

工学结合的特色教材（高职高专教育）

YEYA YU QIDONG JISHU

液压与气动 技术



主 编 / 朱 杰 张双侠
副主编 / 孙 李 卢 华
王明杰



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

工学结合的特色教材（高职高专教育）

液压与气动技术

主 编 朱 杰 张双侠

副主编 孙 筱 卢 华
李 华 王明杰

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书是根据高职高专教育改革的要求,按照项目导向内容编写,突出了学习任务和工作任务,目的是提高学生应用液压与气动技术的能力。全书共有14个项目,每个项目中的工作任务与实际联系紧密,均是案例典型。典型工作任务有:Y32—500A型万能液压机液压系统、QY25汽车起重机液压系统、ME1432B型万能外圆磨床液压系统、ZF8000/18/34型放顶煤液压支架系统、机电一体化柔性生产线的加盖单元、SQJ—CNC—120塑料门窗数控角缝清理机气压系统、番茄酱杀菌灌装生产线。

本书适合机械制造与自动化、机电一体化技术、机电设备维修与管理、数控技术、电气自动化技术专业的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术 / 朱杰, 张双侠主编. —天津:
天津大学出版社, 2011. 12

工学结合的特色教材. 高职高专教育
ISBN 978-7-5618-4229-4

I. ①液… II. ①朱… ②张… III. ①液压传动—高等职业教育—教材②气压传动—高等职业教育—教材
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第261104号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742

网 址 www.tjup.com

印 刷 河间市新诚印刷有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm×260mm

印 张 13.75

字 数 343千

版 次 2012年1月第1版

印 次 2012年1月第1次

印 数 1—2000

定 价 28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与我社发行部联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

在调研了新疆潞安环能机械制造公司、徐工集团新疆代表处、新疆蓝山屯河型材有限公司、中粮屯河番茄制品有限公司、新疆五彩湾露天煤矿、特变电工、新疆天业集团、新疆天富热电、新疆吉瑞祥集团等企业后，编者与企业工程师对机械制造及自动化相关专业所涵盖的岗位群进行了工作任务和职业能力分析，针对高职教育对培养学生的职业素质的要求，确定了本教材的内容。

本教材从企业和学校的实际出发，选编了以下典型设备作为学生学习的典型工作任务：Y32—500A 型万能液压机液压系统、QY25 汽车起重机液压系统、ME1432B 型万能外圆磨床液压系统、ZF8000/18/34 型放顶煤液压支架系统、机电一体化柔性生产线加盖单元、SQJ—CNC—120 塑料门窗数控角缝清理机气压系统、番茄酱杀菌灌装生产线。

本教材的基础知识简单直观，将知识点和能力要求凝结在工作任务中，讲究从工作实际出发、在应用中学习。在工作任务中突出机电结合的特点，把液压（气动）系统和电控系统结合在一起，突出专业特点。全书共分为 14 个项目，每一部分都坚持知识、技能、拓展并举的原则。本教材适合机械制造与自动化、机电一体化技术、机电设备维修与管理、数控技术、电气自动化技术专业的学生使用。

本教材编写人员及分工如下：新疆昌吉职业技术学院李华编写项目 1、2，卢华编写项目 3、4，王明杰编写项目 6，张双侠编写项目 5、9、10，朱杰编写项目 11、12、13、14；新疆工业高等专科学校孙筱编写项目 7、8。其中朱杰、张双侠任主编。

在教材编写中得到以下企业人员的大力支持，他们是徐工集团新疆代表处陈涛、黄源，中联重科工程起重机分公司乌鲁木齐办事处谢天娇，陕西机床厂新疆销售代理齐德强，郑煤机集团李俊汉、何赐杰，新疆蓝山屯河化工有限公司焦春林，郑煤机集团潞安新疆机械有限公司朱彦杰，在此对他们的帮助表示感谢！

