

971261

TH137
2021

● 高等学校教学用书 ●

液压传动和液力传动

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

液压传动和液力传动

北京科技大学 毛信理 主编

冶金工业出版社

(京)新登字036号

高等学校教学用书

液压传动和液力传动

北京科技大学 毛信理 主编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街美视院北巷33号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 17 字数 403 千字

1993年 10 月第一版 1993年 10 月第一次印刷

印数1~，4500册

ISBN 7-5024-1249-2

TH·168 (课) 定价8.00元

前 言

本书是根据1991~1995年冶金、有色高等院校教材出版规划编写的，作为大学本科矿业机械、工程机械以及相近专业《液压传动和液力传动》课程的教材，参考教学时数为70学时。使用时可根据教学计划学时的不同，对本书内容进行取舍，或将部分内容留作学生自学。

参加本书编写的有(以编写章节先后为序)：北京科技大学毛信理(绪言、1、3、7、8章、9.1、9.2节)、毛纪陵(2、5章)，中南工业大学郭淑娟(4、6章、9.3节)，东北大学陈付荣(10、11、12章)。全书由毛信理任主编。

本书初稿经西安冶金建筑学院秦春魁副教授、武汉钢铁学院蒋桂堂高级工程师和沈阳黄金学院忻尚正教授审阅并提出了不少宝贵意见，中南工业大学肖绍芳副教授参加了编写大纲的制订工作。在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促以及限于编者水平，书中不妥和错误之处在所难免，敬请读者不吝赐教。

编 者

一九九三年二月

EAC 33/09

目 录

绪言	1
I 液压篇	3
1 液压传动概述	3
1.1 液压传动的基本概念	3
1.2 液压传动的优缺点及其应用	7
1.3 液压传动的工作介质	9
2 液压泵和液压马达	13
2.1 概述	13
2.2 齿轮泵和齿轮马达	19
2.3 叶片泵和叶片马达	28
2.4 轴向柱塞泵和轴向柱塞马达	35
2.5 低速大扭矩马达	46
2.6 液压泵和液压马达的选型及使用	48
3 液压缸	54
3.1 液压缸的结构和性能参数计算	54
3.2 液压缸的设计和计算	60
3.3 液压缸的计算机辅助设计	70
4 液压控制阀	73
4.1 概述	73
4.2 方向控制阀	73
4.3 压力控制阀	83
4.4 流量控制阀	93
4.5 比例阀和插装阀	98
4.6 液压控制阀的选型	104
5 液压辅助装置	108
5.1 密封件	108
5.2 滤油器	112
5.3 蓄能器	116
5.4 油箱	119
5.5 管路和管接头	121
5.6 冷却器	123
6 液压基本回路	127
6.1 压力控制回路	127
6.2 速度控制回路	132
6.3 方向控制回路	144
7 典型液压系统	148
7.1 液压系统的分类	148

7.2 组合机床液压系统.....	151
7.3 全液压挖掘机液压系统.....	153
7.4 液压凿岩机液压系统.....	156
7.5 钻机液压系统.....	158
8 液压系统的设计计算和使用.....	164
8.1 液压系统的设计计算.....	164
8.2 液压系统计算举例.....	170
8.3 液压系统计算机辅助设计概述.....	175
8.4 液压传动系统的安装、使用和维护.....	178
9 液压伺服控制系统简介.....	182
9.1 概述.....	182
9.2 伺服阀.....	186
9.3 液压伺服控制系统应用举例——液压力转向装置.....	190
I 液力篇	194
10 液力传动基础.....	194
10.1 液力传动概述.....	194
10.2 液力传动的理论.....	197
11 液力变矩器.....	206
11.1 液力变矩器的工作原理.....	206
11.2 液力变矩器的基本特性.....	209
11.3 液力变矩器的各种特性曲线及其评价参数.....	215
11.4 液力变矩器分类和结构型式.....	220
11.5 液力变矩器与发动机的共同工作.....	229
11.6 液力变矩器的尺寸选择.....	235
12 液力偶合器.....	246
12.1 液力偶合器的工作原理.....	246
12.2 液力偶合器的特性.....	247
12.3 液力偶合器的类型、结构和用途.....	252
12.4 液力偶合器与发动机的共同工作.....	259
12.5 液力偶合器的选择.....	260
习题答案	263
参考文献	264

