

流体污染与净化 计量检测技术

金涛 杜立鹏 郝新友 等编著



LIUTI WURAN YU JINGHUA
JILIANG JIANCE JISHU



化学工业出版社

流体污染与净化 计量检测技术

金涛 杜立鹏 郝新友 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

《流体污染与净化计量检测技术》一书分为上、下两篇。上篇简要回顾了我国颗粒度计量测试技术的发展历程,阐述了流体污染的特征与危害、液样的采取、污染的测量和分级方法,详细介绍了颗粒度测量仪器的计量技术及其发展和影响。下篇阐述了流体污染过滤净化性能的检测方法,重点介绍了液压过滤器、车用机油滤清器、燃油滤清器和空气滤清器以及通风用空气过滤器的结构要素、工作原理、试验原理以及注意事项等内容。

本书可供从事颗粒度计量、流体污染检测与过滤净化专业的工程技术人员和管理人员使用,也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

流体污染与净化计量检测技术/金涛等编著. —北京:化学工业出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-122-28555-3

I. ①流… II. ①金… III. ①颗粒度-计量测试②净化设备-性能-计量检测 IV. ①TQ577.7②TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 288605 号

责任编辑:王清颢

装帧设计:王晓宇

责任校对:宋 玮

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张21½ 字数545千字 2017年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 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:116.00 元

版权所有 违者必究

编辑委员会

主 任：金 涛

副 主 任：杜立鹏 郝新友

编 委：（按姓氏音序排序）

杜立鹏 丰 兰 耿 聪 高振萍

黄 河 郝新友 金 涛 吕宏楠

吴 强 熊丽媛 张 万 张 雄

审稿人员：路 红 宋 科 梁圣伟

前言

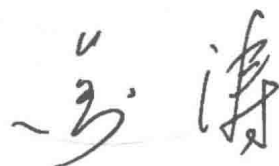
Foreword

众所周知,冶金、汽车、船舶、工程机械、石油化工、环控净化以及航空航天等工业领域装备中普遍都有流体系统,诸如液压系统、润滑系统、燃油系统和气动系统等,均采用油液、气体等流体类工作介质来实现应有的功能与作用。流体工作介质中的污染将导致系统故障频发、功能失效、寿命骤减等不可控的严重后果,为了有效降低污染故障率,提高工作可靠性,保持装备在全寿命周期内安全可控的运行,人们越来越重视流体系统污染控制技术的应用。开展流体系统污染控制的前提,一方面是如何准确地发现污染,另一方面是怎样有效地净化污染。“发现污染”离不开准确、可靠与统一的流体污染计量技术作保障;“净化污染”更需要公正、科学、准确、高效的流体污染过滤、分离与净化检测技术作支撑。为满足工业领域流体污染计量测试和过滤净化检测技术日益发展的需要,我们编著了《流体污染与净化计量检测技术》。

本书分为上篇“颗粒度计量测试技术”和下篇“流体过滤净化检测技术”。上篇介绍了我国流体污染控制——颗粒度计量测试技术发展的不平凡历程,探讨了颗粒度计量测试技术内涵,全面总结了所取得的新成果、新突破,全面、系统、科学地论述了颗粒度计量测试技术体系。下篇重点介绍了流体污染过滤净化性能的检测方法及技术内涵。在相关的检测方法标准中对试验条件、试验要求、试验流程、数据处理、结果报告等都有具体的规定和要求,至于为什么这样规定、那样要求,则在本书中进行了技术性的系统论述,尤其是被试产品的结构要素、试验原理、工作原理、注意事项等事关操作正确性和结果准确性的关键内容得到了较为全面、细致的阐述,以利于指导人们深入理解试验标准的技术原理,更加规范实际操作和实践。

