

# 流体动力系统的 故障诊断及排除

(美) A. H. 海恩 著

FLUID POWER  
TROUBLESHOOTING



机械工业出版社  
China Machine Press

FLUID POWER  
TROUBLESHOOTING

流体动力系统的  
故障诊断及排除

(美) A.H. 海恩 著  
易孟林 邹占江 曹树平 罗晓玉 译



机械工业出版社

DY64/39 14

著作权合同登记号 图字: 01-98-2592

本书共分 14 章, 内容包括流体动力原理, 液压、气动元件的使用、维护和故障排除, 液压工作介质的选择与维护, 压缩空气的过滤、润滑及湿度控制等基础知识; 书中还对液压系统的污染控制, 静液传动, 液压系统的温升与散热, 流体动力系统的故障监测、诊断与排除以及噪声控制, 电液伺服系统、比例阀系统和负荷敏感系统等流体动力系统的设计、使用、维修人员感兴趣的问题作了详细的论述。

本书可供从事流体动力系统的设计、制造、使用和维修人员阅读, 也可作为大专院校相关专业的教学参考书。

## FLUID POWER TROUBLESHOOTING

ANTON H. HEHN

Marce Dekker, Lnc 1995

### 图书在版编目 (CIP) 数据

流体动力系统的故障诊断及排除 / (美) 海恩 (Hehn, A.H) 著; 易孟林等译. - 北京: 机械工业出版社, 2000.6

书名原文: Fluid Power Troubleshooting  
ISBN 7-111-07974-4

I. 流… II. ①海…②易… III. ①液压装置-动力系统-故障诊断②液压装置-动力系统-故障修复 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 06094 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 徐 彤 版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉  
熊万武

封面设计: 方 芬 责任印制: 路 琳  
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm×1168mm<sup>1/32</sup>·17.875 印张·477 千字

0 001—4 000 册

定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

## 序

液压设备的使用，包括维护、故障排除和维修，一直是用户们关注的主要问题之一。

对可能发生故障的元件，虽然许多制造商已提供了一些很有价值的关于排除故障和维修的资料，但其中很少论及整个系统的故障诊断，更何况系统中可能包括一些由几家竞争商制造的看似相同实有微小差异的元件。

鉴此，作者从一个更广泛的角度论述了流体动力系统故障诊断及排除的问题。书中组编的内容，可以使液压维护的专业技术人员即使是面对一个复杂的系统也能够很有把握地确定其故障的原因。虽然很多作者也曾写过流体动力系统故障诊断及排除的著作，但很少有人充分参考和利用了系统中元件制造商们提供的特别维护要求和建议。

作者治学严谨，对其著作倾注了大量的心血，书中阐述的很多内容都经过了其它流体动力专家的审阅，特别征求了那些最善于处理流体回路中疑难故障的资深专家的意见，并将收集到的众多建议融进本书中。最终呈现在读者面前的这本著作，对流体动力系统设计者来说，无疑是极其有用的工具。它能提供回路设计、各种元件的安装和优选方面的必备知识。专业维护人员可以从中领悟到作者在查找故障的实践中积累的一些实实在在的经验，受到作者所建议的故障排除

#### IV

方法的启迪，这的确是对往常那种模糊诊断回路故障方法的一项可喜的突破。

Z.J. 兰斯基

# 前 言

流体动力工业虽是一个比较新兴的领域，但自第二次世界大战结束以来，液压、气动设备的工业应用得到了飞速的发展。现代液压、气动设备只用一些简单的元件就能很经济地将机械能转化成流体压力能。这种流体能量能比较容易地实现方向、速度和力的控制；而且，其所能控制的参数范围也是其它传动方式无法比拟的。随着流体动力系统与控制技术的不断发展，采用计算机控制的自动化机器日益增多。近年来，电液比例阀和伺服阀系统也得到了广泛的应用，而微处理机与流体动力元件的结合又产生了功能强大并具“智能”的传动系统。

