

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

液压与气压传动

宋晓松 主编

 科学出版社
www.sciencep.com

液压与气压传动

宋晓松 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是高等职业教育人才培养创新教材出版工程的规划教材。全书以液压传动为主,气压传动为辅。主要讲述了液压传动与气压传动的基本原理、特点、使用;液压元件、气动元件、液压辅件、气动辅件的工作原理、特点、基本结构、使用和维护;常见故障及排除;液压系统、液压伺服系统、气动系统基本回路及其在典型设备中的应用,常见故障及排除,以及液压系统及气动系统的基本设计方法。

本书根据高职高专机械类专业的特点,在教材内容选取上充分体现了“加强针对性,注重实际应用,适当拓宽知识面”,理论知识以“实用、够用”为度的特点,突出对学生动手能力和综合素质的培养。本书可作为高职高专机械类专业的教材,也可供自学者和相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/宋晓松主编. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-019457-2

I. 液… II. 宋… III. ①液压传动-高等学校:技术学校-教材②气压传动-高等学校:技术学校-教材 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第143475号

责任编辑:胡华强 毛莹 潘继敏 / 责任校对:刘小梅

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年9月第一版 开本:B5(720×1000)

2007年9月第一次印刷 印张:17

印数:1—3 500 字数:317 000

定价:25.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

四川编委会

主任委员

陈传伟 成都电子机械高等专科学校副校长

副主任委员

汪令江 成都大学教务处长

李学锋 成都航空职业技术学院教务处长

季 辉 成都电子机械高等专科学校教务处长

林 鹏 科学出版社副总编辑

委 员

黄小平 成都纺织高等专科学校教务处长

凤 勇 四川交通职业技术学院教务处长

丁建生 四川工程职业技术学院教务处长

郑学全 绵阳职业技术学院教务处长

彭 涛 泸州职业技术学院教务处长

秦庆礼 四川航天职业技术学院学术委员会主任

谢 靖 内江职业技术学院教务处副处长

胡华强 科学出版社高等教育出版中心主任

出版说明

为进一步适应我国高等职业教育需求的迅猛发展,推动学校向“以就业为导向”的现代高等职业教育新模式转变,促进学校办学特色的凝练,高等职业教育人才培养创新教材出版工程四川编委会本着平等、自愿、协商的原则,开展高等院校间的高等职业教育教材建设协作,并与科学出版社合作,积极策划、组织、出版各类教材。

在教材建设中,编委会倡导以专业建设为龙头的教材选题方针,在对专业建设和课程体系进行梳理并达成较为一致的意见后,进行教材选题规划,提出指导性意见。根据新时代对高技能人才的需求,专门针对现代高等职业教育“以就业为导向”的培养模式,反映知识更新和科技发展的最新动态,将新知识、新技术、新工艺、新案例及时反映到教材中来,体现教学改革最新理念和职业岗位新要求,思路创新,内容新颖,突出实用,成系配套。

教材选题的类型主要是理论课教材、实训教材、实验指导书,有能力进行教学素材和多媒体课件立体化配套的优先考虑;能反映教学改革最新思路的教材优先考虑;国家、省级精品课程教材优先考虑。

这批教材的书稿主要是从通过教学实践、师生反响较好的讲义中经院校推荐,由编委会择优遴选产生的。为保证教材的出版和提高教材的质量,作者、编委会和出版社作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作可能仍有不足之处,希望使用教材的学校及师生积极提出批评和建议,共同为提高我国高等职业教育教学、教材质量而努力。

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

四川编委会

2004年10月20日

前 言

本教材是高等职业教育人才培养创新教材出版工程的规划教材,是根据现代高等职业教育“以服务为宗旨,以就业为导向”的培养模式,结合机械类专业的特点,以培养适应生产第一线应用型人才为目的,加强对学生应用能力和综合素质的培养而编写的。

全书以液压传动为主,气压传动为辅。在内容的选取上,充分体现了“加强针对性,注重实际应用,适当拓宽知识面”,理论知识以“实用、够用”为度的特点,注重实际应用。本教材从使用角度着重阐述了液压与气压传动的基本概念、基本原理及其特点,对相关公式删去了繁杂的理论推导,而侧重公式应用。为便于学生系统掌握各章节的重点内容和知识联系,各章后附有本章小结和习题。对气压传动部分,既考虑其内容的完整性和独立性,又注重它与液压传动共性问题的分析与概括,使学生能清楚地掌握二者的区别与联系。本教材在全面阐述有关液压与气压传动基本内容的基础上,力求反映液压与气压技术的新动态。

