

78.292  
LMJ\_2

511.19  
高等学校教材

# 液压传动与气压传动

(修订本)

合肥工业大学 李慕洁 主编

GAO DENG XUE  
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

高等学校教材

# 液压传动与气压传动

(修订本)

合肥工业大学 李慕洁 主编

江苏工业学院图书馆  
藏书章



机械工业出版社

本书分“液压传动”与“气压传动”两篇，共十二章。系统介绍各种常用液压与气动元件、逻辑元件、伺服元件的工作原理、结构特点、性能分析及其应用。在阐述各种基本回路基础上，结合实例介绍了液压传动系统、液压伺服系统、气压传动系统图的阅读和液压系统的设计计算以及全气控行程序控制系统的设计方法。本书主要是作为工科院校四年制铸造专业及其它一般工科专业的技术基础课教材，也可供有关工程技术人员参考。

## 液压传动与气压传动

(修订本)

合肥工业大学 李慕洁 主编

\*

责任编辑：王海峰 版式设计：罗文莉

封面设计：田淑文 责任校对：陈松

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  · 印张  $18 \frac{3}{4}$  · 字数 459 千字

1980年7月天津第一版

1989年6月北京第二版·1989年6月北京第十次印刷

印数 70,201—77,400 · 定价：3.75元

\*

ISBN 7-111-00987-8/TH · 171(课)

## 前 言

本书是在1980年出版的高等学校试用教材《液压传动与气压传动》基础上，根据1983年11月在郑州召开的全国高等工业学校铸造专业教材分编委员会扩大会议上审定通过的《液压传动与气压传动》教学大纲修订编写的，并适当增加了一些大纲尚未列入而近年来发展较快和较先进的技术内容。本教材在编写过程中始终注意贯彻如下精神和基本原则：1) 加强学科的基本理论，在阐明学科的基本理论与基本概念的同时，注意贯彻少而精的原则；2) 保证学科的系统性、完整性和先进性；3) 加强实践环节，尽量作到理论与实践相结合。

本书分“液压传动”和“气压传动”两篇，共12章。“液压传动”篇中，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，通过若干实例介绍了液压系统图的阅读方法和液压系统的设计计算。由于近年来液压伺服系统及液压逻辑元件的应用越来越多，故与第一轮教材相比，本教材把液压伺服系统另列一章，在内容的深广度方面都有所加强。此外，增加了分流阀、逻辑阀和元件集成化等内容。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工作原理及特性外，特别着重介绍了气动逻辑元件和气控程序系统设计的两种先进设计方法，即：设计线路的X—D图表法，设计线路的卡诺图法。书中有关单位采用中华人民共和国法定计量单位。

本书由合肥工业大学李慕洁同志主编，合肥工业大学彭裕昌同志协助编写，由陈洪升同志主审。编写的具体分工是：李慕洁同志编写绪论，第一、二、四、五、六、七、十、十二章，彭裕昌同志编第三、八、九、十一章。

