

“十二五”国家重点图书出版规划项目

先进制造理论研究与工程技术系列

HYDRAULIC TRANSMISSION

液压传动

(第5版)

主编 姜继海 胡志栋 王 昕

哈尔滨工业大学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

先进制造理论研究与工程技术系列

HYDRAULIC TRANSMISSION

液压传动

(第5版)

主编 姜继海 胡志栋 王 昕



哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

全书共分 11 章。第 1 章简述液压传动的工作原理、组成、特点及应用;第 2 章介绍液压传动系统所用工作介质;第 3 章介绍液压流体力学基础;第 4、5、6 和 7 章分别介绍液压传动系统所使用的动力元件、执行元件、控制元件和辅助元件;第 8 章介绍主要液压回路;第 9 章介绍典型液压传动系统;第 10 章介绍液压传动系统的设计计算和液压传动系统原理图的拟定等;第 11 章简单介绍液压伺服系统。

本书既可作为高等学校机械类专业本科学生的教材,也可作为成人教育学院和高职高专机械类专业及相近专业学生的教材,还可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动/姜继海等主编.—5 版.—哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2015.1

ISBN 978-7-5603-4954-1

I.液… II.姜… III.液压传动 IV.TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 237232 号

责任编辑 黄菊英 李子江

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印刷中心印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 16.25 字数 393 千字

版 次 2015 年 1 月第 5 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4954-1

定 价 30.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

第5版前言

本书是以姜继海主编的《液压传动》(2009年第4版)内容为基础,根据原国家教委制定的高等工程教育基础课程和技术基础课程教学基本要求,结合使用本书的教学体会和兄弟院校的反馈意见,以及哈尔滨工业大学机械设计制造及其自动化专业液压传动课程多年的教学经验进行修订的。在修订过程中,依然贯彻基础理论以必需、够用为度,注重应用性、综合性的原则,全书以流体力学为基础,以液压传动系统为主线,以能初步设计液压传动系统为目的,以液压传动回路为基本框架,以实验教学和习题为巩固学习内容的手段,力求通俗易懂,学以致用,强调能力的培养和基本技能的训练。本书在修订过程中注意吸收了部分兄弟院校在教学中的教学经验和教学内容。

本次修订主要进行了以下几方面的工作:

(1)结合国家有关最新标准,对原版中过时的名词、术语、符号、量纲和图形符号等进行了修正;

(2)改正了原版中的文字、插图和图形符号错误,增加了液压元件或者系统的实物图;

(3)对原版中的部分内容进行了充实、调整和补充,每章都配有经过精选的例题和习题;

(4)为了适应多媒体教学的需要,本次修订增加了与本书配套的电子版教学内容(部分教学动画、教材插图(表)、电子教案),可免费以 E-mail 形式赠送给使用本书的教师(联系电话:86416203、86418760),有问题可与主编联系(E-mail:jjhlxw@hit.edu.cn)。同时,近期将出版与本书配套的《同步辅导和习题精解》,以供广大读者进一步理解和巩固课堂所学知识。

参加本书修订工作的有:哈尔滨工业大学姜继海(第1、5、8章)、东北林业大学胡志栋(第2、3、6、10章)、吉林大学王昕(第4、7、9、11章)。本书由姜继海统编,吴盛林主审。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不当之处,敬请广大读者予以批评指正。

编者

2015年1月

目 录

第1章 概论	(1)
1.1 液压传动技术的发展	(1)
1.2 液压传动系统的工作原理和组成	(6)
1.3 液压传动的特点	(9)
1.4 液压传动的应用	(9)
思考题和习题	(13)
第2章 液压油液	(14)
2.1 液压油液的性质和选择	(14)
2.2 液压油液的污染和控制	(22)
思考题和习题	(24)
第3章 液压流体力学基础	(26)
3.1 液体静力学	(26)
3.2 液体动力学	(30)
3.3 液体流动时的压力损失	(36)
3.4 孔口和缝隙流量	(42)
3.5 液压冲击和气穴现象	(47)
思考题和习题	(50)
第4章 液压泵和液压马达	(52)
4.1 液压泵的基本工作原理和分类	(52)
4.2 液压泵的基本性能参数和特性曲线	(53)
4.3 齿轮泵	(56)
4.4 叶片泵	(60)
4.5 柱塞泵	(66)
4.6 螺杆泵	(71)
4.7 各类液压泵的性能比较和应用	(71)
4.8 液压马达	(72)
思考题和习题	(76)
第5章 液压缸	(79)
5.1 液压缸的分类和特点	(79)
5.2 液压缸的结构	(87)
5.3 液压缸的设计和计算	(93)
思考题和习题	(95)
第6章 液压控制阀	(97)
6.1 概述	(97)
6.2 方向控制阀	(98)