本书可作为高职高专院校、成人高校和民办高校机械类及机电类专业的教材,也可作为中等专业学校的教材及有关工程技术人员的参考。

本教材由四川航天职业技术学院宋晓松编写第一、三、十一、十二、十六、十八章,邹平编写第六、九章;四川职业技术学院杜昌义编写第二、四、十三章;内江职业技术学院赵云编写第八、十、十七章;四川工程职业技术学院杨林建编写第七、十五章;四川机电职业技术学院蒋祖信编写第五章,李世蓉编写第十四章。全书由宋晓松担任主编,在编写过程中绵阳职业技术学院邓先智对本书提出了宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏误及缺点,恳请广大读者批评指正。

编 者

2007年4月26日

目 录

前言

第一篇 液 压 传 动

第一章 液压传动概述	1
第一节 液压传动的工作原理、系统组成及图形符号	1
第二节 液压传动的特点及应用.....	3
本章小结.....	4
习题.....	4
第二章 液压传动基础知识	5
第一节 液压油.....	5
第二节 液体静力学	10
第三节 液体动力学	13
第四节 管路中的压力损失	17
第五节 液体流经小孔及缝隙的流量	19
第六节 液压冲击和气穴现象	21
本章小结	22
习题	24
第三章 液压泵和液压马达	26
第一节 概述	26
第二节 齿轮泵	29
第三节 叶片泵	32
第四节 柱塞泵	37
第五节 液压马达	39
第六节 液压泵的选用	40
第七节 液压泵和液压马达常见故障及排除方法	41
本章小结	43
习题	45
第四章 液压缸	46
第一节 液压缸的类型及其特点	46
第二节 液压缸的结构	51
第三节 液压缸的设计及计算	55
第四节 液压缸常见故障及排除方法	57

本章小结	58
习题	59
第五章 液压控制阀	60
第一节 概述	60
第二节 方向控制阀	61
第三节 压力控制阀	69
第四节 流量控制阀	77
第五节 叠加阀和插装阀	79
第六节 电液比例控制阀	83
第七节 液压控制阀的常见故障及排除方法	85
本章小结	88
习题	90
第六章 液压辅助元件	93
第一节 油箱和热交换器	93
第二节 蓄能器	96
第三节 过滤器	98
第四节 油管 and 管接头	100
第五节 密封装置	102
本章小结	105
习题	106
第七章 液压基本回路	107
第一节 方向控制回路	107
第二节 压力控制回路	108
第三节 速度控制回路	114
第四节 多缸动作回路	124
本章小结	128
习题	130
第八章 典型液压系统	134
第一节 组合机床动力滑台液压系统	134
第二节 液压机液压系统	137
第三节 Q2-8 型汽车起重机液压系统	140
本章小结	144
习题	145
第九章 液压系统的设计计算	146
第一节 液压系统的设计	146

第二节 液压系统设计实例	152
本章小结	158
习题	159
第十章 液压伺服系统	160
第一节 液压伺服系统的工作原理及特点	160
第二节 液压伺服系统的类型	162
第三节 电液伺服阀	165
第四节 液压伺服系统实例	167
本章小结	169
习题	170
第十一章 液压系统的使用、维护与故障分析	171
第一节 液压系统的安装与调试	171
第二节 液压系统的使用与维护	173
第三节 液压系统常见故障及排除方法	174
本章小结	181
习题	181

第二篇 气压传动

第十二章 气压传动概述	182
第一节 气压传动系统的工作原理及组成	182
第二节 气压传动的特点	183
本章小结	184
习题	184
第十三章 气动执行元件	185
第一节 气缸	185
第二节 气马达	189
本章小结	190
习题	191
第十四章 气动控制元件	192
第一节 方向控制阀	192
第二节 压力控制阀	198
第三节 流量控制阀	204
第四节 气动逻辑元件	205
本章小结	211
习题	213

