

液压系统设计丛书

# 液压传动系统及设计

张利平摇编著



化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·



## 前摇摇摇言

随着国民经济和现代工程技术的发展，液压技术的应用日益广泛，希望掌握液压技术的工程技术人员越来越多。正确合理地设计与使用液压系统，对于提高各类液压机械及装置的工作品质和技术经济性能具有重要意义。

为了推动我国液压技术的发展，提升液压系统设计人员的整体水平，化学工业出版社邀请国内部分专家组织编写了《液压系统设计丛书》，包括《液压传动系统及设计》、《液压控制系统及设计》、《液压元件及选用》、《液压系统使用与维修》四个分册。丛书从设计人员的实际需要出发，系统介绍了液压系统的组成、性能分析、设计计算方法及设计实例、常用元件产品及选用、安装调试、使用维修等；突出实用性，对成熟的基本理论只做简要介绍，注重工程应用实际，围绕液压系统设计的全过程来组织材料，提供了丰富的设计资料、数据、方法以及应用实例。

本书是《液压传动系统及设计》，主要论述和介绍液压传动系统的组成、动力传递原理、系统性能分析和设计计算方法等，旨在以有限的篇幅，为读者介绍液压传动系统及设计的最新、最实用的资料、数据、方法与经验以及较多的液压回路和系统应用设计实例，以满足各类行业液压技术工作者的需要，提高液压传动系统的设计使用水平。

本书立足于工程设计及应用实际，作者从国内外相关专著、手册、教材、专业期刊、产品型录或样本、技术标准及**网络资源**（互联网）等媒体搜集了大量实用素材，从而形成了本书取材广泛、新颖翔实、丰富实用、图文并茂的特色。本书按照“基础知识及理论**基本功能回路系统实例分析系统功能原理设计系统结构设计专题**”的体系结构进行叙述，在突出基本内容基础上，特别注意反映液压传动系统应用、分析及设计方法上的新发展和新成就。本书可读性与可查性并重，书中所介绍的液压技术进展、液压**变频**变频调速、节能技术、污染与泄漏控制、冲击振动与噪声控制、安全保护、纯水液压技术等内容，有助于引导读者了解、掌握、利用液压技术的新动向、新成果，提高液压系统的设计使用水平与分析解决问题的能力；书中以有限的篇幅，介绍了较多的液压回路和系统实例，以展现不同行业液压系统的设计及应用特点，有助于各行业读者群从中汲取经验与方法，解决液压传动系统设计、使用工作中的各类问题。书中的公式、数据及标准资料（含国家标准及行业标准）可供读者在设计中直接参考引用。

本书可供各行业液压技术的设计、制造和维护工程技术人员、现场工作人员参阅使用，并可作为高等院校的教学参考书和有关部门的培训教材。

本书的内容是基于读者对液压泵、液压执行器、液压控制阀及液压辅助装置等各种液压元件的结构原理有所了解或较为熟悉的基础上进行阐述的，读者使用本书时请注意以下事项：①电磁换向阀的电磁铁均用  $\square$ 、 $\square$  表示，例如某图中的  $\square$ 、 $\square$  依次表示该图中的第一块电磁铁、第二块电磁铁等；②电磁铁动作顺序表中的电磁铁通、断电状态，则统一使用“ $\square$ ”表示通电，用空白表示断电；③液压元件及系统与电气控制元件的图形符号可参阅第 1 章的内容进行对照。

本书由张利平编著。张津、张秀敏、吴宗哲、黄涛、刘文学、刘青社、赵伟等参与了本书文献资料搜集、文稿录入整理和部分插图的绘制等工作。

感谢本书编写过程中曾给予大力支持的单位、个人及参考文献的各位作者。限于水平和调查研究工作不够全面，书中难免存在错漏之处，恳请同行专家及广大读者给予指正。

编著者

2012年 月

# 目 录

第 1 章 液压传动系统概论 .....	1	第 10 章 管道系统压力损失计算 .....	100
1.1 液压传动的工作原理 .....	1	10.1 压力损失的种类 .....	100
1.2 传动类型及液压传动的定义 .....	1	10.2 液体的两种流态及雷诺判据 .....	100
1.3 液压传动的工作原理与特征 .....	1	10.3 沿程压力损失的计算 .....	100
1.4 液压系统的组成部分与图形符号 .....	1	10.4 局部压力损失计算 .....	100
1.5 液压系统的组成部分及其功用 .....	1	10.5 管路系统压力损失的叠加 .....	100
1.6 液压系统的图形符号 .....	1	10.6 孔口及缝隙液流特性计算 .....	100
1.7 液压系统的类型与特点 .....	1	10.7 常见孔口流量计算公式 .....	100
1.8 分类方式 .....	1	10.8 缝隙液流特性计算公式 .....	100
1.9 各类液压系统的特点及应用 .....	1	10.9 液压元件计算 .....	100
1.10 液压技术的特点及应用 .....	1	10.10 液压泵和液压马达主要参数及 计算 .....	100
1.11 液压技术的特点 .....	1	10.11 液压缸的主要性能参数计算 .....	100
1.12 液压传动与其他传动方式的综合 比较 .....	1	10.12 液压辅件计算 .....	100
1.13 液压技术的应用 .....	1	10.13 液压系统效率 $\eta$ 及发热计算 .....	100
1.14 液压传动技术的发展概况 .....	1	10.14 液压系统效率 $\eta$ 计算 .....	100
1.15 液压传动技术的历史进展与趋势 .....	1	10.15 液压系统发热与散热计算 .....	100
1.16 我国液压传动技术的发展及现状 .....	1	10.16 液压冲击计算 .....	100
第 2 章 液压传动系统的基本计算 .....	2	2.1 液流通道迅速启闭引起的液压 冲击 .....	2
2.1 液压工作介质的主要物理性能 .....	2	2.2 急剧改变液压缸运动速度引起 的液压冲击 .....	2
2.2 液压工作介质的作用及连续性 假设 .....	2	2.3 液压传动系统设计常用物理量及其 换算 .....	2
2.3 液体的密度与重度 .....	2	第 3 章 液压传动系统的基本功能回路 .....	3
2.4 液体的压缩性 .....	2	3.1 压力控制回路 .....	3
2.5 液体的黏性 .....	2	3.2 调压回路 .....	3
2.6 液压工作介质的性能及其对系统 的影响 .....	2	3.3 减压回路 .....	3
2.7 液体静力学计算 .....	2	3.4 增压回路 .....	3
2.8 液体静压力及其计算 .....	2	3.5 卸荷回路 .....	3
2.9 静压力对固体壁面的作用力的 计算 .....	2	3.6 平衡回路 .....	3
2.10 液体动力学计算 .....	2	3.7 保压和泄压回路 .....	3
2.11 理想液体和实际液体、定常流动和 非定常流动 .....	2	3.8 缓冲回路 .....	3
2.12 流量及平均流速 .....	2	3.9 制动回路 .....	3
2.13 连续性方程 .....	2	3.10 速度控制回路 .....	3
2.14 伯努利方程 .....	2	3.11 调速回路 .....	3
2.15 动量方程 .....	2	3.12 快速运动回路 .....	3
		3.13 速度换接回路 .....	3