6.3 压力控制阀	(111)
6.4 流量控制阀	(122)
6.5 比例阀、插装阀和数字阀	(126)
思考题和习题	(134)
第7章 液压传动系统辅助元件	(137)
7.1 液压蓄能器	(137)
7.2 过滤器	(140)
7.3 油箱	(145)
7.4 管件	(146)
思考题和习题	(150)
第8章 调速回路和多缸运动回路	(151)
8.1 调速回路	(151)
8.2 多缸运动回路	(172)
思考题和习题	(177)
第9章 典型液压传动系统	(181)
9.1 YT4543 型组合机床动力滑台液压传动系统	(181)
9.2 M1432 型万能外圆磨床液压传动系统	(185)
9.3 YB32-200 型液压机液压传动系统	(190)
9.4 Q2-8 型汽车起重机液压传动系统	(194)
9.5 SZ-250A 塑料注射成型机液压传动系统	(197)
9.6 CLG200-3 挖掘机液压传动系统	(204)
思考题和习题	(218)
第10章 液压传动系统的设计和计算	(220)
10.1 明确设计要求,进行工况分析	(220)
10.2 执行元件主要参数的确定	(222)
10.3 液压传动系统原理图的拟定	(225)
10.4 液压元件的计算和选择	(225)
10.5 液压传动系统技术性能的验算	(229)
10.6 绘制正式工作图和编制技术文件	(230)
10.7 液压传动系统设计计算举例	(230)
思考题和习题	(235)
第11章 液压伺服系统	(236)
11.1 概述	(236)
11.2 典型的液压伺服控制元件	(239)
11.3 电液伺服阀	(241)
11.4 液压伺服系统实例	(243)
思考题和习题	(245)
附录 部分常用液压系统图形符号(摘自 GB/T 786.1—2009)	(246)
参考文献	(251)

第 1 章 概 论

一部完整的机器主要是由动力装置、传动装置、控制调节装置和工作装置四部分组成。传动装置只是一个中间环节,其作用是把动力装置(电动机、内燃机等)的输出功率传送给工作装置。传动有多种类型,如机械传动(齿轮、轴、曲轴等)、电力传动(感应电动机、直线电动机、转矩电动机等)、液体传动、气体传动以及它们的组合——复合传动等。

用液体作为工作介质来进行能量传递的传动方式称为液体传动。按照其工作原理的不同,液体传动可分为液压传动和液力传动。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量;而液力传动则主要是利用液体的动能来传递能量。

液压传动又称为容积式液压传动。由于液压传动有许多突出的优点,因此它被广泛地应用于机械制造、工程机械、建筑机械、石油化工、交通运输、军事器械、矿山冶金、航海、轻工、农机、渔业、林业等各方面。同时,它也被应用到航天航空、海洋开发、核能工程、地震预测等各个技术领域中。

本书主要介绍以液压油作为工作介质的液压传动技术以及作为液压传动技术的基础理论——液压流体力学基础。

总体来讲,液压传动是利用液压泵将动力装置的机械能转变为液体的压力能,利用液压缸或液压马达将液体的压力能再转变为机械能,用来驱动负载,并获得工作装置需要的运动速度和运动方向。

本章介绍液压传动的技术发展情况、工作原理、组成、优缺点及液压传动的应用。

1.1 液压传动技术的发展

20 世纪是液压技术快速发展的一个时代。从 20 世纪初的矿物油作为动力传递工作介质概念的引入,到柱塞泵、三大类阀的发明,到 20 世纪四五十年代电液伺服阀的发明和电液伺服控制理论的确立,再到 70 年代插装阀和比例阀的发明,这些都是液压技术领域极具革命性的技术进步。经过近一个世纪的发展,目前液压技术在元件结构和工作原理方面有一定创新,但液压技术本身却从其相关技术中受益较多。正如 1998 年德国国际流体技术年会(IFK)上引用的数据表明,近二十年来,液压技术的发展来源于自身的科研成果所占比例仅约 20%,来源于其他领域的发明占 50%,移植其他技术的成果占 30%。液压技术正是在汲取相关技术和与其替代性技术的竞争中得以发展的。

1.1.1 液压传动技术的发展状况

就目前而言,液压技术主要应用在大功率传递、功率质量比大、用电不方便、高动态响应场合等不同领域中。

1. 液压元件

(1) 元件的小型化、模块化。如:电磁阀的驱动功率逐渐减小,从而既适合电子器件的直

接控制,同时也节省了能耗;螺纹插装阀的大量运用,使系统的功能拓展更加灵活。

(2)节能化。变量泵在国外的研发已日趋成熟。目前,恒压变量、流量压力复合控制,恒功率、比例伺服控制等技术已被广泛地集成到柱塞泵上,节能、减少系统发热已成为系统设计时必须考虑的问题之一。值得一提的是变频调速技术得到了足够的重视。采用定量泵变转速的调速方案是与恒转速变量泵相异的一种思路,目前的研究尚处于初级阶段。

(3)新材料的应用。新材料(如陶瓷技术)的使用是与非矿物油工作介质元件的要求及提高摩擦副的寿命联系在一起的。目前,已有德、英、芬兰等国的厂商在纯水液压件上使用了该项技术。新型磁性材料的运用是与电磁阀、比例阀的性能提高结合在一起的,由于磁通密度的提高,可以使阀的推力更大,其直接作用使阀的控制流量更大、响应更快、工作更可靠。

(4)环保。环保的要求体现了现代工业的人文关怀。环保的液压元件应当至少无泄漏、低噪声,这也是液压元件发展的一个永恒的主题。

(5)非矿物油工作介质元件。非矿物油工作介质元件是应用于特殊场合的元件,如要求耐燃、安全、卫生的场合,这时就需要考虑采用高水基或纯水元件。能源危机催生了此类元件的诞生,但目前的发展动力可能更大程度上与环保、工作介质的廉价及其安全性相关。目前,丹麦的 Danfoss 公司提供了成套的 NESSIE 系列纯水液压元件,并已在食品等行业得到了应用。

