



中国机械工程学会  
李壮云 主编

YEYA QIDONG  
YU YELI

液压 GONGCHENG  
SHOUCE

气动与液力

工程手册

下册

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

TH137-62/11

:2

2008

# 液压、气动与液力工程手册

## 下册

中国机械工程学会

李壮云 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本手册着眼于流体传动(液压、气动与液力)设计和应用的全局,并将常用的流体传动与控制设计和应用作为重点。全书(上、下册)共3篇,内容包括:液压传动与控制、气压传动与控制、液力传动与液黏传动。此外,本手册不仅简要地介绍了一些水液压传动的基础知识,还将流体传动与控制的一些常用技术资料归拢于附录中,以便查阅。

手册各篇的主编,均有数十年流体传动、教学、研究和设计的实践经验,他们的努力保证了各篇的内容实用、数据可靠、资料齐全、标准新、编排合理、查阅方便。

本手册适用于流体常规设计,是流体传动设计师的案头常用工具书;也可供高等院校机械工程专业学生在学习流体传动设计课程和进行毕业设计、课程设计时查阅和参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

液压、气动与液力工程手册:下册/李壮云主编. —北京:电子工业出版社, 2008.2

ISBN 978-7-121-05708-3

I. 液… II. 李… III. ①液压传动-手册②气压传动-手册③液力传动-手册 IV. TH137-62 TH138-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 010940 号

责任编辑:范子瑜 李骏带

印 刷:北京蓝海印刷有限公司

装 订:北京蓝海印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:700×1000 1/16 印张:40.50 字数:973 千字

印 次:2008 年 2 月第 1 次印刷

定 价:78.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

# 前言

流体传动与控制包括液压传动与控制、气压传动与控制以及液力传动等三个技术领域，它是以流体（包括液体或气体）作为工作介质实现力能、运动和信息传递与控制。由于本身具有独特的技术优势和特点，使它成为很多机器（械）原动机与工作机构之间不可缺少的重要组成部分，同时也是现代控制工程中的基本技术要素。

流体传动与控制技术的应用领域十分广阔，而且仍然在不断扩大。从机械加工设备、注塑成型设备、机械手、自动加工及装配线到金属及非金属压延设备；从材料及构件强度试验机到电液仿真试验平台；从建筑机械、工程机械、起吊设备到环卫、环保设备；从农业机械、园林机械到森林机械；从民用及军用飞机到航天器的发射及控制；从民用船舶到军用舰艇；从水下作业工具到海底工作机械；从高速列车到家用汽车；从采煤机械到石油钻探及采收设备；从能源机械调速控制到热力与化工设备过程控制；从橡胶、皮革、造纸机械到建筑材料生产自动线；从家用电器、电子信息产品自动生产线到印刷、包装及办公自动化设备；从食品加工、医疗监护系统到体育训练器械等众多领域，液体传动与控制技术已获得十分广泛的应用，它已成为工业、农业、国防和科学技术现代化进程中不可替代的一项重要的基础技术，也是当代工程技术人员迫切希望掌握的重要基础技术之一。

流体传动与控制技术在发展过程中，一直受到不断发展的电气及机械传动与控制技术的竞争与挑战，但在社会及工程需求的强力推动下，它一方面不断吸收相关学科的成果与营养，同时不断完善和发挥自身的独特优势，以满足工程实践不断增长的需求，从而将自己不断推进到新的水平。现已发展成为集流体传动与控制技术、微电子技术、传感检测技术、计算机及现代控制理论等众多学科于一体的高交叉性、高综合性的技术学科，具有显著的机电液一体化特征。其应用和发展水平被普遍认为是衡量一个国家的工业水平和现代工业发展水平的重要标志。

由于人类社会对生态环境保护的认识和重视程度不断提高与深化，所以从20世纪80年代开始，流体传动与控制技术的发展也从主要关注其功能与效率，转变为同时关注其对生态环境的影响，不仅致力于控制油液泄漏、减少污染及降低噪声，而且致力于发展与环境友善的新型工作介质及与其相适应的元件和系统。特别是以天然水（淡水或海水）代替矿物油作为工作介质的水液压传动技术和水介质液力耦合器技术已取得突破性进展，并已在众多的民用和军用领域得到推广应用，在防止污染、保证防火安全、节约能源等诸多方面显示了十分突出的优越性。

基于上述分析，我们将本手册定位于尽可能为各类读者提供液压传动与控制、气压传动与控制以及液力传动和液黏传动等三个技术领域比较系统和全面的基本知识与新进展。除了比较全面地介绍了工程流体力学、噪声与振动控制及污染控制等方面的基础理论和基本知识以外，还全面地介绍了各类元件、工作介质、辅件和系统的基本原理、结构特点、选型或设计方法、特性分析、合理使用及维护要点等。其次，本手

册力求全面贯彻最新的国家标准和行业标准，注意介绍国内外的最新研究成果及发展概况。另外，在编写过程中，特别注意理论联系实际，注意工程应用，在介绍基本理论和方法的基础上，列举了许多应用实例，以便读者能够学以致用。总之，本手册尽可能地体现了基础性、系统性、先进性与工程应用性的特点，希望能够较好地满足从事流体传动与控制技术工程应用、设计、制造、实验、维护的工程技术人员需要。

本手册在编写过程中，前后共有二十多位同志参与了编写、审核和修改工作，他们付出了艰辛的劳动。另外，李骏带同志在本手册的编写和出版过程中，给予了大力的支持、关心和帮助，提出了许多宝贵意见。在此，谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之流体传动与控制技术发展迅速，本手册中难免存在错误、疏漏和不足之处，诚望读者批评指正。

