

WAJUEJI YEYAYUANLI

JI CHAIZHUANG WEIXIU

挖掘机液压原理 及拆装维修

徐州宏昌工程机械职业培训学校 组织编写

张钦良 主 编

李 波 副主编



化学工业出版社

挖掘机液压原理及拆装维修

徐州宏昌工程机械职业培训学校 组织编写

张钦良 主 编

李 波 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

挖掘机液压原理及拆装维修/张钦良主编. —北京:
化学工业出版社, 2009.2
ISBN 978-7-122-04039-8

I. 挖… II. 张… III. ①挖掘机-液压系统-理论
②挖掘机-液压系统-装配(机械) ③挖掘机-液压系
统-维修 IV. TU621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 168742 号

责任编辑: 张兴辉 贾 娜
责任校对: 周梦华

装帧设计: 杨 北

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 25 字数 669 千字 2009 年 3 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

近年来，液压传动技术在工程机械中得到了广泛的应用，我国的液压挖掘机工业也得到了迅速发展，几乎取代了机械传动式挖掘机。液压挖掘机具有重量轻、体积小、机构紧凑、挖掘力大、操纵方便、传动平衡、容易实现无级变速和自动控制等优点，受到了广大用户的青睐。

挖掘机液压设备的性能直接影响到工程施工的质量和速度，其液压系统的故障往往是引起挖掘机设备整机故障的主要原因。因此，用户在充分熟悉液压传动系统工作原理的基础上，还必须掌握液压传动系统的结构、拆装及故障诊断技术。

本书结合大量技术资料介绍了挖掘机液压传动系统的原理，液压动力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压辅助元件、液压传动系统等关键液压元件和系统的主要结构、拆装过程、故障诊断与排除方法，并且对卡特 CAT320C、小松 PC130-7 两种典型挖掘机液压系统的特点、原理及故障维修做了具体的分析。

本书由徐州宏昌工程机械职业培训学校组织编写，张钦良主编，李波副主编，李宏担任顾问。参加编写的人员还有纪德林、刘勇、徐西平、齐敦建、赵成志、孙海彬、拾健康、储成明、时建中、李峥。

由于编者水平所限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 液压传动的应用	1
1.1.2 机器的组成与液压传动	1
1.2 液压传动原理	1
1.2.1 液压传动的基本原理	1
1.2.2 液压传动系统的基本组成	3
1.2.3 液压传动系统的图示方法	5
1.2.4 液压传动的优缺点	6
1.3 工作介质	7
1.3.1 液体的主要物理性质	7
1.3.2 液体中的气体与“汽穴”现象	8
1.3.3 液压油的选用	9
1.3.4 合理使用液压油的要点	10
1.4 挖掘机液压系统基本组成	10
1.4.1 挖掘机的结构和基本工作原理	10
1.4.2 挖掘机液压系统组成结构	10
1.5 挖掘机液压系统的维护保养	13
第 2 章 液压传动的流体力学基础	17
2.1 液体静力学基础	17
2.1.1 液体静力学原理	17
2.1.2 液体静压力基本方程和压力传递	17
2.2 液体动力学基础	20
2.2.1 基本概念	20
2.2.2 液体流动的连续性方程	21
2.3 管路压力损失	21
2.3.1 液体的流态	21
2.3.2 压力损失	22
第 3 章 液压动力元件	24
3.1 简述	24
3.1.1 液压泵的基本工作原理和结构类型	24
3.1.2 液压泵的基本性能参数	25
3.2 单柱塞泵和卧式柱塞泵	27
3.2.1 单柱塞泵	27
3.2.2 卧式柱塞泵	28
3.3 轴向柱塞泵	29
3.3.1 轴向柱塞泵的工作原理和分类	29