本书编审过程中，得到有关单位和同志们的不少帮助和支持，在此表示衷心感谢。

李慕洁

# 目 录

绪论 .....	1
----------	---

## 第一篇 液 压 传 动

第一章 液压传动概述 .....	5
------------------	---

§ 1-1 液压传动的工作原理、系统组成及图形符号 .....	5
---------------------------------	---

§ 1-2 液压传动的优缺点 .....	7
----------------------	---

§ 1-3 对液压油的要求及选用液压油的原则 .....	7
------------------------------	---

思考题 .....	12
-----------	----

第二章 油泵 .....	13
--------------	----

§ 2-1 油泵概述 .....	13
------------------	----

§ 2-2 齿轮泵 .....	17
-----------------	----

§ 2-3 叶片泵 .....	20
-----------------	----

§ 2-4 柱塞泵 .....	25
-----------------	----

§ 2-5 油泵的选择和使用 .....	27
----------------------	----

习题 .....	29
----------	----

第三章 油缸和油马达 .....	30
------------------	----

§ 3-1 油缸的分类和工作原理 .....	30
------------------------	----

§ 3-2 油缸的结构 .....	37
-------------------	----

§ 3-3 油缸的缓冲 .....	43
-------------------	----

§ 3-4 推力油缸的设计计算 .....	46
-----------------------	----

§ 3-5 油缸的密封装置 .....	52
---------------------	----

§ 3-6 油马达 .....	57
-----------------	----

习题 .....	58
----------	----

第四章 液压阀及其应用 .....	60
-------------------	----

§ 4-1 概述 .....	60
----------------	----

§ 4-2 方向控制阀 .....	61
-------------------	----

§ 4-3 压力控制阀 .....	71
-------------------	----

§ 4-4 流量控制阀 .....	86
-------------------	----

§ 4-5 逻辑阀 .....	97
-----------------	----

§ 4-6 液压阀的连接形式 .....	102
----------------------	-----

习题 .....	106
----------	-----

第五章 液压基本回路 .....	107
------------------	-----

§ 5-1 压力控制回路 .....	107
--------------------	-----

§ 5-2 速度控制回路 .....	113
--------------------	-----

§ 5-3 多缸工作回路 .....	123
--------------------	-----

§ 5-4 其它回路 .....	127
------------------	-----

习题	130
<b>第六章 液压系统</b>	<b>133</b>
§ 6-1 液压系统的设计	133
§ 6-2 液压系统设计计算举例	149
§ 6-3 液压系统实例	157
§ 6-4 液压系统的调试	162
§ 6-5 液压系统常见故障分析及排除	163
习题	165
<b>第七章 液压伺服控制基础</b>	<b>168</b>
§ 7-1 液压伺服系统的分类及工作原理	168
§ 7-2 液压伺服阀	172
§ 7-3 电液伺服阀及其应用	177
§ 7-4 液压伺服系统应用举例	181
§ 7-5 电液比例控制阀	183
<b>第二篇 气压传动</b>	
<b>第八章 气压传动概述</b>	<b>189</b>
§ 8-1 气压传动系统的工作原理、组成和优缺点	189
§ 8-2 气压传动系统的气源	190
<b>第九章 气缸</b>	<b>197</b>
§ 9-1 气缸的分类和工作原理	197
§ 9-2 普通气缸的设计计算	203
§ 9-3 标准化气缸	207
习题	208
<b>第十章 气动控制元件及辅助元件</b>	<b>209</b>
§ 10-1 气动控制元件的作用和分类	209
§ 10-2 气动控制阀及其应用	210
§ 10-3 气动逻辑元件	225
§ 10-4 气动辅助元件	232
习题	236
<b>第十一章 气动基本回路及气动系统实例</b>	<b>237</b>
§ 11-1 气动基本回路	237
§ 11-2 气动系统实例	244
习题	252
<b>第十二章 气动行程程序控制系统及其设计</b>	<b>254</b>
§ 12-1 概述	254
§ 12-2 设计线路的 X—D 图表法	258
§ 12-3 线路设计的卡诺图法	276
习题	287
<b>附录一 液压及气动图形符号摘录 (GB786-76)</b>	<b>287</b>
<b>附录二 液压泵技术规格</b>	<b>291</b>
<b>附录三 压力阀技术规格</b>	<b>292</b>
<b>附录四 压力继电器技术规格</b>	<b>293</b>
<b>附录五 流量阀技术规格</b>	<b>293</b>
<b>参考文献</b>	<b>294</b>

# 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30年来，这门技术得到了迅速的发展和广泛的应用，并已成为自动控制系统中的一个重要组成部分。

液压传动与气压传动实现传动与控制的基本方法是相同的，都是利用各种元件（液压元件或气压元件）组成所需要的各种基本控制回路，再由若干基本回路组成传动系统来进行能量的转换与控制。因此，要研究液压与气压传动及其控制，就首先要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，并在这个基础上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，使之运转和进行能量转换，称之为动力式液压传动，简称液力传动；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，称之为容积式液压传动，简称液压传动。本书着重研究后者。

气压传动包括两个方面的内容：传动技术和控制技术，其中控制技术占主要地位。

液压传动具有传递动力大、运动平稳的特点，但阻力损失大，不宜作远距离控制。而气压传动由于空气具有可压缩性，且工作压力较低（一般在1 MPa以下），故传动力不大，运动也不如液压传动平稳。但空气粘性小，传递过程中阻力小，速度快和反应灵敏。因而气压传动能用于较远距离的控制。为了综合利用液压传动和气压传动的优点，克服相互的缺点，也可采用压缩空气为动力，采用气—液联合传动来获得既经济又运动平稳的装置。

## 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。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，只是近50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。50年代后期，液压元件逐步走向标准化、通用化、系列化及生产专业化，使液压技术得到蓬勃的发展。许多国家在50年代到70年代期间，液压元件总产值增长了几十至几百倍，液压工业的发展速度远高于机械工业的发展速度。70年代末至80年代，由于电子计算机的迅速发展，促使液压技术进入了电子数字控制机——液压伺服技术时期。目前，美、日等一些国家已生产出能直接响应微处理机控制信号的阀。在一些液压设备（如：大型仿型铣床、联合收割机、吹塑机、工业机器人等）中已采用微机控制。普遍认为，电子技术和液压技术

相结合，是液压系统实现自动控制的发展方向。

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。有些国家还把微型液压元件应用到生活中。

气动技术自60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：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、伺服气缸、微型气缸等；一些新型的气源处理装置——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。由于生产自动化的发展，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解放后才发展起来的，近20年来得到了迅速的发展。目前，我国的液压与气动元件都已有完整的系列。不少工厂都先后制成了许多液压与气动的专用设备，建立了许多液压传动与气动的生产线，实现了机械设备的自动和半自动控制。在改善劳动条件，减轻劳动强度，降低成本，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发展的需要。

