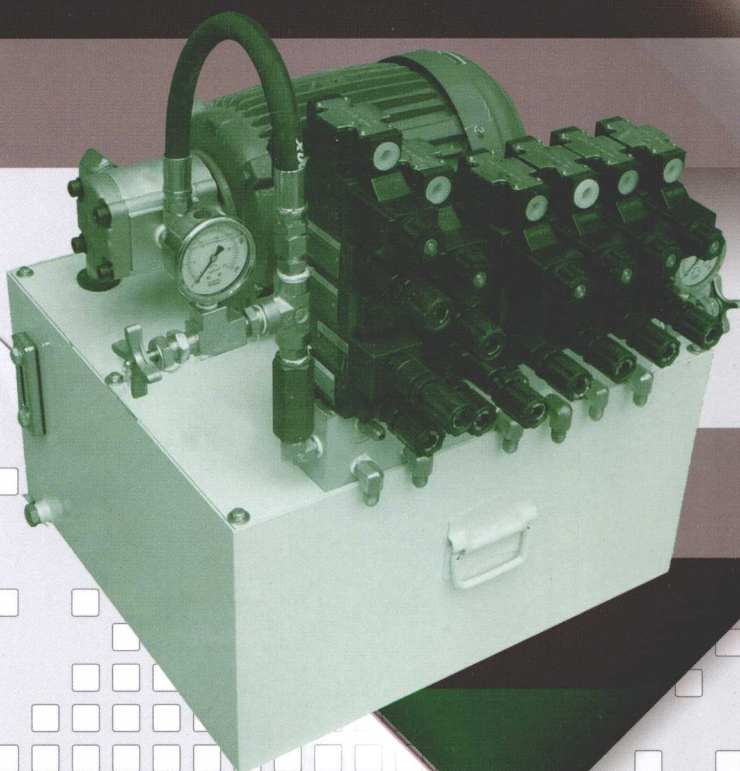


YEYAZHAN SHEJI
YU SHIYONG WEIHU

液压站设计 与使用维护

张利平 山 峻 编著

YEYAZHAN SHEJI
YU SHIYONG WEIHU



化学工业出版社

013033709

TH137
295

YEYAZHAN S
YU SHIYON

液压站设计 与使用维护

张利平 山 峻 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

TH137
295

014680610

本书主要介绍液压站的设计和使用维护方法,包括液压系统及其设计计算与举例,液压站结构及其设计与使用维护要点,液压阀组,液压泵站,液压站总成,液压站典型产品,液压站安装调试、运转维护与故障排除七章内容。全书以系统性、先进性、新颖性和实用性为目标,在介绍设计的同时,对现场使用维护内容给予了更多关注。除基本内容外,在相应章节还图文并茂地介绍了诸如液压系统的仿真工具,油路块、管路布置和液压站总成的CAD及油路块轻型化,新型油箱,液压系统换油方法、进口液压设备换用国产油液要点、油液污染及其控制、费旧液压油的再生处理等,液压站的检修(含液压元件修理)方法、液压站(系统)的泄漏与密封、液压站的常见故障类型及特点、故障诊断策略及常用故障诊断方法、液压故障现场快速诊断仪器等。全书液压图形符号采用最新国家标准GB/T 786.1—2009绘制。

本书既可供各行业液压技术的一线工作人员(设计研发、加工制造、安装调试、操作维护和点检定检、管理营销和教育培训等)使用和参阅,又可作为高等学校、高职高专、成人教育、电视大学的选修课和实训课教材及课程设计和毕业设计的参考书,还可作为设备和技术培训机构及工矿企业的短期培训、上岗培训教材及自学教材,同时可供液压技术爱好者学习参阅。

图书在版编目(CIP)数据

液压站设计与使用维护/张利平,山峻编著. —北京:化学工业出版社, 2013. 4

ISBN 978-7-122-16523-7

I. ①液… II. ①张…②山… III. ①液压泵站-设计②液压泵站-维修 IV. ①TH137

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第027612号

责任编辑:黄滢 张兴辉	文字编辑:张燕文
责任校对:陈静	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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张18½ 字数437千字 2013年6月北京第1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: 59.00 元	版权所有 违者必究
--------------	-----------

前言 FOREWORD

液压站作为当代液压技术中应用最为广泛的一种结构形态，在国民经济各行业液压机械中被广泛采用。5年多前作者编著出版的《液压站》一书，一直得到了全国液压技术工作者和用户的热情关注和支持，对于正确合理地设计和使用液压站，提高工作效率及使用效益发挥了良好的基础作用。作者非常高兴地看到，众多行业及不同层次的液压从业人员通过本书，学习了解和掌握了液压站知识，设计出了本行业独具特色的各类液压站，解决了制造和使用的液压设备液压站安装调试与运转维护中出现的诸多技术难题，满足了液压设备开发、使用及维护的需要，给企业带来了显著的经济效益，避免了许多因使用不当造成的经济损失。

