



普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

液压传动与气压传动

(修订版)

鄂大辛 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”卓越工程能力



北京高等教育精品教材

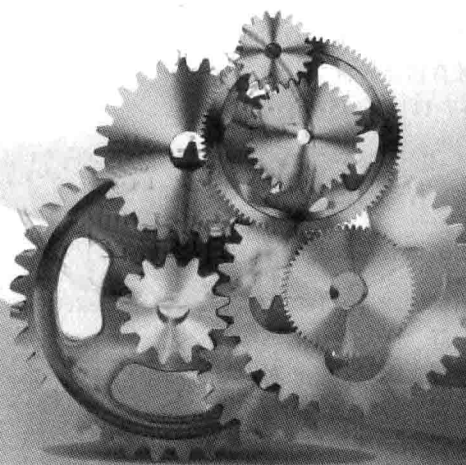
BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

液压传动与气压传动

(修订版)

鄂大辛 编著

刘树桃 主审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

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。液压传动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。修订版中,增加了主要液压、气动元件及其部分回路在使用过程中可能发生的故障分析,以及具体的解决措施。

本书深入浅出、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。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与气压传动/鄂大辛编著;—修订版. —北京:机械工业出版社,2014.8

普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

北京高等教育精品教材

ISBN 978-7-111-46775-5

I. ①液… II. ①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. ①TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第104629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:舒恬 责任编辑:舒恬

版式设计:霍永明 责任校对:刘怡丹

封面设计:张静 责任印制:乔宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2014年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.5印张·461千字

标准书号:ISBN 978-7-111-46775-5

定价:39.80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

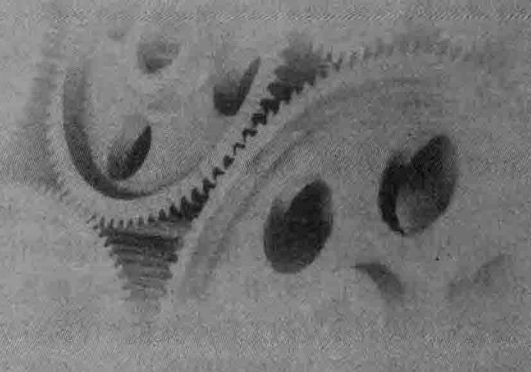
网络服务

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 机工微博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版



修订版前言

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,是当前自动化生产中典型的先进科学技术之一,在航空航天、船舶、车辆等各个领域中有着非常广泛的应用。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。近年来,这门科学技术获得了迅速发展,将为未来的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、机械工程与自动化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所应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,新时期高等技术人才的培养方略中,更应对这门科学技术予以重视。

《液压传动与气压传动》一书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、高职高专类学校教学使用。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,运用新知识能力的培养。

本书分为液压传动和气压传动两大部分,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,对部分章节进行适当删减,或由感兴趣的学生自学。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应用的基本内容,因此,适合于大学本科、高职高专学校教学使用,同时也可供从事相关专业领域里的工程技术人员参考使用。

作为北京高等教育精品教材立项项目,本书在2007年11月出版之后,又于2008年被评选为北京高等教育精品教材。2013年,作者结合了读者对原教材的使用意见,对教材内容重新进行了修订,修正了原版教材中的个别错误,同时适当增减并调整了部分内容。修订版注重理论性、系统性的有机统一,增减了部分内容,对一些疏漏做了修订。其中,对液压与气压能源转换元件、执行元件、控制元件及系统运行过程中可能出现的故障进行了简要分析,并提出

相应的排除方法，使本书脱离了纸上谈兵的弊端，与液压、气压传动系统实际运行相联系起来，可为教学和系统使用维护提供参考。修订整合后的内容使教材得到了进一步完善，更具可操作性，真正达到了培养学生工程应用能力、促进技术人员将理论融入工程实践的目的。

