



北京市高等教育精品教材立项项目

面向21世纪 机械工程及自动化
机电一体化 专业规划教材

液压传动与气压传动

鄂大辛 编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

TH137/147

2007



北京市高等教育精品教材立项项目

面向 21 世纪 机械工程及自动化 专业规划教材
机 电 一 体 化

液压传动与气压传动

鄂大辛 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要介绍流体传动与控制技术的基本内容,分为液压传动和气压传动两大部分。液压部分包括液压流体力学、液压泵、执行元件、控制元件、辅助装置等的基本结构、工作原理及其应用,介绍了液压基本回路和典型液压系统。在气压传动部分中,主要介绍了气压传动基础、气源装置及辅助元件、气动元件及应用、气压传动基本回路以及气压程序系统与气压传动系统应用实例。

本书的编著旨在深入浅出、通俗易懂,适用于机械制造及自动化、材料加工等专业教学,经过适当节选后还可作为继续教育、高职高专相关专业的教材,并可供科研、厂矿从事流体传动与控制技术的有关工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与气压传动 / 鄂大辛编著. —北京:北京理工大学出版社,
2007. 11

面向 21 世纪机械工程及自动化、机电一体化专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1367 - 7

I. 液… II. 鄂… III. ①液压传动 - 高等学校 - 教材 ②气压传动 -
高等学校 - 教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 160640 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 19.75

字 数 / 456 千字

版 次 / 2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 35.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

液压传动与气压传动作为动力传动和控制技术的重要组成部分,是当前科学自动化和自动化生产中的典型先进科学技术之一,在航空航天、船舶、汽车等各个领域中有非常广泛的应用。因此,液压与气压传动在现代科学技术发展中占有非常重要的地位,在几乎所有自动化控制、程序控制及数控加工中发挥了其他技术不可替代的重要作用,并且近些年来这门科学技术获得了迅速发展,将为未来的科学自动化建设做出更大的贡献。

“液压传动与气压传动”课程是自动化控制、机械工程与自动化,以及机电工程等学科的专业技术基础课程,也是材料加工及各种工程类专业应该学习的重要支撑性技术课程。这是因为现代化技术必然走向工程自动化,并且生产自动化已经成为现代文明建设的重要标志之一。因此,在新时期的高等技术人才培养方略中,更应对这门科学技术予以重视。

本教材是根据教育部专业设置和课程整合的指导方针编写的,其目的在于将这门科学技术以更简练、更结合实际的形式提供给高等学校本科以及高职高专学校教学使用。因此,本书的编写强调理论知识与实际应用相结合,强调学生接受新知识、消化新知识和运用新知识能力的培养。

本书分为液压传动和气压传动两篇,由浅入深、由表及里地从传动原理到元件的基本结构、基本原理和基本功用介绍课程内容,旨在使读者循序渐进地理解液压与气压传动的基本知识和结构,在课程实验中进一步消化、理解,通过动手实践达到掌握这门课程主要内容的目的。书中涉及内容比较全面,教师可根据教学课时安排或学科专业需要作适当选择性讲授,对部分非重点章节进行删减,或请感兴趣的学生自学。本书涉及的主要内容为液压与气压传动技术在工业领域中的应用,因此,适合大学本科、高职高专学校相关专业教学使用,同时可供从事液压与气压传动的工程技术人员参考使用。

本书于2007年10月由北京市教育委员会评选为北京市高等教育精品教材立项项目。

本书在编写过程中,参考了许多相关文献,在此对作者表示感谢。另外,借此机会对为本书编写完稿做了大量工作的刘小亦、魏乐愚、古涛、贾震、李治国、何花卉、丁洁、刘勇、赖晓平、殷晓鲁等同志表示深厚的谢意。同时,对为本书出版提供赞助的北京理工大学和北京理工大学出版社深表谢意。