为了反映近几年液压站技术在结构上的一些新变化和新应用以及新的设计理念，继续为液压站的设计制造、安装调试和使用维护提供便捷的解决方法及经验，提供最新最实用的资料数据及较多的设计和最新的使用实例，以适应液压技术发展、满足工程实际需要，解决液压工作者的实际难题，提升液压站的设计与使用维护水平，作者在对原书存在问题进行认真分析及对近年来液压技术教学（培训）科研和为企业解决现场难题过程中的经验进行总结的基础上，利用短期旅居境外及在国内多个省、市、区及大、中型企业讲学之便，收集了一些国内外新材料，对原书进行了修订，并更名为《液压站设计与使用维护》，全书包括液压系统及其设计计算与举例，液压站结构及其设计与使用维护要点，液压阀组，液压泵站，液压站总成，液压站典型产品，液压站安装调试、运转维护与故障排除七章内容。与原书比较，新书在保留原书风格的基础上，以系统性、先进性、新颖性和实用性为目标，在介绍设计的同时，对现场使用维护内容给予更多关注。为此，作出四项更新和调整：一是采用最新液压气动图形符号标准 GB/T 786.1—2009 绘制所有液压原理图；二是删除了原书第 8 章，将其按内容归属移至相应章节；三是为了便于读者使用，在相应章节新增写了“液压元件选型中的自动计算及液压系统的仿真方法和三种工具软件（MATLAB、AMESim 和 FluidSIM）”，“液压阀及其选型，以及油路块的 CAD 和轻型化技术”，“液压泵及其选型、新型油箱、液压介质的使用及管理（对介质的要求、合理使用要点、换油方法、进口液压设备换用国产油液要点、液压介质的污染及其控制、费旧液压油的再生处理等）”，“液压管路布置 CAD 及液压站总成的 CAD”，“液压站（系统）的调整、液压系统的定期维护内容与要求、液压站（系统）的检修（含液压元件修理方法）、液压站（系统）的泄漏与密封、液压站（系统）的常见故障类型及特点、故障诊断策略及常用故障诊断方法、液压故障现场快速诊断仪器简介等”；四是更新了部分实例和图表。

本书既可供各行业液压技术的一线工作人员（设计研发、加工制造、安装调试、操作维护和点检定检、管理营销和教育培训等）使用和参阅，又可作为高等学校、高职高专、成人教育、电视大学的选修课和实训课教材、课程设计和毕业设计的参考书，还可作为设备和技术培训机构及工矿企业的短期培训、上岗培训教材及自学教材，同时可供液压技术爱好者学习参阅。

本书由张利平、山峻编著。张秀敏、张津、山峻参与了本书的前期策划及部分图表的绘制、文稿的录入校对及整理等工作；学生向其兴参与了液压故障诊断查询系统软件的编制工作；参与本书工作的还有周湛学、周兰午、颜一平、黄涛、史玉芳、牛振英、吴宗哲、高志强等。本书的编写工作得到了国内外多家厂商、读者及作者的学生、受训学员的热心支持与帮助，提供了最新的技术成果、信息、经验及翔实生动的现场资料或建设性意见，作者还参阅了国内外同行的部分参考文献及多家生产厂互联网站中的电子样本及产品图片，不便一一列举，作者在此一并表示诚挚谢意。对于书中不妥之处，欢迎液压界专家同行及广大读者批评指正。

编著者

CONTENTS

目录

第 1 章 液压系统及其设计计算与举例

Page 001

1.1 液压系统的组成部分	001
1.2 液压系统的表示	001
1.2.1 图形符号	001
1.2.2 液压系统原理图的绘制和分析识读	003
1.3 液压系统的设计要点	004
1.3.1 设计计算内容步骤	004
1.3.2 明确技术要求	005
1.3.3 配置执行元件并确定动作顺序	005
1.3.4 负载分析和运动分析	005
1.3.5 确定液压系统主要参数、编制液压执行元件工况图	007
1.3.6 液压系统图的拟定及 CAD	011
1.3.7 元件选型及其自动计算	016
1.3.8 液压系统主要性能验算	035
1.3.9 液压系统计算机模拟仿真简介	040
1.3.10 液压系统的施工设计	042
1.4 液压传动系统设计计算举例——汽车发动机箱体钻孔组合 机床液压系统设计计算	043
1.4.1 明确技术要求	043
1.4.2 配置执行元件	043
1.4.3 运动分析和动力分析	043
1.4.4 计算液压系统主要参数并编制工况图	045
1.4.5 制定液压回路方案, 拟定液压系统原理图	046
1.4.6 计算和选择液压元件	047
1.4.7 验算液压系统性能	049

第 2 章 液压站结构及其设计与使用维护要点

Page 052

2.1 液压装置结构类型、特点及应用	052
2.1.1 分散配置型	052
2.1.2 集中配置型(液压站)	053
2.2 液压站的选择、设计与使用维护	057
2.2.1 液压站的选择	057
2.2.2 液压站的设计	057
2.2.3 液压站的使用维护要点	057

