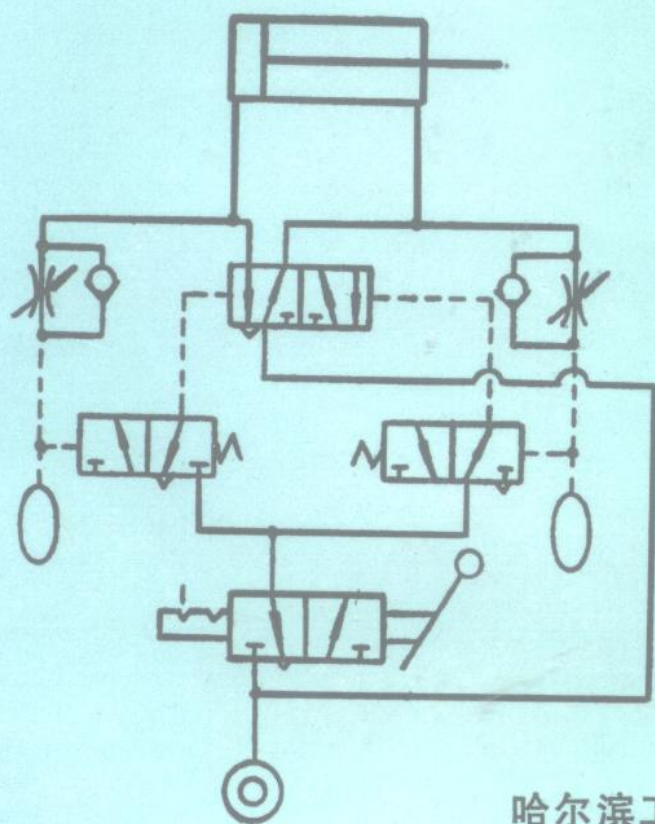


气压传动与控制

吴振顺 主编



哈尔滨工业大学出版社

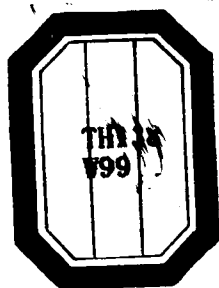
TH138

W99

434052

气压传动与控制

吴振顺 主编



00434052

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书系统地叙述了气压传动与控制系统中各类元件的工作原理,结构特征及其性能特点,气压传动与控制系统的基本理论和基本分析方法。讨论了逻辑控制系统、行程程序控制系统、伺服控制系统的分析、研究和设计方法。为了便于学习时选用,本书最后还介绍了气压控制的基本回路和常用回路。

本书可作为高等院校流体传动及控制专业的教材,也可供从事气动技术研究、设计和应用的工程技术人员及其他有关人员参考。

24567



气压传动与控制

Qiya Chuandong Yu Kongzhi

主编 吴振顺

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

哈尔滨市工大节能印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 16.375 字数 373 千字

1995年9月第1版 1998年4月第2次印刷

印数 2 001—4 000

ISBN 7-5603-0989-5/TK·29 定价:16.80 元

出版说明

根据国务院国发(1978)23号文件批转试行的“关于高等学校教材编审出版若干问题的暂行规定”,中国船舶工业总公司负责全国高等学校船舶类专业教材编审、出版的组织工作。

为了做好这一工作,中国船舶工业总公司相应地成立了“船舶工程”、“船舶动力”两个教材委员会和“船电自动化”、“惯性导航及仪器”、“水声电子工程”、“液压”、“水中兵器”五个教材小组,聘请了有关院校的教授、专家60余人参加工作。船舶类专业教材委员会(小组)是有关船舶类专业教材建设的研究、指导、规划和评审方面的专家组织,其任务是做好高等学校船舶类专业教材的编审工作,为提高教材质量而努力。

在总结前三轮教材编审、出版工作的基础上,根据国家教委对“八·五”规划教材要“抓好重点教材,全面提高质量,适当发展品种,力争系统配套,完善管理体制,加强组织领导”的要求,船舶总公司于1991年又制定了《1991—1995年全国高等学校船舶类专业规划教材选题》。列入规划的选题共107种。

