拟订	(166)
任务四 液压组件的计算和选择	(167)
任务五 液压系统技术性能的验算	(170)
任务六 绘制正式工作图和编制技术文件	(172)

任务七 液压系统设计计算举例	(172)
模块十一 液压传动系统实训	(177)
任务一 液压元件的拆装	(177)
任务二 液压泵性能测试实验	(179)
任务三 溢流阀静态性能实验	(181)
任务四 节流调速回路性能实验	(182)
附 录	(187)
附录 I 常用液压气动元件图形符号	(187)
附录 II 部分国产液压泵和常规液压阀产品概览	(194)
附录 III YZ-03 电液比例综合液压实验台	(198)

模块一 概论

知识点

液压传动系统的工作原理

机床工作台液压系统

液压传动系统的图形符号

技能点

结合千斤顶工作过程理解液压系统的工作原理

通过机床液压系统的工作过程掌握液压系统的原理及其组成

了解液压系统的分析方法

任务一 液压传动系统的工作原理和组成

一 液压传动系统的工作原理

液压传动是以液体为工作介质,并以压力能进行动力(或能量)传递、转换与控制的液体传动。下面以图 1-1 液压千斤顶为例,说明液压传动系统的工作原理。

提起杠杆 1,活塞 3 上升,泵体 2 下腔的工作容积增大,形成局部真空,于是油箱 6 中的油液在大气压力的作用下,推开单向阀 5 进入油缸 4 的下腔(此时单向阀 7 关闭);当压下杠杆 1 时,活塞 3 下降,油缸 4 下腔的容积缩小,油液的压力升高,打开单向阀 7(此时单向阀 5 关闭),油缸 4 下腔的油液进入工作缸 10 的下腔(此时截止阀 8 关闭),使活塞 11 向上运动,将重物顶起一段距离。如此反复提压杠杆 1,就可以使重物不断上升,达到顶起重物的目的。工作完毕,打开截止阀 8,使油缸 10 下腔的油液通过管路直接流回油箱,活塞 11 在外力和自重的作用下实现回程。

从以上分析可知,液压传动具有以下特点:

- (1) 液压传动的液体为传递能量的工作介质;
- (2) 液压传动必须在密闭的系统中进行,且密封的工作容积必须发生变化;
- (3) 液压传动系统是一种能量转换装置,而且有两次能量转换过程;
- (4) 工作液体只能承受压力,不能承受其他应力,所以这种传动是通过静压力进行能量传递的。

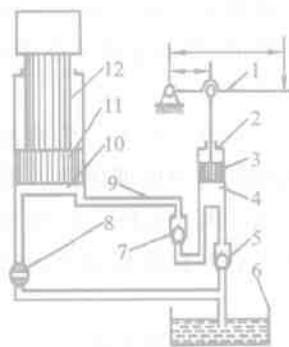


图 1-1 千斤顶液压传动示意图

- 1—手柄 2—泵体 3、11—活塞
4、10—油缸 5、7—单向阀
6—油箱 8—截止阀 9—油管
12—缸体

二 液压传动装置的组成

图 1-2 为机床工作台液压系统示意图。当液压泵 3 由电动机驱动旋转时,从油箱 1 经过滤器 2 吸油。经换向阀 7 和管路 11 进入液压缸 9 的左腔,推动活塞杆及工作台 10 向右运动。液压缸 9 右腔的油液经管路 8、阀 7 和管路 6、4 排回油箱,通过扳动换向手柄切换阀 7 的阀芯,使之处于左端工作位置,则液压缸活塞反向运动;切换阀 7 的阀芯工作位置,使之处于中间位置,则液压缸 9 在任意位置停止运动。