第十五章 气源装置及辅助元件	214
第一节 气源系统的组成及工作原理.....	214
第二节 气动辅助元件.....	219
本章小结.....	222
习题.....	222
第十六章 气动基本回路	223
第一节 方向控制回路.....	223
第二节 压力控制回路.....	224
第三节 速度控制回路.....	225
第四节 其他回路.....	227
本章小结.....	229
习题.....	230
第十七章 气压传动系统	232
第一节 气动系统实例.....	232
第二节 气动系统设计.....	235
本章小结.....	241
习题.....	242
第十八章 气动系统的使用、维护与故障分析	243
第一节 气动系统的安装与调试.....	243
第二节 气动系统的使用与维护.....	244
第三节 气动系统主要元件的常见故障及排除方法.....	246
本章小结.....	250
习题.....	250
参考文献	251
附录一 常用量的符号、单位及换算	252
附录二 液压及气动图形符号(GB/T 786.1—93 摘录)	253

第一篇 液压传动

第一章 液压传动概述

第一节 液压传动的工作原理、系统组成及图形符号

一、液压传动的工作原理

液压传动是以液体为工作介质,利用压力能来驱动执行机构的传动方式。

图 1-1(a)为驱动机床工作台的液压传动系统原理图。液压泵 3 由电动机带动旋转,经过滤器 2 从油箱 1 中吸油,由液压泵输出的压力油通过换向阀 5、节流阀 6、换向阀 7 进入液压缸 8 左腔,推动活塞和工作台 9 向右移动。这时液压缸 8 右腔中的油液经换向阀 7 和回油管①流回油箱。

如果将换向阀 7 手柄转换成图 1-1(b)所示状态,则压力油经过换向阀 7 后进入液压缸 8 右腔,推动活塞和工作台 9 向左移动,这时液压缸 8 左腔中的油液经换向阀 7 和回油管①流回油箱。

工作台的运动速度是由节流阀 6 来调节的。当节流阀口开大时,进入液压缸 8 的油液增多,工作台 9 的移动速度就增大;当节流阀口关小时,进入液压缸 8 的油液减少,则工作台 9 的运动速度减小。液压泵 3 输出的压力油除了进入节流阀 6 以外,其余的油液经溢流阀 4 和回油管②流回油箱。因而节流阀 6 的主要功用是控制进入液压缸的油液的流量,从而控制液压缸活塞的运动速度。

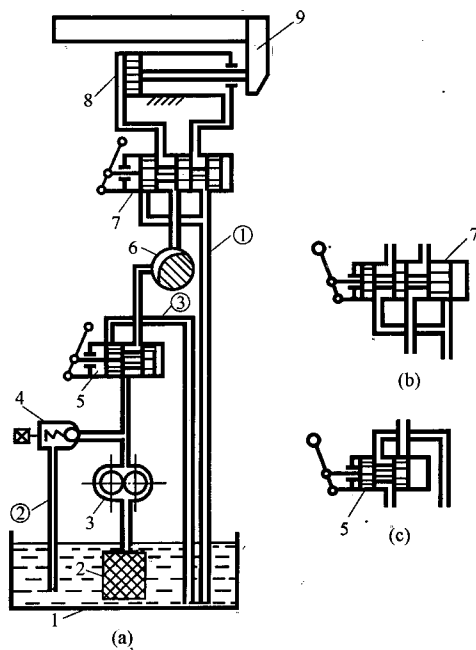


图 1-1 机床工作台液压系统原理图

1-油箱 2-过滤器 3-液压泵 4-溢流阀 5-换向阀
6-节流阀 7-换向阀 8-液压缸 9-工作台

为了克服移动工作台时受到的各种阻力,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油液压力所产生的。要克服的阻力越大,缸中的油液压力越高;阻力越小,压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理——压力取决于负载。

如果将换向阀 5 手柄转换成图 1-1(c)所示的状态,液压泵输出的油液经换向阀 5 和回油管③流回油箱,这时工作台停止运动。

从上述例子可以看到:液压泵将电动机的机械能转换为液体的压力能,然后通过液压缸(或液压马达)将液体的压力能再转换为机械能以推动负载运动。液压传动的过程就是机械能—液压能—机械能的能量转换过程。

二、液压传动系统的组成

从上述例子可以看出,一个完整的液压传动系统由以下五部分组成:

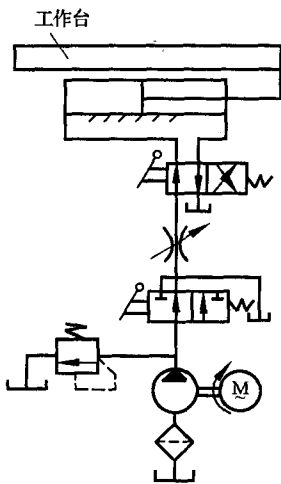
(1) 动力装置——液压泵,它将电动机(或其他原动机)输出的机械能转换成液压能,其作用是给液压系统提供压力油,它是液压系统的动力源。

(2) 执行装置——液压缸和液压马达,它是将油液的压力能转换为机械能的装置,其作用是在压力油的推动下输出力和速度(或力矩和转速),以驱动工作部件。

(3) 控制装置——各种阀类元件(如流量阀、压力阀、方向阀等),其作用是控制和调节液压系统中液流的流量、压力和方向,以保证执行元件实现各种不同的工作要求。

(4) 辅助装置——指除以上三部分以外的其他装置(如油箱、油管、管接头、过滤器等),通过这些元件把系统连接起来,以实现各种工作循环。它们对保证液压系统可靠和稳定工作起着重要的作用。

(5) 工作介质——液压油,是传递能量的介质,绝大多数液压油采用矿物油。



三、液压传动系统的图形符号

图 1-1 所示的液压系统图,是一种半结构式的工作原理图,图中各元件是以结构符号表示的,它直观性强,容易理解,但图形复杂,难于绘制。为了简化原理图的绘制,系统中各元件均采用图形符号表示,如图 1-2 所示。这些符号只表示元件的功能,而不表示元件的具体结构。

目前我国的液压系统图是采用 GB/T 786.1—93 所规定的液压与气动图形符号(见附表二)来绘制。

图 1-2 用图形符号表示的机床工作台液压系统图

第二节 液压传动的特点及应用

液压传动与机械传动、电气传动、气压传动等相比较,具有以下主要特点。

一、液压传动的优点

(1) 液压传动装置能在运行中方便地实现无级调速,且调速范围大,调速比最高可达 2000 以上。

(2) 液压装置由于重量轻、惯性小、反应快、工作平稳、换向冲击小,所以易于实现快速启动、制动和频繁地换向。液压马达的换向频率可达每分钟 500 次,液压缸的换向频率可达每分钟 1000 次。

(3) 在输出功率相同的情况下,液压传动装置的体积小、重量轻、结构紧凑,如液压马达的重量只有同等功率电动机重量的 10%~20%。当液压传动采用高压时,则更容易获得很大的力或力矩。

(4) 液压传动装置操纵控制方便、易于实现自动化,因为它是对液体的压力、流量和流动方向进行控制或调节,操纵很方便。当电、液联合控制时,能实现较复杂的顺序动作和远程控制。

(5) 液压装置易于实现过载保护,确保机器安全工作。

(6) 因工作介质为油液,液压元件能自行润滑,故使用寿命较长。

(7) 液压元件已实现标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和使用。

二、液压传动的缺点

(1) 由于液压油的可压缩性和泄漏等因素的影响,液压传动不能保证严格的传动比。

(2) 液压传动由于存在机械摩擦损失、液体的压力损失和泄漏损失,而且需要经过两次能量形式的转换,因此系统效率较低,不宜作远距离传动。

(3) 液压油对温度的变化较敏感,它直接影响液压系统的工作稳定性,因此液压传动不宜在很高或很低的温度下工作。

(4) 液压传动出现故障的原因较复杂,而且查找困难。

(5) 为了减少泄漏,液压元件在制造精度上的要求较高,因此它的制造成本较高,且对油液的污染比较敏感。

三、液压传动的应用和发展

液压传动相对于机械传动来说,是一门新兴的技术。如果从 1795 年英国制成第一台水压机算起,液压传动已有 200 多年历史,但其真正的发展是在第二次世界大战后的 50 多年内。机床上采用液压传动最早还是 19 世纪末德国制造的液压龙

门刨床和美国制造的液压六角车床、液压磨床,由于当时缺乏成熟的液压元件,因而液压传动没有得到普遍的推广和应用,到20世纪30年代一些通用机床才正式采用液压传动,但数量不多。在第二次世界大战期间,由于军事工业需要反应快、动作准确的自动控制装置,因而促进了液压技术的发展。从战后到50年代,液压技术很快转入民用工业,在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业得到推广使用。特别是60年代以来,随着原子能科学、空间技术、电子技术的发展,不断对液压技术提出新的要求,液压技术得到了很大的发展,并渗透到了各个工业领域。目前液压技术正向高压、高速、高效率、大流量、大功率、低噪声、低能耗、经久耐用,高度集成化和小型化、轻型化方向发展。研究新型液压元件和工作介质,控制污染,电子技术和液压技术的紧密结合,开发控制性能优越、可靠性高的电液转换元件等都是目前液压技术发展的重要方向。

