

QDGCSC

气动工程手册

《气动工程手册》编委会 编

国防工业出版社

气动工程手册

《手册》编委会 编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

气动工程手册/《气动工程手册》编委会编.-北京:
国防工业出版社,1995.8
ISBN 7-118-01477-X

I. 气… I. 气… III. 气动技术-手册 IV. TH138-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 07968 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 100044)

北京市顺义李史山胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 68½ 1601 千字
1995 年 8 月第 1 版 1995 年 8 月北京第 1 次印刷
印数:1—4000 册 定价:100.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《手册》编委会

主 副 委	任 主 任 员	张志英					
		吴 筠	陈启复				
		王少怀	杨尔庄	徐炳辉	杨立成		
		李建藩	斯方华	李 坚	王耀驹	徐文灿	

《手册》作者

主 副 编 写 人 员	编	吴 筠					
	主	陈启复					
	编	第1篇	李建藩	陈登武			
		第2篇	王孝华				
		第3篇	杨立成	江 涛	盛永才		
			郦鸣阳	陆鑫盛	周 洪	李世权	
		第4篇	吴士良	陈启复	李建藩		
		第5篇	张建嵩	陈启复	陆鑫盛		
		第6篇	王庆鹤				
		第7篇	印永谊	斯方华			
	第8篇	温敬衡	刘 宁	杨燧然			
	第9篇	黄咏梅	陈启复				
	第10篇	徐炳辉	陈登武				

前 言

气压传动是工业自动化中的重要技术,其特点是传动速度快、动作灵敏、多个传动系统可共用同一气源、易于实现自动化、成本低廉,特别是它没有任何污染、维护简单,几乎可在所有工业部门中使用,因而气压传动技术在国内外发展很快。随着气动元件的精密化和小型化,在国民经济各部门及国防工业中的应用越来越广泛。

为了适应我国工业实现自动化改造、提高生产率及经济效益的迫切需要,我们组织了全国有关科研单位、生产企业及高等院校的专家、技术人员,共同编写了这部《手册》。

该书是目前国内第一部最大型、内容最全面的气动技术专业工具书,包含了现代气压传动最新技术的各个方面。内容以实用为主,同时注意其系统性和一定的理论基础。由于气动元件的更新换代较快,同时各类元件的型号、规格及尺寸目前尚无统一的标准,故《手册》中对这些元件的型号、规格未予编入。

该书在编写过程中,得到中国液压气动密封件工业协会气动专业分会及分会各成员单位的大力支持和协助,使该书能顺利完成,在此谨向他们致以深切的谢意。

由于我们编写水平有限,书中错漏之处欢迎读者批评指正。

编 者

内 容 简 介

该书是目前国内第一部最大型的气动技术专业工具书,包含现代气压传动技术的各个方面,各篇内容注重实用,包括:气动技术基础;空压机的结构组成、产品系列、选用原则、使用维修;气源设计及管道布置;各类控制元件的原理、结构、设计计算、选用原则、使用维修、气动执行元件的结构、技术要求、设计计算、产品系列、应用举例;气源系统的组成及处理;气动回路原理及设计;气动机构及系统的应用;气动元件及系统测试技术;气动技术标准等。可供气动技术用户的设计、设备选用、使用维修人员、气动元件生产企业的设计人员、科研机构及高等工院校和中等专业学校师生参考。

ISBN 7-118-01477-X/TH · 108

定价:100.00 元

目 录

第1篇 气动技术基础

1 概述	(1)
1.1 气动技术的发展概况	(1)
1.2 气动技术的优缺点	(1)
1.3 气动技术的发展方向	(2)
2 气动系统的组成及元件的基本参数	(3)
2.1 气动系统的组成和分类	(3)
2.2 气动元件的基本参数	(4)
3 空气的性质	(8)
3.1 空气和其他气体的物理性质	(8)
3.2 气体的状态变化	(12)
3.3 干空气与湿空气	(13)
4 空气的热力过程	(15)
4.1 闭口系统热力学第一定律能量方程	(15)
4.2 焓和熵	(17)
4.3 空气的热力过程	(19)
4.4 开口系统能量平衡方程式	(20)
4.5 空压机的理论功耗和气动马达的输出功率	(22)
5 气动系统中的气体流动	(25)
5.1 可压缩气体的定常管内流动	(25)
5.2 气体通过收缩喷嘴或小孔的流动	(27)
5.3 变质量系统的热力过程	(29)
5.4 压缩空气流经管道系统时的能量损失	(34)
5.5 气阻和气容	(40)
6 气动自动控制理论基础及逻辑运算	(44)
6.1 线性分析的理论基础	(44)
6.2 气动回路的逻辑运算	(66)
参考文献	(70)

