

高等学校试用教材

# 液压传动与气压传动

合肥工业大学李慕洁 主编

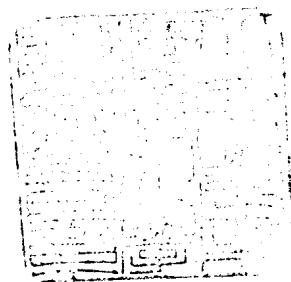
机械工业出版社

7

高等学校试用教材

# 液压传动与气压传动

合肥工业大学李慕洁 主编



机械工业出版社

本书分两篇：第一篇“液压传动”共八章。系统介绍液压传动的基本知识；常用液压元件的工作原理、结构特点和性能分析。在阐述各种基本回路之后，结合铸造设备实例介绍了液压系统图的阅读和液压系统的设计计算，并适当介绍了液压伺服系统的基本知识。第二篇“气压传动”共六章。除简明介绍了一般气压传动的知识和气压元件的特性外，特别着重介绍了气动逻辑元件、射流元件和气控程序系统设计的几种先进设计方法。本书主要是作为工科院校四年制铸造专业的技术基础教材，也可供其它有关工程技术人员参考。

### 液压传动与气压传动

合肥工业大学李慕洁 主编

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

金堂县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本787×1092 1/16·印张17.5·字数431千字

1980年7月北京第一版·1983年4月成都第四次印刷

印数 31,801—38,800·定价1.80元

\*

统一书号：15033·4846

## 前 言

本书是根据1978年一机部对口专业天津座谈会制定的铸造专业教学计划和同年6月长沙铸造专业教材编审会制定的《液压传动与气压传动》教学大纲进行编写的。在编写过程中，始终注意到贯彻少而精、加强基础理论和从最先进内容讲起的原则。

本书分“液压传动”和“气压传动”两篇。“液压传动”篇联系铸造设备实际，系统地介绍了液压传动的基本知识，常用液压元件的工作原理、结构特点及性能分析，在阐述各种基本回路之后，经若干实例介绍了液压系统图的阅读和液压系统的设计计算，并适当介绍了液压伺服系统的基本知识。在“气压传动”篇中，除简明介绍了一般气压传动的知识和气压元件的特性外，特别着重地介绍了气动逻辑元件、射流元件和气控程序系统设计的几种先进设计方法，如：中继阀消除干扰设计法，逻辑线路设计法和分组供气法等。书中有关计量单位一律采用国际单位。但考虑到由现行习惯用法过渡的需要，在国际单位后面注明有相应的公制惯用单位。

本书由合肥工业大学李慕洁同志主编，哈尔滨工业大学任天庆、陈洪陞同志、合肥工业大学彭裕昌同志和武汉工学院方京同志协助编写，并由任天庆同志主审，任天庆同志编写部分由李慕洁同志主审。编写的具体分工是：方京同志写第一、二章，李慕洁和彭裕昌同志编写绪论、第三至第九章，陈洪陞同志写十、十二、十三章、任天庆同志写十一、十四章。

本书编写过程中，得到了一机部教材编辑室和有关单位的大力支持和协助，在此表示衷心感谢。

一九七九年十月

# 目 录

绪论.....	1
附表一 本书常用计量单位及其换算.....	3

## 第一篇 液压传动

第一章 液压传动的基本知识.....	4
§ 1-1 液压传动概述.....	4
§ 1-2 液压油.....	7
§ 1-3 液压系统中压力的形成.....	11
§ 1-4 液压冲击和空穴现象.....	13
第二章 油泵和油马达.....	18
§ 2-1 油泵概述.....	18
§ 2-2 齿轮泵.....	21
§ 2-3 叶片泵.....	24
§ 2-4 柱塞泵.....	32
§ 2-5 油马达.....	36
第三章 油缸.....	38
§ 3-1 油缸的分类.....	38
§ 3-2 铸造生产中的几种常用油缸.....	38
§ 3-3 推力油缸的设计计算.....	44
§ 3-4 油缸的缓冲.....	52
§ 3-5 油缸的排气装置和端盖联接形式.....	56
§ 3-6 油缸主要零件的材料和制造技术条件.....	58
§ 3-7 油缸的检验技术条件.....	59
第四章 液压阀.....	60
§ 4-1 概述.....	60
§ 4-2 压力控制阀.....	61
§ 4-3 流量控制阀.....	72
§ 4-4 方向控制阀.....	78
§ 4-5 液压随动控制基础.....	85
§ 4-6 电液比例控制阀.....	96
第五章 液压辅助装置.....	100
§ 5-1 蓄能器.....	100
§ 5-2 油箱.....	104
§ 5-3 密封装置.....	106
§ 5-4 其它辅助装置.....	110

第六章 液压基本回路 .....	113
§ 6-1 压力控制回路 .....	113
§ 6-2 速度控制回路 .....	118
§ 6-3 多缸工作回路 .....	126
§ 6-4 节省功率回路 .....	131
§ 6-5 安全回路 .....	132
第七章 液压传动系统的设计及液压系统实例 .....	134
§ 7-1 液压系统的设计步骤 .....	134
§ 7-2 液压系统的设计计算内容 .....	136
§ 7-3 液压系统设计计算举例 .....	139
§ 7-4 液压系统实例 .....	145
第八章 液压系统的调试和常见故障分析及排除 .....	155
§ 8-1 液压设备的调试 .....	155
§ 8-2 液压系统常见故障分析及排除 .....	156

