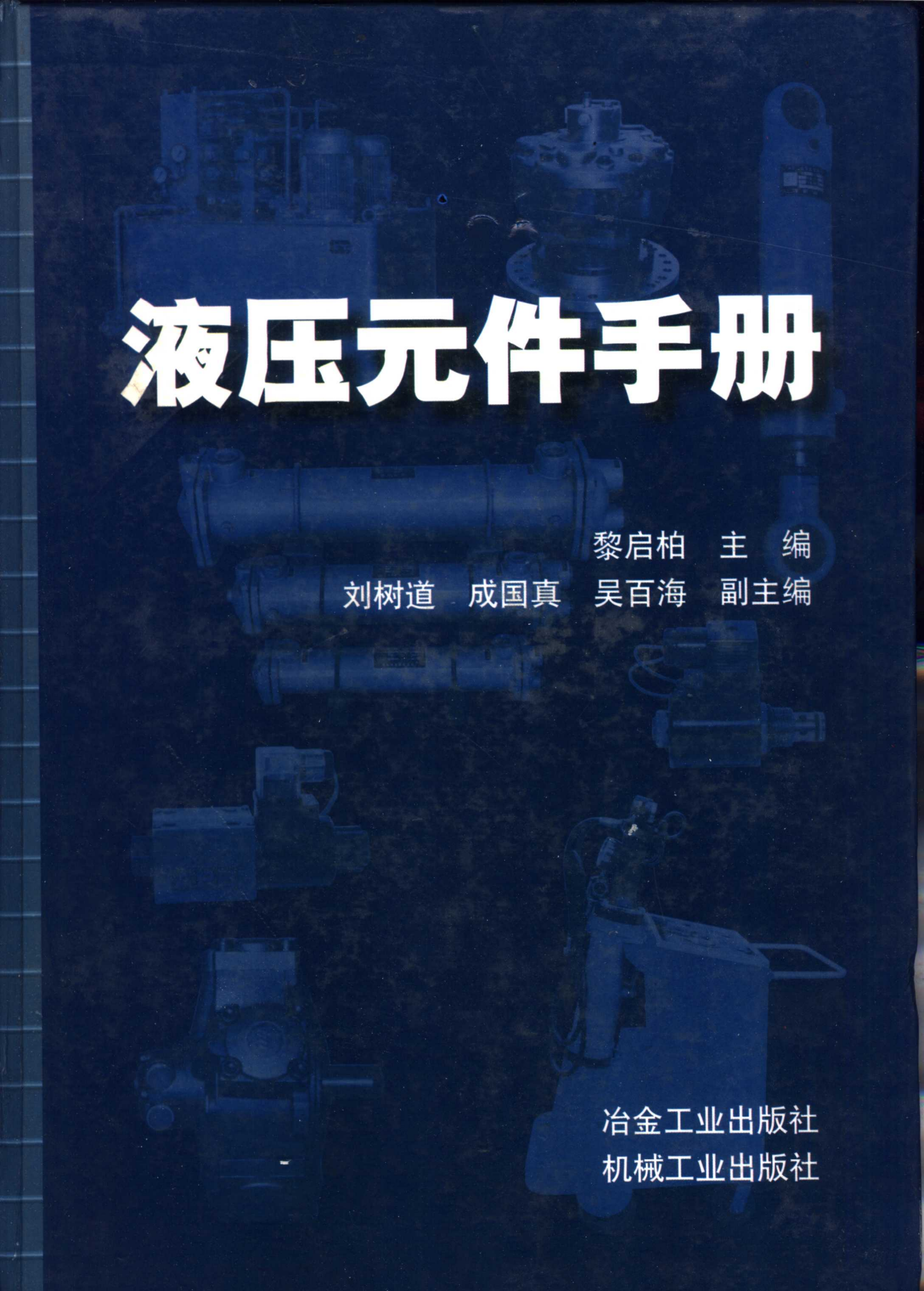




液压元件手册

黎启柏 主 编

刘树道 成国真

吴百海 副主编

冶金工业出版社
机械工业出版社

液 压 元 件 手 册

主 编：黎启柏

(以下以姓氏笔画为序)

副 主 编：刘树道 成国真 吴百海

参编人员：邓晓星 孙海平 吴小洪

吴冉泉 陈丽娜 陈卫华

查晓春 黄晓东 曾 岸

冶 金 工 业 出 版 社

机 械 工 业 出 版 社

本手册全面介绍了各种液压元件的结构、性能、工作原理和选用原则,常用液压元件关键部位的设计、计算方法和回路设计,常用液压元件产品的规格和技术参数;并着重介绍了电液伺服元件和电液比例元件,伺服控制和比例控制;还介绍了液压介质的污染控制,液压元件的测试技术、常见故障分析和维修技术。

本手册内容丰富、实用,附有大量图表,反映了目前国内、外的先进技术和设计观点。可供液压工程、机电控制工程的技术人员,液压元件、液压系统的设计、制造、使用、维修人员,以及大专院校相关专业的师生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压元件手册/黎启柏主编. —北京: 冶金工业出版社 机械工业出版社, 1999.12
ISBN 7-5024-2427-X

I. 液… II. 黎… III. 液压元件—手册 IV. TH137.5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 6003 号

责任编辑: 盛君豪 版式设计: 张世琴 责任校对: 魏俊云
封面设计: 姚 毅 责任印制: 何全君
北京京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行
2000 年 8 月第 1 版 · 第 1 次印刷
787mm×1092mm^{1/16} · 51.25 印张 · 2 插页 · 1664 千字
0 001—5 000 册
定价: 86.00 元

前 言

在国民经济的各个部门，液压技术几乎无处不在，为满足液压工作者应用液压技术的需要，编写了本手册。本手册系统介绍了各种液压元件的结构、工作原理、性能特点 and 设计思想，以及关键部位的设计计算方法，典型应用和回路设计注意事项；重点介绍了新型液压元件的工作原理、结构特点 and 设计方法，以及如何根据液压系统的整体要求合理选用液压元件；为适应液压元件机电一体化的发展趋势，详细介绍了电液伺服元件和电液比例元件；为满足液压设备使用单位的需要，还介绍了液压元件的测试、使用、常见故障和维修技术。本手册是一本适合于液压元件设计工程师、液压系统设计工程师和液压设备使用、管理、维修人员使用的实用工具书。