由于时间仓促和作者水平有限,书中如有不妥之处敬请读者不吝指正。

编著者

目 录

第一篇 液压传动

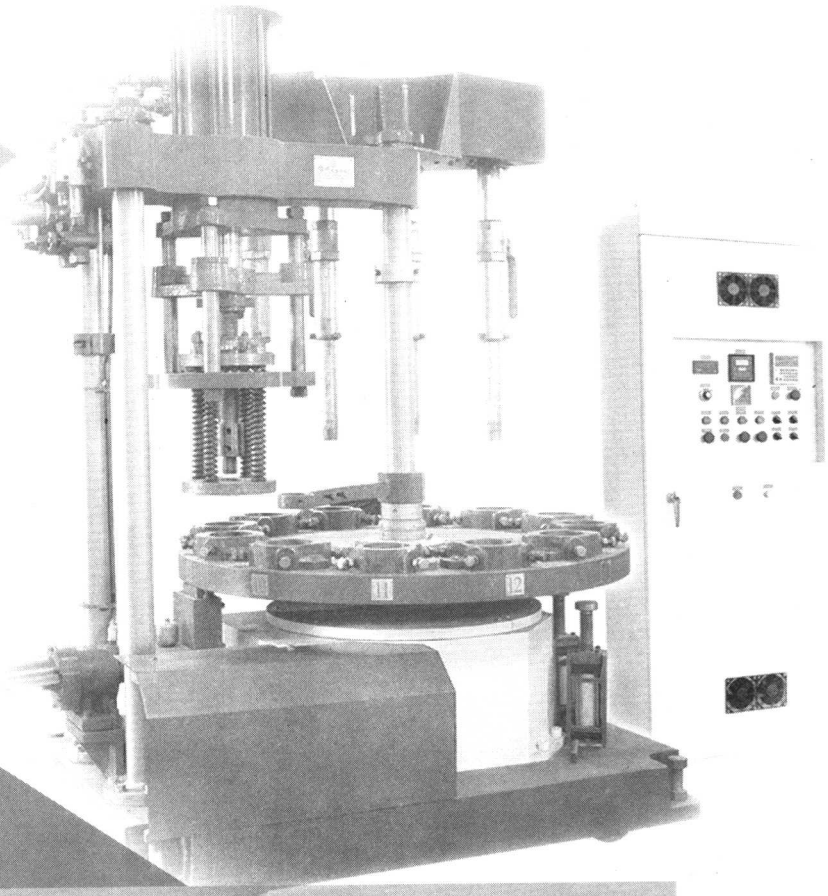
第一章 概述	3
第一节 液压传动原理及系统组成.....	3
第二节 液压传动的特点及应用.....	5
第三节 液压传动的工作介质.....	8
习题.....	12
第二章 液压流体力学基础	13
第一节 液体静力学基础.....	13
第二节 液体动力学基础.....	21
第三节 液体的流态及在管路中流动的压力损失.....	31
第四节 孔口和缝隙的流动特性.....	38
第五节 液压冲击和气穴现象.....	45
习题.....	48
第三章 液压泵	51
第一节 液压泵的工作原理及性能.....	51
第二节 齿轮泵.....	56
第三节 叶片泵.....	61
第四节 柱塞泵.....	69
第五节 其他液压泵简介.....	74
第六节 液压泵的选择及使用.....	76
习题.....	79
第四章 液压执行元件	81
第一节 液压马达.....	81
第二节 液压缸.....	91
习题.....	104
第五章 液压控制阀及其应用	106
第一节 液压控制阀分类及主要性能.....	106
第二节 压力控制阀及其应用.....	107
第三节 流量控制阀及其应用.....	121
第四节 方向控制阀及其应用.....	128
第五节 新型液压元件及其应用.....	139

习题	158
第六章 液压系统中的辅助装置	161
第一节 滤油器	161
第二节 蓄能器	165
第三节 油箱及热交换器	170
第四节 管系元件	173
第五节 其他辅助元件	176
习题	177
第七章 液压系统基本回路	178
第一节 压力控制回路	178
第二节 速度控制回路	185
第三节 方向控制回路	194
第四节 多执行元件工作控制回路	197
习题	205
第八章 典型液压系统	209
第一节 组合机床动力滑台液压系统	209
第二节 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统	213
第三节 塑料注射成型机液压系统	216
第四节 机械手液压系统	219

第二篇 气压传动

第九章 气压传动基础	227
第一节 气压传动概述、特点及其系统组成	227
第二节 压缩空气	230
第三节 气体状态方程	233
第四节 气体的流动规律	235
习题	238
第十章 气源装置及辅助元件	239
第一节 气源装置及其净化辅件	239
第二节 气动辅助元件	246
习题	249
第十一章 气动元件及其应用	250
第一节 气动执行元件及其应用	250
第二节 气动控制元件及其应用	255
第三节 气动逻辑元件及其应用	267
习题	275
第十二章 气压传动基本回路	276
第一节 压力控制回路	276

