

21 世纪高职高专规划教材·机电系列

液压技术与应用

陈榕林 主 编
张 磊

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

本书为全国高职高专机械类专业教材。从工程应用的角度出发,选定的主要内容为:液压技术的基本理论与应用,液压油的性质、使用、防泄漏和防污染的措施,液压元件的结构、工作原理、正确使用、常见故障及排除,液压系统在机械设备中的应用,正确安装、调试、维护与使用,常见故障及排除等。此外,还安排了例题、思考题和习题,液压元件拆装实习。力争实现“教、学、做”相结合,加强学生岗位能力的培养和职业技能训练。

本书中的知识以“必须与够用为度”,并且注意反映国内外比较成熟的液压新技术和新成果;在做理论分析时,重定性、轻定量,简化数学推导、重视结论的应用;实践内容部分重应用、重创新。

本书主要适用于高职高专的机械类专业,也可作为普通工科院校非机械类专业的教材,还可供有关的工程技术人员和管理人员参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

液压技术与应用/陈榕林,张磊主编. —北京:电子工业出版社,2002.3

21 世纪高职高专规划教材. 机电系列

ISBN 7-5053-7422-2

I. 液... II. ①陈... ②张... III. 液压技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 012359 号

责任编辑:束传政 特约编辑:逢积仁

印 刷:北京李史山胶印厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:17 字数:432 千字

版 次:2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:21.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。

联系电话:(010)68279077

前 言

本书为全国高职高专机械类专业教材,在“全国高职高专教学研究与教材出版委员会”指导下编写。

依据高等职业技术教育的培养目标,从工程应用的角度出发,编写教材的标准应是职业活动、科学知识和学习经验的综合反映;在课程内容及其构建方式上,具有针对性、应用性和综合性的特点。围绕这种思路,本书在如下几方面做了努力。

1. 本书改变把“液压技术”作为一种传动方式的写法,而是以“系统(或回路)”和“传动”为主,将“传动”与“控制”、“理论”与“应用”结合起来,介绍其工作原理、组成、安装调试、运行过程和故障排除等内容。

2. 介绍液压元件时,安排“液压元件拆装实习”内容,指导学生亲自动手拆装液压元件,加深对其结构和工作原理的掌握,并得到职业技能的训练。

3. 各章中安排有例题、习题和思考题。具体内容包括:一是概念题,帮助学生掌握液压技术的基本知识,培养和提高学习能力;二是计算题,培养学生分析问题和计算的能力;三是理论联系实际题,用以训练学生解决问题的能力;四是生产中的具体问题,举一反三,供学生在职业岗位上处理具体问题时参考。

4. 书中收集了生产中应用液压技术的方式方法、宝贵经验和技术成果等,以利于学生职业岗位能力的培养。

5. 在内容上,进行理论分析时,强调物理过程,简化数学推导,注重结论与应用;实践内容较详细,具有可操作性,注重应用与创新。

本书主要适用于高等职业技术学院、职业大学、成人高校、广播电视大学、函授和自学考试的机械类各专业,也可作为普通工科院校非机械类专业的教材,还可供有关的工程技术人员和管理人员参考使用。

本书由陈榕林、张磊主编。参加编写工作的还有陈野、陈琦、白东生、邢鸿雁、张淳、孟广斌、陈平、张红、赵国宏、陈斌、张娟、张波、曹忆等。

由于编者水平有限,书中难免有不到之处,请广大读者批评指正。

编 者

2002 年 1 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 液压技术的应用与发展	(1)
第二节 液压传动的工作原理和组成	(2)
第三节 液压传动的特点	(5)
思考题	(6)
第二章 液压流体力学基础	(7)
第一节 液压油	(7)
第二节 液体静力学	(15)
第三节 液体动力学	(19)
第四节 液体流动时的压力损失	(24)
第五节 小孔和缝隙的流量	(28)
第六节 液压系统中的泄漏	(30)
第七节 液压冲击和气穴现象	(34)
例题	(35)
思考题	(41)
第三章 液压泵和液压马达	(44)
第一节 液压泵的用途和工作原理	(44)
第二节 齿轮泵	(48)
第三节 叶片泵	(53)
第四节 柱塞泵	(60)
第五节 液压泵的使用及故障分析	(63)
第六节 液压马达	(70)
液压泵拆装实习	(73)
例题	(74)
思考题	(78)
第四章 液压缸	(79)
第一节 液压缸的功用	(79)
第二节 液压缸的类型	(79)
第三节 液压缸的典型结构	(87)
第四节 液压缸的设计与计算	(94)
第五节 液压缸的安装与维护	(101)
液压缸拆装实习	(105)
例题	(105)
思考题	(110)
第五章 液压控制阀	(112)
第一节 液压控制阀概述	(112)

第二节 方向控制阀	(113)
第三节 压力控制阀	(123)
第四节 流量控制阀	(135)
第五节 电液比例控制阀	(142)
第六节 二通插装阀	(146)
液压控制阀拆装实习	(149)
例题	(150)
思考题	(154)
第六章 液压辅助元件	(156)
第一节 概述	(156)
第二节 几种典型的液压辅助元件	(156)
液压辅助元件拆装实习	(165)
例题	(166)
思考题	(168)
第七章 液压基本回路	(169)
第一节 方向控制回路	(169)
第二节 压力控制回路	(173)
第三节 调速回路	(184)
第四节 快速运动和速度换接回路	(202)
第五节 多缸工作控制回路	(210)
例题	(215)
思考题	(224)
第八章 典型液压系统分析	(226)
第一节 怎样看液压系统图	(226)
第二节 组合机床动力滑台液压系统	(228)
第三节 M1432A 型万能外圆磨床液压系统	(232)
例题	(237)
思考题	(239)
第九章 液压系统的安装、使用和维修	(242)
第一节 液压系统的安装	(242)
第二节 液压系统的使用与维护	(243)
第三节 液压系统的调试	(246)
第四节 液压系统的故障分析与排除	(248)
第五节 典型设备液压系统故障分析	(252)
思考题	(255)
附录 A 常用液压与气动元件图形符号	(256)
附录 B 主要符号表	(262)
参考文献	(264)