调节和改变流量控制阀 5 的开度大小,可以调节进入液压缸 9 的流量,从而控制液压缸活塞及工作台的运动速度。液压泵 3 排出的多余油液经管路 15、溢流阀 16 和管路 17 流回油箱。液压缸 9 的工作压力取决于负载。液压泵 3 的最大工作压力由溢流阀 17 调定,其调定值应为液压缸的最大工作压力及系统中油液流经各类阀和管路的压力损失之和。因此,系统的工作压力不会超过溢流阀的调定值,溢流阀对系统还有超载保护作用。

从机床工作台液压系统的工作过程可以看出,一个完整的、能够正常工作的液压系统,应该由以下 5 个主要部件组成:

(1) 动力元件 供给液压系统压力油,把原动机的机械能转换成液压能。常见的是液压泵。

(2) 执行元件 把液压能转换为机械能的装置。其形式有做直线运动的液压缸,有作旋转运动的液压马达。

(3) 控制调节元件 完成对液压系统中工作液体的压力、流量和流动方向的控制和调节。

(4) 辅助元件 如各种管接头、油管、油箱、蓄能器、过滤器、压力计等。

(5) 工作介质 液压油,作为能量传递的载体,实现运动和动力的传递。

三 液压传动系统的图形符号

为简化液压系统的表示方法,一般采用图形符号

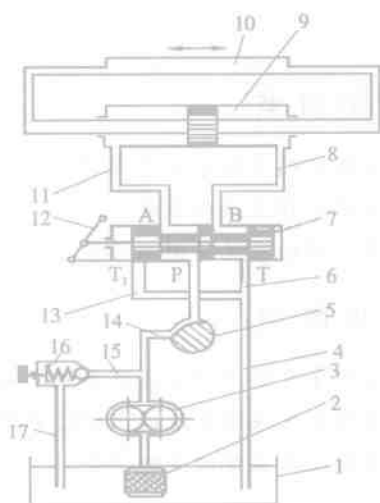


图 1-2 机床工作台液压系统原理结构示意图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4、6、8、11、13、14、15、17—管路 5—流量控制阀 7—换向阀 9—液压缸 10—工作台 12—换向手柄 16—溢流阀

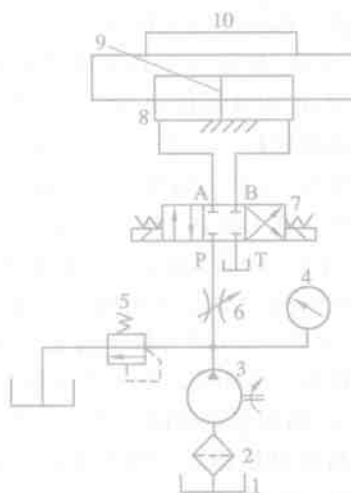


图 1-3 机床工作台液压系统图形符号图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—压力表 5—溢流阀 6—节流阀 7—换向阀 8—管路 9—液压缸 10—工作台

来绘制液压系统原理图。图 1-2 所示的液压传动系统图属于结构原理图,用图形符号图来表示如图 1-3 所示。图形符号脱离了液压元件的具体结构,只表示其功能,直观性强、容易理解,便于分析和检查液压元件可能发生的故障。

我国制订有液压气动图形符号标准 GB786.1—1993《液压气动图形符号》,在液压系统设计中,要严格执行这一标准。

任务二 液压传动的特点及应用

一 液压传动的优点

与机械传动、电器传动相比,液压传动具有以下优点:

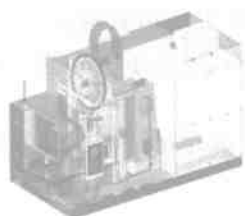
- (1) 液压传动的各种元件,可根据需要方便、灵活地布置;
- (2) 重量轻,体积小,传动惯性小,反应速度快;
- (3) 操纵控制方便,可实现大范围的无级调速(调速范围达 2000 : 1);
- (4) 能比较方便地实现系统的自动过载保护;
- (5) 一般采用矿物油为工作介质,完成相对运动部件的润滑,能延长零部件使用寿命;
- (6) 很容易实现工作机构的直线运动或旋转运动;
- (7) 当采用电液联合控制后,容易实现机器的自动化控制,可实现更高层次的自动控制和遥控。

