

YEYA
GONGCHENG
JIANMING
SHOUCE

张利平 编著

液压工程 简明手册



化学工业出版社

YEYA
GONGCHENG
JIANMING
SHOUCE



张利平 编著

液压工程
简明手册



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

液压工程简明手册/张利平编著. —北京: 化学工业出版社, 2011.6
ISBN 978-7-122-10557-8

I. 液… II. 张… III. 液压传动-技术手册 IV. TH137-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 024236 号

责任编辑: 黄 滢

文字编辑: 张绪瑞

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

850mm×1168mm 1/32 印张 35 字数 1032 千字

2011 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是编著者在总结多年校内外液压传动教学、液压系统维护与故障诊断培训，以及科研和为生产实践服务的经验与心得积累基础上，并广泛搜集国内外液压技术最新资料编写而成，旨在介绍液压工程中设计、制造、使用、维修和测试工作所需的各种资料和数据、日常实际工作中的实用方法。为了有利于读者便捷地阅读和查取所需内容及资料，解决实际工作中遇到的各类问题，提高使用效率，从而提高液压技术的设计、使用和维护水平，全书从液压工程实用角度进行选材，尽量避免繁杂的数学处理和冗长论述，重点以图表形式介绍相关内容。新颖丰富、简明实用、便携便查是本书的特色。

全书分为资料篇、元件篇、系统篇、使用篇、测试篇共五个部分计 14 章。资料篇汇集了液压元件及系统设计、制造过程中经常要用到的大量实用资料，所有标准均为最新版本。元件篇介绍了各类液压泵、液压马达、液压缸、液压阀及液压辅件的原理、特点、产品（含性能参数及外形连接尺寸）、选用、加工制造工艺及拆装方法。系统篇介绍了液压系统的设计方法并给出典型设计计算实例，并提供了一些已获成熟应用的液压基本回路和典型液压系统。使用篇介绍了液压系统的安装调试与使用维护方法及注意事项，并介绍了液压元件、回路与系统的常见故障及其处理方法。测试篇在简要介绍液压测试基本概念基础上，介绍了液压工程中流体参数及机械参数的测量方法、测量仪器，以及液压元件试验方法及标准、试验设计及准备、试验报告的编写等内容。

本书可供相关科研院所及工矿企业中，液压技术的制造调试和使用维护部门的设计人员、现场调试及操作维护人员、管理与营销人员参阅，也可作为大专院校相关专业（或专业方向）师生在科研开发及液压传动课堂教学、课程设计及毕业设计中的参考书。

本书由张利平编著。香港科技大学张津、山峻二位博士为本书提

供了宝贵信息并提出许多建设性意见，张秀敏协助编著者进行了资料搜集整理、文稿录入校对及插图描绘等大量工作。彭晶、李丽琳、李珊参与了本书标准资料的搜集、编写及文稿打印整理工作，参与本书相关工作的还有牛振英、周湛学、周兰午、严一萍、黄涛、吴宗哲、陈清华、史玉芳、刘文学、王惠宵、高志强、张保令等。

本书的编写工作得到了国内外许多液压厂商（公司）、同仁的热心支持，他们以不同方式提供了最新的技术成果与资料，编著者在此一并表示诚挚的谢意。本书编写过程中，编著者还参阅了国内外同行的大量参考文献及多家生产厂商互联网站中的电子样本，谨此表示由衷的感谢。

