

叶片式 液压泵和马达

黎克英 陆祥生 编著

机械工业出版社

叶片式液压泵和马达

黎克英 陆祥生 编著



机械工业出版社

D2457/108

(京)新登字054号

内 容 简 介

本书主要介绍叶片式液压泵和马达的原理、结构、性能、使用和维护。除一般中低压叶片泵和马达外,对各种高压、低噪声的高性能叶片泵和马达介绍甚详,包括子母叶片式、柱销叶片式、减压阀式和圆弧叶顶式定量叶片泵及具有恒压、负载传感或功率匹配功能的双叶片式变量叶片泵。对低速大扭矩叶片马达、凸轮转子叶片泵和马达以及滚动叶片马达也有较具体的介绍。

在性能分析方面,着重讨论了叶片受力和降低噪声问题及与之密切相关的定子曲线,详细分析了高次定子曲线的特性和优越性。

本书反映了国内外在叶片泵和叶片马达方面的新发展和新观点,内容比较实用。读者对象主要是具有中专以上文化程度且从事与液压技术有关的工程技术人员、管理人员和技术工人,也可供大专院校有关专业师生参考。

叶片式液压泵和马达

黎克英 陆祥生 编著

责任编辑:范兴国 责任校对:贾立萍

封面设计:刘代 版式设计:霍永明

责任印制:王国光

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₃₂·印张9·字数192千字

1993年2月北京第1版·1993年2月北京第1次印刷

印数 0 001—2 200·定价:9.50元

ISBN 7-111-03266-9/TH·360

前 言

在广泛应用的各种液压设备中，液压泵和液压马达是关键性的元件，它们的性能和寿命在很大程度上决定着整个液压系统的工作能力，因此对液压泵和马达的合理选择和正确使用显得格外重要。即使是使用维护液压设备或从事液压系统设计、生产，而不是从事液压元件开发、生产的工程技术人员，也有必要深入了解液压泵和马达的结构及性能。本书在很大程度上是为他们编写的。当然，对于从事液压元件工作的工程技术人员，以及大专院校液压专业和其它设有液压课程的机械类专业师生，也可以作为广泛深入了解叶片式液压泵和马达时参考。

本书着重介绍各种类型叶片式液压泵和马达的结构、原理、性能以及它们的合理使用与维护，对于叶片泵参数设计的问题也有简要介绍。在叶片泵的结构分类上，采用了国际上较通用的平衡式和非平衡式叶片泵的名称，即相当于国内通常所称的双作用式和单作用式。

本书内容安排力求适应不同层次读者的需要。为了使初接触液压技术的读者也能由浅入深地了解和掌握这类液压元件，第一章仍然从叶片泵的基本构成和一般工作原理讲起，而且以第二章整章和第六章第一、二节对目前在国内仍作为主导产品大量使用的普通中低压定量叶片泵和变量叶片泵结构作了介绍。考虑到各种高性能叶片泵和马达在国外已经广泛取代陈旧的中低压普通叶片泵和马达，国内近几年引进的

许多液压设备也都配套使用这些新型的泵、马达元件，而以往出版的液压书籍对这些高性能叶片泵和马达一般都只有极简单的一般原理性介绍，因此本书第四章整章和第六章、第七章的大部分用了较多篇幅对各种类型高性能叶片泵和马达的典型结构、性能和使用等问题作了详细介绍，分析了提高性能的主要措施，并提供了较多实用的性能数据，便于选用时参考。在变量叶片泵一章，还对高性能变量叶片泵所用的各种变量补偿控制器的原理和功能作了详细讨论，包括负载传感和功率匹配叶片泵，这些也是许多工程技术人员尚不熟悉的。书中所涉及的高性能叶片泵和马达多属国外较有代表性的名牌产品，而且大部分正由国内各液压元件厂陆续引进生产。希望通过本书的介绍能有助于工程技术人员更好地掌握、使用这些元件，也有利于这些高性能液压泵和马达在国内的推广应用。