本书第二版为流体动力系统的设计者和用户提供了有关维护和故障排除的最新资料，并在第一版的基础上增加了许多新内容，包括插装阀、比例阀和伺服系统；液压介质的特性；压缩空气的干燥和过滤以及噪声控制等。本书对有关液压、气动管路的章节进行了修订，写入了在接头、软管及布管设计领域的最新技术。另外，对有关液压泵、液压马达、气马达、液压和气动阀、蓄能器、过滤器、密封件和液压缸的使用、维护及故障排除等章节也作了修订，以反映该领域的最新研究成果。

希望本书能成为一本在流体动力系统故障排除方面内容全面、实用的参考文献。书中提供的资料都是作者在多年从事流体动力系统设计、维护和故障排除中积累的经验和收集到的信息，它们能对元件和系统的功能及使用过程中出现的失效模式提出切合实际的解释，同时也能提供查找和排除故障的方法。书中各专题的安排是根据多次举办流体动力故障排除研讨会的经验确定的。

本书各章节的内容是：第1章介绍流体动力原理及气动、液

压、电气系统的比较；第2、3章论述液压、气动元件的使用、维护和故障排除；第4、5章论述液压、气动系统中污染的来源、影响及控制；关于静液传动系统的运用、维护及故障排除等内容则包含在第6章中；第7章研究液压系统的温升和散热；第8章讲述液压系统中工作介质的选择和保管；第9章讨论流体管路及其联接件；流体动力设备的密封件安排在第10章讲述；第11、12章是涉及流体动力系统的使用、维护和故障排除，以及系统故障监测和诊断步骤方面的内容。流体动力系统的噪声控制在第13章讨论；电液伺服系统、比例阀系统和负载敏感系统在第14章论述。最后，在附录中列出一些有用的技术数据和流体动力元件图形符号的详表。希望本书在迅速、准确找定失效元件、排除故障方面能助读者一臂之力。

我衷心地感谢那些慷慨提供技术数据和图表的流体动力设备的制造商们。

A.H. 海恩

# 目 录

序

前言

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第 1 章 流体动力原理概述 .....         | 1  |
| 1.1 液压原理 .....               | 1  |
| 1.2 气动原理 .....               | 8  |
| 1.3 液压系统的使用 .....            | 13 |
| 1.3.1 液压系统的优缺点 .....         | 17 |
| 1.3.2 液压系统的比较 .....          | 18 |
| 1.4 气动系统的使用 .....            | 29 |
| 1.4.1 空气压缩机 .....            | 30 |
| 1.4.2 热交换器（后冷却器） .....       | 33 |
| 1.4.3 贮气罐 .....              | 33 |
| 1.4.4 空气干燥装置 .....           | 34 |
| 1.5 气动系统与电动及液压系统的比较 .....    | 36 |
| 1.5.1 气动系统与电动系统相比 .....      | 36 |
| 1.5.2 气动系统与液压系统相比 .....      | 37 |
| 第 2 章 液压元件的使用、维护及故障排除 .....  | 39 |
| 2.1 液压泵 .....                | 39 |
| 2.1.1 齿轮泵 .....              | 40 |
| 2.1.2 叶片泵 .....              | 43 |
| 2.1.3 柱塞泵 .....              | 47 |
| 2.2 液压马达 .....               | 56 |
| 2.2.1 液压马达的额定参数 .....        | 58 |
| 2.2.2 叶片马达 .....             | 59 |
| 2.2.3 齿轮马达 .....             | 61 |
| 2.2.4 柱塞马达 .....             | 62 |
| 2.2.5 回转运动机构（液压马达和摆动缸） ..... | 64 |



