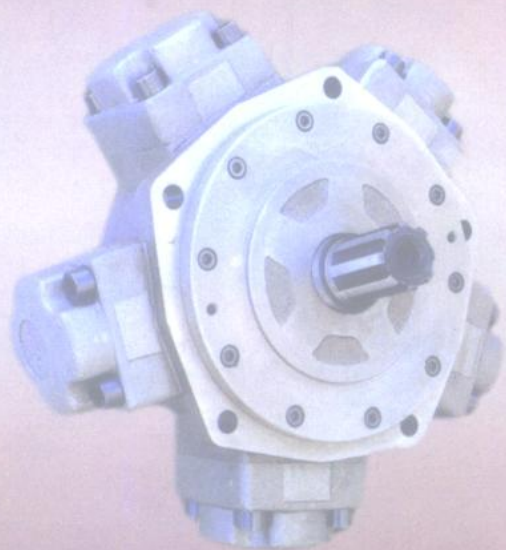


现代液压装置实用技术丛书

液压马达

Hydraulic Motors

赵应樾 主编 史维祥 主审



上海交通大学出版社

463890

现代液压装置实用技术丛书

液 压 马 达

Hydraulic Motors

主 编 赵应樾 主 审 史维祥
副主编 赵小鲁 副主审 胡世璇
沈曙光
蔡国定

编 著 者

赵应樾 马 骏 刘康安 张士富 韩玉彬
龚卫星 陈松梅 蔡国定 沈曙光 赵小鲁

参 审 者

黄冬生 蒋忠定 韩华来 任光宪 沈其伟 高永度

上海交通大学出版社

内 容 提 要

论述液压马达的专著现在甚为罕见,本书对各类常用液压马达(尤其是低速大扭矩马达)的工作原理、结构设计、有关特性曲线、零件加工、故障排除及修理工艺,以及新近发展的电液伺服马达、电液比例马达、电液步进马达皆作了较为全面、系统的论述。主要型种均绘有立体图样。

本书除作为高等学校液压课程的补充教材外,还适合机、电、液技术工作者知识更新和充实之用。

SYNOPSIS

Monographs by domestic writers concerning hydraulic motors are really few. Thoroughly and systematically, this book expounds the working principle, structural design, characteristic curve, part—processing, hitch—cecaring and technological repairing of all kinds of hydraulic motors, especially the low speed high torque ones as well as the newly developed electro hydraulic servomotor, electrohydraulic proportional control motor, electrohydraulic pulse motor, three—dimensional drawings being given to all the main sorts of motors concerned.

The book can be used as a practical teaching material for the mechatronics, hydraulic engineers to renew their technical skills as well as a good supplementary text book for the college students to master their hydraulic course.

图书在版编目(CIP)数据

液压马达/赵应樾主编. —上海:上海交通大学出版社,

2000. 2

ISBN 7—313—02299—9

I. 液... II. 赵... III. 液压马达—基本知识

IV. TH137. 51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 12462 号

液 压 马 达

赵应樾 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

南通韬奋印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:17 字数:401 千字

2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—8000

ISBN7—313—02299—9/TH·086 定价:21.00 元

版权所有 侵权必究

序

近年来,液压技术使用普遍,发展迅速,并且新的液压设备不断出现,有关技术人员及工人等迫切需要掌握或更新这方面的知识与技术。当前有关液压技术的书籍已出版了不少,但比较通俗、全面地说明液压元件、液压装置的功能与原理,较详细地叙述其应用与维修的书籍尚少见到,《现代液压装置实用技术丛书》即为此目的而撰写。本书的特点是紧密联系生产实际,着眼于实用。

本丛书的作者们都是多年来工作在生产及教育第一线的技术人员、教师或管理人员,丛书反映了他们的丰富知识与宝贵经验,相信丛书的出版定会得到广大工程技术人员及工人的欢迎,同时,亦会有助于各类工程技术学校的教学。衷心祝贺丛书出版成功。

国务院学位委员会委员
西安交通大学前校长 史维祥
中国流体传动与控制学会主任委员

Preface

In recent years, hydraulic technique is used widely and developed rapidly, the technicians, workers etc. in this field are urgently to get or renew these knowledge. Nowadays, quite a few books related to hydraulic component & hydraulic equipment's technique have been published, but the popular textbooks are still few which thoroughly and in an all-round way explain the functions and principles, describe the methods of their usage and maintenance in detail. A Modern Practical Hydraulic Equipment Library is written just for this purpose. The feature of the Library is closely linking the theory with practice and the attention is focused on practical application.

The authors of the Library are educators, engineers or managers who for many years work in factories or institutes, their rich knowledge and valuable experience are well reflected in the Library. I think that the publishing of the Library will be welcomed by the technicians and workers in factories, and it will be also helpful to teaching in all kinds of engineering and technical schools. I sincerely congratulate the successful publication of this Library.

Member of The State Council Academic Degree Committee of China
Ex-President of Xi'an Jiaotong University
President of Fluid Power Transmission & Control Association of China

Shi Weixiang

前言

20 世纪,由于电力工业的飞速发展,工业领域中满目所见、充耳所闻皆是电马达(电动机)的旋转和轰鸣,因此,人们大大忽视了液压马达的存在。

其实,电马达由于受材料磁饱和的限制,在每平方厘米上只能产生数十牛顿的电磁力,其数量级仅为 0.1MPa;而液压马达的工作压力通常为 10MPa 数量级,两者相差几十甚至数百倍。因此,电马达扭矩很小而转速很高,一般都要通过减速机构方能驱动负载。

液压马达,尤其是低速大扭矩马达,均可直接驱动负载。液压马达力密度大,在同等功率输出情况下,其重量、尺寸仅为直流电马达的 5%~20%,相对质量很轻,所以转动惯量小,启动、制动、反向运转快速性及低速稳定性好,并可方便地实施无级调速,这些令电马达无法相比的优点,使得近 20 年来液压马达和液压技术在全世界都得以迅速地推广和深入普及,人们在实践中也越来越感到液压马达的重要性。

