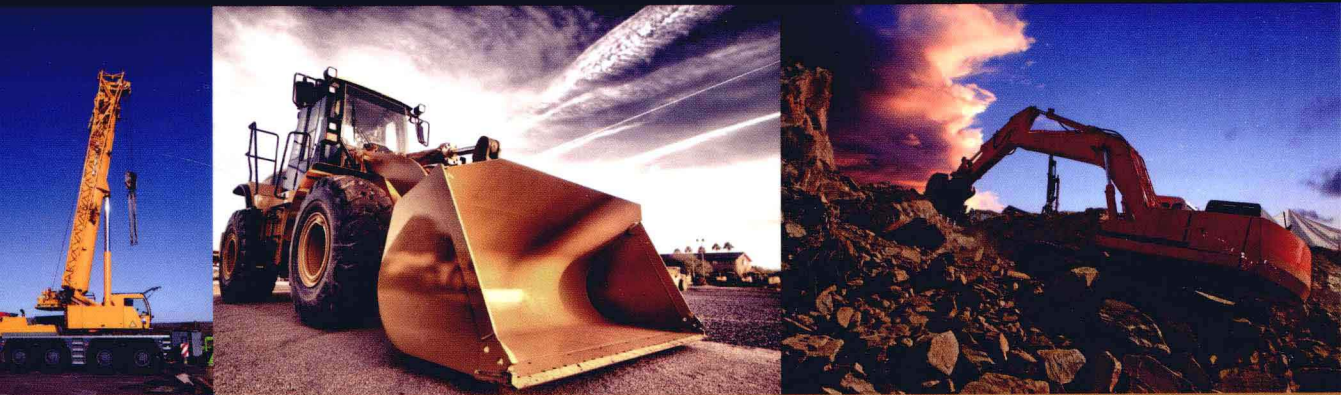


工程机械

液压技术与检修实例

GONGCHENG JIXIE
YEYA JISHU YU JIANXIU SHILI

陆一心 张勇 楼天汝 陆维倩◎等编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

工程机械液压技术 与检修实例

陆一心 张 勇 楼天汝 陆维倩 秦和元 陆 平 编



机械工业出版社

液压技术在工程机械领域应用十分广泛, 液压技术应用已成为工程机械现代化的重要标志。本书在简明扼要地阐述了液压技术基本知识的基础上, 对各种常见工程机械液压系统的构造、特点、工作原理、工作过程等作了详细介绍, 并对典型工程机械液压系统的故障诊断及排除作了重点阐述。主要内容包括液压传动与控制技术基础, 工程机械中常用的液压元件和基本回路, 路面机械、矿山机械、建筑机械、起重运输机械液压系统, 工程机械液压系统检修实例。

本书可供工程机械设计、制造、操作、管理、维修人员阅读使用, 也可作为工程机械专业及相关机械类专业的高等院校师生的教材和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程机械液压技术与检修实例/陆一心等编. —北京: 机械工业出版社, 2013. 5

ISBN 978-7-111-41838-2

I. ①工… II. ①陆… III. ①工程机械—液压系统—检修 IV. ①TU607

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 051730 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 马 晋 责任编辑: 马 晋 李 超

版式设计: 霍永明 责任校对: 陈延翔 肖 琳

封面设计: 马精明 责任印制: 张 楠

高教社(天津)印务有限公司印刷

2013 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.25 印张 · 401 千字

0001 - 4000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 41838 - 2

定价: 39.00 元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国经济的快速发展,能源、交通、城市建设的发展步伐进一步加快,建设工程点多面广,作为机械化施工主要设备的工程机械起着越来越重要的作用。由于液压技术具有独特的优点,对于现代工程机械来说,从行走、转向、制动、速度换挡、支腿、变幅到工作装置的各种动作的实现,无不采用液压技术,而且使用面越来越广。工程机械已成为液压技术发展的一个重要方面,许多液压元件的发展就是在工程机械上应用发展的。可以说,液压技术应用已成为工程机械现代化的重要标志。

工程机械的性能直接影响到工程施工的质量和速度,而液压系统的故障往往是引起工程机械设备整机故障的主要原因。因此,在充分熟悉工程机械液压传动系统工作原理的基础上,还必须掌握其液压传动系统的故障诊断技术。

本书在讲述液压技术原理的基础上,详细介绍了工程机械上的液压技术装置的工作原理、结构特点、使用工况,并结合实际介绍了关键液压元件的故障诊断与排除方法。它可以为从事工程机械设计的技术人员提供液压系统设计的理论依据,可为工程机械操作、维护、管理人员提供使用、维护、诊断故障及其排除上的帮助,也可作为大专院校工程机械及相关专业的教材或教学参考用书。

本书由陆一心、张勇、楼天汝、陆维倩、秦和元、陆平编写。第1章、第7章和附录由陆一心执笔,第2章、第6章由张勇、楼天汝、陆一心执笔,第3章由陆一心、张勇、陆平执笔,第4章、第5章由陆一心、陆维倩、秦和元执笔,第8章由陆一心、张勇、楼天汝执笔,全书由陆一心统稿审定。本书所采用的液压元件和液压系统符号均符合国家最新标准,陈奎为此作出了细致的工作,在此表示感谢。

本书在编写过程中,参阅了有关文献、书籍和技术资料,未一一列举,在此谨向有关作者和专家表示诚挚的感谢。

由于编者水平和能力的局限性,书中难免会有错误和不足之处,恳请阅者和同行专家批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 液压传动与控制技术基础 1

