

Yeya Xitong Sheji Tuji

液压系统设计

· 周士昌 主编 · 图集



液压系统设计图集

周士昌 主 编
曹鑫铭 副主编



机械工业出版社

液压技术在各行各业中得到广泛的应用,而且不同行业的液压系统也各有特点,作者在多年科研和教学的基础上,又参考了大量文献,汇编了本图集。本书的特点是资料来源比较广泛,内容上既有各行业比较经典的系统,又注意收集了新出现的系统。编写本图集的目的是给设计人员设计液压系统时参考,也为研究人员及高校师生提供研究及教学参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

液压系统设计图集/周士昌主编. —北京:机械工业出版社, 2003.7
ISBN 7-111-12330-1

I. 液... II. 周... III. 液压系统—系统设计—图集 IV. TH137
—64

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第044019号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:曲彩云 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣
封面设计:张静 责任印制:路琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2003年8月第1版第1次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·16.75印张·522千字
0 001—4 000册
定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

前 言

液压技术在各行各业中得到广泛的应用，而且不同行业的液压系统也各有特点，我们在多年科研和教学的基础上，又参考了大量文献，汇编了这本《液压系统设计图集》。本图集的特点是资料来源比较广泛，内容上既有各行业比较经典的系统，又注意收集了新出现的系统。编写本图集的目的是给设计人员设计液压系统时参考，也为研究人员及高校师生提供研究及教学参考资料。

本书第1、2章及第3章1、2、3节由周士昌编写；第3章4、5节及第4章8、10、11、12、15节由曹鑫铭编写；第4章1、2、3节由徐学新编写；第4章4、5、6、7节由陈建文编写；第4章9、13节由宋锦春编写；第4章14、16、20节由张伟编写，第4章17节由周恩涛编写；第4章18、19节由从恒斌编写；第4章21节由张志伟编写。全书由周士昌任主编，曹鑫铭任副主编。由于编者水平所限，错误之处敬请读者批评指正。

