

液压气动手册

日本液压气动协会编

机械工业出版社

本手册涉及液压、气动两个技术领域，分为基础篇、测量篇、工作流体篇、元件篇、回路和应用篇等五篇。主要介绍液压、气动技术的基础理论；各种液压、气动元件的分类、结构、特性及使用注意事项；流体介质及其污染控制；液压、气动系统的基本回路及应用举例；测试理论及测量仪表等。

本手册可供从事液压、气动技术的工程技术人员参考。

油 空 压 便 覽

日本油空压协会 編

オ-ム社 1975

* * *

液 压 气 动 手 册

日本液压气动协会 編

《液压气动手册》翻译组 译

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 46 1/2·字数 1432 千字

1984 年 11 月北京第一版·1984 年 11 月北京第一次印刷

印数 00,001—20,500·定价 9.20 元

*

统一书号：15033·5470

译 者 序

近年来液压、气动技术发展很快，并已在我国得到推广和使用。为了适应液压、气动技术的发展，满足从事这方面工作的工程技术人员的需要，我们通过对近年来国外出版的液压、气动方面的手册进行对比分析，决定翻译这本手册。

本手册的日文书名为“油空压便覽”，是由日本液压气动协会组织编写，欧姆出版社1975年出版的。它是目前国外同类手册中内容较完整、质量较好的一本。这本手册包括液压和气动两个领域，内容涉及液压、气动技术领域中的一切主要问题，注意编入液压和气动领域中的最新技术内容，写得通俗易懂、深入浅出。是一本从事这方面技术工作的人员的较好工具书。

本手册分为：基础篇、测量篇、工作流体篇、元件篇、回路和应用篇。

基础篇主要介绍作为液压气动技术基础理论的流体工程学基础。另外还介绍液压、气动名词术语及其图形符号以及与液压、气动系统有密切关系的自动控制基础理论和逻辑回路基础。

测量篇介绍了基本测试理论，各种物理量的测量方法及测量仪表。

工作流体篇详细介绍了液压、气动系统对工作流体(液压油和空气)的要求，液压油的分类、性质及选用，以及工作流体的污染控制。

元件篇分为液压元件、气动元件、射流元件、配管及密封四个部分，详细介绍了各种元件的分类、结构、特性及使用注意事项等。

回路和应用篇分为液压回路及应用、气动的应用、射流的应用三个部分。本篇将回路按机能分类、整理，挑选了许多有代表性的、有参考价值的回路和实例，供设计时参考。

参加本手册翻译组的成员有：胜帆(译第I篇和第III篇的第1章)，宋学义(译第V篇)，万良才(译第IV_B、IV_C、IV_D篇，校第IV_A篇的第1、2章)，凌志超(译第IV_A篇的第3、4、5、6、7章)，冷文玉(译第IV_A篇的第1、2章)，徐炳辉(译第III篇的第2章)，徐敏(译第II篇)，钟永隆(校第II篇)。哈尔滨工业大学刘庆和副教授对本手册的翻译质量作了评审。

本手册属于大型专业手册，涉及的知识面很广，由于参加翻译的人员较多，译者的技术水平、外文水平及中文表达能力各有差异，虽然已经作过大量校改、统一工作，但书中难免还存在错误和不妥之处，恳请读者提出批评、意见。

《液压气动手册》翻译组

1981.12

液压气动手册发刊词

作为本协会成立五周年的纪念活动之一，我们决定出版液压气动手册。这件事几年前就已着手准备。社会上各种学会、团体虽已出版多种手册，但一般都是叙述性的、按机能分类的，我想这也许是“手册”类书籍的性质所决定的吧。

本协会具有学会的性质，和它有关的机械都是在“液压气动工程”这一有限科学技术范围内的，这对编写本手册是一个有利条件。在编写本手册时，各位编辑委员尽量设法使本书成为一本比较合理、具有学术水平和有系统性的手册。他们的热情工作，使这本书得以完成。这只要一览本手册的目录，便大致明白了。本手册分为基础篇、测量篇、工作流体篇、元件篇、回路和应用篇五个部分。可以深信，这对使用本手册的读者来说是比较方便的。

在编写本手册之初，先由少数发起人制定出编辑方针草案，然后成立以东京工业大学池边教授为委员长、由数十名委员组成的编辑委员会，多次开会、反复研究了编辑方针和本书内容，逐渐写成原稿。最后为其出版而设立了以河野副会长为委员长的出版委员会，终于完成了本书的出版工作。我对这本在同类书中少见的、出色的手册的问世表示衷心的祝贺。同时，对池边委员长、河野委员长以及诸位委员的辛勤努力表示崇高的敬意和感谢。另外，对给予本书的出版以各种帮助的有关方面致以深切的谢意。

日本液压气动协会会长

丹羽周夫

1975年4月

液压气动手册的出版说明

众所周知，液压和气动技术是与各产业部门有密切关系的。为了促进其学术和技术的进一步发展，日本液压气动协会于1970年春成立。虽然从会员的数量来看还称不上是大的团体，但已开展了十分活跃的学术活动。协会杂志《液压和气动》的出版发行，就是其活动的一部分。

