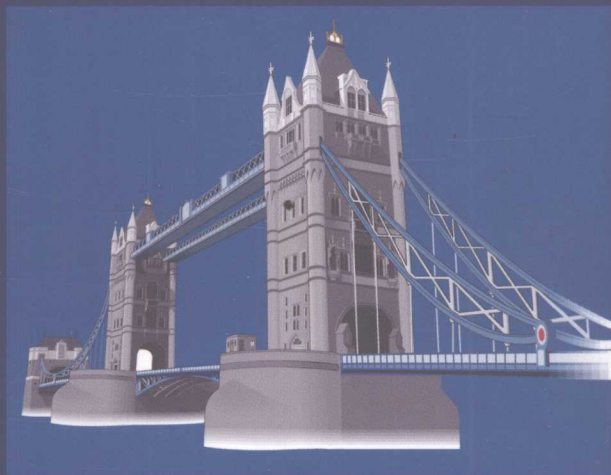


机电实用技术手册系列

新编

实用液压技术手册

张岚 弓海霞 刘宇辉 编



机电实用技术手册系列

新编

实用液压技术 手册

张岚 弓海霞 刘宇辉 编

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

新编实用液压技术手册 / 张岚, 弓海霞, 刘宇辉编.

北京: 人民邮电出版社, 2008.5

(机电实用技术手册系列)

ISBN 978-7-115-17308-9

I. 新… II. ①张…②弓…③刘… III. 液压技术—技术手册 IV. TH137-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 190414 号

内 容 提 要

本书是机电实用技术手册系列之一。全书共 12 章, 主要介绍了液压传动基础知识, 液压能源装置、执行装置、控制调节装置及辅助装置的基本工作原理和选用方法, 标准元件的主要性能指标、型号说明及结构参数等内容。此外, 还简要介绍了液压系统集成、安装调试及故障维修等内容。

本书既可供液压工程设计人员和工艺人员使用, 也可作为大学本科及高等职业院校相关专业师生的参考资料。

机电实用技术手册系列

新编实用液压技术手册

- ◆ 编 张 岚 弓海霞 刘宇辉
责任编辑 李育民
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 34.5
字数: 842 千字
印数: 1—4 000 册
- 2008 年 5 月第 1 版
2008 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17308-9/TN

定价: 58.00 元

读者服务热线: (010)67134361 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前言

PREFACE

随着我国机械制造业的不断发展,新技术的应用越来越广泛,国内和国际企业间的技术合作日益加强,社会生产更加注重规范和标准的采用,产品也更加注重互换性。为此,各生产企业需要使用统一标准来指导生产过程。

为了方便广大工程设计人员及生产人员根据相关标准指导设计和生产,我们编写了机电实用技术手册系列图书。该系列图书共12册,涵盖了从传统的机械加工技术到现代的新型加工技术等各个方面的内容,为各行业的工程设计人员及生产加工人员提供了翔实的设计资料。

《新编实用液压技术手册》是机电实用技术手册系列之一。

由于液压传动与其他传动方式相比较,具有重量轻、结构紧凑、惯性小、可在大范围内实现无级调速、易于实现自动化等优点,被广泛应用于工程机械、农业机械、汽车工业、军事机械、船舶机械、智能机械、航空航天等领域,尤其是在当今我国大力发展的航空航天、海洋开发等技术中,液压传动更有其不可替代的优势。

本书主要介绍了液压技术的基本内容、液压系统设计、液压元件标准及选型、液压系统安装调试及故障维修等实用知识。其特点是以液压元件基本工作原理、标准型号及液压系统集成为主线,与实践应用紧密结合,充分体现了液压系统设计与应用的基本方法和要点。在突出实用性的同时,兼顾了液压技术发展的前瞻性和导向性。本书在编写过程中,力求纳入较新和较完整的液压技术资料,以求对读者有切实的启发和帮助。

