

现代工程机

械系列丛书



XIANDAI GONGCHENG JIXIE YEYA YU YELI SHIYONG JISHU

现代工程机械 液压与液力 实用技术

杨国平 刘 忠 主编
龙国键 褚福磊 主审



人民交通出版社

现代工程机械系列丛书

XIANDAI GONGCHENG JIXIE XILIE CONGSHU

现代工程机械液压与 液力实用技术

杨国平 刘 忠 主编

龙国键 褚福磊 主审



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书简明而系统地介绍了液压传动的基本理论,液压元件以及液压辅助元件的基本结构和工作原理,液压基本回路和常用工程机械的液压系统。同时,介绍了液力元件的基本结构和原理以及油气悬架结构。最后,还介绍了典型工程机械液压系统的故障诊断与排除的方法。

本书可作为大专院校工程机械及其他相关专业的教学用书,也可供从事液压与液力传动的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代工程机械液压与液力实用技术 / 杨国平, 刘忠,
主编. —北京: 人民交通出版社, 2003.1
ISBN 7-114-04554-9

I. 现… II. ①杨… ②刘… III. 工程机
械—液压传动 IV.TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 007451 号

广告许可证号: 京东工商广字第 474 号

现代工程机械系列丛书 现代工程机械液压与液力实用技术

杨国平 刘 忠 主编

龙国键 褚福磊 主审

正文设计: 彭小秋 责任校对: 张 莹 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京明十三陵印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 12.25 字数: 298 千

2003 年 12 月 第 1 版

2003 年 12 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3000 (全套共 10 册) 总定价: 260.00 元

ISBN 7-114-04554-9

《现代工程机械系列丛书》编委会名单

名誉主任:孙国正(博导)

主任:陈润余

副主任:韩理安 黄家德 杜颖

委员:(以姓氏笔划为序)

邓爱民 尹继瑶 卢毅非 刘永芬 刘家东 刘良臣

许亚楠 孙孝安 张征宇 张连庆 何晨冠 易小刚

陈志霏 罗选民 罗绘 曹惠民

主编:邓爱民 田流 周萼秋

分册主编:

现代铲土运输机械 卢和铭 刘良臣

现代挖掘机械 黄东胜 邱斌

现代压实机械 周萼秋 易小刚 汤汉辉

现代高等级路面机械 田流 邓爱民 曹惠民

现代高等级公路养护机械 田流 邓爱民 曾格吾

现代起重机械 张劲 卢毅非

现代桩工机械 邓明权 陶格兰

现代桥隧机械 段书国 杨路帆

现代非开挖工程机械 邓爱民 肖姣美 田流

现代工程机械液压与液力实用技术 杨国平 刘忠

目 1

长沙理工大学有关学科的骨干教师和行业资深工程技术人员共同编辑了一套现代工程机械系列丛书,其中包括《现代铲土运输机械》、《现代挖掘机械》、《现代压实机械》、《现代高等级路面机械》、《现代高等级公路养护机械》、《现代起重机械》、《现代桩工机械》、《现代桥隧机械》、《现代非开挖工程机械》、《现代工程机械液压与液力实用技术》等 10 部专业著作,由人民交通出版社正式出版。这是我国工程机械行业的一件大喜事!

自从改革开放以来,在社会主义市场经济体制激励下,我国工程机械行业获得了突飞猛进的发展,取得了前所未有的成绩。现已发展成为我国机械工业十大行业之一,并迈入世界工程机械生产大国之列。

工程机械所以能够如此快速发展,首要原因是它们的用途广泛,市场遍布于国民经济各部门,并能够保证各种工程建设实现高速度、高质量和低成本,极大地提高用户的经济效益。根据工程机械行业 40 多年来的发展经验可知,工程机械在国内的重点市场基本分布于以下六大领域:一是交通运输领域,包括公路、铁路以及各种车站的建设;沿海、内河码头建设和起重运输作业;飞机场建设;管道工程建设。二是能源工业领域,包括火力、风力、水力和核能电站建设;露天、井下煤矿开发和报废矿区的复垦改造;石油矿的开发、生产和复垦。三是原材料工业领域,包括黑色金属、有色金属、化工原料和建筑材料等系统的各种露天、井下矿山的开发、生产和复垦工程。四是农林水利领域,包括农村经济(农业、农村工业、农村商业、农村交通运输业、农村通信业、农村水利事业等)建设;林业生产,如植树造林、合理采伐、林区筑路、储木场和木材加工厂建设等;水利建设,包括大江大河干流治理,如堤防加固、控制性水利枢纽建设、蓄滞洪区安全设施建设、城市防洪设施建设等以及三峡、南水北调等大型水资源开发利用工程。五是城乡建设领域,包括现有城市扩建和改造、新城市尤其是众多的小城镇建设、广大新农村建设等。六是现代化国防工程建设领域,包括和平时期的国防工程建设和战争条件下的保障工程建设等。