## (二) 发展趋势

随着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、高速、大流量、微型化、集成化、低噪声和长寿命。液压系统的压力也一年比一年趋向高压化，这与各种机械设备要求动力大、反应快、小型轻量化及高效化有着直接的关系。然而，随着压力的提高，系统及元件的寿命会有所下降，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30~50 MPa。而现阶段，作为经济压力则为14~17.5 MPa。目前，许多国家还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。并把计算机辅助试验用于液压元件的检测和控制。总之，为了适应现代机械设备的要求，动力元件的发展趋势为高压、大功率、低噪声和长寿命。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。此外，近年来许多国家还从事液压传动介质的研究，美国等西方国家一直在大力研究用高水基液体（指质量分数为95%的水加质量分数为5%的多种化学添加剂的浓缩液）代替矿物油作液压传动的工作介质。看来高水基液压传动是80年代液压技术的重要发展方向。预计高水基液将成为某些工业部门，如机械制造、煤矿、轧钢、冶金、铸造、锻压、塑料注射、船舶等液压传动的主要工作介质。

为了提高液压元件的性能，改善液压元件和液压系统，预计今后将在下列几个方面加强理论性研究：液压回路中的过渡特性；元件的噪声、振动和气蚀；液压油的难燃性、充气性、压缩性和污染；高水基液压油的性能改善；阀的稳定性；流量系数和液动力；元件内、外泄漏问题；提高元件的低温性能；提高元件的寿命；电子模拟计算机和电子数字计算机在电液自动控制系统的应用等。

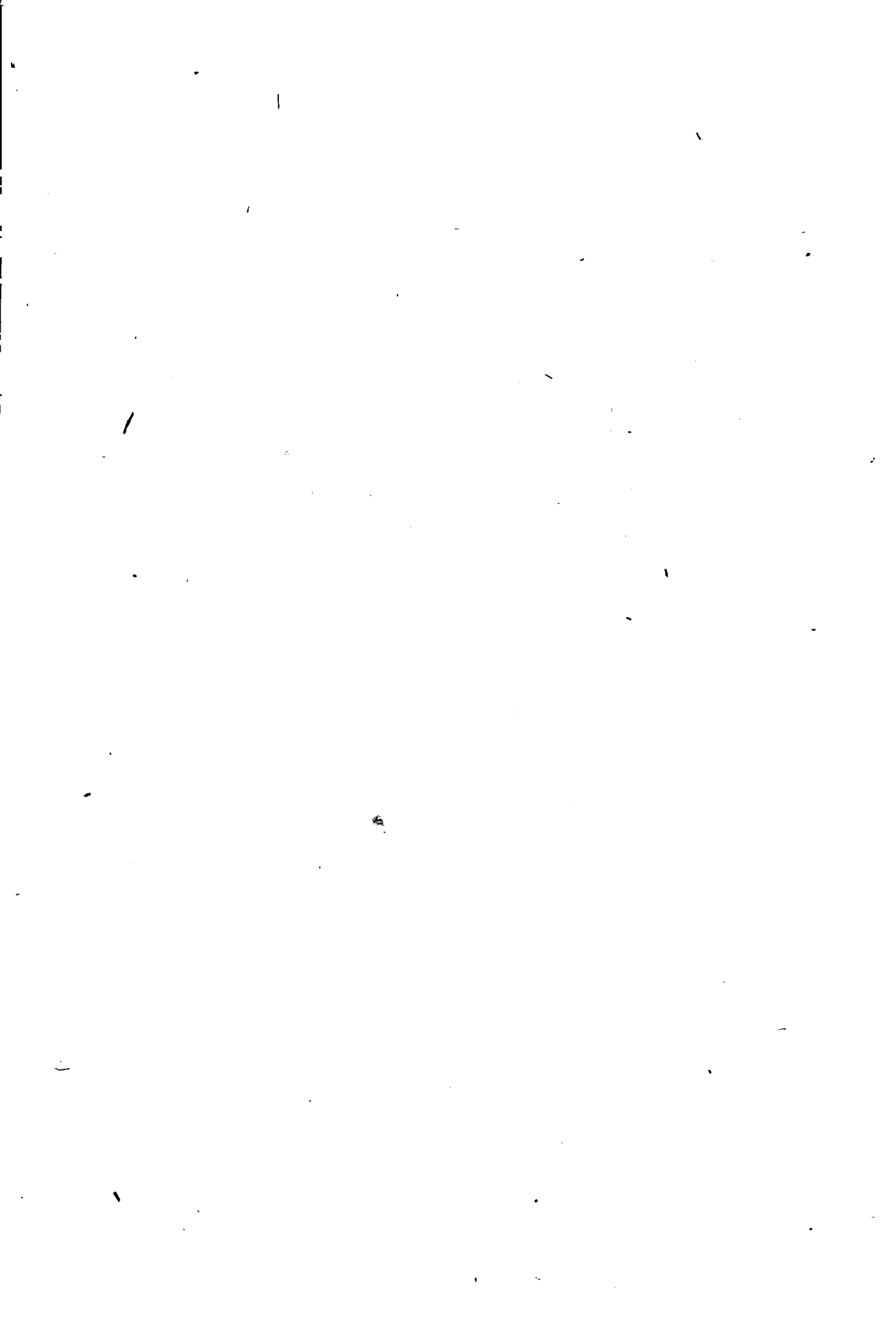


随着工业生产自动化的发展，对气动元件的要求也越来越高。目前，气动控制元件的发展动向为：微型化、集成化、提高元件的可靠性及使用寿命；提高零部件的通用化程度及对元件采用密集安装方式等。