主编 李壮云

2007年12月

# 目 录

## 第 2 篇 气压传动与控制

|                                 |    |                                  |     |
|---------------------------------|----|----------------------------------|-----|
| <b>第 1 章 气动技术概述</b> .....       | 3  | <b>第 3 章 气源系统及空气净化处理装置</b> ..... | 44  |
| 1 气压传动工作原理和组成 .....             | 3  | 1 气压发生装置 .....                   | 44  |
| 2 气压传动的优缺点 .....                | 3  | 1.1 空气压缩机 .....                  | 44  |
| 2.1 气压传动的优点 .....               | 3  | 1.2 真空发生装置 .....                 | 52  |
| 2.2 气压传动的缺点 .....               | 4  | 2 压缩空气的品质及净化处理装置 .....           | 58  |
| 2.3 气动技术与其他传动（及控制）技术的性能比较 ..... | 4  | 2.1 压缩空气的品质 .....                | 58  |
| 3 气压传动技术的应用和发展 .....            | 4  | 2.2 压缩空气的净化处理装置 .....            | 59  |
| 3.1 气压传动技术的应用 .....             | 4  | 3 空气压缩机站的设计 .....                | 75  |
| 3.2 气压传动技术发展趋势 .....            | 5  | 3.1 空气压缩机站的设计依据 .....            | 75  |
| <b>第 2 章 气压传动理论基础</b> .....     | 7  | 3.2 空气压缩机站的设计步骤 .....            | 76  |
| 1 空气的物理性质 .....                 | 7  | <b>第 4 章 气动执行组件</b> .....        | 77  |
| 1.1 空气的组成 .....                 | 7  | 1 概述 .....                       | 77  |
| 1.2 气体的压力 .....                 | 7  | 1.1 气动执行组件的分类 .....              | 77  |
| 1.3 空气的密度及比容（质量体积） .....        | 8  | 1.2 气动执行组件的特点 .....              | 77  |
| 1.4 空气的黏性 .....                 | 8  | 2 气马达 .....                      | 77  |
| 1.5 空气的压缩性和膨胀性 .....            | 8  | 2.1 概述 .....                     | 77  |
| 1.6 空气的湿度和含湿量 .....             | 8  | 2.2 叶（滑）片式气马达 .....              | 77  |
| 2 空气的热力学性质 .....                | 12 | 2.3 活塞式气马达 .....                 | 80  |
| 2.1 空气热力学的几个基本概念 .....          | 12 | 2.4 齿轮式气马达 .....                 | 81  |
| 2.2 热力学第一定律 .....               | 17 | 2.5 气马达的选择 .....                 | 82  |
| 2.3 气体状态变化的热力学过程 .....          | 19 | 3 气缸 .....                       | 83  |
| 3 气体在管道中的流动特性 .....             | 23 | 3.1 气缸的分类 .....                  | 83  |
| 3.1 声速和马赫数 .....                | 23 | 3.2 直线运动气缸 .....                 | 85  |
| 3.2 气体流动的基本方程 .....             | 24 | 3.3 摆动气缸 .....                   | 126 |
| 3.3 气体经过变截面管的等熵流动 .....         | 25 | 3.4 气动手指 .....                   | 132 |
| 4 气动元件及回路的流量特性 .....            | 29 | 4 其他执行元件 .....                   | 134 |
| 4.1 气动元件的流量特性 .....             | 29 | <b>第 5 章 气动控制元件</b> .....        | 137 |
| 4.2 气动回路的流量特性 .....             | 34 | 1 气动控制阀的分类及特性 .....              | 137 |
| 5 充、放气过程的热力学特性 .....            | 36 | 1.1 气动控制阀的分类 .....               | 137 |
| 5.1 充、放气现象的基本方程 .....           | 36 | 1.2 控制阀的结构特性 .....               | 137 |
| 5.2 固定容器的充气特性和放气特性 .....        | 38 | 2 压力控制阀 .....                    | 144 |
|                                 |    | 2.1 概述 .....                     | 144 |
|                                 |    | 2.2 减压阀 .....                    | 144 |
|                                 |    | 2.3 溢流阀（安全阀） .....               | 152 |

