

电气与控制实验科学技术

王科俊 主编

液压伺服系统实验

YE YA SI FU XI TONG SHI YAN

梁利华 王经甫 史洪宇 编著

黑龙江人民出版社

· 电气与控制实验科学技术 · 王科俊 主编

液压伺服系统实验

梁利华 王经甫 史洪宇 编著

黑龙江人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

电气与控制实验科学技术/王科俊 主编. —哈尔滨:黑龙江人民出版社,2008.7

ISBN 978 - 7 - 207 - 07885 - 8

I. 电… II. 王… III 电气控制—实验—研究 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据字(2008)第 110906 号

责任编辑:李荣焕

装帧设计:李若聘

液压伺服系统实验

梁利华 王经甫 史洪宇 编著

出版发行 黑龙江人民出版社

通讯地址 哈尔滨市南岗区宣庆小区 1 号楼

邮 编 150008

网 址 www.longpress.com

电子邮箱 hljrmcbs@yeah.net

印 刷 哈尔滨太平洋彩印有限公司

开 本 16 开

印 张 135 印张

字 数 355 万字 印数:2000 套

版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 207 - 07885 - 8/TP · 14

定 价 350.00 元(全套 14 本)

(如发现本书有印制质量问题,印刷厂负责调换)

本社常年法律顾问:北京市大成律师事务所哈尔滨分所律师赵学利、赵景波

前 言

传统教育大多重知识传授,轻能力培养;重基本训练,轻开拓创新;重统一要求,轻因材施教;重理论运算,轻实验动手。而今,知识更新迅速,科技日新月异。为此,除了系统地阐述基础知识外,培养学生的自学能力、分析能力、实验动手能力以及综合应用、创新能力,掌握具体的操作技能成为第一要务。液压伺服系统这门学科,既是液压技术领域的重要分支,也是控制技术的重要组成部分,其基础为工程流体力学、电力电子技术、控制理论以及液压传动知识等。本门实验课程是为非液压传动与控制专业的本科生、研究生编写的,在其学完《液压传动与电液伺服系统》后开设的实验课程,目的是使自动化专业的学生开阔思路,更好地将控制理论知识应用于不同的对象,以利于实际工作的需要。该教材对于本科生教学时数约为 32 学时,研究生约为 16 学时。

本书主要在研究液压传动与液压控制技术的基本理论与方法基础上,论述液压控制系统的应用与实例,为此书中对基本概念、基本理论、基本分析方法以及液压控制的特点都作了简要的阐述。本书分为两部分:第一部分是液压伺服系统实验的基础知识,简要介绍了液压传动和伺服控制的基本理论和原理。在介绍了液压传动工作介质、液体静力学、动力学的基础上,分析了液压元件的工作原理、液压动力机构的传递函数模型、伺服控制系统的性能分析以及电液伺服控制系统的典型应用。第二部分为液压传动与液压伺服控制所开设的代表性实验,分别介绍了各个实验的实验目的、实验内容以及实验操作步骤等。

本书由梁利华、王经甫和史洪宇编写,具体为梁利华编写第 4、5 章,王经甫编写第 2、7 和 8 章,史洪宇编写第 1、3 和 6 章,全书由梁利华统稿。本书在编写过程中,得到了哈尔滨工程大学控制系统教研室、船舶减摇与控制技术研究所其他老师的帮助和指点,在此表达作者最真诚的谢意。

由于作者编写水平有限,书中难免有不到之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2008 年 8 月

内容简介

本书作为电液伺服控制系统的实验辅导书,主要分为两部分,共八章。第一部分为液压实验的基础知识,包括实验的基础知识、液压基本原理、液压元件的简介以及电液伺服系统的基本原理以及应用;第二部分是根据前面的基础知识所开设的实验项目,主要包括液压基本原理实验、液压元件性能测试实验以及电液伺服系统实验。本书在着重基本概念与原理阐述的同时,突出其实验原理与实验分析,旨在培养学生的动手与实验能力。

本书可供工科院校机电一体化或机械设计制造及其自动化等相关专业的学生使用,也适用于各类成人高校、自学考试有关机械工程类专业的学生,还可为工程技术人员参考。

目 录

第一部分 液压伺服系统实验基础知识

第 1 章 实验基本知识	1
一、实验室操作规程	1
二、实验规则	1
三、实验前的准备	2
四、实验数据分析	2
五、实验曲线测定	2
六、实验报告要求	2
第 2 章 液压基本原理	3
第一节 液压传动工作介质	3
一、工作介质的性质	3
二、工作介质的分类	5
三、液压系统的污染控制	6
第二节 液体静力学	8
一、液体静压力及其特性	8
二、液体静压力基本方程	9
三、帕斯卡原理	10
第三节 液体动力学	11
一、基本概念	11
二、流量连续性原理	12
三、伯努利方程	13
四、定常管流的压力损失计算	16
五、孔口流动特性	19
第 3 章 液压元件简介	21
第一节 液压动力元件概述	21
一、液压泵的工作原理	21
二、液压泵的主要性能参数	22
三、齿轮泵	22
四、叶片泵	23
五、柱塞泵	26
六、液压泵的特性	28
第二节 液压执行元件概述	29
一、液压缸	29
二、液压马达	31
第三节 液压控制元件	33
一、概述	33
二、方向控制阀	35