在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》中明确提出的加强基础设施建设、实施西部大开发、稳步推进城镇化和实施可持续发展等四大经济发展战略,为工程机械行业提供了商机。也就是说,工程机械六大领域的重点市场,均包含在上述四大经济发展战略所规定的各种建设资金的投入范围之内。因此,我们说工程机械市场不仅广阔,而且持续的时间很长久。

长沙理工大学就是在这样的社会经济背景之下,编辑出版了这套现代工程机械系列丛书。作者选取了市场覆盖面较大的产品进行重点论述,对其结构、工作原理、操纵要点、使用规程、故障诊断、维护保养等各方面的应用技术进行了深入浅出的讲解。书中图文并茂,理论联系实际,内容新颖并具有明显的时代感。丛书的各个分册,在内容上既互相联系,又可独立应用,确实是一套实用性很强的工程机械专业书。

该丛书的读者对象,主要面向在交通、铁道、水利、电力、城建、机场、港口和国防工程等系

统从事基础设施建设的工程技术人员,经过适当取舍还可作为相关专业的教材,也可作为工程机械生产企业工程技术人员从事设计和制造加工的参考书。

谨以上述寥寥数语,作为我向长沙理工大学编辑出版该丛书的祝贺和向广大读者的推荐介绍。

杨红旗

2003 年 11 月于北京

目 录

工程机械是城市建设、交通通信设施建设、农田水利、能源开发和国防建设与维护中不可缺少的施工机具。随着我国东部基础设施的逐步形成和完善,许多基础设施,如道路已进入维护阶段,以及我国西部大开发战略举措的实施,西气东输、西电东送、南水北调、三峡工程、青藏铁路等重大项目的建设,我国对施工机械与维修养护工程机械的需求不断上升。

随着我国对外开放的不断深入与发展,国外工程机械先进产品不断进入我国的施工用户,一方面对施工质量与施工进度的保障起到了良好的作用,另一方面也为国内工程机械厂家带来竞争压力与先进技术,促使国内工程机械与国外工程机械差距不断缩小甚至趋于接近,同时也为国内工程机械厂家带来了良好的效益与市场形象。

该套丛书以目前大量使用的国产机型以及大型基础工程中应用面广的进口机型为主,系统全面讲述各类工程机械的结构与工程原理、性能参数与使用技术,充分反映当前工程机械机电液一体化技术与操作使用的便利性和可维修性。

该丛书包括以下 10 册:

- 1.《现代铲土运输机械》
- 2.《现代挖掘机械》
- 3.《现代压实机械》
- 4.《现代高等级路面机械》
- 5.《现代高等级公路养护机械》
- 6.《现代起重机械》
- 7.《现代桩工机械》
- 8.《现代桥隧机械》
- 9.《现代非开挖工程机械》
- 10.《现代工程机械液压与液力实用技术》

由于各册系分工编写,在内容选择、结构层次、名词术语等方面,难免有不一致的地方;同时,由于时间仓促,以及作者的水平有限,不成熟之处和错误在所难免,我们衷心希望读者指正,并能将意见反馈给我们。

特别鸣谢以下赞助支持单位(排名不分先后):

- 1.长沙理工大学
- 2.长沙建设机械研究院
- 3.人民交通出版社
- 4.中国道路运输协会筑养路机械分会
- 5.武汉理工大学
- 6.长沙中联重工科技发展股份有限公司
- 7.陕西建设机械集团股份有限公司
- 8.三一重工股份有限公司

9. 湖南浦沅工程机械有限责任公司
10. 百莱玛—威猛(中国)有限公司
11. 四川建设机械(集团)股份有限公司
12. 抚顺永茂工程机械有限公司

该套丛书内容新,涉及知识面宽,适用性强,对工程机械用户及其厂家具有一定的指导和参考价值,同时,也可用作高等院校相关专业的教材或教学参考书,还可作为工程机械从业人员的培训教材。