编者

2003年9月

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

1.1 液压系统在工程中的应用 1

1.2 液压传动系统的优缺点 1

1.3 液压系统的分类及液压功能

回路的作用 2

1.3.1 按液压系统的应用场合分类 2

1.3.2 按循环方式分类 2

1.3.3 按一个液压泵所驱动的执行机

构的数量和形式分类 3

1.3.4 按系统所用泵的数量分类 4

1.3.5 液压功能回路 7

第 2 章 液压系统设计方法 8

2.1 液压系统的设计步骤与设计

要求 8

2.1.1 设计步骤 8

2.1.2 明确设计要求 8

2.2 进行工况分析、确定液压系统的

主要参数 8

2.2.1 载荷的组成和计算 8

2.2.2 初选系统工作压力 9

2.2.3 计算液压缸的主要结构尺寸和液压

马达的排量 10

2.2.4 计算液压缸或液压马达所需流

量 11

2.2.5 绘制液压系统工况图 11

2.3 制定基本方案和绘制液压系

统图 12

2.3.1 制定基本方案 12

2.3.2 绘制液压系统图 13

2.4 液压元件的选择与专用件设

计 13

2.4.1 液压泵的选择 13

2.4.2 液压阀的选择 14

2.4.3 蓄能器的选择 14

2.4.4 管道尺寸的确定 14

2.4.5 油箱容量的确定 14

2.5 液压系统性能验算 15

2.5.1 液压系统压力损失 15

2.5.2 液压系统的发热温升计算 15

2.5.3 计算液压系统冲击压力 17

2.6 设计液压装置, 编制技术文

件 17

2.6.1 液压装置总体布局 17

2.6.2 液压阀的配置形式 17

2.6.3 集成块设计 18

2.6.4 绘制正式工作图, 编写技术文

件 18

2.7 液压系统设计计算实例——

250 克塑料注射机液压系统

设计计算 18

2.7.1 250 克塑料注射机液压系统

设计要求及有关设计参数 18

2.7.2 液压执行元件载荷力和载荷转

矩计算 19

2.7.3 液压系统主要参数计算 19

2.7.4 制定系统方案和拟定液压系统

图 21

2.7.5 液压元件的选择 22

2.7.6 液压系统性能验算 24

第 3 章 液压系统基本功能回路 27

3.1 压力控制回路 27

3.1.1 限压回路 27

3.1.2 变压回路 28

3.1.3 卸压回路 29

3.1.4 稳压回路 30

3.1.5 压力控制回路分类总表 32

3.2 速度控制回路 (流量控制回

路) 33

3.2.1 调速回路	33	4.3.1 蔗糖业用板框压滤机液压系统 ...	68
3.2.2 同步回路	36	4.3.2 饲料压块机液压系统	69
3.2.3 速度控制回路分类总表	39	4.3.3 胶合板热压机液压系统	70
3.3 方向控制回路	40	4.3.4 木材热压机液压系统	72
3.3.1 换向回路	40	4.3.5 烟草预压机液压系统	74
3.3.2 锁紧回路	42	4.4 造纸	75
3.3.3 方向控制回路分类总表	42	4.4.1 卷纸张力控制液压系统	75
3.4 插装阀液压系统回路	42	4.4.2 超级压光机可控中高辊液压力系 统	76
3.4.1 插装阀方向回路	42	4.4.3 造纸机升降台液压系统	76
3.4.2 插装阀流量回路	45	4.5 纺织	77
3.4.3 插装阀压力回路	45	4.5.1 纺织整经机液压系统	77
3.4.4 插装阀电液比例回路	46	4.5.2 纺织浆纱机液压系统一	78
3.5 伺服阀、比例阀液压回路	49	4.5.3 纺织浆纱机液压系统二	79
3.5.1 电液伺服阀位置控制回路	49	4.5.4 织布机气-液缓冲器	79
3.5.2 电液伺服阀速度控制回路	49	4.6 橡胶	80
3.5.3 电液伺服阀压力控制回路	50	4.6.1 合成橡胶压块机液压系统	80
3.5.4 电液伺服阀两液压缸同步控制 回路	50	4.6.2 平板硫化机液压系统	81
3.5.5 其他物理参数的电液伺服阀控 制回路	50	4.7 塑料	81
3.5.6 机液伺服阀直线助力回路	50	4.7.1 塑料注射成型机液压系统	81
3.5.7 机液伺服阀力矩放大回路	51	4.7.2 注塑机液压系统	84
3.5.8 机液伺服阀步进液压缸回路	51	4.7.3 250 克塑料注射机液压系统	85
3.5.9 电液比例阀溢流回路	51	4.8 矿山	86
3.5.10 电液比例阀减压回路	51	4.8.1 采煤工作面支架的液压系统	86
3.5.11 电液比例阀调速回路	51	4.8.2 采煤机液压系统	89
3.5.12 电液比例阀换向位置控制回 路	52	4.8.3 矿用提升机液压系统	92
第 4 章 液压系统应用图例	53	4.8.4 跳汰机交流液压系统	94
4.1 农业	53	4.9 石油	96
4.1.1 农用拖拉机液压系统	53	4.9.1 石油钻机液压系统	96
4.1.2 农业机具悬挂液压系统	55	4.9.2 顶部驱动钻井装置液压系统	97
4.1.3 联合收割机机身驱动液压系统 ...	57	4.9.3 自升式海洋石油钻井平台液 压系统	98
4.1.4 联合收割机操纵液系统	59	4.9.4 水下采油井口装置液压系统	101
4.1.5 甘蔗收割机液压系统	61	4.9.5 旧石油管矫直机液压系统	102
4.2 林业	62	4.10 炼铁、炼钢	104
4.2.1 林业集材机液压系统	62	4.10.1 高炉炉顶加料装置液压系统 ...	104
4.2.2 原木削片输送机液压系统	64	4.10.2 高炉泥炮液压系统	106
4.2.3 原木剥皮机液压系统	65	4.10.3 炼钢电弧炉液压系统	107
4.2.4 林木球果采集机械手液压系统 ...	66	4.10.4 炼钢炉前操作机械手液压力系 统	110
4.3 农林加工	68	4.10.5 连续铸钢设备液压系统	113
		4.10.6 小型钢坯步进式加热炉液 压系统	

系统	122	4.14.9 土建钻机液压系统	173
4.10.7 剪切机液压系统	123	4.15 公路	176
4.11 轧钢	124	4.15.1 隧道衬砌台车液压系统	176
4.11.1 板带轧钢机压下装置液压系 统	124	4.15.2 高速公路钢护栏冲孔切断机 液压系统	177
4.11.2 板带轧钢机弯辊及平衡装置 液压系统	126	4.15.3 公路养护车液压系统	177
4.11.3 带钢跑偏液压控制系统	128	4.16 汽车	180
4.12 金属热加工	129	4.16.1 汽车转向液压系统	180
4.12.1 压铸机液压系统	129	4.16.2 汽车制动液压系统	181
4.12.2 垂直分型无箱射压造型机液 压系统	132	4.16.3 汽车自动切换档液压系统	186
4.12.3 500 吨液压机液压系统	134	4.16.4 汽车举升机构液压系统	188
4.12.4 双动薄板冲压機液压系统	135	4.17 工程车	189
4.12.5 锻锤液压系统	136	4.17.1 双泵双回路单斗挖掘机液压 系统	189
4.12.6 棒材快锻机液压系统	137	4.17.2 双泵双回路总功率调节变量 挖掘机液压系统	190
4.12.7 铆接机液压系统	140	4.17.3 PC200、PC220 型负载传感总 功率变量式挖掘机液压系统	190
4.12.8 焊条压涂机液压系统	141	4.17.4 L551B 型静压轮式装载机液压 系统	193
4.12.9 热轧钢管定心装置液压系统	142	4.17.5 遥控式装载机液压系统	193
4.12.10 碳素成型油压机液压系统	144	4.17.6 TY180 型推土机液压系统	193
4.12.11 钢管张力减径机液压系统	146	4.17.7 D8N 型推土机液压系统	196
4.12.12 带钢恒张力装置液压系统	147	4.17.8 矿用自卸车液压系统	198
4.12.13 挤压机液压调速系统	149	4.17.9 QY20B 型汽车起重机液压系 统	200
4.12.14 精锻机定心夹钳液压系统	152	4.17.10 双机液压凿岩台车液压系 统	201
4.12.15 400 吨快速薄板深拉伸液 压系统	153	4.17.11 DZL-50 型装运机液压系统	201
4.13 电力	156	4.17.12 Q-5-13 型汽车起重机液 压系统	205
4.13.1 中、小功率汽轮发电机组液 压控制系统	156	4.17.13 W613 型叉车液压系统	205
4.13.2 大型水轮机调速液压系统	157	4.17.14 Q16 型汽车起重机液 压系统	206
4.13.3 输电线牵引机液压系统	158	4.17.15 CK-30 型集装箱跨运车液 压系统	207
4.13.4 输电线张力机液压系统	161	4.17.16 叉车液压系统	208
4.14 建材、建筑	161	4.18 机床	209
4.14.1 水泥回转窑液压系统	161	4.18.1 组合机床液压系统	209
4.14.2 水泥机械式立窑液压系统	164	4.18.2 拉床液压系统	210
4.14.3 水泥磨磨辊加压液压系统	165	4.18.3 精密平面磨床液压系统	212
4.14.4 石料磨光机液压系统	166	4.18.4 仿形刨床液压系统	214
4.14.5 建筑施工大型构件提升液 压系统	166		
4.14.6 剧院乐池升降台液压系统	169		
4.14.7 内差动桩锤液压系统	171		
4.14.8 立体停车场液压系统	172		

