21世纪液压气动经典图书系统系列

现代冶金设备液压传动与控制

安徽工业大学　方庆琯　等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



作者简介

方庆琯，籍贯江苏苏州，1945年5月出生，1967年毕业于中国科学技术大学近代力学系爆炸力学专业。安徽工业大学教授。中国机械工程学会流体传动与控制分会委员、中国工业工程专家、宝钢人才院兼职教授、广西柳工液压研究所高级技术专家、山河智能装备公司高级技术专家。作为第1完成人，获省部级科学技术奖4项、市科学技术奖3项、实用新型专利4项。担任国家十一五规划教材主编、国家级高校精品课程负责人。2004年被评为安徽省优秀教师，2006年获宝钢教育奖（优秀教师提名奖）。2007年被评为“安徽省教学名师”。

21 世纪液压气动经典图书系统系列

现代冶金设备液压传动与控制

方庆琯　钱有明　等编著

孔祥东　主审

机 械 工 业 出 版 社

本书结合现代冶金设备，介绍了液压传动与伺服控制技术，其中所附液压原理图全部按最新国标 GB/T 786.1—2009 绘制。书中第 1 章～第 6 章讲解了液压传动的基本理论和知识（液压流体力学、液压泵、液压马达与液压缸、液压控制阀、液压辅件和液压基本回路）；第 7 章～第 11 章结合国内各大型冶金企业的最新设备实例，介绍了主要冶金设备（包括冶炼设备、连铸设备、热连轧线、酸洗线、冷连轧线）液压传动系统和带钢连轧液压伺服控制系统；第 12 章液压伺服系统的设计与校正和第 13 章冶金设备液压系统的故障处理是前 11 章知识的综合应用。考虑到初学读者和高等学校教师的需求，第 14 章列出了液压传动理论的知识要点、例题及习题。

本书可供冶金设备领域的工程技术人员和其他行业从事液压传动与控制技术的工程师作为技术参考书，也可用作高等院校机械自动化类专业本科生、研究生的教材和教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

现代冶金设备液压传动与控制/方庆琯等编著. —北京：机械工业出版社，2016.6

（21 世纪液压气动经典图书系统系列）

ISBN 978-7-111-53530-0

Ⅰ.①现… Ⅱ.①方… Ⅲ.①冶金设备－液压传动②冶金设备－液压控制 Ⅳ.①TF3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 077831 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：张秀恩 责任编辑：张秀恩 王 珑

责任校对：刘怡丹 封面设计：陈 沛

责任印制：李 洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm · 27.25 印张 · 插页 · 529 千字

0001—2500册

标准书号：ISBN 978-7-111-53530-0

定价：79.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务 网络服务

服务咨询热线：010-88361066 机 工 官 网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294 机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

010-88379203 金 书 网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版 教育服务网：www.cmpedu.com

前　言

融合了电气和计算机控制的液压传动与控制技术是现代制造工程的基础技术。液压传动可在较大的散布区域内向各方位输送被精准调控的较大动力，这是现有机械传动无法实现的，同时，液压传动的功率密度比又大得令电力传动相形见绌。这些液压传动的优点正好适应了现代冶金设备对传动的需求，所以，现代冶金设备广泛应用了液压传动与控制技术，可以说，离开了液压传动与控制，就没有现代冶金设备。从 20 世纪七八十年代的武钢 1700 工程、上海宝钢工程开始，国内冶金设备中液压传动与控制技术的大规模成套应用已经走过了 40 年左右的历程。目前，国内的各大型冶金企业，从冶炼到轧制，从输送到成型，在冶金生产的全流程中，液压传动与控制系统已无处不在。液压传动与控制技术已成为冶金行业工程技术人员不可或缺的知识。

为了给在职或正在院校学习准备入职冶金设备行业的工程技术人员提供包含最新冶金设备液压传动与控制知识的技术参考书和教材，受中国机械工程学会流体传动与控制分会委托，我们历时 7 年编著了本书。本书在编著过程中，选录了编者相关的论文和教材，参考了相关的科技文献（编者对引用的参考文献的作者深切致谢），对数千页的冶金设备技术资料进行了取舍和改写，还依据现行国标重新绘制了 400 余幅附图。书中列举的冶金设备液压传动与控制案例均来自具有国际先进水平的冶金生产线。

