

水液压传动技术 基础及工程应用

刘银水 ◎ 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



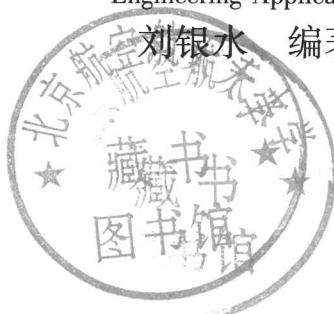
013033039

TH137
292

水液压传动技术基础 及工程应用

The Fundamentals of Water Hydraulics and Its
Engineering Applications

刘银水 编著



机械工业出版社



北航

C1640951

TH137
292

水液压传动技术由于其具有工作介质水的不燃、环保及获得容易等突出优点,已引起工程技术界的广泛关注。本书结合作者多年的研究经历,以基础理论——元器件——系统——工程应用的完整技术体系模式,选择以下内容进行介绍:水液压传动基础理论和技术,包括水介质特性、流体力学基础、水液压元件中的摩擦副材料及摩擦学、水液压元件制造工艺等;水液压元件和系统,包括水液压力元件、水液压控制元件、水液压执行元件、水液压辅件及水液压系统设计等;水液压传动技术的典型应用,包括高压细水雾灭火系统、海水液压水下作业工具、水液压驱动机器人等。

本书可供从事流体传动与控制技术研究及应用工作的相关工程技术人员阅读,也可作为高等院校相关学科方向高年级本科生或研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

水液压传动技术基础及工程应用/刘银水编著.

—北京:机械工业出版社,2013.2

ISBN 978-7-111-41372-1

I. ①水… II. ①刘… III. ①水压力-液压传动
IV. ①TH137

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第020834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:张秀恩 责任编辑:张秀恩 孙 阳

版式设计:陈 沛 责任校对:任秀丽

封面设计:赵颖喆 责任印制:张 楠

高教社(天津)印务有限公司印刷

2013年4月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·15.5印张·310千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41372-1

定价:39.00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

编辑热线(010)88379770

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010)88379203

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

前言

人类利用水作为工作机械的介质已经有几千年的历史。流体传动与控制技术一般以 1795 年英国人布拉默发明世界上第一台水液压机为起点。此后的 100 多年,大多数液压系统都是以水作为工作介质,如电梯、起重机等。然而,由于当时的材料科学、密封技术制造工艺等诸多方面因素的限制,水液压传动技术的发展受到很大的制约。直到 20 世纪初,由于石油工业的兴起以及丁腈橡胶等密封材料的发展,矿物油型液压介质以其良好的综合理化性能,很快取代水而成为液压系统最主要的工作介质。但是液压油存在易燃和污染两大严重缺点,致使油压传动不仅在诸如食品、饮料、医药、电子、包装等行业难以推广应用,而且也逐渐丧失在冶金、热轧、铸造等高温明火场合以及煤矿井下等易燃易爆环境中的应用。

直接以水(包括海水和淡水等)作为工作介质的水液压传动技术以其安全、绿色、环保等诸多优势而引起广泛关注,已成为国际上流体传动与控制学科十分重要的研究和发展方向。随着该技术的不断完善和发展,其应用范围不断扩大,从民用到军用、从陆地到海洋、从地面到地下、从工业到日常生活的许多部门,都具有广阔的应用前景。

现代水液压技术的重新崛起所具备的学科基础是 18 世纪末和 19 世纪初所无法比拟的。新型工程材料、先进制造技术、密封与润滑技术、摩擦学、流体力学、表面工程等,均为水液压传动技术的发展提供了必要的学科基础。从 1795 年世界上第一台水液压机算起,水液压传动技术的发展已有 200 多年的历史。但现代水液压技术的发展则要晚得多,其快速发展是从 20 世纪 90 年代开始的,标志是陆续有一些公司先后开发出系列水液压元件供应市场。