### 三、液压传动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、压实造型机、震击式造型机、气动微震压实造型机等都是利用气压传动来进行工作的。目前国内外已有不少工厂采用气动的铸造生产流水线和自动线。

自60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，易于变换速度与方向，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压造型机等。此外，抛砂机抛头的运动，滚筒清理机门的开闭，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。



# 第一篇 液 压 传 动

## 第一章 液 压 传 动 概 述

### § 1-1 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

图 1-1 为简化的铸型输送机液压传动原理图。油泵 3 在电动机（图中未画出）的带动下转动，油液经滤油器 2 被吸入油泵，并在油泵的推动下输入管路见图 3-1 a，此时，油泵的输油压力决定于油液前进过程中所遇到的阻力，阻力越大，压力越高。如果油液经油泵出来后又直接从管道中排回油箱，则油泵的输油压力近似等于零。由此可见，油泵的输油压力与油液前进过程中所需克服的阻力相平衡。压力油经节流阀 4，换向阀 6 的左环槽，油管 9 进入油缸 8 的左腔，推动油缸向左移动（因活塞杆固定），带动输送小车往前移动一个节距。油缸前进到终点后，需要返回原位以备下一个循环。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，实现油缸换向的元件。这时，只要搬动手柄，使阀芯移到图 1-1b 的位置，压力油就经阀 6，管道 7 进入油缸右腔，使油缸向右运动。油缸左腔的油经管道 9、阀 6、回油管 5 排回油箱。系统不工作时，搬动手柄，使阀芯处于图 1-1c 的位置。

为了使铸型输送机与生产线上其它设备协调动作，输送机的速度必须能够调节。速度调节是通过调节节流阀的过流面积，改变油液进入油缸的流量来达到的。由油泵输出的油液，由于有一部分不能进入油缸，从而使油泵出口至节流阀这一段管道中的油液受到挤压，油液压力升高，当油液压力升高到稍大于溢流阀 11 的调定压力时，钢球被顶开，多余的油液经溢流阀、管道 12 排回油箱。这时，油液压力不再升高，维持定值。由此可见，溢流阀的作用是控制油泵的最高输油压力，同时还起着把油泵输出的多余油液排回油箱的作用。必须指出，这时溢流阀调压弹簧的调定压力必须满足使油缸的推力等于油缸前进时所需克服的总阻力  $R$  的要求。 $R$  又称为油缸的负载。

从上述分析可知，液压传动是利用有压油液作工作介质并用它来传递动力的传动方式。实质上，液压传动过程是机械能—液压能—机械能的能量转换过程。

#### 二、液压系统的组成

从上述例子可以看出，一个完整的液压系统，由以下四个部分组成：

(1) 动力元件（油泵） 其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，它是将电动机输出的机械能转变成液压能的能量转换装置。

(2) 执行元件（油缸或油马达） 它将液体的压力能转换为机械能，为液压系统的执行机构，用以驱动负载。

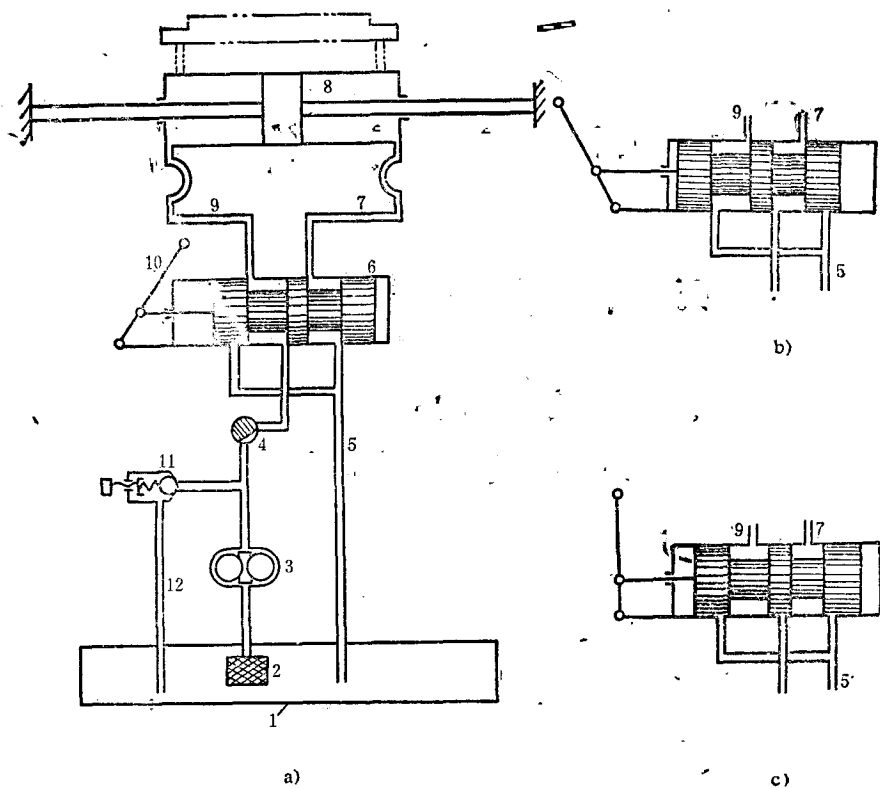


图1-1 简化的铸型输送机液压传动原理图

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

(3) 控制元件 包括压力、流量、方向等控制阀，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。如溢流阀、节流阀、换向阀等。

