

新型径向柱塞泵

XINXING JINGXIANG ZHUSAIBENG

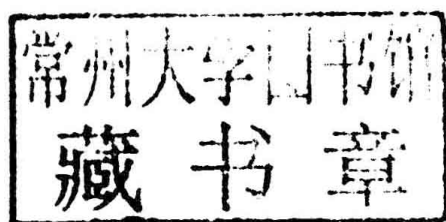
贾跃虎 王荣哲 安高成 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

新型径向柱塞泵

贾跃虎 王荣哲 安高成 编著



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书在产、学、研联合开发、研制新型径向柱塞泵及其控制技术的基础之上,以排量为 40mL/r 规格的新型径向柱塞泵为范例,系统介绍了新型径向柱塞变量泵的结构、技术参数和工作原理;叙述了主要运动零部件的运动学和动力学分析,在此基础上阐述了主要零件和整体结构参数的设计方法以及系列产品设计的方法;详细介绍了新型径向柱塞变量泵的恒压控制、电液比例负载敏感控制、电液比例排量控制和恒功率控制等变量控制机构的结构、工作原理和控制理论;还针对该泵的结构特性和加工特性介绍了主要零件的制造工艺技术。

本书可作为高等学校机械设计制造及其自动化专业和相关专业学生的学习参考书,也可供企业和科研单位从事液压技术工作的工程技术人员参考,尤其对从事液压泵的设计和研制人员以及从事液压泵维修的技术人员有很好的帮助。

图书在版编目(CIP)数据

新型径向柱塞泵 / 贾跃虎, 王荣哲, 安高成编著.

—北京:国防工业出版社, 2012. 9

ISBN 978-7-118-08384-2

I. ①新… II. ①贾… ②王… ③安… III. ①径向柱塞泵—研究 IV. ①TH322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 223185 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京市海淀区四季青印刷厂

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 7 $\frac{1}{8}$ 字数 212 千字

2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

印数 1—2000 册 定价 49.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

总 序

2012年,太原科技大学将迎来60周年华诞。值此六秩荣庆之际,我校的专家学者推出了这套学术丛书,以此献礼,共襄盛举。

60年前,伴随着新中国的成立,伟业初创,百废待兴,以民族工业为先锋的社会主义现代化建设蓬勃兴起,太原科技大学应运而生。60年来,几代科大人始终心系民族振兴大业,胸怀制造强国梦想,潜心教书育人,勇担科技难题,积极服务社会,为国家装备制造业发展壮大和社会主义现代化建设做出了积极贡献。四万余名优秀学子从这里奔赴国民经济建设的各个战场,涌现出一大批杰出的科学家、优秀的工程师和知名的企业家。作为新中国独立建设的两所“重型机械”院校之一,今天的太原科技大学已发展成为一所以工业为主、“重大技术装备”领域主流学科特色鲜明、多学科协调发展的教学研究型大学,成为国家重型机械工业高层次人才培养和高水平科技研发的重要基地之一。

太原科技大学一直拥有浓郁的科研和学术氛围,众位同仁在教学科研岗位上辛勤耕耘,硕果累累。这套丛书的编撰出版,定能让广大读者、校友和在校求学深造的莘莘学子共享我校科技百花园散发的诱人芬芳。

愿太原科技大学在新的征途上继往开来、再创辉煌。

谨以为序。

太原科技大学校长 郭勇义

2012年8月

前 言

本书是作者在从事多年液压技术的教学和新型径向柱塞变量泵的设计、制造和试验的实践基础上,进行归纳和总结编写成册。新型径向柱塞变量泵的研制工作是在太原科技大学王明智教授与山西平阳重工有限公司崔扣彪总工带领下由两个单位组成的科研团队开展的,研制过程历经理论分析、样机设计、样机制造、样机试验;样机试验过程中发现问题后寻找解决方案并改进设计后再制造新的样机,然后再对新样机进行试验,这样反反复复很多次,直至样机的各种参数指标达到设计要求以及符合柱塞泵形式试验的国家标准要求才算研制成功。“新型电液比例负载敏感径向柱塞变量泵”经课题组全体科研人员近十年的团结协作、共同努力于 2004 年研制成功,并由山西省科技厅主持召开科技成果鉴定会,鉴定委员会由国内知名液压专家组成,与会专家一致认为该成果达到“国际先进”水平。该研究成果于 2005 年荣获“山西省科技进步一等奖”。编著此书的目的在于把我们十余年的付出和努力的结晶奉献于社会,提高我国从事液压泵设计和研究的科技人员的业务水平,从而推动我国液压技术的进步。