此套丛书的编著过程中参考引用了大量中外文献,在此我们谨向有关部门专家学者表示诚挚的谢意,特别是参考文献中疏于列出的文献,我们表示万分歉意和感谢。

现代工程机械系列丛书 编委会

2003 年 11 月

目 录

第一章 液压传动基本理论	1
第一节 液压传动的基本概念.....	1
第二节 液压传动的工作液体.....	5
第三节 液压传动的的基本参数.....	8
第四节 液体流动的基本规律	10
第五节 压力损失	13
第六节 薄壁节流孔和阻尼节流孔	14
第七节 液压冲击与空穴现象	15
第二章 液压元件	18
第一节 液压泵	18
第二节 液压马达	21
第三节 液压缸	21
第四节 液压控制阀	23
第五节 螺杆泵	29
第六节 比例阀、二通插装阀和数字阀.....	30
第三章 液压辅助元件	35
第一节 蓄能器	35
第二节 滤油器	38
第三节 油箱	41
第四节 管件	43
第四章 液压基本回路	46
第一节 压力控制回路	46
第二节 速度控制回路	48
第三节 方向控制回路	51
第四节 重力负载液压回路	52
第五节 回转机构液压回路	54
第六节 支腿机构液压回路	55
第七节 转向机构液压回路	55
第八节 多缸工作控制回路	57
第九节 液压马达回路	62
第五章 液力传动	65
第一节 概述	65
第二节 液力偶合器	66
第三节 液力变矩器的工作原理与形式	73

第四节	液力机械变速器的构造	78
第五节	液力机械变速器的液压控制系统	93
第六章	油气悬架结构	98
第一节	概述	98
第二节	油气弹簧悬架	99
第三节	硅油弹簧悬架	106
第七章	工程机械液压系统	109
第一节	推土机	109
第二节	装载机	114
第三节	汽车起重机	142
第四节	铲运机	145
第五节	平地机	147
第六节	振动压路机	150
第七节	稳定土拌和机	152
第八章	工程机械液压系统的故障诊断与排除	155
第一节	挖掘机液压系统故障的分析与排除	155
第二节	装载机液压系统故障的分析与排除	158
第三节	履带式推土机液压传动系统故障分析与排除	160
第四节	汽车起重机液压传动系统故障分析与排除	163
第五节	振动压路机液压系统故障诊断与排除	166
第六节	稳定土拌和机液压系统故障诊断与排除	175
第七节	沥青混凝土摊铺机液压系统的故障及排除	177
第八节	井下铲运机液压系统故障的分析与排除	180
第九节	平地机液压系统故障的分析与排除	183
参考文献		186

第一章 液压传动基本理论

液压传动相对于机械传动来说,是一门新兴的技术。人类使用水力机械及液压技术虽然已有很长历史,但是液压技术在机械领域中得以应用并取得迅速发展则是 20 世纪、特别是第二次世界大战以来的事。由于液压传动具有许多突出的优点,因而目前已广泛地应用在农业机械、机床、交通运输、陆地行走设备、船舶控制、火炮控制、飞机、导弹等各个方面。

本章的目的是搞清液压传动的工作原理,了解液压传动的主要优缺点及应用,初步掌握液压传动的两个工作特性。

第一节 液压传动的基本概念

一、液压传动的工作原理及工作特性

(一)工作原理

对于不同的液压装置和设备,它们的液压传动系统虽然不同,但液压传动的基本工作原理是相同的。为了了解液压传动的基本工作原理,现以一简化了的机床液压系统为例加以说明,如图 1-1 所示。

图 1-1a)为一磨床工作台液压系统工作原理图。图中,1 是油箱,2 是滤油器,4 是液压泵,8 是溢流阀,11 是开停阀,13 是节流阀,15 是换向阀,19 是液压缸(其缸筒固定在机床床身上,活塞杆 26 与工作台 20 相连),3、5、9、10、12、14、18、27、29、30 是油管。与机械传动相似,液压传动中的执行元件是在油压力的推动下按预定的要求动作的。对于图 1-1a)中的执行元件——液压缸来说,它所完成的动作要求是:直线运动、运动的变速、运动的换向和在任意位置的停留。下面就从这一液压系统是如何实现这 4 个动作的分析入手,得出液压传动的基本工作原理。

1. 液压缸的直线运动

液压泵 4 由电机(图中未画出)带动旋转,从油箱 1 吸油。油液经滤油器 2 通过油管 3 进入液压泵后,被输送到油管 10(同时也输入旁路油管 9,该部分油路分析稍后),并经开停阀 11、油管 12、节流阀 13、油管 14、换向阀 15、油管 18 进入液压缸 19 的左腔,作用于活塞 25 左侧的环形面积上。当油液对活塞向右的推力大于等于阻碍活塞向右移动的所有阻力之和时,活塞 25、活塞杆 26 以及和活塞杆相连的工作台 20(连同装夹在工作台上的工件 23)一起向右移动。这时,液压缸右腔的油液(刚开始时右腔可能没有油液,但经过一个往返运动后,右腔就有油液了)从液压缸的出口,经油管 27、换向阀 15、油管 29 排回油箱。这样就实现了液压缸(即工作台)的向右直线运动。