|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 2.3 液压泵和液压马达的启动、运行与维护 .....  | 67  |
| 2.3.1 概述 .....               | 67  |
| 2.3.2 液压泵的故障 .....           | 69  |
| 2.3.3 液压马达的故障 .....          | 74  |
| 2.3.4 液压泵和液压马达的故障诊断与排除 ..... | 75  |
| 2.4 液压阀 .....                | 77  |
| 2.4.1 方向控制阀 .....            | 83  |
| 2.4.2 单向阀 .....              | 88  |
| 2.4.3 流量控制阀 .....            | 90  |
| 2.4.4 压力控制阀 .....            | 95  |
| 2.4.5 逻辑元件——插装阀 .....        | 102 |
| 2.4.6 电磁阀 .....              | 105 |
| 2.4.7 液压阀的使用、维护和故障排除 .....   | 112 |
| 2.5 液压缸与气缸 .....             | 123 |
| 2.5.1 概述和术语 .....            | 123 |
| 2.5.2 缸的额定参数 .....           | 127 |
| 2.5.3 缸的缓冲 .....             | 129 |
| 2.5.4 缸的密封 .....             | 131 |
| 2.5.5 液压缸的安装与维护 .....        | 136 |
| 2.5.6 液压缸与气缸的故障排除 .....      | 142 |
| 2.6 液压蓄能器 .....              | 146 |
| 2.6.1 蓄能器的类型及其应用 .....       | 146 |
| 2.6.2 蓄能器的使用与维修 .....        | 150 |
| 2.7 油箱 .....                 | 155 |
| 2.7.1 油箱的结构与设计 .....         | 155 |
| 2.7.2 油箱附件 .....             | 161 |
| 2.7.3 油箱的安装 .....            | 164 |
| 2.7.4 油箱的清洗 .....            | 164 |
| 第3章 气动元件的使用、维护与故障排除 .....    | 166 |
| 3.1 空气压缩机 .....              | 166 |
| 3.1.1 往复式空气压缩机 .....         | 166 |
| 3.1.2 旋转式空气压缩机 .....         | 173 |
| 3.1.3 安装、维护与故障排除 .....       | 180 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 3.2 气阀 .....              | 186 |
| 3.2.1 气阀工作原理 .....        | 186 |
| 3.2.2 维护与故障排除 .....       | 190 |
| 3.3 气马达 .....             | 202 |
| 3.3.1 气马达的类型 .....        | 203 |
| 3.3.2 气马达的特性 .....        | 209 |
| 3.3.3 气马达的维护 .....        | 212 |
| 3.3.4 气动工具的维护 .....       | 216 |
| 第4章 液压系统的污染控制 .....       | 221 |
| 4.1 污染源 .....             | 221 |
| 4.2 污染的影响 .....           | 225 |
| 4.3 污染控制 .....            | 230 |
| 4.4 过滤器的类型 .....          | 232 |
| 4.4.1 过滤器旁通阀 .....        | 241 |
| 4.4.2 过滤器的状态指示器 .....     | 241 |
| 4.5 过滤器的安装、维护及故障排除 .....  | 244 |
| 4.5.1 过滤器的安装 .....        | 244 |
| 4.5.2 过滤器的维护 .....        | 244 |
| 4.5.3 过滤器的故障排除 .....      | 246 |
| 第5章 压缩空气的过滤、润滑及湿度控制 ..... | 248 |
| 5.1 气动系统的污染 .....         | 248 |
| 5.2 过滤器、油雾器和减压阀 .....     | 254 |
| 5.2.1 压缩空气过滤器 .....       | 254 |
| 5.2.2 油雾器 .....           | 260 |
| 5.2.3 减压阀 .....           | 262 |
| 5.2.4 F-R-L三联件的选择 .....   | 267 |
| 5.2.5 F-R-L的日常维护 .....    | 268 |
| 5.3 压缩空气过滤器的维护 .....      | 273 |
| 5.4 后冷却器和空气干燥器 .....      | 274 |
| 5.4.1 后冷却器 .....          | 274 |
| 5.4.2 空气干燥器 .....         | 276 |
| 第6章 静液传动 .....            | 288 |
| 6.1 工作原理 .....            | 288 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 6.1.1 回路 .....                  | 291        |
| 6.1.2 各种静液传动形式的比较 .....         | 296        |
| 6.1.3 静液传动控制 .....              | 299        |
| 6.2 静液传动系统的起动程序 .....           | 300        |
| 6.3 静液传动系统的维护 .....             | 303        |
| 6.4 静液传动系统的故障诊断与排除 .....        | 305        |
| <b>第7章 液压系统的温升和散热 .....</b>     | <b>314</b> |
| 7.1 热的产生 .....                  | 314        |
| 7.2 散热 .....                    | 319        |
| 7.3 热交换器(冷却器) .....             | 320        |
| 7.3.1 热交换器的种类 .....             | 321        |
| 7.3.2 增设一台热交换器 .....            | 324        |
| 7.3.3 热交换器的冷却用水 .....           | 326        |
| 7.3.4 辐射式散热装置 .....             | 327        |
| 7.4 维护与保养 .....                 | 327        |
| 7.4.1 更换锌棒 .....                | 327        |
| 7.4.2 管壳式热交换器的清洗 .....          | 328        |
| 7.4.3 油—气热交换器的清洗 .....          | 330        |
| 7.4.4 检漏 .....                  | 330        |
| <b>第8章 液压系统工作介质的选择与维护 .....</b> | <b>331</b> |
| 8.1 工作介质的种类及其特性 .....           | 332        |
| 8.1.1 工作介质的特性 .....             | 333        |
| 8.1.2 石油基液压油 .....              | 338        |
| 8.1.3 抗燃介质 .....                | 339        |
| 8.1.4 水 .....                   | 342        |
| 8.2 工作介质的性能维护 .....             | 343        |
| <b>第9章 流体管路和管接头 .....</b>       | <b>345</b> |