|                                       |     |                              |     |
|---------------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 2.4 顺序阀 .....                         | 155 | 3.4 电动式自动排水器 .....           | 218 |
| 2.5 增压阀 .....                         | 156 | 3.5 外部信号控制的自动排水器 .....       | 219 |
| 3 流量控制阀 .....                         | 158 | 4 气液转换器 .....                | 220 |
| 3.1 节流阀的节流特性 .....                    | 158 | 4.1 气液转换器的结构 .....           | 220 |
| 3.2 节流阀的结构和种类 .....                   | 159 | 4.2 气液转换器的选择使用 .....         | 220 |
| 3.3 流量控制阀的性能参数 .....                  | 162 | 5 消声器 .....                  | 220 |
| 3.4 流量控制阀的选择与使用 .....                 | 162 | 5.1 概述 .....                 | 220 |
| 4 方向控制阀 .....                         | 163 | 5.2 消声器的工作原理及分类 .....        | 222 |
| 4.1 方向控制阀的分类 .....                    | 163 | 5.3 消声器的结构和特性 .....          | 223 |
| 4.2 常用换向控制阀的结构及<br>工作原理 .....         | 168 | 5.4 消声器的选择使用 .....           | 225 |
| 4.3 单向型控制阀的结构及工作<br>原理 .....          | 184 | 6 外部缓冲器 .....                | 225 |
| 4.4 方向控制阀的主要性能参数 .....                | 186 | 6.1 外部缓冲器的作用 .....           | 225 |
| 4.5 方向控制阀的选用 .....                    | 188 | 6.2 液压缓冲器的结构及工作原理 .....      | 225 |
| 4.6 常用换向阀的性能指标 .....                  | 190 | 6.3 主要性能参数 .....             | 225 |
| 5 气动比例、伺服控制阀 .....                    | 195 | 6.4 缓冲器的选择使用 .....           | 225 |
| 5.1 概述 .....                          | 195 | 7 真空吸盘及其他真空元件 .....          | 226 |
| 5.2 气动比例/伺服阀的主要组成<br>及分类 .....        | 195 | 7.1 真空吸盘 .....               | 226 |
| 5.3 电气—机械转换器的主要结构及<br>工作原理 .....      | 196 | 7.2 真空系统用阀件 .....            | 228 |
| 5.4 气动放大器 .....                       | 200 | 7.3 真空发生器及真空切换阀的<br>选定 ..... | 229 |
| 5.5 典型气压比例控制阀、气动伺服阀的<br>结构及工作原理 ..... | 203 | 7.4 真空系统元件的选择使用 .....        | 230 |
| 5.6 比例控制阀/气动伺服阀的使用注<br>意事项 .....      | 209 | 8 传感、检测及转换元件 .....           | 230 |
| <b>第6章 气动辅助元件</b> .....               | 210 | 8.1 磁性开关 .....               | 230 |
| 1 油雾器 .....                           | 210 | 8.2 气—电转换器 .....             | 233 |
| 1.1 概述 .....                          | 210 | 8.3 气动位置传感器 .....            | 236 |
| 1.2 油雾器的分类 .....                      | 210 | 8.4 气缸位置检测器 .....            | 239 |
| 1.3 油雾器的工作原理 .....                    | 210 | <b>第7章 管件及气动密封</b> .....     | 240 |
| 1.4 典型油雾器的结构、原理<br>及特性 .....          | 211 | 1 管件 .....                   | 240 |
| 1.5 油雾器的特性参数 .....                    | 215 | 1.1 管道 .....                 | 240 |
| 1.6 油雾器的选用、安装与维护 .....                | 215 | 1.2 接头 .....                 | 242 |
| 2 气源处理二联件和三联件 .....                   | 216 | 1.3 软管 .....                 | 244 |
| 2.1 概述 .....                          | 216 | 1.4 软管接头 .....               | 245 |
| 2.2 工作原理 .....                        | 217 | 1.5 管路系统及其布置原则 .....         | 247 |
| 3 自动排水器 .....                         | 217 | 2 密封 .....                   | 249 |
| 3.1 浮子式自动排水器 .....                    | 217 | 2.1 密封的分类和密封原理 .....         | 249 |
| 3.2 弹簧式自动排水器 .....                    | 218 | 2.2 密封材料 .....               | 250 |
| 3.3 压差式自动排水器 .....                    | 218 | 2.3 密封的设计和使用 .....           | 252 |
|                                       |     | <b>第8章 气动基本回路</b> .....      | 256 |
|                                       |     | 1 气源处理回路 .....               | 256 |
|                                       |     | 1.1 一次气源处理回路 .....           | 256 |
|                                       |     | 1.2 二次气源处理回路 .....           | 256 |
|                                       |     | 1.3 气源压力稳定回路 .....           | 256 |

|                                     |     |                            |     |
|-------------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 2 压力与力(力矩)控制回路 .....                | 257 | 9 安全保护回路 .....             | 276 |
| 2.1 压力控制回路 .....                    | 257 | 9.1 双手操作安全回路 .....         | 276 |
| 2.2 力(或力矩)控制回路 .....                | 258 | 9.2 过载保护回路 .....           | 277 |
| 3 方向控制回路 .....                      | 261 | 9.3 互锁回路 .....             | 277 |
| 3.1 换向回路 .....                      | 261 | 9.4 缓冲回路 .....             | 277 |
| 3.2 往复换向(振荡)回路 .....                | 263 | 9.5 气缸始动冲出防止回路 .....       | 278 |
| 4 速度控制回路 .....                      | 263 | 9.6 防止落下回路 .....           | 279 |
| 4.1 进、排气节流回路 .....                  | 263 | 9.7 残压排出回路 .....           | 279 |
| 4.2 速度换接回路 .....                    | 264 | 10 其他常用回路 .....            | 280 |
| 4.3 气、液转换调速回路 .....                 | 265 | 10.1 手动和自动并用回路 .....       | 280 |
| 5 位置控制回路 .....                      | 267 | 10.2 计数回路 .....            | 280 |
| 5.1 阀控多位置控制回路 .....                 | 267 | 10.3 延时回路 .....            | 280 |
| 5.2 采用三位阀的位置控制回路 .....              | 267 | 10.4 冲压与冲击回路 .....         | 281 |
| 5.3 机械挡块控制的位置控制回路 .....             | 268 | 10.5 液体流量控制回路 .....        | 281 |
| 5.4 气液转换器控制的位置控制回路 .....            | 268 | <b>第9章 气动系统设计</b> .....    | 282 |
| 5.5 采用制动气缸的位置控制回路 .....             | 268 | 1 概述 .....                 | 282 |
| 5.6 利用磁性开关(或行程开关)、机控阀等的位置控制回路 ..... | 269 | 1.1 程序控制系统定义 .....         | 282 |
| 5.7 利用气动位置传感器的位置控制回路 .....          | 270 | 1.2 气动程序控制系统组成 .....       | 282 |
| 5.8 利用压力信号的位置控制回路 .....             | 270 | 1.3 气动程序控制系统的分类 .....      | 283 |
| 5.9 采用比例阀、伺服阀的位置控制回路 .....          | 270 | 1.4 气动程序控制回路设计方法 .....     | 284 |
| 5.10 采用高速开关(数字)阀的位置控制回路 .....       | 270 | 2 全气动程序控制系统设计 .....        | 285 |
| 6 往复及程序运动回路 .....                   | 271 | 2.1 常用逻辑控制回路 .....         | 285 |
| 6.1 往复动作回路 .....                    | 271 | 2.2 基本单元 .....             | 288 |
| 6.2 程序动作回路 .....                    | 273 | 2.3 工作程序的表示方法 .....        | 289 |
| 7 同步控制回路 .....                      | 273 | 2.4 障碍信号及其类型 .....         | 290 |
| 7.1 机械刚性连接同步控制回路 .....              | 274 | 2.5 障碍信号的判别方法 .....        | 291 |
| 7.2 采用气液联动缸的同步控制回路 .....            | 274 | 2.6 障碍信号的消除方法 .....        | 294 |
| 7.3 利用气液阻尼缸的同步控制回路 .....            | 274 | 2.7 单往复气动程序控制系统设计 .....    | 301 |
| 7.4 闭环同步控制回路 .....                  | 275 | 2.8 多往复气动程序控制系统设计 .....    | 305 |
| 8 真空吸附回路 .....                      | 275 | 3 继电器控制气动程序控制系统设计 .....    | 307 |
| 8.1 真空泵真空吸附回路 .....                 | 275 | 3.1 常用继电器逻辑控制电路 .....      | 307 |
| 8.2 真空发生器真空吸附回路 .....               | 275 | 3.2 典型的继电器控制气动回路 .....     | 309 |
| 8.3 配有真空保护阀的多个吸盘真空回路 .....          | 276 | 3.3 继电器控制气动程序控制系统设计 .....  | 311 |
|                                     |     | 4 PLC控制气动程序控制系统设计 .....    | 315 |
|                                     |     | 4.1 可编程控制器(PLC)的组成 .....   | 315 |
|                                     |     | 4.2 可编程控制器(PLC)的工作原理 ..... | 317 |
|                                     |     | 4.3 可编程控制器(PLC)的编程指令 ..... | 317 |
|                                     |     | 4.4 PLC控制气动程序控制系统 .....    |     |