本手册的主要编写者：第1章，吴冉泉、吴百海；第2章，吴小洪、吴冉泉；第3章，陈丽娜、邓晓星、孙海平；第4章，吴百海、吴小洪；第5、10章，黎启柏、黄晓东；第6章，查晓春；第7章，刘树道；第8章，成国真、曾岸；第9章，陈卫华、成国真。由黎启柏统稿。

在本手册编写过程中，得到华南理工大学、广东工业大学、广州机床研究所的大力支持，广东省农业机械化标准站、香港力士乐公司、温州电液比例阀厂、力士乐公司广州技术服务站、台湾朝日企业股份有限公司广州办事处、上海华盛自控机械有限公司等单位提供了大量的资料，华南理工大学液压室的李建藩教授、邓景流教授、黄川教授、陈星海工程师和厦门集美航海学院的卢长耿教授等提供了帮助和指导。在此，谨对上述的单位和个人，以及本手册参考文献的作者致以衷心的感谢！

由于作者编写时间仓促，水平有限，手册中定有不少错漏，敬请指正！

黎启柏

1999年10月于广州

目 录

前言

第1章 液压泵与液压马达

1 概述	1
1.1 容积式液压泵与液压马达的 工作原理	1
1.2 液压泵与液压马达的分类	2
2 液压泵与液压马达的主要参数和 常用计算公式	2
2.1 液压泵的主要参数	2
2.2 液压马达的主要参数	3
2.3 液压泵与液压马达的常用计算公式	4
3 液压泵与液压马达的变量 控制方式	5
4 齿轮泵与齿轮马达	7
4.1 齿轮泵与齿轮马达的工作原理和 主要特点	7
4.2 齿轮泵与齿轮马达的典型结构	8
4.3 齿轮泵与齿轮马达的性能特点	12
4.4 齿轮泵的选用原则	12
4.5 齿轮泵与齿轮马达产品介绍	12
4.5.1 型号说明	12
4.5.2 技术参数	12
4.5.3 外形和安装尺寸	12
5 螺杆泵与螺杆马达	35
5.1 螺杆泵与螺杆马达的工作 原理和主要特点	35
5.1.1 螺杆泵	35
5.1.2 螺杆马达	36
5.2 螺杆泵与螺杆马达的典型结构	36
5.2.1 螺杆泵	36
5.2.2 螺杆马达	36
5.3 螺杆泵与螺杆马达产品介绍	37
5.3.1 型号说明	37
5.3.2 技术参数	37
6 叶片泵与叶片马达	42
6.1 叶片泵与叶片马达的工作 原理和主要特点	42
6.2 双作用(定量)叶片泵与	

叶片马达	43
6.2.1 典型结构	43
6.2.2 性能和选用原则	47
6.3 单作用(变量)叶片泵	47
6.3.1 变量控制方式	47
6.3.2 典型结构	49
6.3.3 选择与使用	51
6.4 叶片泵与叶片马达产品介绍	52
6.4.1 型号说明	52
6.4.2 技术参数	53
6.4.3 外形和安装尺寸	65
7 柱塞泵与柱塞马达	79
7.1 概述	79
7.2 柱塞泵与柱塞马达的配流方式和 主要特点	79
7.3 轴向柱塞泵与轴向柱塞马达	80
7.3.1 工作原理和主要特点	80
7.3.2 典型结构	81
7.3.3 选用基本原则及应注意的 主要问题	85
7.4 径向柱塞泵与径向柱塞马达	86
7.4.1 工作原理和主要特点	86
7.4.2 典型结构	87
7.4.3 选用基本原则及应注意的 主要问题	89
7.5 柱塞泵与柱塞马达产品介绍	91
7.5.1 型号说明	91
7.5.2 技术参数	92
7.5.3 外形和安装尺寸	103
8 摆线液压马达(中速中转矩马达)	115
8.1 摆线液压马达的工作原理和 主要特点	115
8.2 摆线液压马达的典型结构	115
8.3 摆线液压马达产品介绍	116
8.3.1 技术参数	116
8.3.2 外形和安装尺寸	119
9 液压泵与液压马达的选用	121
9.1 液压泵的选用	121
9.2 液压马达的选用	122

第2章 液 压 缸

1 概述	124
1.1 液压缸的分类	124
1.2 液压缸的安装方式	124
1.3 液压缸的基本参数系列	126
1.4 液压缸的常用计算公式	127
2 液压缸的工作原理和典型结构	127
2.1 活塞缸	127
2.2 柱塞缸	128
2.3 组合缸	128
2.4 摆动缸	129
3 液压缸的设计计算	130
3.1 设计步骤	130
3.2 主要参数的确定	130
3.2.1 液压缸的工作压力	130
3.2.2 缸筒内径	130
3.2.3 活塞杆直径	131
3.2.4 液压缸行程	131
3.3 液压缸的结构设计	131
3.3.1 缸筒	131
3.3.2 缸盖	137
3.3.3 活塞	137
3.3.4 活塞杆	139
3.3.5 导向环、导向套、中隔圈	142
3.3.6 密封和防尘	144
3.3.7 缓冲装置	144
3.3.8 排气装置	148
3.3.9 油口尺寸	149
3.3.10 耳环	151
3.3.11 耳轴	159
4 液压缸的选用	160
4.1 液压缸主要参数的选定	160
4.2 使用工况及安装条件的确定	160
4.3 缓冲装置的选用	160
4.4 密封件的选用	160
4.5 工作介质的选用	161
5 液压缸产品介绍	161
5.1 工程用液压缸	161
5.2 冶金用液压缸	163
5.3 车辆用液压缸	165
5.4 G型车辆液压缸	166
5.5 农业机械用液压缸	167
5.6 摆动液压缸	171

第3章 液 压 阀

1 流量控制阀	172
1.1 概述	172
1.2 节流阀	173
1.3 调速阀	178
1.3.1 调速阀的工作原理	178
1.3.2 调速阀的流量特性和性能改善	179
1.3.3 调速阀的典型结构和特点	181
1.3.4 调速阀的应用和故障排除	182
1.4 分流集流阀	182
1.5 流量控制阀产品介绍	184
1.5.1 节流阀	184
1.5.2 调速阀	186
1.5.3 分流集流阀	190
1.5.4 GE系列流量控制阀	191
2 压力控制阀	196
2.1 溢流阀	196
2.1.1 溢流阀的工作原理和结构	196
2.1.2 溢流阀的特性	198
2.1.3 溢流阀的功用	201
2.1.4 溢流阀的常见故障与排除	201
2.2 电磁溢流阀	202
2.3 卸荷溢流阀	203
2.4 减压阀	203
2.4.1 减压阀的功用和性能要求	203
2.4.2 减压阀的工作原理和结构	203
2.4.3 减压阀的性能	205
2.4.4 减压阀的应用	206
2.4.5 减压阀的常见故障与排除	206
2.5 溢流减压阀	207
2.6 顺序阀	207
2.7 平衡阀	210
2.8 压力继电器	211
2.9 压力表保护阀	212
2.10 压力阀的选用和调节	213
2.11 GE系列压力控制阀产品介绍	213
2.11.1 溢流阀	213
2.11.2 远程调压阀	216
2.11.3 电磁溢流阀	217
2.11.4 减压阀	217
2.11.5 顺序阀	219
2.11.6 溢流减压阀	221
3 方向控制阀	222