本书第一、二章由牛国玲编写,第三章由张岚编写,第四章由弓海霞编写,第五、十一章由刘宇辉编写,第六章由胡晓平、李彩花编写,第七章由颜兵兵、姜永成编写,第八、九章由王跃辉编写,第十章由臧克江编写,第十二章由桂兴春编写。在编写过程中,得到了沈精虎、许曰滨、黄业清、姜勇、高长铎、田博文、杜俭业、向先波、毕丽蕴、郭万军、詹翔、冯辉、王海英、李仲、赵治国、赵晶、朱凯、臧乐善、郭英文、计晓明、尹志超、滕玲、张艳花、董彩霞、郝庆文等同志的帮助,同时,还借鉴了许多同行优秀的手册及著作,在此向他们一并表示感谢。

由于水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏和不当之处,诚请读者批评指正。

编者

2008年1月

目 录

CONTENTS

第一章 概论	1
第一节 液压技术的发展	1
一、液压技术发展历史简介	1
二、国内外液压技术的发展概况	2
三、液压技术的发展趋势	5
第二节 液压传动系统基本原理及特点	6
一、液压传动系统基本原理、组成及分类	6
二、液压传动的优缺点	11
三、液压传动系统在机械工业中的应用	12
第三节 液压传动系统图的图形符号	13
第二章 液压传动工作介质与力学基础	26
第一节 液压传动工作介质	26
一、工作介质的分类	26
二、工作介质的主要特性	28
三、工作介质的要求	32
四、国内工作液的产品介绍	33
第二节 流体的主要性质	36
一、流体的连续性假设	36
二、流体的黏性	37
三、牛顿内摩擦定律	38
四、流体的可压缩性	39
第三节 流体静力学	40
一、压力的基本性质	40
二、流体对面壁的作用力	41
第四节 流体动力学	43
一、定常流动与非定常流动	43
二、层流与紊流	43
三、流体的连续性方程	45
四、流体的动量方程	46
五、流体的动能方程	46
第五节 管路系统的能量损失计算	47
一、圆管中的流速分布和流量	47

二、沿程压力损失	48
三、局部压力损失	51
四、管路系统的压力损失和压力效率	56
五、孔口出流和射流	56
第六节 缝隙流动	57
一、圆柱形节流口	57
二、平行板间的流动	58
三、圆柱环形间的流动	59
四、挤压流动	60
五、阻塞现象	62
六、间隙中的油温上升	62
七、动压支撑	63
第三章 液压泵	65
第一节 概述	65
一、液压泵的工作原理	65
二、液压泵的分类	65
三、液压泵的主要性能指标	67
四、液压泵的应用及主要技术指标	70
第二节 齿轮泵	72
一、外啮合齿轮泵	72
二、双联齿轮泵	88
三、内啮合齿轮泵	93
第三节 叶片泵	95
一、单作用叶片泵	95
二、双作用叶片泵	101
三、多联叶片泵	108
第四节 柱塞泵	112
一、径向柱塞泵	112
二、轴向柱塞泵	116
第五节 液压泵的选用原则	131
第四章 液压元件	133
第一节 概述	133
第二节 齿轮马达	133
一、CME 型齿轮马达	133
二、CMG 型齿轮马达	136
三、CM-FE 型齿轮马达	138
四、CMZ 型齿轮马达	139
五、CMP 齿轮马达	141
六、GM5 型齿轮马达	143

七、CMK 型齿轮马达	144
八、CMW 型齿轮马达	146
第三节 摆线马达	147
一、EPM 系列摆线液压马达	149
二、EPMZ 系列摆线液压马达	151
三、BM*系列摆线液压马达	156
四、BY*系列摆线液压马达	161
五、BM-C、D、E、F 系列摆线液压马达	162
六、JS 和 JH 系列摆线液压马达	167
七、FM 系列摆线液压马达	170
第四节 叶片马达	171
一、YM 型中压叶片马达	171
二、YM 型中高压叶片马达	173
三、BMS、BMD 型叶片摆动马达	174
第五节 柱塞马达	175
一、轴向柱塞马达	177
二、径向柱塞马达	189
三、球塞式液压马达	211
第六节 液压马达的选用原则	229
第五章 液压缸	232
第一节 液压缸的分类	232
第二节 液压缸的主要参数	233
第三节 液压缸的设计和计算	234
一、液压缸缸筒的设计和计算	234
二、活塞杆的设计与计算	235
三、液压缸工作行程的确定	239
四、活塞的设计	240
五、导向套的设计与计算	241
六、端盖和缸底的设计与计算	243
七、缸体长度的确定	244
八、缓冲装置的设计与计算	244
九、排气装置	246
十、密封件的选用	248
十一、防尘圈	248
十二、液压缸的安装连接结构	248
第四节 液压缸主要零件的材料和技术要求	253
一、缸体	253
二、活塞	254
三、活塞杆	255