世界上经济技术发达国家,一贯重视液压马达的研究、开发、制造和应用,并不断进步和获得新的成果,而且论著颇丰。相比之下,我国由于技术基础较为薄弱,人们的认识水平也远远不及先进国家,国人对于液压马达的论述专著极为罕见,对于液压马达实用技术方面的专著更可谓“踏破铁鞋无觅处”。

为了加强国人对液压马达的认识并推动其应用,以期更好地为祖国四化建设服务,我们克服了诸多困难,编写了本书。本书论及各类常用旋转型液压马达,由于摆动液压马达在已出版的现代液压装置实用技术丛书之一——《常用液压缸与其修理》一书中已有介绍,故本书未重复列入。

本书由赵应樾主编并总纂,由赵小鲁、沈曙光和蔡国定担任副主编。参加编著工作的还有马骏、刘康安、韩玉彬、张士富、龚卫星、陈松梅。

本书承蒙著名液压工程专家、教育家、西安交通大学前校长、国务院学位委员会现任委员史维祥教授主审;承蒙对我国液压马达制造工业作出贡献的胡世璇高级工程师(教授级)副主审,参加审校工作的还有韩华来、任光宪、蒋忠定、黄冬生、沈其伟和高永度等液压工程专家。

本书在编写过程中,得到宁波海达塑料机械厂、宁波液压马达(集团)有限公司(宁波液压马达厂)、宁波中意液压马达(有限)公司、江苏启东精工液压马达厂、中意合资宁波意宁液压马达有限公司、南京液压机械制造厂(原南京液压件三厂、南京液压件厂)、江苏姜堰市恒威船用辅机制造有限公司(江苏姜堰市船用辅机厂)和西安交通大学、上海交通大学等单位的大力支持与热情提供资料,特此致谢。

由于我们学识水平和工作经验有限,时间急迫,书中难免有不足或错虞之处,祈请行家及读者不吝赐正。最后,向本书所参阅、引用有关资料的国内外作者,致以谢忱。

(联系地址:邮编 226007,江苏省南通市易家桥三村 52-108 信箱;其次,邮编 200050,上海市定西路 1232 号 2 楼 A 座)

《现代液压装置实用技术丛书》主编

赵应樾

2000 年 1 月

目 录

第一章 概论	1	二、工作原理	52
第一节 概述	1	第二节 内部结构与主要技术特点	54
第二节 液压马达的分类与基本结构	2	一、XM 系列液压马达	54
一、分类与基本结构特点	2	二、TXM 系列液压马达	58
二、概况	7	三、TXMZ 系列液压马达	63
第三节 基本性能参数	11	第三节 关键零件的结构、加工及修理	67
一、压力	11	一、缸体	67
二、排量、流量、容积效率及转速	11	二、柱塞和滑靴	80
三、扭矩和机械效率	12	第四节 装配、使用与修理	87
四、启动扭矩和启动机械效率	13	一、装配工艺顺序	87
五、最低稳定转速及调速范围	13	二、使用、检修及试验	87
六、制动性	15	三、常见故障与排除	90
七、功率和总效率	16	第五节 其他轴向柱塞式液压马达简介	91
第二章 CLJM 系列斯达法式液压马达	17	一、CM(Y)14-1 系列马达	91
第一节 型号意义与主要技术参数	17	二、双斜盘式轴向柱塞马达	91
一、型号意义	17	三、A2F6.1 型和 A6V 型马达	93
二、主要技术参数与联接尺寸	18	四、桑斯特通轴式马达	96
第二节 工作原理与内部结构	20	五、F11 型和 F12 型马达	97
一、工作原理	20	第四章 BM 系列摆线齿轮液压马达	100
二、运动学和扭矩的均匀性分析	23	第一节 概述	100
三、构造特点分析	26	一、基本概念	100
四、关于端面配流的 CLJM 型马达	33	二、型号意义	101
第三节 关键零件的结构与加工	33	第二节 工作原理和几点理论问题	102
一、偏心曲轴	33	一、工作原理	102
二、配流轴	36	二、几个基本理论问题	104
三、马达壳体	38	第三节 BM 型轴配流摆线马达	107
第四节 CLJM 型马达的操纵控制	39	一、内部构造分析	107
一、马达的变量与有级控制	39	二、主要技术参数与尺寸	111
二、恒功率无级变排量控制	41	第四节 BMP 型端面配流摆线马达	113
三、变量马达的比例控制	42	一、可补偿性端面配流 BMPD 型	
四、液压离合器泵站对马达的控制	44	马达的结构	113
第五节 装配与修理	46	二、弹性橡塑补偿的 BMP*—**W 型	
一、拆装顺序	46	马达的结构	117
二、使用与维护	47	三、阀配流摆线马达	118
三、常见故障及排除	50	第五节 主要零件的加工概况	119
第三章 XM 系列和 TXM 系列斜盘式		一、摆线转子	119
轴向柱塞液压马达	51	二、输出轴	122
第一节 概述	51	第六节 使用、拆卸与装配	123
一、型号意义与主要技术参数	51	一、选择原则	123
		二、使用、拆卸与装配	124
		三、常见故障与排除	126

