

燕山大学研究生院出版基金资助出版

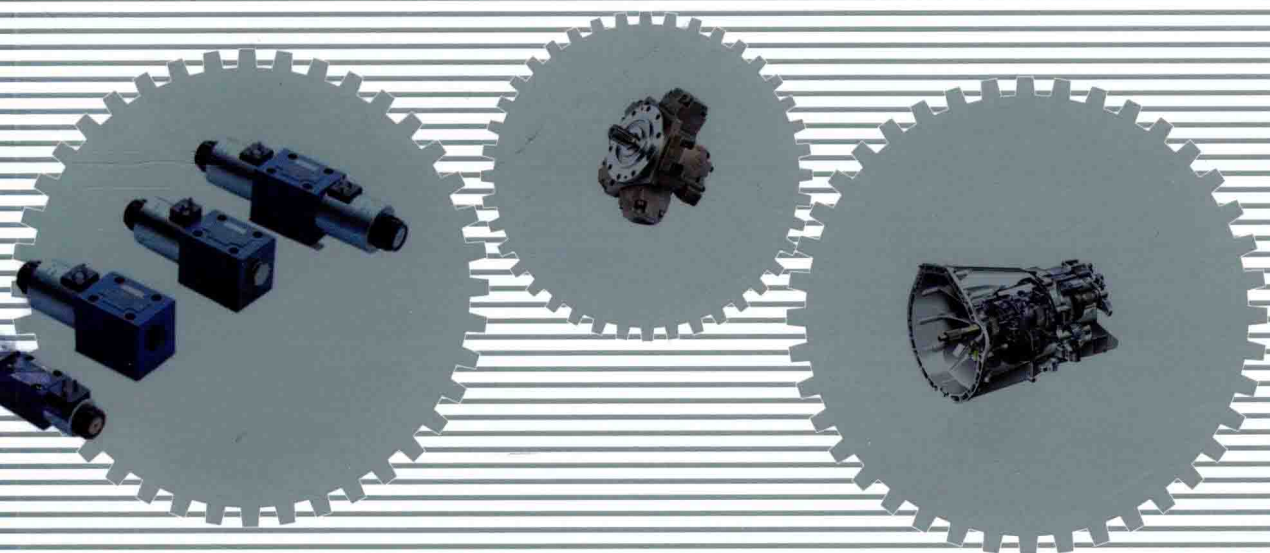
# 新型液压传动

(多泵多马达液压元件及系统)

闻德生 吕世君 闻佳 著



XINXING YEYA CHUANDONG  
DUOBENG DUOMADA YEYA YUANJIAN JI XITONG



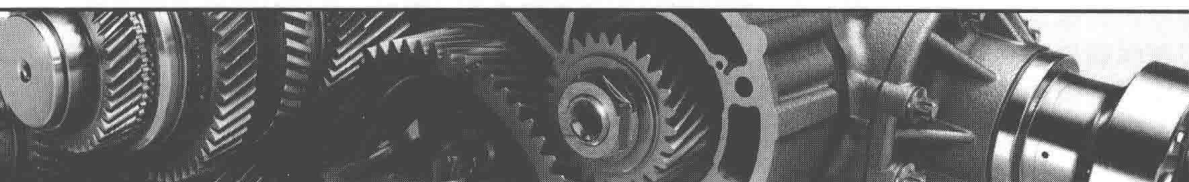
化学工业出版社

燕山大学研究生院出版基金资助出版

# 新型液压传动

(多泵多马达液压元件及系统)

闻德生 吕世君 闻佳 著



XINXING YEYA CHUANDONG  
DUOBENG DUOMADA YEYA YUANJIAN JI XITONG



化学工业出版社

· 北京 ·

目前广泛应用着的单泵单马达元件及系统是多泵多速马达传动中元件和系统的组成部分之一,与多泵多速马达等元件及其他执行元件相组合,可设计出很多新的系统,从而形成了新型的、完整的多泵多马达液压传动系统。本书在简要介绍目前广泛使用的液压元件及系统类型、原理、结构特点的基础上,主要介绍新型的液压传动即多泵多马达传动,以及一个转子对应多个定子或多个转子对应一个定子的液压泵和马达等新型元件。详细介绍了新研发的液压用多泵多速马达等元件的原理及结构,提出了新型的多泵多速马达、摆动多速马达等的符号和表示方法,并对新型液压传动进行了定义,还详细介绍了多泵多速马达元件、多泵多马达系统(主要包括单泵多速马达系统、多泵单马达系统、多泵多速马达系统、多泵单缸和多泵多缸系统等多种不同种类的新系统),以及多速马达的差动连接等新型元件、新型典型回路、新型液压系统和连接方式。

本书可为从事液压元件和系统研究、设计制造、使用维修等工作的人员提供技术支持,也可供大中专院校机械专业类的师生教学使用和参考,更可作为液压专业的研究生教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

新型液压传动:多泵多马达液压元件及系统/闻德生,吕世君,闻佳著.—北京:化学工业出版社,2016.12  
ISBN 978-7-122-28531-7

I. ①新… II. ①闻…②吕…③闻… III. ①液压传动 IV. ①TH137

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第277054号

---

责任编辑:黄滢  
责任校对:宋玮

文字编辑:陈喆  
装帧设计:王晓宇

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)  
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司  
787mm×1092mm 1/16 印张27¼ 字数714千字 2017年2月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899  
网 址:<http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:168.00元

版权所有 违者必究

# 前言

## Foreword

随着工业技术的不断发展, 液压技术作为工业技术的基础和重要组成部分, 各行业工程技术人员和相关领域专家学者都致力于液压领域的创新工作, 投入了大量的研究和改进工作。笔者从事液压专业教学及研究数十年, 带领所属团队也在不断地开拓进取, 从液压泵(马达)到液压阀类控制元件乃至液压传动系统等方面都在进行不断的研究探索, 并取得了一些成果, 研发出多种新型液压元件, 并以此为基础建立了新型液压传动。力求为我国工业技术、液压技术领域的发展做出一些贡献, 贡献微薄力量。