第一章 绪 论

第一节 液压技术的应用与发展

液压技术是涉及液体流动和液体压力规律的科学技术。近几十年来,液压技术发展非常快,广泛应用于工业、农业和国防等各个部门。如机械制造业、起重设备、矿山机械、工程机械、农业机械以及化工机械;又如军舰上的舵机、雷达扫描设备、坦克、火炮、飞机、导弹等都采用了液压技术。特别是在机床行业中,由于采用液压传动可以实现无级变速、自动化和在往复运动中实现频繁的换向等,所以它的应用正在不断地扩大和完善。例如,液压传动经常应用在机床的如下方面。

1. 机床往复运动

龙门刨床的工作台、牛头刨床或插床的滑枕、组合机床动力滑台、拉床刀杆等都是采用液压传动来实现高速往复运动。与机械传动相比,采用液压传动可以大大地减少换向冲击,降低能量消耗,并能缩短换向时间,有利于提高生产率和加工质量。

2. 机床回转运动

车床和铣床主轴采用液压传动来实现回转运动,可使主轴无级变速。但是,由于液压传动泄漏是难免的,加之液体的可压缩性使液压传动不能保证有严格的传动比;因此,车床的螺纹传动链、齿轮机床的展成传动链,亦即具有内联系的运动,尚不能采用液压传动。

3. 机床进给运动

液压传动在机床进给运动装置中应用的比较多,如磨床砂轮架快进、快退运动的传动装置;六角车床、自动车床的刀架或转塔刀架;磨床、钻床、铣床、刨床的工作台;组合机床的动力滑台等都广泛地采用了液压传动。

4. 机床仿形运动

在车床、铣床、刨床上应用液压伺服系统进行仿形加工,实现复杂曲面加工自动化。随着电液伺服阀和电子技术的发展,各种数字程序控制机床和加工中心开始普及,提高了机床自动化水平和加工精度,并为计算机辅助制造创造了条件。

5. 机床辅助运动

机床上的夹紧装置,变速操纵装置,丝杠螺母间隙消除机构,分度装置,工件和刀具的装卸、输送、储存装置,都采用了液压技术。这样不但简化了机床结构,而且提高了机床的自动化程度。

此外,为了提高机床的承载能力,满足高精度、高效率的需要,在大型机床上应用了静压技

术,如静压导轨、静压轴承和静压丝杠等。

我国的液压行业开始于 20 世纪 50 年代,随着工业迅猛发展逐日发展壮大,相继建立了科研机构和专业生产厂家,从事液压技术研究和液压产品生产。他们不但能生产液压泵、液压阀等液压元件,还设计制造了许多新型的液压元件,如电液比例阀、电液伺服阀等。到目前为止,液压元件的生产,已形成了我国液压元件产品的生产系列。液压技术的发展正向着高效率、高精度、高性能方向迈进;液压元件向着体积小、重量轻、微型化和集成化方向发展;静压技术、交流液压等新兴的液压技术正在开拓。又由于计算机的应用,更大大地推进了液压技术的发展,像液压系统的辅助设计、计算机仿真和优化、微机控制等工作,也都取得了显著成果。

可以预见,为满足国民经济发展的需要,液压技术也将继续获得飞速的发展,它在各个工业部门中的应用越来越广泛。

第二节 液压传动的工作原理和组成

一、液压传动的工作原理

图 1-1(a)为简化的磨床工作台的液压传动系统图。它是一种半结构式的工作原理图,直观性强,容易理解,但难于绘制。该液压传动系统的功能是推动磨床工作台实现往复直线运动,其工作过程如下。

1. 工作台向右直线运动

电动机(图中未画)带动液压泵 4 工作,从油箱 1 中吸入的液压油,经油路进入液压缸 18 的左腔,推动活塞 17 向右移动,带动工作台 19 向右直线运动。系统中油液流动情况为:

进油路 液压泵 4→压力油管 10→手动换向阀 9→节流阀 13→换向阀 15→液压缸 18 左腔。

回油路 液压缸 18 右腔→换向阀 15→回油管 14→油箱 1。

2. 工作台向左直线运动

由于工作台运动方向变化,此时换向阀 15 的阀芯相对于阀体处于图 1-1(b)所示位置,油液通道发生变化,于是液压泵 4 从油箱 1 中吸入的液压油,经油路进入液压缸 18 的右腔,推动活塞 17 向左移动,带动工作台 19 向左直线运动。系统中油液流动情况为:

进油路 液压泵 4→压力油管 10→手动换向阀 9→节流阀 13→换向阀 15→液压缸 18 右腔。

回油路 液压缸 18 左腔→换向阀 15→回油管 14→油箱 1。

3. 工作台处于停止状态

由于工作台处于停止状态,此时换向阀 9 的阀芯相对于阀体处于图 1-1(c)所示位置。这时由液压泵 4 输出的压力油经换向阀 9,回油管 12 直接流回油箱 1。

磨床工作时,除了要求工作台能够往复运动,还要根据不同的加工需求,工作台的往复运动速度能够调节。通过改变节流阀 13 开口的大小,来控制通过节流阀的流量,使其控制进入液压缸的流量,进而控制工作台运动速度的快慢。

工作台移动时,要克服各种阻力(如切削力、摩擦力等)。因为工件材料不同、切削用量不同,其阻力大小也不同,因此液压缸必须有足够大的推力,才能克服工作台受到的阻力。液压缸的推力是由油液压力产生的,压力越大,克服的阻力越大。根据阻力不同,油液的压力应能够调整,可通过调整溢流阀 7 的弹簧压紧力,来控制油液的压力,压紧力越大,油液压力越大;反之则小。油液的压力数值可通过压力计观察,当系统压力达到溢流阀的调整压力时,溢流阀溢流,系统的压力维持在溢流阀的调定值上,油液压力不再升高。