- 1.1 液压传动与控制系统的的工作
原理及组成 1
 - 1.1.1 液压传动与控制系统的的工作
原理 1
 - 1.1.2 液压传动与控制系统的组成 2
 - 1.1.3 液压传动与控制系统的
图形符号 2
- 1.2 液压传动与控制系统的的特点及
基本参数 3
 - 1.2.1 液压传动与控制系统的的特点 3
 - 1.2.2 液压传动与控制系统的的基本参数 4
- 1.3 液压系统的应用及发展趋势 4
- 1.4 工程机械中的液压技术 5
 - 1.4.1 液压技术在工程机械中的应用 5
 - 1.4.2 工程机械对液压传动与控制
系统的要求 6

第2章 工程机械中常用的液压元件 7

- 2.1 液压泵 7
 - 2.1.1 液压泵的工作原理 7
 - 2.1.2 液压泵的性能参数 7
 - 2.1.3 齿轮泵 8
 - 2.1.4 叶片泵 10
 - 2.1.5 柱塞泵 13
 - 2.1.6 其他液压泵 15
- 2.2 液压马达 17
 - 2.2.1 液压马达的工作原理 17
 - 2.2.2 齿轮马达 18
 - 2.2.3 叶片马达 19
 - 2.2.4 低速液压马达 19
- 2.3 液压缸 22
 - 2.3.1 液压缸的类型及特点 22
 - 2.3.2 液压缸的结构 26
- 2.4 液压控制阀 31
 - 2.4.1 方向控制阀 31
 - 2.4.2 压力控制阀 38

- 2.4.3 流量控制阀 42
- 2.4.4 二通盖板式插装阀 44
- 2.4.5 螺纹式插装阀 50
- 2.4.6 叠加阀 54
- 2.4.7 多路换向阀 58
- 2.4.8 电-液比例阀 60
- 2.4.9 其他液压阀 69
- 2.5 液压辅助元件 73
 - 2.5.1 密封装置 73
 - 2.5.2 过滤器 76
 - 2.5.3 蓄能器 77
 - 2.5.4 油箱 78
 - 2.5.5 热交换器 79
 - 2.5.6 管件 79

第3章 工程机械中常用的液压

基本回路 82

- 3.1 由普通液压控制元件组成的基本
回路 82
 - 3.1.1 速度控制回路 82
 - 3.1.2 方向控制回路 90
 - 3.1.3 压力控制回路 92
 - 3.1.4 多缸运动控制回路 96
 - 3.1.5 其他回路 100
- 3.2 由多路换向阀组成的基本回路 102
 - 3.2.1 限压换向卸荷回路 102
 - 3.2.2 缓冲补油回路 103
- 3.3 由螺纹插装阀组成的液压回路 103

第4章 路面机械液压系统 104

- 4.1 路面机械简介 104
 - 4.1.1 路面机械的分类 104
 - 4.1.2 现代路面机械的工程特性 105
 - 4.1.3 路面机械的发展趋势 105
- 4.2 路面摊铺机液压系统 105
 - 4.2.1 路面摊铺机的总体结构 106
 - 4.2.2 路面摊铺机的液压系统分析 110
- 4.3 振动压路机液压系统 114
 - 4.3.1 振动压路机的总体结构 115

4.3.2 振动压路机的液压系统分析	118	第7章 起重运输机械液压系统	196
4.3.3 YZC10 型振动压路机液压系统 分析	125	7.1 叉车液压系统	196
4.4 路面破碎机液压系统	128	7.1.1 叉车的总体结构	196
4.4.1 水泥路面破碎方法	128	7.1.2 叉车的液压系统分析	197
4.4.2 一种新型液压破碎锤控制 系统	129	7.2 汽车式起重机液压系统	199
第5章 矿山机械液压系统	131	7.2.1 QY-8 型汽车式起重机液压 系统	200
5.1 矿山机械的工程特性	131	7.2.2 QY20B 型汽车式起重机 液压系统	204
5.2 铲运机液压系统	131	7.3 KH100 型履带式起重机液压系统	206
5.2.1 铲运机的总体结构	131	7.3.1 KH100 型履带式起重机的结构	206
5.2.2 CL7 型自行式铲运机	132	7.3.2 KH100 型履带式起重机的 液压系统分析	208
5.2.3 627B 型自行式铲运机	138	7.4 GYT-200 型液压提升装置液压系统	213
5.2.4 LDF4.1 型铲运机	141	7.4.1 悬索液压提升法的工作原理	213
5.3 液压凿岩机	145	7.4.2 GYT-200 型液压提升装置的 总体结构	214
5.3.1 液压凿岩机的基本结构	145	7.4.3 GYT-200 型液压提升装置的 液压系统分析	217
5.3.2 典型液压凿岩机的工作原理	150	7.4.4 GYT-200 型液压提升装置的 电气控制系统	220
5.3.3 典型液压凿岩机的液压系统 分析	153	第8章 工程机械液压系统检修实例	221
5.4 凿岩台车液压系统	156	8.1 路面摊铺机液压系统检修与故障 诊断	221
5.4.1 凿岩台车的分类	156	8.2 汽车式起重机液压系统检修与 故障诊断	225
5.4.2 凿岩台车的主要工作机构及 液压系统分析	157	8.3 工程机械液压系统的故障诊断与 排除	230
第6章 建筑机械液压系统	163	8.3.1 液压系统故障诊断技术与 诊断步骤	230
6.1 建筑施工设备的作业特征	163	8.3.2 根据噪声和振动的诊断方法	232
6.2 装载机液压系统	163	8.3.3 基于温升的液压系统故障 分析	235
6.2.1 装载机的总体结构	163	8.3.4 基于压力变化的液压系统 故障分析	238
6.2.2 装载机的液压系统分析	165	8.3.5 油液污染的诊断方法	241
6.3 挖掘机液压系统	177	附录 常见液压元件的图形符号	243
6.3.1 挖掘机的总体结构	177	参考文献	254
6.3.2 挖掘机的液压系统分析	178		
6.4 推土机液压系统	185		
6.4.1 推土机的总体结构	185		
6.4.2 推土机的液压系统分析	187		
6.5 混凝土搅拌运输车液压系统	189		
6.5.1 混凝土搅拌运输车的总体结构	190		
6.5.2 混凝土搅拌运输车的液压系统 分析	190		