三、压力阀	36
四、液量阀	39
第4章 电液伺服控制系统基本理论	41
第一节 液压动力机构的分析	41
一、动力机构的基本方程	41
二、动力机构的方块图和传递函数	42
第二节 电液伺服系统简介	43
一、位置伺服系统	44
二、速度伺服系统	44
三、电液压力(或力)伺服系统	46
四、二次调节系统	47
第三节 电液伺服控制系统的分析	47
一、系统传递函数	47
二、不计弹性力($K=0$)时阀控系统的典型特性	48
三、考虑负载弹性力($K\neq 0$)时阀控位置系统特性	50
第5章 电液伺服系统应用简介	53
第一节 NJ 系列减摇鳍系统	53
一、NJ 系统减摇鳍简介	53
二、NJ 系列减摇鳍的工作原理	54
三、NJ4G 型减摇鳍的操作与运动	55
四、NJ5 型减摇鳍的操作与运动	57
第二节 减摇鳍电液负载仿真台	60
一、减摇鳍电液负载仿真台的作用	60
二、减摇鳍电液负载仿真台	60
第三节 六自由度船舶运动模拟摇摆台	65
一、简介	65
二、实验台原理结构	66
三、液压系统设计	75

第二部分 液压伺服系统实验

第6章 液压基本原理实验	78
第一节 液压基本回路实验	78
一、实验目的	78
二、实验内容	79
三、实验步骤	79
四、讨论问题	79
第二节 简单的压力调定回路实验	79
一、实验目的	80
二、实验内容	80
三、实验步骤	80
四、讨论问题	80
第三节 压力形成原理实验	80
一、实验目的	80

二、实验内容	80
三、实验步骤	80
四、实验分析	81
第四节 薄壁孔口节流实验	82
一、实验目的	82
二、实验内容	82
三、实验步骤	82
四、实验分析	83
第五节 细长孔口节流实验	84
一、实验目的	84
二、实验内容	84
三、实验步骤	85
四、实验分析	85
第六节 雷诺实验	85
一、实验目的	86
二、实验内容	86
三、实验步骤	86
四、实验分析	86
五、讨论题	87
第7章 液压元件实验	88
第一节 观察节流阀和调速阀的调速作用	88
一、实验目的	88
二、实验内容	88
三、实验步骤	88
第二节 进油路节流阀节流调速实验	89
一、实验目的	89
二、实验方法	89
三、实验步骤	89
四、实验分析	90
第三节 进油路调速阀节流调速实验	91
一、实验目的	92
二、实验方法	92
三、实验步骤	92
四、实验分析	92
第四节 油泵(叶片泵)性能实验	93
一、实验目的	93
二、实验原理	93
三、实验步骤	94
四、实验分析	94
第五节 采用减压阀的减压回路实验	95
一、实验目的	95
二、实验内容	95
三、实验步骤	96

四、实验分析·····	96
第六节 溢流阀特性测试实验 ·····	97
一、实验目的·····	97
二、实验内容·····	97
三、实验步骤·····	98
四、实验分析·····	98
第七节 顺序动作回路实验 ·····	99
一、实验目的·····	99
二、实验内容·····	99
三、实验步骤 ·····	100
四、实验分析 ·····	100
第8章 电液伺服系统实验 ·····	101
第一节 NJ 系列减摇鳍系统实验 ·····	101
一、推荐实验项目 ·····	101
二、实验报告要求 ·····	101
三、实验条件 ·····	101
四、思考题 ·····	101
第二节 电液伺服控制系统频率特性实验·····	102
一、实验目的 ·····	103
二、实验内容 ·····	103
三、实验步骤 ·····	103
四、讨论问题 ·····	103
第三节 电液伺服控制系统负载误差实验·····	104
一、实验目的 ·····	104
二、实验内容 ·····	104
三、实验步骤 ·····	104
四、讨论问题 ·····	105
第四节 减摇鳍动态加载实验·····	105
一、实验目的 ·····	105
二、实验内容 ·····	105
三、实验步骤 ·····	106
四、讨论问题 ·····	106
第五节 六自由度船舶运动模拟台运动控制实验·····	106
一、实验目的 ·····	107
二、实验内容 ·····	107
三、实验步骤 ·····	107
四、实验分析 ·····	107
第六节 六自由度船舶运动模拟台刚度及振动频率试验·····	107
一、实验目的 ·····	107
二、实验内容 ·····	107
三、实验步骤 ·····	108
四、实验分析 ·····	108
参考文献 ·····	109