|                                 |     |                                  |     |
|---------------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 设计 .....                        | 322 | 4.3 气—液传动在硬质合金刀片磨床<br>中的应用 ..... | 351 |
| 5 气动系统设计程序 .....                | 324 | 4.4 铣床夹持器 .....                  | 352 |
| 5.1 明确设计依据和工作要求 .....           | 324 | 4.5 转塔式六角车床气动控制 .....            | 352 |
| 5.2 设计气动回路 .....                | 328 | 4.6 槽形弯板机 .....                  | 353 |
| 5.3 气动元件及配管尺寸的确定 .....          | 330 | 5 气动工具应用实例 .....                 | 355 |
| 5.4 空气净化水平的确定 .....             | 335 | 5.1 变压器铁心切断机 .....               | 355 |
| 5.5 气源站的设计 .....                | 335 | 5.2 采用摆动气缸的变力矩扳手 .....           | 356 |
| <b>第10章 气动系统应用实例</b> .....      | 336 | 5.3 外壳工件清洗机 .....                | 356 |
| 1 气动检测类应用实例 .....               | 336 | 6 气动供液与灌装应用实例 .....              | 358 |
| 1.1 气桥法测量尺寸及分选 .....            | 336 | 6.1 液体自动定量灌装系统 .....             | 358 |
| 1.2 气动泄漏检测 .....                | 337 | 6.2 灌装系统 .....                   | 359 |
| 1.3 气动式工件探测机构 .....             | 339 | 6.3 燧石的充填装置 .....                | 359 |
| 1.4 自动喷雾罐的重量检查 .....            | 340 | 6.4 喷涂机器人中的供液系统 .....            | 361 |
| 1.5 气动逻辑式铸件检漏装置 .....           | 341 | 6.5 用于制造胶带的黏着剂供给<br>装置 .....     | 362 |
| 1.6 气动尺寸自动分选机 .....             | 342 | 6.6 人工心脏用气动源 .....               | 363 |
| 2 气动搬运输送类应用实例 .....             | 342 | 7 造纸与印刷气动应用实例 .....              | 364 |
| 2.1 气垫搬运 .....                  | 342 | 7.1 气动自动打印机 .....                | 364 |
| 2.2 注射成型机工件的自动送进、<br>取出装置 ..... | 343 | 7.2 带材跑偏控制 .....                 | 365 |
| 2.3 纯气动式工件传回路 .....             | 344 | 7.3 胶印轮转机气动张力控制系统 .....          | 366 |
| 2.4 冲床用电磁阀式传送装置 .....           | 345 | 8 其他应用实例 .....                   | 367 |
| 2.5 使用真空吸盘的搬回路 .....            | 346 | 8.1 锻造轧辊用机械手 .....               | 367 |
| 3 自动生产线气动应用实例 .....             | 347 | 8.2 手动阀门操作的自动开闭装置 .....          | 368 |
| 3.1 自动装配线上的定位机构 .....           | 347 | 8.3 罐体浸涂用升降机构 .....              | 369 |
| 3.2 自动生产线上的元件压入装置 .....         | 347 | 8.4 船舶前进与倒车的转换装置 .....           | 370 |
| 3.3 装配线上的打印装置 .....             | 348 | 8.5 重物转台 .....                   | 370 |
| 3.4 气动微振压实造型机 .....             | 348 | 8.6 用微机控制的纸壳箱贮放系统 .....          | 371 |
| 4 机床气动应用实例 .....                | 350 | 8.7 包装机气动系统 .....                | 372 |
| 4.1 数控车床用真空卡盘 .....             | 350 | <b>参考文献</b> .....                | 374 |
| 4.2 凸轮操纵式气压压蜡机 .....            | 351 |                                  |     |