第 1 章 液压传动与控制技术基础

1.1 液压传动与控制系统的的工作原理及组成

1.1.1 液压传动与控制系统的的工作原理

把液体作为工作介质，运用介质的压力能，进行动力或运动传递，这种传动方式称液压传动。

以磨床工作台换向系统来说明液压传动的工作原理（图 1-1a），液压泵 4 由电动机带动

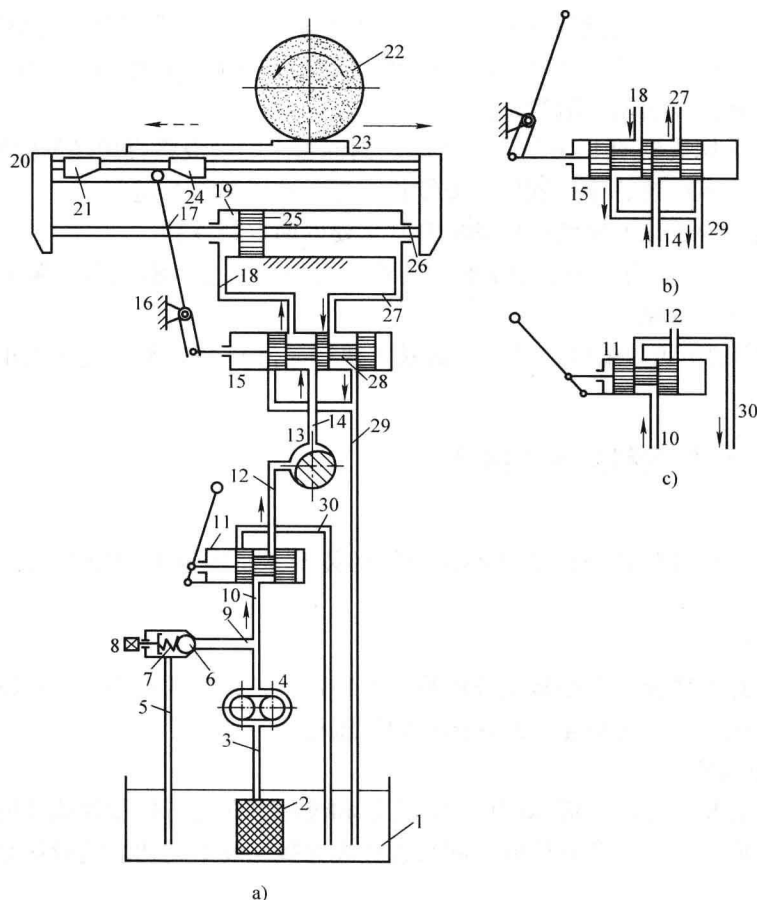


图 1-1 平面磨床传动工作原理

a) 结构图 b)、c) 换向阀动作图

- 1—油箱 2—过滤器 3、5、9、10、12、14、18、27、29、30—油管 4—液压泵 6—溢流阀阀芯
7—溢流阀调压弹簧 8—溢流阀 11—开停阀 13—节流阀 15—换向阀 16—固定点 17—换向杆 19—液压缸
20—工作台 21、24—挡块 22—砂轮 23—工件 25—活塞 26—活塞杆 28—换向阀阀芯

旋转后,从油箱1经过滤器2吸油,油液经液压泵加压后压入油管10中,当手动开停阀11把压力油接通系统,而系统各元件处在图示位置时,油液便可通过节流阀13、换向阀15进入液压缸19左腔,推动活塞25和工作台20向右移动,与此同时,液压缸19右腔的油液经换向阀15和油管29排回油箱。

活塞25的移动速度可由节流阀13加以调节,当节流阀阀口开大时,单位时间内进入液压缸19的油液增多,活塞带着工作台的移动速度增大;当阀口关小时,速度就变小。为了克服工作台移动时的负载,活塞25会自动获得由液压缸内油压产生的推力,且当负载大时,油压及推力也会大。

液压泵4输出的油液除被节流阀13限制通过的以外,多余的流量将自动打开溢流阀8经油管5排回油箱。

当工作台移到一定位置,换向阀15的换向杆17被安装在工作台上的挡块21推动而将阀芯28拉至图1-1b所示位置时,压力油将从油管14经油管27进入液压缸右腔,推动活塞向左移,并使液压缸左腔的油液经油管18、29回油箱。当活塞左移至一定位置,挡块24将换向杆17拉回至图1-1a所示位置时,工作台又被推向右边。如此在挡块21、24的控制下,工作作不间断地往复运动,磨削工件。

当将开停阀手柄拨到图1-1c所示位置时,则油管中的油液将直接经开停阀11和油管30流回油箱,而不输入系统,于是液压缸便停止工作,液压泵卸荷运行。

从上式的例子中可以看出液压传动中非常重要的两点特性:

1) 系统中液体的压力由被电动机驱动的液压泵按照需要克服的负载阻力产生,并自动随阻力变化而作同向变化。

2) 由于液体的不可压缩性,液压缸活塞(执行元件)的稳态运动速度正比于输入或排出的负载流量。

1.1.2 液压传动与控制系统的组成

1. 能源装置

能源装置是把机械能转换成流体的压力能的装置,是系统的能量来源,系统由此获得能量。

2. 执行装置

执行装置是把流体的压力能转换成机械能的装置,是系统的输出。它可以是作直线运动或摆动运动的液压缸,也可以是作回转运动的液压马达。

3. 控制调节装置

控制调节装置是对系统中流体的压力、流量和流动方向进行控制和调节的装置,如溢流阀、节流阀、换向阀等,这些元件的不同组合就成为能完成不同功能的液压系统。

4. 辅助装置

辅助装置是指除以上三种以外的其他装置,如油箱、过滤器、蓄能器、管道、管接头、密封装置等。它们对保证系统可靠和稳定工作也有很重要的作用。

1.1.3 液压传动与控制系统的图形符号

图1-1所示的系统图是用结构式表示的。这种图直观性强,容易理解,但绘制比较麻

烦。图1-2所示的同一系统用标准图形符号绘制。这些图形符号符合GB 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图》的标准。图形符号使系统图简单明了,便于绘制。当有特殊或专用的元件无法用标准图形表达时,仍可使用结构示意图。

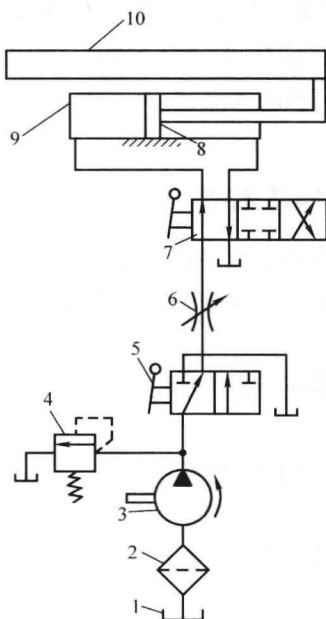


图1-2 机床工作台液压系统的图形符号

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—溢流阀 5—开停阀 6—节流阀
7—换向阀 8—活塞 9—液压缸 10—工作台

1.2 液压传动与控制系统的特点及基本参数

1.2.1 液压传动与控制系统的优点

液压传动与其他传动形式相比较,有以下特点。

1) 功率密度(即单位质量所具有的功率)大,结构紧凑,质量轻。高压液压泵为5~6.8kW/kg,发电机为0.5~0.68kW/kg,前者约为后者的12%~13%,且尺寸相差悬殊。

2) 传动平稳,能实现无级调速,且调速范围大。调速比高达2000,最低稳定转速1r/min,且可在运行中调速。

3) 液压元件质量轻、惯性矩小,变速性能好。可实现高频率的换向,液压马达高速换向达8次/s,液压缸高速换向达7~8次/s,电动机达不到。液压马达加速仅需0.1s,而同功率的电动机加速则需1~12s,故液压元件的快速性好。

4) 布局方便灵活。

5) 易于实现过载保护。

6) 运动平稳可靠,液压元件可自行润滑,使用寿命较长。

7) 便于实现自动化和中等距离内的能量分配、传输和控制。

但液压传动也有不足, 主要缺点有:

- 1) 工作过程中常有较多的能量损失(摩擦损失, 泄漏损失等); 易泄漏, 不仅污染工作场地, 还可能引起失火事故, 而且影响执行部件的运动平稳性及正确性。
- 2) 工作时受温度变化影响较大, 油温变化使液体粘度变化, 引起运动特性变化。
- 3) 液压脉动和液体中混入空气时, 易产生噪声。
- 4) 为了减小泄漏, 液压元件制造工艺水平要求较高, 且使用与维护需要较高的技术水平。

1.2.2 液压传动与控制系统的的基本参数

液压传动是以液体作为工作介质, 以液体的压力来实现动力的传递, 以密封的工作容积变化来实现运动的传递。在液压系统中工作压力决定于负载的大小, 而执行装置的运动速度取决于输入执行装置的流量。

压力和流量是液压系统中最基本的两个参数。

1. 压力 p

压力 p 的单位是 N/m^2 , 或称为 Pa, 读帕。

$$1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$$

力 F 的单位是 N, 扭矩 T 的单位是 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

2. 流量 q

流量 q 的单位是 m^3/s , 工程上常用 L/min 。

速度 v 的单位是 m/s , 也有用 m/min 或 mm/min 的。

转速 n 的单位是 rad/s , 工程上常用 r/min 。

3. 功率 P

功率 P 的单位是 W 和 kW。

液压功率 $P = pq$, 机械功率 $P = Fv$ 或 $P = Tn$ 。

4. 效率 η

总效率

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

式中 P_{out} ——系统(或元件)的输出功率;

P_{in} ——系统(或元件)的输入功率。

效率

$$\eta = \eta_m \eta_v$$

式中 η_m ——机械效率;

η_v ——容积效率。

1.3 液压系统的应用及发展趋势

按应用领域列举的液压技术的应用, 见表 1-1。

表 1-1 液压技术的应用

应用领域	应用实例
机械制造设备	各种液压机具如磨床、拉床、刨床、组合机床、数控机床、加工中心及自动化生产线、各种液压机、机器人、机械手等
车辆用工程机械	轿车、自卸卡车、液压汽车起重机、液压叉车、液压挖掘机、推土机、装载机、打桩机、平地机等
冶金、采矿机械	轧钢机、平炉装料机、转炉及电炉的料钟控制、炉体的倾动和炉盖提旋装置、带钢跑偏控制设备、凿岩机、开掘机、提升机、液压支架等
轻工、食品及电子设备	各种塑料成型机、造纸机、纺织机、印刷机、揉糖机、香肠灌装机、打包机等
船舶机具	液压舵机、锚机、艙口开启装置等
化工、医疗设备	离心机卸料装置、造气自动机、医用牵引床等
农业机械	联合收割机、捆草机、拖拉机等
兵器及航空设备	高炮瞄准装置、炮雷达天线、飞机及其他地面设备、战略飞行器及诱机、导弹及通信卫星发射等