在本书的编写过程中，编者重视基础知识和基本技能，且典型案例和情景均是基于工作过程的，但书中不足之处在所难免，恳请读者和同行批评指正。

编者

2011 年 10 月

目 录

项目1 液压千斤顶的拆装与修理 / 1

学习任务1 液压千斤顶的工作原理及理论计算 / 1

学习任务2 液压系统的组成 / 2

学习任务3 液压传动的优缺点 / 3

学习任务4 液压油的使用 / 4

工作任务 液压千斤顶的拆装与修理 / 5

练习题 / 5

项目2 液压泵的使用与检修 / 7

学习任务1 齿轮泵的工作原理 / 7

学习任务2 齿轮泵存在的三个问题 / 7

学习任务3 渐开线内啮合齿轮泵的工作原理 / 9

学习任务4 齿轮泵的主要性能参数 / 10

工作任务1 CBH 齿轮泵的拆卸与检修 / 11

工作任务2 齿轮泵发出噪声的任务解决 / 13

学习任务拓展1 叶片泵的结构与原理 / 13

学习任务拓展2 柱塞泵的结构与原理 / 15

练习题 / 17

项目3 液压缸与液压马达的使用与维修 / 18

学习任务1 液压缸的工作原理和分类 / 18

学习任务2 液压缸基本参数的计算 / 19

学习任务3 液压缸的结构 / 21

学习任务4 液压马达的分类 / 27

学习任务5 液压马达的主要工作参数和使用性能 / 28

学习任务6 典型液压马达原理介绍 / 29

工作任务1 液压缸的检修 / 30

工作任务2 转阀式液压转向器的拆装 / 32

练习题 / 36

项目4 液压控制阀的应用与维修 / 37

学习任务1 液压控制元件简介 / 37

学习任务2 方向控制阀的换向原理和滑阀机能 / 38

学习任务3 溢流阀、顺序阀、减压阀的工作原理和压力继电器的作用 / 45

学习任务4 流量控制阀的工作原理 / 50

学习任务5 比例阀、插装阀和叠加阀的工作原理 / 51

工作任务1 方向控制阀的常见故障及排除方法 / 55

- 工作任务2 先导式溢流阀的常见故障及排除方法 / 56
- 工作任务3 流量控制阀的常见故障及排除方法 / 57
- 工作任务4 叠加式液压系统的组装 / 57
- 工作任务5 压力控制阀拆装实训 / 57
- 练习题 / 59

项目5 液压辅助元件的应用与检修 / 60

- 学习任务1 油箱的功用、要求和分类 / 60
- 学习任务2 油管和油管接头使用 / 63
- 学习任务3 油的污染和滤油器 / 65
- 学习任务4 蓄能器 / 67
- 学习任务5 压力表和压力表开关 / 69
- 工作任务 油箱的清理 / 72
- 练习题 / 72

项目6 典型液压回路的组建 / 74

- 学习任务1 方向控制回路的结构组成和原理功能 / 74
- 学习任务2 压力控制回路的结构组成和原理功能 / 76
- 学习任务3 速度控制回路的结构组成和原理功能 / 82
- 学习任务4 顺序动作回路的结构组成和原理功能 / 87
- 工作任务1 液压回路的组建 / 91
- 工作任务2 液压回路的常见故障及排除方法 / 92
- 工作任务拓展 液压系统故障分析 / 93
- 练习题 / 94

项目7 典型液压系统的使用维护与故障排除 (一) / 96

- 学习任务1 Y32—500A 型万能液压机组组成及安全操作规程和维护保养 / 96
- 学习任务2 Y32—500A 型万能液压机液压系统及电气系统分析 / 97
- 学习任务3 Y32—500A 型万能液压机故障排除与维修方法 / 100
- 工作任务 Y32—500A 型万能液压机的操作和维护保养 / 101
- 练习题 / 102

项目8 典型液压系统的使用维护与故障排除 (二) / 103

- 学习任务1 产品简介 / 103
- 学习任务2 安全操作规程 / 104
- 学习任务3 液压系统分析 / 105
- 学习任务4 汽车起重机液压系统故障分析 / 110
- 工作任务 QY25 汽车起重机液压系统故障分析 / 114
- 练习题 / 125