绪 言

液压传动和液力传动是流体传动的两个重要分支。它们在人类的生产活动中发挥着愈来愈大的作用。

1650年，帕斯卡提出了著名的静止液体中的压力传播规律——帕斯卡原理。1687年，牛顿揭示了粘性液体的内摩擦定律。18世纪，又相继建立了反映流体运动能量守恒的柏努利方程、理想流体的运动微分方程、连续性方程和动量矩方程。这些理论成就为液压传动和液力传动技术的发展奠定了理论基础。

1795年，世界上第一台水压机在英国诞生，标志着液压传动步入了工程应用的阶段。液力传动的工程应用要比液压传动晚，1902年，德国的费丁格尔首先研制出世界上第一台液力变矩器，并于1908年将其应用于工业生产。“人类社会生产力和整个社会的发展总是波浪式地前进的”，液压传动和液力传动技术的发展过程也是这样，从它们的诞生到第二次世界大战前这一阶段，由于当时生产力的发展水平较低，再加受机械制造技术水平的限制，致使它们的应用发展缓慢。可以说，这是液压传动和液力传动技术的一个蕴育时期。到了第二次世界大战期间，由于军事工业和装备的需要，促使液压传动和液力传动技术的应用得到了较大幅度的发展。不仅如此，实践的需要进一步推动了理论研究工作，反应速度快、控制精度高的电液伺服控制系统也随之出现。由此，液压传动和液力传动技术迈出了应用的坚实一步。进入本世纪50年代，工业生产向大型、自动化方向发展，液压传动由于具有控制反应速度快、重量轻、尺寸小及可无级调速等突出优点，它的应用已遍及国民经济的各个部门，成为机械行业中发展速度最快的技术之一。特别是近年来液压技术与微电子、计算机技术相结合，使液压传动技术进入了一个崭新的发展时期。液力传动由于其具有对负载的自动适应性，能够实现无级调速和有良好的起动性等特点，也已广泛应用于矿山、冶金、交通运输和国防等部门。液压传动和液力传动技术促进了国民经济各部门的重大技术改革，它们在为实现生产过程自动化，提高劳动生产率，改善劳动条件以及减轻劳动强度等方面，起着重要的作用。

我国的液压和液力工业主要是在新中国建国初期开始起步，以后逐渐发展起来的。以液压工业为例，50年代，液压工业主要附属于机床制造业、工程机械制造业和农业机械制造业等主机行业，生产以为本厂产品配套用为主的液压件，产量较少。60年代，建立了一批液压件专业厂，逐步形成了比较完整的液压工业体系。近十多年来，液压工业又有较大发展，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，产品门类比较齐全，具有一定技术水平和相当规模的液压工业体系。在科研方面，我国的液压科技工作者进行了不懈的努力，取得了不少重大成果。如路甬祥教授在电液比例控制技术方面的研究成果令世人注目；为了降低能耗、提高效率，开发了如能量回收法，负载压力、流量和功率匹配法，以及微机对液压系统进行自适应控制等一大批新技术；随着液压传动向高压、高速和大流量方向发展，降低液压系统噪声是一个迫切需要解决的问题，不少单位在这方面做了大量的研究工作；为了提高液压产品的可靠性，开展

了诸如元件的强化快速寿命试验、元件污染允许度、系统故障诊断以及可靠性预测等一系列新技术的研究；液压技术的计算机辅助设计、计算机辅助测试和计算机控制等高新技术也不断得到开发、推广和应用。可以预期，随着国民经济的飞速发展，将促进液压传动和液力传动技术得到更为广泛的应用。

液压传动和液力传动是矿业机械专业、工程机械专业以及相近专业的一门技术基础课。由于液压传动和液力传动在国民经济各部门的日益广泛应用，对于机械工程技术人员来说，掌握液压传动和液力传动的基本知识是十分必要的。

对于非流体传动与控制专业学生来说，要求通过本门课程的学习，使之能正确使用液压设备和液力设备；在研制新产品时，使之对元件能够正确选型，对液压系统和少数液压元件（如液压缸）具有设计的基础能力。根据这一教学要求，本书液压传动部分重点介绍常用液压元件的结构原理和特性，液压基本回路，液压系统和液压缸设计方法以及有关使用维护的基本知识。为了扩大视野，对于液压伺服控制系统以及液压元件和系统计算机辅助设计也作了概略介绍。液力传动部分重点介绍液力变矩器的结构、工作原理、工作特性以及选择计算方法。

I 液 压 篇

1 液压传动概述

1.1 液压传动的基本概念

一台完整的机器通常有三大组成部分，即原动机、传动装置和工作机构。原动机是机器的动力源，工作机构用来完成所要求的动作，传动装置的作用是传递能量和进行控制。目前广泛使用的传动装置主要有这样五种：机械传动、电力传动、气体传动、液体传动和上述传动的组合传动——复合传动。

