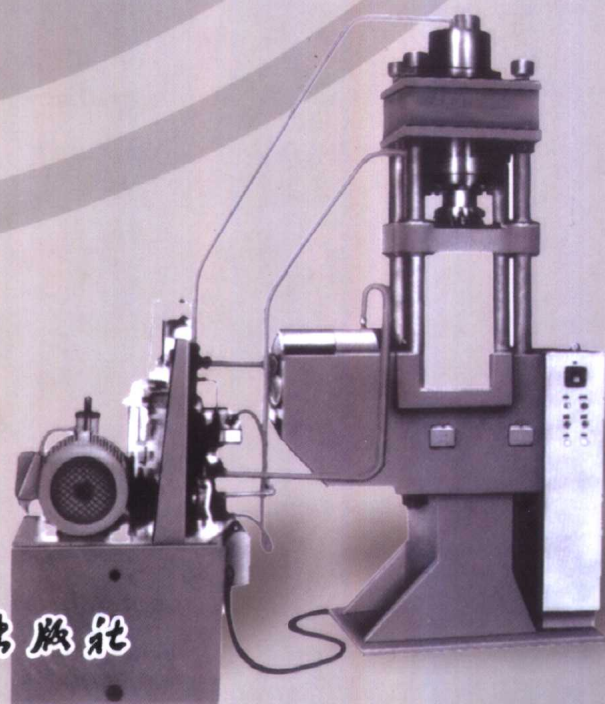


# 液压站 设计与使用

张利平 编著



海军出版社

# 液压站设计与使用

张利平 编著

海洋出版社

2004年·北京

## 内 容 简 介

本书是在总结多年教学、科研和工程实践经验基础上,广泛搜集国内外液压站方面的最新技术资料编著而成。本书图文并茂、注重实用、资料新颖,在给出液压系统设计流程与示例基础上,重点介绍了液压站的结构类型、设计使用中的关键问题、液压控制装置的集成、液压动力源装置(泵站)的结构设计、液压站的结构总成设计、液压站的组装调试、使用维护与故障诊断方法、液压站设计使用中常用的相关标准和液压元件产品资料等内容。为了拓宽读者的思路 and 眼界,书中收集了国内外近年来设计和使用的多种液压站实物图片,并穿插介绍了液压站各组成部分的计算机辅助设计方法。

本书可供与液压技术相关的机床工具、矿山冶金、农业与工程机械、建筑建材、石油化工、五金家电、铁路公路、港口机场、塑料橡胶、计量质检、电力电子、军事国防等多种领域和部门的科研开发、设计制造与使用维护人员参阅,并可作为工科院校的教学参考书和有关单位的短期培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压站设计与使用/张利平编著. —北京:海洋出版社, 2004.2

ISBN 7-5027-6081-4

I. 液… II. 张… III. ①液压泵站—设计 ②液压泵站—使用 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 011654 号

责任编辑:高显刚

责任印制:严国晋

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路8号)

北京玥实印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2004年2月第1版 2004年2月北京第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:20.875

字数:500千字 印数:1~4000册

定价:48.00元

海洋版图书印、装错误可随时退换

## 前 言

与其他传动方式相比较, 液压传动具有其独特的技术优势, 其应用领域几乎囊括了国民经济各工业部门。

工科院校机械类专业各类学生在其毕业设计(论文)及其他实践教学环节中, 科研、制造和生产部门在液压设备研制、开发和生产中, 经常会遇到液压传动的选用及液压站的设计和使用问题。然而, 国内还没有一本专门介绍液压站的书籍。因此, 设计和现场工作人员特别是那些初次涉足液压技术的人员, 对于设计与使用液压站中所遇到的各类问题, 只能从散见于众多综合性手册的零星材料中去查阅, 费时费力, 极大影响了液压站设计和使用的开展与质量。编著者在长期的液压技术教学、科研实践中, 深感设计、科研、教学及生产部门急需一本专门介绍液压站设计和使用的书籍。

本书是在作者1999年所编本科生选修课教材《液压站设计》基础之上, 经过较大修改和扩充后编著而成。书中总结了多年来从事液压技术教学、科研及液压站设计和故障诊断与排除的实践经验, 并广泛搜集了国内外液压站设计与使用方面的最新资料。本书力求体现系统性、先进性、新颖性、指导性和实用性, 兼顾设计与使用, 以期利于读者解决液压技术特别是液压站设计和使用中遇到的各类问题。

本书共分七章。第一章论述了液压系统的一般设计流程、方法步骤并给出设计示例。第二章从总体上介绍了液压装置及液压站的各种结构类型、一般设计步骤并论述了液压站中的几个关键问题。第三章论述了板式、块式、链式、叠加阀式和插入式等无管集成液压控制装置的集成方式及其具体设计方法。第四章论述了液压力源(液压泵站)的结构组成及设计方法。第五章介绍了液压站的结构总成设计方法。第六章论述了液压站的组装调试、使用维护与故障诊断方法。第七章介绍了液压站设计使用中所需的最新常用标准和部分液压产品等技术资料。除第七章外, 几乎各章都有相关内容的计算机辅助设计(CAD)方法的介绍, 以使读者在了解液压传动计算机辅助设计(CAD)技术现状和趋势的同时, 选用现有CAD软件或研制开发新的CAD软件对液压系统和液压装置进行设计。

本书可供液压技术的科研设计、制造调试和使用维护部门的工程技术人员、现场工作人员及大专院校有关专业师生使用和参阅。

对河北科技大学图书馆领导佟延伟、侯钰及赵殿文、卞铜身、严一萍、黄涛、周兰午等老师, 国机集团广州机械科学研究院成国真高级工程师, 《机床与液压》杂志主编朱华兴高级工程师, 保定第二机床厂贾佳工程师, 榆次油研液压有限公司马忠高级工程师, 多家液压元件厂商在本书编写出版过程中给予的热情帮助与支持; 对参考文献的各位作者, 在此一并表示衷心地感谢!