(4) 辅助元件 除上述三种元件以外的其它装置均属于辅助元件，如油管、油箱、滤油器等，在系统中起着输送、贮存、散热以及过滤液体等作用。它们对保证液压系统可靠持久地工作起着重要的作用。

### 三、液压系统的图形符号

图 1-1 所示的液压系统中，各元件是以结构符号表示的，称为结构式原理图。它直观性强，容易理解，但图形复杂，绘制困难。为了简化液压系统图，目前各国均改用元件的职能符号来绘制液压系统图。这些符号只表示元件的职能及连接线路而不表示其结构。目前我国的液压与气动系统图均采用国标GB 786-76 所规定的职能符号(参看附录)绘制。图 1-2 即为用这套符号代替图 1-1 中各元件的结构符号

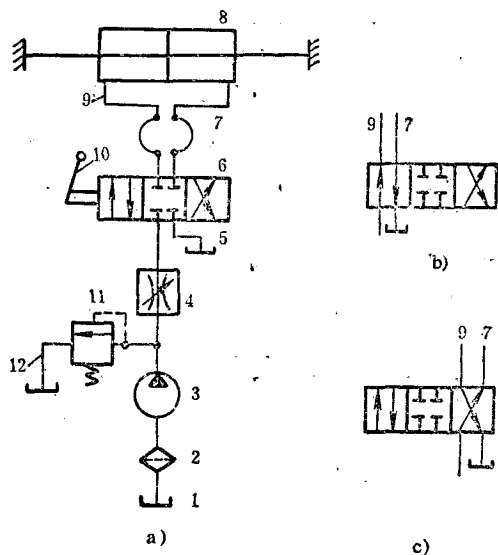


图1-2 用职能符号表示的液压系统图

绘制出来的铸型输送机液压系统图。

绘制系统图时的一些规定：

1) 图中各元件的符号均以静止状态或零工位表示。如图 1-2 所示，换向阀 6 处于中间位置，这时表示油缸静止不动。若经手柄 10 将换向阀的阀芯推向右端，这时油路接通情况如图 1-2 b 所示，油管 9 通压力油，油管 7 通油箱，油缸向左运动；若阀芯被推向左端位置时，油路接通情况如图 1-2 c 所示，实现油路换接，油缸运动换向。

2) 系统图中的主油路（包括主压油路和主回油路）以标准实线表示，泄漏油路用细实线表示，控制油路以细虚线表示。

## § 1-2 液压传动的优缺点

液压传动之所以得到迅速的发展和广泛的应用，是因为它与机械、电力等传动方式相比较，具有一系列的优点：

1) 在输出同等功率的条件下，液压传动装置结构紧凑，体积小，重量轻，惯性小。例如：在相同功率下，液压马达的体积为电动机的 12~13%。高压泵 ( $P \geq 20\text{MPa}$ ) 的单位功率重量为 0.15~0.2kg/kW，而一般电动机则为 1.5~2.0kg/kW。

2) 工作平稳，冲击、振动和噪声都较小，易于实现频繁的换向，能完成转动、摆动，更易于实现各种往复运动。

3) 调速方便，并能在大的范围内实现无级调速，调速比可达 5000。

4) 操纵简单，便于实现自动化。并可与电、气、机联合应用，充分发挥各自的优点，实现复杂的自动工作循环。

5) 易于实现过载保护，工作安全可靠。由于工作介质为油液，相对运动的表面能自行润滑，减少了磨损，延长了使用寿命。

6) 可实现低速大力矩传动，无需减速箱。

7) 液压元件大部分已标准化、系列化、通用化，因此便于设计、制造和推广应用。

液压传动的主要缺点：

1) 液压传动存在漏油现象，加上油液有微小的压缩性和管道的弹性变形，使液压传动不能用于精密的定比传动中。

2) 油液的粘性受温度变化的影响大，故不宜用于低温和高温的环境中。

3) 有泄漏、压力及机械摩擦等三项损失，传动效率较低，且不适于远距离传动。

4) 为了减少泄漏，液压元件的加工和配合精度要求高，加工工艺困难，成本较高。

5) 发生故障后不易检查和及时排除。

## § 1-3 对液压油的要求及选用液压油的原则

液压油是液压传动的工作介质，它不仅能传递能量，而且对液压装置的各种元件起润滑作用。液压油性能的好坏直接影响液压系统的工作。因此，了解液压油的性质，并根据其性质及液压系统的工作条件、工作环境来正确选用液压油是液压系统正常工作的前提。

