

YEYA SHIYAN

JISHU JI YINGYONG

液压试验 技术及应用

王起新 黄志坚 编著



化学工业出版社

YEYA SHIYAN

JISHU JI YINGYONG

液压试验 技术及应用

王起新 黄志坚 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

液压技术具有功率密度高、配置灵活、可靠耐用、动力传递方便等优点,广泛应用于大中型设备。液压试验是液压技术进步与创新的不可或缺的条件,是液压系统高效、平稳、可靠运行的重要保障。本书结合大量应用实例,系统介绍了现代液压试验技术。全书共7章:第1章是概论;第2章介绍液压试验台相关控制与机电系统;第3~5章分别介绍液压泵与液压马达、液压阀、液压缸试验技术;第6章介绍液压试验的关键技术;第7章介绍液压试验领域新技术及应用。本书的读者对象主要是液压元件与系统的设计开发、使用维修人员,液压试验相关人员,高校相关专业的师生。

图书在版编目(CIP)数据

液压试验技术及应用/王起新,黄志坚编著. —北京:
化学工业出版社, 2019.2

ISBN 978-7-122-33395-7

I. ①液… II. ①王… ②黄… III. ①液压传动-试
验 IV. ①TH137-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 283166 号

责任编辑:黄 滢
责任校对:杜杏然

文字编辑:张燕文
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:北京京华铭诚工贸有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张14 字数380千字 2019年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:69.00 元

版权所有 违者必究

序一

能为《液压试验技术及应用》一书作序，荣幸也感慨！

纵观我国液压行业发展近 60 年，过去我们对液压测试技术的重视有许多欠缺。例如我们行业非常专业的液压测试设备制造商就稀缺。我们体会到了测试技术现在比以往任何时候都更加重要，这是因为我们液压行业正从提高液压元件生产质量、降低成本的液压工业 2.0 时代迈向必须创新的液压工业 4.0 智能时代。我国液压工业 2.0 时代，技术与产品主要依靠仿制的办法，测试主要是考核产品是否达标与检验质量好坏的手段，使我们走过了一条元件从差到好的发展道路。但是在液压工业走向智能软件为王的时代，仿制这条路已经走不通了，液压工业在工业 4.0 时代只有走创新发展的道路，这时测试已经不仅仅是考核与检验的有效手段，更是产品创新必不可少的工具与手段，是液压技术发展的核心，是液压行业从大到强发展的必备“武器”。目前市场上各企业研发新的液压试验装备越来越积极，要求越来越高，投入也越来越强，从过去的几万元到现在的单台设备接近千万元，说明液压测试正受到从未有过的重视。十几年来，新欧机械专攻液压测试设备，今天依靠企业的力量写出这本书，在行业中也是十分突出与值得赞赏的。

我本人在专业技术领域耕耘 60 余年，与液压的教育、科研、生产以及创办企业打了一辈子交道，看到此书出版真是欣喜有加。

此书下列特点符合时代的发展、市场的需求以及行业工程技术人员的需要。

(1) 对液压元件测试设备的技术归纳比较全面，包括对液压泵、液压阀、液压缸等主要液压元件的测试装备与技术（这是液压工业测试 2.0 的技术）。

(2) 介绍了测试关联的关键技术，特别是电控与 CAT 技术，体现了今后液压技术与液压测试技术中液电一体化的发展（这是液压工业测试 3.0 的技术）。

(3) 对液压测试新技术特别是半实物仿真技术给予了重视与介绍。这是在液压工业 4.0 时代加速液压创新与元件开发不可或缺的技术，也是液压测试技术的发展方向（数字孪生），今后会得到液压测试界更大的重视（这是液压工业测试 4.0 的技术）。

期望国内同行（尤其是年轻一代）在液压试验技术领域进一步开拓创新，在液压工业 4.0 时代利用发展的液压测试技术得到更多的创新成果，为我国液压行业尽早实现“中国制造 2025”作出新贡献。

上海液压气动密封协会专家委员会专家

上海豪高科技有限公司董事长

上海交通大学等院校兼职教授、博导（享受国务院特殊津贴）

上海诺玛液压系统有限公司（强基工程单位）首席专家



2018. 11. 24

序二

液压元件与系统广泛应用于机械制造、石油化工、电力、矿山、冶金、建筑施工、铁路与公路交通运输、海运、军工、航空航天等领域，液压试验系统是这些领域液压元件与系统基础科研、设计开发、质量控制、技术改进、运行监控、故障诊断、维护修理、教育培训等环节的重要技术保障。提高液压元件的精度、寿命、可靠性和节能性等离不开液压试验技术的支持。现代液压试验技术是以液压、测控、电子等技术为基础，结合计算机、信号处理以及通信工程等技术而形成的一门高新应用技术。