3.1 单向阀	222	6.6 多路换向阀的特性曲线	308
3.1.1 普通单向阀	222	6.7 多路换向阀产品介绍	309
3.1.2 液控单向阀	223		
3.2 换向阀	227	第4章 伺服控制元件	
3.2.1 滑阀式换向阀	227	1 概述	318
3.2.2 电磁换向阀	232	1.1 伺服阀的分类和特点	318
3.2.3 液动换向阀和电液换向阀	244	1.2 伺服阀的组成	319
3.2.4 手动换向阀	252	1.3 电-机转换器的类型、原理和特点	319
3.2.5 机动换向阀	254	1.4 液压控制系统的组成	320
3.2.6 电磁球阀	255	2 电液伺服阀的结构和工作原理	321
3.3 方向控制阀产品介绍	256	2.1 双喷嘴挡板式力反馈两级电液流量 伺服阀	321
3.3.1 单向阀	256	2.2 双喷嘴挡板式直接反馈两级电液 流量伺服阀	325
3.3.2 液控单向阀	257	2.3 双喷嘴挡板式弹簧对中两级电液 流量伺服阀	325
3.3.3 电磁换向阀	260	2.4 双喷嘴挡板式电反馈两级电液流量 伺服阀	325
3.3.4 电液换向阀	262	2.5 双喷嘴挡板式动压反馈两级电液 流量伺服阀	326
3.3.5 手动换向阀	265	2.6 射流管式力反馈两级电液流量 伺服阀	327
3.3.6 电磁球阀	266	2.7 偏转射流式力反馈两级电液流量 伺服阀	328
3.3.7 GE 系列方向阀	267	2.8 动圈式两级电液流量伺服阀	328
4 叠加阀	276	2.9 三级电液流量伺服阀	330
4.1 概述	276	2.10 两级电液压力伺服阀	330
4.2 叠加阀的特点	276	3 电液伺服阀的特性和技术参数	331
4.3 叠加阀的分类和结构	276	3.1 概述	331
4.4 叠加阀产品介绍	278	3.2 电气特性	331
5 二通插装阀	289	3.2.1 术语	331
5.1 二通插装阀的结构和原理	289	3.2.2 伺服阀线圈的连接方法和特点	332
5.1.1 插装阀的工作原理	289	3.3 静态特性	332
5.1.2 插装元件的结构	290	3.3.1 术语	332
5.1.3 控制盖板	291	3.3.2 静态特性曲线及阀系数	332
5.2 二通插装阀典型控制功能及组件	292	3.4 动态特性	333
5.2.1 二通插装阀组成的基本控制 回路的原理	292	3.4.1 频率响应特性	333
5.2.2 方向控制组件	292	3.4.2 瞬态响应	334
5.2.3 压力控制组件	295	4 伺服阀的选用和维修	334
5.2.4 流量控制组件	296	4.1 伺服阀的选择	334
5.3 二通插装阀产品介绍	297	4.1.1 选择伺服阀的步骤	334
5.3.1 JK 系列	297	4.1.2 选择伺服阀的一般方法	334
5.3.2 JK* 系列	299	4.2 伺服阀的使用和维护	335
5.3.3 TJ 系列	299	4.2.1 伺服阀线圈的接法	335
6 多路换向阀	304		
6.1 多路换向阀的主要功能和分类	304		
6.2 多路换向阀的基本油路形式和 工作原理	304		
6.3 多路换向阀的滑阀机能	305		
6.4 多路换向阀的结构	307		
6.5 多路换向阀的补油装置	308		

4.2.2 颤振信号的使用	335	2.3.3 盆底止座的比例电磁铁	378
4.2.3 伺服阀的调整	335	2.4 耐高压直流比例电磁铁	379
4.2.4 污染的控制	335	2.4.1 基本结构和工作原理	379
4.2.5 伺服阀引起的不稳定及其 处理方法	336	2.4.2 比例电磁铁的控制形式和 应用	380
5 伺服放大器	336	2.5 耐高压双向极化比例电磁铁	381
5.1 伺服放大器的功用和基本要求	336	2.6 比例电磁铁的初步设计	381
5.2 伺服放大器的种类	336	2.6.1 直流螺管式电磁铁的结构因数及 其在选型上的应用	381
5.3 运算放大器及其在液压控制系统中的 应用	336	2.6.2 电磁铁的初步计算	382
5.3.1 运算放大器及各种调节器	336	2.6.3 主要参数的确定及合理 取值范围	383
5.3.2 运算放大器的应用	338	2.6.4 比例电磁铁的设计步骤	384
5.3.3 运算放大器的连接方式	339	2.7 比例电磁铁产品介绍	384
5.3.4 线性伺服放大器	339	3 电液比例阀	386
6 液压控制系统的基本设计方法	340	3.1 概述	386
7 电液控制系统设计实例	343	3.1.1 电液比例阀的构成及其 控制原理	386
7.1 电液位置伺服控制系统设计 实例	343	3.1.2 比例阀的静态特性曲线和 使用限制	387
7.2 电液速度伺服控制系统设计 实例	347	3.1.3 比例元件的主要性能指标	388
7.3 电液力伺服控制系统设计实例	349	3.2 比例压力控制阀	389
8 电液伺服阀产品介绍	351	3.2.1 比例溢流阀	389
8.1 双喷嘴挡板式力反馈电液伺服阀	352	3.2.2 比例顺序阀	392
8.2 双喷嘴挡板式电反馈电液伺服阀	362	3.2.3 比例减压阀	392
8.3 动圈式滑阀直接反馈、滑阀直接位 置反馈、电液伺服阀	363	3.3 比例流量控制阀	396
8.4 动压反馈、双喷嘴挡板式力反馈、 带液压锁、射流管式、力反馈电液 伺服阀	368	3.3.1 直动式比例节流阀	396
8.5 国外主要电液伺服阀	370	3.3.2 先导式比例节流阀	397
		3.3.3 比例调速阀	398
		3.3.4 流量反馈型比例流量阀	400
		3.4 比例方向控制阀	401
		3.4.1 直动式比例方向阀	401
		3.4.2 先导式比例方向阀	402
		3.4.3 整体式比例方向阀	402
		3.4.4 比例方向阀的结构和 控制特点	402
		3.5 闭环比例阀	404
		3.5.1 直动式四位四通闭环比例阀	404
		3.5.2 先导式闭环比例方向阀	404
		3.5.3 二位三通闭环比例节流阀	405
		3.6 压力补偿器	406
		3.6.1 进口节流压力补偿器	406
		3.6.2 出口节流压力补偿器	407
		3.7 比例压力-流量阀(p-q 阀)	408
		3.8 电液比例阀产品介绍	409