第五章 JMDG 型端面配流连杆式	
液压马达	127
第一节 概述	127
一、型号意义	127
二、主要技术参数和安装连接尺寸	128
第二节 JMDG 型马达的结构分析	131
一、主体部分	131
二、JMDG 型马达的端面配流结构	132
第三节 主要零件的加工概况和修理	133
一、活塞	133
二、配流盘	134
第四节 使用与维护	137
第六章 内曲线多作用 QJ(K)M 系列	
液压马达	138
第一节 QJ(K)M 系列马达的型号意义与	
主要技术参数	138
第二节 QJM 系列马达的工作原理与	
内部构造	145
一、工作原理	145
二、内部构造	147
三、运动学分析中的几个概念	149
四、动力学分析	156
第三节 主要变量方法	157
一、改变作用次数 x 的变量方法	157
二、改变柱塞数 z 的变量方法	160
三、改变柱塞排数 y 的变量方法	162
四、两排柱塞串、并联变量方法	162
五、复合变量法	163
六、无级变量的有关方法	164
七、回路变量的方法	164
第四节 关键零件的结构与加工	164
一、导轨	164
二、球塞	171
第五节 装配与修理	174
一、装配工艺顺序	174
二、使用与维护	174
三、常见故障与排除	176
四、修理要则	177
第七章 ZJM 型滚柱式和 NHM 型	
曲轴连杆式液压马达	179
第一节 ZJM 型径向滚柱式高压液压	
马达	179
一、型号意义及主要技术参数	179
二、技术连接规格尺寸	180
三、工作特点与结构分析	182
第二节 宁波英特姆 NHM 型单作用	
连杆式液压马达	186

一、概述	186
二、型号意义与主要技术参数	187
三、端面配流的工作原理	192
四、通油盘	193
五、使用须知	196
第八章 INM 型摆缸式径向低速大扭矩	
液压马达	198
第一节 INM 型液压马达的结构与	
工作原理	198
一、型号意义与主要技术参数	198
二、工作原理与结构特点	202
第二节 有关传动装置	203
一、带行星减速器的 GK3、GK3A 型	
液压马达	203
二、IY 系列液压传动装置	205
三、IYH 系列液压回转装置	205
四、IYJ 系列液压绞车	210
第九章 其他结构的液压马达简介	213
第一节 叶片马达	213
一、工作原理及与叶片泵的区别	213
二、普通高速叶片马达及低速大扭矩	
叶片马达	214
第二节 其他低速大扭矩液压马达	216
一、横梁传力式径向内曲线马达	216
二、静力平衡式径向马达	218
三、伸缩柱塞式和伸缩缸体式径向马达	221
四、多作用轴向柱塞式马达	223
第十章 电液马达	227
第一节 电液伺服马达	227
一、工作原理	227
二、典型产品简介	229
第二节 电液比例马达	230
一、电液比例技术概述	230
二、电—机械转换器	233
三、电液比例马达的排量调节	233
四、电液比例变量马达的恒扭矩调节	238
五、电液比例变量马达电反馈转速调节	
和转角调节	239
第三节 电液步进马达	240
一、基本结构与工作原理	240
二、结构类型	242
三、典型结构产品	242
四、关于电液步进液压缸	245
附录 液压马达常用回路	246
主要参考文献	266

第一章 概 论

第一节 概 述

液压马达是液压传动系统中的执行元件,它将来自液压泵输入的液压能转变成作回转运动的机械能,从而驱动负荷进行工作。

通常认为,液压马达只不过是泵进行反向能量转换而已,但这只是一种粗浅的理解,实际上,泵和马达在工作要求上有许多不同之处。因此,在某些应用场合,作为泵的设计却很难当马达使用;许多马达的内部结构都与相应类型的泵有不同的结构特征,有些马达根本没有泵中相应的零件。

泵与马达在工作要求上的一些区别如表 1—1 所示。

表 1—1 液压泵与液压马达的工作要求

液 压 泵	液 压 马 达
1. 大多数使用者把泵看作在一定压力下输出流量的元件,因而更重视它的容积效率	1. 大多数使用者把马达看作是在一定压力下输出扭矩的元件,因而更重视扭矩(即机械)效率
2. 泵经常在稳定高速下工作	2. 马达的转速范围很宽,较长时间在低速工况工作
3. 通常希望泵在额定转速时能输出高压	3. 马达通常在零或非常低的转速时才达到最高压力
4. 在一定的应用场合,泵通常只有一个旋转方向。除静液压传动装置中的泵以外,其流量和压力方向保持不变。	4. 大多数马达都要求旋转方向可变。许多马达还要求能以泵方式工作,以便(在超速时)对负载进行制动
5. 在大多数系统中泵都是连续工作的,流体温度变化较缓慢	5. 马达在长时间闲置后,开始工作时要经受温度的突变
6. 大多数泵都有安装底座,传动轴不承受侧向载荷	6. 许多马达的传动轴都要承受来自皮带轮、链轮、齿轮或直接安装的其他轮子的径向载荷

液压马达与液压泵在结构上的差异主要有:

(1) 液压马达需要正反转,在内部结构上必须具有对称性,而液压泵常是单方向旋转运行,为提高效率,大都是非对称的。

例如,齿轮泵常采用不对称式卸荷槽结构,而齿轮马达则须使用对称式的;叶片泵的叶片槽在转子上常具有一安放倾角,而叶片马达的叶片槽则必须径向布置,若倾斜布置的话,反转时即会折断叶片;轴向柱塞泵的配流盘为减除气穴现象与噪音,常采用不对称结构,而轴向柱塞马达必须采用对称结构等。

(2) 液压马达在确定轴承的结构形式及其润滑方式时,应保证在很宽的速度范围内都能正常地工作,当马达速度很低时,若采用动压轴承,就不易形成润滑油膜,在这种情况下,应采用滚动轴承或静压轴承。

液压泵常运行在某一高速区,且转速几乎没有什么变化,因此不存在这一苛刻的要求。

(3) 液压马达为提高启动扭矩,要求扭矩的脉动小,结构内部摩擦力小。因此,像齿轮马达的齿数就不能如齿轮泵那样少,轴向间隙补偿时的预压紧力也比泵小得多,以减少摩擦阻力而

增大起动扭矩。

(4) 液压马达没有自吸能力的要求,但泵则必须保证这一基本功能,因此,像点接触轴向柱塞式液压马达(其柱塞底部没有弹簧)则不能作泵用。

(5) 叶片泵依靠转子旋转时,将叶片抛出的离心力使叶片贴紧定子起封油作用,形成工作容腔。若当液压马达使用,则因起动时没有力量使叶片贴紧定子,无法封闭工作容腔,马达无法启动,所以,叶片马达中必须有燕形摇摆弹簧或螺旋弹簧等叶片压紧机构,这正是叶片泵所没有的。