3.1 液压阀及其选型	059
3.1.1 液压阀的功用及一般构成	059
3.1.2 液压阀的分类	059
3.1.3 液压阀的基本性能参数与基本要求	060
3.1.4 常用液压阀产品	061
3.1.5 液压阀的选型	069
3.2 液压阀组及其集成化方式	069
3.2.1 有管集成	069
3.2.2 无管集成	069
3.3 无管集成液压阀组的设计流程	070
3.4 油路块(阀块)的共性要求	070
3.4.1 加工图样及材料的选择	070
3.4.2 液压元件安装面(孔)的加工余量及精度要求	071
3.4.3 油口连接件及其螺纹	071
3.4.4 工艺孔开设及其封堵	073
3.5 液压阀组总装图内容及要求	073
3.6 液压阀组的板式集成	074
3.6.1 结构特征	074
3.6.2 设计要点	076
3.7 液压阀组的块式集成	079
3.7.1 结构特征	079
3.7.2 设计要点	079
3.7.3 通用集成块系列	085
3.7.4 集成块的商品化产品	091
3.8 液压阀组的叠加阀式集成	091
3.8.1 结构特征	091
3.8.2 设计要点	091
3.9 液压阀组的插入式集成	095
3.9.1 结构特征	095
3.9.2 设计要点	095
3.10 液压阀组的复合式集成	097
3.11 油路块的计算机辅助设计(CAD)	097
3.11.1 油路块CAD的意义	097
3.11.2 油路块CAD软件的类型	098
3.11.3 油路块CAD软件的组成和选用	098
3.12 油路块的轻型化	101
3.12.1 轻型化油路块与传统油路块的主要区别	101
3.12.2 轻型化油路块的设计制造要点	102

4.1 液压泵站的组成及类型	104
4.1.1 液压泵站的组成	104

4.1.2 液压泵站的分类	104
4.2 液压泵及其选型	108
4.2.1 液压泵的功用及一般构成	108
4.2.2 液压泵的分类	108
4.2.3 液压泵的主要参数	108
4.2.4 常用液压泵产品及选型	110
4.3 液压泵组及其连接与安装	110
4.3.1 布置方式及轴间连接方式	111
4.3.2 安装方式	112
4.3.3 液压泵的安装姿态	114
4.3.4 防锈与精度要求	115
4.3.5 液压泵组的传动底座	115
4.3.6 防振降噪措施及隔振器	115
4.3.7 液压泵组的工作图样	116
4.4 液压油箱及其附件	117
4.4.1 油箱的功能	117
4.4.2 常用油箱类型	117
4.4.3 一种新型油箱(自清洁油箱)	119
4.4.4 油箱的容量	120
4.4.5 标准油箱的规格及外形尺寸	121
4.4.6 油箱结构及其设计和使用要点	121
4.4.7 油箱的工作图样和制造工艺	131
4.4.8 油箱产品	133
4.5 蓄能器组件	135
4.5.1 蓄能器组件的设计与安装	135
4.5.2 蓄能器组件使用注意事项	138
4.6 液压介质的使用及管理	139
4.6.1 对液压介质的要求	139
4.6.2 液压油(液)合理使用要点	140
4.6.3 液压油液的更换(换油)方法及注意事项	141
4.6.4 进口液压设备换用国产油液要点	142
4.6.5 液压介质的污染及其控制	143
4.6.6 费旧液压油的再生处理	148

第5章 液压站总成

Page 150

5.1 管路选择、布置与连接	150
5.1.1 管路作用及要求	150
5.1.2 管路的选定与布置	151
5.1.3 管路的连接	156
5.2 电气控制装置	162
5.2.1 功用与类型	162
5.2.2 继电器触式电气控制	162
5.2.3 可编程序控制(PLC)	167
5.2.4 线缆的选择与布置	176

5.2.5 电气控制柜(箱)的设计与配置	177
5.3 液压站总图的设计绘制及其 CAD	177
5.3.1 液压站总图的作用及绘制要点	177
5.3.2 液压管路布置 CAD 及液压站总成的 CAD	179
5.4 液压站技术文件的编制	180
5.5 全面审查	180
5.5.1 总体审查	181
5.5.2 组成元件审查	181

第 6 章 液压站典型产品

Page 182

6.1 YZ 系列液压站	182
6.1.1 功用及组成	182
6.1.2 结构型式、主要技术参数及型号意义	182
6.1.3 外形尺寸	183
6.2 SYZ 系列液压站	184
6.3 TND360-2 型液压站	185
6.4 UZ 系列微型液压站	185
6.4.1 结构特点及订货	185
6.4.2 主要技术性能及型号意义	186
6.4.3 常用基本回路	187
6.4.4 外形结构尺寸	187
6.5 BZ 系列超高压油泵站	187
6.6 UP 系列液压动力包(液压动力单元)	188
6.6.1 概貌	188
6.6.2 型号意义及标记示例	189
6.6.3 技术规格	190
6.6.4 外形尺寸	197
6.7 SYB 系列手动油泵	198