4.18.5	CB3463 转塔车床液压系统	215	4.21.1	高炮瞄准液压系统	236
4.18.6	回转工作台液压系统	218	4.21.2	坦克火炮稳定液压系统	238
4.18.7	C7620 卡盘多刀半自动车床 液压系统	219	4.21.3	PASBAN 炮塔液压系统	240
4.19	船舶	221	4.21.4	地震液压模拟试验台	242
4.19.1	舵机液压系统	221	4.21.5	可调定位机械臂液压系统	242
4.19.2	闭式舵机液压系统	222	4.21.6	垃圾处理车液压系统 (一)	244
4.19.3	双并回转起货机液压系统	223	4.21.7	垃圾处理车液压系统 (二)	245
4.19.4	船舶调距桨液压系统	225	4.21.8	潜水救生钟液压系统	246
4.20	航空	225	4.21.9	恒压变量泵液压系统	248
4.20.1	飞机液压操作系统	226	4.21.10	转向泵出厂试验装置液压系 统	250
4.20.2	飞机燃油供油量液压控制系 统	230	4.21.11	X 光隔室透视站位液压系 统	251
4.20.3	飞机的液压恒速装置	232	4.21.12	示教机器人液压控制系统	252
4.20.4	飞机进气道液压控制系统	232	4.21.13	造气自动机液压系统	254
4.20.5	飞机喷口液压控制系统	234	4.21.14	校直机机械手液压系统	255
4.20.6	飞机地面试验设备液压系统	235	4.21.15	皮革削匀机液压系统	256
4.21	其他	236	参考文献	259	

第 1 章 绪 论

1.1 液压系统在工程中的应用

液压系统已经在各个工业部门及农林牧渔等许多部门得到愈来愈广泛的应用,而且愈先进的设备,其应用液压系统的部分就愈多。

在造纸、纺织、塑料、橡胶等轻工行业,造纸机、纺织机、注塑机、橡胶压块机等机械设备上都大量使用着液压系统。在矿山、石油、冶金、压力加工等重工业中,由于液压系统能传递很大的能量而设备的重量相对其他传动方式来说又较小,所以更有广泛的应用。例如矿井支架、石油钻井平台、高炉炉顶设备、钢坯连铸机、板带轧机压下系统、压力机、快锻机等设备上液压系统被广泛地使用着。其他在电力、建筑、水利、交通、船舶、航空、汽车等行业,液压系统也是重要的组成部分。至于航天、军工等广泛采用先进技术的部门,液压系统更是得到广泛应用。机床行业是最早使用液压技术的行业之一,目前虽然由于电动机传动技术中交流变频技术的发展而使电动机驱动夺回不少液压驱动的应用范围,但在大功率驱动或往复运动的场合,液压系统还是被广泛应用。

1.2 液压传动系统的优缺点

目前广泛应用的传动方式主要有机械传动、电气传动、气压传动和液压传动。各有各的优缺点。机械传动是通过齿轮、齿条、蜗杆、蜗轮、带、链条、杠杆等机械零件进行传动,它是发展最早而且应用最普遍的一种传动形式。它具有传动准确可靠,操作简单,机构直观易掌握,负荷变化对传动比影响小及受环境影响小等优点。但对自动控制的情况,单纯靠机械传动来完成就显得结构复杂而笨重,而且远距离操纵困难、操作力大、安装位置变化的自由度小等缺点,因此在许多场合逐步被其他传动方式所取代。

电气传动是通过电来进行传动和控制的,利用交流电机来传动,简单而且价廉,因此应用最广,也是各种传动的组成部分。但交流电机一般难于进行无级变速,而直流电机虽可以实现无级变速,但

直流电源价格较昂贵。目前晶闸管技术使交流电机无级变速大为简化,但在大功率及低速大扭矩等场合的应用尚有待于进一步完善。电气控制,特别是电子计算机控制,具有信号变化及传递方便,远距离操纵容易等独特优点,因此在自动化程度要求高的场合是必不可少的。

气压传动以压缩空气为传动介质,可通过调节气量很容易地实现无级变速。同时有传递及变换信号方便、反应快、构造简单等优点。而且空气取之于大气,所以气源价格低廉。泄漏也可直接放入大气,不会引起污染。空气粘度小,故管道压力损失小,流速大,而且可获得高速运动(如每分钟 10 万转以上的气动磨头)。但气压传动的致命弱点是空气压缩性大,无法获得均匀而稳定的运动。此外为减少泄漏,提高效率,气动系统的压力不能太高,一般只有 0.7~0.8MPa 左右。这使其不能用于大功率的场合。

液压传动是用液体作为介质来传递能量的,液压传动与上述三种传动来比较有以下一些优点:

(1) 易于获得较大的力或力矩

液压传动是利用液体的压力来传递力或力矩的。液压泵可以获得较高的压力,目前液压泵可达 35MPa 的压力,因此液压缸可获得很大的力或力矩。例如一个 30cm 直径的液压缸,当压力为 21MPa 时,可获得 $1.48 \times 10^6 \text{N}$ 的推力,因此被广泛应用于需要很大力或力矩的重型机械上。

(2) 功率重量比大

功率重量比是指其输出功率与其重量的比值。功率重量比大的设备即重量和体积较小而能输出较大的功率。例如飞机上的液压泵,每 kW 功率的重量只有 0.209kg,而电动机每 kW 的重量将达 1.5~2kg。所以在要求传递大功率而又不允许有较大体积的情况下应采用液压传动。

(3) 易于实现往复运动

液压缸对实现往复运动是最方便的,而电动机则须通过齿轮齿条等机构把旋转运动变成直线往复运动。

(4) 易于实现较大范围的无级变速

液压传动通过调节液体的流量就可以方便地实现无级变速,而且速比范围大。例如用节流阀调节流量时,其流量变化可从 $0.02\text{L}/\text{min}$ 变到 $100\text{L}/\text{min}$ 调速比可达5000,其他传动形式的速比是无法比拟的。

