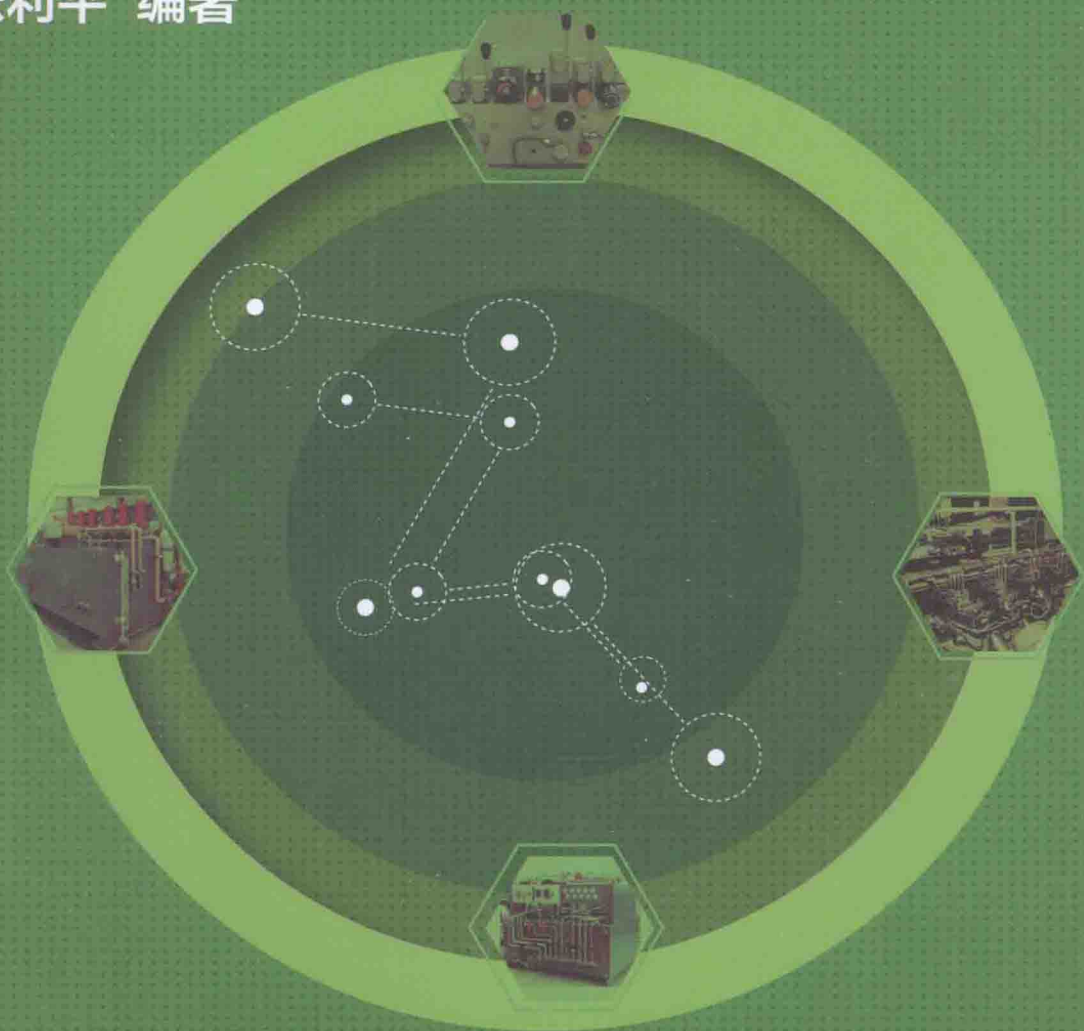


现代液压气动应用技术
丛书

XIANDAI YEYA QIDONG YINGYONG
JISHU CONGSHU

液压传动系统设计要点

张利平 编著

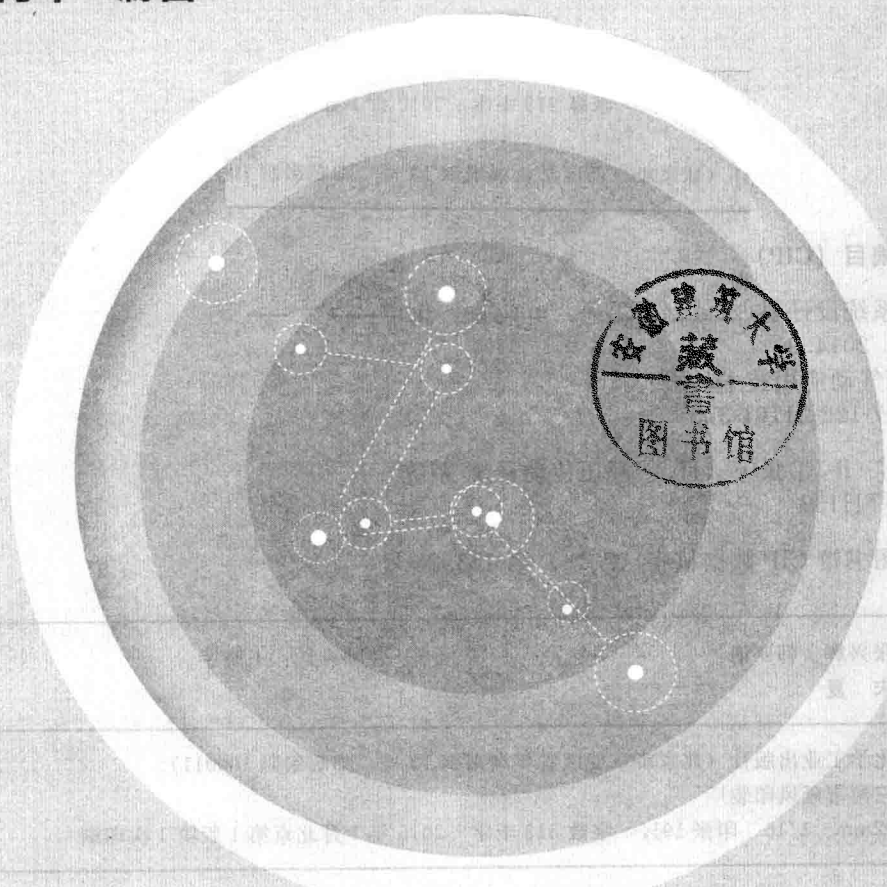


化学工业出版社

现代液压气动应用技术
丛书 

液压传动系统设计要点

张利平 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

《液压传动系统设计要点》是“现代液压气动应用技术丛书”之一。本书全面介绍了液压系统的设计计算方法要点、实例和必备的资料,重点从功能原理到结构施工,全面详细地介绍了液压传动系统的设计计算流程、方法要点及设计禁忌,按不同行业或不同工况特点给出了若干典型设计实例;同时介绍了常用液压基本回路、典型液压系统、液压装置设计典型结构图例等系统设计必备内容。全书所有液压回路和系统图均采用最新国标图形符号进行绘制。书中还穿插介绍了液压 CAD、计算机模拟仿真等先进技术以及近年出现的新系统、新设备和新结构,以拓宽读者视野。为了便于读者查阅和设计使用,附录给出了现行国家标准 GB/T 786.1—2009 中常用液压气动图形符号。

本书简明扼要、新颖翔实、图文并茂,具有先进性、系统性、指导性及工程实用性的鲜明特点,可使读者快速掌握液压传动系统的设计方法要点,解决液压系统设计工作中的实际问题,提升液压技术的设计使用水平和工作效率。

本书读者对象为各行业液压技术的设计制造、安装调试、使用维护及设备管理的工程技术人员、现场操作人员和管理人员,并可作为工科院校研究生、大学生液压传动课堂教学、课程设计、毕业设计及项目开发的参考书,也可作为科研院所、工矿企业和技术培训机构的短期培训参考教材资料。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动系统设计要点/张利平编著. —北京:化学工业出版社, 2014. 9

(现代液压气动应用技术丛书)

ISBN 978-7-122-21161-3

I. ①液… II. ①张… III. ①液压传动系统-系统设计 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 143526 号

责任编辑:张兴辉 韩亚南
责任校对:宋 夏

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 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19¼ 字数 513 千字 2015 年 1 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: 78.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

