



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等职业院校机械设计制造类专业任务驱动型教材

液压传动与气动技术

YEYA CHUANDONG YU QIDONG JISHU

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写 (第二版)



普通高等教育“十一五”国家级规划教材


高等职业院校机械设计制造类专业任务驱动型教材

液压传动与气动技术

YEYA CHUANDONG YU QIDONG JISHU

(第二版)

主编 宋军民 周晓峰
参编 肖燕 朱裕生

 中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与气动技术/宋军民,周晓峰主编. —2版. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2009

高等职业院校机械设计制造类专业任务驱动型教材

ISBN 978-7-5045-8080-1

I. 液… II. ①宋…②周… 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. TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第212411号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

新华书店经销

国防工业出版社印刷厂印刷 北京密云青云装订厂装订

787毫米×1092毫米 16开本 12.5印张 286千字

2009年12月第2版 2009年12月第1次印刷

定价:23.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64927085

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

内 容 简 介

本书为教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材，适用于高等职业技术学院机械设计制造类专业。内容包括液压传动基础知识及动力元件、液压执行元件、方向控制阀、压力控制阀、流量控制阀、液压系统分析与维护、气动基础知识及执行元件、单缸控制回路设计、双缸控制回路设计、气动系统分析与维护。

本书具有三个主要特点：一是紧紧围绕教学目标，精心选取机械制造、数控加工、模具制造工作中涉及的液压、气动知识作为教学内容；二是在教材的每一单元，都设置一个体现教学目标要求的典型工作任务，并按照工作任务的要求，将学生需要掌握的元器件和控制回路的结构、原理、分析方法、故障排除方法、设计方法等有机融入其中；三是较多地采用图文结合、以表带文的表现形式。

与本书配套的教学资源有《液压传动与气动技术（第二版）习题册》和教学多媒体课件。其中，多媒体课件可登录中国劳动社会保障出版社主页（www.class.com.cn），在产品天地中的下载专区进行下载。

目 录

CONTENTS

第一篇 液 压 传 动

| | |
|-------------------------------------|----|
| 模块一 液压传动基础知识及动力元件 | 1 |
| 任务 1 认识液压传动系统 | 2 |
| 任务 2 折弯机液压动力元件的选择 | 6 |
| 模块二 液压执行元件 | 14 |
| 任务 1 压力机执行元件的选择 | 14 |
| 任务 2 压力机液压缸的结构设计 | 22 |
| 模块三 方向控制阀 | 28 |
| 任务 1 平面磨床工作台换向控制回路设计 | 28 |
| 任务 2 液压吊车锁紧控制回路设计 | 37 |
| 模块四 压力控制阀 | 43 |
| 任务 1 半自动车床夹紧回路设计 | 43 |
| 任务 2 切割装置回路设计 | 52 |
| 模块五 流量控制阀 | 58 |
| 任务 1 平面磨床工作台调速回路设计 | 58 |
| 任务 2 半自动车床进给控制回路设计 | 65 |
| 模块六 液压系统分析与维护 | 75 |
| 任务 1 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统分析 | 75 |
| 任务 2 SZ-250 型塑料注射成型机液压系统分析与维护 | 79 |

第二篇 气动技术

| | |
|-------------------------------|-----|
| 模块七 气动基础知识及执行元件 | 86 |
| 任务1 认识数控铣床气动平口钳系统 | 86 |
| 任务2 气动冲床执行元件的选择 | 93 |
| 模块八 单缸控制回路设计 | 107 |
| 任务1 送料装置控制回路设计 | 107 |
| 任务2 分料装置控制回路设计 | 115 |
| 任务3 压装装置控制回路设计 | 124 |
| 任务4 选料装置控制回路设计 | 137 |
| 模块九 双缸控制回路设计 | 146 |
| 任务1 检测装置系统回路设计 | 146 |
| 任务2 半自动钻床控制回路设计 | 157 |
| 任务3 汇集装置控制回路设计 | 169 |
| 模块十 气动系统分析与维护 | 178 |
| 任务1 颜料调色振动机气动系统分析 | 178 |
| 任务2 压印装置控制系统维护与故障诊断 | 182 |
| 附录 常用液压与气动元件图形符号 | 191 |

第一篇 液压传动

模块一

液压传动基础知识及动力元件

自 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机算起，液压传动技术已有二三百年的历史。直到 20 世纪 30 年代它才较普遍地应用于起重机、机床及工程机械。

20 世纪 60 年代以后，液压传动技术随着原子能、空间技术、计算机技术的发展而迅速发展。

我国的液压传动技术最初应用于机床和锻压设备上，后来又应用于拖拉机和工程机械。现在，我国的液压元件已形成了系列，并在各种机械设备上得到了广泛的使用，如图 1—1—1 所示是液压传动技术在工业生产中的应用。