第2篇 空气压缩机

1 气源系统的组成	(71)
1.1 空气过滤器	(71)
1.2 冷却器	(72)
1.3 油水分离器(或称液气分离器)	(76)
1.4 干燥器	(76)
1.5 贮气罐	(78)
2 空气压缩机的主要类别及工作原理	(78)
2.1 空气压缩机的分类	(78)
2.2 几种常用空气压缩机	(79)
2.3 国产空气压缩机系列产品	(90)
2.4 空气压缩机的选用原则	(91)
2.5 压缩空气源(站)的设计	(100)
2.6 压缩机站房内气源管道的布置及附件	(108)
2.7 空气压缩机的使用维修知识	(111)

第3篇 控制元件

1 概述	(115)
1.1 控制元件的作用	(115)
1.2 控制元件的分类	(115)
2 压力控制阀	(116)
2.1 压力控制阀的分类	(116)
2.2 减压阀	(116)
2.3 溢流阀(安全阀)	(134)
2.4 顺序阀	(140)
3 流量控制阀	(143)
3.1 节流阀的节流原理	(143)
3.2 节流阀的特性	(144)
3.3 节流阀的结构与种类	(146)
3.4 流量控制阀的选择与使用	(151)
4 方向控制阀	(152)
4.1 方向阀的分类	(152)
4.2 换向阀的控制方式	(157)
4.3 换向阀的密封结构及密封设计	(169)
4.4 滑柱式换向阀的设计计算	(200)

4.5	截止式换向阀的设计计算	(212)
4.6	电磁阀的设计计算	(225)
4.7	单向型方向阀	(253)
4.8	方向阀的技术性能指标及选用原则	(257)
4.9	方向阀的使用与维护	(266)
5	伺服/比例控制阀	(268)
5.1	概述	(268)
5.2	电—机械转换器	(270)
5.3	气动放大器	(277)
5.4	气动放大器特性的一般分析	(282)
5.5	典型电—气比例阀、伺服阀的工作原理	(288)
5.6	电—气比例伺服系统的应用实例	(294)
6	气动逻辑元件	(297)
6.1	概述	(297)
6.2	高压截止式气动逻辑元件	(303)
6.3	其他形式气动逻辑元件	(315)
6.4	元件的性能及使用	(320)
7	气动传感器	(325)
7.1	概述	(325)
7.2	各种常用的气动传感器	(327)
7.3	气动传感器的性能及使用	(333)
8	射流元件	(337)
8.1	数字式元件	(338)
8.2	模拟式元件	(342)
8.3	应用举例	(343)
9	连续控制元件	(344)
9.1	概述	(344)
9.2	元件的分类及功能	(345)
9.3	气动基地式调节器	(350)
9.4	气动单元组合调节器	(351)
9.5	气动集装式调节器简介	(359)
	参考文献	(360)

第4篇 气动执行元件

1	概述	(361)
2	气缸	(363)
2.1	气缸的典型结构、分类和特性分析	(363)
2.2	气缸结构的联接形式	(377)