2. 液压缸的运动变速

磨床在磨削工件时,根据加工要求的不同,工作台运动的速度必须可调。在图 1-1a)中,工作台 20 运动速度的快慢是通过节流阀 13 来调节的,节流阀 13 像个自来水龙头,可以开大,也

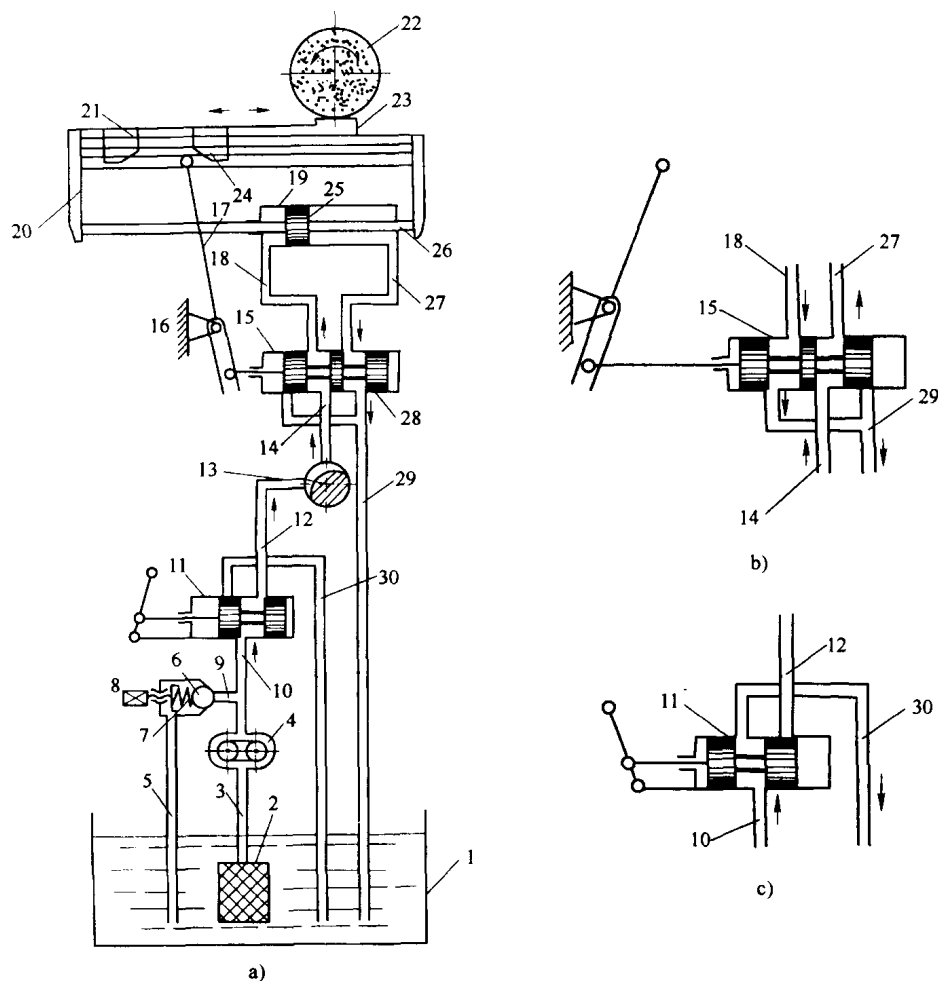


图 1-1 磨床工作台液压系统工作原理图(半结构图)

可以关小。当它开大时,流入液压缸内的油液就增多,工作台运动速度就加快;关小时,工作台的速度就减慢。

3. 液压缸的运动换向

为了进行连续磨削,工作台 20 必须作往复(左右)运动(工件的横向进给由砂轮 22 来完成)。在工作台 20 的侧面上装有挡块 21 和 24。当工作台向右运动到其左挡块 21 碰到换向杆 17 时,换向杆 17 绕其支点 16 顺时针方向转动,拨动换向阀阀芯 28,使之从图面上的位置移向左位,成为图 1-1b)所示状态。这时,从油管 14 输来的油液经换向阀 15 后,经油管 27 进入液压缸的右腔,并作用于活塞 25 右边的环形面积上。当油液对活塞向左的推力大于等于阻碍活塞向左移动的所有阻力之和时,活塞、活塞杆及工作台便一起向左移动,同时液压缸左腔的油液从液压缸出口流出,经油管 18、换向阀 15、油管 29 排回油箱。此后,当工作台向左运动到其右挡块 24 碰到换向杆 17 时,又使杆 17 逆时针方向转动而使阀芯 28 移向右位,回复到图 1-1a)的状态。如此循环往复,工作台不停地左右运动,磨削加工就可以持续地进行下去。