2. 系统集成与控制技术

(1)比例阀技术。比例阀技术的发展源于增大频宽及控制精度,旨在使其性能接近伺服阀。同时,比例阀又沿着标准化、模块化及廉价的方向发展,以促进其应用。如 Bosch 的带位置反馈的比例伺服阀,其性能已很接近电液伺服阀的性能。又如螺纹插装式比例阀,在某些工程机械中得到了应用。

(2)电液伺服技术。电液伺服阀是最早将液压技术引入自动控制领域的伺服技术,但电液伺服阀的结构自发明以来少有改进,除了在高频响应的场合外,其传统地位正日益受比例技术的挑战。MOOG 公司已开始生产与比例阀类似的采用永磁式线性力马达的直接驱动式伺服阀(DDV)。

(3)控制理论。液压控制系统正从不断发展的自动控制理论中获益,并不断丰富控制理论的实践。目前,自适应控制、鲁棒控制、模糊控制及神经网络控制等均得到了不同程度的运用。

3. 密封技术

自从液压技术诞生以来,工作介质的泄漏一直是困扰着业界人士的一大难题。泄漏导致矿物油的浪费及对环境的污染、系统传动效率的降低等。在静密封领域,橡胶类密封件拥有不可替代的地位,当然,根据应用场合(如温度)的不同,密封件材料又有丁腈橡胶和氟橡胶之分。在动密封领域,聚四氟乙烯(PTFE)已拥有不可动摇的地位。近年来,密封技术的进步也主要集中在 PTFE 的使用方面。随着对材料及密封机理的深入了解,已可以在 PTFE 中有针对性的添加某些元素以达到提高性能的要求。国外许多大的密封件公司均有针对不同应用场合的材料配方以强化某一方面的性能。

4. 流体传动的控制理论

液压伺服控制是一种典型的伺服控制,随着控制理论不断发展而发展,纵观当今液压

伺服控制的研究现状,控制学科的一些较成熟的研究成果,从 PID 控制、优化控制到各种智能控制,液压伺服控制几乎都有应用。

1.1.2 液压技术的发展趋势

随着电子技术、计算机技术、信息技术、自动控制技术及新工艺、新材料的发展和应用,液压传动技术也在不断创新。液压传动技术已成为工业机械、工程建筑机械及国防尖端产品不可缺少的重要技术。而其向自动化、高精度、高效率、高速化、高功率、小型化、轻量化方向发展,是不断提高它与电传动、机械传动竞争能力的关键。21 世纪的液压技术应当主要靠现有技术的改进和扩展,以满足相关领域未来发展的要求,其主要的发展趋势集中在以下几个方面。

1. 液压现场总线技术

(1)现场总线是连接智能化仪表和自动化系统的全数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。现场总线控制系统一般简化为工作站和现场设备两层结构,故其可以看作是一个由数字通信设备和监控设备组成的分布式系统。从计算机角度看,现场总线是一种工业网络平台;从通信角度看,现场总线是一种新型的全数字、串行、双向、多路设备的通信方式;从工程角度看,现场总线是一种工厂结构化布线。随着现代制造技术的飞速发展,流体控制技术和电子控制技术的结合越来越紧密,在液压领域越来越多的人开始使用或关注总线技术在液压系统中的应用,液压技术人员也越来越感受到现场总线技术的优越性。液压现场总线控制系统是在液压总线的供油路和回油路间安装数个开关液压源,其与各自的控制阀、执行元件相连接。开关液压源包括液感元件、高速开关阀、单向阀和液容元件。根据开关液压源功能不同,它可组合成升压型或降压增流型开关液压源。由于将开关源的输入端直接挂在液压总线上,可通过高速开关方式加以升压或降压增流。该系统克服了传统液压系统无法实现升压和降压增流问题,最终输出与各执行元件需求相适应的压力和流量。

(2)现场总线技术在液压系统应用中的特点是:

① 经济性。任何一种新技术、新产品的开发与使用,其成本是首先需要考虑的因素之一,总线技术也不例外。设计开发总线技术产品的初衷之一就是降低系统的工程成本。所以,应用单位使用总线产品和供应商提供产品的第一前提应该是以降低总系统的使用成本为目标。

② IEC61131-3 标准的柔性化程序,易学,易懂,可操作性强。

③ 可靠性、可维护性。现场总线技术采用总线代替一对一的 I/O 连线。对于大规模 I/O 系统来说,减少了由接线点造成的不可靠因素,同时系统具有在线故障诊断和报警记录功能;可完成现场液压系统的远程参数设定、修改等参数化工作,增强了系统的可维护性。

④ 友好的人机对话界面,可方便进行液压系统的参数修改和故障监控。

⑤ 满足所有有关人身安全、电磁兼容、抗冲击及抗振动的重要指标。

⑥ 相对于传统的液压比例控制系统,更具有价格竞争优势。

2. 自动化控制软件技术

在多轴运动控制中,采用 SPS 可编程控制技术。在这种情况下,以 PC 机为基础的现代控制技术也和许多自动化控制领域一样,有着自己的用武之地。自动化控制软件将 SPS 的工作原则与操作监控两项任务集于一身。操作监控技术在伺服驱动中已经发展得比较成

熟,并且具有强大的功能和功率。在大量的实践中已经证明,以微机软件为基础的控制方案在不同类型的液压控制中也是非常有效的控制方案。利用液压技术控制回路(控制阀、变量泵)和执行元件(液压缸、液压马达)大量不同的变型与组合配置,可以提供多种不同特性的控制方案。有些液压控制运动与电气驱动运动类似,因此,这样的液压运动控制也可以当作电气运动控制来对待和处理。