本书在简要介绍了目前广泛使用的液压元件及系统类型、原理、结构特点的基础上, 详细介绍了新研发的新型液压用多泵和多速马达元件, 并提出了新型的泵、马达、摆动马达的符号和表示方法, 同时就新型液压传动的定义、典型回路、传动组合、传动系统进行了深入探讨。

“开路式柱塞泵”是我们最先研究的元件, 它首次提出了柱塞泵的自冷却、自润滑理论, 解决了柱塞泵的发热、噪声、寿命和串联增压等问题; 多级串联增压柱塞泵项目为原机电部基金项目, 实现了柱塞泵的串联, 为实现超高压、大流量泵直接传动奠定了良好的理论与实践基础; 轴转动等宽曲线双定子泵(马达)是国家自然科学基金项目, 首次提出了由两个转子对应一个定子或两个定子对应一个转子, 在一个壳体内可形成多个相互独立的泵(马达)的结构原理; 双定子力偶马达(泵), 首次提出了力平衡泵和力偶马达理论, 打破了传统液压马达中全部为力矩马达的概念; 轴向多输出柱塞泵(马达), 首次实现了多排多供油轴向柱塞泵, 实现了可多输出柱塞泵和多输入柱塞马达; 双定子摆动缸(马达), 首次实现了在一个壳体内、外, 多个摆动缸(马达)的同时存在; 异型柱塞泵(马达), 首次提出非圆形柱塞泵理论, 打破了传统液压传动中柱塞泵均为圆形柱塞的传统概念; 双定子凸轮泵(马达), 首次实现了一体多泵(马达), 一个转子(或一个定子)对应多个定子(或多个转子)的凸轮转子泵(马达)。针对上述新型液压元件, 本书建立了泵和马达的运动学、动力学、流量波动性、泄漏、效率计算等一系列相应的新理论。由于多泵和多速马达的出现, 形成了多泵多马达传动系统, 由此产生多种新型的液压传动方式和典型回路。多泵多马达传动将过去的液压传动扩大了数倍, 形成了一整套从元件到系统的新型理论。其中, 差动多速马达和差动摆动多速马达理论最为独特, 为我国液压马达的理论研究和工程实践做出了重大贡献, 也为我国在国际液压技术领域争得一席之地。

书中除了第一章对目前液压元件及传动进行概述外, 其余章节均为自主知识产权的研究内容。本书可为从事液压元件和系统研发和设计制造、使用维修等人员提供技术支持, 也可用于大中院校机械专业的师生教学参考, 更可作为液压专业研究生教材。这对于提高我国液压基础件的研究水平具有重要的实用价值和指导意义。

本书由闻德生、吕世君、闻佳著, 且由燕山大学研究生课程建设项目资助出版, 项目编号为: JC201409。在书稿编写过程中, 得到了燕山大学的领导和多位教师的支持与帮助, 博士研究生高俊峰、刘巧燕以及硕士研究生柴伟超、陈帆、王京、甄新帅、周聪、顾攀、马光磊、潘为圆、商旭东、石滋洲、刘春晓、郑伟、王雷、赵正鹏等也为本书的编写做了大量的工作, 在此一并表示感谢。

由于时间和水平所限, 书中不足之处在所难免, 欢迎广大读者批评指正。

著者

2016年11月

于秦皇岛 燕山大学

# 目录

## Contents

<b>Chapter 1</b>	<b>第一章 液压元件及传动概述</b> .....	1
	第一节 液压泵概述 .....	1
	一、液压泵原理简介 .....	1
	二、齿轮泵原理简介 .....	2
	三、叶片泵原理简介 .....	3
	四、柱塞泵原理简介 .....	4
	第二节 液压马达概述 .....	6
	一、齿轮马达简介 .....	6
	二、叶片马达简介 .....	7
	三、柱塞马达简介 .....	7
	四、其他马达简介 .....	7
	第三节 往复运动及摆动执行元件概述 .....	9
	一、液压缸简介 .....	9
	二、摆动执行元件简介 .....	10
	第四节 液压阀概述 .....	10
	一、压力阀简介 .....	10
	二、流量阀简介 .....	12
	三、方向阀简介 .....	13
	第五节 典型回路及液压传动概述 .....	14
	一、液压传动简介 .....	14
	二、典型回路简介 .....	15
	三、辅助元件简介 .....	20
<b>Chapter 2</b>	<b>第二章 新型柱塞泵及马达</b> .....	23
	第一节 开路式轴向柱塞泵原理 .....	23
	一、闭路式泵各种配流方式的比较 .....	23
	二、联合配流开路式泵原理及其组成 .....	24
	三、端面配流半开路式泵工作原理及组成 .....	27
	四、端面配流全开路式泵工作原理及组成 .....	29
	五、开路式斜盘型串联多级泵原理及组成 .....	30
	第二节 开路式泵的运动学及流量分析 .....	33
	一、开路式泵的运动学分析 .....	33
	二、单级开路式泵排量、流量及流量脉动分析 .....	35
	三、多级开路式泵排量、流量及流量脉动分析 .....	39
	第三节 开路式泵动力学分析 .....	46
	一、柱塞、滑靴的受力分析 .....	46
	二、缸体的受力分析 .....	49

