

《现代液压装置实用技术丛书》

# 常用液压缸与其修理

赵应樾 主编 史维祥 主审



上海交通大学出版社

常用液压缸与其修理

赵应樾 主编

上海交通大学出版社

TH137.51

现代液压装置实用技术丛书

# 常用液压缸与其修理

The Ordinary Hydraulic Cylinder and Their Repair

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 赵应樾 | 主 审 | 史维祥 |
| 副主编 | 张远圻 | 副主审 | 任光宪 |
|     | 徐向东 |     |     |

编 著 者

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 赵应樾 | 陈 新 | 陈克俊 | 杨宏飞 | 房 应 |
| 王宪平 | 包明浩 | 严志东 | 徐向东 | 张远圻 |

参 审 者

姜剑国 郭玉辉 韦建平 付 键 杨光南 聂慎初

上海交通大学出版社

DY 55 104

## 内 容 提 要

本书系统介绍了液压缸的常见分类、构造和主要技术参数;典型液压机械及其液压缸的特点;主要零部件的结构、制造、修理;密封材料与密封装置;液压缸的安装、运行及故障排除;液压缸的拆卸、装配、试验;液压缸修理实例等。本书内容丰富新颖,对典型液压机械、缸筒精密冷拔加工、新型密封结构、数控液压缸等新技术、新结构、新材料、新工艺的论述有些是国内书籍中首次发表。书中引用的标准均系当前最新版本的国际标准或国内标准。本书介绍的加工要领、修理工艺,积作者们数十年的技术实践经验,有较强的深广度,有的属于“绝招”。

本书可供液压技术工作者继续教育、知识更新之用,并适合作为大、中专院校液压课程的补充教材,还可作为供销人员的购物参考。

## SYNOPSIS

This book provides is as follows; the general classification, construction of hydraulic cylinders and their essential technical parameter; the typical hydraulic machinery and the characteristic of its hydraulic cylinder; the structure, manufacture and repair of the key parts; the sealed material and equipment; the installation, operation of the hydraulic cylinders and their maintenance; the assembly, disassembly and test of the hydraulic cylinders; and the examples for the repairing of hydraulic cylinders. This book has substantial content, including some new skill, new structure, new material and new technique used in the typical hydraulic machinery, cylinder cold-drawing precision work, newly sealed structure, and the numerical-controlled hydraulic cylinder, some of which are published for the first time in China. standards quoted in the book are all the international or national ones newly issued. Processing essentials and repairing techniques introduced in this book, with depth and scope, show the authors' wick practical experience accumulated during decades. some are the unique skills.

This book is appropriate not only for the hydraulic technicians who want to be re-educated, but also for technical secondary school and the college students who want to continue their study. also, this book can be used as a guide-book for those dealing with supply and marketing.

沪(新)登字 205 号

---

### 常用液压缸与其修理

出版:上海交通大学出版社

(上海市华山路 1954 号 邮政编码:200030)

发行:新华书店上海发行所

印刷:南通韬奋印刷厂

开本:787×1092(毫米)1/16

印张:21.25 字数:568000

版次:1996 年 2 月第一版

印次:1996 年 2 月第一次

印数:1-8088

科目:365-259

---

ISBN7-313-01470-8/TH·055 定价:23.40 元

## 序

在各种液压设备中,液压缸是重要的执行机构,其功能是将液体的压力能转换成机械能,用来驱动工作机构作直线或摆动运动,因此它在液压系统中的重要性是显而易见的。

近年来,液压技术使用普遍,发展迅速,有关技术人员及工人等迫切需要掌握或更新这方面的知识与技术。当前有关液压技术的书籍已出版了不少,但比较通俗、全面地说明液压缸的功能与原理,较详细地叙述其应用与维修的书籍尚少见到,《常用液压缸与其修理》一书即为此目而撰写。本书的特点是紧密联系生产实际,着眼于实用。

本书的作者们都是多年来工作在生产及教育第一线的技术人员、教师或管理人员,本书反映了他们的丰富知识与宝贵经验,相信本书的出版定会得到广大工程技术人员及工人的欢迎,同时,亦会有助于各类工程技术学校的教学。衷心祝贺本书出版成功。

史维祥 1995.6

(注:中华人民共和国学位委员会现任委员、西安交通大学老校长、全国高校流体传动与控制专业指导委员会主任史维祥教授是我国著名的液压工程专家、教育家)

## Preface

In various hydraulic equipments, hydraulic cylinder is an important actuator, its role is to transform the fluid power into mechanical drive the mechanical parts to produce linear or rotary motion, So obviously, it plays a very important role in hydraulic systems.

In recent years, hydraulic technique is used widely and developed rapidly, the technicians workers etc in this field are urgently to get or renew these knowledge. Nowadays, quite a few books related to hydraulic technique have been published, but the popular textbooks are still few which thoroughly and in an all-round way explain the functions and principles, describe the methods of their usage and maintenance in detail. The book "The Ordinary Hydraulic Cylinder and Their Repair" is written just for this purpose. The feature of this book is closely linking the theory with practice and attention is focused on practical application.

The authors of this book are educators, engineers or managers who many years work in factories or institutes, their rich knowledge and valuable experience are well reflected in this book. I think that the publishing of the book will be welcomed by the technicians and workers who work in factories, and it will be also helpful to teaching in all kinds of engineering and technical schools. I sincerely congratulate the successful publication of this book.

Shi Weixiang 6 June 1994

## 前 言

鉴于液压技术的普遍应用和迅速发展,作为从事液压专业多年的工程技术人员及教育工作者,我们编著出版了《常用液压泵与其修理》和《常用液压阀与其修理》,两书流行甚广且一印再印,但仍有一些读者写信到出版社求购此书,受此鼓舞加上液压界人士们的关心、支持,因此,我们又编写了本书《常用液压缸与其修理》,并正在撰写《常用液压马达及其修理》、《常用液压辅助元件及其修理》、《常用液压派生元件及其修理》、《典型机械液压传动系统及其修理》、《液压装置现代控制及其修理》(上、中、下三册)及《设备故障辅助诊断的纳甲法专家系统》,从而形成一套较为完整的《现代液压装置实用技术丛书》。

本书《常用液压缸与其修理》的作者们,多是活跃在液压工程战线的技术人员、管理人员及教师,书中介绍的液压缸加工要领、修理工艺及实例,蕴有作者们数十年的技术实践经验,有较强的实用性和深广度,有些诀窍,属于“绝招”。本书对典型液压机械中的新品、精品以及液压缸筒的精密冷拔加工,新型同轴密封结构及元件,橡塑制品热处理,数控液压缸……等新技术、新结构、新材料、新工艺的论述,有些是国内书籍中首次发表;最后一章探索性用《周易》预测技术工程故障与经济活动,可能也将会引起读者们的兴趣。

本书由赵应樾主编、由毕生从事船舶液压机械工作的徐向东和南通工学院机制教研室主任张远圻副教授副主编,参加编著的还有陈克俊、陈新、王宪平、王明潜、房应、杨宏飞、严卫东;本书承蒙史维祥教授主审;国家五一劳动奖章获得者、著名中青年液压专家任光宪副主审,参加编审工作的还有姜剑国、韦建平、郭玉辉、付键、聂慎初、杨光南等液压专家。