摇摇摇方向控制回路 .....	愿	摇摇摇叉车液压系统 .....	员
摇摇摇换向回路 .....	愿	摇摇摇履带式单斗挖掘机液压系统 .....	员
摇摇摇锁紧回路 .....	愿	摇摇摇轻纺化工机械中的液压系统 .....	员
摇摇摇多执行器动作回路 .....	愿	摇摇摇概述 .....	员
摇摇摇顺序动作回路 .....	愿	摇摇摇蔗糖生产用自动板框式压滤机	
摇摇摇同步动作回路 .....	愿	摇摇摇液压系统 .....	员
摇摇摇防干扰回路 .....	愿	摇摇摇植物纤维餐具成形机的液压	
摇摇摇多执行器卸荷回路 .....	愿	摇摇摇系统 .....	员
摇摇摇插装阀控制回路 .....	愿	摇摇摇毛呢罐蒸机用整体式液压无级	
摇摇摇方向控制回路 .....	愿	摇摇摇变速器 .....	员
摇摇摇压力控制回路 .....	愿	摇摇摇弯头注塑机液压系统 .....	员
摇摇摇速度控制回路 .....	员	摇摇摇乳化炸药装药机的液压系统 .....	员
摇摇摇复合控制回路 .....	员	摇摇摇交通、航空及河海工程中的液压	
摇摇摇液压油源回路 .....	员	摇摇摇系统 .....	员
摇摇摇开式液压系统油源回路 .....	员	摇摇摇概述 .....	员
摇摇摇封闭式液压系统油源回路及补油泵		摇摇摇铁路铺轨机液压系统 .....	员
摇摇摇回路 .....	员	摇摇摇公路架桥机液压系统 .....	员
摇摇摇压力油箱油源回路 .....	员	摇摇摇波音 苑喷气客机液压系统 .....	员
第 源章摇摇摇传动系统应用实例分析 .....	员	摇摇摇水下钻孔机液压系统 .....	员
摇摇摇传动系统实例分析的意义与		摇摇摇特种装备与公共设施中的液压系统 .....	员
要点 .....	员	摇摇摇概述 .....	员
摇摇摇机械制造工业中的液压传动系统 .....	员	摇摇摇客货两用液压电梯系统 .....	员
摇摇摇概述 .....	员	摇摇摇循环式客运索道液压张紧系统 .....	员
摇摇摇双轴自动成形车床液压系统 .....	员	摇摇摇载光机隔室透视站位液压系统 .....	员
摇摇摇单臂仿形刨床液压系统 .....	员	摇摇摇固定式大负载垃圾压榨机液压	
摇摇摇液态模锻压机液压系统 .....	员	摇摇摇系统 .....	员
摇摇摇全液压齿轮淬火机液压系统 .....	员	第 缘章摇摇摇传动系统的设计计算流程 .....	员
摇摇摇能源及冶金工业中的液压系统 .....	员	摇摇摇设计计算内容与步骤 .....	员
摇摇摇概述 .....	员	摇摇摇明确液压系统的技术要求 .....	员
摇摇摇火力发电厂 圆电 钢内筒烟囱顶		摇摇摇液压系统的功能设计 .....	员
摇摇摇升设备液压系统 .....	员	摇摇摇执行器的配置及动作顺序的	
摇摇摇卸煤生产线定位机车的液压		摇摇摇确定 .....	员
摇摇摇系统 .....	员	摇摇摇动力分析和运动分析 .....	员
摇摇摇自升式海洋石油钻井平台液压		摇摇摇确定主要参数，绘制液压执行器	
摇摇摇系统 .....	员	摇摇摇工况图 .....	员
摇摇摇捞油车液压驱动系统 .....	员	摇摇摇液压系统图的拟定 .....	员
摇摇摇中频无心感应熔炼炉液压系统 .....	员	摇摇摇组成元件设计 .....	员
摇摇摇轧机升降台液压系统 .....	员	摇摇摇液压泵的确定 .....	员
摇摇摇铝型材自装挤压机液压系统 .....	员	摇摇摇执行器的确定 .....	员
摇摇摇建筑与工程机械中的液压系统 .....	员	摇摇摇液压控制阀的确定 .....	员
摇摇摇概述 .....	员	摇摇摇液压辅助元件的确定 .....	员
摇摇摇低空间落锤式打桩机液压系统 .....	员	摇摇摇液压系统计算 .....	员
摇摇摇金刚石工具热压烧结机的液压加		摇摇摇压力损失验算 .....	员
摇摇摇载系统 .....	员	摇摇摇系统效率 $\eta$ 的估算 .....	员