(一) 液压油的物理性质

液压油的物理性质一般可用下述物理参数来表示。如：密度、压缩系数、粘度、比热容、导热系数、凝固点、饱和蒸汽压等。这些物理参数的定义都已在物理学、传热学、工程流体力学中阐述过，在此不再赘述。

液压油的密度与温度及压力有关，随温度升高而下降，随压力增高而增大。但在一般工作情况下，温度和压力引起的密度变化甚微，可忽略不计。通常石油基液压油的密度为 $0.85 \sim 0.95 \text{ g/cm}^3$ 左右。

液压油的压缩性极小，在一般情况下（如计算系统的流量、速度或进行静态特性分析时），可忽略不计。但进行动态分析，如研究液压冲击，过渡过程和响应特性等情况时，油的压缩性就是一个重要的因素。

液压油比热容的大小反映了油液吸收热量抵抗温升的能力，而导热系数则反映油中热量向外传导散发的能力。通常矿物油的比热容为 $1674 \sim 2093 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ 。导热系数约为 $0.132 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 。

在油液的各种物理性质中，粘性是影响液压传动的一个最重要的特性，也是选择液压油时必需考虑的一个重要因素。它对系统的泄漏、功率损失和润滑都有直接影响。下面对液压油的粘性作较详细的叙述。

### 1. 粘度的表示方法及其相互关系

粘性的力学本质是液体流动时，液体内的剪切摩擦阻力。其大小可用粘度来表示。粘度有三种表示方法：动力粘度 $\mu$ （又称绝对粘度）、运动粘度 $\nu$ 和条件粘度。

动力粘度 $\mu$ 的法定计量单位为帕·秒（ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ），即 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。 $1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 表示距离为 $1 \text{ m}$ 的两层液体，相对速度为 $1 \text{ m/s}$ ，在 $\text{m}^2$ 面积上所作用的剪切力为 $1 \text{ N}$ （ $1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ ）时的粘度。

运动粘度 $\nu$ 表示同一温度下油液的动力粘度与密度的比值。其法定计量单位为 $\text{m}^2/\text{s}$ 。这个单位太大，过去习惯上采用厘沱（ $\text{cSt}$ ）<sup>⊖</sup>来表示。

国产机械油的牌号就是用运动粘度表示的，如30号机械油就表示在标准温度（ $50^\circ\text{C}$ ）时的平均运动粘度为 $30 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

条件粘度是各种粘度计所测得的液体粘度。它的数值与粘度计的种类、测试条件、液体的 $\rho$ 、 $\mu$ 等因素有关，它只表示液体的相对粘度，故又称为相对粘度。各国采用的相对粘度单位不同，中、苏、德等国用恩氏粘度，美国用赛氏通用粘度，英国用雷氏粘度。现分述于下：

**恩氏粘度：**温度一定， $200 \text{ cm}^3$ 的被测液体在重力作用下流过恩氏粘度计（ $\phi 2.8 \text{ mm}$ 的小孔）所需的时间与 $20^\circ\text{C}$ 等体积蒸馏水流过同一粘度计所需的时间之比，称为恩氏粘度，用 $^\circ\text{E}$ 表示。

在工业上常用 $20^\circ\text{C}$ 和 $50^\circ\text{C}$ 作为测定恩氏粘度的标准温度，记为 $^\circ\text{E}_{20}$ 、 $^\circ\text{E}_{50}$ 。

**赛氏通用粘度：** $60 \text{ cm}^3$ 被测液体，在某一温度下，流过直径为 $0.176 \text{ cm}$ （长 $1.225 \text{ cm}$ ）的赛氏粘度计所需的时间（ $\text{s}$ ），称为赛氏通用粘度。用SSU表示。

**雷氏粘度：**在某一温度下， $50 \text{ cm}^3$ 的被测液体流过雷伍德粘度计（英国）所需的时间（ $\text{s}$ ）。用 $^\circ\text{R}$ 或 $\text{Re} \cdot 1^\circ$ 表示。

各种粘度单位之间的换算关系，可由图1-3中查得，亦可查阅液压传动设计手册。

⊖  $1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。因厘沱（ $\text{cSt}$ ）为非法定计量单位，故本书不采用。