三、体面斜配流盘的受力分析 .....	52
第四节 开路式泵原理试验 .....	53
一、联合配流开路式泵的试验 .....	54
二、端面配流半开路式泵的试验 .....	54
三、端面配流全开路式泵的试验 .....	55
四、开路式串联柱塞泵的试验 .....	60
五、开路式泵的系列和型号 .....	61
第五节 柱塞底面系统模型 .....	62
一、模型建立——受力分析 .....	63
二、柱塞滑靴的设计原理及方法 .....	68
三、开闭路式泵滑靴底面动态仿真及试验 .....	72
第六节 开路式泵的噪声及控制方法 .....	86
一、闭路式泵降噪结构存在的问题 .....	87
二、开路式泵上的一种新型降噪结构 .....	90
三、轴向柱塞泵配油窗口面积对转速和噪声的影响 .....	99
第七节 自冷却理论 .....	101
一、传热学理论 .....	101
二、热传导方程 .....	103
三、一维稳态热传导 .....	105
四、功率损失分析 .....	107
五、CY 型泵自冷却分析 .....	114
六、SPB 型泵自冷却分析 .....	127
七、CY 泵与 SPB 泵自冷却性能比较 .....	134
第八节 开路式轴向柱塞泵的安装与配管 .....	138
一、安装与配管 .....	138
二、开路式轴向柱塞泵的故障与处理 .....	140
第九节 异型柱塞泵及马达 .....	143
一、异型柱塞马达的结构特点 .....	143
二、异型柱塞马达的工作原理 .....	145
三、三角形滑块轴向马达的参数分析 .....	145
四、三角形滑块轴向马达的原理性试验 .....	150
五、异型柱塞泵的工作原理 .....	152
六、异型柱塞泵的流量分析 .....	154
第十节 轴向力平衡型柱塞马达 .....	156
一、马达的结构 .....	156
二、马达的工作原理 .....	156
三、马达的转速和扭矩特性分析 .....	156
四、马达的泄漏分析 .....	158
五、轴向力平衡柱塞马达原理拓展 .....	161
第十一节 径向双定子柱塞马达 .....	161
一、径向双定子柱塞马达结构特点及工作原理 .....	161
二、马达滚轮导轨间接触应力的分析 .....	163
三、径向双定子马达扭矩特性分析 .....	163

四、径向双定子柱塞马达的泄漏分析 .....	166
第十二节 开路式定、变量多输出柱塞泵 .....	170
一、开路式定、变量多输出柱塞泵工作原理 .....	170
二、开路式定、变量多输出柱塞泵的流量特性分析 .....	171
三、开路式定、变量多输出柱塞泵泵轴的功率和扭矩分析 .....	185
四、开路式定、变量多输出柱塞泵的创新应用 .....	186

## Chapter 3

第三章 新型叶片泵及马达 .....	188
第一节 滚柱泵及柱塞式滚柱泵、马达 .....	188
一、概述 .....	188
二、滚柱泵工作原理 .....	188
三、柱塞式滚柱泵的原理 .....	188
四、滚柱式、柱塞滚柱式马达的原理 .....	189
第二节 等宽曲线双定子叶片泵及马达 .....	190
一、概述 .....	190
二、等宽单作用双定子变量泵的结构特点 .....	191
三、等宽、双作用、双定子泵的结构特点 .....	191
四、等宽多作用双定子泵的结构特点 .....	192
五、等宽、双滚柱、连杆型、单作用、双输出、双定子马达的结构特点 .....	193
第三节 双定子泵及马达的运动学分析 .....	194
一、滑块的中心及半径分析 .....	194
二、滑块的速度分析 .....	195
三、滑块的加速度分析 .....	195
第四节 双定子叶片泵及马达的动力学分析 .....	195
一、滑块受到的液体静压作用力 .....	196
二、内、外定子对滑块的作用力 .....	197
三、转子对滑块的作用力 .....	197
四、惯性力 .....	198
五、液体黏性阻尼力 .....	199
六、滑块受力平衡方程 .....	199
第五节 双定子叶片马达的泄漏分析 .....	199
一、内部泄漏的原因 .....	199
二、内部泄漏的分析 .....	200
三、不同连接形式下的总泄漏量 .....	202
第六节 单作用双定子叶片马达结构的参数化 .....	206
一、内、外定子的直径 .....	206
二、参数间的关系 .....	207
三、滑块叶片厚度 $s$ .....	208
四、内外马达排量及排量比 .....	209
五、叶片数 $Z$ .....	209
六、内、外马达排量比 $C$ .....	210
七、叶片的干涉 .....	211

第七节	单作用双定子叶片马达的叶片导向比例分析	212
一、	滑块圆弧处与定子接触应力	212
二、	叶片受力分析及叶片形式	213
三、	滚柱滑块叶片相关分析	215
第八节	单作用双定子叶片马达转子梯形块宽度分析	225
一、	扇形块到梯形块的假设	225
二、	梯形块受力分析	227
三、	宽度 $B$ 对转子轴承的影响	233
四、	转子在偏载力下的变形分析	237

## Chapter 4

第四章	新型齿轮泵及马达	240
第一节	并联型多输出齿轮泵及多输入齿轮马达	240
一、	并联型多输出齿轮泵	240
二、	并联型多输入齿轮马达	242
第二节	内内啮合型多输出齿轮泵及多输入齿轮马达	243
一、	内内啮合型多输出齿轮泵	243
二、	内内啮合型多输入齿轮马达	244
第三节	内外啮合型多输出齿轮泵及多输入齿轮马达	244
一、	内外啮合齿轮马达的工作原理	245
二、	内外啮合齿轮马达的结构特点	245
三、	内外啮合齿轮马达的输出特性	245
第四节	内外啮合型多输出齿轮泵及多输入马达的径向力分析	253
一、	外马达的径向力	253
二、	内马达的径向力	255
三、	径向力的合成	257
四、	月牙板的径向力	258
五、	圆柱销受力分析	260
第五节	内外啮合型多输出齿轮泵及多输入马达泄漏分析	260
一、	齿轮端面的泄漏量	261
二、	齿轮径向的泄漏量	262
第六节	对称型多输出齿轮泵及多输入齿轮马达	264
一、	内三外三齿轮马达的工作原理	264
二、	内三外三齿轮马达的结构特点	264
三、	内三外三齿轮马达的输出特性	264
第七节	内三外三齿轮马达的静力学分析	276
一、	中心大齿轮径向力分析	277
二、	共齿轮径向力分析	281
三、	小齿轮径向力分析	284
第八节	新型齿轮泵及马达的原理扩展	286