(5) 传递运动平稳

由于液压流体的控制可以在非常小的流量时仍然很均匀,所以设备的运动速度可以很平稳,例如机床中可以实现 $1\text{mm}/\text{min}$ 以下的无爬行稳定进给。

(6) 可实现快速而且无冲击的变速和换向

这是由于液压机构的功率重量比大,所以液压设备的惯性小,因此反应速度就快。例如液压马达的旋转惯量不超过同功率电动机的10%,故起动中等功率电动机要 $1\sim 2\text{s}$,而同功率的液动机械的起动时间不超过 0.1s 。故在高速换向频繁的机床上(如平面磨床、龙门刨床)采用液压传动可使换向冲击大大减少。

(7) 与机械传动相比易于布局和操纵

液压传动部件由管道相连,故在安装位置上有很大的自由度,各部件可以安放在我们希望的位置上。例如把泵源放到不影响机器布局的地方,把操纵机构放在最方便的地方,例如轮船上的操纵机构放在船舱前部的驾驶台上,而其舵机则在船尾,这用机械传动是难于实现的,而液压传动则没有困难。

(8) 易于防止过载事故

在液压传动中可以方便地用压力阀来控制系统的压力,从而防止过载,避免事故的发生,而且可以通过装在系统中的压力计来了解各处的工作情况和负载大小,而在机械传动中各处的负载大小就不易观察。

(9) 自动润滑、元件寿命较长

液压传动中使用的介质大都为矿物油,它对液压部件产生润滑作用,因此液压元件有自润滑作用,其寿命就较长。

(10) 易于实现标准化、系列化

各种液压系统都是由液压元件构成,因此对液压元件实现标准化、系列化,可大大提高生产效率,降低成本,提高产品质量。

与其他传动形式比较,液压传动有以下缺点:

(1) 易出现泄漏

由于液压系统的油压较高,因此液压油容易通过密封或间隙产生泄漏,内泄漏则降低容积效率,

外泄漏则引起液压介质的消耗,同时又引起环境污染。

(2) 油的粘度随温度变化,引起工作机构运动不稳定

油液粘度变化则引起阻力变化,故通过的流量或泄漏量也随温度而变化,这就会引起工作机构运动速度不稳定。

(3) 空气渗入液压油后会引引起爬行、振动、噪声

空气进入液压系统后,由于气体压缩性大,所以从高压到低压或从低压到高压时,就产生较大的体积变化而引起振动、噪声和爬行等。

(4) 用矿物油作液压介质时,有燃烧危险

应注意防火。

(5) 矿物油与空气接触会发生氧化,使油变质必须定期换油。

(6) 液压件的零件加工质量(几何精度、表面粗糙度等)要求较高

为了减少泄漏,减少摩擦,所以必须使零件配合间隙要小,因此零件加工的质量要求就较高,成本也就提高了。

1.3 液压系统的分类及液压功能回路的作用

1.3.1 按液压系统的应用场合分类

这是最简单的分类方法,如农业用液压系统、船舶用液压系统等,本书第4章就是按这一原则分类的。这种分类方法的优点是从名词就可看出其应用场合,缺点是看不出该液压系统的特点及要完成的动作。

1.3.2 按循环方式分类

按液压介质的循环方式可分为开式液压系统和闭式液压系统:

(1) 开式液压系统

如图1.3-1所示,液压泵自油箱吸油,供给液压缸或液压马达做功。而液压缸或液压马达的回油则流回油箱。

开式液压系统结构简单,油箱是系统中介质的吞吐和存贮场所。油液在油箱中能散热冷却和沉淀杂质,开式系统中的液压缸或液压马达在制动或换向过程中,外负载的惯性运动所产生的能量是不能

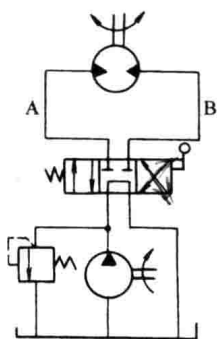


图 1.3-1 开式液压系统

回收的，只能消耗在制动过程的发热上。

(2) 闭式液压系统

图 1.3-2 所示为一典型的闭式液压系统。液压泵 a 的进出油口与液压马达 b 的进出油口分别用管道连接。马达的回油不回油箱而直接进入液压泵的吸油口，形成闭合回路。操纵液压泵 a 的变量机构可改变液流的方向，从而使马达换向。为使闭式液压系统正常工作，除了液压泵与马达组成的主回路以外，还须有一些元件组成辅助回路。阀 1~5 组成双向安全阀，防止管 A、B 内的油压超过单向阀 3 的调定值。为补充系统的泄漏，还须设置一个辅助的小泵 c，其工作压力由溢流阀 6 调定，应略高于液压马达的背压，而液压泵 c 的流量应略高于系统的泄漏量。液压泵 C 输出的油经过滤器、单向阀 1 或 2 补充到系统的低压边，多余的流量经溢流阀 6 流回油箱。

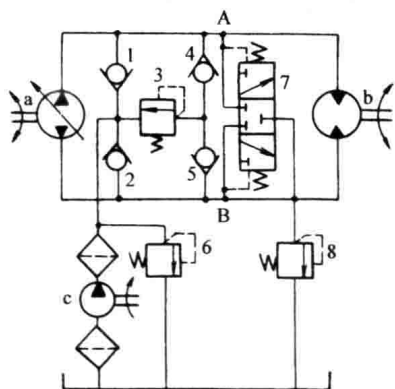


图 1.3-2 闭式液压系统

闭式液压系统结构较复杂，但油箱容积小，结构紧凑。马达有背压直接供入泵的吸油口，降低了对液压泵的自吸性能的要求。而开式液压系统的马达背压不能供给液压泵的吸油口而只能变成热能在背压阀中白白消耗掉。