在本协会成立之初，有关液压或气动方面的手册类书籍，已有一、二种出版，但当时本协会对于出版这一手册还是心有余而力不足的。

随着协会杂志的出版工作的顺利进行，到1972年春，希望本协会出版《液压气动手册》的呼声变得强烈起来了。为此，常务理事会把它作为本协会成立五周年的纪念活动之一而正式采纳了这个建议。作为编辑理事的笔者受命进行计划和筹备。

粗略估计，本书在1000页左右，由几十位编辑委员执笔撰写。从那时起，用三年时间出版成书，我觉得时间颇为紧张。为了节省时间，先把协会杂志的编委中年富力强的十来个人集中起来，制定编辑基本方针，并根据这一方针编出目录草案，然后将此草案提交编辑委员会讨论。在此期间，笔者本人当然是征求过协会各主要人员的意见的。

这个小组进行了约十个月的紧张工作之后，在1973年5月大体上完成了可以提交编委会讨论的草案。

另一方面，当时理事会成立由大约40名在液压、气动方面学识渊博、经验丰富的人士组成的编辑委员会。第一次编委会是在1973年5月举行的，笔者无法推诿，被任命为委员长，东京工业大学的中野和夫副教授被任命为干事。会上对上述草案进行了一些修改。为了加快工作进度，决定把以前那个小组改称编辑发起人小组，进行具体的工作。

经过几次会议后，在1973年7月的编辑委员会上对手册的内容规定了如下几条基本原则，同时本书的内容目录也基本确定。

基本原则：

1) 本手册既不同于教科书，也不完全是资料汇编，采取介于两者之间的形式。并要求叙述尽可能通俗易懂。

2) 与现有的手册不同，本手册包括液压和气动两个领域，并着眼于建立“液压气动”这一新体系。

3) 基础部分中除编写了作为液压气动技术基础的流体工程学基础外，还编进了与液压、气动系统有密切关系的自动控制与测试技术的基础。

4) 在应用方面，避免单纯罗列一些实例，而是按机能分类、整理，尽量收入应用价值较高的实例。

在这次会议上还确定了执笔者，并要求他们立即开始编写。

读者在看了本书之后可以明白，本手册几乎已将液压和气动方面的最新内容全都包括在内，写得深入浅出、通俗易懂。为便于对难度较大的内容作进一步了解，本手册列有丰富

而又易于得到的参考文献。也就是说，这本手册是按照能大致解答液压、气动技术方面的一切问题而致力编写的。因此，我们希望它能成为液压、气动技术工作者的案头书。

最后，当手册出版之时，对于经常给予热情关怀的丹羽会长及各位常务理事，对于为了在短时间内完成这本大型手册而作出极大努力的编辑委员们，特别是经过长期精心奋力工作的各位编辑发起人，致以深切的谢意。同时，对于大力协助的各位执笔者以及接受编辑委员会要求按期出版本手册的欧姆出版社有关人员表示衷心感谢。

对于编辑委员长野光彦先生未能看见本手册的出版而不幸病故，我代表编委会在此深表哀悼。

《液压气动手册》编辑委员会委员长

池边 洋

1975年4月

目 录

I. 基础篇

1. 主要术语和符号	1	3.6.3 动量理论的适用例	42
1.1 液压和气动术语	1	3.7 边界层方程式	43
1.1.1 液压术语	1	3.7.1 层流边界层方程式	43
1.1.2 气动术语	7	3.7.2 沿平板的层流边界层	43
1.1.3 液压、气动用图形符号	12	3.7.3 边界层的动量方程式	44
1.2 自动控制术语	18	3.7.4 普豪生方法	44
1.3 测试术语	23	3.7.5 压缩性流体的边界层方程式	45
2. 单位制及其换算	24	3.7.6 紊流边界层方程式	45
2.1 单位制	24	3.7.7 沿光滑平板的紊流边界层	45
2.1.1 因次(或量纲)和单位制	24	3.8 雷诺公式	46
2.1.2 有关力学的单位	24	4. 流动的现象	47
2.1.3 有关温度和热的单位	25	4.1 流动状态的变化	47
2.2 国际单位制(SI)	25	4.1.1 层流和紊流	47
2.2.1 SI的形成	25	4.1.2 可压缩流动	48
2.2.2 SI引进ISO中	25	4.2 管内定常流	49
2.2.3 SI引进JIS中	26	4.2.1 管内的流速和压力损失	49
2.2.4 SI的构成	26	4.2.2 管内层流	49
2.3 各种量的换算	26	4.2.3 紊流管的摩擦	51
2.4 与液压气动有关的物理量符号、因 次、单位、换算率表	34	4.2.4 管路中的各种损失	52
3. 有关流动的公式	34	4.3 管内非定常流	54
3.1 帕斯卡原理	34	4.3.1 不可压缩粘性流体的情况	54
3.2 状态方程式	34	4.3.2 流体为液压油时	55
3.3 连续性方程式	34	4.3.3 流体为空气时	57
3.4 运动方程式	35	4.3.4 管端各压力、流量的关系	58
3.4.1 纳维-斯托克斯运动方程式	35	4.3.5 动特性计算的准备	58
3.4.2 斯托克斯近似	37	4.3.6 过渡响应的计算例子	60
3.4.3 奥西近似	38	4.3.7 频率响应的计算与实例	62
3.4.4 欧拉的运动方程式	39	4.3.8 交变液流(或交流液压)	63
3.5 能量方程	40	4.4 缝隙中的流动	64
3.5.1 伯努利方程式	40	4.4.1 圆柱形节流孔	64
3.5.2 粘性流体流中的伯努利方程式	40	4.4.2 两平行平面间的流动	64
3.5.3 能量方程式	41	4.4.3 变化的间隙中的流动	65
3.6 动量理论	41	4.4.4 两平行圆板间的放射状流动	66
3.6.1 动量理论	42	4.4.5 流体卡紧	67
3.6.2 角动量理论	42	4.4.6 阻塞现象	68
		4.4.7 间隙中的油温上升	68