液体传动是用液体作为工作介质进行能量传递和控制的一种传动方式。液体传动按其工作原理的不同，又可分为液压传动和液力传动两种不同的类型。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量和进行控制的一种液体传动，又称静力式液体传动或容积式液体传动；液力传动则是利用液体的动能来传递能量的一种液体传动，又称动力式液体传动或透平式液体传动。

1.1.1 液压传动的工作原理

液压传动的理论基础是帕斯卡原理。根据帕斯卡原理，这种传动借助于处在密封容积内的液体可以将压力由一处传递到另一处，实现能量或动力的传递。

下面以图1-1所示液压千斤顶为例，说明液压传动的基本工作原理。液压千斤顶由手动泵1、排油单向阀2、进油单向阀3、油箱4、旁通阀5和液压缸6等元件组成。由手动泵1到液压缸6构成一个密封的连通容积。液压千斤顶举起重物的过程，就是手动泵不断将压

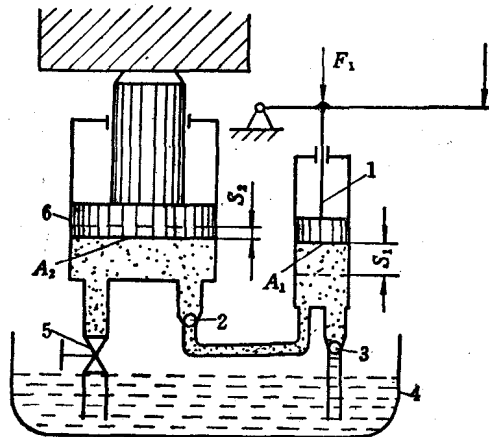


图 1-1 液压千斤顶原理图

1—手动泵；2—排油单向阀；3—进油单向阀；4—油箱；5—旁通阀；6—液压缸

力油压向液压缸的过程。当掀动手柄杠杆时，手动泵1的活塞作上下往复运动。活塞向

上提时，泵腔容积增大形成真空，而油箱4中的油液在大气压力的作用下，压力高于泵腔中油液的压力，于是油箱中的油液顶开进油单向阀3进到泵腔内，此时排油单向阀2处于关闭状态。活塞向下压时，泵腔内的油液受到挤压，压力升高，进油单向阀3随之关闭，于是泵腔构成密封容积。当压力升高到液压缸活塞所受液压作用力足以举起重物时，泵腔内的油液就顶开排油单向阀2，进入液压缸6。由于此时旁通阀5处于关闭位置，油液从手动泵1进至液压缸6，迫使液压缸6的活塞连同其上的重物一起上升。这样不断掀动手柄杠杆，就可将重物慢慢举升一定高度。当要下落液压缸6的活塞时，只要打开旁通阀5，使液压缸内的油液与油箱连通而泄压，油液排往油箱的同时活塞下落。液压千斤顶就是最为简单的液压传动系统。

从上述液压千斤顶的工作过程，可以看出液压传动具有两个主要工作特征。

第一个工作特征 力（或者力矩）的传递靠“液体压力”来实现，而液体压力的大小又取决于负载。

设手动泵活塞面积和液压缸活塞面积分别为 A_1 和 A_2 ，在液压缸活塞上有负载 F_2 。如果在手动泵活塞上加力 F_1 而举起负载 F_2 ，则在手动泵中液体的压力为

$$p = \frac{F_1}{A_1} \quad (1-1)$$

这时，作用在液压缸活塞上的推力为

$$F_2 = p A_2 \quad (1-2)$$

由式1-2不难看出，在 A_2 一定的条件下，负载愈大，举起负载所需的液体压力愈大；反之，负载较小，所需的液体压力亦较小。这就说明液体压力是由负载决定的。这是确定液压系统工作压力的根本原则。