本书在编写过程中,得到南京山特工程机械制造公司、香港震雄机器厂有限公司、南京远洋船用成套设备公司、南京华瑞工程机械有限公司、中国南通双马橡塑机械有限公司、江苏淮阴机械总厂、江苏太仓密封件厂、常州皮革机械总厂、徐工集团徐州重型机械厂、江苏武进启闭机总厂、无锡永兴林机厂、无锡江南缸体厂、江苏飞鹿建设机械制造公司、南通锻压机床厂、江苏海安锻压机床厂以及西安交通大学、上海交通大学等单位的大力支持,特此表示衷心地感谢。

由于我们学识水平和工作经验有限,时间紧迫,书中难免存在缺点甚至错误,恳请行家及读者批评指正。

最后,向本书参阅、引用资料的国内外作者致以谢忱。

西安交通大学机械工程系兼职副教授  
国营江苏如皋液压件厂原总工程师  
上海易学研究会会员、理事  
《现代液压装置实用技术丛书》主编

赵应樾 1995年6月

# 目 录

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第一章 概论</b> .....              | 1   |
| 第一节 液压技术及液压缸的应用简介 .....          | 1   |
| 一、概述 .....                       | 1   |
| 二、液压理论的发展与我国液压工业简史 .....         | 2   |
| 三、液压缸的应用概况及其机构配合 .....           | 3   |
| 四、液压缸发展动态 .....                  | 8   |
| 第二节 液压缸的主要参数 .....               | 12  |
| 一、压力 $p$ .....                   | 12  |
| 二、缸内径 $D$ 和活塞杆直径 $d$ .....       | 13  |
| 三、活塞行程 $S$ .....                 | 13  |
| 四、运动线速度 $v$ 和平均线速度 $v_m$ .....   | 14  |
| 五、面积比(速度比) $\varphi$ .....       | 14  |
| 六、推拉力及其他参数 .....                 | 15  |
| 第三节 液压缸的标准化 .....                | 17  |
| 一、ISO 中的液压缸标准 .....              | 17  |
| 二、GB 中的液压缸标准 .....               | 18  |
| 第四节 液压缸修理的概念 .....               | 18  |
| 一、修理工作的意义 .....                  | 18  |
| 二、液压缸修理的主要内容 .....               | 19  |
| 三、日常维护工作 .....                   | 21  |
| 四、修理工作的基本技术条件 .....              | 23  |
| <b>第二章 液压缸的常见分类、结构及其用油</b> ..... | 24  |
| 第一节 常用液压缸的分类及图形符号 .....          | 24  |
| 一、液压缸的分类 .....                   | 24  |
| 二、液压缸的图形符号 .....                 | 25  |
| 第二节 典型结构液压缸及其特点 .....            | 27  |
| 一、活塞式液压缸 .....                   | 27  |
| 二、柱塞式液压缸 .....                   | 30  |
| 三、伸缩式液压缸 .....                   | 31  |
| 四、可旋转式液压缸 .....                  | 32  |
| 五、摆动式液压缸 .....                   | 32  |
| 六、组合式液压缸 .....                   | 35  |
| 七、电液步进液压缸 .....                  | 40  |
| 第三节 液压缸用油及对污染的控制 .....           | 42  |
| 一、用油的基本要求 .....                  | 43  |
| 二、用油选择及常用液压油的性质用途 .....          | 44  |
| 三、用油污染的原因与危害 .....               | 51  |
| 四、污染度标准与测定 .....                 | 52  |
| 五、控制污染的方法 .....                  | 54  |
| <b>第三章 典型液压机械及其液压缸的特点</b> .....  | 57  |
| 第一节 工程机械及农副产品加工机械 .....          | 57  |
| 一、挖掘机、装载机及液压静力压桩机 .....          | 59  |
| 二、叉车、汽车起重机及自卸车 .....             | 61  |
| 三、棉花液压打包机 .....                  | 69  |
| 第二节 道路、交通、船舶及液压启闭机械 .....        | 70  |
| 一、凿岩钻车和压路机 .....                 | 70  |
| 二、船舶舵机 .....                     | 74  |
| 三、液压启闭机 .....                    | 77  |
| 第三节 皮革和橡塑加工机械 .....              | 80  |
| 一、皮革加工机械 .....                   | 80  |
| 二、平板硫化机 .....                    | 84  |
| 三、塑料注射成型机 .....                  | 86  |
| 第四节 金属切削机床与锻压机械 .....            | 90  |
| 一、卧轴矩台平面磨床 .....                 | 90  |
| 二、XF6325 型仿形铣床 .....             | 91  |
| 三、YJ 系列热压机 .....                 | 93  |
| 四、消振液压模锻锤 .....                  | 94  |
| 五、液压板料折弯机 .....                  | 95  |
| 六、液压机 .....                      | 96  |
| <b>第四章 缸体组件的结构与制造、修理</b> .....   | 98  |
| 第一节 缸筒制造工艺 .....                 | 98  |
| 一、材料和毛坯 .....                    | 98  |
| 二、技术要求 .....                     | 98  |
| 三、制造工艺及示例 .....                  | 100 |
| 四、缸筒的精密冷拔加工 .....                | 106 |
| 第二节 缸盖、缸底及与缸筒的连接 .....           | 109 |
| 一、常用材料与加工技术要求 .....              | 109 |
| 二、缸盖(底)结构及与缸筒的连接 .....           | 109 |
| 第三节 油口及耳环、耳轴 .....               | 114 |
| 一、油口型式与尺寸 .....                  | 114 |
| 二、油口位置 .....                     | 116 |
| 三、耳环与耳轴 .....                    | 117 |
| 第四节 常见事故与修理措施 .....              | 117 |
| 一、缸体内孔表面划伤 .....                 | 117 |
| 二、缸壁胀大 .....                     | 119 |

