

# 液压系统使用与维修手册

## 基础和元件卷

陆望龙 主编

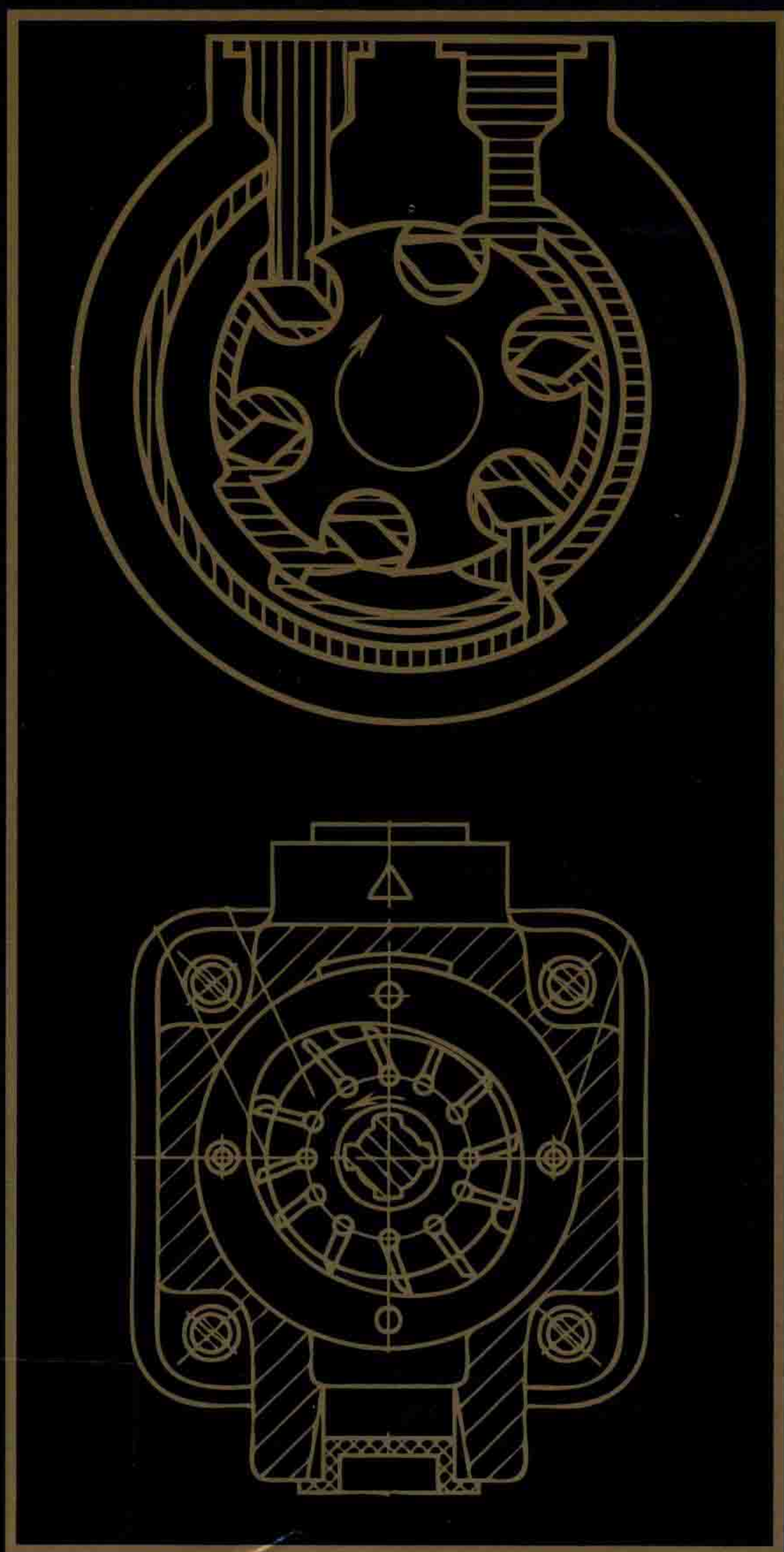
陆桦

江祖专

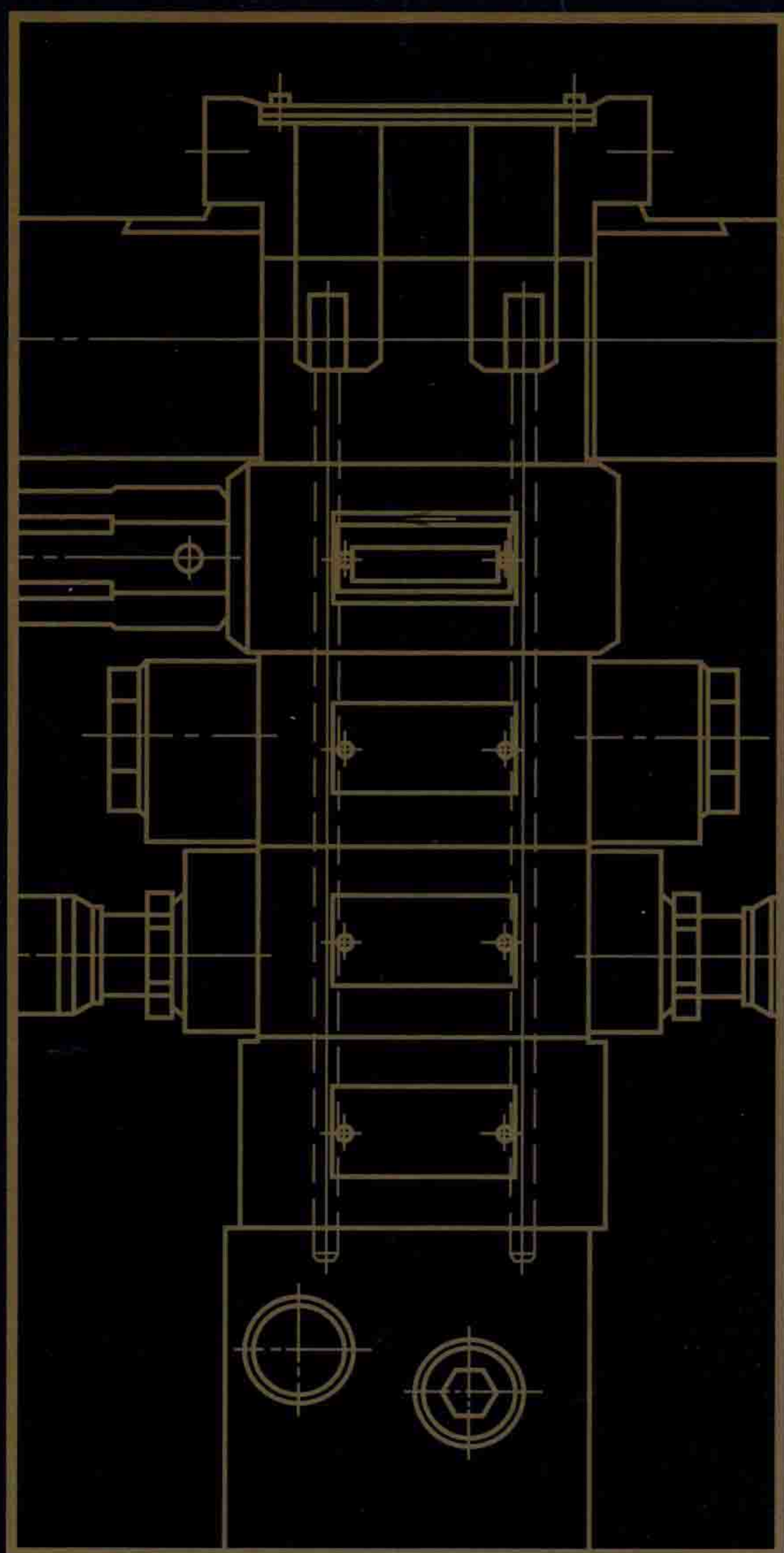
副主编

第二版

The Second Edition



YEYA XITONG SHIYONG YU WEIXIU SHOUCHE



化学工业出版社



# 液压系统使用与维修手册

## 基础和元件卷

陆望龙 主编

陆桦

江祖专

副主编



化学工业出版社

· 北京 ·



《液压系统使用与维修手册》第二版分为两卷：《基础和元件卷》；《回路和系统卷》。

《基础和元件卷》包括液压维修基础知识，液压动力元件（各种液压泵）、液压执行元件（液压缸与液压马达）、液压控制元件（方向阀、压力阀、流量阀、叠加阀、插装阀、伺服阀、比例阀、数字阀以及其他阀类元件）、液压辅助元件（管路与管件、过滤器、冷却器、蓄能器与油箱）的工作原理、结构、使用、故障分析与排除方法、元件的拆装方法、使用与维修等。《回路和系统卷》包括液压系统工作液体的使用与维护中可能碰到的问题（包括液压油的品种、油品的选用、液压油的使用管理、油品油质的测量方法以及换油的方法），液压回路的故障分析与排除，液压系统维修基础知识（包括液压系统的安装调试、故障诊断方法以及液压系统常见故障的分析与排除方法），以及五十余种设备（包括油压机、机床、水泥、工程机械、汽车、塑料纺织、橡胶轮胎、煤矿、造纸、金属加工、钢铁等行业设备）的液压系统工作原理及故障排除方法等。

本书主编在液压一线工作数十年，积累了大量现场维修实践经验和资料，均收集整理编撰进这部手册，因此内容非常实用。本书可供从事液压技术及设备应用、维修的工程技术人员、技术工人学习、查阅和参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

液压系统使用与维修手册. 基础和元件卷/陆望龙主编.  
—2版. —北京：化学工业出版社，2017.5  
ISBN 978-7-122-29148-6

I. ①液… II. ①陆… III. ①液压系统-维修-技术手册 IV. ①TH137-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 035386 号

---

责任编辑：张兴辉 曾 越

责任校对：宋 玮

装帧设计：王晓宇

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：高教社（天津）印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 50½ 字数 1401 千字 2017 年 6 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：268.00 元