| 9.1 硬管、半硬管和软管 .....             | 345        |
| 9.1.1 硬管 .....                  | 345        |
| 9.1.2 半硬管 .....                 | 348        |
| 9.1.3 软管 .....                  | 350        |
| 9.2 管路连接件 .....                 | 353        |
| 9.2.1 管接头 .....                 | 353        |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 9.2.2 直螺纹 O 形圈密封管接头 .....      | 355 |
| 9.2.3 软管接头和对接接头 .....          | 358 |
| 9.3 安装问题 .....                 | 361 |
| 9.3.1 硬管的安装 .....              | 361 |
| 9.3.2 半硬管的安装 .....             | 361 |
| 9.3.3 软管的安装 .....              | 365 |
| 9.3.4 软管接头的安装 .....            | 367 |
| 9.4 气动管路系统 .....               | 368 |
| 9.5 软管和接头的使用及注意事项 .....        | 372 |
| 9.6 软管组件的失效 .....              | 377 |
| 9.6.1 使用不当 .....               | 378 |
| 9.6.2 装配和安装不正确 .....           | 378 |
| 9.6.3 外部损坏 .....               | 378 |
| 9.6.4 设备缺陷 .....               | 379 |
| 9.6.5 软管缺陷 .....               | 379 |
| 9.6.6 分析失效的软管 .....            | 379 |
| 9.7 集成块液压系统 .....              | 384 |
| 第 10 章 流体动力设备的密封 .....         | 386 |
| 10.1 密封形式 .....                | 386 |
| 10.2 动密封的应用及其失效 .....          | 389 |
| 10.2.1 径向唇形密封 .....            | 389 |
| 10.2.2 表面密封 .....              | 392 |
| 10.2.3 填料密封 .....              | 400 |
| 10.3 静密封的应用及其失效 .....          | 401 |
| 10.3.1 密封垫 .....               | 401 |
| 10.3.2 O 形圈 .....              | 402 |
| 10.4 泄漏检查 .....                | 406 |
| 10.5 密封材料 .....                | 411 |
| 10.6 避免密封过早损坏的要点 .....         | 415 |
| 10.7 防尘圈 (或刮尘器、挡尘环) .....      | 417 |
| 第 11 章 流体动力系统的使用、维护及故障排除 ..... | 419 |
| 11.1 系统设计注意事项 .....            | 420 |
| 11.2 液压系统的安装、准备和运行 .....       | 421 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 11.2.1 安装 .....                  | 421 |
| 11.2.2 准备 .....                  | 422 |
| 11.2.3 运行 .....                  | 423 |
| 11.3 了解系统 .....                  | 424 |
| 11.4 液压系统的维护 .....               | 425 |
| 11.5 液压系统维修附件 .....              | 429 |
| 11.6 液压油的储存和处理 .....             | 431 |
| 11.7 故障诊断指南 .....                | 433 |
| 第 12 章 流体动力系统的故障监测与诊断 .....      | 441 |
| 12.1 故障监测 .....                  | 441 |
| 12.1.1 使用液压测试仪器排除故障 .....        | 444 |
| 12.1.2 故障测试仪器的应用 .....           | 449 |
| 12.2 诊断仪器 .....                  | 454 |
| 12.2.1 弹簧管压力表 .....              | 459 |
| 12.2.2 粘度测量仪 .....               | 462 |
| 12.2.3 液位和温度计 .....              | 463 |
| 12.2.4 流量计 .....                 | 464 |
| 第 13 章 流体动力系统的噪声控制 .....         | 465 |
| 13.1 液压泵的噪声 .....                | 465 |
| 13.2 液压系统的噪声控制 .....             | 469 |
| 13.2.1 振动噪声的控制 .....             | 471 |
| 13.2.2 流体噪声的控制 .....             | 474 |
| 13.3 噪声的测量 .....                 | 475 |
| 13.4 降噪研究 .....                  | 478 |
| 第 14 章 电液伺服系统、比例阀系统和负荷敏感系统 ..... | 479 |
| 14.1 概述 .....                    | 479 |
| 14.1.1 控制系统的种类 .....             | 481 |
| 14.1.2 电液设备 .....                | 483 |
| 14.2 反馈控制系统的特性 .....             | 484 |
| 14.2.1 目标 .....                  | 484 |
| 14.2.2 开环与闭环控制系统的特性比较 .....      | 484 |
| 14.2.3 稳定性与动态响应 .....            | 485 |
| 14.3 电液比例阀与伺服阀 .....             | 486 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 14.3.1 比例阀的结构 .....             | 486 |
| 14.3.2 伺服阀的结构 .....             | 496 |
| 14.3.3 伺服阀的特性 .....             | 501 |
| 14.3.4 流量控制伺服阀 .....            | 502 |
| 14.3.5 压力控制伺服阀 .....            | 504 |
| 14.4 伺服阀的安装、使用、维护及故障诊断与排除 ..... | 505 |
| 14.4.1 安装与起动 .....              | 505 |
| 14.4.2 运行 .....                 | 507 |
| 14.4.3 维护与故障诊断 .....            | 510 |
| 14.5 伺服系统的有关术语 .....            | 513 |
| 附录 A 流体动力图形符号及术语 .....          | 516 |
| A.1 流体动力图形符号概述 .....            | 516 |
| A.2 流体动力的图形符号 .....             | 520 |
| 附录 B 液压基本概念和技术参数 .....          | 535 |
| B.1 液压基本概念 .....                | 535 |
| B.2 各种技术参数 .....                | 536 |
| B.3 流体动力系统实用数据表 .....           | 541 |
| B.4 单位换算 .....                  | 556 |