图 1-1(a)所示的液压系统,若用国家标准 GB/T786.1—93 规定的液压图形符号绘制,则其液压系统原理图如图 1-2 所示。图形符号只表示元件的功能,不表示元件的结构和参数。使用图形符号绘制液压系统图既方便,又可使液压系统简单明了。GB/T786.1—93 图形符号见本书附录。

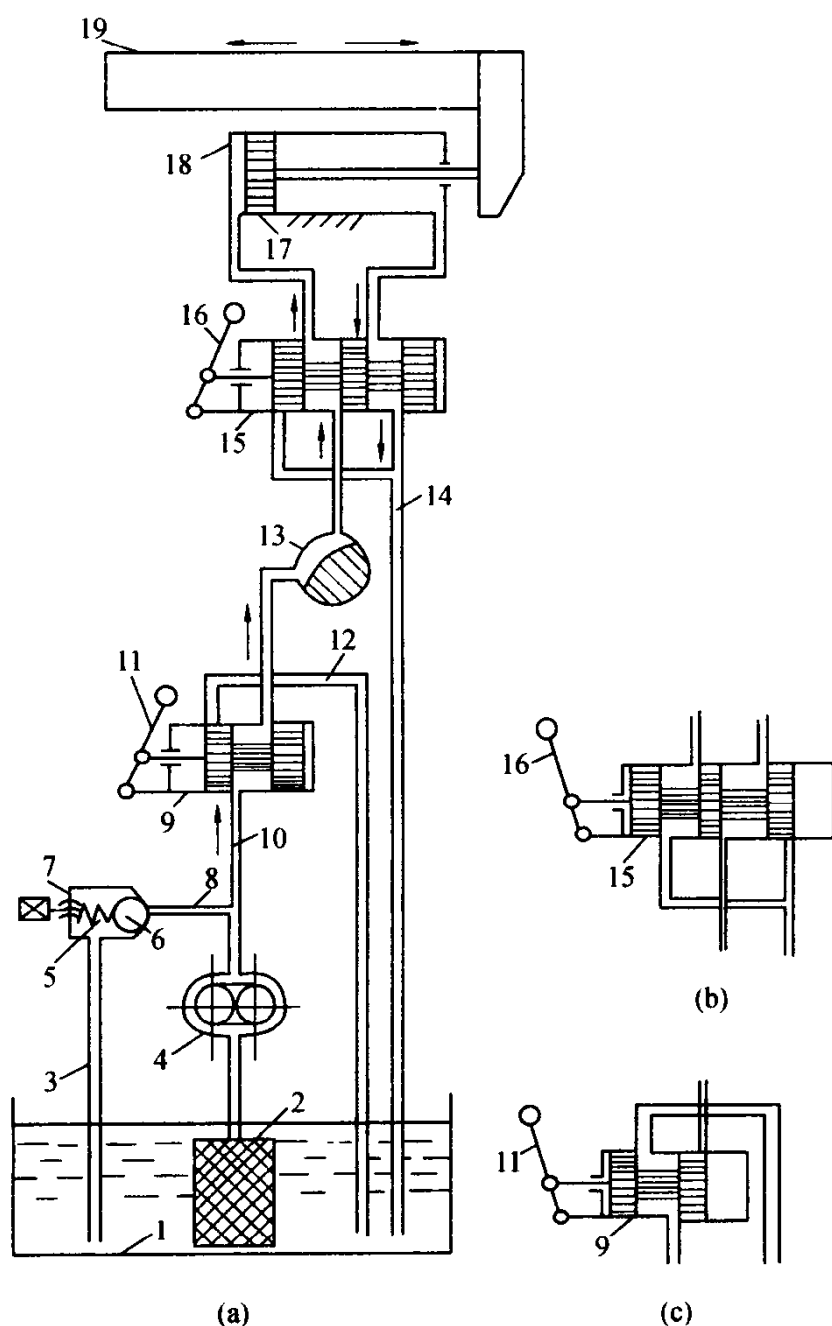


图 1-1 简化了磨床工作台的液压传动系统图

- 1—油箱 2—过滤器 3、12、14—回油管 4—液压泵 5—弹簧
6—钢球 7—溢流阀 8—压力支管 9—手动换向阀
10—压力油管 11—换向手柄 13—节流阀 15—换向阀
16—换向阀手柄 17—活塞 18—液压缸 19—工作台