版权所有 违者必究



《液压系统使用与维修手册》第一版自 2008 年出版以来，至今已有八年，蒙读者厚爱，抱着不搞十年一贯制的想法和做法，第二版较之第一版，做了较大修改，删去了已经过时的内容，增加了一些与时俱进的新内容。

这次修改写出的第二版，分两卷。

《基础和元件卷》：第 1 章和第 2 章介绍液压维修基础知识；第 3 章～第 5 章介绍液压动力元件（各种液压泵）、液压执行元件（液压缸与液压马达）、液压控制元件（方向阀、压力阀、流量阀、叠加阀、插装阀、伺服阀、比例阀、数字阀以及其他阀类元件）的工作原理、结构、使用与故障分析与排除方法、元件的拆装方法；第 6 章介绍各种液压辅助元件（管路与管件、过滤器、冷却器、蓄能器与油箱）的使用与维修。

《回路和系统卷》：第 7 章介绍液压系统工作液体的使用与维护中可能碰到的问题，包括液压油的品种、油品的选用、液压油的使用管理、油品油质的测量方法以及换油的方法；第 8 章的内容为液压回路的故障分析与排除，回路是液压系统的组成单元，有些液压设备就是由 1～2 个基本回路所组成，从液压基本回路分析故障，应该曾经是作者率先在这方面作出的探讨；第 9 章介绍了液压系统维修基础知识，包括液压系统的安装调试、故障诊断方法以及液压系统常见故障的分析与排除方法；第 10 章～第 20 章分别介绍了油压机、机床、水泥、工程机械、汽车、塑料纺织、橡胶轮胎、煤矿、造纸、金属加工、钢铁等行业的五十余种设备的液压系统工作原理及故障排除方法。这些设备均是同类企业中正在使用着的设备，希望对同行在维修该类液压设备时能提供实实在在的帮助，转化为生产力。

深入、透彻地了解各种液压元件的工作原理和结构，而不是按照某些教科书简单初浅地、皮毛地了解是非常必要的。每一个元件都有它的细微之处，如果液压元件出了故障却解决不了，说明对该液压元件的工作原理和结构懂得不是很透彻。所以本手册在这方面投入的篇幅比较大，并对怎么拆、怎么装、怎么查找这些元件易出故障的具体部位做了具体介绍，因为只有这样才能进行和做好维修工作。本手册中有许多液压元件的结构图，选自国产和进口设备上使用量最大的品种。

本书主要读者对象为中高级液压维修技工、液压相关专业的技术人员。有钻研精神的初学者也可使用本手册。当然本手册对大专院校相关专业的师生肯定有所帮助和启迪。

本书由陆望龙主编，陆桦、江祖专副主编。参编人员有：王锡章、陈曦明、谭平华、陈旭明、陶云堂、倪棠棣、朱皖英、李刚、陈黎明、刘长青、但莉、马文科、汪贵兰、张汉珍、



朱声正。感谢湖北（金力）液压件厂张和平、葛玉麟、周幼海、孙为伦等专家对本书编写工作的指导，陆泓宇等参与了部分章节的资料整理工作，在此表示诚挚的谢意。

近十年来，主编应邀巡回全国二十多个省市（除西藏、青海、黑龙江、海南省与台湾），讲授过超百次以上的液压维修公开课，也到十几家国内知名的行业龙头企业做过液压维修内部培训，近距离面对面地交流，并现场解决维修中的实际问题。主编在教学过程中，一方面通过与学员和企业的交流，使自己得到提高；另一方面更大程度上了解了生产第一线的工程技术人员与维修技术工人的诉求，对编好此手册的第二版，获益匪浅。作者虽早已进入古稀之年，仍然老骥伏枥，笔耕不止，力图编好本手册，使之能更好地为液压维修服务，希望读者喜欢。然而笔者心有余而力不足，加之精力和时间有限，本手册难免存在疏漏，希望读者原谅，并提出批评与指正。

编著者



## 第 1 章 液压系统使用与维修基础

- 1.1 概述 /1
  - 1.1.1 液压系统简介 /1
  - 1.1.2 液压系统的工作原理、分类和基本组成 /3
  - 1.1.3 液压传动流体力学基础 /6
- 1.2 液压测试基础 /17
  - 1.2.1 压力的测量 /17
  - 1.2.2 流量的测量 /23
  - 1.2.3 温度的测量 /28
  - 1.2.4 速度的测量 /32
  - 1.2.5 位移的测量 /36
  - 1.2.6 综合测量 /38

## 第 2 章 如何做好液压维修工作

- 2.1 液压维修人员如何做好维修工作 /40
  - 2.1.1 液压维修人员的素质培养 /40
  - 2.1.2 液压系统图的基础知识 /42
  - 2.1.3 阅读液压系统图的步骤与方法 /51
- 2.2 液压维修工具的准备 /56
  - 2.2.1 维修基本工具 /56
  - 2.2.2 液压元件修理工具及修理方法 /57

## 第 3 章 液压泵的使用与维修

- 3.1 概述 /65
  - 3.1.1 液压泵的作用 /65
  - 3.1.2 液压泵的分类及选用 /65
  - 3.1.3 各种液压泵的性能比较 /68
  - 3.1.4 工作原理及工作条件 /68
  - 3.1.5 主要性能参数与常用计算公式 /69
  - 3.1.6 液压泵的安装和使用 /71
- 3.2 齿轮泵的使用与维修 /75
  - 3.2.1 齿轮泵的工作原理 /75
  - 3.2.2 齿轮泵的结构 /77
  - 3.2.3 齿轮泵的拆装 /85
  - 3.2.4 齿轮泵的故障排查 /88
- 3.3 叶片泵的使用与维修 /92
  - 3.3.1 双作用(定量)叶片泵工作原理、有关计算与结构 /93
  - 3.3.2 单作用(变量)叶片泵工作原理、有关计算与结构 /95
  - 3.3.3 叶片泵的结构 /101
  - 3.3.4 叶片泵的拆装与维修要领 /106
  - 3.3.5 叶片泵的故障分析与排除 /108
  - 3.3.6 国外厂家叶片泵的相互替代 /113
- 3.4 轴向柱塞泵的使用与维修 /115
  - 3.4.1 定量柱塞泵的工作原理、排量和流量计算 /115
  - 3.4.2 斜盘式变量轴向柱塞泵 /117
  - 3.4.3 斜轴式变量柱塞泵 /127
  - 3.4.4 轴向柱塞泵的局部结构 /128
  - 3.4.5 轴向柱塞泵的结构与变量泵的变量方式 /136
  - 3.4.6 轴向柱塞泵的安装与使用 /165
  - 3.4.7 轴向柱塞泵的故障分析与排除 /168
  - 3.4.8 轴向柱塞泵的修理 /176
  - 3.4.9 拆装操作步骤与要领 /178
- 3.5 径向柱塞泵的使用与维修 /189
  - 3.5.1 径向柱塞泵的工作原理 /189
  - 3.5.2 径向柱塞泵变量工作原理与变量方式 /190



- 3.5.3 径向柱塞泵的结构 /195
- 3.5.4 径向柱塞泵的故障分析与排除 /198
- 3.6 螺杆泵的使用与维修 /200
  - 3.6.1 单螺杆泵工作原理与结构 /200
  - 3.6.2 双螺杆泵的工作原理与结构 /201
  - 3.6.3 三螺杆泵的工作原理与结构 /202
  - 3.6.4 故障分析与排除 /204
  - 3.6.5 装拆操作步骤与要领 /204
- 3.7 凸轮转子叶片泵及其故障排除 /208
  - 3.7.1 工作原理 /208
  - 3.7.2 结构 /209
  - 3.7.3 故障分析与排除 /211

## 第4章 液压执行元件的使用与维修

- 4.1 概述 /212
  - 4.1.1 液压缸的分类、主要技术参数与计算 /212
  - 4.1.2 液压马达的分类、主要技术参数与计算 /217
- 4.2 液压缸的使用与维修 /223
  - 4.2.1 液压缸的分类 /223
  - 4.2.2 液压缸的结构 /225
  - 4.2.3 液压缸的图形符号、工作原理与结构 /231
  - 4.2.4 液压缸的安装 /241
  - 4.2.5 液压缸的故障分析与排除 /244
  - 4.2.6 液压缸的拆装 /259
- 4.3 摆动缸的使用与维修 /263
  - 4.3.1 工作原理与结构 /263
  - 4.3.2 应用实例 /268
  - 4.3.3 故障分析与排除 /269
- 4.4 齿轮马达的使用与维修 /269
  - 4.4.1 齿轮马达的工作原理 /269
  - 4.4.2 结构特点与结构实例 /270
  - 4.4.3 使用注意事项 /273
  - 4.4.4 拆卸与装配 /273
  - 4.4.5 故障排查 /275
- 4.5 摆线液压马达的使用与维修 /276
  - 4.5.1 工作原理 /277
  - 4.5.2 结构 /278
  - 4.5.3 安装与使用 /285
  - 4.5.4 故障分析与排除 /286
  - 4.5.5 修理与拆装 /288
- 4.6 叶片式液压马达的使用与维修 /291
  - 4.6.1 工作原理 /291
  - 4.6.2 结构特点与结构实例 /294
  - 4.6.3 拆卸与装配 /297
  - 4.6.4 故障分析与排除 /298
- 4.7 凸轮转子型叶片式液压马达的使用与维修 /302
  - 4.7.1 简介 /302
  - 4.7.2 故障分析与排除 /303
- 4.8 轴向柱塞液压马达的使用与维修 /303
  - 4.8.1 工作原理与基本计算 /303
  - 4.8.2 轴向柱塞液压马达的变量方式与原理 /305
  - 4.8.3 斜盘式轴向柱塞马达的结构 /307
  - 4.8.4 斜盘式轴向柱塞马达的拆装 /310
  - 4.8.5 斜盘式轴向柱塞马达的故障分析与排除 /313
- 4.9 径向柱塞式液压马达的使用与维修 /316
  - 4.9.1 定量径向柱塞液压马达的工作原理 /316
  - 4.9.2 定量径向柱塞液压马达的结构 /317
  - 4.9.3 变量径向柱塞液压马达的工作原理与结构 /320
  - 4.9.4 故障分析与排除 /322
- 4.10 内曲线多作用径向柱塞液压马达的使用与维修 /323
  - 4.10.1 工作原理与结构 /323
  - 4.10.2 多作用液压马达的有级变量 /326
  - 4.10.3 故障分析与排除 /327