### 第3篇 液力传动与液黏传动

|                       |     |                         |     |
|-----------------------|-----|-------------------------|-----|
| <b>第1章 概述</b> .....   | 377 | 5.2 液力元件的基本方程式 .....    | 385 |
| 1 液力传动的基本概念 .....     | 377 | 5.3 液力偶合器的工作原理 .....    | 385 |
| 2 液力传动的特点和主要用途 .....  | 377 | 5.4 液力变矩器的工作原理 .....    | 387 |
| 2.1 液力传动的特点 .....     | 377 | 6 液力元件的特性 .....         | 389 |
| 2.2 液力传动的主要用途 .....   | 378 | 6.1 特性参数 .....          | 389 |
| 3 液力元件图形符号 .....      | 378 | 6.2 特性曲线 .....          | 391 |
| 4 液力传动术语 .....        | 380 | 7 液力元件的类比设计 .....       | 393 |
| 5 液力元件的工作原理 .....     | 383 | 7.1 相似理论在液力元件中的应用 ..... | 393 |
| 5.1 速度的分解及速度三角形 ..... | 384 | 7.2 相似准则 .....          | 393 |

|                                  |     |                                          |     |
|----------------------------------|-----|------------------------------------------|-----|
| 7.3 类比设计的步骤 .....                | 394 | 6.5 可变函数发生器 .....                        | 444 |
| 8 液力传动的工作液体 .....                | 394 | 7 液力耦合器调速与节能 .....                       | 445 |
| 8.1 液力传动对传动用油的基本<br>要求 .....     | 394 | 7.1 我国风机、水泵运行中存在的<br>问题 .....            | 445 |
| 8.2 液力传动常用油的种类 .....             | 395 | 7.2 风机、水泵调速运行的必要性 .....                  | 445 |
| 8.3 水基难燃油的种类 .....               | 396 | 7.3 风机、水泵变速调节的节能<br>原理 .....             | 446 |
| <b>第2章 液力元件试验</b> .....          | 398 | 7.4 各类调速方式的比较 .....                      | 448 |
| 1 液力元件清洁度的检测方法 .....             | 398 | 7.5 调速型液力耦合器的调速节能 .....                  | 449 |
| 2 液力耦合器噪声检测规范 .....              | 398 | 7.6 调速型液力耦合器的相对效率 .....                  | 450 |
| 3 液力元件试验 .....                   | 400 | 7.7 限矩型液力耦合器的传动节能 .....                  | 450 |
| 3.1 液力耦合器试验 .....                | 400 | 8 液力耦合器运行特点 .....                        | 451 |
| 3.2 液力变矩器试验 .....                | 402 | 9 液力耦合器在典型设备上的应用及其<br>匹配设计要点 .....       | 452 |
| <b>第3章 液力耦合器</b> .....           | 406 | 9.1 大惯量设备 .....                          | 452 |
| 1 液力耦合器的分类 .....                 | 406 | 9.2 间歇供风、供水的风机、水泵 .....                  | 456 |
| 1.1 按功能分类 .....                  | 406 | 9.3 连续运行的风机、水泵 .....                     | 457 |
| 1.2 按叶片形状分类 .....                | 422 | 10 液力耦合器可靠性与故障分析 .....                   | 458 |
| 1.3 按工作腔数量分类 .....               | 423 | 10.1 基本概念 .....                          | 458 |
| 2 液力耦合器基本参数 .....                | 424 | 10.2 限矩型液力耦合器的故障<br>分析 .....             | 459 |
| 2.1 基本性能参数 .....                 | 424 | 10.3 调速型液力耦合器的故障<br>分析 .....             | 460 |
| 2.2 规格尺寸 .....                   | 424 | 11 典型液力耦合器的产品型号 .....                    | 463 |
| 3 液力耦合器的设计计算 .....               | 424 | 11.1 普通型液力耦合器与液力减<br>速器 .....            | 463 |
| 3.1 工作腔模型(腔型)及选择 .....           | 424 | 11.2 限矩型液力耦合器 .....                      | 463 |
| 3.2 工作腔有效直径的确定 .....             | 424 | 11.3 调速型液力耦合器与液力耦合器<br>传动装置 .....        | 463 |
| 3.3 叶片数目和叶片厚度 .....              | 426 | 12 国外液力耦合器在中国的应用 .....                   | 467 |
| 3.4 轴向力计算和轴承选择 .....             | 427 | 12.1 KPT/KSL 型液力耦合器 .....                | 467 |
| 3.5 叶轮及旋转壳体的设计 .....             | 427 | 12.2 KX 型液力耦合器 .....                     | 467 |
| 3.6 其他问题 .....                   | 428 | 12.3 SVTL 型液力耦合器 .....                   | 469 |
| 3.7 辅助系统 .....                   | 429 | 12.4 TPKL 阀控调速型液力耦合器 .....               | 469 |
| 4 液力耦合器的发热与冷却 .....              | 430 | 12.5 R16K550 前置齿轮式增速型液力<br>耦合器传动装置 ..... | 469 |
| 5 液力耦合器的选型与应用 .....              | 432 | 13 国内国外标准情况和对照 .....                     | 471 |
| 5.1 液力耦合器的应用 .....               | 432 | <b>第4章 液力变矩器</b> .....                   | 472 |
| 5.2 液力耦合器功率图谱 .....              | 433 | 1 液力变矩器的分类、性能和特点 .....                   | 472 |
| 5.3 限矩型液力耦合器的选型与<br>应用 .....     | 433 | 1.1 单相液力变矩器 .....                        | 474 |
| 5.4 调速型液力耦合器的选型与<br>应用 .....     | 434 | 1.2 多相液力变矩器 .....                        | 475 |
| 5.5 调速型液力耦合器的辅助系统与<br>设备成套 ..... | 436 | 1.3 可调液力变矩器 .....                        | 477 |
| 6 液力耦合器辅助系统及配套件 .....            | 437 | 2 液力变矩器系列图谱 .....                        | 478 |
| 6.1 供油泵 .....                    | 437 |                                          |     |
| 6.2 电动执行器及电动操作器 .....            | 439 |                                          |     |
| 6.3 测速系统 .....                   | 442 |                                          |     |
| 6.4 微机综合参数测试仪 .....              | 443 |                                          |     |