第二个工作特征 运动速度（或者转速）的传递靠液体“容积变化相等”的原则进行。

如果忽略液体的压缩性，并认为活塞与缸体之间无泄漏，若手动泵活塞在 t 时间内向下移动的距离为 S_1 ，则手动泵中相应排出的液体容积为 $A_1 S_1$ 。根据容积变化相等原则，液压缸活塞对应地上升距离为

$$S_2 = S_1 \frac{A_1}{A_2} \quad (1-3)$$

将上式两端同时除以时间 t ，可得

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} \quad (1-4)$$

式中 v_1 ——手动泵活塞的移动速度；

v_2 ——液压缸活塞的移动速度。

若以 Q 表示流量，因 $v_1 A_1 = v_2 A_2 = Q$ ，则

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} \quad (1-5)$$

由式1-5可以看出，当液压缸活塞面积一定时，活塞移动的速度仅决定于流量，而与负载无关。这是确定液压系统工作机构运动速度的根本原则。

1.1.2 液压系统的组成及图形符号

1.1.2.1 液压系统的组成

一个完整的液压系统，比液压千斤顶要复杂得多。液压系统要能正常工作，一般都包括五个组成部分：

(1) 动力元件 即液压泵，其作用是将原动机输出的机械能转换成液压能，并向液压系统供给压力油。

(2) 控制元件 包括压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等，其作用是控制液压系统的压力、流量和液流方向，以保证执行元件能够得到所要求的力（或扭矩）、速度（或转速）和运动方向（或旋转方向）。

(3) 执行元件 包括液压缸和液压马达，前者实现往复运动，后者实现旋转运动，其作用是将液压能转换为机械能，输出到工作机构上去。

(4) 辅助元件 包括油箱、油管、管接头、滤油器以及各种仪表等。这些元件也是液压系统所必不可少的。

(5) 工作介质 油液或水基液压液，用以传递能量。

图1-2所示为举升机构液压系统结构式原理图。举升机构是液压起重机、液压挖掘

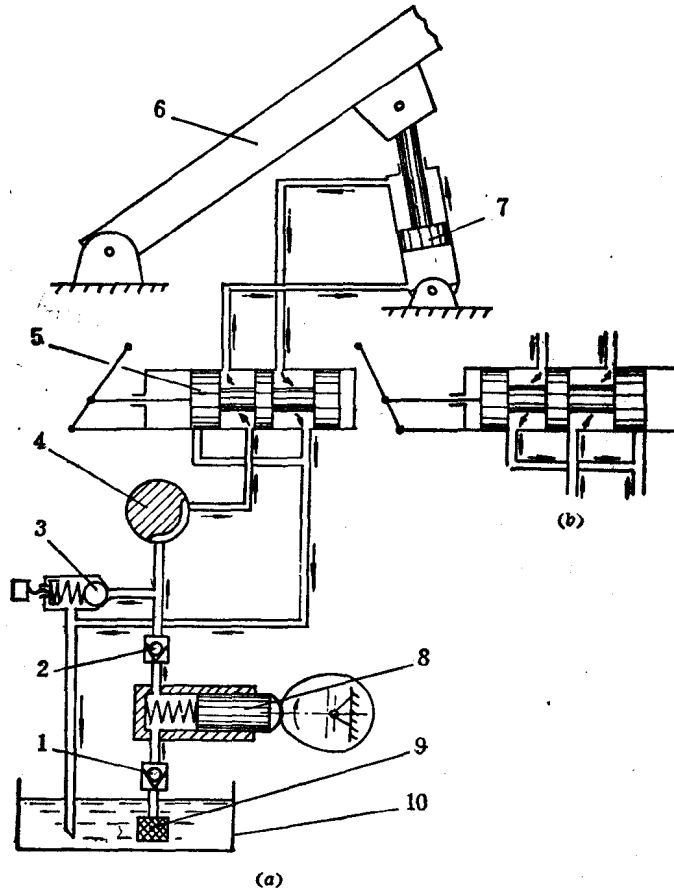


图 1-2 液压举升机构结构式原理图

(a) 系统原理图；(b) 换向阀

- 1、2—单向阀；3—溢流阀；4—节流阀；5—换向阀；6—工作机构；7—液压缸；
8—液压泵；9—滤油器；10—油箱

机、液压装载机以及液压推土机等机械所必需的工作机构。下面说明一下它的工作原理。

原动机带动液压泵8从油箱10经单向阀1吸油，并将有压力的油液经单向阀2排至管路。由液压泵输出的压力油，就是推动举升机构升降的动力。

压力油沿管路经过节流阀4、换向阀5，进入液压缸7。当换向阀处于图1-2a所示位置时，压力油经过阀芯左边的环槽，经管路进入液压缸7的下腔。液压缸7的缸体被铰接在机座上，在压力油的推动下，活塞向上运动，通过活塞杆带动工作机构6产生举升运动。同时，液压缸7上腔中的油液被排出，经管路、换向阀阀芯右边的环槽和管路流回油箱。