为了满足层次较高读者更深入地了解提高叶片泵性能问题的需要，同时也为了在分析高性能叶片泵和马达时有更充分的理论依据，专门设立了第三章，对叶片泵的流量脉动、效率、叶片受力、闭死现象等问题进行了讨论并澄清了一些错误观点，尤其是该章第七节和第五章第一、二节对噪声、振动以及与之密切相关的定子曲线问题进行了较详尽的分析，反映了不同于传统观念的新论点，并着重论述了高次曲线的设计问题。在有关分析中用到了一些微积分的概念，对于不具备微积分一般知识的读者，可以越过数学推导而直接阅读有关的观点和结论。此外，第三章第二节对叶片泵理论流量和瞬时流量的数学推导，如果不想深入了解也可以略去不读，但至少应当知道其结果，因为这对后面的性能分析是有用的。

最后一章着重讨论了叶片泵和马达的正确使用问题，许多都是实践工作经验的总结，认真对待这些问题对保证叶片泵和马达的无故障长期使用是有裨益的。

本书第一、二、五、八章由陆祥生编写，第三、四、六、七章由黎克英编写，全书由黎克英详细修改后定稿。近几年来国内众多液压技术工作者在提高叶片泵工作压力和降低噪声方面所作的大量研究，以及许多液压元件生产厂在引进消化国外先进叶片泵和马达产品技术方面所作的大量工作为本书的编写提供了有利条件。本书的编写是与本室同事杨斌同志的支持分不开的，刘金钦同志提供了有关高水基介质叶片泵的研究成果和资料，在此一并衷心致谢。

由于本书涉及到许多新的产品和结构，能够直接收集到的资料有限，论述中又涉及到一些较新的观点，不尽完善之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

主要物理量符号及单位

绪论	1
第一章 叶片泵的工作原理与分类	3
第一节 非平衡式叶片泵的工作原理	3
一、工作原理	3
二、结构特征	4
三、用途	5
第二节 平衡式叶片泵的工作原理	6
一、工作原理	6
二、结构特征	8
三、用途	8
第三节 叶片泵的正常工作和适用范围	9
一、叶片泵正常工作的条件	9
二、叶片泵的特点和适用范围	10
第四节 叶片泵的分类	12
一、按结构特征分类	13
二、按工作机能分类	15
第二章 平衡式叶片泵的结构与应用	18
第一节 平衡式叶片泵的基本结构	18
一、单级圆形平衡式叶片泵	18
二、单级方形平衡式叶片泵	22
第二节 多联叶片泵与多级叶片泵	27
一、多联叶片泵	27
二、多级叶片泵	31
第三节 复合式叶片泵	35

一、带有双溢流阀组的复合式叶片泵	35
二、带有溢流阀、单向阀和卸荷阀组的复合式叶片泵	35
三、复合式叶片泵的应用	36
第三章 叶片泵的特性	39
第一节 叶片泵的性能	39
第二节 理论流量	42
一、平衡式叶片泵的排量与流量	43
二、非平衡式叶片泵的排量与流量	47
第三节 功率与扭矩	55
一、泵的功率	55
二、泵轴扭矩	56
三、瞬时功率与瞬时扭矩	57
第四节 效率及其影响因素	57
一、容积效率 η_v 及其影响因素	57
二、机械效率 η_m 及其影响因素	61
三、总效率	63
第五节 叶片受力分析	64
一、作用在叶片上的力	64
二、叶片倾角对叶片受力的影响	71
三、叶片不脱离定子的条件	75
四、叶片对定子的单位静压推力和摩擦磨损	78
第六节 闭死现象	79
一、遮盖比与闭死现象	79
二、解决闭死现象的措施	81
第七节 振动与噪声	83
一、噪声及产生原因	83
二、定子曲线对振动和噪声的影响	86
三、降低噪声的其它措施	89
第八节 寿命	93