当前，液压技术发展趋势大致见表 1-2。

表 1-2 液压技术发展趋势

发展趋势	举 例
高压化、大流量化	超高压技术、水利建设、填海工程、开式系统 35MPa、闭式系统 48MPa
结构小型化、轻量化、动能复合化、集成化	叠加式、插装式（盖板及螺纹）、多功能综合控制液压阀、微型液压元件以及集动力源控制器和执行器于一体的多功能单元和电液集成元件的开发
高精度、数控化	数控机床、加工中心等
延长元件寿命、提高元件及系统可靠性	液压元件强化快速寿命试验方法、污染控制技术、元件及系统的故障诊断技术、系统可靠性预测技术的研究和应用；应用新材料（如涂层材料、陶瓷和塑料），改进摩擦副工作性能；在系统设计中采用设计余度技术等
降低能耗、提高效率、实现节能	节能型液压元件的开发（如低功耗电磁阀），系统设计中应用负载参数适应技术，二次调节技术、微机自适应控制技术等节能技术；研究和运用原动机与液压装置的最优联合调节方法，进一步改进密封技术与连接技术，减小泄漏损失和污染；采用负荷传感技术，采用蓄能器回路等
污染控制	封闭式密封系统，重视元件及系统的耐污染度，发展高效过滤材料和过滤器
降低液压振动和噪声	运用管道网络动态分析及液流数值计算技术，优化运动、流动和结构，应用隔振技术、消声技术，减小振动和噪声并提高性能
用电子技术强化液压技术，提高控制系统性能	具有数字接口的电液元件的开发；采用现代控制理论对系统动态进行补偿，液压伺服系统的非线性控制、鲁棒控制和智能控制，用于液压伺服控制的神经网络算法及相应硬件实现，机器人伺服系统的解耦与特性补偿等；元件、系统的设计、试验及制造等采用计算机技术，如 CAD、CAT/CAD/CAM 一体化

1.4 工程机械中的液压技术

1.4.1 液压技术在工程机械中的应用

由于液压传动的突出特点，其在国内外工程机械上已得到广泛的应用。从挖掘机、装载

机、起重机、推土机、铲运机、平地机到混凝土泵、振动压路机等都实现了液压化。工程机械采用液压传动后,普遍比原来同规格机械传动产品减小了外形尺寸、减轻了重量,提高了产品性能。例如起重机采用液压伸缩臂后增加了运输状态的机动性和作业时的灵活性及作业环境的适应性;挖掘机工作装置采用液压传动,使铲斗可以转动,增加了作业的自由度,提高了作业质量;起重机采用了液压支腿,大大缩短了作业准备时间,又由于支腿能很灵便地外伸,提高了作业时机械的稳定性;装载机采用液压传动后使铰接车架形式得到广泛应用。

行走部分采用了液压传动,可使机械底盘结构大大简化,因而易于改型和发展新品种。液压传动驱动的行走部分,转弯半径很小,甚至可原地转向。

工程机械由于采用了各种液压助力装置,使操作大大简化、轻巧、灵便。不像机械传动那样必须有多个手柄,而且需手脚并用的操作。操作的改善大大减轻了操作者的劳动强度,有利于提高作业效率。

液压技术的采用大大促进了工程机械的发展,这既表现在产品结构的改进、性能的提高上,也表现在产品的规格、品种和数量的增加,即工程机械的发展速度上。要发展一种新的工程机械品种,采用液压传动的比采用机械传动的所用的研制过程要短得多,因为液压元件易于实现“三化”,元件在整机上的布置容易,并使整机的结构简单,应该说,工程机械的发展,液压技术起到了至关重要的作用。

1.4.2 工程机械对液压传动与控制系统的要求

工程机械多在室外工作,作业环境较为恶劣,如挖掘机、铲运机、起重机、装载机、推土机等机械设备的推、拉、举、吊、运等作业,经常处于泥土砂尘之中,风霜雪雨之下,严寒酷暑之中,潮湿腐蚀环境之间。工作载荷往往是多变并伴有振动的,工作速度经常处于瞬态转换兼有惯性冲击。因而对工程机械液压系统应有与固定式作业机械、室内工作机械的液压系统不同的要求。

工程机械对液压系统主要要求是保证主机具有良好的工作性能。

- 1) 工程机械的液压系统应具有良好的环境适应性和可靠的封闭性。
 - 2) 工程机械液压系统经常处在倾斜、振动、颠簸情况下工作,因此系统应具有更高的工作可靠性;对各种多变载荷和多变速度的作用,系统应具有灵敏的实时应变的能力。
 - 3) 液压系统应具有更好的机动性,使系统封闭而又能作各种变动。如元件间的柔性连接,活动连接,万向连接等装置。
 - 4) 系统应具有较完善的安全装置,如执行元件的过载卸荷、缓冲和限速装置等。
 - 5) 减小系统的发热量,保证系统连续工作时液压油温不超过 65°C 。
- 由于工程机械在野外作业多,工作条件恶劣,为了保证系统和元件的正常工作,系统必须设置良好的加油、吸油及油液过滤装置。
- 6) 大型工程机械应考虑有应急能源。为了减轻驾驶员劳动强度,可采用先导操纵。
 - 7) 系统要尽可能简单、易于安装和维护修理。

第2章 工程机械中常用的液压元件

2.1 液压泵

2.1.1 液压泵的工作原理

液压泵是将机械能转换成流体的压力能的能量转换装置，是向液压传动系统提供压力油的能源装置。液压传动技术中所用的各种泵都是依靠密封工作腔容积大小交替变化工作的，也称为容积式泵。

图2-1所示为单柱塞容积式泵的工作原理。偏心轮1旋转时，柱塞2在偏心轮1和弹簧3的作用下在缸体中左右往复运动。当柱塞右移时，密封工作腔4的容积增大，产生真空，油箱中的油液在液面大气压的作用下，打开吸油阀5，进入密封工作腔4，该过程称为吸油状态。此时系统中的油压和弹簧将压油阀6关闭。当柱塞左移时，密封工作腔4的容积减小，油液压力升高，将吸油阀5关闭，油液经阀6输入系统，该过程称为压油状态。