|                                |     |                                 |     |
|--------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 2.1 液力变矩器型号 .....              | 478 | 3.2 外分流液力机械变矩器 .....            | 558 |
| 2.2 向心涡轮液力变矩器系列型谱 .....        | 478 | 3.3 液力机械传动装置 .....              | 558 |
| 2.3 单级向心涡轮液力变矩器形式和基本参数 .....   | 479 | <b>第6章 液黏传动</b> .....           | 574 |
| 2.4 双涡轮液力变矩器主要参数 .....         | 479 | 1 液黏传动及其分类 .....                | 574 |
| 2.5 轴流涡轮液力变矩器系列型谱 .....        | 480 | 2 液黏传动的基本原理 .....               | 574 |
| <b>3 液力变矩器的结构</b> .....        | 481 | 2.1 硅油风扇离合器的工作原理 .....          | 575 |
| 3.1 单相单级液力变矩器 .....            | 481 | 2.2 液黏调速离合器的工作原理 .....          | 575 |
| 3.2 二相单级液力变矩器 .....            | 482 | 2.3 液黏传动的特点 .....               | 575 |
| 3.3 闭锁液力变矩器 .....              | 482 | <b>3 液黏传动常用术语、型式和基本参数</b> ..... | 575 |
| 3.4 导轮叶片可转动的可调液力变矩器 .....      | 483 | 3.1 液黏传动常用术语 .....              | 575 |
| <b>4 液力变矩器的辅助系统</b> .....      | 483 | 3.2 型式 .....                    | 576 |
| 4.1 液力变矩器的辅助系统 .....           | 484 | 3.3 基本参数 .....                  | 576 |
| 4.2 可调液力变矩器的辅助系统 .....         | 485 | <b>4 液黏传动的工作液体</b> .....        | 577 |
| 4.3 液力变矩器辅助系统的辅件参数 .....       | 485 | <b>5 液黏调速离合器</b> .....          | 578 |
| <b>5 液力变矩器的选型</b> .....        | 486 | 5.1 集成式液黏调速离合器 .....            | 578 |
| 5.1 液力变矩器的型式和参数选择 .....        | 486 | 5.2 分离式液黏调速离合器 .....            | 578 |
| 5.2 液力变矩器与动力机的共同工作 .....       | 487 | 5.3 液黏调速离合器运行特性 .....           | 580 |
| 5.3 液力变矩器与动力机的匹配 .....         | 489 | 5.4 应用与节能 .....                 | 583 |
| 5.4 液力变矩器与动力机匹配的优化 .....       | 491 | 5.5 性能特点 .....                  | 584 |
| <b>6 液力变矩器的产品型号与规格</b> .....   | 492 | 5.6 常见故障与排除方法 .....             | 584 |
| 6.1 单相单级向心涡轮液力变矩器 .....        | 492 | <b>6 液黏调速装置</b> .....           | 585 |
| 6.2 多相单级和闭锁液力变矩器 .....         | 492 | 6.1 平行轴传动液黏调速装置 .....           | 585 |
| 6.3 可调液力变矩器 .....              | 492 | 6.2 带差动轮系的 CST 液黏调速装置 .....     | 585 |
| 6.4 液力传动装置 .....               | 492 | <b>7 硅油风扇离合器</b> .....          | 588 |
| <b>7 液力变矩器的应用及标准状况</b> .....   | 546 | 7.1 工作腔 .....                   | 588 |
| 7.1 液力变矩器的应用 .....             | 546 | 7.2 储油腔 .....                   | 589 |
| 7.2 国内国外标准情况和对照 .....          | 546 | 7.3 温控自动调速系统 .....              | 589 |
| <b>第5章 液力机械变矩器</b> .....       | 548 | <b>8 硅油离合器</b> .....            | 590 |
| 1 液力机械变矩器的分类 .....             | 548 | 8.1 产品规格型号 .....                | 590 |
| 1.1 内分流液力机械变矩器 .....           | 548 | 8.2 性能曲线 .....                  | 590 |
| 1.2 外分流液力机械变矩器 .....           | 550 | 8.3 产品特点 .....                  | 590 |
| <b>2 液力机械变矩器的应用</b> .....      | 553 | 8.4 应用实例 .....                  | 591 |
| 2.1 内分流液力机械变矩器的应用 .....        | 553 | <b>9 液黏测功机</b> .....            | 591 |
| 2.2 外分流液力机械变矩器的应用 .....        | 555 | <b>10 其他液黏传动元件</b> .....        | 591 |
| <b>3 液力机械变矩器的产品型号与规格</b> ..... | 558 | 10.1 液黏制动器 .....                | 591 |
| 3.1 双涡轮液力机械变矩器 .....           | 558 | 10.2 液黏联轴器 .....                | 592 |
|                                |     | <b>11 国内国外标准情况和对照</b> .....     | 593 |
|                                |     | <b>参考文献</b> .....               | 594 |

## 附 录

|                                           |     |                                      |     |
|-------------------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| <b>A 国际单位制与其他单位制的换算</b> .....             | 597 | 9 能量控制和调节元件 .....                    | 610 |
| 1 国际单位制与法定计量单位 .....                      | 597 | 10 油液贮存和调节元件 .....                   | 616 |
| 1.1 国际单位制 .....                           | 597 | 11 图例对照 .....                        | 617 |
| 1.2 法定计量单位 .....                          | 597 | <b>C 我国现行的液压与气动国家标准和行业标准目录</b> ..... | 619 |
| 2 常用单位的换算表 .....                          | 599 | <b>D 油液黏度换算</b> .....                | 624 |
| <b>B 液压气动图形符号 (GB/T 786.1—2001)</b> ..... | 603 | 1 条件黏度的定义及其相互间的换算关系 .....            | 624 |
| 1 名词术语 .....                              | 603 | 2 运动黏度与部分条件黏度值之间的换算表 .....           | 624 |
| 2 符号构成 .....                              | 603 | <b>E 液力偶合器传动装置技术参数及应用领域</b> .....    | 628 |
| 3 管路、管路接口和接头 .....                        | 605 | 1 国内外液力偶合器传动装置技术参数对照表 .....          | 628 |
| 4 控制机构和控制方法 .....                         | 605 | 2 调速型液力偶合器与液力偶合器传动装置的应用领域与设备 .....   | 628 |
| 5 旋转式能量转换元件——液压泵和马达 .....                 | 608 |                                      |     |
| 6 缸和特殊能量转换器 .....                         | 610 |                                      |     |
| 7 能量贮存器 .....                             | 610 |                                      |     |
| 8 动力源 .....                               | 610 |                                      |     |