|                                       |            |                                     |            |
|---------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|
| 三、缸筒、缸盖接合处结构性泄漏 .....                 | 120        | 一、密封结构形式 .....                      | 209        |
| 四、缸体组件的损坏 .....                       | 123        | 二、摩擦阻力的计算 .....                     | 211        |
| 五、缸筒的修理 .....                         | 125        | 第五节 常见事故与修理措施 .....                 | 213        |
| <b>第五章 活塞(杆)组件的结构与制造、修理 .....</b>     | <b>129</b> | 一、O 形密封圈的失效与修理 .....                | 213        |
| 第一节 活塞组件 .....                        | 129        | 二、唇形密封圈的失效与修理 .....                 | 216        |
| 一、活塞常用材料、结构与加工要领 .....                | 129        | 三、同轴密封件的失效与修理 .....                 | 221        |
| 二、导向(支承)环 .....                       | 131        | <b>第七章 缓冲、排气装置与其修理 .....</b>        | <b>224</b> |
| 三、与活塞杆的连接结构 .....                     | 133        | 第一节 缓冲机构 .....                      | 224        |
| 第二节 活塞杆(柱塞)组件 .....                   | 134        | 一、缓冲的作用与方法 .....                    | 224        |
| 一、常见结构、材料与加工要领 .....                  | 134        | 二、恒节流型缓冲装置 .....                    | 225        |
| 二、导向套与中隔圈 .....                       | 138        | 三、变节流型缓冲机构 .....                    | 228        |
| 三、与负载的联接结构 .....                      | 140        | 四、浮动自调节流型缓冲机构 .....                 | 229        |
| 第三节 常见事故与修理措施 .....                   | 143        | 五、卸压型缓冲机构 .....                     | 230        |
| 一、活塞损坏 .....                          | 143        | 第二节 排气装置 .....                      | 231        |
| 二、活塞与活塞杆脱接 .....                      | 144        | 一、设置原则与主要型式结构 .....                 | 231        |
| 三、活塞杆弯曲 .....                         | 145        | 二、排气装置的调整 .....                     | 232        |
| 四、与负载连接的损坏 .....                      | 146        | 第三节 常见事故与修理措施 .....                 | 232        |
| 五、活塞杆表面伤痕 .....                       | 147        | 一、特殊高压引起缸体损坏 .....                  | 233        |
| 六、活塞杆部结构性泄漏 .....                     | 148        | 二、系统压力冲击过大 .....                    | 233        |
| <b>第六章 密封装置与其修理 .....</b>             | <b>150</b> | 三、缓冲过程有断续爬行现象 .....                 | 234        |
| 第一节 密封件的分类、材料性能及 O 形密封圈 .....         | 150        | 四、活塞返程后有倒退或停止现象 .....               | 235        |
| 一、密封件的分类及基本要求 .....                   | 150        | 五、缓冲节流阀的结构性泄漏及其他泄漏 .....            | 236        |
| 二、常用密封材料的性能特点 .....                   | 151        | 六、排气阀的泄漏 .....                      | 238        |
| 三、O 形密封圈 .....                        | 153        | <b>第八章 液压缸的安装和不良安装带来事故的修理 .....</b> | <b>241</b> |
| 第二节 常用唇形密封圈 .....                     | 163        | 第一节 安装型式分类和液压缸安装的标准 .....           | 241        |
| 一、Y 形(含 Yx 型、KY 型)单向密封圈和蕾形单向密封圈 ..... | 163        | 一、常见分类 .....                        | 241        |
| 二、西姆柯型双向和鼓型双向组合密封圈 .....              | 165        | 二、安装尺寸和安装型式代号的国家标准与 ISO 标准 .....    | 244        |
| 三、V 形组合密封圈 .....                      | 166        | 第二节 安装技术要领 .....                    | 249        |
| 四、型号标记和往复运动橡胶密封圈的(最新)国家标准 .....       | 168        | 一、脚架类安装要领 .....                     | 249        |
| 第三节 新型同轴密封件 .....                     | 193        | 二、法兰类安装要领 .....                     | 252        |
| 一、格来圈及斯来圈 .....                       | 194        | 三、耳环、耳轴类安装要领 .....                  | 254        |
| 二、斯特封 .....                           | 195        | 第三节 不良安装形成事故的修理 .....               | 256        |
| 三、双特槽密封 .....                         | 197        | 一、底座变形 .....                        | 256        |
| 四、埃洛特 .....                           | 200        | 二、缸体受热变形 .....                      | 257        |
| 五、型号标记和安装沟槽的有关标准 .....                | 201        | 三、液压缸体挠曲 .....                      | 257        |
| 第四节 液压缸密封结构及摩擦阻力的计算 .....             | 209        | 四、连接螺栓损坏 .....                      | 260        |
|                                       |            | 五、液压缸运行别劲 .....                     | 262        |
|                                       |            | 六、耳轴弯曲 .....                        | 262        |

|                               |     |                                       |     |
|-------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| <b>第九章 运行故障的诊断与排除</b> .....   | 264 | 一、设备及事故简介 .....                       | 292 |
| 第一节 液压缸动作不良 .....             | 264 | 二、工艺的设计、计算 .....                      | 292 |
| 一、液压缸不能动作 .....               | 264 | 三、工艺实施 .....                          | 294 |
| 二、动作不灵敏,有阻滞现象 .....           | 266 | 四、效果与建议 .....                         | 294 |
| 三、运动有爬行现象 .....               | 268 | <b>第三节 150t 棉花打包机液压缸的修理</b> .....     | 295 |
| <b>第二节 液压缸不能达到预定的速度和</b>      |     | 一、故障状况 .....                          | 295 |
| <b>推力</b> .....               | 271 | 二、故障分析与判断 .....                       | 295 |
| 一、运动速度达不到预定值 .....            | 271 | 三、修理工艺过程 .....                        | 297 |
| 二、液压缸的推力不够 .....              | 272 | 四、效果 .....                            | 297 |
| <b>第三节 液压缸的泄漏</b> .....       | 273 | <b>第四节 周易八卦纳甲法预测液压装置技术</b>            |     |
| 一、泄漏途径 .....                  | 273 | 状态及技术经济活动实例 .....                     | 298 |
| 二、主要泄漏原因 .....                | 273 | 一、样机试车有问题 .....                       | 298 |
| 三、液压缸泄漏的其他原因 .....            | 274 | 二、某专利的转让过程 .....                      | 299 |
| <b>第四节 液压缸缓冲效果不佳</b> .....    | 274 | <b>附录 1 已出版的液压气动系统和元件国际</b>           |     |
| 一、缓冲效果不佳的几种表现形式 .....         | 275 | 标准目录 .....                            | 301 |
| 二、缓冲作用过度和失效的原因及排除 .....       | 275 | <b>附录 2 液压缸活塞和活塞杆(宽断面)动密封沟槽</b>       |     |
| 三、液压冲击诊断方框图 .....             | 275 | 型式、尺寸和公差                              |     |
| <b>第五节 液压缸运行时发出不正常的</b>       |     | (摘自 GB2879—86) .....                  | 304 |
| <b>响声</b> .....               | 276 | <b>附录 3 液压缸活塞和活塞杆窄断面动密封</b>           |     |
| 一、问题的严重性 .....                | 276 | 沟槽尺寸系列和公差                             |     |
| 二、产生原因及排除 .....               | 277 | (摘自 BG2880—81) .....                  | 309 |
| <b>第十章 液压缸的拆检、装配与试验</b> ..... | 278 | <b>附录 4 液压缸活塞用带支承环的密封沟槽</b>           |     |
| 第一节 液压缸的拆检 .....              | 278 | 型式、尺寸和公差                              |     |
| 一、拆卸顺序 .....                  | 278 | (摘自 GB6577—86) .....                  | 314 |
| 二、零件的检查 .....                 | 278 | <b>附录 5 斯来圈规格及沟槽尺寸(广州机床</b>           |     |
| <b>第二节 液压缸装配要点</b> .....      | 279 | 研究所、江苏太仓密封件厂制品) .....                 | 315 |
| 一、准备工作 .....                  | 279 | <b>附录 6 ISO6022 液压—250 巴(25MPa)系列</b> |     |
| 二、装配要点 .....                  | 279 | 单杆液压缸——安装尺寸 .....                     | 317 |
| <b>第三节 液压缸的调整与试验</b> .....    | 280 | <b>附录 7 液压——单活塞杆 160 巴(16MPa)</b>     |     |
| 一、液压缸的调整 .....                | 280 | 中型系列和 250 巴(25MPa)系列                  |     |
| 二、型式试验与出厂试验 .....             | 281 | ——附件安装尺寸(摘自 ISO8132)                  |     |
| <b>第十一章 液压缸修理实例</b> .....     | 286 | .....                                 | 319 |
| 第一节 1500t 水压机液压缸修理实例 .....    | 286 | <b>附录 8 液压和气动缸筒用精密内径无缝</b>            |     |
| 一、设备简介和损坏情况 .....             | 286 | 钢管(摘自 GB8713—88) .....                | 323 |
| 二、修复工艺 .....                  | 286 | <b>附录 9 各种加工方法所能达到的经济精度</b>           |     |
| 三、修复效果 .....                  | 291 | 和表面粗糙度 .....                          | 327 |
| <b>第二节 36t 进口汽车吊起重臂液压缸的</b>   |     | <b>主要参考资料</b> .....                   | 328 |
| <b>修理</b> .....               | 292 |                                       |     |

