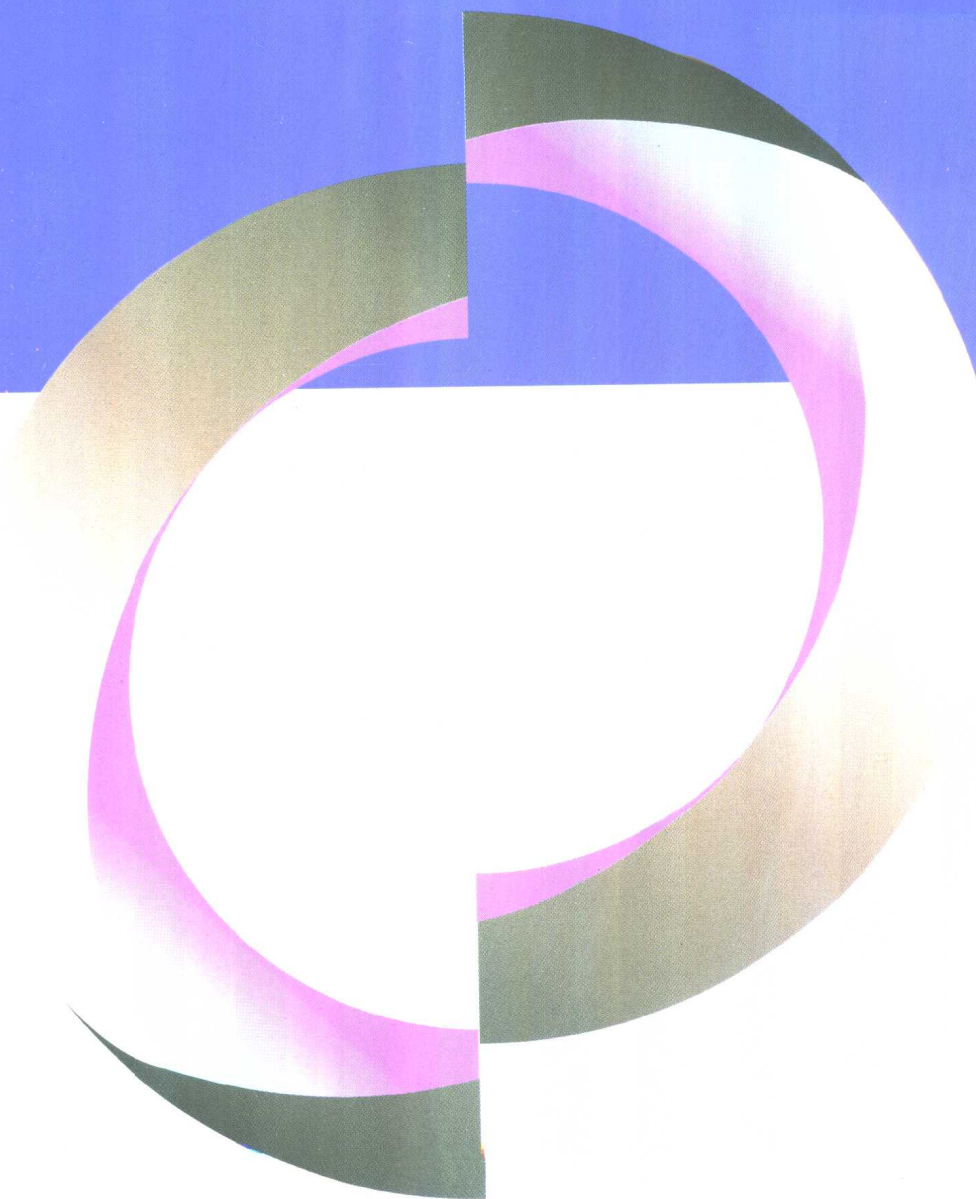


全国高等学校国家级规划教材

液压传动与控制解难和练习

贾铭新 主编
谭定忠 主审



国防工业出版社

全国高等学校国家级规划教材

液压传动与控制解难和练习

贾铭新 主编
谭定忠 主审

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与控制解难和练习 / 贾铭新主编. —北京:
国防工业出版社, 2003.1

ISBN 7-118-02811-8

I. 液... II. 贾... III. ①液压传动—高等学校—
教学参考资料 ② 液压控制—高等学校—教学参考资料
IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 008465 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂 印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19¼ 437 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