全书内容主要包括新型径向柱塞变量泵的本体结构和各种变量控制机构的结构、主要零件和整体结构的设计方法和产品系列设计方法、主要零件的制造工艺技术等。第 1 章介绍液压技术国内外发展现状,各种结构液压泵的发展现状;第 2 章介绍新型径向柱塞变量泵的结构、工作原理和技术参数;第 3 章在对主要零件的运动学和动力学分析的基础上,介绍了主要零件的设计要点和设计方法,尤其对静压平衡设计理论进行了重点阐述;第 4 章介绍新型径

向柱塞变量泵主要参数的分析理论和确定依据以及系列产品的设计方法;第5章介绍手动恒压控制、电液比例恒压控制和电液比例负载敏感控制的变量控制机构的结构和工作原理,详细分析了其控制过程的静态特性和动态特性;第6章介绍电液比例排量控制和恒功率控制的变量控制机构的结构和工作原理,详细分析了其控制过程的静态特性和动态特性,并简要介绍了双向变量控制;第7章介绍新型径向柱塞变量泵主要零件的制造工艺技术。全书力求深入浅出、突出重点、联系实际、指导实践。

本书可作为高等学校机械设计制造及其自动化专业和相关专业学生的学习参考书,也可供企业和科研单位从事液压技术工作的工程技术人员参考,尤其对从事液压泵的设计和研制人员以及从事液压泵的管理、使用和维修的技术人员有很好的帮助。

本书由太原科技大学贾跃虎、山西平阳重工王荣哲主编。第1章、第5章、第7章由王荣哲编写,第6章由安高成编写,第2章~第4章由贾跃虎编写,全书由贾跃虎负责统稿。

由于作者学识水平有限,书中难免错误与不妥之处,恳请专家和读者批评指正。

作 者
2012年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 液压技术现状和发展	1
1.1.1 节能降耗、提高效率	2
1.1.2 绿色环保液压技术	2
1.1.3 机电一体化	2
1.1.4 高可靠性与主动维护	3
1.1.5 新材料、新工艺	3
1.2 现代液压泵	4
1.2.1 现代液压泵概述	4
1.2.2 齿轮泵	4
1.2.3 叶片泵	5
1.2.4 螺杆泵	6
1.2.5 柱塞泵	6
1.3 新型径向柱塞泵的制造	8
1.4 基本符号与单位(按 ISO/DIS4490)	8
1.5 液压泵的主要参数、常用单位、意义和 常用计算公式	9
第 2 章 新型径向柱塞泵的结构和技术参数	11
2.1 结构和工作原理	11
2.2 结构设计特点	14
2.3 主要技术参数与工作转速	15

第3章 设计基本原理	17
3.1 运动学分析	17
3.2 排量、流量和流量脉动	19
3.2.1 排量和流量	19
3.2.2 流量脉动	19
3.3 连杆、柱塞组件设计要点	22
3.3.1 滑靴的静压支承设计原理	23
3.3.2 连杆、柱塞组件受力分析	26
3.3.3 滑靴静压平衡设计	27
3.3.4 连杆、柱塞组件在吸油区运行问题	30
3.3.5 连杆强度分析	33
3.4 配流轴设计要点	36
3.4.1 配流轴结构	37
3.4.2 配流轴受力分析	37
3.4.3 配流轴静压平衡	42
3.4.4 配流轴预压缩升压和预膨胀卸压分析	46
3.4.5 配流轴进油和排油流道设计和受力 变形问题	53
3.5 传动系统零部件设计要点	57
3.5.1 传动轴的设计计算	57
3.5.2 十字滑块设计问题	60
3.5.3 多联系通轴传动的中心轴设计	61
3.6 变量执行机构的设计	62
3.6.1 定子设计要点	63
3.6.2 大、小控制柱塞系统结构和设计问题	67
3.7 壳体件设计有关问题	71
3.7.1 转子设计要点	71
3.7.2 泵体设计要点	73
3.7.3 泵体接口和泵盖	76