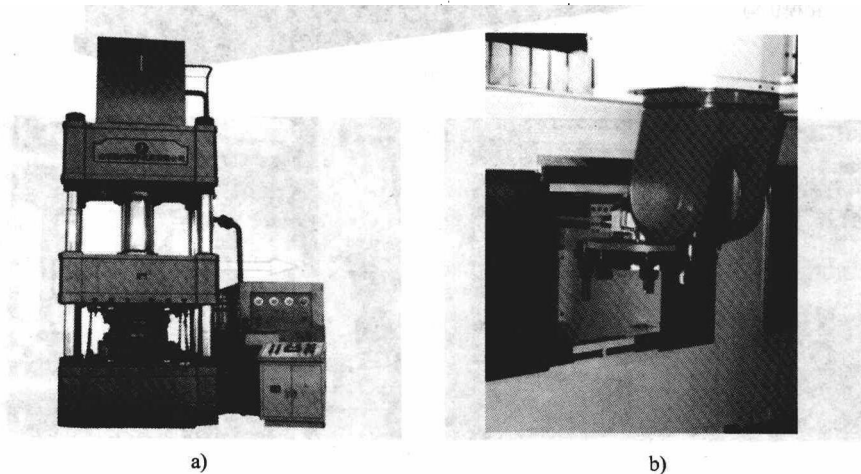


图 1—1—1 液压技术的应用

a) 四柱液压压力机 b) 数控机床中的液压夹紧装置

任务1 认识液压传动系统

教学目标

- ✧ 认识液压传动系统的组成
- ✧ 掌握液压传动系统的工作原理
- ✧ 熟悉液压传动的工作特点



任务引入

图1—1—2a所示是一台卧式注塑机，注塑机注射系统向模具注射塑料的过程中，为了克服型腔内熔体对模具的胀开力，注塑机需要对模具的动模和定模之间施加很大的力使模具处于锁紧状态，这种状态称为锁模，如图1—1—2b所示。而当注射结束后，又要将模具分开以便能取出制件，这就是常说的开模，如图1—1—2c所示。通常把平稳完成这一工作的机构称为锁模机构。那么，在注射机中采用了什么样的传动方式来完成这一工作过程呢？这种方式有什么优点？

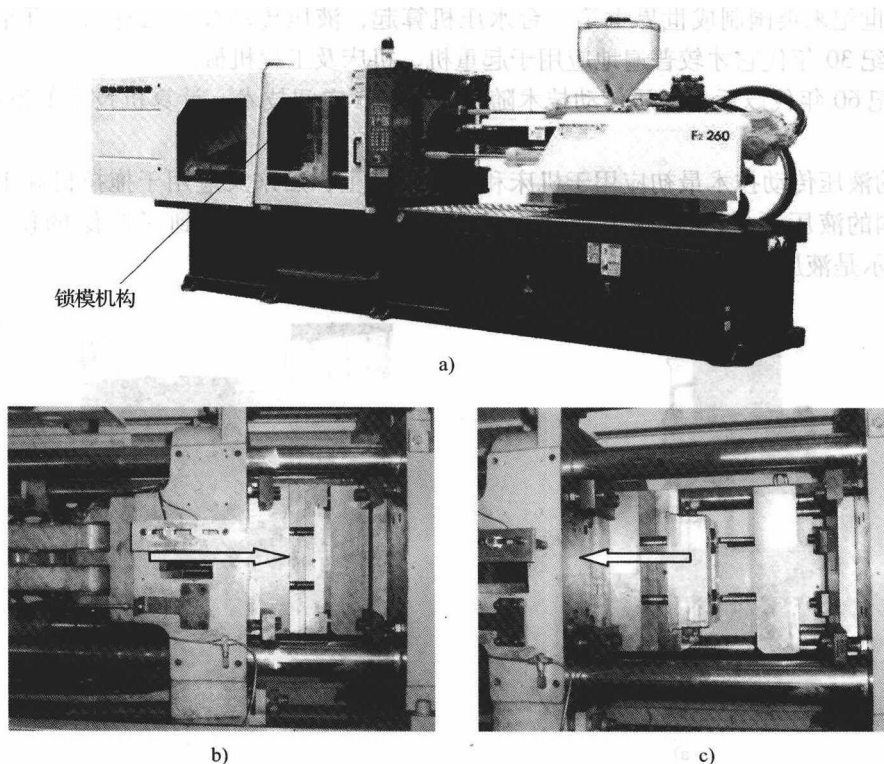


图1—1—2 注塑机

a) 外观图 b) 锁模 c) 开模

任务分析

注塑机的锁模机构在工作时有两个最主要的要求：一是要求整个工作非常平稳，以防止在锁模过程中模具的动模和定模之间发生大的冲击造成模具的损坏，二是要求锁模力足够大且能很方便地根据需要进行调节。通常可以采用液压传动方式来达到上述要求。

