

普通高等院校机械类“十二五”规划教材

# 液压与气压传动

YEYA YU QIYA  
CHUANDONG

谢群 崔广臣 王健 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 液 压 与 气 压 传 动

谢 群 崔广臣 王 健 编著

國 防 工 業 出 版 社

· 北 京 ·

## 内 容 简 介

本书分液压传动和气压传动两篇,共16章。第1篇为液压传动,主要讲述了液压流体力学基础、液压元件、液压基本回路、典型液压传动系统、电液控制阀与电液伺服系统及液压系统设计。第2篇为气压传动,主要讲述了气压传动理论基础、气源装置、气动控制元件、气动回路以及气动回路的设计与应用。本书在注重液压与气动技术基础理论的同时,加强与工程实际的结合,注重培养学生的工程应用和设计能力,同时也介绍了液压与气动技术领域的新技术,既可以满足在校学生学习液压与气动技术基本知识的需要,人可以满足工程技术人员解决实际问题的需要。

本书可作为高等学校机械设计制造及自动化专业、机械电子工程专业以及其他相关专业的教材。本书也可以供从事液压与气动技术的工程技术人员、研究人员学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/谢群,崔广臣,王健编著. —北京:国防工业出版社,2011.2

普通高等院校机械类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-07293-8

I. ①液... II. ①谢... ②崔... ③王... III. ①液压传动—高等学校—教材②气压传动—高等学校—教材  
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 026616 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 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

开本 787 × 1092 1/16 印张 20 字数 450 千字

2011 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

目前,液压与气动技术应用非常广泛,主要应用在制造业、交通运输、军事装备和国防工业等各个领域,成为农业、工业、国防和科学技术现代化中不可替代的一项重要基础技术,也是当代工程师应该掌握的重要基础知识之一。

本书是为高等学校机械工程类专业编写的教材。全书分液压传动和气压传动两篇,共16章。书中提供了流体力学基础、液压元件、液压基本回路、典型液压传动系统、电液控制阀与电液伺服系统、液压系统设计、气源装置、气动元件、气动回路以及气动程序控制系统的设计方法等基本理论和基础知识,内容涉及基本概念、理论分析、基本原理、结构特点、设计方法、使用与维护方法等,同时也反映了该学科国内外的最新研究成果及发展趋势,体现了基础性、系统性、先进性和工程应用性等特点。

本书采用目前应用较多的比较新型的元件,针对各类元件阐述其结构、特点和工作原理,基本回路全面、应用性强,典型回路充分反映基础知识的应用并包含国际最新应用成果,本书既可以满足在校学生对基础知识和基本理论的学习要求,又可以满足工程技术人员解决实际问题的需要。作者根据实际从事液压产品设计和调试的工作经验和多年从事液压与气动教学工作的经验,将理论知识与工程实际相结合,以培养应用型人才和更好地解决工程实际问题为目的。本书元件的图形符号、回路和系统原理图采用了流体传动系统及元件图形符号和回路图的国家标准 GB/T 786.1—2009 绘制。

本书由谢群、崔广臣、王健主编。参加编写的有沈阳理工大学李国康(第1章)、谢群(第2章、第6章、第7章、第9章)、李艳杰(第3章)、王健(第4章、第5章)、崔广臣(第10章~16章),东北农业大学苏文海(第8章)。

在本书的编写过程中得到了沈阳重型机械集团有限责任公司盾构分公司高伟贤副总经理的支持和帮助,在此表示感谢。

由于编写水平有限,书中难免有不到之处,敬请广大读者指正。

# 目 录

|                           |   |
|---------------------------|---|
| 绪 论 .....                 | 1 |
| 一、液压与气压传动的工作原理和基本特征 ..... | 1 |
| 二、液压与气压传动系统的组成 .....      | 3 |
| 三、液压与气压传动系统的图形符号 .....    | 3 |
| 四、液压与气压传动的优缺点 .....       | 4 |
| 五、液压与气压传动的应用与发展 .....     | 6 |