第一部分 液压伺服系统实验基础知识

第1章 实验基本知识

液压伺服系统实验课程是一门专业课,本课程主要针对液压传动与电液伺服系统课程的后续,为其实验部分。液压伺服系统实验课程涉及到机械结构、低压电气、电液伺服控制等诸方面的知识,需要学生预先选修液压传动与电液伺服系统、自动控制理论等相应课程。

本课程的目的是提高学生对实际液压元器件、电液伺服控制系统和船舶控制系统的认识和了解,培养学生分析并实际操作系统的能力。通过实验使学生对实际控制系统的整体和部件有一个初步的感性认识,加强对理论知识的理解,并使其分析及处理实际问题的能力有所提高。本课程可分为以下三个部分:

1. 参观演示环节。参观各相关实验室,如减摇装置实验室、“××工程”专项实验室、船模水池实验室等,通过教师的讲解和演示,观察了解电液伺服控制系统的基本组成、基本工作流程(原理)、实际液压元件等。
2. 在液压实验台上,按本指导书所列实验项目进行液压基本原理的相关实验,进一步认识液压元件,了解液压系统的工作原理及参数的测量方法。
3. 以 TC-GY03 智能液压伺服控制综合实验台、NJ5 型减摇鳍装置及其加载装置、升力控制减摇鳍、收放式减摇鳍以及舰船六自由度模拟摇摆台等装置为主要对象,了解液压传动及伺服控制系统的基本组成和简单试验与测量,重点了解阀控、泵控系统,位置、速度、力控制系统的基本组成和区别,学生可以自拟实验方法、自己安排操作与测量、自己记录实验数据并分析,写出实验报告。

一、实验室操作规程

1. 设备必须经由实验室人员进行操作运行或现场指导。
2. 设备供电、断电必须由实验室人员进行操作,其他人员不得操作。
3. 设备运行时需按有关说明书或技术条件运行,主管人员必须严格进行启动前和关机后的检查。
4. 设备运行过程中,未经实验室人员同意,严禁随意扳动设备上的电气开关、旋钮,以及液压系统上的阀件手柄和手轮。
5. 系统出现故障时应立即关机、断电,保护人员和设备安全,排除故障后方可再次运行。
6. 严格执行使用操作登记、记录规定。

二、实验规则

实验室是教学和科研活动的基地,是理论与实践相结合的桥梁。为保证实验的顺利进行,确保实验设备和人身安全,要求学生必须做到以下几点:

1. 课前要对实验进行预习,完成预习报告;
2. 实验开始前要认真听从指导教师对实验的讲解,明确实验的具体要求;
3. 按照实验步骤进行实验,认真观察、测试,仔细记录数据;
4. 实验结束后,应将实验设备恢复到实验前的状态,经指导教师认可后方可离开实验室;
5. 应严格遵守课堂纪律,实验过程中不得大声喧哗;
6. 严格遵守仪器设备操作规程、实验室各项规章制度,与实验无关的仪器设备、实验调试装置等禁止随意触摸、调动,杜绝设备或人身伤害事故的发生,避免对科研等其他工作造成不必要的损失;

7. 如违反操作规程、实验室规章制度等而使仪器设备造成损坏,要酌情进行必要的赔偿,并给予批评。情节严重者将上报有关部门进行严肃处理。

三、实验前的准备

实验能否顺利进行、能否达到预期的效果,在很大程度上取决于预习是否充分。因此,实验之前应把实验目的、内容、原理、步骤,以及实验所需设备的型号和使用方法等做到详尽了解,以避免盲目实验。若对实验的原理等没有充分地掌握,实验时就会出现不明确要研究、要测量哪些量,也不能预测将会出现什么现象等情况,只能机械地照教材进行操作。用这种呆板的方式做实验,即使能得到实验数据也不会了解其物理意义,更不能根据所测数据去推测和分析实验结果的正确性。因此,为了在规定时间内,高质量地完成实验课任务,必须做好实验前的预习,通过预习实验内容写出预习报告。