本书提及的液压传动理论知识，是为了说明冶金设备液压传动与控制系统的原理，也是编者依据 40 年从业冶金设备液压传动与控制教学科研的实际体会择需选入的，并且在选入时，精简了对通用元件的介绍，强化了冶金设备液压系统中常用的二通插装阀、伺服阀和比例阀的说明，所选内容既适合初学者掌握，又能满足专业技术人员的需求。本书的最大特点是：紧密结合先进的冶金工艺流程和最新的冶金设备来介绍液压传动与控制技术，将液压传动与控制的基本理论融入主机设备和工艺流程之中。脱离主机和具体工况，就液压论液压，把液压知识

局限在流量和压力的计算上，这是不可取的。液压传动与控制不是传动的万能钥匙，离开了主机和工况，液压传动与控制就是空中楼阁，不可实用。从这一观点出发，编者向冶金设备行业的工程技术人员和大学学生特推荐本书。本书的另一特点是：传动与控制并重、液压与电控结合。离开了电控（含传感器技术和计算机控制）就没有现代液压传动与控制技术。

书中第1章~第6章讲解了液压传动的基本理论和知识（液压流体力学、液压泵、液压马达与液压缸、液压控制阀、液压辅件和液压基本回路）；第7章~第11章结合国内各大型冶金企业的设备实例，介绍了主要冶金设备（包括冶炼设备、连铸设备、热连轧线、酸洗线、冷连轧线）液压传动系统和带钢连轧液压伺服控制系统；第12章液压伺服系统的设计与校正和第13章冶金设备液压系统的故障处理是前11章内容和知识的综合应用，有助于提高读者对冶金设备液压传动与控制系统的综合分析能力。考虑到初学读者和高等学校教师的需求，第14章中列出了液压传动理论的知识要点、例题及习题。

本书的编写得到了“华冶”液压专业（原冶金部所属华东冶金学院流体传动与控制专业，现安徽工业大学机械自动化系）教师和校友的大力支持与帮助。工作在宝钢集团有限公司（以下简称宝钢）、马鞍山钢铁股份有限公司（以下简称马钢）、武汉钢铁集团公司（以下简称武钢）等各大钢铁公司的“华冶”液压校友，为本书的编写提供了丰富的资料和图片，参与编写的作者也都是“华冶”液压的教师和校友。本书的出版是“华冶”液压校友团结努力的成果，也是对“华冶”流体传动与控制专业设立30周年的纪念和庆祝。

本书的第1、2、7、11、12、13章由安徽工业大学方庆琯编写，第3、4、5、6、14章由安徽工业大学方庆琯、邓克、王刚、叶小华编写，第8、9、10章由马钢钱有明、朱培显、姚威、郑圆编写。全书由方庆琯统稿。参与本书策划及编写工作的还有安徽工业大学包家汉、黄建中和马钢戴本俊。肖红涛、朱立勇、方皓、胡勇、程伟、张超参与了本书电子文档的整理和附图绘制。为本书出版提供帮助的还有安徽工业大学在宝钢、上海宝冶集团有限公司（以下简称宝冶）、武钢、中国重型机械研究院的校友曾兵、何波、徐笑、解通护等。

承蒙燕山大学副校长、中国机械工程学会流体传动与控制分会主任委员、博士生导师孔祥东教授主审了本书。孔教授及权凌霄老师、艾超老师认真审阅了书稿，对本书的章节规划、内容取舍、公式推导、图文规范都提出了严谨的修改意见。编者在此对孔祥东教授及权凌霄、艾超两位老师表示衷心感谢。