# 第一章 概 论

## 第一节 液压技术及液压缸的应用简介

### 一、概述

液压技术作为一门新兴应用学科,虽然时间不长,但应用、发展的速度却非常惊人。特别是近 40 年来,液压传动设备的年增长率一直远远高于其他设备的年增长率。

液压设备的力密度大,能以很小的设备重量输出、传递很大的力或力矩,宜于实现大吨位运动。随着生产技术的进步,液压系统中实际使用的压力级已从原来 10MPa 左右提高到 35MPa 左右,因而该优点就更为突出,在同等功率下,液压设备的重量尺寸仅为直流电机的 10%~20%左右。因其装置体积小,重量轻,因而惯性力小,反应速度快、准、稳。

现代机械工程及自动控制中,对直线运动的实施要求愈益增多,这将造成机械构件传动及电力传动的困难。反之,液压传动中通过液压缸则可以便利,完满地得到实现,这也是液压传动的重大特点之一。

液压传动设备能在较大范围内方便地实现无级调速,且低速性能好,工作平稳,还易实现间断和连续运动及频繁换向,冲击及振动现象可以很好地得到消减。

液压传动是封闭式的,易实行过载保护,组成的元、部件基本上可由工作介质自行润滑,磨损慢、寿命长;液压元件体积小、重量轻、三化程度高,便于集中大批量生产,因此,制造成本较低,经济性较好。

现代液压传动中采用节流、比例控制等方法可使运动机构的速度进一步均匀、稳定、使用伺服、仿形、调速等机构可使执行件的运动精确度达到微米( $\mu\text{m}$ )级,采用微电子、计算机等装置可十分方便、可靠地实现自动控制、远程控制及遥控。

当然,液压技术也存在传动效率较低,制造工艺技术要求较高,安装、使用、维修技术要求较高,液压油易泄漏并会污染环境等众所周知的缺点,但这些缺点与其优点相比是次要的,并正在不断被克服。

液压传动设备一般均由四大类元件组成:

动力元件——液压泵;执行元件——液压缸和液压马达;控制元件——诸如各种液压阀等;辅助元件——油箱、管道、蓄能器等。

液压传动系统实质上是一种两次能量转换装置。液压缸是将原动机以机械能形式驱动液压泵产生的液体压力能,再变成可直接驱动负载进行直线往复运动、旋转摆动运动或回转式运动的机械能的一种能量转换装置。但是,根据具体结构特点的明显差异,现在人们在认识上已把后者迴转式运动的液压缸称作为液压马达。

液压缸——作为实现直线往复运动和摆动旋转运动的液压机构,结构简单,工作可靠,是液压系统中应用极广泛的主要执行元件。

## 二、液压理论的发展与我国液压工业简史

回顾液压传动理论和液压技术发展的历史,人们对“液压”从发现到认识、到研究、到实际应用,到深入发展和广泛普及、到当今在高新技术领域中展现身手,经历了一个漫长的时期。

公元前 200 多年,阿基米德(Archimedes,约公元前 287~约公元前 212 年)发现物体在水中所减少的重量等于该物体所排开的水的重量这一奥秘时,实际上已发现了存在液体静压力作用这一事实。

公元 1600 年左右,荷兰人史蒂文纳斯(Stevinus),研究指出:液体静压力随液体的深度而变化,与容器的形状无关。此时,相距阿基米德已有 1800 多年。

17 世纪、18 世纪是液压理论奠基性发展的历史时期:17 世纪初,意大利物理学家托里塞勒(Torricelli)1608~1647 年研究了流体的运动;随后,液压理论取得了关键性的突破进展,法国物理学家、数学家帕斯卡·布利斯(Pascal Blaise 1623 年~1662 年)确立了“在密封容器内,流体压力沿各个方向等值传递”的静压传递原理,它已成为举世公认的直接指导液压传动技术的理论基础。17 世纪末期著名科学家、英国伊萨克·牛顿(Isaac Neweon 1643 年~1727 年)对流体的粘度以及浸入运动流体中物体所受的阻力进行了研究。其中剪切应力与剪切速率的概念,是现代流体动力润滑理论的基础。

18 世纪中叶,瑞士伯努利数学家族中的巨星伯努利·丹尼尔(Bernoulli Daniel 1700 年~1782 年)发表了研究流体动力学和气体力学的重要文献——《流动动力学》,提出了用流束传递能量的理论,得出了理想液体常态运动方程即著名的伯努利方程。

1795 年,英国伦敦的约瑟夫·布拉默(Joseph Bramah 1749 年~1814 年)根据帕斯卡原理——在大小两个不同直径缸筒的密封连通器中,大面积上能够产生放大压力的作用力,在制造工艺上,由于往复运动于液压缸中的牛皮材质的碗形密封件的研制成功,因此,创造了世界上第一台水压机——棉花、羊毛液压打包机。在该水压机的液压传动系统中,第一次依靠简单的液压缸实现了对工作对象施力做功,成功地完成了上述物资的压缩打包任务,理想地代替了人类繁重、低效率的劳动,并取得了令人欣喜的综合经济效益,液压技术从此才雄辨地向全世界展示、证实了自身在工业生产中的实际应用价值。

液压缸——最为广泛使用的液压执行元件,在液压设备问世的过程中,肩负着举足轻重的特殊作用。然而,由于同时期电机驱动的发展,加之液压传动缺乏良好的工作介质及性能理想的动力泵,在漫长的岁月中,进展缓慢。直到 19 世纪末期,德国及美国才分别把液压技术应用到龙门刨及六角车床、磨床上等。20 世纪初,随着采用具有润滑和防锈性能的油液作为工作介质,各种各样性能卓越的液压动力泵相继问世。1905 年,美国海威·威廉(Harrey William)教授和芮诺·詹尼(Reynold Jannmey)工程师将设计的一套带斜盘式轴向柱塞泵的油压传动与控制系统装在弗吉尼亚(Virginia)号战列舰上,用于增大火炮的仰角和回转范围。它将大功率与液压传动装置的高、稳精度组合成一个先进的液压系统,实际使用后,效能满意到令人吃惊的地步。在这套液压系统中,毋庸置疑,当然离不开液压缸的巨大作用。