## 第二篇 气压传动

概 述 .....	160
第九章 气缸 .....	161
§ 9-1 气缸的工作原理及分类 .....	161
§ 9-2 普通气缸的设计 .....	167
§ 9-3 标准化气缸 .....	172
第十章 气动阀 .....	176
§ 10-1 压力控制阀 .....	176
§ 10-2 流量控制阀 .....	182
§ 10-3 方向控制阀 .....	182
第十一章 气动逻辑元件及射流元件 .....	191
§ 11-1 气动逻辑元件 .....	191
§ 11-2 射流元件 .....	196
第十二章 气动辅助装置 .....	203
§ 12-1 气源净化装置 .....	203
§ 12-2 其它辅助装置 .....	207
§ 12-3 管网布置及用气量计算 .....	210
第十三章 气动基本回路及气动系统实例 .....	212
§ 13-1 气动基本回路 .....	212
§ 13-2 气动系统实例 .....	223
第十四章 气控程序系统及其设计 .....	230
§ 14-1 中继阀消除干扰设计法 .....	230
§ 14-2 逻辑线路设计法 .....	242
§ 14-3 程序控制回路的分组供气设计法 .....	268

# 绪 论

## 一、液压传动与气压传动的研究对象

液压传动与气压传动是研究以有压流体（压力油和压缩空气）为能源介质，来实现各种机械的传动和自动控制的学科。近二十年来，这门技术得到了迅速的发展和广泛应用，并已成为自动控制系统中的一个重要组成部份。

液压与气压传动在应用方面有着许多共同点。例如，它们都是利用各种元件（液压元件或气压元件）组成所需要的控制回路来进行能量的转换和自动控制。这些元件按其功能大致可分为：传动元件（如油泵、压气机）、执行元件（如油缸、油马达、气缸、气动马达）、控制元件（如压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀及逻辑元件等）、辅助元件（如蓄能器、过滤器、管道……）等。因此，要研究液压与气压传动及其控制，就需要首先了解组成系统的各类元件的结构、工作原理、工作性能及由这些元件所组成的各种基本控制回路的性能和特点，在这基础上才能进行液压与气压传动系统的设计及自动控制系统的设计。这就是本门课程的研究对象。

液压传动所用的工作介质为液压油，气压传动所用的工作介质为压缩空气。由于这两种流体的性质不同，因此，液压传动与气压传动又各有其特点。

液压传动有两种不同的类型，一种是利用液体的动能冲击工作机械，使之运转，称之为动力式液压传动；另一种是利用液体的压力使执行元件（油缸或油马达）的容积发生变化而做功，称为容积式液压传动。本书着重研究后者简称液压传动。液压传动具有传递动力大，运动平稳的特点。但也具有传递过程中阻力损失大，不宜作远距离控制。此外装置复杂，经济效果较差。

气压传动包括两个方面的内容：传动技术和控制技术，其中以控制技术占主要地位。由于空气具有可压缩的性能，且工作压力不能太高，一般在1 MPa（即10 kgf/cm<sup>2</sup>）以下，所以，气压传动的传动力不大，运动也不如液压传动平稳。但由于空气的粘性小，气体传递过程中阻力小，速度快和反应灵敏，因而气压传动可用于较远距离的传送及控制，且装置简单，价格便宜。为了综合利用液压传动与气压传动的优点，弥补相互的缺点，也可用压缩空气为动力，采用气—液联合传动，来获得较高压力和运动平稳的装置。

## 二、液压传动与气压传动的发展概况与发展趋势

### （一）发展概况

利用液压传动这种方式来做功是从1795年英国制成第一台水压机开始的，至今已有一百八十多年的历史了。但是，液压传动技术被各国普遍重视，并把它应用于各种工业部门，还只是近五十年左右的事。第二次世界大战以后，随着各种液压元件的迅速发展和液压元件性能日趋完善，液压传动开始得到较广泛的应用。特别是出现了精度高及快速响应的伺服阀和伺服控制系统以后，液压技术的应用就更为人们所重视，并得到蓬勃的发展。许多国家近二

十年来，液压元件的产值增长了几百倍，液压工业远比机械工业的发展速度快。

液压传动由于具有结构紧凑、传动力大、定位精确、运动平稳、能进行伺服控制等优点，因此，目前已广泛应用于机械工业，冶金工业，石油化工，工程建设，轻工机械，船舶，航空、军事、宇航等工业部门，并初步应用到海洋开发和预测地震等方面。此外，有些国家正把液压传动与电气传动结合，应用到工业机器人的制作中去，有些国家还把微型液压元件应用到生活中。

气动技术自六十年代以来也发展很快，其主要原因是由于气动技术作为一种工业自动化的廉价而有效的手段，引起了人们普遍的重视。许多国家已大量生产标准化的气动元件，在生产中广泛采用气动技术。目前，气动技术已发展成一个独立的技术领域。

近年来，国外对气动元件作了不少研究工作，出现了许多新型的气动元件和气动装置。如出现了一些结构新颖的气缸：带阀气缸、带行程开关的气缸、自润滑式气缸等。出现了一些新型的气源处理装置，如冷冻式空气干燥器、干燥剂式空气干燥器和一些新型的分油过滤器等。此外，控制元件也有不少改进，特别是近年来，生产自动化要求越来越高，越来越广泛，因此，大大促进了气动逻辑元件的发展和研究工作。

我国的液压与气动技术是在解放后才发展起来的，近十几年来得到了较迅速的发展，目前我国的液压与气动元件都已有完整的系列。许多工厂都先后制成了许多液压与气动的专用设备，建立了许多液压与气动的流水线，实现了机械和生产过程的自动和半自动控制，在改善劳动条件，减轻劳动强度、降低成品，提高产品的数量和质量方面起了很大的作用。但与国外液压与气动技术的发展速度及技术水平相比，我们还是比较缓慢和落后的，还远不能适应我国国民经济高速度发展的需要。