4.4.8 挤压效应	70	5.1.3 管路和液压缸系统	91
4.4.9 静压轴承	71	5.1.4 密闭容器系统	92
4.4.10 动压轴承	72	5.1.5 $C-R$ 回路	92
4.5 喷流	72	5.1.6 直流伺服马达	92
4.5.1 自由喷流	72	5.1.7 薄板的轧制控制	92
4.5.2 半喷流	73	5.2 拉普拉斯变换	93
4.5.3 喷流的结构	74	5.2.1 拉普拉斯变换及其实例	93
4.5.4 喷流与壁面的干涉	74	5.2.2 拉普拉斯变换的公式	94
4.5.5 阀开口处的喷流	75	5.2.3 拉普拉斯变换的应用	94
4.5.6 对平板的喷流	75	5.3 传递函数	95
4.6 相似性准则	75	5.3.1 传递函数	95
4.6.1 与流动有关的基本无因次量	76	5.3.2 传递矩阵	96
4.6.2 与流动有关的其他无因次量	76	5.4 方块图和信号流图	97
4.6.3 与热传递有关的无因次量	76	5.4.1 方块图的构成要素	97
4.7 物体的阻抗	76	5.4.2 方块图的等价变换	97
4.7.1 二维物体的阻力系数	77	5.4.3 传递环节的连接	98
4.7.2 三维物体的阻力系数	78	5.4.4 信号流图	99
4.7.3 栅格和金属网的阻抗	79	5.5 动特性(I)	100
4.8 通过多孔物质的流动	80	5.5.1 概说	100
4.8.1 通过过滤器的流动	80	5.5.2 频率响应	100
4.8.2 达罗西法则和渗透系数	80	5.5.3 矢量轨迹	101
4.8.3 通过多孔物质的流体运动方 程式	80	5.5.4 伯德图	101
4.8.4 实用公式	81	5.6 动特性(II)	104
4.8.5 圆筒形过滤器的实用公式	81	5.7 基本环节的动特性	104
4.9 气穴现象	82	5.8 稳定性的判别	104
4.9.1 气泡的发生	82	5.8.1 稳定性判别的原理	104
4.9.2 气泡破坏和金属的侵蚀	82	5.8.2 霍维茨稳定判据	105
4.9.3 节流部位和阀中的气穴现象	83	5.8.3 奈魁斯特稳定判据	105
4.9.4 液压泵中的气穴现象	84	5.9 稳定度	105
4.9.5 液压执行元件中的气穴现象	84	5.9.1 增益余量和相位余量	106
4.10 润滑、摩擦与磨损	85	5.9.2 M_p 规范	106
4.10.1 概说	85	5.10 稳态误差	107
4.10.2 关于摩擦力的库仑定律	85	5.11 非线性问题的处理	108
4.10.3 干摩擦的机理	85	5.11.1 在工作点附近的线性化方法	108
4.10.4 边界摩擦的机理	86	5.11.2 相平面法	108
4.10.5 流体摩擦	87	5.11.3 描述函数法	109
4.10.6 磨损	87	6. 逻辑回路的基础	112
4.10.7 烧伤	88	6.1 概述	112
5. 自动控制	90	6.2 基本逻辑运算和回路	112
5.1 自动控制系统的环节	91	6.2.1 基本运算	112
5.1.1 齿轮系	91	6.2.2 基本定律	112
5.1.2 力学系统	91	6.3 逻辑回路的设计	112
		6.4 顺序回路	114

6.4.1 顺序回路的结构	115
6.4.2 状态迁移图表	115

6.4.3 输出图表	115
6.5 基本逻辑回路的例子	115

II. 测 量 篇

1. 测量的基础	116
1.1 概述	116
1.1.1 测量的意义	116
1.1.2 测量方法的选择	116
1.1.3 单位与标准	116
1.2 误差与精度	117
1.2.1 误差的原因	117
1.2.2 误差的性质	117
1.2.3 测量精度和测量仪器的精度	118
1.3 测量值的处理和精度表示	119
1.3.1 用图线法表示	119
1.3.2 测量值的统计求法	120
1.3.3 最小二乘法	122
1.3.4 精度的表示方法	123
1.4 测量系统的响应	123
1.4.1 响应的表示方法	123
1.4.2 响应的研究方法	124
1.5 指示与记录	124
1.5.1 模拟表示与数字表示	124
1.5.2 指示方法和读数	125
1.5.3 记录的方法	125
2. 位移和角位移的测量	126
2.1 概述	126
2.1.1 长度测量的方法	126
2.1.2 角位移的测量	127
2.2 机械法测量	128
2.2.1 利用螺纹测量位移	128
2.2.2 利用齿轮机构测量位移	128
2.2.3 利用刻度尺测量位移	128
2.3 电磁法测量	129
2.3.1 利用霍尔元件测量位移	129
2.3.2 利用滑线电阻测量位移	129
2.3.3 利用应变片测量位移	129
2.3.4 利用差动变压器测量位移	129
2.3.5 利用磁变换器测量角位移	130
2.3.6 利用电容变换器测量位移	131
2.3.7 利用磁栅测量位移	131
2.4 光学测量法	132