第 7 章 液压站(系统)的安装调试、运转维护与故障排除

Page 200

7.1 液压站(系统)的安装	200
7.1.1 安装准备	200
7.1.2 确定安装程序与方案	200
7.1.3 液压元件和管件的质量检查	201
7.1.4 液压阀组的安装要求	202
7.1.5 液压泵站的安装要求	204
7.1.6 液压执行元件的安装要求	207
7.1.7 液压管道的安装和清洗要求	207
7.2 液压站(系统)的调试	212
7.2.1 调试目的	212
7.2.2 调试类型及准备	212
7.2.3 调试的一般顺序	213
7.2.4 出厂试验	213
7.2.5 总体调试	217

7.2.6	液压控制系统的调试要点	217
7.2.7	液压站(系统)的调整	218
7.3	液压站(系统)的运转与维护	219
7.3.1	运转维护的一般注意事项	219
7.3.2	液压系统的检查(点检)	220
7.3.3	液压系统的定期维护内容与要求	221
7.3.4	液压站(系统)的检修	222
7.3.5	液压站(系统)的泄漏与密封	224
7.4	液压站(系统)的故障排除	230
7.4.1	液压故障的定义	230
7.4.2	液压站(系统)的常见故障类型	230
7.4.3	液压站(系统)的故障特点	231
7.4.4	液压站(系统)故障诊断策略及常用故障诊断方法	231
7.4.5	液压系统故障排除一般注意事项	234
7.4.6	液压故障现场快速诊断仪器简介	235
7.4.7	液压站(系统)常见共性故障与液压元件常见故障诊断排除	236

附 录

Page 254

附录 1	常用液压气动系统元件图形符号(摘自 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》)	254
附录 2	液压系统通用技术条件(摘自 GB/T 3766—2001)	259
附录 3	液压系统总成出厂检验技术条件(摘自 JB/T 58207—1993)	277

参考文献

Page 283

液压系统及其设计计算与举例

1.1 液压系统的组成部分

液压系统一般由液压元件（能源元件、执行元件、控制元件、辅助元件的统称）和工作介质两大部分组成，各部分的作用如表 1-1 所列。

表 1-1 液压系统的组成部分及作用

组 成 部 分			作 用	备 注
液 压 元 件	能源元件	液压泵及其原动机	将原动机(电动机或内燃机)供给的机械能转变为流体的压力能,输出具有一定压力的油液	①液压元件目前基本都已经系列化、通用化和标准化,为液压元件及系统的制造、选用和维护提供了方便 ②液压元件的基本参数有公称压力(MPa)、通径(mm)(主油口名义尺寸)或公称流量(L/min) ③液压元件产品铭牌包括的内容及相关规定主要有:元件铭牌应美观大方、线字清晰,并应符合产品铭牌的有关规定;铭牌应端正、牢固地装于元件的明显部位;铭牌内容至少应包括元件名称、型号及图形符号,元件主要技术参数,制造厂名称,出厂年月;对有方向要求的元件(如液压泵、马达的转向等)应在明显部位用箭头或相应记号标明
	执行元件	液压缸、液压马达和摆动液压马达	将工作介质(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	
	控制元件	各种压力、流量、方向控制阀及其它控制元件	控制调节系统中从动力源到执行元件的液体压力、流量和方向,从而控制执行元件输出的力、速度和方向,以保证执行元件驱动的主机工作机构完成预定的运动规律	
	辅助元件	油箱、过滤器、管件、热交换器、蓄能器及指示仪表等	用来存放、提供和回收工作介质(油液);滤除介质中的杂质、保持系统正常工作所需的介质清洁度;实现元件之间的连接及传输载能介质;显示系统压力、温度等	
工作介质		油或油水混合物	传递能量和工作及故障信号,对管路和元件进行冷却、润滑等	

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;而若干特定的基本功能回路连接或复合而成的总体则称为液压系统。液压回路及液压系统种类繁多,其型式与主机类型因工艺目的不同而异。

1.2 液压系统的表示

1.2.1 图形符号

液压系统原理图是用于描述整个系统的基本组成、工作原理、功能、工作循环及控制方式的说明性图样。系统原理图有多种表示方法,但一般采用标准图形符号进行绘制和表示。由于图形符号只表示液压元件的功能、操作(控制)方法及外部连接口,并不表示液压元件的具体结构、参数、连接口的实际位置及元件的安装位置等,故用来表示系统中各种元件的

作用和整个系统的组成、油路联系和原理，简单明了，便于画图、看图和技术交流，利用专门开发的计算机图形库软件，还可大大提高液压系统原理图的设计、绘制效率及质量。

我国迄今先后于 1965 年、1976 年、1993 年和 2009 年颁布了液压图形符号标准。现行标准是 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数据符号》（本书附录 1 列出了常用液压气动系统元件图形符号备查），它规定了液压元件标准图形符号和绘制方法。在 GB/T 786.1—1993 基础上，GB/T 786.1—2009 对每个图形符号按 GB/T 20063《简化图形符号》赋予唯一注册号 V1、V2、V3 等；符号的样品用 X 标示，流体传动技术领域的范围为 X10000~X39999；除了基本符号要素及其应用规则外，增加了二通盖板式插装阀图形符号以及 CAD 符号等。