对于书中存在的缺点、错误, 诚恳希望得到同行专家以及广大读者指正。

张利平

2003年5月

# 目 次

<b>第一章 液压系统的设计流程与设计示例</b> .....	( 1 )
1.1 液压系统的组成及分类 .....	( 1 )
1.1.1 液压系统的组成 .....	( 1 )
1.1.2 液压系统的分类 .....	( 1 )
1.2 液压系统的设计流程 .....	( 2 )
1.2.1 明确技术要求 .....	( 3 )
1.2.2 系统功能设计 .....	( 4 )
1.2.3 组成元件设计 .....	( 12 )
1.2.4 液压系统计算 .....	( 19 )
1.2.5 液压系统技术设计 .....	( 23 )
1.3 液压系统功能原理设计示例 .....	( 23 )
1.3.1 专用铣床液压系统设计 .....	( 23 )
1.3.2 钢水包绞车液压系统设计 .....	( 30 )
1.4 液压系统原理图的计算机辅助设计 .....	( 33 )
1.4.1 概述 .....	( 33 )
1.4.2 液压气动系统原理图 CAD 软件 HP-CAD 简介 .....	( 33 )
<b>第二章 液压站设计与使用总论</b> .....	( 36 )
2.1 液压站设计概述 .....	( 36 )
2.1.1 液压装置设计的目的意义 .....	( 36 )
2.1.2 液压装置的结构类型及其适用场合 .....	( 36 )
2.1.3 液压站设计的内容步骤与注意事项 .....	( 40 )
2.2 液压站设计与使用中的几个关键问题 .....	( 41 )
2.2.1 污染控制 .....	( 42 )
2.2.2 泄漏控制与密封 .....	( 46 )
2.2.3 液压冲击控制 .....	( 48 )
2.2.4 振动与噪声控制 .....	( 50 )
<b>第三章 液压控制装置的集成</b> .....	( 56 )
3.1 液压控制装置的集成方式及其设计流程 .....	( 56 )
3.1.1 有管集成 .....	( 56 )
3.1.2 无管集成 .....	( 56 )
3.1.3 无管集成液压控制装置的设计流程及设计要求 .....	( 57 )
3.2 液压控制装置的板式集成 .....	( 59 )
3.2.1 板式集成的结构及特点 .....	( 59 )

3.2.2	板式集成液压控制装置的设计	(62)
3.3	液压控制装置的块式集成	(67)
3.3.1	块式集成的结构及特点	(67)
3.3.2	块式集成液压控制装置的设计	(68)
3.3.3	通用集成块系列	(73)
3.4	液压控制装置的链式集成	(90)
3.4.1	链式集成的结构组成与特点	(90)
3.4.2	链式集成液压控制装置的设计要点	(93)
3.4.3	应用示例	(94)
3.5	液压控制装置的叠加阀式集成	(95)
3.5.1	叠加阀式集成的结构及特点	(95)
3.5.2	叠加阀式集成液压控制装置的设计要点	(95)
3.5.3	国产叠加阀系列	(97)
3.6	液压控制装置的插入式集成	(120)
3.6.1	插入式集成的结构及特点	(120)
3.6.2	插入式集成的设计	(121)
3.6.3	国产插装阀系列	(122)
3.7	油路块的计算机辅助设计 (CAD)	(126)
3.7.1	油路块 CAD 的意义	(126)
3.7.2	油路块 CAD 软件的类型	(126)
3.7.3	油路块 CAD 软件的组成	(126)
3.7.4	油路块 CAD 软件的开发和选用	(127)
<b>第四章</b>	<b>液动力源装置的设计</b>	<b>(128)</b>
4.1	液动力源装置的组成及分类	(128)
4.1.1	液动力源装置的组成	(128)
4.1.2	液动力源装置的类型及特点	(128)
4.2	油箱及其设计	(132)
4.2.1	油箱的作用	(132)
4.2.2	油箱的种类	(133)
4.2.3	油箱的容量	(135)
4.2.4	油箱的设计	(137)
4.3	液压泵组的结构设计	(149)
4.3.1	液压泵组的布置方式	(149)
4.3.2	液压泵组的连接和安装方式	(149)
4.3.3	液压泵组的传动底座	(152)
4.3.4	防振降噪措施	(153)
4.3.5	绘制液压泵组工作图	(153)
4.4	蓄能器装置的设计	(154)