## 第1篇 液 压 传 动

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第1章 流体力学基础 .....        | 7  |
| 第1节 液压传动工作介质的性质 .....   | 7  |
| 第2节 液体静力学 .....         | 10 |
| 一、压力及其性质 .....          | 10 |
| 二、液体静压力基本方程 .....       | 10 |
| 三、压力的表示方法 .....         | 12 |
| 四、液体静压力作用在固体壁面上的力 ..... | 12 |
| 第3节 液体动力学 .....         | 13 |
| 一、基本概念 .....            | 13 |
| 二、连续方程 .....            | 14 |
| 三、伯努利方程 .....           | 15 |
| 四、动量方程 .....            | 18 |
| 第4节 管路损失计算 .....        | 20 |
| 一、雷诺实验 .....            | 20 |
| 二、雷诺数 .....             | 21 |
| 三、圆管内层流分析 .....         | 21 |
| 四、圆管内紊流分析 .....         | 22 |
| 五、沿程流动损失 .....          | 23 |
| 六、局部流动损失 .....          | 24 |

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 七、管路总流动损失 .....         | 24        |
| 第5节 小孔出流和缝隙流动 .....     | 25        |
| 一、小孔流量计算 .....          | 25        |
| 二、缝隙流量计算 .....          | 27        |
| 第6节 空穴现象和液压冲击 .....     | 29        |
| 一、空穴现象 .....            | 29        |
| 二、液压冲击 .....            | 30        |
| 思考题和习题 .....            | 31        |
| <b>第2章 液压动力元件</b> ..... | <b>35</b> |
| 第1节 概述 .....            | 35        |
| 一、液压泵的工作原理及基本特点 .....   | 35        |
| 二、液压泵的主要性能参数 .....      | 36        |
| 第2节 齿轮泵 .....           | 38        |
| 一、外啮合齿轮泵的工作原理 .....     | 38        |
| 二、外啮合齿轮泵的排量与流量 .....    | 39        |
| 三、外啮合齿轮泵的结构特点 .....     | 40        |
| 四、提高外啮合齿轮泵压力的措施 .....   | 42        |
| 五、螺杆泵和内啮合齿轮泵 .....      | 42        |
| 第3节 叶片泵 .....           | 44        |
| 一、单作用叶片泵 .....          | 44        |
| 二、双作用叶片泵 .....          | 47        |
| 第4节 柱塞泵 .....           | 50        |
| 一、轴向柱塞泵 .....           | 51        |
| 二、径向柱塞泵 .....           | 57        |
| 第5节 液压泵的性能比较与应用 .....   | 58        |
| 思考题和习题 .....            | 59        |
| <b>第3章 液压执行元件</b> ..... | <b>60</b> |
| 第1节 液压马达 .....          | 60        |
| 一、液压马达的特点 .....         | 60        |
| 二、液压马达的主要性能参数 .....     | 60        |
| 三、液压马达的工作原理 .....       | 63        |
| 第2节 液压缸 .....           | 67        |
| 一、液压缸的分类 .....          | 67        |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| 二、几种典型的液压缸 .....        | 67         |
| 三、液压缸的典型结构及主要零部件 .....  | 72         |
| 四、液压缸的设计与计算 .....       | 75         |
| 五、数字控制液压缸 .....         | 78         |
| 思考题和习题 .....            | 80         |
| <b>第4章 液压控制元件 .....</b> | <b>82</b>  |
| 第1节 概述 .....            | 82         |
| 第2节 方向控制阀 .....         | 82         |
| 一、单向阀 .....             | 82         |
| 二、换向阀 .....             | 83         |
| 第3节 压力控制阀 .....         | 91         |
| 一、溢流阀 .....             | 91         |
| 二、减压阀 .....             | 95         |
| 三、顺序阀 .....             | 97         |
| 四、压力继电器 .....           | 99         |
| 第4节 流量控制阀 .....         | 99         |
| 一、流量控制原理及节流口形式 .....    | 100        |
| 二、节流阀的类型及工作原理 .....     | 103        |
| 三、节流阀的压力和温度补偿 .....     | 104        |
| 第5节 叠加式液压阀 .....        | 107        |
| 第6节 二通插装阀 .....         | 109        |
| 一、插装阀的工作原理 .....        | 109        |
| 二、插装阀的类型 .....          | 110        |
| 第7节 液压阀的连接 .....        | 112        |
| 思考题和习题 .....            | 113        |
| <b>第5章 液压辅助元件 .....</b> | <b>115</b> |
| 第1节 管路及管接头 .....        | 115        |
| 一、油管的种类和选用 .....        | 115        |
| 二、管接头的种类和选用 .....       | 116        |
| 第2节 油箱 .....            | 118        |
| 一、油箱的功用和结构 .....        | 118        |
| 二、油箱设计时需要注意的问题 .....    | 119        |
| 第3节 滤油器 .....           | 120        |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 一、滤油器的功用和基本要求····· | 120 |
| 二、过滤器的类型·····      | 120 |
| 三、过滤器的安装·····      | 122 |
| 第4节 密封装置·····      | 123 |
| 一、对密封装置的要求·····    | 123 |