同国际上相比,我国开展水液压传动技术的时间并不晚。从 20 世纪 90 年代初开始,相继有高等院校、企事业单位开展水液压技术的相关研究。中国机械工程学会流体传动与控制分会也于 2010 年成立了水液压技术专业委员会,为国内从事水液压技术研究的高校、科研院所和企业搭建了一个良好的交流平台。并于 2011 年 12 月 17 日在湖北武汉华中科技大学成功召开了第一届全国水液压技术研讨会,来自高校、企业、研究所的代表就我国水液压技术已取得的成果及未来的发展趋势和方向进行了深入广泛的交流。但总体来讲,我国的水液压技术研究同国际先进水平相比较还有不小的差距。

为了让对水液压技术感兴趣或欲从事该方向研究的科研人员、工程师等对该技术有一个系统和基本的了解,作者编写了此书。内容包括水液压传动基础理论和技

术,如水介质特性、流体力学基础、水液压元件中的摩擦副材料及摩擦学、水液压元件制造工艺等;水液压元件和系统,包括水液压动力元件、水液压控制元件、水液压执行元件、水液压辅件及水液压系统设计等;水液压传动技术的典型应用,包括高压细水雾灭火系统、水下作业工具、水液压驱动机器人等。在编写过程中,突出下列特色:

1) 试图将水液压传动技术作为一个完整的技术体系来论述,内容涵盖基础理论——元器件——系统——典型应用,以期能够使读者获得一个关于水液压传动技术系统、完整的认识。

2) 共性和差异并重。在讲述水液压传动技术作为液压传动技术一个分支所具有的共性特征的同时,突出其作为一门新技术与传统油液压传动技术的不同以及在技术上所面临的挑战。

3) 基础理论与现场典型应用相结合。既面向水液压传动技术研究人员,也面向水液压技术应用的工程技术人员。结合作者及其工作单位多年来的研究成果以及国内外最新进展,讲述水液压传动技术的典型应用。

本书的完成是与众多人的帮助和关心分不开的。

李壮云教授是我国水液压技术的开拓者和奠基人。作者自1998年到华中科技大学攻读博士学位起即师从李教授从事水液压传动技术研究。谨以此书向尊敬的李壮云教授致以崇高的敬意。

华中科技大学液压气动技术研究中心是我国最早开展水液压技术研究的单位,本书的部分内容出自于曾经或正在该中心工作或学习过的教师及学生的成果,在此对他们表示感谢。

在本书的编写过程中,作者的博士研究生吴德发、蒋卓、赵旭峰、李东林以及硕士研究生唐辉、杨珍、江涛、方无迪等均参与了资料的收集和整理、内容的复核与文字的校对等工作,在此对他们的辛勤工作表示感谢。

本书的部分成果是在国家自然科学基金项目(NO. 50975101)资助下取得的,在此一并致以诚挚的谢意。

由于作者的水平有限,书中难免存在缺点和错误,权当抛砖引玉,请读者批评指正。

作者
于华中科技大学

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 水液压传动技术概论	1
1.2 水液压传动技术的内涵与分类	3
1.2.1 水液压传动技术的内涵	3
1.2.2 水液压传动技术的分类	4
1.3 水液压传动系统的基本组成及优缺点	5
1.3.1 水液压传动系统的基本组成	5
1.3.2 水液压传动系统的优缺点	6
1.4 水液压传动技术的发展和應用	8
1.4.1 水液压传动技术的发展概况	8
1.4.2 水液压传动技术的应用	10
参考文献	11
第2章 水液压传动技术基础	15
2.1 水介质特性	15
2.1.1 水介质的物理特性	15
2.1.2 水介质的化学特性	24
2.2 流体力学基础	28
2.2.1 流体力学基本概念	28
2.2.2 节流口流量气穴特性	31
2.3 摩擦学基础	44
2.3.1 流体润滑状态	44
2.3.2 流体润滑理论基础	45
2.3.3 水润滑条件下摩擦副的主要特征	48
2.4 先进工程材料	50
2.4.1 耐蚀合金	50
2.4.2 工程陶瓷	52
2.4.3 聚合物	53
2.5 制造工艺	56
2.5.1 不锈钢的加工	56
2.5.2 塑料件的加工	57
2.5.3 表面工程及热处理	59
参考文献	61