第 4 章 总体参数及系列设计	82
4.1 容积效率 η_v	82
4.1.1 容积效率理论分析前提条件	83
4.1.2 配流轴与转子环形缝隙理论泄漏量分析	83
4.1.3 连杆、柱塞组件和大、小控制柱塞理论 外泄漏量分析	86
4.1.4 理论泄漏量和容积效率	88
4.2 机械效率 η_m	89
4.3 总效率 η	93
4.4 效率问题的一般规律	96
4.4.1 容积效率 η_v 的规律性	96
4.4.2 机械效率的规律	96
4.4.3 系列设计泵的总效率	97
4.5 输出流量,输入扭矩和输入功率	98
4.6 额定压力、公称转速、吸入压力	99
4.7 系列设计的几何相似	100
4.8 密封带长度和间隙	102
4.8.1 密封带长度	102
4.8.2 密封带间隙	103
4.9 径向柱塞泵的设计、计算步骤	103
第 5 章 压力变量控制和负载敏感变量控制	105
5.1 手动恒压变量控制	105
5.1.1 手动恒压变量控制的结构原理	105
5.1.2 手动恒压控制阀设计原理	107
5.1.3 恒压变量控制动态特性	110
5.2 电液比例恒压控制	115
5.2.1 关于电液比例控制	115

5.2.2	径向柱塞泵的电液比例恒压控制	
	结构原理	117
5.2.3	电液比例恒压控制工作性能分析	120
5.3	负载敏感控制	132
5.3.1	手动负载敏感控制工作原理	133
5.3.2	手动负载敏感控制特性	136
5.3.3	电液比例负载敏感控制	142
5.3.4	负载敏感变量控制性能仿真分析	145
5.3.5	负载敏感控制的节能效果	147

第 6 章 电液比例排量控制和恒功率变量控制..... 151

6.1	排量控制	151
6.1.1	电液比例排量控制 I 型	151
6.1.2	电液比例排量控制 II 型	164
6.1.3	手动伺服排量控制	166
6.1.4	机械行程式排量控制	169
6.2	恒功率控制	171
6.2.1	恒功率控制概述	171
6.2.2	位移—力矩反馈式恒功率控制	173
6.3	双向变量控制	180
6.3.1	锚控制	180
6.3.2	手动伺服双向排量控制	181
6.4	径向柱塞变量泵控制技术的最新进展	182
6.5	变量控制发展趋势	185

第 7 章 主要零件制造工艺技术..... 187

7.1	铸造工艺	187
7.2	铸造件的机械加工	189
7.2.1	泵体机械加工	190
7.2.2	转子的机械加工	191
7.2.3	定子的机械加工	193

7.3	连杆、柱塞组件结构和加工特点	194
7.3.1	连杆的机械加工	194
7.3.2	柱塞机械加工	196
7.4	配流轴的机械加工	197
7.5	控制阀的机械加工	199
7.5.1	阀芯的加工	200
7.5.2	阀体的加工	203
7.6	伺服阀的加工	205
7.6.1	阀孔的超精加工	205
7.6.2	伺服阀阀芯的加工	206
7.6.3	伺服阀的其他加工工艺技术	211
参考文献		212
后记		216

第 1 章 绪 论

1.1 液压技术现状和发展

液压传动与控制技术的显著特点是体积小、重量轻、功率密度大、惯性小,产生的力或力矩却相当大,而且容易实现无级调速。在现代工业装备、工程车辆等应用场合,液压技术具有充分的灵活性和适应性,它容易把一个动力源的动力分散去驱动多个负载以及集中多个动力源驱动单个或多个大负载,电气对功率分配具有同样的灵活性,但在紧凑性和其他一些重要特性上不如液压,因此需要大功率、快速、精确反应的场合普遍采用了液压及其控制技术。