出版说明

根据国务院发(1978)23号文件批转试行的《关于高等学校教材编审出版若干问题的暂行规定》,我们开展了全国高等学校船舶类专业规划教材编审、出版的组织工作。

为了做好教材编审组织工作,中国船舶工业总公司相应地成立了“船舶与海洋工程”、“船舶动力”、“船电自动化”、“惯性导航及仪器”、“水声电子工程”、“流体传动与控制”、“水中兵器”七个教材委员会,聘请了有关院校的教授、专家 50 余人参加编审指导工作。船舶类专业教材委员会是有关船舶类专业教材建设研究、指导、规划和评审方面的专家组织,主要任务是协助政府机关做好高等学校船舶类专业教材的编审工作,对提高教材质量起审查把关作用。

经过前四轮教材建设,共出版教材 300 余种,建立了较完善的规章制度,扩大了出版渠道,在教材的编审依据、计划体制、出版体制等方面实行了卓有成效的改革,这些改革措施为“九五”期间船舶类专业教材建设奠定了良好基础。根据原国家教委对“九五”期间高校教材建设的要求:“抓好重点教材,全面提高质量,继续增加品种,整体优化配套,深化管理体制和运行机制的改革,加强组织领导”,船舶总公司于 1996 年组织制定了“全国高等学校船舶类专业教材(九五)选题规划”。列入规划的选题共 129 种,其中部委级重点选题 49 种,一般选题 80 种。

“九五”教材规划是在我国发展社会主义市场经济条件下第一个教材规划,为适应社会主义市场经济外部环境,“九五”船舶类专业教材建设实行指导性计划体制。即在指导性教材计划指导下,教材编审出版由主编学校负责组织实施,教材委员会进行质量审查,船舶工业教材编审室组织协调。

“九五”期间要突出抓好重点教材,全面提高教材质量,为此教材建设引入竞争机制,通过教材委员会评审、择优确定主编,实行主编负责制。教材质量审查实行主审、复审制,聘请主编校以外的专家审稿,最后教材委员会复审,复审合格后由有关教材委员会发给编者出版推荐证书,作为出版依据。全国高校船舶类专业规划教材,就是通过严密的编审程序和高标准、严要求的审稿工作来保证教材质量。

为完成“九五”教材规划,主编学校应充分发挥主导作用。规划教材的立项是由学校申报,立项后由主编校组织实施,教材出版后由学校组织选用,学校是教材编写与教材选用的行为主体,教材计划的执行主要取决于主编校工作情况。希望有关高校切实负起责任,各方面积极配合,为完成“九五”船舶类专业教材规划、为编写出版更多的精品教材而努力。

由于水平和经验局限,教材的编审出版工作和教材本身还会有很多缺点和不足,希望各有关高校、同行专家和广大读者提出宝贵意见,以便改进提高。

前 言

本书是全国高等学校国家“九五”规划教材,由原中国船舶工业总公司流体传动与控制教材委员会推荐为机械类非液压专业本科生《液压传动与控制》课程教学参考用书,供与贾铭新主编的国防工业出版社出版的部委级重点教材《液压传动与控制》配套使用。

本书突破了以往纯习题集的形式,以分析、归纳、综合与总结的形式撰写而成。全书共 11 章。第一~第七章每章都由三部分组成:即一、本章的主要内容、基本概念;二、本章的重点、难点(难点的剖析、综合)、解题要领及技巧;三、针对重点、难点及基本概念的习题。对于第八~第十一章也都提出了具体要求,并配有数量足够的习题。除此之外,还做到了以下几点:

(1) 在内容选择的基准上,以本科生为准,适当选入部分研究生入学考试试题(带“*”者),旨在帮助有志报考研究生的读者掌握问题的深度和广度。并做到加强基本概念、基本理论;加强理论联系实际;加强思想方法和思路的训练与培养。

(2) 该书对主教材《液压传动与控制》一书各章中“小结”所列举的问题都一一做了解答,并在指出各章的重点、难点、解题要领和技巧的同时,以多种例子从多方面对上述问题做了较透澈的阐述、剖析和说明,以便加深对这些问题的理解、消化、吃透和掌握。