## 第5章 液压控制阀的使用与维修

- 5.1 液压阀概述 /329
  - 5.1.1 简介 /329
  - 5.1.2 液压阀的分类 /330
  - 5.1.3 液压阀的一般性能 /332
  - 5.1.4 液压桥路 /336
- 5.2 单向阀的使用与维修 /341
  - 5.2.1 工作原理 /341
  - 5.2.2 结构 /342



- 5.2.3 应用与使用注意事项 /345
- 5.2.4 故障分析与排除 /346
- 5.2.5 拆卸与修理 /348
- 5.3 液控单向阀的使用与维修 /349
  - 5.3.1 液控单向阀的工作原理 /349
  - 5.3.2 液控单向阀的结构 /351
  - 5.3.3 液控单向阀的应用 /357
  - 5.3.4 液控单向阀的使用注意事项 /360
  - 5.3.5 液控单向阀的故障分析与排除 /362
  - 5.3.6 液控单向阀的拆装与修理 /363
- 5.4 换向阀的基本知识 /364
  - 5.4.1 概述 /364
  - 5.4.2 换向阀的工作原理 /365
  - 5.4.3 换向阀换向的操作控制方式及其图形符号 /366
  - 5.4.4 三位四通换向阀的中位机能特性 /367
- 5.5 电磁换向阀的使用与维修 /370
  - 5.5.1 电磁换向阀用电磁铁的组成、工作原理与结构 /370
  - 5.5.2 电磁阀的工作原理与结构 /371
  - 5.5.3 球阀(锥阀)式电磁阀的工作原理与结构 /375
  - 5.5.4 特殊电磁阀的结构原理 /379
  - 5.5.5 板式电磁阀安装尺寸、中位机能的判别方法与电磁阀的应用回路 /383
  - 5.5.6 电磁阀的故障分析与排除 /386
  - 5.5.7 电磁阀的安装使用注意事项 /393
  - 5.5.8 电磁阀的拆装与修理 /396
  - 5.5.9 各国电磁阀型号对照表 /396
- 5.6 液动换向阀与电液动换向阀的使用与维修 /398
  - 5.6.1 工作原理 /398
  - 5.6.2 结构特点 /399
  - 5.6.3 型号说明与结构 /403
  - 5.6.4 拆装 /412
  - 5.6.5 减压式先导阀对液动换向阀的换向控制 /413
  - 5.6.6 使用注意事项 /417
  - 5.6.7 故障分析与排除 /418
  - 5.6.8 修理 /420
  - 5.6.9 安装尺寸 /423
- 5.7 手动换向阀的使用与维修 /424
  - 5.7.1 结构 /425
  - 5.7.2 故障分析与排除 /429
- 5.8 机动换向阀的使用与维修 /430
  - 5.8.1 工作原理 /430
  - 5.8.2 结构 /430
  - 5.8.3 故障分析与排除 /432
  - 5.8.4 拆装 /434
- 5.9 多路换向阀的使用与维修 /435
  - 5.9.1 分类及特点 /435
  - 5.9.2 结构原理 /437
  - 5.9.3 结构 /440
  - 5.9.4 多路阀的应用 /443
  - 5.9.5 故障分析及排除 /443
- 5.10 溢流阀的使用与维修 /444
  - 5.10.1 分类与工作原理 /444
  - 5.10.2 溢流阀的结构特点 /446
  - 5.10.3 溢流阀结构 /449
  - 5.10.4 溢流阀的应用 /455
  - 5.10.5 溢流阀的拆装 /457
  - 5.10.6 电磁溢流阀的工作原理与结构 /457
  - 5.10.7 卸荷溢流阀的工作原理与结构 /461
  - 5.10.8 溢流阀的使用注意事项 /463
  - 5.10.9 溢流阀的故障分析与排除 /464
  - 5.10.10 主要零件的修理 /471
  - 5.10.11 板式溢流阀的安装尺寸 /473
- 5.11 顺序阀的使用与维修 /477
  - 5.11.1 工作原理 /477
  - 5.11.2 结构 /481
  - 5.11.3 顺序阀的应用回路 /483
  - 5.11.4 顺序阀的使用注意事项 /485
  - 5.11.5 顺序阀的拆装 /485
  - 5.11.6 顺序阀的故障分析与排除 /487
  - 5.11.7 板式顺序阀安装面的连接尺寸 /488
  - 5.11.8 各国产顺序阀的互换性 /490
  - 5.11.9 工程机械中的平衡阀 /490
- 5.12 减压阀的使用与维修 /492
  - 5.12.1 工作原理 /493
  - 5.12.2 结构 /497
  - 5.12.3 减压阀的使用注意事项 /501
  - 5.12.4 故障分析与排除 /501
  - 5.12.5 板式减压阀安装面的连接尺寸 /503
- 5.13 压力继电器的使用与维修 /503
  - 5.13.1 工作原理与结构 /504
  - 5.13.2 压力继电器的应用 /508



- 5.13.3 故障分析与排除 /509
- 5.13.4 压力继电器的修理 /511
- 5.14 压力表开关的使用与维修 /511
  - 5.14.1 工作原理与结构 /512
  - 5.14.2 故障分析与排除 /514
- 5.15 节流阀的使用与维修 /515
  - 5.15.1 工作原理 /515
  - 5.15.2 节流阀与单向节流阀的结构 /516
  - 5.15.3 节流阀的应用与拆卸 /518
  - 5.15.4 故障分析与排除 /520
  - 5.15.5 节流阀的安装尺寸 /523
- 5.16 行程节流阀与单向行程节流阀的使用与维修 /524
  - 5.16.1 工作原理 /524
  - 5.16.2 结构 /526
  - 5.16.3 故障分析与排除 /528
- 5.17 调速阀的使用与维修 /528
  - 5.17.1 调速阀的工作原理 /529
  - 5.17.2 调速阀的结构 /531
  - 5.17.3 调速阀的使用注意事项 /537
  - 5.17.4 调速阀的拆装 /537
  - 5.17.5 故障分析与排除 /539
  - 5.17.6 调速阀的修理 /541
  - 5.17.7 调速阀的安装尺寸与各国调速阀的互换性 /542
- 5.18 分流阀与集流阀的使用与维修 /542
  - 5.18.1 工作原理 /543
  - 5.18.2 常见故障分析及排除 /548
- 5.19 叠加阀的使用与维修 /549
  - 5.19.1 叠加阀的组成 /550
  - 5.19.2 工作原理与结构 /555
  - 5.19.3 叠加阀应用 /566
  - 5.19.4 故障分析与排除 /566
  - 5.19.5 叠加阀安装面尺寸与各国型号对照表 /568
- 5.20 插装阀的使用与维修 /570
  - 5.20.1 简介 /570
  - 5.20.2 插装件的工作原理 /571
  - 5.20.3 插装阀的组成和基本结构 /571
  - 5.20.4 插装阀的方向、流量和压力控制 /577
  - 5.20.5 故障分析与排除 /588
  - 5.20.6 插装阀的修理 /596
  - 5.20.7 螺纹式插装阀 /597
- 5.21 伺服阀的使用与维修 /604
  - 5.21.1 简介 /604
  - 5.21.2 电-机械转换装置 /604
  - 5.21.3 伺服阀的结构、原理与功能 /609
  - 5.21.4 机液伺服阀 /613
  - 5.21.5 电液伺服阀 /614
  - 5.21.6 电液伺服阀的使用 /621
  - 5.21.7 故障分析与排除 /622
  - 5.21.8 伺服阀修理后的调试工作 /628
  - 5.21.9 伺服阀的应用 /629
- 5.22 比例阀的使用与维修 /636
  - 5.22.1 比例电磁铁 /636
  - 5.22.2 比例溢流阀 /639
  - 5.22.3 比例减压阀 /645
  - 5.22.4 比例节流阀 /652
  - 5.22.5 比例调速阀 /656
  - 5.22.6 比例方向控制阀 /661
  - 5.22.7 比例阀的应用回路 /669
  - 5.22.8 使用注意事项 /669
  - 5.22.9 故障分析与排除 /671
- 5.23 数字阀的使用与维修 /673
  - 5.23.1 工作原理与结构 /674
  - 5.23.2 数字阀的应用 /680
  - 5.23.3 故障分析与排除 /681
- 5.24 其他控制阀类元件的使用与维修 /681
  - 5.24.1 液压操纵箱 /681
  - 5.24.2 润滑油稳定器 /689
  - 5.24.3 静压轴承 /691
  - 5.24.4 静压导轨 /699

## 第 6 章 液压辅助元件的使用与维修

- 6.1 管路的使用与维修 /702
  - 6.1.1 管子的选用 /702
  - 6.1.2 管接头的选用 /703
  - 6.1.3 管路的故障分析与排除 /706
  - 6.1.4 配管施工 /711
- 6.2 蓄能器的使用与维修 /714
  - 6.2.1 蓄能器的分类 /714
  - 6.2.2 皮囊式充气蓄能器 /714
  - 6.2.3 隔膜式蓄能器 /725
  - 6.2.4 活塞式蓄能器 /728