3.3.2	滑靴及配流盘	32
3.3.3	斜盘式(直轴式)柱塞泵与其变量机构	34
3.3.4	斜轴式轴向柱塞泵	40
3.3.5	泵组装配要领	42
3.3.6	柱塞泵的故障诊断与排除	50
3.4	径向柱塞泵	51
3.4.1	基本结构与工作原理	51
3.4.2	BHP-32/20 型径向柱塞泵	52
3.5	叶片泵	53
3.5.1	单作用叶片泵	53
3.5.2	双作用叶片泵	55
3.5.3	叶片泵的故障分析与排除	57
3.6	齿轮泵	59
3.6.1	外啮合齿轮泵	59
3.6.2	内啮合齿轮泵	62
3.6.3	齿轮泵的故障诊断与排除	64
第4章	液压执行元件	67
4.1	液压马达	67
4.1.1	概述	67
4.1.2	液压马达的主要性能参数和标准	67
4.1.3	齿轮式液压马达	69
4.1.4	叶片式液压马达	71
4.1.5	柱塞式液压马达	73
4.1.6	液压马达的故障诊断与排除	88
4.2	液压缸	89
4.2.1	液压缸的主要参数	89
4.2.2	液压缸的结构形式	91
4.2.3	缸盖与缸底的连接	96
4.2.4	活塞与活塞杆的连接	99
4.2.5	缓冲机构	99
4.2.6	液压缸的故障诊断与排除	102
第5章	液压控制元件	107
5.1	方向控制阀	107
5.1.1	单向阀	108
5.1.2	换向阀	110
5.1.3	方向控制阀的故障诊断	121
5.2	压力控制阀	124
5.2.1	溢流阀	124
5.2.2	减压阀	131
5.2.3	顺序阀	132
5.2.4	压力继电器	135
5.3	流量控制阀	136

5.4	电液比例阀	140
5.4.1	电液比例阀	140
5.4.2	逻辑阀	142
5.5	伺服阀	146
5.5.1	伺服阀工作原理	146
5.5.2	液压伺服控制系统	147
5.5.3	电液伺服阀	148
5.5.4	伺服阀的故障诊断与排除	149
5.6	高速开关阀	150
5.6.1	工作原理	151
5.6.2	特点	151
5.6.3	应用	152
5.7	挖掘机主控制阀及先导操纵阀的结构和操作原理	152
5.7.1	主控制阀	152
5.7.2	先导操纵阀	172
第6章	液压辅助元件	178
6.1	油箱与热交换器	178
6.1.1	油箱	178
6.1.2	热交换器	180
6.2	过滤器	182
6.2.1	过滤器的作用和性能参数	182
6.2.2	过滤器的结构类型	183
6.2.3	过滤器的安装位置	186
6.3	蓄能器	187
6.3.1	蓄能器的类型	187
6.3.2	蓄能器的功用和应用回路	188
6.4	油管 and 管接头	191
6.4.1	油管	191
6.4.2	管接头	192
6.5	密封装置	195
6.5.1	密封装置的作用和类型	195
6.5.2	常用密封材料的性能特点	196
6.5.3	常用密封元件的结构	198
6.5.4	新型同轴密封件	201
第7章	液压传动系统	204
7.1	液压系统的形式	204
7.1.1	开式系统与闭式系统	204
7.1.2	单泵、双泵与多泵系统	205
7.1.3	定量系统与变量系统	206
7.2	基本回路	208
7.2.1	压力控制回路	208
7.2.2	速度控制回路	209

7.2.3	方向控制回路	211
7.2.4	大臂保持阀	212
7.3	挖掘机液压系统实例分析	215
7.3.1	WY160A 型履带式挖掘机液压系统	215
7.3.2	WY100 型挖掘机液压系统分析	218
7.3.3	住友 SH450LHD 型挖掘机液压系统分析	219
7.3.4	挖掘机液压系统故障诊断探讨	233
7.3.5	液压锤使用维护要点及常见故障排除	236
第 8 章	卡特 CAT320C 型挖掘机液压系统	238
8.1	概述	238
8.1.1	卡特 320C 型挖掘机的特点	238
8.1.2	液压泵流量和压力控制系统	239
8.1.3	电子控制系统	241
8.2	先导液压系统	242
8.2.1	先导油回路	242
8.2.2	先导系统液压装置	245
8.3	主泵系统	251
8.3.1	结构和操作	251
8.3.2	泵控制系统	253
8.4	主控制阀	257
8.4.1	主控制阀简述	257
8.4.2	主控制阀油路	260
8.4.3	主安全阀	261
8.4.4	管路安全阀	263
8.4.5	进油单向阀	264
8.4.6	反向流控制	265
8.5	前端工作装置液压系统	269
8.5.1	动臂油缸液压系统	269
8.5.2	斗杆油缸液压系统	274
8.5.3	铲斗油缸液压系统	279
8.5.4	油缸	281
8.6	行走系统	282
8.6.1	行走液压系统	282
8.6.2	行走先导控制阀	285
8.6.3	行走液压马达	287
8.6.4	行走停车制动器	289
8.6.5	排量变换机构	289
8.6.6	行走平衡阀	291
8.6.7	行走系统补油阀	294
8.6.8	直线行走控制阀	295
8.6.9	终传动	296
8.6.10	中心回转接头	298