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。资深高级工程师刘树桃老先生以其丰富的工程经验和严谨的科学态度担任主审，为保证本书内容能够理论与实践密切结合提出了许多建设性意见，在此深表感谢。另外，借此机会对为本书编写出版做出了大量工作的刘小亦、舒恬、丁洁、鄂乐子、李治国、魏乐愚、古涛、贾震、刘勇、何花卉、赖晓平等同志表示深厚的谢意。

由于作者水平有限，书中如有不妥之处敬请读者不吝指正。

作 者

《液压传动与气压传动》(修订版)

鄂大辛 编著

读者信息反馈表

尊敬的老师:

您好!感谢您多年来对机械工业出版社的支持和厚爱!为了进一步提高我社教材的出版质量,更好地为我国高等教育发展服务,欢迎您对我社的教材多提宝贵意见和建议。另外,如果您在教学中选用了本书,欢迎您对本书提出修改建议和意见。

机械工业出版社教育服务网网址: <http://www.cmpedu.com>

一、基本信息

姓名: _____ 性别: _____ 职称: _____ 职务: _____

邮编: _____ 地址: _____

任教课程: _____

电话: _____ (H) _____ (O) _____

电子邮件: _____ 手机: _____

二、您对本书的意见和建议

(欢迎您指出本书的疏误之处)

三、您对我们的其他意见和建议

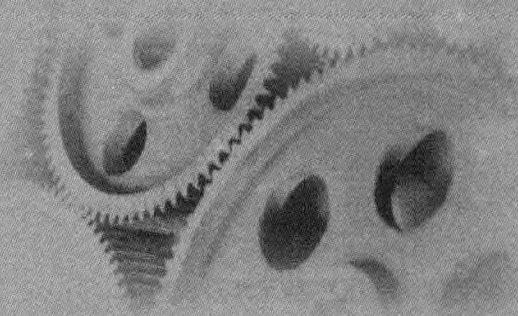
请与我们联系:

100037 机械工业出版社·高等教育分社 舒恬 收

电话: 010-8837 9217 传真: 010-6899 7455

电子邮箱: shutianCMP@gmail.com

目 录



修订版前言

第一篇 液 压 传 动

第一章 概述	2
第一节 液压传动原理及系统组成	2
第二节 液压传动的特点及应用	4
第三节 液压传动的工作介质	6
习题	11
第二章 液压流体力学基础	12
第一节 液体静力学基础	12
第二节 液体动力学基础	19
第三节 液体的流态及在管路中流动的压力损失	28
第四节 孔口和缝隙的流动特性	34
第五节 液压冲击和气穴现象	41
习题	43
第三章 液压泵	46
第一节 液压泵的工作原理及性能	46
第二节 齿轮泵	51
第三节 叶片泵	55
第四节 柱塞泵	62
第五节 其他液压泵简介	67
第六节 液压泵的选择及使用	68
习题	72
第四章 液压执行元件	74
第一节 液压马达	74

第二节 液压缸	84
习题	96
第五章 液压控制元件及其应用	98
第一节 液压控制阀分类及其主要性能	98
第二节 压力控制阀及其应用	99
第三节 流量控制阀及其应用	114
第四节 方向控制阀及其应用	121
第五节 新型液压元件及其应用	132
习题	150
第六章 液压系统中的辅助装置	152
第一节 滤油器	152
第二节 蓄能器	156
第三节 油箱及热交换器	160
第四节 管系元件	164
第五节 其他辅助元件	166
习题	167
第七章 液压系统基本回路	168
第一节 压力控制回路	168
第二节 速度控制回路	174
第三节 方向控制回路	184
第四节 多执行元件工作控制回路	186
习题	193
第八章 典型液压系统及系统设计	196
第一节 组合机床动力滑台液压系统	196
第二节 YA32—200 型四柱万能液压机液压系统	199
第三节 塑料注射成形机液压系统	201
第四节 机械手液压系统	205