这批教材由各有关院校推荐,同行专家评阅,教材委员会(小组)评议,完稿后又经主审人审阅,教材委员会(小组)复审,然后分别由国防工业出版社、人民交通出版社以及有关高等学校的出版社出版。

为了不断地提高教材质量,希望使用教材的单位和广大师生提出宝贵意见。

中国船舶工业总公司教材编审室

1992年5月

前 言

本书是根据中国船舶工业总公司制订的“八五”教材规划《气压传动与控制》课程教学的基本要求,在李天贵于1985年编写的《气压传动》一书的基础上,经过较大的修改与补充,作为流体传动与控制专业《气压传动与控制》课程教材而编写的。本书经中国船舶工业总公司液压专业教材编审小组评选、推荐出版。

全书共分为十章,第一章介绍了气动技术基础知识的研究概况及发展新动向。第二、三、四、五章介绍了气动执行元件、气动控制元件、气动能源装置、气动辅助元件、气动转换元件及气动比例控制元件的工作原理、结构特征、性能特点及其分析设计方法。书中还注意引进了例如气动夹、无杆气动缸等新型执行元件和电气比例调节器等新型控制元件。第六章介绍了逻辑代数与逻辑控制系统,扼要介绍了卡诺图法在逻辑控制系统中的应用。第七章介绍了行程程序控制系统的设计分析方法,着重讨论了障碍信号及其判别、消除的方法,其中包括X—D状态线图法、程序控制线图法、卡诺图法等。为了便于学习,本章还介绍了气动系统中常用的电气电路。第八章介绍了气动伺服阀的分析,在一般分析的基础上,讨论了零开口四通阀、三通阀、喷嘴—挡板阀的压力—流量特性、阀系数及其它性能特征。第九章介绍了气动伺服系统,在前章分析的基础上,重点讨论了各类动力机构,尤其是四通阀控非对称缸动力机构的分析设计方法。与液压伺服系统相比,由于气压控制系统采用的工作介质是可压缩气体,压力直接影响气体的密度,并且气体在能量传输和节流过程中,将要引起气体流动状态的变化,气体的流动速度将是进出口压力比值的函数,超音速流动与亚音速流动之间存在着截然不同的流动规律。因此,在气压动力机构的分析研究上与液压系统有很大的区别,在设计分析时应当加以充分考虑,其他部分的分析,例如校正方法的选择、设计等都是些共性的问题,因而可参照液压伺服系统的分析方法进行,故本书不多加叙述。为了便于学习时选用,在本书的最后一章列举了部分气动基本回路和常用回路。

本书取材方面力求通俗易懂,刻意求新,学以致用。编写过程中注意引进国外一些先进技术,着眼于使读者具有选用气动元件和分析设计气动系统的能力。

本书由吴振顺主编,其中第一章由王祖温编写,第二、三、四章由李天贵、吴振顺编写,第五、六、七、八、九、十章及思考与练习题由吴振顺编写。本书由上海交通大学机械系曲以义主审并提出许多宝贵意见。在编写过程中得到哈尔滨工业大学流体传动及控制教研室有关同志的大力支持,在此一并表示深切的感谢。

由于水平有限,实际经验不足,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

1995年1月于哈尔滨市

目 录

第一章 气压技术的基础知识	(1)
§ 1-1 气动技术的概况	(1)
一、气动技术的现状和应用	(1)
二、气动技术的新发展	(2)
三、气动系统的优缺点	(4)
§ 1-2 气动系统的组成	(4)
一、气压发生装置	(5)
二、控制元件	(5)
三、执行元件	(5)
四、辅助元件	(6)
§ 1-3 气体基本性质	(6)
一、空气的组成成分及可压缩性	(6)
二、气体状态方程	(7)
三、湿空气	(14)
§ 1-4 气体在管道中的流动特性	(17)
一、音速	(17)
二、马赫数(M)	(19)
三、变截面管道中的亚音速和超音速流动	(19)
第二章 气动执行元件	(24)
§ 2-1 气缸的分类及工作原理	(24)
一、气缸的分类	(24)
二、常见气缸的工作原理及用途	(27)
§ 2-2 气缸的特性及计算	(30)
一、气缸的推力和效率	(30)
二、气缸的工作特性	(32)
三、几种常见气缸的设计计算	(37)
四、气缸的设计步骤	(43)
五、气缸使用的注意事项	(43)
§ 2-3 气动马达	(43)
一、滑片式气动马达的工作原理	(45)
二、滑片式气动马达的特性	(45)
三、气动马达的示功图	(46)
四、压缩空气能量的利用率	(48)
第三章 气动控制元件	(49)
§ 3-1 压力控制阀	(49)