- 6.2.5 蓄能器的应用 /730
- 6.3 油冷却器的使用与维修 /734
  - 6.3.1 工作原理及分类 /735
  - 6.3.2 油冷却器的使用 /735
  - 6.3.3 列管式油冷却器 /737
  - 6.3.4 风冷式油冷却器 /739
  - 6.3.5 换热板型冷却器 /740
  - 6.3.6 冰箱式油冷却器 /742
- 6.4 过滤器的使用与维修 /743
  - 6.4.1 过滤器的作用及要求 /743
  - 6.4.2 过滤器的分类 /745
  - 6.4.3 过滤器的工作原理与结构 /747
  - 6.4.4 液压系统中过滤器的结构 /750
  - 6.4.5 过滤器的选用与使用 /754
  - 6.4.6 过滤器的故障分析与排除 /756
- 6.5 油箱的使用与维修 /758
  - 6.5.1 油箱的作用与分类 /758
  - 6.5.2 油箱的故障分析 /758
- 6.6 密封的使用与维修 /762
  - 6.6.1 简介 /762
  - 6.6.2 挤压密封 /767
  - 6.6.3 唇形密封 /772
  - 6.6.4 组合密封 /781
  - 6.6.5 旋转轴密封——油封 /785
  - 6.6.6 组合垫圈 /792
  - 6.6.7 各类密封产生故障的综合分析 /793

## 参 考 文 献

1. 机械工业出版社. 液压传动. 北京: 机械工业出版社, 1998.

### (2) 液压系统的功能

在工业生产中, 许多机械设备的运动, 如升降、移动、夹紧、送料等, 都是通过液压系统来实现的。这些功能液压系统可以很方便地实现。液压系统由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件等部分组成。动力元件将电能转换为液压能, 执行元件将液压能转换为机械能, 控制元件控制液压能的流动, 辅助元件则起辅助作用。

### (3) 液压技术的应用

液压技术广泛应用于各个领域。在工程机械中, 如挖掘机、装载机、推土机等, 液压系统用于驱动工作装置。在农业机械中, 如拖拉机、收割机等, 液压系统用于驱动农具。在工业生产中, 如机床、注塑机等, 液压系统用于驱动执行机构。此外, 液压技术还应用于航空航天、船舶、汽车等领域。

### 1. 1.1 液压传动系统的组成

液压传动系统由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件等组成。动力元件将电能转换为液压能, 执行元件将液压能转换为机械能, 控制元件控制液压能的流动, 辅助元件则起辅助作用。

### 1. 1.2 液压传动系统的优缺点

液压传动的优点: 功率密度大、传动效率高、工作平稳、易于实现过载保护等。缺点: 泄漏严重、效率较低、对油液污染敏感等。

在液压系统中, 功率密度是一个重要的指标。功率密度是指单位体积的液压元件所能输出的功率。功率密度越大, 说明该元件的体积越小, 重量越轻, 越便于安装和运输。此外, 功率密度还与系统的效率有关。功率密度越高, 系统的效率越高, 能量损失越小。



# 第 1 章

## 液压系统使用与维修基础

### 1.1 概述

#### 1.1.1 液压系统简介

##### (1) 液压系统的定义

以液体为工作介质传递力、运动和动力，并对其进行调节和控制的系统叫液压系统。主要利用液体的压力能来实现传动功能的系统叫液压传动系统；主要利用液体的压力能来实现传动功能并使液压装置跟随控制信号的规律来工作的系统叫液压控制系统；主要利用液体的动能来实现传动功能的系统叫液力传动系统。

##### (2) 液压系统的功能

作为机器设备主体之一的传动部分应具有传递力、传递动力、传递运动、改变运动方向和改变运动速度的功能，这些功能液压系统都可以轻而易举地实现。液压系统作为设备的一个重要组成部分越来越受到人们的重视，液压工业已成为装备工业的一个重要组成部分，而一个经济发达的国家缺少不了强大装备工业做后盾。液压技术的应用程度已成为衡量一个国家工业化水平的重要标志之一。

##### (3) 液压技术的基本应用

液压用来做什么呢？一句话：液压用来输出运动、力与扭矩。

①凡是需要做往复直线运动并输出直线力的地方可用到液压（液压缸）；②凡是需要做回转运动并输出扭矩的地方可用到液压（液压马达）；③凡是需要做摆动并输出扭力的地方可用到液压（摆动液压马达）；④用以上 3 种简单运动复合，可使液压系统完成液压设备各种复杂运动（多自由度），并对其进行运动方向、速度快慢和输出力的控制。

液压技术的基本应用如图 1-1 所示。

液压技术作为现代机械设备的传动和控制技术，应用越来越广泛。液压技术广泛应用于国民经济各部门：如机床、工程机械、建设机械、煤炭机械、石油化工机械、船舶工业、航道港口码头机械、电力、汽车工业、轻工（塑料、橡胶、纺织）机械、航空航天、军工、农林牧副渔、日常生活及其他方面等，可以说“液压无处不在无时不有”。

##### (4) 液压传动系统的优缺点

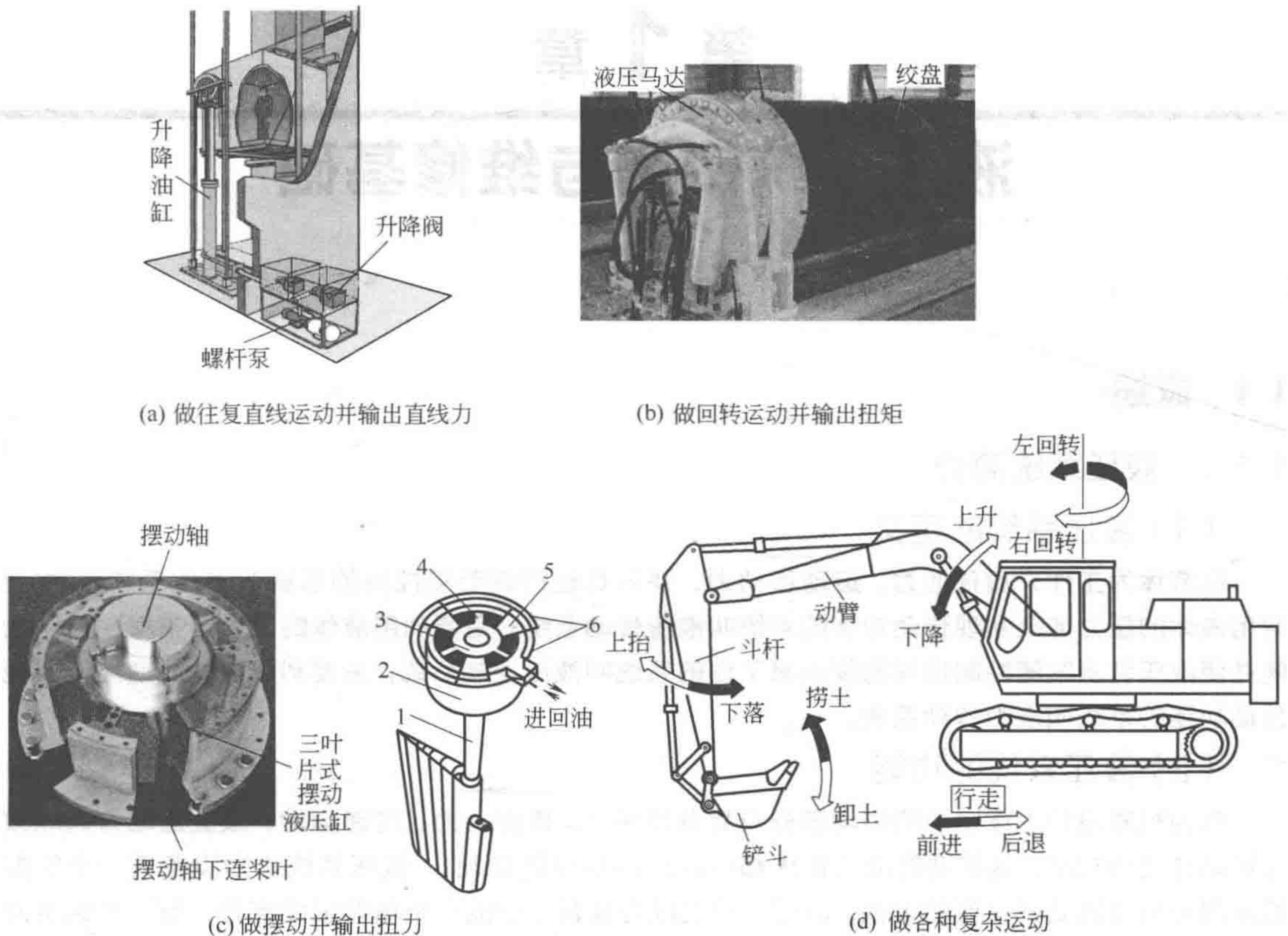
液压传动和机械传动、电气传动、气压传动 3 种传动方式相比有以下一些优缺点。

###### ① 优点

a. 能获得更大的输出力和输出力矩。液压传动是利用液体的压力来传递力或力矩的，随着液压泵向更高压力的方向推进，可使液压缸获得很大的输出力，也可使液压马达获得很大的扭矩。所以在需要很大输出力和力矩的情况下，例如重型机械，可首先考虑液压传动。

b. 功率质量比（出力/质量）和功率体积比（出力/尺寸）在传递或输出相同功率的情况下最大，液压传动的重量最轻，体积最小。例如输出 1kW 的功率，液压传动的质量是 0.2kg 左右，