液压传动系统是大多工业液压机械和行走液压机械所使用的传动系统,其油路结构、构成元件和系统性能是否正确合理,对液压主机的可靠性、安全性和技术经济性能的优劣至关重要。《液压传动系统设计要点》一书作为“现代液压气动应用技术丛书”之一,将为液压工作者特别是有一定液压基础知识的工程技术人员、设计人员以及液压设备使用、维修人员,在液压传动系统的功能原理设计和技术(结构)设计方面提供便捷的方法及经验、最新最实用的资料数据,以适应当前液压技术发展和应用的日新月异现状,满足各行业液压技术工作者的实际需要,提升读者液压传动系统的设计和使用的维护水平。

本书是在编著者总结多年科研设计、教学培训及为企业解决难题的经验、心得并广泛搜集国内外信息资料基础上编写而成。全书以较小篇幅,全面介绍了液压系统的设计计算方法要点、实例和必备的资料,重点从功能原理到结构施工,全面详细地介绍了液压传动系统的设计计算流程、方法要点及设计禁忌,并按不同行业或不同工况特点给出了典型设计实例;同时对常用液压基本回路的组成、特点和选用要点进行了介绍;在阐述液压系统的评价方法基础上,对多个典型液压系统从主机功能结构、系统工作原理及特点等方面进行了详尽分析,给出了液压装置设计典型结构图例系统设计必备内容。全书所有液压回路和系统图均采用最新国标图形符号进行绘制。为了拓宽读者眼界,书中还穿插介绍了计算机辅助设计(CAD)、计算机模拟仿真等先进技术以及近年出现的新系统、新设备和新结构。附录给出了现行国家标准 GB/T 786.1—2009 中的常用液压气动图形符号以及液压系统通用技术条件,以便读者查阅和设计使用。

本书简明扼要、新颖翔实、图文并茂,具有先进性、系统性、指导性及工程实用性的鲜明特点,对于读者快速了解和掌握液压传动系统的设计方法要点,解决液压系统设计工作中的实际问题,提升液压技术的设计使用水平和工作效率具有重要作用。本书读者对象为各行业液压技术的设计制造、安装调试、使用维护及设备管理的工程技术人员、现场操作人员和管理人员,并可作为工科院校研究生、大学生液压传动课堂教学、课程设计、毕业设计及项目开发的参考书,也可作为科研院所、工矿企业和技术培训机构的短期培训参考教材。

本书由张利平编著。张津、山峻、张秀敏和王伟等参与了本书的前期策划及资料的搜集整理、部分插图的绘制和文稿的录入校对整理工作。王金业、樊志涛、向其兴、刘健、耿卫晓、岳玉晓、冯德兵、窦赵明、刘鹏程等参与了本书部分插图的绘制工作。参与本书相关工作的还有李珊、周湛学、黄涛、史玉芳等。