一、调压阀·····	(49)
二、顺序阀·····	(56)
三、安全阀(溢流阀)·····	(57)
§ 3-2 流量控制阀·····	(59)
一、节流阀的特性分析·····	(59)
二、单向节流阀·····	(60)
三、快速排气阀·····	(62)
四、使用流量控制阀时应注意事项·····	(63)
§ 3-3 方向控制阀·····	(63)
一、方向控制阀的分类·····	(64)
二、换向阀的控制·····	(64)
三、单向型控制阀·····	(70)
§ 3-4 控制阀的选择和安装·····	(71)
一、控制阀的选择·····	(71)
二、控制阀的安装·····	(71)
第四章 气源装置及气动辅助元件 ·····	(72)
§ 4-1 气源装置概述·····	(72)
一、对压缩空气的要求·····	(72)
二、压缩空气站的设备·····	(72)
三、气动装置的耗气量及压气机站机组容量的选择·····	(73)
§ 4-2 空气净化设备·····	(74)
一、后冷却器·····	(74)
二、油水分离器及空气过滤器·····	(75)
三、干燥器·····	(77)
§ 4-3 油雾器·····	(78)
一、油雾器工作原理·····	(78)
二、油雾器的性能指标·····	(79)
三、油雾器的使用方法·····	(80)
§ 4-4 储气罐·····	(80)
§ 4-5 消声器·····	(81)
一、消声器的种类·····	(81)
二、消声效果及消声器的选择·····	(82)
第五章 气动转换元件及比例控制 ·····	(83)
§ 5-1 气动传感器·····	(83)
一、喷嘴—档板式气动传感器·····	(83)
二、反射式传感器·····	(85)
三、动量交换式传感器·····	(85)
四、遮断式传感器·····	(86)

五、超声波传感器	(88)
§ 5-2 转换器	(89)
一、气—电转换器	(89)
二、电—气转换器	(91)
§ 5-3 气动放大器	(91)
一、膜片式气动放大器	(91)
二、滑柱式气动放大器	(92)
三、膜片—滑阀式放大器	(92)
四、膜片式比例放大器	(93)
五、对冲式放大器	(93)
§ 5-4 气动变送器	(95)
一、差压变送器	(95)
二、压力变送器	(97)
§ 5-5 气动测量系统	(98)
一、模拟测量系统	(98)
二、数字测量系统	(100)
§ 5-6 气动比例阀	(101)
一、膜片式电—气比例阀	(102)
二、电—气比例调节器	(102)
三、滑柱式电—气比例阀	(104)
四、先导式电—气比例阀	(106)
§ 5-7 气动比例控制系统	(107)
一、气动负载模拟器	(107)
二、印刷、造纸机械中卷纸张力控制	(108)
三、高速、高负载搬运装置的冲击控制	(108)
四、气动比例力控制系统	(109)
第六章 逻辑代数与逻辑控制系统	(111)
§ 6-1 逻辑代数	(111)
一、三种基本逻辑运算及其恒等式	(111)
二、基本定律	(112)
三、形式定律	(112)
四、逻辑运算规则和对偶定理	(113)
§ 6-2 逻辑函数、真值表和基本逻辑门	(113)
§ 6-3 逻辑图	(115)
§ 6-4 逻辑代数法设计逻辑线路	(115)
一、逻辑函数的标准形式(与—或式)	(116)
二、逻辑函数的化简和逻辑线路图	(118)
三、由真值表求最简或—与式标准形	(118)