2.3	密封与防尘装置	(381)
2.4	缓冲装置	(396)
2.5	气缸主要零件的结构、材料及技术要求	(398)
2.6	气缸基本参数	(402)
2.7	气缸的设计和计算	(418)
2.8	气缸的选择、安装使用与维护保养	(428)
2.9	气缸的应用举例	(430)
2.10	气缸的种类及系列产品	(432)
3	摆动马达	(523)
3.1	概述	(523)
3.2	叶片式摆动马达	(523)
3.3	活塞式摆动马达	(528)
3.4	组合式摆动马达	(539)
3.5	摆动马达应用实例	(540)
4	气马达	(541)
4.1	概述	(541)
4.2	叶片式气马达	(544)
4.3	活塞式气马达	(554)
4.4	齿轮式气马达	(561)
5	其他气动执行元件	(562)
5.1	概述	(562)
5.2	波纹管	(562)
5.3	气体弹簧	(564)
6	气缸系统的动特性	(567)
6.1	气缸系统动特性的主要参数和气缸活塞的运动规律	(567)
6.2	气缸系统动特性的数学模型	(571)
6.3	双作用气缸系统动特性及动作时间计算图表	(574)
6.4	主要参数对初始有压差双作用气缸系统动作时间的 影响和动作时间的近似计算	(575)
6.5	气缸行程的缓冲与阻尼方式	(580)

第5篇 气源处理

1	对气源系统的要求	(583)
1.1	压缩空气的质量要求	(583)
1.2	工作压力及流量的要求	(586)
2	压缩空气净化机理与过滤材料	(588)
2.1	压缩空气的净化机理	(588)

2.2	压缩空气的过滤材料	(590)
3	压缩空气净化处理设备和装置	(605)
3.1	概述	(605)
3.2	后冷却器	(605)
3.3	贮气罐	(607)
3.4	干燥器	(608)
3.5	过滤器	(622)
3.6	自动排污器	(635)
4	油雾器	(641)
4.1	概述	(641)
4.2	雾化原理	(641)
4.3	分类、结构、工作原理及特性	(642)
4.4	参数计算	(648)
4.5	选用、安装与维护	(649)
5	气源处理二联件和三联件	(650)
5.1	概述	(650)
5.2	典型结构与工作原理	(651)
6	气动系统附件	(652)
6.1	消声器	(652)
6.2	压力继电器	(653)
6.3	气电转换器	(655)
6.4	真空吸盘	(656)
6.5	显示器	(656)
6.6	管接头	(659)

第6篇 气动回路

1	概述	(662)
2	气压传动基本回路及常用回路	(663)
2.1	压力控制回路	(663)
2.2	换向控制回路	(664)
2.3	速度控制回路	(667)
2.4	力控制回路	(671)
2.5	力矩控制回路	(672)
2.6	冲击力控制回路	(673)
2.7	信号放大回路	(675)
2.8	同步回路	(675)
2.9	安全保护回路	(677)
2.10	供气选择回路	(679)

2.11	往复回路	(679)
2.12	回路与节能	(686)
3	逻辑回路	(687)
3.1	基本逻辑回路	(687)
3.2	复合逻辑回路	(688)
3.3	记忆回路	(690)
3.4	延时回路	(694)
3.5	一冲(单稳)回路	(695)
3.6	振荡回路	(696)
3.7	比较回路	(696)
4	顺序控制回路	(697)
4.1	双缸典型回路	(698)
4.2	三缸典型回路	(700)
4.3	多缸顺序回路的 X—D 线图设计法	(703)
4.4	步进顺序器回路	(720)
5	气动回路设计中应注意的问题	(727)
6	比例及伺服回路	(729)
6.1	比例控制回路	(730)
6.2	比例积分控制回路	(731)
6.3	比例积分微分控制回路	(733)
7	电—气联合控制回路	(734)
7.1	继电器—接触器控制	(734)
7.2	微型计算机控制	(737)
7.3	可编程序控制器	(742)
	参考文献	(754)

第7篇 气动系统及应用

1	气动系统设计	(755)
1.1	概述	(755)
1.2	气动系统设计程序	(757)
2	气动机构的应用	(787)
2.1	概述	(787)
2.2	直线运动机构	(787)
2.3	回转运动机构	(790)
2.4	间歇运动机构	(793)
2.5	自动夹紧机构	(795)
2.6	其他气动自动机构	(799)
2.7	复合运动机构	(804)