感谢国内外众多厂家(公司)以及作者的学生对本书所提供的支持与帮助,他们提供了最新的技术成果、信息、经验,以及翔实生动的现场资料或建设性意见,在此还要感谢本书参考文献的各位作者。欢迎液压界同行专家及广大读者对书中不当之处进行指正。

编著者



目 录

CONTENTS

第 1 章 液压传动系统设计计算流程	1
1.1 液压传动系统的设计内容与步骤	1
1.2 明确技术要求	2
1.3 执行元件的配置及动作顺序的确定	2
1.4 动力分析和运动分析	5
1.4.1 负载分析计算 (负载循环图)	6
1.4.2 运动分析 (运动循环图)	8
1.5 确定液压系统主要参数, 编制液压执行元件工况图	8
1.5.1 预选执行元件的设计压力	8
1.5.2 计算和确定液压缸的主要结构尺寸和液压马达的排量	9
1.5.3 编制液压缸或液压马达的工况图	11
1.6 液压系统原理图的拟定及 CAD	12
1.6.1 液压回路方案制定	12
1.6.2 液压系统的组合及原理草图的绘制	15
1.6.3 液压系统原理图 CAD	16
1.7 元件选型与设计	17
1.7.1 选择液压元件时一般应考虑的问题	18
1.7.2 液压泵的选择	18
1.7.3 液压执行元件的确定	24
1.7.4 液压控制阀的选择	26
1.7.5 液压辅助元件的选择	29
1.7.6 液压工作介质的选择	37
1.7.7 液压元件选型自动计算	39
1.8 液压系统主要性能验算	41
1.8.1 液压系统压力损失验算	41
1.8.2 液压系统效率 η 的估算	43
1.8.3 液压系统发热温升估算及热交换器的选择	44
1.8.4 液压冲击验算	45
1.9 液压系统施工设计的目的与内容	46
1.10 液压装置的结构类型及其适用场合	47
1.10.1 分散配置型液压装置	47
1.10.2 集中配置型液压装置 (液压站)	47
1.11 液压阀组的集成化设计及 CAD	52
1.11.1 集成方式	52
1.11.2 无管集成液压阀组的类型、设计流程及共性要求	52

1. 11.3	块式集成液压阀组的设计要点	59
1. 11.4	通用集成块系列	65
1. 11.5	油路块的 CAD	70
1. 12	液压泵站（液压动力源装置）的设计	75
1. 12.1	液压泵站的组成	75
1. 12.2	液压泵站的分类	75
1. 12.3	液压油箱及其设计、制造与选用	78
1. 12.4	液压泵组的结构设计要点	92
1. 12.5	蓄能器组件的设计、安装及使用要点	94
1. 13	液压站的结构总成及 CAD	98
1. 13.1	管路选择、布置与连接	98
1. 13.2	电控装置的设计要点	108
1. 13.3	液压站总成装配图的设计与绘制	108
1. 13.4	液压站结构总成的 CAD	109
1. 14	技术文件的编制	110
1. 15	全面审查	111
1. 15.1	总体审查	111
1. 15.2	组成元件审查	111

第2章 液压传动系统典型设计计算实例 112

2.1	钻孔组合机床液压系统设计计算	112
2.1.1	明确技术要求	112
2.1.2	执行元件的配置	112
2.1.3	运动分析和动力分析	112
2.1.4	液压系统主要参数计算和工况图的编制	114
2.1.5	制定液压回路方案，拟定液压系统原理图	115
2.1.6	计算和选择液压元件	115
2.1.7	验算液压系统性能	117
2.2	板料折弯液压机系统设计计算	120
2.2.1	技术要求及已知条件	120
2.2.2	液压执行元件的配置	120
2.2.3	动力分析和运动分析	120
2.2.4	确定液压缸主要尺寸，编制液压缸工况图	121
2.2.5	制定基本方案，拟定液压系统图	123
2.2.6	液压元件选型	123
2.3	单缸传动压力机液压系统设计计算	124
2.3.1	技术性能要求	124
2.3.2	计算确定液压缸主要参数（内径 D 及活塞杆直径 d ）	124
2.3.3	拟定液压系统原理图	125
2.3.4	计算确定液压泵和电机规格型号	125
2.4	250g 塑料注射成型机液压系统设计计算	126
2.4.1	主机功能结构与技术要求	126
2.4.2	配置液压执行元件	127
2.4.3	液压执行元件工况分析计算	127
2.4.4	计算和确定液压系统主要参数	128