§ 6-5 卡诺图法设计逻辑线路	(119)
一、用卡诺图化简逻辑函数	(119)
二、卡诺图法在逻辑线路设计中的应用	(121)
§ 6-6 最简“或非—或非”式和“与非—与非”式	(124)
一、最简“或非—或非”式	(125)
二、“与非—与非”式	(127)
第七章 行程程序控制系统	(128)
§ 7-1 概述	(128)
§ 7-2 气动系统中常用的电气电路	(129)
一、控制继电器	(129)
二、串联电路	(129)
三、并联电路	(130)
四、自保持电路	(130)
五、延时电路	(131)
六、优先电路	(131)
§ 7-3 障碍信号	(132)
§ 7-4 信号—动作($X-D$)状态图	(134)
一、 $X-D$ 状态图图框的画法	(134)
二、动作状态线的画法	(135)
三、控制信号线的画法	(135)
§ 7-5 障碍信号的判别及其消除	(136)
一、障碍信号的判别	(136)
二、障碍信号的消除	(136)
§ 7-6 单往复行程程序控制系统的设计	(140)
一、 $X-D$ 状态线图法	(140)
二、电气控制线路图	(142)
三、程序控制线图法	(145)
四、卡诺图法	(149)
§ 7-7 多往复行程程序控制系统的设计	(157)
一、多往复行程程序的特点	(157)
二、多往复行程程序的 $X-D$ 状态线图的画法	(157)
三、障碍的判别和消除	(158)
四、绘制行程程序控制线路图	(160)
§ 7-8 选择程序控制系统的设计	(160)
一、自动选择程序	(160)
二、人工预选程序	(163)
第八章 气动伺服阀的分析	(166)
§ 8-1 气动控制阀的一般分析	(166)

一、压力—流量特性的一般分析	(166)
二、气动控制阀的阀系数	(172)
三、压力特性	(173)
四、起始压力	(176)
§ 8-2 零开口四通滑阀的稳态特性分析	(176)
一、零开口四通阀的压力—流量特性	(176)
二、零开口四通阀阀系数	(179)
§ 8-3 三通阀的分析	(180)
一、压力—流量特性	(181)
二、三通阀阀系数	(184)
§ 8-4 喷嘴—挡板阀的分析	(186)
一、双喷嘴—挡板阀的压力—流量特性	(186)
二、阀系数	(188)
三、气流作用在挡板上的力	(188)
第九章 气动伺服系统	(194)
§ 9-1 引言	(194)
§ 9-2 四通阀控对称气动缸动力机构分析	(195)
一、基本方程	(195)
二、方块图及其传递函数	(199)
三、四通阀控对称气动缸状态方程	(203)
四、对称气动缸气压弹簧刚度	(205)
§ 9-3 带平衡气瓶阀控对称气动缸动力机构分析	(209)
一、基本方程	(209)
二、方块图和带平衡气瓶的作用	(211)
三、传递函数	(213)
四、状态方程	(214)
§ 9-4 四通阀控非对称气动缸动力机构分析	(215)
一、气动缸大腔(a 腔)进压力气体	(215)
二、气动缸小腔(b 腔)进压力气体	(221)
三、非对称气动缸气压原簧刚度	(224)
§ 9-5 动力机构频率特性分析	(226)
一、负载刚度 $K_L = 0$	(226)
二、负载刚度 $K_L \neq 0$	(227)
三、四通阀控对称气动缸的动态刚度特性	(228)
第十章 气动回路	(230)
§ 10-1 基本回路	(230)
一、压力和力控制回路	(230)
二、速度控制回路	(232)

三、位置控制回路	(234)
§ 10-2 常用回路	(237)
一、同步动作回路	(237)
二、安全保护回路	(237)
三、往复动作回路	(240)
四、其他回路	(242)
思考与练习题	(244)
参考文献	(248)