## (二) 发展趋势

随着世界各国现代技术的不断向前发展，对液压与气压元件的结构和性能提出了更高的要求。目前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、低噪音和长寿命。同时，各国液压系统的压力也一年比一年趋向高压化，这与各种机械要求动力大、反应快、小型轻量化及高效化有直接关系。然而，随着压力的提高而寿命显著下降，重量也有所增加。因此，从重量和寿命等方面考虑，将来合适的最高压力限度大致为30~40MPa (300~400kgf/cm<sup>2</sup>)。而目前阶段，作为经济压力应为14~17.5MPa (140~175kgf/cm<sup>2</sup>)。目前，许多国家正致力于提高各种液压元件的性能，降低元件的成本以及延长元件的使用寿命。目前，动力元件的发展趋势为高压、大功率、低噪音和长寿命。控制元件的发展趋势为集成化，芯子化，小型化，多功能和大流量。

为了提高液压元件的性能、改善液压元件和液压系统、一些主要液压元件生产国，今后准备在下列几个方面进行理论性研究：液压回路中的过渡特性；元件的噪音，振动和气蚀；液压油的难燃性、充气性、压缩性和污染；阀的稳定性，流量系数，液动力；元件的内外泄漏问题；提高元件的低温特性；提高元件的寿命；电子模拟计算机与电子数字计算机在电液自动控制系统的应用等。

和液压传动一样，随着工业生产自动化的要求越来越广泛，对气动元件的要求也越来越高。目前，气动控制元件的发展动向为：微型化、集成化，提高元件的可靠性及使用寿命，提高零部件的通用化程度及对元件采用密集安装方式等。



### 三、液压与气压传动和铸造生产的关系

气压传动由于具有传递和变换信号方便、反应快、构造简单、制造容易、安全可靠、可实现无级调速、特别是对工作环境要求不高、不受温度影响,不怕震动等特点。因此,早就广泛应用于铸造生产中,如捣固机、低压压实造型机、震击造型机、气动微震压实造型机等都是利用气动来进行的。目前国内外已有不少工厂采用气动元件组成的铸造生产流水线和自动线。有些铸造车间还在单机和生产线上成功的使用了射流控制。

自六十年代出现高压造型工艺以后,铸造生产中使用液压传动就越来越多,这是由于液压传动能较好地满足高压造型的工艺要求,如:传动力大,运动平稳,易于变换速度和方向,可实现无级调速等。因此,目前铸造生产中出现了各种类型使用液压传动的高压造型机,如:多触头高压造型机,水平分型和垂直分型的射挤压造型机等。此外,抛砂机抛头的运动,清理滚筒门的开闭,电炉炉盖的开闭及炉体的倾转,液压浇注机,浇注机械手、压铸机等都在不同程度上应用液压传动。

附表一 本书常用计量单位及其换算

物理量	符号	SI 单位制			习用单位		换算关系
		单位名称	国际代号	分数和倍数单位	单位	代号	
力	$F$	牛顿	N	kN, mN等	公斤力	kgf	1kgf = 10N(注)
面积	$A, S$	平方米	$m^2$	$cm^2, mm^2$ 等	米 <sup>2</sup>	$m^2$	
压力	$P$	帕斯卡	$Pa = N/m^2$	MPa, kPa等	公斤力/厘米 <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	1kgf/cm <sup>2</sup> = 10 <sup>5</sup> Pa = 100kPa = 0.1MPa
流量	$Q$	立方米每秒	$m^3/s$		升/分	l/min	1l/min = 1.66 × 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s
功率	$N$	瓦特	$W = J/s$	kW	千瓦	kW	1kW = 1000W
热量	$Q_h$	焦耳	J	MJ, kJ, mJ等	千卡	kcal	1kcal = 4186.8 J
传热系数	$K$	瓦特每平方米 米开尔文	$W/(m^2 \cdot K)$		千卡/米 <sup>2</sup> ·时·度	kcal/(m <sup>2</sup> ·hr·°C)	1kcal/(m <sup>2</sup> ·hr·°C) = 1.16W/(m <sup>2</sup> ·k)
运动粘度	$\nu$	平方米每秒	$m^2/s$		厘沲	cSt	1cSt = 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /S
力矩	$M$	牛顿米	$N \cdot m$	kN·m, μN·m等	公斤力·米	kgf·m	1kgf·m = 10N·m
弹性模量	$E$	牛顿每平方米	$N/m^2$		公斤力/米 <sup>2</sup>	kgf/m <sup>2</sup>	1kgf/m <sup>2</sup> = 10N/m <sup>2</sup>

注 实际换算应该是1kgf = 9.80665N, 本书为了简化起见, 一律采用近似换算, 即1kgf = 10N从这基本单位所导出的单位也与此类同, 如取1kgf/cm<sup>2</sup> = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup> = 10<sup>5</sup>Pa。

# 第一篇 液压传动

## 第一章 液压传动的基本知识

### §1-1 液压传动概述

#### 一、液压传动的工作原理及液压系统的组成

##### (一) 液压传动的工作原理

铸造机械使用液压传动的场合很多。不仅在单机上，而且在整条生产线上的所有设备都采用液压传动，实现生产过程的全部自动或半自动控制。如图1-1所示的系统，可视为简化过的铸型输送机步移缸的液压原理图。原动机（电动机，图中未示出）带动油泵3从油箱1内吸取油液，并将有压力的油输入管路。在图示状态，压力油首先经节流阀4、换向阀6的左环槽、油管9进入油缸8的左腔。因为活塞杆是固定的，压力油便推动油缸向左移动，驱动铸型输送机前进。与此同时，油缸右腔内的油经管路7、换向阀6的右环槽和管路5排回油箱1。