| 二、密封装置的类型和特点·····  | 124 |
| 第5节 蓄能器·····       | 126 |
| 一、蓄能器的功用·····      | 126 |
| 二、蓄能器的类型与结构·····   | 127 |
| 三、蓄能器的容量计算·····    | 128 |
| 四、蓄能器的安装·····      | 129 |
| 第6节 冷热换热器·····     | 129 |
| 一、冷却器·····         | 129 |
| 二、加热器·····         | 130 |
| 第7节 压力表及压力表开关····· | 130 |
| 一、压力表·····         | 130 |
| 二、压力表开关·····       | 130 |
| 思考题和习题·····        | 131 |
| 第6章 液压基本回路·····    | 132 |
| 第1节 压力控制回路·····    | 132 |
| 一、调压回路·····        | 132 |
| 二、减压回路·····        | 133 |
| 三、增压回路·····        | 134 |
| 四、卸荷回路·····        | 135 |
| 五、保压回路·····        | 136 |
| 六、泄压回路·····        | 138 |
| 七、平衡回路·····        | 138 |
| 第2节 速度控制回路·····    | 140 |
| 一、调速回路·····        | 140 |
| 二、快速运动回路·····      | 150 |
| 三、速度换接回路·····      | 153 |
| 第3节 多执行元件控制回路····· | 154 |
| 一、顺序动作回路·····      | 155 |
| 二、同步回路·····        | 156 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 三、互不干扰回路 .....         | 159 |
| 第4节 其他控制回路 .....       | 160 |
| 一、锁紧回路 .....           | 160 |
| 二、缓冲回路 .....           | 160 |
| 思考题和习题 .....           | 161 |
| 第7章 典型液压系统 .....       | 164 |
| 第1节 组合机床动力滑台液压系统 ..... | 164 |
| 一、概述 .....             | 164 |
| 二、工作原理 .....           | 164 |
| 三、技术特点 .....           | 166 |
| 第2节 液压机液压系统 .....      | 166 |
| 一、概述 .....             | 166 |
| 二、工作原理 .....           | 166 |
| 三、技术特点 .....           | 169 |
| 第3节 塑料注射成型机液压系统 .....  | 169 |
| 一、概述 .....             | 169 |
| 二、工作原理 .....           | 170 |
| 三、技术特点 .....           | 172 |
| 第4节 盾构机刀盘驱动液压系统 .....  | 173 |
| 一、概述 .....             | 173 |
| 二、工作原理 .....           | 173 |
| 三、技术特点 .....           | 175 |
| 思考题和习题 .....           | 176 |
| 第8章 电液控制阀与电液伺服系统 ..... | 177 |
| 第1节 电液伺服阀 .....        | 177 |
| 一、电液伺服阀的分类 .....       | 177 |
| 二、电液伺服阀的结构原理 .....     | 177 |
| 三、伺服控制元件常用的结构形式 .....  | 179 |
| 四、电液伺服阀的特性 .....       | 181 |
| 第2节 电液比例控制阀 .....      | 184 |
| 一、比例阀的特点 .....         | 185 |
| 二、比例阀的组成 .....         | 185 |
| 三、比例电磁铁的工作原理 .....     | 186 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 四、比例电磁铁的选用 .....            | 187        |
| 第3节 电液数字阀 .....             | 187        |
| 第4节 电液伺服系统实例 .....          | 188        |
| 一、机械手伸缩运动伺服系统 .....         | 188        |
| 二、钢带张力控制系统 .....            | 189        |
| 三、试验机电液比例加载测控系统 .....       | 190        |
| 四、直驱式容积控制电液伺服系统 .....       | 191        |
| 思考题和习题 .....                | 192        |
| <b>第9章 液压系统的设计与计算</b> ..... | <b>193</b> |
| 第1节 明确设计要求进行工况分析 .....      | 193        |
| 一、明确设计要求 .....              | 193        |
| 二、进行工况分析 .....              | 193        |
| 第2节 确定液压系统的主要参数 .....       | 195        |
| 一、初选系统的工作压力 .....           | 195        |
| 二、计算液压缸主要结构尺寸和液压马达排量 .....  | 195        |
| 三、计算执行元件所需流量 .....          | 197        |
| 四、绘制执行元件工况图 .....           | 197        |
| 第3节 拟定液压系统原理图 .....         | 198        |
| 第4节 液压元件的计算和选择 .....        | 199        |
| 一、液压泵的选择 .....              | 199        |
| 二、确定液压泵的驱动功率 .....          | 200        |
| 三、控制阀的选择 .....              | 201        |
| 四、液压辅件的选择 .....             | 201        |
| 第5节 液压系统性能验算 .....          | 202        |
| 一、液压系统压力损失验算 .....          | 202        |
| 二、系统发热及温升计算 .....           | 202        |
| 第6节 设计液压装置、编制技术文件 .....     | 203        |
| 一、液压装置的结构设计 .....           | 203        |
| 二、绘制工作图、编制技术文件 .....        | 204        |
| 第7节 液压系统设计计算举例 .....        | 204        |
| 一、负载与运动分析 .....             | 205        |
| 二、确定液压缸主要参数 .....           | 206        |
| 三、拟定液压系统原理图 .....           | 208        |
| 四、选择液压元件 .....              | 208        |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 五、液压系统的主要性能验算 ..... | 209 |
| 思考题和习题 .....        | 211 |