我国的液压工业始于20世纪50年代初,虽然起步较晚,但发展很快,现已初步形成了具有一定独立开发设计能力,能生产一批技术先进、质量较好的液压元件和系统,产品品种比较齐全,具有一定技术水平和相当规模的液压工业体系。随着科学技术的迅猛发展,可以预见,液压技术定将获得更进一步的发展,它在各个工业部门的应用也将更加广泛。

本章小结

(1) 液压传动是以液体为工作介质,利用压力能来驱动执行机构的传动方式。液压传动的过程就是机械能—液压能—机械能的能量转换过程。

(2) 液压传动系统由五部分组成:动力装置、执行装置、控制装置、辅助装置、工作介质。

(3) 液压传动的优缺点。

习 题

1-1 液压传动系统由哪几部分组成?试说明各部分的作用。

1-2 液压传动与其他传动方式相比具有哪些优缺点?

1-3 绘制液压系统图时,为何采用图形符号来绘制?

第二章 液压传动基础知识

液压传动是以液体作为工作介质来进行能量转换、控制和传递的。因此为了更好地理解和掌握液压传动原理,正确使用和设计液压系统,有必要了解液体的基本性质、掌握液体平衡和运动的规律,即液压流体力学的基础知识。

第一节 液 压 油

液压传动所用的工作介质一般为矿物油,通常称为液压油。

一、液压油的主要性质

(一) 密度

单位体积内液体的质量称为液体的密度,用 ρ 表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中, m 为液体质量(kg); V 为液体体积(m^3)。

液压油的密度随压力的增加而加大,随温度的升高而减小。由于液压系统中压力和油温变化不大,因而密度变化很小,所以可近似地视为常数。一般在计算时,常取 15°C 时的液压油密度 $\rho=900\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(二) 可压缩性

液体受压力作用而使其体积减小的性质称为液体的可压缩性。对于液压系统用的矿物油,在一般使用温度和压力范围内,其体积变化很小,可认为油液是不可压缩的。但是,若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,故在液压系统中应采取措施尽量减少油液中空气的含量。

(三) 黏性

1. 黏性的意义

液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力阻碍分子间的相对运动而产生内摩擦力的性质称为黏性。液体只有在流动时才呈现黏性,静止液体不呈现黏性。黏性大的液体看上去“稠”,黏性小的液体看上去“稀”。

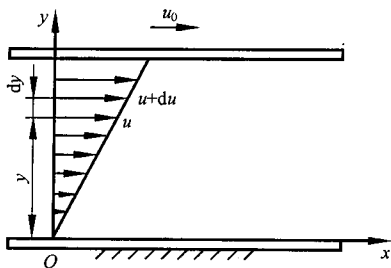


图 2-1 液体黏性示意图

2. 牛顿内摩擦定律

如图 2-1 所示, 设两平行平板间充满液体, 下平板固定, 上平板以速度 u_0 向右平移。由于液体和固体壁面的附着力及液体的黏性, 会使流动液体内部各液层的速度大小不等: 紧贴下平板的液层速度为零, 紧贴上平板的液层速度为 u_0 , 而中间各层液体的速度则从上到下近似呈线性递减的

规律分布。实验测定表明, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F_f 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成正比, 即

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

式中, μ 为比例系数, 又称为黏性系数或动力黏度。

若以 τ 表示液层间的切应力, 即单位面积上的内摩擦力, 则式(2-2)可表示为

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

式(2-3)即为牛顿内摩擦定律。由此可知, 在静止液体中, 因速度梯度 $du/dy=0$, 故内摩擦力为零, 所以液体在静止状态下是不呈现黏性的。

3. 黏度

液体黏性的大小用黏度来表示。常用的黏度有三种, 即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

(1) 动力黏度 μ 。动力黏度又称为绝对黏度。它是表征流动液体内摩擦力大小的黏性系数。即

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

在 SI 制中, 动力黏度的单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒) 或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ (牛·秒/米²)。