摇摇摇发热温升估算及热交换器的选择 .....	摇摇摇集中配置型液压装置 .....	摇摇摇液压站设计的内容、步骤及注意事项 .....
摇摇摇液冲击估算 .....	摇摇摇设计的内容步骤 .....	摇摇摇液压站设计中的注意事项 .....
摇摇摇液系统的结构设计 .....	摇摇摇液控制装置的集成 .....	摇摇摇液控制装置的集成方式 .....
第 远章摇摇液传动系统设计计算示例 .....	摇摇摇液无管集成液压控制装置的设计流程及设计要求 .....	摇摇摇液控制装置的板式集成 .....
摇摇摇组合钻床动力滑台液压传动系统的设计计算 .....	摇摇摇液控制装置的块式集成 .....	摇摇摇液控制装置的叠加阀式集成 .....
摇摇摇技术要求 .....	摇摇摇液控制装置的插入式集成 .....	摇摇摇液控制装置的复合式集成 .....
摇摇摇动力和运动分析 .....	摇摇摇液压力源装置的设计 .....	摇摇摇液压力源装置的组成及分类 .....
摇摇摇确定液压缸参数, 编制工况图 .....	摇摇摇液油箱及其设计 .....	摇摇摇液泵组的结构设计 .....
摇摇摇拟定制液系统原理图 .....	摇摇摇液蓄能器装置的设计 .....	摇摇摇液站的结构总成 .....
摇摇摇选择液压元、辅件 .....	第 愿章摇摇液传动系统中应重视的若干问题 .....	摇摇摇计算机辅助设计 .....
摇摇摇计算液压系统技术性能 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇铸型辅送机液压传动系统设计 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇主机结构功能及技术要求 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇动力和运动分析 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇确定液压缸几何参数, 编制工况图 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇拟定制液系统图 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇选择液压元件 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇绞车液传动系统设计 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇已知条件及技术要求 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇负载转矩和转速计算 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇系统参数计算 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇拟定制液系统图 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇液元件设计选择 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇板料折弯压机传动系统设计计算 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇技术要求 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇负载分析和运动分析 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇确定液压缸参数, 编制工况图 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇拟定制液系统图 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇液元件选择 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇塑料注射成形机液压系统设计计算 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇技术要求与已知参数 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇液执行器配置及负载分析计算 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇液系统主要参数 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇拟定制液系统图 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇液元件选择与设计 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
第 苑章摇摇液传动系统的结构设计 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇液传动系统结构设计的目的与内容 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇液装置的结构类型及其适用场合 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....
摇摇摇分散配置型液压装置 .....	摇摇摇液系统 .....	摇摇摇液系统 .....



# 第 1 章 液压传动系统概论

本章将给出液压传动的定义、工作原理与特征、液压系统的组成部分及图形符号；叙述液压系统的类型与特点。在展现液压技术的独特优势及其广阔的应用领域基础上，概要回顾液压传动技术的历史进展，简要介绍当代液压技术的发展趋势和我国液压传动技术的发展及现状。

## 1.1 液压传动的工作原理

### 1.1.1 传动类型及液压传动的定义

一部完备的机器都是由原动机、传动装置和工作机三部分组成。原动机（电动机或内燃机）是机器的动力源；工作机是机器直接对外做功的部分；而传动装置则是设置在原动机和工作机之间的部分，用于实现动力（或能量）的传递、转换与控制，以满足工作机对力（或转矩）、工作速度（或转速）及位置的要求。

按照传动件（或工作介质）的不同，有机械传动、电气传动、流体传动（液体传动和气压传动）及复合传动等类型。

液体传动又包括液力传动和液压传动。液力传动是以动能进行工作的液体传动。液压传动则是以受压液体作为工作介质进行动力（或能量）的转换、传递、控制与分配的液体传动。由于其独特的技术优势，已成为现代机械设备与装置实现传动及控制的重要手段之一。它是本书主要介绍的内容。