(3) 书中列举了习题(含主教材各章中的概念题、计算习题)218 道。考虑到液压基本回路在液压元件和液压系统间的承上启下的桥梁作用,关于基本回路的习题占 38%,计 83 道,为查阅方便,本部分习题按“定量泵和(或)流量阀回路”,“变量泵和(或)变量液压马达回路”,“单缸动作循环回路”,“多缸顺序、同步动作回路”,“其他回路”五部分编写而成。书中在每题末都给出了相应题目的答案。考虑到液压课程的概念性、实践性都很强的特点,又根据编者的经验,有时习题的结果虽然做对了(和答案一致),可解题思路并不一定对,概念不一定清楚,方法不一定合理。因此,为提高参考答案的实际效果,避免产生误导,澄清思路,明确概念,指出解题的关键,交代解题的方法和技巧,书末对每道题都给了解题全过程(有的习题还给出了多种解法),以助读者对问题的深入理解和掌握。

(4) 在教材的撰写中,注意从基础概念讲起,注重教材的启发性、通俗性。因此,该教材不仅适用于本科生,也可以作为广播电视大学、职工大学、业余大学、函授学院以及中等专业学校、中等技术学校等有关专业师生的教学参考用书和工程技术人员的参考用书。

本书第二章(含本章的题解)由哈尔滨工程大学贾震巍编写;第四章、第六章(含两章的题解)由贾震宇编写;其余各章(含题解章)由贾铭新编写,并任主编。博士后谭定忠任本书主审,对全书进行了全面、仔细、认真的审阅,提出了许多宝贵意见和建议;刘淑梅同

志绘制了本书的全部插图,为本书的图文并茂做了大量工作;此外,本书还得到了其他有关同志的大力支持。在此一并表示忠心感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有不少缺点、错误,敬请读者批评、指正。

贾铭新

2002年7月

目 录

第一章 绪论	1
一、主要概念	1
1. 液压传动的定义,液压传动的两个工作特性	1
2. 液压系统的四大组成部分及其作用	1
3. 液压传动的主要优缺点	1
4. 液压系统的图形符号	2
二、重点、难点和解题要领	2
1. 重点及解题要领	2
2. 难点及解题要领	3
第二章 液压油和液压流体力学基础	4
一、主要概念	4
1. 液体的粘性及粘度,粘度的表示方法及其单位,粘度的主要选用原则, 我国液压油的牌号数与运动粘度(厘斯,cSt)间的关系	4
2. 压力及其单位,压力表示方法的种类及其相互间的关系	4
3. 帕斯卡定律的内容、实质及其在液压系统、液压元件工作原理中的应用	5
4. 液体的流态及其判据,临界雷诺数 Re_{cr} 值	5
5. 流动液体的三大定律及其计算公式的表达式	5
6. 伯努利方程式的物理意义	6
7. 小孔流量公式及其在液压元件中的应用	6
8. 油液的空气分离压和饱和蒸气压,二者在数值上的差别	7
二、重点、难点及解题要领	7
1. 重点	7
2. 难点	8
3. 解题要领	8
三、习题(附答案)	9
第三章 液压泵和液压马达	18
一、主要概念	18
1. 容积式泵(液压马达)的工作原理	18
2. 泵和液压马达的工作压力,排量,理论流量,实际流量,容积效率,输入转矩(泵)、 输出转矩(液压马达)、机械效率、输入、输出功率,总效率,	