(a) 做往复直线运动并输出直线力

(b) 做回转运动并输出扭矩

(c) 做摆动并输出扭力

(d) 做各种复杂运动

1—舵杆；2—壳体；3—转子；4—叶片；5—定位块；6—进回油道

图 1-1 液压的基本应用

而电气传动则需要 1.5~2kg。所以在要求传递大功率而又要重量轻、体积小 的情况下采用液压传动最好，例如飞机。

c. 可以在比较大的调速范围内方便地实现无级调速。液压传动通过改变输入执行元件的流量便可方便地实现无级调速。调速范围一般可达 2000:1，其他的传动方式望尘莫及。

d. 工作平稳，可实现快速无冲击的换向。这是由于液压机构的功率质量比大、惯性小，因此反应速度就快。如液压马达的旋转惯量不超过同功率电动机的 10%，启动中等功率电动机要 1~2s，而同功率的液动机械的启动时间不超过 0.1s。故在高速且换向频繁的机床上（如平面磨床、龙门刨床）液压传动可使换向冲击大大减少。

e. 易于实现过载保护。在液压系统中可设置溢流阀来调节系统压力大小、限制最高工作压力、防止过载和避免事故的发生。

f. 液压系统中采用的工作介质多为矿物油，具有良好的润滑性，能减少相对运动面之间的磨损，因而使用寿命长。

g. 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化，便于主机的设计、制造和使用维修，而且可大大提高生产效率，降低液压元件的生产成本和提高产品质量。

h. 液压系统的可变性和可塑性很强。采用叠加阀的液压系统，补充添加修改回路容易，计算机可编程控制的液压系统，可随意修改程序，使系统改变工作循环。

i. 液压易于与电子（如微机与可编程控制器）技术和传感技术等相结合构成“机-电-液-光”一体化技术，为机械设备的 发展和创新，提供了有力的保障。



## ② 缺点

与其他传动方式相比，液压传动方式也有以下缺点。

a. 泄漏、污染环境、能源损耗的问题。液压传动因有相对运动表面，加之液压系统使用压力往往较高，如果密封失效，必然产生内漏和外漏。内漏导致容积效率下降，能量损失产生系统发热和温升；外漏消耗液压介质，污染环境，也造成能耗产生温升，同时漏油粘在制品上使之成为废次品。

b. 油液流动过程中存在沿程损失、局部损失和泄漏损失，传动效率较低。容易产生油液温升，且不宜常规意义下的远距离传动。

c. 在高温和低温下，采用液压有一定困难，必须设法解决。

d. 为防止油以及为满足某些性能上的要求，液压元件制造精度要求高，这给使用与维修带来一定困难；同时对工作介质的污染有严格要求，增加了管理的难度。

e. 发生故障不易检查，特别是液压技术不太普及的单位，往往会因几个简单故障不能排除而导致被迫停机数月之久的现象。

f. 液压设备维修需要依赖经验，培训液压技术人员的时间较长，液压元件和液压系统的设计制造、调整和维修都需要较高的技术水平。

## (5) 液压技术的发展动向

液压技术的应用领域不断拓展，液压传动和液压控制已成为现代机械装备不可缺少的关键组成部分之一。以及科学技术的进步，以及知识化、信息化、网络化和全球化的到来和人类对环境保护、资源和能源危机感的认知，液压技术如果不能与时俱进便没有了生命。为适应这种新形势，液压技术正朝着下述方向发展。

① 节能环保 设计和采用高效节能和高性能的液压元件；设计和采用诸如负载敏感系统的高效节能液压系统；开发绿色工作介质，使用高水基、纯水用的液压系统及与之配套的液压元件。

② 电子技术、计算机技术与液压技术更紧密地结合 这种结合是液压实现自动控制的发展方向，例如工程机械上使用的多路阀，用电缆或光缆引到驾驶室比用管子要便利得多。特别是在人不能接近和人来不及控制的地方；计算机用于液压设计制造、液压设备的自动控制与操纵以及故障自诊断控制系统，已经很常见了。

③ 高速化、高压化和高精度 为了提高效率和功能，高速化、高压化和高精度始终是液压技术追求的目标。然而液压技术在上述这种发展的进程中，也会出现各种问题和矛盾，具体内容及对策如表 1-1 所示。

表 1-1 液压技术的发展动向、出现的问题及对策

发展动向	出现的问题和矛盾	对使用与维修的要求
高压化	冲击、振动、疲劳破坏、汽蚀、漏油、密封难度	1. 使用和维修技术难度加大；
高速化	冲击、振动、摩擦发热、磨损、热平衡	2. 使用和维修技术须上新台阶；
大型化	负载增大、大型液压元件和系统、冲击振动	3. 要求维修人员素质更高
自动化	电子技术和计算机技术的难度和复杂程度	
高精度	高可靠性的液压元件的成本	
节能	高效液压元件和系统	
环保	开发既环保又性能好的工作液体、污染管理要求	

### 1.1.2 液压系统的工作原理、分类和基本组成

液压系统包括利用液体压力能传递能量的液压传动系统和控制系统，以及利用液体动能传递能量的液力传动系统。



## (1) 帕斯卡原理

液体几乎是不可压缩的，即使它单位面积上承受了巨大力（压力），其体积的变化仍是微乎其微的，因而可将封闭的受压液体看成刚体。受压液体可像固体钢杆一样，对力、运动以及功率进行传递。固体只刚不柔，液体又柔又刚。所以基于帕斯卡原理的液压传动，在对力、运动以及功率进行传递时，是一种又柔又刚的传递方式 [图 1-2 (a)]。

由帕斯卡原理可知：作用于密闭容腔静止液体的压力，可以同样大小向容器所有方向传递。这表明，施加于液体某一点的压力将会被液体介质瞬间传送到封闭容腔内液体的任何一点，而且密闭容腔内任一点的压力均相等 [图 1-2 (b)]。

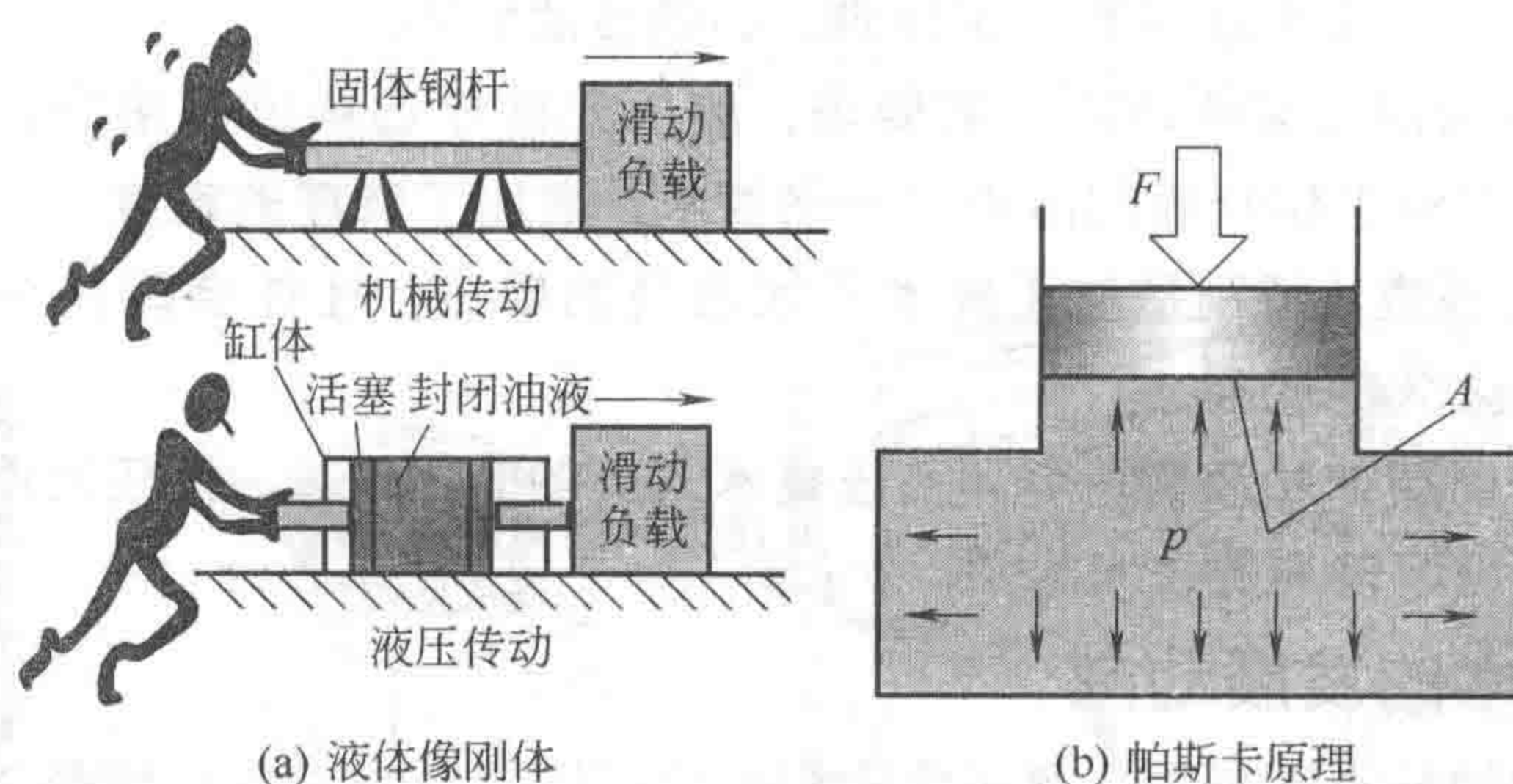


图 1-2 液体的力传递

① 基于帕斯卡原理的液压传动可将力进行传递与放大 利用杠杆原理 (图 1-3)，可以用很小的力，撬起很重的重物。液压也是一种“杠杆”，这种杠杆叫“液压杠杆”，它利用帕斯卡原理，使得能用较小的力撑起巨大重量。