3. 水压元件及系统

(1)水压传动技术。水压传动技术是基于绿色设计和清洁生产技术而重新崛起的一门新技术,是新型工业化发展进程中出现的一门绿色新技术。由于水具有清洁、无污染、廉价、安全、取之方便、再利用率高、处理简单等突出优点,用其取代矿物油作为液压系统工作介质时,不仅能够解决未来因石油枯竭带来的能源危机,而且能够最大限度地解决因矿物油泄漏和排放带来的污染与安全问题,符合环境保护和可持续发展的要求,因此人们开始重新考虑和认识这一清洁能源作为液压系统工作介质的重要性,并已引起普遍关注,成为现代水压传动技术发展最直接的动力。从某种意义上讲,液压技术的发展是一个元件与工作介质互相适应和协调发展的过程。现在的水压元件计划用普通水或天然海水作为介质,其技术难点就集中到了元件本身。液压元件的发展越来越依赖于材料科学和制造技术的进步,这在水压元件中体现得尤为突出。在现代技术条件下,可以制造出在密封、自润滑、抗腐蚀等性能方面适应纯水甚至海水介质的液压元件。

4. 液压节能技术

液压传动系统能量损失包括各元件中运动件的机械摩擦损失、泄漏损失、溢流损失、节流损失及输入、输出功率不匹配的无功损失等。机械摩擦损失、泄漏损失所占比例与所选元件本身的机械效率、容积效率、介质黏度、回路密封性及系统组成的复杂程度有关;溢流损失、节流损失所占比例与回路和控制形式有关;输入、输出功率不匹配的无功损失所占比例与控制策略有关。因此,节能是液压技术的重要课题之一,随着人们对节能和环保要求的日益提高,有效使用能源和降低噪声已成为液压行业的重要指标。纵观国内外液压技术发展历程,无时无刻不伴随节能的需要及创新。

除了产品和技术不断创新之外,很重要的一点是让用户能很方便选用创新技术和产品。从而使他们自身的设备或产品得到更新换代或创造更高的附加值。因此,为客户提供优化的技术方案十分重要,如提供软件方便用户选择和设计。近十年来,由于液压技术借助微电子技术,大力发展电液传动与控制,使液压技术产生了新的活力。液压技术的主要竞争者是机械传动和电气传动,只要沿着机电一体化方向走下去,并不断跟踪和移植信息技术、计算机技术、摩擦磨损技术、润滑技术、自动控制技术以及新材料、新工艺等成果,充分发挥液压技术功率密度大等优点,克服漏油和噪声大等缺点,液压技术作为现代传动与控制的重要组成部分,将逐步扩大应用领域,保持强大的竞争力,并不断向前发展。

1.1.3 我国液压传动技术的发展现状

我国的液压技术是随着新中国的建立和发展而发展起来的。从1952年上海机床厂试制出我国第一件液压元件(齿轮泵)起,至今,大致经历了创业奠基、体系建立、成长发展、引进提高等几个发展阶段。

20世纪50年代初期,我国没有专门的液压元件制造厂,上海、天津、沈阳、长沙等地机

床厂的液压车间自产自用仿前苏联的径向柱塞泵、叶片泵、组合机床用液压操纵板、磨床操纵箱及液压刨床、给液压机配套的高压柱塞泵等元件。此期间的液压产品多为管式连接,结构差,性能是国际上20世纪40年代的水平。1959年,国内建立了首家专业化液压元件制造企业——天津液压件厂。

进入20世纪60年代,液压技术的应用从机床行业逐渐推广到农业机械和工程机械等领域,为了解决仿苏产品品种单调、结构笨重和性能落后的问题,并满足日益增长的主机行业的需要,我国的液压工业从仿制开始走上自行开发设计的道路。60年代初,我国液压元件的统一规划组织及技术开发工作分别划归北京机床研究所、济南铸锻机械研究所、广州机床研究所和大连组合机床研究所等有关科研院所管理。1965年,为适应液压机械从中低压向高压方向的发展,成立了榆次液压件厂,并引进了日本油研公司公称压力21 MPa的中高压系列液压阀及全部制造加工、试验设备。同时引进30万美元的液压元件国外样机,组织测绘仿制。1966~1968年,以广州机床研究所(现广州机械科学研究院)为主,联合开发设计了公称压力为2.5 MPa和6.3 MPa的中低压系列液压元件,包括方向、压力、流量三大类液压阀及液压泵、液压马达等187个品种和1 000余个规格,并相继批量投产。1966年,北京机床研究所研制成功了喷嘴挡板式电液伺服阀并用于电火花机床。1967年,济南铸锻机械研究所完成了32 MPa的CY14-1型轴向柱塞泵的系列设计。1968年,在公称压力21 MPa液压阀系列基础上,有关科研院所和企业设计了我国第一套较为完整的公称压力31.5 MPa的高压液压阀系列图纸,并在有关液压元件制造厂陆续投入生产,在各行业获得广泛使用。到60年代末70年代初,随着生产机械化的发展,特别是在为第二汽车制造厂等主机企业提供高效、自动化设备的带动下,液压元件制造业出现了迅速发展的局面,一批中小企业也转型成为液压件专业制造厂。1968年,我国液压元件年产量已接近20万件,至此已基本形成数个独立的液压元件制造工业体系。