四、实验数据分析

1. 数据分析的方法

正确地分析测试数据,既是顺利进行实验的保证,也是培养实验能力的重要手段。实验内容不同,分析数据的方法也不相同,且差异很大。在这里我们只介绍一些原则性的方法。

(1) 预见被测数据的大小。在实验前或测量数据前,按照有关理论估算被测数据的大小或它们的变化趋势,作为实验时分析数据的依据。

(2) 实验中测得数据后,立即与理论值(估算值)相比较,看其是否基本一致。若实验数据和理论数据差别较大,应分析和寻找原因。

2. 数据误差的原因

造成数据误差的原因主要有:(1)实验方法正确与否;(2)测试仪器仪表选择不当;(3)测试元件的参数不准等。

五、实验曲线测定

1. 首先粗略预测一遍,不必做记录,观察数据变化的趋势,大体了解曲线的形状,弯曲部分在哪里,平滑部分在哪里。

2. 实际测定时,弯曲部分要多测几个点,平滑部分可以少测几点。

3. 曲线要画在坐标纸上,比例尺度要适当,坐标轴上要注明物理量的单位和分度,曲线要写明名称,用“×”或“·”等符号在曲线上标出实验数据所对应的点。曲线要光滑,不要强求通过所有的测定点。

六、实验报告要求

1. 实验报告封皮有 B5、A4 两种,统一为 B5;

2. 按实验项目要求,演示性实验无报告要求,其他实验必须完成报告;

3. 实验报告应包含以下内容:

(1) 实验目的【预习报告内容,应先准备好,实验前检查】。

(2) 实验类型【预习报告内容,应先准备好,实验前检查】。

(3) 实验设备与仪器【预习报告内容,应先准备好,实验前检查】。

(4) 实验原理(或实验方法,含原理图)【预习报告内容,应先准备好,实验前检查】。

(5) 实验步骤(或实验内容)【预习报告内容,应先准备好,实验前检查】。

(6) 实验结果(数据、曲线的记录)【教师认可后,将测试的内容(数据、曲线等)填写在相应位置,写预习报告时应预先将所需表格画好】。

(7) 实验(结果)分析。

(8) 讨论题。

第2章 液压基本原理

流体传动包括液体传动和气体传动。以液体的静压能传递动力的液压传动是以油液作为工作介质的,为此必须了解油液的种类、物理性质,研究油液的静力学、运动学和动力学规律。

从微观的观点来看,油液与气体流体相同,也是由一个一个的、不断作不规则运动的分子组成的。分子之间存在着间隙,它们是不连续的;但是由于分子之间的间隙是极其微小的,因而在研究宏观的机械运动时可以认为它是一种连续介质,这样就可以把油液的运动参数看做是时间和空间的连续函数,并有可能利用数学语言来描述它的运动规律。

另一方面,由于油液分子与分子间的内聚力极小,几乎不能抵抗任何拉力而只能承受较大的压应力;不能抵抗剪切变形而只能对变形速度呈现阻力。不管作用的剪力怎样微小,油液总会发生连续的变形,这就是油液的易流动性,它使得油液本身不能保持一定的形状,只能呈现所处容器的形状。

第一节 液压传动工作介质

液体是液压传动的工作介质,最常用的工作介质是液压油。此外,还有乳化型传动液和合成型传动液。

一、工作介质的性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为液体的密度。体积为 V 、质量为 m 的液体的密度 ρ 为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

矿物油型液压油的密度随温度的上升而有所减小,随压力的提高而稍有增加,但变动值很小,可以认为是常值。我国采用 20°C 时的密度作为油液的标准密度,以 ρ_{20} 表示。常用液压油和传动液的密度见表 2-1。

表 2-1 常用工作介质的密度 (kg/m^3)

种 类	ρ_{20}	种 类	ρ_{20}
石油基液压油	850 ~ 900	增粘高水基液	1003
水包油乳化液	998	水 - 乙二醇液	1060
油包水乳化液	932	磷酸酯液	1150

2. 可压缩性

压力为 p_0 、体积为 V_0 的液体,如压力增大 Δp 时,体积减小 ΔV ,则此液体的可压缩性可用体积压缩系数 k ,即单位压力变化下的体积相对变化量来表示:

$$k = -\frac{\Delta V}{\Delta p V_0} \quad (2-2)$$

由于压力增大时液体的体积减小,因此上式右边须加一负号,以使 k 成为正值。液体体积压缩系数的倒数,称为体积弹性模量 K ,简称体积模量,即 $K = 1/k$ 。表 2-2 为各种液压传动工作介质的体积模量的数值。

表 2-2 各种液压传动工作介质的体积模量 (20℃, 大气压)

液压传动工作介质种类	$K/(\text{N/m}^2)$
石油型	$(1.4 \sim 2.0) \times 10^9$
水包油乳液(W/O 型)	1.95×10^9
水-乙二醇液	3.15×10^9
磷酸酯液	2.65×10^9