闭式液压系统制动过程可通过操纵泵 a 的变量机构使排量逐步变为零而实现的。在此过程中，外负载的惯性力变成主动力，拖动液压马达 b 成为液压泵工况，将油流输给液压泵 a，使液压泵 a 呈液压马达工况而带动发电机加速旋转而发电，输电网中其他负载。故外负载的惯性能可以通过液压马达 b 变成液压能输给液压泵 a 变成电能而回收。同样负载在重力作用下下降的工况，执行机构在重力作用下呈液压泵工况而把重力下降的能量变为液压能推动液压泵 a 作马达运行，从而带动电机成为发电机运行而回收液压能。但液压泵由内燃机拖动时，则不能实现功率回收。

由上可见，开式液压系统适用于功率较小的机构，内燃机驱动的移动式机构（如铲车、高空作业车、液压汽车、起重机、挖掘机等）以及固定式机构上。而闭式液压系统则适用于液压泵由电动机驱动的下述机械：外负载惯性大且换向频繁的机构（如起重机的旋转、运行机构及龙门刨床、拉床、平面磨等往复工作台）；重力下降机构（如不平衡类型的起升、动臂摆动机构等）；外负载惯性力大的重力下降机构（如平衡型起重机的变幅机构等）。闭式液压系统也适用于要求结构特别紧凑的移动式机械上（如液压汽车、拖拉机及矿车等的运动机构上）在大型轮船的舵机的泵控马达系统上也常用闭式液压系统。

在发热量较大的闭式系统中，为改善系统的散热情况，需增加补油量，故增设低压选择阀（图 1.3-2 中的阀 7），使系统经常有部分低压油经阀 7 排回油箱。但此时辅助泵 c 的流量应是主泵 a 的流量的 20%~30%。

1.3.3 按一个液压泵所驱动的执行机构的数量和形式分类

1.3.3.1 独立式系统

当一个液压泵只向一个执行机构供油，就称为独立式系统。

1.3.3.2 组合式系统

一个液压泵向几个液压执行器供油，称为组合式系统。组合式系统又可分为以下四种：

(1) 并联系统

如图 1.3-3 所示。液压泵排出的油同时向两个

或两个以上的执行器供油，而其回油则分别回油箱。这种系统的特点是各执行器的速度随负载变化而改变。负载大，则速度减小。因此并联系统只适合于外负载变化较小或对执行机构运动速度要求不严的场合。

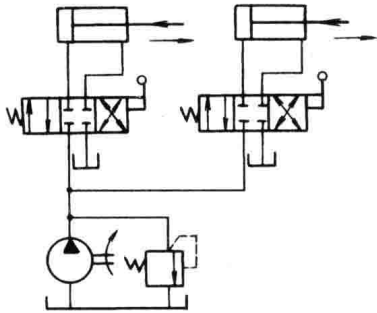


图 1.3-3 并联系统

(2) 串联系统

如图 1.3-4 所示，一个液压泵向 2 个或 2 个以上的执行机构供油。液压泵向第一个执行机构供油，以后机构的进出油口依次顺序相联，而最后一个执行机构的回油则流回油箱。

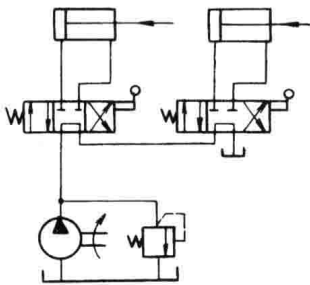


图 1.3-4 串联系统

串联系统中，后一液压执行机构的输入流量等于前一执行机构的输出流量，故串联系统中执行机构的运动速度基本上不随外负载而变化。泵的流量在并联系统中被分别供应到几个执行机构，故在相同情况下，并联系统要求的流量比串联系统要多。但并联系统要求的液压泵的油压则比串联系统小。

目前中小型液压起重机、高空作业车及小型挖掘机等大多采用串联系统，使各机构可以同时动作而且互不干扰。提高了作业速度，简化了系统。但串联系统的液压泵压力负担较重，故重载时不宜采用。在大多数机床、注塑机等液压系统中常采用并联系统，这可使液压泵的压力负担较小，对有些要

求同时动作的执行机构则可在各分支系统上设置节流装置以防止互相干扰。

(3) 独联系统

在工程机械液压系统中，为了简化管路，使结构紧凑，常用多路换向阀来达到系统油路的不同连接方式。图 1.3-5a 为并联系统，b 为串联系统，c 为独联系统。

如图 1.3-5c 所示，每一换向阀的进油腔与其前一换向阀的中立位置进油路相连，而各阀的回油管则同时与总回油管相连。这样各阀控制的液压执行机构就互不相通，一个液压泵在同一时间只能向一个执行机构供油，故称为独联系统，系统中液压泵的压力和流量按各执行机构单独工作时最大压力及最大流量来决定。

(4) 复联系统

复联系统是以上三种系统的组合，如并联—独联、串联—独联、串联—并联等系统。图 1.3-6 为并联—独联系统。多路阀 A 控制一部分并联的液压执行机构。多路阀 B 则控制另一部分并联的液压执行机构。但两个多路阀所控制的执行机构之间是相互独立的。所以在 B 阀操纵的执行机构动作时，即使误操作 A 阀，也不会使 A 阀控制的执行机构误动作。

图 1.3-7 为串联—独联系统。多路阀 A 控制的执行机构互相串联，多路阀 B 控制的执行机构也互相串联，这两个串联系统之间则由阀 1 使它们相独联。这样在 B 阀操纵的执行机构动作时，不致因误操作 A 阀而引起 A 阀控制的执行机构误动作导致事故。