1910 年,水轮机的调速和大阀操纵中,采用了以液压缸为执行件的液压系统的控制。

20 世纪 30 年代初,美国波音 247D 双引擎运输机上,首先采用液压传动,控制收放起落架、恒速控制变桨距螺旋桨,随后,在道格拉斯 DC—3 型、DC—4 型及以后的波音、洛克希德运输机中,均迅速推广应用。这些,都离不开液压缸的支持。

二次世界大战期间,由于军事工业的需要,各种高压液压元件获得进一步的发展,1958年起电液伺服控制技术应运而生。为克服电液伺服控制价格昂贵及抗污染能力差等缺点,近20年来,电液比例控制技术发展很快,80年代,我国浙江大学路甬祥博士在这方面的五项发明,也为此作出了重要的贡献。

现在,包括液压缸在内的整个液压系统的所有元、辅件,面临的任务是高压化、轻量化、小型化、集成化、低噪音、节能化,并要求适用于高水基工作介质。

我国液压元件的生产,始于建国初期,从仿制原苏联产品低压泵、缸、阀而起步,由机床业、农机制造业、工程机械制造业为其主机配套而兼业生产,没有专门的液压件生产专业工厂,产量很低,市场上也看不到液压元件销售。

1963年,我国开始液压工业的统一规划组织工作。

1963年9月,中国油压工业考查团赴日本考察;同年11月,当时的一机部组织全国液压生产调查及专业规划组,提出规划意见书。与此同时,当时的一机部五局设置了液压处。

60年代中前期,我国工科高等院校中开始独立设置流体传动及控制专业。

1965年,我国从日本油研公司和纺锭公司引进了液压元件的制造技术及样机。随后,北京、广州、榆次、上海、南京、武汉、太原、大连、济南等地一些院、所、工厂通过测绘仿制和联合设计,开发了一批门类比较齐全的液压新产品。

1973年,我国液压件专业生产的厂家已有100多家,年产量已超过100万件,我国的液压工业开始初具规模。同年,原一机部重建液压处。

1974年,我国液压工业开始由一机部机电所液压研究室进行技术归口工作,开展了联合设计开发新产品,组织产品质量攻关,制订并贯彻标准,进行行业质量检查评比等多项活动,效果明显。到70年代末期,已开发出农机及工程用液压缸、斜盘式轴向柱塞泵,通轴式轴向柱塞泵、高压齿轮泵、高压液压阀、插装阀、叠加阀、比例阀、伺服阀、皮囊式蓄能器、滤油器等等系列产品。

1978年以来,我国液压行业进一步加强了引进、消化、吸收工作,国家骨干、重点企业,研究院所,高等学校,大、中、小型液压件工厂,乡镇企业乃至私营、个体户都根据不同的特点、条件,不断调整自身的姿态,在液压制品行业这一商品经济的大海中,也已形成千帆竞发、你追我赶之势。我国液压制造工业将在国家加强宏观调控的机制下,迅速适应各种主机日益发展的综合需要和缩短与国外同类产品在品种、性能诸多指标上的差距而不断跃上新台阶。

### 三、液压缸的应用概况及其机构配合

液压缸常被人们叫作“油缸”、“动力缸”、“促动器”、“作动筒”等名称。按照标准化、规范化的要求,根据现行规定,除航空航天部门可称为“作动筒”外,其余场合一律应称作“液压缸”。

液压缸作为执行元件,参加液压传动与控制系统的工作,其应用几乎遍及各个领域、部门,有些场合甚至是其他方式无法替代的。

#### 1. 航空航天领域

现在人类设计研制航天飞机的主要目的、用途之一,就是将航天飞机携带上天的人造卫星从货舱里取出,放入太空轨道;或是捕捉太空中己方发生故障的人造卫星进行修理;或是俘获太空中敌方国家的间谍卫星,将其抓入货舱,带回地球。而执行这些极为特殊的任务,是由轻质管形结构的伸缩式和摆动迴转式液压缸为主构成的——长度15.3m的机械臂,它能像人的胳膊

臂一样,有肩、肘、腕关节等的作用,宇航员打开货舱以后,能遥控该机械臂(手)作弯曲、伸展、上下、前后、左右等各种活动。它自身重量在 400kg 左右,但在太空中失重状态下,能随心所欲地将重 300kN(约 30t)以上,如公共汽车般大小的人造卫星,在货舱内外放进、放出。这是目前世界上仅有的“哥伦比亚号”、“挑战者号”、“发现号”等几架航天飞机中的必备主执行装备。安装在机身货舱左侧,造价达 1 亿多美元。1993 年 12 月 5 日(北京时间)凌晨,美国“奋进号”航天飞机在地球上空 2.8 万公里的环球轨道中,利用机械臂,顺利地将 2m 直径、14m 长度的哈勃太空望远镜,放入货舱后,成功地进行了抢修。

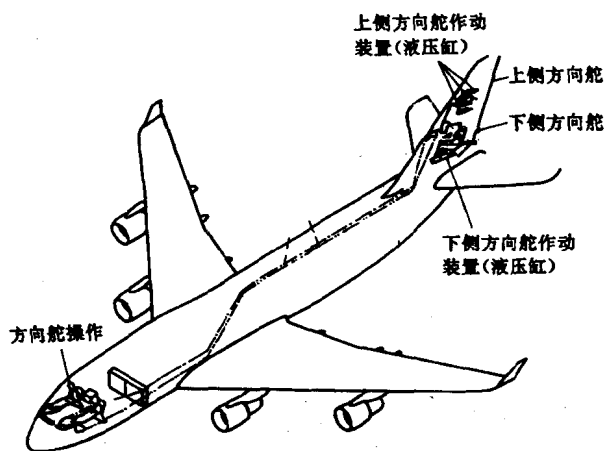


图 1-1 波音 747 飞机方向舵液压系统示意图

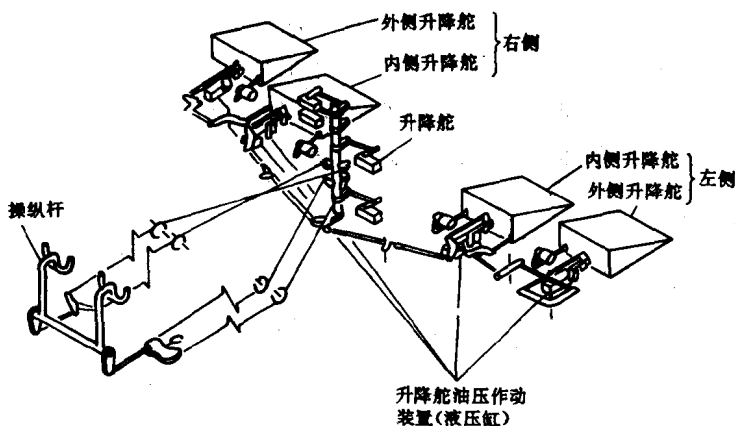


图 1-2 波音 747 飞机升降舵液压系统概要图

现代航空工业中更离不开液压缸,图 1-1、图 1-2 分别为波音 747-400 型飞机方向舵部分和升降舵部分的液压传动系统简图。方向舵和升降舵依靠各自的舵机液压缸——“作动筒”,使其偏转而产生控制力和控制力矩。其实,飞机中还有很多部分,如副翼、水平飞行稳定板等舵机电液伺服动态控制以及发动机供油控制,进气锥收放回路,尾喷管控制系统,前轮转弯控制,起落架收放等系统中均离不开液压缸作动工作。