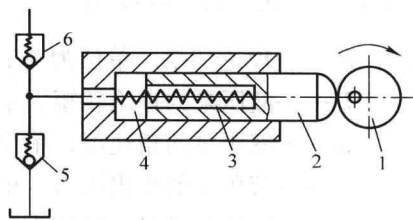


图2-1 单柱塞容积式泵的工作原理

1—偏心轮 2—柱塞 3—弹簧
4—密封工作腔 5—吸油阀 6—压油阀

容积式液压泵工作应具备的基本条件为：

- 1) 结构上能实现具有密封性能的可变工作腔。
- 2) 密封工作腔的容积能周而复始地增大和减小，增大时与吸油腔连通，变小时与压油腔连通。
- 3) 吸油腔与压油腔不能互通。

2.1.2 液压泵的性能参数

1. 输出压力和额定压力

液压泵的输出压力是指其工作时的压力，主要取决于负载。额定压力是指液压泵在正常工作条件下，能连续运转的最高压力。输出压力超过额定压力就是过载。压力的单位是Pa (N/m²)、kPa、MPa。

2. 排量和流量

液压泵轴转一周，密封容积的变化量称为排量，即在无泄漏的情况下，泵轴转一周所能排出的液体体积，用 V 表示，单位为m³/r、l/r或ml/r。

液压泵的理论流量是指泵在单位时间内理论上可排出的液体体积，用 q_t 表示，单位为m³/s、m³/min或L/min。当泵的转速为 n 时，有

$$q_t = Vn \quad (2-1)$$

式中 n ——单位时间内的转速，单位为r/s或r/min。

由于存在泄漏, 泵输出的实际流量 q 小于理论流量 q_t , 实际流量与理论流量的比值称为容积效率 η_v

$$\eta_v = \frac{q}{q_t} = \frac{q_t - \Delta q}{q_t} = 1 - \frac{\Delta q}{q_t} \quad (2-2)$$

式中 Δq ——泵的泄漏量。

在一定范围内, 泵的泄漏量随泵的工作压力的增高而增大, 所以泵的容积效率随着泵的工作压力升高而降低。液压泵的额定流量指在额定转速和额定压力下由泵输出的流量。

3. 功率和总效率

在理想情况下, 泵可将机械能全部转变为液压能, 则输入功率等于输出功率, 即理论功率是

$$P_t = T_t \omega = p q_t \quad (2-3)$$

将式 (2-1) 代入式 (2-3) 得

$$T_t = \frac{p V n}{\omega} = \frac{p V}{2\pi} \quad (2-4)$$

式中 P_t ——理论功率, 单位为 W;

T_t ——液压泵的理论转矩, 单位为 $N \cdot m$;

ω ——液压泵的角速度, 单位为 rad/s ;

p ——液压泵的输出压力, 单位为 Pa;

V ——液压泵排量, 单位为 m^3/r 。

实际上, 由于泵内有各种机械和液压摩擦损失, 泵的理论转矩 T_t 应小于输入的实际转矩 T , 两者的比值称为液压泵的机械效率, 即

$$\eta_m = \frac{T_t}{T} = \frac{T - \Delta T}{T} = 1 - \frac{\Delta T}{T} \quad (2-5)$$

式中 ΔT ——液压泵的损失转矩, 单位为 $N \cdot m$ 。

液压泵的总效率等于泵的输出功率与输入功率之比, 即

$$\eta = \frac{pq}{T\omega} \quad (2-6)$$

将上述有关式代入式 (2-6) 并化简得

$$\eta = \eta_v \eta_m \quad (2-7)$$

2.1.3 齿轮泵

齿轮泵由于结构简单紧凑、体积小、重量轻、工艺性好、价格便宜、自吸能力强、对油液污染不敏感、维修方便及工作可靠等优点, 在工程机械上得到了广泛的应用。其缺点是泄漏较大、流量脉动大、噪声较高、径向不平衡力大, 所以一般齿轮泵的额定压力不高。但通过结构改进后, 也可达到较高的工作压力, 目前有 30MPa 的。齿轮泵按结构形式分为外啮合和内啮合两种。

1. 外啮合齿轮泵

(1) 工作原理 图 2-2 所示为外啮合齿轮泵的工作原理图。泵体内装有一对相同的外啮合齿轮, 齿轮两侧靠端盖密封。泵体、端盖和齿轮的各个齿间槽组成了许多密封工作腔。

当齿轮按图示方向旋转时, 下侧吸油腔由于相互啮合的轮齿逐渐脱开 (如图中的轮齿

10 从轮齿 1' 和 10' 之间退出), 使吸油腔容积变大而形成一定的真空度, 油箱中的油液在油面上大气压力的作用下进入吸油腔, 将齿槽充满, 并随着齿轮旋转, 被带到上侧的排油腔。在排油腔内, 由于轮齿逐渐进入啮合 (如图中轮齿 1 进入轮齿 1' 和 2' 之间), 密封工作腔容积不断变小, 油液便被排出。随着齿轮连续旋转, 泵的吸油和排油连续地进行, 油液就被源源不断地输送出去。