# 第1章 流体动力原理概述

## 1.1 液压原理

正确地使用和维护液压系统，有赖于对流体特性和机械元件功能的透彻理解。要想操作和维护好一个液压系统，从事该领域工作的人们必须具备一些流体动力的基础知识，同时也需要熟悉组成液压系统的七类基本元件。

许多液压系统看似极其复杂，但实际上，它们的基本设计原理相当简单。不管一个液压系统的复杂程度如何，每个系统都无一例外由七类基本元件组成：

1) 存储油液的油箱；2) 用来传递流体动力的管路；3) 将输入动力转化为流体动力的液压泵；4) 调节压力的压力控制阀；5) 控制流体流动方向的方向控制阀；6) 调节速度或流量的流量控制装置；7) 将液压能转化为机械能的执行元件。

### 流体的基本定理

虽然液压学科是最古老的学科之一，但是，关于流体的一些物理学定理付诸于工业实际运用还仅仅是近几十年的事。九十年前，想象我们今天这样运用液压技术简直是不可能的。因为当时还没有用于加工如此精密零件的机床；另外，炼油技术也远不能生产出令人满意的液压油。

液压技术之所以能得到越来越广泛的运用，其原因在于结构合理的液压系统具有许多优点：1) 能够省去一些复杂的机构，诸如：凸轮、齿轮以及杠杆等；2) 所用的流体不像机械零件那样易遭损坏；3) 液压元件不易受严重的磨损；4) 压力可以很快地建立，并能以很少的损失传输到相当远的地方，还可以上下来回传送，达到每个角落；5) 液压系统使旋转及直线动力传动的

大范围调速成为可能。同时，我们还应注意到，工业自动化水平的提高正日新月异地扩展着液压和电子设备的应用领域。

虽然水在液压设备中得到了一定的应用，但在液压系统中广泛运用的工作介质仍是石油基液压油。此外，合成液和抗燃液也运用于液压领域，并且它们的运用在易燃环境中几乎是强制性的。