8.7	回转系统	298
8.7.1	回转液压系统	298
8.7.2	回转马达	304
8.7.3	先导阀	304
8.7.4	回转安全阀	306
8.7.5	回转系统油的补给	308
8.7.6	抗反作用阀	308
8.7.7	回转驱动装置	311
8.8	回油系统	313
8.9	测试与调整	315
8.9.1	测试与调整的准备	315
8.9.2	技术规格	316
8.9.3	测试与调整	317
第9章	小松 PC130-7 型挖掘机液压系统	324
9.1	CLSS 系统简述	324
9.1.1	CLSS 系统原理	324
9.1.2	CLSS 性能特点	325
9.2	液压泵系统	327
9.2.1	液压泵	327
9.2.2	LS 阀	328
9.2.3	PC 阀	331
9.3	控制阀	337
9.3.1	主控制阀	337
9.3.2	卸荷阀	338
9.3.3	主控制阀滑阀	340
9.3.4	LS 旁通阀	342
9.3.5	压力补偿阀	342
9.3.6	斗杆再生油路	343
9.3.7	行走连接阀	345
9.3.8	行走 LS 旁通油路	346
9.3.9	回转排放阀	347
9.3.10	LS 选择阀	349
9.3.11	自减压阀	349
9.4	行走马达系统	352
9.4.1	行走马达的结构	352
9.4.2	行走速度	353
9.4.3	行走制动阀	354
9.5	回转马达系统	356
9.6	PPC 阀	358
9.7	测试和调整	360
9.7.1	测试和调整工作装置、回转和行走油路的液压	367
9.7.2	测量控制油路基本压力	369

9.7.3	测试和调整泵 PC 控制油路内油压	369
9.7.4	测试和调整泵 LS 控制油路内油压	370
9.8	故障诊断	373
9.8.1	故障诊断注意事项	373
9.8.2	使用液压设备时的注意事项	374
9.8.3	故障诊断程序	374
9.8.4	液压系统故障诊断 (H 模式)	375
参考文献		388

第 1 章 绪 论

1.1 概述

1.1.1 液压传动的应用

随着国民经济的迅速发展，作为主要施工设备的工程机械在国民经济建设中发挥着越来越重要的作用。由于液压传动装置具有功率密度高、易于实现直线运动、速度刚度大、便于冷却散热、动作实现容易等优点，在工程机械中得到了广泛的应用。目前 95% 以上的工程机械都采用了液压技术，工程机械液压产品在整个液压工业销售总额中占 40% 以上。现在，采用液压技术的程度是衡量一个国家工业水平的重要指标。

目前，液压传动技术正向高压、高速、高集成化、大功率、高可靠性方向发展，现代液压传动技术与以微电子技术、计算机控制技术、传感技术等为代表的新技术紧密结合、形成了一个完善而高效的控制中枢，成为包括传动、控制、检测、显示乃至诊断、校正、预报在内的机、电、液一体化技术。它是大中功率机械设备实现自动化不可缺少的基础支撑技术，应用极为广泛。

1.1.2 机器的组成与液压传动

所有机械都是由原动力机械、配力机械（传递动力）、工作机械和控制装置组成，如液压挖掘机，包括发动机、液压泵及管路、液压马达和液压缸及各种控制阀和控制电路。另外配置一些辅件，就构成了一台完整的机器——液压挖掘机。

传动是指能量或动力由原动机（发动机、电动机等）向工作装置进行传递和分配，使原动机的运动转变为工作装置的各种不同形式的运动。例如：液压挖掘机动臂、斗杆和铲斗的复杂运动，行走和上部回转运动等。