1.3.4 按系统所用泵的数量分类

按液压系统所用泵的数量可分为单泵系统和多泵系统。

1.3.4.1 单泵系统

单泵系统结构简单，常用于下列情况：

(1) 功率较小，工作不太频繁的一些开式系统，如 16t 以下中小型液压汽车起重机、高空作业车、铲斗容量 0.4m^3 以下的小型半液压挖掘机、小型铲车等。

(2) 功率较小，外负载惯性较小的一些开式系统。如小型机械手、磨床等要求精确换向、定位的系统。为此要求运动有减速过程。半自动车床中要

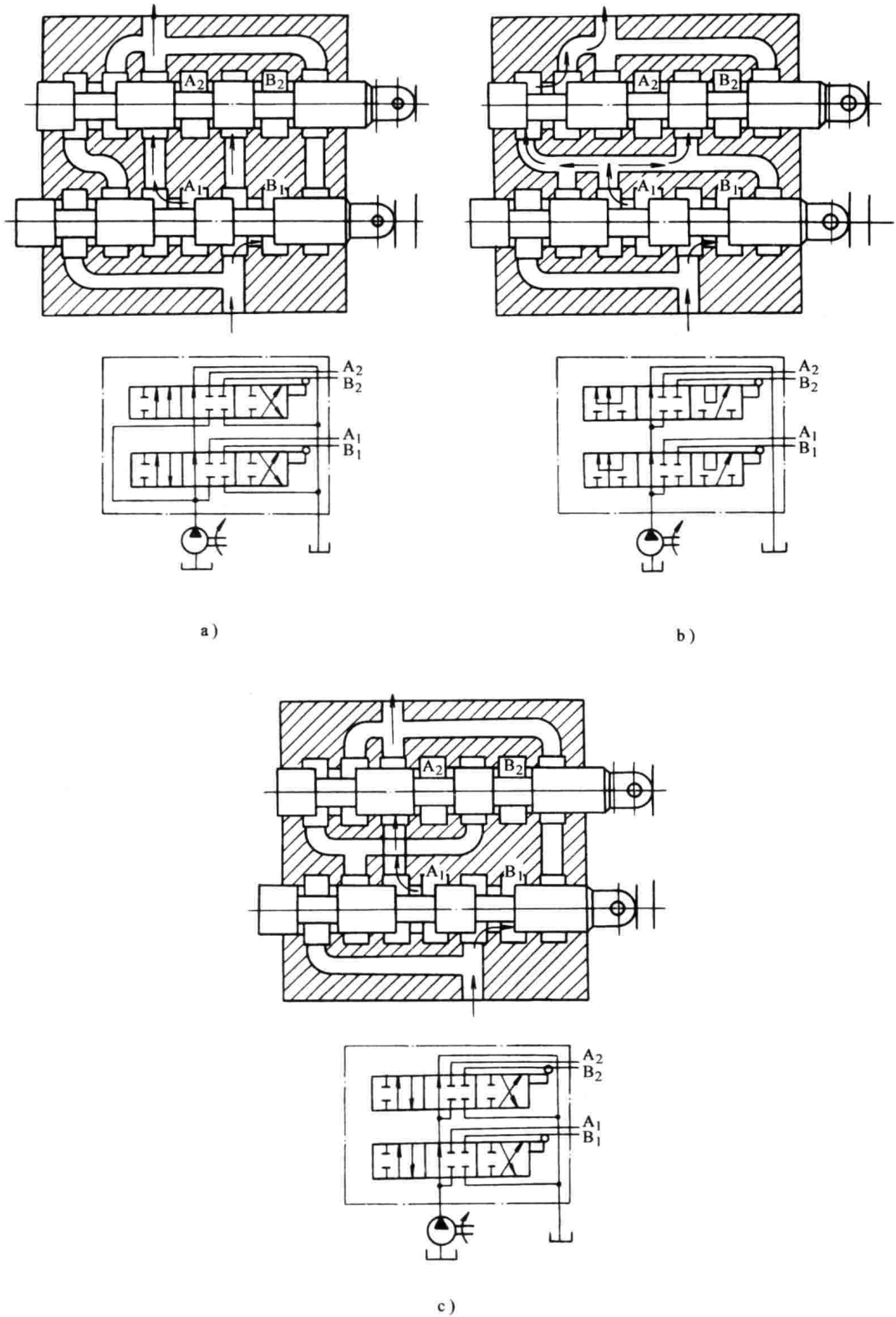


图 1.3-5 多路换向阀系统

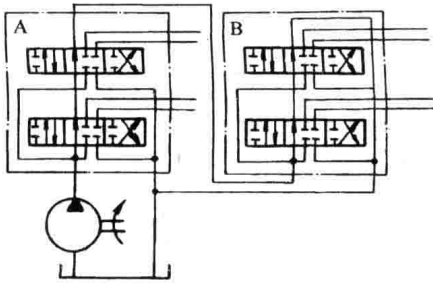


图 1.3-6 并联—独联系统

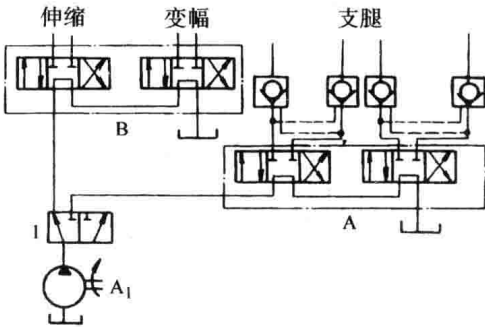


图 1.3-7 串联—独联系统

求有些机构有快进和工进两种速度。这些机构都宜用节流的方法来调速和减速缓冲，由于功率较小，故温升或冲击不会太大。

1.3.4.2 多泵系统

多泵系统结构较复杂，但有其特点，常用于下列情况：

(1) 用于单回路系统

由图 1.3-2 可知，闭式系统有一个主泵并有一个辅助泵以补充泄漏及冷却系统。

在组合机床、半自动车床等单回路系统中，有时也采用双泵。轻载快进时，两泵合流供油，如图 1.3-8 所示。重载慢进时卸荷阀 1 打开低压大流量泵 A 卸荷，高压小流量泵 B 单独向系统供油，以节省功率降低温升。有些油压机、注塑机等也要求快慢速比大，并有一段保压时间，则也用双泵系统，在快速时双泵供油，慢速及保压时单个小泵供油，以减少功率消耗和温升。