二 液压传动的主要缺点

- (1) 由于液体流动的阻力损失和泄漏较大,所以效率较低。如果处理不当,泄漏不仅污染场地,而且还可能引起火灾和爆炸事故;
- (2) 工作性能易受温度变化的影响,因此不宜在很高的温度或者很低的温度条件下工作;
- (3) 液压元件的制造精度要求较高,因而价格较贵;
- (4) 由于液体介质的泄漏及可压缩性,不能得到严格的定比传动;
- (5) 液压传动出故障时不易找出原因,要求具有较高的使用和维护技术水平。



95% 的工程机械



90% 的数控加工中心



95% 的自动线

图 1-4 液压传动的应用

三 液压传动的应用

液压传动以其独特的优势成为现代机械工程、机电一体化技术中的基本构成技术和现代控制工程中的基本技术要素,在国民经济各行业得到了广泛的应用。图 1-4 和表 1-1 列举了液压传动在机械电子设备中的一些应用。

表 1-1 液压传动的应用举例

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
汽车工业	自卸式汽车、平板车、汽车中的转向器、减震器等
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、机器人等

思考与练习题

- 1.1 液压传动有什么特点?
- 1.2 液压传动系统由哪几部分组成? 试说明各部分的作用。
- 1.3 列举你所熟悉的液压传动在实际工程中的应用。

模块

二

液压系统流体力学基础

知识点

牛顿内摩擦定律

液压油的黏性及其与温度的关系

流体静力学及压强的测量

伯努利方程及其意义

技能点

掌握液压油的选择原则

了解流体压强的测量方法

掌握伯努利方程在工程实际中的应用

任务一 液压系统工作液体

在液压系统中,液压油是传递动力和运动的工作介质。液压系统能否可靠有效地工作,在很大程度上取决于系统中所用的液压油。因此,了解液压油的基本特性,正确选择、使用 and 保养液压油是非常重要的。

一 液压油的特性

1. 液压油液的物理性质

(1) 密度和重度

单位体积液体的质量称为密度,通常用符号“ ρ ”表示。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (2-1)$$

地球对单位体积液体质量的引力(重力)称为重度,通常用符号“ γ ”表示。

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{N/m}^3) \quad (2-2)$$

式中: γ —液体重度, $\gamma = \rho g$;

m —液体的质量,kg;

G —液体受到的重力,N;

V —液体的体积, m^3 ;

g —重力加速度, m/s^2 。

液压油液的密度和重度因油液的牌号而异,并且都随压力和温度的变化而变化。两者均随压力的增加而增大;随温度升高而减小。在一般情况下,由于压力和温度引起的变化都较小,在实际应用中,油液的密度和重度可近似地视为常数。计算时可取近似值 $\rho=900 \text{ kg/m}^3$ 或 $\gamma=8.8 \times 10^3 \text{ N/m}^3$ 。

(2) 黏性和黏度

① 黏性 液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动而产生一种内摩擦力,这一特性称为液体的黏性。它是液体的重要物理性质。液体只在流动时才会呈现黏性,静止液体不呈现黏性。以图 2-1 为例,若两平行平板间充满液体,下平板固定,而上平板以 u_0 向右平动,由于液体的黏性作用,紧靠着下平板的液体层速度为零,紧靠上平板的液体层速度为 u_0 ,而中间各层液体的速度则从上到下按递减规律呈线性分布。

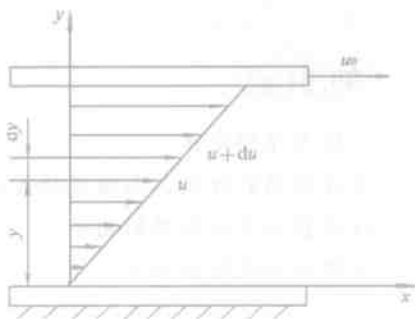


图 2-1 液体黏性原理图

由牛顿内摩擦定律可知,液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 、液层间相对运动速度梯度 du/dy 成正比:

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

式中: μ —黏性系数(动力黏度)。

若以 τ 表示内摩擦切应力,即液层间在单位面积上的内摩擦力,则有

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-4)$$

上式又称为牛顿液体内摩擦定律。

② 黏度 液体黏性的大小用黏度来表示,常用的黏度有 3 种:动力黏度、运动黏度和相对黏度。

(A) 动力黏度:表征流体黏性的内摩擦系数或绝对黏度,用 μ 表示。即

$$\mu = \frac{F}{A \frac{du}{dy}} = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (2-5)$$

由上式可知动力黏度 μ 的物理意义是:液体在单位速度梯度下流动时相互接触液层间内摩擦切应力的大小。单位为 $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(B) 运动黏度:动力黏度 μ 与液体密度 ρ 的比值,称为运动黏度,用 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-6)$$

运动黏度无明确的物理意义,因为在其单位中只有长度与时间的量纲,类似于运动学的量,所以称为运动黏度。运动黏度的单位是 m^2/s ,它与常用单位 St (沱)(cm^2/s)之间的关系是: $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}(\text{St}) = 10^6 \text{ mm}^2/\text{s}(\text{cSt})$ 。

液压油的牌号用 40°C 温度下运动黏度的平均值[单位: cSt (厘沱)]表示,例如 N32 号液压油,指这种油在 40°C 时的运动黏度平均值为 32 cSt 。我国的液压油旧牌号则是用 50°C 时运动黏度的平均值表示的。液压油新、旧牌号对照见表 2-1。

表 2-1 液压油新牌号(40℃运动黏度)与旧牌号(50℃运动黏度)对照

新牌号	N7	N10	N15	N22	N32	N46	N68	N100	N150
旧牌号	5	7	10	15	20	30	40	60	80

(C) 相对黏度:相对黏度又称条件黏度,由于测量仪器和条件不同,各国相对黏度的含义也不同,如美国采用赛氏黏度,英国采用雷氏黏度,而我国、德国和前苏联则采用恩氏黏度。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定,即将 200 cm³ 被测液体装入黏度计的容器内,容器周围充水,电热器通过水使液体均匀升温到某一温度,液体由容器底部 $\phi 2.8$ mm 的小孔流尽所需要的时间 t_1 和同体积蒸馏水在 20℃ 时流过同一小孔所需时间 t_2 (通常平均值 $t_2 = 51$ s) 的比值,称为被测液体在这一温度时的恩氏黏度 E ,即

$$E = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-7)$$

恩氏黏度与运动黏度的换算关系为

当 $1.35 \leq E \leq 3.2$ 时

$$\nu = \left(8E - \frac{8.64}{E} \right) \times 10^{-6} \quad (2-8)$$

当 $E > 3.2$ 时

$$\nu = \left(7.6E - \frac{4}{E} \right) \times 10^{-6} \quad (2-9)$$

(D) 调合油的黏度:选择合适黏度的液压油,对液压系统的工作性能有着重要的作用。但有时能得到的油液产品的黏度不合要求,在此种情况下可把同一型号两种不同黏度的油液按适当的比例混合起来使用,称为调合油。调合油的黏度可用下面的经验公式计算:

$$E = \frac{\alpha_1 E_1 + \alpha E_2 - c(E_1 - E_2)}{100} \quad (2-10)$$

式中: E_1 、 E_2 —混合前两种油液的恩氏黏度,取 $E_1 > E_2$;

E —调合后油的恩氏黏度;

α_1 、 α_2 —参与调合的两种油液各占的百分数($\alpha_1 + \alpha_2 = 100\%$);

c —实验系数,见表 2-2。

表 2-2 实验系数 c 的值

α_1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
α_2	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