目前常用的传动方式有电力传动、机械传动、液压传动和气体传动。以液体作为工作介质进行能量转换、传递和分配的传动方式称为液体传动。液体传动分为液力传动和液压传动两类。液压传动是指在密闭的回路中，利用液体和压力能来进行能量的转换、传递和分配的系统。

1.2 液压传动原理

1.2.1 液压传动的基本原理

在各种机械中，机械传动主要是利用齿轮、传动带、链条、杠杆、轴或连杆等机构零件来传递和分配能量的，这一类零部件总称为传动件。

液压传动则是利用封闭系统中的液体压力能进行能量的转换、传递和分配的，其中的液体称为“工作介质”或“工作液体”，它的功能相当于机械传动中的传动件。液压千斤顶是一个最简单而又比较完整的液压传动装置，应用非常普遍，其结构与原理如图 1-1 所示。

柱塞 3 和柱塞孔 1、柱塞 4 和柱塞孔 2 构成两个密封而又可以变化的空间容积。当杠杆

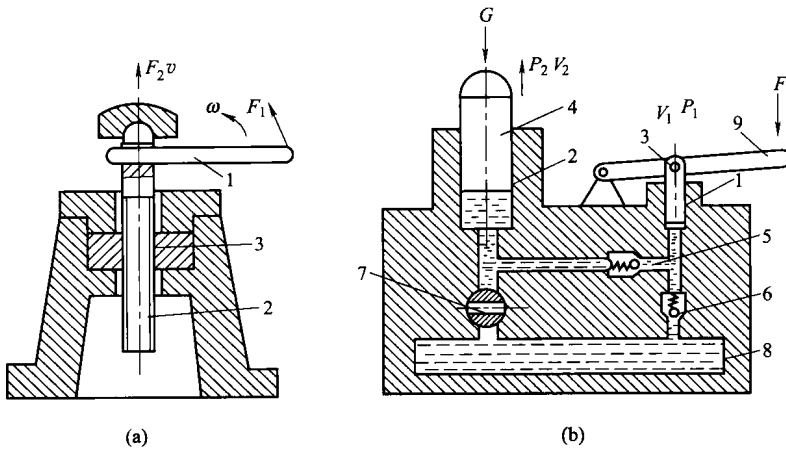


图 1-1 液压千斤顶结构原理

1,2—柱塞孔；3,4—柱塞；5,6—单向阀；7—阀门；8—油池；9—杠杆

9 将柱塞 3 向上提时，柱塞孔 1 中的密封容积扩大，内部压力减小，而形成所谓“真空”状态。这时，油池 8 中的工作液体便在大气压力作用下推开单向阀 6，被吸入柱塞孔 1 的密封空间中，单向阀 5 当然是关闭的；当杠杆 9 向下压柱塞 3 时，单向阀 6 倍关闭，柱塞孔 1 的密封容积缩小，于是工作液体便顶开单向阀 5，排入柱塞孔 2 的密封空间，将柱塞 4 推起，达到升起重物的目的。不停地摇动柱塞 3，可使工作液体源源不断地压入柱塞孔 2 中，使柱塞 4 上升到必需的高度。工作完毕后，将阀门 7 转到接通柱塞孔 2 和油池 8 的位置，在重物 G 的作用下，柱塞 4 收缩，柱塞孔 2 的密封容积缩小，工作液体被排回油池，重物下降复位。就是说，密封容积中的液体不但可以传递力，还可以传递运动。要说明的是：液体必须在密封容积中才能起传动介质的作用。

可见，在液压千斤顶起重过程中，柱塞孔 1 和柱塞孔 2 相当于一个被柱塞 3 和柱塞 4 密封的连通器，如图 1-2 所示。

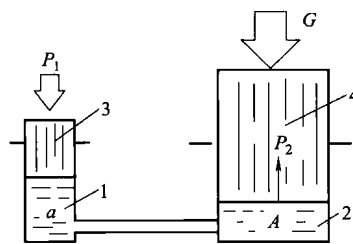


图 1-2 液压千斤顶工作原理

1,2—柱塞孔；3,4—柱塞

根据帕斯卡定理，作用在小柱塞 3 上的力 P_1 ，使它产生压力 P ，并且等值同时传递到密封容器内各处。因此，大柱塞 4 底面也受到液压力 P 的作用而产生推力 P_2 推动重物。 P_1 与 P_2 的关系为