## 2. 机床制造工业

各类机床是应用液压缸执行动作较早且十分广泛的行业,例如人们熟知的液压机、锻锤机、剪板机等流体锻压机床的主运动机构;组合机床、动力滑台、拉床、液压龙门刨床、液压牛刨、磨床、铣床、自动、半自动车床、加工中心等金属切削机床的工作台主运动,走刀运动及夹紧、定位、分度、锁紧、送料、招刀、让刀等辅助运动。压铸机、低压铸造机、射后造型机等铸造机械的主运动机构等等。

## 3. 农业、林业领域

拖拉机液压悬挂系统、联合收割机、牧业机械;

木材采运机械及大带锯液压跑车、人造板垫压机等木材加工机械;

棉花、羊毛打包机等农副产品压缩成包机械。

## 4. 轻工、纺织、化工工业

纸张超级压光机,皮革削匀机、剖层机陶瓷坯料成型机等轻工机械;

整经机、浆沙机、布匹打包机、废棉打包机等纺织工业机械。

塑料成型注射机、多工位注塑机、煤气发生炉造气自动机等化工机械。

#### 5. 冶金工业

冶金工业中苦、脏、累、重、高热、危险的恶劣环境及对控制精度与自动化程度的不低要求,使液压技术早已在此展现身手。

高炉炉顶加料装置液压系统中:重达百余吨的大、小钟状加料门及密封阀、闸阀等均由液压缸驱动并频繁动作;

炼钢电弧炉中:炉盖升降用液压缸,炉盖旋转用液压缸,炉门升降用液压缸,炉体倾动用液压缸。保持熔炼过程中电极与物料电弧长度稳定的各相电极的独立伺服控制装置中,电极夹紧用液压缸,伺服执行也用液压缸。

炉前注入沸腾钢水的操作机械手中,机械手的腕部转动用液压缸驱动,绕腕轴的摆动用液压缸,铲取钢屑,抓取铁垫,防溅筒的手掌上爪、下爪均分别由液压缸驱动,机械手的小臂、大臂也分别由各自的液压缸驱动,机械手转台的负载由液压缸驱动,大、小臂及其转台的负载也分别由各自的压力感受液压缸通过控制系统以进行操纵。

作为炼钢厂大型关键设备的脱锭起重机,用液压缸顶推铸锭脱模,使顶推机械大大简化,而推力高达 500t 以上。

板材轧钢机,带钢卷取机等设备的液压系统中也总离不开液压缸。

#### 6. 铁道、汽车、船舶工程

现代大型轮船的舵机几乎全由液压缸驱动,工程船舶如绞吸式挖泥船,对开式大吨位卸泥驳中的动力驱动均由液压缸来执行。

汽车中的液压动力转向、液压式汽车制动、自卸车的举升也均由液压缸来完成工作。

铁道工程中普遍使用的液压凿岩机,其冲击活塞就是在液压缸中高速往复运动的;连续闪光钢轨对焊机夹持被焊钢轨由液压缸进行,被焊钢轨的位置控制由液压缸执行,此外,岩石掘进机、立爪装碴机、装载机抄平、起拨道捣固机、道床成形机等等工程设备中的主要部位都由液压缸来执行任务。

#### 7. 起重运输车辆及工程机械

与液压传动技术早已结下不解之缘的工程机械、起重运输领域,大量使用液压缸的设备在大、中、小工矿企业是随处可见的:液压千斤顶、液压升降台、液压手动搬运车、叉车、液压绞车、汽车液压起重机、装载机、推土机、挖掘机、铲土运输机等等。

#### 8. 燃料工业

煤炭部门是应用液压装置历史长、数量多、压力要求大、安全可靠性要求高的行业。其露天和地下井矿开采用的各种采煤机械、井巷掘进机械、支护设备、装载和输送机械中都大量采用有液压缸执行工作的液压传动技术。

为了彻底改善煤矿工人安全的条件,加速采煤自动化,我国早已大力推广综合机械化采煤技术。图 1-3 为某综合机械化长臂采煤工作面示意简图。

该工作面长度  $L$  一般为 100~200m 左右。整个工作面积上全面装设有自移式液压支架,齐整排列成一条可以垂直于  $L$  方向推进的“钢铁长廊”。

液压支架的顶梁(或底座)宽度为 1.5m,如果工作面全长为 207m 的话,那末该工作面必

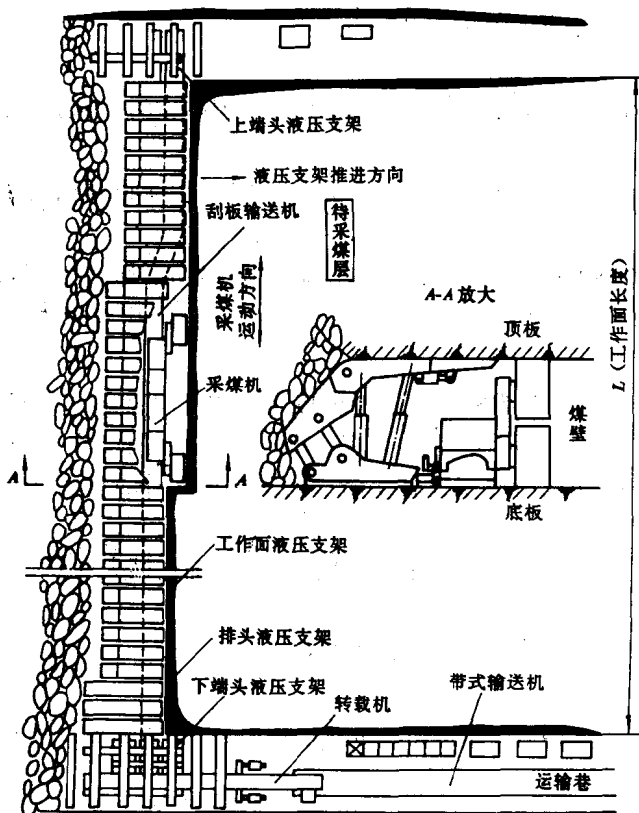


图 1-3 数以千计的液压缸支护着长壁采煤工作面

须装设 138 架液架支架。一个支架通常具有大大小小 10 个左右的液压缸(俗称千斤顶),所以,仅仅在这一个工作面上就有 1380 多个液压缸在服役工作。

石油机械也已普遍应用液压技术,特别是近代开发海洋油田的各类设备。例如自升式海洋占井平台桩腿升降装置中,每个桩腿由四个液压缸支持,每个液压缸推力为 375 吨力,每桩约 1500 吨力,整个平台若有四条桩腿,16 个液压缸共计可将 6000 多吨重的海洋平台起升上来。