4.4.1	蓄能器的用途和类型 .....	(154)
4.4.2	蓄能器的选择 .....	(156)
4.4.3	蓄能器装置设计、安装及使用 .....	(157)
<b>第五章</b>	<b>液压站的结构总成 .....</b>	<b>(159)</b>
5.1	管路选择、布置与连接 .....	(159)
5.1.1	管路作用及要求 .....	(159)
5.1.2	管路的选择与布置 .....	(160)
5.1.3	管路的连接 .....	(164)
5.2	电气控制装置的设计与布置 .....	(171)
5.2.1	电气控制回路的设计 .....	(171)
5.2.2	线缆的选择与布置 .....	(172)
5.2.3	电气控制柜(箱)的设计与配置 .....	(172)
5.3	液压站总图的设计与绘制 .....	(172)
5.4	液压站结构总成设计中应注意的问题 .....	(175)
5.4.1	结构布置 .....	(175)
5.4.2	其他 .....	(175)
5.5	液压站技术文件的编制 .....	(176)
5.6	全面审查 .....	(176)
5.6.1	总体审查 .....	(176)
5.6.2	液压泵 .....	(176)
5.6.3	液压执行器 .....	(176)
5.6.4	液压控制阀 .....	(177)
5.7	液压站总成的计算机辅助设计(CAD) .....	(177)
5.7.1	液压管路布置CAD .....	(177)
5.7.2	液压站结构总成的CAD .....	(178)
<b>第六章</b>	<b>液压站的组装调试、使用维护与故障诊断 .....</b>	<b>(181)</b>
6.1	液压站的组装 .....	(181)
6.1.1	液压元件和管件的质量检查 .....	(181)
6.1.2	液压元件和管道安装 .....	(182)
6.2	液压站的出厂试验和总体调试 .....	(185)
6.2.1	出厂试验 .....	(185)
6.2.2	总体调试 .....	(188)
6.3	液压站的使用与检查 .....	(189)
6.3.1	使用的一般注意事项 .....	(189)
6.3.2	检查 .....	(189)
6.4	液压站的故障诊断 .....	(190)
6.4.1	故障诊断的一般注意事项 .....	(190)
6.4.2	常见故障及其诊断排除方法 .....	(192)

<b>第七章 液压站常用标准资料与元件</b> .....	(197)
7.1 常用液压标准目录 .....	(197)
7.2 液压站设计常用标准 (摘录) .....	(200)
7.2.1 常用液压气动图形符号 (GB 786.1-1993 摘录) .....	(200)
7.2.2 液压气动系统及元件公称压力系列 (GB 2346-1988 摘录) .....	(208)
7.2.3 液压缸内径及活塞杆外径 (GB/T 2348-1993 摘录) .....	(208)
7.2.4 液压缸、气缸活塞行程系裂 (GB/T 2349-1980 摘录) .....	(208)
7.2.5 液压缸、气缸活塞杆螺纹型式和尺寸系列 (GB/T 2350-1980 摘录) .....	(209)
7.2.6 液压气动系统硬管外径和软管内径 (GB/T 2351-1993 摘录) .....	(209)
7.2.7 液压元件螺纹连接油口型式和尺寸 (GB/T 2878-1993 摘录) .....	(209)
7.2.8 四油口板式液压方向控制阀安装面 (GB/T 2514-1993 摘录) .....	(211)
7.2.9 板式液压流量控制阀安装面 (GB 8098-1987 摘录) .....	(215)
7.2.10 板式液压溢流阀安装面 (GB 8101-1987 摘录) .....	(220)
7.2.11 板式连接液压压力控制阀 (不包括溢流阀)、顺序阀、卸荷阀、 节流阀和单向阀安装面 (GB 8100-1987 摘录) .....	(227)
7.2.12 液压叠加阀安装面 (GB 8099-1987 摘录) .....	(232)
7.2.13 二通插装式液压阀安装连接尺寸 (GB 2877-1981 摘录) .....	(237)
7.2.14 液压泵和马达安装法兰和轴伸的尺寸系列和标记 (一) 二孔和四孔法兰和轴伸 (GB/T 2353.1-1994 摘录) .....	(240)
7.2.15 液压泵和马达安装法兰和轴伸的尺寸系列和标记 (二) 多边形法兰 (包括圆形法兰) (GB/T 2353.2-1993 摘录) .....	(248)
7.2.16 液压泵站油箱公称容量系列 (JB/T 7938-1999 摘录) .....	(253)
7.2.17 管接头与连接法兰 .....	(254)
7.2.18 螺塞 .....	(260)
7.2.19 液压气动用球涨式堵头安装尺寸 (ZB J22 007-1988 摘录) .....	(266)
7.2.20 O形橡胶密封圈 .....	(267)
7.2.21 液压系统通用技术条件 (GB 3766-1983 摘录) .....	(274)
7.2.22 液压系统总成出厂检验技术条件 (JB/T 58207-1993 摘录) (内部使用) .....	(281)
7.3 常用液压元件和辅助元件 .....	(286)
7.3.1 液压泵 .....	(286)
7.3.2 液压控制阀 .....	(295)
7.3.3 液压辅助元件 .....	(312)
7.4 梅花形弹性联轴器 (GB 5272-1985 摘录) .....	(316)
7.5 常用 Y 系列电动机 .....	(320)
<b>参考文献</b> .....	(325)



# 第一章 液压系统的设计流程与设计示例

## 1.1 液压系统的组成及分类

### 1.1.1 液压系统的组成

以受压液体作为工作介质进行能量传递、转换与控制的传动型式称为液压传动。与机械传动相比，液压传动具有功率-质量比大、便于无级调速和过载保护、布局灵活方便等多种技术优势，作为现代机械设备实现传动与控制的重要手段，在现代农业、制造业、电力煤炭工业、油气探采与化工、采矿与冶金工程、交通运输工程、建材建筑业、航空航天与河海工程、科学实验装置、公共设施与环保、国防军事工程等领域获得了广泛应用。

液压传动与控制的机械设备或装置中，能够实现某种特定功能的液压元件的组合，称为液压回路。为了实现某一机器或装置的工作要求，将若干特定的基本回路连接或复合而成的总体称为液压系统。液压系统一般都是由动力部分、执行部分、控制部分和辅助部分所组成，各部分的功能作用如下：