四、缸盖	256
五、导向套材料	257
第五节 液压缸标准系列与产品	257
一、冶金设备用标准液压缸系列	257
二、工程液压缸系列	266
三、车辆用液压缸	267
四、齿轮齿条液压缸	271
第六章 液压控制阀	276
第一节 概述	276
一、液压阀的分类	276
二、液压阀上的共性问题	276
第二节 方向控制阀	284
一、方向控制阀的定义及分类	284
二、换向阀的滑阀机能	285
三、方向控制阀的工作原理和应用	288
四、方向控制阀的选用	289
五、方向控制阀的典型产品	291
第三节 压力控制阀	305
一、压力控制阀的定义及分类	305
二、压力控制阀的工作原理和应用	305
三、压力控制阀的典型产品	306
第四节 流量控制阀	319
一、流量控制阀的定义及分类	319
二、流量控制阀的结构原理和应用	319
三、流量控制阀的典型产品	320
第五节 叠加阀	330
一、叠加阀的定义及分类	330
二、叠加阀的工作原理和性能特点	331
三、叠加阀的应用	333
四、典型产品	334
第六节 插装阀	340
一、插装阀的定义及分类	340
二、插装阀的工作原理和性能特点	341
三、插装阀的应用	343
四、典型产品	346
第七节 比例阀	350
一、比例阀的定义及分类	350
二、比例阀的结构及工作原理	351
三、比例阀的应用	354

四、典型产品	356
第八节 数字阀	365
一、数字阀的定义及分类	365
二、数字阀的工作原理及性能特点	366
三、数字阀的应用	368
四、典型产品	371
第九节 液压控制阀的选用原则	378
第七章 液压辅助元件	380
第一节 蓄能器	380
一、蓄能器的分类、职能符号、特点及用途	380
二、蓄能器的性能及在液压系统中的应用	381
三、蓄能器的计算	383
四、蓄能器的产品介绍	383
五、蓄能器使用的注意事项	387
第二节 热交换器	388
一、冷却器	388
二、加热器	396
第三节 过滤器	398
一、过滤器的分类方式及主要性能参数	398
二、过滤器的选用	400
三、过滤器在系统中的安装与应用	402
四、过滤器的产品介绍	403
第四节 油箱及其附件	409
一、油箱的用途与分类	409
二、油箱的构造与设计要点	411
三、油箱的容量及计算	412
四、油箱及其附件的产品	413
第五节 管接头	417
一、管接头的类型及特点	417
二、管接头的产品介绍	419
第八章 液压基本回路	433
第一节 概述	433
第二节 液压传动系统的分类	433
第三节 液压传动系统的基本回路	436
一、压力控制回路	436
二、速度控制回路	445
三、方向控制回路	449
四、其他控制回路	451
第九章 液压传动系统设计计算	459

第一节 概述	459
第二节 明确设计要求, 进行工况分析	459
一、明确设计要求	459
二、进行液压系统的工况分析	459
第三节 确定液压系统的主要参数	461
一、初选系统的工作压力	461
二、计算液压缸的工作面积和流量	461
三、计算液压马达的排量和流量	462
四、绘制执行元件工况图	462
第四节 拟定液压系统原理图	463
一、选择液压系统的类型	463
二、选择执行元件	463
三、选择液压泵的类型	464
四、选择调速方式	464
五、选择调压方式	467
六、选择换向回路	467
七、拟定工艺循环顺序动作图表	468
第五节 计算执行元件主要参数	468
第六节 选择液压泵	468
一、计算液压泵的最大工作压力	468
二、计算液压泵的最大流量	469
三、选择液压泵规格	470
第七节 选择液压控制阀	470
第八节 计算液压泵的驱动功率, 选择电动机	471
第九节 选择、计算液压辅助件	472
第十节 验算液压系统性能	472
一、验算系统压力损失	472
二、验算系统发热温升	473
三、验算液压冲击	474
第十一节 液压装置的结构设计	474
一、液压装置的结构形式	474
二、液压泵站的类型及其组件的选择	475
第十二节 绘制工作图、编写技术文件	476
一、绘制工作图	476
二、编写技术文件	477
第十三节 液压系统设计计算举例	477
第十四节 典型液压系统分析	482
第十章 液压系统集成化	494
第一节 液压元件的连接方式	494