液压、气动与液力工程手册

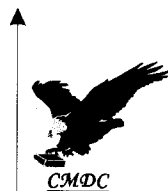
# 第 2 篇

## 气压传动与控制

主 编 明仁雄

编 写 明仁雄 袁 兵 江 丽

审 稿 刘永健 范志雄



中国机械工程学会



# 第1章 气动技术概述

## 1 气压传动工作原理和组成

气动技术是气压传动与控制技术的简称,是以压缩空气为工作介质进行能量与信号传递的工程技术,是实现各种生产过程、自动控制的重要手段之一。

典型的气压传动系统(见图 2.1-1)由气压发生装置、气动执行元件、气动控制元件及辅助元件四个部分组成。

### (1) 气压发生装置

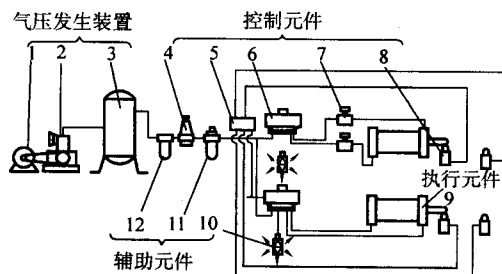


图 2.1-1 气压传动系统的组成示意图

- 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—减压阀

气压发生装置的主体由空气压缩机(或真空泵)构成,还配有贮气罐、气源净化处理装置等附属设备。气压发生装置是气压传动系统的动力、能源装置,它将原动机提供的机械能转变为气体的压力能。使用气动设备较多的厂矿,常将气压发生装置集中于一处组成气压站,由气压站向各用气点分送压缩空气。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,实行单机和单泵供给或局部加压。对于真空发生装置一般尽量安装在执行元件附近,以减少真空容积,节省空气消耗量。

### (2) 气动执行元件

气动执行元件起能量转换作用,它把压缩空气的压力能转换成工作装置的机械能。如气缸输出直线往复机械能、摆动气缸和气马达分别输

出回转摆动式和旋转式的机械能。对于以真空压力为动力源的系统,是采用真空吸盘以完成各种吸吊作业。

### (3) 气动控制元件

气动控制元件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。控制元件种类繁多,除了基本的压力、流量、方向三大类控制阀件外,还包括各种逻辑元件、射流元件,以实现“是”、“与”、“或”、“非”等逻辑功能。

### (4) 辅助元件

气动辅助元件是用来解决元件内部润滑、消除排气噪声、实现元件间的连接以及信号转换、显示、放大、检测等所需的各种气动元件,如油雾器、消声器、管件及管接头、转换器、显示器、传感器、放大器和程序器等。

## 2 气压传动的优缺点

### 2.1 气压传动的优点

气压传动在各具特点并广泛应用的机械传动、电力传动、液压传动、液力传动之后能跻身于传动之列,正是由于它具有以下独特的优点:

1) 采用空气作为工作介质,来源方便,取之不尽、用之不竭,用过以后直接排入大气,既不会污染环境,且可少设置或不设置回气管道。

2) 工作环境适应性好。无论在易燃、易爆、多尘埃、辐射、强磁、振动、冲击等恶劣的环境中,气压传动系统工作安全可靠。对于要求高净化、无污染的场合,如食品加工、印制、精密检测等更具有独特的适应能力,优于液压、电子、电气控制。