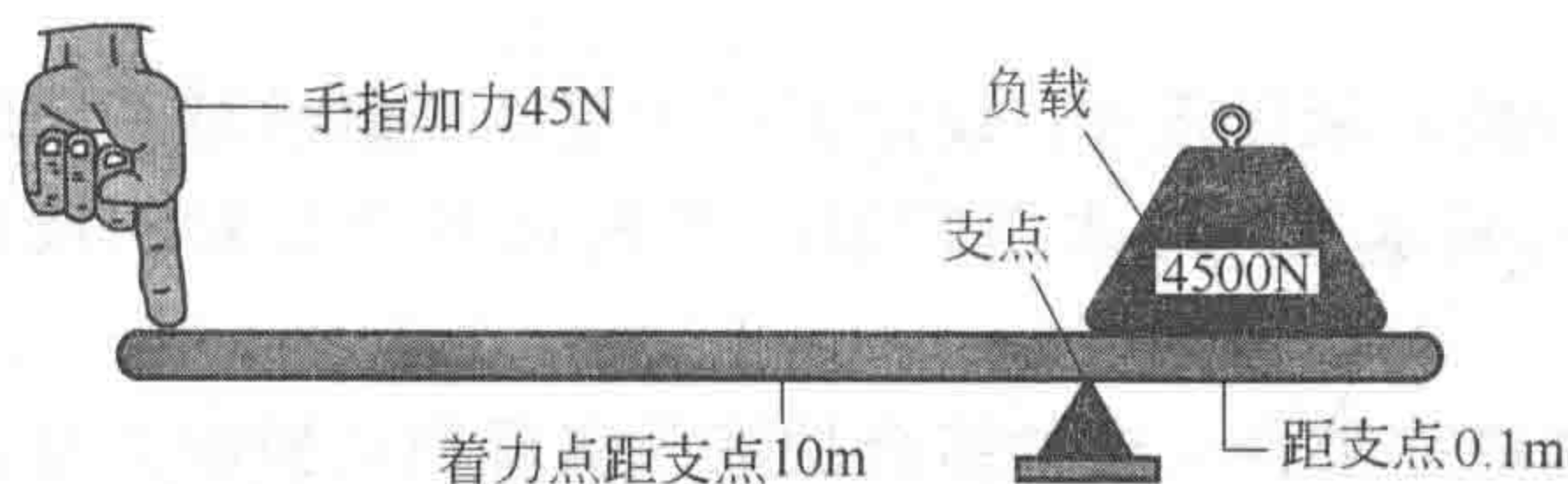


图 1-3 杠杆原理

$A_1$ ，作用在大活塞上的压强  $p_2 = F_2/A_2$ 。根据帕斯卡原理有  $p_1 = p_2$ ，得  $F_2 = F_1 \times A_2/A_1$ 。于是力进行了传递并放大了  $A_2/A_1$  倍。

帕斯卡原理可用来放大，那么图 1-4 (a) 用一根手指便可顶起重物；图 1-4 (b) 中，猴子在  $A_1$  上加的力会相等地作用或者传递到整个封闭腔内的每点上，猴子能顶起大象。这时管路便成了“液压杠杆”。

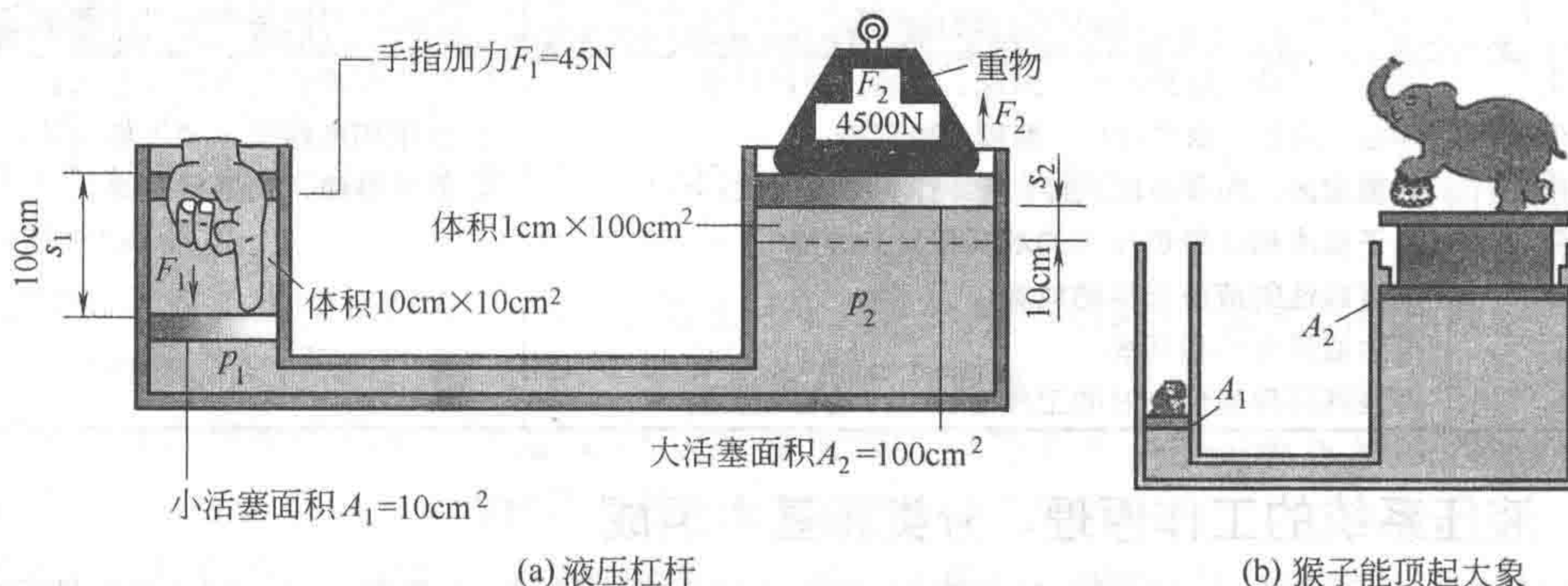


图 1-4 液压杠杆与力的放大



② 基于帕斯卡原理的液压传动可传递运动 正如上述图 1-4 (a) 所示, 当小活塞下移距离  $s_1$  时, 大活塞上移距离  $s_2$ , 便进行了运动的传递。

③ 基于帕斯卡原理的液压传动可将压力进行传递与放大 如图 1-5 (a) 所示, 通过增压缸的大活塞 1 与小活塞 2, 可将压力从大活塞 1 传递到小活塞 2, 并且可将压力  $p_1$  放大到  $p_2$ 。

$\because F_1 = F_2, \therefore p_1 \times A_1 = p_2 \times A_2, p_2 = p_1 \times A_1 / A_2$ , 则  $p_2$  将  $p_1$  放大  $A_1 / A_2$  倍。

图 1-5 (b) 所示为利用压力的放大和传递去压制工件, 做成水压机的例子。

根据力平衡和帕斯卡原理有:

$$F_1 = p_1 A_1$$

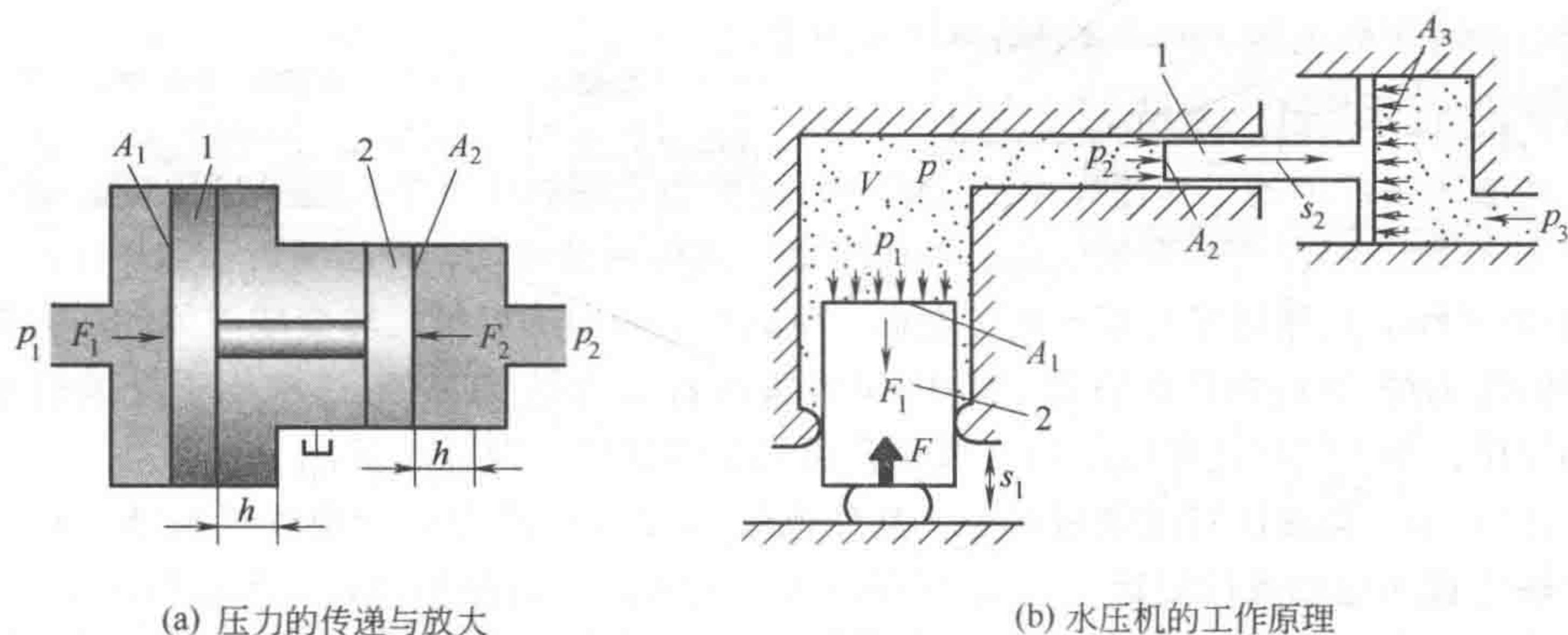
$$p_1 = p_2$$

$$p_2 A_2 = p_3 A_3 \quad (1-1)$$

即  $p_2 = p_3 A_3 / A_2$ , 而  $A_3 / A_2 > 1$ , 因而压力得以放大。另外虽然行程  $s_1$  与  $s_2$  不同, 但由于  $V$  的体积相同, 所以还有下面的关系式:

$$F_1 = \frac{A_1 A_3}{A_2} p_3$$

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{A_2}{A_1}$$



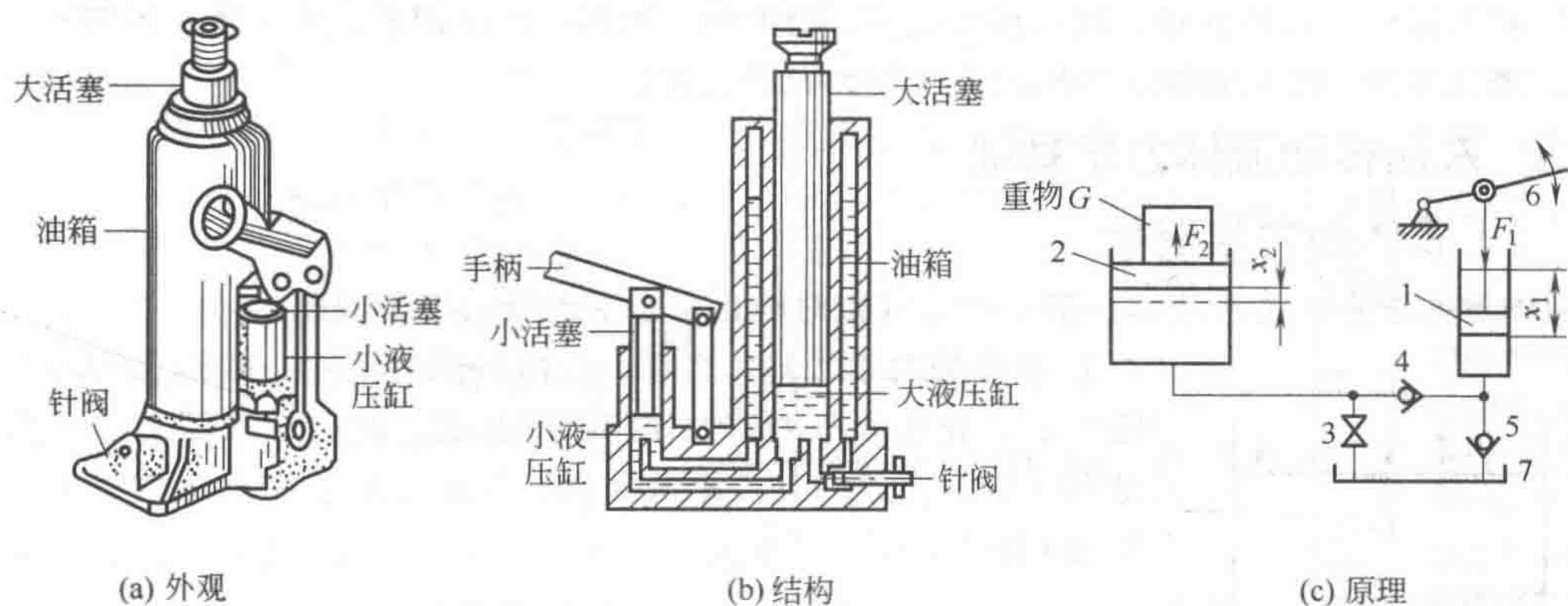
(a) 压力的传递与放大

(b) 水压机的工作原理

图 1-5 压力的传递与放大

## (2) 液压系统的工作原理

液压系统传动实际上就是帕斯卡原理的应用。以图 1-6 所示的液压千斤顶为例进行说明。



(a) 外观

(b) 结构

(c) 原理

图 1-6 液压系统的工作原理

液压千斤顶由大小液压缸 1 与 2、钢球单向阀 4 与 5、油箱 7、针阀 3 及操纵手柄 6 等组成。当用手操纵手柄 6 上提小活塞时, 小活塞下端空出一段容积的体积逐渐增大而形成真空, 钢球单



向阀 5 在大气压的作用下打开，而钢球单向阀 4 在负载压力的作用下处于关闭状态。油箱 7 的油经单向阀 5 进入小液压缸；当压下手柄时，小液压缸活塞下移，挤压其下腔的油液，单向阀 5 关闭，小液压缸下腔的油液在手柄 6 下压时压力增高，顶开单向阀 4 进入大液压缸，推动大活塞上移而顶起重物，此时由于油液压差使单向阀 5 关闭不会倒流回油箱；再次提起手柄时，大液压缸内的压力油也不会倒流入小液压缸，因为此时单向阀 4 因压差作用而自动关闭，所以大液压缸下腔还维持在压顶起重物的状态。当重复抬起和压下手柄 6 时，小液压缸不断交替地进行从油箱吸油和将油压入大液压缸的动作，将重物一点一点地顶起，当需放下重物时，打开针阀 3，大液压缸下腔压力油与油箱相通而卸压，大液压缸活塞在重力的作用下下移，将大液压缸中的油液挤回油箱 7。

通过上述液压千斤顶的工作原理和我们平时操纵液压千斤顶的工作实践可知：①如果大活塞上没有重物（外负载），则摇动手柄的力就很小，大活塞上的重物越重摇动手柄的力就越要大，缸内的油液被挤压的程度就越大，即缸内封闭腔内的压力就越高，也就是说缸内的压力的大小取决于外负载；②如果手柄摇动的速度快，小活塞往复运动挤进大液压缸的液体量（流量）就多，大活塞上升的速度就快，也就是说，速度是由流量大小决定的。即液压系统传动的的基本工作原理可归纳为以下 3 点：采用液体为传动介质（工作介质）；必须在封闭容腔内进行，整个工作原理就是帕斯卡原理的应用；代表液压传动性能的主要参数是压力和流量，根据帕斯卡原理，产生的压力大小取决于外负载，速度是流量大小决定的。

### （3）液压系统的组成

从上述液压千斤顶的工作原理和结构的分析可知液压系统由以下几部分所组成。

① 工作介质 千斤顶内为液压油，其作用是用来传递液压能，并起润滑和散热作用。

② 动力元件 其作用是将原动机（电机、发动机）输出的机械能转变成液体的压力能，为液压系统提供压力油。动力元件指的是电机-泵装置或者发动机-泵装置。液压千斤顶的小液压缸起液泵的作用，将手的摆动所做的功变成举升重物的液压能，为手摇泵。

③ 执行元件 指液压缸或液压马达，其作用是将油液的压力能转换成机械能，驱动负载对外做功并输出直线运动或往复运动。液压千斤顶中的大液压缸活塞就是顶起重物的执行元件。

④ 控制元件 指各类控制阀，其作用是用以控制和调节液压系统油液的压力、流量和液流方向，以保证执行元件有一定的输出力或扭矩，并按所要求的速度和运动方向去完成给定的工作任务。液压千斤顶中的单向阀，以及针阀（截止阀）就是控制液流方向的，针阀用来控制回油流量的大小，从而控制执行元件——大液压缸活塞的下降速度。

⑤ 辅助元件 包括油箱、油管 and 管接头、滤油器、密封、油冷却器、压力表、传感器、油位计等。液压千斤顶中的油箱、内部流道等便为辅助元件。

## 1.1.3 液压传动流体力学基础

### （1）液体静力学基础

液体静力学主要讨论液体在静止状态或相对静止状态下的受力平衡问题。

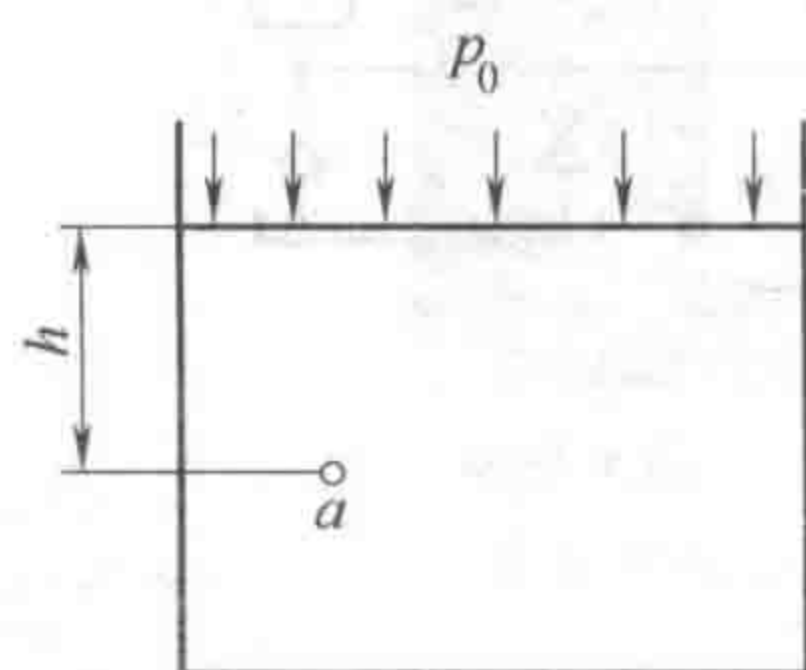


图 1-7 液体静力学基本方程原理

① 液体静力学的基本方程 在敞开的容器中，液面上的压力为大气压力  $p_0$ ，是在大气的重力作用下产生的，此时在液面上任一点  $a$  处所受到的压力  $p_a$  为（ $a$  点距液面高度为  $h$ ， $m$ ），则液体的静力学基本方程为（图 1-7）：

$$p_a = p_0 + \rho gh \quad (1-2)$$

式中  $\rho$  ——液体的密度， $kg/m^3$ 。

液体静力学方程的物理意义是：静止液体中任一点液体静压力等于表面上的压力  $p_0$  加上液体密度与该点在液面下垂直高度  $h$  和重力加



速度之乘积。

液压传动中考虑的容器为封闭容器而非敞开容器，故在密闭容器内，静止液体某点 a 所受到的压力  $p_0$ ，除了大气压力外，还有容器壁面作用于液体表面所产生的压力。如果  $p_0$  泛指外力所产生的压力，即  $p_0$  中不但包括大气产生的压力，还包括外力作用于容器壁面所产生的压力，所以仍然可用上式表示。