为了能使举升机构按要求工作，必须对它进行控制：其一控制运动的方向，既能举升又能降落，由换向阀5来完成这一任务；其二控制举升的速度，由节流阀4来承担这一任务；其三控制液压泵输出的油液的压力，由溢流阀来实现这一任务。

换向阀处于图1-2a所示位置时，举升机构进行举升运动。如果扳动换向阀手柄使换向阀的阀芯移到左边位置，如图1-2b所示，压力油就通过阀芯右边的环槽经管路进入液压缸的上腔，使举升机构降落。同时，从液压缸下腔排出的油液，经阀芯左边的环槽流回油箱。

液压泵输出的压力油流经单向阀2后分为两路：一路通向溢流阀3，另一路通向节流阀4。改变节流阀4的开口大小，就能改变通过节流阀的油液流量，以控制举升速度。而从定量液压泵输出的油液除进到液压缸外，其余部分通过溢流阀3返回油箱。

这里的溢流阀3起着过载安全保护和配合节流阀改变进到液压缸的油液流量的双重作用。当溢流阀3中的钢球在弹簧力的作用下将阀口堵住时，压力油不能通过溢流阀3。如果油液的压力增高到使作用在钢球上的液压作用力能够克服弹簧的作用力而将钢球顶开时，压力油就通过溢流阀3和管路直接流回油箱，油液的压力就不会继续升高。因此，只要调定溢流阀3中弹簧的压紧力大小，就可改变压力油顶开溢流阀钢球时压力的大小，这样也就控制了液压泵输出的油液的最高压力，使系统具有过载安全保护作用。通过改变节流阀4的开口大小而改变通过节流阀的油液流量，同时改变通过溢流阀3的分流油液流量，才有可能调节举升机构的运动速度。

图中9为网式滤油器，液压泵从油箱吸入的油液先经过滤油器，以滤清油液，保护系统。

1.1.2.2 液压系统图形符号

图1-2所示的液压系统原理图，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。结构式原理图近似于实物的剖面图，直观性强，比较容易理解。当液压系统出现故障时，根据原理图进行检查、分析也比较方便。但是，它反映不出元件的职能作用，要根据其结构进行分析才能了解其作用的情况，且图形比较复杂。特别是当系统中元件较多时，绘制更不方便。为了简化液压系统原理图的绘制，另有一种职能符号式液压系统原理图。在这种原理图中，各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，并不表示元件的具体结构。这对专利元件还具有保密性。我国制定的液压系统图形符号标准（GB786—76）就是采用职能式符号。国际上亦都采用这种符号。同一元件，各国表示的符号可能不完全相同，但基本上大同小异。掌握了我国的符号标准后，再看其他各国的符号也就不难了（各国所用的液压图形符号，请参阅《机械设计手册》）。

图1-2所示的液压系统原理图，用职能式符号表示就如图1-3所示。

我国制订的液压系统图形符号标准 (GB786—76) 中规定, 符号都以元件的静止位置或零位置表示。所以在图1-3中, 换向阀5处于中间位置。换向阀的压力油口, 通液