第3章 水液压控制阀	64
3.1 概述	64
3.1.1 气穴与气蚀	64
3.1.2 拉丝侵蚀和冲蚀	66
3.1.3 抗污染能力	67
3.1.4 泄漏与效率	68
3.1.5 压力冲击、振动与噪声	68
3.1.6 阀芯、阀座与阀套的微动磨损	68
3.2 多级节流的气穴流动特性	69
3.2.1 二级节流气穴特性理论分析	69
3.2.2 二级节流流动特性的实验研究	73
3.2.3 三级节流流动特性的实验研究	77
3.3 水液压压力控制阀	78
3.3.1 直动式压力控制阀	78
3.3.2 先导式压力控制阀	84
3.3.3 先导式减压阀	85
3.4 水液压流量控制阀	86
3.4.1 水液压节流阀	87
3.4.2 水液压调速阀	87
3.5 水液压方向控制阀	92
3.5.1 提升阀式水液压方向控制阀	92
3.5.2 滑阀式水液压方向控制阀	95
3.6 水液压比例/伺服控制阀	96
3.6.1 水液压比例控制阀	96
3.6.2 水液压伺服阀	98
参考文献	99
第4章 水液压动力元件	101
4.1 水液压泵概述	101
4.1.1 水液压泵的分类	101
4.1.2 水液压泵的吸入特性	103
4.2 水液压泵的结构形式	104
4.2.1 曲柄连杆三柱塞水泵	104
4.2.2 油水分离多柱塞水泵	106
4.2.3 全水润滑水液压泵	109
4.2.4 水液压叶片泵	116
4.2.5 增压器	117
4.3 水液压泵的摩擦副	120
4.3.1 缸孔/柱塞副	121

4.3.2 滑靴/斜盘副	125
4.3.3 缸体/配流盘副	130
4.3.4 摩擦副选材与减摩设计	135
4.4 水液压泵的配流阀	142
参考文献	144
第5章 水液压执行元件	147
5.1 水液压缸	147
5.1.1 概述	147
5.1.2 水液压缸的摩擦学特性	148
5.1.3 水液压缸的选材及工艺	151
5.2 水液压马达	152
5.2.1 概述	152
5.2.2 水液压柱塞马达	153
5.2.3 水液压叶片马达	155
参考文献	158
第6章 水液压辅件	159
6.1 密封件	159
6.1.1 密封件的分类和材料	159
6.1.2 往复运动密封	160
6.1.3 旋转运动密封	162
6.2 水液压系统管路及管接头	164
6.2.1 管路	164
6.2.2 管接头	166
6.3 过滤器	168
6.3.1 过滤器的过滤精度	168
6.3.2 水过滤滤芯类型	169
6.3.3 过滤器的分类及结构	170
6.4 蓄能器	173
6.4.1 蓄能器的功能	173
6.4.2 蓄能器的分类	173
6.5 冷却器	175
6.6 水箱	176
6.6.1 水箱的功用及类型	176
6.6.2 水箱附件	177
参考文献	178
第7章 水液压系统设计与维护	179
7.1 水液压系统设计	179
7.1.1 水液压系统分类	179

7.1.2 系统元件参数确定及选型	179
7.1.3 动力源的设计	184
7.2 水液压系统安装、运行与维护	187
7.2.1 水液压系统的安装	187
7.2.2 水液压系统的运行	189
7.2.3 水液压系统的监测与维护	189
7.2.4 水液压系统微生物的产生与防治	191
7.2.5 水液压系统的维护	192
参考文献	193
第8章 细水雾灭火系统	194
8.1 细水雾灭火介绍	194
8.1.1 细水雾灭火机理	195
8.1.2 细水雾灭火的优点	197
8.1.3 细水雾灭火系统的分类	198
8.2 系统组成及原理	200
8.3 系统设计与应用	204
8.3.1 系统的设计	204
8.3.2 细水雾的应用	206
参考文献	209
第9章 海水液压作业工具系统	211
9.1 概述	211
9.1.1 工具分类	211
9.1.2 海水液压作业工具系统的优势及挑战	212
9.2 系统组成及工作原理	217
9.3 几种典型海水液压工具	221
参考文献	226
第10章 水液压驱动机器人	228
10.1 概述	228
10.2 水介质特性对系统控制性能的影响	229
10.3 几种水液压驱动机器人	232
参考文献	239