第5章 电液比例元件与数字元件

1 概述	376
1.1 电液比例控制技术的特点	376
1.2 电液比例元件的控制功能	376
2 电-机转换元件	377
2.1 电-机转换元件的作用与型式	377
2.2 电-机转换元件的要求	377
2.3 比例电磁铁的结构型式和 吸力特性	377
2.3.1 平底止座的直流闭式螺管 电磁铁	377
2.3.2 锥底止座的直流闭式螺管 电磁铁	378

3.8.1	比例压力控制阀	409
3.8.2	比例流量控制阀	410
3.8.3	比例方向控制阀	411
3.8.4	比例压力流量复合阀	413
4	手动比例控制元件	414
4.1	手动先导阀	414
4.2	手动电子先导控制元件	414
5	电液比例变量泵和马达	415
5.1	比例排量调节变量泵和变量马达	415
5.1.1	比例排量的调节方式	415
5.1.2	位移直接反馈式比例排量调节 变量泵和马达	415
5.1.3	位移-力反馈式比例排量 变量泵	416
5.1.4	位移-电反馈式比例排量调节 变量泵	416
5.2	电液比例压力调节型变量泵	417
5.3	电液比例流量调节型变量泵	419
5.4	电液比例压力和流量调节型 变量泵	419
5.4.1	压力补偿型比例压力和流量调节 变量泵	419
5.4.2	电反馈型比例压力和排量调节 变量泵	420
6	比例电控器	422
6.1	概述	422
6.1.1	比例阀的电气控制组成	422
6.1.2	比例电控器的基本技术要求和 分类	422
6.2	单通道力控制型比例放大器	423
6.3	双通道行程控制型比例放大器	424
6.4	单通道行程控制型比例放大器	427
6.5	比例放大器产品介绍	427
6.5.1	插卡式比例放大器	427
6.5.2	DBK 型箱式电子比例控制器	427
7	电液比例控制基本回路	427
7.1	电液比例压力控制回路	427
7.1.1	电液比例调压回路	427
7.1.2	比例减压回路	428
7.2	电液比例速度控制回路	428
7.3	比例速度和压力控制回路	429
7.4	电液比例方向和速度控制回路	429
7.5	电液比例差动控制回路	429
7.6	比例方向控制的压力补偿回路	430

7.7	重力平衡回路	431
7.8	电液比例控制同步回路	431
8	比例元件的选用	431
8.1	比例元件的安装使用和维护	431
8.2	比例方向阀的计算和选择	432
8.2.1	比例往复运动的特性参数 计算	432
8.2.2	比例方向阀的选择	434
8.3	比例溢流阀的选择	436
8.4	比例流量元件的选择	437
9	数字式比例元件	437
9.1	概述	437
9.1.1	数字阀的分类和特点	437
9.1.2	脉冲调制式数字比例控制	438
9.2	数字式组合元件	439
9.3	步进式数字元件	439
9.3.1	步进式数字溢流阀	439
9.3.2	步进式数字流量阀	439
9.3.3	步进式数字方向流量阀	440
9.3.4	数字式比例排量变量泵	440
9.3.5	步进液压缸与步进液压马达	441
9.4	高速开关阀	442
9.4.1	高速开关阀的结构和 工作原理	443
9.4.2	直流螺管电磁铁式高速开关阀 的特性	444
9.4.3	高速开关阀产品介绍	445
9.5	数字阀的控制与驱动	445
9.5.1	步进式数字阀的控制与驱动	445
9.5.2	高速开关阀的控制与驱动	448

第 6 章 液 压 辅 件

1	过滤器	451
1.1	概述	451
1.2	过滤器的类型	451
1.3	过滤器的主要性能参数	451
1.4	常用的过滤材料	454
1.5	过滤器在液压系统中的安装位置	457
1.6	过滤器的选择	458
1.7	过滤器产品介绍	458
1.8	过滤车	465
2	蓄能器	465
2.1	蓄能器在液压系统中的应用	465
2.2	蓄能器的工作原理、种类、特点	