2.4.5	拟定液压系统图	130
2.4.6	选择与设计液压元件	131
2.4.7	验算液压系统性能	133
2.5	单斗挖掘机液压系统设计计算	133
2.5.1	主机功能及技术要求	133
2.5.2	系统分析	133
2.5.3	主要元件选型计算	134
2.6	叉车液压系统综合计算	135
2.6.1	已知条件和计算内容	135
2.6.2	液压马达最大力矩、工作压力、流量及其驱动功率的计算	135
2.7	工程船舶舵机液压系统的设计计算	136
2.7.1	主机功用与已知条件	136
2.7.2	液压系统图的拟定及原理说明	137
2.7.3	主要液压元件的计算与选择	138
第3章	液压系统设计禁忌及失误实例分析	141
3.1	液压系统功能原理设计禁忌	141
3.1.1	传动方案拟定禁忌	141
3.1.2	明确设计依据和技术要求禁忌	141
3.1.3	配置液压执行元件禁忌	142
3.1.4	确定液压系统主要参数禁忌	142
3.1.5	拟定液压系统图禁忌	143
3.1.6	液压元件选型或设计禁忌	145
3.1.7	液压系统性能计算禁忌	150
3.2	液压系统施工设计禁忌	150
3.2.1	液压装置的结构类型选择禁忌	150
3.2.2	液压控制阀组中油路块设计禁忌	151
3.2.3	液压泵站设计禁忌	152
3.2.4	液压站总成设计及配管禁忌	153
3.3	液压系统设计失误实例分析	155
3.3.1	回路组成不合理实例分析	155
3.3.2	元件选择及设置不当实例分析	162
3.3.3	管路配置不合理实例分析	169
3.3.4	液压装置设计不合理实例分析	171
第4章	液压基本回路及其选用	176
4.1	压力控制回路	176
4.1.1	调压回路	176
4.1.2	减压回路及其常见故障诊断排除	179
4.1.3	增压回路	181
4.1.4	卸荷回路	182
4.1.5	平衡回路	185
4.1.6	保压回路和泄压(释压)回路	187
4.1.7	缓冲回路	190
4.1.8	制动回路	191
4.2	速度控制回路	192

4.2.1	调速原理及分类	192
4.2.2	节流调速回路	192
4.2.3	容积调速回路	196
4.2.4	容积节流调速回路	199
4.2.5	有级调速回路	200
4.2.6	快速运动回路(增速回路)	201
4.2.7	速度换接回路(减速回路)	205
4.3	方向控制回路	207
4.3.1	换向回路及其常见故障诊断排除	208
4.3.2	锁紧回路(位置保持回路)	211
4.4	多执行元件动作控制回路	213
4.4.1	顺序动作回路及其常见故障诊断排除	213
4.4.2	同步动作回路	216
4.4.3	防干扰回路	219
4.5	叠加阀控制回路	220
4.5.1	叠加阀及其控制回路的特点及分类	220
4.5.2	叠加阀控制回路实例	221
4.5.3	绘制设计叠加阀控制回路的注意事项	221
4.6	插装阀控制回路	222
4.6.1	插装阀的特点及分类	222
4.6.2	插装阀方向控制回路	222
4.6.3	插装阀压力控制回路	226
4.6.4	插装阀速度控制回路	228
4.6.5	插装阀复合控制回路	228
4.7	常用液压油源回路	229
4.7.1	开式液压系统油源回路	229
4.7.2	闭式液压系统油源回路及补油泵回路	230
4.7.3	压力油箱油源回路	230
第5章	典型液压系统及其分析	231
5.1	典型液压系统分析的意义	231
5.2	液压传动系统的分类、评价与分析内容及方法要点	231
5.2.1	液压传动系统的分类	231
5.2.2	液压传动系统的评价	238
5.2.3	液压传动系统分析的内容及方法要点	240
5.3	速度变换与控制为主的系统——YT4543型组合机床动力滑台液压传动系统	241
5.3.1	主机功能结构	241
5.3.2	液压系统分析	242
5.3.3	液压系统特点	243
5.4	连续直线往复运动为主的系统——M1432A型万能外圆磨床的液压系统	243
5.4.1	主机功能结构	243
5.4.2	液压系统分析	244
5.4.3	液压系统特点	246
5.5	压力变换与控制为主的系统之一——YA32-200型四柱万能液压机普通阀液压系统	247
5.5.1	主机功能结构	247
5.5.2	液压系统分析	247

5.5.3 液压系统特点	249
5.6 压力变换与控制为主的系统之二——5000kN 冲压机插装阀集成液压系统	250
5.6.1 主机功能结构	250
5.6.2 液压系统分析	250
5.6.3 液压系统特点	251
5.7 压力变换与控制为主的系统之三——滚筒洗衣机玻璃门压力机电液比例控制系统	252
5.8 多路换向为主的液压系统之一——QY 型汽车起重机液压系统	252
5.8.1 主机功能结构	252
5.8.2 液压系统分析	253
5.8.3 液压系统特点	255
5.9 多路换向为主的液压系统之二——WY-100 型履带式全液压单斗挖掘机的液压系统	255
5.9.1 主机功能结构	255
5.9.2 液压系统分析	256
5.9.3 液压系统特点	257
5.10 液力液压复合系统——TY320 履带式推土机液压系统	258
5.10.1 主机功能结构	258
5.10.2 工作装置液压系统分析	259
5.10.3 液力传动补偿系统分析	260
5.10.4 液压转向系统分析	261
5.11 多执行元件顺序动作、多级压力调节和多级速度变换的液压系统 之一——SZ-1000 型注塑机开关阀液压系统	261
5.11.1 主机功能结构	261
5.11.2 液压系统分析	262
5.11.3 液压系统特点	262
5.12 多执行元件顺序动作、多级压力调节和多级速度变换的液压系统 之二——XS-ZY-250A 型注塑机比例阀液压系统	264
5.12.1 主机简介	264
5.12.2 液压系统分析	265
5.12.3 液压系统特点	267
第 6 章 液压装置设计典型结构图例	269
6.1 典型液压缸装配图及零件图	269
6.1.1 组合机床动力滑台液压缸（单杆双作用活塞缸）装配图及零件工作图	269
6.1.2 回转窑活动挡轮液压缸（单杆单作用活塞缸）装配图及零件工作图	269
6.1.3 压力机液压缸（单杆双作用活塞缸）装配图及零件工作图	269
6.1.4 夹紧液压缸（单杆双作用活塞缸）装配图及零件工作图	269
6.1.5 耳环式双作用单杆活塞液压缸结构图	269
6.1.6 驱动机床工作台用空心双杆活塞式液压缸结构图	280
6.2 液压站典型装配图及零件图示例	280
6.2.1 液压站总成装配图	280
6.2.2 液压阀组装配图	281
6.2.3 液压油箱装配图及零件图	281
6.2.4 液压泵组装配图及零件图	281
6.2.5 两种标准联轴器的性能及具体规格尺寸	289
附录 常用液压气动图形符号（GB/T 786.1—2009 摘录）	292
参考文献	299