为了使输送机与生产线上其他设备协调动作，输送机的速度必须可以调节。节流阀4就是通过改变过流面积来改变油液进入油缸的流量，从而实现油缸调速的元件。在油缸推动铸型输送机走完一个节距之后，油缸需要返回以准备下一个循环，即运动部件需要改变运动方向。换向阀6就是通过改变阀芯在阀体内的位置而改变油路通道，进而实现油缸换向的元件。搬动手柄10，使阀芯移动到图1-1b)的位置，压力油就经阀6的右环槽和油管7进入油缸8的右腔，油缸向右移动（空载回程），油缸左腔内的油经油管9、换向阀6的左环槽和油管5排回油箱1，实现了油缸的换向。

油缸推动铸型输送机前进时，需要克服小车、砂箱、铸型、铸件、压铁等的重力产生的摩擦力，以及各种相对运动件之间的摩擦力（它们构成油缸的负载）。由于起动、制动、负载、空载等情况的不同，油缸的负载也是经常变化的。这些大小不同的负载都要由油泵输出的压力油来克服。因此，控制油泵输出油液最高压力的任务由溢流阀11来完成。只要调节溢流阀11中的弹簧压紧力，就能控制油泵的最高输油压力。

这种利用有压油液作为工作介质，借助于运动着的压力油来传递动力和运动的传动方式，称为液压传动。

##### (二) 液压系统的组成

经分析上述系统，可以看出任何一个简单而完整的液压系统，均由以下四个部分组成。

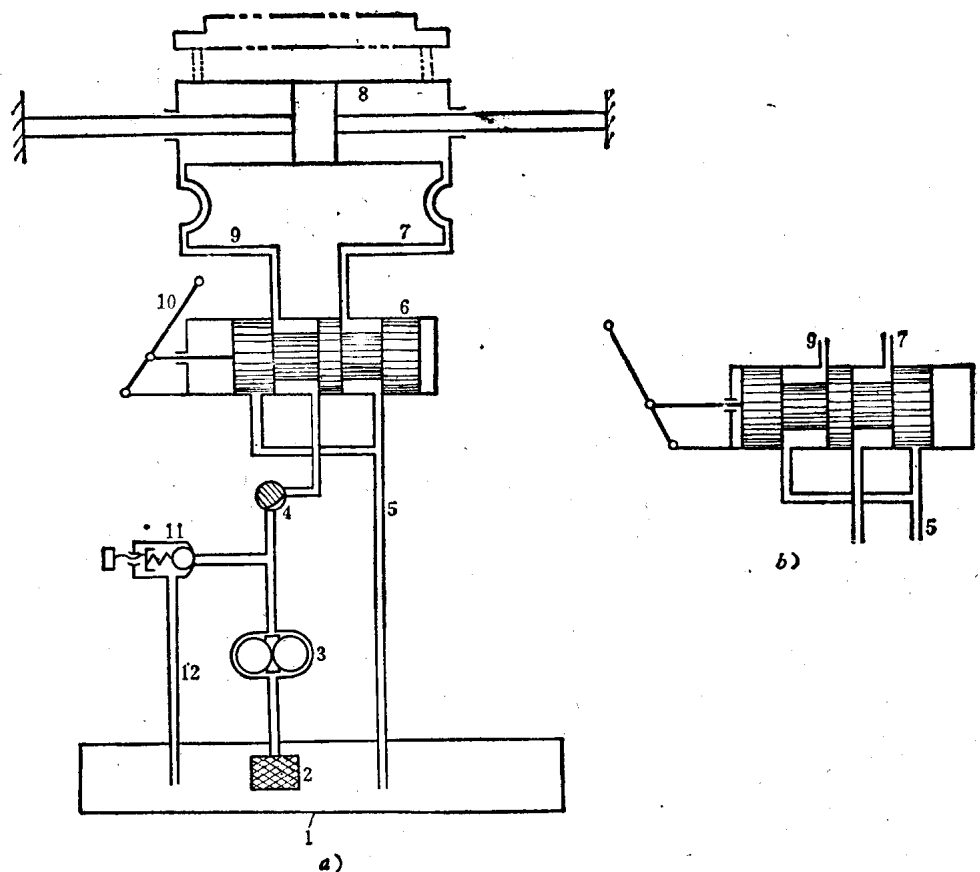


图1-1 简化的转型输送机液压传动原理图

1—油箱 2—滤网 3—油泵 4—节流阀 5—管路 6—换向阀 7、9—油管 8—油缸 10—手柄 11—溢流阀 12—油管

1.动力元件(油泵) 油泵的作用是向液压系统提供压力油,是系统的动力来源。从能量转换的角度看,它是将原动机(电动机)输出的机械能转变为油液压力能的能量转换装置。

2.执行元件(油缸或油马达) 它在压力油的推动下,完成对外做功,满足使用要求。从能量转换的角度看,它是将油液的压力能转变为对外做功的机械能的能量转换装置。

3.控制元件 如溢流阀(压力阀)、节流阀(流量阀)、换向阀(方向阀)等,分别控制系统的压力、流量和液流方向,以满足执行元件对力,速度和运动方向的要求。

4.辅助元件 如油箱、油管、管接头、滤油器、蓄能器等。油箱用以贮油和散热;油管用以连接各液压元件并传递能量;管接头用以连接油管与油管、油管与元件;滤油器用以清除油中污物,保证油液的清洁。蓄能器用以贮存液压能。只是从液压系统的工作原理来看,它们是起辅助作用,并不说明它们不重要。