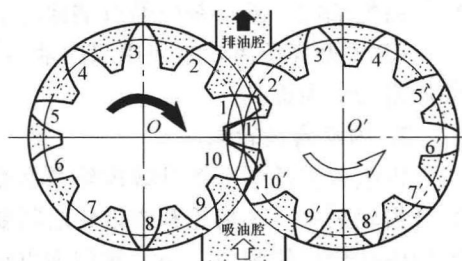


图 2-2 外啮合齿轮泵的工作原理

(2) 外啮合齿轮泵在结构上的几个问题

1) 困油现象。齿轮泵要平稳而连续地工作, 齿轮啮合的重叠系数必须大于 1, 于是总有两对轮齿同时啮合, 并有一部分油液被围困在两对轮齿所形成的封闭容积之间, 如图 2-3 所示。这个封闭的容积随着齿轮的转动在不断地发生变化。封闭容积由大变小时, 被封闭的油液受挤压并从缝隙中挤出而产生很高的压力, 油液发热, 并使轴承受到额外负载; 而封闭容积由小变大, 又会造成局部真空, 使溶解在油中的气体分离出来, 产生气穴现象。这些都使泵产生强烈的振动和噪声, 这就是齿轮泵的困油现象。

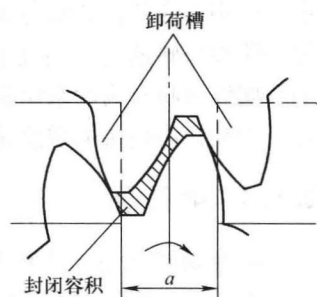


图 2-3 困油现象

消除困油现象的方法是在两侧盖板上开卸荷槽, 如图 2-3 所示, 这样可使封闭容积在减小时与排油腔相通, 增大时与吸油腔相通。

2) 径向不平衡力。齿轮泵工作时, 作用在齿轮外圆上的压力是不均匀的。在排油腔和吸油腔, 齿轮外圆分别承受着系统工作压力和吸油压力; 在齿轮齿顶圆与泵体内孔的径向间隙中, 可以认为油液压力由高压腔压力逐渐下降到吸油腔压力。这些液体压力综合作用的合力, 相当于给齿轮一个径向不平衡作用力, 使齿轮和轴承受载。工作压力越大, 径向不平衡力越大, 严重时会造成齿顶与泵体接触而产生磨损。

通常采用缩小排油口的办法减小径向不平衡力, 使高压油仅作用在一个到两个齿的范围内。

3) 泄漏。外啮合齿轮泵高压腔 (排油腔) 的压力油向低压腔 (吸油腔) 泄漏有三条路径: 一是通过齿轮啮合处的间隙, 二是泵体内表面与齿顶圆间的径向间隙, 三是通过齿轮两端面与两侧端盖间的轴向间隙。三条路径中, 端面轴向间隙的泄漏量最大, 约占总泄漏量的 70% ~ 80%, 因此, 普通齿轮泵的容积效率较低, 输出压力也不容易提高。要提高齿轮泵的压力, 首要的问题是减小端面轴向间隙。

4) 提高外啮合齿轮泵压力的措施。要提高齿轮泵的压力, 必须减小端面泄漏, 一般采用齿轮端面间隙自动补偿的办法。图 2-4 所示为端面间隙的补偿原理。利用特别的通道把泵内排油腔的压力油引到轴套外侧, 作用在一定形状和大小的面积上, 产生液压作用力, 使轴套压向齿轮端面。这个力必须大于齿轮端面作用在轴套内侧的作用力, 才能保证在各种压力下, 轴套始终自动

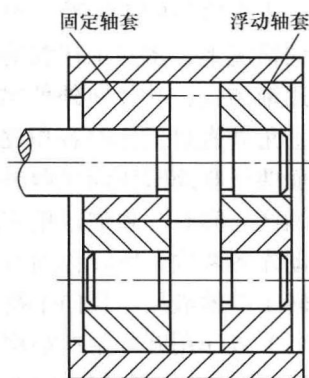


图 2-4 外啮合齿轮泵端面间隙补偿原理

贴紧齿轮端面,减小泵内通过端面的泄漏,达到提高压力的目的。

CB-Z 型高压齿轮泵采用双向液压补偿,额定压力最高可达 31.5 MPa, $\eta_v \geq 85\%$, 泵的使用寿命大大提高。

2. 内啮合齿轮泵

内啮合齿轮泵有渐开线齿轮泵和摆线齿轮泵(摆线转子泵)两种。在渐开线齿形的内啮合齿轮泵中,小齿轮和内齿轮之间要装一块隔板,以便把吸油腔和排油腔隔开。在摆线齿形的内啮合齿轮泵中,小齿轮和内齿轮只相差一个齿,因而不需设置隔板。内啮合齿轮泵中的小齿轮是主动轮。

内啮合齿轮泵结构紧凑、尺寸小、重量轻;由于齿轮转向相同,故相对滑动速度小、磨损小、使用寿命长;流量脉动远比外啮合齿轮泵小,因而压力脉动和噪声都较小;内啮合齿轮泵容许使用高转速(高转速下的离心力能使油液更好地充入密封工作腔),可获得较大的容积效率。摆线内啮合齿轮泵结构更简单,而且由于啮合的重叠系数大,传动平稳,吸油条件更为良好。内啮合齿轮泵的缺点是齿形复杂,加工精度要求高,需要专门的制造设备,造价较高。

2.1.4 叶片泵

叶片泵按其每个工作腔在泵每转一周时吸油、排油的次数,分为单作用叶片泵和双作用叶片泵两类,单作用叶片泵常用作变量泵,双作用叶片泵只能用作定量泵。

叶片泵具有结构紧凑、运动平稳、噪声小、输油均匀以及寿命长等优点,广泛应用于中、低压液压系统中,其工作压力为 6 ~ 21 MPa。

1. 双作用叶片泵

(1) 工作原理 图 2-5 所示为双作用叶片泵的工作原理。泵由转子 3、定子 1、叶片 4、配油盘和端盖等零部件组成。定子内表面由两个长半径圆弧、两个短半径圆弧和四个过渡曲线共八个部分组成,且定子和转子是同心的。叶片在转子的槽内可灵活滑动,在转子转动时的离心力以及通入叶片根部压力油的作用下,叶片顶部贴紧在定子内表面上,于是两相邻叶片、配油盘、定子和转子间便形成了一个密封的工作腔。在图示转子顺时针方向旋转的情况下,密封工作腔的容积在左上角和右下角处逐渐增大,叶片向外伸出,为吸油区;左下角和右上角处密封工作腔容积逐渐减小,叶片在定子内表面曲线收缩时压向里收缩,为排油区;吸油区和排油区之间有一封油区把它们隔开。这种泵的转子每转一周,每个密封工作腔完成吸油和排油动作各两次,所以称为双作用叶片泵。泵的两个吸油区和两个排油区是径向对称的,作用在转子上的液压力径向平衡,所以又称为平衡式叶片泵。