一、液压装置的总体布置	494
二、液压元件的连接	494
第二节 液压管路及其连接	496
一、管路的种类及材料	496
二、油管尺寸的确定	497
三、液压管路的连接方法	502
第三节 块式集成	505
一、块式集成的特点	505
二、块式集成的设计步骤	505
三、集成块的设计要点	507
第四节 叠加阀式集成	509
一、叠加阀式集成的特点	509
二、叠加阀集成底板块	510
三、叠加阀系列型谱	511
四、叠加阀式液压系统设计注意事项	512
第五节 插装式集成	514
第十一章 液压系统设计中需要注意的问题	515
第一节 节能技术	515
一、概述	515
二、液压系统的能耗分析和节能途径	515
三、液压系统的节能设计方法	517
第二节 液压冲击震动和噪声	520
一、液压冲击的控制	520
二、震动与噪声控制	521
第三节 安全保护与防干扰	522
一、安全保护	522
二、防干扰	524
第十二章 液压系统安装调试、故障诊断与维护	526
第一节 液压系统的安装	526
一、液压元件和管件的质量检查	526
二、液压元件和管道安装	527
第二节 液压系统的调试	529
一、压力试验	529
二、调试与试运转	530
第三节 液压系统的使用	531
第四节 液压系统的故障诊断及维护	531
一、调试中出现的故障	531
二、运行中出现的故障	537
参考文献	539

第一章 概 论

一部完整的机器是由原动机部分、传动部分、控制部分和工作机构等部分组成。传动部分只是一个中间环节，其作用是把原动机（电动机、内燃机等）的输出传送给工作机构。传动有多种类型，如机械传动（齿轮、轴、曲轴等）、电力传动（感应电动机、直流电动机、转矩电动机等）、液体传动、气体传动以及它们的组合即复合传动。

以液体作为工作介质来进行能量传递的传动方式称为液体传动。按其工作原理的不同，液体传动可分为液压传动和液力传动。液压传动主要利用液体的压力能来传递能量；而液力传动主要是利用液体的动能来传递能量。

第一节 液压技术的发展

液压传动是基于以密闭容器中流体的静压力传递力和功率这一原理来实现的。

一、液压技术发展历史简介

液压传动相对于机械传动来说是一门新技术，但从 1650 年巴斯卡提出静压传递原理，1795 年英国的约瑟夫·布拉默利用这一原理在英国制成世界上第一台水压机，使液压技术开始进入工程领域算起，已有二三百年的历史了。到了 20 世纪 30 年代才较普遍地用于起重机械、机床及工程机械，近代液压传动在工业上的真正推广使用只是 20 世纪中叶以后的事，至于它和微电子技术密切结合，得以在尽可能小的空间内传递出尽可能大的功率并加以精确控制，更是近 20 年内才出现的新事物。

电机驱动的发展，曾使液压技术停滞不前。由于要使用原油炼制品作为传动介质，近代液压传动和汽车及飞机一样，是由 19 世纪崛起并蓬勃发展的石油工业推动起来的。最早实践成功的液压传动装置是舰艇上的炮塔转位器，1905 年詹尼（Jannoy）设计了一只带轴向柱塞的机械，它是以油作工作介质的液压传动装置，并于 1906 年用于弗吉尼亚号战舰的炮塔俯仰装置上。到了 19 世纪末，德国及美国分别把液压技术应用于龙门刨床、六角车床及磨床等，才使液压技术得到了发展。由于当时缺乏成熟的液压元件，一些通用机床到 20 世纪 30 年代才用上了液压传动，而且还因为各自为政而无法进行经验交流。

以油作工作介质的径向柱塞泵先后由海勒·肖（Hele Shaw）及汉斯·托马（Hans Thoma）于 1910 年及 1922 年研制成功。汉斯·托马于 1930 年还研制出斜轴式轴向柱塞泵。哈里·威克斯（Harry Vickers）于 1936 年提出了包括先导式溢流阀在内的二通阀。这些重大进展，又推动了液压技术的发展。