第 1 章

Chapter 01

液压传动系统设计计算流程

1.1 液压传动系统的设计内容与步骤

液压系统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。

众所周知，液压系统有传动系统和控制系统之分，尽管二者的工作特征及追求目标不尽相同，但二者的结构组成或工作原理并无本质差别。在设计内容上，二者的主要区别是，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，液压系统设计即指液压传动系统的设计，其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。

作为液压机械的传动系统，其设计无疑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、气动和液压等传动方式进行综合比较和论证，决定应用液压传动之后，液压系统的设计与主机的设计往往同时进行。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。在目前的实际设计工作中，多是将追求效能和追求安全二者结合起来，并按图 1-1 所示内容与步骤来设计液压系统。即在明确技术要求基础上，首先进行功能原理设计，然后进行施工图设计。但由于各类主机设备对系统应用场合、使用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模拟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。

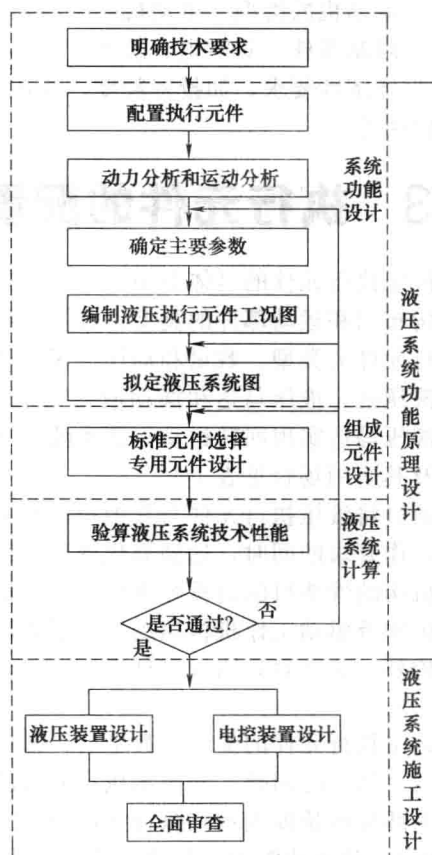


图 1-1 液压传动系统的一般设计流程

1.2 明确技术要求

主机的技术要求是设计液压系统的依据和出发点。设计前应通过讨论并辅以调查研究,以求定量了解和掌握下列技术要求,并通过设计任务书或技术协议书(合同)形式加以确定。

① 主机用途(工艺目的)及流程、结构布局(卧式、立式、倾斜等)、使用条件(连续运转、间歇运转、特殊液体的使用)、性能、使用条件和工作环境情况(如室内或室外,工作时间是一班制、两班制、还是三班制,温度、湿度、尘埃、冲击振动、易燃易爆及腐蚀等)。

② 哪些机构需要采用液压传动,各工作机构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 液压驱动机构的运动特性,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。

④ 液压驱动机构的工作负载的性质及大小,是阻力负载还是超越负载、恒值负载还是变值负载,各负载大小。

⑤ 主机对液压系统的工作性能,如调速范围、运动平稳性、转换精度、传动效率、控制方式(继电接触控制还是微机控制)及信号来源、自动化程度(手动、半自动还是全自动)等要求。

⑥ 原动机的类型(电动机还是内燃发动机)及其功率、转速和转矩特性。

⑦ 限制条件,对防尘、防爆、防寒、压力脉动、冲击、振动噪声及安全可靠性的要求。

⑧ 经济性要求,如投资额度、液压元件的货源、保用期和保用条件、运行能耗和维护保养费用等。

1.3 执行元件的配置及动作顺序的确定

液压执行元件的具体类型、数量和安装位置及其与主机的机械连接关系和方式,与主机的结构布局和运动部件的类型、数量等相关。在考虑机器设备的总体方案时,应同时确定液压执行元件的类型、数量和动作顺序以及执行元件的工作范围、尺寸、重量和安装等限制条件。液压缸、液压马达和摆动液压马达是液压系统中的三类执行元件,液压缸实现直线运动,液压马达实现回转运动;摆动液压马达又称摆动缸,实现摆动运动,它们的具体类型、特点及其适用场合见表 1-1。

通过将液压执行元件与其他机构有机地配合,构成液压-机械工作机构,是在满足工作机构动作要求的同时,达到简化液压系统、降低设备造价、改善液压执行元件的负载状况和运动机构的性能目的的重要途径。对于液压马达和摆动液压马达,可以通过齿轮机构和丝杠螺母机构等驱动工作机构运动。对于液压缸除了可以不同方位(水平、垂直、倾斜)驱动工作机构外,非常容易构成多种液压缸组合工作机构来实现所要求的运动,其简图及特点如表 1-2 所列。