近年来,由于把电子、计算机、信息等方面的先进技术融合到液压传动与控制技术当中,特别由于精细制造和超精细制造的技术进步,使液压元件及其控制方式的水平有了极大的提高,促进了它们向自动化、高效率、高压大功率、高可靠性以及小型化、轻量化方向发展。

液压技术的进步与创新使其应用领域越来越宽广,并且得到广泛重视,如冶炼、锻压、轧钢、建筑、机械、工程车辆、汽车、动力机械、矿山机械、石化设备、机床、海洋作业、农业机械等行业的机械装备上大量采用液压技术和设备。在高科技和国防领域,如机器人基本动作的实现与控制,飞机、舰艇、战斗车辆的操纵控制,火箭、导弹、鱼雷的动力供给和操纵控制系统以及稳定系统的动作实现和精确定位等方面液压技术也发挥着重要作用。

液压传动作为传统技术,目前正受到电气技术的竞争,如数控机床、中、小型注塑机已采用电控伺服系统取代或部分取代液压传动。随着电气技术的发展,特别是高功率密度的稀土永磁材料和大功率晶体管的发展,液压传动的显著特点和优势也将受到电气技术的挑战。进入 21 世纪,液压技术不可能有惊人的突破,消除液压传动的固有缺点,必将是

液压技术发展的重要目标。竞争是发展的催化剂,除了不断改进、提高现有液压技术外,最重要的是移植现有先进技术,创新液压技术,以满足未来发展的需要。液压技术的发展趋势集中在以下几个方面。

1.1.1 节能降耗、提高效率

随着世界范围内传统能源枯竭,价格日益上升,高效节能的液压产品及其技术必将是未来发展的趋势。为此,应该在元件和系统设计上研究降低内部压力损失,减小或消除能量损失;选用新型密封、减摩材料,应用静压技术降低摩擦损失,改善液压系统性能,采用负荷传感和电子极限调节,电子负荷控制,以及二次调节系统。在现代制造水平基础上研究新的工艺方法提高零件的尺寸精度和几何精度等。

1.1.2 绿色环保液压技术

随着人类社会的文明进步,创造健康、舒适的工作环境,势必要求不断提高环境保护标准,企业追求“静音液压”、“洁净液压”、“易用液压”也将是势在必行。

对于未来的液压元件和系统要求噪声标准低于 70dB(A),或者更低,将是研究、设计、生产新型液压产品所要遵循的目标。这就要求液压科技工作者注重研究解决降低振动噪声、脉动噪声、气穴噪声、节流噪声、冲击噪声等,以适应新的环境保护要求。

液压传动和电传动比较起来,泄漏是液压系统的致命弱点,内泄降低效率,外泄污染环境,是绿色环保所不能允许的。因此未来开发无泄漏的元件和系统,发展“内装”和集成的元件和系统,实现无管连接,开发新型密封和无泄漏连接技术。未来的液压传动与控制介质、材料工艺和产品符合生态与环保要求,符合可再生、可持续发展要求是重要的发展趋势。

1.1.3 机电一体化

当今动力传动与控制技术(Power Transmission Control,PTC)逐步向运动、驱动和自动(Motion Drive and Automation,MDA)方向转变,预示着液压传动与控制技术与电子技术、微机和网络技术更加紧

密、完美的结合。为适应机电一体化的发展趋势,各种技术将互相融合渗透,共同发展,泵、阀、缸、电动机与传感器、控制器、网络通信等将集成在一个元件中。数字技术的进步将推动液压数字元件的技术创新。新的结构原理,新材料,新电子放大驱动装置,新控制原理的发展,机电一体化智能化、集成化等的创新将把液压传动技术的体积小、功率大、响应快等无所匹敌的优势推向新的高峰。