在第二次世界大战期间，由于军事工业迫切需要响应迅速、精度高、功率大的液压传动系统和伺服机构，以装备各种飞机、坦克、大炮和军舰，提高它们的使用性能，因此各种高压元件获得了进一步发展，并出现了伺服阀。这里值得一提的是美国马萨诸塞州理工学院的布莱克本（Blackburn）、李（Lee）等人对于高压场合的液压问题以及伺服控制问题进行了

深入的研究。大约于 1958 年他们研制出了电液伺服阀。

第二次世界大战结束后, 液压技术迅速转向民用工业, 同时随着各种标准的不断制订和完善, 对各类元件进行了标准化、规格化、系列化并在机械制造、工程机械、农业机械及汽车制造等行业中推广开来。20 世纪 60 年代以后, 随着原子能技术、空间技术及计算机技术(微电子技术)的发展再次将液压技术推向前进, 使它发展成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术, 并在国民经济的各方面都得到了应用。因此, 液压传动真正的发展也只是近 50 年的事。20 世纪末, 液压传动在某些领域内甚至已占有压倒性的优势, 例如, 国外当今生产的 95% 的工程机械、90% 的数控加工中心、90% 以上的自动线都采用了液压传动。因此采用液压传动的程度现在已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

当前液压技术在高速、高压、大功率、高效率、低噪声、经久耐用及高度集成化等各项要求方面都取得了重大的进展, 在完善比例控制、伺服控制、数字控制等技术上也有了许多新成就。同时, 新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机直接控制(CDC)、机电一体化技术及可靠性技术等方面也是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。

解放前我国除了在机床、压机中使用少量的液压元件以外, 几乎无液压工业可言。我国的液压工业开始于 20 世纪 50 年代, 其产品最初只用于机床和锻压设备后来才用到拖拉机和工程机械上。自 1964 年从国外引进一些液压元件生产技术, 同时进行自行设计液压产品以来, 我国的液压件生产已从低压到高压形成系列, 并在各种机械设备上得到了广泛的使用。20 世纪 80 年代起更加速了对西方先进液压产品和技术有计划引进、消化、吸收和国产化工作, 以确保我国的液压技术能在产品质量、经济效益、人才培养、研究开发等各个方面全方位地赶上世界水平。

由于伺服阀的造价高、抗污染能力弱, 后来又发展了比例阀和比例泵。我国路甬祥博士在比例技术上的 5 项发明, 是 20 世纪 80 年代液压技术的新突破。

二、国内外液压技术的发展概况

20 世纪是液压技术快速发展的一个世纪。从 20 世纪初的矿物油作为动力传递介质概念的引入, 到柱塞泵、三大类阀的发明, 到四五十年代电液伺服阀的发明和电液伺服控制理论的确立, 再到 70 年代插装阀及比例阀的发明, 这些都是液压技术领域极具革命性的技术进步。

经过近一个世纪的发展, 液压技术在机械结构及流体原理方面已鲜有创新, 但液压技术却从与之相关的技术中得益良多。正如从 1998 年德国国际流体技术年会(IFK)上引用的数据表明: 近 20 年来, 液压技术的发展来源于自身的科研成果仅占约 20%, 来源于其他领域的发明占 50%, 移植其他技术成果占 30%。

1. 国外液压技术的发展概况

近年来, 由于应用了电子技术、计算机控制技术、自动控制技术、摩擦磨损技术及新工艺新材料等技术, 液压传动取得了新的发展, 使液压元件及液压系统在水平上有了很大的提高。目前, 国外液压技术的研究主要集中在以下几个方面。

(1) 元件的小型化、模块化

元件的小型化, 如电磁阀的驱动功率逐渐减小, 从而适应电子器件的直接控制, 同

时也节省了能耗。元件的功能日益复合,如螺纹插装阀的大量运用,使系统的功能的拓展更灵活。

(2) 与微电子技术、计算机控制技术相结合,实现集成化、智能化和自动化

叠加阀、集成块、插装阀以及把各种控制阀和辅泵集成于主泵及马达上的组合元件的出现,使各种流量的系统都能达到高度的集成化。

比例阀的发展主要体现在频宽的增大及控制精度的提高上,以期其性能接近伺服阀。同时,比例阀又沿着标准化、模块化及廉价的方向发展,以促进其应用。前者如 Bosch 的带位置反馈的比例伺服阀,其性能已很接近电液伺服阀的性能。后者如螺纹插装式比例阀,在某些工程机械中得到了应用。