第二节	速度控制回路.....	278
第三节	换向控制回路.....	280
第四节	气液联动控制回路.....	281
第五节	位置控制回路.....	285
第六节	程序动作控制回路.....	287
第七节	安全保护控制回路.....	291
	习题.....	294
第十三章	气压程序系统与气压传动系统应用.....	295
第一节	气压程序系统设计简介.....	295
第二节	气动系统应用实例.....	300
参考文献	306



第一篇

液压传动

第一章

概 述



学习要点

1. 液压传动是利用液体作为工作介质来传递力和运动的工程技术，流体力学中的帕斯卡定律是力传递的基础理论；而运动传递则是根据质量守恒定律来进行的（动力元件密封容积所排出的液体体积与执行元件的密封容积所接受的液体体积相等）。
2. 压力和流量是液压传动最重要的两个参数，其中，压力决定于负载；流量决定执行元件的运动速度。

第一节 液压传动原理及系统组成

所谓传动通常是指利用某些元件或介质传递动力或能量，因此，根据传动元件或介质不同可有多种传动方式和传动系统。如利用机械元件传递动力的系统称为机械传动系统，通过电器元件传递动力的系统，则称为电力传动系统。而以流体为介质进行能量转换、传递和控制的方法，则称之为流体传动，其中包括液压传动、气压传动和液力传动三种方式。

一、液压传动的概念

所有完整的机器都由动力源机构、传动机构和工作机构三部分组成。其中，动力源机构的功能是将电能、热能等转变为机械能，工业中常用的动力源有电动机、内燃机（汽油机、柴油机）及蒸汽机等。当动力源机构的动力特性不能满足执行机构的工作要求时，就需要利用传动机构来实现动力源机构与执行机构之间的合理匹配，如通过传动机构使能量输出适应执行机构的动力、速度变化要求或功能操纵等。液体传动是以液体为工作介质的流体传动，主要有液压传动和液力传动两种形式。

液压传动以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制，其功能是将电动机的机械能转变为液体的压力能，借助压力油液通过执行元件对外做功，是利用液体压力能正确的传动。

液力传动则是靠液体的流动速度对转轴产生的动量矩来传递能量，是利用液体动能的流体传动。

二、液压传动的基本原理及系统组成

液压传动是利用压力油或其他液体作为传递能量的载体实现传动与控制的传动方法，即

利用了没有固定形状但具有确定体积的油或其他液体来传递力和运动。

1. 液压传动的基本原理

通常所说的液压传动是基于封闭式油液系统形成的液体压力来进行工作的，其工作的基本原理是帕斯卡原理。液压传动的基本原理可由图 1-1 所示的液压千斤顶工作原理来理解，它是由大、小液压缸及其连通的管路所组成的密闭液压系统。假设大、小活塞的有效作用面积分别为 100 mm^2 和 200 mm^2 ，通过杠杆对小活塞施加一个 $1\ 000 \text{ N}$ 的作用力，封闭在大、小活塞下面的液体内部各处产生的压力均为 10 N/mm^2 ，于是液体将这样一个单位面积上的压力传递至大活塞底面，大活塞将受到 $10 \text{ N/mm}^2 \times 200 \text{ mm}^2 = 2\ 000 \text{ N}$ 的作用力。

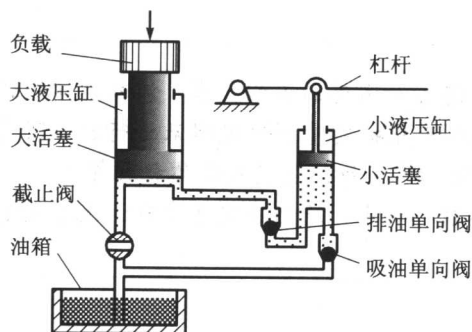


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

如果大活塞杆上端置一质量为 $2\ 000 \text{ N}$ 的重物，在上述压力作用下，该重物将停留在杠杆最终施力的位置上不动，即处于平衡状态。当杠杆手柄处在原有力的基础上向小活塞再增加一点压力，用来克服两个活塞与缸体内壁的摩擦阻力和液体在管路中流动的黏性阻力，小活塞将向下移动。于是在封闭容积中所产生压力差的作用下，大活塞将克服重物的质量向上移动。假设液体是不可压缩的，那么大活塞升起高度将是小活塞下降高度的 $1/2$ 。通过这个简单的例子可以看到，密闭容器中的液体