项目9 典型液压系统的使用维护与故障排除 (三) / 126

- 学习任务1 产品介绍及技术安全须知 / 126

学习任务2 液压系统分析 / 128

学习任务3 一般液压设备的使用与维护须知 / 133

工作任务 ME1432B 型万能外圆磨床液压系统故障、产生原因及消除方法 / 134

练习题 / 136

项目10 ZF8000/18/34 型放顶煤液压支架使用与故障排除 / 137

学习任务1 液压支架主要技术特征和检修指南 / 137

学习任务2 操作步骤及操作维护的要求 / 139

学习任务3 液压支架的主要结构件 / 141

学习任务4 液压系统的组成 / 144

工作任务 ZF8000/18/34 型放顶煤液压支架常见故障与排除方法 / 148

练习题 / 156

项目11 空压机的使用与检修 / 157

学习任务1 气源装置 / 157

学习任务2 其他辅助元件 / 161

工作任务 活塞式空压机的日常保养 / 164

练习题 / 164

项目12 机电一体化生产线加盖单元 / 165

学习任务1 气缸 / 165

学习任务2 气动马达 / 172

工作任务 机电一体化柔性生产线的加盖单元运行 / 176

练习题 / 178

项目13 SQJ—CNC—120 塑料门窗数控角缝清理机的使用与维修 / 179

学习任务1 方向控制阀及方向控制回路 / 179

学习任务2 流量控制阀及流量控制回路 / 182

学习任务3 压力控制阀及压力控制回路 / 185

学习任务4 其他基本回路 / 187

学习任务5 气动逻辑元件简介 / 188

工作任务 SQJ—CNC—120 塑料门窗数控角缝清理机的使用与维修 / 190

练习题 / 196

项目14 番茄酱杀菌灌装生产线的使用与维修 / 197

学习任务1 简单气动传动系统设计简介 / 197

学习任务2 气动传动系统的安装和使用 / 200

学习任务3 气动系统主要元件的常见故障和排除方法 / 202

工作任务 番茄酱杀菌灌装生产线的使用与维修 / 203

练习题 / 208

参考文献 / 210

项目1 液压千斤顶的拆装与修理

情景描述：汽修车间内有液压千斤顶5台，其中有4台液压千万顶当摇动手柄时均不举升。

学习任务：1. 液压千斤顶的工作原理及理论计算；

2. 液压系统的组成；

3. 液压传动的优缺点；

4. 液压油的使用。

工作任务：液压千斤顶的拆装与修理。



学习任务1 液压千斤顶的工作原理及理论计算

1. 液压千斤顶的工作原理

如图1.1所示，液压千斤顶的结构中有两个液压缸（简称油缸），小油缸完成吸压油动作，大油缸则在油液压力的作用下把重物顶起。千斤顶的动作过程如下：用手向上扳动手柄，小油缸中的小活塞向上移动，油从油箱经过管道1、单向阀1（只准油液单方向流动的阀门）进入小油缸下腔，产生抽吸作用；当撤下手柄，小活塞下移时，就将吸入小油缸下腔的油，经管道2、单向阀2压入大油缸下腔，此时左面单向阀1不通，迫使大活塞向上移动，从而顶起重物。这样不断地上下扳动手柄就能将油间歇地压入大油缸下腔，使重物缓慢上升，而且由于油液的不可压缩性，可以随时保持重物的上升位置。工作完毕，若要取出千斤顶，则可拧开放油塞，大油缸下腔的油就可经管道流回油箱，大活塞下移，千斤顶也就取出来了。

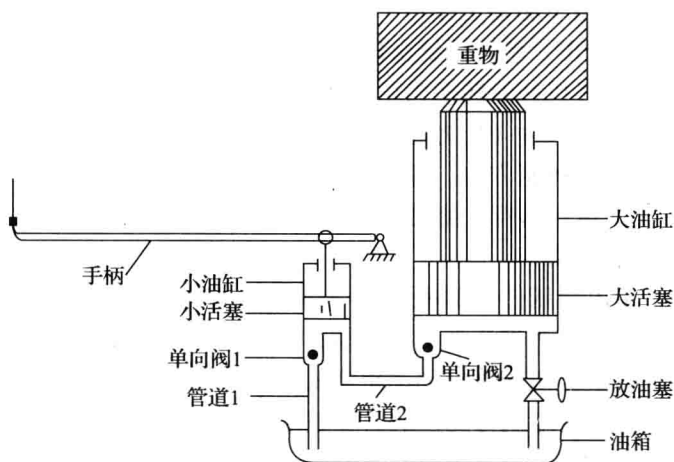


图1.1 液压千斤顶工作原理图

2. 液压千斤顶的理论计算

(1) 力的分析

设小活塞面积为 A_1 ，大活塞面积为 A_2 ，作用在小活塞的外力为 F_1 ，重物重力为 G ， p 为压力，根据帕斯卡原理，则有： $F_1 = pA_1$ ， $G = pA_2$ 。由于压力相等，可推导出 $\frac{F_1}{A_1} = \frac{G}{A_2}$ 。

(2) 运动的分析

设当撤下手柄，小活塞下移时，位移为 s_1 ，大活塞向上移动，顶起重物的位移为 s_2 。由于两油缸下腔油液体积变化相等、完成位移时间相同，则有： $A_1s_1 = A_2s_2$ ， $v_1A_1 = v_2A_2$ 。

(3) 功和功率的分析

设单位时间内流过过流断面的流体体积（体积流量，简称流量）为 $Q = \frac{V}{t}$ ，其中 V 为体积变化量。

小活塞的机械功 $W_1 = F_1s_1$ ，大活塞的机械功 $W_2 = Gs_2$ ，根据能量守恒定律有 $W_1 = W_2 = pV$ 。

小活塞的机械功率 $P_1 = \frac{W_1}{t_1} = p \frac{V_1}{t_1} = pQ$ 。

大活塞的机械功率 $P_2 = \frac{W_2}{t_2} = p \frac{V_2}{t_2} = pQ$ 。

学习任务2 液压系统的组成

如上所述，千斤顶实际是一个简单的液压系统。图 1.2 所示为磨床工作台液压系统，其工作原理为：在图（a）所示位置，液压泵 4 由电动机带动旋转后，从油箱 1 中吸油，油液经滤油器 2 进入液压泵 4 的吸油腔，并经液压泵 4、换向阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 左腔，液压缸 18 右腔的油液经换向阀 15 流回油箱，液压缸活塞 17 在压力油的作用下驱动工作台 19 右移。反之，通过换向阀 15 换向（阀心左移），如图 1.2（b）所示，压力油进入液压缸 18 的右腔，液压缸 18 左腔的油液经换向阀 15 流回油箱，液压缸活塞 17 在压力油的作用下驱动工作台 19 左移。