和用途	467	6.3 冷却器的热交换计算	559
2.3 蓄能器参数的确定	470	6.4 冷却器的选择	561
2.3.1 蓄能用蓄能器参数的确定	470	6.5 加热器的选择、使用和维护	563
2.3.2 其它用途蓄能器参数的确定	472		
2.4 蓄能器产品介绍	474	第7章 液压油及其污染控制	
2.5 蓄能器的选择	475	1 液压系统对液压油的性能要求	565
3 密封件	475	2 液压油的物理化学性质	566
3.1 概述	475	2.1 液压油的密度	566
3.2 O形密封圈	477	2.2 液压油的粘度	566
3.3 唇形密封圈	481	2.2.1 粘度	566
3.3.1 Y形密封圈	481	2.2.2 粘度-温度特性	567
3.3.2 V形密封圈	483	2.2.3 粘度-压力特性	568
3.3.3 自动式组合U形密封圈	484	2.3 液压油的压缩率与体积模量	568
3.3.4 紧密式复合唇形密封圈	485	2.4 液压油的比热容	568
3.3.5 双向组合唇形密封圈	486	2.5 液压油的闪点	568
3.4 密封垫圈	486	2.6 液压油的凝点	568
3.5 其它密封件	487	2.7 液压油的酸值	568
3.5.1 活塞环	487	2.8 液压油的腐蚀性	568
3.5.2 橡塑组合滑环密封件	488	2.9 液压油的含水量和含气量	569
3.6 密封胶	488	3 液压油的种类	569
3.7 密封带	491	3.1 石油基液压油	570
3.8 防尘圈	491	3.2 合成液压液	571
3.9 密封件的摩擦阻力计算	495	3.3 乳化液压液	571
4 管件	496	3.4 常用液压油的性能比较	572
4.1 管道	496	4 液压油添加剂	573
4.1.1 金属管	496	5 液压油的选择	574
4.1.2 胶管	497	5.1 液压油的选用原则和步骤	574
4.2 管接头	504	5.2 液压油品种的选择	574
4.2.1 焊接式管接头	504	5.3 液压油粘度的选择	582
4.2.2 锥密封焊接式管接头	511	5.4 液压油相容性的选择	582
4.2.3 扩口式管接头	515	6 液压元件推荐用油的品种和粘度	582
4.2.4 胶管接头	526	7 液压油污染的来源	590
4.3 管夹	549	8 污染物分析	590
5 油箱	553	8.1 非固体颗粒污染物分析	590
5.1 油箱的用途和设计要点	553	8.2 固体颗粒污染物分析	590
5.2 油箱的分类	553	8.3 液压油污染度的等级	593
5.3 油箱容积的计算	554	9 液压元件的污染敏感度	595
5.4 油箱内的油温控制	556	9.1 液压泵的污染敏感度	595
5.5 油箱内壁的处理	556	9.2 液压马达的污染敏感度	595
5.6 油箱内液位的控制和显示	556	9.3 液压缸的污染敏感度	595
5.7 空气过滤器	557	9.4 液压阀的污染敏感度	596
6 热交换器	557	9.4.1 溢流阀的污染敏感度	596
6.1 概述	557	9.4.2 滑阀的污染敏感度	596
6.2 冷却器的应用特点	558	9.4.3 伺服阀的污染敏感度	597

10 液压系统的污染控制	597
10.1 控制残留污染物	597
10.2 控制外界侵入污染物	598
10.3 控制液压系统内的污染	598
10.4 污染换油	600

第8章 液压元件测试技术

1 测量装置和参数检测	601
1.1 测量系统的组成	601
1.2 测量装置的特性	601
1.3 常见液压系统被测参量	605
1.4 测量装置和记录仪器	605
1.5 流量的检测	608
1.5.1 概述	608
1.5.2 流量计的检测原理	610
1.5.3 流量的测量方法和测量装置	610
1.6 压力的检测	612
1.6.1 概述	612
1.6.2 液体式压力计	612
1.6.3 弹簧式压力表	613
1.6.4 活塞式压力测量仪	614
1.6.5 压力传感器	614
1.7 力和扭矩、转速的检测	616
1.7.1 拉(压)力的检测	616
1.7.2 扭矩的检测	617
1.7.3 转速的检测	618
1.8 振动、噪声和温度的检测	620
1.8.1 振动的检测	620
1.8.2 噪声的检测	620
1.8.3 温度的检测	621
1.9 误差分析和数据处理	622
1.9.1 误差分析	622
1.9.2 数据处理	622
2 液压元件试验通则	623
2.1 试验设备	623
2.2 试验条件	624
2.3 试验内容	624
2.4 计算机辅助测试技术	626
3 液压泵、液压马达和液压缸 的试验	626
3.1 术语、符号	626
3.2 液压泵和液压马达的试验	626
3.3 液压缸的试验	630
4 液压阀的试验	631

4.1 压力控制阀的试验	632
4.1.1 溢流阀的试验方法	632
4.1.2 减压阀的试验方法	634
4.1.3 试验报告	635
4.1.4 试验结果	635
4.2 方向控制阀的试验	636
4.2.1 换向阀的试验方法	636
4.2.2 单向阀的试验方法	640
4.2.3 试验报告	641
4.3 流量控制阀的试验	641
4.3.1 流量控制阀的试验方法	642
4.3.2 分流阀的试验方法	645
4.3.3 试验报告	646
5 电液比例元件与伺服元件的试验	646
5.1 电液比例阀的试验	646
5.1.1 电液比例压力阀的试验	646
5.1.2 电液比例调速阀的试验	648
5.1.3 电液比例换向阀的试验	649
5.1.4 试验报告	651
5.2 电液伺服阀的试验	651
5.2.1 试验回路和试验条件	651
5.2.2 试验方法	652
5.2.3 试验报告	654
6 液压辅件的试验	655
6.1 过滤器的试验	655
6.1.1 试验回路	655
6.1.2 试验方法	655
6.2 蓄能器的试验	657
6.2.1 试验回路	657
6.2.2 试验方法	657
6.3 胶管总成的试验	657
7 计算机辅助测试(CAT)	658
7.1 概况	658
7.2 系统原理	659
7.3 CAT系统的组成和性能	659
7.3.1 组成CAT系统的基本原则	660
7.3.2 CAT系统硬件	660
7.3.3 CAT系统应用软件	660
7.4 应用示例	662
7.4.1 系统的主要硬件及其技术 指标	662
7.4.2 CAT应用软件	663
8 常用液压试验标准目录	663
8.1 国际标准	663

8.2	国家标准	664
8.3	企业标准	664
8.4	质量分等标准	664

第9章 液压设备故障处理

1	概述	666
2	液压故障分析诊断基础	667
2.1	液压故障的模式	667
2.2	液压故障的分类	667
2.3	液压故障的机理	668
2.4	液压故障规律和液压系统工作可靠度的估算	668
2.4.1	故障概率	668
2.4.2	故障率	669
2.4.3	液压设备故障的基本分布规律	669
2.4.4	液压元件故障率和工作可靠度的估算	669
2.4.5	液压系统工作可靠度 $R(t)$ 的估算	670
2.4.6	检修周期对液压系统工作可靠度 $R(t)$ 的影响	671
2.5	液压故障诊断类型的分类	671
2.5.1	功能诊断和运行诊断	671
2.5.2	定期诊断和连续监控	672
2.5.3	直接诊断和间接诊断	672
2.6	液压故障诊断的基础	672
2.7	诊断信息理论的基础	672
2.8	液压设备常见液压故障的诊断基础	673
2.8.1	液压冲击	673
2.8.2	液压系统的气穴与气蚀	673
2.8.3	液压系统的液压卡紧	674
2.8.4	液压系统的温升	675
2.8.5	液压系统的爬行与进气	675
2.8.6	液压系统的振动和噪声	677
2.8.7	液压系统的泄漏	677
2.9	液压故障分析的基本方法	678
2.9.1	液压故障顺向分析法	678
2.9.2	液压故障逆向分析法	678
2.10	液压故障识别	678
2.10.1	液压故障识别的基本方法	678
2.10.2	液压故障识别的类型	678
2.11	液压故障诊断步骤	678
2.12	液压故障诊断方法	679