上述各类元件,将在后续章节中陆续予以介绍。

## 二、液压系统的职能符号

在图1-1所示的液压系统中,各元件的图形基本上表示它们的结构原理的,称结构式原理图。它直观性强,容易理解,检查和判断系统的故障比较方便。但图形复杂,绘制不

便。为了简化液压原理图的绘制，世界各国多以职能符号来绘制液压原理图，即各种液压元件均用职能符号来表示。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和参数。我国国家标准（GB786-76）规定的液压系统图的图形符号就属于职能符号，与世界各国的表示方法大同小异。

图1-1所示的液压系统若用职能符号来表示，则如图1-2所示。图中元件的编号，与图1-1相同。

国家标准规定，图中各元件的符号均以静止状态（或零工位）表示，所以换向阀6处于中间工位。这时油缸静止不动。当经手柄10将换向阀6的阀芯推向右端位置时，油路的接通情况如图1-2b)所示，这时油管9通压力油，油管7通油箱，油缸向左移动；当阀芯被推向左端位置时，油路的接通情况如图1-2c)所示，实现油路换接，油缸运动换向。

国家标准还规定，在液压系统图中，工作油路（包括主压油路和主回油路）以标准实线表示，泄漏油路以细实线表示，控制油路以虚线表示。所以，溢流阀11中的虚线表示推开钢球的控制油路。

按照液流的循环方式不同，液压传动可分为开式传动和闭式传动两种型式。在开式传动系统中，油泵自油箱吸油，供给执行元件，低压油直接返回油箱。执行元件经换向阀变换运动方向。其特点是系统的结构简单，散热条件好，有利于油中杂质的沉淀和气体的析出。铸造设备上一般都采用开式循环系统。图1-2就是一个开式循环系统。在如图1-3所示的闭式循环系统中，油泵1的进油口直接与执行元件2（一般是油马达）的排油口连接，形成一个闭式回路。执行元件一般通过改变油泵的输油方向来实现换向。因此，在闭式循环系统中常用双向变量油泵。为了补偿系统的泄漏，一般要设一个辅助供油泵3。

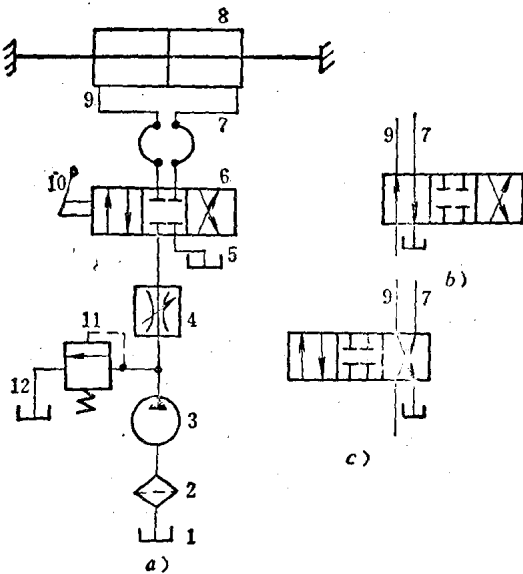


图1-2 用职能符号表示的液压系统图

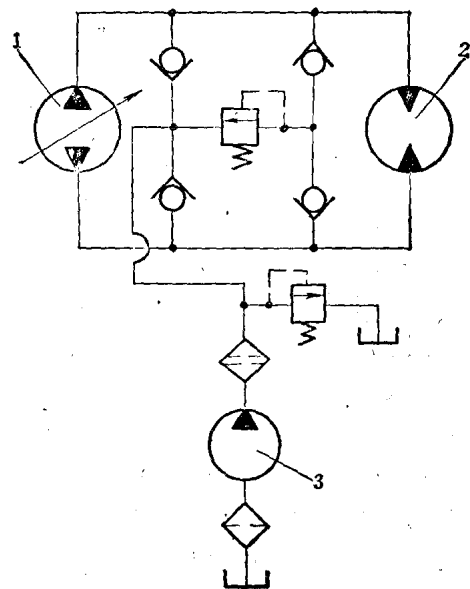


图1-3 闭式循环的液压系统

### 三、液压传动的优缺点

液压传动在铸造设备和其他设备上获得日益广泛的应用，是因为它具有一系列的优点，

诸如:

1. 液压传动与机械传动和电力拖动比较, 在输出同等功率的情况下, 结构紧凑, 重量轻, 体积小。有关统计表明, 对高压油泵而言, 输出1kW功率, 泵的重量只有1.5~2.0N (0.15~0.2kgf), 而电动机输出1kW的功率时, 电动机本身却有15~20N (1.5~2.0kgf)。由于结构紧凑, 体积小, 重量轻, 所以惯性小, 动作灵敏, 可以实现频繁的起动和换向。

2. 工作平稳, 无冲击, 无噪音, 无振动, 有利于改善劳动条件。

3. 能在比较大的范围内实现无级调速。调速比可达5000。因为它的调速只要改变节流阀的过流面积就能实现, 不象机械传动要用变速箱。

4. 能完成铸造设备所需要的各种运动。铸造设备执行元件的运动形式主要是直线运动, 其次是回转运动和摆动, 它们都可以用油缸和油马达很方便地实现。

5. 操纵简单, 操纵力小, 便于自动化。能自行润滑, 能实现过载保护, 工作安全可靠。

6. 液压元件大部分已经标准化, 系列化, 通用化, 便于设计, 推广和使用。

事物都是一分为二的。液压传动也有它的缺点, 如:

1. 油的粘度受温度变化的影响较大, 在高精度的传动中, 难以维持运动速度的恒定。另外在低温或高温下使用都有一定困难。

2. 由于粘性, 油液在管内流动时有压力损失, 且随着管长和流速的增加而增加, 不宜用于远距离的传动。

3. 为了防止泄漏, 液压元件的加工和配合精度的要求高, 成本较高。

4. 发生故障后不易检查和排除。

5. 在液压元件的相对运动表面不可避免地会有液压油的泄漏, 以及元件的变形, 使液压传动的传动比不如机械传动精确。但它对铸造设备的影响并不大。

## §1-2 液 压 油

液压油是液压系统的工作介质。主要采用石油基的矿物油。

### 一、液压油的粘度及影响粘度的主要因素

粘性是液压油的根本特性, 也是最基本的物理性质。粘度是粘性的度量方法。粘度是选择液压油的最重要的指标。它对系统的泄漏, 功率损失和润滑都有直接的影响。

#### (一) 液压油的粘度简述

由《工程流体力学》得知, 流体的粘度有三种表示方法, 即动力粘度 $\eta$ , 运动粘度 $\nu$ 和相对粘度 $^{\circ}E$ 。动力粘度和运动粘度是在理论分析和计算时使用的单位, 无法进行直接测量。相对粘度在工程上可用仪表直接测量。在我国相对粘度用恩氏粘度表示, 测定的标准温度一般规定为50℃。

国产机械油的牌号就是用运动粘度表示的, 其国际制单位是 $m^2/s$ , 相当于 $10^6 cm^2/s$ , 即 $10^{\circ}cSt$ 。cSt读作厘斯或厘沲。如30号机械油就是在标准温度(50℃, 即323K)时的平均运动粘度为 $3 \times 10^{-5} m^2/s$  (即30cSt)。

除上述三种粘度外, 在国际上用得较多的还有国际赛氏秒(用SSU或 $^{\circ}S$ 表示), 商用雷

氏秒（或称雷氏1°秒，用°R或Re.1°表示）等。我国主要采用运动粘度。它们之间的近似换算关系如下：

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

$$\nu (\text{m}^2/\text{s}) = \left( 0.22^\circ\text{S} - \frac{180}{^\circ\text{S}} \right) \times 10^{-6}$$

$$\nu (\text{m}^2/\text{s}) = \left( 0.26^\circ\text{R} - \frac{172}{^\circ\text{R}} \right) \times 10^{-6}$$

为了使油液具有所需要的粘度特性，某种单一牌号的液压油往往不能满足要求，必须将几种牌号的油液混合使用。这种混合后的油称调合油。调合油的粘度可按下列经验公式进行计算：

$$^\circ\text{E} = \frac{a^\circ\text{E}_1 + b^\circ\text{E}_2 - c(^\circ\text{E}_1 - ^\circ\text{E}_2)}{100} \quad (1-1)$$

式中  $^\circ\text{E}_1$ 、 $^\circ\text{E}_2$ 和 $^\circ\text{E}$ ——参与调合的两种油液及调合后的油液的相对粘度，并且 $^\circ\text{E}_1 > ^\circ\text{E}_2$ ；

$a$ 、 $b$ ——参与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

## （二）影响油液粘度的主要因素

### 1. 温度对粘度的影响

石油基矿物油的粘度对温度的变化很敏感。当温度升高时，粘度显著降低。不同种类的油液，其粘度随温度变化的性能不同，如图1-4所示。粘度直接影响液压系统的性能和系统的泄漏。因此，希望粘度随温度的变化越小越好。

对运动粘度不超过 $7.6 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ （76cSt）的液压油而言，在 $30 \sim 150^\circ\text{C}$ 的温度范围内，可用下列经验公式计算温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的运动粘度：

$$\nu_t = \nu_{50} \left( \frac{50}{t} \right)^n \quad (1-2)$$

式中  $\nu_t$ ——温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的运动粘度（ $\text{m}^2/\text{s}$ ）；

$\nu_{50}$ ——温度为 $50^\circ\text{C}$ 时的运动粘度（ $\text{m}^2/\text{s}$ ）；

$n$ ——指数，随油的粘度变化，见表1-2。

油的粘温性能在国外常用粘度指数（V·I）表示。它表示被试油液的粘度随温度变化的程度同标准油液粘度随温度变化程度比较的相对值，如图1-5所示。如果被试油液（图中虚线所示的）在 $210^\circ\text{F}$ （ $98.9^\circ\text{C}$ ）和 $100^\circ\text{F}$ （ $37.8^\circ\text{C}$ ）时粘度已知，取两种标准油液（图中实线所示的），在 $100^\circ\text{F}$ 时，一种油的粘度指数为100，另一种油的粘度指数为零，它们在 $210^\circ\text{F}$