20世纪70年代,在高压液压阀品种规格逐渐增多的情况下,为了实现标准化、系列化和通用化,扩大品种,提高质量,追赶国际先进水平,1973年,有关科研单位、高等院校、专业制造厂等10多个单位参加,组成液压阀联合设计组,在分析对比同内外同类液压阀产品的设计、结构、性能、工艺特点及国内液压阀生产现状基础上,完成了我国公称压力32 MPa高压阀新系列图纸的设计。该系列图纸吸收了国内外产品的优点,100多个品种、3 000多个规格,特别是使安装连接尺寸与国际相应有关标准得到了统一。1978年,通过了全系列图纸的审查及样机的试制、试验、鉴定等一系列工作,并推广生产。70年代期间,广州机床研究所研制成功电液比例溢流阀、电液比例流量阀,并与上海液压件一厂合作研制了IK系列液压集成块(1973年);大连组合机床研究所开始叠加阀研究(1974年);北京机床研究所试制成功QDY2型电液伺服阀及QDM型电液脉冲马达(1975年);济南铸锻机械研究所研制成功插装阀及其液压系统(1977年)。同期,还研制成功了摆线转子泵及液压蓄能器等液压产品。

经过20多年的艰苦探索和发展,特别是20世纪80年代初期引进美国、日本、德国的先进技术和设备,使我国的液压技术水平有了很大的提高。到目前为止,我国的液压行业已形成了一个门类比较齐全、有一定生产能力和技术水平的工业体系。我国的液压件已从低压到高压形成系列,并生产出许多新型的元件,如插装式锥阀、电液比例阀、电液数字控制阀等。液压产品有1 200个品种、10 000多个规格(含液力产品60个品种、500个规格),已基本

能适应各类主机产品的需要,重大成套装备的品种配套率也可达 60% 以上,并开始有少量出口。

目前,我国的液压元件制造业已能为包括金属材料工程、铁路与公路运输、建材建筑、工程机械及农林牧机械、家电五金、轻工纺织、航空与河海工程、计量质检与特种设备、国防及武器装备、公共设施与环保等行业在内的多种部门提供较为齐全的液压元件产品。我国机械工业在认真消化、推广国外引进的先进液压技术的同时,大力研制、开发国产液压件新产品,加强产品质量可靠性和新技术应用的研究,积极采用国际标准,合理调整产品结构,对一些性能差,且不符合国家标准的液压件产品,采取逐步淘汰的措施。

尽管我国液压工业已取得了很大的进步,但与世界先进水平相比,还存在不少差距,主要表现在以下几个方面。

(1) 产品品种少;液压技术使用率较低;技术水平低,质量不稳定,早期故障率高,可靠性差;特别是机电一体化的元件和系统,目前国内尚未广泛应用。

(2) 专业化程度低,规模小,经济效益差。

(3) 科研开发力量薄弱,技术进步缓慢。

(4) 目前产品尚未打开国际市场,但国际市场容量很大,故我国出口的发展空间很大。

总之,我国液压技术与世界主要工业国家相比,还有一定的差距。

1.2 液压传动系统的工作原理和组成

1.2.1 液压传动系统的工作原理

图 1.1 所示为一台驱动机床工作台运动的液压传动系统。这个系统可使工作装置作直线往复运动、克服负载及各种其他阻力和调节工作台的运动速度。下面以此为例来了解一般液压传动系统的工作原理和基本组成。

在图 1.1(a)中,液压泵 4 由电动机驱动旋转,从油箱 1 中吸液压油。液压油经过滤器 2 进入液压泵 4,液压泵输出的压力油经管压油 10、开停阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 左腔,推动液压缸中的活塞 17 和工作台 19 一起向右移动。这时,液压缸 18 右腔的液压油经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。

如果将换向手柄 16 转换成图 1.1(b)所示的状态,则液压泵 4 输出的液压油将经过开停阀 9、节流阀 13 和换向阀 15 进入液压缸 18 左腔,对液压缸的活塞 17 产生推力。与此同时,液压缸 18 左腔的液压油可经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。这样,液压缸的活塞 17 在其右侧液压油压力的推动下(这时左侧液压油的压力很小)带着工作台 19 向左运动。其中,开停阀 9 的阀芯有两个(左、右)工作位置,换向阀 15 的阀芯有三个(左、中、右)工作位置。

工作台 19 的运动速度是由节流阀 13 来调节的。当节流阀口开大时,单位时间内进入液压缸 18 的液压油增多,工作台的运动速度增大;当节流阀口关小时,工作台的运动速度减小。

为了克服移动负载和工作台所受到的各种阻力,液压缸必须能够产生一个足够大的推

力,这个推力是由液压缸中的液压油压力产生的。要克服的阻力越大,液压缸中的液压油压力越高;反之压力就越低。为了使液压缸中的液压油能克服负载和各种阻力,液压泵的工作压力必须高于液压缸中液压油的压力,因此需要调节液压泵的工作压力。单位时间输入液压缸中液压油的多少是通过节流阀 13 调节的,定量液压泵 4 输出的多余油液须经溢流阀 7 和回油管 3 排回油箱,这只有在压力油支管 8 中的液压油压力对溢流阀的钢球 6 的作用力等于或略大于溢流阀中弹簧 5 的预紧力时,液压油才能顶开溢流阀中的钢球 6 流回油箱。所以,在图 1.1 所示的液压传动系统中,液压泵出口处的液压油压力是由溢流阀决定的,调节溢流阀 7 中弹簧 5 的预压缩量,就可以调节液压泵的工作压力。过滤器 2 用来滤去液压油中的杂质,保护液压泵 4 及液压传动系统。