电液伺服阀是最早将液压技术引入自动控制领域的功臣。但电液伺服阀的结构自发明以来,就少有改变。除了在传统的需要特别高频响的场合外,其传统地位正日益受到比例技术的挑战。MOOG 公司也开始生产与比例阀类似的采用永磁式线性力马达的直接驱动式伺服阀(DDV)。

意大利 Atos 公司最新研究的 Zos 数字比例阀可装备数字电子装置、单独放大器或集成放大器,既能开环控制又能闭环控制。在闭环控制中,数字电子装置可实现电子控制功能,具有高控制精度和高频响应。这种阀可以用在起重机械的控制和其他如行走机械液压臂场合。

此外,控制理论是该领域最为活跃的一个分支。液压控制系统正从不断发展的自动控制理论中得益,并不断丰富自控理论的实践。目前,自适应控制、鲁棒控制、模糊控制及神经网络控制等均得到了不同程度的运用。

(3) 降低能耗、不断提高液压元件的效率

液压变换器是一项重要的发明,国外已准备投入批量生产,它是从恒定的压力网实现低能耗能量转换的一种装置。该液压元件系统效率高,具有节能特点。此外,变量泵在国外的研发已日趋成熟。目前,恒压变量、流量压力复合控制,恒功率、比例伺服控制等技术已被广泛的集成到柱塞泵上。

德国力士乐公司最近推出了 3A4VSO-DSI 二次调节单元泵,采用内置伺服控制阀、斜盘角传感器和转速增量编码器,该泵的特点是不带节流系统,因此控制性能好、响应快、效率高、节能效果明显。

值得一提的是变频调速技术得到了足够的重视。采用定量泵变转速的方案是与恒转速变量泵相异的一种思路。目前的研究尚处于初步阶段。

(4) 提高液压元件的可靠性

德国 Linde 公司最近开发的 02 系列斜盘式轴向柱塞元件的滑动副采用了新的耐磨材料和表面处理技术,结构上与普通的滑履包柱塞不同,它采用柱塞包滑履结构,因此 02 系列的性能指标有很大的提高。例如,通常斜轴马达的启动效率要高于同排量的斜盘马达,但 HMF-02 斜盘马达的启动效率则要优于 BMF 斜轴马达。

新材料如陶瓷的使用是与非矿物油介质元件的要求及提高摩擦副的寿命联系在一起的。目前,已有德、英、芬兰等国的厂商在纯水液压件上使用了该项技术。新型磁性材料的运用是与电磁阀、比例阀的性能提高结合在一起的。由于磁通密度的提高,可以使阀的推力更大,其直接作用可使阀的控制流量更大,响应更快,工作更可靠。

(5) 在液压元件产品设计中树立绿色产品设计概念, 减小对环境的污染

面对环保意识越来越强的未来, 液压元件存在的缺点如发热、噪声、工作介质污染等问题将使其应用受到某种程度上的制约。环保的液压元件应当是少泄漏或无泄漏及低噪声, 这也是液压元件发展的一个永恒的主题。

自从液压技术诞生以来, 泄漏一直是困扰着液压行业科技人员的一大难题。伴随着泄漏的是矿物油的浪费及对环境的污染、系统传动效率的降低等等。在静密封领域, 橡胶类密封件拥有不可替代的地位, 当然, 根据应用场合如温度的不同, 又有丁腈橡胶及氟橡胶之分。在动密封领域, 聚四氟乙烯 (PTFE) 已拥有不可动摇的地位。近年来, 密封技术的进步也主要集中在 PTFE 的使用方面。随着对材料及密封机理的深入了解, 已可以在 PTFE 中有针对性的添加某些材料以达到提高性能的要求。国外许多大的密封件公司如宝色霞板、Tetrafluor 等均有针对不同应用场合的材料配方, 以强化某一方面的性能。