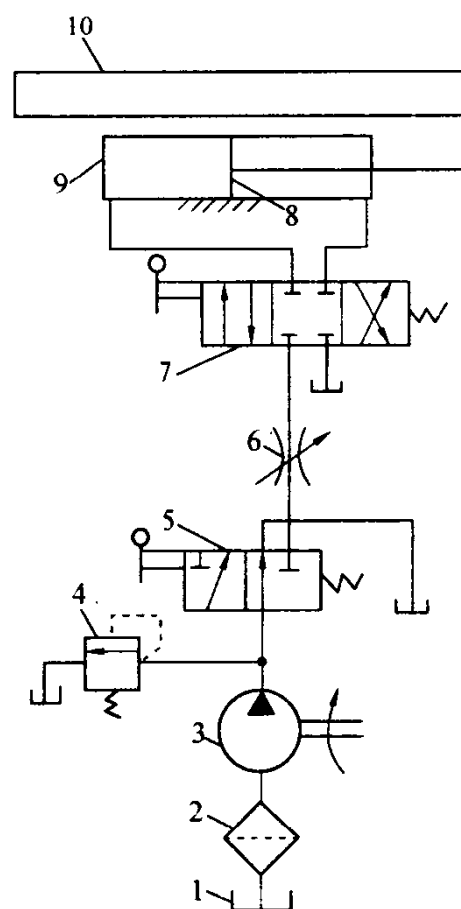


图 1-2 用图形符号表示的磨床工作台液压系统图

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

通过对简化了的磨床工作台液压系统的分析,可初步了解液压传动的基本原理有以下几点。

(1) 液压传动是一种能量转换方式,液压泵把电动机输入的机械能转换成油液的压力能,通过液压回路,液压缸又把油液的压力能转换成磨床工作台往复运动的机械能。

(2) 液压传动是以有压力的油液作为传递动力和运动的工作介质。

(3) 工作台运动所能承载的大小与油液压力和活塞有效工作面积有关。

(4) 液压缸活塞运动时,其进油腔油液容积不断增大,而排油腔油液容积不断减小;同时工作台运动速度取决于通过节流阀进入液压缸油液容积的多少,亦即液压传动是借助于油液容积变化来工作的,这种液压传动可称作容积式液压传动。

二、液压传动系统的组成

通过对上述液压传动系统的分析,可总结出液压传动系统共有四大组成部分。

1. 动力部分

如液压泵,它供给系统压力油,将电动机或其他原动机输出的机械能转换为液体的压力能,以驱动执行元件运动。

2. 执行部分

如液压缸、液压马达。它的功用是把液体的压力能转换为机械能,克服负载,以带动工作机构运动。

3. 控制部分

如压力控制阀、方向控制阀和流量控制阀等,用以控制液压系统的压力、油流方向和流量(速度),以保证工作机构完成预定的工作运动。

4. 辅助部分

如油箱、过滤器、油管、管接头、压力计等。用来储油、过滤、连接各元件和测量油压等,使系统得以正常工作和便于监测控制。

三、液压元件类型

根据液压系统的组成部分可以看出,液压系统是由各元件装配而成,按其功能将液压元件分类列于表 1-1 中。

表 1-1 液压元件的分类

液压元件	动力元件	齿轮泵 叶片泵 柱塞泵 螺杆泵
	执行元件	液压缸: 活塞液压缸、柱塞液压缸、摆动液压缸、组合液压缸等 液压马达: 齿轮式液压马达、叶片液压马达、柱塞液压马达等
	控制元件	方向控制阀: 单向阀、换向阀 压力控制阀: 溢流阀、顺序阀、减压阀、压力继电器等 流量控制阀: 节流阀、调速阀、分流阀
	辅助元件	蓄能器、过滤器、冷却器、加热器、油管、管接头、油箱、压力计、流量计、密封装置等

四、绘制液压系统工作原理图的有关规定

由前述已知,液压传动系统图的表示方法有两种,一种是结构原理图,另一种是图形符号原理图。后者由于图形简单、清晰、容易绘制,因此在绘制液压系统工作原理图时应用较多。国家标准对绘制图形符号原理图做了一系列的规定,现对其中一些规定说明如下。

(1) 元件的图形符号应按国标 GB/T786.1—93 所规定的图形符号绘制。当特别需要说明某一重要元件的结构及动作原理时,允许局部采用结构简图表示。

(2) 液压系统图上的各液压元件的图形符号,应以元件的静止状态或零位表示;当系统的动作写有说明时,可做例外。

(3) 各图形符号在图中的位置,不表示实际的安装位置,只表示各元件的连接情况,绘制时分布应清晰,布图美观。

(4) 绘制各符号时,除有方向性的元件符号(如油箱、仪表等)外,根据具体情况可转 90° 、 180° 、 270° 绘制。

(5) 图形符号绘制的大小,应美观、匀称,根据图纸的大小而定,但要保持图形本身的比例。

(6) 元件的名称、型号和参数,必要时允许标在元件图形符号的旁边。

第三节 液压传动的特点

液压技术之所以广泛应用,因为它具备了其他传动方式所没有的一些优点。

(1) 传动平稳 在液压传动装置中,由于油液压缩量非常小,在通常压力下可以认为不可压缩,依靠油液的连续性流动进行传动。油液有吸振能力,在油路中还可以设置液压缓冲装置,故不像机械机构因加工和装配误差会引起振动和撞击,使传动十分平稳,便于实现频繁的换向。因此,它广泛地应用在要求传动平稳的机械上,例如磨床几乎全部采用了液压传动。

(2) 质量轻体积小 液压传动与机械、电力等传动方式相比,在输出同样功率的条件下,体积和质量可以减少很多,因此惯性小、动作灵敏。这对液压仿形、液压自动控制和要求减轻质量的机器来说,都是特别重要的。例如我国生产的 1m^3 挖掘机在采用液压传动后,比采用机械传动时的质量减轻了 1t 。

(3) 承载能力大 液压传动易于获得很大的力和转矩,因此广泛用于压制机、隧道掘进机、万吨轮船操舵机和万吨水压机等。

(4) 容易实现无级调速 在液压传动中,调节液体的流量就可以实现无级调速,并且调速范围很大,可达 $2000:1$,很容易获得极低的速度。

(5) 易于实现过载保护 液压系统中采取了很多安全保护措施,能够自动防止过载,避免发生事故。

(6) 液压元件能够自动润滑 由于采用液压油作为工作介质,使液压传动装置能自动润滑,因此元件的使用寿命较长。

(7) 容易实现复杂的动作 采用液压传动能获得各种复杂的机械动作,如仿形车床的液压仿形刀架、数控铣床的液压工作台,可加工出不规则形状的零件。

(8) 简化机构 采用液压传动可大大地简化机械结构,从而减少了机械零部件数目。

(9) 便于实现自动化 液压系统中,液体的压力、流量和方向是非常容易控制的,再加上

电气装置的配合,很容易实现复杂的自动工作循环。目前,液压传动在组合机床和自动线上应用得很普遍。

(10) 便于实现“三化” 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化,也易于设计和组织专业性大批量生产,从而可提高生产率,提高产品质量、降低成本。