第二节 液压马达的分类与基本结构

一、分类与基本结构特点

液压马达通常可分为高速和低速两大类。

额定转速高于 500r/min 的常视为高速液压马达,主要形式有齿轮式、螺杆式、叶片式和轴向柱塞式。其特点是转速较高,功率密度高,转动惯量小,排量也较小,启动、制动、调速及换向方便,但输出扭矩不大,通常几十到几百个牛·米(N·m),在相当多的情况下不能直接满足工程上负载对扭矩的要求,需要配置机械减速机构,因此,使用上受到一定的限制。

额定转速低于 500r/min 的常被称为低速马达,低速液压马达一般还要求:

(1) 在转速为 100r/min 以下时,能直接驱动额定负载并平稳运转。

(2) 平稳运转的概念定义为:额定负载时,该马达运行中所出现的转速脉动率,即最大脉动幅度值对平均转速值的比例数当在 10% 以内。即

$$\delta_{\omega} = \frac{\pm \Delta \omega}{\bar{\omega}} \times 100\% < 10\% \quad (1-1)$$

式中 δ_{ω} ——转速脉动率;

$\Delta \omega$ ——在所测定的转速下角速度的最大变化幅度;

$$\Delta \omega = \omega_{\max} - \omega_{\min};$$

$\bar{\omega}$ ——平均角速度。

在 $\delta_{\omega} > 10\%$ 时,则称为不平稳运行。

(3) 低速马达通常具有较大的扭矩角速度比值,一般大于 $5 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}/\text{rad}$ (牛·米·秒/弧度):

$$\frac{M}{\omega_{\max}} > 5 \quad (\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}/\text{rad})$$

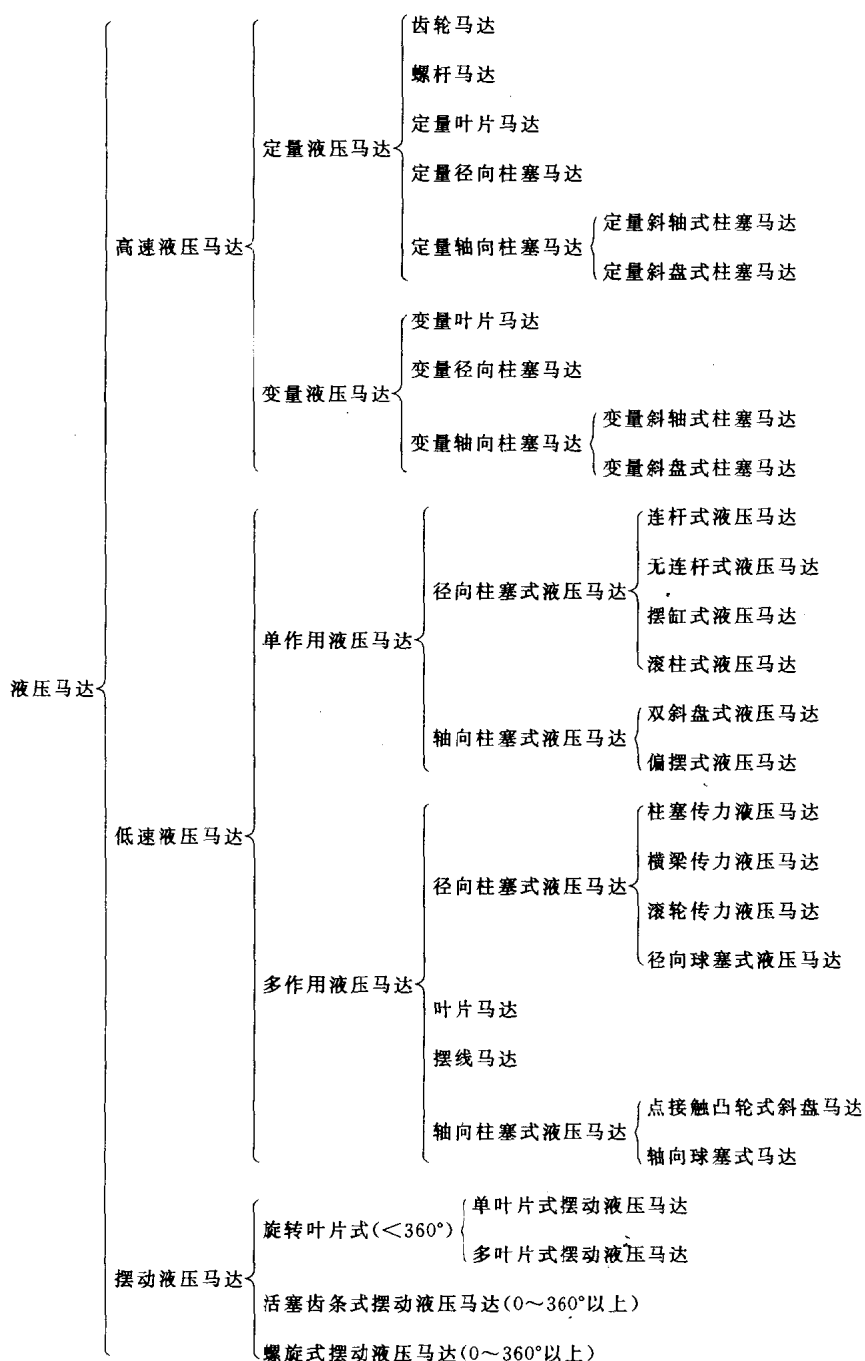
式中 M ——液压马达输出扭矩(N·m);