根据以上分析可以看出，液压系统由以下五部分组成：

- ① 动力元件——泵（机械能转换为压力能）；
- ② 执行元件——缸、马达（压力能转换为机械能）；
- ③ 控制元件——阀（控制方向、压力及流量）；
- ④ 辅助元件——油箱、油管、滤油器；
- ⑤ 工作介质——液压油。

根据上述学习，引出液压传动的概念：以液压油作为工作介质，通过动力元件（油泵）将原动机的机械能转换为液压油的压力能；再通过控制元件，然后借助执行元件（油缸或马达）将压力能转换为机械能，驱动负载实现直线或回转运动；且通过对控制元件操纵和对压力流量的调节，调定执行元件的力和速度。液压传动系统中，一般用通断式控制元件，例如常规的液压系统中普遍采用的压力阀、流量阀、方向阀以及由此组成的组合阀等，所控制的参数（如压力、流量）是依靠手动机构（调节手柄）等来调定的；就其控

制目的而言，都是保持被调定值的稳定或单纯变换方向，因此也叫定值和顺序控制元件。

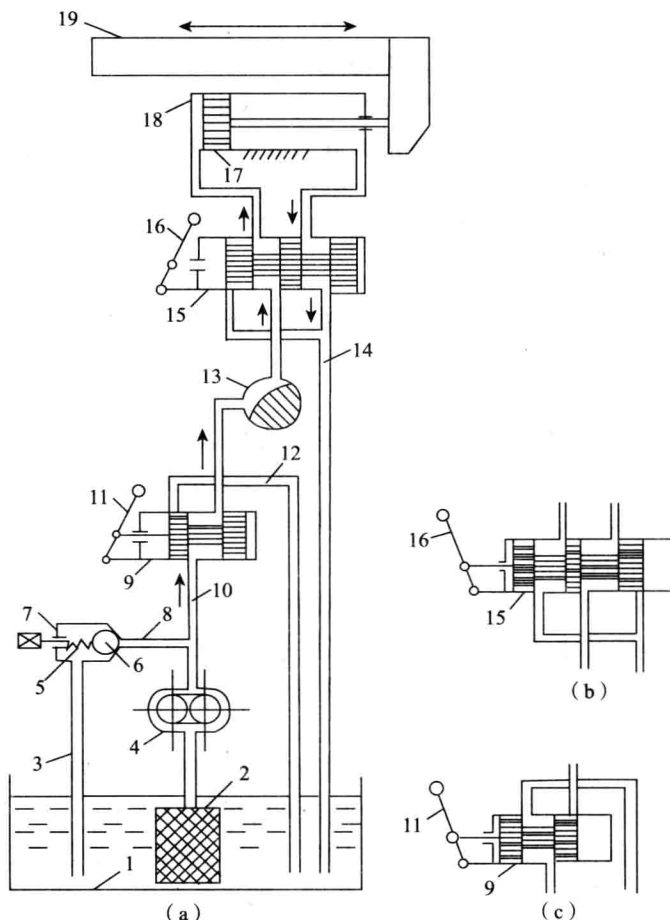


图 1.2 磨床工作台液压系统

1—油箱；2—滤油器；3, 12, 14—回油管；4—液压泵；5—弹簧；6—钢球；
7—溢流阀；8—压油支管；9, 15—换向阀；10—压油管；11, 16—换向手柄；
13—节流阀；17—活塞；18—液压缸；19—工作台

学习任务 3 液压传动的优缺点

1. 液压传动的优点

- ① 在功率相同的情况下，液压传动比电传动的结构体积小、质量轻。
- ② 工作平稳，换向冲击小，便于实现频繁换向。
- ③ 最高转速和最低转速范围大，低速运动平稳，易实现无级变速。
- ④ 液压系统反应灵敏、控制精度高，在大功率控制系统中，更能发挥其优点。
- ⑤ 操作方便、省力。
- ⑥ 液压元件已大部分实现系列化、标准化，通用性好。

2. 液压传动的缺点

- ① 由于同时存在机械摩擦、液体摩擦和泄漏，效率较低，并产生热量。

- ② 因油有泄漏和弹性变形, 传动精度不如机械传动。
 - ③ 因油的黏度随温度而变化, 从而会影响机器的性能。
 - ④ 因多种原因, 噪声较大, 低速不够稳定。
 - ⑤ 为减少泄漏和提高其他性能, 制造精度高、成本高。
 - ⑥ 发生故障后不易检查和排除, 要求维修人员的技术等级较高。
 - ⑦ 在液压控制系统中液压信号的传递比电信号慢, 信号的转换也不如电信号方便。
- 从现阶段的技术发展水平看, 液压技术的优点是主要的, 所以得到广泛应用。

学习任务4 液压油的使用

1. 液压系统对液压油的要求

① 对黏度的要求。黏度过高, 运动部件的阻力增大, 升温快, 泵自吸能力下降, 管道压力损失增加, 功率损失增加。黏度过低, 容积损失增加, 油膜承载能力减小或破坏, 导致出现干摩擦, 机械损失增加, 运动部件磨损加快。