第四章 高性能平衡式叶片泵	95
第一节 提高叶片泵性能的主要问题	95
第二节 子母叶片式高压叶片泵	99
一、子母叶片的工作原理	99
二、子母叶片泵的结构和性能	102
三、子母叶片设计制造应注意的问题	105
第三节 柱销叶片式高压叶片泵	107
一、柱销叶片的工作原理	107
二、柱销叶片泵的结构和性能	109
三、柱销叶片泵制造时应注意的问题	112
第四节 其它特殊叶片式高压叶片泵	112
一、阶梯叶片泵	113
二、弹簧叶片泵	113
三、双叶片泵	114
第五节 带减压阀的高压叶片泵	116
一、工作原理	117
二、减压阀式叶片泵的结构和性能	119
第六节 圆弧叶片式低噪声叶片泵	122
第七节 适用于抗燃液压油和高水基液的叶片泵	124
第八节 凸轮转子叶片泵	129
一、工作原理和结构	130
二、性能特点	131
第五章 平衡式叶片泵的设计计算	136
第一节 对定子曲线的要求	136
一、平衡式叶片泵性能对定子曲线的要求	137
二、定子曲线应具备的特性	139
第二节 定子曲线的选择与设计	141
一、对几种定子曲线的分析比较	141
二、高次型曲线	148
第三节 平衡式叶片泵主要结构参数的确定	155

一、定子	156
二、叶片	158
三、转子	159
四、配流盘	160
第六章 变量叶片泵	162
第一节 非平衡式叶片泵变量控制的基本原理	163
一、利用定子内侧不平衡液压力实现变量 (内反馈式)	163
二、利用泵出口压力和控制活塞实现变量 (外反馈式)	167
第二节 普通非平衡式变量叶片泵	170
一、典型结构	171
二、性能	174
三、应用实例	179
第三节 高性能非平衡式变量叶片泵	183
一、典型结构	183
二、性能	186
第四节 高性能变量叶片泵的变量调节控制器	190
一、压力补偿控制器	190
二、流量补偿控制器	192
三、流量压力补偿控制器	196
四、恒功率控制器	199
第五节 非平衡式变量叶片泵设计要点和发展方向	199
一、主要几何参数设计要点	199
二、非平衡式变量叶片泵的发展方向	202
第六节 平衡式变量叶片泵简介	203
一、变量原理及结构	203
二、性能	206
第七章 叶片马达	208
第一节 叶片马达的工作原理及其与叶片泵的主要区别	210
一、基本工作原理	210
二、与叶片泵的主要区别	212

三、叶片马达的分类	213
第二节 普通高速叶片马达	213
一、结构	213
二、性能与应用	216
第三节 叶片马达的特性	218
一、基本关系式	218
二、排量与瞬时流量	219
三、扭矩与扭矩效率	220
四、泄漏与容积效率	223
五、脉动与噪声	224
第四节 高性能高速叶片马达	225
一、结构原理	225
二、性能特点	226
第五节 低速大扭矩叶片马达	228
一、结构原理	228
二、性能和应用	232
第六节 特殊结构的叶片马达	233
一、凸轮转子叶片马达	233
二、滚动叶片马达	234
第八章 叶片泵(马达)的使用维修与试验	237
第一节 叶片泵和马达的选用	237
一、叶片泵的选用	237
二、叶片马达的选用	239
三、安装连接形式	240
第二节 叶片泵和马达的正确使用与维护	242
一、叶片泵的使用条件和注意事项	242
二、对非平衡式变量叶片泵附加的使用注意事项	247
三、叶片马达的使用条件和注意事项	248
四、叶片泵和马达的维护与检查	250
第三节 叶片泵和马达的常见故障与排除	251

一、平衡式叶片泵的常见故障与排除	251
二、非平衡式变量叶片泵常见故障与排除	257
三、叶片马达的常见故障与排除	259
四、叶片泵和马达主要零件的磨损与修复	261
第四节 叶片泵和马达的性能试验	262
一、叶片泵的性能试验	264
二、叶片马达的性能试验	268
参考文献	272

绪 论

液压技术作为现代工业技术的一个主要方面，在各种工业设备、行走机械以及船舶、飞机上都到得了广泛应用。在液压系统中，液压泵的功能是将电动机或内燃机等原动机的机械能转换成液体的压力能，向系统提供压力油并驱动系统工作，属于液压动力元件。