## Chapter 5

第五章	新型凸轮泵及马达	287
第一节	凸轮型双定子泵和马达	287



一、凸轮型双定子泵的结构及工作原理 .....	287
二、凸轮型双定子泵与一般叶片泵的区别 .....	289
三、凸轮型双定子泵的特点 .....	289
四、凸轮型双定子马达 .....	290
第二节 凸轮型双定子泵的运动学分析 .....	290
一、总体分析 .....	290
二、叶片的速度分析 .....	291
三、叶片的加速度分析 .....	293
第三节 凸轮型双定子泵的动力学分析 .....	294
第四节 凸轮型双定子泵和马达的波动性分析 .....	297
一、凸轮型双定子泵的流量脉动分析 .....	297
二、凸轮型双定子马达的转矩脉动分析 .....	301
第五节 凸轮型双定子泵和马达的效率分析 .....	303
一、泵的容积效率 .....	303
二、泵的机械效率 .....	304
三、泵的总效率 .....	305
第六节 凸轮型双转子叶片马达 .....	305
一、结构 .....	305
二、工作原理 .....	305
三、凸轮型双转子叶片马达的运动学分析 .....	306
四、凸轮型双转子马达的动力学分析 .....	307
五、凸轮型双转子叶片马达的波动性分析 .....	315
六、凸轮型双转子叶片马达的泄漏分析 .....	316

## Chapter 6

第六章 双定子摆动液压马达 .....	320
第一节 单作用双定子摆动液压马达 .....	320
一、工作原理 .....	320
二、结构特点 .....	321
第二节 双定子摆动液压马达符号设定 .....	321
第三节 双定子摆动液压马达输出排量和转矩计算 .....	322
一、双定子摆动液压马达的几何排量 .....	322
二、双定子摆动液压马达的输出转矩 .....	323
第四节 双定子摆动液压马达的输出特性 .....	324
一、双定子摆动液压马达普通连接方式 .....	324
二、双定子摆动液压马达差动连接方式 .....	327
三、双定子摆动液压马达输出转矩之间的关系 .....	329
第五节 双定子摆动液压马达效率分析 .....	333
一、双定子摆动液压马达泄漏分析 .....	333
二、外摆动马达的泄漏分析 .....	333
三、内摆动马达泄漏分析 .....	336
四、摆动马达总泄漏分析 .....	338

<b>第七章 差动马达</b> .....	339
第一节 液压缸的差动连接 .....	339
第二节 单作用双定子马达的差动连接 .....	340
一、单作用滚柱式双定子马达的差动连接 .....	341
二、单作用齿轮式双定子马达的差动连接 .....	343
三、单作用滑块式双定子马达的差动连接 .....	343
四、单作用滚柱连杆式双定子马达的差动连接 .....	343
五、单作用径向柱塞式双定子马达的差动连接 .....	345
第三节 双作用双定子马达的差动连接 .....	346
一、双作用滚柱连杆式双定子马达的差动连接 .....	347
二、双转子三凸起凸轮转子叶片马达的不同差动连接 .....	349
第四节 差动马达的规律探讨及内、外马达排量比例系数 $C$ 值对其影响 .....	349
一、差动马达规律总结 .....	350
二、双定子液压马达排量比例系数 $C$ 对其差动连接方式的影响 .....	351
第五节 差动连接在单定子马达中的应用 .....	353
一、差动原理在多联马达中的应用 .....	353
二、差动原理在单定子叶片马达中的应用 .....	355
三、差动原理在单定子并联马达中的新型应用 .....	356

<b>第八章 新型控制阀</b> .....	358
第一节 新型流量控制阀 .....	358
一、流量阀的结构和原理 .....	358
二、换向部分结构原理 .....	359
三、流量阀的节能分析 .....	363
第二节 新型方向控制阀 .....	364
一、换向阀的结构与原理 .....	364
二、专用换向阀的职能符号 .....	366

<b>第九章 多泵多马达传动</b> .....	367
第一节 多泵多马达传动系统的重新分类及相关规定 .....	367
一、多泵多马达传动的定义及系统分类 .....	367
二、多泵多马达原理及元件分类 .....	368
三、多泵多马达职能符号的设定 .....	369
第二节 比例型、并联型及混合型多泵多马达 .....	370
一、多泵多速马达的原理及分类 .....	370
二、混合型多泵多速马达传动 .....	370
三、多泵多速马达的工作方式 .....	371
四、排量系数对混合型多泵多速马达传动的的影响 .....	374
第三节 双定子非对称型多泵多速马达 .....	375
一、非对称型多泵多速马达的职能符号 .....	375
二、内 2 外 3 泵的连接 .....	375

三、内 2 外 3 马达的连接 .....	376
四、非对称型多泵多马达的组合连接 .....	376
第四节 多泵多马达在典型回路中的应用 .....	377
一、多泵多级节流调速回路 .....	378
二、定量多泵-变量单马达容积调速回路分析 .....	382
三、变量单泵多马达容积调速回路 .....	385
四、变量多泵多马达容积调速回路 .....	388