本任务需要通过对注塑机锁模机构液压系统的工作分析，掌握液压传动系统的工作原理和结构组成，并了解液压传动的工作特点。

相关知识

一、注塑机锁模机构液压传动系统工作过程

初始状态：如图 1—1—3a 所示为注塑机锁模机构液压传动系统结构原理图，由图可见，液压泵 3 由电动机带动从油箱 1 中吸油，然后将具有压力能的油液输送到管路，油液通过节流阀 4 和管路流至换向阀 6。换向阀 6 的阀芯有不同的工作位置（图中有三个工作位置），因此通路情况不同。当阀芯处于图示位置（中间位置）时，阀口 P、A、B、T 互不相通，通向液压缸的油路被堵死，此时液压缸里没有压力油输入，活塞 9 不产生运动。

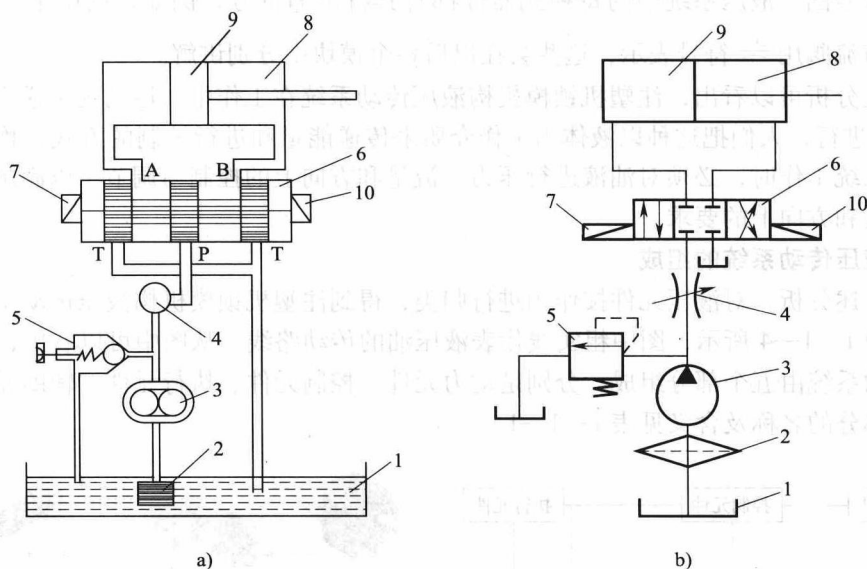


图 1—1—3 注塑机锁模机构液压传动系统

a) 结构原理图 b) 图形符号图

1—油箱 2—滤清器 3—液压泵 4—节流阀

5—溢流阀 6—三位四通电磁换向阀 7、10—电磁线圈 8—液压缸 9—活塞

锁模工作状态：当电磁线圈 7 通电时，阀芯向左移动（左位工作），这时阀口 P 和 A 相通、阀口 B 和 T 相通，压力油经 P 口流入换向阀 6，经 A 口流入液压缸 8 的左腔，活塞 9 在液压缸左腔压力油的推动下向右移动，并带动锁模机构的机械装置完成锁模动作，而液压缸



右腔的压力油则经 B 口和 T 口流回到油箱 1。

开模工作状态：当电磁线圈 10 通电时，阀芯向右移动（右位工作），这时阀口 P 和 B 相通，阀口 A 和 T 相通，压力油通过换向阀 6 的 B 口流入液压缸的右腔，活塞 9 在液压缸右腔压力油的推动下向左移动，并带动锁模机构的机械装置完成开模动作，而液压缸左腔的压力油则经 A 口和 T 口流回油箱 1。

根据不同的加工要求，可以利用改变节流阀 4 开口的大小来调节通过节流阀的流量，以控制锁模和开模过程的运动速度。这样既可以控制锁膜机构工作的平稳性，以免速度过快造成模具损伤。

在锁模和开模过程中，由于工作情况不同，要克服的阻力也不同，不同的阻力都是由液压泵输出油液的压力能来克服的，系统的压力可通过溢流阀 5 调节。当系统中的油压升高到稍高于溢流阀的调定压力时，溢流阀上的钢球被顶开，油液经溢流阀排回油箱，这时油压不再升高，维持定值。这样，既可以调节锁模力的大小，使锁模机构有足够大的压力锁紧模具，又可以保证锁紧力在一定的范围内，避免过压造成模具损伤。