② 要有良好的润滑性。

③ 抗氧化性要好, 即油不易被氧化。油被氧化后, 酸值增加, 增强了腐蚀性; 氧化生成的黏稠状物质易堵塞滤油器, 影响动作的质量, 且使效率降低。

④ 剪切安定性好。油膜受到剪切力, 易使聚合型高分子断裂, 造成黏度永久性下降。

⑤ 能防锈, 且抗腐蚀性能好。

⑥ 抗乳化性能好。油中的水分经过剧烈搅拌和油液形成乳化液, 使油易产生沉淀物, 妨碍冷却器导热, 阻碍液体在阀门和管道中流动并降低润滑性。

⑦ 抗泡沫性好。泡沫是油中混有空气所致, 油中有泡沫后会使系统压力不稳, 润滑条件恶化, 产生振动和噪声。气泡增加了油和空气的接触面积, 导致油快速氧化。

⑧ 油和密封材料要有相容性。若不相容, 密封材料或者溶胀或者硬化, 二者都会导致密封失效。

⑨ 其他要求, 如化学稳定性好, 可压缩小, 比热和导热率大, 热膨胀小, 清洁、无毒、无臭, 抗燃性好, 价格低廉等。为了使液压油能满足上述的单项或多项要求, 可往油中加入各种添加剂, 如抗磨剂、抗压剂、油性剂、抗氧化剂、增黏剂、防锈剂、防腐剂、防霉菌剂、降凝剂、抗泡剂等。

2. 常用液压油

不同的液压油有不同的代号, 黏度等级用数字表示。旧的黏度等级是以 50 ℃ 的中心值划分黏度等级, 单位为厘斯, 例如 20 号机械油中“20”表示该油在 50 ℃ 时的运动黏度为 20 厘斯。新的黏度等级是以 40 ℃ 中心值划分黏度等级, 单位为 mm^2/s , 例如 32 号液压油中“32”表示该油在 40 ℃ 时的运动黏度中心值为 32 mm^2/s 。

(1) 普通液压油 (L—HL)

普通液压油的代号为 L—HL, 有 L—HL15, L—HL22, L—HL32, L—HL68 等品种。本油品中添加有抗氧、防锈和抗泡等添加剂, 使用环境为 0 ℃ 以上。

(2) 抗磨液压油 (L—HM)

抗磨液压油有 L—HM15, L—HM22, L—HM32, L—HM46, L—HM68 等品种。本油

品在 L—HL 油的基础上又添加了抗磨剂,适用于低、中、高压液压系统,特别适合于工程机械上的液压系统。

(3) 低温液压油 (L—HV)

本油品又名低凝、工程、稠化液压油,有 L—HV15, L—HV22, L—HV32, L—HV46, L—HV68 等品种。本油品在 L—HM 的基础上又添加了降凝剂,从而改善了低温性能。本油品能在 $-20 \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温环境中使用。此外,本油品抗剪性能也很好,是性能较高的油品,常用于工作环境恶劣的工程机械的液压系统。

L—HS10, L—HS15, L—HS22, L—HS32, L—HS46 油是一种合成烃油。它的低温黏度比 L—HV 油更小,可用于我国北方寒季。

(4) 其他液压油

1) 航空液压油

本油品是优质液压油,具有良好的黏温性、低温性和氧化安定性,但在常温下黏度偏低。

2) 汽轮机油 (透平油)

本油品是液压系统工作介质的代用品。

3) 防锈油

本油品有 32 号、46 号、68 号三种规格,既可防锈,又可作液压系统试运转时的工作介质。试运转完毕,排放防锈油后,剩余油膜附着在金属表面可防止生锈,防锈期为 1~2 年。本油品不能作为液压系统正式运转的工作介质。

3. 液压油的选用

选用液压油时应考虑当地环境温度,环境温度高的地区选用黏度高的液压油,环境温度低的地区选用黏度低的液压油。液压油的品质要适当,过高品质的液压油会增加成本,过低品质的液压油不但缩短了换油周期,而且还缩短了元件和密封件的寿命。

工作任务 液压千斤顶的拆装与修理

图 1.3 所示为液压千斤顶构造图。了解液压千斤顶的构造以后,在拆装时要注意零部件之间的连接关系,拆装时千万不能看到接缝就硬敲或是硬撬,这一点要引起注意。

对于情景描述中提到的 4 台液压千斤顶不举升的原因主要是大活塞腔内压力不足。造成压力不足的原因是单向阀密封或密封圈密封不严,也有可能是复位阀失灵所致,最终导致小油缸与大油缸相通,从而出现大活塞腔内压力不足故障。

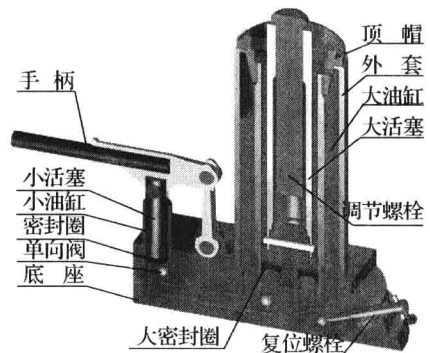


图 1.3 液压千斤顶构造图

练习题

1. 有一液压千斤顶如图 1.4 所示,已知大活塞的直径 $D = 120\text{ mm}$,小活塞的直径 $d = 10\text{ mm}$,杠杆臂 $a = 25\text{ mm}$, $b = 300\text{ mm}$ 。如果要顶起 $m = 5\,000\text{ kg}$ 的重物,需要多大的

力 F ?