对于本书的不妥之处，欢迎广大读者不吝指正。

编著者

目 录

资 料 篇

第 1 章 液压流体力学常用计算公式	2
1.1 液体静力学	2
1.1.1 压力及其单位	2
1.1.2 液体静压力基本方程式	2
1.1.3 帕斯卡原理	3
1.1.4 液体静压力对固体壁面的作用力（液体总压力）	3
1.2 液体动力学	3
1.2.1 几个基本概念	4
1.2.1.1 实际液体和理想液体	4
1.2.1.2 定常流动和非定常流动	4
1.2.1.3 流线、流管、流束、通流截面、流量和平均流速	4
1.2.2 连续性方程、伯努利方程和定常流动动量方程及阀芯稳态 液动力计算	6
1.3 压力损失计算	7
1.4 孔口出流、缝隙流动及液压冲击	12
1.4.1 常见孔口（细长孔、阻尼短孔和薄壁孔口）的流量计算	12
1.4.2 常见缝隙（平行平板缝隙和环形缝隙）流动计算	13
1.4.3 液压冲击	13
1.5 液压工程常用物理量及其单位换算	14
1.6 常用液压公式	16
第 2 章 液压基础标准	17
2.1 常用液术语（摘自 GB/T 17446—1998）	17
2.1.1 基本术语	17
2.1.2 液压泵和液压执行元件术语	20
2.1.3 液压控制阀和控制机构术语	24
2.1.4 液压附件及回路术语	28
2.1.5 液压油液术语	33

2.2	常用液压图形符号及绘制规则 (摘自 GB/T 786.1—2009)	34
2.3	常用液压标准	44
2.3.1	液压系统及元件公称压力系列	44
2.3.2	液压泵及马达公称排量系列	45
2.3.3	液压缸内径及活塞杆外径系列	45
2.3.4	液压缸活塞行程系列	46
2.3.5	液压缸活塞杆螺纹型式和尺寸系列	46
2.3.6	液压元件螺纹连接、油口型式和尺寸	47
2.3.7	液压阀油口、底板、控制装置和电磁铁的标识	48
2.3.8	液压阀安装面和插装阀阀孔的标示代号 (摘自 GB/T 14043—2005)	48
2.3.9	液压系统用硬管外径和软管内径系列	50
2.3.10	液压泵站油箱公称容量系列	50
2.3.11	液压元件清洁度指标 (摘自 JB/T 7858—2006)	50
2.4	液压系统通用技术条件 (GB/T 3766—2001) (摘要)	53

元 件 篇

第3章	液压泵	56
3.1	液压泵概述	56
3.1.1	液压泵的分类	56
3.1.2	常用液压泵图形符号	57
3.1.3	液压泵的主要性能参数及计算公式	57
3.1.4	液压泵的技术性能和选择	58
3.1.4.1	各类液压泵的技术性能和应用范围	58
3.1.4.2	液压泵的选择	58
3.2	齿轮泵	66
3.2.1	分类及特点	66
3.2.2	工作原理	66
3.2.2.1	外啮合齿轮泵	66
3.2.2.2	渐开线内啮合齿轮泵	68
3.2.2.3	摆线齿轮泵 (转子泵)	68
3.2.3	典型结构	68
3.2.3.1	外啮合齿轮泵	68
3.2.3.2	内啮合齿轮泵	71
3.2.3.3	摆线齿轮泵 (转子泵)	71

3.2.4	产品介绍	73
3.2.4.1	产品系列及技术参数概览	73
3.2.4.2	CB-B系列外啮合齿轮泵	77
3.2.4.3	CB-E系列外啮合齿轮泵（合肥长源液压件有限责任公司产品）	77
3.2.4.4	IGP-5系列内啮合齿轮泵（宁波华液机器制造有限公司产品）	77
3.2.5	加工制造工艺及拆装方法	80
3.2.5.1	关键零件及常用材料	80
3.2.5.2	加工工艺	80
3.2.5.3	齿轮泵的拆卸、修理与安装	80
3.3	叶片泵	85
3.3.1	分类及特点	85
3.3.2	工作原理	85
3.3.2.1	单作用叶片泵	85
3.3.2.2	双作用叶片泵	87
3.3.2.3	凸轮转子叶片泵	87
3.3.3	典型结构	88
3.3.3.1	单作用变量叶片泵	88
3.3.3.2	双作用叶片泵	90
3.3.3.3	凸轮转子叶片泵	91
3.3.3.4	双联叶片泵	91
3.3.4	产品介绍	93
3.3.4.1	产品系列及技术参数概览	93
3.3.4.2	YB ₁ 系列双作用叶片泵（浙江台州先顶液压有限公司产品）	101
3.3.4.3	YB-Ea系列双作用叶片泵（浙江台州先顶液压有限公司产品）	104
3.3.4.4	YBX系列单作用变量叶片泵（南京液压机械制造厂有限公司产品）	107
3.3.5	加工制造工艺及拆装方法	107
3.3.5.1	关键零件、常用材料及其热处理	108
3.3.5.2	加工工艺	108
3.3.5.3	叶片泵的拆卸、修理与安装	110
3.4	柱塞泵	112