3 气动系统的应用	(806)
3.1 概述	(806)
3.2 液面自动控制装置气动系统	(807)
3.3 自动打印机气动系统	(807)
3.4 带材移动中的气动纠偏控制系统	(809)
3.5 尺寸自动分选机气动系统	(810)
3.6 气缸振动装置气动系统	(810)
3.7 自动定尺切断机气动系统	(811)
3.8 液体自动定量灌装气动系统	(812)
3.9 气动张力控制系统	(813)
参考文献	(814)

第8篇 测试技术

1 气源净化参量测试	(815)
1.1 概述	(815)
1.2 含水量测量	(816)
1.3 含油量测量	(819)
1.4 含尘量测量	(821)
1.5 油雾化程度测量	(824)
2 工作介质参数的测量	(825)
2.1 压力测量	(825)
2.2 流速测量	(834)
2.3 流量测量	(840)
2.4 温度测量	(852)
3 机械参量测量	(860)
3.1 位移测量	(860)
3.2 速度测量	(865)
3.3 加速度测量	(869)
3.4 力的测量	(869)
3.5 扭矩测量	(874)
3.6 振动测量	(877)
4 噪声测量	(881)
4.1 概述	(881)
4.2 噪声的测试方法	(884)
4.3 常用噪声测量仪器	(888)
5 基本电量的测量、记录和转换	(891)
5.1 概述	(891)
5.2 基本电量测量仪器	(894)

5.3 数字频率计 (899)

5.4 笔式记录仪 (900)

5.5 自动平衡式记录仪 (901)

5.6 光线示波器 (902)

5.7 磁带记录仪 (904)

5.8 模拟、数字转换器 (906)

6 误差分析及数据处理 (910)

6.1 基本概念 (910)

6.2 有效数字及其计算法则 (911)

6.3 误差的来源及分类 (912)

6.4 随机误差的特性及测量数列的精密度 (912)

6.5 等精度测量的最可信赖值及其误差分析 (915)

6.6 不等精度测量的最可信赖值及其误差分析 (917)

6.7 间接测量的最可信赖值及其误差分析 (918)

6.8 直接测量数据处理的公式及举例 (919)

6.9 间接测量数据处理的公式及举例 (922)

6.10 系统误差分析 (925)

6.11 异常数据的取舍 (926)

6.12 测量数据表示法 (927)

6.13 试验数据处理的一般步骤 (931)

7 计算机辅助测试系统 (931)

7.1 概述 (931)

7.2 辅助测试系统的组成 (931)

参考文献 (934)

第9篇 技术标准

1 概述 (935)

2 通用基础标准 (936)

2.1 GB786—76 液压及气动图形符号 (936)

2.2 GB2346—80 液压气动系统及元件——公称压力系列 (936)

2.3 GB2878—81 液压气动系统及元件——油(气)口连接螺纹尺寸 (936)

2.4 GB3452.1—82 液压气动用O形橡胶密封圈尺寸系列及公差 (937)

2.5 GB7932—87 气动系统通用技术条件 (937)

2.6 JB/Z347—89 气动元件产品型号编制方法 (937)

2.7 JB/JQ209006—88 气动元件通用技术条件 (938)

3 控制元件标准 (940)