## 第2篇 气压传动

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第10章 气压传动理论基础 .....      | 212 |
| 一、气压传动不简单等同于液压传动 .....   | 212 |
| 二、气动系统主要特点 .....         | 212 |
| 第1节 空气的基本性质 .....        | 212 |
| 一、空气的性质 .....            | 212 |
| 二、气体状态方程 .....           | 213 |
| 三、湿空气 .....              | 216 |
| 第2节 气体流动特性 .....         | 217 |
| 一、声速 .....               | 217 |
| 二、马赫数 .....              | 218 |
| 三、变截面管道中的亚声速和超声速流动 ..... | 219 |
| 思考题和习题 .....             | 221 |
| 第11章 气源装置及气动辅助元件 .....   | 222 |
| 第1节 气源装置 .....           | 222 |
| 一、压缩空气站概述 .....          | 222 |
| 二、空气压缩机 .....            | 223 |
| 第2节 气源净化及处理装置 .....      | 225 |
| 一、空气过滤器 .....            | 225 |
| 二、后冷却器 .....             | 225 |
| 三、油水分离器 .....            | 226 |
| 四、空气干燥器 .....            | 227 |
| 五、储气罐 .....              | 227 |
| 六、油雾器 .....              | 228 |
| 七、气源处理“三联件” .....        | 230 |
| 第3节 传统气动系统辅助元件 .....     | 231 |
| 一、消声器 .....              | 231 |
| 二、管道与接头 .....            | 232 |
| 三、管道布置 .....             | 233 |
| 第4节 现代气动自动控制系统辅助元件 ..... | 234 |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| 一、传感器                | 234        |
| 二、转换器                | 235        |
| 三、程序器                | 236        |
| 四、气动放大器              | 236        |
| 五、气动延时器              | 237        |
| 六、气动变送器              | 237        |
| 思考题和习题               | 238        |
| <b>第 12 章 气动执行元件</b> | <b>239</b> |
| 第 1 节 气缸             | 239        |
| 一、气缸的分类              | 239        |
| 二、气缸的工作特性            | 239        |
| 三、气缸的主要尺寸及结构设计       | 242        |
| 四、常用气缸               | 245        |
| 第 2 节 气动马达           | 247        |
| 思考题和习题               | 248        |
| <b>第 13 章 气动控制元件</b> | <b>249</b> |
| 第 1 节 压力控制阀          | 249        |
| 第 2 节 方向控制阀          | 251        |
| 一、方向控制阀的分类           | 251        |
| 二、单向型控制阀             | 252        |
| 三、换向阀                | 254        |
| 第 3 节 流量控制阀          | 258        |
| 一、排气节流阀(带消声器)        | 259        |
| 二、其他节流阀              | 259        |
| 第 4 节 气动逻辑元件         | 259        |
| 一、气动逻辑元件的分类          | 259        |
| 二、高压截止式逻辑元件          | 260        |
| 三、高压膜片式逻辑元件          | 263        |
| 四、逻辑元件的选用            | 263        |
| 第 5 节 气动比例阀及气动伺服阀    | 263        |
| 一、气动比例阀              | 264        |
| 二、电—气伺服阀(简称气动伺服阀)    | 265        |