液压传动工作介质的体积模量和温度、压力有关:温度增加时, K 值减小。在液压传动工作介质正常的工作范围内, K 值的变化为 5% ~ 25%;压力增大时, K 值增大。但这种变化不呈线性关系,当 $p \geq 3\text{MPa}$ 时, K 值基本上不再增大。液压传动工作介质中如混有气泡时, K 值将大大减小。

封闭在容器内的液体在外力作用下的情况极像一个弹簧:外力增大,体积减小;外力减小,体积增大。这种弹簧的刚度 K_h ,在液体承压面积 A 不变时(图 2-1),可以通过压力变化 $\Delta p = \Delta F/A$ 、体积变化 $\Delta V = A\Delta l$ (Δl 为液柱长度变化量)和式(2-2)求出,即:

$$K_h = \frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{A^2 K}{V} \quad (2-3)$$

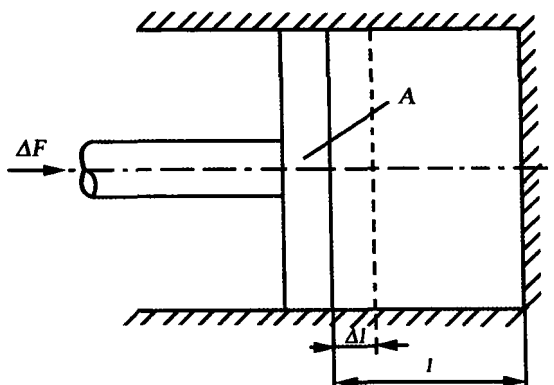


图 2-1 液压弹簧的刚度计算简图

液压传动工作介质的可压缩性对在液压系统的动态性能影响较大;但对于对动态性能要求不高、而仅考虑静态(稳态)下工作的液压系统,一般可以不予考虑。

3. 粘性

液体在外力作用下流动(或有流动趋势)时,分子间的内聚力要阻止分子相对运动而产生一种内摩擦力,这种现象叫做液体的粘性。液体只有在流动(或有流动趋势)时才会呈现出粘性,静止液体是不呈现粘性的。

粘性使流动液体内部各处的速度不相等,以图 2-2 为例,若两平行平板间充满液体,小平板不动,而上平板以速度 u_0 向右平动。由于液体的粘性,紧靠小平板和上平板的液体层速度分别为零和,而中间各液层的速度则视它距下平板的距离按曲线规律或线性规律变化。

实验测定指出,液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F_i 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成正比,即:

$$F_i = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-4)$$

式中, μ 为比例常数,称为粘性系数或粘度。如以 τ 表示切应力,即单位面积上的内摩擦力,则

$$\tau = \frac{F_i}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-5)$$

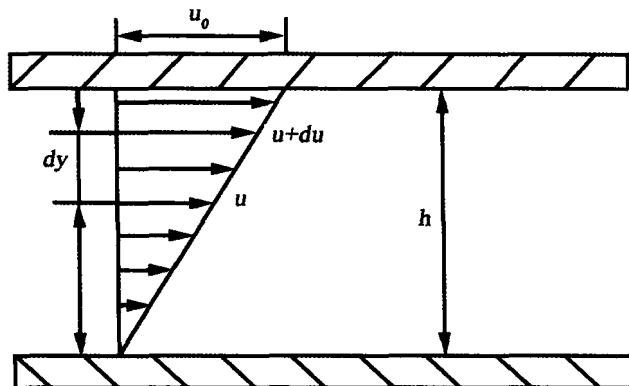


图 2-2 液体的粘性示意图

这就是牛顿的液体内摩擦定律。粘度是衡量液体粘性的指标,液体的粘度是指它在单位速度梯度下流动时单位面积上产生的内摩擦力。粘度 μ 称为动力粘度,单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)。在以前的 CGS 制中, μ 的单位为 P (泊, $\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$), $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP}$ (厘泊)。

液体的动力粘度与其密度的比值,称为液体的运动粘度 ν ,即 $\nu = \mu/\rho$,单位为 m^2/s 。就物理意义来说, ν 不是一个粘度的量,但习惯上常用它来标志液体粘度。液压传动工作介质的粘度等级是以 40°C 时运动粘度 (以 mm^2/s 计) 的中心值来划分的。液体的粘度随液体的压力和温度而变,对液压传动工作介质来说,压力增大时,粘度增大。在一般液压系统使用的压力范围内,增大的数值很小,可以忽略不计。但液压传动工作介质的粘度对温度的变化十分敏感,温度升高,粘度下降。这个变化率的大小直接影响液压传动工作介质的使用,其重要性不亚于粘度本身。