$\omega_{\max}$ ——液压马达的最大角速度(rad/s)。

低速马达排量大,体积也较大,转速在低到每分钟几转甚至零点几转时仍能稳定输出几千甚至几万牛·米(N·m)的很大扭矩,所以也常称为低速大扭矩液压马达。其主要形式有多作用内曲线柱(球)塞式液压马达和曲轴连杆式、静压平衡式等径向柱塞型液压马达。它适用于直接联接并驱动负载,无须另加减速机构,且启动、加速时间短,性能好,由于输出扭矩大,因此在工程设备中得到越来越广泛的应用。液压马达的一般分类见表 1-2,其中的摆动液压马达在

很多场合被视作摆动液压缸。

表 1-2 液压马达的一般分类



应当说明,表 1-2 的分类并不是死板而一成不变的,因为高速类中的齿轮式、轴向柱塞式及叶片式液压马达中的有些结构产品,也具有在每分钟几转时仍能平稳运行的良好低速性能;同时,低速类中许许多多大扭矩液压马达,在高速及甚高速(800r/min)的范围内,也都能够良好地运行。

高速液压马达和低速液压马达的主要结构特点分别见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 高速液压马达常见结构特点

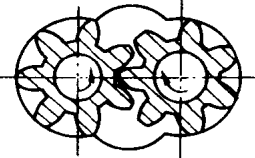
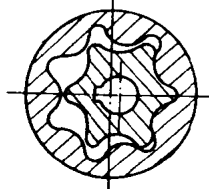
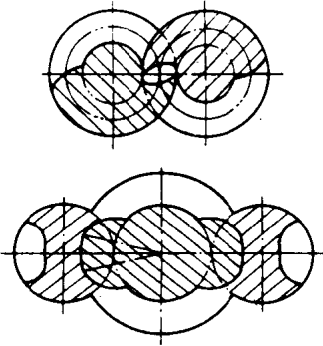
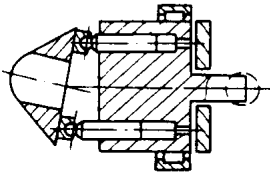
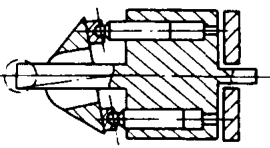
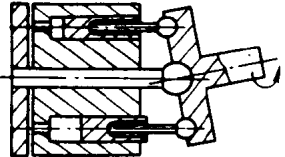
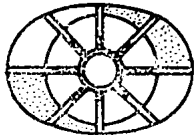
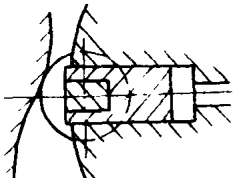
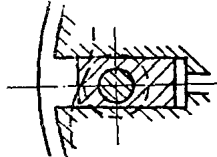
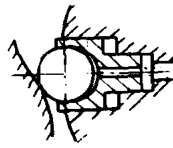
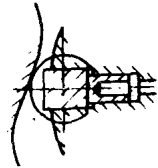
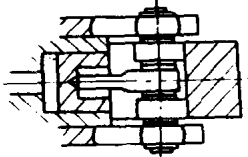
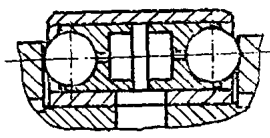
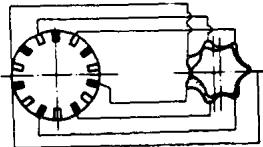
类型	结构示意图	结构特点	产品示例
外啮合式		结构与齿轮泵几乎相同。构造简单,抗污染能力强,价格低廉,但泄漏量大,扭矩变化大,轴承承载大而寿命缩短	CMF 系列 CMN3、CMN4 系列 CMG4 系列 GM5 系列等
内外转子摆线式		结构几乎与内外转子式摆线泵一样。工作时内外转子同向啮合旋转,齿面滑动速度小,磨损小,机械效率和总效率高于行星转子式,但马达输出扭矩小,常在 $100\text{N} \cdot \text{m}$ 以下	多数被行星转子式摆线马达所取代
螺杆式		左图上下分别为双螺杆之螺杆式。 压力油进入螺杆啮合形成的密封线相隔的空间,液压力在主杆的螺旋面上产生切向力,输出扭矩 流量脉动极小,噪音小,尺寸大	应用不多 3GM245 系列 3GMW28 系列等
斜盘式		结构基本上同斜盘泵,但需考虑柱塞回程问题	XM-F40L 及 CM14-1B 等
轴向柱塞式		主轴穿越斜盘,承受径向载荷能力提高	TXM-E75L 等 美国桑斯特 (Sund sytrand) 系列等
斜轴式		传动轴轴线与柱塞缸轴线间倾斜一定的角度,利用平面或球面配流盘配流	ZM125 等 上海产 A2F6.1 型、 A6V 系列
叶片式		几乎都采取平衡式结构,结构与叶片泵相似,但须有叶片压紧机构,且壳体上有单独泄油口,叶片沿径线布置,进出油口大小相同。其双作用定量式为高速小扭矩叶片马达;多作用式叶片在转子每转中作多次伸缩,增大排量和扭矩,成为低速大扭矩叶片马达	YM 系列 低速大扭矩叶片马达系列,如美国威格士 MHT 系列等

表 1-4 低速大扭矩液压马达的常见结构特点

类型	结构示意图	结构特点	产品示例
单柱用	连杆式	油液通过柱塞和连杆中管孔,并通过阻尼管,引入连杆底面油腔,柱塞连杆副处于静压平衡。偏心轴在腔中油压和密封边接触作用下形成扭矩 连杆摆动,柱塞所受侧向力较小,静压平衡处滑动摩擦损失较小	江苏姜堰市产(C)LJM系列等 国外:英国斯达发 B400
	无连杆式	油压直接作用于偏心轴形成扭矩 柱塞所受侧向力较小,静压平衡处静压平衡,无连杆式,柱塞受较大侧向力	国内:宁波产 国外:英国罗斯通 M4875/2 型
	摆缸式	柱塞与球面偏心轮间处于静压平稳,油压直接作用于偏心轮形成扭矩 柱塞与缸壁呈伸缩套筒,随偏心轴旋转而摆动伸缩,柱塞不受侧向力作用。启动扭矩效率高	国内:INM 型 国外:意大利卡尔松尼 MR7000N 型马达
	滚柱式	油液作用于柱塞,通过柱塞顶端凹面的滚柱作用于壳体形成扭矩 缸体与偏心轴间处于静压平衡,与壳体同步旋转	国外:瑞典如莱夫 M106 型马达
	轴向柱塞式	油液通过浮动的平面配流盘进入转子缸孔,推动柱塞及滑履作用于斜盘上,产生的切向力形成扭矩 滑履与斜盘间静压平衡	ZMD 系列 国外:英国道马斯 MK-4 型马达