| 思考题和习题               | 265        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>第 14 章 气动基本回路</b>        | 267 |
| 第 1 节 压力控制回路                | 267 |
| 一、压力控制回路组成                  | 267 |
| 二、压力控制回路分类                  | 267 |
| 第 2 节 速度控制回路                | 268 |
| 一、单作用气缸速度控制回路               | 268 |
| 二、双作用气缸速度控制回路               | 268 |
| 三、快速往复运动回路                  | 269 |
| 四、速度换接回路                    | 270 |
| 五、缓冲回路                      | 270 |
| 第 3 节 换向回路                  | 270 |
| 一、单作用气缸换向回路                 | 270 |
| 二、双作用气缸换向回路                 | 271 |
| 第 4 节 气—液联动回路               | 271 |
| 第 5 节 延时回路                  | 273 |
| 第 6 节 计数回路                  | 274 |
| 第 7 节 安全保护回路                | 274 |
| 一、过载保护回路                    | 274 |
| 二、互锁回路                      | 275 |
| 三、双手同时操作回路                  | 275 |
| 第 8 节 顺序动作回路                | 276 |
| 一、单缸往复动作回路                  | 276 |
| 二、多缸顺序动作回路                  | 277 |
| 思考题和习题                      | 277 |
| <b>第 15 章 气动逻辑控制系统设计及举例</b> | 279 |
| 第 1 节 逻辑代数简介                | 279 |
| 一、逻辑函数真值表和卡诺图               | 279 |
| 二、逻辑代数的基本逻辑运算及其恒等式          | 280 |
| 三、逻辑函数表达式的简化                | 281 |
| 第 2 节 组合逻辑控制回路设计            | 283 |
| 一、组合逻辑控制回路设计的一般步骤           | 283 |
| 二、组合逻辑控制回路设计举例              | 285 |
| 思考题和习题                      | 288 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| <b>第 16 章 程序控制系统设计及举例</b>           | 289 |
| 第 1 节 程序控制系统概述                      | 289 |
| 第 2 节 程序控制系统的设计步骤                   | 289 |
| 一、设计准备工作                            | 289 |
| 二、控制回路设计步骤                          | 290 |
| 第 3 节 多缸单往复行程程序回路设计及举例              | 290 |
| 一、障碍信号的判断和排除                        | 291 |
| 二、X-D 状态图建立                         | 292 |
| 三、X-D 状态图应用方法介绍                     | 293 |
| 四、绘制气动程序控制逻辑原理图 (简称逻辑原理图)           | 298 |
| 五、气动回路图的绘制                          | 299 |
| 六、气动回路图的应用说明                        | 300 |
| 第 4 节 多缸多往复行程程序回路设计举例               | 300 |
| 一、画 X-D 线图                          | 300 |
| 二、判断和消障                             | 300 |
| 三、画出“ $A_1B_1B_0B_1B_0A_0$ ”的逻辑原理图  | 302 |
| 四、画出“ $A_1B_1B_0B_1B_0A_0$ ”气动控制回路图 | 302 |
| 思考题和习题                              | 303 |
| 参考文献                                | 304 |

# 绪 论

任何一部机器一般都有传动装置,按照所采用的传动件或工作介质的不同,传动的类型主要分为机械传动、电力传动和流体传动。流体传动又可分为液体传动和气体传动。按工作原理不同,液(气)体传动又分为液(气)力传动和液(气)压传动。液(气)力传动是利用流体的动能进行工作;液(气)压传动是利用流体的压力能来传递动力和进行控制。