选定执行元件的类型与数量后,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周期顺序图,其典型示例如图 1-2 所示(其中水平涂黑部分的长度表示该执行元件动作时间长短,相互重叠部分表示两个或多个执行元件同时动作)。对于动作较为简单的系统或单执行元件系统,则可直接作出动作循环图,其典型示例见图 1-3。

表 1-1 液压执行元件的类型、特点及其适用性

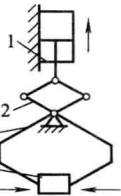
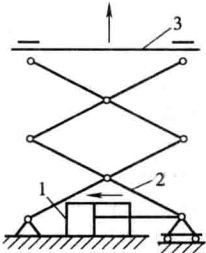
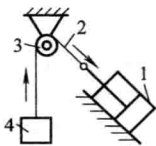
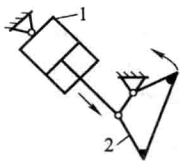
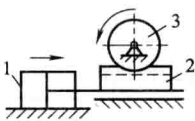
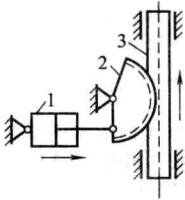
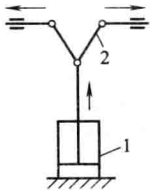
类型		特 点	适 用 场 合	获 得 方 法
液 压 缸	活 塞 缸	双杆 两杆直径相等时,往返速度和出力相同;两杆直径不等时,往返速度和出力不同	磨床,往返速度相同或不同的机构	自行设计
		单杆 一般连接,往返方向的速度和出力不同;差动连接,可以实现快进; $d = 0.71D$ (D 为活塞直径, d 为活塞杆直径)时,差动连接,往返速度和出力相同	各类机械	选型或自行设计
	柱 塞 缸	单杆 结构简单,制造容易;靠自重或外力回程	液压机、千斤顶、小缸用于定位和夹紧等	自行设计
		双杆 结构简单,杆在两处有导向,可做得细长	液压机、注塑机动梁回程缸、各类热压机等	
	复合增速缸		可获得多种出力和速度,结构紧凑,制造较难,成本较高	
	复合增压器		体积小,出力大,行程小	选型或自行设计
	伸缩式		行程是缸长的数倍,节省安装空间	汽车车厢举倾缸、起重机臂伸缩缸等
液 压 马 达	齿轮式		转速高,转矩小,结构简单,价廉	钻床、风扇传动、工程机械
	叶片式		转速高,转矩小,转动惯量小,动作灵敏,脉动小,噪声低	磨床回转工作台、机床操纵机构、多作用大排量用于船舶锚机
	轴向柱塞式		速度大,可变速,转矩中等,低速平稳性好	起重机、绞车、装载机、内燃机车、数控机床
摆 动 液 压 马 达	内曲线径向柱塞式		转矩很大,转速低,低速平稳性很好	挖掘机、拖拉机、冶金机械、起重机、采煤机牵引部件
	叶片式		单叶片式转角 $<360^{\circ}$;双叶片式转角 $<180^{\circ}$;体积小,密封较难	机床夹具、机械手、流水线转向调头装置、装载机翻斗
	活塞齿杆式		转角 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 或 720° ;密封简单可靠,工作压力高,转矩大	船舶舵机、大转矩往复回转机构等

注:选型是指按使用要求,从生产厂商的产品样本或设计手册所列产品中选用合适的型号、技术规格并确定其安装连接尺寸。

表 1-2 常见液压缸组合工作机构

序号	机构名称	简图	特 点	应用场合举例
1	直接驱动机构		液压缸 1 的活塞杆直接与移动物 2 相连接,液压缸驱动移动物作水平往复直线运动	平面磨床工作台、组合机床动力滑台往复运动等
2			液压缸 1 的活塞杆部直接与移动物 2 相连接,液压缸驱动移动物作垂直往复直线运动	压力机滑块及顶出装置、液压电梯升降装置、收割机割台升降等
3			液压缸 1 的活塞杆直接与移动物 2 相连接,液压缸驱动移动物以倾斜方位作往复直线运动	矿山冶金机械等

续表

序号	机构名称	简图	特 点	应用场合举例
4	增力夹持机构		立置液压缸 1 的活塞杆与连杆机构 2 相连接,通过夹具 3 将工件 4 在水平方向夹紧,用较小推力的液压缸实现较大的夹紧力,夹紧力随被夹工件尺寸的变化而变化	机床夹具、机械手等
5	伸缩扩程机构		卧置液压缸 1 的活塞杆与连杆机构 2 相连接,将液压缸的水平运动转换为平台 3 的垂直升降运动,可扩程和增速	升降舞台、大行程剪式伸缩架、汽车维修升降平台等
6	滑轮提升机构		液压缸 1 倾斜安装,其活塞杆与缠绕在滑轮 3 上的钢索 2 相连接,用以实现提升物 4 的升降运动	提升机、高炉上料装置
7	摆动机构		液压缸 1 的活塞杆与摇杆机构 2 相连接,将液压缸的伸缩运动转换为摇杆的摆动	工程机械、建筑机械工作机构
8	齿条-齿轮机构		液压缸 1 的活塞杆与齿条 2 相连接,将液压缸的往复直线运动转换为齿轮 3 的回转运动	间歇进给机构、送料机构
9	扇形齿轮-齿条机构		端部铰接的液压缸 1 的活塞杆与扇形齿轮 2 相连接,将液压缸的水平往复直线运动转换为齿条 3 的垂直往复直线运动	短行程工作装置
	直线-直线运动机构		液压缸 1 的活塞杆与杆系 2 相连接,将液压缸的垂直运动转换为正反向水平往复直线运动,行程及速度容易调节	各类机械中的周期运动机构