(续表)

类型	结构示意图	结构特点	产品示例
作用式多柱向径		滚轮与导轨作用所产生的切向力,由柱塞侧面传给缸体形成扭矩 横梁设在柱塞前端,受力中心偏离接触中心,柱塞与缸孔的接触比压较大	国内:JZM 型 国外:捷克波兹罗夫斯基 HM52.5 型马达
		原理同上 横梁处于柱塞中部,工作过程中柱塞不伸出缸孔端部,减小了柱塞与缸孔的接触比压	国外:瑞典赫格隆德 3160 型马达
		柱塞设计成阶梯形,钢球与导轨作用产生的切向力,通过柱塞的大直径侧面传给缸体形成扭矩,小直径端用密封环密封 钢球与柱塞球窝间处于静压平衡	国内:宁波产 QJM、QKM 系列等
		滚轮与导轨作用产生的切向力,由矩形横梁传递给缸体形成扭矩 柱塞不受侧向力作用,缸孔磨损微小。整体式导轨结构工作中有部分横梁伸出缸体,接触比压较大。分片式导轨结构接触比压减小	国内:上海产 NJM 系列等 国外:法国朴克兰 6700 马达
		工作滚轮与导轨作用产生的切向力,由导向滚轮通过导向侧板传递给缸体形成扭矩 柱塞不受侧向力作用。滚轮传力摩擦损失小,启动扭矩效率高	国内:NKM 系列 国外:瑞典赫格隆德 8385 型马达
		钢球与导轨作用产生的切向力,由钢球通过柱塞传给缸体形成扭矩 钢球与柱塞球窝间强制润滑,柱塞轴向成对称布置	国内:LM 型 国外:英国卡龙 800/765 型马达
行星转轮		一对内啮合摆线齿轮,内齿形定子固定,外齿形转子在定子内自转,同时绕定子中心公转。转子通过球形花键联轴节与输出轴联接输出扭矩。转子公转它的齿数次后,转子(输出轴)旋转一周 上图为轴配流式,下图为端面配流式	国内:南京、宁波产 BM、BMP 系列等 国外:丹麦奥比托 OMS 马达
			

二、概况

高速类液压马达中,生产最早、结构最为简单的是外啮合式齿轮马达,在我国的制造时间始于新中国建立不久的 50 年代初期。

随着我国第一个五年计划的提出与实施,作为万业之母的机床制造业急待迅速发展,因此,上海机床厂、天津液压件厂积极仿制了苏联的包括齿轮泵在内的各种低压泵、阀元件,并立即获得成功。当时的低压齿轮泵,不少为对称的卸荷槽结构,因此,就可逆地成为我国最早使用的液压马达。

随着我国齿轮泵技术水平的提高,齿轮马达的压力级也从原来的 0.5MPa 以下提高到现在的 25MPa 左右,由于齿轮马达和齿轮泵两者具有相同的关键零件,在结构上只要稍作变动,齿轮泵即可成为齿轮马达。

据不完全统计,我国生产的齿轮马达型号约有 CM-N、CM-P、CM-F、CM-Z、CM-G、CM-Q 等数十种之多。在上述外啮合齿轮马达的基型上还派生出三齿轮双倍扭矩马达和齿轮式流量同步器等。

尽管齿轮马达结构简单,价格低廉,抗污染能力强,能在困难的运转条件下可靠工作。但终因其泄漏量大,输出扭矩小但变化幅度大,低速性能差,使用寿命较短,一般又要配置减速机构,故实际应用不多。

齿轮马达中的行星转子摆线式是一种内啮合多点接触的齿轮马达。国外称为俄比特(Orbit)式液压马达,该马达自 20 世纪 50 年代中期问世以来,立即脱颖而出,应用普及。我国自 60 年代开始制造,现在江苏南京、浙江宁波及上海等地均有多家批量生产,这类马达的突出优点是体积小,重量轻,低速性能较好,输出扭矩较大,在塑料机械、农业机械、工程机械等领域的中小功率的设备应用中甚为广泛。

80 年代,在我国该类马达的制造也出现了端面配流的结构,使其容积效率和调速范围都得到有益的提高。此后,还出现了配流盘的布置,可使压力油单独地有选择地送入转子与定子间工作容腔的双速摆线马达。美国依顿公司、丹麦丹佛斯公司在这类马达制造方面作出了有益的贡献,他们所生产的摆线马达,额定转速分别可高达 900r/min 和 1600r/min。

螺杆式液压马达是螺杆泵的变型产品。其特点与螺杆泵一样,输出扭矩平稳,脉动很小,噪声低,但工作压力通常偏低,作为高速工况下使用较为适宜。在要求防爆的场合,可用螺杆液压马达驱动高速旋转的离心式油泵,在大型高速磨床、风机中也有使用,但在一般液压机械中使用甚为罕见。

现有的各种叶片式液压马达,几乎都采取平衡式结构。该种结构的优点:一是增加了叶片在每转中承受压力油作用而产生扭矩的次数,在马达径向尺寸相同情况下,输出扭矩可成倍地增大;二是作用在转子上的径向液压力得到平衡,轴承负荷小,提高了可靠性及使用寿命。

根据结构与性能的不同,叶片马达有高速小扭矩与低速大扭矩之分。前者占大多数,其结构类似于平衡式叶片泵,属双作用定量式马达。低速大扭矩叶片马达为了增加排量及输出扭矩,叶片在转子每转中作多次伸缩,属多作用式,还可实现有级变量。