第一章 气动技术的基础知识

§ 1-1 气动技术的概况

一、气动技术的现状和应用

气动技术是指以压缩空气为动力源,实现各种生产控制自动化的一门技术。也可以说气动技术是以压缩空气为工作介质进行能量与信号传递的技术。广义地说,除了空气压缩机、空气净化器、气动缸、气动马达、各类气动控制阀以及辅助装置外,真空发生装置和真空执行元件以及历史悠久的气动工具等,都包括在气动技术的范畴之内。

随着工业机械化和自动化的发展,气动技术越来越广泛地应用于各个领域里。例如汽车制造业、气动机器人、医用研磨机、电子焊接自动化,家用充气筒,喷漆气泵等,特别是成本低廉结构简单的气动自动装置已得到了广泛的普及与应用,在工业企业自动化中位于重要的地位。

气动技术的应用历史已久,早在公元前,埃及就开始利用风箱产生压缩空气用于助燃。18世纪的产业革命开始,气动技术逐渐被应用于产业中。例如,矿山用的风钻,火车刹车装置等。而气动技术被广泛应用于一般产业中的自动化、省力化则仅是近十几年的事情。

尽管实现自动化和自动控制有各种方式,其中包括气动和电气、电子一体化的气电装置、液压和电气、电子组合的液电装置、机械和电气、电子的机电装置等,但都侧重用它们的各自优点,组成最合适的控制方式。由于气动技术是以空气为介质,它具有防火、防爆、防电磁干扰、不受放射线及噪声的影响,且对振动及冲击也不敏感,结构简单、工作可靠、成本低寿命长等优点,所以近年来气动技术得到迅速的发展及普遍应用。

据调查资料表明,目前气动控制装置在下述几方面有普遍的应用。

- 1、汽车制造业:其中包括汽车自动化生产线,车体部件的自动搬运与固定,自动焊接等。
- 2、半导体电子及家电行业:例如用于硅片的搬运,元器件的插入及锡焊,家用电器等的组装。
- 3、加工制造业:其中包括机械加工生产线上工件的装夹及搬送,冷却、润滑液的控制,铸造生产线上的造型、捣固、合箱等。
- 4、介质管道输送业:可以说,用管道输送介质的自动化流程绝大多数采用气动控制。例如石油加工、气体加工、化工等。
- 5、包装业:其中包括各种半自动或全自动包装生产线,例如:聚乙烯、化肥、酒类、油

类,煤气罐装、各类食品等的包装。

6、机器人:例如装配机器人,喷漆机器人,搬运机器人以及爬墙、焊接机器人等。

7、其他:例如车辆的刹车装置,车门开闭装置,颗粒状物质的筛选,鱼雷、导弹的自动控制装置等。至于各种气动工具等,当然也是气动技术应用领域的一个重要侧面。

二、气动技术的新发展

(一)无给油化

在以前的气动控制系统中,油雾器是不可缺少的,它主要用于给气动机械提供润滑油,其目的是:

- 1、用于气缸及控制阀等机械摩擦部的润滑;
- 2、用于管路等各部分的防锈;
- 3、洁净或粉尘与油泥的清除。

气动系统的特点之一是无需回程管道而可直接将废气排入大气,在排气过程中,一部分润滑油也随之被排入大气,虽然被排出的油量不多,但是在室内作业也是有害的。此外,由于油中含有各种添加剂还易于造成环境污染。为了克服这一缺点,开发了不供给润滑油的气动系统。而无给油系统并不是无润滑系统,它是使用有自润滑性的特殊材料或者利用空气润滑(气体薄膜润滑)。一般无给油系统是在滑动部分封入例如润滑油脂等。无给油系统具有(1)取消了油雾器;(2)由于不供给润滑油而降低成本;(3)由于无需进行给油量的监护与调整等的管理,简化了系统结构,提高了系统的可靠性。(4)减少了对环境的污染等优点。但由于无给油系统不提供润滑油,因而它还存在着下述几个缺点:(1)管路等零部件易锈;(2)空气中水分含量过高时,封入的润滑剂可能产生流动,从而导致润滑效果降低或消失;(3)与给油系统相比,机器寿命短。