一个国家的技术水平很大程度由其设计水平和制造能力决定，而试验技术的水平又标志着一个国家的设计水平和制造能力。在工业发展的进程中，制造业的发展总是跟试验技术的发展息息相关，试验装备在国民经济的推进中占据非常重要的地位，企业的现代化水平越高，其在试验设备方面的投资所占比例越大。在加速发展中国制造数字化、网络化和智能化的进程中，积极推动液压试验技术的进步与水平提升具有深远而重要的意义。

《液压试验技术及应用》结合大量应用实例，系统地介绍了现代液压试验技术的原理、方法及应用。该书的编著者在行业知名企业广州市新欧机械有限公司工作，长期从事液压试验设备的设计开发与制造工作，积累了丰富的理论与实践经验，所以本书也是专业技术工作实践与探索的理论成果。该书内容丰富先进，数据翔实可靠，表述通俗易懂，实例典型实用。相信此书可供液压元件与系统研发人员、液压设备使用维修人员、液压试验相关人员和高等院校相关专业的师生参考、借鉴，提供有益的帮助。

在此，我对《液压试验技术及应用》一书的出版表示诚挚的祝贺！

中国机械工程学会流体传动及控制分会主任委员
燕山大学副校长、教授（博导）



2018. 12. 20

前言

液压技术具有功率密度高、配置灵活、可靠耐用、动力传递方便等优点,广泛应用于大中型设备。作为自动化控制领域中关键技术之一,液压技术广泛应用于机械制造、工程建设、石化、矿山、农业、军用、建筑、轧钢、冶金等机械设备中。提高我国的液压技术水平是中国重型装备制造业走向世界领先水平的必要条件。

液压试验及液压技术与产业发展进步密切相关。

液压技术基础研究和应用研究阶段,科研工作者要进行大量的试验,通过实际试验测试验证理论分析或者仿真成果。在液压产品研发阶段,也需要相关液压试验技术,通过对液压元件进行测试提升关键液压部件的研发能力。液压元件与系统的制造、安装、调试、使用及维修,也要依靠试验系统检验系统性能、产品质量与工作质量。液压试验是液压技术进步与创新的不可或缺的条件,是液压系统高效、平稳、可靠运行的重要保障。同时,液压试验也是高校相关专业液压课程教学的重要环节。

液压试验正朝着智能化、网络化的方向发展。液压试验新技术将在装备体系中发挥更大作用。

本书结合大量应用实例(其中部分实例来自广州市新欧机械有限公司),系统介绍了现代液压试验技术。

全书共7章:第1章是概论;第2章介绍液压试验台相关控制与机电系统;第3~5章分别介绍液压泵与液压马达、液压阀、液压缸试验技术;第6章介绍液压试验的关键技术;第7章介绍液压试验领域新技术及应用。

本书由王起新、黄志坚合作编著。其中第1、2、3、6章主要由王起新编写;第4、5章,及其他部分主要由黄志坚编写;第7章由两位作者共同编写。

本书的读者对象主要是液压元件与系统的设计开发、使用维修人员,液压试验相关人员,高校相关专业的师生。

知名专家学者许仰曾教授、孔祥东教授、湛从昌教授、方庆瑄教授、徐兵教授(长江学者)、荆宝德教授、冀宏教授、魏列江教授等,全国液压气动标准化技术委员会罗经博士、林广总工程师,以及黄埔工程机械行业协会陈坤明会长等在液压试验技术创新活动中给予了作者多方面的有力支持与热情帮助,在此致以衷心的感谢!

在本书编写过程中,广州市新欧机械有限公司梁若霜、于彩新、周世平、罗深祥、吴琼中、杨威舜、王辉秋、安剑等,以及其他设计开发人员在液压试验领域与作者一起辛勤工作,攻坚克难,取得成绩,在此一并致谢!