1.1.4 高可靠性与主动维护

为减轻系统重量,减小结构尺寸,液压传动与控制系统的工作压力越来越高,压力等级为 31.5MPa 已经很普通,未来的压力等级将向 40MPa~80MPa 甚至更高发展。液压旋转机构的转速已不满足 1500r/min~1800r/min,进而提高到 2000r/min~5000r/min,而连续运转的工作寿命却要求达到或超过 10000h,应力交变次数达到或超过 10×10^9 次,这都将对材料性能和工艺处理提出更新、更高的要求。

应用场合多变而复杂,在高压、高温、重载、高频率冲击等工况下的可靠性、安全性则愈加重要,必将要求液压系统从简单的故障拆修,过渡到故障检测、诊断,实现主动维护,开发液压系统自补偿系统包括自调整、自校正,在故障发生前进行补偿,这将是液压技术努力发展的重要方向。

1.1.5 新材料、新工艺

新型材料,如陶瓷、聚合物、润滑耐磨梯度材料,以及新的表面处理方法,将改善摩擦副的工作性能,提高滑动表面的 $[pv]$ 值,使泵、阀、缸、电动机向高参数发展。

铸造工艺的发展,将提高液压元件内部流道的尺寸精度、粗糙度,从而降低内部压力损失,降低噪声。

21 世纪纳米工艺的进展,将可能使液压传动与控制的元件加工精度及表面质量接近或达到纳米级,从而使压力、速度、效率、寿命大幅提高。纳米材料将提供新的高强度、耐磨、减摩、耐蚀、自润滑、自修复、自补偿的新型结构材料、催生新的设计思路。纳米材料的研究也将产生具有自洁净、自降解的新的液压传动介质,更适应传动、润滑和绿色环保的要求。

1.2 现代液压泵

1.2.1 现代液压泵概述

长期以来在液压传动与控制领域发明和出现了大量的液压泵设计方案,但大多数方案未经受住生产实践检验,不符合现代的经济技术要求而被市场淘汰,或者还有极少数设计方案,只能在某些特殊情况下应用。

在严酷的市场环境下存在下来的设计方案,通常包括以下的共同因素:

(1)采用静压平衡和弹性流体动压理论,保持承压面积最小,以减小接触应力和轴承负载。

(2)通过密封面的内泄最少。

(3)冷却液流经滑动表面减小摩擦副发热,防止局部过热。

(4)在摩擦热变形和受力挠曲存在的情况下,保持必要的运动间隙和轴承对中。

(5)设计结构简单、工艺性好、加工经济。

经受历史的考验,成功应用到各工业部门和行走机械的现代液压泵设计结构形式主要有齿轮泵、叶片泵、螺杆泵和柱塞泵。随着技术的不断进步,这些现存的设计结构方案,还在应用现代技术改进、提高、发展。

液压泵都是容积式泵,其共同的工作原理是有一个变化着的密封容腔,容腔增大时从油箱吸油,容腔减小时排油,而其排油压力的大小是由外负载决定的。

1.2.2 齿轮泵

齿轮泵分为外啮合齿轮泵和内啮合齿轮泵。外啮合齿轮泵一般由泵体内安装一对外啮合的直齿轮构成。由于它结构简单、紧凑,广泛用于工业和车辆液压系统。外啮合齿轮泵有单泵、双联泵和多联的通轴泵等不同形式。

工作原理:在齿轮旋转过程中,轮齿脱开时轮齿间的密闭容腔增大,通过吸油口从油箱吸油充满增大的容腔;齿轮啮合时,密闭容腔减

小,把液压油从密闭容腔排出,通过出油口进入系统。

由于排油区的工作压力和齿轮啮合力的作用形成偏载,在额定工况下,轴承负荷相当大,从动轴的轴承负载大于主动轴轴承,因此,从动轴的轴承结构尺寸和精度设计是关键技术问题。

早期的外啮合齿轮泵,齿轮的轴向端面方向或径向圆周方向,间隙是固定的,由于泄漏原因工作压力一般低于 10MPa,采用轴向液压浮动技术(压力补偿侧板)后,工作压力可提高到 21MPa,实现径向液压浮动补偿是近代比较新的技术,轴向和径向同时采用液压浮动补偿,可使外啮合齿轮泵的工作压力高达 25MPa 甚至更高。