$$\frac{P_1}{a} = \frac{P_2}{A}$$

即

$$P_2 = P_1 \frac{A}{a} \quad (1-1)$$

式中 A ——柱塞 4 的横截面面积；

a ——柱塞 3 的横截面面积。

可见，液体在密封容器内传递的过程中，还可以实现力的放大或缩小作用。由于液压传动是基于帕斯卡原理，利用液体的静压力来传力的，因此又称为静压传动。

根据液体流动时的流量连续性原理，单位时间从小柱塞孔 1 排出的液体体积（即输出流量）一定等于单位时间输入大柱塞孔 2 的液体体积（即输入流量）。显然，小柱塞孔的输出流量取决于小柱塞 3 的运动速度 V_1 ，而大柱塞 4 的上升速度 V_2 则取决于大柱塞孔的输入流量。 V_1 与 V_2 的关系为

$$\frac{V_1}{A} = \frac{V_2}{a}$$

即

$$V_2 = V_1 \frac{a}{A} \quad (1-2)$$

因此，液体在密封容器内传递运动的过程中，也可以实现增速或减速运动，而且各速度之间的关系，只取决于密封空间容积的变化量，与所传递力的大小无关，故液压传动也称为容积式液压传动。

由以上分析可知，小柱塞孔所输出的液压功率为 $V_1 p_1$ ，大柱塞孔所输入的液压功率为 $V_2 p_2$ ，显然有

$$V_2 p_2 = V_1 \frac{a}{A} p_1 \frac{A}{a} = V_1 p_1 \quad (1-3)$$

可见，液体在密封容器内传递能量的过程中，尽管可以实现力的放大或缩小作用，或者实现减速或增速功能，但它所传递的能量恒为常数，这是符合能量守恒定律的。

在以上的分析过程中，虽然没有考虑液压传动过程中能量损失的影响，但其结论仍具有一般性。

1.2.2 液压传动系统的基本组成

液压千斤顶虽然可以说明液压传动系统的工作原理，但它过于简单，不具有代表性，缺乏典型的分析意义。如图 1-3 所示为液压千斤顶的结构图。

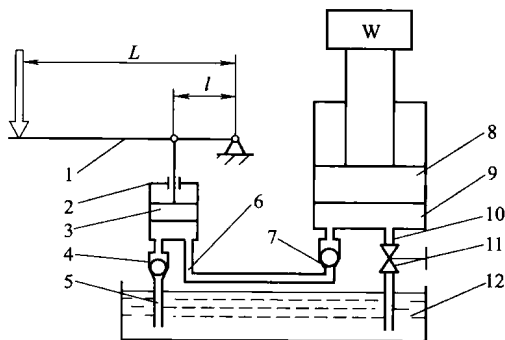


图 1-3 液压千斤顶的结构图

1—杠杆；2—小液压缸；3—小活塞；4,7—单向阀；5,6,10—管道；
8—大活塞；9—主活塞缸；11—放油螺塞；12—油箱

下面介绍一种机床常用的工作台液压传动系统，进一步说明其工作特点，其结构原理与回路如图 1-4 所示。这是一个比较简单的典型液压传动系统。

工作台要求实现慢速向右进给，然后快速向左退回的动作循环。图 1-4 中活塞 9 通过活