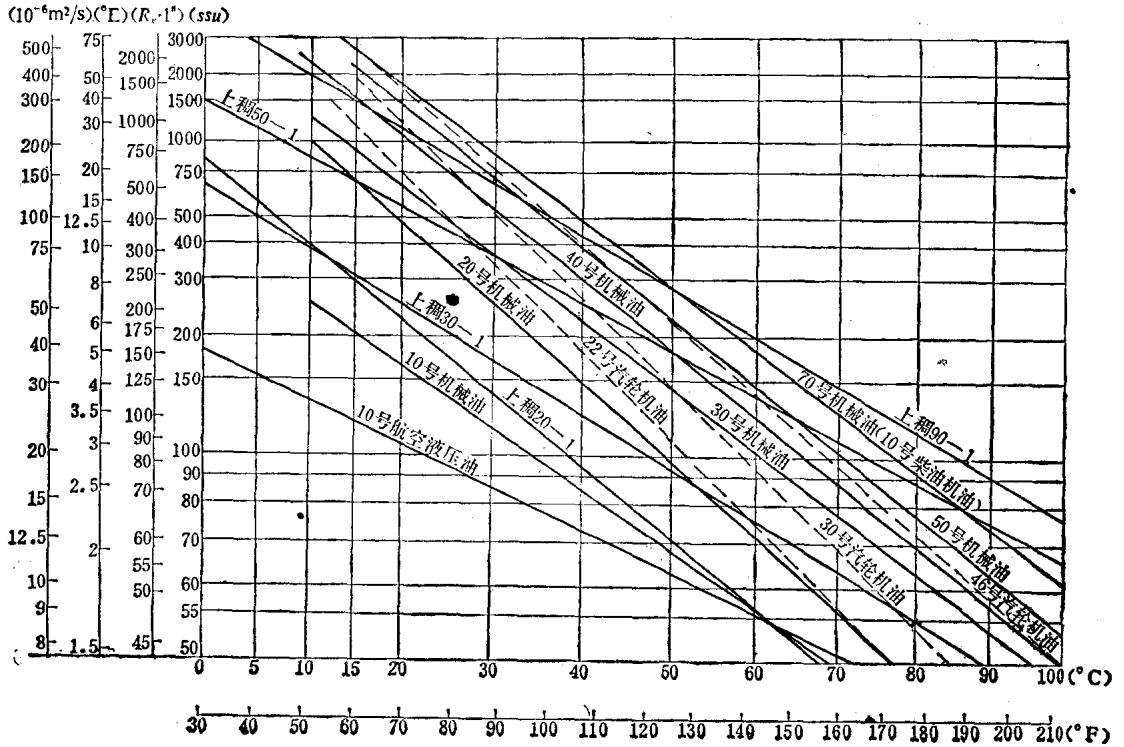


图1-4 国产液压油的粘-温图

表1-2 指数n随粘度变化的值

$\nu_{50} (\text{m}^2/\text{s}) \times 10^{-6}$	2.5	6.5	9.5	12	21	30	33	45	52	60	68	76
$n$	1.39	1.59	1.72	1.79	1.99	2.13	2.24	2.32	2.42	2.49	2.52	2.56

时的粘度与被试油液的粘度相同。这种被试油液的粘度指数在通常条件下可用下式求出：

$$V \cdot I = \frac{L - U}{L - H} \times 100 \quad (1-3)$$

式中  $U$  —— 被试油液在  $100^\circ\text{F}$  时的运动粘度；

$L$  ——  $V \cdot I = 0$  时的标准油液在  $100^\circ\text{F}$  时的粘度，而该油在  $210^\circ\text{F}$  时的粘度与被试油液的粘度相同；

$H$  ——  $V \cdot I = 100$  的标准油液在  $100^\circ\text{F}$  时的运动粘度，而这种油在  $210^\circ\text{F}$  时的粘度与被试油液的粘度相同。

$L$  和  $H$  的数值随被试油液在  $210^\circ\text{F}$  时粘度的不同而改变，可在一般液压手册中查得。

粘度指数高，表示粘温曲线平滑，即粘温性能好，也就是这种油的使用温度范围较大。

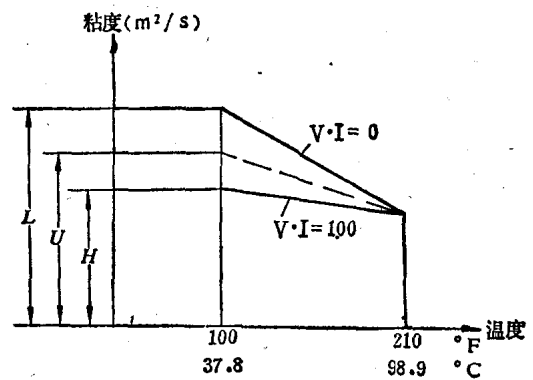


图1-5 粘度指数计算简图

液压油的粘度指数要求在90以上, 优良的在100以上。

## 2. 压力对粘度的影响

从理论上说, 随着压力升高, 油液的分子间距缩小, 粘度提高。

在实际应用中, 矿物油的压力在  $0 \sim 50\text{MPa}$  时, 可用下列公式计算油的粘度:

$$\nu_p = \nu_0 (1 + 3 \times 10^{-8} p) \quad (1-4)$$

式中  $\nu_p$ ——压力为  $p$  时的油的运动粘度 ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$\nu_0$ ——压力为  $p = 10^5\text{Pa}$  (即  $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) 时的油的运动粘度 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )。

压力在  $5\text{MPa}$  ( $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) 以下时, 由压力所引起的粘度变化可以忽略不计。

## 二、油的可压缩性

由《工程流体力学》得知, 单位压力变化时, 液体容积的相对变化值称为压缩率, 以  $\beta$  表示。并以  $\beta$  来度量油的可压缩性的大小。

$$\beta = -\frac{dV}{V dp} = -\frac{1}{dp} \frac{dV}{V} \quad (1-5)$$

式中  $\beta$ ——油的压缩率, 亦称压缩系数。对矿物油而言, 可取  $\beta = 6 \times 10^{-10}$  ( $\text{m}^3/\text{N}$ );