编者

目　录

前言
第 1 章　液压传动基本知识 …… 1
1.1　液压传动概述 …… 1
1.1.1　液压传动的工作原理 …… 1
1.1.2　液压传动系统的组成 …… 2
1.1.3　液压原理图的图形符号 …… 2
1.1.4　液压传动的优缺点 …… 3
1.1.5　液压技术的应用 …… 4
1.1.6　液压传动工作介质的物理性质 …… 5
1.1.7　液压传动工作介质的污染及其控制 …… 10
1.2　液压流体力学基础 …… 11
1.2.1　液体静力学 …… 11
1.2.2　液体动力学 …… 12
1.2.3　管道流动 …… 18
1.2.4　小孔及间隙流动 …… 24
1.2.5　液压冲击及空穴现象 …… 29
第 2 章　液压泵 …… 32
2.1　液压泵概述 …… 32
2.1.1　液压泵的工作原理及特点 …… 32
2.1.2　液压泵的主要性能参数 …… 33
2.2　齿轮泵 …… 36
2.2.1　齿轮泵的工作原理和结构 …… 37
2.2.2　齿轮泵的困油问题 …… 38
2.2.3　齿轮泵的径向不平衡力 …… 39
2.2.4　齿轮泵的流量计算 …… 39

2.2.5 高压齿轮泵的结构特点 …… 40
2.2.6 内啮合齿轮泵 …… 41
2.3 叶片泵 …… 42
2.3.1 单作用叶片泵 …… 43
2.3.2 双作用叶片泵 …… 44
2.3.3 限压式变量叶片泵 …… 45
2.4 柱塞泵 …… 47
2.4.1 径向柱塞泵 …… 48
2.4.2 轴向柱塞泵 …… 49
第3章 液压马达与液压缸 …… 56
3.1 液压马达 …… 56
3.1.1 液压马达的特点及分类 …… 56
3.1.2 液压马达的性能参数 …… 57
3.1.3 几种常用的液压马达 …… 59
3.2 液压缸 …… 62
3.2.1 液压缸的分类 …… 62
3.2.2 液压缸的安装形式 …… 66
3.2.3 液压缸末端缓冲 …… 68
第4章 液压控制阀 …… 70
4.1 单向阀与方向控制阀 …… 70
4.1.1 单向阀 …… 70
4.1.2 方向控制阀（换向阀） …… 71
4.2 压力控制阀 …… 75
4.2.1 溢流阀 …… 75
4.2.2 减压阀 …… 82
4.2.3 顺序阀 …… 86
4.2.4 压力继电器 …… 88
4.3 流量控制阀 …… 91
4.3.1 流量控制原理及节流口形式 …… 91
4.3.2 普通节流阀 …… 92
4.3.3 节流阀的压力和温度补偿 …… 94
4.3.4 同步阀 …… 99
4.4 液压阀的安装连接方式 …… 103
4.4.1 管式连接 …… 103
4.4.2 板式连接 …… 103

4.4.3　油路集成块连接 …… 104
4.4.4　叠加式连接 …… 105
4.4.5　插装式连接 …… 106
4.5　二通插装阀 …… 108
4.5.1　二通插装阀基本元件和工作原理 …… 109
4.5.2　方向控制插装阀 …… 112
4.5.3　压力控制插装阀 …… 116
4.5.4　流量控制插装阀 …… 116
4.5.5　复合控制插装阀 …… 117
4.6　电液伺服阀 …… 118
4.6.1　电液伺服阀概述 …… 119
4.6.2　伺服阀中液压放大器的结构形式 …… 120
4.6.3　电液伺服阀的工作原理 …… 123
4.6.4　电液伺服阀的特性分析 …… 125
4.7　电液比例阀 …… 130
4.7.1　比例电磁铁的结构原理 …… 130
4.7.2　电液比例压力阀 …… 131
4.7.3　电液比例方向（流量）阀 …… 136
4.7.4　伺服比例阀 …… 141
第 5 章　液压辅件 …… 143
5.1　蓄能器 …… 143
5.1.1　蓄能器功用和分类 …… 143
5.1.2　蓄能器的使用和安装 …… 144
5.2　过滤器 …… 145
5.2.1　过滤器的功用和类型 …… 145
5.2.2　过滤器选用和安装 …… 145
5.3　油箱 …… 147
5.3.1　功用和结构 …… 147
5.3.2　设计时的注意事项 …… 147
5.4　热交换器 …… 148
5.4.1　冷却器 …… 148
5.4.2　加热器 …… 148
5.5　管件 …… 148
5.5.1　油管 …… 148
5.5.2　管接头 …… 149