2.4.1 利用光栅测量位移	132
2.4.2 利用莫菜条纹测量位移	132
2.4.3 利用光波干涉测量位移	133
3. 速度和角速度的测量	133
3.1 概述	133
3.1.1 速度和角速度	133
3.1.2 测量方法	133
3.1.3 信号的处理	134
3.2 机械法测量	134
3.2.1 概说	134
3.2.2 累计式转速计	134
3.2.3 共振式转速计	134
3.2.4 振子式转速计	134
3.2.5 其他机械式速度计	135
3.3 电磁法测量	135
3.3.1 概说	135
3.3.2 测速发电机	135
3.3.3 涡流式转速计	136
3.3.4 脉冲发电式回转检测器	136
3.3.5 接近开关式回转检测器	137
3.3.6 多普勒雷达式速度计	137
3.3.7 其他型式的电磁速度计	137
3.4 光学法测量	138
3.4.1 概说	138
3.4.2 闪频观测器(闪频测速仪)	138
3.4.3 轴编码器	138
3.4.4 通过时间式速度计	139
3.4.5 利用相关法的速度计	139
3.4.6 其他光学速度计	140
4. 加速度和角加速度的测量	140
4.1 概述	140
4.2 力的测量	140
4.2.1 力的单位	140
4.2.2 力的基准	141
4.2.3 利用力平衡进行测量	141
4.2.4 利用物性变化进行测量	142

5.3 扭矩的测量	142	10.2.7 旋涡流量计	159
5.3.1 扭矩的单位	143	10.2.8 利用激光测量流量的方法	159
5.3.2 传递扭矩的测量方法	143	10.2.9 热式流量计	159
6. 功率的测量	144	10.3 非稳定流动的流量测量	160
6.1 概述	144	10.3.1 概说	160
6.2 电气测量	145	10.3.2 利用节流式流量计测量脉动 流量	160
6.2.1 电测扭矩	145	10.3.3 热式流量计	160
6.2.2 转速的电测量	145	10.3.4 利用电磁流量计测量非稳定流 动	160
6.2.3 用发电机的输出电功率的测量 方法	145	10.3.5 利用其他流量计测量	160
6.3 由扭矩和转速求功率的方法	146	11. 压力的测量	161
7. 振动的测量	146	11.1 液柱压力计	161
7.1 概述	146	11.1.1 U形管式液柱压力计	161
7.2 机械法测量	147	11.1.2 单管式液柱压力计	161
7.3 电磁法测量	148	11.1.3 斜管式液柱压力计	162
7.3.1 磁电式拾振器	148	11.1.4 液柱式压力计的温度修正	162
7.3.2 压电式拾振器	148	11.1.5 液柱式压力计的重力修正	162
7.3.3 其他拾振器	149	11.2 重锤式压力计	162
8. 表面光洁度的测量	149	11.3 波登管式压力计	162
8.1 概述	149	11.3.1 构造和特性	162
8.2 表面光洁度测量仪	150	11.3.2 脉动压力和机械振动的影响	165
9. 噪声的测量	151	11.4 精密无液式压力计	166
9.1 概述	151	11.5 电气式压力计	166
9.2 噪声测量仪器	151	11.5.1 电阻式压力计	166
9.2.1 指示噪声计	151	11.5.2 应变片式压力计	167
9.2.2 频率分析仪	152	11.5.3 电感式压力计	167
9.2.3 传声器及其特性	152	11.5.4 电容式压力计	167
9.3 液压气动设备实际噪声的测定	153	11.6 气压式压力发送器	168
9.3.1 概说	153	12. 流动的可视化	168
9.3.2 液压元件噪声测量的方法(草 案)摘要	153	12.1 概述	168
10. 流量的测量	153	12.2 气体流动的可视化	168
10.1 概述	153	12.2.1 壁面流动的可视化	168
10.1.1 流量测量方法的分类	153	12.2.2 示踪法	168
10.1.2 流体测量所必需的基本知识	154	12.2.3 光学方法	169
10.2 稳定流动的流量测量	154	12.3 液体流动的可视化	169
10.2.1 容积式流量计	154	12.3.1 壁面流动的可视化	169
10.2.2 节流式流量计	155	12.3.2 示踪法	169
10.2.3 面积流量计	157	12.3.3 光学方法	169
10.2.4 叶轮流量计	158	13. 温度的测量	169
10.2.5 超声波流量计	158	13.1 概述	169
10.2.6 电磁流量计	159	13.1.1 温度	169