2. 图 1.5 所示是用符号图表示的一个液压系统, 2 是液压泵, 铭牌上的输出压力为 7 MPa, 输出流量为 50 L/min。安全阀 3 开启后系统压力即不再增加, 其开启压力为 5 MPa; 油缸活塞的有效面积 $A = 10 \text{ cm}^2$ 。求 $F = 3 \text{ kN}$, 6 kN, 8 kN 时压力表 1 的读数, 并求 $F = 8 \text{ kN}$ 时活塞的运动速度。

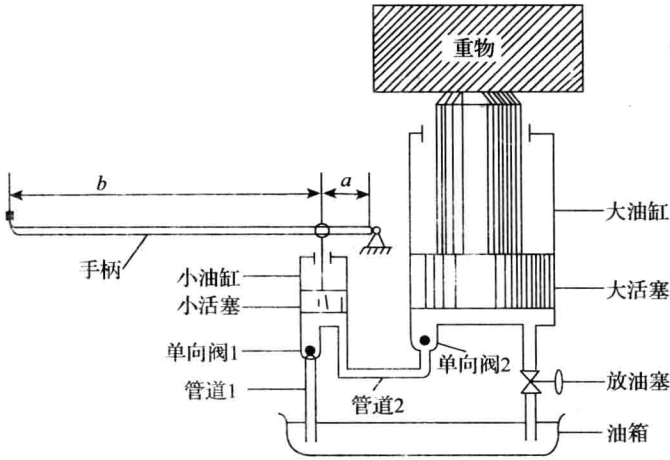


图 1.4 液压千斤顶

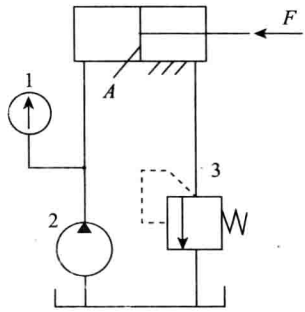


图 1.5 液压系统符号图

项目2 液压泵的使用与检修

情景描述：某日，教师带学生做液压试验，当 YCS—B 液压综合测试试验台通电工作后，试验台发出很大噪声，仔细检查，发现是试验台齿轮泵发出的噪声。

学习任务：

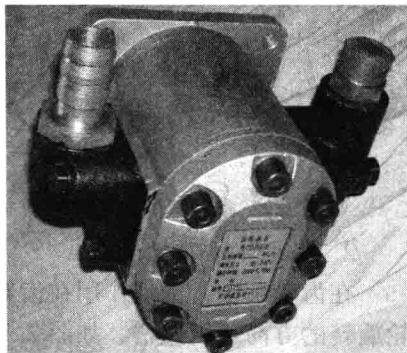
1. 齿轮泵的工作原理；
2. 齿轮泵存在的三个问题；
3. 渐开线内啮合齿轮泵的工作原理；
4. 齿轮泵的主要性能参数。

工作任务：

1. CBH 齿轮泵的拆卸与检修；
2. 齿轮泵发出噪声的任务解决。

学习任务拓展：

1. 叶片泵的结构与原理；
2. 柱塞泵的结构与原理。



学习任务1 齿轮泵的工作原理

图 2.1 所示为外啮合齿轮泵的工作原理图。这种泵主要由主动齿轮、从动齿轮、驱动轴、泵体及侧板等主要零件构成。泵体内相互啮合的主、从动齿轮 2 和 3 与两端盖及泵体一起构成密封工作容积，齿轮的啮合线将左、右两腔隔开，形成了吸、压油腔，当齿轮按图示方向旋转时，右侧吸油腔内的轮齿脱离啮合，密封工作腔容积不断增大，形成局部真空，油液在大气压力作用下从油箱经吸油管进入吸油腔，并被旋转的轮齿带入左侧的压油腔，左侧压油腔内的轮齿进入啮合，使密封工作腔容积不断减小，油液受到挤压被排往系统，这就是齿轮泵的工作原理。