由上述优缺点可知,无给油系统的最大特点是减少环境污染,摆脱润滑油管理的烦琐工作,简化了系统结构,相应地提高了系统工作的可靠性。

(二)节能化

过去认为空气是取之不尽用之不竭的,即便有些泄漏也是无关紧要的,又加之与其它非电力系统相比其消耗能量小,所以对节能并不重视。但是近年来节能的呼声越来越高,气动技术当然也不例外。气动技术的节能可分为两方面,即降低气动系统的电力消耗和空气消耗量。

1、降低电力消耗

作为节能的一个重要方面是开发各种小功率电磁阀,功率为2W以下的电磁阀正在普及。近20年间,日本的电磁阀消耗功率已从20W降低到1~0.5W。从电磁阀本身的节能来看,虽然其电功率消耗降低了,但是由于采用先导式,其空气的消耗量增加了,节能效果不易衡量。但从系统的全体看其效果是非常大的。控制电磁阀的继电器、程序控制装置以及电线容量变小。所以购买这些元件与装置的成本以及它们消耗的功率也都变低,同时易于实现计算机控制等。

2、降低空气消耗量

气动系统中使用的压缩空气是由空气压缩机产生的,减少空气消耗量也就是降低了

压缩机的功率消耗,这无疑会增大节能效果。降低空气消耗量的办法是利用差动缸活塞面积差实现控制和根据使用目的、条件,将气动系统中流动的空气量控制在最小的限度,以达到降低空气消耗量。

(三)小型化与轻量化

随着机械装置的紧凑化,对气动执行元件、控制元件、辅助元件的小型化与轻量化的要求越来越高。电子技术的进步、实现了用小型元件进行复杂的控制。

气动元件小型化与轻量化可带来许多优点,它可以降低元件的成本,节省功率,从而提高了整个系统的经济性。另外,在复杂的气动系统中,例如气动机器人,使用小型轻量的气动元件可减少运动部分的重量,易于实现控制。

气动元件小型化的发展方向主要有以下两个:

1、元件的绝对小型化:随着气动元件在半导体电子等行业的普及,气动元件在自动化技术中的应用也从实现人整体、人胳膊动作发展到实现人的手指的动作,因此对小功率元件的需求越来越多。例如,直径2.5mm,行程几毫米的气缸,有效过流断面积为零点几平方毫米的电磁阀等已被开发并在实际中得到应用。

2、元件相对小型化:这是保证元件的性能与能力的前提下的小型化,也就是说,在原有的基础上,以极新的观点进行开发与研究,设法提高气动元件的性能和能力。现已开发出采用卡板固定方式代替传统的螺栓固定方式的电磁阀,使其有效断面达到原来同样尺寸阀的两倍。

气动元件的轻量化除了上述尺寸的缩小所带来的效果外,所用材料的轻量化也是一个重要措施。例如,非铁材料的大量应用以及各种塑料材料的部分应用。另外,电磁阀从直动型向先导阀的变化除可降低电力消耗外,也同时带来了小型化与轻量化的效果。

(四)位置控制的高精度化

由于空气的压缩性给气动位置控制系统的控制精度带来很大的影响,因而,如何提高控制精度一直是人们所关心和研究的课题。近年来通过采用计算机闭环伺服控制,大大地提高了其控制精度。

(五)电气一体化

气动元件与电气元件的结合,使气动技术获得大幅度的提高,其应用范围也得到了进一步的扩展。例如电气压力控制阀,内藏位移传感器的测长气缸,电机直接通过丝杠控制活塞运动的电动气缸等。

(六)集成化

这里所说的集成化不是指将数个或十几个电磁阀(或气缸)单纯地安装在同一阀块或阀座上,而是指将不同的气动元件或机构叠加组合而形成新的带有附加功能的集成元件或机构。采用这种具有多功能的集成元件或机构,将会缩短气动装置和自动生产线的设计周期,减少现场装配、调试时间。例如带导轨的气缸,带换向阀的气缸及多自由度执行元件等。