编著者

1 液压试验概论

1.1 液压试验技术及应用概况	1
1.2 液压试验的主要作用	2
1.3 液压试验的类型	3
1.4 液压试验的过程	4
1.5 液压试验技术的发展趋势	6

2 液压试验台及应用

2.1 液压试验台概述	8
2.2 液压试验台的设计开发	10
2.2.1 液压试验台功能需求分析	11
2.2.2 液压技术方案的确定	11
2.2.3 测试系统设计	13
2.2.4 PLC 控制系统设计	18
2.2.5 测试软件的开发	22
2.2.6 试验系统的应用	25
2.3 液压试验台应用实例	28
2.3.1 工程机械液压多路阀试验台	29
2.3.2 电液伺服阀试验台	36
2.3.3 大流量电液比例插装阀测试试验台	40
2.3.4 液压阀疲劳及耐高压试验台	43
2.3.5 基于 WinCC 的液压缸 CAT 系统	48
2.3.6 基于网络监控的大型液压试验平台	50

3 液压泵-马达试验技术及应用

3.1 液压泵-马达试验基础	55
3.1.1 液压泵-马达试验技术条件	55
3.1.2 齿轮泵试验方法	56
3.1.3 叶片泵试验方法	59
3.1.4 轴向柱塞泵试验方法	63
3.1.5 液压马达试验方法	67
3.2 液压泵-马达试验应用实例	71

3.2.1 液压泵效率与排量特性试验	71
3.2.2 液压泵气蚀分析与试验	76
3.2.3 基于虚拟样机的液压泵寿命试验方法	78
3.2.4 双定子摆动液压马达泄漏与容积效率分析	83
3.2.5 带螺纹插装式溢流阀的液压马达特性及试验	86

4 液压阀试验技术及应用

4.1 液压阀试验基础	91
4.1.1 方向控制阀试验	91
4.1.2 压力控制阀试验	96
4.1.3 流量控制阀试验	99
4.1.4 多路阀试验	104
4.1.5 比例/伺服阀试验	111
4.2 液压阀试验应用实例	115
4.2.1 电液换向阀出厂试验	115
4.2.2 比例溢流阀特性测试与分析	119
4.2.3 电液比例阀综合性能测试	123
4.2.4 基于 PLC 的液压多路阀试验	126
4.2.5 起重机液压多路换向阀试验	131
4.2.6 铝合金液压阀岛溢流阀静动双态特性的测试	136
4.2.7 自动变速器液压系统动态响应特性试验	142
4.2.8 液压阀泄漏量的测试	144

5 液压缸试验技术及应用

5.1 液压缸试验基础	147
5.1.1 普通液压缸	147
5.1.2 比例/伺服控制液压缸	150
5.2 液压缸试验应用实例	154
5.2.1 大缸径长行程液压缸试验	154
5.2.2 具有功率回收功能的液压缸试验	156
5.2.3 伺服液压缸试验	159
5.2.4 电液步进缸的试验	161

6 液压试验关键技术

6.1 测试精度的控制	164
6.1.1 液压试验系统误差来源及精度指标	164
6.1.2 液压试验系统提高精度的措施	167
6.2 试验系统温度控制	173
6.2.1 系统油温控制要求及方案	173
6.2.2 油温控制方式与策略	174
6.3 振动与噪声控制	177

6.3.1	液压泵和液压马达的振动与噪声	177
6.3.2	溢流阀的振动与噪声	178
6.3.3	其他原因造成的振动与噪声	178
6.3.4	振动与噪声的控制方法	179
6.4	系统安全防护	180
6.4.1	系统安全性概述	180
6.4.2	机械结构与液压系统的安全	181
6.4.3	电气控制系统的安全	182
6.5	加载技术	183
6.5.1	飞机液压试验加载系统	184
6.5.2	工程机械动力总成试验台液压加载系统	187

7 液压试验新技术

7.1	液压系统半实物仿真技术及应用	191
7.1.1	半实物仿真技术	191
7.1.2	数字液压减摇鳍半实物仿真	192
7.1.3	发射车液压系统半实物仿真	194
7.2	液压元件加速试验技术	198
7.2.1	液压元件加速试验基本原理与方法	198
7.2.2	液压泵失效模式及加速试验	200
7.3	液压试验功率回收技术	203
7.3.1	液压试验功率回收的意义与方式	203
7.3.2	液压泵功率回收试验系统	204
7.3.3	多功率回收形式的液压泵马达测控系统	205
7.4	电液谐振疲劳试验新方法	205
7.4.1	电液谐振疲劳试验工作原理	206
7.4.2	电液谐振疲劳试验技术应用	208
7.5	纯水液压元件的设计开发及试验	209
7.5.1	纯水电磁溢流阀设计开发	209
7.5.2	纯水电磁溢流阀试验	211