本书主要编著人员多年从事流体过滤产品设计与工艺技术、流体污染测试与颗粒度计量技术、过滤净化性能检测与验证技术的研究与实践,理论基础全面、实践经验丰富。全书共分为14章,第1章由杜立鹏撰写1.1,金涛撰写1.2和1.3;第2章由丰兰撰写;第3章由高振萍撰写;第4章由耿聪撰写4.1、4.3和4.4,郝新友撰写4.2;第5章由黄河撰写;第6章由郝新友撰写;第7章由郝新友撰写7.1、7.3,耿聪撰写7.2;第8章由金涛撰写8.1.1,杜立鹏撰写8.1.2~8.1.4和8.2.7,吕宏楠撰写8.2.1~8.2.6,吴强撰写8.3;第9章由杜立鹏撰写9.1和9.2.1~9.2.7,金涛撰写9.2.8;第10章由吴强撰写;第11章由张雄撰写11.1、11.2,熊丽媛撰写11.3;第12章由吕宏楠撰写12.1、12.3,耿聪撰写12.2;第13章由张万撰写;第14章由吕宏楠撰写。路红、宋科和梁圣伟负责审稿工作,并帮助修改和增加了有关章节内容。

由于水平和能力有限,不足之处在所难免,敬请各位读者批评指正!



2017年1月16日

目录

CONTENTS

上篇 颗粒度计量测试技术

第 1 章 颗粒度计量概述	1
1.1 发展历程	1
1.1.1 起步阶段	1
1.1.2 计量管理阶段	5
1.2 颗粒度计量的基本特性	10
1.2.1 基本特点	10
1.2.2 专业特点	11
1.2.3 技术特性	12
1.2.4 管理特性	12
1.2.5 专业范围	13
1.3 主要贡献	14
1.3.1 颗粒度计量与污染控制	14
1.3.2 颗粒度计量与国防工业	15
1.3.3 颗粒度计量与汽车工业	15
1.3.4 颗粒度计量与机械工业	15
1.3.5 颗粒度计量与测量仪器	16
第 2 章 流体污染的特征	17
2.1 颗粒污染物的特性	17
2.1.1 几何特性	17
2.1.2 粒径和分布	18
2.1.3 污染度与颗粒度的关系	19
2.2 流体系统中的污染物	20
2.2.1 来源	21
2.2.2 类型	21
2.3 污染的基本特征	21
2.4 颗粒污染导致的故障模式	22
2.4.1 突发性故障	22
2.4.2 渐进性故障	22

2.4.3 污染故障率	22
第3章 液样的采取	24
3.1 采样容器选择和使用	24
3.1.1 采样容器的要求	24
3.1.2 采样容器的选用	25
3.1.3 采样容器的检验	27
3.2 液样采取	30
3.2.1 采取有代表性的液样	30
3.2.2 采取液样的方式	31
3.2.3 采取液样的方法	33
第4章 污染的测量	38
4.1 污染的测量方法	38
4.1.1 水污染测量方法	38
4.1.2 空气污染测量方法	40
4.1.3 颗粒污染测量方法	41
4.2 液体颗粒计数器	44
4.2.1 类型	44
4.2.2 结构与工作原理	49
4.2.3 性能参数	50
4.2.4 使用	53
4.2.5 日常维护	55
4.3 液样处理	60
4.3.1 颗粒的分散	60
4.3.2 液样的稀释	61
4.3.3 液样的除气	63
4.3.4 液样的除水	63
4.4 颗粒污染度的测量	65
4.4.1 重量分析法	65
4.4.2 光学显微镜计数法	66
4.4.3 显微镜对比法	68
4.4.4 液体颗粒计数器法	69
第5章 颗粒污染度的表示方法与等级标准	72
5.1 颗粒污染度的表示方法	72
5.2 颗粒污染度的等级标准与判定	72
5.2.1 NAS 1638 等级标准	73
5.2.2 ISO 4406 等级标准	74