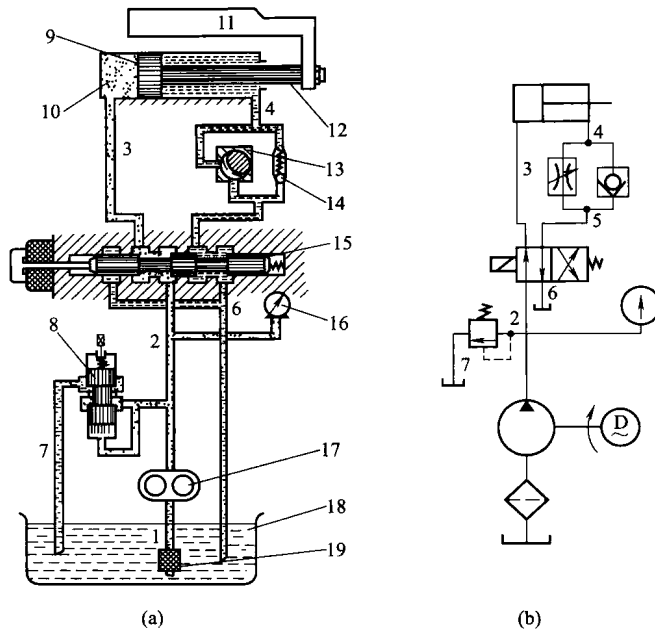


图 1-4 液压传动系统结构原理与回路图

- 1—吸油管；2~7—管道；8—溢流阀；9—活塞；10—液压缸；11—工作台；
 12—活塞杆；13—节流阀；14—单向阀；15—电磁换向阀；
 16—压力表；17—液压泵；18—油箱；19—滤油器

塞杆 12 与工作台 11 固定在一起，液压缸 10 固定在床身上。电磁换向阀 15 处于通电状态，管道 2 与 3 连通。液压泵 17 排出的液体输入液压缸 10 的左腔，使其容积不断扩大，推动活塞和工作台向右做进给运动。这时，液压缸右腔的容积缩小回液，它排出的液体经（管道）4、（节流阀）13、（管道）5 与 6 返回油箱 18。调节节流阀 13 的阀口通流面积，便可控制液压缸右腔的回液流量，从而达到控制活塞和工作台进给速度的目的。

如果令电磁阀断电，则电磁换向阀阀芯 15 便在弹簧力的作用下左移，使管道 2 与 5、3 与 6 连通。这时液压泵排出的液体经过单向阀 14 输入液压缸右腔，使其容积不断扩大，推动活塞和工作台向左返回。而其左腔容积不断缩小回液，回液从管道 3 经 6 直接流回油箱。在此过程中，液体不受节流阀的控制，活塞和工作台一直以固定的快速运动返回。

溢流阀 8 与液压泵的排液口并联。当活塞进给速度较慢时，系统中积累多余的液体将使其压力升高。当压力上升到足以克服弹簧力的作用时，将阀芯推开，使多余的液体直接返回油箱，以稳定系统压力，防止系统过载。调节弹簧的预压力，便可以改变系统的工作压力值。

在此系统中，液压泵的输出流量为常数，采用节流阀来控制排出液压缸的流量大小，以调节其进给速度。这种液压传动系统称为节流调速系统。

系统中压力表 16 用于监测系统的工作压力，吸液口滤油器 19 可以防止工作液体中的大颗粒固体杂质进入液压泵和传动系统，避免损坏液压元件。

与液压千斤顶相比，机床是一个更具有代表性的系统，它所用元件数量多，类型比较齐全。通过对以上系统的分析可得出以下结论：任何一个液压泵系统总是由以下五部分组成的。

① 液压力源 它是将原动机（常用的有人力机构、电动机和内燃机等）所提供的机械能转变为工作液体的液压能的机械装置，通常称为液压泵。

② 液压执行元件 将液压泵所提供的工作液体的液压能转变为机械能的机械装置，称为液压执行元件，或称为液动机。做直线往复运动的液动机称为液压缸或油缸，做连续旋转运动的液动机则称为液压马达或油马达。