液压介质的基本功能是传递力及迅速地复现和改变力的方向或大小（见图 1.1）。为了实现这一点，液压介质必须具有足够的不可压缩性以及能够传送动力和放大力的物理特性。

液体几乎是不可压缩的，即使它承受了每平方英寸数千磅力的巨大压力，其体积的变化仍是微乎其微的。这一事实的实际意义就是当力作用于一个密闭容腔的静止液体时，力能够毫不减少地向四周传递。帕斯卡于 1620 年发现了这一原理，从而为整个液压学科提供了一条基本定理。帕斯卡定理阐明：“作用于一密闭容腔静止液体的压力，将以同样大小向容器所有方向传递，而且只要作用面积相等，作用力也相等。”这表明，施加于液体某一点的压力将会被液体介质传送到封闭容腔内液体的任何一点。

由于液体是不可压缩的，因此，它们在传递动力方面具有明显的优越性。对充满液体的密闭容腔的某个液面施加的压力将会毫不减少地传递到其它面。可是，当我们撞击金属棒的一端时，撞击力的方向是不能改变的，因为金属棒是刚性的，撞击棒的力只能从棒的一端直线地传到另一端。在这种情况下，只有采用齿轮和其它复杂机械装置才能改变力的方向。

当力施加于一个密闭容腔的液体时，液体将呈现出类似固体的刚性。但是，这种力不仅可以直线地从一端传递到另一端，而且还传递到密闭容器内液体的各个方向。它以同样大小向前、后、左、右四周传递。可以说，它能将力传送到封闭容腔内液体可达到的任何一点。

巨大力的产生取决于施力处和做功处的面积差。液压技术的这一优点，使得能用较小的力撑起巨大重量。液压千斤顶便验证



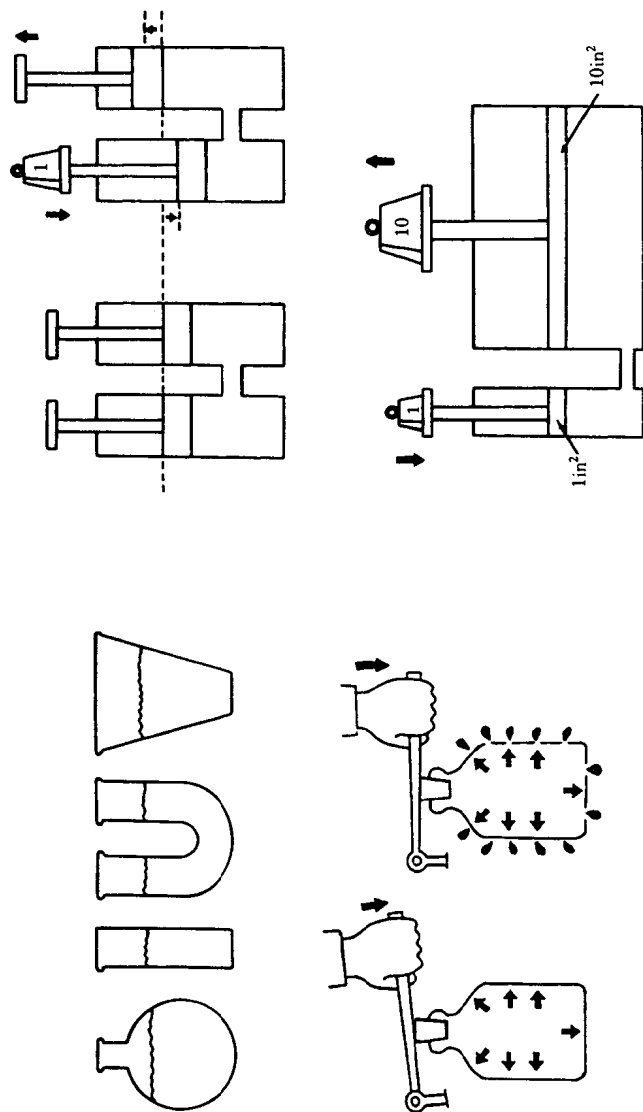


图 1.1 流体传动的基本原理