叶片式液压马达具有结构简单,尺寸紧凑,运转平稳,扭矩脉动小,噪声低,转动惯量小,利于启动和制动等优点,所以,在各种工业设备及行走车辆中得到一定的应用。

叶片式液压马达的不足之处在于:叶片顶端对定子内表面的摩擦磨损大,泄漏也往往较

大,高速叶片马达启动机械效率和低速时效率偏低,低速稳定性不好,加工精度要求较高,对油液清洁度比较敏感等,因此,其应用受到限制。

叶片马达中的凸轮转子叶片马达和滚动叶片马达,是两种比较特殊的结构。前者仍属高速小扭矩马达,与凸轮转子叶片泵几乎完全相同,但马达壳体上要增设泄油口,叶片顶端形状要加工成对称圆弧形,在中间隔板上还要设置梭阀。

凸轮转子叶片马达的摩擦力较小,启动和低速时扭矩效率较高,扭矩较为稳定。其工作压力可达 16MPa,转速为 150~2000r/min,小容量马达可达 3000r/min,最大扭矩已超过 600 N·m,因此,前期在我国曾一度获得应用,但制造麻烦,成本较高,厂家的生产热情不如对其他马达,因而其发展势头不足。

滚动叶片马达也是一种高速小扭矩液压马达,但其结构完全不同于传统的叶片马达。为了避免叶片对定子的压紧磨损,它使用在转子孔中回转摆动的叶片取代了沿转子径向槽滑动的叶片来实现密封,建立能承受压力的密闭工作容腔,但结构复杂,国内市场尚未见其产品。

美国威格士公司研制的 MHT 系列多作用低速、大扭矩叶片马达,增加了叶片作用的次数,定子内表面圆周上有四段曲线凸起,构成四个工作腔室,叶片在转子每一转中伸缩作用四次,同时,又适当增大了转子、定子的尺寸,因此,输出扭矩单列马达最大为 11055N·m,四列马达可高达 44220N·m,额定压力 14MPa,低速性能也较稳定,最低稳定转速一般可在 5~10r/min。大型马达最高转速为 70r/min,小型马达的最高转速可达 400r/min。

轴向柱塞式液压马达是高速液压马达中应用最为广泛的一类。它主要有斜盘式和斜轴式两种基本形式,与泵一样,斜盘式液压马达中也有非通轴式和通轴式两大类结构。

当我国济南铸锻研究所在 60 年代初期综合世界各种斜盘泵的优点,推出自行设计、制造的 CY-14-1 系列斜盘泵时,我国的轴向柱塞式斜盘液压马达也就诞生了,因为当时的 CY-14-1A 泵中的配流盘是一盘三用,可用在左旋泵,重新安装配流盘,又可用在右旋泵,将配流盘定位安置在泵的铅垂线的对称位置时,泵即刻可成为马达工况,其液压马达的型号为 CM-14-1。

以北京起重机器厂为主,差不多同时期生产的 ZM(B)系列(亦即 XM 系列)斜盘式液压马达(泵),与 CM(Y)14-1 系列液压马达(泵)的结构基本相同,其配流盘本身就是对称布置设计的,泵的油道只要输入压力油,就成为马达。上述两种型号形成我国斜盘式液压马达的两大系列品种。

XM 系列液压马达与 CM14-1 系列液压马达的主要差别在于采用双轴,即缸体转矩通过心轴花键由定心传动轴输出,使得负载的不平衡径向力由空心输出轴的轴承来承受,不影响缸体,具有一定的缓冲作用;此外,XM(B)系列液压马达(泵)的壳体为整体式,加工工艺稍难些。

通轴式液压马达的传动轴穿过斜盘,支承在位于马达两端的轴承上,缸体依靠传动轴定位,省却了缸体外的大轴承,有利于提高转速,以满足大流量的需求。有些在传动轴另一端还设置辅助泵,能适应集成化的要求。

通轴式马达的传动主轴除传递扭矩外,还要支承缸体并保证配流盘工作状况良好,因此,传动轴往往较粗。

我国 TXM 系列、XB₁ 系列是国产通轴式马达的代表产品之一,应用较多。而我国前期引进的美国桑斯特 20~27 系列的重型通轴马达(泵),在 21MPa 压力时,轴承寿命可达 5000~10000h。

斜轴式轴向柱塞马达在我国代表产品是引进的德国力士乐公司的 A2F 和 A6V 系列等。其内部结构比斜盘泵要复杂一些,效率比斜盘式稍高,适合于在大负荷下工作。我国上海、北京等地均有生产厂家。

轴向柱塞马达由于工作压力高(可达 32MPa 以上),因而有较大的输出扭矩和功率,大多数轴向柱塞马达采用静压平衡式的配流盘,不易磨损,即使表面有所磨耗也能自动补偿,因而寿命较长,使用可靠性大,效率也比较高。轴向柱塞马达由于旋转缸体中的柱塞回转半径较小,转动惯量较小,易于启动。

轴向柱塞马达还有一个优点在于:作为变量型马达,无论是斜盘式还是斜轴式,其变量机构与同系列液压泵的变量机构相同,供应方便。

使用变量型液压马达有下述特点:

在一定的输入压力下,马达的输出扭矩与其排量成正比;在一定的输入流量情况下,马达的转速与其排量成反比。这就是表明,减少变量马达的排量将使输出扭矩下降,而使转速升高,这意味着变量马达可在低速时驱动重负载,而在轻负载时能保持较高速的运转,可以起到近似恒功率输入、输出的节约能源、减少动力消耗的效果。

由于轴向柱塞式液压马达具有上述诸多优点,因此,使用较为普及。其不足之处是这类马达在低速时输出功率还较小,用来直接带载驱动低速运行的机器如起重运输机械,车辆行走机构等。当启动和低速运行时,其扭矩、功率往往满足不了运行要求。因而,常配设各类减速装置,带来机器体积庞大的缺点。