在压力作用下可以将力进行“放大”，不仅如此，其还可以传递运动。

2. 液压传动系统的组成

上面我们只分析了两个液压缸及连通它们之间的管路，实际上，液压千斤顶本身就构成了一个简单但又较完整的液压传动系统。现在我们再来看液压千斤顶的工作过程，当杠杆手柄带动小活塞向上提起时，小液压缸容积扩大形成真空，排油单向阀上部压力大于下部而关闭。而吸油单向阀下部作用有大气压力下的液体，因此，吸油单向阀被顶起，液体在大气压力作用下通过吸油阀口进入小液压缸内。当压下杠杆手柄使小活塞向下移动时，小活塞将杠杆压力传递给两个单向阀之间的液体，使液体内部压力增高而推开排油单向阀进入大液压缸内，迫使大活塞顶起重物而做功。当需要使重物停止移动时，只需使杠杆停止在一定位置上，即可利用封闭的液体系统使大活塞自锁在任意位置。工作时，截止阀锁死不动，当需要使重物下降时，打开截止阀使封闭容器内的液体流回油箱，根据排出的液体体积同样可以控制重物在下落过程中的位置。

通过液压千斤顶工作的完整过程，可基本确定液压传动系统的组成如下：

1) 能源装置 将机械能转换成液体压力能输入系统的装置。在上述液压千斤顶中，小活塞缸、吸油单向阀和排油单向阀即构成了带油阀式配流机构的液压泵。

2) 执行元件 将液体的压力能转换成机械能由系统向外输出的装置。液压千斤顶中的大活塞缸即实现了这一功能。在其他液压系统中的执行元件可能是输出直线往复运动的液压缸，也可能是输出旋转运动的液压马达。

3) 控制元件 控制液体的压力、流量和流动方向使执行元件输出特定的作用力、运动速

度和运动方向的元件。例如，液压千斤顶中的截止阀即可象征性地实现减小输出力、降低输出速度并改变大活塞的运动方向。

4) 辅助元件 除去上述三种元件以外，能够盛放、过滤液体，连通、联结其他元件的所有元件均为液压系统的辅助元件。如油箱、过滤器及各种管件、接头等都属于辅助元件。

5) 传动介质 传递能量的液体。在液压系统中，是指各种液压油。

不论复杂程度如何，液压系统都是由上述四种元件和传动介质所构成的，缺少任何一种元件，都会导致系统工作不正常或功能不健全。

第二节 液压传动的特点及应用

一、传动与控制

在目前的生产实践中，能够实现传动与控制的主要有机械、电气、液压和气压四种方式。

传动与控制是实现有目的的能量传递时不可分割的两个部分，所谓传动是指在一定控制方式下，按照预定目标、量值及程序传递力和运动；而控制则是根据系统工作需要，向传动机构发出动作信号。传动侧重于研究如何正确、迅速地实现控制信息，按照控制信号的指令准确地传递能量。而控制则侧重于研究如何正确、迅速地实现信号的处理和传递。

在液压传动系统中，工作介质既是能量的载体也是控制信号的载体，并且这个载体所传递的能量或信号都是在密闭容积中完成的。而其他传动控制系统中的信号，可以通过另一种途径传递。也就是说，液压系统中的传动具有独特的容积式传动特点，而控制则可采用多种方式。因此，本书以讨论传动技术为主，并附带介绍一些简单的控制方法。

二、液压传动的特点

1. 液压传动的优点

每一种传动方式都有其自身的优点，而这些优点都是相对而言，如液压传动与电气传动、机械传动相比较，具有如下优点

1) 可在运行过程中实现大范围的无级调速，调速范围可达 1:2 000。

2) 在功率相同的条件下，液压系统的体积小、重量轻、惯性小、结构紧凑。如液压马达的体积和重量仅为同等功率电动机的 10%~12%，这是因为电动机的输出扭矩与电流成正比，其大小受磁饱和及损耗的限制。而液压马达、液压缸输出的扭矩、力与压力差成正比，大小只受元件结构强度限制。在同等体积条件下，液压系统能比电气装置传递更大的动力，因为液压系统的压力可比电枢磁场的磁力大 30~40 倍。