参考文献

1.1 液压试验技术及应用概况

(1) 液压试验的重要性

随着中国现代化进程的推进，中国的制造业得到了前所未有的发展，各项技术也都有了巨大的飞跃，中国正从“装备大国”朝着“装备强国”的方向迈进。液压技术具有功率密度高、配置灵活、可靠耐用、动力传递方便等优点，广泛应用于大中型设备，为我国的国民经济建设作出了重大的贡献。作为自动化控制领域中的关键技术之一，液压技术广泛应用于工程、石化、矿山、农业、军用、建筑、轧钢、冶金等机械设备中。提高我国的液压技术水平是中国重型装备制造业走向世界领先水平的必要条件。

液压技术的提高需要科研工作者进行大量的试验，通过实际试验测试验证理论分析或者仿真成果。同时，通过对液压元件进行测试提升关键液压部件的研发能力。因此，试验技术的应用和大力发展是提高国内液压技术水平的基础。

试验技术在液压技术领域的应用主要包括两个方面：一方面是获得符合国际标准的液压系统、液压元件性能测试报告；另一方面为液压系统及液压元件的研究提供技术基础，为测试试验提供必要条件。

(2) 液压 CAT 技术

计算机辅助测试技术（CAT）是将计算机技术与测试技术结合起来对系统进行控制及数据采集、传输和处理的技术，它集成了计算机、自动控制、测试、数字信号处理、可靠性等多门技术。计算机辅助测试技术应用于液压测试系统中提高了液压测试系统的智能化程度。液压 CAT 技术是在计算机中搭建一套数据采集和测试控制系统，如图 1-1 所示，将计算机系统与液压试验台连接起来。液压系统中的流量、压力、转速、转矩、温度等信号由系统中的传感器测试出，并由计算机对数据进行采集和处理。在试验过程中，测试系统根据操作人员的操作及测试系统中传感器反馈的信号对整个测试过程进行控制，进而实现计算机对整个测试系统的状态监控，保证测试过程按照测试要求和指标顺利完成。同时系统具备强大的数据处理能力，可以保证测试数据准确完整的采集并通过数据处理系统进行处理和存储。

随着电子技术的飞速发展，液压技术正朝着高速化、功能多样化、高智能化等方向发展。液压技术的硬件技术系统主要包括计算机主机、传感器、信号调理模块以及信号的传输接口等设备。液压测试系统的控制器已经从传统的单片机发展到目前的高速计算机，数据运算速度提



图 1-1 液压 CAT 技术结构框图

高了 25 倍。传感器技术日新月异，大量新型的传感器不断涌现，传感器在量程、测试灵敏度和精度等方面都有了较大的发展。A/D、D/A 技术及信号处理技术的发展保证了采集信号的精确程度。数据总线技术的发展大大提高了测试过程中计算机和测试系统之间的通信能力。传统的液压 CAT 系统采用相对低级的编程语言，编程难度较大。C++、Delphi 等语言的出现简化了编程过程，在一定程度上缩短了系统的开发时间。目前，以面向对象的编程语言 LabVIEW 的出现进一步促进了 CAT 技术的发展，将液压

测试技术推向了一个新的高度。虚拟仪器技术以其融合计算机强大资源的能力，实现了部分硬件的软件化，增加了测试软件系统的灵活程度，打破了传统测试装备在存储、显示等方面的限制。

1.2 液压试验的主要作用

(1) 验证设计要求与装配质量

在设计液压元件时首先设定性能要求，如压力、流量、寿命、动态特性等，根据这些性能选择材料，确定配合间隙、加工精度、油口大小、摩擦力等，当液压元件制造成功后，还需通过试验来检验其性能是否达到要求。

按照图纸对加工精度、光洁程度、表面处理、装配要求通过试验获取的结果进行检验，也能反映加工、装配的质量。

(2) 为研发新的液压元件提供支持

研发新的液压元件，一般是从理论分析、建立数学模型、进行仿真分析提出液压元件结构，通过设计计算出加工图，进而通过加工、装配组成新的液压元件。此外，必须通过试验，测定其性能是否达到研发时提出的性能要求，若未达到，必须修改原研发方案，经过不断改进，方可实现研发新元件的目的。

(3) 检验维修后液压元件的性能

液压元件维修后，其性能恢复到什么程度，不通过试验是很难确定的，这将决定该液压元件能否重返原液压系统工作。一般情况下，维修后的液压元件的性能均有所降低，但降低到什么程度，是否仍可以继续使用，应通过试验来判定，切不可依靠想象来决定。