如果将换向阀手柄 16 转换成图 1.1(c)所示的位置,液压泵 4 输出的液压油全部经溢流阀 7 和回油管 3 排回油箱,不输送到液压缸中,这时工作台停止运动,而系统保持溢流阀调定的压力。

如果将开停手柄 11 转换成图 1.1(d)所示的位置,液压泵 4 输出的油液将经开停阀 9 和回油管 12 排回油箱,这时工作台就停止运动,而液压传动系统卸荷。

从上面的例子可以看出:

(1) 液压传动是以液体作为工作介质来传递动力的。

(2) 液压传动是以液体在密封容腔(液压泵的出口到液压缸)内所形成的压力能来传递动力和运动的。

(3) 液压传动中的工作介质是在受控制、受调节的状态下进行工作的。

液压传动系统中的能量传递和转换情况如图 1.2 所示,这种能量的转换能够满足生产需要。

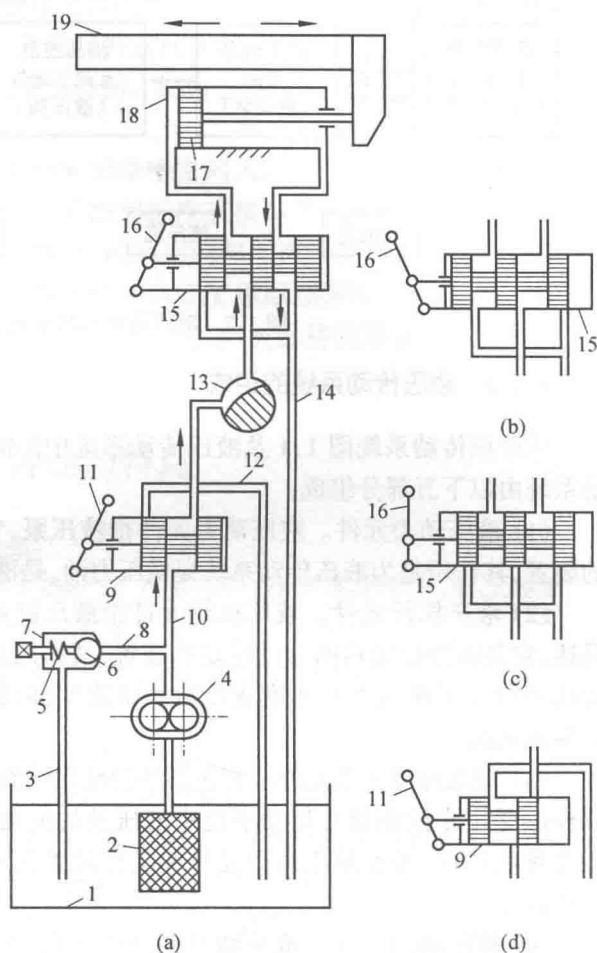


图 1.1 机床工作台液压传动系统

- 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—压力油支管;9—开停阀;
10—压油管;11—开停手柄;13—节流阀;15—换向阀;
16—换向手柄;17—活塞;18—液压缸;19—工作台

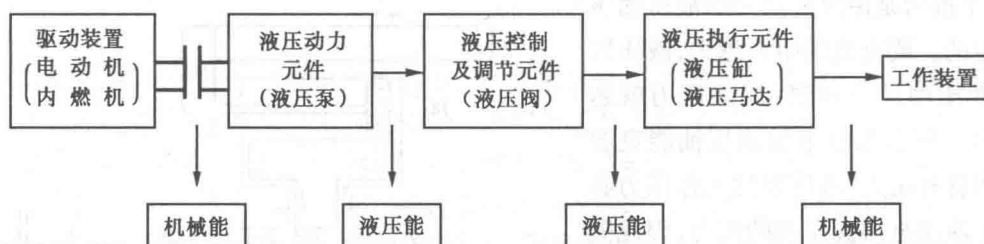


图 1.2 液压传动系统中的能量传递和转换

1.2.2 液压传动系统的组成

从液压传动系统图 1.1 及液压传动系统中的能量传递和转换图 1.2 可以看出,液压传动系统由以下五部分组成:

(1) 液压动力元件。液压动力元件指液压泵,它是将驱动装置的机械能转换为液压能的装置,其作用是给液压传动系统提供压力油,是液压传动系统的动力源。

(2) 液压执行元件。液压执行元件指液压缸或液压马达,它是将液压能转换为机械能的装置,其作用是在压力油的推动下输出力和速度或转矩和角速度,以驱动工作装置做功。

(3) 液压控制调节元件。它包括各种液压阀类元件,其作用是用来控制液压传动系统中液压油的流动方向、压力和流量,以保证液压执行元件和工作装置完成指定工作。

(4) 液压辅助元件。液压辅助元件如油箱、油管、过滤器等,它们对保证液压传动系统正常工作有着重要的作用。

(5) 液压工作介质。工作介质指传动液体,通常被称为液压油或液压液。

1.2.3 液压传动系统的图形符号

图 1.1 中组成液压传动系统的各个元件是用半结构式图形绘制出来的。这种图形直观性强,容易理解,但绘制起来比较麻烦,特别是当液压传动系统中的液压元件比较多时更是如此。所以,在工程实际中,除某些特殊情况外,一般都是用简单的图形符号来绘制液压传动系统工作原理图。对图 1.1 所示的液压传动系统,工作原理图采用国家标准 GB/T 786.1—2009 所规定的液压图形符号(见附录)进行绘制,如图 1.3 所示。在这里,图中的符号只表示元(辅)件的功能、操作(控制)方法及外部连接口,不表示元(辅)件的具体结构和参数,也不表示连接口