3) 液压系统可实现无间隙传动，运动平稳、冲击小，能高速启动、制动和换向。液压装置的换向频率高，往复回转运动的换向频率达 500 次/min，往复直线运动的换向频率可达 1 000 次/min。

4) 液压传动装置的控制、调节和操纵比较简单，易于实现自动化。与电气控制结合，可实现复杂的顺序动作、更高级别的自动控制及远程控制。

5) 液压传动装置易于实现过载保护。因采用油液作为工作介质，可实现自行润滑，延长

了元件的使用寿命。

6) 可采用大推力液压缸或大扭矩液压马达直接带动负载, 从而省去中间减速装置, 使传动简化、结构紧凑。

7) 液压系统中因功率损失等所产生的热量可由流动着的油液自动带到热交换器或油箱中散发, 因而可避免出现系统局部过度温升现象。

8) 液压元件实现了系列化、标准化、通用化, 因而易于设计、制造及推广使用。

2. 液压传动的缺点和不足

液压传动与电气传动、机械传动相比也有一些缺点和不足, 如液压传动的能源获取不如电力能源获取方便; 液压传动系统无法避免泄漏, 液体的泄漏和可压缩性使液压传动很难实现严格的定比传动; 液压传动系统的能量转换及传递过程中存在机械摩擦损失、压力损失和泄漏损失使总效率降低, 难于实现远距离传动; 液压传动对油温和负载的变化比较敏感, 不宜在低温和高温环境下工作; 液压传动中的泄漏不仅污染环境, 而且还可能引起火灾或爆炸事故。此外, 液压系统的故障不易查明和迅速排除, 对使用和维修人员要求具有一定的技术水平。

与其他传动方式相比, 液压传动存在上述优点和缺点。其缺点和不足, 随着科学技术的发展正在逐步加以克服和改善, 而由于液压传动具有显著的技术优势, 使其在现代化生产中得到了越来越广泛的应用。

三、液压传动与控制的应用及发展

1. 液压传动与控制的应用

液压传动在现代化工业中应用非常广泛, 几乎渗透到各个领域, 并且在每个领域中的应用都有其不同的特点, 即不同领域中的液压传动发挥了不同的特长和优势。

(1) 在机械制造领域中的应用

19 世纪末, 德国和美国分别将液压传动技术应用于龙门刨床和六角车床传动系统中, 到 20 世纪 30 年代, 各类机床开始采用液压传动系统。第 2 次世界大战之后, 人们认识到液压传动具备在工作过程中能够无级变速, 易于实现自动化, 可以实现换向频繁的往复运动等技术优势, 使液压传动在机械制造特别是机床工业中获得了重要应用。

1) 液压传动调速范围大, 能实现无级变速 在磨床砂轮架、车床刀架或转塔刀架、铣床和刨床的工作台和主轴箱、组合机床的动力头和滑台等的进给传动装置中, 都具有快速、慢速或快、慢速变化要求。采用液压传动系统不仅可以实现上述功能要求, 且可适应机床工作需要, 实现持续进给、间歇进给及良好的换向性能。此外, 还可实现负载变化情况下速度保持恒定的工艺需求。

2) 液压传动系统换向平稳、速度快 龙门刨床工作台或插床滑枕工作时, 需要具有高速往复运动性能, 如龙门刨床工作台的往复运动速度达到 60~90 m/min, 采用液压传动系统可减小换向冲击, 缩短换向时间。

3) 液压传动系统刚性大、反应快、精度高 车床、铣床及刨床上的仿形加工需要伺服机构, 利用液压传动的优点组成机液伺服、电液伺服及气液伺服系统, 可使执行机构以一定精度自动地按输入信号变化动作实现仿形加工。另外, 利用液压传动系统的优势, 还可实现放

大的伺服系统，如变量泵手动伺服变量机构等。

利用电液伺服系统，可根据电气信号迅速而准确地实现数控机床工作台的直线或回转步进运动。机床夹紧装置、变速操纵装置、丝杠螺母间隙消除装置、分度装置，包括工件和刀具的装卸、输送及贮存装置等，都可采用液压系统来实现。目前，机床传动系统中，已有 80% 采用了液压传动和控制。