2.12.1	简易诊断方法	679
2.12.2	精密诊断方法	680
3	液压故障信息检测	680
3.1	概述	680
3.1.1	信息检测的手段	680
3.1.2	信息检测的方法	680
3.1.3	信息检测的方式	680
3.2	液压故障检测设备(装置)	682
3.3	常用液压设备信息检测方法和仪器	683
3.3.1	感觉检测	683
3.3.2	普通液压试验台检测	685
3.3.3	液压故障诊断试验台检测	685
3.3.4	磁塞检查法	686
3.3.5	铁谱分析法	686
3.3.6	光谱分析法	687
3.3.7	振动声学检测法	687
3.3.8	超声检测法	689
3.3.9	热力学检测法	691
3.3.10	管壁温差检测法	693
3.3.11	液压油污染检测仪器	694
3.3.12	液压故障诊断测试器和液压故障万能检测仪	696
3.3.13	液压元件液压故障微型计算机诊断系统	698
3.3.14	液压故障综合诊断检修车	698
3.3.15	液压系统管壁外测压力仪器-卡式无损压力传感测试系统	698
4	液压故障诊断常用方法	699
4.1	液压故障觉检关联推理诊断法	699
4.2	液压故障功能跟踪诊断法	699
4.3	液压油检测分析诊断法	700
4.3.1	液压元件磨损失效概念及其磨损状况	700
4.3.2	液压油分析诊断过程	700
4.3.3	液压元件磨损状况的诊断	700
4.4	液压故障静态参数诊断法	701
4.4.1	液压故障效率测定法诊断	701
4.4.2	液压故障过渡过程特性分析法诊断	702
4.4.3	液压故障压力脉动分析法诊断	702
4.5	液压故障振动声学诊断法	703
4.5.1	液压故障运动同步法诊断	703

4.5.2	液压故障振动频谱分析诊断	704
4.6	液压故障热力学法诊断	704
4.7	液压故障逻辑诊断与故障树分析法 (FAT)诊断	704
4.7.1	液压故障逻辑诊断	704
4.7.2	液压故障树分析法(FAT) 诊断	705
4.8	液压故障计算机诊断法	706
4.8.1	专家系统	706
4.8.2	液压设备微机在线监视系统	707
4.9	液压故障逻辑流程图分析法	708
4.10	液压故障液压系统图分析法	708
5	液压设备常见故障与排除	708
5.1	故障排除的方式	708
5.2	液压系统常见故障诊断与排除	708
5.2.1	压力控制回路的常见故障与 排除	708
5.2.2	速度控制回路的常见故障与 排除	711
5.2.3	方向控制回路常见故障与 排除	714
5.3	液压元件常见故障与排除	717
5.3.1	液压缸常见故障与排除	717
5.3.2	液压泵和液压马达常见 故障与排除	718
5.3.3	控制阀常见故障与排除	720
5.3.4	液压辅件常见故障与排除	725
6	液压设备故障的预防和日常维护	727
6.1	液压设备安装的注意事项	727
6.1.1	液压系统的安装	727
6.1.2	液压系统的清洗	729
6.2	液压系统调试的注意事项	730
6.2.1	调试前的检查	730
6.2.2	调整试车	730
6.3	液压设备的正确使用	731
6.4	液压设备的维护和保养	731
6.5	液压设备的检修	732
6.6	液压备件的管理	733
6.7	电液伺服阀的安装、使用、维护 和保养	733

第10章 常用液压标准

1	GB/T 786.1—93 液压气动图形 符号	735
---	----------------------------------	-----

1.1	符号的构成	735
1.2	管路、管路接口和接头	737
1.3	控制机构和控制方法	738
1.4	能量转换和贮存	740
1.4.1	泵和马达	740
1.4.2	缸	741
1.4.3	特殊能量转换器	741
1.4.4	能量贮存器	742
1.4.5	动力源	742
1.5	能量控制与调节	742
1.5.1	方向控制阀	742
1.5.2	压力控制阀	745
1.5.3	流量控制阀	745
1.6	流体的贮存和调节	747
1.6.1	油箱	747
1.6.2	流体调节器	747
1.7	辅助元器件	748
1.7.1	检测器和指示器	748
1.7.2	其它元器件	748
1.8	附录 A 控制机构、能量控制和调节 元件符号绘制规则(补充件)	749
1.9	附录 B 旋转式能量转换元件的旋 转方向、流动方向和控制位置的标注 规则(补充件)	751
1.10	附录 C 常用液压气动元件图形 符号(补充件)	752
2	GB 2346—88 液压气动系统及 元件 公称压力系列	758
3	GB 2347—80 液压泵和马达 公 称排量系列	758
4	GB/T 2348—93 液压气动系统 及元件 缸内径及活塞杆外径	758
5	GB 2349—80 液压气动系统及元件 缸活塞行程系列	758
6	GB 2350—80 液压气动系统及元件 活塞杆螺纹型式和尺寸系列	759
7	GB/T 2351—93 液压气动系统用 硬管外径和软管内径	759
8	GB 2352—80 液压隔离式蓄能器 公称压力和容积系列	759
9	GB 2353.1—80 液压泵和马达 安装法兰和轴伸的尺寸系列和 标记(一)	759

10	GB/ T2353.2—93 液压泵和马达 安装法兰和轴伸的尺寸系列和标记(二) 多边形法兰(包括圆形法兰)	762	塞杆窄断面动密封沟槽尺寸系列 和公差	773
11	GB/T 2514—93 四油口板式液 压方向控制阀安装面	766	17 GB 3452.1—82 液压气动用 O形橡胶密封圈 尺寸系列及 公差	777
12	GB 2876—81 液压泵站油箱公 称容量系列	768	18 GB 3452.3—88 液压气动用 O形橡胶密封圈 沟槽尺寸和 设计计算准则	782
13	GB 2877—81 二通插装式液压 阀安装连接尺寸	768	19 GB 6577—86 液压缸活塞用 带支承环密封沟槽型式、 尺寸和公差	798
14	GB/T 2878—93 液压元件螺纹 连接 油口型式和尺寸	770	20 GB 6578—86 液压缸活塞杆 用防尘圈沟槽型式、尺寸和 公差	799
15	GB 2879—86 液压缸活塞和活 塞杆动密封沟槽型式、尺寸和 公差	771	参考文献	804
16	GB 2880—81 液压缸活塞和活			