齿轮泵的工作原理可以概括为以下三条：

- ① 必须形成若干个密闭的工作油腔；
- ② 必须把这些油腔分隔成高、低压油腔；
- ③ 工作腔的密封容积必须连续变化。

这是所有容积式泵（或马达）共同的工作原理。

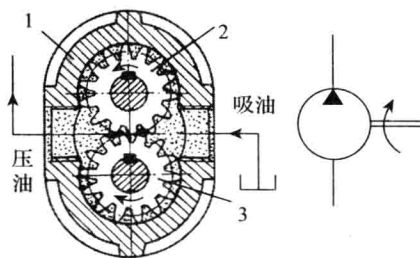


图 2.1 外啮合齿轮泵工作原理图及符号

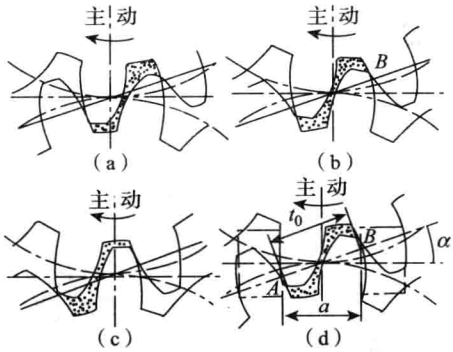
1—泵体；2—主动齿轮；3—从动齿轮

学习任务2 齿轮泵存在的三个问题

1. 齿轮泵的困油现象

齿轮泵要能连续地供油，就要求齿轮啮合的重叠系数 ε 大于 1，也就是当一对轮齿尚未脱离啮合时，另一对轮齿已进入啮合，这样就出现同时有两对轮齿啮合的瞬间，在两对轮齿的齿向啮合线之间形成了一个封闭容积，一部分油液也就被困在这一封闭容积中，如

图 2.2 (a) 所示；齿轮连续旋转时，这一封闭容积逐渐减小，到两啮合点处于节点两侧的对称位置时，如图 2.2 (b) 所示，封闭容积为最小；齿轮再继续转动时，封闭容积又逐渐增大，直到如图 2.2 (c) 所示位置时，容积又变为最大。在封闭容积减小时，被困油液受到挤压，压力急剧上升，使轴承突然受到很大的冲击载荷，使泵剧烈振动，这时高压油从一切可能泄漏的缝隙中挤出，造成功率损失，使油液发热。当封闭容积增大时，由于没有油液补充，因此形成局部真空，使原来溶解于油液中的空气分离出来，形成了气泡，就会引起噪声、振动、气蚀等一系列不良现象。这就是齿轮泵的困油现象。



2. 径向不平衡力

在齿轮泵中，油液作用在齿轮外缘的压力是不均匀的，从吸油腔到压油腔，压力沿齿轮旋转的方向逐齿递增，如图 2.3 所示。因此，齿轮和传动轴受到径向不平衡力的作用，工作压力越高，径向不平衡力越大，径向不平衡力很大时，能使泵轴弯曲，导致齿顶压向定子的低压端，使定子偏磨，同时也加速轴承的磨损，降低轴承使用寿命。

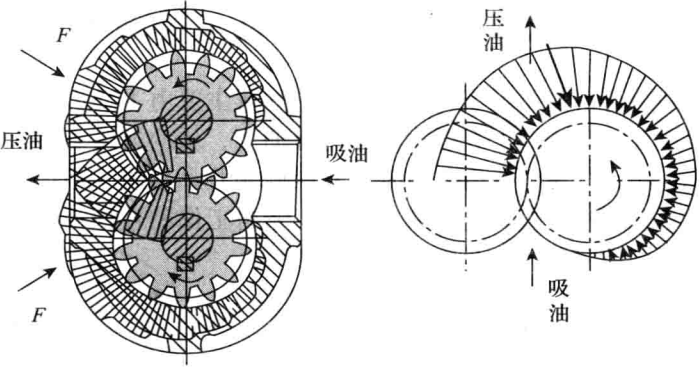


图 2.3 径向不平衡力分析

为了减小径向不平衡力的影响，常采取缩小压油口的办法，使压油腔的压力仅作用在一个齿到两个齿的范围内，同时适当增大径向间隙，使齿顶不与定子内表面产生金属接触，并在支撑上多采用滚针轴承或滑动轴承。

3. 泄漏及补偿措施

在液压泵中，运动件间的密封是靠微小间隙密封实现的，这些微小间隙从运动学上形成摩擦副，同时高压腔的油液通过间隙向低压腔泄漏是不可避免的。齿轮泵压油腔的压力油可通过三条途径泄漏到吸油腔：一是通过齿轮啮合线处的间隙——齿侧间隙；二是通过泵体定子环内孔和齿顶间的径向间隙——齿顶间隙；三是通过齿轮两端面和侧板间的间隙——端面间隙。在这三类间隙中，端面间隙的泄漏量最大，且压力越高，由间隙泄漏的液压油就越多。因此，为了提高齿轮泵的压力和容积效率，实现齿轮泵的高压化，需要从结构上采取措施，对端面间隙进行自动补偿。