(4) 对在用液压元件进行故障诊断

在使用一段时间后，系统的液压元件必然有不同程度的损坏，个别元件损坏比较严重时，直接影响液压系统正常工作。一般情况下，取出已损坏的液压元件，在试验台对其性能进行检测，检测中可以发现损坏的部位，进而对其进行修复，不能修复的元件作报废处理。

(5) 检验新购或库存液压元件的性能

对新购或库存液压元件需进行性能检测。新购液体元件由于出厂、运输等原因对其性能会

造成影响；库存液压元件由于仓库条件差、存放时间长、搬动等原因，也会对其性能造成影响。为了使更换上线的液压元件可靠性高，使生产线能顺利投入运行，对新更换的液压元件进行性能检测也是必要的。总之，对新购或库存液压元件进行性能试验是为了验证该元件是否达到产品样本要求，为液压系统正常工作提供保障。

(6) 液压系统调试

液压元件组装到主机上之后，要检验在各种实际应用工况中的表现是否符合设计时的预想，要进行测试试验。

(7) 液压系统状况实时监测

重大设备在运行时，都需要进行实时监测，包括液压参数。例如，远洋舰船舵机液压系统的压力都是持续监测记录的，即使没有突发性故障，在返回母港后，也会读取分析。如果设备处于不便接近的位置，如风力发电机，则利用无线通信网络和因特网远程传输数据，以便及时了解系统状况，在发生严重事故前，尽早发现问题，预防故障。

(8) 液压课程教学

在机电类专业液压课程教学中，一般安排理论课、实验课和课程设计等环节，液压试验是不可或缺的中间环节。学生在理论课的基础上，由此更加深入具体地掌握液压技术的工作原理及设计应用方法，后续的液压课程设计才能顺利进行。

1.3 液压试验的类型

液压试验的类型很多，可以根据不同角度来分。

(1) 根据试验对象分类

① 部件试验 试验对象越是精炼简单，成本就越低，见效就越快。所以，应该对液压元件中的关键部件，如弹簧、柱塞泵中的柱塞，先单独进行试验。

② 液压元件试验 对液压元件在标准规定的或实际应用的工况下进行试验，以了解其功能、性能。

③ 液压系统试验 将液压系统装在主机上后进行试验，以考察是否达到主机要求，判断液压元件的适用性、寻找故障等。

(2) 根据试验内容分类

① 功能性试验 目的在于测试被试件能否完成指定的功能，例如阀的压差-流量特性试验、密封性（泄漏量）试验、泵、马达的效率（能耗、温升）试验、换向阀的工作范围试验、液压元件的瞬态响应性能试验、噪声试验、手动元件的操作性试验。

② 长期性能试验

a. 耐压性试验 进行短时间的试验，静态试验压力为许用压力的 125%、150%，甚至 200%。目的在于了解被试件在虽不持续超过许用压力但有压力冲击，偶尔瞬间超过许用压力下的情况下能否坚持长期工作。这种试验需要的时间短、成本低，可以比较频繁地进行，但其价值有限，并不能完全代替耐久性试验。