低速大扭矩液压马达近期有了较大的发展,新结构不断出现。并且,所有这些液压马达,根据每转中柱塞副的作用次数,可以分为单作用和多作用两大类。按柱塞的排列方式,每一类可以分为径向式和轴向式两种。按结构特点和柱塞副不同的传力方式,径向式马达又可以分成不同的类型(见表 1-4)。

单作用液压马达,转子旋转一周,每个柱塞往复工作一次,所有径向柱塞式单作用液压马达的主轴是偏心轴。

多作用液压马达设有导轨曲线,曲线的数目就是作用次数。转子旋转一周,每个柱塞往复工作多次。根据柱塞副的不同结构,径向式马达又分成柱塞式、球塞式和叶片式多种。

单作用马达结构比较简单,零件数目少,工艺性较好,造价较低。但是,在每转排量(或输出扭矩)相同的情况下,与多作用马达比较,结构尺寸大,存在输出扭矩与转速的脉动。在工作中,单作用马达高压柱塞腔在同侧,出现比较大的径向不平衡力,使马达的低速稳定性变差。为了满足马达轴承工作寿命的要求,往往必须增大轴承的容量。

一般情况下,由于单作用马达的工作特点,允许比同排量的多作用马达有较高的转速。

多作用液压马达的结构,一般都比单作用马达复杂,零件数也略有增加。个别零件(如导轨)的加工需要专用设备,导轨热处理比较困难,设计中结构参数的选择也比单作用马达困难、复杂,制造成本较高。

但是,在相同的工作压力下,多作用马达能输出更大的扭矩,单位功率的重量较轻。而且只要柱塞数和作用数选取合适,可以使液压马达的径向力完全平衡,具有较高的启动扭矩效率。设计中,合理选取导轨曲线,并按无脉动原则分配幅角,理论上都能做到输出扭矩的脉动率为零,因而可以获得更好的低速稳定性。

单作用马达中,最早出现的是曲轴连杆式马达,它按曲柄连杆机构的作用原理工作,国外

又称为斯达发(Staffa)马达。由于它结构简单、性能可靠、转速适中、价格便宜,成为世界上产量最多、主机应用最广泛的一种低速大扭矩液压马达。它的早期是MK型,70年代起,发展了B型,配流轴和连杆偏心轮副采用静压平衡结构,C型带有变量装置。随结构的变化,工作压力从17.5MPa提高到21.0MPa,并且改善了启动特性和低速稳定性,为进一步扩大主机应用,又研制了带减速机构的GB型。

60年代以来,我国江苏姜堰(原泰县)产CLJM系列,宁波、昆山、太原造JMD系列马达均属此类结构。无连杆的静力平衡式液压马达,又称为罗斯通(Ruston)马达,主要工作部件处于静力平衡状态,改善了低速稳定性,具有优良的起动性和较高的机械效率。但取消连杆后,柱塞侧向力增加。

套筒伸缩摆缸式(Calzon)和滚柱式(Rolleff)液压马达,是近十多年来国外发展的新结构马达。前者具备了曲轴连杆和静力平衡式液压马达的主要优点,以摆动的伸缩缸体代替了连杆摆动,在单作用马达中获得了较好的性能。后者,通过柱塞顶端凹面的滚柱传力给缸体,使缸体旋转。这种马达结构简单,在任何负载下,缸体都能在静压作用下“浮动”于配流器上,性能好,但内部力学原理比较复杂,应用还不广泛,这两种马达已在我国宁波和广东制造。

双斜盘式轴向柱塞式液压马达是由单斜盘的高速轴向柱塞马达发展而来,结构上改成了两个斜盘和对称布置的两排柱塞,近一倍地提高了输出功率重量比。

多作用径向柱塞式内曲线液压马达分为柱塞传力、横梁传力、滚轮传力等结构型式(见表1-4),其中以横梁传力和滚轮传力马达应用较多。国产主要有NJM系列等,最高工作压力32MPa,在所有低速大扭矩马达中,该马达具有较高的工作压力。最近又发展了端面配流的车轮马达,进一步改善了性能。

近年来,由于球塞副静、动压支承理论在试验研究上取得进展,多作用径向球塞式液压马达发展迅速,它用一只钢球代替了两只以上滚轮或横梁,结构简单,工作可靠,马达体积、重量显著减小。我国宁波QJM、QKM系列马达由于质量、性能不断地提高,所以在轻工、建筑、化工、交通等行业的应用越来越广泛。

上述的低速大扭矩液压马达,一般都可以设计成壳体旋转(如QKM)或轴旋转(如QJM)两种形式,分别称为壳转马达和轴转马达。车轮用的壳转马达称为车轮马达,由它直接驱动车轮,能够取代齿轮传动组成液压驱动桥。

国产低速大扭矩液压马达的工作压力,目前尚比国外同类产品低一些。对各种类型马达的关键运动副,尚缺少充分的机理方面的基础理论和试验研究,因而,设计中的结构、尺寸、材料的选取,精度的确定,更多的是依赖经验的积累。设计生产中的问题,常常只能在整台马达试验中发现和解决。

但是,目前国内已十分注意吸收国外先进技术,开始设计、研制自己的新产品,形成了一定数量的专业研究和制造队伍。着手对一些影响马达性能、寿命的关键运动副进行专项的基础理论和模拟试验研究。例如,开展内曲线液压马达各种导轨曲线性能和设计方法的研究,提出无脉动的等接触应力曲线等理论和设计方法,以提高马达性能和寿命;对内曲线液压马达各种变量方法和理论的研究,提出无脉动的变量设计原理;对各种液压马达建立数学模型,分析影响马达性能的因素,借以进行计算机辅助设计(CAD);进行曲轴连杆式液压马达连杆滑块与偏心轮的支承形式和配流轴、配流盘受力的理论分析研究,提出改善功率损耗的支承形式和径向力平衡的配流轴设计原理;将相似原理应用于液压马达试验研究和结果分析,借以研究液压马