各量的单位(量纲),及相关量的关系	18
3. 齿轮泵(外啮合泵)泄漏的三个途径	19
4. 常用泵——齿轮泵、叶片泵、柱塞泵及相应的液压马达的主要优缺点及应用场合	19
5. * 外反馈限压式变量叶片泵的特性曲线(曲线形状、形状分析、影响曲线形状的因素)	21
6. 泵和液压马达的职能符号	22
二、重点、难点和解题技巧	22
1. 重点	22
2. 难点	23
3. 解题技巧	24
三、习题(附答案)	24
第四章 液压缸	27
一、主要概念	27
1. 液压缸的类型	27
2. 液压缸的差动连接及其特点、应用	27
3. 液压缸的五大组成部分,缸筒组件、活塞组件的结构及相应材料	27
4. 液压缸的泄漏途径	31
5. 橡胶密封圈的类型(O、Y、V)及应用场合、特点	31
6. 液压缸的缓冲、排气	33
7. 液压缸设计中应注意考虑的主要问题	34
二、重点、难点和解题要领	35
1. 重点	35
2. 难点	35
3. 解题要领	36
三、习题(附答案)	36
第五章 液压阀	41
一、主要概念	41
1. 常用液压阀—方向阀、压力阀、流量阀的结构、工作原理及应用	41
2. 换向阀的控制方式,换向阀的通和位	58
3. 选用换向阀时应考虑哪些问题及应如何考虑	58
4. 直动式溢流阀与先导式溢流阀的流量—压力特性曲线,曲线的比较分析	59
5. 先导式溢流阀的远程调压	60
6. 减压阀的性能特点及其应用	60
7. 溢流阀、减压阀、顺序阀作用的区别,顺序阀作溢流阀的应用	61
8. 液压系统的背压及背压阀,单向阀能否做背压阀用	61
9. 选用压力阀时应考虑哪些问题及应如何考虑	62
10. 节流阀最小稳定流量的物理意义,影响最小稳定流量的主要因素	62

11. 流量阀节流的形式,通常采用的节流类型	62
12. 调速阀与节流阀的性能比较,各自的应用场合	62
13. 选用流量阀应考虑哪些问题及应如何考虑	63
14. 常用各类阀的职能符号	63
二、重点、难点及解题要领、技巧	63
1. 重点	63
2. 难点	64
3. 解题要领、技巧	65
三、习题(附答案)	65

第六章 辅助装置 75

一、主要概念	75
1. 滤油器的作用,过滤精度等级,过滤精度与系统工作压力间的关系	75
2. 常用滤油器的典型结构及其特性(过滤精度等级、压力损失,应用场合等)	75
3. 滤油器的安装位置及其相应的作用	76
4. 蓄能器的类型、工作原理及主要功用	77
5. 使用蓄能器时应注意的事项	79
6. 皮囊式蓄能器所维持的系统最低压力 p_2 与蓄能器的充气压力 p_0 间的关系	80
7. 油管、管接头的种类、使用范围	81
二、重点、难点、解题要领	83
1. 重点	83
2. 难点	83
3. 解题要领	83
三、习题(附答案)	83

第七章 液压基本回路 86

一、主要概念	86
1. 何谓液压基本回路,基本回路的类型,调速回路与其他回路的匹配关系	86
2. 调速回路的基本要求、类型,开式回路、闭式回路及其特点、应用	86
3. 三种节流调速回路(采用普通节流阀和调速阀的两种回路)的油路结构、性能、各自的优缺点、应用场合	87
4. 容积调速回路的特点、类型,调速特性(恒转矩、恒功率特性),应用场合	91
5. 容积节流调速回路的类型、油路结构、调速实质、性能特点及适用场合	96
6. 调速回路的选择	98
7. 典型快速运动回路(液压缸差动连接及双泵供油的快速运动回路)、速度换接回路的类型及典型油路结构	98
8. 调压回路、减压回路各自的特点及典型油路结构	101
9. 绘出由定量泵和溢流阀组成的双级调压回路,说明能调出两级压力的条件	103
10. 保压回路、平衡回路、增压回路的作用,实现方法	103

11. 液压泵的卸荷、卸荷类型及适用场合	104
12. 顺序动作回路及其实现	105
13. 同步回路及其类型、实现方法, 液压缸串联、并联同步回路精度不高的原因及 解决办法	105
二、重点、难点、解题要领	106
1. 重点	106
2. 难点	106
3. 解题要领	107
三、习题(附答案)	107
1. 定量泵和(或)流量阀回路	107
2. 变量泵和(或)变量液压马达回路	121
3. 单缸动作循环回路	127
4. 多缸顺序、同步动作回路	131
5. 其他回路	137
第八章 典型液压系统	142
一、基本要求	142
二、习题(附答案)	142
第九章 液压系统的设计与计算	147
一、基本要求及注意事项	147
二、习题(附答案)	147
第十章 液压伺服系统	150
第十一章 可编程序控制器 PLC 在液压系统中的应用	151
一、PLC 编程基本规则及要领	151
1. 基本规则	151
2. 要领	152
二、习题(附答案)	154
附录	158
附录 I 解题全过程	158
第二章题解	158
第三章题解	175
第四章题解	179
第五章题解	187
第六章题解	205
第七章题解	211