13.1.2 温度测量标准的跟踪	170	14.2.5 平行平板粘度计	179
13.2 接触式温度测量	170	14.3 非牛顿流体的粘度测量	179
13.2.1 热接触和温度测量	170	14.3.1 毛细管粘度计	179
13.2.2 接触式温度计的种类	171	14.3.2 旋转粘度计	179
13.2.3 热电温度计	171	14.3.3 平行平板粘度计	180
13.2.4 电阻温度计	172	15. 密度和比重的测量	180
13.2.5 玻璃温度计	172	15.1 概述	180
13.2.6 其他接触式温度计	172	15.2 液体密度和比重的测量	181
13.2.7 接触式温度计的校正	172	15.2.1 比重瓶	181
13.3 非接触式温度测量	172	15.2.2 浮子式	182
13.3.1 热辐射与温度	172	15.2.3 浮标	182
13.3.2 热平衡辐射的性质	172	15.2.4 振动法	183
13.3.3 利用热辐射的非接触式温度测 量	172	15.2.5 磁力式	183
13.3.4 光学高温计	173	15.2.6 气泡管式	183
13.3.5 红外线辐射温度计	173	15.3 气体密度和比重的测量	183
13.3.6 比色温度计(双波段)	173	15.3.1 气体天平式	184
13.3.7 利用热辐射的温度计的校正	173	15.3.2 出流速度式	184
13.3.8 其他非接触式温度测量	173	15.3.3 其他	184
14. 粘度的测量	174	16. 湿度的测量	185
14.1 概述	174	16.1 概述	185
14.1.1 粘度和运动粘度	174	16.2 各种测量仪器	185
14.1.2 牛顿流体和非牛顿流体	174	16.2.1 阿马达斯特干湿计	185
14.1.3 流体粘度随温度和压力而变化	175	16.2.2 阿司曼通风温湿度计	186
14.1.4 粘度计的分类及其主要特点	175	16.2.3 毛发湿度计	186
14.1.5 校正粘度计的标准液	175	16.2.4 电子湿度计	186
14.2 牛顿流体的粘度测量	175	16.2.5 仪表用湿度检测变换器	186
14.2.1 毛细管粘度计	175	16.2.6 显湿凝胶	186
14.2.2 旋转粘度计	177	16.2.7 露点计	186
14.2.3 落体粘度计	178	17. 污染度的 测量	187
14.2.4 振动粘度计	178		

III. 工作流体篇

1. 液压油	188	1.6.1 基油	204
1.1 对液压油性质的要求	188	1.6.2 添加剂	205
1.2 液压油的种类	188	1.7 R-O 液压油	206
1.3 液压油的特性	188	1.8 耐磨液压油	207
1.3.1 一般特性	188	1.9 高粘度指数液压油	208
1.3.2 物理特性	191	1.10 O/W 乳化液压油	209
1.3.3 实用性能	196	1.11 W/O 乳化液压油	209
1.4 液压油的粘度分类	203	1.12 水-乙二醇液压油	210
1.5 液压油的适宜粘度	203	1.13 磷酸酯液压油	211
1.6 液压油的成分	204	1.14 特殊合成液压油	212

1.15 电粘性油	213	2. 空气和其他气体	226
1.15.1 电粘性现象	213	2.1 空气和其他气体的物理特性	226
1.15.2 电粘性效应的一些特性	213	2.1.1 密度	226
1.15.3 电粘性油的组成	214	2.1.2 粘度	226
1.16 液压油的选择方法	215	2.1.3 比热	226
1.17 液压油的污染管理	215	2.1.4 导热	227
1.17.1 污染的原因	215	2.1.5 压缩率	227
1.17.2 污染度的测定方法	215	2.2 干空气和湿空气	228
1.17.3 污染的影响	218	2.2.1 干空气的成分	228
1.17.4 污染的防止方法	220	2.2.2 空气中的水分	228
1.18 液压油的油温管理	221	2.2.3 空气的状态方程	229
1.18.1 油温的影响	221	2.3 空气的污染管理	230
1.18.2 合适油温	221	2.3.1 污染的原因	230
1.19 液压油的性状管理	222	2.3.2 污染度的测量方法	230
1.19.1 使用中液压油的性状变化	222	2.3.3 污染的影响	231
1.19.2 液压油的交换基准	222	2.3.4 污染的防止方法	232
1.20 液压油的使用和废油处理注意事项	223		
		IV. 元 件 篇	
IV_A. 液压元件	233	2.1.1 液压控制阀的作用	233
1. 液压泵	233	2.1.2 液压控制阀的分类	234
1.1 概述	233	2.2 阀元件的特性	285
1.1.1 泵的机能、分类和特征	233	2.2.1 滑阀	285
1.1.2 特性	233	2.2.2 提动阀	294
1.1.3 使用注意事项	248	2.2.3 喷嘴挡板阀	300
1.1.4 试验方法	249	2.2.4 其他阀	302
1.2 齿轮泵	251	2.3 压力控制阀	303
1.2.1 分类和结构	251	2.3.1 溢流阀	303
1.2.2 特性	254	2.3.2 顺序阀	308
1.3 叶片泵	258	2.3.3 卸荷阀	310
1.3.1 分类和结构	258	2.3.4 平衡阀	311
1.3.2 特性	261	2.3.5 减压阀	312
1.3.3 使用注意事项	266	2.3.6 电磁比例压力控制阀	314
1.4 柱塞泵	267	2.3.7 压力表保护阀	314
1.4.1 分类和结构	267	2.3.8 冲击衰减阀	315
1.4.2 特性	270	2.4 流量控制阀	316
1.4.3 使用注意事项	277	2.4.1 节流阀	316
1.5 螺杆泵	278	2.4.2 单向节流阀	316
1.5.1 分类和结构	278	2.4.3 具有压力补偿的调速阀	317
1.5.2 伊莫泵	279	2.4.4 分流阀	321
2. 液压控制阀	283	2.4.5 流量控制阀的应用例	322
2.1 概述	283	2.5 方向控制阀	323
		2.5.1 换向阀	323