5.6 密封装置 …… 149
5.6.1 液压系统对密封装置的要求 …… 150
5.6.2 液压用密封材料 …… 150
5.6.3 液压系统中常用密封件的结构形式 …… 151
第6章 液压基本回路 …… 154
6.1 压力控制回路 …… 154
6.1.1 调压回路 …… 154
6.1.2 减压回路 …… 156
6.1.3 增压回路 …… 156
6.1.4 卸荷回路 …… 157
6.1.5 保压回路 …… 158
6.1.6 平衡回路 …… 159
6.1.7 制动缓冲回路 …… 160
6.2 方向控制回路 …… 162
6.2.1 换向回路 …… 162
6.2.2 锁紧回路 …… 164
6.3 速度控制回路 …… 164
6.3.1 调速回路 …… 165
6.3.2 快速运动回路 …… 172
6.3.3 速度换接回路 …… 173
6.4 多缸工作控制回路 …… 175
6.4.1 顺序动作回路 …… 175
6.4.2 同步回路 …… 176
6.4.3 多缸快慢速互不干扰回路 …… 177
第7章 冶炼设备液压系统 …… 179
7.1 高炉液压系统介绍与分析 …… 179
7.1.1 550m^{3}高炉炉顶料钟液压传动系统 …… 179
7.1.2 液压泥炮 …… 182
7.1.3 高炉开铁口机液压系统 …… 190
7.1.4 无料钟炉顶的液压传动 …… 195
7.2 液压系统在炼钢设备中的应用 …… 197
7.2.1 20t 电弧炼钢炉液压系统 …… 197
7.2.2 中频无芯感应熔炼炉液压系统 …… 200
7.2.3 150t 电弧炉炉体倾动电液比例控制系统 …… 203

第 8 章 连铸设备液压控制系统 …… 207
8.1 连铸机工艺及设备介绍 …… 207
8.2 连铸机台上设备液压控制回路 …… 209
8.2.1 大包回转台液压系统 …… 210
8.2.2 大包包盖控制液压系统 …… 215
8.2.3 大包滑动水口控制 …… 216
8.2.4 中包车行走控制 …… 218
8.2.5 中包升降控制 …… 221
8.3 铸流设备液压控制系统 …… 224
8.3.1 结晶器液压控制回路 …… 225
8.3.2 振动台液压控制回路 …… 231
8.3.3 扇形段辊缝调整液压控制回路 …… 232
8.3.4 驱动辊压下控制液压系统 …… 236
8.4 连铸机台下设备液压控制系统 …… 238
第 9 章 带钢热连轧液压传动系统 …… 240
9.1 热轧钢板及轧制工艺简介 …… 240
9.2 步进式加热炉液压传动系统 …… 242
9.2.1 步进梁式加热炉简介 …… 242
9.2.2 步进梁升降液压传动系统 …… 243
9.2.3 步进梁进退液压传动系统 …… 243
9.2.4 装出钢机液压传动系统 …… 244
9.2.5 装出料炉门液压传动系统 …… 248
9.3 定宽压力机液压系统 …… 249
9.3.1 定宽压力机作用与原理 …… 249
9.3.2 定宽压力机的结构组成 …… 250
9.3.3 定宽压力机入口夹送辊控制液压回路 …… 252
9.3.4 压力机定宽的优点 …… 252
9.4 热轧机典型液压传动系统 …… 253
9.4.1 粗轧机液压辊缝调整（AGC）的结构 …… 253
9.4.2 粗轧机带钢宽度 AWC 控制液压阀台 …… 254
9.4.3 精轧机液压系统 …… 255
9.5 卷取机液压系统 …… 259
9.5.1 卷取机导卫液压控制 …… 259
9.5.2 卷取机夹送辊液压控制 …… 261
9.5.3 卷取机助卷辊控制液压回路 …… 262