b. 耐久性试验 比较接近实际使用工况的长时间运行。一般采取满载，为了缩短试验时间可采取超载、超速、冲击等形式进行强化试验。

c. 密封件与特殊油品的相容性试验 为了确定密封件与特殊油品是否相容，一般把密封件浸在液压油中，加热一段时间，检查密封件是否膨胀。

③ 应用环境试验 目的在于考核被试件对环境的适应能力。

a. 低温试验 主要根据产品具体的使用场合而确定。还分储存温度和工作温度。其实，

特别关键的是起始工作温度,因为刚开始工作时,油温较低,油液黏度很高,油液不易进入摩擦副之间形成润滑膜,从而影响润滑状况。

b. 高温试验 高温会降低油液黏度,使之不易停留在摩擦副之间,特别是在受到高负载和冲击负载时。所以,实际上很重要的是使用什么牌号(黏度)的液压油。

c. 防水防尘 IP 等级(ISO 20653)试验 特别是对液压用电设备。

d. 耐污染试验 尤其是使用环境中灰尘多,液压油中污染颗粒较多时。

e. 耐腐蚀(盐雾)试验 如元件用于露天、海上或海水中。

f. 防爆环境试验 如用于矿井中或粉尘环境中。

g. 高压试验 如用于深海作业。

h. 负压乃至高度真空试验 如用于航空航天。

此外,还有振动、冲击试验等。

(3) 根据试验性质分类

① 型式试验 对产品进行全面的性能试验和考核,目的在于对产品的鉴定和新产品的定型,一般根据标准规定的项目和方法进行试验。其实测量的成分居多。

② 出厂试验 主要是针对已定型,并且有一定批量的产品,以考核其性能要求。其实主要是检查,有一些测量。

③ 研究性试验 为某些研究目的对液压系统、液压元件或其中的部件进行非标准工况下的试验。

④ 教学性试验 相关专业液压课配套的试验。

1.4 液压试验的过程

(1) 分析试验目的

鉴于不同的试验目的所要求的测试方法、测试重点、准确度等级,仪器设备也不同,因此首先要将试验目的搞清楚,究竟为什么试验,要测什么。这时,应该研究相应的国家、行业和企业标准,研究实际应用场合。试验目的最终应以试验任务书、试验合同等形式书面明确地固定下来,作为进一步准备试验的依据。

(2) 规划试验

在分析的基础上对整个试验方案进行全面周密的规划。规划时应重点考虑以下一些方面。

① 对被试件进行分析 在明确了试验目的后,应根据已有的理论和经验,对被试件的结构组成、工作方式、特性等,进行尽可能深入的了解与分析,从而理解、确定试验的具体内容及要求。这时不应把被试件当作黑盒子,因为分析越深入,收获会越大。

② 预估试验结果 根据已掌握的理论和经验,预先估计可能得到的试验结果、记录曲线的形态。这非常有利于提高对被试件的理解及试验的准备,同时,也有利于在试验中及时发现测量结果中的粗大误差。

实践和理论总是有差距的,试验中还是可能出现预估之外的状况,所以,预估并不能取代试验。而通过试验,发现试验结果与预估的差别,就可以弥补经验与理论的不足。

③ 确定抽检数量与批次 确定应抽检的数量与批次时需要考虑以下因素。

a. 被试件的代价 弹簧代价相对低些,使用量又大,应多抽些检查,即大子样;而液压泵相对价格较高,试验代价也高,只能少抽些检查,即小子样。

b. 试验性质 出厂试验代价较低,一般应全检;而进行型式试验,特别是耐久性试验时,时间长、代价高,只能少试些。

c. 走访调查 应通过访问制造部门, 考察生产工艺与管理, 了解该产品的质量稳定性。稳定性低的, 抽检数量与批次就应多些。

④ 分析设计试验回路 一些标准提供了试验回路, 应取来分析参考, 酌情修改。如果确实不符合自己的需要, 就必须另行设计。这时设计的回路只需要原理性的、概略的、初步的。

由于实际系统中的负载常常不易安装在试验台上, 所以经常用节流阀或溢流阀来模拟负载。但是, 必须认识到: 节流阀、溢流阀只能模拟稳态负载压力, 不能模拟负载的惯量, 因此不能反映系统的瞬态响应特性; 节流阀模拟的负载压力随通过节流阀的流量而变, 溢流阀模拟的负载压力基本不随通过溢流阀的流量而变, 但可能会引入振动。

⑤ 确定试验装置与环境 应根据实验室的具体情况, 确定对试验装置、测试仪表的精度以及测试环境的要求。重要的是列出那些特殊要求, 如特殊的环境及低温、高温、高湿度或其他极限条件, 特别是那些现有条件不足, 还需要设计、制造或采购的, 因为这些涉及额外的时间和费用。

⑥ 撰写试验大纲 把规划试验的结果用书面的形式固定下来, 作为进一步制订试验计划的出发点。一般试验大纲撰写完成后, 应送上级、有经验的同事、合同方或其他方审查。通过后, 再制订详细的试验计划。

以上各步骤的顺序并非绝对固定的, 也可能交叉反复进行。

如果试验比较简单, 条件也比较成熟, 也可以直接制订试验计划。

(3) 制订试验计划

在试验大纲的基础上, 进一步细化, 制订试验计划, 一般应包括下列内容。

① 试验对象: 名称、代号、材料、图样等。

② 试验的目的。

③ 试验依据的标准。

④ 详细的试验回路。应进行详细设计, 如采用多粗的管道, 测点安排在什么位置等。

⑤ 采用的测试设备、测量仪表。

⑥ 对试验条件的具体要求, 如油源压力和流量的范围、稳压程度、液压油的性能指标、允许的油温范围、污染度要求等。

⑦ 试验步骤。

⑧ 试验记录表。至少应有以下几项: 日期, 时间, 检测者, 试验油液类型、密度、运动黏度等, 试验时的实际油温, 油液污染等级, 观察项目, 观察情况。

⑨ 记录数据的文件名。

试验计划准备得越充分, 试验就会越顺利, 以致达到事半功倍的效果。匆匆忙忙开始的试验常常以失败而告终: 测了一系列数据, 却分析不出有用的结果。

研究性、尝试性试验, 在试验前, 由于存在很多未知因素, 很难详细准确计划。即便如此, 也还是应该尽可能地计划, 然后在试验过程中再根据情况修改补充。还可考虑设计一些预试验, 增加了解, 就可避免以后的“从头再来”。试验计划中的很多内容是以后试验报告中可以取用的。所以, 试验计划越详细, 以后编写试验报告就越省力。