### 1.1.2 液压传动的工作原理与特征

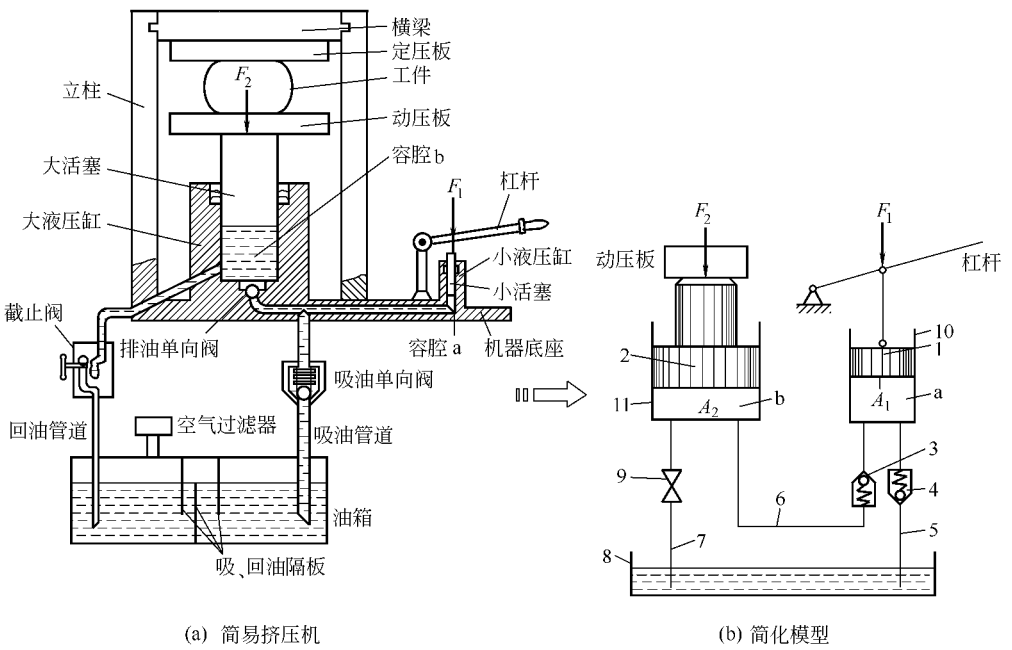
#### （1）工作原理

图 1-1 所示为液压传动的简易挤压机及其等效简化模型。如图所示，小液压缸 1 与排油单向阀 2、吸油单向阀 3 一起构成手动液压泵，完成吸油与排油。当向上抬起杠杆时，手动液压泵的小活塞 4 向上运动，小活塞的下部容腔 5 的容积增大形成局部真空，致使排油单向阀 2 关闭，油箱 6 中的油液在大气压作用下经吸油管道 7 顶开吸油单向阀 3 进入 5 腔。当大活塞 8 在力  $F_1$  作用下向下运动时，5 腔的容积减小，油液因受挤压，故压力升高，于是，被挤出的液体将吸油单向阀 3 关闭，而将排油单向阀 2 顶开，经排油管道 9 进入大液压缸 10 的容腔 11，推动大活塞 8 上移挤压工件（负载  $F_2$ ）。手摇泵的小活塞 4 不断上下往复运动，工件逐渐被挤扁。当工件挤压到所需形状后，停止小活塞 4 的运动，则大液压缸 10 的 11 腔内油液压力将使排油单向阀 2 关闭，11 腔内的液体被封死，大活塞 8 连同工件一起被闭锁不动。此时，截止阀 12 关闭。

如打开截止阀 12，则大液压缸 10 的 11 腔内液体便经回油管道 13 排回油箱 6，于是大活塞 8 将在自重作用下下移回到原始位置。

#### （2）工作特征

归纳上述液压模型的工作原理可知，由小液压缸 1 与排油单向阀 2、吸油单向阀 3 一起组成的手动液压泵，将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出，完成吸油与排油；大液压缸 10 将油液的压力能转换为机械能输出，举起重物，手动液压泵和挤压工件的液压缸（简



(a) 简易挤压机

(b) 简化模型

图 员 摇液压传动工作原理

员—小活塞；圆—大活塞；猿—排油单向阀；源—吸油单向阀；缘—吸油管道；远—排油管道；苑—回油管道；愿—油箱；怨—截止阀；员—小液压缸；员—大液压缸

称挤压液压缸) 组成了最简单的液压传动系统, 实现了动力 (力和运动) 的传递与转换。其工作特征如下。

① 力的传递靠液体压力实现, 系统工作压力取决于负载。

模型中大活塞 圆与小活塞 员的静力平衡方程分别为

$$\left. \begin{aligned} \text{云}_{\text{圆}} &= \text{云}_{\text{圆}} \text{粤}_{\text{圆}} \\ \text{云}_{\text{员}} &= \text{云}_{\text{员}} \text{粤}_{\text{员}} \end{aligned} \right\} \quad (\text{员圆})$$

式中 云<sub>圆</sub>、粤<sub>圆</sub>、云<sub>圆</sub>——作用在大活塞 圆上的负载力 (其大小与输出力相等)、大活塞 圆的面积、力 云<sub>圆</sub> 在 遭腔中产生的液体压力;

云<sub>员</sub>、粤<sub>员</sub>、云<sub>员</sub>——作用在小活塞 员上的输入力、小活塞 员的面积、云<sub>员</sub> 在 葬腔中产生的液体压力 (液压泵的排油压力)。

不计管路 的压力损失, 则有

$$\text{云}_{\text{圆}} \text{粤}_{\text{圆}} = \text{云}_{\text{员}} \text{粤}_{\text{员}} \quad (\text{员圆})$$

于是, 系统的输出力 (即所能克服的负载) 为

$$\text{云}_{\text{圆}} = \text{云}_{\text{员}} \frac{\text{粤}_{\text{圆}}}{\text{粤}_{\text{员}}} \quad (\text{员圆})$$

此即为液压传动中力传递的基本公式。

葬因 粤<sub>圆</sub> > 粤<sub>员</sub>, 所以用一个很小的输入力 云<sub>员</sub>, 就可以推动一个比较大的负载 云<sub>圆</sub>, 因此液压系统可视为一个力的放大机构。利用这个放大的力 云<sub>圆</sub> 举升重物, 就做成了液压千斤

顶；用来进行压力加工，就做成了液压机；用于车辆刹车，就做成了液压制动闸等。

在系统结构参数（此处为活塞面积  $A_1$  和  $A_2$ ）一定情况下，液压泵的排油压力，即系统工作压力  $p$  决定于举升液压缸的压力  $p_1$ ，从而决定于负载  $F_L$ 。负载越大，压力越大。此即为液压传动的第一个工作特征。

② 运动速度的传递靠容积变化相等原则实现，运动速度取决于流量。

忽略液体的压缩性、泄漏损失及液压缸和管路的弹性变形等因素，则液压泵排出的液体体积必然等于进入举升液压缸的液体体积，即容积变化相等。

$$V_{p1} = V_{c2} \quad (1.10)$$

式中  $V_{p1}$ ——液压泵小活塞位移；

$V_{c2}$ ——挤压液压缸大活塞位移。

式 (1.10) 两边同除以运动时间  $t$  得

$$v_{p1} = v_{c2} \quad (1.11)$$

式中  $v_{p1}$ 、 $v_{c2}$ ——液压泵小活塞  $A_1$  和挤压液压缸大活塞  $A_2$  的平均运动速度；

$Q_p$ 、 $Q_c$ ——液压泵输出的平均流量和液压缸输入的平均流量。

显而易见，在系统结构参数一定的情况下，运动速度的传递是靠密闭工作容积变化相等的原则实现的。活塞的运动速度取决于输入流量的大小，而与外负载无关。如果设法调节进入液压缸的流量  $Q_c$ ，即可调节活塞的运动速度  $v_{c2}$ 。此即为液压传动中能够实现无级调速的基本原理。