3.4.1	分类及特点	112
3.4.2	工作原理	112
3.4.2.1	轴向柱塞泵	112
3.4.2.2	径向柱塞泵	114
3.4.3	典型结构	115
3.4.3.1	直轴式轴向柱塞泵	115
3.4.3.2	斜轴式轴向柱塞泵	121
3.4.3.3	阀配流式径向柱塞泵	124
3.4.3.4	轴配流式径向柱塞泵	125
3.4.3.5	手动柱塞泵	127
3.4.4	产品介绍	136
3.4.4.1	产品系列及技术参数概览	136
3.4.4.2	CY14-1B 系列斜盘式轴向柱塞泵 (江苏恒源液压有限公司产品)	136
3.4.4.3	A2F 系列斜轴式轴向柱塞泵 (北京华德液压工业集团公司产品)	144
3.4.4.4	JBP 系列径向柱塞泵 (兰州华世泵业科技股份有限公司产品)	144
3.4.4.5	PM 系列柱塞手动泵 [意大利 Atos (阿托斯) 公司产品]	144
3.4.5	加工制造工艺及拆装方法	151
3.4.5.1	关键零件的加工制造工艺	151
3.4.5.2	柱塞泵的拆卸、修理与安装	154
3.5	液压泵 (马达) 的安装调试与使用维护	161
3.5.1	安装调试	161
3.5.2	运转	161
3.5.3	检查与维护	161
第 4 章	液压马达	165
4.1	液压马达概述	165
4.1.1	分类及特点	165
4.1.2	图形符号	166
4.1.3	主要参数及计算公式	166
4.1.4	变量 (调速) 原理及方式	166
4.1.5	主要技术性能与应用范围	169
4.2	液压马达的工作原理及结构特点	169

4.2.1	高速小转矩液压马达	169
4.2.1.1	齿轮马达	169
4.2.1.2	叶片马达	171
4.2.1.3	轴向柱塞马达	172
4.2.2	低速大转矩液压马达	174
4.2.2.1	类型及特点	174
4.2.2.2	单作用式径向柱塞马达的工作原理	174
4.2.2.3	多作用式径向柱塞马达的工作原理	175
4.3	液压马达的典型结构	176
4.3.1	高速小转矩液压马达	176
4.3.1.1	渐开线外啮合齿轮马达	176
4.3.1.2	行星转子式摆线内啮合齿轮马达	177
4.3.1.3	双作用叶片马达	178
4.3.1.4	轴向柱塞马达	178
4.3.2	低速大转矩液压马达	179
4.3.2.1	单作用径向柱塞马达	179
4.3.2.2	多作用径向柱塞马达（内曲线马达）	182
4.4	液压马达产品介绍	185
4.4.1	产品系列及技术参数概览	185
4.4.2	CMG 系列中高压齿轮马达（四川长江液压件有限责任公司产品）	192
4.4.3	BMD 系列摆线齿轮马达（南京液压机械厂有限公司产品）	192
4.4.4	XM 型斜盘式轴向柱塞马达（启东高压油泵有限公司产品）	194
4.4.5	SJM 系列曲轴连杆式低速大转矩液压马达（上海东方液压件厂产品）	196
4.5	液压马达的加工制造工艺	200
4.5.1	单作用径向柱塞马达的加工制造工艺	200
4.5.1.1	结构特点	200
4.5.1.2	关键零件的加工制造工艺	200
4.5.2	多作用径向柱塞马达的加工制造工艺	202
4.5.2.1	结构特点	202
4.5.2.2	关键零件的加工制造工艺	202
4.6	液压马达的选择	204
4.7	液压马达的安装调试与使用维护	206
4.8	摆动液压马达（摆动液压缸）	206