(2) 在其他领域中的应用

除去机械制造以外，液压系统在工程机械中的应用也非常广泛。挖掘机、推土机及起重机等工程机械都采用了大量液压传动技术，如利用液压缸往复运动输出功率大的特点完成挖掘机的铲、卸功能，而转台的回转运动则是利用了液压马达输出的扭矩和转速实现的。行走式起重机工作时，需要使轮胎浮起，整个起重负载均有支撑缸负担；伸缩缸使吊臂在半径方向上任意伸缩实现起吊距离的调整；吊臂缸控制吊臂仰角实现起吊高度调整；液压马达驱动卷筒直接调整起吊重物的位置。液压传动系统之所以在工程机械中有如此广泛的应用，主要是由于它具有结构简单、输出力大的特点，并且具有相应的可移动性。

随着液压技术的迅速发展，在锻造、冲压、挤压、粉末压制以及塑料成型领域中发展了数百种通用和专用液压设备，使得这些领域的生产能力、自动化程度和制件精度等方面都有了很大的提高。其中，巨型液压锻造机至今仍然无法用其他传动形式的机器代替；型材挤压需要在很长行程上实现加工，液压传动以外的设备很难实现；单动、双动及三动冲压液压机的改进和开发，使板材冲压生产有了长足的进展；液压锤使用液压系统代替了空气或蒸汽驱动后，生产效率高、节省动力资源，并容易促进锻锤实现无砧座化；气-液传动式高速锤采用了液压提升装置，将驱动锤头的气体压力提升了近 10 倍，大大提高了锤头的打击速度和能量。

由于液压传动系统重量轻、体积小、响应迅速、精度高，而且具有高加速能力的特点，被大量应用于航空航天及交通运输领域中，如飞机发动机转速和推力控制、起落架控制以及方向舵、升降舵、副翼的偏转控制等。船舶的舵机控制系统、船身减摆装置、舱口启闭装置等，也是由液压传动系统实现控制的。液压传动系统在汽车工程中的应用也很多，如轿车自动变速、动力转向、制动系统等。此外，液压传动与控制作为生产自动化的最重要技术，被广泛应用于各种机器人、生产自动线装置以及自动装夹装置中。近年来，液压技术在许多科学研究、实验和模拟中的应用也越来越广泛，如火箭助飞发射装置、导弹、人造卫星、太阳跟踪系统、地震模拟再现、高层建筑防震系统等都采用了液压传动和控制技术。

2. 液压传动与控制的发展概况

从 17 世纪中期法国科学家帕斯卡发现流体静压原理，18 世纪末英国制成世界上第一台水压机算起，液压技术已经经历了近四百年的发展历史。由于液压传动与控制具有反应迅速、输出功率大以及动作准确的特点，液压技术的早期应用主要是在军事科学方面。第 2 次世界大战之后，液压技术的应用开始大量转向工业，在机床、工程机械及交通运输工业中逐步推广。20 世纪 60 年代以来，由于机械自动化和精密加工工业的迫切需求，液压技术得到了迅速发展，并占有了“工业的肌肉”的重要位置。

目前，液压技术正在朝向高压、高速、大流量、高效率、低噪音及高度集成方向发展。液压元件的制造精度提高；液压系统的高度集成化以及新型液压元件和液压系统的开发研制；特别是借助于计算机技术的辅助设计、辅助测试、运动仿真、优化设计都为液压传动与控制

技术的发展提供了很好的技术环境。

第三节 液压传动的工作介质

现代液压系统中用于传递能量和信号的工作介质基本是液压油，而早期液压系统曾使用水作为工作介质，并且现在在某些海洋作业的液压系统中，仍然以水作为传递介质。

一、工作介质的基本性能及其要求

液压系统的液压油既是传递功率的介质，又是液压元件的冷却剂、防锈剂及各运动副的润滑剂。因此，液压油应具有与其功能相适应的基本特性。

1. 液压油的黏度及其特性

黏度是液压油本身的特性，但在一定条件下，这种特性又会发生某些变化。因此，需要了解液压油的黏度及引发油液黏度变化的条件。

(1) 液压油的黏度

液压油的黏度表示该种油液的黏性大小，通常采用运动黏度 ν 来表示。 ν 在国际单位制中的单位是 m^2/s 。而在实际标定时，为方便通常采用 mm^2/s 表示，即 $1\text{ m}^2/\text{s}=10^4\text{ cm}^2/\text{s}$ (St, 斯) $=10^6\text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt, 厘斯)。国标 GB/T3141—1994 中规定，液压油的牌号用黏度的等级表示。某种液压油在 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时运动黏度 ν 的平均值即为该油液的牌号，比如，10号液压油表示其在 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时运动黏度 ν 的平均值为10 cSt。