**动力源部分（原动机和液压泵）：**将原动机（电动机或内燃机）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。

**执行器部分（液压缸、液压马达和摆动液压马达）：**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。

**控制阀部分（各种压力、流量、方向控制阀及其他控制元件）：**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。

**辅助部分（油箱、管件、过滤器、热交换器、蓄能器及指示仪表等）：**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、释放液压能或吸收液压脉动和冲击，显示系统压力、油温等。

对于液压系统中的各种元件，GB 786.1-1993 都对其图形符号做出了规定（请见本书第七章 7.2.1 节）。采用图形符号，即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，必须严格执行这一标准。图 1-1 即为采用图形符号绘制的液压系统原理图。

### 1.1.2 液压系统的分类

液压系统可以按如下方法进行分类：

(1) 按液流循环方式不同，液压系统可分为开式系统和闭式系统。图 1-1a 即为一个开式系统，液压泵 1 从油箱吸油，经节流阀 2、换向阀 3 进入液压缸 4 或液压马达，液压

缸或液压马达的回油排回油箱，工作液在油箱中冷却及沉淀后再进行工作循环。图 1-1b 所示为一个闭式系统，液压泵 5 的吸油管路直接与液压马达 7 的回油管路相连通，形成一个闭合回路，补油泵 8 经单向阀 6 补偿系统中各液压元件的泄漏损失。

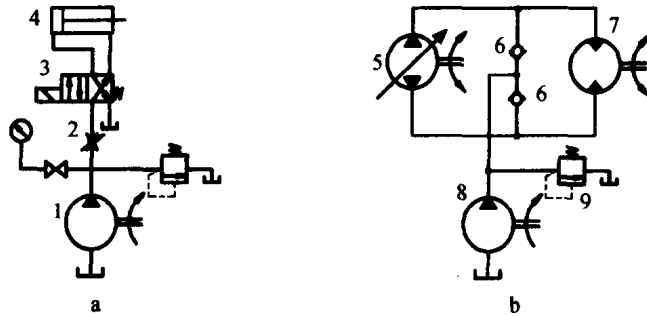


图 1-1 用图形符号绘制的液压系统原理图  
a. 开式系统 b. 闭式系统

(2) 按工作特征不同，液压系统可分为液压传动系统和液压控制系统。前者以传递动力为主，以信息传递为次，追求传动特性的完善。后者则以传递信息为主，以传递动力为次，追求控制特性的完善。但是，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（如兵器、数控机床和航空航天设备等）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。

(3) 按执行器的速度控制与调节方式不同，液压系统可分为阀控系统和泵控系统。前者通过改变阀（例如图 1-1a 中 2）的节流口开度控制流量，从而控制执行器的速度。后者（例如图 1-1b）通过改变泵 5 的排量来控制流量，从而控制速度。一般而言，阀控系统效率较低；而泵控系统效率较高。

另外，还可根据主换向阀在中位时液压泵的工作状态，系统的应用场合等进行分类。

## 1.2 液压系统的设计流程

液压系统的设计一般泛指液压传动系统的设计。由于液压传动系统和液压控制系统从结构和工作原理而言，并无本质上的差别。通常所说的液压系统设计，皆指液压传动系统的设计。

液压系统的设计与主机的设计是紧密联系的，当从必要性、可行性和经济性几方面对机械、电气、液压和气动等传动形式进行全面比较和论证，决定应用液压传动之后，二者往往同时进行。所设计的液压系统首先应满足主机的拖动、循环要求，其次还应符合结构组成简单、体积小重量轻、工作安全可靠、使用维护方便、经济性好等公认的设计原则。

由于设计着眼点的不同，所以液压系统的设计迄今尚未确立一个公认的统一步骤。实际设计工作中，往往是将追求效能和追求安全二者结合起来，并按图 1-2 所示内容与流程来设计液压系统。但由于各类主机设备对系统的要求的不同及设计者经验的多寡，其中有些内容与步骤可以省略和从简，或将其中某些内容与步骤合并交叉进行。例如，对于较