4. 液压缸在任意位置上的停留

在工件装卸、尺寸检测或进行其他有关工作时,需要短期停止工作台的运动并能使其停留在任意位置上。这个动作可由开停阀 11 来完成(当然也可以由关闭节流阀 13 或关掉电机来

实现,不过前者不能卸荷,后者则由于频繁启闭电机而有损于电机寿命)。当拨动开停阀 11 的操纵手柄,使其阀芯处于阀体的左位,即如图 1-1c)所示的状态时,液压泵输出的油液经油管 10、开停阀 11、油管 30 直接排回油箱,液压缸中无油液输入,工作台停止运动,停留在某个位置上。

当活塞在油液压力的作用下带动工作台一起运动时,阻碍活塞或工作台运动的阻力(包括导轨的摩擦力、砂轮 22 和工件 23 间的切削力等)越大,所需油液的压力也越大,反之亦然。调整油液压力使其与阻力(即外界负载)相适应是由溢流阀 8 来完成的。如前所述,由液压泵输出的油液除一部分经油管 10 输入液压缸外,另一部分则通过油管 9 进入溢流阀 8;当油液压力一旦超过阀 8 中弹簧 7 的调定压力时,钢球 6 便被顶开,油液进入阀 8 并经油管 5 排回油箱。这时油液压力与弹簧 7 的调定值相适应,不再升高,维持定值。当外界负载较大时,调整弹簧 7,使弹簧力增加,当钢球被顶开时,就得到了与较大负载相适应的较高的定值油压力;反之亦然。由此可见,溢流阀在这里起到了调节、控制油液压力的作用,以适应不同负载的要求。与此同时,溢流阀还起到了把液压泵输出的多余油液排回油箱的溢流作用。

液压系统中滤油器 2 的作用是滤去油液中的污物、杂质,保证油液的清洁,使系统正常工作。

由上述分析中,可以看出:

(1)所谓液压传动就是以液体为介质,依靠运动着的液体的压力能来传递动力的(液压传动与液力传动不同,后者是依靠液体的动能来传递动力的,如水轮机、液力变矩器等,液力传动不是本课程的内容)。

(2)液压系统工作时,液压泵把电机传来的回转式机械能转变成油液的压力能;油液被输送到液压缸(或液压马达)后,又由液压缸(或液压马达)把油液的压力能转变为直线式(或回转式)的机械能输出。

(3)液压系统中的油液是在受调节、控制的状态下进行工作的,因此液压传动和液压控制在这个意义上来说是难以截然分开的。

(4)液压系统必须满足其执行元件(如上例中的液压缸)在力和速度方面的要求。

(二)液压传动的工作特性

液压系统工作时,外界负载越大(在有效承压面积一定的前提下),所需油液的压力也越大,反之亦然。因此,液压系统的油压力(简称系统的压力,下同)大小取决于外界负载。负载大,系统压力大;负载小,系统压力小;负载为零,系统压力为零。另外,活塞或工作台的运动速度(简称系统的速度,下同)取决于单位时间通过节流阀进入液压缸中油液的体积即流量。流量越大(在有效承压面积一定的前提下),系统的速度越快,反之亦然。流量为零,系统的速度亦为零。液压系统的压力和外界负载,速度和流量的这两个关系称做液压传动的两个工作特性。这两个特性很重要,随着课程的深入,要进一步加深对它的理解。

二、液压系统的组成

从上述例子可以看出,液压系统由以下 4 个主要部分组成:

(1)能源装置。它是将电机输入的机械能转换为油液的压力能(压力和流量)输出的能量转换装置,一般最常见的形式是液压泵。

(2)执行元件。它是将油液的压力能转换成直线式或回转式机械能输出的能量转换装置,在上例中,它是做直线运动的液压缸,在别的情况下,也可是做回转运动的液压马达。

(3)调节控制元件。它是控制液压系统中油液的流量、压力和流动方向的装置,在上例中,就是控制液体流量的节流阀(流量阀)、控制液体压力的溢流阀(压力阀)及控制液流方向的换向阀、开停阀(方向阀)等液压元件的总称。这些元件是保证系统正常工作不可缺少的组成部分。