9.5.4 卷取机卷筒控制液压回路 …… 264
第 10 章 带钢酸洗及冷连轧机组液压系统 …… 266
10.1 热轧酸洗线液压回路 …… 266
10.1.1 热轧酸洗线机组概述 …… 266
10.1.2 入口步进梁液压回路 …… 267
10.1.3 钢卷上料小车液压回路 …… 268
10.1.4 开卷机抗折弯辊液压回路 …… 270
10.1.5 启卷器典型液压回路 …… 271
10.1.6 双层剪液压回路 …… 274
10.2 冷连轧轧机液压回路 …… 275
10.2.1 传动带助卷器回路 …… 275
10.2.2 卸卷小车液压回路 …… 277
10.2.3 中间辊窜辊液压回路 …… 279
10.2.4 轧辊平衡及弯辊液压回路 …… 282
10.3 钢带连轧跑偏控制系统介绍与分析 …… 284
10.3.1 带钢纠偏系统的作用及功能 …… 284
10.3.2 带钢纠偏系统的设备介绍 …… 285
第 11 章 带钢轧机液压伺服系统应用案例 …… 290
11.1 轧机带钢厚度控制（AGC）系统 …… 290
11.1.1 AGC 系统概述 …… 290
11.1.2 带钢厚差控制原理 …… 292
11.2 轧机的辊缝调节液压压下系统 …… 294
11.2.1 五机架冷连轧机辊缝控制液压系统 …… 294
11.2.2 森吉米尔可逆式冷轧机压下装置液压系统 …… 299
11.3 轧机的辊缝调节液压推上系统 …… 303
11.3.1 双机架平整机组液压辊缝调节液压系统 …… 303
11.3.2 UCM 六辊轧机的压上系统 …… 311
11.3.3 某 1700mm 热轧厂热平整作业线平整机液压推上系统 …… 314
11.4 各类 AGC 系统特点综述 …… 317
11.4.1 辊缝调节系统的控制方式 …… 317
11.4.2 辊缝调节系统使用的检测元件 …… 319
11.4.3 辊缝调节系统的辊缝调整缸 …… 319
11.4.4 辊缝调节液压系统的组成与要求 …… 320
11.5 CVC 连续可变辊缝控制技术及其液压系统 …… 320
11.5.1 CVC 技术功能原理 …… 320

11.5.2 CVC 液压系统 …… 321
11.6 轧机的液压弯辊系统 …… 323
11.6.1 弯辊系统概述 …… 323
11.6.2 双机架平整机 150MPa 液压弯辊系统 …… 324
11.6.3 1700mm 热轧精轧机弯辊系统 …… 329
11.6.4 森言米尔轧机轧辊凸度调整 …… 331
11.6.5 液压弯辊系统的特点 …… 333
11.6.6 液压弯辊系统今后的发展方向 …… 335
11.7 轧机带钢液压跑偏控制 …… 335
11.7.1 带钢液压跑偏控制概述 …… 335
11.7.2 光电液跑偏控制系统类型和组成 …… 336
11.7.3 1700mm 冷轧带钢厂光电液跑偏控制系统 …… 337
第 12 章 液压伺服系统的设计与校正 …… 340
12.1 液压伺服系统的方案设计和负载计算 …… 341
12.1.1 明确实际工况对伺服系统的设计要求 …… 341
12.1.2 拟定控制方案并绘制系统框图 …… 341
12.1.3 计算负载力并绘制负载 – 速度曲线 …… 342
12.1.4 选择供油压力（伺服阀的进口压力） …… 342
12.2 液压伺服系统动力元件的选择 …… 343
12.2.1 按效率最高原则选择动力元件 …… 343
12.2.2 按最大负载选择动力元件 …… 346
12.2.3 按固有频率选择动力元件 …… 346
12.2.4 选择执行元件（含惯性负载） …… 347
12.2.5 选择或设计液压能源 …… 349
12.2.6 传感器的选择 …… 350
12.3 液压伺服系统设计的校验 …… 350
12.3.1 确定系统的开环放大系数 k …… 350
12.3.2 选择伺服放大器及确定其增益系数 k_a …… 352
12.3.3 校验系统的稳定性 …… 352
12.3.4 校验系统的稳态误差 …… 352
12.3.5 校验系统的动态品质 …… 353
12.4 液压伺服系统的校正 …… 354
12.4.1 积分校正（滞后环节） …… 355
12.4.2 微分（超前）校正 …… 356
12.4.3 滞后 – 超前校正 …… 357