但是,液压传动也存在以下一些缺点:

(1) 液压元件制造精度要求高 由于元件的技术要求高,加工和装配比较困难,使用维护比较严格,以及防止泄漏等,通常液压元件制造精度要求较高,而且对油液的污染比较敏感。

(2) 实现定比传动困难 液压传动是以液压油为工作介质,在相对运动表面间不可避免泄漏,同时油液又不是绝对不可压缩的,因此不宜用在传动比要求严格的场合,例如螺纹和齿轮加工机床的传动系统。

(3) 油液受温度的影响 由于油的粘度随温度的改变而改变,故不宜在高温或低温的环境下工作。

(4) 不宜远距离输送动力 由于采用油管传输压力油,压力损失较大,故不宜远距离输送动力。

(5) 油液中混入空气易影响工作性能 油液中混入空气后,容易引起爬行、振动和噪声,使系统的工作性能受到影响。

(6) 发生故障不容易检查 液压传动中的各种元件和工作介质都在封闭的油路内工作;工作介质中含有污物或受污染,会使液压元件细小的通道堵塞等,这些都是故障发生后难于查找的重要原因。

思 考 题

1-1 什么是液压传动?试述液压传动的工作原理。

1-2 液压传动系统由哪些部分组成?各部分的功用分别是什么?

1-3 液压传动与其他形式的传动相比,具有哪些优点?哪些缺点?

第二章 液压流体力学基础

液压流体力学是液压传动的理论基础,学好它有助于正确理解和掌握液压传动的基本理论和规律,为分析、设计以及使用液压传动系统做好知识准备。

第一节 液 压 油

液压油的质量直接影响液压系统的工作性能,因此必须合理地选择和使用。

一、液压油的主要物理性质

1. 密度

密度指单位体积内液体的质量,它是一个重要的物理参数。通常用 ρ 表示,计算式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中 V ——液体的体积;

m ——体积为 V 的液体的质量。

液压油的密度随压力增大而增大,随温度升高而减小。但在通常使用的压力和温度范围内,这种变化很小,可视为常数。一般液压油的密度为 900 kg/m^3 。

2. 可压缩性

液体受压力作用而发生体积变小的性质称为液体的可压缩性。通常用液体的压缩系数 κ 表示液体的体积变化情况,其压缩系数定义为单位压力所引起的液体单位体积的变化,即

$$\kappa = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (2-2)$$

式中 Δp ——压力的增量;

ΔV ——体积的增量;

V ——液体初始的体积。

由于压力增大时液体的体积减小,因此式(2-2)的右边须加一负号,以使 κ 为正值。液体的可压缩性很小,当 $p < 1.5 \text{ MPa}$ 时,油液的可压缩性可忽略不计。但压力很高,受压体积较大或对液压系统进行动态分析时,就要考虑液体的压缩性。通常取液压油的压缩系数 $\kappa = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ 。

液体的压缩系数 κ 的倒数为液体的体积弹性模数,用 K 表示

$$K = \frac{1}{\kappa} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} V$$

在实际应用中,常用 K 值说明液体抵抗压缩能力的大小。常温下,液压油的体积弹性模数为 $(1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$,数值很大,故一般可认为油液是不可压缩的。

应当指出,若液体中混有空气,其抵抗压缩的能力将显著降低,所以在液压系统中应力求

减少油液中混入气体及其他易挥发物质。

3. 粘性

液体在管道中流动时,各流层的运动速度不相等,越接近管壁的流层速度越小,管子中心的流层速度最大。其原因是由于液体与管壁之间的附着力和液体分子间的内聚力造成的,使其流动受到牵制,阻碍流层间的相对滑动,在相邻流层之间便产生了内摩擦力。液体流动时的这种内

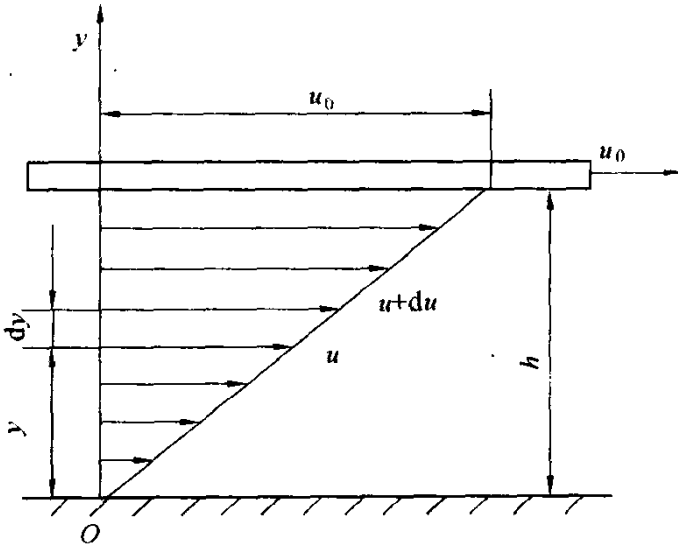


图 2-1 液体粘性示意图

摩擦阻力称为液体的粘性(即油液稀稠程度)。当液体静止时,各层无相对滑动,不产生摩擦力,因而不显示粘性。如图 2-1 所示,假设两平行平板间存满液体,当上板以 u_0 的速度向右运动,下平板固定不动时,液体在附着力的作用下,紧贴上平板的一层液体也以相同的速度 u_0 向右运动,而紧贴下平板的一层液体仍保持不动,其中间各层液体间在内聚力的作用下相互牵制,运动快的一层液体带动运动慢的一层液体向右运动,而运动慢的对运动快的起阻滞运动。不难看出,液体从上到下按递减的速度向右运动。当平板间的距离很小时,各流层的速度呈线性规律分布。