液压与气压传动是以流体作为工作介质实现能量转换、传递和控制的技术。液压传动的工作介质为液压油或各种合成液,气压传动的工作介质为压缩空气。液压传动与气压传动简称为液压与气动技术。

## 一、液压与气压传动的工作原理和基本特征

液压传动与气压传动的工作原理基本相同。现以液压千斤顶为例来说明液压与气压传动的基本工作原理。如图 0-1(a)所示,当手动抬起杠杆手柄时,小液压缸 1 中活塞向上运动,活塞下腔容积增大,形成局部真空,单向阀 2 关闭,在大气压作用下,油箱 5 中的油液通过吸油管 4 顶开单向阀 3 进入小液压缸下腔,完成吸油过程;当压下杠杆手柄时,小液压缸活塞向下运动,活塞下腔油液压力升高,关闭单向阀 3,顶开单向阀 2,油液经压油管 8 进入大液压缸 9,推动活塞上移顶起重物。不断往复扳动手柄,则不断有油液进入大液压缸下腔,将重物逐渐顶起。停止扳动手柄,由于截止阀 7 关闭,大液压缸油液压力使单向阀 2 关闭,则重物停止不动。如果打开截止阀,大液压缸下腔油液经回油管 6 流回油箱,大活塞在重物和自重作用下向下移动,回到原始位置。杠杆手柄、小液压缸、单向阀 2 和 3 组成手动液压泵,完成吸油与压油,将机械能转换成压力能输出。大液压缸称为举升液压缸,它将压力能转换成机械能,举起重物。它们共同组成了最简单的液压传动系统,实现了能量的转换和传递。

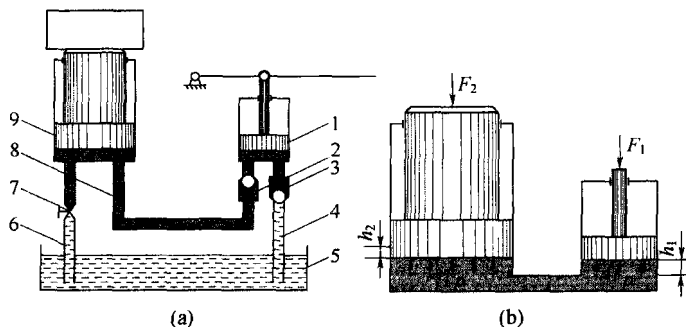


图 0-1 液压千斤顶

1—小液压缸;2,3—单向阀;4—吸油管;5—油箱;  
6—回油管;7—截止阀;8—压油管;9—大液压缸。

基本特征如下:

### 1. 力的传递

力的传递根据液体静压传递原理实现。

如图 0-1(b) 液压千斤顶的简化模型所示, 当大液压缸活塞上的负载力为  $F_2$ 、活塞面积为  $A_2$  时, 大液压缸中所产生的液体压力  $p = F_2/A_2$ , 根据帕斯卡原理: “在密闭容器内, 施加于静止液体上的压力将以等值同时传递到液体内部各点”。因此小液压缸中的液体压力应等于  $p$ , 即

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (0-1)$$

式中:  $F_1$  为杠杆手柄作用在小活塞上的力;  $A_1$  为小液压缸活塞面积。

因此, 系统所能克服的负载力为

$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (0-2)$$

式(0-2)为液压与气压传动中力传递的基本公式。由此可以看出:

(1) 因  $A_2 > A_1$ , 则  $F_2 > F_1$ , 所以用一个很小的力  $F_1$ , 就可以推动一个较大的负载  $F_2$ , 因此液压系统可看做一个力的放大机构。

(2) 在  $A_1$ 、 $A_2$  一定时, 负载力  $F_2$  越大, 系统中的压力  $p$  也越大, 因此得出液压与气压传动的第一个基本特征: 工作压力取决于负载。