(4)辅助元件。是除上述三项以外的其他装置,如上例中的油箱、滤油器、油管、管接头等。这些元件对保证液压系统的可靠、稳定持久的工作,有重大作用。

以上 4 个组成部分将在下面各章节中分别介绍。

三、液压系统的图形符号

在图 1-1 所示的液压系统原理图中,各元件的图形基本上表示了该元件的内部结构原理,称此图为半结构式原理图,简称为半结图。这种图直观性强,容易理解,当液压系统发生故障时,根据此图检查也较方便,但图形较复杂,特别当系统中元件较多时,绘制更不方便。为简化液压原理图的绘制,我国制订了一套液压图形符号(GB 786—76),将各液压元件都用相应的符号表示。这些符号只表示相应元件的职能、连接系统的通路,不表示元件的具体结构和参数,并规定各符号所表示的都是相应元件的静止位置或零位置,称这种符号为职能符号。图 1-2 即为用职能符号绘制的上述磨床工作台的液压系统工作原理图(职能符号图。图中符号所示,请参照图 1-1)。由于这种图图面简洁,油路走向清楚,对系统的分析、设计都很方便,因此现在世界各国采用的较多(具体表示方法大同小异)。如果有些液压元件(如某些自行设计的非标准件)的职能无法用这些符号表示时,仍可以采用结构示意图。常用液压元件的职能符号在以后讲述到具体元件时还要提到。

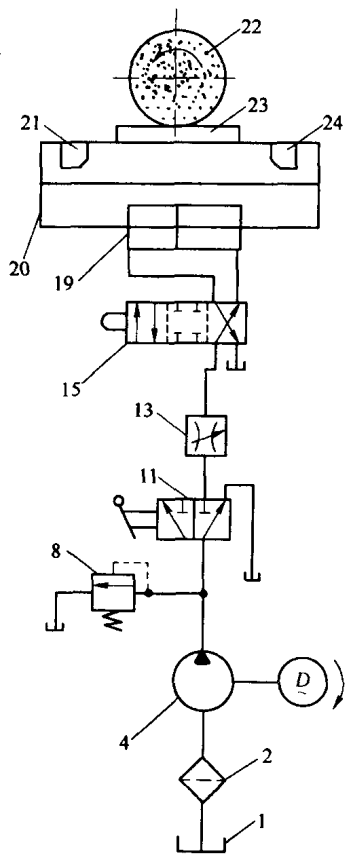


图 1-2 磨床工作台液压系统原理图(职能符号图)

四、液压传动的特点

液压传动由于有许多特点,才使得它被广泛地应用于各行各业之中。

液压传动相对于其他传动有以下一些主要优点:

- (1)在同等体积下,液压装置能产生出更大的动力,也就是说,在同等功率下,液压装置的体积小、重量轻、结构紧凑,即:它具有大的功率密度或力密度,力密度在这里等于工作压力;
- (2)液压装置容易做到对速度的无级调节,而且调速范围大,并且对速度的调节还可以在工作过程中进行;
- (3)液压装置工作平稳,换向冲击小,便于实现频繁换向;
- (4)液压装置易于实现过载保护,能实现自润滑,使用寿命长;
- (5)液压装置易于实现自动化,可以很方便地对液体的流动方向、压力和流量进行调节和控制,并能很容易地和电气、电子控制或气动控制结合起来,实现复杂的运动、操作;
- (6)液压元件易于实现系列化、标准化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

当然,液压传动还存在以下一些明显缺点:

- (1) 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性,使它无法保证严格的传动比;
- (2) 液压传动有较多的能量损失(泄漏损失、摩擦损失等),因此,传动效率相对低;
- (3) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在较高或较低的温度下工作;
- (4) 液压传动在出现故障时不易找出原因。

五、液压传动的应用

液压传动主要应用如下:

- (1) 一般工业用液压系统:塑料加工机械(注塑机)、压力机械(锻压机)、重型机械(废钢压块机)、机床(全自动六角车床、平面磨床)等;
- (2) 行走机械用液压系统:工程机械(挖掘机)、起重机械(汽车吊)、建筑机械(打桩机)、农业机械(联合收割机)、汽车(转向器、减振器)等;
- (3) 钢铁工业用液压系统:冶金机械(轧辊调整装置)、提升装置(电极升降机等);
- (4) 土木工程用液压系统:防洪闸门及堤坝装置(浪潮防护挡板)、河床升降装置、桥梁操纵机构和矿山机械(凿岩机)等;
- (5) 发电厂用液压系统:涡轮机(调速装置)、核发电厂等;
- (6) 特殊技术用液压系统:巨型天线控制装置、测量浮标、飞机起落架的收放装置及方向舵控制装置、升降旋转舞台等;
- (7) 船舶用液压系统:甲板起重机械(绞车)、船头门、舱壁阀、船尾推进器等;
- (8) 军事工业用液压系统:火炮操纵装置、舰船减摇装置、飞行器仿真装置等。