在液压传动与控制中使用最多的液压泵主要有齿轮式、叶片式和柱塞式三大类型。其中叶片泵是在近代液压技术发展史上最早实用的一种液压泵。

与齿轮泵、柱塞泵相比，叶片泵具有尺寸小、重量轻、流量均匀、噪声低的突出优点。在各类液压泵中，叶片泵输出单位液压功率所需的重量几乎是最轻的。由于结构比较简单，其价格也比柱塞泵低，而且可以与齿轮泵竞争。以往认为叶片泵主要只能用于 $6.3\sim 7.0\text{MPa}$ 以下的中低压系统，例如机床液压系统，近年来高性能叶片泵的发展大幅度提高了叶片泵的性能，压力等级普遍提高到 $16.0\sim 17.5\text{MPa}$ ，在国外甚至出现了压力高达 40.0MPa 的叶片泵，从而打破了传统的观念而广泛应用于塑料成形机、冶金机械、压力加工机械、船舶甲板机械和工程起重运输车辆等中高压液压设备。与此同时，将叶片泵的噪声控制在 $65\sim 68\text{dB(A)}$ 以下的低噪声水平已经完全可能，甚至可以更低，这也是齿轮泵和柱塞泵所无法比拟的。

需要强调的是，这里所说的叶片泵完全不同于水力机械

中利用叶轮旋转时的离心力或螺旋叶轮旋转时的轴向升力提升和输送液体的叶片泵，即水泵。本书所介绍的叶片泵是利用泵内密封工作容腔的容积变化来实现吸油、压油并输出高压液体的容积式泵。单从名称上看二者往往容易混淆，因此读者在选读本书之前首先应弄清自己需要了解的究竟是哪种类型的叶片泵。

液压马达通常置于液压系统的输出端，直接与被驱动的负载机构连接。液压马达的功能与液压泵相反，它输入液压泵供给的压力油而输出连续的回转运动和扭矩，与液压缸同属于液压执行元件。

叶片式液压马达同样也是最主要的液压马达类型之一。与齿轮式、柱塞式液压马达相比，叶片马达也具有与叶片泵类似的优点。过去习惯于认为叶片马达只适用于功率较小的高速小扭矩场合，现在新型低速大扭矩叶片马达的发展已经打破了这一观念，并被广泛应用于大型的回转驱动。同时，高性能叶片马达的发展也使高速叶片马达能够工作在17.5 MPa甚至21.0 MPa的高压下，并且传递很大的功率。

下面将在介绍叶片泵和叶片马达一般工作原理的基础上，分章详细介绍各种叶片式液压泵和马达的结构、性能、设计和应用问题。

第一章 叶片泵的工作原理与分类

叶片泵按其基本结构可分为平衡式叶片泵和非平衡式叶片泵两大类。由于非平衡式叶片泵的工作原理较为简单，易于理解，本章首先介绍非平衡式叶片泵的工作原理和结构特征，在此基础上进而介绍平衡式叶片泵，然后论述保证叶片泵正常工作的必要条件，并按具体的结构特征和功能对叶片泵作进一步的分类。

第一节 非平衡式叶片泵的工作原理

一、工作原理

图1-1所示为非平衡式叶片泵的工作原理，它是由定子1、转子2、一组嵌在转子窄槽中的叶片3以及在定子和转子两侧的盖板（侧板或称配流盘）等组成。叶片可沿转子叶片槽伸缩滑动，定子内表面曲线为圆形，圆心为 O_1 。转子相对于定子有一偏心距 e ，以 O_2 为轴心转动。在两侧配流盘上开有两个腰形槽，分别为吸油窗口和排油窗口，如图中虚线所示。