简单的系统，可以适当简化设计程序；但对于重大工程的复杂系统，往往还需在初步设计基础上进行计算机仿真试验或进行局部实物试验并反复修改，才能确定设计方案。

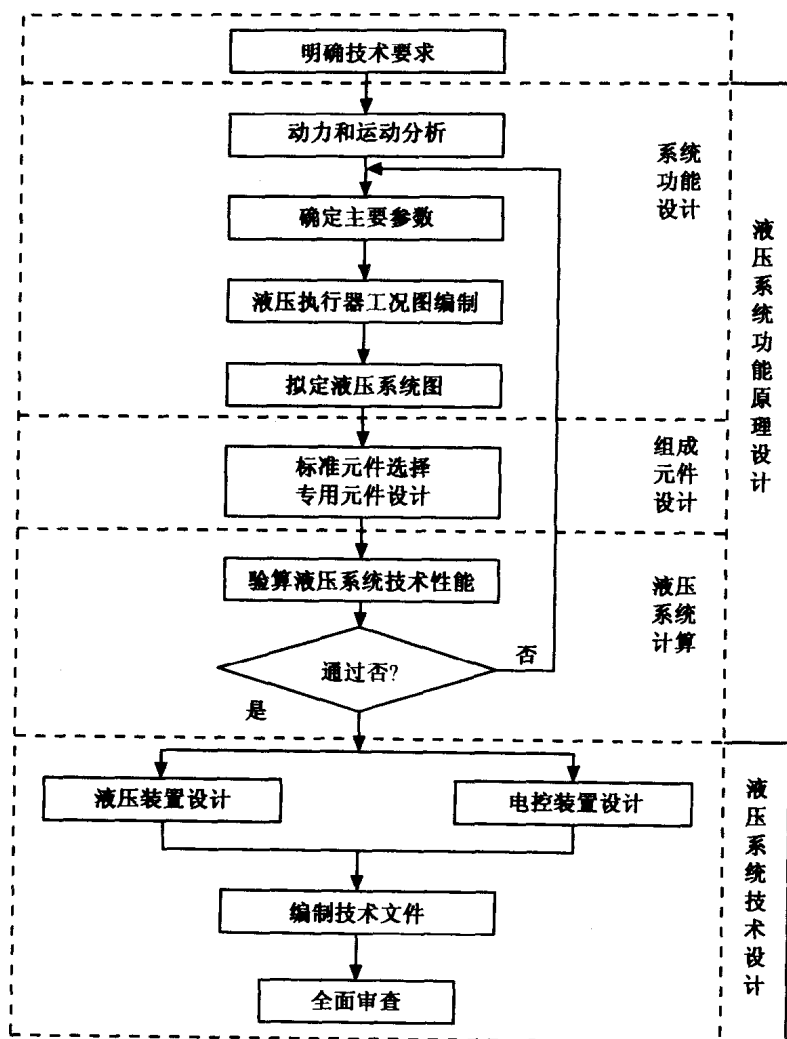


图 1-2 液压系统设计流程

### 1.2.1 明确技术要求

机器设备的技术要求是设计液压系统的依据和出发点。设计者在设计之初应与用户或主机制造单位共同讨论，并辅以调查研究，以求定量了解和掌握这些技术要求：

(1) 主机的工艺目的（用途）、结构布局（卧式、立式等）、使用条件（连续运转、间歇运转、特殊液体的使用）、技术特性（工作负载是阻力负载还是超越负载、恒值负载还是变值负载，以及负载的大小；运动形式是直线运动、回转运动还是摆动，位移、速度、加速度等运动参数的大小和范围）等。由此确定哪些机构需要采用液压传动，所需执行器的形式和数量，执行器的工作范围、尺寸、重量和安装等限制条件。

(2) 各执行器的动作循环与周期及各机构运动之间的连锁和安全要求。

(3) 主机对液压系统的工作性能如运动平稳性、转换精度、传动效率、控制方式及自动化程度等要求。

(4) 原动机的类型（内燃机还是电动机）及其功率、转速和转矩特性。

(5) 工作环境条件，如室内或室外、温度、湿度、尘埃、冲击振动、易燃易爆及腐蚀情况等。

(6) 限制条件，如压力脉动、冲击、振动噪声的允许值等。

(7) 经济性要求，如投资费用、运行能耗和维护保养费用等。

### 1.2.2 系统功能设计

首先，根据技术要求确定液压执行器的形式（表 1-1）、数量和动作顺序等。然后，通过动力分析和运动分析，确定系统主要参数，编制执行器的工况图，从而拟定和绘制出液压系统原理图。

表 1-1 液压执行器的形式

运动形式	往复直线运动		回转运动		往复摆动
	短行程	长行程	高速	低速	
执行器形式	活塞式 液压缸	柱塞式液压缸；液压马达 与齿轮齿条机构；液压马 达与丝杠-螺母机构	高速液 压马达	低速液压马达；高速液 压马达与机械减速机构	摆动液 压马达

#### 1.2.2.1 动力分析和运动分析

动力分析和运动分析是确定液压系统主要参数的基本依据，包括每个液压执行器的动力分析（负载循环图）和运动分析（运动循环图）。对于动作较为简单的机器设备，这两种图均可省略。但对于一些专用的、动作比较复杂的机器设备，则必须绘制负载循环图和运动循环图，以了解运动过程的本质，查明每个执行器在其工作中的负载、位移及速度的变化规律，并找出最大负载点和最大速度点。

##### (1) 动力分析（负载循环图）

液压执行器的负载可由主机规格确定，也可用实验方法或理论分析计算得到。理论分析确定负载时，必须仔细考虑各执行器在一个循环中的工况及相应的负载类型。

液压执行器（液压缸或液压马达）在工作过程中，一般要经历启动、加速、恒速和减速制动等负载工况，各工况的外负载计算公式见表 1-2，其中摩擦负载和惯性负载的计算公式见表 1-3 和表 1-4。

表 1-2 液压执行器的外负载计算公式

工况	负载力 $F$ (N)	负载力矩 $T$ (N·m)
启动	$\pm F_e + F_{fs}$	$\pm T_e + T_{fs}$
加速	$\pm F_e + F_{fd} + F_i$	$\pm T_e + T_{fd} + T_i$
恒速	$\pm F_e + F_{fd}$	$\pm T_e + T_{fd}$
减速制动	$\pm F_e + F_{fd} - F_i$	$\pm T_e + T_{fd} - T_i$

注： $F_e$ 、 $T_e$ ——液压执行器的工作负载，力、力矩，与执行器运动方向相同时取“-”，方向相反时取“+”；

$F_{fs}$ 、 $T_{fs}$ ——静摩擦负载，力、力矩；

$F_{fd}$ 、 $T_{fd}$ ——动摩擦负载，力、力矩；

$F_i$ 、 $T_i$ ——惯性负载，力、力矩。

表 1-3 摩擦负载的计算公式

摩擦类型	摩擦力 $F_f$ (N)			摩擦力矩 $T_f$ (N·m)
	平面导轨 (图 1-3)		V形导轨 (图 1-4)	
	水平	倾斜		
静摩擦	$\mu_s (G + F_n)$	$\mu_s (G \cos \beta + F_n)$	$\mu_s (G + F_n) / \sin (\alpha/2)$	$\mu_s F_n' R$
动摩擦	$\mu_d (G + F_n)$	$\mu_d (G \cos \beta + F_n)$	$\mu_d (G + F_n) / \sin (\alpha/2)$	$\mu_d F_n' R$