## Chapter 10 | 第十章 新型液压元件及传动的应用 .....

第一节 开路式泵在液压劈裂机上的应用 .....	391
一、概述 .....	391
二、液压劈裂机的开发历程 .....	391
三、国内外同类产品的比较 .....	393
四、液压劈裂机的组成 .....	394
五、液压劈裂机的工作原理 .....	396
六、液压泵站 .....	397
七、特殊结构的液压劈裂机 .....	399
八、应用范围 .....	402
第二节 开路式泵在液压分离机上的应用 .....	411
一、目前的顶石方法存在的问题 .....	411
二、新型液压顶石分离劈裂机结构及原理 .....	411
三、不同润滑介质的影响 .....	412
第三节 在主动滚压式全自动钢板打印机上的应用 .....	417
一、主动滚压式打印的原理 .....	417
二、实际应用 .....	419
三、液压系统 .....	419
四、结论 .....	421

## Reference | 参考文献 .....

422

液压元件可分为动力元件、控制元件以及执行元件三大类。在液压系统中，动力元件主要是指液压泵；执行元件主要包括液压马达、液压缸和摆动液压缸；控制元件主要是指各种液压阀。

液压传动是以液体作为能源介质，利用液体的压力能来实现各种机械传动和自动控制的一种传动方式，也称为容积式传动。在大功率、大功率质量比、高动态响应等应用领域都具有无法替代的效果。更重要的是近年来液压传动与现在电子与信息技术的结合，更加促进与推动了液压传动技术在自动化方面的发展。

## 第一节

### 液压泵概述

液压泵是液压传动系统中将机械能转换成液体压力能的重要动力元件，是液压传动系统的核心，它是将电动机（或其他原动机）输入的机械能转变成液压能的能量转换装置，其作用是给液压系统提供足够的压力油。

#### 一、液压泵原理简介

在液压传动系统中，液压泵都是容积式泵，是靠密封工作腔的容积变化进行工作的。如图 1-1 所示，以简单的单活塞泵为例来简要阐述液压泵的工作原理。

由活塞 3 和缸体 4 以及单向阀 5、6 组成一个可以封闭的工作腔室 A，当曲柄连杆机构 1 和 2 带动活塞在缸体内做往复直线运动时，就可以使工作腔室 A 的容积发生周期性变化。当活塞向缸体外侧（图中左侧）移动时，工作腔室 A 的容积逐渐增大，形成真空，油箱 7 中的液体（液压油）在大气压的作用下，经单向阀 6 进入工作腔，使工作腔 A 充满液压油，这就是泵的吸油过程。在吸油过程中，单向阀 5 在系统压力作用下始终保持关闭状态。当活塞向内（图中向右）移动时，工作腔容积变小，油液因受到压缩而使其压力升高，这时单向阀 6 因腔内的压力升高而处于关闭状态，当工作腔内的压力升高到系统的压力时，单向阀 5 被打开，泵向液压系统供给压力油，这就是压油过程。当曲柄 1 在电机或其他原动机的带动下做连续的圆周运动时，活塞泵的工作腔周期性地实现上述过程，使液压油源源不断地供给液压系统。

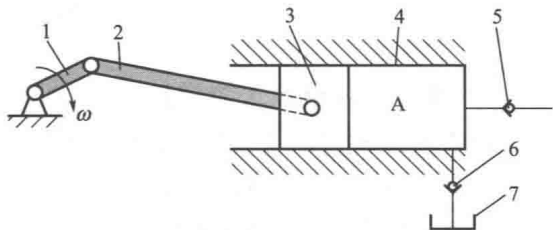


图 1-1 单活塞泵原理简图

1—曲柄；2—连杆；3—活塞；4—缸体；  
5、6—单向阀；7—油箱

由以上的分析可以归纳出构成容积泵必须具备以下基本条件。

- ① 结构上能够实现可变的密闭容积。
- ② 具有适时可以控制吸、排油的配流装置。

由于周期性变化容积组成的结构不同，控制吸压油的配流装置不同，液压泵可分为柱塞泵、齿轮泵、叶片泵三大类。

## 二、齿轮泵原理简介

依靠缸体与啮合齿轮间形成的工作容积的变化和移动来输送液体或使之增压的泵为齿轮泵。齿轮泵是一种常用的液压泵，主要特点是结构简单、制造方便、价格低廉、体积小、重量轻、自吸性能好、对油液污染不敏感、工作可靠；其主要缺点是流量和压力脉动大、噪声大、排量不可调。

齿轮泵被广泛地应用于采矿设备、冶金设备、建筑机械、工程机械、农林机械等各个行业。齿轮泵按照其啮合形式的不同，有外啮合和内啮合两种，其中外啮合齿轮泵应用较广，而内啮合齿轮泵则多为辅助泵。

### 1. 外啮合齿轮泵的工作原理

图 1-2 为外啮合齿轮泵的工作原理，由于齿轮两端面与泵盖的间隙以及齿轮的齿顶与泵体内表面的间隙都很小。因此，一对啮合的轮齿将泵体、前后泵盖和齿轮包围的密封容积分隔成左、右两个密封工作腔。当原动机带动齿轮如图示方向旋转时，左侧的轮齿不断退出啮合，其密封工作腔容积逐渐增大，形成局部真空，油箱中的油液在大气压力的作用下经泵的吸油口进入吸油腔。右侧的轮齿不断进入啮合，随着齿轮的转动，吸入的油液被齿间转移到右侧的密封工作腔。右侧进入啮合的轮齿使压油腔容积逐渐减小，把齿间油液挤出，从压油口输出，压入液压系统。这就是齿轮泵的吸油和压油过程。齿轮连续旋转，泵连续不断地吸油和压油。