1. 定量泵和(或)流量阀回路·····	211
2. 变量泵和(或)变量液压马达回路·····	235
3. 单缸动作循环回路·····	245
4. 多动顺序、同步动作回路·····	249
5. 其他回路·····	258
第八章题解·····	264
第九章题解·····	270
第十一章题解·····	274
附录Ⅱ 常用部分液压元件新旧符号对照表·····	291
参考文献·····	294

第一章 绪 论

一、主要概念

1. 液压传动的定义,液压传动的两个工作特性

【答】液压传动的定义:以液体为介质,依靠流动着液体的压力能来传递动力的传动称为液压传动。

液压传动的两个工作特性是:① 液压系统的压力(简称系统压力,下同)大小(在有效承压面积一定的前提下)决定于外界负载。② 执行元件的速度(在有效承压面积一定的前提下)决定于系统的流量。这两个特性有时也简称为:压力决定于负载;速度决定于流量。

2. 液压系统的四大组成部分及其作用

【答】四大组成部分为:

① 能源装置 它是将电机输入的回转式机械能转换为油液的压力能(压力和流量)输出的能量转换装置,一般最常见的形式是液压泵。

② 执行元件 它是将油液的压力能转换成直线式或回转式机械能输出的能量转换装置,一般情况下,它可以是做直线运动的液压缸,也可以是做回转运动的液压马达。

③ 调节控制元件 它是控制液压系统中油液的流量、压力和流动方向的装置,即控制液体流量的流量阀(如节流阀等)、控制液体压力的压力阀(如溢流阀等)及控制液体流动方向的方向阀(如换向阀等)。

④ 辅助元件 这是指除上述三项以外的其他装置,如油箱、滤油器、油管、管接头、热交换器、蓄能器等。这些元件对保证系统可靠、稳定、持久的工作有重大作用。

值得提出的是,有个别教材把工作介质油液也列入液压系统的组成部分之一。

3. 液压传动的主要优缺点

【答】和机械、电力等传动相比,液压传动有如下优点:

① 能方便地进行无级调速,且调速范围大。

② 功率质量比大。一方面在相同的输出功率前提下,液压传动设备的体积小、质量轻、惯性小、动作灵敏(这对于液压自动控制系统具有重要意义);另一方面,在体积或质量相近的情况下,液压传动的输出功率大,能传递较大的转矩或推力(如万吨水压机等)。

③ 调节、控制简单,方便,省力,易实现自动化控制和过载保护。

④ 可实现无间隙传动,运动平稳。

⑤ 因传动介质为油液,故液压元件有自我润滑作用,使用寿命长。

⑥ 可采用大推力的液压缸和大转矩的液压马达直接带动负载,从而省去了中间的减

速装置,使传动简化。

⑦ 液压元件实现了标准化、系列化,便于设计、制造和推广使用。

液压传动的缺点是:

① 漏。因传动介质油液是在一定的压力下,有时是在较高的压力下工作的,因此在有相对运动的表面间不可避免的要产生泄漏。同时,由于油液不是绝对不可以压缩的,油管等也会产生弹性变形,这就使得液压传动不宜用在传动比要求较严格的场合。