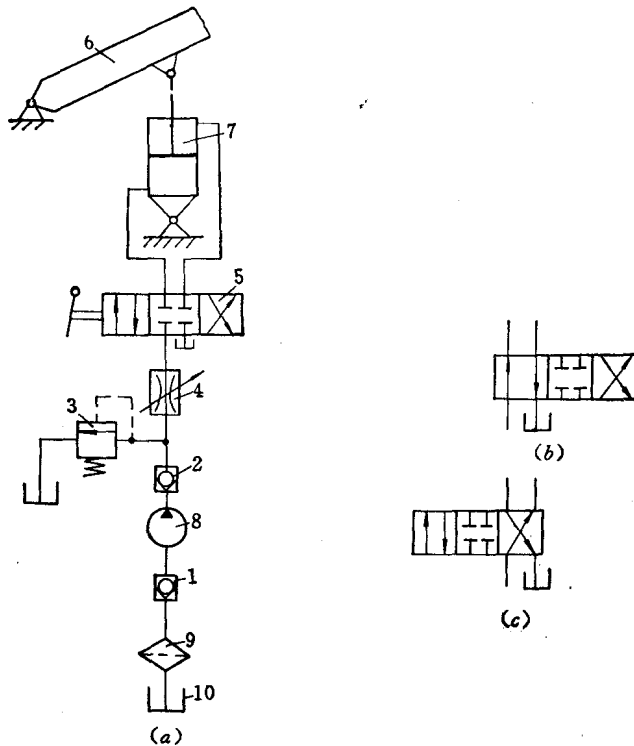


图 1-3 用职能符号表示的液压系统原理图

(a)系统原理图; (b)、(c)换向阀

1、2—单向阀; 3—溢流阀; 4—节流阀; 5—换向阀; 6—工作机构; 7—液压缸;
8—液压泵; 9—滤油器; 10—油箱

压缸的两个油口, 以及回油口, 均被阀芯堵住。这时液压泵输出的油液全部通过溢流阀3流回油箱, 工作机构6不动。如操纵手柄将换向阀5阀芯向右推, 油路连通情况就如图1-3b所示。这时液压缸7下腔通压力油, 上腔通油箱, 液压缸活塞带动工作机构向上举升。如将换向阀5阀芯向左推, 油路就如图1-3c所示, 工作机构向下降落。溢流阀3上的虚线代表控制油路。控制油路中油液的压力即为液压泵的输出油压, 当该压力油的作用力能够克服弹簧力时, 即下压溢流阀的阀芯, 使液压泵出口与回油管构成通路, 产生溢流作用。

1.2 液压传动的优缺点及其应用

液压传动与其它几种传动型式相比较, 主要有如下的优缺点。

优点:

(1) 体积小, 重量轻, 结构紧凑 因为液压泵和液压缸(或液压马达)均可采用很高的工作压力(一般已可达32MPa)来进行能量传递和转换, 因此其体积重量比要比机械传动小得多。另外, 液压传动系统各元件间是用管道连接的, 其布局 and 安装有很大的灵活

性，因而能构成用其它传动难以组成的复杂传动系统。这一特点对移动式机械来说尤为重要。

(2) 易于在大范围内实现无级调速 液压传动的传动比可达1000:1，且低速稳定性能好。因此，液压传动能实现低速大吨位（或低速大扭矩）运动。

(3) 响应快，动态特性好 由于液压元件的运动部分质量小，因此惯性亦小，故液压传动的动态响应比同功率等级的电力传动要高数倍乃至十几倍。例如液压缸的换向频率可达每分钟400~1000次，液压马达的换向频率可达每分钟500次。如使用电液伺服控制、仿形、调速等机构，可使执行元件的运动精确度达到很高程度，甚至以微米计。

(4) 操纵控制简便，便于实现自动化 可用多种方式（手动、电动、气动和液动等）操纵液压控制阀，方便地控制液压缸或液压马达的功率输出和改变运动方向。特别是电液联动，既具有液压传动输出功率适应范围大的优点，又具有电子技术控制方便、灵活等特点，易于实现复杂的自动工作循环。

(5) 易于实现过载自动保护 通过溢流阀、安全阀等元件对系统工作压力进行监控，能实现对机械设备的保护。

(6) 具有自润滑和吸振性能 因为液压传动的工作介质本身就是润滑油，液压元件中的运动零件均在油液内工作；同时油液具有吸收振动的作用。

(7) 易于标准化、大批量生产 液压元件标准化程度高，便于集中大批量生产，从而可提高生产率，提高产品质量和降低成本。

缺点：

(1) 介质泄漏 由于液压元件在相对运动表面间存在间隙，不可避免地会有泄漏。系统的内泄漏会造成工作机构的运动速度下降，运动不稳定，传动效率降低；系统的外泄漏会污染环境和造成液压油的浪费。

(2) 介质的净化要求高 液压元件制造精度比较高，运动件间配合间隙小，工作介质中存在的微小颗粒常可引起系统故障。因此，在设计和使用系统时，要特别注意介质的净化问题。这往往是系统能否正常可靠工作的关键所在。

(3) 系统性能易受温度影响 温度变化时，油液的粘度也跟着变化，从而会影响液流的流动状态，影响工作机构工作的稳定性。另外，在低温和高温条件下，采用液压传动有一定困难。

(4) 介质存在可压缩性 油柱的刚度大约为相同尺寸的钢柱刚度的1/50。且实际使用中介质不可避免地要混入空气，实际刚度还要比这低2~3倍，甚至更多。这种低刚度容易导致系统的自激振动而产生噪声，并使低速运动不平稳。

(5) 不宜远距离传动 由于油液流动过程中压力损失较大，液压传动不宜远距离传动。

液压传动既有不少突出优点，也存在一些缺点。在设计选择传动型式时，应全面考虑、比较各种传动的利弊，最后确定是采用液压传动还是其它型式的传动，避免绝对化。

目前，液压传动在机床、航空器、矿山机械、工程机械、起重运输机械、冶金机械、锻压机械、船舶、轻工机械和农业机械等部门日益获得广泛应用。归纳起来，大致用于以下几个方面：