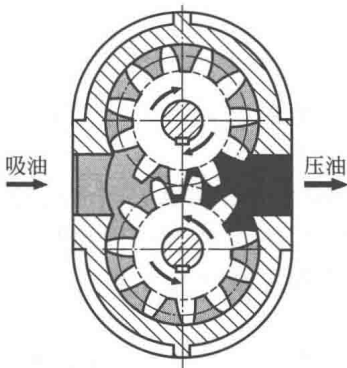


图 1-2 外啮合齿轮泵工作原理

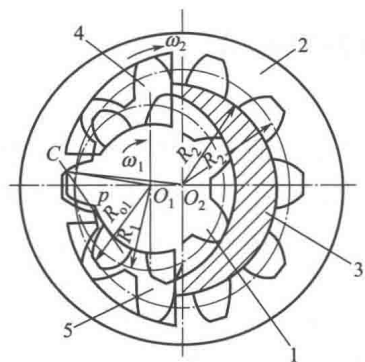


图 1-3 内啮合渐开线齿轮泵工作原理

1—主动齿轮；2—从动齿轮；3—月牙板；4—吸油腔；5—压油腔

### 2. 内啮合齿轮泵的工作原理

内啮合齿轮泵有渐开线齿形齿轮泵和摆线齿形齿轮泵两种。

图 1-3 所示为内啮合渐开线齿轮泵工作原理，内啮合渐开线齿轮泵主要由主动齿轮 1、从动齿轮 2、月牙板 3、轴及轴承、侧板等组成。其工作原理为：相互啮合的主动齿轮 1 和从动齿轮 2 与侧板围成的密封容积被月牙板 3 和齿轮的啮合线分隔成两部分，即形成吸油腔和压油腔。当传动轴带动小齿轮按图示方向旋转时，外齿轮同向旋转。图中上半轮齿脱离啮

合，密封容积逐渐增大，形成局部真空度，油液在大气压作用下进入密封容积内，即吸油；下半轮齿进入啮合，使其密封容积逐渐减小，油液被挤压，压力增大，即排油。

内啮合渐开线齿轮泵与外啮合齿轮泵相比，其结构紧凑，重量轻，噪声小，效率高，还可以做到无困油现象。它的不足之处是齿形复杂，用专门的高精度加工设备才能生产出来。随着科技水平的发展，内啮合渐开线齿轮泵将会有更广阔的应用前景。

内啮合摆线齿轮泵又称为摆线转子泵，它具有结构紧凑，零件少、工作容积大，转速高，运动平稳等优点。

由于齿数较少（一般为4~7个），其流量脉动比较大，啮合处间隙泄漏大，通常作为润滑、补油等辅助泵使用。图1-4为内啮合摆线齿轮泵工作原理，在内啮合摆线齿轮泵中，外转子1和内转子2只差一个齿，中间没有月牙板，内、外转子的轴心线有一偏心距 $e$ 。内转子为主动轮，内、外转子与两侧配油板间形成密封容积。内、外转子的啮合线又将密封容积分为吸油腔和压油腔。当内转子按图示方向转动时，左侧密封容积逐渐变大，形成局部真空度，油液在大气压作用下进入密封容积内，即吸油；右侧密封容积逐渐变小，油液被挤压，压力增大，即排油。

此外，螺杆泵也是齿轮泵的一种特殊结构形式，其原理与结构特点如图1-5所示。

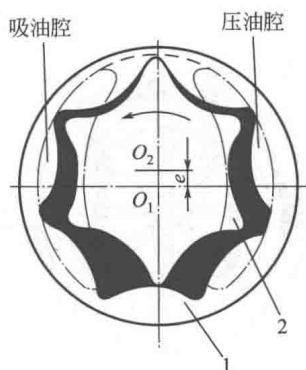


图1-4 内啮合摆线齿轮泵工作原理  
1—外转子；2—内转子

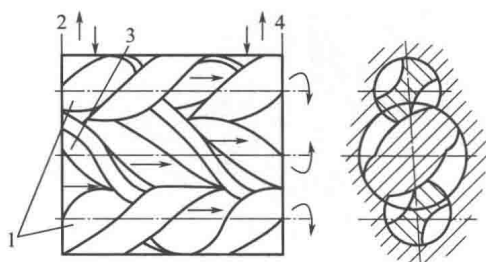


图1-5 螺杆泵结构原理简图  
1—从动螺杆；2—吸油腔；3—主动螺杆；4—压油腔

螺杆泵中由于主动螺杆3和从动螺杆1的螺旋面在垂直于螺杆轴线的横截面上是一对共轭摆线齿轮，故又称为摆线螺杆泵。螺杆泵的工作机构主要由互相啮合且装于定子内的三根螺杆组成，中间一根为主动螺杆，由电机带动，旁边两根为从动螺杆，另外还有前、后端盖等主要零件。螺杆的啮合线把主动螺杆和从动螺杆的螺旋槽分割成多个相互隔离的密封腔。随着螺杆的旋转，这些密封工作腔一个接一个地在左端形成，并不断地从左向右移动。主动螺杆每转一周，每个密封工作腔便移动一个螺旋导程。因此，在左端吸油腔，密封油腔容积逐渐增大，进行吸油，而在右端压油腔，密封油腔容积逐渐减小，进行压油。由此可知，螺杆直径越大，螺旋槽越深，泵的排量就越大；螺杆越长，吸油腔2和压油腔4之间密封层次越多，泵的额定压力就越高。

螺杆泵的优点是：结构简单紧凑，体积小，动作平稳，噪声小，流量和压力脉动小，螺杆转动惯量小，快速运动性能好，因此已较多地应用于精密机床的液压系统中。其缺点是：由于螺杆形状复杂，加工比较困难。

### 三、叶片泵原理简介

由叶片作用产生周期性变化的密封容积的泵称为叶片泵。叶片泵具有排油均匀、工作平

稳、噪声小等特点。根据转子每转一周的吸、压油次数不同，叶片泵可分为单作用叶片泵和双作用叶片泵。一般单作用叶片泵往往是做成变量泵结构，双作用叶片泵则只能做成定量泵结构。

### 1. 单作用叶片泵的工作原理

单作用叶片泵主要由配油盘、转子、定子、叶片、壳体等零件组成，如图 1-6 所示。叶片泵的定子具有圆柱形的内表面，转子上有均布槽，矩形叶片安放在转子槽内，并可在槽内滑动。转子中心与定子中心不重合，有一个偏心距  $e$ 。