② 振。工作介质油液可使液压传动比机械传动平稳,但液压传动中的液压冲击和空穴现象又会产生很大的振动和噪声。

③ 热。在能量转换和传递过程中,由于存在机械摩擦、压力损失、泄漏损失,而容易使油液发热、总效率降低。故液压传动不宜用于远距离传动。

④ 液压传动的性能对温度较敏感,故不宜在高温及低温下工作。液压传动装置对油液的污染亦较敏感,故要求有良好的过滤设施。

⑤ 液压元件要求的加工精度高,在一般情况下又要求有独立的能源(如液压泵站),这些可能使产品成本提高。

⑥ 液压系统出现故障时不易查找原因,不易迅速排除故障。

在上述的优、缺点中,有代表性的,能突出液压传动特点的是前三条。

4. 液压系统的图形符号

【答】液压系统的图形符号有两种,一种是半结构图,如教材《液压传动与控制^①》中的图 1-1。在这种图中,对每个液压元件只表示出其内部结构原理,外部形状则一律不表示,故称为半结构图。这种图的优点是:直观性强,容易理解,当液压系统发生故障时查找方便;缺点是:图形较复杂,特别是当系统元件较多时绘制更不方便,占地面积也较大。另一种是职能符号图(教材 I 中图 1-2)。在这种图形中,每个液压元件都用国家规定的图形符号(GB/T786.1—93)来表示。这些符号只表示相应元件的职能(作用)、连接系统的通路,不表示元件的具体结构和参数,并规定各符号所表示的都是相应元件的静止位置或零位置(初始位置)。这种图的特点是图面简洁,油路走向清楚,对系统的分析、设计都很方便。因此现在世界各国采用的较多(具体表示方法大同小异)。如果某些自行设计的非标准液压件无法用职能符号表示时,仍可采用半结构图。

二、重点、难点和解题要领

1. 重点及解题要领

本章内容的重点是:① 液压传动的工作原理,即什么是液压传动。② 液压传动的两个工作特性。这两个概念,尤其是后者贯穿于液压传动课程的全过程,是本课程既重要又最基本的概念。

就传动而言,有机械传动、电传动、液压传动、气压传动等不同的传动方式。其中机械

① 以下简称教材 I

传动,例如齿轮传动,力和速度从一根轴通过啮合的齿轮传到另一根轴上,比较直观、易懂;而液压传动则是通过液体的压力能来传递动力的,工作介质油液在封闭的管道内流动,摸不着,看不见,直观性差,故较难理解。因此,通过平面磨床工作台往复直线运动的工作原理彻底了解、掌握液压传动的工作原理,即如何靠流动着的液体的压力能来传递动力的,这是本课程的基础。而液压系统的两个工作特性,即压力决定于负载、速度决定于流量,又是分析液压系统工作过程和设计液压系统的理论关键。因此,上述①、②两个概念是本章的重点内容。

2. 难点及解题要领

液压传动的两个工作特性,尤其是压力决定于负载这一特性是本章中的难点。所谓难点是指对初学者来说,很难理解透负载同压力的“主、从”关系。只有通过课程的不断深入才能真正消化这一概念。

事实上,要搞清压力与负载的关系,首先应弄清什么是负载。从广义上讲,一切阻碍液体(油液)流动的阻力都是负载:液体在油管里流动,有管路的摩擦阻力——摩擦负载;液体流经各种液压件,要克服一定阻力,造成压力降,有液压件负载;液体进入液压缸、作用于有效承压面上,推动液压缸运动,就要克服外界施加于系统的、阻碍液压缸运动的阻力——外负载。前两种(实际上不止这两种)负载是内负载,往往都被考虑到系统的能量损失和效率中去;而后者才是系统对外做功、实实在在的、有用的、具体意义上的负载。可以设想,这种负载(即阻力)越大,使液压缸运动、作用于液压缸有效承压面积上的压力(在有效承压面积一定的前题下)也越大,反之亦然。如果施加于液压缸、阻碍其运动的阻力即外负载为零,则作用于液压缸有效承压面积上、推动液压缸运动的油压力也为零或接近于零。这就是负载为主,压力为从的主-从关系。

负载与压力的上述关系还可以用“皮之不存,毛将焉附”这句话来比喻。

有人错误地认为,32MPa 额定压力的高压泵,只要一启动起来就会输出 32MPa 的高压油。这就是对压力取决于负载这一基本概念不清所致。事实上,液压泵输出油液的油压是靠阻碍油液流动的负载“憋”上去的,若没有负载,油压就“憋”不上去。因此再高额定压力的泵此时所输出的油压也是零。

另外,要把压力决定于负载与压力阀对压力的控制区分开来。二者的关系,区别已在教材 I 中有所阐明,故此不再赘述。

第二章 液压油和液压流体力学基础

一、主要概念

1. 液体的粘性及粘度,粘度的表示方法及其单位,粘度的主要选用原则,我国液压油的牌号数与运动粘度(厘斯 cSt)间的关系

【答】液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力阻碍分子间的相对运动而产生一种内摩擦力,液体的这种性质叫做液体的粘性。其特点是:只有在流动时液体才表现出粘性,静止液体(液体质点间没有相对运动的液体)是不呈现粘性的。

表示液体粘性大小的物理量是粘度。粘度大,液层间的内摩擦力就大,油液就稠;反之,油液就稀。

粘度的表示方法有三种:

- ① 绝对粘度 η ,其单位(量纲)为帕·秒—— $\text{Pa}\cdot\text{s}$, $1\text{Pa}\cdot\text{s} = 1\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ 。
- ② 运动粘度 ν ,这是液体的绝对粘度与其密度的比值:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

运动粘度的单位为 m^2/s ,因该单位太大,故实际中习惯用厘斯 cSt ($1\text{cSt} = 10^{-2}\text{cm}^2/\text{s}$), $1\text{m}^2/\text{s} = 10^6\text{cSt} = 10^4\text{St}$ (斯, $1\text{St} = 1\text{cm}^2/\text{s}$)。

③ 相对粘度(条件粘度)。我国、前苏联、德国采用的是恩氏粘度 $^{\circ}\text{E}$;美国用赛氏粘度SSU;英国用雷氏粘度 $^{\circ}\text{R}$ (或 $\text{Re}\cdot 1^{\circ}$)。

在不同的测量温度下,相对粘度(恩氏粘度)的数值是不同的。工业上常以 20°C 、 50°C 及 100°C 做为测量恩氏粘度的标准温度,相应粘度以符号 $^{\circ}\text{E}_{20}$ 、 $^{\circ}\text{E}_{50}$ 、 $^{\circ}\text{E}_{100}$ 来表示。在液压传动中,一般以 50°C 作为测量的标准温度。相应的粘度以 $^{\circ}\text{E}_{50}$ 表示。

粘度选择的总原则是:高压、高温、低速情况下,应选用粘度较大的液压油。因为这种情况下泄漏对系统的影响较大,粘度大可适当减少这些影响;在低压、低温、高速情况下,应选用较低粘度的液压油,因为这时泄漏对系统的影响相对减小,而液体的内摩擦阻力影响较大。另外,在一般环境温度 $t < 30^{\circ}\text{C}$ 的情况下,油液的粘度主要根据压力来选择:低压、油液粘度偏低;高压,油液粘度偏高。

我国液压油的牌号数就是以这种油液在 50°C (323K)时运动粘度 ν 的平均厘斯数值来命名的。如 20 号液压油,意即 $\nu_{50} = 20\text{cSt}$ 。

2. 压力及其单位,压力表示方法的种类及其相互间的关系

【答】压力:液体在单位面积上所承受的法向作用力,称为压力。

压力的单位是 N/m^2 (牛/米²), 称为帕斯卡, 简称为帕 (Pa), 即 $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ 。由于此单位太小, 在工程上使用很不方便, 常用它的倍数单位 MPa (兆帕), $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa} = 10^6\text{N/m}^2$ 。

压力的表示方法有三种: ① 绝对压力——以绝对真空为基准进行度量而得到的值。② 表压力 (相对压力)——以大气压为基准进行度量而得到的值。③ 真空度——绝对压力不足大气压力的那部分数值。

相互间关系: 只有当绝对压力小于大气压时, 才存在真空度。真空度实际上也是以大气压为基准度量而得到的压力值, 与相对压力不同的是相对压力是正表压力, 而真空度则是负表压力。例如: 液体内某点的真空度为 $0.4p_a$ (大气压), 则该点的绝对压力为 $0.6p_a$ (大气压), 相对压力为 $-0.4p_a$ (大气压)。真空度最大值不超过一个大气压。

3. 帕斯卡定律的内容、实质及其在液压系统、液压元件工作原理中的应用

【答】帕斯卡定律: 在密闭的容器内, 施加于静止液体上的压力将等值、同时地传到液体所有各点。其实质是, 在密闭的容器内的静止液体中, 若某点的压力发生了变化, 则该变化值将等值同时地传到液体所有各点。

在液压系统、液压元件中的应用。在由变量泵供油的液压系统中, 从泵到液压缸的进油腔形成一个密闭的容腔 (容器), 当负载发生变化时, 液压缸的进油压力发生相应的变化, 而这个变化值将等值同时传到泵的排油口 (严格讲并非绝对等值传递: 因受液体流动时粘性力、惯性力的影响, 使流动液体的压力传递——动压传递与静止液体的压力传递——静压传递有所不同, 但这种影响很小, 可忽略不计) 使泵调节自身排量, 使之输出的流量与变化了的负载相适应, 不致于出现速度的高低与负载大小相失调的现象。