③ 系统的动力传递符合能量守恒定律，压力与流量的乘积等于功率。

如果不计任何损失，则系统的输入、输出功率相等，即

$$p_1 Q_p = p_2 Q_c \quad (1.12)$$

它表示在液压传动中是以液体的压力能来传递动力的，并且符合能量守恒定律。压力与流量的乘积等于功率。

综上所述归纳出三点。

与外负载力相对应的液体参数是液体压力，与运动速度相对应的液体参数是液体流量。因此，压力和流量是液压传动中两个最基本的参数。

如果不计各种损失，液压传动传递的力与速度彼此无关，所以液压传动既可实现与负载无关的任何运动规律，也可借助各种控制机构实现与负载有关的各种运动规律。

液压功率等于压力与流量的乘积，这一点和电气系统中电功率等于电压与电流的乘积相对应。在液压系统的分析、设计及系统性能的计算机仿真中经常会利用液能这种对应关系，以简化问题难度、缩短设计开发周期并降低制造成本。

## 液压系统的组成部分与图形符号

### 液压系统的组成部分及其功用

液压传动与控制的机械设备或装置中，其液压系统大部分使用具有连续流动性的液压油等工作介质，通过液压泵将驱动泵的原动机的机械能转换成液体的压力能，经过压力、流量、方向等各种控制阀，送至执行器（液压缸、液压马达或摆动液压马达）中，转换为机械能去驱动负载。这样的液压系统一般都是由动力源、执行器、控制阀、液压辅件及液压工

作介质等几部分所组成，各部分的功能作用见表 员圆

表 员圆 摇液系统的组成部分及功用

组成		功用
动力源	摇原动机(电动机或内燃机)和液压泵	摇将原动机产生的机械能转变为液体的压力能,输出具有一定压力的油液
执行器	摇液压缸、液压马达和摆动液压马达	摇将液体的压力能转变为机械能,用以驱动工作机构的负载做功,实现往复直线运动、连续回转运动或摆动
控制阀	摇压力、流量、方向控制阀及其他控制元件	摇控制调节液压系统中从泵到执行器的油液压力、流量和方向,从而控制执行器输出的力(转矩)、速度(转速)和方向,以保证执行器驱动的主机工作机构完成预定的运动规律
液压辅件	摇油箱、管件、过滤器、热交换器、蓄能器及指示仪表等	摇用来存放、提供和回收液压介质,实现液压元件之间的连接及传输载能液压介质,滤除液压介质中的杂质,保持系统正常工作所需的介质清洁度,系统加热或散热,储存、释放液能或吸收液能脉动和冲击,显示系统压力、油温等
液压工作介质	摇各类液压油(液)	摇作为系统的载能介质,在传递能量的同时并起润滑冷却作用

一般而言,能够实现某种特定功能的液压元件的组合,称为液压回路。为了实现对某一机器或装置的工作要求,将若干特定的基本功能回路连接或复合而成的总体称为液压系统。

各种液压元件的结构原理及工作介质的种类、特性详见本套丛书之一《液压元件及选用》,液压基本功能回路将在本书第 猿章介绍。

### 员圆 摇液系统的图形符号

对于液压系统中的各种元件,我国国家标准 员圆 对其图形符号做出了规定(请见本书第 猿节)。采用图形符号,既可简化液压元件及液压系统原理图的绘制,又可简单明了地反映和分析液压系统的组成、油路联系和工作原理。在液压系统设计中,应当执行这一标准。

图 员圆 所示为采用图形符号绘制的液压系统原理。

必须指出,用图形符号绘制的液压系统图并不表示各元件的具体结构及其实际安装位置和管道布置。

## 员圆 摇液系统的类型与特点

### 员圆 摇液分类方式

液压系统可以按多种方式进行分类,见表 员圆 各种类型液压系统的特点、实例及应用场合见 员圆 节所述。

### 员圆 摇液各类液压系统的特点及应用

#### 员圆 摇液开式系统与闭式系统

① 开式系统。这种系统液压泵从油箱吸油,执行器回油返回油箱。系统需要较大容积的油箱。这种系统应用最为普遍。

开式系统示例如图 员圆 (葬) 所示,液压泵 猿 从油箱吸油,经节流阀 苑 换向阀 愿 进入液压缸 怨 (也可以是液压马达或摆动液压马达),液压缸或液压马达的回油经阀 愿 排回油箱,工作液在油箱中冷却及沉淀后再进行工作循环。

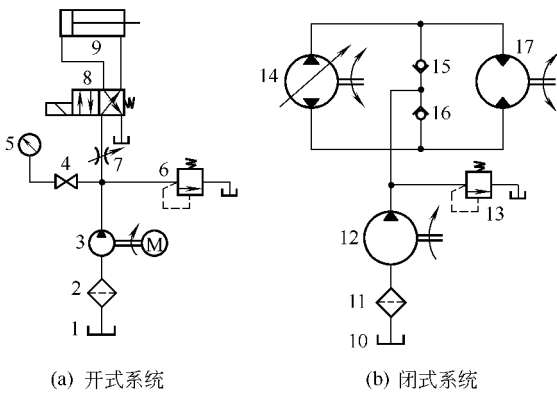


表 1-10 液压系统的分类

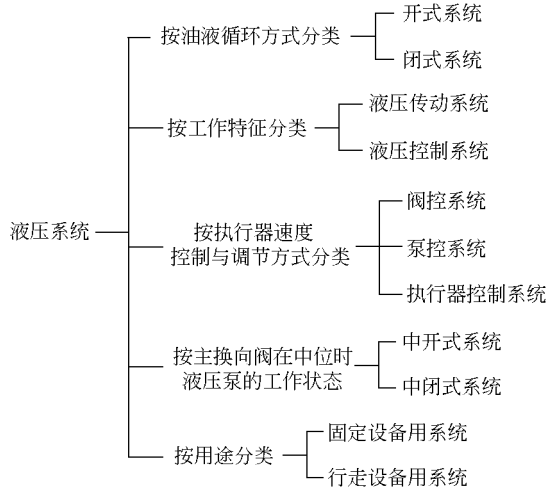


图 1-10 采用图形符号绘制的液压系统原理

员, 员—油箱; 圆, 员—过滤器; 猿, 员—单向定量液压泵; 源—压力表开关; 缘—压力表; 远, 员—溢流阀; 苑—节流阀; 愿—二位四通电磁换向阀; 怨—活塞式单杆液压缸; 员—双向变量液压泵; 员, 员—单向阀; 员—双向定量液压马达