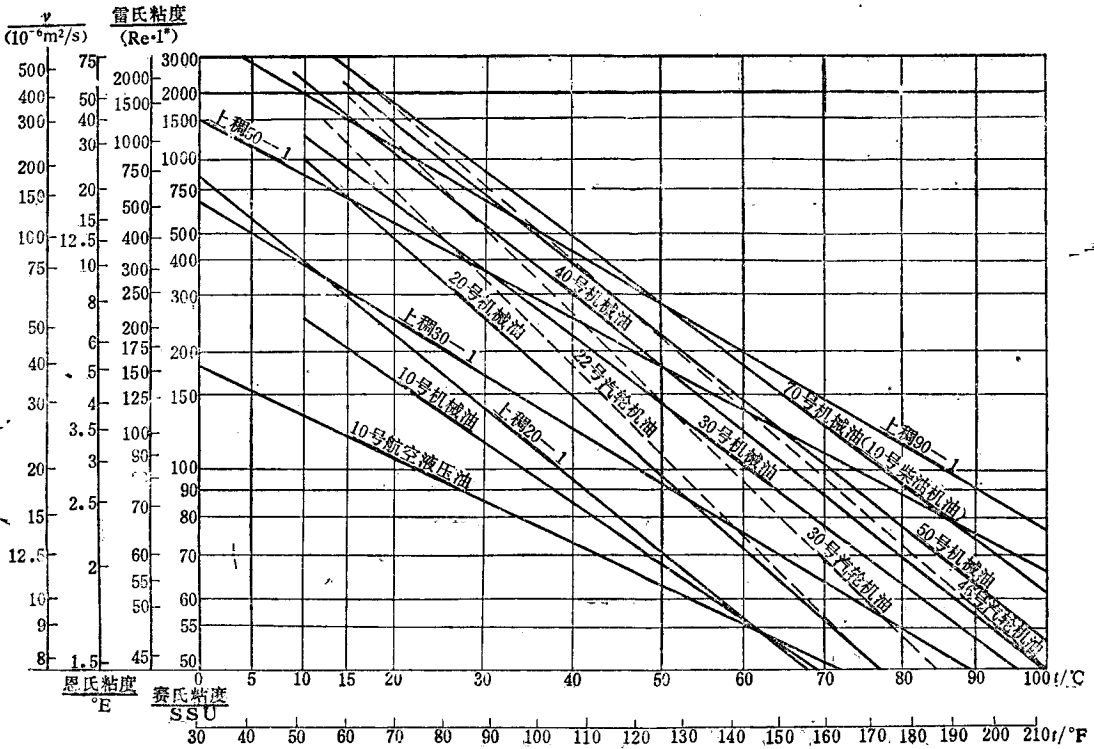


图1-3 国产油粘—温曲线图

## 2. 影响油液粘度的主要因素

影响油液粘度的最主要因素是温度，油液粘度随温度而变化会导致通过节流装置的流量以及各种元件缝隙的泄漏量的变化，这对液压传动的稳定性有较大的影响。因此，液压油的粘—温特性是液压油在使用性能方面很重要的一个指标。

图1-3为常用国产液压油的粘温曲线，从图中可看出各种油液的粘度均随温度上升而下降。

目前，工业上还用粘度指数（ $V \cdot I$ ）来表示油液的粘度受温度影响的大小。粘度指数是表示被测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的程度比较的相对值。粘度指数越高表示粘度随温度的变化越小，即粘温性能越好。一般要求液压油的粘度指数在90以上，优良的在100以上。各种油液的 $V \cdot I$ 值可查液压手册。

影响粘度的另一因素为压力，粘度随压力升高而有所增加，但增加量很小，压力在5. MPa以下时可忽略不计。

### （二）液压油的化学性质

液压油在使用一段时间以后，油质会变坏，如产生油渣泥、润滑性能下降、酸性增加等，这些都是由于油液与周围的物质起化学反应所引起的，而这种反应又与油的化学性质有关。现将主要几种化学性质介绍于下：

**酸值：**中和1 g油液所需的氢氧化钾数量（毫克数）。酸值增高会使油液的腐蚀作用加大。

**热稳定性：**油液在温度升高时抵抗化学反应的能力，包括与周围物质的化学反应和自身的裂化与聚合作用。常用的液压油多为有机化合物的混合物，当温度升高到一定程度时，可

能产生裂化作用而产生一些较高挥发性的物质，也可能产生聚合作用而生成一些树脂状物、焦油、甚至焦炭。在实际系统中，油液和金属以及其它起催化剂作用的物质相接触，会使上述化学反应过程加快。产生的物质与外来杂质（水分和尘粒等）混在一起，形成油渣泥，使油液质量下降甚至不能使用。

**氧化稳定性：**油液抵抗与空气或其它氧化物起化学反应的能力。不易氧化变质的油，氧化稳定性好。液压油的氧化能力随温度上升而迅速增加。油液氧化后会生成酸性化合物，引起系统中金属表面的腐蚀现象。同时氧化物的化学性质很活泼，使油液更易产生油渣泥并使油液粘度增加。

**相容性：**指油液与系统中各种密封材料、涂料等非金属材料互相接触时抵抗化学反应的能力。如不起反应或很少反应，则相容性好。

**抗乳化性和抗泡性：**抗乳化性是指油中混入水并搅动成乳化液后，水从其中分离出来的能力。油液乳化会增加油液的酸值，降低油液的润滑性能。油中混入空气并搅动生成乳状液的现象称为起泡，把气泡从油中分离出来的能力称为抗泡性。油液中若产生气泡则易产生气穴现象，影响系统的正常工作。