目前, 借助于密封技术, 在泄漏的控制方面已取得了长足的进步。如尽可能的提高动密封对偶件的表面光洁度, 也已成为提高密封效果的一种共识。这种共识也是基于对 PTFE 材料的密封机理的认识而达成的。密封领域的另一个创新领域主要集中在密封件形状的设计上。目前, 已可用有限元分析等方法对密封件的应力梯度作出分析, 从而可事先知晓其密封性能。此外, O 形密封圈及簧片作为弹性体, 在保证 PTFE 密封件低压时的密封性能方面已得到广泛认同。在直线密封及旋转密封技术方面, 使用成套的密封件来提高密封性能已成为一种标准的解决方案。

国外许多公司还致力于研究低噪声液压元件, 已经取得了显著的成效, 如 Voith Turbo 的 IPC 内啮合齿轮泵和 Denison 的 T7B 叶片泵等在中高压时均达到了 60dB (A) 以上的水平。传统的噪声等级较高的柱塞类元件, 其噪声也得到了较好的控制, 如 Rexroth 的 A10VSO71, 其噪声约为 71~73dB (A)。

(6) 非矿物油介质元件

非矿物油介质元件是应用于特殊场合的元件, 如要求耐燃、安全、卫生, 此时就需要考虑采用高水基或纯水元件。

能源危机催生了该类元件的诞生, 但目前的发展动力可能更大程度上与环保、工作介质的廉价及其安全性相关。目前, 丹麦的 Danfoss 公司提供了成套的 NESSIE 系列纯水液压元件, 已在食品等行业得到了运用。

2. 国内液压技术的发展概况

我国液压工业经过 50 多年的努力, 通过技术引进和科研攻关, 产品水平得到很大提高。研制和生产出了一批具有先进水平的产品, 如高压柱塞泵、齿轮泵、叶片泵, 通用阀门、叠加阀、电液伺服阀、电气伺服阀, 无油润滑气动元件、低功率电磁气动阀等, 已经形成了一个门类比较齐全、有相当生产实力和技术水平、初具经济规模的工业体系。此外, 通过科研攻关, 在液压元件和系统 CAD、污染控制、比例和伺服技术、故障诊断方面取得了一系列成果。重大成套装备的配套率已经达到 60% 以上。2004 年底, 我国液压工业主要企业约有 300 余家, 从事液压技术研究开发的科研院所 40 余所, 属于国家级科研院所的液压研究室 (所) 有 10 个。

目前, 我国的液压工业已基本可以满足工程机械、农机、机床、冶金、矿山、林业、煤炭、造船、轻工、纺织、兵器及航空航天等行业的一般需求, 能提供品种较为齐全的产品。因而也扩大了液压技术的应用, 许多工业部门先后制成了多种液压专用机械设备, 建立了液

压元件流水生产线,实现了机械和生产过程的自动和半自动控制,在改善劳动条件、提高工效等方面正在发挥着越来越大的作用。

据中国液压气动密封件工业协会对 185 个企业的统计资料表明,2004 年液压件产量达 942 万台(件),液压工业总值(当年价)103.14 亿元,产品品种 1 500 余种、16 000 余个规格。

应当指出,我国液压工业在产品品种、数量及技术水平上,与国际水平以及主机行业的需求还有不少差距,每年还需进口大量液压元件。因而,国家十分重视液压工业的发展,在产业政策中,把液压气动等基础元件产品列入机械工业技术改造和生产重点支持序列。目前国内液压技术存在的不足之处主要表现为如下。