$dp$ ——压力改变值 ( $\text{Pa}$ );

$dV$ ——被压缩后油液容积的改变值 ( $\text{m}^3$ );

$V$ ——油液压缩前的容积 ( $\text{m}^3$ )。

因为随着压力升高而容积减小, 所以上式右边冠以负号。

压缩率  $\beta$  的倒数  $K$  称为油液的容积弹性模量, 即

$$K = \frac{1}{\beta} \quad (1-6)$$

考虑到管道材料的弹性变形在内, 引入表观弹性模量  $K_0$  的概念:

$$\frac{1}{K_0} = \frac{1}{K} + \frac{d}{\delta \cdot E} \quad (1-7)$$

式中  $d$ ——管道直径 ( $\text{m}$ );

$E$ ——管道材料的弹性模量, 对钢管可取  $E = 2.1 \times 10^{11}$  ( $\text{N}/\text{m}^2$ );

$\delta$ ——管道的壁厚 ( $\text{m}$ )。

油的可压缩性很小。在一般情况下 (如计算系统的流量、速度时) 可以忽略不计。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重要的因素。

## 三、对液压油的要求和选择液压油的原则

在液压传动中, 油液是传递运动和动力的工作介质。因此, 油液的性能如何, 直接影响到液压系统工作的好坏。

液压油的性能指标很多, 如粘温性能、润滑性能、抗氧化性、抗泡沫性、热稳定性、纯净性、防火性、水解性等等。对此, 许多书籍中均有论述。但实际上很难有一种油液能同时满足所有性能要求。粘度是选择液压油的主要指标。使用时, 要按具体情况进行选择。在选



择油液时主要考虑以下因素：

1. 工作压力的高低 当系统的工作压力较高时，宜用粘度较高的油，以减少泄漏，提高容积效率。因为这时高压油的泄漏问题比较突出，而粘性引起的阻力损失的相对比值较小。工作压力较低时，宜用粘度较低的油，以减少压力损失。因为这时粘性引起的压力损失的相对比值较大。一般当工作压力低于7 MPa (70kgf/cm<sup>2</sup>) 时，多采用  $\nu_{60} = (2 - 4) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$  (20~40cSt) 号的油，当工作压力在 (7~20) MPa (70~200kgf/cm<sup>2</sup>) 时，就可选用  $\nu_{60} = 6 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$  (60cSt) 的油。

2. 环境温度 油的粘度对温度的变化很敏感。为了保证在工作温度下有合适的粘度，在环境温度较高时，宜用粘度较高的油；反之，在环境温度较低时，宜用粘度较低的油。对铸造设备而言，按有关工厂的使用经验，在我国南方地区，夏季多用40号机械油，冬季多用20号机械油。

3. 工作部件运动速度的高低 液压系统工作部件运动速度的高低，与油液流速的高低是一致的。而压力损失与流速（或其平方）成正比。因此，在运动速度较高时，为了减少压力损失，宜用粘度较低的油。相反，在运动速度较低时，所需的流量较少，泄漏量的比值相对提高，对速度影响较大。所以，宜用粘度较高的油。

矿物油本身的性能往往不能满足要求。这时可在油中添加化学品来改善油的性能。这些化学品称为添加剂。如抗氧化的添加剂，防锈蚀的添加剂，提高润滑性能的添加剂，耐高压的添加剂，改善粘温性能、提高粘度指标的添加剂，灭泡添加剂等等。

### §1-3 液压系统中压力的形成

液压传动的本质是利用流动的、处于密封容积内的液体的压力来传递能量。液压系统中某一点的压力究竟有多大，对设计、检修和调试液压系统是十分重要的。

液体只能承受压力而不能承受拉力。因此，油液在受到压缩或有受到压缩趋势而使其容积缩小时就产生压力。在图1-6中，定量油泵的出油腔、油缸左腔以及连接管道组成一个密封容积。油泵起动后，将油箱中的油液吸入并推入到这个密封容积中，但活塞因受到负载  $R$ （包括摩擦阻力）的作用而阻碍这个密封容积的扩大。于是其中的油液就受到压缩，压力立即升高。当压力升高到能克服活塞杆上的负载  $R$  时（此时压力为  $P = R/A$ ， $A$  为活塞的有效面积），活塞才被压力油推动。这样油泵输出的油液才能被活塞移动所扩大的容积所容纳。由于活塞移动时仍然受到负载  $R$  的作用，总有阻碍这个密封容积扩大的趋势，所以压力就保持在  $P = R/A$  的数值上。此外，由于油液沿管道流动时，粘性摩擦引起的液压阻力也阻碍油液的流动，使之有受到压缩的趋势，因而也使油液产生一定的压力。可见，液压系统中油液的压力是由于油液处于一种“前阻后推”的状态下产生的。在图示的液压系统中，油泵的输油压力决定于执行元件的负载（包括管路的液压阻力）。如果负载  $R$

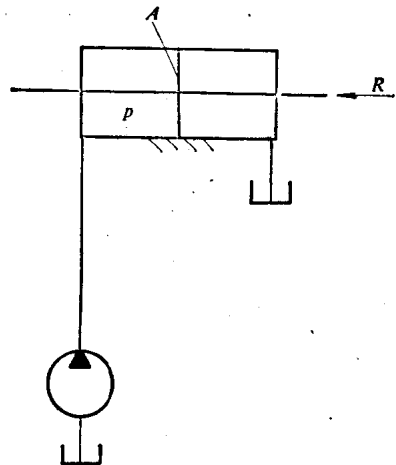


图1-6 液压系统中压力的形成