续表

序号	机构名称	简图	特 点	应用场合举例
10	移动凸轮机构		液压缸 1 的活塞杆与移动凸轮 2 相连,可使从动件 3 在凸轮驱动下按预定运动规律作垂直往复运动,结构简单、紧凑,用数控机床加工容易获得所需凸轮轮廓	自动送料装置等
11				
12	拉压夹紧机构		液压缸 1 的活塞杆与锥形夹套 2 相连,通过活塞杆的拉伸运动实现夹紧	机床夹具等
13	双缸刚性同步机构		两个液压缸油路并联,其活塞杆通过刚性构件 2 建立刚性联系,实现位移同步	压力机、高炉料钟、播种机肥种箱提升装置、收割机割台等

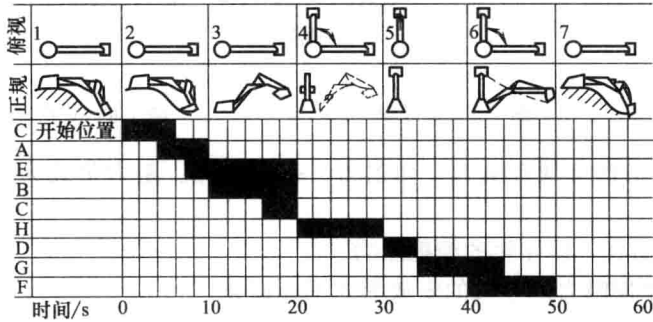


图 1-2 典型执行元件动作周期顺序图 (液压挖掘机)

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



图 1-3 典型动作循环图 (组合机床)

1.4 动力分析和运动分析

动力分析(负载分析)与运动分析统称为液压系统的工况分析,是确定液压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。

1.4.1 负载分析计算 (负载循环图)

工艺目的不同的系统, 负载分析的重点不同。例如对于驱动机床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要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元件在一个循环中的工况及相应的负载类型。

(1) 液压缸的外部负载计算

图 1-4 所示为液压缸计算简图, 有关参数标注在图中。其中 F 为作用于活塞杆上的外部负载, F_m 为液压缸密封处 (活塞与缸筒内壁以及活塞杆与缸盖上导向套之间的密封) 的内部密封阻力。

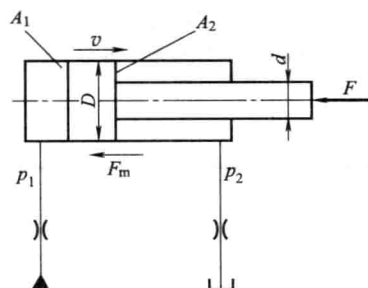


图 1-4 液压缸计算简图

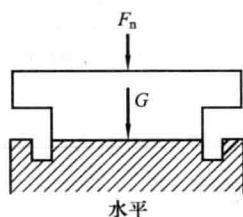


图 1-5 平导轨

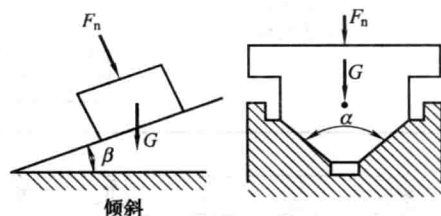


图 1-6 V 形导轨

① 工作负载 F_e 。液压缸的常见工作负载有重力、切削力、挤压力等。阻力负载为正, 超越负载为负。

② 机械摩擦负载 F_f 。对于机床而言, 即导轨的摩擦阻力。

a. 平导轨 (图 1-5)。平导轨的摩擦阻力因导轨的安放形式不同而异。

水平安放的平导轨:

$$\text{静摩擦阻力} \quad F_{fs} = \mu_s (G + F_n) \quad (\text{N}) \quad (1-1)$$

$$\text{动摩擦阻力} \quad F_{fd} = \mu_d (G + F_n) \quad (\text{N}) \quad (1-2)$$

倾斜安放的平导轨:

$$\text{静摩擦阻力} \quad F_{fs} = \mu_s (G \cos \beta + F_n) \quad (\text{N}) \quad (1-3)$$

$$\text{动摩擦阻力} \quad F_{fd} = \mu_d (G \cos \beta + F_n) \quad (\text{N}) \quad (1-4)$$

b. V 形导轨 (图 1-6)

$$\text{静摩擦阻力} \quad F_{fs} = \mu_s (G + F_n) / \sin(\alpha/2) \quad (\text{N}) \quad (1-5)$$

$$\text{动摩擦阻力} \quad F_{fd} = \mu_d (G + F_n) / \sin(\alpha/2) \quad (\text{N}) \quad (1-6)$$

式中 G ——运动部件重力, N;

F_n ——工作负载在导轨上的垂直分力, N;

β ——平面导轨倾斜角, ($^\circ$);

α ——V形导轨夹角, ($^\circ$);