图 1-1 和图 1-2 即分别为按 GB/T 786.1—2009 绘制的直线运动式机械液压系统（开式系统）原理图和回转运动式机械液压系统（闭式系统）原理图。为了便于读者识读液压系统原理图，现将图 1-1 和图 1-2 中的主要液压元件图形符号意义列于表 1-2 中。

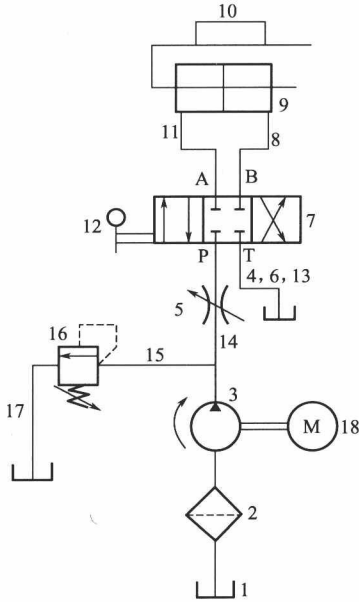


图 1-1 用图形符号绘制的直线运动式机械液压系统原理图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4,6,8,11,13,14,15,17—管
路；5—节流阀；7—换向阀；9—液压缸；10—工作台；
12—换向手柄；16—溢流阀；18—电动机

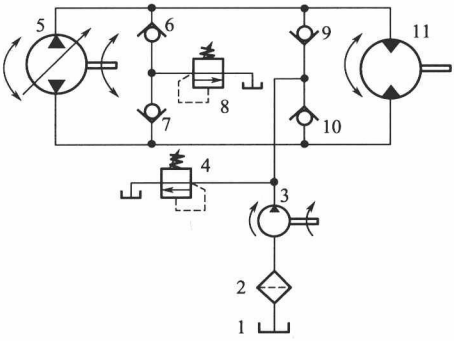


图 1-2 用图形符号绘制的回转运动式机械液压系统原理图

1—油箱；2—过滤器；3—单向定量液压泵；4,8—溢
流阀；5—双向变量液压泵；6,7,9,10—单
向阀；11—双向定量液压马达

表 1-2 图 1-1 和图 1-2 中主要液压元件图形符号意义

元件名称	图形符号及其意义	举 例
液压泵	由一个圆加上一个实心正三角形或两个实心正三角形来表示，正三角形箭头向外，表示压力油液的方向。一个实心正三角形的为单向泵，两个实心正三角的表示双向泵。圆上、下两垂直线段分别表示排油和吸油管路（油口）。图中无箭头的为定量泵，有箭头的为变量泵。圆侧面的双线和弧线箭头表示泵传动轴作旋转运动	图 1-1 和图 1-2 中元件 3 为单向定量泵，图 1-2 中的元件 5 为双向变量泵
液压马达	由一个圆加上一个实心正三角形或两个实心正三角形来表示，正三角形箭头向内，表示压力油液的方向。一个实心正三角形的为单向马达，两个实心正三角的表示双向马达。圆上、下两垂直线段分别表示进油和排油管路（油口）。图中无箭头的为定量马达，有箭头的为变量马达。圆侧面的双横线和弧线箭头表示马达传动轴作旋转运动	图 1-2 中的元件 11 为双向定量马达

续表

元件名称	图形符号及其意义	举 例
液压缸	用一个长方形加上内部的两条相互垂直的直线段表示,垂直线段表示活塞,活塞一侧带水平线段表示为单活塞杆缸,活塞两侧带水平线段表示为双活塞杆缸。图中有小长方形和箭头的表示缸带可调节缓冲器,无小长方形则表示缸不带缓冲器	图 1-1 中的元件 9 为不带缓冲器的双活塞杆液压缸
油箱	用半矩形表示	图 1-1 和图 1-2 中的元件 1 为油箱
过滤器	由等边菱形加上内部的虚线表示	图 1-1 和图 1-2 中的元件 2 为过滤器
换向阀	为改变油液的流动方向,换向阀的阀芯位置要变换,它通常可变动 2~3 个位置,而且阀体上的通路数(主油口数)也不同。根据阀芯可变动的位置数和阀体上的通路数,可组成×位×通阀。其图形意义为:换向阀的工作位置用方格表示,有几个方格即表示几位阀;方格内的箭头符号表示油流的连通情况(有时与油液流动方向一致)，“┐”或“┌”表示油液被阀芯封闭的符号,这些符号在一个方格内和方格的交点数即表示阀的通路数;方格外的符号为操纵阀的控制符号,控制形式有手动、机动、电动和液动等	图 1-1 中的元件 7 为三位四通手动换向阀
单向阀	由一小圆和其下方与其相切的两短倾斜线段表示,圆下方和上方的垂线分别表示阀的进油和排油管路	图 1-2 中的元件 6、7、9、10 均为单向阀
溢流阀	方格相当于阀芯,方格中的箭头表示油流的通道,两侧的直线代表进、出油管(口)。图中的虚线表示控制油路,压力阀就是利用控制油路的液压力与另一侧弹簧力相平衡的原理进行工作的	图 1-1 中的元件 16 与图 1-2 中的元件 4 及 8 均为溢流阀
节流阀	两圆弧所形成的缝隙即节流孔道,油液通过节流孔使流量减少,图中的箭头表示节流孔的大小可以改变,亦即通过该阀的流量是可以调节的	图 1-1 中的元件 5 为节流阀