- ① 国内在液压元件电子控制方面已取得很大的进步,但与国外相比还存在很大的差距,真正能跟紧国外 21 世纪水平的不多。要想短期内开发在国内外市场具有竞争力的液压元件难度很大,但可采用国外的先进元件,结合我国迅速发展的电子信息技术,开发高技术的电子控制液压系统,完全有可能使我国在高技术液压元件中占有一席之地。
- ② 在降低能耗、提高各种液压元件效率方面,国内已经做了大量的工作,主要是通过引进国外技术来对液压元件本身进行节能改进。
- ③ 在提高液压元件的可靠性方面,国内目前进展不大。由煤炭科学研究总院上海分院液压所编写的煤炭行业标准 MT/785—1999《采煤机液压元件试验规范》是国内对液压元件考核最严格的试验规范,但对液压泵和液压马达的考核时间只有 1 000h,而国外合作伙伴产品的寿命指标已达到 5 000~10 000h,差距是明显的。
- ④ 在液压元件产品设计中树立绿色设计概念、减少对环境污染方面,国内也做了大量的工作,主要精力集中在纯水液压元件研制和开发上。成果显著的是中国矿业大学研制的纯水介质单体液压支柱,已获取多项专利,目前正在推广之中;华中科技大学攻克了水液压元件摩擦副中腐蚀、磨损、泄漏等关键相关难题,在国内首先研制出工作压力 14MPa、流量 40L/min 的一系列水液压元件与系统,而且在水液压技术的工程应用方面取得了突破性进展。

三、液压技术的发展趋势

液压传动技术是以矿物油、水和乳化液等液体为工作介质的流体传动,它具有重量轻、效率高、能无级调速、易于实现过载保护等优点,在现代工业中液压传动技术几乎应用于所有机械设备的驱动、传动和控制中,从某种意义上可以说,几乎在各类现代工业产品中都可以看到液压传动技术的应用。现代液压技术正在继续向以下几方面发展。

1. 高效节能元件的研发

近年来,由于世界能源的紧缺,各国都把液压系统的节能问题作为液压技术发展的重要课题。70 年代后期,西德、美国等相继研制成负载敏感泵及低功耗的电磁铁等。西德汉堡军事学院研究成功回收重物下降能量的开式液压节能系统。最近美国威克斯(Vickers)又研制成用于功率匹配系统的 CMX 阀。目前已有的节能元件很难满足高频控制的要求,如能研制出高频响的变量泵(马达),将使泵控电液系统比阀控电液系统更有竞争力,显然前者更节能。

2. 机电一体化的设计

今后的设计可能会从机电一体化的角度考虑, 会集成多种传感元件甚至嵌入芯片, 从而适应系统对元件状态监测及控制的要求。现场总线技术也有可能成为元件的标准配置, 以实现信号采集及与计算机的通讯。

3. 计算机辅助设计、绘图及计算机控制

随着计算机技术的发展, 国际上出现了各种数字阀及数字泵。并出现了把单板机直接装在液压元件上的具有位置或力反馈的闭环控制液压系统。有些只用一条信号线就能控制 16 个执行机构。计算机辅助设计液压系统及辅助绘制液压系统图的技术, 在国内也已进入实用阶段。

4. 环保与纯水液压

采用纯水为介质的液压系统将会适应环保的要求而得到长足的发展。今后的发展主要集中在元件类别的增加及工作压力的提升。相信随着新材料的使用, 其成本也会大大降低。

5. 系统集成与控制技术

在该领域, 最为主要的发展可能体现在以下几个方面: 磁性材料的研制, 这将显著提高现有比例阀的特性; 进一步提高伺服阀的频宽; 功能的复合、集成与接口的标准化; 新型控制理论的应用。

6. 密封技术

今后的发展主要在以下几个方面。

(1) 新材料的应用

对 PTFE 的运用及新填充料的研发方面, 将构成业界持续的竞争。短期内, 尚无新的高分子材料对 PTFE 地位形成真正的冲击。

(2) 对密封机理的认识及密封件形状改进

密封件的研制是基于对密封机理的深刻认识之上的。因此, 密封机理作为基础性研究, 仍将对密封技术的发展提供动力。在 PTFE 密封件方面, 密封件的形状革新将成为各家公司的卖点。

(3) 密封件的加工方法

目前, PTFE 密封件主要还是利用机加工的方法生产, 其固然有灵活的一面, 但如何高效的加工, 依然是需要面对的问题。

第二节 液压传动系统基本原理及特点

一、液压传动系统基本原理、组成及分类

1. 液压传动系统的基本工作原理

图 1-1 所示是一种驱动工作台的液压传动系统, 它由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头组成。其工作原理如下: 液压泵由电动机驱动后, 从油箱中吸油, 油液经滤油器进入液压泵, 在如图 1-1 (a) 所示状态下, 油液在泵腔中从入口低压到泵出口高压, 通过开停阀、节流阀和换向阀进入