3.1 GB7940—87 五气口气动方向控制阀安装面 (940)

3.2 ZBJ20 002—89 气动控制阀产品分类 (940)

3.3	JB/LQ20753—86 气动——三通换向阀技术指标	(945)
3.4	JB/LQ20754—86 气动——四通、五通换向阀技术指标	(945)
3.5	JB/LQ20703—86 气动——换向阀试验方法	(945)
3.6	JB/JQ207003—88 气动——三通换向阀产品质量分等	(950)
3.7	JB/JQ207004—88 气动——四通、五通换向阀产品质量分等	(950)
3.8	JB/LQ20751—86 气动——人力与机械控制换向阀技术指标	(954)
3.9	JB/LQ20701—86 气动——人力与机械控制换向阀试验方法	(954)
3.10	JB/JQ207008—88 气动——人力、机械控制换向阀产品质量分等	(956)
3.11	JB/LQ20755—86 气动——单向节流阀技术指标	(958)
3.12	JB/LQ20705—86 气动——单向节流阀试验方法	(958)
3.13	JB/JQ207007—88 气动——单向节流阀产品质量分等	(961)
3.14	JB/LQ20752—86 气动——空气减压阀技术指标	(962)
3.15	JB/LQ20702—86 气动——空气减压阀试验方法	(964)
3.16	JB/JQ209004—88 气动——空气减压阀产品质量分等	(966)
3.17	JB/LQ20856—86 气动——逻辑元件技术指标	(966)
3.18	JB/LQ20806—86 气动——逻辑元件试验方法	(966)
3.19	JB/JQ208001—88 气动——逻辑控制元件技术条件	(972)
3.20	JB/JQ207001—87 气动——梭阀技术条件	(976)
3.21	JB/JQ207002—87 气动——快速排气阀技术条件	(979)
3.22	JB/JQ207005—88 气动——排气节流阀技术条件	(983)
3.23	JB/JQ207006—88 气动——排气消声节流阀技术条件	(985)
4	执行元件标准	(988)
4.1	GB2348—80 液压气动系统及元件——缸径及活塞杆外径系列	(988)
4.2	GB2349—80 液压气动系统和元件——缸活塞行程系列	(988)
4.3	GB2350—80 液压气动系统及元件——活塞杆螺纹型式和尺寸系列	(989)
4.4	GB7938—87 液压缸及气缸——公称压力系列	(989)
4.5	GB9094—88 液压缸、气缸安装尺寸和安装型式、代号	(989)
4.6	JB1444—74 冶金设备用基型气缸型式与尺寸	(989)
4.7	JB1445—74 冶金设备用中间摆动式气缸型式与尺寸	(989)
4.8	JB1446—74 冶金设备用脚架式气缸型式与尺寸	(989)
4.9	JB1447—74 冶金设备用法兰固定式气缸型式与尺寸	(989)
4.10	JB1448—74 冶金设备用尾部悬挂式气缸型式与尺寸	(989)
4.11	ZBJ20001—88 气缸产品分类方法	(990)
4.12	JB/Z348—89 气缸产品分类——产品划分细则	(990)
4.13	JB/LQ20651—86 气动——气缸技术指标	(992)
4.14	JB/LQ20651—86 气动——气缸试验方法	(992)
4.15	JB/JQ206001—87 气动——气缸产品质量分等	(994)
4.16	JB/JQ206032—88 气动——小型气缸技术条件	(997)
4.17	JB/JQ20603—88 气动——薄型气缸技术条件	(999)

4.18	JB/JQ206004—88 气动——气液阻尼缸技术条件	(1002)
4.19	JB/JQ206005—88 气动——带阀气缸技术条件	(1005)
4.20	JB/JQ206006—88 气动——叶片式摆动马达技术条件	(1008)
5	气源处理元件与附件标准	(1011)
5.1	GB7937—87 液压气动用管接头及其附件——公称压力系列	(1011)
5.2	GB2351—80. 液压气动系统及元件——软管公称内径系列	(1011)
5.3	ZBJ20005—89 气动辅助元件产品分类	(1011)
5.4	JB/LQ20854—86 气动——空气过滤器技术指标	(1011)
5.5	JB/LQ20804 气动——空气过滤器试验方法	(1013)
5.6	JB/JQ209003—88 气动——空气过滤器产品质量分等	(1016)
5.7	JB/LQ20855—86 气动——油雾器技术指标	(1019)
5.8	JB/LQ20805—86 气动——油雾器试验方法	(1020)
5.9	JB/JQ209005—88 气动——油雾器产品质量分等	(1022)
5.10	JB/LQ20851—86 气动——消声器技术指标	(1025)
5.11	JB/LQ20801—86 气动——消声器试验方法	(1025)
5.12	JB/JQ209007—88 气动——消声器产品质量分等	(1029)
5.13	JB/JQ209001—87 气动——空气过滤减压油雾组合件技术条件	(1030)
5.14	JB/JQ209009—88 气动——空气过滤减压油雾组合件产品质量分等	(1035)
5.15	JB/JQ209002—87 气动空气过滤减压阀技术条件	(1040)
5.16	JB/JQ209008—88 气动空气过滤减压阀产品质量分等	(1041)
5.17	JB/JQ209010—88 冷冻式空气干燥机技术条件	(1044)