1.2.2 液压系统原理图的绘制和分析识读

(1) 按 GB/T 786.1 绘制液压系统图的主要注意事项

① 元件图形符号的大小可根据图纸幅面大小按适当比例增大或缩小绘制,以清晰美观为原则。

② 元件的状态一般以未受激励的非工作状态(例如电磁换向阀应为断电后的工作位置)画出。

③ 元件的方向在不改变标准定义的初始状态含义的前提下,可视具体情况水平翻转或 90°旋转进行绘制,但液压油箱必须水平绘制且开口向上。

(2) 分析识读液压系统原理图的方法要点

① 识读意义及要求 正确、迅速地分析和阅读液压系统原理图,对于液压机械的设计制造、安装调试、使用维修及故障诊断排除均具有重要的指导作用。但是,要能正确而又迅速地阅读液压系统图,首先必须掌握各类液压元件及各种基本回路的构造、原理、特点与综合应用,了解液压系统的控制方式、图形符号及其相关标准。其次,结合实际液压机械及其系统原理图,尽可能多地识读和练习,积累分析经验和技巧,掌握各种典型液压系统的特点,这对于今后识读新的液压系统,可起到举一反三、触类旁通和熟能生巧的作用。

② 识读方法步骤及注意事项

a. 全面了解液压机械(主机)的功能、结构、工作循环及对液压系统的主要要求。例如组合机床动力滑台液压系统,它是以速度转换为主的系统,除了能实现滑台的快进→工进→快退的基本工作循环外,还要特别注意速度转换的平稳性等指标;再如液压机液压系统,它是以压力变换和控制为主的系统,其主缸除了能驱动滑块实现快进→慢速加压→保压

释压→快退的基本工作循环外，还要了解其保压性能指标及主缸与顶出缸的动作互锁关系。同时要了解系统的控制信号源及其转换和电磁铁动作表等。

b. 查阅组成液压系统原理图中的所有元件及其连接关系，分析它们在系统中的具体作用及其组成回路的功能。对一些用半结构图表示的专用元件（如磨床液压系统中机-液换向阀组成的液压操纵箱），要特别注意它们的结构及工作原理，要读懂各种控制装置及变量机构。

c. 分析液压系统工作原理，仔细分析并写出各执行元件的动作循环和各工况下系统的油液流动路线或油流表达式。为便于阅读，最好先将液压系统中的各条油路分别进行编码，然后按执行元件划分读图单元，每个读图单元先看动作循环，再看控制回路、主油路。要特别注意系统从一种工作状态转换到另一种工作状态时，是由哪些元件发出的信号，又是使哪些控制元件动作并实现的。

d. 分析归纳出液压系统的特点。在读懂原理图基础上，还应进一步对系统进行分析，以便评价液压系统的优缺点，使所使用或设计的液压系统不断完善。分析归纳时应考虑以下几个方面：液压基本功能回路是否符合主机的动作及性能要求；各主油路之间，主油路与控制油路之间有无矛盾和干涉现象；液压元件的代用、变换与合并是否合理、可行、经济；液压系统性能的改进方向。

e. 识读液压系统原理图时的注意事项

i. 应对液压系统各组成元件的结构原理有所了解或较为熟悉。

ii. 分清主油路和控制油路。主油路的进油路起始点为液压泵压油口，终点为执行元件的进油口；主油路的回油路起始点为执行元件的回油口，终点为油箱（开式循环油路）或执行元件的进油口（液压缸差动回路）或液压泵吸油口（闭式循环油路）。控制油路也应弄明来源（例如主泵还是单独设置的控制泵）与控制对象（液控单向阀或电液控制阀）。

iii. 可借助主机动作循环图和动作循环表，用文字叙述或用油流表达式描述其油液流动路线。

例如图 1-1 所示液压系统在工作台右行时，用油流表达式写出的油液流动路线如下。

进油路：液压泵 3→管路 14→节流阀 5→换向阀 7（P→A）→管路 11→液压缸 9（左腔）。

回油路：液压缸 9（右腔）→管路 8→换向阀 7（B→T）→管路 4→油箱 1。

1.3 液压系统的设计要点

1.3.1 设计计算内容步骤

液压系统的设计是指组成一个新的能量传递系统，以完成一项专门的任务。液压系统有传动系统和控制系统之分，二者的结构组成及工作原理并无本质差别，设计内容上的主要区别在于前者侧重静态性能设计，而后者除了静态性能外，还包括动态性能设计。通常，液压传动系统的设计内容与方法只要略作调整即可直接用于液压控制系统的设计。