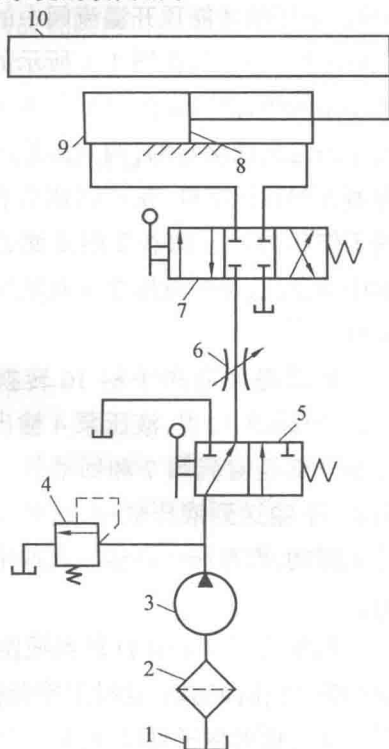


图 1.3 用图形符号绘制的机床工作台液压传动系统

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

的实际位置和元(辅)件的安装位置。在绘制液压元件的图形符号时,除非特别说明,图中所示状态均表示元(辅)件的静止位置或零位置,并且除特别注明的符号或有方向性的元(辅)件符号外,它们在图中可根据具体情况水平或垂直绘制。使用这些图形符号后,可使液压传动系统图简单明了,方便绘制。

当有些液压元件无法用图形符号表达或在国家标准中未列入时,可根据标准中规定的符号绘制规则和所给出的基本符号进行派生。当无法用标准直接引用或派生时,或有必要特别说明系统中某一元(辅)件的结构和工作原理时,可采用局部结构简图或采用它们的结构或半结构示意图表示。在用图形符号来绘制液压传动系统工作原理图时,符号的大小应以清晰美观为原则,绘制时可根据图纸幅面的大小酌情处理,但应保持图形本身的适当比例。

1.3 液压传动的特点

液压传动相对于其他传动有以下主要优点:

(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、质量小、结构紧凑,即它具有大的功率密度或力密度。

(2) 液压装置容易做到对执行元件速度的无级调节,而且调速范围大,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,便于对液体的流动方向、压力和流量进行调节和控制,更容易与电气、电子控制或气动控制结合起来,实现复杂的运动和操作。

(6) 液压元件易于实现标准化、系列化和通用化。液压装置便于设计、制造和推广使用。

当然,液压传动还存在以下明显的缺点:

(1) 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性使其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,传动效率相对较低。

(3) 液压传动装置的工作性能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。

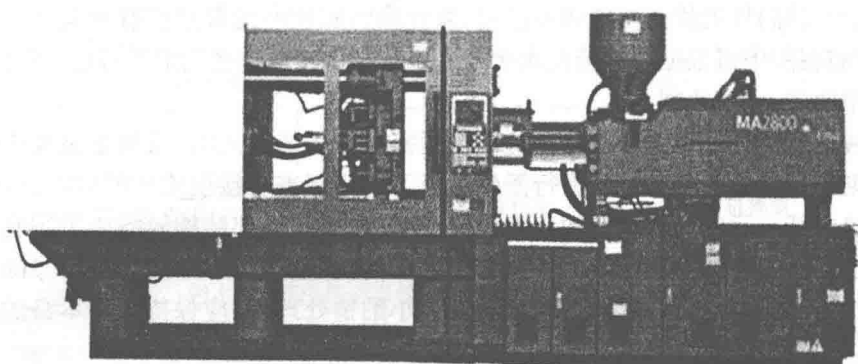
1.4 液压传动的应用

液压传动主要应用如下:

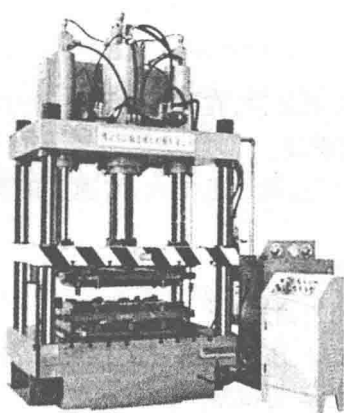
(1) 一般工业机械:包括塑料加工机械(注塑机)、压力机械(锻压机)、重型机械(废钢压块机)、液压机床(全自动六角车床、平面磨床)等,如图 1.4 所示。

(2) 行走机械:包括工程机械(挖掘机)、起重机械(汽车吊)、建筑机械(打桩机)、汽车(转向器、减振器)、农业机械(联合收割机)等,如图 1.5 所示。

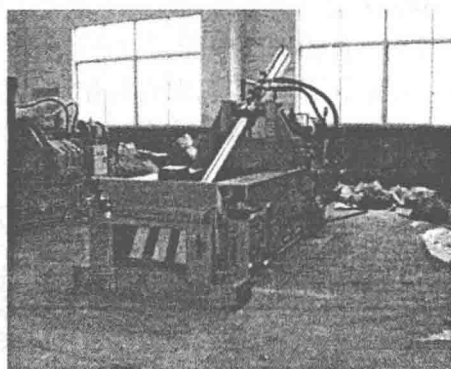
(3) 钢铁工业机械:包括冶金机械(轧辊调整装置)、提升装置(电极升降机)、薄板轧机等,如图 1.6 所示。