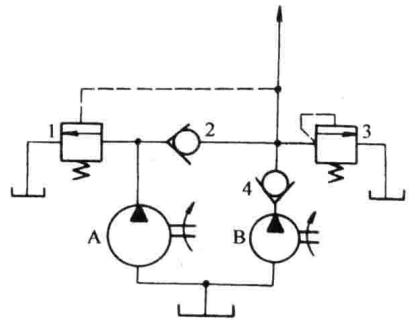


图 1.3-8 双泵供油回路系统

(2) 用于多回路系统

图 1.3-9 为采用双泵的挖掘机液压系统简图。图中泵 A 向动臂液压缸、斗杆液压缸、回转马达及左行马达供油，组成一独联回路；泵 B 向铲斗液压缸、动臂液压缸、斗杆液压缸及右行马达供

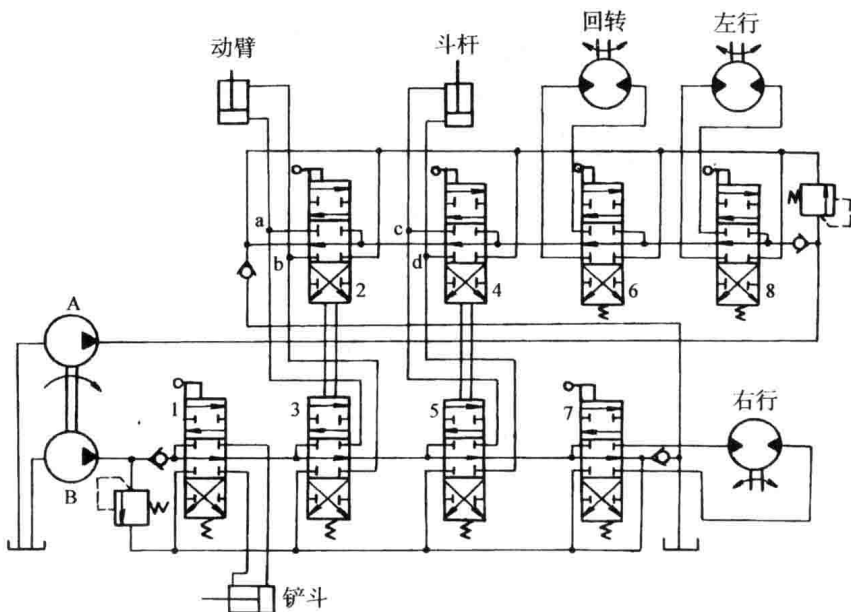


图 1.3-9 双泵双回路系统

油,组成另一独联回路,故为双回路系统。这两回路本身及两回路之间都不互相干扰,从而使分属于这两回路中的任意两机构在轻载及重载时都能实现无干扰的同时动作,提高挖掘机的生产率和发动机的效率。

1.3.5 液压功能回路

上述 1.3.1、1.3.2、1.3.3、1.3.4 各节的分类方法是根据整个液压系统的特点来分类的。而一个液压系统要完成主机的动作,必须同时具备几种功能。例如图 1.1-1 所示的系统,为了使液压马达正反向都能转动,就必须有换向阀,为了保证系统的安全,不超压,就必须有安全阀。又如图 1.1-2 所示系统,为了保证系统安全,须设置阀 1~5 所

组成的桥式回路,使系统压力不超过阀 3 的设定值,为保证补油泵多余流量能溢流,须设置溢流阀 6。所以我们还可从完成不同的功能这一角度对整个液压系统进一步分解。一个完整的液压系统可以分解为几个功能回路。这种功能回路分别完成不同的功能,从而使整个系统完成主机要求的动作。按所完成的功能不同来分类的回路称为功能回路,也称为基本回路。

按功能来区分回路的最大优点是便于液压系统的设计及分析。一个液压系统的功能不外乎压力调节、速度调节及方向调节。在设计一个系统时把几种基本回路组合起来就可以完成所要求的动作。关于功能回路的详细分析,在第 3 章中叙述。

第2章 液压系统设计方法

液压系统是液压机械的一个组成部分，液压系统的设计要同主机的总体设计同时进行。着手设计时，必须从实际情况出发，有机地结合各种传动形式，充分发挥液压传动的优点，力求设计出结构简单、工作可靠、成本低、效率高、操作简单、维修方便的液压传动系统。

2.1 液压系统的设计步骤与设计要求

2.1.1 设计步骤

液压系统的设计步骤并无严格的顺序，各步骤间往往要相互穿插进行。一般来说，在明确设计要求之后，大致按如下步骤进行。

- 1) 确定液压执行元件的形式；
- 2) 进行工况分析，确定系统的主要参数；
- 3) 制定基本方案，拟定液压系统原理图；
- 4) 选择液压元件；
- 5) 液压系统的性能验算；
- 6) 绘制工作图，编制技术文件。

2.1.2 明确设计要求

设计要求是进行每项工程设计的依据。在制定基本方案并进一步着手液压系统各部分设计之前，必须把设计要求以及与该设计内容有关的其他方面了解清楚。

- 1) 主机的概况：用途、性能、工艺流程、作业环境、总体布局等；
- 2) 液压系统要完成哪些动作，动作顺序及彼此联锁关系如何；
- 3) 液压驱动机构的运动形式，运动速度；
- 4) 各动作机构的载荷大小及其性质；
- 5) 对调速范围、运动平稳性、转换精度等性能方面的要求；
- 6) 自动化程度、操作控制方式的要求；
- 7) 对防尘、防爆、防寒、噪声、安全可靠性的要求；
- 8) 对效率、成本等方面的要求。