上述的概略说明不包括所有应用的可能性。用液压系统传递动力、运动和控制的应用范围相当广泛,它在当今的各个领域中都占有一席之地。目前,液压传动技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、长寿命、高度集成化等方面都取得了很大的进展。同时,由于它与微电子技术密切配合,能在尽可能小的空间内传递出尽可能大的功率并加以准确地控制,从而更使得它在各行各业中发挥出了巨大作用。

第二节 液压传动的工作液体

工程机械液压系统所采用的工作介质往往为石油型液压油。液压油除了作为能量传递的工作介质外,还兼有润滑和冷却的作用。

一、工作液体的物理性质

(一) 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,用符号 ρ 表示。如果体积为 V 的液体,它的质量为 m ,那么

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

密度的单位是 kg/m^3 。我国采用 20°C 时的密度为液压油的标准密度,以 ρ_{20} 表示。工程机械常用液压油密度为 $\rho_{20} = 880 \text{ kg/m}^3$ 左右,在实用中可认为密度不受温度和压力的影响。

(二) 压缩性

液体的体积随压强的增大而减小,这种性质叫做压缩性。压力为 P_0 、体积为 V_0 的液体,

如压力增大 ΔP , 体积减小 ΔV , 则此液体的可压缩性可用体积压缩系数 β , 即单压力变化下的体积相对变化量来表示。

$$\beta = - \frac{1}{\Delta P} \frac{\Delta V}{V_0} \quad (1-2)$$

由于压力增大时体积减小, 因此式(1-2)右边需加一负号, 以使 β 成为正值。

液体压缩系数的倒数, 称为体积弹性模量 K , 即 $K = 1/\beta$ 。体积弹性模量表示液体抵抗压缩的能力。体积弹性模量越大, 液体抵抗压缩的能力越强。一般石油型液压油的 K 值, 平均约为 $(1.2 \sim 2) \times 10^3 \text{MPa}$ 。但实际应用中, 液体内不可避免地会混入气泡等原因, 使 K 值显著减小, 因此一般选取 $K = (0.7 \sim 1.4) \times 10^3 \text{MPa}$ 。

油液的压缩性是很小的, 在工程机械液压传动中一般可以不计。

(三)粘性

如图 1-3 所示, 两平面间充满液体, 设下平面固定不动, 而上平面以速度 U 运动。由于液体附着力的作用, 贴近于两平面的液体必粘附于平面上。紧贴在上平面的液体质点必以与上平面相同的速度 U 运动, 紧贴在下平面的液体质点的运动速度为零。由于液体内部力的作用, 平面间流体层的运动速度各不相同, 接近上平面的液层流速必大于接近于下平面液层的流速运动速度较快的液层可以带动运动速度较慢的液层, 反之运动速度较慢的液层则又阻滞运动速度较快的液层, 任意两液层的接触面上将产生一对等值反向的力, 这一对力称为内摩擦力或切力。液体流动时产生内摩擦力的性质叫液体的粘性。

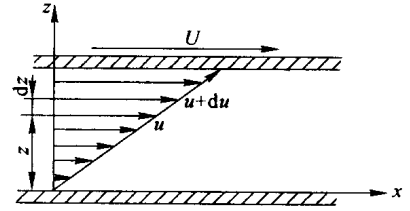


图 1-3 粘性的作用

经过大量的实验和理论研究, 1686 年牛顿首先揭示了液体的内摩擦规律: 液层间的内摩擦力 T 的大小与接触面积 A 和流速梯度 du/dy 成正比, 与液体的性质有关而与压力无关, 即

$$T = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-3)$$

以面积 A 除上式的两端得单位面积上的内摩擦力, 即切应力 τ 为

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

式中: μ ——比例系数, 称为动力粘度。

由上可知, 液体的动力粘度是指它在单位速度梯度下流动时的切应力。动力粘度的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

液体的粘性是液压传动系统选择油液的重要指标之一, 粘性的大小用粘度度量。除了动力粘度之外, 工程上还经常采用运动粘度和相对粘度。

液体动力粘度与其密度的比值, 称为液体的运动粘度 ν , 即 $\nu = \mu/\rho$ 。运动粘度的单位为 m^2/s 。运动粘度没有什么特殊的物理意义, 只是因为是在液压系统的理论分析和计算中常常遇到动力粘度 μ 与密度的比值, 因而才采用运动粘度来代替 μ/ρ , 它之所以被称为运动粘度, 是因为在它的单位中只有运动学因次的缘故。习惯上常用它标志液体粘度。