② 闭式系统。闭式系统中，执行器排出的油液返回到泵的进口。系统效率较高，需用补油泵补油，并用冲洗阀换油，进行热交换。这种系统多用于车辆、起重运输机械、船舶绞车、造纸和纺织等机械设备中。

闭式系统示例如图 1-10(b) 所示，双向变量液压泵 12 的吸油管路直接与液压马达 14 的回油管路相连通，形成一个闭合回路，单向定量液压泵 11 经单向阀 13 或单向阀 15 补偿系统中各液压元件的泄漏损失。

### 1.2 液压传动系统与液压控制系统

① 液压传动系统。液压传动系统一般为不带反馈的开环系统（图 1-11 为其原理方块图），以传递动力为主，以信息传递为次，追求传动特性的完善。系统的工作特性由各组成液压元件的特性和它们的相互作用来确定，其工作质量受工作条件变化的影响较大。液压传动系统应用较为普遍。大多数工业设备液压系统属于此类。图 1-12 为液压传动系统的实例。

② 液压控制系统。液压控制系统多为采用伺服阀等电液控制阀组成的带反馈的闭环系统（图 1-13 为原理方块图），以传递信息为主，以传递动力为次，追求控制特性的完善。由于加入了检测反馈，故系统可用一般元件组成精确的控制系统，其控制质量受工作条件变化的影响较小。液压控制系统在高精数控机床、冶金、航空、航天等领域应用广泛。

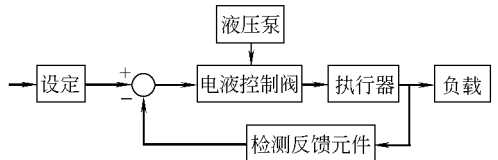
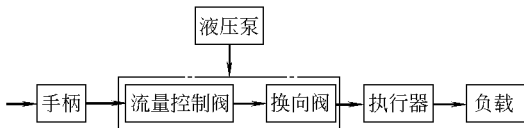
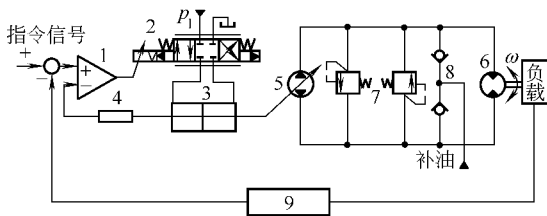


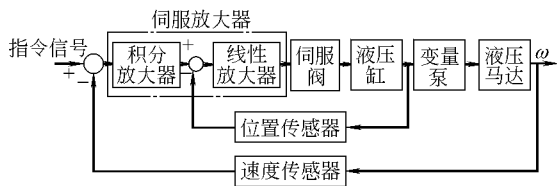
图 1-11 开环控制的液压系统原理方块图

图 1-13 闭环控制的液压系统原理方块图

液压控制系统示例如图 1-13 所示，这是一个泵控式电液速度控制系统，通过改变双向变量液压泵 12 的排量对双向定量液压马达 14 调速。而变量泵的排量调节通过电液伺服阀 11 和双杆液压缸 13 组成的阀控式电液伺服机构（经常附设在变量泵的內部）的位移调节来实现。负载与指令机构间设有测速电动机（速度传感器）15，从而构成一个闭环速度控制系统。当



(a) 原理图



(b) 方块图

图 1 阀控泵控式电液伺服速度控制系统

1—伺服放大器；2—电液伺服阀；3—双杆液压缸；4—位置传感器；5—双向变量液压泵；6—双向定量液压马达；7—安全溢流阀组；8—补油单向阀；9—测速电动机

系统输入指令信号后，控制液压源的压力油经电液伺服阀向双杆液压缸供油，使液压缸驱动变量泵的变量机构在一定位置下工作；液压马达的输出速度  $\omega$  由测速电机检测，转换为反馈信号，与输入指令信号相比较，得出偏差信号控制电液伺服阀的阀口开度，从而使变量泵的变量机构，即变量泵的排量保持在设定值附近，最终保证双向定量液压马达在希望的转速值附近工作。位置传感器构成内部反馈环节，用以提高系统的控制精度。

[注：随着科学技术的飞速发展和现代机械设备技术性能要求的不断提高，这种分类方法并非是绝对的。因为现代机械设备（如数控机床、武器装备和航空航天设备等）的动力传递和控制指标都很重要，所以其液压传动系统和液压控制系统在具体结构上往往融为一体，这时就很难断定这样的系统是传动系统或控制系统。如第 4 章介绍的单臂仿形刨床液压系统就是一个兼备传动与控制功能的液压系统，其工作台往复运动采用液压传动，仿形刀架则采用液压伺服控制。]

本书将主要论述和介绍液压传动系统的组成、动力传递原理、系统性能分析和设计计算方法。

### 1.2 阀控系统、泵控系统、执行器控制系统

① 阀控系统。阀控系统通过改变阀的节流口开度控制流量，从而控制执行器的速度。由于存在节流和溢流损失，故通常效率较低。阀控系统几乎用于各种机械设备。

阀控系统示例如图 1-10(a) 所示，通过改变节流阀的节流口开度控制流量，从而控制液压缸的速度。

② 泵控系统。泵控系统通过改变变量泵的排量进行速度无级控制或通过多定量泵组合供液来控制流量，进行有级速度控制。由于无节流和溢流损失，故效率较高。主要用于压力加工机械、橡胶塑料机械等大功率液压设备。

图 1-10(b) 所示为采用变量泵的泵控系统，通过改变变量泵的排量来控制流量，从而控制液压马达的速度。

图 1-10(c) 所示为两台定量泵组合供液系统，通过两个二位二通电磁换向阀的通断电实现不同的组合，使系统输出不同等级的流量，从而满足系统在不同工况下不同瞬时流量的要求。