(2) 温度和压力对液压油黏度的影响

1) 黏度与温度的关系 液压油本身的黏度受温度变化影响的特性称作该油液的黏温特性，通常采用黏温指数VI来表示。液压系统中使用的油液对温度的变化很敏感。当温度升高时，油液的黏度显著下降。油液使用黏度的变化直接影响到液压系统的性能和泄漏量，因此，希望黏度随温度的变化越小越好。不同种类的液压油，其黏度随温度变化的规律也不同。液压系统一般要求工作油液的黏度指数VI在90以上，关于各种油液的黏度指数可在相关手册中查到。

2) 黏度与压力的关系 油液分子间的距离随压力增加而减小，内聚力增大导致黏度增加。在10 MPa的常用压力范围内，压力对油液黏度的影响较小，一般可不考虑。但当工作压力较大或压力变化较大时，则需要考虑这种影响。

液压油的黏度对液压传动的效率、灵敏性和可靠性等有很大影响。黏度过高，油液流动时的内摩擦阻力增大，增加系统的压力损失、降低效率、易使油液升温，降低液压泵的自吸能力，有时还会引起液压元件动作迟缓或失调；反之，黏度过低会加大系统的泄漏量，降低泵的容积效率和系统总效率，使系统压力难以维持稳定，影响执行机构的动作精确程度。

2. 液压油应具有的使用特性

- 1) 与系统工作条件相适应的黏度和良好的黏温特性。
- 2) 较好的润滑性。
- 3) 纯净度好，杂质少。
- 4) 较低的空气分离压、饱和蒸汽压、流动点和较高的闪点、燃点，防火、防爆安全系数

要高。

5) 对热、氧化、水解都有良好的稳定性。

此外, 还需要液压油具有良好的防腐性、抗燃性、抗泡沫性、抗乳化性, 较小的体积膨胀性、压缩性, 并且要求无毒。

二、工作介质的种类及特点

普通液压传动系统中使用的工作介质主要有石油基液压油和阻燃液压油两大类。

1. 石油基液压油

石油基液压油是以石油的精炼物为基础, 加入各种添加剂调制而成, 具有很多种类, 液压系统中常用的主要有以下几种:

1) 普通液压油 以汽油机油馏分为基础油, 添加了抗氧、抗腐、抗磨、消泡及防锈剂等调和而成。用于高精密机床或要求较高的中、低压系统, 只适于 0°C 以上的工作环境。其牌号有 YA-N32、YA-N46、YA-N68 等。

2) 液压-导轨油 其基础油与普通液压油相同, 在普通液压油的基础上又添加了油性剂, 具有较好的防爬行性能, 因而适用于机床液压与导轨润滑并用的系统。常用牌号有 N22、N32、N46、N68 等。

3) 抗磨液压油 在普通液压油的基础上增添了抗磨剂, 有助于提高液压元件在高压下工作时的耐磨性, 适用于高压、高速工程机械和车辆液压系统。常用牌号有 YB-N32、YB-N46、YB-N68 等。

4) 低温液压油 利用低凝点的机械油或汽轮机油, 加抗氧、抗腐、抗磨、消泡、防锈、防凝和增黏等添加剂合成。这种油除具有良好的抗磨性外, 还具有较好的黏温特性、低温工作性能和抗剪切性能, 适用于 $-25\sim-35^{\circ}\text{C}$ 低温地区的液压系统使用。常用牌号有 YC-N32、YC-N46、YC-N68 等。

5) 高黏度指数液压油 将低黏度的变压器油分馏后加增粘、抗磨、油性、抗氧剂等调和而成。其黏温特性比低温液压油还好, 适用于精密数控机床及高精度坐标镗床的液压系统。冬季使用牌号为 YD-N22、YD-N32, 夏季宜用 YD-N46。