注:  $G$ ——运动部件重力;

$F_n$ ——工作负载在导轨上的垂直分力;

$\beta$ ——平面导轨倾斜角;  $\alpha$ ——V形导轨夹角;

$F_n'$ ——作用于轴径处的总径向力;

$R$ ——轴径半径 (m);

$\mu_s$ 、 $\mu_d$ ——静、动摩擦因数, 根据摩擦表面的材料及性质选定, 通常  $\mu_s = 0.1 \sim 0.2$ ,  $\mu_d = 0.05 \sim 0.12$ 。

表 1-4 惯性负载的计算公式

液压执行器	直线运动	旋转运动
	液压缸	液压马达
惯性力 $F_i$ (N)	$m\alpha$	-
惯性力矩 $T_i$ (N·m)	-	$J\epsilon$

注:  $m$ ——运动部件质量 (kg);

$\alpha$ ——运动部件的加速度 ( $m/s^2$ );

$J$ ——旋转部件的转动惯量;

$J = mD^2/4$  ( $kg \cdot m^2$ );

$D$ ——旋转部件的直径 (m);

$\epsilon$ ——旋转部件的角加速度 ( $rad/s^2$ )。

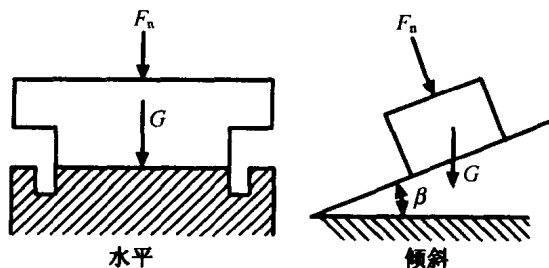


图 1-3 平面导轨

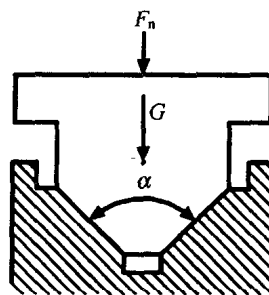


图 1-4 V型导轨

根据计算出的外负载和循环周期, 即可绘制负载循环图 ( $F-t$  图)。图 1-5 就是一典型的负载循环图。

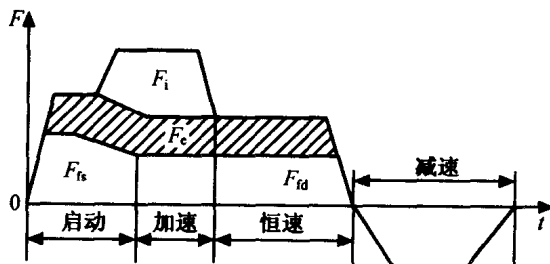


图 1-5 典型负载循环图

## (2) 运动分析 (运动循环图)

运动循环图包括位移循环图 ( $L-t$  图) 和速度循环图 ( $v-t$  图), 它们反映了执行机构在一个工作循环中的运动规律。

图 1-6 是一机床进给机构的液压缸位移循环图, 各阶段的曲线斜率即为缸在相应阶段的速度。绘制速度循环图是为了计算液压执行器的惯性负载及绘制其负载循环图, 因而绘制速度循环图通常与负载循环图同时进行。图 1-7 就是一个液压缸的速度、负载循环图。

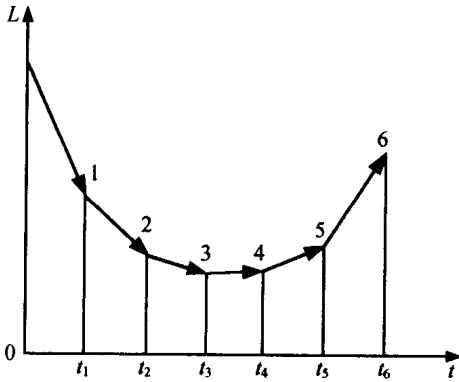


图 1-6 液压缸位移循环图

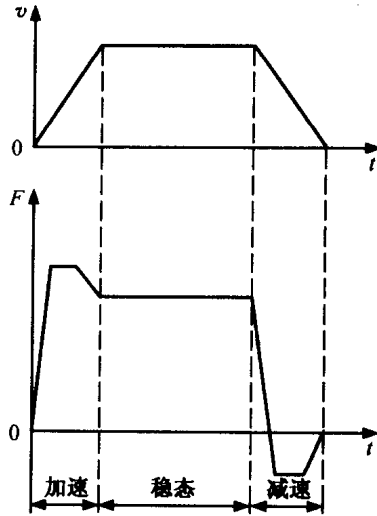


图 1-7 液压缸的速度、负载循环图

### 1.2.2.2 确定主要参数, 绘制液压执行器工况图

液压系统的主要参数包括压力、流量 (体积流量) 和功率。通常, 首先选择系统 (即执行器) 设计压力, 并按最大外负载和选定的设计压力计算执行器的主要几何参数, 然后根据对执行器的速度 (或转速) 要求, 确定其流量。压力和流量一经确定, 即可确定其功率, 并做出液压执行器的工况图。