为保持油液的清洁，还设置了滤清器 2，将油液中的污物杂质过滤掉，使系统正常工作。

在液压系统的分析、设计、故障诊断与排除过程中，会用简单的符号代表特定的元器件，以便专业技术人员更好地读图和绘图，这时就用到了如图 1—1—3b 所示的注塑机液压系统图形符号图。液压系统中的每种元器件都有其特定的符号，例如，液压泵用  符号表示，可调节流阀用  符号表示，这些会在以后各个模块中分别讲解。

从以上分析可以看出，注塑机锁模机构液压传动系统中，运动的传递主要靠液体（压力油）进行，人们把这种以液体为工作介质来传递能量和进行控制的方式，称为液压传动。液压系统工作时，必须对油液进行压力、流量和方向上的控制与调节，以满足工作部件在力、速度和方向上的要求。

二、液压传动系统的组成

通过上述分析，对液压元件按作用进行归类，得到注塑机锁模机构液压传动系统的组成框图，如图 1—1—4 所示，图中粗实线代表液压油的传动路线。从图中可以看出，一个完整的液压传动系统由五个部分组成，分别是动力元件、控制元件、执行元件、辅助元件和传动介质，各部分的名称及含义见表 1—1—1。

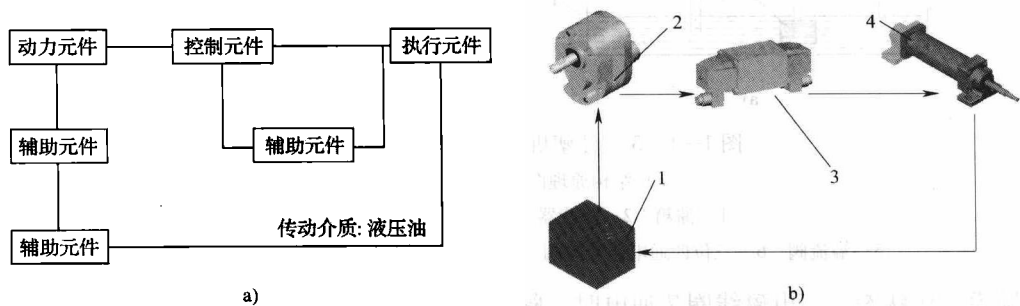


图 1—1—4 锁模机构液压系统的组成

a) 框图 b) 元件实物图

1—油箱 2—液压泵 3—控制阀 4—液压缸

表 1—1—1 液压传动系统的组成部分及含义

| 组成部分 | 含 义 | 典型元件 |
|------|--|--------------------------|
| 动力元件 | 它供给液压系统压力油，将电动机输出的机械能转换为流体的压力能，从而向整个液压系统提供动力 | 液压泵 |
| 控制元件 | 对液压系统中流体的压力、流量和流动方向进行控制和调节的装置 | 各种阀类元件、信号检测元件 |
| 执行元件 | 把流体的压力能转换成机械能的装置，驱动负载做直线或回转运动 | 液压缸、液压马达 |
| 辅助元件 | 起到存储和过滤液压油、连接油路、监视系统工作情况、防止液压油渗漏等作用 | 油箱、油管、滤油器、油管及管接头、密封圈、压力表 |
| 传动介质 | 在液压传动系统中传递能量的介质 | 液压油 |

现将图 1—1—3 所示注塑机锁模机构液压传动系统结构原理图中的元件根据表 1—1—1 进行分类，可得到表 1—1—2。

表 1—1—2 注射机锁模机构液压传动系统的元件分类

| 组成部分 | 典型元件 |
|------|-------------------------|
| 动力元件 | 液压泵 3 |
| 控制元件 | 节流阀 4、溢流阀 5、三位四通电磁换向阀 6 |
| 执行元件 | 液压缸 8 |
| 辅助元件 | 油箱、油管、滤清器 2 |
| 传动介质 | 液压油 |

三、液压传动的工作特点

与机械传动相比较，由于液压传动是油管连接，所以，借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构，这是比机械传动优越的地方。液压传动装置的质量轻、结构紧凑、惯性小，可在大范围内实现无级调速。

液压传动的主要工作特点如下：

1. 运动传递均匀平稳，负载变化时速度较稳定。因此，液压传动技术广泛应用于要求传动平稳的机械上，如磨床上几乎全部采用了液压传动。

2. 液压装置易于实现过载保护——借助于设置溢流阀等元件，自动防止过载，避免发生事故。同时，由于采用液压油作为工作介质，使液压传动装置能自行润滑，因此，液压元件使用寿命长。

3. 液压传动容易实现自动化——借助各种控制阀，特别是液压控制和电气控制结合使用时，能很容易地实现复杂的自动工作循环，而且可以实现遥控。目前，液压传动在组合机床和自动生产线上应用普遍。