### 9. 其他领域

国际、国内竞相研制的两足步行机器人,已经达到在原子放射性污染、高热、凶杀恐怖的环境场合中实际应用的水平。

这类步行机器人采用全液压驱动,其基型的结构如图 1-4 所示。

随着步行机器人开发中的技术积累和进步,国外在 80 年代还将该技术移植到生体机能、人体医学中

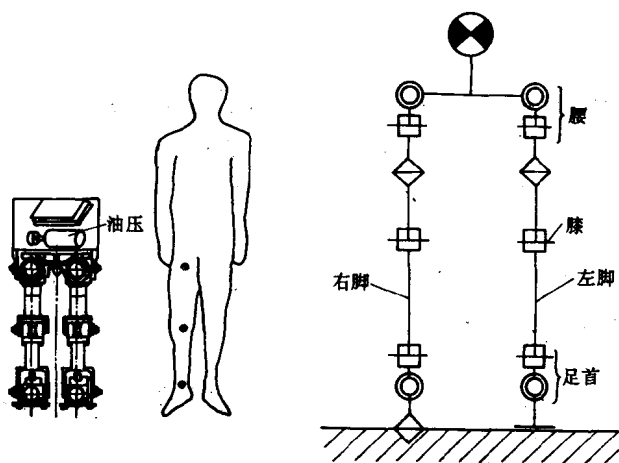


图 1-4 步行机器人的构成示意图

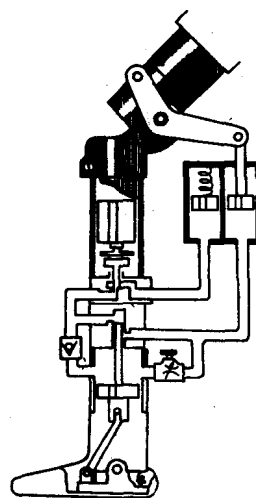


图 1-5 人体假肢液压系统的构成

来,并取得满意的成功。图 1-5 为国外 80 年代中后期制造的人的油压式假肢腿的内部构成,

经临床应用不但在平地,即使在斜面后上下楼梯也已达正常人的步伐水平。其中通过液压缸的工作和有关阀的控制,较以往的机械式假肢,要省力、轻松,还有减震避震的功能。

根据机械学原理,液压缸要胜任各种工作,要使液压装置成为一种代替人工做功的机器,必须齿轮、齿床、凸轮、杠杆、连杆等其他传动机构相配合,才能完成各种复杂的机械运动。

图 1—6 为液压缸与各种机械的常见配合状况,可供读者工作中参考。

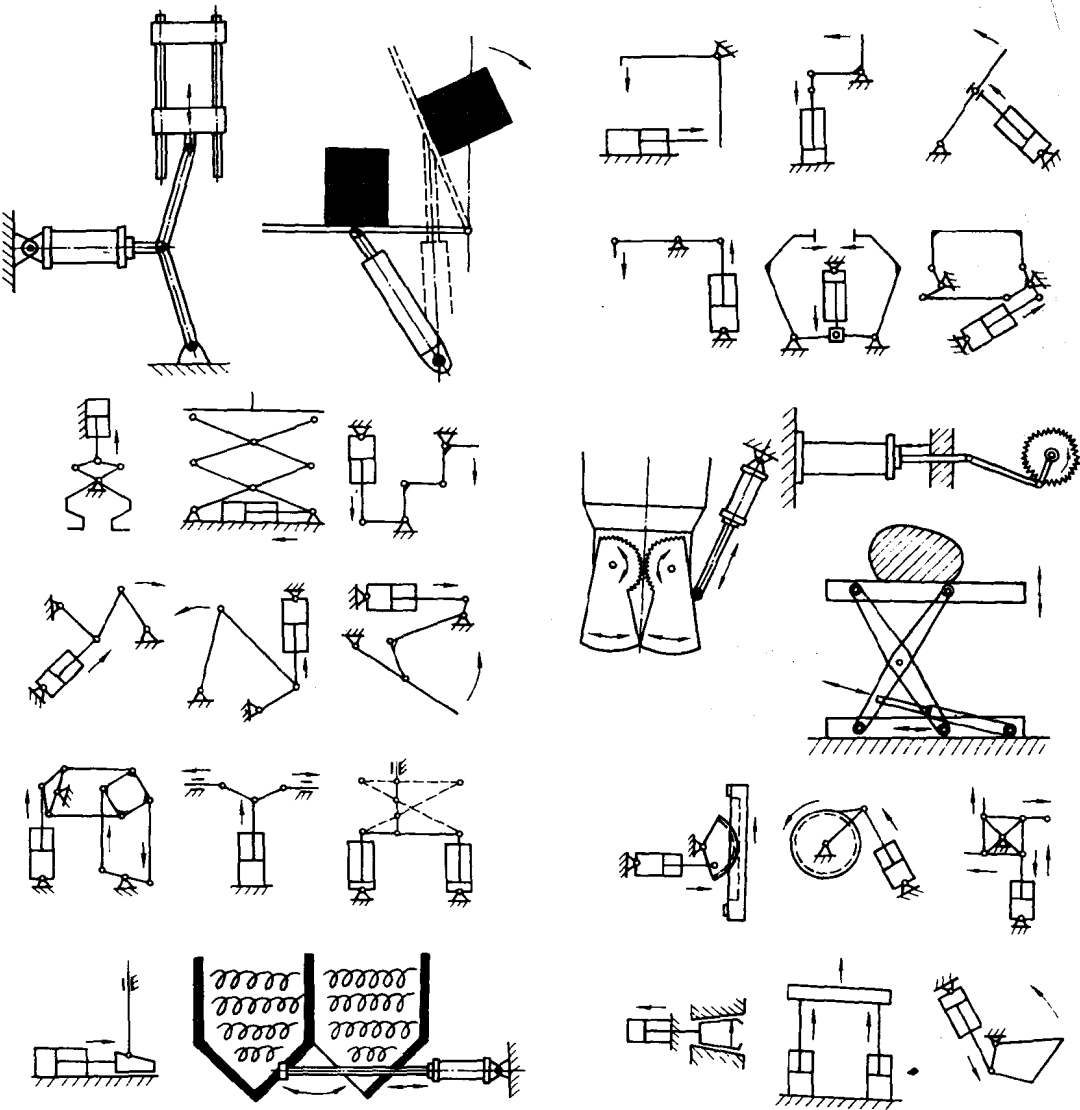


图 1—6 液压缸的常见机构配合

#### 四、液压缸发展动态

随着液压技术的深入普及和应用领域、场合的日益扩大,对液压缸的工作性能、构造、使用范围、制造精度、外观、材料、试验方法都不断提出新的要求,因此不断推动着液压缸的发展与进步。其总的趋势为:

##### (一) 高压化、小型化

高压化是减小液压缸径向尺寸和减轻重量,并缩小整套液压装置体积尺寸的有效途径,目前超高压液压泵的输出压力已高达 250MPa 以上,一台工作压力为 100MPa 的 15t 轻型压力机,可以制造成手电筒一般大小。

##### (二) 新材质、轻量化

不久前,日本采用新型组份的铝合金,从液态开始即进行新的热处理工艺,结果最终成型铝合金材料的抗拉强度等机械性能可达到 45 号优质碳素钢的水平。这将使现用的液压缸的重量减轻三分之二以上,将会引起液压工业乃至整个机械行业的重大变革。

此外,国外在航空航天工业中已采用高弹性碳素纤维复合树脂塑料制作液压缸筒和活塞杆。图 1-7 为 14MPa 额定工作压力的碳素纤维复合塑料液压缸的剖面,图 1-8 为金属基体的结构简图。据资料记载:该材质比重仅为钢的 1/5 左右,铝的 1/2 左右;强度为碳素钢的 2 倍;弹性模量为铝的约 2 倍,此外还有高的疲劳强度;低温下耐冲击;耐腐蚀;还具有 x 射线透过性、非磁性、减震等特性。但是价格昂贵、成形加工工艺麻烦,现在仅在航空、航天领域应用,随着碳素纤维材料的社会需求总量的扩大以及成形、加工方法的不断更新,价格下降后,将会在其他机械中推广应用。

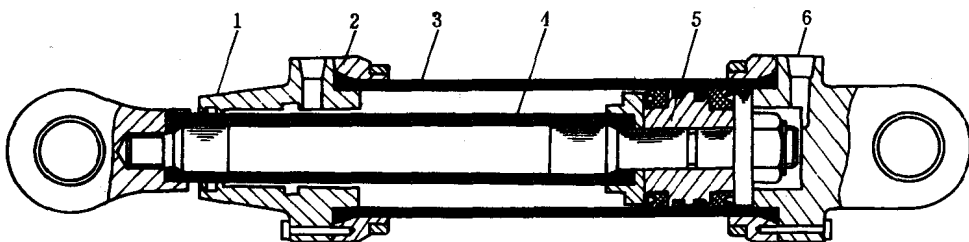


图 1-7 高弹性碳素纤维复合塑料液压缸(工作压力 14MPa)

1—缸盖;2—结合筒管;3—CFRP 塑料缸(金属衬筒);4—CFRP 塑料活塞杆(金属底杆);5—活塞;6—油口

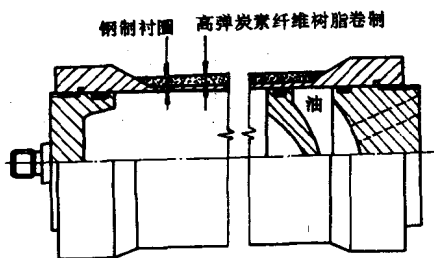


图 1-8 金属衬筒复合塑料液压缸组合体的构成

##### (三) 新颖结构复合化

为了适应液压缸应用范围的扩大,各种新颖结构的液压缸不断出现。

##### 1. 自控液压缸

##### (1) 草阀式

草阀式液压缸是依靠活塞上设置的草状阀来实现反向运动的。如图 1-9 所示,油自进油口 2 流入缸内,若此时草阀 4 处于开启状态,则活塞左右腔串

通,因左腔节流阀 1 产生背压作用,所以,两腔压力基本相等,但活塞左侧作用面积比右侧作用面积大,故活塞向右端移动。行至右端设定位置,杆 3 将草阀 4 关闭,右腔进油,左腔排油,活塞向左移动。行至左端设定位置,杆 5 将草阀 4 推开,活塞右移。

## (2)缓冲自控式

该自控换向缸,其主要结构特点,就是将两端的缓冲结构,设计为全封闭形式。缸在全行程运行时,两端全封闭的环形缓冲腔内瞬间产生高于系统工作压力的缓冲压力脉冲。引出脉冲压力信号,控制一个二位四通液动换向阀,就可以实现缸的全行程往复运行自控向。

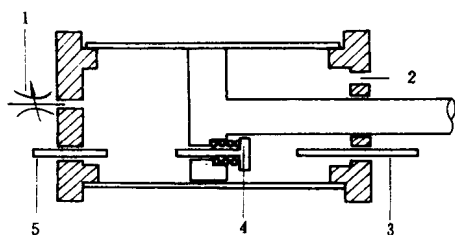


图 1-9 草阀式自控换向液压缸  
1—出油口;2—进油口;3—调节杆;4—草阀

具体的工作原理与动作过程如图 1-10 所示,在缸两端腔内充满油的情况下,系统向活塞右侧腔供给压力油  $P$  时,活塞由右端快速向左端运动,当

活塞运动快到左端时,活塞缓冲头部分进入缓冲导向腔,左端缓冲环形腔以管道均被封闭,腔内压力瞬间升高,产生高于系统工作压力的缓冲压力脉冲,该脉冲压力经可调节节流阀 1 作用于二位四通液动换向阀的左端。阀芯向右端移动,换向阀换向工作,缸的左侧腔与压力油  $P$  接通,缸右侧腔与回油  $O$  接通。压力油打开左端补油单向阀,使左端的缓冲导向腔和使缓冲环形腔充入压力油,活塞由左端向右端运动。当活塞运动快到末端时,右端缓冲环形腔封闭,缓冲形成的冲击压力脉冲信号经可调节节流阀 2 作用于阀的右端,使换向阀又恢复到如图形式的供油状态,活塞向左。如此连续不断的往复运动,并自控换向。

如需要调节换向速度的快慢,可以通过调节节流阀 1、2 来实现。

大流量缸的自控换向,可利用缓冲压力形成的脉冲压力信号控制一个先导阀,由先导阀控制主阀,二级控制来实现。

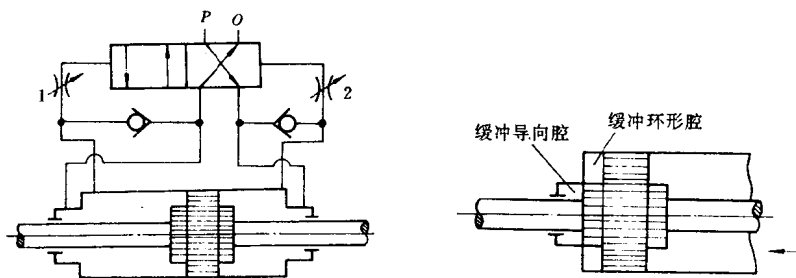


图 1-10 缓冲自控式换向缸

## 2. 自锁液压缸

在要求液压缸保持负载时其行程不应用任何变化的场合,就要求附加机械式锁紧装置。为了简化结构,最好的方法是使液压缸本身具有锁紧活塞杆的能力。自锁液压缸就是为达到此目的而设计的。最近国外有两种自锁液压缸,图 1-11 是其中一种的结构示意图。其基本原理,是在液压缸活塞杆伸出的一端附加一个用铝类金属制造的锁紧套 2,套内有一组环槽,当活塞杆不动时,此套把活塞杆抱紧锁住;当向液压缸供油时,同时把油从 1 口引入锁紧套 2,使套膨