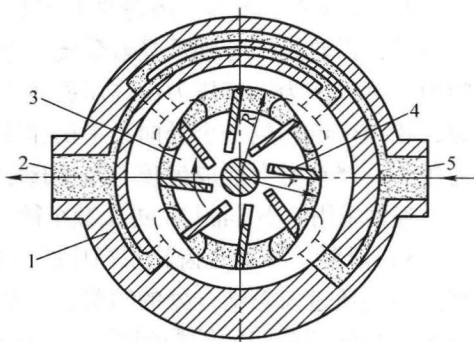


图 2-5 双作用叶片泵工作原理

1—定子 2—排油口 3—转子
4—叶片 5—吸油口

(2) 双作用叶片泵在结构上的特点

1) 保证叶片紧贴定子内表面。双作用叶片泵的叶片是靠离心力的作用紧贴定子内表面的。在排油区,叶片顶部受液压力的作用,使叶片不能可靠地紧贴定子内表面,因此将叶片

底部通过特制油道与排油区相通。这样,在排油区,作用在叶片底部和顶部的液压力相互平衡,可保证叶片可靠地紧贴在定子内表面上。但在吸油区,叶片在液压力和离心力的共同作用下紧贴定子内表面,使叶片产生较大的压力,加速了定子内表面的磨损。在高压叶片泵中,这一问题尤为突出。为解决这一问题,常采用特种叶片结构,如图2-6所示。

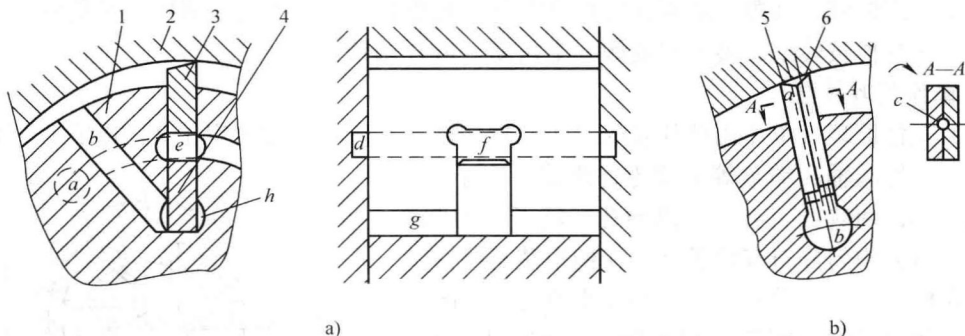


图2-6 特种叶片结构

a) 子母叶片 b) 双叶片

1—转子 2—定子 3—母叶片 4—子叶片 5、6—叶片

图2-6a所示为子母叶片结构。母叶片3和子叶片4之间的油室 f 始终经槽 e 、 d 、 a 与压力油腔相通,而母叶片的底腔 h 则经转子1的孔 b 与所在油腔相通。这样,叶片处于吸油腔时,母叶片只有在油室 f 的高压油作用下压向定子2内表面,使作用力不致过大。图5-6b所示为双叶片结构。在两叶片间开有小孔 c ,当压力油进入叶片底部时,通过小孔进入叶片顶端,使叶片的顶部和底部油压力基本保持平衡,减小了对定子表面的压紧力。

2) 定子内曲线。双作用叶片泵的定子内曲线是由四段圆弧和四段过渡曲线组成的。为减小冲击,应使叶片在转子槽中作径向运动时的速度没有冲击,过渡曲线不能用叶片过渡曲线段匀速伸缩的阿基米德螺线,而常用等加速、等减速曲线,或正弦、余弧曲线。

(3) YB型双作用叶片泵结构

YB型叶片泵的结构如图2-7所示,它由前泵体7和后泵体6,左配油盘1和右配油盘

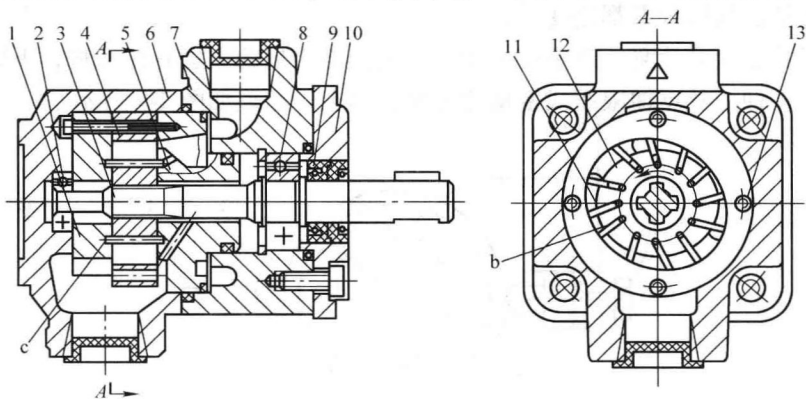


图2-7 YB型叶片泵结构

1—左配油盘 2、8—滚子轴承 3—传动轴 4—定子 5—右配油盘 6—后泵体 7—前泵体

9—油封 10—压盖 11—叶片 12—转子 13—螺钉