4. 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化，易于设计和组织专业性大批量生产，从而可提高生产率和产品质量、降低成本。

5. 液压系统中存在漏油等问题，会影响运动的平稳性和正确性，使液压传动不能保证严格的传动比。



知识链接

液压技术的应用范围

由于液压技术有许多突出的优点，因此，从民用到国防，由一般传动到精确度很高的控制系统，液压技术都得到了广泛的应用。

在国防工业中，陆、海、空三军的很多武器装备都采用了液压传动与控制技术，如飞机、坦克、舰艇、雷达、火炮、导弹和火箭等。

在机床工业中，机床传动系统中普遍采用液压传动与控制技术，如磨床、铣床、刨床、拉床、压力机、剪床和组合机床等。

在冶金工业中，电炉控制系统、轧钢机的控制系统、平炉装料、转炉控制、高炉控制等都采用了液压技术。

在工程机械中，普遍采用了液压传动，如挖掘机、轮胎装载机、汽车起重机、履带推土机、轮胎起重机、自行式铲运机、平地机和振动式压路机等。

在农业机械中，采用液压技术应用也很广泛，如联合收割机、拖拉机和犁等。

在汽车工业中，液压越野车、液压自卸式汽车、液压高空作业车和消防车等均采用了液压技术。

在轻纺工业中，采用液压技术的有塑料注塑机、橡胶硫化机、造纸机、印刷机和纺织机等。

在船舶工业中，应用液压技术很普遍，如全液压挖泥船、打捞船、打桩船、采油平台、水翼船、气垫船和船舶辅机等。

近几年，又在太阳跟踪系统、海浪模拟装置、船舶驾驶模拟器、地震再现装置、火箭助飞发射装置、宇航环境模拟和高层建筑防震系统及紧急刹车装置等设备中，采用了液压技术。

任务2 折弯机液压动力元件的选择

教学目标

- ✧ 掌握液压泵的主要性能参数
- ✧ 掌握齿轮泵的结构和工作原理
- ✧ 掌握液压泵的选择方法



任务引入

如图 1—2—1 所示为利用液压传动来驱动的折弯机，薄板工件的弯曲成形是由液压缸带动压力头向下运动实现的，工作时液压系统液压油的最大流量为 18 L/min ，最大工作压力为 18 kgf/cm^2 。通过任务 1 的学习，现已知道，向液压系统提供动力源的是动力元件（液压泵），本任务要求选择满足折弯机液压系统工作要求的动力元件。

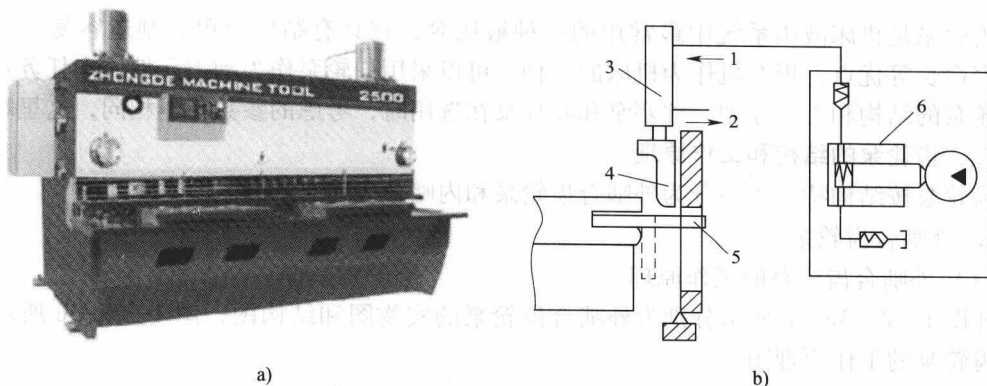


图 1—2—1 折弯机

a) 实物图 b) 工作原理

1—进油口 2—出油口 3—液压缸 4—压头 5—薄板工件 6—液压泵

任务分析

如图 1—2—1b 所示，要使薄板在压头向下运动的作用下产生变形从而得到所需要的形状，就要求进入液压缸的压力油的压力和流量能使液压缸推动压头向下运动并克服薄板变形时产生的抗力。向液压缸提供压力油的是动力元件（液压泵），那么，液压泵是如何为液压系统输出压力油的呢？怎样根据系统要求来选择液压泵呢？

相关知识

一、折弯机液压系统工作过程和液压泵的种类

如图 1—2—1b 所示，液压泵 6 输出的压力油进入液压缸进油口 1 后进入液压缸的上工作腔，这时与活塞杆相连的压头 4 向下运动，将薄板工件 5 压弯。在折弯机液压系统中，液压泵负责向整个液压系统提供足量的压力油。液压泵将原动机（电动机或内燃机）输出的机械能转换为工作液体的压力能，是一种能量转换装置。