(1) 各种需要大作用力的冲、推、挖、压、剪和切等作业的工作装置。如液压凿岩

机的冲击器，飞机的起落架，液压挖掘机的工作机构，液压剪和液压切割机等。

(2) 各种举升、铲运作业的工作装置。如液压起重机和液压铲运机的工作机构。

(3) 无级变速行走装置。如全液压挖掘机和液压铲运机的行走装置。

(4) 高响应、高精度的控制装置。如高精度加工机床的定位系统，行走机械的全液压转向器，工业机器人的驱动及控制，金属板材压力加工的厚度控制，高性能振动台和试验机等等。

1.3 液压传动的工作介质

液压传动所采用的工作介质有石油型液压油、水基液压液和合成液压液三大类。石油型液压油是石油经炼制并加入适当的添加剂而成，其润滑性和化学稳定性（不易变质）好，是目前液压传动中最广泛采用的介质；水基液压液，其主要成分（95%）是水，具有价廉、抗燃及污染小等一系列优点，但目前尚存在一些问题未完全解决，未获大规模应用，合成液压液主要是为了适应某些特殊工况（如高温、低温、抗燃等）而生产的。下面仅讨论石油型液压油。

1.3.1 液压油的粘性和粘温特性

A 粘性

液体流动时，流层之间产生内摩擦阻力的性质称为液体的粘性。表示粘性大小的量称为粘度。常用的粘度有动力粘度、运动粘度和恩氏粘度三种。

动力粘度 μ 它是表征液体粘性的内摩擦系数，我国的法定计量单位是Pa·s（帕·秒）。

运动粘度 ν 它是液体动力粘度与液体密度之比，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-6)$$

式中 ρ ——液体的密度。

运动粘度的法定计量单位是 m^2/s （米²/秒）。目前还在使用的单位是St（斯）和cSt（厘斯）。

$$1\text{cSt}(\text{mm}^2/\text{s}) = 10^{-2}\text{St}(\text{cm}^2/\text{s}) = 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$$

过去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cSt数作为其标号（例如20号机械油在50℃时的平均运动粘度为20cSt）。新的标准中采用40℃时的平均运动粘度cSt数为其标号。

恩氏粘度用符号 $^{\circ}\text{E}$ 表示，它是一种相对粘度。恩氏粘度与运动粘度的换算关系如下：

$$\nu = \left(7.31^{\circ}\text{E} - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}} \right) \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s}) \quad (1-7)$$