由于动力粘度和运动粘度难于直接测量, 因此工程实践中, 总是先用简便的方法测定液体的相对粘度, 然后再根据关系式换算出运动粘度或动力粘度。相对粘度是按一定条件制定的。我国、俄罗斯和德国采用恩氏粘度 $^\circ\text{E}$, 美国用赛氏粘度 $\text{Say} \cdot \text{s}$, 英国用雷氏粘度 Rs , 等等。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定: 将 200ml 温度为 $T^\circ\text{C}$ 的被测液体装入粘度计的容器内, 使其下部直径为 2.8mm 的小孔流出, 测出液体流尽所需时间 $t_1(\text{s})$; 再测出 200ml 温度为 20°C 的蒸馏水在同一粘度计中流尽所需的时间 $t_2(\text{s})$ 。这两个时间的比值即为被测液体在 $T^\circ\text{C}$ 下

的恩氏粘度 $^{\circ}\text{E}_T = t_1/t_2$ 。

由以上可知恩氏粘度是一个无因次量。

恩氏粘度与运动粘度的换算关系式为

$$\nu = \left(8.0 \times ^{\circ}\text{E} - \frac{8.64}{^{\circ}\text{E}} \right) \times 10^{-6} \quad 1.35 < ^{\circ}\text{E} < 3.2 \quad (1-5)$$

$$\nu = \left(7.6 \times ^{\circ}\text{E} - \frac{4.0}{^{\circ}\text{E}} \right) \times 10^{-6} \quad ^{\circ}\text{E} > 3.2 \quad (1-6)$$

ν 的单位为 m^2/s 。

液体的粘度随压力的增大而增大。但在一般液压系统的使用压力范围内,增大的数值很小,一般不计。

液体的粘度对温度的变化十分敏感,温度升高,粘度下降。粘度的变化影响液压系统的性能,其重要性不亚于粘度本身。

二、对工作液体的基本要求

为了很好地传递力和运动,工程机械使用的液压油应具备如下性能:

(1)合适的粘度和良好的粘温特性 粘度过高,各部件的运动阻力增加,温升快,泵的自吸能力下降,同时管道压损增大。反之粘度过低,液压系统容积损失增大,泵内油膜支承能力下降,导致摩擦体间干摩擦。工程机械常用油液的粘度为 $\nu = (41.4 \sim 74.8) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 。

液体的粘度随温度变化的特性叫粘温特性。粘温特性好是指粘度随温度的变化要小,常用粘度指数评价。通常液压油的粘度指数大于 90。

(2)润滑性能好 在油温、油压的变化范围内应保证摩擦面间的润滑性能。

(3)对密封材料的相容性 工作介质对密封的影响会使得密封溶胀软化和使其硬化,结果都会使密封失效,所以要求工作介质与系统内密封材料的相容性好。

(4)对氧化、乳化和剪切都有良好的稳定性 温度低于 57°C 时,油液的氧化速度缓慢,之后温度每增加 10°C ,氧化程度增加一倍,所以控制液压油液的温度特别重要。

(5)抗泡沫性好,腐蚀性小,防锈性好。

(6)清洁度高。

三、工作液体的种类及主要性能

液压系统的工作液体有三大类型:石油型、乳化型和合成型。本节介绍工程机械液压系统通常采用的石油型工作介质。

石油型液压系统工作介质分为:普通液压油、液压—导轨油、抗磨液压油、低温液压油、高粘度指数液压油、机械油、汽轮机油和其他专用液压油。工程机械液压系统常用液压油为抗磨液压油、低温液压油、高粘度指数液压油和机械油。

1. 抗磨液压油

抗磨液压油的配置较复杂,除加的防锈、抗氧剂外,还添加抗磨剂、金属钝化剂、破乳化剂和抗泡沫添加剂等。从抗磨剂的组成来看,抗磨液压油分为两种;一种是以二烷基二硫代磷酸锌为主剂的含锌油;一种是不含金属盐(简称无灰型)的油。含锌抗磨液压油,对钢—钢摩擦副(如叶片泵)来说抗磨性特别突出,而对含有银和铜的部件有腐蚀作用。无灰抗磨液压油对银和铜部件不会产生腐蚀且在水解安定性、破乳化及氧化安定性方面好于含锌抗磨液压油。

抗磨液压油适用于高压系统,以及户外温度不低于 -15°C 的场合。