2.5.2 比例式流量方向控制阀	327	5.2 喷嘴挡板式伺服马达	371
2.5.3 减速阀	328	5.2.1 原理及构造	371
2.5.4 单向阀	328	5.2.2 动特性	371
2.5.5 液控单向阀	329	5.3 射流管式伺服马达	373
2.5.6 充液阀	329	5.3.1 原理及构造	373
2.5.7 梭阀	330	5.3.2 动特性	374
3. 液压执行元件	331	5.4 滑阀式伺服马达	374
3.1 概述	331	5.4.1 构造及原理	375
3.1.1 性能和分类	331	5.4.2 动特性	375
3.1.2 特性	331	5.5 电液伺服阀	379
3.1.3 应用注意事项	335	5.5.1 原理	379
3.1.4 试验方法	336	5.5.2 分类及形式	382
3.2 齿轮马达	337	5.5.3 力矩马达(力马达)	383
3.2.1 分类及构造	337	5.5.4 静特性	383
3.2.2 特性	338	5.5.5 动特性	386
3.3 叶片马达	340	5.5.6 伺服阀的选择和使用中应注意的问题	388
3.3.1 分类及构造	340	5.6 电液脉冲马达	389
3.3.2 特性	343	5.6.1 结构原理	389
3.3.3 使用注意事项	344	5.6.2 特性及选用	390
3.4 柱塞马达	345	5.7 数字式执行元件	393
3.4.1 分类及构造	345	5.7.1 直线运动式绝对值数字执行元件	393
3.4.2 特性	347	5.7.2 增量式数字执行器	394
3.4.3 使用注意事项	350	5.8 液压传动装置(参见 IV _A -4)	394
3.5 摆动液压马达	350	6. 液压泵站	395
3.5.1 分类及构造	350	6.1 概述	395
3.5.2 机构的特性	351	6.1.1 构成	395
3.5.3 性能	352	6.1.2 电动机与液压泵的联接	395
3.5.4 使用上的注意事项	353	6.1.3 液压泵站输出功率的确定	396
3.6 液压缸	353	6.1.4 液压泵站的噪声问题	397
3.6.1 分类及构造	353	6.2 油箱	397
3.6.2 特性	359	7. 液压附件	398
3.6.3 安装的注意事项	360	7.1 蓄能器	398
3.6.4 使用注意事项	362	7.1.1 概说	398
4. 液压传动装置	364	7.1.2 特性	399
4.1 分类及构造	364	7.1.3 使用例	404
4.2 静特性	365	7.2 滤油器	404
4.2.1 纯液压传动装置的基本关系式	365	7.2.1 概说	404
4.2.2 纯液压传动装置的静特性	365	7.2.2 性能及试验	407
4.2.3 液压-机械式传动装置的静特性	366	7.2.3 选用	408
4.3 动特性(泵控制)	369	7.2.4 使用举例	408
5. 伺服用液压元件	370		
5.1 伺服马达概述	370		

7.3 热交换器.....	410	2.4 流量控制阀.....	445
7.3.1 概说.....	410	2.4.1 节流阀.....	445
7.3.2 油冷却器及加热器的种类和构造.....	413	2.4.2 速度控制阀.....	446
7.3.3 应用举例.....	414	2.4.3 快速排气阀.....	447
7.4 增压器.....	414	2.4.4 排气节流阀.....	447
7.4.1 构造.....	415	2.5 方向控制阀.....	447
7.4.2 气-液增压器.....	415	2.5.1 概说.....	447
7.4.3 液-液增压器.....	416	2.5.2 电磁阀(电磁换向阀).....	449
7.4.4 超高压及液体.....	416	2.5.3 人工控制式阀.....	453
7.4.5 高压部分的构造.....	416	2.5.4 气压控制阀.....	455
7.5 压力继电器.....	417	2.5.5 机械操纵阀.....	456
7.5.1 概说.....	417	2.6 气动伺服阀.....	457
7.5.2 应用例.....	418	2.6.1 概说.....	457
7.6 缓冲元件.....	418	2.6.2 喷嘴挡板系统的静特性.....	457
7.6.1 液压消声器.....	418	2.6.3 喷嘴挡板系统的动特性.....	458
7.6.2 液压缓冲器.....	419	2.6.4 气动伺服阀的例子.....	459
IV_B. 气动元件.....	423	2.7 其他阀.....	459
1. 气源.....	423	2.7.1 集装式阀.....	459
1.1 概述.....	423	2.7.2 单向阀.....	460
1.2 叶轮型压缩机.....	424	2.7.3 梭阀.....	461
1.2.1 离心式压缩机与轴流式压缩机.....	424	2.7.4 快速排气阀.....	461
1.2.2 离心式压缩机与轴流式压缩机的 比较.....	424	2.7.5 复合程序阀.....	462
1.3 容积型压缩机.....	425	3. 气动执行元件.....	463
1.3.1 往复式压缩机.....	425	3.1 概述.....	463
1.3.2 滑片式压缩机.....	426	3.2 气缸.....	463
1.3.3 螺杆式压缩机.....	427	3.2.1 结构和性能.....	463
1.3.4 罗茨式鼓风机.....	428	3.2.2 结构和设计.....	473
1.4 压缩机和风机的空气功率(指示功 率).....	429	3.2.3 使用和维护.....	476
1.5 真空泵.....	429	3.3 摆动式气动执行元件.....	477
1.6 气源的构成.....	432	3.3.1 概说.....	477
2. 气动控制阀.....	433	3.3.2 叶片式摆动气马达.....	478
2.1 概述.....	433	3.3.3 螺杆式摆动气马达.....	478
2.2 阀的结构和特性.....	435	3.3.4 齿轮、齿条式摆动气马达.....	478
2.2.1 滑阀.....	435	3.3.5 曲柄式摆动气马达.....	478
2.2.2 提动阀.....	437	3.3.6 使用注意事项.....	479
2.2.3 滑板阀.....	440	3.4 气马达.....	479
2.3 压力控制阀.....	441	3.4.1 概说.....	479
2.3.1 安全阀、溢流阀.....	441	3.4.2 齿轮式气马达.....	479
2.3.2 减压阀.....	442	3.4.3 叶片式气马达.....	479
2.3.3 顺序阀.....	444	3.4.4 柱塞式气马达.....	479
		3.5 其他气动执行元件.....	480
		3.5.1 概说.....	480
		3.5.2 波纹管.....	480