根据实验得出,液体流动时两液层之间的内摩擦力 F 与液层间接触面积 A 和液层间相对速度 du 成正比,而与液层间距离 dy 成反比,即

$$F = \eta A \frac{du}{dy} \quad \text{或} \quad \tau = \eta \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

式中 η ——液体粘性的内摩擦系数,称为液体动力粘度;

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度,即液层间相对速度对液层距离的变化律;

τ ——单位面积上的内摩擦力,即切应力。

式(2-3)称为牛顿液体的内摩擦定律。若 $\frac{du}{dy} = 0$,说明液体处于静止状态,根据公式计算,内摩擦力 $F = 0$,因此静止液体不显示粘性。

表示粘性大小的物理量称为粘度。液压油的粘度是选择液压油的重要依据,粘度大小直接影响液压系统的正常工作、工作效率和灵敏度。

常用的粘度有三种:动力粘度、运动粘度和相对粘度。

(1) 动力粘度 是用液体流动时所产生的内摩擦力大小来表示的粘度,其计算式为

$$\eta = \tau \frac{dy}{du} \quad (2-4)$$

它的物理意义是:面积各为 1 cm^2 ,相距为 1 cm 的两层液体,以 1 cm/s 的速度相对运动,此时所产生的内摩擦力。

动力粘度 η 的单位在法定计量单位中,用“帕〔斯卡〕秒”表示,简称帕·秒($\text{Pa} \cdot \text{s}$)或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

(2) 运动粘度 在相同温度下,液体的动力粘度 η 与它的密度 ρ 之比,称为运动粘度,用 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2-5)$$

在工程上, ν 的法定计量单位是米²/秒(m²/s), 或毫米²/秒(mm²/s)。

工程上, 常用运动粘度表示油的牌号。液压油的牌号, 是用它在某一温度下的运动粘度平均值来表示, 例如 N32 号液压油, 就是指这种油在 40℃ 时的运动粘度平均值为 32 mm²/s。我国液压油牌号过去是按 50℃ 运动粘度来划分的, 例如, 旧牌号 20 号液压油, 就是指它在 50℃ 时的运动粘度平均值为 20 mm²/s。新牌号是按 40℃ 运动粘度划分, 液压油新旧牌号(40℃ 与 50℃ 运动粘度等级)对照可查阅液压传动手册, 以便使用。例如, 旧牌号是 10 号液压油, 对应的新牌号是 N15 号液压油; 旧牌号是 30 号液压油, 对应的新牌号是 N46 号液压油; 旧牌号是 40 号液压油, 对应的新牌号是 N68 号液压油。

(3) 相对粘度(恩氏粘度) 用恩氏粘度计进行测量, 故称恩氏粘度。

恩氏粘度的测定方法是: 将被测的油放在一个特制的容器里(恩氏粘度计), 加热至 t ℃ 后, 由容器底部一个 $\phi 2.8$ mm 的孔流出, 测量出 200 cm³ 体积的油液流尽所需时间 $t_{\text{油}}$, 与流出同样体积的 20℃ 的蒸馏水所需时间 $t_{\text{水}}$ 相比, 其比值就是该油在温度 t ℃ 时的恩氏粘度, 用符号 $^{\circ}E_t$ 表示。

$$^{\circ}E_t = \frac{t_{\text{油}}}{t_{\text{水}}} \quad (2-6)$$

式中 $t_{\text{油}}$ ——200 cm³ 被测油液流过恩氏粘度计小孔所需的时间;

$t_{\text{水}}$ ——200 cm³ 蒸馏水, 在 20℃ 温度下流过恩氏粘度计小孔所需的时间。

(4) 恩氏粘度与运动粘度之间换算 工程中常采用先测出液体的恩氏粘度, 再根据关系式或用查表法, 换算出动力粘度或运动粘度。

经验公式为

$$\nu_t = \left(7.31^{\circ}E_t - \frac{6.31}{^{\circ}E_t} \right) \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s}) \quad (2-7)$$

式中 ν_t ——温度为 t ℃ 时, 油液的运动粘度;

$^{\circ}E_t$ ——温度为 t ℃ 时, 油液的恩氏粘度。

当油液的运动粘度不超过 76 mm²/s, 温度在 30℃ ~ 150℃ 范围内时, 温度 t ℃ 时油液的运动粘度为

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n \quad (2-8)$$

式中 n 为随油液粘度变化的指数, 见表 2-1。

表 2-1 指数 n 随油液粘度变化的值

$\nu_{50} (\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s})$	2.5	6.5	9.5	12	21	30	38	45	52	60	68	76
n	1.39	1.59	1.72	1.79	1.99	2.13	2.24	2.32	2.42	2.49	2.52	2.56

恩氏粘度与运动粘度的换算也可用查表法。

(5) 粘度和温度的关系 油液的粘度对温度的变化极为敏感, 温度升高, 油的粘度下降。油的粘度随温度变化的性质称为油液的粘温特性。不同种类的液压油有不同的粘温特性, 粘温特性较好的液压油, 粘度随温度的变化较小, 因而温度变化对液压系统性能的影响较小。