液压传动系统的设计与主机的设计是紧密联系的，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。实际设计工作中，往往将追求效能和追求安全二者结合起来，并按图 1-3 的内容与流程来设计液压传动系统。但由于各类主机设备对系统的要求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，或将其某些内容与步骤合并交叉进行。

1.3.2 明确技术要求

主机的技术要求是液压系统设计及验收的出发点和根据。设计者与用户应在起初经过讨论,详细了解 and 掌握如下要求,并在设计任务书或技术协议中逐一作出规定。

① 主机的用途、结构布局(卧式、立式等)、使用条件(连续运转、间歇运转)、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,所需执行元件的形式和数量,执行元件的工作范围、尺寸、重量和安装等限制条件。

② 各执行元件的动作循环与周期及各机构运动之间的联锁和安全要求。

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 原动机类型(电动机还是内燃机)及其功率特性。

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,如投资规模与费用、运行能耗和维护保养费用等。

1.3.3 配置执行元件并确定动作顺序

液压执行元件有液压缸、液压马达和摆动液压马达,其数量和安装位置及与其驱动的工作机构的连接关系和方式,与主机的结构布局和运动部件的类型、数量等相关。在考虑整机总体方案时,应同时确定液压执行元件的具体型式、数量和动作顺序及其工作范围、尺寸、重量和安装等限制条件。在工程实际中,经常需按主机结构和动作特点,通过与其它机构(如连杆、齿轮和丝杠螺母等)有机地配合,构成液压-机械工作机构,以满足工作机构动作要求,同时达到简化液压系统、降低设备造价、改善执行元件的负载状况和运动机构性能的目的。

选定执行元件的型式与数量后,即可将机器的循环时间合理细分为各执行元件的顺序动作时间、间歇时间等,并作出执行元件动作循环图(图1-4)或动作周期顺序图(图1-5)。

1.3.4 负载分析和运动分析

负载分析和运动分析统称为液压系统的工况分析,是确定系统主要参数的基本依据。工况分析就是分析每个液压执行元件在各自工作循环中的负载随时间(或位移)和速度随时间(或位移)的变化规律,并用负载循环图[负载随时间(或位移)变化的曲线]和运动循环图[位移及速度随时间变化的曲线或速度随位移变化的曲线]加以表示,以便了解运动过程

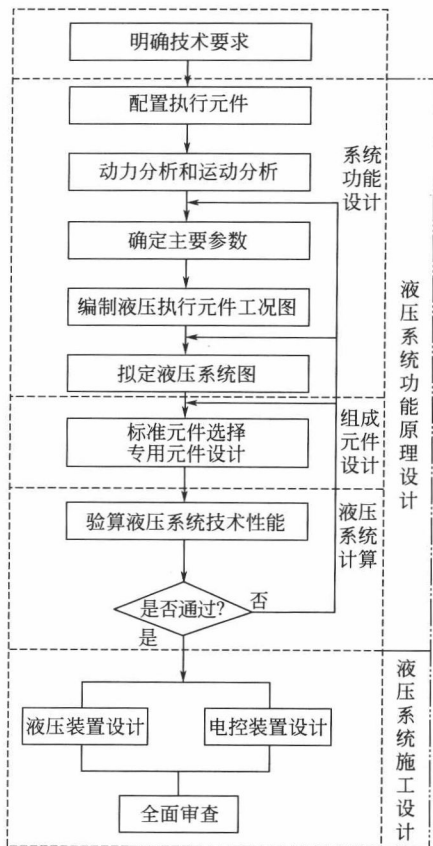


图 1-3 液压传动系统的一般设计流程

的本质，查明每个执行元件在其工作中的负载、位移及速度的变化规律，并找出最大负载点和最大速度点。对于动作较为简单的主机，这两种图均可省略。

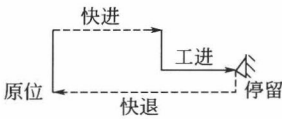


图 1-4 典型动作循环图
(组合机床动力滑台液压缸)

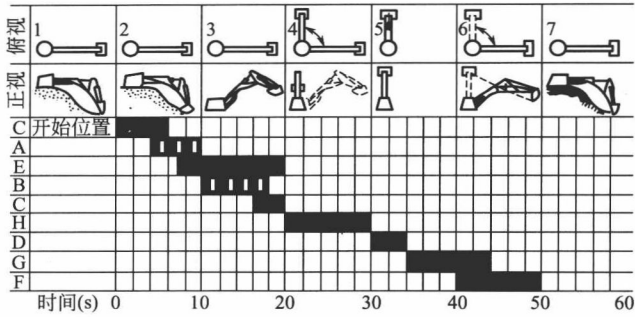


图 1-5 典型执行元件动作周期顺序图（液压挖掘机）
A—斗杆缸伸出；B—斗杆缸缩回；C—铲斗缸伸出；D—铲斗缸缩回；
E—动臂缸伸出；F—动臂缸缩回；G—顺时针回转；H—逆时针回转