(3) 液体的可压缩性

液体受压力作用而使其体积发生变化的性质,称为液体的可压缩性。液体的可压缩性可用体积压缩系数 K 表示,它是指液体在单位压力变化时的体积相对变化量,即

$$K = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad (2-11)$$

式中: V —增压前的液体体积;

Δp —压力增量;

ΔV —体积减小量。

由于 ΔV 为负值,为使 K 为正值,故在上式右边须加一负号。液体体积压缩系数的倒数,称为液体的体积弹性模量,用 β 表示,即

$$\beta = \frac{1}{K} \quad (2-12)$$

矿物油 $\beta = (1.4 \sim 2) \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 。一般液压系统压力不高时,液体的可压缩性很小,可以认为液体是不可压缩的,而在压力变化很大的高压系统中,就需要考虑液体可压缩性的影响。当液体中混入空气时,其可压缩性将显著增加,并将严重影响液压系统的工作性能,故在液压系统中应使油液中的空气含量减少到最低限度。

2. 黏度与压力的关系

液体所受的压力增加时,其分子间的距离将减小,于是内聚力增加,黏度也略随之增大。液体的黏度与压力的关系可表示为

$$\nu_p = \nu(1 + 0.003p) \quad (2-13)$$

式中: ν_p —压力为 p 时液体的运动黏度;

ν —压力为 101.33 kPa 时液体的运动黏度;

p —液体所受的压力。

由上式可知,对于液压油,在中低压液压系统内,压力变化很小,因而对黏度影响较小,可以忽略不计;当压力较高(大于 10 MPa)或压力变化较大时,则需要考虑压力对黏度的影响。

3. 黏度与温度的关系

液压油黏度对温度的变化十分敏感,温度升高,黏度下降。这种油的黏度随温度变化的性质称为黏温特性。

黏度与温度的关系亦可以从图 2-2 所示的国产常用液压油的黏温特性曲线上查出。由图可见,温度对黏度影响较大,必须引起重视。

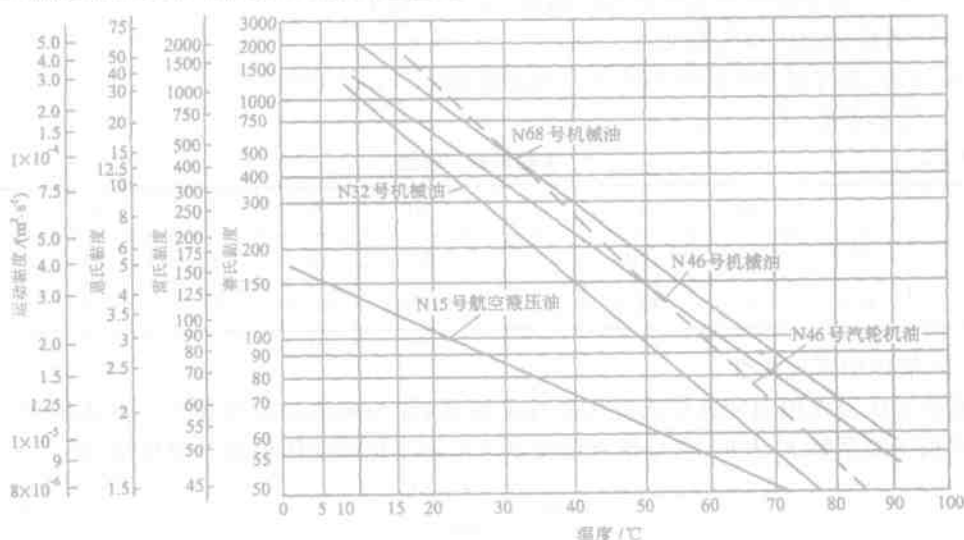


图 2-2 典型液压油的黏度—温度特性曲线