2.2 进行工况分析、确定液压系统的主要参数

通过工况分析，可以看出液压执行元件在工作过程中速度和载荷变化情况，为确定系统及各执行元件的参数提供依据。

液压系统的主要参数是压力和流量，它们是设计液压系统，选择液压元件的主要依据。压力决定于外载荷。流量取决于液压执行元件的运动速度和结构尺寸。

2.2.1 载荷的组成和计算

2.2.1.1 液压缸的载荷组成与计算

图 2.2-1 表示一个以液压缸为执行元件的液压系统计算简图。各有关参数标注图上，其中 F_w 是作用在活塞杆上的外部载荷， F_m 是活塞与缸壁以及活塞杆与导向套之间的密封阻力。

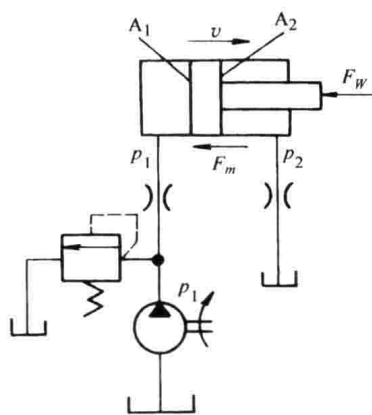


图 2.2-1 液压系统计算简图

作用在活塞杆上的外部载荷包括工作载荷 F_g ，导轨的摩擦力 F_f 和由于速度变化而产生的惯性力 F_a 。

(1) 工作载荷 F_g

常见的工作载荷有作用于活塞杆轴线上的重力、切削力、挤压力等。这些作用力的方向如与活塞运动方向相同为负，相反为正。

(2) 导轨摩擦载荷 F_f

对于平导轨

$$F_f = \mu(G + F_N)$$

对于V型导轨

$$F_f = \mu(G + F_N) / \sin \frac{\alpha}{2}$$

式中 G ——运动部件所受的重力 (N); F_N ——外载荷作用于导轨上的正压力 (N); μ ——摩擦系数, 见表 2.2-1; α ——V型导轨的夹角, 一般为 90° 。表 2.2-1 摩擦系数 μ

导轨类型	导轨材料	运动状态	摩擦系数
滑动导轨	铸铁对铸铁	起动时	0.15~0.20
		低速 ($v < 0.16\text{m/s}$)	0.1~0.12
		高速 ($v > 0.16\text{m/s}$)	0.05~0.08
滚动导轨	铸铁对滚柱 (珠)		0.005~0.02
	淬火钢导轨 对滚柱		0.003~0.006
静压导轨	铸铁		0.005

(3) 惯性载荷 F_a

$$F_a = \frac{G}{g} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

式中 g ——重力加速度; $g = 9.81\text{m/s}^2$; Δv ——速度变化量 (m/s); Δt ——起动或制动时间 (s)。一般机械 $\Delta t =$

0.1~0.5s, 对轻载低速运动部件取小值, 对重载高速部件取大值。行走机

械一般取 $\frac{\Delta v}{\Delta t} = 0.5 \sim 1.5\text{m/s}^2$ 。以上三种载荷之和称为液压缸的外载荷 F_w 。

$$\text{起动加速时 } F_w = F_g + F_f + F_a$$

$$\text{稳态运动时 } F_w = F_g + F_f$$

$$\text{减速制动时 } F_w = F_g + F_f - F_a$$

工作载荷 F_g 并非每阶段都存在, 如该阶段没有工作, 则 $F_g = 0$ 。

除外载荷 F_w 外, 作用于活塞上的载荷 F 还包括液压缸密封处的摩擦阻力 F_m , 由于各种缸的密封材质和密封形成不同, 密封阻力难以精确计算, 一般估算为

$$F_m = (1 - \eta_m)F$$

式中 η_m ——液压缸的机械效率, 一般取 0.90~0.95。

$$F = \frac{F_w}{\eta_m}$$

2.2.1.2 液压马达载荷力矩的组成与计算

(1) 工作载荷力矩 T_g

常见的载荷力矩有被驱动轮的阻力矩、液压卷筒的阻力矩等。

(2) 轴颈摩擦力矩 T_f

$$T_f = \mu Gr$$

式中 G ——旋转部件施加于轴颈上的径向力 (N);

 μ ——摩擦系数, 参考表 2-1 选用; r ——旋转轴的半径 (m)。(3) 惯性力矩 T_a

$$T_a = J\epsilon = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

式中 ϵ ——角加速度 (rad/s^2);

 $\Delta\omega$ ——角速度变化量 (rad/s); Δt ——起动或制动时间 (s); J ——回转部件的转动惯量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)。

$$\text{起动加速时 } T_w = T_g + T_f + T_a$$

$$\text{稳定运行时 } T_w = T_g + T_f$$

$$\text{减速制动时 } T_w = T_g + T_f - T_a$$

计算液压马达载荷转矩 T 时还要考虑液压马达的机械效率 η_m ($\eta_m = 0.9 \sim 0.99$)。

$$T = \frac{T_w}{\eta_m}$$

根据液压缸或液压马达各阶段的载荷, 绘制出执行元件的载荷循环图, 以便进一步选择系统工作压力和确定其他有关参数。

2.2.2 初选系统工作压力

压力的选择要根据载荷大小和设备类型而定。还要考虑执行元件的装配空间、经济条件及元件供应情况等限制。在载荷一定的情况下, 工作压力低, 势必要加大执行元件的结构尺寸, 对某些设备