当转子按图示箭头方向旋转时，叶片在离心力的作用下与定子内表面保持接触，叶片顶部沿定子内表面滑动。随着转子的旋转，下半部的叶片沿转子叶片槽逐渐向外伸出，由定子内表面、转子外圆、两侧配流盘及相邻两叶片围成的密封容积逐渐增大，形成局部真空，于是从配流盘吸油窗口吸入油液；同时，上半部的叶片受定子内表面作用沿转子槽逐渐向内缩进，相邻两叶片间的密封容积逐渐缩小，油液便从配

流盘排油窗口排出。下半部各吸油容积由配流盘的吸油窗口连通为吸油腔；上半部各排油容积由配流盘的排油窗口连通为压油腔。两腔之间靠叶片 a 、 b 、 c 隔离密封。如果在泵的出口上油液流动受到阻力，泵的排油作用将使油液克服阻力强行挤出，因而在压油腔形成压力。输油压力取决于负载阻力的大小和密封容腔各相对滑动表面的密封性。

这种结构形式的叶片泵，由于转子周围压油区与吸油区的液压作用力不等，压油区的液压作用力远大于吸油区，合成作用结果，对转子将产生一个很大的不平衡径向力，因此称为非平衡式（非卸荷式）叶片泵。非平衡式叶片泵转子每转一周，每个相邻叶片间的密封容积完成一次吸、压油作用，又称为单作用式叶片泵。

二、结构特征

归纳上述工作原理，非平衡式叶片泵主要有以下结构特征：

(1) 定子内表面为圆柱面，转子相对于定子有一偏心距

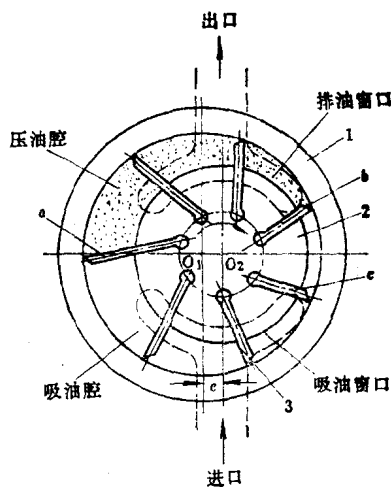


图1-1 非平衡式叶片泵的工作原理

1—定子 2—转子 3—叶片

(2) 圆周上划分为一个压油腔和一个吸油腔，转子轴及其轴承受到很大的径向力作用；

(3) 压油区的叶片根部引入压油腔的高压油，吸油区的叶片根部引入吸油腔的低压油，如图1-2所示，叶片根部与顶部的液压作用力基本平衡，运转时叶片靠离心力甩出，与定子内表面保持接触密封；

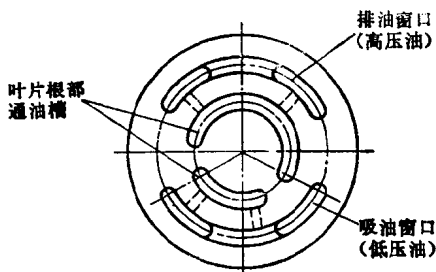


图1-2 非平衡式叶片泵的叶片根部通油原理

(4) 普通中、低压非平衡式叶片泵的叶片通常倾斜安放，叶片倾斜方向与转子径向辐射线之间的夹角为 θ ，且倾斜方向与转子旋转方向相反，如图1-3所示，其目的是使叶片容易被甩出。

有关非平衡式叶片泵的具体结构，将在第六章进一步介绍。

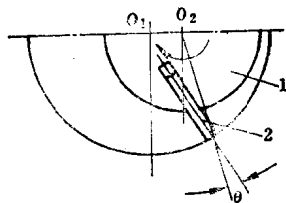


图1-3 非平衡式叶片泵叶片的倾斜方向
1—转子 2—叶片

三、用途

非平衡式叶片泵的结构比较简单，存在的主要问题是转子所受的径向液压作用力不平衡，并传递到轴和轴承上，而且这个不平衡作用力随着压力的升高而增大，因此使泵的工作压力和使用寿命受到限制。额定压力一般为7.0MPa，少数经改进的非平衡式叶片泵，最高压力也不超过16.0~17.5MPa。