第 1 章 液压泵与液压马达

1 概述

液压传动是以液体为工作介质，以压力和流量为特性参量实现能量的转换、传递和分配的传动方式。

在液压传动系统中，液压泵是将动力机械(如电动机、内燃机等)传输的机械能转换成流动液体压力能的能量转换装置，其功用是给液压系统提供足够的压力油以驱动系统工作。因此，液压泵的输入参量为机械参量(转矩 T 和转速 n)，输出参量为液压参量(压力 p 和流量 q)。

液压马达是将输入的液体压力能转换成机械能的能量转换装置，常置于液压系统的输出端，直接或间接驱动负载连续回转而做功。因此，液压马达的输入参量为液压参量(压力 p 和流量 q)，输出参量为机械参量(转矩 T 和转速 n)。

1.1 容积式液压泵与液压马达的工作原理

图 1-1-1 所示为单柱塞液压泵的工作原理，柱塞 2 装于缸体 3 内形成密封工作腔 a ，柱塞在弹簧 4 的作用下始终压紧在偏心轴 1 上。当原动机带动偏心轴旋转时，柱塞便在缸体内作往复运动，使得密封腔的容积随之发生周期性的变化。当柱塞外伸时，密封腔的容积由小增大，使 a 腔中形成一定的真空度，于是，油箱中的油液在大气压的作用下经吸油管顶开吸油单向阀 5 进入 a 腔而实现吸油过程；反之，当柱塞被偏心轴压进缸内时，密封腔容积由大减小，于是， a 腔中的油液受压后便顶开排油单向阀 6 排向系统而实现排油过程。由此可见，容积式液压泵靠密封腔容积的变化实现吸油和排油，从而将原动机输入的机械功率 $T\omega$ (T 为输入的转矩， ω 为输入的角速度)转换成液压功率 pq (p 为输出压力， q 为输出流量)；单向阀 5、6 组成配流机构，使吸、排油过程相互隔开，从而使系统能随负载建立起相应的压力。

由上可知，组成容积式液压泵必须具备的三个条件如下：

- (1) 具有密封工作腔；
- (2) 密封工作腔的容积能产生由小增大和由大减小的变化，以形成吸、排油过程；
- (3) 具有相应的配流机构以使吸、排油过程能各自独立完成。

本章所述的各种液压泵虽然组成密封腔的零件结构各异，配流机构形式也各不相同，但它们都满足上述三个条件，都属于容积式液压泵。

从原理和能量转换的角度来说，液压泵和液压马达是可逆工作的液压元件，即向液压泵输入工作液体便可使其变成液压马达而带动负载工作，因此，液压马达同样需具有液压泵的上述三个条件，液压马达的工作原理在此就不再赘述了。

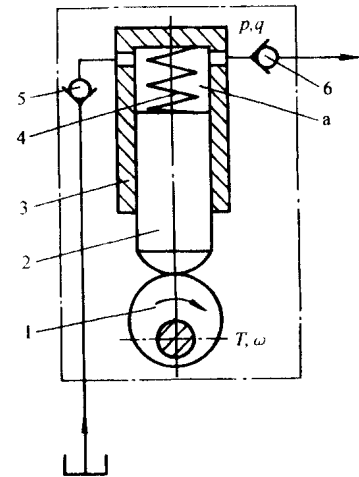


图 1-1-1 液压泵的工作原理

1—偏心轴 2—柱塞 3—缸体
4—弹簧 5、6—单向阀

值得指出的是：由于液压泵和液压马达的工作条件不同，对各自的性能要求也不一样，因此，同类型的液压泵和液压马达尽管结构很相似，但仍存在不少差异，所以实际使用中大部分液压泵和液压马达并不能互相代用(注明可逆的除外)。表 1-1-1 是液压泵和液压马达的工作条件对主要性能要求的区别。

表 1-1-1 液压泵和液压马达的工作条件对主要性能要求的区别

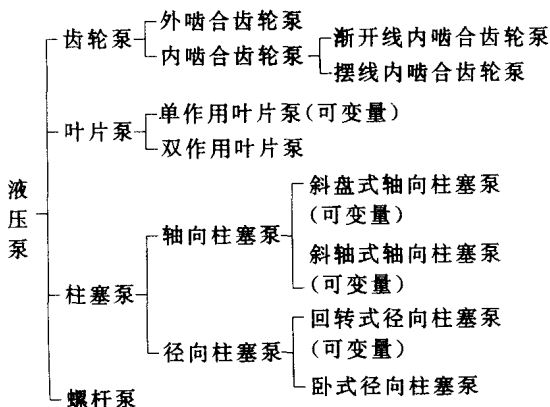
液 压 泵	液 压 马 达
1. 液压泵向系统提供压力和流量，注重容积效率	1. 液压马达对负载产生输出转矩，注重机械效率
2. 泵轴通常仅以一个方向旋转，而液流方向和流量可能不变或可变，结构要求不一定对称	2. 液压马达输出轴要求正、反向旋转，许多液压马达还要求能以泵方式运转以达到制动的目的，结构要求对称

(续)

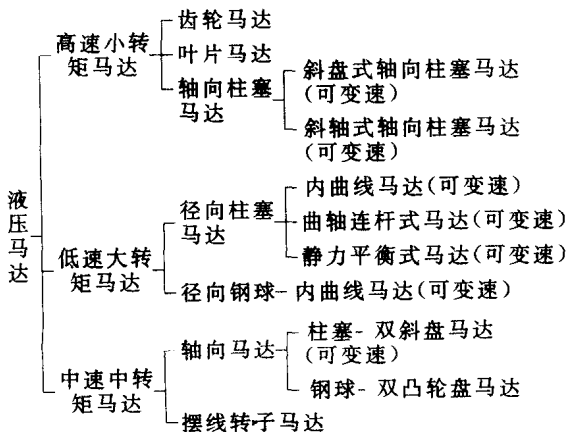
液 压 泵	液 压 马 达
3. 液压泵通常在相对恒定的高转速下运转	3. 液压马达工作时要求转速范围较宽, 特别是对低速稳定性能要求较高
4. 液压泵通常在额定转速下要求输出高压的液流	4. 液压马达在低速甚至零速下要求输入高压的液流
5. 液压泵通常安装于油箱液面以上, 要求具有一定的自吸能力	5. 液压马达在输入压力油的条件下工作, 不必具备自吸能力, 但应有一定的初始密封以提供足够的启动转矩
6. 大部分液压泵与原动机安装在一起时, 其主轴不承受额外的径向负载	6. 许多液压马达直接装在轮子上或与带轮、链轮、齿轮相连时, 其主轴承受较高的径向载荷
7. 液压泵在大部分系统中是连续运转的, 工作液的温度变化相对较小	7. 液压马达可以长期空运转或停止运转, 可能要遭受频繁的温度冲击