4.8.1	分类及特点	206
4.8.2	工作原理及特点	207
4.8.2.1	叶片式摆动马达	207
4.8.2.2	活塞式摆动马达	207
4.8.3	主要性能参数及常用计算公式	210
4.8.4	典型结构	210
4.8.4.1	叶片式摆动液压马达	210
4.8.4.2	活塞式齿条齿轮型摆动液压马达	212
4.8.5	产品介绍	214
4.8.5.1	产品系列及其技术参数概览	214
4.8.5.2	YMD、YMS 系列叶片式摆动液压马达（温州市长城 液压机电有限公司产品）	214
4.8.5.3	TUB 系列齿轮齿条式摆动液压马达（摆动液压缸） （山东省烟台市液压缸气缸厂产品）	218
4.8.6	选用要点	227
第 5 章	液压缸	229
5.1	液压缸的类型	229
5.2	液压缸的基本参数	232
5.3	液压缸的安装方式	233
5.4	液压缸的典型结构与主要组成及其技术要求	234
5.4.1	常用液压缸典型结构	234
5.4.1.1	通用液压缸	234
5.4.1.2	专用液压缸（多级液压缸）	236
5.4.2	液压缸的主要结构、材料及其技术要求	237
5.4.2.1	缸筒和缸盖	237
5.4.2.2	活塞和活塞杆	239
5.4.2.3	缓冲装置	245
5.4.2.4	排气装置	248
5.4.2.5	密封装置（件）	249
5.5	液压缸的设计计算	249
5.5.1	设计内容与步骤	249
5.5.2	液压缸的类型、安装连接方式选择及注意事项	252
5.5.3	液压缸性能参数计算	252
5.5.4	液压缸结构参数的计算	252
5.5.4.1	缸筒内径 D 的计算	252

5.5.4.2	活塞杆直径 d 的计算及稳定性校核	252
5.5.4.3	液压缸行程 S 的确定	253
5.5.5	液压缸的连接计算	254
5.5.5.1	液压缸油口尺寸的计算	254
5.5.5.2	液压缸缸筒和缸盖的连接计算	254
5.5.6	活塞杆弯曲稳定性的校核	259
5.6	液压缸标准系列产品	261
5.6.1	产品系列及技术参数概览	261
5.6.2	HSG 系列工程液压缸	261
5.6.3	轻型拉杆式液压缸	261
5.7	液压缸的选择与使用	272
5.8	液压缸加工工艺与检修拆装方法	273
5.8.1	液压缸加工工艺（液压缸缸筒加工工艺）	273
5.8.1.1	缸筒镗削-滚压工艺过程	274
5.8.1.2	缸筒加工的重要工序和关键工序	274
5.8.1.3	切削用量（吃刀深度 t 、走刀量 s 、切削速度 v ）	278
5.8.1.4	深孔镗床	278
5.8.2	液压缸的检修与装配及注意事项	279
5.8.2.1	拆卸	279
5.8.2.2	检修	279
5.8.2.3	装配	280
5.8.2.4	注意事项	281
第 6 章	液压控制阀	282
6.1	液压控制阀的分类	282
6.2	液压阀的基本性能参数	284
6.3	液压阀的选型	285
6.4	压力控制阀	287
6.4.1	溢流阀	287
6.4.1.1	类型与原理	287
6.4.1.2	典型结构	289
6.4.1.3	主要性能要求及应用场合	295
6.4.2	减压阀	295
6.4.2.1	类型与原理	295
6.4.2.2	典型结构	297
6.4.2.3	主要性能要求及应用场合	300