③ 执行器控制系统。执行器控制系统通过改变执行器的变量液压马达排量或通过多定量液压马达组合工作或通过改变复合液压缸作用面积来控制流量，从而控制速度。与泵控系统类似，此类系统由于无节流和溢流损失，故效率较高。主要用于行走机械、压力加工机械等液压设备。

变量液压马达控制系统示例如图 1-11 所示。

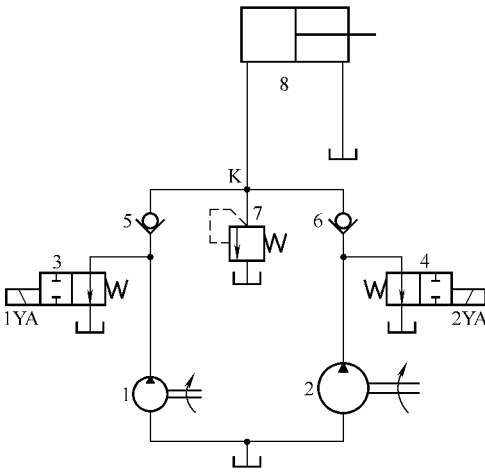


图 1 摇两台定量泵组合供液系统

员, 圆—定量液压泵; 猿, 源—二位二通电磁换向阀;  
缘, 远—单向阀; 苑—溢流阀; 愿—液压缸

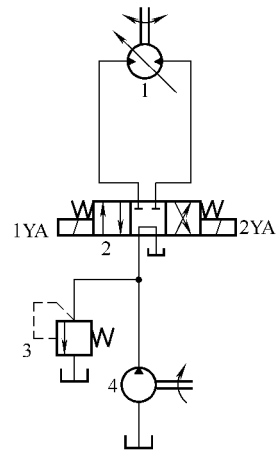


图 2 摇变量液压马达控制系统示例

员—变量液压马达; 圆—三位四通电磁换向阀;  
猿—溢流阀; 源—定量液压泵

摇摇多定量液压马达组合系统示例如图 3 所示, 并联的两个定量液压马达 员和定量液压马达 圆的输出轴刚性地连接在一起, 二位四通手动换向阀 猿左位工作时, 压力油仅驱动马达 员, 而马达 圆空转; 阀 猿切换至右位时, 马达 员与 圆并联。若两马达排量相等, 并联时进入每个马达的流量降低一半, 而转矩增加一倍。

复合液压缸作执行器的液压系统示例如图 4 所示。三个工作腔 (葬 遭 糟控, 作用面积分别为 粤<sub>葬</sub> 粤<sub>遭</sub> 粤<sub>糟</sub>) 的复合液压缸 缘, 通过三位四通电磁换向阀 圆和二位四通电磁换向阀 源改变油液的循环方式及缸在各工况的作用面积, 实现快慢速及运动方向的转换; 单向阀 员作背压阀用, 以防止缸在上下端点及换向时产生冲击。液控单向阀 猿用以防止立置复合缸在系统卸荷及不工作时, 其活塞 (杆) 及工作机构因自重而自行下落。液压泵可以通过三位四通电磁换向阀 圆的 匀型中位机能实现低压卸荷。