通常采用的端面间隙自动补偿装置有浮动轴套式（见图 2.4 (a)）、弹性侧板式（见图 2.4 (b)）和挠性侧板式（见图 2.4 (c)），其原理都是引入压力油使轴套或侧板紧贴在齿轮端面上，压力越高，间隙越小，可自动补偿端面磨损和减小间隙。其中，齿轮泵的浮动轴套是浮动安装的，轴套外侧的空腔与泵的压油腔相通，当泵工作时，浮动轴套受油压的作用而压向齿轮端面，将齿轮两侧面压紧，从而补偿了端面间隙。

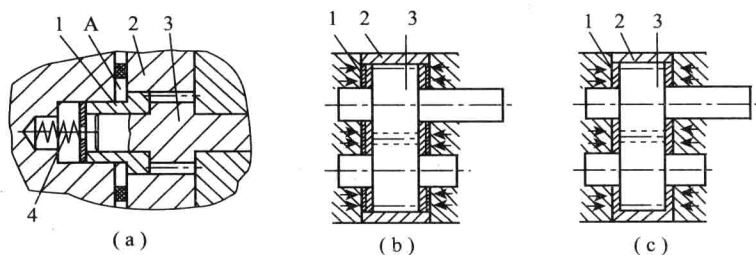


图 2.4 端面间隙自动补偿装置

(a) 1—浮动轴套；2—泵体；3—齿轮轴；4—弹簧；A—密封圈

(b) 1—弹性侧板；2—泵体；3—齿轮

(c) 1—挠性侧板；2—泵体；3—齿轮

学习任务3 渐开线内啮合齿轮泵的工作原理

渐开线内啮合齿轮泵的工作原理如图 2.5 所示，在一对相互啮合的具有渐开线齿形的小齿轮 1 和内齿环 2 之间有月牙板 3 将吸油腔 4 与压油腔 5 隔开。当小齿轮按图示方向旋转时，内齿环也以相同方向旋转；图中上半部轮齿脱离啮合的地方，齿间容积逐渐扩大，形成真空，油液在大气压力作用下，进入吸油腔，填满各齿间（即吸油）；而在图中下半部轮齿进入啮合的地方，齿间容积逐渐缩小，油液被挤压出去（即压油）。

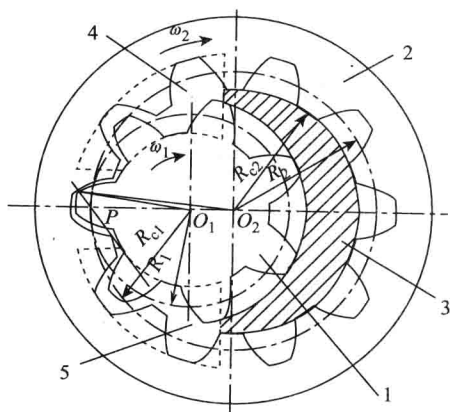


图 2.5 渐开线内啮合齿轮泵的工作原理图

1—小齿轮；2—内齿环；3—月牙板；4—吸油腔；5—压油腔

学习任务4 齿轮泵的主要性能参数

1. 压力

(1) 工作压力

工作压力是指液压泵实际工作时的输出压力。工作压力的大小取决于外负载的大小和排油管路上的压力损失，而与液压泵的流量无关。

(2) 额定压力

液压泵的额定压力是指液压泵在正常工作条件下，按试验标准规定连续运转的最大压力。

(3) 最高允许压力

液压泵的最高允许压力是指在超过额定压力的条件下，根据试验标准规定，允许液压泵短暂运行的最高压力值。

2. 排量和流量

(1) 排量 V

排量是指液压泵每转一周，由其密封容积几何尺寸变化计算而得出的排出液体的体积。排量可调节的液压泵称为变量泵，排量为常数的液压泵则称为定量泵。

(2) 理论流量 q_t

理论流量是指在不考虑液压泵的泄漏流量的情况下，在单位时间内所排出的液体体积的平均值。显然，如果液压泵的排量为 V ，其主轴转速为 n ，则该液压泵的理论流量

$$q_t = Vn \quad (2.1)$$

(3) 实际流量 q

实际流量是指液压泵在某一具体工况下，单位时间内所排出的液体体积，它等于理论流量 q_t 减去泄漏流量 Δq ，即

$$q = q_t - \Delta q \quad (2.2)$$

(4) 额定流量 q_n

额定流量是指液压泵在正常工作条件下，按试验标准规定（如在额定压力和额定转速下）必须保证的流量。

3. 液压泵的功率

(1) 输入功率 P_i

液压泵的输入功率是指作用在液压泵主轴上的机械功率，当输入转矩为 T_i ，角速度为 ω 时，有

$$P_i = 2\pi n T_i \quad (2.3)$$

(2) 输出功率 P_o

液压泵的输出功率是指液压泵在工作过程中实际输出液体压力 p 和输出流量 q 的乘积，即

$$P_o = pq \quad (2.4)$$

4. 液压泵的总效率

(1) 容积效率 η_v

由于液压泵内部高压腔的泄漏、油液的压缩和在吸油过程中由于吸油阻力太大、油液