### 2. 运动的传递

运动速度的传递根据密闭工作容积变化相等的原则实现。

如果不考虑液体的可压缩性, 泄漏和液压缸、管路的变形等因素, 小液压缸排出的液体的体积必然等于进入大液压缸的液体体积, 即

$$h_1 A_1 = h_2 A_2 \quad (0-3)$$

式中:  $h_1$ 、 $h_2$  分别为小液压缸活塞和大液压缸活塞的位移。

式(0-3)两边同除以活塞运动时间  $t$ , 得

$$q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2 = q \quad (0-4)$$

式中:  $v_1$ 、 $v_2$  分别为小液压缸活塞和大液压缸活塞平均运动速度;  $q_1$ 、 $q_2$  分别为小液压缸的输出流量和大液压缸的输入流量。  $q$  为系统中液体的流量, 即单位时间内液体流过某一截面的液体的体积。

由式(0-4), 得

$$v_2 = \frac{q}{A_2} \quad (0-5)$$

因此, 改变进入大液压缸的流量, 即可改变大液压缸活塞的运动速度, 这是液压与气压传动能实现无级调速的基本原理。因此得出液压与气压传动的第二个基本特征: 运动速度取决于流量。

### 3. 功率关系

系统的能量传递符合能量守恒定律。

如果不计损失, 则系统的输入功率

$$P_1 = F_1 v_1 = p A_1 v_1 = p q \quad (0-6)$$

输出功率

$$P_2 = F_2 v_2 = p A_2 v_2 = p q \quad (0-7)$$

系统的输入功率与输出功率相等,液压与气压传动中功率等于压力与流量之积。

从以上的分析可以看出,与外负载力相对应的流体参数是压力,与运动速度相对应的流体参数是流量。因此,压力和流量是液压与气压传动系统中两个最基本、最重要的参数。

## 二、液压与气压传动系统的组成

图0-2所示为一台简单的机床工作台液压系统,下面通过对系统的工作原理分析来说明液压与气压传动系统的组成。系统由油箱1、滤油器2、液压泵3、溢流阀4、节流阀5、手动换向阀6、液压缸7以及连接这些元件的管路等组成。该系统的工作原理是:液压泵由电动机驱动从油箱经过滤油器吸油,液压泵输出的压力油进入压油管路。当换向阀6的阀芯处于如图0-2(a)所示位置时,压力油经节流阀、换向阀进入液压缸左腔,推动液压缸活塞带动工作台向右运动,液压缸右腔油液经过换向阀和管路流回油箱。如果扳动换向阀6的手柄驱动阀芯运动到如图0-2(b)位置,则压力油将进入液压缸右腔,液压缸左腔油液流回油箱,活塞带动工作台向左运动。当换向阀6的阀芯处于图0-2(c)位置时,工作台停止运动。因此,通过换向阀控制了液压缸活塞的运动方向。

调节节流阀的开口大小,可以调节进入液压缸的流量。液压泵输出的压力油,一部分经过节流阀进入液压缸进行调速,多余的流量通过溢流阀溢流回油箱。因此,通过节流阀控制了液压缸活塞的运动速度。

液压缸的工作压力取决于负载,负载包括推动工作台移动时所受到的各种阻力,如切削力和摩擦阻力等。液压泵最大工作压力由溢流阀调定,其调定值应为液压缸的最大工作压力和系统中油液流经阀和管路时的压力损失的总和。当系统压力超过溢流阀调定压力时溢流阀打开。因此,溢流阀控制了系统的工作压力,同时对系统还起到过载保护的作用。

通过以上分析可以看出,液压与气压传动系统主要由以下五部分组成:

(1) 动力元件。将机械能转换成流体的压力能的元件,为液(气)压传动系统提供具有一定流量和压力的工作介质。一般最常见的是液压泵和空气压缩机。

(2) 执行元件。将流体的压力能转换成机械能的元件,驱动负载做功。一般指液(气)压缸和液(气)压马达。

(3) 控制元件。控制和调节液(气)压系统中流体的压力、流量和流动方向的元件。例如溢流阀、节流阀和换向阀等。

(4) 辅助元件。保证系统能够正常工作并便于检测、控制的元件。例如油箱、过滤器、管路、管接头、压力表、空气滤清器、油雾器等。

(5) 工作介质。传递能量和信号的流体,即液压油或压缩空气。

## 三、液压与气压传动系统的图形符号

为了简化液压与气压传动系统的表示方法,通常采用图形符号来绘制系统原理图。