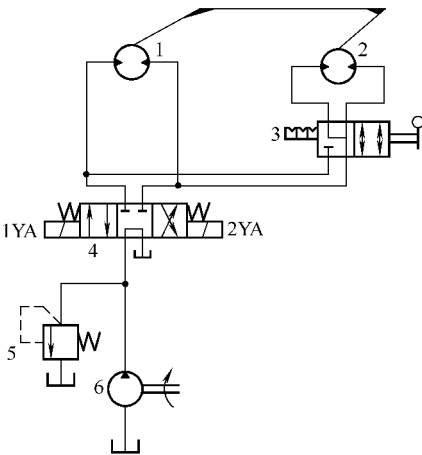


图 3 摇多定量液压马达组合系统示例

员, 圆—定量液压马达; 猿—二位四通手动换向阀;  
源—三位四通电磁换向阀; 缘—溢流阀; 远—定量液压泵

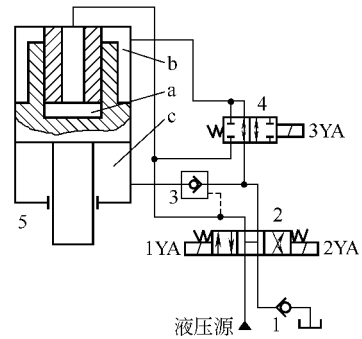


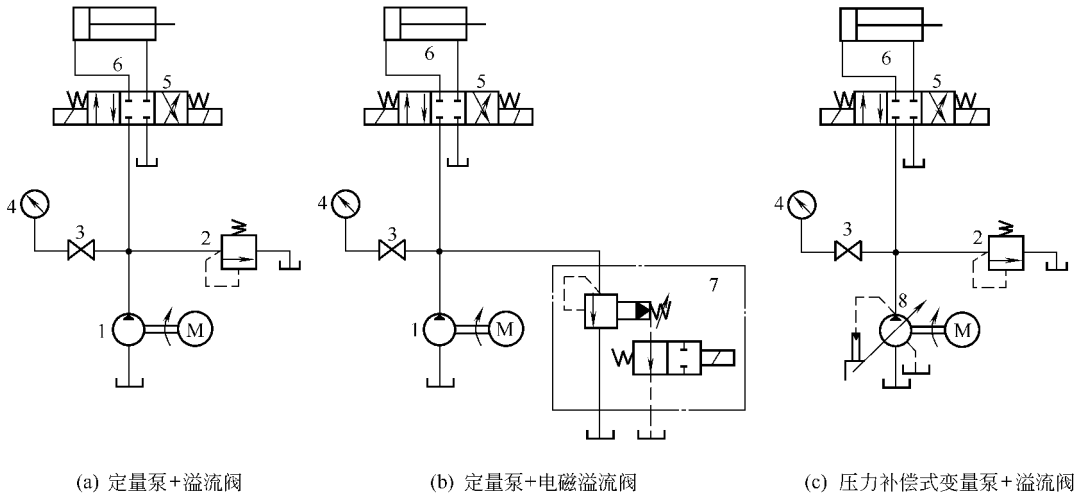
图 4 摇复合液压缸回路

员—单向阀; 圆—三位四通电磁换向阀; 猿—液控单向阀;  
源—二位四通电磁换向阀; 缘—复合液压缸

## 图 员 愿 中开式系统和中闭式系统

① 中开式系统。中开式系统的主换向阀在中位时，换向阀使液压泵卸荷，液体低压返回油箱（所以系统的主换向阀为 酝型、匀型等中位机能）。这种系统一般采用定量泵为油源；换向阀在中位时，能量传递从基本为零的低值开始，换向后能量就上升，使压力液体进入执行器，去克服负载；换向阀在中间位置时，内泄漏极微。通常在能满足同一功能情况下，中开式回路能耗较低。中开式系统多用于需间歇运动或支撑负载而又不希望频繁启停原动机等工况类型。图 员 愿 和图 员 愿 均为中开式系统实例。

② 中闭式系统。中闭式系统的主换向阀在中位时，换向阀所有油口均封闭（韵型中位机能），如果采用定量泵供油，则液压泵的液体经溢流阀高压返回油箱 [ 参见图 员 愿 ( 苑 ) ]。换向阀在中位时，能量传递从高值开始，即从系统的最大调压值开始，只要换向，其能量就可以为执行器所利用；换向阀在中间位置时，有时承受系统的全部压力，因此内泄漏量比中开式系统要大。通常在能满足同一功能情况下，中闭式回路能耗较高，但如果增加中位卸荷措施 [ 例如采用电磁溢流阀，参见图 员 愿 ( 遭 ) ] 或改用压力补偿式变量泵供油 [ 参见图 员 愿 ( 糟 ) ]，则可大大降低中闭式的能耗。中闭式液压系统在多种设备中均有应用。



(a) 定量泵+溢流阀

(b) 定量泵+电磁溢流阀

(c) 压力补偿式变量泵+溢流阀

图 员 愿 中闭式系统

员—定量泵；圆—溢流阀；猿—压力表开关；源—压力表；缘—三位四通电磁换向阀；

远—液压缸；苑—电磁溢流阀；愿—压力补偿式变量泵

## 图 员 愿 固定设备用系统和行走设备用系统

① 固定设备用系统。此类液压系统多为开式循环系统，包括用于各类工业设备，如机床（工件夹紧、工作台进给、换向、主轴驱动）、压力机（压制、压边、换向、工件顶出）、压铸机及注塑机（合模、脱模、预塑、注射机构）甚至公共设施，如医疗器械、垃圾压榨等机械设备和装置中的系统。

② 行走设备用系统。此类液压系统既有开式循环系统也有闭式循环系统，包括用于车辆行驶（行走驱动、转向、制动及其工作装置），物料传送装卸搬运设备（传递机构、转位机构）以及航空、航天、航海工程中的各种系统。

# 液压技术的特点及应用

## 液压技术的特点

与其他传动控制方式相比较，液压传动与控制技术的特点如下。

### (一) 优点

① 单位功率的重量轻。统计资料表明，液压泵和液压马达单位功率的重量只有发电机和电动机的  $\frac{1}{5}$ ，液压泵和液压马达可小至  $\frac{1}{10}$ ，而同功率的发电机和电动机则约为  $\frac{1}{5}$ 。至于尺寸，前者约为后者的  $\frac{1}{5}$  ~  $\frac{1}{10}$ 。就输出力而言，用泵很容易得到极高压力的液压油液，将此油液传送至液压缸后即可产生很大的作用力。所以液压技术具有重量轻、体积小和出力大的突出特点，有利于机械设备及其控制系统的微型化、小型化，并进行大功率作业。

② 布局灵活方便。液压元件的布置不受严格的空位限制，容易按照机器的需要通过管道实现系统中各部分的连接，布局安装具有很大的柔性，能构成用其他方法难以组成的复杂系统。

③ 调速范围大。通过控制阀，液压传动可以在运行过程中实现液压执行器大范围的无级调速，调速范围可达  $\frac{1}{10}$  ~  $10$ 。

④ 工作平稳、快速性好。油液具有弹性，可吸收冲击，故液压传动传递运动均匀平稳；易于实现快速启动、制动和频繁换向。往复回转运动的换向频率可达  $10^3$  次/分，往复直线运动的换向频率高达  $10^4$  次/分。

⑤ 易于操纵控制并实现过载保护。液压系统操纵控制方便，易于实现自动控制、远距离遥控和过载保护；运转时可自行润滑，有利于散热和延长使用寿命。

⑥ 易于自动化和机电液一体化。液压技术容易与电气、电子控制技术相整合，组成机电液一体化的复合系统，实现自动工作循环。

⑦ 易于实现直线运动。用液压传动实现直线运动比机械传动简便。

⑧ 液压系统设计、制造和使用维护方便。液压元件属于机械工业基础件，已实现了标准化、系列化和通用化，因此，便于液压系统的设计、制造和使用维护，有利于缩短机器设备的设计制造周期并降低制造成本。

### (二) 缺点

① 不能保证定比传动。由于液体的压缩性和泄漏等因素的影响，液压技术不能严格保证定比传动。

② 传动效率偏低。传动过程中需经两次转换，常有较多的能量损失，因此传动效率偏低。

③ 工作稳定性易受温度影响。液压系统的性能对温度较为敏感，不宜在过高或过低温度下工作，采用石油基液压油作传动介质时还应注意防火问题。

④ 造价较高。液压元件制造精度要求较高以防止和减少泄漏，所以造价较高。

⑤ 故障诊断困难。液压元件与系统容易因液压油液污染等原因造成系统故障，且发生故障不易诊断。

## 液压传动与其他传动方式的综合比较

液压传动与其他传动方式的综合比较见表 1-1。