常用的液压泵分为齿轮泵、柱塞泵、叶片泵等，如图 1—2—2 所示。

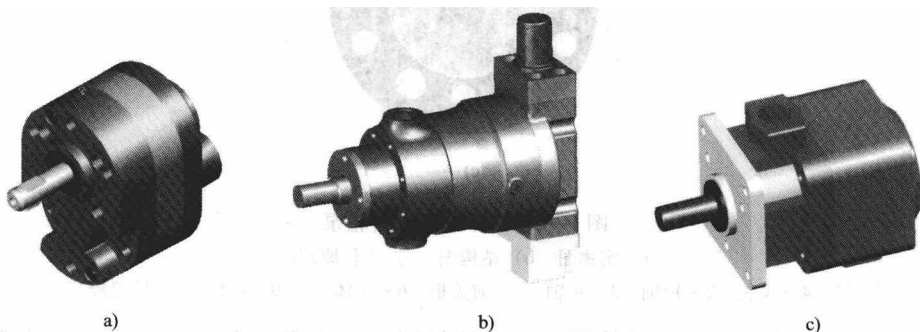


图 1—2—2 常用的液压泵

a) 齿轮泵 b) 柱塞泵 c) 叶片泵

齿轮泵是机床液压系统中最常用的一种液压泵，它具有结构简单、制造容易、工作可靠、寿命长等优点，折弯机作为机床的一种，可以采用齿轮泵作为动力元件。本任务重点讲解齿轮泵的结构和工作原理，柱塞泵和叶片泵在选用时，考虑的参数基本相同，这里略过。