(4) 准备试验

① 选择、设计或添置试验设备。

② 安装调试试验回路及测量装置。

③ 标定测量仪器及系统。

④ 准备试验环境条件: 稳定油温、流量、负载、压力等, 达到要求。

(5) 进行试验

进行试验, 记录试验数据和观察到的现象等。

试验过程中，应及时观察分析试验曲线是否有粗大误差，必要时应重复试验。

记录要完整。试验记录越完整，参考价值越大。尝试不一定能成功，试制品不一定能成为产品，但是这并不意味着失败。某个方案、某个措施虽然不能在这个产品上应用，但可能在另一个产品上得到应用；虽然在这个环境中不适用，但可能在另外一个环境中可以应用。所以重要的是做好记录。记录下试验的环境和条件、试验的过程、试验中观察到的现象。很重要的是在试验过程中就要做记录，而不是结束以后再去补，因为那样很容易遗忘，很难保证真实完整。特别是研究性试验，有无完整的记录是十分重要的，甚至比试验结果本身更重要。

(6) 编写试验报告

① 基本原则

- a. 要完整反映试验设备与过程，要能做到通过试验报告可再现试验结果。
- b. 要真实反映试验结果，能使读者信任。
- c. 要有条理，脉络清楚。
- d. 要很好地归档，方便查询。

② 注意事项

a. 以下内容建议安排在试验报告的首页，一目了然，以方便领导、客户及其他急需了解试验结果的人员阅读。

- i. 被试件的名称与代号。
- ii. 供货方、供货日期，委托试验的单位、日期等。
- iii. 执行试验的单位、员工、地点、日期等。
- iv. 试验结果、结论。

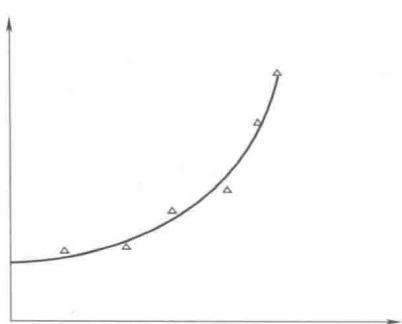


图 1-2 试验数据拟合曲线
△—实际测量点；——拟合曲线

b. 要有关于被试件的详细信息：图样（装配图与零件图，含实测尺寸）、材料、生产（热处理）工艺等。

c. 试验系统与回路中要标明测点位置与代号。附上试验装置的照片。

d. 试验用油的类型、试验温度、油液污染等级。

e. 试验数据处理分析。为了去除粗大误差、随机误差，做一些适当的处理是可以的，但绝对不能修改，使试验数据失去真实性。如果曲线是根据试验数据拟合出来的，应标明实际测量点（图 1-2）。保留原始的手写试验记录表，可以增加报告的可信度。

f. 试验中如发生故障，也应真实详尽记录发生的时间、部位、现象、排除措施等。这些对改进被测件的设计及试验回路是极有价值的。

g. 试验结果分析与综述。

h. 改进试验的建议（选项）等。

要做好液压试验工作，除了要有先进的检测设备外，还要有丰富的经验，更重要的是认真的工作态度。

1.5 液压试验技术的发展趋势

(1) 试验指标更加全面

在液压试验系统中，由于人们对试验技术的需求增加，在液压技术研发时对液压系统需要试验的指标更加完善。对液压试验系统的试验指标不仅仅局限于系统的流量、压力、温度等基

本参数,还需要对系统运行时的电流、电压、转速、转矩等性能进行实时监测。完善的试验系统还需要对液压元件或系统可能出现的各种工况进行测试,得到极端工况下的性能测试数据。