第 10 篇 气动技术资料

1	气动常用术语	(1047)
2	气动系统常用计算图表	(1053)
2.1	与压缩空气等价的自由空气体积	(1053)
2.2	绝热变化时压力与温度的关系	(1054)
2.3	绝热变化时压力与体积的关系	(1055)
2.4	绝热变化时体积与温度的关系	(1056)
2.5	配管的压力降与流量及管径的关系	(1057)
2.6	配管的直径与管道内的流量及速度的关系	(1058)
2.7	气缸输出力与气缸内径(缸径为 0.01~0.1m 时)及工作压力的关系	(1058)
2.8	气缸输出力与气缸内径(缸径为 0.1~0.5m 时)及工作压力的关系	(1059)
2.9	气缸耗气量	(1060)
2.10	带活塞杆的气缸耗气量	(1061)
2.11	贮气罐容积	(1062)
2.12	小孔或喷嘴的空气流量	(1063)
2.13	小孔流量的温度修正	(1064)
附录:	气动协会会员单位产品简介	(1066)

4) 气动系统对环境的适应能力强,能在温度范围很宽、潮湿和有灰尘的环境下可靠工作,稍有泄漏不会污染环境,无火灾爆炸危险,使用安全。

5) 结构简单,维护方便,成本低廉。

6) 气动元件寿命长。电磁阀寿命可达 3000 ~ 5000 万次,气缸寿命可达 2000 ~ 6000km。

7) 本身有过载保护性能。执行元件在过载时会自动停止,无损坏危险,功率不够时会在负载作用下保持不动。

(2) 缺点

1) 因气体可压缩,使得工作部件运动速度稳定性差。为使速度稳定,可用气—液联动装置。

2) 因工作压力低,气动执行元件的输出推力比液压的小。

3) 气动信号的传递速度远低于电信号,而且有较大的延迟和失真,不宜用于需高速传递信号的复杂系统,气动信号的传递距离也受到一定的限制。

(3) 气动技术与其他控制技术的性能比较(见表 1-1)。

表 1-1 气动技术与其他控制技术的性能对比

对比性能	执行元件的输出力	动作快慢	负载变化的影响	工作环境条件	无级调速	远距离控制能力	信号传递	外泄漏影响	构造	工作寿命	维护	价格
气动	中等	较快	大	适应性强,可用于易燃、易爆、多尘、潮湿、冲击的恶劣环境	较好	中距离	较易	不污染环境	简单	长	简单	低廉
液压	最大	较慢	小	不怕震	良好	短距离	较难	污染环境,易燃	复杂	一般	复杂	较贵
电 控	电器	中等	快	几乎没有	要求高	良好	远距离	最容易	较复杂	较短	较复杂	较贵
	电子	最小	最快	没有	要求最高	良好	远距离	最容易	最复杂	短	最复杂	最贵
机械	较大	一般	没有	一般	困难	短距离	最难	—	一般	一般	简单	一般

1.3 气动技术的发展方向

1) 为提高工业自动化设备的可靠性,气动元件向高质量、高寿命和高精度方向发展。如电磁阀的寿命由过去 10 ~ 50 万次提高到目前 3000 ~ 5000 万次,气缸寿命由 300 ~ 500km 提高到现在的 2000 ~ 6000km。过滤器一般的过滤精度为 $5\mu\text{m}$,现在已有 $0.3\mu\text{m}$ 和 $0.01\mu\text{m}$ 的精密滤芯,相应的除尘率达 99.9% 和 99.9999%,后者除油率达 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 除臭率达 99.98%。

2) 为提高生产效率,气动元件向高速度、高输出力方向发展。普通气缸运动速度由 $1\text{m}/\text{s}$ 提高到 $3\text{m}/\text{s}$,高速气缸达 $15\text{m}/\text{s}$,近年来使用 14MPa 的氮气作气源,高速气缸可达 $30 \sim 60\text{m}/\text{s}$,气动马达可达 $120000 \sim 500000\text{r}/\text{min}$ 。为提高出力,现在高压气动元件的工