μ_s, μ_d ——静、动摩擦因数, 根据摩擦表面的材料及性质选定。

关于摩擦因数, 通常, 对于滑动导轨, $\mu_s = 0.1 \sim 0.2$; $\mu_d = 0.05 \sim 0.12$ (低速时取大值, 高速时取小值)。对于滚动导轨, $\mu_d = 0.003 \sim 0.02$ [铸铁对滚珠 (柱) 取大值, 钢对滚珠 (柱) 取小值]。铸铁静压导轨, $\mu_d = 0.005$ 。

③ 惯性负载 F_i 。它是运动部件在启动和制动过程中的惯性力, 其平均值可按式计算:

$$F_i = \frac{G}{g} \times \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{N}) \quad (1-7)$$

式中 g ——重力加速度, m/s^2 , $g = 9.81 \text{m/s}^2$;

Δv ——速度变化量, m/s ;

Δt ——启动或制动时间, s, 一般机械 $\Delta t = 0.1 \sim 0.5 \text{s}$, 轻载低速运动部件取小值, 重载高速部件取大值, 行走机械一般取 $\frac{\Delta v}{\Delta t} = 0.5 \sim 1.5 \text{m/s}^2$ 。

上述三种负载之和即为液压缸的外负载 F 。

液压缸在工作过程中, 一般要经历启动、加速、恒速和减速制动四种负载工况, 各工况下的外负载计算公式如下:

启动阶段 $F = \pm F_e + F_{fs} \quad (\text{N}) \quad (1-8)$

加速阶段 $F = \pm F_e + F_{fd} + F_i \quad (\text{N}) \quad (1-9)$

恒速阶段 $F = \pm F_e + F_{fd} \quad (\text{N}) \quad (1-10)$

减速制动阶段 $F = \pm F_e + F_{fd} - F_i \quad (\text{N}) \quad (1-11)$

除外负载 F 外, 作用于液压缸活塞上的负载还包括密封处的密封摩擦阻力 F_m , 由于其大小与密封类型、缸的制造质量和工作压力有关, 故难以详细计算, 一般将其算入液压缸的机械效率 η_{cm} 中考虑, $\eta_{cm} = 0.90 \sim 0.95$ 。

(2) 液压马达的负载力矩计算

① 工作负载力矩 T_e 。液压马达的工作负载力矩也有阻力负载与超越负载两种形式, 应根据主机的工作性质具体分析。

② 摩擦力矩 T_f 。旋转部件轴颈处的摩擦力矩计算公式如下:

静摩擦力矩 $T_{fs} = \mu_s F'_n R \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-12)$

动摩擦力矩 $T_{fd} = \mu_d F'_n R \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-13)$

式中 F'_n ——作用于轴径处的总径向力, N;

R ——轴径半径, m;

μ_s, μ_d ——静、动摩擦因数, 可参考前文选用。

③ 惯性力矩 T_i 。旋转部件加速或减速时产生的惯性力矩计算公式为

$$T_i = J \epsilon = J \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-14)$$

式中 J ——旋转部件的转动惯量; $J = mD^2/4$, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$;

m ——旋转部件的质量, kg;

D ——旋转部件的直径, m;

ϵ ——旋转部件的角加速度, rad/s^2 ;

$\Delta \omega$ ——角速度变化量, rad/s ;

Δt ——启动或制动时间, s。

上述三种负载力矩之和即为液压马达的外负载力矩 T 。

液压马达在工作过程中，不同工况下的负载力矩计算公式如下：

$$\text{启动阶段} \quad T = \pm T_e + T_{fs} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-15)$$

$$\text{加速阶段} \quad T = \pm T_e + T_{fd} + T_i \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-16)$$

$$\text{恒速阶段} \quad T = \pm T_e + T_{fd} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-17)$$

$$\text{减速制动阶段} \quad T = \pm T_e + T_{fd} - T_i \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-18)$$

根据计算出的液压缸的外负载或液压马达的负载力矩和循环周期，即可绘制负载液压缸的负载循环图 ($F-t$ 图) 或液压马达的负载力矩循环图 ($T-t$ 图)，其示例见图 1-7。

1.4.2 运动分析 (运动循环图)

运动循环图即速度循环图 ($v-t$ 图，其示例见图 1-7)，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执行元件的惯性负载及绘制负载循环图，故绘制速度循环图通常与负载循环图同时进行。执行元件在各工况下的速度可以参照同类液压设备而定，也可以按生产纲领逐月逐日分配工作循环数量从而确定循环周期，分配各工况持续时间并按行程算得速度。

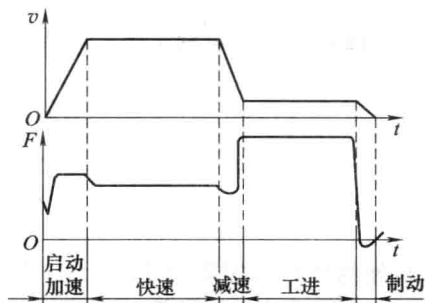


图 1-7 液压缸的速度、负载循环图

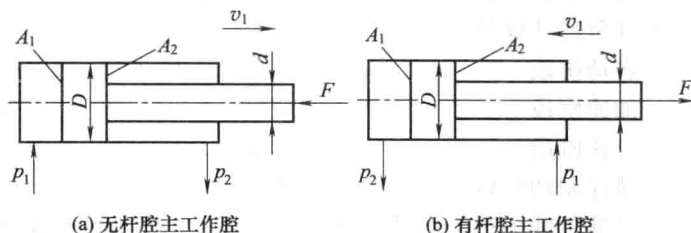


图 1-8 液压缸主要设计参数

1.5 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。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]。

1.5.1 预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。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。具体可按按负载大小