此外, 还有机械油、汽轮机油、清净液压油及各种专用液压油, 如航空液压油、舰用液压油、炮用液压油、舵机液压油等。

ISO 规定了液压油的黏度等级标准, 采用 40°C 时油液运动黏度的某一中心值作为油液黏度的牌号, 共分为 10、15、22、32、46、68、100、150 等 8 个黏度等级。

2. 阻燃工作液

阻燃工作液含有一定量水分, 因而具有抗燃性能。阻燃工作液主要可分为合成型、油水乳化型和高水型三大类。

(1) 合成型阻燃工作液

1) 水-乙二醇液 含有 $35\sim55\%$ 的水, 其余为能溶于水的乙二醇、丙二醇或其聚合物, 加入水溶性的增黏、抗磨、防锈、消泡等添加剂合成的透明溶液。具有良好的抗燃性、低温流动性以及黏温特性。稳定性好, 使用寿命长。适用于要求防火的液压系统, 使用温度范围为 $-20\sim50^{\circ}\text{C}$ 。其主要缺点是抗磨性和润滑性较差、汽化压力高, 易产生气泡, 与石油基液

压油混合使用时易生成油泥，黏度随含水量减少而显著增加，废液不易处理。

2) 磷酸酯工作液 在磷酸酯中加入抗氧化剂、抗腐蚀剂、酸性吸收剂、消泡剂等调制而成。优点是具有良好的润滑性、阻燃性及抗氧化性，不易挥发，对大多数金属不产生腐蚀作用。使用温度范围为 $-6\sim 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，适用于高压系统。其主要缺点是混入水分时会发生水解并生成磷酸使金属腐蚀，对环境污染严重，有刺激性气味和轻度毒性。

(2) 油水乳化型工作液

油水乳化型液液是利用互不相容的油和水分别作为“溶剂”和“溶质”、使“溶质”以极小的液滴形式均匀地分散在“溶剂”中所形成的抗燃液体。根据油和水的比例大小，分为水包油和油包水两大类。

1) 水包油乳化液 含油量仅为 $5\%\sim 10\%$ ，其余为水及各种添加剂。润滑性差，仅适用于液压支架或水压机系统。

2) 油包水乳化液 由 40% 的水和 60% 的精制矿物油，再加乳化剂等调制而成的以油为连续相、水为分散相的乳化剂。具有矿物油的一些基本优点：润滑性、防锈性及抗燃性等较好。在冶金、轧钢、煤矿的低压液压系统中应用较多。其缺点是使用温度不能高于 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，乳化稳定性差，即油水易分离，过滤性差，黏度随含水量增加而增大。

(3) 高水基型阻燃工作液

高水基乳化液不是油水乳化液，而是以 95% 的水为基体，加入 5% 的各种添加剂调制而成的乳化液。主要有三种类型：高水基乳化液是由 95% 的水与 5% 的精制矿物油及各种添加剂调制而成；高水基合成液则不含油，由 95% 的水和 5% 含有多种水溶性添加剂的浓缩液混合而成；高水基微乳化液则是由 95% 的水和 5% 含有高级润滑油与多种添加剂的浓缩液混合而成。这类阻燃工作液的优点是成本低、抗燃性好、不污染环境，缺点是黏度低、润滑性差，通常只适用于中、低压系统。

三、工作介质的污染及控制

液压系统工作介质即液压油的污染包括两个方面，一方面是使用或管理不当产生泄漏，对周围环境造成污染；另一方面，液压油本身的污染，则会导致系统发生故障，并影响液压传动系统的工作可靠性和元件的使用寿命。

1. 工作介质的污染原因及测定

(1) 液压油的污染

液压油本身被污染的原因比较复杂，主要是来源于液体内的残留物、侵入物及生成物等。

所谓残留物是指液压元件包括管道、油箱等在制造安装过程中没能清理干净而残留下来的切屑、毛刺、型砂、焊渣等。侵入物是由于液压系统密封性不好或维修更换元件时清理不当，使周围环境中的空气、水滴、尘埃及杂物等侵入液体内，造成油液污染。另外，当液压系统工作时，元件摩擦产生的金属微粒、氧化皮屑、密封元件的剥落片以及工作液体变质后的胶状生成物等混于液压油中，都可能使液压油受到污染。

(2) 污染的分析及测定

1) 油液的污染分析。

对液压油污染成分及含量分析时，一般可采用光谱分析、红外光谱分析及铁谱分析等方