第二篇 气压传动

第九章 气压传动基础	212
第一节 气压传动概述、特点及其系统组成	212
第二节 压缩空气	215
第三节 气体状态方程	218
第四节 气体的流动规律	220

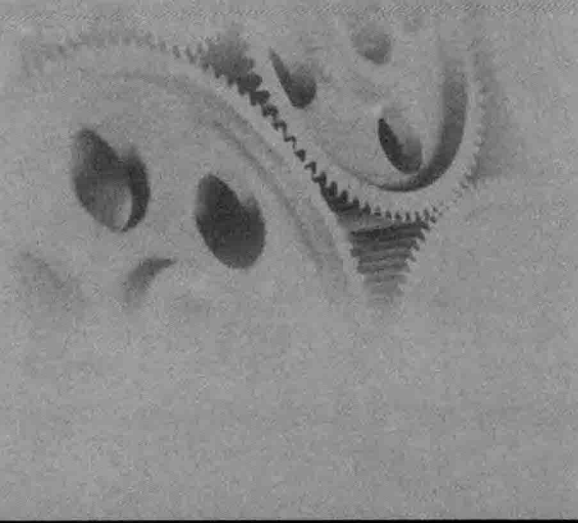
习题	222
第十章 气源装置及辅助元件	223
第一节 气源装置及其净化辅件	223
第二节 气动辅助元件	229
习题	232
第十一章 气动元件及其应用	233
第一节 气动执行元件及其应用	233
第二节 气动控制元件及其应用	237
第三节 气动逻辑元件及其应用	248
习题	255
第十二章 气压传动基本回路	256
第一节 压力控制回路	256
第二节 速度控制回路	258
第三节 换向回路	260
第四节 气液联动控制回路	261
第五节 位置控制回路	264
第六节 程序动作控制回路	267
第七节 安全保护控制回路	271
习题	273
第十三章 气压程序系统与气压传动系统应用	274
第一节 气压程序系统设计简介	274
第二节 气动系统应用实例	278
附录	283
参考文献	287

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传递力的基础理论；而传递运动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的两个最重要参数，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。液压传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的系统，其功能是将电动机的机械能转变为液体的压力能，借助液体（压力油液）通过执行元件对外做功，是利用液体压力能进行的传动。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组成

液压传动是利用压力油液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液来传递力和运动。

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 所示液压千斤顶的工作原理来理解,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 100mm^2 和 200mm^2 ,通过杠杆对小活塞施加一个 1000N 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 $10\text{N}/\text{mm}^2$,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 $10\text{N}/\text{mm}^2 \times 200\text{mm}^2 = 2000\text{N}$ 的作用力。

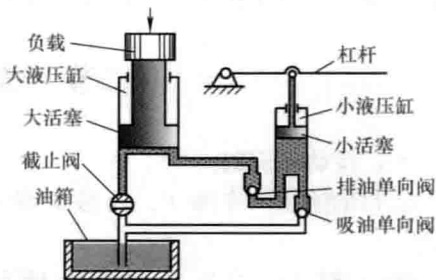


图 1-1 液压千斤顶工作原理

如果大活塞杆上端置一重量为 2000N 的重物,该重物的重力作用于大活塞,此时系统处于平衡状态,该重物将停留在杠杆最终施力的位置上不动。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重力向上移动。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,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,根据排出的液体量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循环的完整过程,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内的装置,在上述液压千斤顶中,由小活塞缸、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、连接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。

(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、迅速地实现信号的传递和处理。

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,这些优点都是相对而言的,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 1:2000。

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转矩与电流成正比,其大小受磁饱和及损耗的限制,而液压马达、液压缸输出的转矩、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,能高速起动、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 1000 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、更高程度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转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) 由于液压系统功率损失等原因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去散发,因而可避免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,如液压传动的能源不如电气能源能够方便地获取;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地实现定比传动;液压传动系统的能量转换及传递过程中存在的机械摩擦损失、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找出原因和迅速排除,对使用和维修人员的技术水平有较高要求。