6.4.3	顺序阀	300
6.4.3.1	类型与原理	300
6.4.3.2	典型结构	302
6.4.3.3	主要性能要求及应用场合	304
6.4.4	压力继电器	304
6.4.4.1	类型	304
6.4.4.2	典型结构原理	305
6.4.4.3	主要性能要求及应用场合	306
6.4.5	压力阀产品介绍	306
6.4.5.1	产品系列及技术参数概览	306
6.4.5.2	YF3 型先导式溢流阀和 Y※F3 型电磁溢流阀	309
6.4.5.3	JF3 型减压阀和 AJF3 型单向减压阀	311
6.4.5.4	XF3 型顺序阀和 AXF3 型单向顺序阀	314
6.4.5.5	HED 型压力继电器	316
6.4.6	压力阀的选用	318
6.5	流量控制阀	318
6.5.1	节流阀	319
6.5.1.1	类型与原理	319
6.5.1.2	典型结构	319
6.5.1.3	主要性能要求及应用场合	322
6.5.2	调速阀	322
6.5.2.1	类型与原理	322
6.5.2.2	典型结构	324
6.5.2.3	主要性能要求及应用场合	325
6.5.3	溢流节流阀	325
6.5.3.1	工作原理	325
6.5.3.2	典型结构	326
6.5.3.3	主要性能要求及应用场合	327
6.5.4	分流集流阀(同步阀)	327
6.5.4.1	类型与原理	327
6.5.4.2	典型结构	329
6.5.4.3	主要性能要求及应用场合	330
6.5.5	流量阀产品介绍	330
6.5.5.1	产品系列及技术参数概览	330
6.5.5.2	LF3 型节流阀及 ALF3 型单向节流阀	332

6.5.5.3	QF3 型调速阀及 AQF3 型单向调速阀	333
6.5.6	流量阀的选用	335
5.6	方向控制阀	336
6.6.1	单向阀	336
6.6.1.1	类型与原理	336
6.6.1.2	典型结构	337
6.6.1.3	主要性能要求及应用场合	339
6.6.2	换向阀	340
6.6.2.1	类型与工作原理	340
6.6.2.2	操纵控制方式	342
6.6.2.3	三位换向阀中位机能	342
6.6.2.4	典型结构	342
6.6.2.5	主要性能要求及应用场合	348
6.6.3	方向阀产品介绍	349
6.6.3.1	产品系列及技术参数概览	349
6.6.3.2	AF3 型单向阀及 YAF3 型液控单向阀	349
6.6.3.3	24DF3、24EF3 型和 34DF3、34EF3 型电磁换向阀	349
6.6.3.4	24DYF3、24EYF3 型和 34DYF3、34EYF3 型电液动 换向阀	349
6.6.3.5	24YF3 型和 34YF3 型液动换向阀	356
6.6.4	方向阀的选用	361
6.7	多路换向阀	362
6.7.1	工作原理与典型结构	362
6.7.1.1	并联油路多路阀	362
6.7.1.2	串联油路多路阀	362
6.7.1.3	串并联油路多路换向阀	362
6.7.1.4	整体式多路换向阀	363
6.7.1.5	分片式多路换向阀	364
6.7.2	操纵控制方式	365
6.7.3	位数、通路数与滑阀机能	366
6.7.4	主要性能要求及应用场合	367
6.7.5	多路阀产品介绍	367
6.7.5.1	产品系列及技术参数概览	367
6.7.5.2	Z 系列多路阀	369
6.7.5.3	ZS 系列多路阀	373

6.8	叠加阀	376
6.8.1	典型结构	376
6.8.1.1	单功能叠加阀	378
6.8.1.2	复合功能叠加阀	380
6.8.2	主要性能及应用场合	383
6.8.3	叠加阀产品介绍	383
6.8.3.1	产品系列及技术参数概览	383
6.8.3.2	大连组合所系列叠加阀系列型谱	383
6.8.3.3	榆次油研系列叠加阀型谱	383
6.8.3.4	引进力士乐技术系列叠加阀型谱	405
6.8.3.5	北部精机系列叠加阀型谱及其外形安装连接尺寸	405
6.8.4	叠加阀的选用	453
6.9	插装阀	454
6.9.1	分类与特点	454
6.9.2	盖板式二通插装阀	455
6.9.2.1	工作原理	455
6.9.2.2	主要构件功能	457
6.9.2.3	主要性能	464
6.9.3	螺纹式插装阀	465
6.9.3.1	特点与类别	465
6.9.3.2	典型结构及功能原理	466
6.9.4	插装阀产品介绍	473
6.9.4.1	插装阀产品系列及技术参数概览	473
6.9.4.2	Z系列盖板式二通插装阀	475
6.9.4.3	华德L系列二通插装阀	477
6.9.4.4	威格士(Vickers) V系列螺纹式插装阀	490
6.9.4.5	F系列螺纹式插装阀	501
6.9.5	插装阀的选用	507
6.9.5.1	应用场合及选用原则	507
6.9.5.2	选用注意事项	508
6.9.6	插装阀的安装连接尺寸	508
6.9.6.1	液压二通盖板式插装阀安装连接尺寸 (GB/T 2877—2007)	508
6.9.6.2	液压二通、三通、四通螺纹式插装阀插装孔 (JB/T 5963—2004)	509