12.4.4 反馈校正 …… 361
12.5 液压伺服系统设计案例 …… 361
12.5.1 EPC 系统简介 …… 361
12.5.2 液压缸负载环节的传递函数 $G_h(s)$ …… 363
12.5.3 EPC 系统的动特性分析 …… 364
12.5.4 CP 机组改造后 EPC 系统的动特性预测 …… 366
12.5.5 CP 机组改造后卷取精度预测 …… 367
12.5.6 CW 机组 EPC 系统的性能指标分析 …… 369
12.5.7 系统性能分析结论 …… 371
第 13 章 冶金设备液压系统的故障处理 …… 373
13.1 冶炼设备液压系统的故障分析与诊断 …… 373
13.1.1 SGXP－240 泥炮液压控制系统的故障分析 …… 373
13.1.2 炼钢连铸液压传动系统故障分析 …… 375
13.1.3 钢包提升装置液压系统故障分析及改进措施 …… 376
13.1.4 薄板坯连铸机液压振动台故障的诊断 …… 378
13.2 板带热轧机液压系统故障的诊断与排除 …… 380
13.2.1 轧机 AGC 系统故障诊断 …… 380
13.2.2 轧机 CVC（变凸度控制）系统故障分析 …… 383
13.3 卷取机液压系统故障诊断与排除 …… 385
13.3.1 卷取机侧导板液压系统故障分析及排除 …… 385
13.3.2 卸卷小车失压事故分析及处理 …… 389
13.4 钢卷运输设备液压故障诊断与排除 …… 389
13.4.1 钢卷升降运输小车液压系统故障分析 …… 389
13.4.2 热轧厂运输线液压升降台故障分析与排除 …… 392
13.5 现代测试仪器在液压系统故障诊断中的应用 …… 395
13.5.1 设备运行记录仪信号用于连轧线活套液压系统故障诊断 …… 395
13.5.2 FFT 分析仪在轧机液压压下伺服控制系统故障诊断中的应用 …… 396
13.5.3 HMG2020 型测试仪测试系统动态压力用于故障诊断 …… 398
13.6 液压系统泄漏故障及处理 …… 400
13.6.1 液压系统泄漏故障概述 …… 400
13.6.2 密封失效分析 …… 401
13.6.3 连铸机大包回转台托臂液压缸密封改进实例 …… 403
第 14 章 液压传动知识导读 …… 405
14.1 液压传动知识各章要点 …… 405

14.1.1　第1章液压传动基本知识要点 …… 405
14.1.2　第2章、第3章液压泵、液压马达和液压缸内容要点 …… 405
14.1.3　第4章液压阀内容要点 …… 406
14.1.4　第5章液压辅件内容要点 …… 406
14.1.5　第6章液压基本回路内容要点 …… 406
14.2　液压传动例题解答 …… 406
14.3　液压传动思考题与习题 …… 412
14.3.1　第1章液压传动基本知识思考题与习题 …… 412
14.3.2　第2章、第3章液压泵、液压马达和液压缸思考题与习题 …… 414
14.3.3　第4章液压阀思考题与习题 …… 417
14.3.4　第5章液压辅助装置思考题与习题 …… 417
14.3.5　第6章液压基本回路思考题与习题 …… 418
参考文献 …… 421
后记 …… 422