第1章 绪 论

水液压传动技术由于其安全、绿色环保等诸多优势而引起了人们的广泛关注,已成为国际上流体传动与控制学科的一个十分重要的研究和发展方向。伴随着新型材料、先进制造工艺等相关学科的不断发展,水液压传动技术面临的诸多技术挑战正在逐步被解决。水液压元件的品种和规格也正在不断完善,其应用范围不断扩大,从民用到军用、从陆地到海洋、从地面到地下、从工业到日常生活的许多领域,水液压技术都具有广阔的应用前景。

1.1 水液压传动技术概论

人类利用水作为工作机械的介质已经有几千年的历史。1795年,英国人布拉默(J. Bramah)发明了世界上第一台水液压机以后的100多年,大多数液压系统都是以水作为工作介质,如电梯、起重机等。然而,由于当时的材料科学、制造工艺等诸多方面的限制,水液压传动技术并没有完全体现出液压技术输出力大、功率质量比大等优点。直到20世纪初,由于石油工业的兴起以及丁腈橡胶等密封材料的发展,矿物油型液压介质才以其良好的综合理化性能,很快取代水成为液压系统最主要的工作介质。但是液压油存在易燃和污染环境两大严重缺点,使得油压传动不仅在诸如食品、饮料、医药、电子、包装等行业难以推广应用,也逐渐丧失了其在冶金、热轧、铸造等高温明火场合以及煤矿井下等易燃易爆环境中的应用。

为了消除易燃这一严重缺点,一系列难燃液,如高水基液压液(HFA)、油包水乳化液(HFB)、水-乙二醇(HFC)及合成型难燃液(HFD)等相继被开发出来,以便取代液压油而用于高温明火环境或煤矿井下。然而,使用这些难燃液时,仍然存在污染严重、价格昂贵以及要求更苛刻的储存、维护和监测等缺点,使其难以被广泛应用。

近年来,基于人们对生态环境保护、安全生产以及节约能源的日益重视,西方国家制定了一系列相应的法律、法规,以利于其国民经济的持续发展。因此,在各个领域得到广泛应用的液压技术也必须向安全、卫生及与环境友善的方向发展。

如果从保证安全生产、不燃与环境友善以及清洁卫生、与产品相容等多方面的要求来看,只有水才是最理想的液压系统工作介质。正因为如此,水液压技术已成为国际液压界和工程界普遍关注的热点,这也是20多年来,水液压技术能够持续发展的根本动力^[1~4]。水液压传动与油压传动发展趋势的比较如图1-1所示^[5]。