(七)系统省配线化

随着气动系统的复杂化和大型化,气缸和控制阀的使用数量也相应增加,这就给配管和配线带来了困难,加大了误配线的概率。上面提到的带换向阀的气缸可起到省配管的作用。

用,另外还可以采用时间分割多重通信系统,实现省配线的目的。

所谓时间分割多重通信系统是近年来电子技术成功地应用于气动系统中一个非常成功的例子,它的出现大大地促进了气动技术的应用和发展。

三、气动系统的优缺点

液压和气动都是以流体为工作介质,并把流体的能量转换成执行元件的机械运动,它们的控制元件参与方式和实现设备自动化的方法大体相同。又因为元件名称和结构,规格等方面有很多类似之处,所以容易引起用相同的方法处理的错觉。实际上将液压技术原封不动地用到气动技术中是不恰当的。由于介质不同,元件的结构及系统的构成方法都不同。下面通过气动系统优缺点的分析可以进一步看到这一点。

1、气动系统的工作介质是空气,它是取之不尽用之不竭的。因此只要有压缩机即可比较简单地得到压缩空气。当今的工厂内压缩空气输送管路像电气配线一样比比皆是,压缩空气的使用是十分方便的。

2、使用快速接头可以非常简单地配管,因此系统的组装、维修以及元件的更换比较简单。

3、可安全、可靠地应用于易燃、易爆场所,因此设置环境和利用元件自由度较大。

4、由于空气的粘度只有油的万分之一,所以流动阻力小,管道中空气流动的沿程压力损失小,有利于介质集中供应和远距离输送。

5、做完功的空气可以直接排向大气中,不需要设置回程管道,即使系统中稍微泄漏也不致于造成环境污染。

6、动作迅速反应快,可在较短的时间内达到所需的压力和速度。在一定的超载运行下也能保证系统安全工作,并且不易发生过热现象。

7、气压具有较高的自保持能力,即使压缩机停止运行,气阀关闭,气动系统仍可维持一个稳定压力。

8、由于空气是可压缩的,所以气动系统的稳定性较差,给位置控制和速度控制精度带来较大的影响。

9、工作压力低(一般小于 0.8MPa),因而气动系统输出力小,在相同的输出力的情况下,气动装置比液压装置尺寸大。

10、噪声大,尤其在超音速排气时,需要加装消声器。

11、工作介质空气本身没有润滑性,如不是采用无给油气动元件,需另加油雾器等装置进行给油润滑。

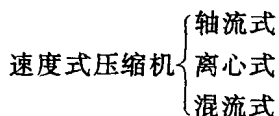
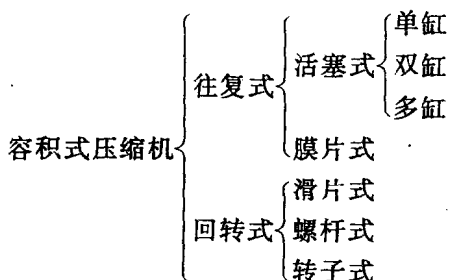
§ 1-2 气动系统的组成

气动系统由气压发生器、控制元件、执行元件和辅助元件组成,典型气压传动系统如图 1-1 所示。

一、气压发生装置

气压发生装置即能源元件，它是获得压缩空气的装置，其主体部分是空气压缩机或真空泵，它将原动机供给的机械能转换成气体的压力能。

空气压缩机有容积式和速度式两种：



真空泵有回转式和喷射式两种。

气动系统的能源元件一般设在距控制、执行元件较远的压气机站内，用管道远距离输送。近年来也有小型低噪声压缩机或增压泵设置在控制、执行元件的近旁，实行单机单泵供给或局部加压。回转式真空泵一般安装在控制和执行元件近旁，而喷射式真空泵一般尽量安装在吸盘等真空执行元件附近，以减少真空容积，节省空气消耗量。

二、控制元件

控制元件是用来调节和控制压缩空气的压力、流量和流动方向，以便使执行机构按要求的程序和性能工作。控制元件分为压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀和逻辑元件。

- 1、压力控制阀包括调压阀、溢流阀、顺序阀等。
- 2、流量控制阀简单分为节流阀和速度控制阀两种。
- 3、方向控制阀可分为单向型和换向型两种。
- 4、逻辑元件分为气动逻辑元件和射流逻辑元件，实现“是”、“与”、“或”、“非”等逻辑功能。