1.2 液压泵与液压马达的分类

液压泵按结构形式分类如下:



液压马达按转速和结构形式分类如下:



2 液压泵与液压马达的主要参数和常用计算公式

2.1 液压泵的主要参数

1. 排量 (m^3/r , 常用单位为 mL/r) 和流量 (m^3/s , 常用单位为 L/min)

(1) 排量 V 泵轴每转一转, 由其密封容积几何尺寸变化量计算而得的排出液体的体积, 又称理论排量、几何排量。

(2) 理论流量 q_t 在单位时间内, 由密封容积几何尺寸变化量计算而得的排出液体的体积; 工程上又称空载流量。

(3) 额定流量 q_n 在正常工作条件下, 按试验标准规定必须保证的输出流量。

(4) 实际流量 q 在实际工作条件下, 泵出口处实际输出的流量。

(5) 瞬时流量 q_i 泵在运行中某一瞬时的输出流量。

(6) 平均流量 q_m 按时间平均计算而得的输出流量。

2. 压力 (Pa , 常用单位为 MPa)

(1) 额定压力 p_n 在正常工作条件下, 按试验标准规定能连续运转的最高输出压力。

(2) 最高压力 $p_{\max}$ 按试验标准规定, 允许短暂运行的最高输出压力。

(3) 工作压力 p 在实际工作条件下, 泵出口处的实际输出压力。

3. 功率 (W , 常用单位为 kW)

(1) 输入功率 P_i 驱动泵轴的机械功率。

(2) 输出功率 P_o 泵输出的液压功率, 其值为实际输出流量与工作压力的乘积。

4. 效率

(1) 容积效率 η_v 实际输出流量与理论流量的比值。

(2) 机械效率 η_m 理论转矩 (由压力作用于泵转子上产生的液压转矩) 与实际输入转矩的比值。

(3) 总效率 η 输出液压功率与输入机械功率的比值。

5. 吸入能力 (Pa)

最低吸入能力 能正常运转而不发生气蚀的条件下泵吸入口处允许的最低压力。

6. 转速 (r/s , 常用单位为 r/min)

(1) 额定转速 n_n 在额定压力下, 能连续长时间正常运转的最高转速。

(2) 最高转速 $n_{\max}$ 在额定压力下, 超过额定转速而允许短暂运行的最高转速。

(3) 最低转速 $n_{\min}$ 正常运转所允许的最低转速。
液压泵的主要参数值见表 1-2-1。

表 1-2-1 液压泵的主要参数值

参 数	齿 轮 泵			螺 杆 泵	叶 片 泵		柱 塞 泵				
	外啮合	内啮合			单作用	双作用	轴 向 式			径 向 式	
		隔板式	摆 线 转子式				直轴端 面配油	斜轴端 面配油	阀配油	径向轴 配油	卧式阀 配油
压力/MPa	≤25	≤30	1.6~16	2.5~10	≤16	6.3~32	≤40	≤40	≤70	10~20	≤40
排量/(mL/r)	0.3~650	0.8~300	2.5~150	1~9200	<320	<480	0.2~560	0.2~ 3600	≤420	20~720	<250
转速/(r/min)	300~4000	300~4500	1000~ 2800	1000~ 18000	500~ 2000	500~2800	600~ 6000	600~ 7500	≤1800	700~ 1800	200~ 2200
最大功率/kW	187.2	200	60	390	120	200	730	2660	750	250	260
容积效率(%)	80~95	≤96	80~90	70~95	80~95	85~95	90~97	90~97	90~95	80~90	90~95
总效率(%)	65~90	≤85	≤85	70~85	60~85	65~85	80~90	80~90	83~88	81~88	83~88
流量脉动(%)	<10	<3	<3	<1	<2	<2	<5	<5	<10	<2	<10
自吸能力	强	强	强	强	强	强	一般	一般	差	差	差
功率重量比	中	中	中	小	小	中	大	中	大	小	中
噪声/(dB(A))	中	小	小	小	小	小	大	大	大	中	中
污染敏感度	小	小	小	小	中	中	大	大	大	大	大

2.2 液压马达的主要参数

1. 排量 (m^3/r , 常用单位为 mL/r) 和流量 (m^3/s , 常用单位为 L/min)

(1) 排量 V 马达轴每转一转, 由其密封容腔几何尺寸变化量计算而得的输入液体的体积, 又称理论排量、几何排量。

(2) 理论流量 q_t 在单位时间内为产生指定转速, 密封容腔几何尺寸变化所需要输入液体的体积, 工程上又称空载流量。

(3) 实际流量 q 在实际工作条件下, 马达入口处实际输入的流量。

2. 压力 (差) (Pa, 常用单位为 MPa)

(1) 额定压力 p_n 在正常工作条件下, 按试验标准规定能连续运转的最高输入压力。

(2) 最高压力 $p_{\max}$ 按试验标准规定, 允许短暂运行的最高输入压力。

(3) 工作压力 p 在实际工作条件下, 马达入口处的实际输入压力。

(4) 压力差 Δp 输入压力与输出压力之差值。

3. 转矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$)

(1) 理论转矩 T_t 液体压力作用于马达转子所形成的液压转矩。

(2) 实际转矩 T 马达的理论转矩克服摩擦转矩后实际输出的转矩。

4. 功率 (W, 常用单位为 kW)

(1) 输入功率 P_i 马达入口处输入的液压功率, 其值为实际输入流量与工作压力差的乘积。

(2) 输出功率 P_o 液压马达输出轴上实际输出的机械功率。

5. 效率

(1) 容积效率 η_v 理论流量与实际输入流量的比值。

(2) 机械效率 η_m 实际输出转矩与理论转矩的比值。

(3) 总效率 η 输出机械功率与输入液压功率的比值。

6. 转速 (r/s, 常用单位为 r/min)

(1) 额定转速 n_n 在额定压力下, 能连续长时间正常运转的最高转速。

(2) 最高转速 $n_{\max}$ 在额定压力下, 超过额定转