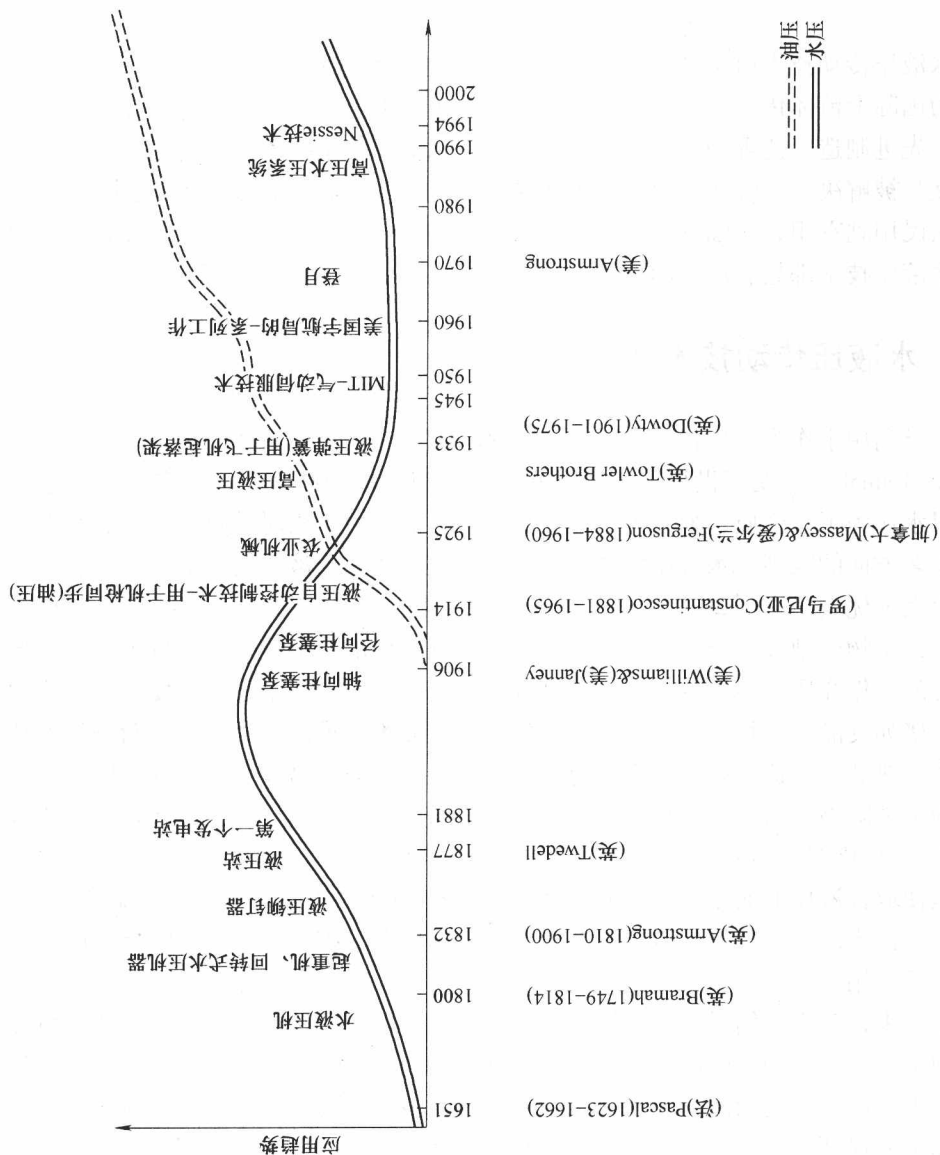


图 1-1 水液压传动与油压传动发展趋势比较

从1795年世界上第一台水压机算起,水液压传动技术的发展已有200多年的历史;从20世纪60年代美国军方开展水下作业工具的研究算起,水液压传动技术的出现已有半个世纪。但水液压技术的快速发展却是从20世纪90年代开始的,如丹麦Danfoss等公司先后开发出了Nessie系列水液压元器件供应市场。在我国,从20世纪90年代初期开始,陆续有高校和科研院所开展水液压传动技术研究。

现代水液压技术的重新崛起所具备的学科基础是18世纪末和19世纪初所无法比拟的。材料学的发展为水液压元件的选材提供了保障;现代设计理论的发展为水液压元件的设计提供了保障;先进制造技术的发展为水液压元件的制造提供了保障。还有其他相关学科的发展,如润滑与摩擦学、流体力学、表面工程等,均为水液压传动的发展提供了必要的学科基础。现代水液压传动技术是以相关学科为基础发展起来的,具有显著的高新技术特征。

随着人类社会的进步和科学技术的发展,低碳经济正日益兴起,环境、资源和人口问题越来越为人们所关注。资源节约型和环境友好型的绿色制造已成为现代机械工程发展的首要目标。从全生命周期的角度综合考虑,水液压传动的能源、资源、物力及财力消耗要远远低于油压传动和其他介质的液压传动,绿色产品特征明显,是理想的“绿色”技术和安全技术。并在食品、饮料、医药、电子、包装等对环境污染要求严格的场合,在冶金、热轧、铸造等高温明火环境,在海水淡化、海上救援、海洋资源调查、船舶工程、海洋建筑以及内陆水库大坝、港口码头和河道工程的检测与维护等领域均具有广阔的应用前景。

1.2 水液压传动技术的内涵与分类

1.2.1 水液压传动技术的内涵

在国外,水液压传动技术除了包括以不加任何添加剂的海水、淡水作为工作介质的液压传动,还包括以95%的水加5%的添加剂构成的高水基液为工作介质的液压传动,见表1-1。由于高水基液具有良好的抗燃性,目前在冶金、煤矿等行业还有广泛的应用,但其环境相容性还不够,而且高水基液压力的储存、维护与监测及废液的处理也比水困难。因此,尽管高水基介质适应了某些特殊场合的工作需要,但从环境保护方面上看,它并不是彻底的绿色介质。从与产品的相容性和环保性方面来看,以水作为工作介质才是最佳选择。