当转子回转时，叶片靠自身的离心力贴紧定子的内表面，并在转子槽里做往复运动。定子、转子、叶片和配油盘间形成了若干个密封工作容积。

当发动机带动转子按逆时针方向旋转时，右边的叶片逐渐伸出，相邻两叶片间的空间容积逐渐增大，形成局部真空，从吸油口吸油；左边的叶片被定子的内表面逐渐压进槽内，两相邻叶片间的空间容积逐渐减小，将工作油液从压油口压出。在吸油腔与压油腔之间有一段封油区，把吸油腔和压油腔隔开，称作过渡区。

当转子不断地旋转，泵就不断地吸油和排油。这种叶片泵的转子转一周，各叶片间容积只吸、排油各一次，因此叫单作用叶片泵。改变偏心距  $e$  便可改变泵的流量，成为变量叶片泵。

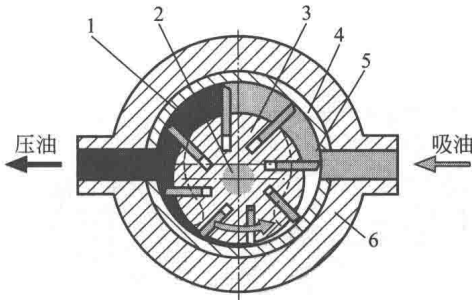


图 1-6 单作用叶片泵原理

1—配油盘；2—传动轴；3—转子；4—定子；5—叶片；6—壳体

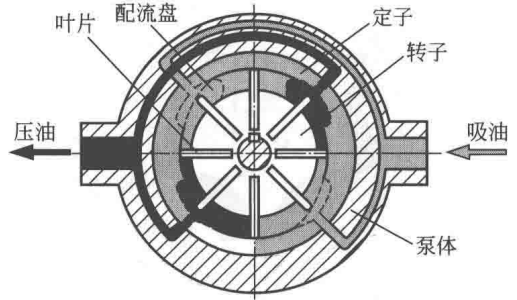


图 1-7 双作用叶片泵原理

### 2. 双作用叶片泵工作原理

图 1-7 为双作用叶片泵的工作原理，它的作用原理和单作用叶片泵相似，不同之处在于定子内表面是由两段长半径圆弧、两段短半径圆弧和四段过渡曲线组成，且定子和转子是同心的，当转子逆时针方向旋转时，密封工作腔的容积在左上角和右下角处逐渐减小，为压油区；在左下角和右上角处逐渐增大，为吸油区。

吸油区和压油区之间有一段封油区将吸、压油区隔开。这种泵的转子每转一周，每个密封工作腔完成吸油和压油动作各两次，所以称为双作用叶片泵。由于双作用叶片泵有两个吸油区和两个排油区，并且各自的中心夹角是对称的，所以作用在转子上的油压作用力互相平衡。因此，这种泵也称为平衡式叶片泵。

## 四、柱塞泵原理简介

由柱塞作用产生周期性变化的密闭容积的泵为柱塞泵。柱塞泵是通过柱塞在柱塞孔内往复运动时密封工作容积的变化来实现吸油和排油的。由于柱塞与缸体内孔均为圆柱表面，滑动表面配合精度高，所以这类泵的特点是泄漏小，容积效率高，可以在高压下工作。根据柱塞排列方式的不同，柱塞泵可分为轴向式和径向式两种。

## 1. 轴向柱塞泵的原理

轴向柱塞泵可分为斜盘式和斜轴式两大类，图 1-8 所示为斜盘式轴向柱塞泵的工作原理。泵由传动轴、斜盘、柱塞、缸体、配流盘等主要零件组成，斜盘 2 和配流盘 4 是不动的，传动轴 1 带动缸体 3 和柱塞 5 一起转动，柱塞 5 靠弹簧等机械装置压紧在斜盘上。

当传动轴按图 1-8 所示方向旋转时，柱塞 5 在其沿斜盘自下而上回转的半周内，在弹簧作用下逐渐向缸体外伸出，使缸体孔内密封工作腔容积不断增加，产生局部真空，从而将油液经配流盘 4 上的进油口吸入；柱塞在其自上而下回转的半周内又被斜盘逐渐向里推入，使密封工作腔容积不断减小，将油液从配流盘出油口向外排出，缸体每转一转，每个柱塞往复运动一次，完成一次吸油动作。改变斜盘的倾角，就可以改变密封工作容积的有效变化量，实现泵的变量。

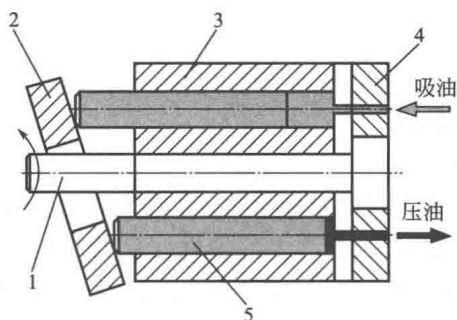


图 1-8 斜盘式轴向柱塞泵原理

1—传动轴；2—斜盘；3—缸体；4—配流盘；5—柱塞

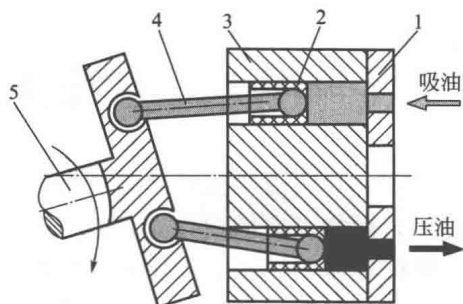


图 1-9 斜轴式轴向柱塞泵原理

1—配流盘；2—柱塞；3—缸体；4—连杆；5—传动轴

图 1-9 为斜轴式轴向柱塞泵的工作原理，传动轴 5 的轴线相对于缸体 3 存在倾角，柱塞 2 与传动轴圆盘之间用相互铰接的连杆 4 相连。

当传动轴 5 沿图示方向旋转时，连杆 4 就带动柱塞 2 连同缸体 3 一起绕缸体轴线旋转，柱塞 2 同时也在缸体的柱塞孔内做往复运动，使柱塞孔底部的密封腔容积不断增大或缩小，通过配流盘 1 上的窗口实现吸油和排油。