液压传动工作介质还有其他一些性质,如稳定性 (热稳定性、氧化稳定性、水解稳定性、剪切稳定性等)、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性一级相容性 (对所接触的金属、密封材料、涂料等作用程度) 等,都对它的选择和使用有重要影响。这些性质需要在精炼的矿物油中加入各种添加剂来获得。

二、工作介质的分类

液压系统工作介质的品种以其代号和后面的数字组成,代号中 L 是石油产品的总分类号“润滑剂和有关产品”,H 表示液压系统用的工作介质,数字表示为该工作介质的某个粘度等级。石油型液压油是最常用的液压系统工作介质,其各项性能都优于全损耗系统用油 L—AN (旧称机械油)。全损耗系统用油是一种低品位、浪费资源的产品,不再生产。HL 液压油已被列为全损耗系统用油的升级换代产品,石油型液压油粘度等级有自 15 至 150 等多种规格,选用见表 2-3。

乳化型工作介质简称乳化液。它由两种互不相容的液体 (如水和油) 构成。液压系统乳化液分为两大类,一类是少量油分散在大量水中,称为水包油乳化液 (O/W 也称高水基液);另一类是水分散在油中,称为油包水乳化液 (W/O)。

水包油乳化液中油占 5% ~ 10% (体积分数)。油的作用是作为各种添加剂的载体,和添加剂一起形成极微小的油滴,分散悬浮在水中。使用温度为 $5 \sim 50^\circ\text{C}$ 。其特点是粘度低、泄漏大,系统压力不宜高于 7MPa ,增粘型高水基液的工作压力不宜高于 14MPa ;水的饱和蒸汽压高,易汽化,易气蚀,泵的吸油口应保持正压,泵的转速不应超过 $1200\text{r}/\text{min}$;而且,其润滑性远低于油,高水基泵的寿命只及液压泵的一半。水包油乳化液多于液压支架及用液量特别大的液压系统。

油包水乳化液含油 60% (体积分数),水滴直径小于 $1.5\mu\text{m}$ 。其性能接近液压油,抗燃性高于液压油。使用油温不得高于 65°C ,以免汽化。

水—乙二醇传动液是由水和乙二醇相溶,并加入水溶性稠化剂、抗氧防锈剂、油性抗磨剂以及抗泡剂等制成。乙二醇占 20% ~ 40% (体积分数),其余为添加剂。抗燃性优于液压油,使用温度为 -

20 ~ 50℃,低温性能好,适用于飞机液压系统。润滑性不如液压油,液压泵的磨损比用液压油高 3 ~ 4 倍,系统压力应低于 14MPa。

表 2-3 液压系统工作介质分类

(摘自 GB/T 11118.1—1994)

分类	名 称	代 号	组成和特性	应 用
石油型	精制矿物油	L—HH	无抗氧剂	循环润滑油,低压液压系统
	普通液压油	L—HL	HH 油,并改善其防锈和抗氧性	一般液压系统
	抗磨液压油	L—HM	HL 油,并改善其抗磨性	低、中、高压系统,特别适合于有防磨要求带叶片泵的液压系统
	低温液压油	L—HV	HM 油,并改善其粘温特性	能在 -40 ~ -20℃ 的低温环境中工作,用于户外工作的工程机械和船用设备的液压系统
	高粘度指数液压油	L—HR	HL 油,并改善其粘温特性	粘温特性优于 L—HV 油,用于数控机床液压系统和伺服系统
	液压导轨油	L—HG	HM 油,并具有粘—滑特性	适用于导轨和液压系统共用一种油品的机床,对导轨有良好的润滑性和防爬性
	其他液压油		加入多种添加剂	用于高品质的专用液压系统
乳化型	水包油乳化液	L—HFAE	需要难燃液的情况	
	油包水乳化液	L—HFB		
合成型	水—乙二醇液	L—HFC		
	磷酸酯液	L—HFDR		

磷酸酯传动液是由无水磷酸脂作为基础液,加入粘度指数剂等各种添加剂制成。使用温度为 -20 ~ 100℃。它是用各种无水的磷酸酯做基础,再加入各种添加剂而制成的。它的难燃性好,自燃点高,挥发性低,氧化稳定性好,润滑性好;但粘温性和低温性能较差,和丁腈橡胶不相容。有微毒,应避免和皮肤直接接触。适用于冶金设备、汽轮机等高温、高压系统,也常用于大型民航客机的液压系统。