3.5.3 膜片.....	481	1.3.2 射流元件的缺点.....	503
3.5.4 袋形膜片.....	481	1.3.3 气动逻辑元件的优缺点.....	503
4. 气动辅件.....	482	1.4 标准术语和图形符号.....	503
4.1 概述.....	482	1.4.1 射流技术标准术语.....	503
4.2 冷却器和气罐.....	482	1.4.2 射流技术标准图形符号.....	507
4.2.1 概说.....	482	2. 流体元件.....	508
4.2.2 结构和选择.....	482	2.1 射流元件.....	508
4.2.3 有关规定.....	483	2.1.1 附壁式元件.....	508
4.3 分水过滤器.....	484	2.1.2 紊流式元件.....	511
4.3.1 概说.....	484	2.1.3 偏流型元件.....	513
4.3.2 分类、结构和特性.....	484	2.1.4 对冲型元件.....	516
4.4 自动排水器.....	486	2.1.5 涡流型元件.....	518
4.4.1 概说.....	486	2.1.6 无源元件.....	520
4.4.2 分类、结构和工作原理.....	487	2.2 气动逻辑元件.....	522
4.5 空气干燥器.....	487	2.2.1 膜片式元件.....	522
4.5.1 概说.....	487	2.2.2 滑阀式逻辑元件.....	524
4.5.2 分类和特征.....	488	2.2.3 其他逻辑元件.....	526
4.5.3 结构、工作原理和特性.....	488	3. 辅助元件.....	528
4.5.4 现状和存在问题.....	492	3.1 概述.....	528
4.6 油雾器.....	492	3.2 传感器.....	528
4.6.1 概说.....	492	3.2.1 背压式传感器.....	528
4.6.2 分类、结构、工作原理和特性.....	492	3.2.2 受流式传感器.....	529
4.7 消声器.....	495	3.2.3 受压式传感器.....	529
4.7.1 概说.....	495	3.2.4 反射式传感器.....	530
4.7.2 减少噪声的目的.....	495	3.2.5 其他传感器.....	531
4.7.3 分类.....	496	3.2.6 回转速度的检测.....	531
4.7.4 结构和特性.....	496	3.3 放大器.....	531
4.7.5 存在问题和将来展望.....	498	3.3.1 放大器的选择条件.....	532
4.8 压力继电器.....	498	3.3.2 实际应用的放大器.....	532
4.8.1 分类.....	498	3.4 执行元件.....	533
4.8.2 结构和工作原理.....	500	3.4.1 模拟式执行元件.....	533
4.8.3 压力继电器的应用.....	501	3.4.2 数字式执行元件.....	533
IV_C. 射流技术.....	502	3.5 转换器.....	534
1. 概论.....	502	3.5.1 气-液转换器.....	535
1.1 定义.....	502	3.5.2 电-气、气-电转换器.....	535
1.2 射流技术的发展史.....	502	3.6 其他辅助元件.....	536
1.2.1 射流元件的诞生.....	502	3.6.1 指示器.....	536
1.2.2 国外的发展情况.....	502	3.6.2 无油式压缩机.....	537
1.2.3 日本的情况.....	503	IV_D. 管道元件和密封.....	539
1.2.4 气动逻辑元件.....	503	1. 管道连接.....	539
1.3 优缺点.....	503	1.1 管道连接工作中的注意事项.....	539
1.3.1 射流元件的优点.....	503	1.1.1 螺纹连接.....	539