液压油粘度和温度的关系可用图 2-2 所示粘温图来查找。

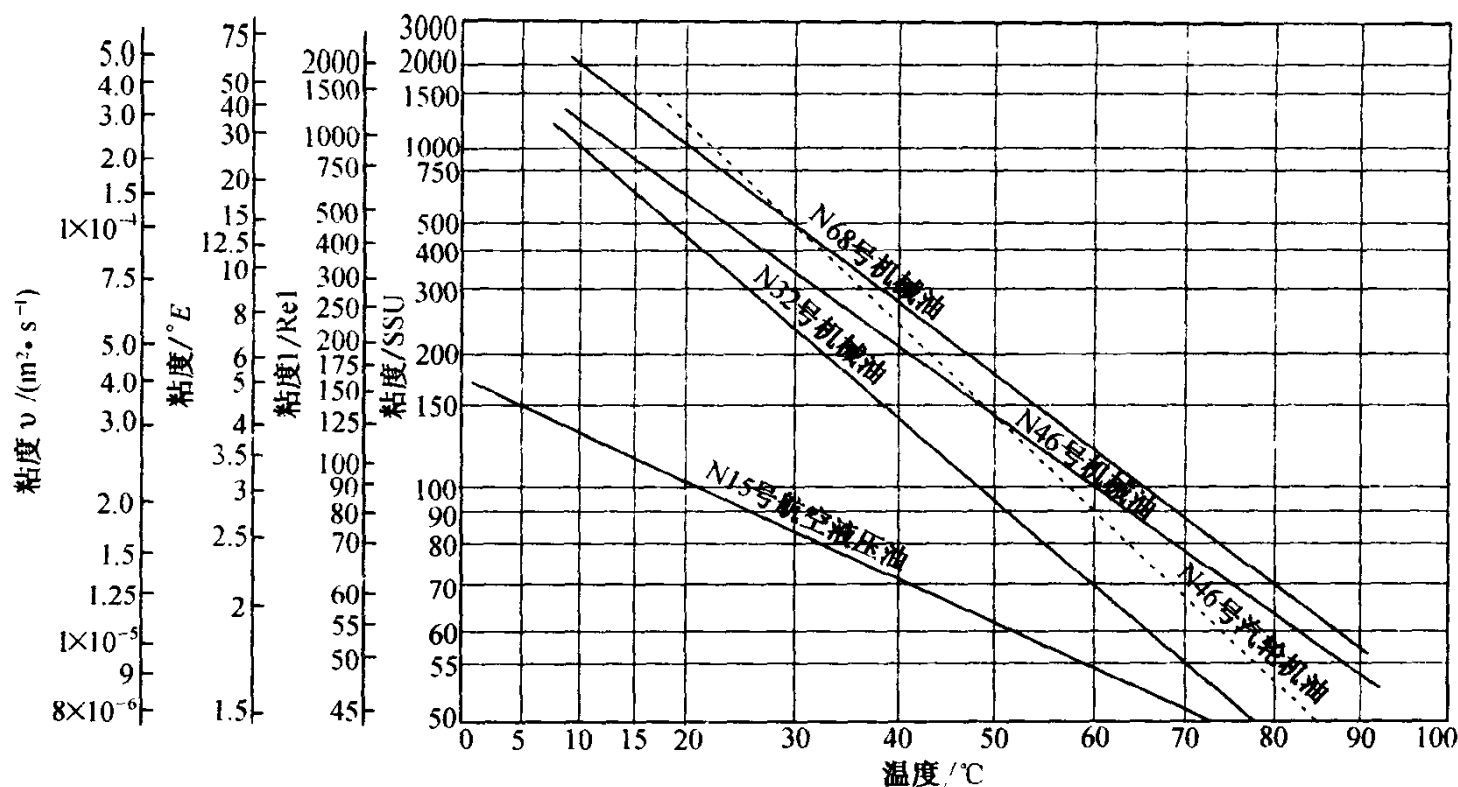


图 2-2 油液的粘温特性

(6) 粘度和压力的关系 液体所受的压力增大时,其分子间的距离减小,内聚力增大,粘度亦随之增大。但对于一般的液压系统,当压力在 32 MPa 以下时,压力对粘度的影响不大,可以忽略不计。当压力较高或压力变化较大时,粘度的变化则不容忽视。

4. 其他性质

液压油还有一些其他物理化学性质,如抗燃性、抗凝性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性、导热性、相容性以及纯净性等,都对液压系统工作性能有重要影响。对于不同品种的液压油,这些性质的指标也有所不同,具体可见油类产品手册。

二、对液压油的基本要求和选用

1. 选用的液压油应满足的基本要求

- (1) 粘温性能应在使用的温度范围内,油液粘度随温度的变化要比较小。
- (2) 具有良好的润滑性能。工作油液不仅是传递能量的介质,也是相对运动零件之间的润滑剂,油液应能在零件的滑动表面上形成强度较高的油膜,以便形成液体润滑,避免干摩擦。
- (3) 质地应当纯净,不含有其他杂质。如果含有酸碱,会使机件和密封装置受腐蚀;如果含有机杂质,容易使油路堵塞;如果含有挥发性物质,在长期使用后,就会使油液变稠,同时容易在油液中产生气泡。
- (4) 不易氧化。油液在使用过程中,由于温度升高可能氧化而产生胶质和沥青质,使油液变质;同时这些物质容易使油路堵塞以及附着在相对运动机体表面上而影响工作。
- (5) 在需要防火的地方,油的沸点要高;在气候寒冷的条件工作时,凝固点要低。
- (6) 在油液中如混入水分会使油液乳化,降低油的润滑性能,增加油的酸值,缩短油的使用寿命。油液在使用中产生泡沫,以致在系统中引起断油或空穴现象,影响系统的正常工作。

因此,油液要具有良好的抗乳化性和抗泡沫性。

(7) 具有较好的相容性,即对密封件、软管和涂料等无溶解等有害影响。

(8) 对人体无害,成本低。

对于上述各项,根据液压系统的实际情况,应突出某些方面,重点保证,兼顾其他。

2. 选用液压油

正确而合理地选用液压油,是保证液压系统正常和高效率工作的条件。选用液压油时常采用两种方法:一种是按液压元件生产厂样本,或说明书所推荐的油类品种和规格,选用液压油;另一种是根据液压系统的具体情况,如工作压力高低、工作温度高低、运动速度大小、液压元件的种类等因素,全面地考虑选用液压油。在选用时,要做的主要工作是:确定液压油的粘度范围;选择合适的液压油品种;满足液压系统工作时的特殊需要。