三、液压系统的污染控制

工作介质的污染是液压系统发生故障的主要原因。它严重影响液压系统的可靠性及液压元件的寿命,因此工作介质的正确使用、管理以及污染控制,是提高液压系统的可靠性及延长液压元件使用寿命的重要手段。油液中的污染物质根据其物理形态可分为固体、液体和气体三种类型,其中液态污染物主要是从外界侵入系统的水;气态污染物主要是空气;固体污染物通常以颗粒状态存在于工作介质中,这也是液压传动系统中最普遍、危害最大的污染物。因此,在此主要介绍固体污染物的产生、测定和控制。

1. 污染的根源

进入工作介质的固体污染物有四个主要根源,它们是:已被污染的新油、残留污染、侵入污染和内部生成污染。了解每一个根源,都是液压系统的污染控制措施和过滤器设置的主要考虑因素。

(1) 已被污染的新油 虽然液压油和润滑油是在比较清洁的条件下精炼和调和的,但油液在运输和储存过程中受到管道、油桶和储油罐的污染,其污染物为灰尘、砂土、锈垢、水分和其他液体等。

(2) 残留污染 液压系统和液压元件在装配和冲洗中的残留物,如毛刺、切屑、型砂、涂料、橡胶、焊渣和棉纱纤维等。

(3) 侵入污染 液压系统运行过程中,由于油箱密封不完善以及元件密封装置损坏由系统外部侵入的污染物,如灰尘、砂土、切屑以及水分等。

(4) 生成污染 液压系统运行中系统本身所生成的污染物,其中既有元件磨损剥离、被冲刷和腐

蚀的金属颗粒或橡胶末,又有油液老化产生的污染物等。这一类污染物最具有危害性。

2. 污染引起的危害

液压系统的故障有75%以上是由工作介质污染所引起的。污染物颗粒具有各种形状和尺寸并由各种材料构成,大多数是磨粒性的。它们与元件表面相互作用时,产生磨粒磨损和表面疲劳。从元件表面犁削和切削出碎片,加速元件磨损,使内泄漏增加,降低液压泵、液压阀等液压元件的效率和精度,这些变化一开始很难觉察,尤其对液压泵来说,最终会引起失效。这种失效是不能恢复的退化失效,最容易引起磨损的颗粒是处于间隙尺寸的颗粒。

当一个大颗粒进入液压泵或液压阀时,可能使液压泵或液压阀卡死,或者堵塞液压阀的控制节流孔,引起突发失效。有时颗粒或污染物妨碍液压阀的归位,使液压阀不能完全关闭,当液压阀在此打开时,该颗粒或污染物可能被冲走,于是,出现一种讨厌的间歇失效,导致液压系统不能正常工作。

颗粒、污染物和油液氧化变质生成的粘性胶质堵塞过滤器,使液压泵运转困难,产生噪声。水分和空气的混入使工作介质的润滑性能降低,并使它加速氧化变质,产生气蚀,使液压元件加速腐蚀,液压系统出现振动和爬行等现象。

这些故障轻则影响液压系统的性能和使用寿命,重则损坏元件使元件失效,导致液压系统不能工作,危害是非常严重的。

3. 污染的测定

工作介质的污染度是指单位容积工作介质中固体颗粒污染物的含量。含量可用重量或颗粒表示,因而相应的污染度测定方法有称重法和颗粒计数法两种。

1) 称重法 把100mL的工作介质样品进行真空过滤并烘干后,在精密天平上称出颗粒的重量,然后依标准定出污染等级。这种方法只能表示工作介质中污染物的总量,不能反映颗粒尺寸的大小及其分布情况。这种方法设备简单,操作方便,重复精度高,适用于工作介质日常性的质量管理场合。

2) 颗粒计数法 颗粒计数法是测定工作介质样品单位窖中不同尺寸范围内颗粒污染物的颗粒数,借以查明其区间颗粒含量(单位容积油液中含有某给定尺寸范围的颗粒数)或累计颗粒含量(单位窖油液中含有大于某给定尺寸的颗粒数)。目前,用得较普遍的有显微镜颗粒计数法和自动颗粒计数法。

显微镜颗粒计数法也是将100mL工作介质样品进行真空过滤,并把得到的颗粒经溶剂处理后,放在显微镜下,找出其尺寸大小及数量,然后依标准确定工作介质的污染度。这种方法的优点是能够直接看到颗粒的种类、大小及数量,从而可推测污染原因。但要求有熟练的操作技术,操作时间长,劳动强度低,精度低。

自动颗粒计数法是利用光源照射工作介质样品时,工作介质中颗粒在光电传感器上投影所发出的脉冲信号来测定工作介质的污染度的。由于信号的强弱和多少分别与颗粒的大小和数量有关,将测得的信号与标准颗粒产生的信号相比较,就可以算出工作介质样品中颗粒的大小与数量。这种方法能自动计数,测定简便、迅速、精确,可以及时从高压管道中抽样测定,因此得到了广泛的应用。但是此法不能直接观察到污染颗粒本身。