第 1 章

液压传动基本知识

1.1 液压传动概述

传动的含义是能量（动力）形式受控的转换和传递。根据能量转换和传递的介质不同，传动可分为机械传动、电力传动和流体传动三种形式。液压传动是流体传动的主要形式，是以压力液体（油、液或水）为工作介质进行有控能量传递的一种传动形式。

1.1.1 液压传动的工作原理

液压传动的工作原理可以用一个液压千斤顶的动作来说明。

图 1-1 所示为液压千斤顶的工作原理图。大液压缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小液压缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。提起杠杆手柄 1 使小活塞 3 向上移动，小活塞下端油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 4 打开，通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油；用力压下杠杆手柄 1，小活塞 3 下移，小活塞下腔压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，下腔的油液经管道 6 输入大液压缸 9 的下腔，迫使大活塞 8 向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，单向阀 7 自动关闭，使油不能倒流，从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄，就能不断地把油液压入大液压缸 9 的下腔，使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11，大液压缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱，重物就向下移动。

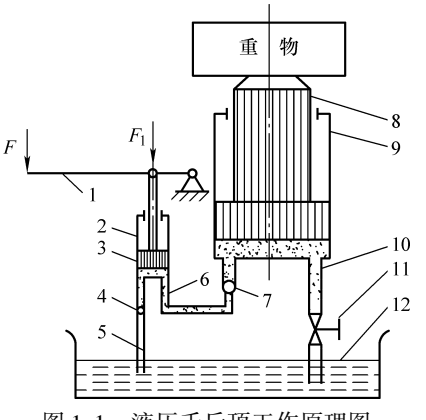


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—杠杆手柄 2—小液压缸 3—小活塞
4、7—单向阀 5—吸油管 6、10—管道
8—大活塞 9—大液压缸 11—截止阀 12—油箱

通过对上面液压千斤顶工作过程的分析，可以了解液压传动的基本工作原理。液压传动是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。压下杠杆时，小液压缸 2 输出液压油，将机械能转换成油液的压力能，液压油经过管道 6 及单向阀 7，推动大活塞 8 举起重物，将油液的压力能又转换成机械能。大活塞 8 举升的速度取决于单位时间内流入大液压缸 9 中油容积的多少。由此可见，液压传动传递动力的过程也是一个不同能量的转换过程。

1.1.2 液压传动系统的组成

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置，也是最简单的液压传动系统。从液压千斤顶的组成可以看出，一个完整的、能够正常工作的液压系统应该由以下五个主要部分来组成：

（1）能源装置　它是供给液压系统液压油，把机械能转换成液压能的装置。最常见的形式是液压泵。液压千斤顶采用的是手动液压泵。

（2）执行装置　它是把液压能转换成机械能的装置。其形式有做直线运动的液压缸，有做回转运动的液压马达，它们又称为液压系统的执行元件，如液压千斤顶的举升液压缸。

（3）控制调节装置　它是对系统中的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置，包括溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等，如液压千斤顶中的单向阀。

（4）辅助装置　上述三部分之外的其他装置，如油箱、过滤器和油管等。它们对保证系统正常工作也是必不可少的。

（5）工作介质　传递能量的流体，如液压油。

1.1.3 液压原理图的图形符号

机床驱动工作台的液压传动系统如图 1-2 所示。它由油箱、过滤器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头组成。其工作原理如下：液压泵 8 由电动机驱动后，从油箱 10 中吸油；油液经过滤器 9 进入液压泵，油液在泵腔中从入口低压变换到泵出口高压；在图 1-2a 所示状态下，高压油液通过换向阀 6、调速阀 5、换向阀 4 进入液压缸左腔，推动活塞使工作台向右移动。同时，液压缸右腔的油经换向阀和回油管排回油箱。

图 1-2a 所示的是一种半结构式液压系统的工作原理图，它直观性强，容易理解，但图形复杂，绘制麻烦。我国已经制定了一种用规定的职能化图形符号来表示液压系统各元件和连接管路的国家标准，即 GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图　第 1 部分：用于常规用途和数据处理的图形符号》。图 1-2b 所示即为采用职能化图形符号（简称图形符号）绘制的驱动工作