(2) 运动黏度 ν 。液体动力黏度和密度的比值称为运动黏度。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-5)$$

在 SI 制中, 运动黏度的单位是 m^2/s (米²/秒)。因其中只有长度和时间的量纲, 所以称为运动黏度。在工程中常用它来标志液体的黏度。液压油的牌号(黏度等级), 就是采用它在 40°C 时运动黏度(单位为 mm^2/s) 的平均值来标号的。如 L-HM32 液压油就是指这种液压油在 40°C 时运动黏度的平均值为 $32\text{mm}^2/\text{s}$ 。

(3) 相对黏度。它是采用特定的黏度计在规定的条件下测量出来的黏度, 故又称为条件黏度。根据测量条件不同, 各国采用的相对黏度单位也不同。如恩氏黏度 $^\circ\text{E}$ (中国及欧洲一些国家)、国际赛氏秒 SSU (美国)、商用雷氏秒 R (英国) 和巴氏度 $^\circ\text{B}$ (法国) 等。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定,其方法是:将 200ml 温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 的被测液体装入底部有直径为 2.8mm 小孔的黏度计容器内,测出液体经此小孔流尽所需的时间 t_1 ,再测出 200ml 温度为 20°C 的蒸馏水在同一黏度计流尽所需的时间 t_2 ,这两个时间的比值即为被测液体在温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时的恩氏黏度 $^{\circ}E_t$,即

$$^{\circ}E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-6)$$

恩氏黏度与运动黏度之间可用下面经验公式换算

$$\nu = \left(7.31^{\circ}E_t - \frac{6.31}{^{\circ}E_t} \right) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (2-7)$$

国际标准化组织 ISO 已规定统一采用运动黏度来表示油的黏度。

4. 影响黏度的因素

(1) 温度。温度对油液的黏度影响很大,当油液温度升高时,其黏度显著下降。油液黏度的变化直接影响液压系统的性能和泄漏量,因此希望黏度随温度的变化越小越好。不同的油液有不同的黏度变化关系,这种关系称为黏温特性。图 2-2 为几种国产典型液压油的黏温特性曲线。

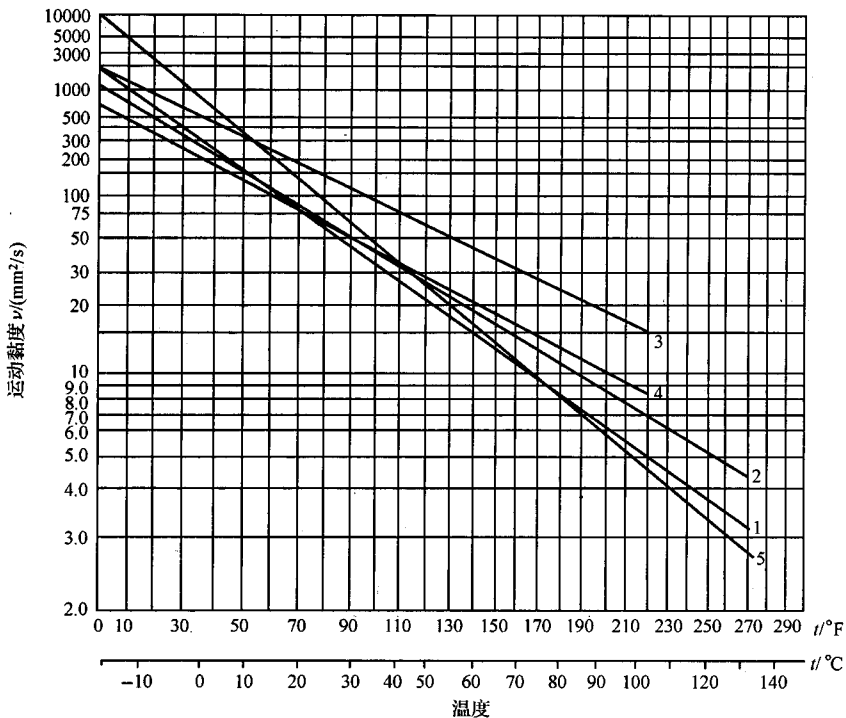


图 2-2 典型液压油的黏温特性曲线

1-石油型液压油 2-石油型高黏度指数液压油 3-抗燃型水包油乳化液
4-抗燃性水-乙二醇液 5-抗燃磷酸酯