4. 污染度的等级

为了描述和评定工作介质污染的程序,以便对它进行控制,有必要规定出工作介质的污染度等级。下面介绍我国制定的国家标准 GB/T 14039—1993《液压系统工作介质固体颗粒污染等级代号》和目前仍被采用的美国 NAS1638 油液污染度等级。

我国制定的 GB/T 14039—1993《液压系统工作介质固体颗粒污染等级代号》等效采用国际标准 ISO 4406—1987。固体颗粒污染等级代号由斜线隔开的两个标号组成:第一个标号表示1mL工作介质中大于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒数;第二个标号表示1mL工作介质中大于 $15\mu\text{m}$ 的颗粒数,按显微镜颗粒计数法或自动颗粒计数法取得颗粒计数数据。针对大于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒数规定为第一个标号,针对大于 $15\mu\text{m}$ 的颗粒数规定为第二个标号,两个标号间用斜线隔开。例如:污染等级代号 18/15 表示在1mL给

定工作介质中大于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒有 1300 ~ 2500 个,大于 $15\mu\text{m}$ 的颗粒有 160 ~ 320 个。这种用双标号标志的污染等级代号来说明实质性的工程问题是较科学的,因为 $5\mu\text{m}$ 左右的颗粒对堵塞元件缝隙的危害最大,而大于 $15\mu\text{m}$ 的颗粒对元件的磨损作用最为显著,用它来反映工作介质污染度较为恰当,这种标准得到了普遍的采用。但是,现行的 ISO4406 标准还有一个不足,它未报告小于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒计数,这些非常细小的淤泥尺寸颗粒和聚集也能导致故障。为了弥补这一点,有些厂商已将污染等级代号用大于 $2\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 和 $15\mu\text{m}$ 的颗粒数三个标号表示。例如,三标号污染等级代号标志为 20/18/15,它表示 1mL 工作介质中大于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒有 5000 ~ 10000 个,其大于 $5\mu\text{m}$ 和 $15\mu\text{m}$ 的颗粒数同 18/15。这种表示方法更为科学,ISO 也正在考虑将该标准扩充为三个标号标志法。

5. 工作介质的污染控制

工作介质污染的原因很复杂,工作介质自身又在不断产生污染物,因此要彻底解决工作介质的污染问题是很困难的。为了延长液压元件的寿命,保证液压系统可靠地工作,将工作介质的污染度控制在一定限度内是较为切实可行的办法。

为了减少工作介质的污染,应采取如下一些措施:

1) 对元件和系统进行清洗,清除在加工和组装过程中残留的污染物,液压元件在加工的每道工序后都应净化,装配后应经严格的清洗。最后用系统工作时使用的工作介质对系统进行彻底冲洗,达到系统要求的污染度后,将冲洗液放掉,注入新的工作介质后,才能正式运转。

2) 防止污染物从外界侵入,油箱呼吸孔上应装设高效的空气滤清器或采用密封油箱,工作介质应通过过滤器注入系统,活塞杆端应装防尘密封。

3) 在液压系统合适部位设置合适的过滤器,并定期检查、清洗或更换。

4) 控制工作介质的温度,工作介质温度过高会加速其氧化变质,产生各种生成物,缩短它的使用期限。

5) 定期检查和更换工作介质。定期对液压系统的工作介质进行抽样检查,分析其污染度,如已不合要求,必须立即更换。更换新的工作介质前,必须对整个液压系统彻底清洗一遍。

第二节 液体静力学

液体静力学主要是讨论液体静止时的平衡规律以及这些规律的应用。所谓“液体静止”指的是液体内部质点间没有相对运动,不呈现粘性而言,至于盛装液体的容器,不论它是静止的或是匀速、匀加速运动都没有关系。

一、液体静压力及其特性

作用在液体上的力有两种,即质量力和表面力单位质量液体受到的质量力称为单位质量力,在数值上就等于加速度。表面力是由与液体相接触的其他物体(如容器或其他液体)作用在液体上的力,这是外力;也可以是一部分液体作用在另一部分液体上的力,这是内力。单位面积上作用的表面力称为应力,它有法向应力和切向应力之分。当液体静止时,液体质点间没有相对运动,不存在摩擦力,所以静止液体的表面力只有法向力。液体内某点处单位面积 ΔA 上受到的法向力 ΔF 之比,叫做压力 p (静压力),即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2-6)$$

如法向力 F 均匀地作用于面积 A 上,则压力可表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (2-7)$$

由于液体质点间的凝聚力很小,不能受拉,只能受压,所以液体的静压力具有两个重要特性:

1) 液体静压力的方向总是作用面的内法线方向。