与其他传动方式相比,液压传动存在上述优点和不足。其缺点和不足,正随着科学技术的发展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十分广泛的应用。

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的应用非常广泛,几乎渗透到各个领域,并且在每个领域中的应用都表现出不同的特长和优势。

(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的传动系统中,到 20 世纪 30 年代,各类机床开始采用液压传动系统。第二次世界大战之后,人们认识到液压传动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) 利用液压传动调速范围大和易于实现无级变速的优点。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、慢速变化的要求。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保持速度恒定的工艺需求。

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,需要其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可达 $60 \sim 90\text{m/min}$,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可输出大功率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转矩和转速实现的。行走式起重机工作时,需要使轮胎浮起,整个起重负载均由支撑缸

负担；伸缩缸是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的调整；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具有广泛的应用，主要是由于它具有结构简单、输出功率大的特点，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、粉末压制及塑料成形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，巨型锻造液压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、双动机和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，提高了生产效率、节省了动力资源，并促进了锻锤实现无砧座化；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十倍，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，而且具有加速能力强的特点，使其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、副翼的偏转控制等均采用液压技术。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中最重要的技术之一，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，以及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。第二次世界大战之后，液压技术开始大量转向工业，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，液压技术正在朝着高压、高速、大流量、高效率、低噪声及高度集成的方向发展。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良好的技术环境。

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，此外，在某些海洋作业的液压系统中，仍然以水为传递介质。

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其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°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°C 时运动黏度 ν 的平均值为 10cSt。

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 共 8 个黏度等级。

(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,其黏度随温度的变化规律也不同。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有关手册中查到。

2) 黏度与压力的关系。油液分子间的距离随压力增加而缩小,内聚力增大导致黏度增加。在 10MPa 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、效率降低,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) 应具有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) 具有较低的空气分离压、饱和蒸气压、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,并且要求应无毒。

二、工作介质的种类及特点

普通液压传动系统中使用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、消泡及防锈剂等调合而成。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, 使其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 -150°C 以上的高压、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黏、抗磨、油性、抗氧剂等调合而成。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 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。

2. 阻燃液压油

阻燃液压油含有一定量水分, 因而具有抗燃性能。阻燃液压油主要可分为合成型、油水乳化型和高水型三大类。

(1) 合成型阻燃液压油

1) 水-乙二醇液, 是一种含有 35% ~ 55% 的水, 其余为能溶于水的乙二醇、丙二醇或其聚合物, 以及加入水溶性的增黏、抗磨、防锈、消泡等添加剂合成的透明溶液。其具有良好的抗燃性、低温流动性及黏温特性, 稳定性好, 使用寿命长。其适用于要求防火的液压系统, 使用温度范围为 $-20 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。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) 磷酸酯阻燃液压油, 是一种在磷酸酯中加入抗氧化剂、抗腐蚀剂、酸性吸收剂、消泡剂等调制而成的液压油。其优点是具有良好的润滑性、阻燃性及抗氧化性, 挥发性低, 对大多数金属不产生腐蚀作用。其使用温度范围为 $-6 \sim 65^{\circ}\text{C}$, 适用于高压系统。其主要缺点是混入水分时会发生水解, 并生成磷酸腐蚀金属, 对环境污染严重, 有刺激性气味和轻度毒性。

(2) 油水乳化型阻燃液压油

油水乳化型阻燃液压油是利用互不相溶的油和水分别作为“溶剂”和“溶质”, 是“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) 水包油乳化液的含油量仅为 5% ~ 10%, 其余为水及各种添加剂。其特点是润滑性差, 仅适用于液压支架或水压机系统。

2) 油包水乳化液是由 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。其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、煤矿中的低压液压系统中应用较多。其缺点是使用温度不能高于