二、齿轮泵的结构和工作原理

齿轮泵按结构特点主要分为外啮合齿轮泵和内啮合齿轮泵两种。

1. 外啮合齿轮泵

(1) 外啮合齿轮泵的工作原理

如图 1—2—3a、b 所示分别为外啮合齿轮泵的实物图和结构图，图 1—2—3c 所示为外啮合齿轮泵的工作原理图。

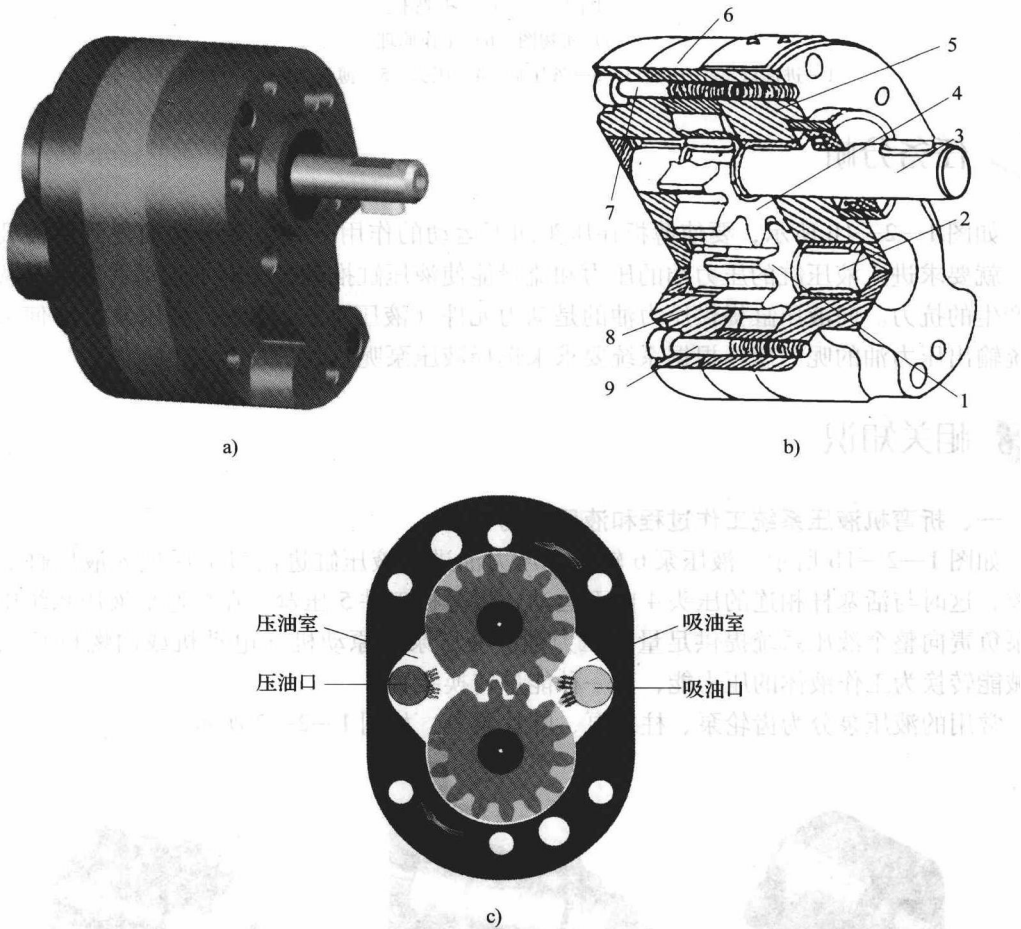


图 1—2—3 外啮合齿轮泵

a) 实物图 b) 结构图 c) 工作原理图

1、4—齿轮 2—短轴 3—长轴 5—前盖板 6—泵体 7、9—螺钉 8—后盖板

如图 1—2—3c 所示，当齿轮按图示方向旋转时，右方吸油室由于相互啮合的轮齿逐渐脱开，密封工作容积逐渐增大，形成部分真空，因此，油箱中的油液在外界大气压力的作用

下,经吸油口进入吸油室,将齿间槽充满,并随着齿轮旋转,把油液带到左方压油室内,随着齿轮的相互啮合,压油室密封工作腔容积不断减小,油液便被挤出去,从压油口输送到压力管路中去。在齿轮泵的工作过程中,只要两齿轮的旋转方向不变,其吸、压油室的位置也就确定不变。从外啮合齿轮泵的工作原理可以看出,油泵在工作时,吸油和压油是依靠吸油室和压油室的容积变化来实现的,因此这种泵也叫做容积泵。

(2) 外啮合齿轮泵的应用场合

外啮合齿轮泵输出的流量较均匀、构造简单、工作可靠、维护方便,一般具有输送流量小和输出压力高的特点。通常,齿轮泵多用于输送黏性较大的液体,不宜输送黏性较小的液体及含有杂质的液体(严重影响齿轮泵的寿命)。

2. 内啮合齿轮泵

在液压传动中,有时需要齿轮泵在较低的转速下输出较大的流量,这时,前面所学的外啮合齿轮泵不能满足这些需求,就要采用内啮合齿轮泵。

内啮合齿轮泵有渐开线齿形和摆线齿形两种,其结构如图1—2—4所示。这两种内啮合齿轮泵的工作原理和主要特点皆与外啮合齿轮泵相同。在渐开线齿形内啮合齿轮泵中,小齿轮和内齿轮之间要装一块月牙隔板,以便把吸油室和压油室隔开,如图1—2—4a所示;摆线齿形内啮合齿轮泵又称摆线转子泵,在这种泵中,小齿轮和内齿轮只相差一齿,因而不需要设置隔板,如图1—2—4b所示。内啮合齿轮泵中的小齿轮是主动轮,大齿轮是从动轮,在工作时大齿轮随小齿轮同向旋转。如图1—2—4c所示为内啮合齿轮泵的实物图。

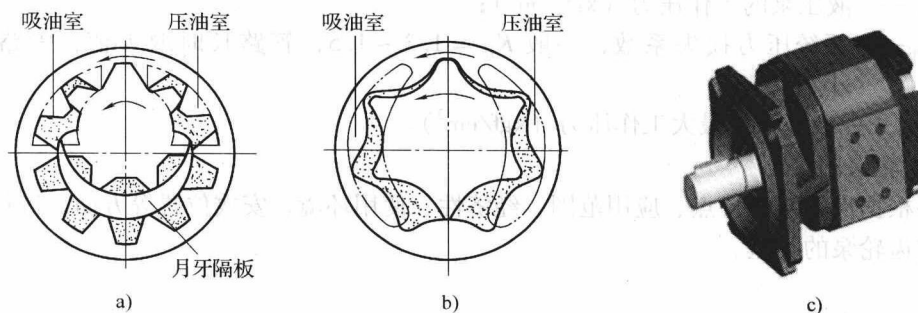


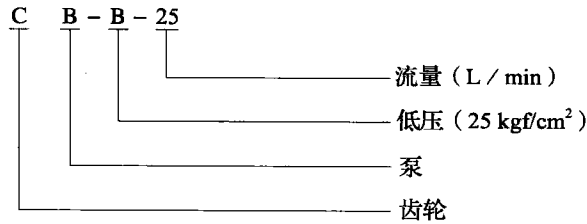
图1—2—4 内啮合齿轮泵

a) 渐开线齿形 b) 摆线齿形 c) 实物图

内啮合齿轮泵的结构紧凑、尺寸小、质量轻、运转平稳、噪声低,在高转速工作时具有较高的容积效率。但在低速、高压下工作时,压力脉动大、容积效率低,所以,一般用于中、低压系统。在闭式系统中,常用这种泵作为补油泵。内啮合齿轮泵的缺点是齿形复杂、加工困难、价格较贵,且不适合高速高压的工况。