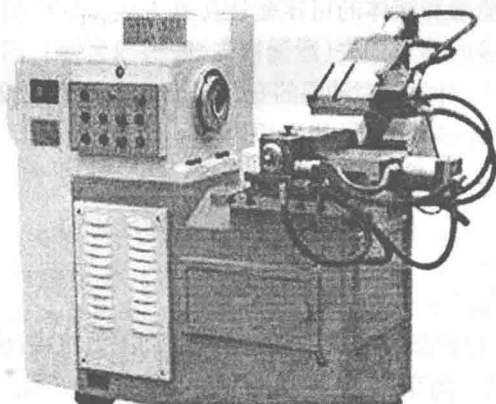
(a) 注塑机



(b) 锻压机



(c) 废钢压块机



(d) 液压全自动车床

图 1.4 液压传动在一般工业机械中的应用

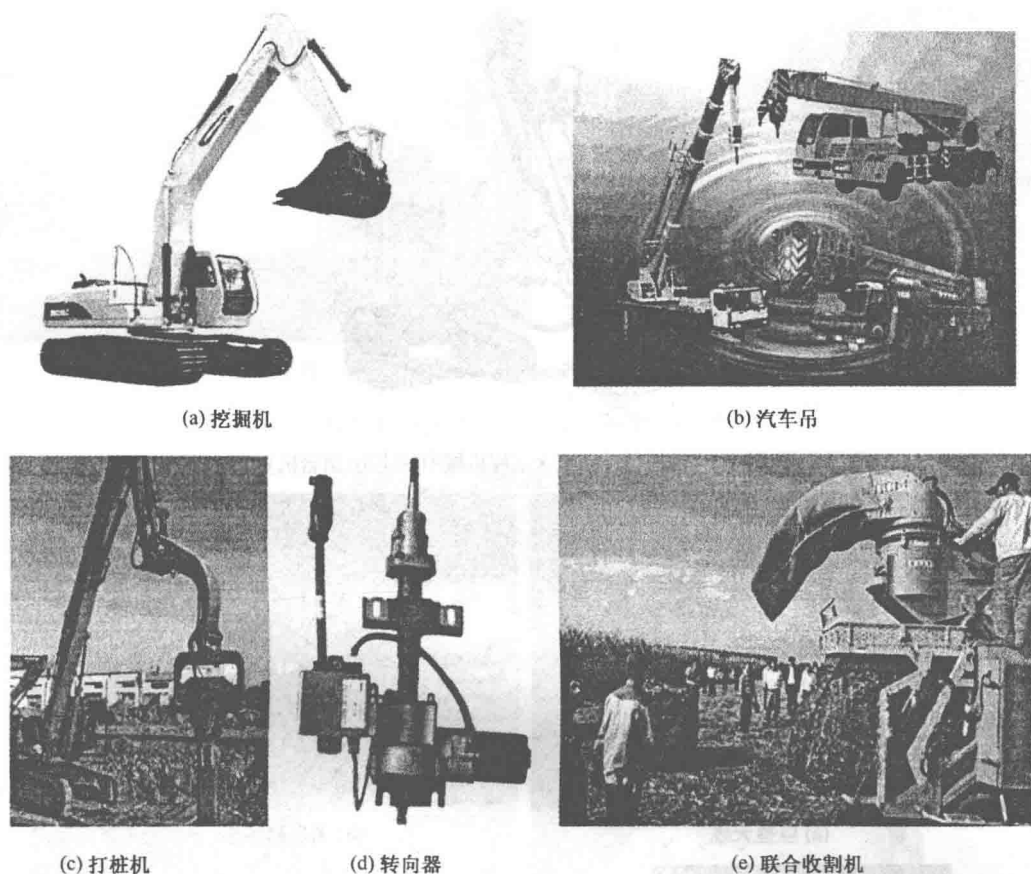


图 1.5 液压传动在行走机械中的应用

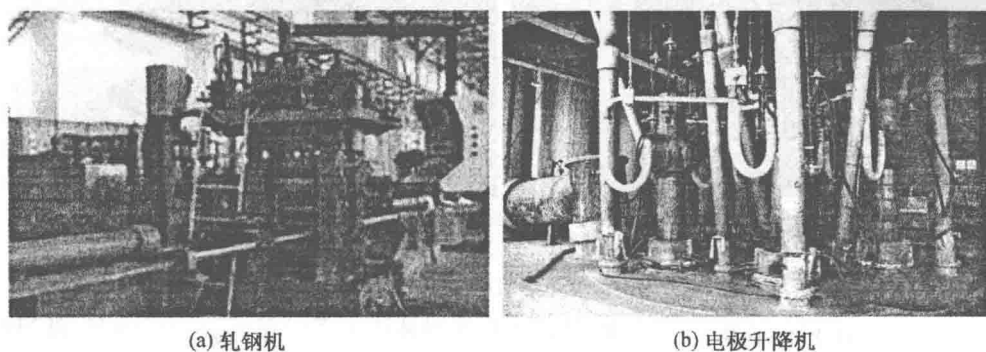


图 1.6 液压传动在钢铁工业机械中的应用

(4) 土木工程机械:包括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,如图 1.7 所示。

(5) 发电设备:包括涡轮机(调速装置)等。

(6) 特殊装备:包括巨型天线控制装置、测量浮标、飞机起落架的收放装置及方向舵控制装置、升降台等,如图 1.8 所示。