6.10	电液伺服控制阀	536
6.10.1	电液控制阀及其特点	536
6.10.2	液压伺服系统工作原理	536
6.10.3	电液伺服阀的功用与组成	537
6.10.4	电液伺服阀的特点与分类	538
6.10.5	电液伺服阀基本组成部分的原理	538
6.10.5.1	电气-机械转换器	538
6.10.5.2	液压放大器	540
6.10.6	电液伺服阀典型结构及其原理	543
6.10.6.1	单级电液伺服阀	543
6.10.6.2	两级电液伺服阀	544
6.10.6.3	三级电液流量伺服阀	551
6.10.7	电液伺服阀主要性能要求	551
6.10.7.1	静态特性	552
6.10.7.2	动态特性	559
6.10.8	电液伺服阀产品介绍	561
6.10.8.1	产品概览	561
6.10.8.2	典型产品的主要技术性能参数	561
6.10.8.3	FF 系列电液伺服阀	561
6.10.8.4	YF (YFW) 系列电液流量伺服阀	561
6.10.8.5	MOOG30 系列电液流量伺服阀	571
6.10.9	电液伺服阀的选用	572
6.11	电液比例控制阀	577
6.11.1	功用与组成	577
6.11.2	特点与分类	578
6.11.3	液压放大器简介	578
6.11.3.1	先导级阀的结构型式	578
6.11.3.2	功率级主阀的结构型式及特点	579
6.11.4	典型结构与工作原理	579
6.11.4.1	电液比例压力阀	579
6.11.4.2	电液比例流量阀	586
6.11.4.3	电液比例方向阀	591
6.11.5	主要性能	598
6.11.5.1	静态特性及示例	598
6.11.5.2	动态特性	602

6.11.6	产品介绍	603
6.11.6.1	产品概览	603
6.11.6.2	典型产品主要技术性能参数	603
6.11.6.3	油研 E 系列电液比例溢流阀/电液比例溢流减压阀/电液比例调速阀	603
6.11.6.4	力士乐系列 4WRE 型直动式电液比例换向阀	615
6.11.7	电液比例阀的选用	618
6.12	液压阀的制造工艺及拆装方法	620
6.12.1	液压阀主要构件的材料	620
6.12.1.1	阀体(壳体)的材料	620
6.12.1.2	阀芯与阀套的材料	621
6.12.2	液压阀主要构件的加工工艺	622
6.12.2.1	一般要求	622
6.12.2.2	工艺装备	622
6.12.2.3	阀体的机械加工工艺	622
6.12.2.4	阀芯与阀套的加工工艺	624
6.12.3	液压阀的装配工艺	629
6.12.3.1	关键零件精整加工中的注意事项	629
6.12.3.2	装配工艺过程	629
6.12.3.3	装配过程中的注意事项	630
6.12.4	液压阀的拆解及其注意事项	630
6.12.5	液压阀块(油路块)的加工及装配	630
第 7 章	液压辅件及液压站	631
7.1	蓄能器	631
7.1.1	功用及工作原理	631
7.1.2	分类及典型结构	633
7.1.3	气囊式蓄能器的参数及计算	634
7.1.4	蓄能器及附件产品介绍	638
7.1.4.1	产品系列及技术参数概览	638
7.1.4.2	NXQ 型气囊式蓄能器	638
7.1.4.3	PC 型充气装置	641
7.1.4.4	CDZ 型行走式充氮增压车 [布柯玛蓄能器(天津)有限公司产品]	641
7.1.4.5	ASV1 型蓄能器用安全阀	643
7.1.5	蓄能器应用场合与选用要点	644