与斜盘式泵相比较，斜轴式泵由于缸体所受的不平衡径向力较小，故结构强度较高，可以有较高的设计参数，其缸体轴线与驱动轴的夹角较大，变量范围较大；但外形尺寸较大，结构也较复杂。目前，斜轴式轴柱塞泵的使用相当广泛。

在变量形式上，斜盘式轴向柱塞泵靠斜盘摆动变量，斜轴式轴向柱塞泵则为摆缸变量；因此，后者的变量系统的响应较慢。

## 2. 径向柱塞泵的原理

图 1-10 是径向柱塞泵的工作原理，由图可见，径向柱塞泵的柱塞径向布置在缸体上；在转子 2 上径向均匀分布着数个柱塞孔，孔中装有柱塞 5；转子 2 的中心与定子 1 的中心之间有一个偏心量  $e$ 。在固定不动的配流轴 3 上，相对于柱塞孔的部位有相互隔开的上下两个配油窗口，该配油窗口又分别通过所在部位的两个轴向孔与泵的吸、排油口连通。当转子 2 旋转时，柱塞 5

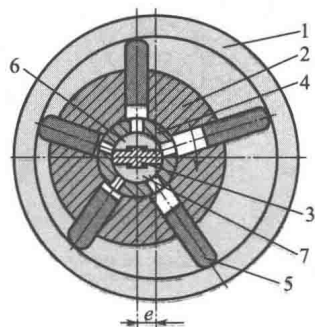


图 1-10 径向柱塞泵的工作原理

1—定子；2—转子；3—配流轴；4—衬套；5—柱塞；6—吸油腔；7—压油腔



在离心力及机械回程力作用下，它的头部与定子1的内表面紧密接触，由于转子2与定子1存在偏心，所以柱塞5在随转子转动时，又在柱塞孔内做径向往复滑动，当转子2按图示箭头方向旋转时，上半周的柱塞皆往外滑动，柱塞孔的密封容积增大，通过轴向孔吸油；下半周的柱塞皆往里滑动，柱塞底部的密封工作容积缩小，通过配流轴向外排压力油。

当移动定子，改变偏心量的大小时，泵的排量就发生改变；当移动定子使偏心量从正值变为负值时，泵的吸、排油口就互相调换，因此，径向柱塞泵可以是单向或双向变量泵，为了流量脉动率尽可能小，通常采用奇数柱塞。

径向柱塞泵的径向尺寸大，结构较复杂，自吸能力差，并且配流轴受到径向不平衡液压力的作用，易于磨损，这些都限制了它的工作转速和输出压力的提高。

## 第二节

# 液压马达概述

液压马达是将液压能转换为机械能的装置，可以实现连续的旋转运动，其结构与液压泵基本相似，同样存在周期性变化的密闭容积和配油装置，但其产生周期性变化的结构原理不同。常见的液压马达也有齿轮式、叶片式和柱塞式等几种主要形式；从转速、转矩范围分，有高速小扭矩马达和低速大扭矩马达。

马达和泵在工作原理上是互逆的，当向泵内输入压力油时，其轴就输出转速和转矩成为马达。但由于两者的任务和要求有所不同，故在实际中只有少数泵能做马达使用。

### 一、齿轮马达简介

齿轮马达的结构特点和工作原理如图 1-11 所示，图中  $P$  为两齿轮的啮合点。设齿轮的

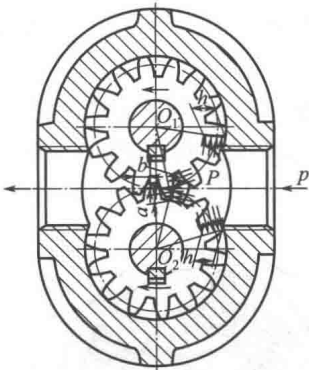


图 1-11 齿轮马达原理简图

齿高为  $h$ ，啮合点  $P$  到两齿根的距离分别为  $a$  和  $b$ ，由于  $a$  和  $b$  都小于  $h$ ，所以，当压力油作用在齿轮面上时，两个齿轮上都有一个使它们产生转矩的作用力  $pB(h-a)$  和  $pB(h-b)$ ，其中， $p$  为输入油液的压力， $B$  为齿宽，在上述作用下，两齿轮旋转，并将油液带回低压腔排出。

和一般齿轮泵一样，齿轮马达由于密封性较差，容积效率较低，所以输入的油压不能过高，因此不能产生较大转矩，并且它的转速和转矩都是随着齿轮的啮合情况而脉动的。因此，齿轮马达一般多用于高速小扭矩的情况。

齿轮马达的结构和齿轮泵相似，但有以下特点。

- ① 进出油道对称，孔径相等，这使得齿轮马达能正反转。
- ② 采用外泄漏油孔，因为马达回油腔压力往往高于大气压力，采用内部泄油会把轴端油封冲坏。特别是当齿轮马达反转时，原来的回油腔变成了压油腔，情况将更严重。

③ 多数齿轮马达采用滚动轴承支承，以减小摩擦力而便于马达启动。

④ 不采用端面间隙补偿装置，以免增大摩擦力矩。

⑤ 齿轮马达的卸荷槽对称分布。

⑤ 齿轮马达的卸荷槽对称分布。