根据水源的不同,水可以分成以下几种类型:①天然水,包括地下水(Ground water)、地表水(Surface water)、海水;②处理过的水,包括软化、除盐(海水通过反渗透后的淡水(RO-water)和除气水;③特殊的化学品和盐的水溶液,如冷却盐水、来自化学工艺过程或其他工业部门的废水。水质的划分主要取决于纯度及其

化学和微生物组成。天然水中, 根据所含盐度不同, 人们习惯性地将水分成两种: 淡水和海水。这两者类似于溶剂和溶液的关系, 海水相当于在淡水溶剂中溶入了氯化钠等溶质。两者的物理特性相似, 但由于海水中存在大量的氯离子, 因此, 其腐蚀性比淡水严重。

表 1-1 高水基液压液

类型	名称	组成	粘度/(mm ² /s) (20℃)	工作温度 /℃
HFAE	高水基乳化液, 水包油乳化液	95% 水 + 5% 矿物油及其他添加剂	1	+5 ~ +50
HFAM	高水基微乳化液, 水包油微乳化液	95% 水 + 5% 矿物油及其他添加剂	1	+5 ~ +50
HFAS	高水基合成液	95% 水 + 5% 水溶或半水溶性添加剂, 不含油	1	+5 ~ +50

现代水液压传动技术一般指以没有加任何添加剂的水作为工作介质的液压传动, 包括天然水(海水和淡水)和根据需要处理过的水。水液压传动所用水介质的分类见表 1-2^[6]。

表 1-2 水介质的分类

类 型	来 源	污染物含量
未处理的 天然水	天然淡水	湖泊、江河和山泉
	海水(咸水)	海洋(内陆咸湖)
处理过的 天然水	去矿物质水	去 Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 的软水
	自来水	水处理厂
	去离子水	去除所有正负离子的水
	蒸馏水	去除了所有生物体和非生物颗粒的水

1.2.2 水液压传动技术的分类

水液压技术根据压力高低可分为以下几类^[7,8]:

(1) 管道压力领域(0.25MPa 以下) 此压力为自来水管道的压力, 也可由一般的离心式水泵产生。以此作为压力源, 可以研制出许多日常生活中应用的机械, 如能升降的洗脸台、帮助残疾人或老年人进入洗澡间的辅助装置等。

(2) 低压领域(0.25 ~ 7MPa) 此压力范围的应用面比较广泛, 如食品机械、

消防、医疗、健身机械等。由于以水作为介质时除了具有气压传动无污染的优点外,受负载影响小,因此一些应用气压传动的场合可以用水液压传动来代替。

(3) 中压领域 (7 ~ 14MPa) 此压力级别可应用于原子炉周边作业机械、生活用品成形机械、海水淡化、水下作业工具等。

(4) 中高压领域 (14 ~ 21MPa) 此压力级别可应用于建筑机械、土木机械等。

(5) 高压领域 (21 ~ 31.5MPa 及以上) 此压力级别可应用于煤矿、冶金机械等。

(6) 超高压领域 超高压的定义在各个国家不同,一般压力要高于 40MPa,如芬兰 Tampere 大学研制的水射流设备切割纸品,其压力为 80MPa;福祿公司 (Flow Inter. Corp.) 是目前国际上比较有名的水射流切割设备制造公司,其生产的水射流切割机最高压力为 400MPa 左右。为了增强水射流的切割能力,还可以在射流中加入磨粒。近年来还出现了压力为 800MPa 甚至 1000MPa 的水射流切割机。

另外,水液压传动技术按照工作介质可分为海水液压传动和淡水液压传动;按系统形式分类可分为开式水液压系统和闭式水液压系统。闭式系统与油压系统的组成类似,具有单独的水箱;开式系统没有独立的水箱,系统直接从周围环境(海洋、湖泊等)或供水管道吸水。

1.3 水液压传动系统的基本组成及优缺点

1.3.1 水液压传动系统的基本组成

液压系统一般由五个主要部分组成:

(1) 动力源 (液压泵站) 将原动机 (电动机、内燃机或另一个液压系统的输出元件如马达等) 输出的机械能转变为工作液体的压力能,一般为液压泵。

(2) 执行元件 包括液压缸和液压马达,将工作液体的压力能重新转变为往复直线运动或回转运动的机械能,拖动负载运动。

(3) 控制元件 包括对液压系统中液体压力、流量 (速度) 和方向进行控制和调节的压力阀、流量阀和方向阀。

(4) 辅助元件 为保证液压系统正常工作所需的上述三类元件以外的装置,它们在系统中起到输送、储存、加热、冷却、过滤和测量等作用。包括管路、管接头、油箱、过滤器、蓄能器以及各种指示和控制仪表等。

(5) 工作介质 利用它进行能量和信号传递。

对于油压系统,这五个部分组成一个封闭的系统,液压泵从油箱吸油,泵输出的压力介质做功以后经过回油管路和过滤器等回到油箱。

对于水液压系统,按功能来说也由这五个部分组成,但用在不同的场合,其组成会有一些变化。大致可以分为以下三种形式:

1) 组成完全和油压系统一样,为封闭系统,用水箱代替油箱,系统中流动的介质为水。

2) 用于室内或室外,泵的吸入口通过过滤器直接与自来水管、消防栓相连,回水直接回到水池,此时系统没有专用的水箱。

3) 在江河湖海等场合使用时,泵的吸入口通过过滤器直接从环境中吸水,回水直接回到周围环境中。

对于后两种情况,系统为开式形式,均可省去水箱、回水过滤器甚至回水管等,简化了系统。但此时介质的污染控制难度较大,同时,介质的温度不受控制,随着环境温度而变化。

1.3.2 水液压传动系统的优缺点

同油压传动及高水基传动相比,水液压传动具有许多突出优点^[8-10]:

1) 用水代替矿物油,避免了使用油时所带来的污染、易燃、浪费能源、维护困难、与环境及产品不相容、废液处理困难等一系列严重问题。

2) 水不会污染环境,能保证工作场所清洁。所以水液压传动被认为是理想的“绿色”传动和生产技术。在家电、汽车等行业的装配线以及食品、医药、饮料、造纸、水处理厂、包装、原子能动力厂等众多场合可以代替其他的传动或生产方式,实现传动及生产过程的“绿色”化。

3) 水不燃、无着火危险。水液压传动是安全的传动技术,在冶金、热轧、连铸、化工等高温、明火环境或煤矿井下的各类工作机械上,可以代替现在广泛应用的价格昂贵、污染严重、维护困难的采用难燃液作为工作介质的液压传动系统。

4) 劳动保护。天然水不燃、没有火灾危险,可用于高温、明火和易燃易爆场合,不产生有毒的介质蒸汽危害工人的身体健康,有利于消除安全隐患,实现劳动保护。

5) 水的价格低廉且来源广泛,无需运输与仓储。水液压系统用于海洋或江湖附近,往往可以不用水箱及回水管,不用冷却及加热装置,使系统大为简化,重量减轻,效率更高,工作性能稳定,特别适用于水下作业机械、水下作业工具、船舶、深潜器及舰艇上。

6) 从全生命周期的角度综合考虑,水液压传动的能源、资源、物力及财力消耗要低于油压传动和其他介质液压传动,绿色产品特征明显,是理想的“绿色”技术和安全技术。

如图 1-2 所示,将不同液压介质从环境影响和火灾危险性两个方面进行了比

较^[5]，从中可以看出水介质在绿色环保和安全性方面具有独特优势。然而，与矿物油相比，水的理化性能差别很大^[11~14]：①水，特别是海水有较强的锈蚀性能；②水的粘度很低，仅为液压油的1/50~1/30，在对偶摩擦副中很难形成流体润滑，往往产生干摩擦；③水的汽化压力（50℃时为0.012MPa）比液压油（50℃时为 1.0×10^{-9} MPa）高 10^7 倍，很容易产生气蚀；④水的密度比油大10%，导热系数是油的4~5倍，比热容是油的2倍，弹性模量比油大50%，水中声速比油中大10%。由于水的理化性能不同于矿物油，故现有的油压元件不能直接以水作为工作介质。水液压技术研究面临的挑战及对策如图1-3所示。同油压元件和系统相比，水液压传动目前的状况还存在以下特点：