### （三）对液压油的性能要求及选用液压油的原则

#### 1. 对液压油的性能要求

- 1) 有适宜的粘度和良好的粘温性能。一般液压传动系统所采用的液压油粘度范围为 $2 \sim 8^\circ \text{E}_{50}$  ( $11.5 \sim 60 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ )。粘度指数要求在90以上。
- 2) 具有良好的热稳定性和氧化稳定性。
- 3) 具有良好的相容性。
- 4) 具有低的凝点和高的闪点。凝点必须低于其最低使用温度 $10^\circ\text{C}$ 以上。闪点高是为了满足防火和安全的要求，特别是在环境温度高的使用场合。
- 5) 有良好的抗乳化性及抗泡性。
- 6) 有良好的润滑性及高的油膜强度，使系统中各摩擦表面获得足够的润滑而不致磨损。

实际上很难有一种油液能同时满足上述所有要求，只能根据具体情况满足主要的性能要求。同时还可在油中添加各种添加剂来改善油液的性能。

#### 2. 液压油的分类及性能简介

液压油分易燃型和抗燃型两大类。矿物油系液压油属易燃型液压油，其主要成分为石油，再在其中加入各种添加剂（如抗氧添加剂、抗泡剂等）精制而成。其润滑性能好，化学稳定性较好，腐蚀性较小。故一般液压传动（如机床、铸锻设备、一般工程机械等）均采用它作为液压油。

抗燃型液压油包括高水基液压油、乳化型液压油和合成型液压油。高水基液压油是指质量分数为95%的水加质量分数为5%的多种化学添加剂的浓缩液，其特点是不燃烧，比热容大，导热性能好，粘温性能好，价格便宜，但粘度低，润滑性能较差，易产生气蚀等。故对液压元件的选材、结构、加工精度要求较高。目前国内外正在对它进行大力研究并取得了一定的成果，预计将来它将成为某些工业部门液压传动的主要工作介质。乳化型液压油分水包油乳化液（一般油的质量占5~20%）和油包水乳化液（一般油的质量占60%）两种。使油和水稳定的关键是选择合适的乳化添加剂。合成型液压油主要包括水—乙二醇抗燃液压油和



磷酸酯液压油。目前，乳化型及合成型液压油在铸造及一般工程机械中很少采用，故不予详细介绍。

矿物油型液压油又分为普通油和专用液压油。铸造设备的液压系统主要使用普通油。

现将常用的几种普通油的性质扼要说明如下，供选用时参考。

机械油：国产机械油分为10、20、30、40、50、70、90号等7个牌号。属工业用中质润滑油。在液压传动中应用很普遍，但氧化稳定性差。换油时间为半年。目前为延长换油时间，准备在20、30号机械油中加入适量的抗氧剂和抗泡剂。这种油常用于要求不高的液压系统中。

汽轮机油：为浅黄色透明液体，酸性低，灰分少，无机械杂质及水溶性酸和碱，比机械油纯净，又因加入了0.3%的抗氧剂，抗氧化性强，并具有较高的抗乳化性，但产量少（只及机械油的1/10），主要用于要求较高的液压系统中。按50℃时的运动粘度值分为22、30、46、57四种牌号，更油期为一年左右。

柴油机油：油中加有抗氧、抗腐及去垢剂。润滑性能好，粘度指数高，常用于各种工程机械、起重运输机械、拖拉机等液压传动中。

精密机床液压油：采用汽轮机油馏分作基础油，加入抗氧、抗腐、抗磨、抗泡、防锈、改进粘度指数等添加剂调合而成。粘温性能好，V·I值高。适用于高精密机床，或要求较高的中、低压系统。其凝点为-10℃，故只适用于0℃以上的工作环境。换油期可达一年以上。

表1-1为常用国产液压油的主要性能。

表1-1 常用国产油的主要性能

牌 号	变压器油	10号	20号	30号	40号	22号	30号	46号
	10号	机 械 油				汽 轮 机 油		
		HJ-10	HJ-20	HJ-30	HJ-40	HU-22	HU-30	HU-46
50℃时的运动粘度/(10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	<9.6	7~13	17~23	27~33	37~43	20~23	23~32	44~48
恩氏粘度/°E <sub>60</sub>	<1.8	—	2.6~3.31	3.81~4.59	—	2.9~3.2	4~4.5	6~6.5
酸值(mg·KOH·g <sup>-1</sup> )不大于	0.05	0.14	0.16	0.2	0.35	0.02	0.02	0.02
灰分(质量分数)不大于	0.005%	0.007%	0.007%	0.007%	0.007%	0.005%	0.005%	0.002%
水溶性酸和碱	无	无	无	无	无	无	无	无
机械杂质(质量分数)不大于	0	0.005%	0.005%	0.007%	0.007%	0	0	0
水分(质量分数)不大于	—	0	0	0	0	—	—	—
闪点(开口)/℃, 不低于	135 (闭口)	165	170	180	190	180	180	195
凝点/℃, 不高于	-10	-15	-15	-10	-10	-15	-10	-10

### 3. 选用液压油的原则

首先分析液压系统的工作环境，如工作环境为高温，有起火和爆炸的危险，这时必须使用抗燃液压油。如工作环境温度不高，就可在矿物油中选择（一般工程机械及机械设备的液压传动都属此类）。然后根据液压系统本身的要求（要求高、较高、一般）以及各种类型液压油的性质，具体选择哪一种矿物油。