内啮合齿轮泵也具有结构简单、紧凑的优点。它由内齿轮和外齿轮以及作为齿顶密封的月牙块构成。工作原理是液压油在齿间从吸油区被扫向排油区,轮齿啮合后封闭倒流通道,啮合过程齿间容腔减小而排油。

内啮合齿轮泵与外啮合齿轮泵相比,内啮合的长度较长,泵的吸油区大,流速低吸入性能好,流量脉动仅为 1%~3%,因而工作平稳,固有噪声低。

内啮合齿轮泵非常适合中等温度和轻载或间歇负载的工业场合,它的功率消耗也是比较低的。

早期的内啮合齿轮泵轴向间隙是固定的,泵工作时随温度上升,泄漏相应增大,大多数应用在工作压力小于 14MPa 的工业场合。近代的内啮合齿轮泵采用轴向浮动侧板和径向浮动块结构,工作压力可提高到 21MPa 以上。

1.2.3 叶片泵

叶片泵具有结构紧凑、流动均匀脉动小、工作噪声小的特点,被广泛用于工业部门和车辆的液压系统,同时也在航空、航海和某些武器系统得到应用。

叶片泵有单作用和双作用两种结构形式,单作用叶片泵转子和定子中心为偏心布置。单作用是指转子每转动一周完成一次吸、排油过程,在工作过程中,叶片、定子、转子和配流盘间围成的工作容积发生变化,进行吸、排油,由于单作用叶片泵可调节定子径向移动,从而调节偏心量,偏心量的改变可以改变泵的排量,因此单作用叶片泵常被设计成变量泵。

双作用叶片泵定子内表面由两段大圆弧和两段小圆弧以及四段过渡曲线构成,转子每转一周完成两次吸、排油过程。双作用叶片泵也称平衡式叶片泵,双作用不仅使泵的结构更加紧凑,而且带来的突出优点是两个排油区压力作用大小相等,方向相反,径向力相互抵消,使轴承几乎没有负荷,加之在解决中压、高压叶片泵叶片顶部和定子内表面滑动磨损问题上,采用双叶片结构、母子叶片结构、底部小柱塞结构等降低接触应力,从而减轻磨损的技术措施,使叶片泵在应用中普遍寿命较长,工业上应用寿命可达 24000h 以上,在工程车辆工作环境较差的场合也能达到 5000h~10000h。

叶片泵工作噪声低的优点很突出,中等排量的叶片泵,即使在 1800r/min、14MPa 下工作,噪声仅为 70dB(A),采用浮动侧板的中、高压叶片泵在工业上应用工作压力为 14MPa~21MPa,而在工程车辆应用的叶片泵工作压力可达 28MPa。

1.2.4 螺杆泵

螺杆泵按螺杆的根数分为双螺杆泵和三螺杆泵,主动螺杆一般为右旋,驱动主动螺杆旋转时,将旋转运动传给外侧的一个或两个左旋的从动螺杆,此时外侧螺杆螺线、壳体、主动螺杆螺线形成封闭容腔,连续不断的容腔增大吸入油液并移送至排油侧。

螺杆泵由于油液在螺杆的密封空间连续输送,不产生困油现象,流量均匀,无压力脉动,同时噪声和振动也非常小,因而螺杆泵的使用寿命长。螺杆泵为轴对称旋转体,可允许高速,一般工作转速为 1500r/min~3000r/min,小型泵可达 6000r/min~10000r/min。

螺杆泵只能作为定量泵,工作压力为 2.5MPa~20MPa,流量为 6L/min~10000L/min,容积效率在 80%左右。

螺杆泵由于螺旋面加工特殊,精度保证困难,应用范围较窄,在精密机床、舰船上有所应用。螺杆泵可以输送黏度较大或有悬浮颗粒的液体,因此在石油、化工、食品等部门也有应用。

1.2.5 柱塞泵

柱塞泵有轴向柱塞泵和径向柱塞泵两种结构形式:轴向柱塞泵的