大 环境 影响	高水基介质: HFAE、 HFAM、HFAS 水—乙二醇: HFC	油包水乳化液: HFB 无水合成液: HFD	矿物油: HH-、HL-、 HM-、HP-、HV-
		植物油: HETG 聚二醇: HEPG 合成酯: HEES	
	无	水	
	无		大
	火灾危险		

图1-2 水与其他不同液压介质环境影响和火灾危险性

1) 水液压元件的种类和规格没有油压元件齐全。水液压系统的元件品种目前还比较单一，可供选择的余地很小。以泵为例，目前商品化的水液压泵基本为柱塞泵，而且主要是定量泵。

2) 水液压元件的价格比油压元件昂贵。水液压元件由于受材料、工艺因素以及目前生产和应用规模影响，其一次性投资的成本为油压元件的1~3倍。但需要注意的是，水液压系统的后期使用维护成本比油压系统低，因此从整个寿命周期来看，两者的价格相差并不大。

3) 水液压技术的应用还没有油压技术普遍。就使用范围来讲，水液压技术的应用目前还远比不上油压传动。这与目前水液压传动技术的成熟程度有关，也与水液压传动技术自身的特点和不足有关。

4) 水液压系统的运行范围较油压系统窄。水在零度以下会结冰，温度高了会汽化，所以其使用的温度范围较油压系统要窄很多。如果不作特殊处理，一般推荐在3~50℃范围内使用。

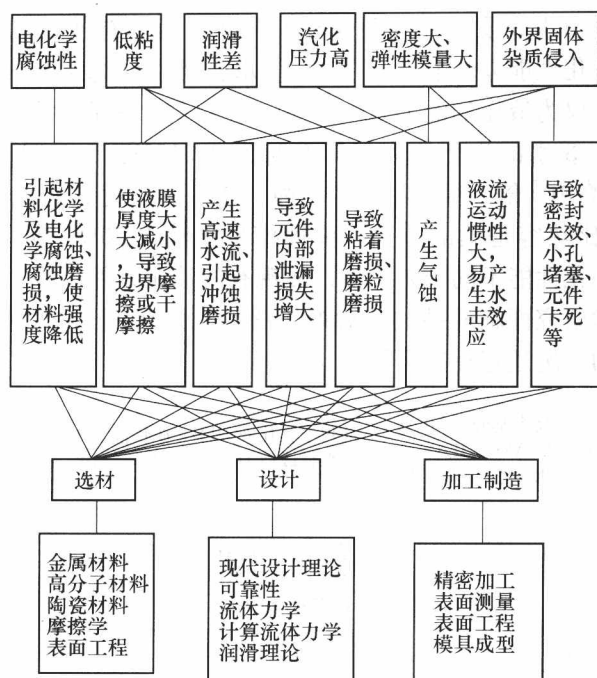


图 1-3 水液压技术面临的挑战及对策

尽管如此，水液压传动技术作为一门新兴技术仍具有巨大的研究价值和广阔的应用前景。正如所有的事物都有利有弊一样，如何扬长避短地利用水液压传动技术正是工程技术人员要做的事情。

1.4 水液压传动技术的发展和應用

1.4.1 水液压传动技术的发展概况

水液压传动最初是从海水液压传动的研究开始的。20 世纪六七十年代美国海军首先开始进行了此方面的研究。1973 年，美国海洋舰船研究和开发中心首先将研制成功的容积式海水泵用于 4000m 深载人潜水器“ALVIN”的浮力调节，显示了突出的优越性。此后为了海洋开发的需要，许多发达国家把海水液压传动列为新技术开发项目。20 世纪 90 年代，丹麦 Danfoss 公司开发出一系列淡水液压元件，并将其应用于消防、木材干燥的湿度控制、食品机械等领域。一般来说，由于海水含有氯离子等多种离子，其腐蚀性比淡水更强，以海水作介质的水液压元件可以用淡水作介质，但以淡水作介质的液压介质用海水作元件其可靠性和寿命都将大大降