3. 齿轮泵型号表示方法和含义

目前,各个生产厂家的齿轮泵型号标志都不相同,较为通用的型号表达方法及参数含义如下:



三、液压泵的选择

选择液压泵时，主要是确定液压泵的输油量、工作压力和结构形式。

1. 液压泵的输油量

液压泵的输油量可根据液压系统所需的最大流量以及系统中的泄漏情况选择，通常按如下公式计算：

$$Q_{\text{泵}} \geq K_{\text{漏}} Q_{\text{最大}}$$

式中 $Q_{\text{泵}}$ ——液压泵的输油量 (L/min)；

$K_{\text{漏}}$ ——系统的泄漏系数，一般 $K_{\text{漏}} = 1.1 \sim 1.3$ ，管路长时取大值，管路短时取小值；

$Q_{\text{最大}}$ ——系统中实际所需的最大流量 (L/min)。

2. 液压泵的工作压力

液压泵的工作压力按系统中最大工作压力来确定，计算公式如下：

$$p_{\text{泵}} \geq K_{\text{压}} p_{\text{最大}}$$

式中 $p_{\text{泵}}$ ——液压泵的工作压力 (kgf/cm²)；

$K_{\text{压}}$ ——系统压力损失系数，一般 $K_{\text{压}} = 1.3 \sim 1.5$ ，管路长时取大值，管路短时取小值；

$p_{\text{最大}}$ ——液压系统最大工作压力 (kgf/cm²)。

3. 齿轮泵的类型

主要根据齿轮泵的特点、应用范围、经济性、使用环境、安放位置等方面，进行分析比较后确定齿轮泵的类型。



任务实施

折弯机液压系统在结构上较为紧凑，液压管道较短。因此可以取 $K_{\text{漏}} = 1.1$ ， $K_{\text{压}} = 1.3$ 。据此分别计算出齿轮泵的输油量和工作压力。

齿轮泵的输油量为： $Q_{\text{泵}} \geq K_{\text{漏}} Q_{\text{最大}} = 1.1 \times 18 = 19.8 \text{ L/min}$

齿轮泵的工作压力为： $p_{\text{泵}} \geq K_{\text{压}} p_{\text{最大}} = 1.3 \times 18 = 23.4 \text{ kgf/cm}^2$

折弯机作为一般的机床，整个液压系统要求成本较低、维护方便，在压制薄板的工作过程中要求运动平稳，所以可以选择外啮合齿轮泵作为系统的动力元件，根据计算所得的输油量和工作压力要求，最终选定 CB - B - 20 型外啮合齿轮作为折弯机液压系统的动力元件。

注：每个厂家生产的液压泵皆可以按照输油量和工作压力参数进行选择，具体参数需参





考相应的产品说明书。

知识链接

一、液压泵的职能符号及说明

折弯机液压系统中采用的液压泵，除了用实物表达外，还可以使用特定的符号来表示，即泵的职能符号。实际上，在表达液压泵的时候，更多的是采用职能符号而不是用实物来表达。在本任务中，还提到了液压泵的输油量，液压泵按输油量的可调性及输出方向的可变化性，可以分为定量泵及变量泵，单向泵及双向泵等。液压泵的职能符号及说明见表 1—2—1。

表 1—2—1 液压泵的职能符号及说明

| 职能符号 | 名称 | 说明 |
|---|-------|-------------------------|
|  | 单向定量泵 | 输出的油量一定，且输出方向不可改变 |
|  | 单向变量泵 | 输出的油量可以调节，输出方向不可改变 |
|  | 双向定量泵 | 输出的油量一定，输出方向可以相互间逆变 |
|  | 双向变量泵 | 不仅输出的油量可以调节，而且输出方向也可以逆变 |

二、液压传动中的几个重要参数

在折弯机动力元件的选择中，折弯机液压系统对流量和工作压力的要求是选择液压泵的重要参数。因此，在液压系统中，必须掌握压力和流量的相关知识。

1. 压力

液体在单位面积上所受的力称为压力，通常用 p 表示， $p = F/A$ 。

式中， F 表示负载对液压缸的作用力，也是液压系统工作时，液压缸对负载产生的推力或拉力； A 通常指的是压力油作用在活塞上的有效面积。

因液压系统中活塞面积已经在设计和制造中确定，所以，实际应用中 A 是不变的。故液压系统工作压力的大小一般由工作时的负载大小决定。压力的法定计量单位为帕斯卡 (Pa)，工程应用中也常采用兆帕 (MPa) 和公斤力/平方厘米 (kgf/cm^2)，其他还有很多种表示方法，它们之间的换算关系见表 1—2—2。