粘度是液压油的最重要使用性能指标之一。它的选择合理与否,对液压系统的运动平稳性、工作可靠性与灵敏性、系统效率、功率损耗、气蚀现象、温升和磨损等都有显著影响,甚至使系统不能工作;所以选用液压油时,要根据具体情况或系统要求选择合适的粘度和适当的油液品种,通常按以下几方面进行选用。

(1) 按工作机械的不同要求选用 精密机械与一般机械对粘度要求不同。为了避免温度升高而引起机件变形,影响工作精度,精密机械宜采用较低粘度的液压油。又如机床液压伺服系统,为保证伺服机构动作灵敏性,也宜采用粘度较低的油。

(2) 按液压泵的类型选用 液压泵是液压系统的重要元件,在系统中它的运动速度、压力和温升都较高,工作时间又长,因而对粘度要求较严格,所以选择粘度时应先考虑到液压泵。否则,泵磨损快,容积效率降低,甚至可能破坏泵的吸油条件。在一般情况下,可将液压泵要求液压油的粘度作为选择液压泵的基准,如表 2-2 所示。

表 2-2 按液压泵类型推荐用油运动粘度

条 件		环境温度(5~40)℃时 mm ² /s(40℃)	环境温度(40~80)℃时 mm ² /s(40℃)
液 压 泵 类 型	7 MPa 以下	30~50	40~75
	7 MPa 以上	50~70	55~90
齿 轮 泵		30~70	65~165
柱 塞 泵		70~80	65~240

(3) 按液压系统工作压力选用 通常,当工作压力较高时,宜选用粘度较高的油,以免系统泄漏过多,效率过低;工作压力较低时,宜用粘度较低的油,这样可以减少压力损失。例如,机床液压传动的工作压力一般低于 6.3 MPa,采用 $(20\sim60)\times10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$ 的油液;工程机械的液压系统,其工作压力属于高压,多采用较高粘度的油液。

(4) 考虑液压系统的环境温度 矿物油的粘度由于温度的影响变化很大,为保证在工作温度时有较适宜的粘度,还必须考虑周围环境温度的影响。当温度高时,宜采用粘度较高的油液;周围环境温度低时,宜采用粘度较低的油液。

(5) 考虑液压系统中的运动速度 当液压系统中工作部件的运动速度很高时,油液的流速也高,液压损失随着增大,而泄漏相对减少,因此宜用粘度较低的油液;反之,当工作部件的运动速度较低时,每分钟所需的油量很小,这时泄漏相对较大,对系统的运动速度影响也较大,

所以宜选用粘度较高的油液。

液压油品种的选择是否合适,对液压系统的工作影响很大。现将几个主要品种液压油的特性和用途列于表 2-3 中,供选用液压油品种时参考。

表 2-3 几个主要品种液压油的特性和用途

类型	名称	ISO 代号	特性和用途
矿 油 型	普通液压油	L-HL	精制矿油添加剂,提高抗氧化和防锈能力,适用于室内一般设备的中低压系统
	抗磨液压油	L-HM	L-HL 油加添加剂,改善抗磨性能,适用于工程机械、车辆液压系统
	低温液压油	L-HV	L-HM 油加添加剂,改善粘温特性,可用于环境温度在 - 20 ~ - 40℃ 的高压系统
	高粘度指数液压油	L-HR	L-HL 油加添加剂,改善粘温特性,粘度指数 VI 值达 175 以上,适用于对粘温特性有特殊要求的低压系统,如数控机床液压系统
	液压导轨油	L-HG	L-HM 油加添加剂,改善粘—滑性能,适用于机床中液压和导轨润滑合用的系统
	全损耗系统用油	L-HH	浅度精制矿油,抗氧化性、抗泡沫性较差,主要用于机械润滑,可作液压代用油,用于要求不高的低压系统
	汽轮机油	L-TSA	深度精制矿油加添加剂,改善抗氧化、抗泡沫等性能,为汽轮机专用油,可作液压代用油,用于一般液压系统
乳 化 型	水包油乳化液	L-HFA	又称高水基液,特点是难燃、粘温特性好,有一定的防锈能力,润滑性差,易泄漏。适用于有抗燃要求、油液用量大且泄漏严重的系统
	油包水乳化液	L-HFB	既具有矿油型液压油的抗磨、防锈性能,又具有抗燃性,适用于有抗燃要求的中压系统
合 成 型	水—乙二醇液	L-HFC	难燃、粘温特性和抗蚀性好,能在 - 30 ~ 60℃ 温度下使用,适用于有抗燃要求的中低压系统
	磷酸酯液	L-HFDR	难燃、润滑抗磨性能和抗氧化性能良好,能在 - 54 ~ 135℃ 温度范围内使用;缺点是有毒。适用于有抗燃要求的高压精密液压系统

三、使用液压油的注意事项及识别油品品种的简易方法

1. 使用液压油时的注意事项

- (1) 应保持液压油的清洁,防止金属屑和纤维等杂物进入油中。换油时要彻底清洗油箱,注入新油时必须过滤。
- (2) 油箱内壁一般不要涂刷油漆,以免油中产生沉淀物质。
- (3) 为防止空气进入系统,回油管口应在油箱液面以下,并将管口切成斜面;液压泵和吸油管路应严格密封;液压泵和油管安装高度应尽量小些,以减少液压泵吸油阻力;必要时在系统的最高处设置放气阀。
- (4) 定期检查油液质量和油面高度。
- (5) 应保证油箱的温升不超过液压油允许的范围,通常不超过 70℃,否则应进行冷却调节。

2. 识别油品品种的简易方法

在化验条件不具备的情况下,生产现场常常采用“看、嗅、摇、摸”简易鉴别法。识别工作介质的品种,可以有效地防止油品的错收、错发、错用、混装等事故发生。