帕斯卡定律在液压元件中的应用, 体现在液压元件的工作原理上 (如溢流阀、减压阀等)。没有帕斯卡定律, 就没有溢流阀、减压阀等的定压、稳压作用 (参看教材 I 中溢流阀、减压阀的工作原理), 溢流阀、减压阀也就不存在了。

4. 液体的流态及其判据, 临界雷诺数 Re_{cr} 值

【答】液体的流态有两种: 层流和紊流。层流是指液体质点呈互不混杂的线状或层状流动。其特点是液体中各质点是平行于管道轴线运动的。流速较低, 受粘性的制约不能随意运动, 粘性力起主导作用。紊流是指液体质点呈混杂紊乱状态的流动。其特点是液体质点除了做平行于管道轴线运动外, 还或多或少具有横向运动, 流速较高, 粘性的制约作用减弱, 惯性力起主导作用。

液体流态的判据是临界雷诺数 Re_{cr} , $Re_{cr} = 2320$ (对于光滑的金属圆管)。当所计算的雷诺数 $Re \left(= \frac{vd}{\nu} \right) < Re_{cr} = 2320$ 时, 液体为层流; 当 $Re > 2320$ 时, 液体为紊流。

5. 流动液体的三大定律及其计算公式的表达式

【答】三大定律分别为:

① 质量守恒定律 (连续性方程式), 表达式为

$$vA = Q = \text{const}$$

式中, A 为管道任意处过流断面面积, v 为该断面上的液体平均流速。该方程的物理意义是: 在稳定流动的情况下, 当不考虑液体的压缩性时, 通过管道各过流断面的流量都相等, 等于任意处的过流断面积与该面上液体平均流速的乘积。

上式亦可写成

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

式中 A_1 、 v_1 、 A_2 、 v_2 ，分别为管道任意两处的过流断面面积和相应的液体平均流速。该式表明：液体的流速与其过流断面面积成反比。当流量一定时，管子细的地方流速大；管子粗的地方流速小。

② 能量守恒定律——伯努利方程式，表达式为

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_2 + h_w$$

即为实际液体伯努利方程式。式中， h_w 为液体从断面 1 流向断面 2 所造成的总能量损失：

$$h_w = h_l + h_\zeta$$

式中 h_l 为断面 1 和 2 间的沿程能量损失， $h_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$ ； h_ζ 为断面 1 和 2 间的局部能量损失， $h_\zeta = \zeta \frac{v^2}{2g}$ 。

上式中， α_1 、 α_2 为动能修正系数，在紊流或层流粗略计算时取 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ ；层流时取 $\alpha_1 = \alpha_2 = 2$ 。

③ 动量定律——动量方程式。实际液体的动量方程式为

$$\bar{F} = \rho Q_2 \beta_2 \bar{v}_2 - \rho Q_1 \beta_1 \bar{v}_1$$

或由连续性原理为

$$\bar{F} = \rho Q (\beta_2 \bar{v}_2 - \beta_1 \bar{v}_1)$$

式中 β 为动量修正系数，对于圆管中的层流流动，取 $\beta = 1.33$ ，近似值常取 $\beta = 1$ ；对于圆管中的紊流流动，取 $\beta = 1$ 。

值得注意的是：① 上式中 $\bar{F}$ 、 $\bar{v}_1$ 、 $\bar{v}_2$ 均为向量，在具体应用时，应将上式向某指定方向投影，列出该方向上的动量方程。② 式中的 $\bar{F}$ 是液体所受固体壁面的作用力，而液体反作用于固体壁面上的力则为 $-\bar{F}$ ，即与力 $\bar{F}$ 大小相等，方向相反（参看教材 I 中例题 2-3）。

6. 伯努利方程式的物理意义

理想液体的伯努利方程式为

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2$$

其物理意义为：在密封的管道内做稳定流动的理想液体在任意断面上都具有三种形式的能量，即压力能 $\frac{p}{\rho g}$ 、动能 $\frac{v^2}{2g}$ 和势能 h ，它们之间可以互相转化，但三种能量总和是一定的。

7. 小孔流量公式及其在液压元件中的应用

【答】① 薄壁小孔流量公式为

$$Q = C_d A_0 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$