3) 空气的黏度小,只有液压油的万分之一,所以流动阻力小,管路损失仅为油路损失的千分之一,便于介质集中供应及远距离输送。

4) 气动控制动作迅速,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。

5) 气动元件结构简单，易于加工制造，使用寿命长，可靠性高，适于标准化、系列化、通用化。

6) 维护简单，管道不易堵塞，不存在介质变质、补充和更换等问题。

2.2 气压传动的缺点

气压传动也存在如下的缺点：

1) 由于空气压缩性大，气缸的动作速度易随负载的变化而变化，稳定性较差，尤其是低速稳定性差，给位置控制和速度控制精度带来较大

影响。

2) 目前气动系统的压力等级（一般小于 0.8 MPa）不高，因而总的输出功率不很大。

3) 由于工作介质——空气没有润滑性，通常系统中须采取措施进行给油润滑。

4) 噪声大，尤其在超音速排气时，需要加装消声装置。

2.3 气动技术与其他传动（及控制）技术的性能比较

气动技术与其他传动（及控制）技术的性能比较见表 2.1-1。

表 2.1-1 气动技术与其它传动（及控制）技术的性能比较

| 对比性能      | 机械传动 | 电 传 动 |     | 液 压 传 动   | 气 压 传 动                        |
|-----------|------|-------|-----|-----------|--------------------------------|
|           |      | 电 气   | 电 子 |           |                                |
| 驱动功率      | 较大   | 不太大   | 小   | 大         | 不太大                            |
| 驱动速度      | 小    | 大     | 大   | 小         | 大                              |
| 响应速度      | 中    | 快     | 快   | 快         | 较快                             |
| 特性受负载的影响  | 没有   | 几乎没有  | 没有  | 小         | 大                              |
| 无级调速      | 困难   | 容易    | 容易  | 容易        | 较困难                            |
| 定位精度      | 好    | 好     | 好   | 较好        | 不很好                            |
| 信号转换      | 困难   | 容易    | 容易  | 较困难       | 较困难                            |
| 远控能力      | 难实现  | 好     | 好   | 短距离       | 中距离                            |
| 结构        | 普通   | 较复杂   | 复杂  | 复杂        | 简单                             |
| 价格        | 一般   | 较高    | 高   | 较高        | 较低                             |
| 工作寿命      | 一般   | 较短    | 短   | 一般        | 长                              |
| 维护        | 简单   | 较复杂   | 最复杂 | 较复杂       | 简单                             |
| 对工作环境条件要求 | 一般   | 高     | 最高  | 不怕震动      | 适应性强，常用于易燃、易爆、多尘、潮湿、有冲击的恶劣工作环境 |
| 泄漏对环境的影响  |      | 漏电    | 漏电  | 漏油污染环境、易燃 | 不污染环境                          |

3 气压传动技术的应用和发展

3.1 气压传动技术的应用

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。据有关资料表明，目前气动技术普遍应用在下述几个领域。

(1) 汽车制造业

现代汽车制造工厂的生产线，尤其是其主要工艺的焊接生产线，几乎无一例外地采用了气动技术。如：车身外壳被真空吸盘吸起和放下，在指定工位的夹紧和定位；点焊机焊头的快速接近、减速软着陆后的变压控制点焊，都采用了各种特殊功能的气缸及相应的气动控制系统。另外，在自动线搬运装置中使用高速气缸（最大速



度达 3 m/s)、复合控制阀的气动比例控制技术的应用也很具有代表性。

#### (2) 半导体电子及家电业

在彩电、冰箱等家用电器产品的装配生产线上,在半导体芯片、印制电路等各种电子产品的装配线上,不仅可以看到各种大小不一、形状不同的气缸、气爪,还可以看到许多灵巧的真空吸盘将一般气爪很难抓起的显像管、纸箱等物品轻轻地吸住,运送到指定位置上。便携式电话性能试验装置采用小型气缸和控制阀,可以随意地改变按键频度和按键力度。

#### (3) 生产自动化的实现

在工业生产的各个领域,为了保证产品质量的均一性,减轻体力劳动,提高生产效率,降低成本,都广泛使用气动技术。如在机床、自行车、手表、洗衣机等行业的零件加工和组装线上,工件的搬运、转位、定位、夹紧、进给、装卸、装配等许多工序都使用气动技术。

#### (4) 包装自动化的实现

气压传动还广泛应用于化肥、化工、粮食、食品、药品等行业,实现粉状、粒状、块装物料的自动计量包装。烟草工业的自动卷烟和自动包装以及对液体(如油漆、油墨、化妆品、牙膏等)和气体(如煤气)的自动计量灌装等均采用了气动技术。

#### (5) 机器人技术

机器人是现代高科技发展的结晶,在装配机器人、喷漆机器人、搬运机器人以及爬墙、焊接等机器人中都采用气动技术。

#### (6) 其他领域

例如在车辆刹车装置,车门开、闭装置,鱼雷、导弹的自动控制装置以及各种气动工具中都有重要的作用。

### 3.2 气压传动技术发展趋势

近 20 年来,随着与电子技术的结合,气动技术的应用领域迅速拓宽,尤其是在各种自动化生产线上得到广泛应用。电气可编程控制系统与气动技术相结合,使整个系统自动化程度更高,控制方式更灵活,性能更加可靠;气动机械手、柔性自动生产线的迅速发展,对气动技术提出了

更多更高的要求;微电子技术的引入,促进了电-气比例伺服技术的发展,使气动技术从开关控制进入闭环比例伺服控制,控制精度不断提高;由于气动脉宽调制技术具有结构简单、抗污染能力强和成本低廉等特点,国内外都在大力开发研究。气动技术已成为实现现代传动与控制的关键技术之一。

从各国的行业统计资料来看,在工业技术发达的欧美、日本等国家,液压与气动元件的产值比已达到 6:4,甚至接近 5:5。

我国的气动行业起步较晚但发展较快。从 20 世纪 80 年代中期开始,气动元件产值的年递增率达 20% 以上,高于中国机械工业产值平均年递增率。一些气动元件的新产品陆续开发研制出来,如冷冻式干燥器、精密过滤器、不供油润滑气缸和气阀、小型气缸、低功率电磁阀、伺服气缸、滑片式气泵等。产品质量和可靠性不断提高,如气缸耐久性由 300 km 提高到 800 km;电磁阀耐久性由 300 万次提高到 500 万次。与先进的工业国家相比,我国的气动技术还相对落后,无论在气动元件的总产值、气动与液压元件的销售额之比、气动元件的品种规格数量、产品质量,都远远低于发达国家水平。要全面赶上世界先进水平还有许多工作可做。

纵观世界气动行业的发展趋势,气动技术的发展动向可归纳为:

#### 1) 机电气一体化、集成化、智能化。

由 PLC-传感器-气动元件组成的控制系统仍然是自动化技术的重要方面;发展与电子技术相结合的自适应控制气动元件,使气动技术从“开关控制”进入到高精度的“负反馈控制”。(如当气缸最大速度达 2 m/s、行程 300 mm 时,系统的定位精度已达  $\pm 0.1$  mm。)

计算机控制技术的发展及高性能电、气比例控制元件或伺服气动元件(如电、气比例或伺服流量或伺服压力阀等)的出现,为位置或力控制高精度化奠定了坚实的基础。

日本试制成功的一种新型智能电磁阀配有传感器及逻辑回路,是气动元件与光电子技术结合的产物。它能直接接受传感器的信号,当信号满足指定条件时,不必通过外部控制器,即可自行