(2) 试验设备的智能化程度加强

大规模集成电路技术和信息处理技术的快速发展为试验技术的智能化奠定了良好的基础,计算机技术在试验系统中的应用也大大促进了试验设备的智能化。微处理器的应用使试验设备逐渐朝着小型化、功能多样化发展,与计算机之间的关系逐渐变得密不可分。虚拟技术的应用进一步提高了试验系统的智能化程度,也进一步提高了试验设备的分析处理能力。

(3) 网络化测控技术的应用

随着试验系统智能化程度提高和计算机通信在试验技术中的应用,测试仪器已经具备网络传输数据的能力。大型试验系统正在从集中控制方式朝着成本低、智能化程度高的高性能数字网络方向发展。由于大型试验系统及远程测试技术中各测试点分布范围较广,试验设备之间需要有更强的数据传输能力,因而推动了计算机 Intranet 和 Internet 与试验技术的结合,有力促进了试验设备和网络测控技术的发展,推动液压试验系统的远程测试、远程故障诊断功能的发展。

(4) 测试精度更高

在测试过程中,系统精度是测试系统中一个永恒的主题。随着科学技术的发展,各领域对测试精度的要求逐步提高。系统的精度反映测试所得数值表达被测试物理量的精确程度,测试系统精度越高,测试结果越能精确传递其数值的意义。系统精度是整个系统水平的重要指标之一。在液压测试过程中,测试原理、干扰、测试仪器等原因会导致测试误差的产生,因此提升测试系统的精度也是未来液压测试系统一个重要的研究方向。

(5) 测试数据更安全可信,更便于数据共享与交易

区块链技术应用已应用于液压试验。这种区块链作为一种使数据库安全而不需要行政机构的授信,通过区块链各方可以获得一个透明可靠的统一信息平台,解决了数据的信任和安全问题。其更重要的一个技术特点称为智能合约。智能合约是基于这些可信的不可篡改的数据,可以自动执行一些预先定义好的规则和条款。如试验中,有人可能怀疑数据人为干预或修改,企业的测试数据客户不相信,要去找第三方检测评价等。区块链技术应用使得对“人”的信任改成了对机器的信任,任何人为的干预不起作用。

2.1 液压试验台概述

液压试验台用于液压泵、液压马达、液压阀、液压油缸等及液压部件的性能检测试验。液压试验台主要由液压系统、电气传动系统、测控系统组成。

(1) 液压试验台的发展

近些年液压测试技术在计算机测试技术、传感器技术、液压技术发展的推动下取得了快速的发展。伴随着计算机辅助测试系统 CAT 技术的发展与成熟,计算机辅助测试系统在液压测试中得到了广泛的应用,几乎出现在所有的液压元件的测试试验台上。

现代液压 CAT 测控系统总体上呈现出一定的发展趋势与特点,可归结为以下几点。

① 测控过程智能化。在现代测控系统中,硬件上采用智能化仪表及控制器,软件上采用神经网络、模糊逻辑、专家系统等人工智能算法,测控系统运行过程中,无需现场操作人员过多参与,系统除了能够按照既定的程序执行试验流程、采集试验数据外,还能在发生突发状况时及时作出响应,并实现对测试装置的故障诊断与维护。

② 测控技术网络化。随着测控系统智能化程度的提高及计算机通信在测试技术中的应用,测控系统已具备了网络数据传输能力。由于大型测控系统中各测试节点分布范围较广,测试装置间需要具备更强的数据传输能力,因而推动了计算机网络技术与测试技术的结合,有力地促进了液压测控系统远程监控及远程故障诊断功能的发展。

③ 测控系统柔性化。现代测控系统与传统以硬件为主的测控系统不同,其使用标准化软件进行上、下位机系统界面的组态,并构建系统通信网络,系统不仅易于编辑与移植,使用起来也更加方便,在相同的硬件条件下只需通过软件的调整设置便可实现系统不同的测控功能。

此外,传统液压 CAT 系统采用相对低级的编程语言开发,编程难度大,开发周期长,C#、C++和 Delphi 等语言的出现简化了编程过程,在一定程度上缩短了系统的开发时间,推动了液压 CAT 系统技术的发展;面向对象的图形化编程语言 LabVIEW 的问世进一步促进了 CAT 技术的发展,虚拟仪器技术以其融合计算机资源的强大能力,实现了部分硬件的软件化,从而增加了测试软件系统的灵活程度,将液压测试技术推向了一个新高度。随着计算机技术、通信技术、工业控制技术的快速发展,数据采集处理、过程控制、柔性测试及信息传输等技术逐步交叉结合,软件化仪器的性能将实现更深层次的突破,虚拟仪器技术也必将在液压