三、执行元件

气动执行元件是以压缩空气为工作介质，将气体能量转换成机械能的能量转换装置。执行元件分为实现直线运动的气动缸和实现回转运动的气动马达两类。气动缸有单作用、

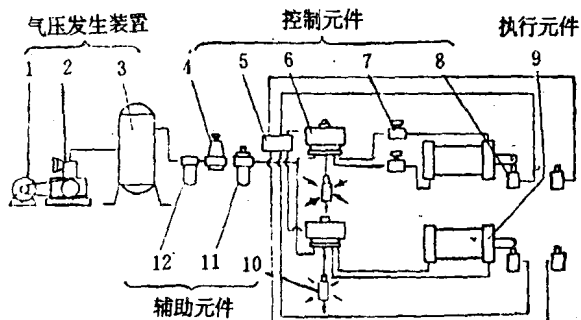


图 1-1 气压传动系统示意图

- 1—电动机 2—空气压缩机 3—气罐
4—压力控制阀 5—逻辑控制元件
6—方向控制阀 7—流量控制阀
8—行程阀 9—气缸 10—消声器
11—油雾器 12—分水滤气器

双作用和实现各种特殊功能的特殊气缸等。气动马达有回转式和摆动式的,摆动式的也称为摆动缸。

四、辅助元件

辅助元件是用于辅助保证气动系统正常工作,主要有净化压缩空气的净化器。过滤器、干燥器、分水滤清器等,有供给系统润滑的油雾器,有消除噪声的消音器,有提供系统冷却的冷却器,还有连接元件的管件和所必需的仪器,仪表等。

§ 1-3 气体基本性质

一、空气的组成成分及可压缩性

1、空气的组成成分

自然界的空气是由若干种气体混合组成的,主要有氮、氧、氩、二氧化碳,水蒸汽以及其它一些气体。对于含有水蒸气的空气叫湿空气。大气中的空气基本上都是湿空气。而把不含有水蒸气的空气叫干空气。

干空气在标准状态下的主要组成成分列于表 1-1 中。

表 1-1 干空气的主要组成成分

	氮(N ₂)	氧(O ₂)	氩(Ar)	二氧化碳(CO ₂)
体积(%)	78.09	20.05	0.93	0.03
重量(%)	75.53	23.14	1.28	0.05

氮和氧是空气中比例最大的两种气体,它们的体积比近似等于 4:1。因为氮气是惰性气体,具有稳定性,不会自燃,所以用空气作为工作介质可以用在易燃、易爆场所。

2、气体体积的可压缩性

气体与液体和固体比较,气体的体积是易变的。从日常生活中知道,可以很轻松地把 3、4 倍体积的空气压缩到自行车的轮胎内。而将油的压力增大 18MPa,其体积仅缩小 1%。气体温度每升高 1℃,其体积变化为 0℃时体积的约 1/273,而水温度每升高 1℃体积只改变 1/20000,体积变化量相差 73 倍。气体与液体差别这样大,是因为气体分子间距离相当大,分子运动起来很自由,在空气中分子间距离($t=3.35 \times 10^{-7}\text{cm}$)是分子直径($d=3.72 \times 10^{-8}\text{cm}$)的 9 倍左右。运动着的分子由其运动起点到碰到其它分子的移动距离叫该分子的自由通路。其长度对每个分子是不同的,但对于任意气体来讲,其压力和温度确定以后,它的分子自由通路平均值也就确定了,通常称该值为平均自由通路。当空气在标准状态下(0℃, 0.1013MPa),该长度是 $6.4 \times 10^{-6}\text{cm}$,约等于空气分子的 170 倍,因为气体分子间的距离大,分子间的内聚力小,所以气体体积在外界作用下容易产生变化。空气的体积是随着压力和温度的变化而变化,称气体这种性质为可压缩性。

3. 空气的密度

单位体积气体的质量称为气体密度,用 ρ 表示,量纲为 kg/m^3 。气体密度与气体压力