在液压传动系统中，用外力产生的压力  $p_0$  要比由液高产生的压力  $\rho gh$  大得多，所以  $\rho gh$  项可略去不计，这样，外力作用静止液体在液体内部会产生压力可表示为

$$p = F/A \quad (1-3)$$

式中  $p$ ——液体的压力，Pa；  
 $F$ ——受到的外加作用力，N；  
 $A$ ——受力面积， $m^2$ 。

在液体内部（密封容器空间内）各点的压力就可看成处处相等了，并且还得出下述结论：如果外力相等，受力面积不等，则在封闭容器内产生的静压力不相等 [见图 1-8 (a)]；如果封闭容器内静压力相等，受力面积不等，则向外输出的力不相等 [见图 1-8 (b)]。

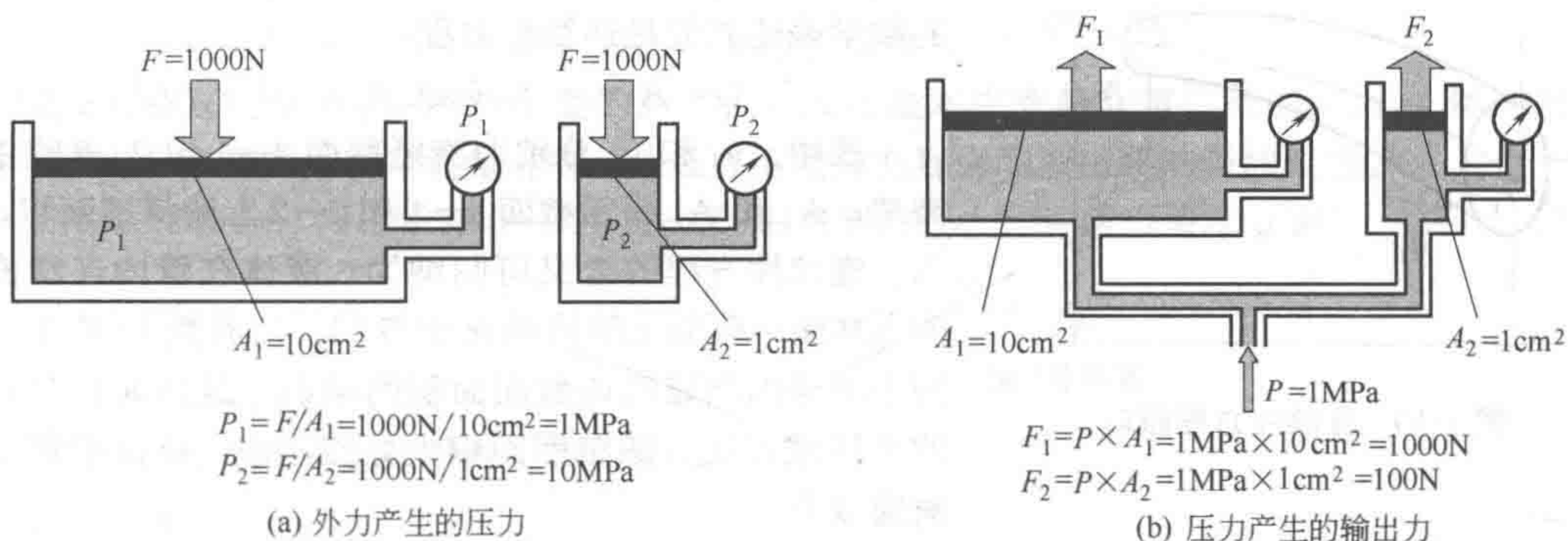


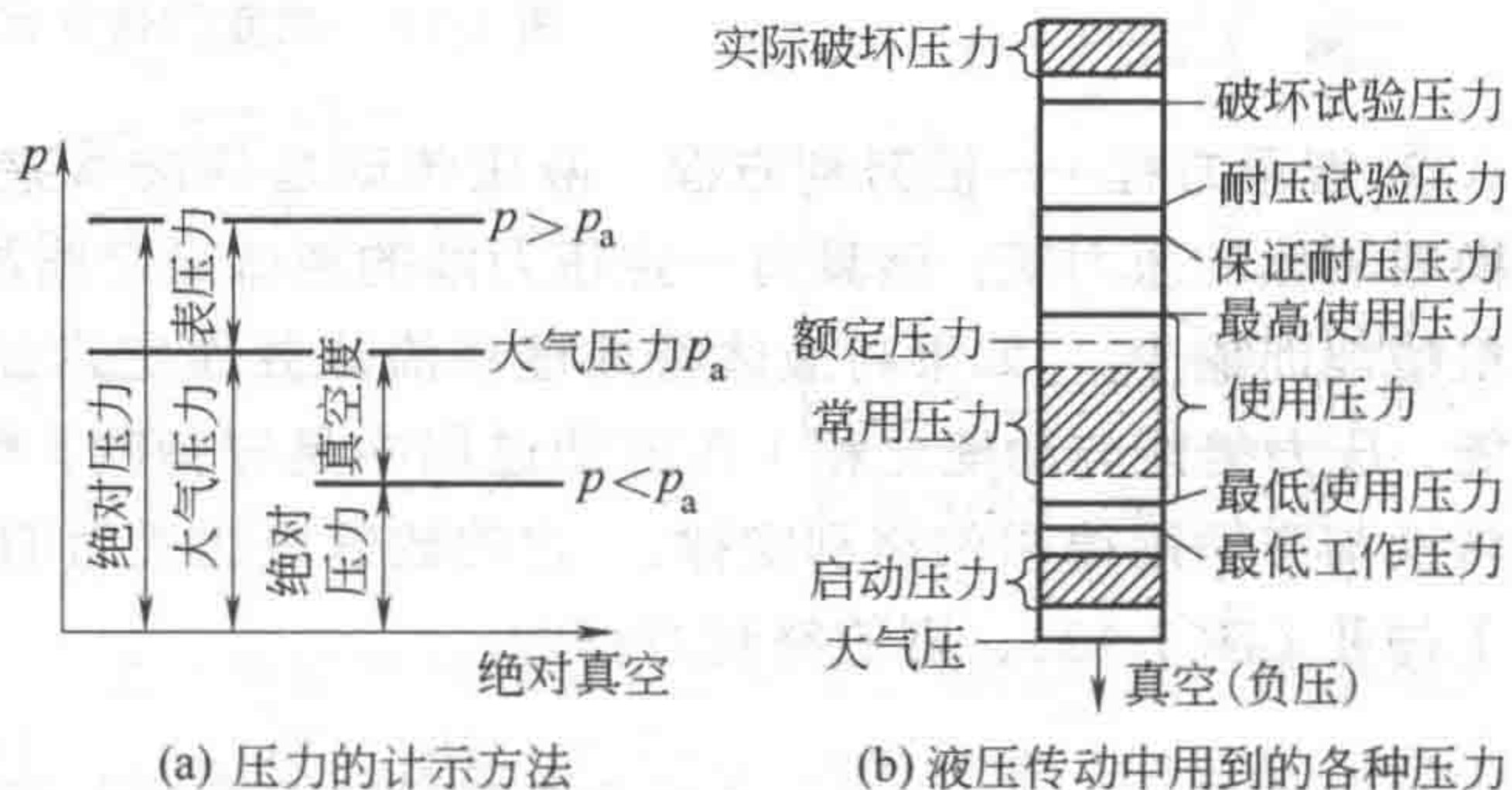
图 1-8 力与压力

因此，液压系统内的任何部分，只要是在同一封闭容腔内，只要油液未流动，容腔内任意点的压力处处相等。以后分析各种阀的工作原理时常常用到这个结论。

由于液体受压不受拉，静压力有三个特性：压力总是垂直作用于固体壁的表面；任一点的压力为一定值，且在各个方向均相等；密闭容器中的液体，若其某处加以力产生压力的作用，则此压力向容器内液体各点传递，且大小均相等地传递。

② 压力的计示方法 如图 1-9 (a) 所示，压力的高低如果从绝对真空计起，就叫绝对压力；如果从大气压算起，就叫表压力（压力表显示）或真空度（真空表显示）；低于大气压力的绝对压力在真空表上的读数就是真空度，高于大气压力的绝对压力在压力表上的读数就是表压力。

因为地球上的一切物体都受到同一大气压的作用，因而在液压系统进行力分析时，只考虑外力所引起的液压力而不必考虑大气压。本手册以后所指的压力均为表压力。流动液体中会产生动压力，但动压力相对静压力很小，本书中液压传动中的压力也是指静压力，液压传动中用到的压力名称例于图 1-9 (b) 中。



(a) 压力的计示方法 (b) 液压传动中用到的各种压力

图 1-9 压力的计示

### ③ 压力单位及换算 ISO 标准