1.1.2 卡套式接头连接	539	3.3 塑料管	550
1.1.3 扩口式接头连接	540	3.3.1 结构	550
1.1.4 焊接连接	540	3.3.2 材料	550
1.1.5 软管连接	540	3.3.3 强度	550
2. 管道和管接头	541	3.3.4 工作流体	550
2.1 管道	541	3.3.5 尺寸	550
2.1.1 管路用导管的种类	541	3.3.6 接头	550
2.1.2 管路用筒管的种类	541	3.3.7 管道连接的注意事项	550
2.1.3 内径	542	3.3.8 有关标准	550
2.1.4 壁厚	542	3.4 软管组件的使用注意事项	550
2.2 管接头	543	4. 集成化	550
2.2.1 连接液压管道用的高压接头应具备的条件	543	5. 密封	551
2.2.2 种类	543	5.1 概述	551
2.2.3 材料	543	5.1.1 密封装置、静密封和动密封的定义	551
2.2.4 各种形式的管接头及其特性	543	5.1.2 密封装置的种类	551
2.2.5 铰链式接头(回转接头)	547	5.1.3 密封原理	552
2.2.6 气动管路用管接头	547	5.2 密封装置的材料	556
3. 软管组件	547	5.2.1 橡胶的种类	556
3.1 软管	547	5.2.2 塑料的种类	556
3.1.1 结构	547	5.2.3 其他材料	557
3.1.2 软管的材料	547	5.3 密封部分的设计和使用注意点	561
3.1.3 软管的强度	548	5.3.1 密封材料的选择	561
3.1.4 软管的尺寸	548	5.3.2 压实式密封装置	561
3.1.5 有关的标准	548	5.3.3 唇边式动密封	561
3.2 软管接头	549	5.3.4 与防尘圈并用	565
3.2.1 结构	549	5.3.5 密封件保管中的注意事项	565
3.2.2 材料	550		

V. 回路和应用篇

V_A. 液压回路及其应用	566	1.3.5 电液伺服系统特性的表达	574
1. 有关基础事项	566	1.4 液压伺服机构的设计步骤	575
1.1 概述	566	1.5 使用液压的注意事项	579
1.2 液压回路基础	566	1.5.1 概说	579
1.2.1 液压回路的基本构成	566	1.5.2 运转维护	579
1.2.2 液压系统的设计步骤	567	1.5.3 故障判断与对策	581
1.3 液压伺服的基础	570	2. 压力、力、力矩的控制	582
1.3.1 液压伺服机构及其分类	570	2.1 概述	582
1.3.2 液压伺服机构具体构成举例	571	2.2 供油压力的控制	583
1.3.3 液压伺服机构的构成及各部分的特性	572	2.2.1 概说	583
1.3.4 液压伺服系统特性的表达	573	2.2.2 基本回路	584
		2.2.3 应用举例	585

2.3 卸载回路.....	586	3.6.1 概说.....	613
2.3.1 概说.....	586	3.6.2 基本回路.....	614
2.3.2 基本回路.....	586	3.6.3 应用举例.....	615
2.3.3 应用举例.....	588	4. 位置、角度的控制	616
2.4 减压回路.....	589	4.1 概述.....	616
2.4.1 概说.....	589	4.2 定位控制.....	616
2.4.2 基本回路.....	589	4.2.1 概说.....	616
2.4.3 应用举例.....	590	4.2.2 基本回路.....	616
2.5 增压回路.....	590	4.2.3 应用举例.....	619
2.5.1 概说.....	590	4.3 跟踪控制.....	621
2.5.2 基本回路.....	590	4.3.1 概说.....	621
2.5.3 应用举例.....	591	4.3.2 基本回路.....	623
2.6 保压回路.....	592	4.3.3 应用举例.....	626
2.6.1 概述.....	592	4.4 位置保持回路.....	630
2.6.2 基本回路.....	592	4.4.1 概说.....	630
2.6.3 应用举例.....	593	4.4.2 基本回路.....	630
2.7 力、力矩的控制	594	4.4.3 应用举例.....	632
2.7.1 概说.....	594	5. 同步控制.....	632
2.7.2 基本回路.....	595	5.1 概述.....	632
2.7.3 应用举例.....	596	5.2 开环同步控制.....	633
2.8 压力、力或力矩反馈控制	596	5.2.1 概说.....	633
2.8.1 概说.....	596	5.2.2 基本回路.....	633
2.8.2 基本回路.....	597	5.2.3 应用举例.....	635
2.8.3 应用举例.....	598	5.3 反馈同步控制.....	636
3. 流量、速度、角速度的控制.....	599	5.3.1 概述.....	636
3.1 概述.....	599	5.3.2 基本回路.....	637
3.2 恒速回路.....	600	5.3.3 应用举例.....	639
3.2.1 概说.....	600	6. 顺序控制.....	640
3.2.2 基本回路.....	600	6.1 概述.....	640
3.2.3 应用举例.....	602	6.2 顺序回路.....	640
3.3 变速回路.....	603	6.2.1 概说.....	640
3.3.1 概说.....	603	6.2.2 基本回路.....	640
3.3.2 基本回路.....	604	6.2.3 应用举例.....	644
3.3.3 应用举例.....	605	6.3 切换回路.....	646
3.4 速度反馈控制.....	606	6.3.1 概说.....	646
3.4.1 概说.....	606	6.3.2 基本回路.....	647
3.4.2 基本回路.....	606	6.3.3 应用举例.....	648
3.4.3 应用举例.....	608	7. 功率的控制.....	650
3.5 减速制动回路.....	609	7.1 概述.....	650
3.5.1 概说.....	609	7.2 恒功率回路.....	650
3.5.2 基本回路.....	610	7.2.1 概说.....	650
3.5.3 应用举例.....	612	7.2.2 基本回路.....	650
3.6 防止冲击回路.....	613		