(1) 负载分析（负载循环图）

工艺目的不同的液压系统，负载分析的重点不同。例如对于驱动加工机械工作机构的执行元件，着重点在负载与各工况阶段的时间关系；对于驱动工程机械作业机构的执行元件，着重点为重力在各个位置上的情况。

液压执行元件的外负载包括工作负载、摩擦负载和惯性负载三类。其中工作负载有阻力负载（与运动方向相反而阻止运动的负载，又称正负载）和超越负载（与运动方向相同而助长运动的负载，又称负负载）两种类型；摩擦负载是指液压执行元件驱动工作机构时所克服的机械摩擦阻力负载，它又有静摩擦负载和动摩擦负载两种类型；惯性负载是由于速度变化产生的负载。执行元件的负载大小可由主机规格确定，也可用试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元件在一个循环中的工况及相应的负载类型。

液压执行元件（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 1-3，其中摩擦负载可根据导轨形式及摩擦表面的材料与性质，在选定静、动摩擦因数 μ_s 、 μ_d 后（通常 $\mu_s=0.1\sim0.2$ ， $\mu_d=0.05\sim0.12$ ）后算得；惯性负载为运动部件在启动和制动时的惯性力，加速时为正，减速时为负。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，示例见图 1-6）。

表 1-3 液压执行元件的外负载计算公式

工 况	负载力 F/N	负载力矩 $T/N \cdot m$	说 明
启动	$\pm F_e + F_{fs}$	$\pm T_e + T_{fs}$	F_e 、 T_e —液压执行元件的工作负载，力、力矩，阻力负载取“+”，超越负载取“-”； 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
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	$\pm F_e + F_{fd} - F_i$	$\pm T_e + T_{fd} - T_i$	

(2) 运动分析（运动循环图）

运动循环图即速度循环图（ $v-t$ 图，示例见图 1-6），反映了执行机构在一个工作循环中的运动规律。绘制速度循环图是为了计算液压执行元件的惯性负载及绘制其负载循环图，故绘制速度循环图通常与负载循环图同时进行。

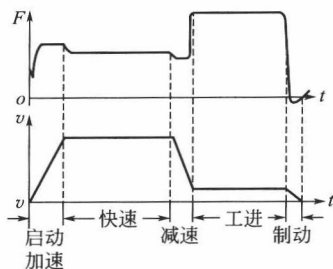


图 1-6 液压缸的负载循环图和速度循环图

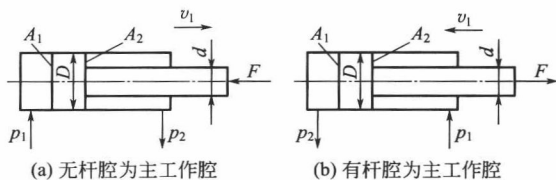


图 1-7 液压缸主要设计参数

1.3.5 确定液压系统主要参数、编制液压执行元件工况图

液压系统的主要参数是压力、流量和功率，它们是选择系统方案及选择液压元件的主要依据。压力决定于外负载；流量取决于液压执行元件的运动速度和结构尺寸。通常，首先选择执行元件的设计压力，并按最大外负载和选定的设计压力计算执行元件的主要结构尺寸，然后根据对执行元件的速度（或转速）要求，确定其输入流量。压力和流量一经确定，即可确定其功率，并作出液压执行元件的工况图〔一个循环周期内，液压执行元件的工作压力、输入流量及输入功率对时间（或行程）的变化曲线图〕。

（1）初选执行元件的设计压力

液压执行元件设计压力的选取，主要应考虑如下因素：执行元件及其它液压元件、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。在负载一定情况下，设计压力低，势必加大执行元件的结构尺寸和重量，对某些机械如航空器来说，尺寸受到限制，从材料消耗角度而言也不经济；反之，设计压力选得太高，对液压元件的材质、密封及制造精度也要求很高，必然又提高设备成本。通常，对于固定的尺寸不太受限制的机械设备，可选低一些的压力；对行走机械、重载设备，其压力可选得高一些。具体可按负载大小来选取（见表 1-4）或用类比法按主机类型来选择执行元件的设计压力（表 1-5）。

表 1-4 根据负载选择液压执行元件设计压力

负载/kN	<5	5~10	10~20	20~30	30~50	50
设计压力/MPa	<0.8~1	1.5~2	2.5~3	3~4	4~5	>5

表 1-5 根据主机类型选择液压执行元件的设计压力

主机类型		设计压力/MPa	说 明
机床	精加工机床	0.8~2	当压力超过 32MPa 时，称为超高压压力
	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	

（2）计算和确定液压缸的主要结构尺寸与液压马达的排量

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