#### (1) 执行器设计压力的选取

液压执行器设计压力的选取, 主要应考虑如下因素: 执行器及其他液压元件、辅件的尺寸、重量、加工工艺性、成本、货源及系统的可靠性和效率等。通常采用类比法, 根据主机类型来选取执行器的设计压力 (见表 1-5)。

表 1-5 各类主机液压执行器常用的设计压力

主机类型		设计压力 (MPa)
机 床	精加工机床	0.8~2
	半精加工机床	3~5
	龙门刨床	2~8
	拉床	8~10
农业机械、小型工程机械、工程机械辅助机构		10~16
液压机、大中型挖掘机、中型机械、起重运输机械		20~32
地质机械、冶金机械、铁道车辆维护机械, 各类液压机具等		25~100

注: 当压力超过 32MPa 时, 称为超高压压力。

## (2) 液压执行器主要结构参数的计算

液压缸的缸筒内径、活塞杆直径及有效面积或液压马达的排量是其主要结构参数。计算方法是：先由最大负载和选取的设计压力及估取的机械效率算出有效面积或排量，然后再检验是否满足在系统最小稳定流量下的最低运行速度要求。计算和检验公式见表 1-6。

表 1-6 计算和检验液压执行器主要结构参数的公式

	液压缸 (图 1-8)			液压马达
	单活塞杆液压缸		双活塞杆液压缸	
	无杆腔为工作腔	有杆腔为工作腔	两腔面积相等	
计算公式	$p_1 A_1 - p_2 A_2 = F_{\max} / \eta_{cm}$	$p_1 A_2 - p_2 A_1 = F_{\max} / \eta_{cm}$	$A_1 = A_2 = A$ $A (p_1 - p_2) = F_{\max} / \eta_{cm}$	$V_m = T_{\max} / (\Delta p \eta_{mm})$
检验公式	$A \geq q_{\min} / v_{\min}$ (A 为 $A_1$ 或 $A_2$ )			$V_m \geq q_{\min} / n_{\min}$

注： $p_1$ 、 $p_2$ ——液压缸工作腔、回油腔压力 (Pa)，回油腔压力 (背压力) 按表 1-7 选取；

$A_1 = \pi D^2 / 4$ ——液压缸无杆腔的有效面积 ( $m^2$ )；

$A_2 = \pi (D^2 - d^2) / 4$ ——液压缸有杆腔的有效面积 ( $m^2$ )；

$D$ 、 $d$ ——液压缸缸筒内径、活塞杆直径 (m)；

$F_{\max}$ 、 $\eta_{cm}$ 、 $v_{\min}$ ——液压缸的最大负载力 (N)、机械效率 (一般取 0.9~0.97)、最小速度 (m/s)；

$T_{\max}$ 、 $\eta_{mm}$ 、 $n_{\min}$ 、 $V_m$ 、 $\Delta p$ ——液压马达的最大转矩 ( $N \cdot m$ )、机械效率 (齿轮马达和柱塞马达取 0.9~0.95, 叶片马达取 0.8~0.9)、最小转速 (rad/s)、排量 ( $m^3/\text{rad}$ )、进出油口压差 (Pa)；

$q_{\min}$ ——系统最小稳定流量 ( $m^3/s$ )，节流调速系统取决于流量控制阀的最小稳定流量，容积调速系统取决于变量泵的最小稳定流量。

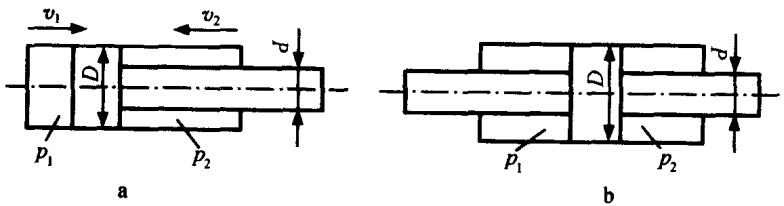


图 1-8 液压缸

a. 单活塞杆液压缸 b. 双活塞杆液压缸

表 1-7 液压执行器的背压力

系统类型		背压力 (MPa)
中低压系统	简单系统和一般轻载节流调速系统	0.2~0.5
	回油带背压阀	调整压力一般为 0.5~1.5
	回油路设流量调节阀的进给系统满载工作时	0.5
	设补油泵的闭式系统	0.8~1.5
高压系统		初算时可忽略不计

当用表 1-6 计算液压缸的结构参数时, 还需确定活塞杆直径与液压缸内径的关系, 以便在计算出液压缸内径  $D$  时, 利用这一关系获得活塞杆的直径  $d$ 。通常是由液压缸的往返速度比  $\lambda$  确定这一关系, 即  $d = D \sqrt{(\lambda - 1) / \lambda}$ , 按这一关系得到的  $d$  的计算公式如表 1-8 所列。

表 1-8 根据往返速度比  $\lambda$  计算活塞杆直径  $d$  的公式

往返速度比 $\lambda$	1.1	1.2	1.33	1.46	1.61	2
活塞杆直径 $d$	0.3D	0.4D	0.5D	0.55D	0.62D	0.7D

注: 一般  $\lambda \leq 1.61$  较合适; 液压缸差动连接并要求往返速度比相同时, 应取  $A_2 = A_1/2$ , 即  $d = \frac{D}{\sqrt{2}} \approx 0.7D$ 。