③ 液压控制元件 对液压系统中工作液体的压力、流量和流动方向进行调解控制的机械装置，称为液压控制元件，通常简称为液压阀或阀。

④ 液压辅助元件 液压辅助元件包括油箱、管道、管接头、密封元件、滤油器、蓄能器、冷却器、加热器以及各种液体参数的监测仪表等。它们的功能是多方面的，各不相同。

⑤ 工作液体 工作液体是能量的承受和传递介质，既是能量的载体，也是液压传动系统中最本质的一个组成部分。

如图 1-5 所示为液压传动系统的基本组成部分与能量传递路线关系的示意图。

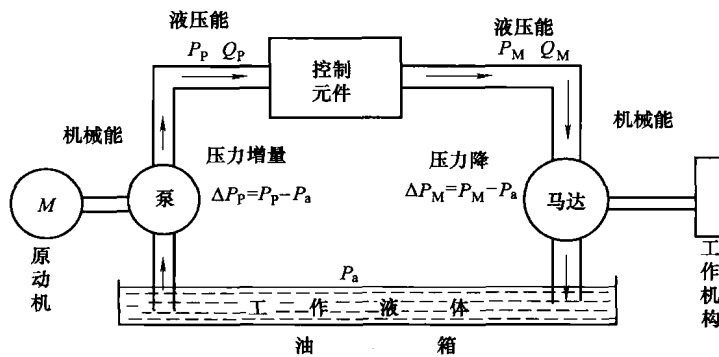


图 1-5 液压传动系统的基本组成部分与能量传递路线关系的示意图

1.2.3 液压传动系统的图示方法

液压传动系统及组成元件可以采用装配结构图、结构原理图或职能符号图表示，这三种图示方法各有其特点和应用条件。

① 装配结构图 装配结构图能准确地表达系统和元件的结构形状、几何尺寸和装配关系，但是，图形绘制复杂，不能简明、直观地表示各种元件在传动系统中的功能。它主要用于施工设计、制造安装和拆卸维修等用途，而在分析系统性能和讨论方案设计、系统原理时不宜采用。

② 结构原理图 结构原理图可以很直观地表示各种液压元件的工作原理及其在系统中的功能，而且比较接近元件的实际结构，故易于理解接受。但其图形绘制仍然比较复杂，难以实现标准化，并且它对于元件的结构形状、几何尺寸和装配关系的表达是不准确的。因此，这种图形不能用于施工设计、制造安装和拆卸维修，用于对系统性能分析又过于复杂，所以现在很少采用。

③ 职能符号图 在液压系统中，凡是功能相同的元件，尽管其结构和工作原理不同，也均用同一种符号表示，这种图形符号称为液压元件的职能符号。用职能符号绘制的液压传动系统图，只表示系统和各个元件的功能，而不表示这些元件的具体结构和参数，以及它们在系统中的具体安装位置。

液压系统的职能符号图图形简洁标准、绘制方便、功能清晰、阅读容易，非常适用于分析系统工作性能和元件的功能，大大简化了方案设计过程中的绘制图形工作，但是它不能代替装配结构图。

我国已制订了液压和气动图形符号国家标准，这个标准与国际标准基本相同，已成为一

种通用的国际工程语言。图 1-4 (b) 就是机床工作台液压传动系统职能符号图。

在绘制和阅读系统的职能符号图时应注意以下几点。

a. 元件的名称、型号和参数（压力、流量、管径等），一般在系统图的明细表中注明，必要时可标注在元件职能符号旁边。

b. 图中元件职能符号，如不特别说明，均指元件处于静止状态或零位置。

c. 符号在系统中的布置，除有方向性的元件符号（如油箱和检测仪表等）以外，均可根据具体情况水平或垂直绘制，不可任意倾斜。

d. 凡标准未规定的图形符号，可以根据绘制标准元件符号的基本原则和图例进行衍生；当必须特别说明某元件在系统中的动作原理或结构时，允许局部采用结构原理图表示。

1.2.4 液压传动的优缺点

机械传动、电力传动和液压传动是目前最广泛的三种传动方式，它们各有优缺点和最佳应用条件。

① 与机械传动相比，液压传动具有以下优点。

a. 由于能量的载体——工作液体可以用管道很方便地传到各个位置，所以允许液压执行元件与液压泵保持相当远的距离，并且可以根据设备要求与环境情况随意安装，不受限制；特别是液压传动可以很方便地将原动机的旋转运动转变为工作机构的直线运动。这些特点非常适合现代工程机械的要求。所以，大多数的工程机械都采用了液压传动。

b. 可以很方便地实现无级调速，并且调速范围大。调速功率不受功率大小的限制。

c. 易于实现载荷控制、速度控制和方向控制，也容易进行集中控制；而且运动平稳，操作省力。因此，可以适应现在化机械设备高度自动化发展的需要。

d. 液压传动系统各运动零部件都在油液中工作，具有良好的润滑条件；同时又容易实现过载自动保护，因此有利于提高系统的可靠性和元件的工作寿命。

e. 液压元件易于实现标准化、系列化和通用化，为大批量生产和广泛应用提供了有利条件。

② 与电力传动相比，液压传动的主要优点如下。

a. 重量轻、体积小。这是由于电机受到磁饱和的限制；而液压机械所能承受的液压力，则只受机械自身的强度限制。所以液压泵和液压马达的能量比电动机和发电机大得多。统计表明，液压机械单位功率的质量，目前仅为电机的十分之一左右。