我国主要采用运动粘度，ISO规定统一采用运动粘度。

B 粘温特性

液体粘度随温度而变的性质称为粘温特性。图1-4所示为几种国产油的粘温特性。

C 调合油的粘度

为了使油液具有所需要的粘度，可以采用调合油。调合油的粘度可用下述经验公式计

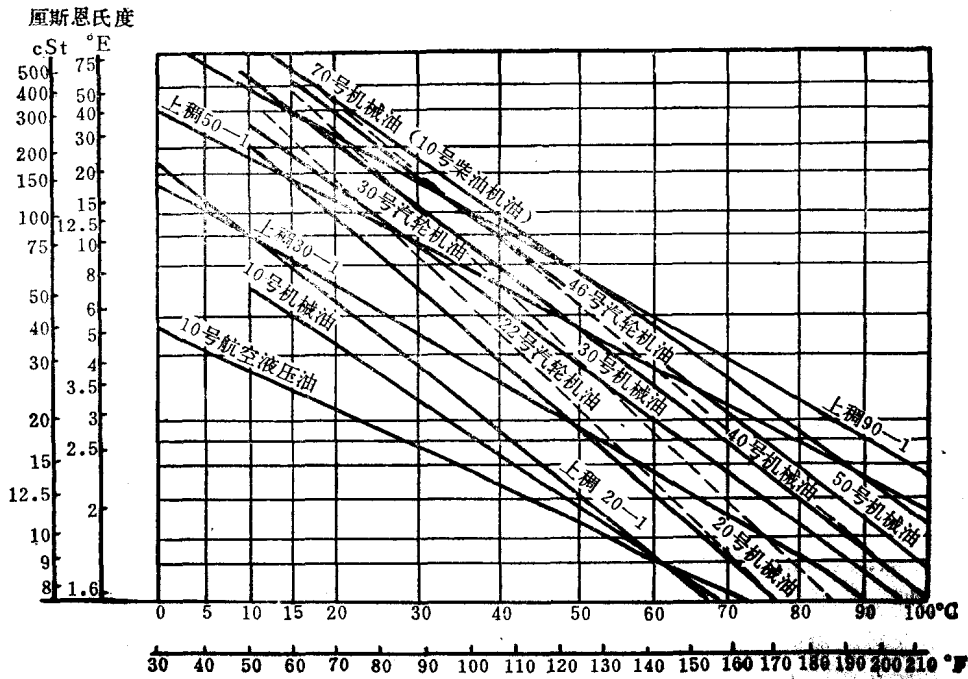


图 1-4 几种国产油的粘温特性

算。

$$^{\circ}E = \frac{a^{\circ}E_1 + b^{\circ}E_2 - c(^{\circ}E_1 - ^{\circ}E_2)}{100} \quad (1-8)$$

式中 $^{\circ}E_1$ 、 $^{\circ}E_2$ 、 $^{\circ}E$ ——分别为用以调合的两种油及调合后油的粘度，并且 $^{\circ}E_1 > ^{\circ}E_2$ ；

a 、 b ——分别为参加调合的两种油液各占的百分数， $a + b = 100$ ；

c ——实验系数，见表1-1。

表 1-1 调合油的系数 c

$a\%$	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

1.3.2 液压油的选用

为了保证液压传动系统正常工作，液压油应具有适当的粘度，良好的粘温特性和润滑性能，抗氧化，无腐蚀性，不易乳化，不破坏密封材料和有一定的消除泡沫能力。

目前市场上有以下几种油液可供选用：机械油、变压器油、汽轮机油、通用液压油（原名精密机床液压油及液压导轨油）、低温液压油（原名稠化油）、抗磨液压油以及抗燃液压油等。其中除机械油外，都含有各种改善多方面性能的添加剂。

选择液压油时，首先应根据液压泵的类型、工作温度、系统压力和液动机的运动速度等，确定适当的粘度范围，然后再选择合适的液压油品种。对于各种不同的液压泵，油的推荐粘度范围见表1-2。某些制造厂规定了元件和系统用油的粘度，有时还要求冬天和夏天使用粘度不同的油。

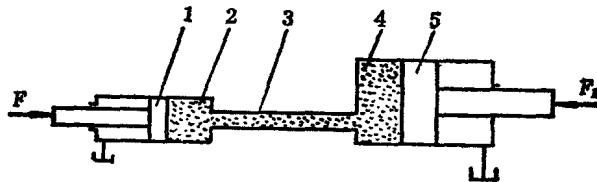
表 1-2 按液压泵类型推荐用油的粘度范围

名称	粘度范围(cSt)		工作压力 (MPa)	工作温度 (°C)	推荐用油
	允许	最佳			
叶片泵1200r/min	16~220	26~54	7	5~40 40~80	N32, N46机械油 N46, N68机械油
叶片泵1800r/min	20~220	25~54	14以上	5~40 40~80	YA-N32, YA-N46液压油 YA-N46, YA-N68液压油
齿轮泵	4~220	25~54	12.5以下	5~40 40~80	YA-N32, YA-N46液压油 YA-N46, YA-N68液压油
			10~20	5~40 40~80	YA-N46, YA-N68液压油 YB-N46, YB-N68抗磨液压油
			16~32	5~40 40~80	YB-N32, YB-N46抗磨液压油 YB-N46, YB-N68抗磨液压油
轴向柱塞泵	4~76	16~47	35以上	5~40 40~80	YB-N32, YB-N46抗磨液压油 YB-N68, YB-100抗磨液压油
径向柱塞泵	10~65	16~48	14~35	5~40 40~80	YB-N32, YB-N46抗磨液压油 YB-N46, YB-N68抗磨液压油

思考题和习题

1-1 图1-1所示液压千斤顶，如果手动泵1的活塞与缸体间有较大间隙，掀动手柄杠杆能否使液压缸举起重物？为什么？

1-2 题1-2图是两个水平放置的液压缸，活塞5用以推动一个工作台，工作台上运动阻力为 F_R 。活塞1上施加作用力 F 。液压缸2的缸径为20mm，而液压缸4的缸径为50mm。 F_R 为1960N。在以下几种情况下，计算密封容积中液体压力并分析两活塞的运动。



题1-2图

1、5—活塞；2、4—液压缸；3—管路

- (1) 当活塞1上作用力 F 为314N；
- (2) 当活塞1上作用力 F 为157N；