### (3) 计算液压执行器的最大流量

#### 1) 液压缸的最大流量 $q_{\max}$

$$q_{\max} = A v_{\max} \quad (1-1)$$

式中:  $A$ ——液压缸的有效面积 ( $m^2$ ) ( $A_1$  或  $A_2$ );

$v_{\max}$ ——液压缸的最大速度 (m/s), 由速度循环图查取。

#### 2) 液压马达的最大流量 $q_{\max}$

$$q_{\max} = V n_{\max} \quad (1-2)$$

式中:  $V$ ——液压马达的排量 ( $m^3/\text{rad}$ );

$n_{\max}$ ——液压马达的最高转速 (rad/s), 由转速循环图查取。

### (4) 执行器工况图的编制

液压执行器的工况图包括压力循环图 ( $p-t$  图)、流量循环图 ( $q-t$  图) 和功率循环图 ( $N-t$  图), 它反映了一个循环周期, 液压系统对压力、流量及功率的需要量及变化情况, 是拟定液压系统、进行方案对比、鉴别与修改设计以及液压元件选择、设计的基础。

$p-t$  图 (负载压力  $p_1$  随时间  $t$  变化的关系图) 是根据液压执行器的负载循环图和主要结构参数进行编制的。表 1-9 是液压执行器负载压力 (入口压力)  $p_1$  的计算公式。 $q-t$  图可利用液压缸速度循环图或液压马达转速循环图和式 (1-1) 或式 (1-2) 进行编制。如果系统有多个执行器, 则应将各执行器的  $q-t$  图进行叠加, 绘出系统总的  $q-t$  图。 $N-t$  图可由  $p-t$  图和  $q-t$  图并根据液压功率  $N = pq$  绘出。图 1-9 为一液压机的系统工况图。

表 1-9 液压执行器负载压力 (入口压力)  $p_1$  的计算公式

(Pa)

计算公式	液压缸 (图 1-8)			液压马达
	单活塞杆液压缸		双活塞杆液压缸	
	无杆腔为工作腔	有杆腔为工作腔	两腔面积相等	
	$\frac{1}{A_1} \left( \frac{F}{\eta_{cm}} + P_2 A_1 \right)$	$\frac{1}{A_2} \left( \frac{F}{\eta_{cm}} + P_2 A_2 \right)$	$\frac{F}{A \eta_{cm}} + P_2$	$\frac{T}{V_m \eta_{mm}} + P_2$

注:  $A_1$ 、 $A_2$ ——单活塞杆液压缸无杆腔和有杆腔的有效面积 ( $m^2$ );



$A$ ——双活塞杆液压缸的有效面积 ( $\text{m}^2$ );  
 $V_m$ ——液压马达的排量 ( $\text{m}^3/\text{rad}$ );  
 $F$ 、 $T$ ——液压执行器的负载力 ( $\text{N}$ )、力矩 ( $\text{N}\cdot\text{m}$ );  
 $\eta_{cm}$ 、 $\eta_{mm}$ ——液压缸和液压马达的机械效率;  
 $p_2$ ——非工作腔压力 (背压力)。

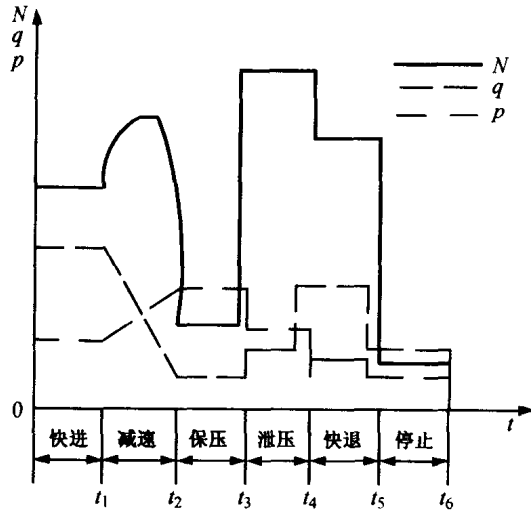


图 1-9 液压机的系统工况图

### 1.2.2.3 液压系统图的拟定

在拟定液压系统图的过程中, 首先通过分析对比选择出各种合适的液压回路, 然后将这些回路拼搭组合成完整的液压系统。

#### (1) 液压回路的选择

构成液压系统的回路有主回路 (直接控制液压执行器的部分) 和辅助回路 (保持液压系统连续稳定地运行状态的部分) 两大类, 每一类中按照具体功能还可进一步详细分类, 见表 1-10, 这些回路的具体结构形式可参阅有关手册。通常根据系统的技术要求及工况图, 参考这些现有成熟的各种回路及同类主机的先进回路进行选择。选择工作先从液压源回路和对主机性能起决定影响的回路开始。

例如: 对以速度调节、变换为主的主机 (如各类切削机床), 应从选择调速及速度换接回路开始; 对于以力的变换和控制为主各类主机 (如压力机), 应从选择调压回路开始; 对于以多执行器换向及复合动作为主各类主机 (如工程机械), 则应从选择功率调节及多路换向回路开始, 等等。然后, 再考虑其他回路, 例如: 有间歇及空载运行要求的系统应考虑卸载回路; 有可能发生工作部件漂移、下滑、超速等现象的系统, 应考虑锁紧、平衡、限速等回路; 有快速运动部件的系统要考虑制动与缓冲回路; 多执行器的系统要考虑顺序动作、同步动作和互不干扰回路; 为了防止因操作者误操作或液压元件失灵产生误动作, 应考虑误动作防止回路, 以确保人身和设备在异常负载、断电、外部环境条件急剧变化情况时的安全性, 等等。