b. 惯性小，响应速度快。由于液压马达的力矩——惯量比（即驱动力矩与转动惯量之比）较电动机大得多，故其加速性能好。例如，加速一台中等功率的电动机需要一秒至几秒钟，而加速同等功率的液压马达只需 0.1s 左右。因此，液压马达可以交频换向。这种特性对于伺服控制系统具有重大意义，它可以提高系统的动态性能。

c. 低速液压马达的低速稳定性，比电动机好得多。例如，内曲线径向柱塞或马达的最低稳定转速可小于 1r/min，这是任何电动机都不能达到的。

d. 液压传动的应用，可以简化机器设备的电气系统。这一点对于有爆炸危险的工作环境（如煤矿井下）很有好处。

③ 液压传动也存在如下一些缺点。

a. 效率较低。这是由于液压传动系统同时存在压力损失、容积损失和机械摩擦损失，其总功率通常仅为 0.75~0.8 左右。

b. 传动系统的工作性能与效率受温度变化的影响较大，一般的液压传动系统不适于在高温或低温环境下工作。

c. 工作液体对污染很敏感，污染后的工作液体对于液压元件的危害很大。因此，液压

传动系统要求较严格的保养维护工作。此外，工作液体的泄漏会污染环境，特别是石油类的工作液体在高温环境下工作，有发生火灾的危险。

d. 由于工作液体的泄漏和可压缩性，使液压传动系统的刚性较差，容易产生振动和噪声。

e. 对于液压元件的制造精度、表面光洁度以及材料的材质和热处理工艺要求较高，因而其成本较高。

f. 判断液压传动产生故障的原因和部位比较困难，因此要求使用和维修人员应具有较高的技术水平和专业知识。

综上所述，液压传动的优点多于缺点，并且随着科学技术水平的提高，某些缺点已在不同程度上得到克服，这是液压传动装置的迅速发展和日益广泛应用的决定因素。

1.3 工作介质

1.3.1 液体的主要物理性质

液体的物理性质对于液压传动系统的工作性能有很大影响。在工程机械液压传动系统中，都是以矿物油（是有基液体）作为介质，它不但能传递能量，而且对液压装置的机构与零件起润滑作用。液压系统中液体的压力、流速和温度在很大范围内变化着，油液质量的优劣直接影响着液压系统的工作，因而了解与选择工作液体是十分重要的。

(1) 液压油的物理性质

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

密度：液体单位体积的质量称为密度，用 ρ 表示。

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1-4)$$

式中 m ——液体的质量，kg。

矿物油的密度 $\rho = 850 \sim 960 \text{ kg/m}^3$ 。

由于重量等于质量乘以重力加速度 g ，即 $G = mg$ ，所以

$$\gamma = \frac{mg}{v} = \rho g \quad (1-5)$$

上式表明了重度与密度的关系。重力加速度 g 取 9.81 m/s^2 。

液压油的密度和重度都随压力和温度的变化而变化。液体的密度和重度随温度的变化很小，所以在一般使用条件下，油液的密度可视为常数。

(2) 可压缩性

液体具有比钢铁大得多的可压缩性。纯油液的可压缩性随着压缩过程温度及初始压力的变化而变动，但其变动量不大，可不予考虑，如纯油的可压缩性是钢的 100 倍。在一般情况，油的可压缩性对液压系统性能的影响不大，但在高压下以及在研究系统动态性能时，则不能忽略。由于空气的可压缩性很大，且与工作压力成反比，因此，只要油中含有少量的游离空气，其压缩变化量就很大，且随着工作压力的变化而变化。在实际应用中，必须尽量防止空气混入工作液体。

(3) 黏性

液体在外力作用下流动时，由于液体与固体壁面间的附着力分子运动以及分子之间内聚