5.2.3	GJB 420 系列等级标准	79
5.2.4	其他等级标准	84
第 6 章 颗粒度测量仪器的检定/校准		92
6.1	颗粒度测量仪器的量值溯源与传递	92
6.2	颗粒度计量标准装置	93
6.3	检定/校准用颗粒标准物质	94
6.3.1	多分散颗粒标准物质	94
6.3.2	单分散颗粒标准物质	101
6.3.3	颗粒标准物质的使用	104
6.4	液体颗粒计数器的尺寸校准	105
6.4.1	目的和意义	105
6.4.2	校准条件和校准周期	106
6.4.3	校准方法	107
6.4.4	校准曲线的绘制	112
6.4.5	校准方法的选择	113
6.5	液体颗粒计数器性能参数的测量	114
6.5.1	阈值噪声水平	114
6.5.2	动态范围	115
6.5.3	取样体积误差	115
6.5.4	体积测量变异系数	116
6.5.5	重合误差极限	117
6.5.6	流量极限	119
6.5.7	分辨力	121
6.6	液体颗粒计数器的检定	126
6.6.1	水介质测量仪器的检定	126
6.6.2	油介质测量仪器的检定	130
第 7 章 颗粒度计量技术的发展及影响		133
7.1	ISO MTD 带来的影响	133
7.1.1	ISO MTD 的历史背景	133
7.1.2	ACFTD 与 ISO MTD	135
7.1.3	ISO 11171 校准方法的主要改变	139
7.1.4	ISO MTD 标准带来的影响	142
7.2	SRM2806b 带来的影响	152
7.2.1	SRM2806a 与 SRM2806b 相比存在的问题	152
7.2.2	SRM2806b 对校准结果的影响	154
7.3	颗粒度计量技术的发展趋势	157

下篇 流体过滤净化检测技术

第 8 章 油液过滤净化基础知识	161
8.1 过滤性能主要参数	161
8.1.1 过滤精度	161
8.1.2 压差流量特性	164
8.1.3 纳垢容量	165
8.1.4 冒泡压力	165
8.2 过滤精度检测方法	165
8.2.1 显微镜目数法	165
8.2.2 重量法	166
8.2.3 气泡点试验法	167
8.2.4 最大粒子通过法	168
8.2.5 单次通过试验法	168
8.2.6 多次通过试验法	170
8.2.7 颗粒计数技术在过滤性能检测中的应用	171
8.3 检测结果质量保证	173
第 9 章 液压过滤器检测技术	175
9.1 液压过滤器	175
9.1.1 液压过滤器的作用	175
9.1.2 液压过滤器的类型	176
9.1.3 液压过滤器的结构	176
9.2 液压过滤器的性能检测方法	178
9.2.1 结构完整性	178
9.2.2 抗破裂性	180
9.2.3 相容性	181
9.2.4 端向载荷	182
9.2.5 流动疲劳特性	182
9.2.6 压降流量特性	184
9.2.7 过滤性能多次通过试验	185
9.2.8 基于过滤性能判定过滤器优劣的方法	194
第 10 章 机油滤清器检测技术	199
10.1 机油滤清器	199
10.1.1 机油滤清器的作用	199
10.1.2 机油滤清器的类型	199

10.1.3	机油滤清器的结构	200
10.2	机油滤清器的性能检测方法	201
10.2.1	旁通元件特性	201
10.2.2	压降流量特性	203
10.2.3	高压降特性	203
10.2.4	高温特性	204
10.2.5	冷起动模拟与液力脉冲疲劳	205
10.2.6	静压破损	206
10.2.7	振动疲劳	207
10.2.8	止回阀性能	209
10.2.9	滤清效率	211
10.2.10	累积效率和容灰量	213
第 11 章	燃油滤清器检测技术	216
11.1	燃油滤清器	216
11.1.1	燃油滤清器的作用	216
11.1.2	燃油滤清器的类型	216
11.1.3	燃油滤清器的结构	222
11.2	燃油滤清器的性能检测方法	224
11.2.1	清洁度	224
11.2.2	原始阻力	228
11.2.3	滤清效率与纳污容量	229
11.2.4	总成破损	236
11.2.5	滤芯破损	237
11.2.6	脉冲疲劳	238
11.2.7	抗振疲劳	240
11.3	水分离性能检测方法	241
11.3.1	水污染的影响与来源	241
11.3.2	油水分离方法	245
11.3.3	水饱和度检测方法	247
11.3.4	游离水分离效率检测方法	248
11.3.5	乳化水分离效率检测方法	252
11.3.6	ISO/TS 16332: 2006 水分离效率检测方法	254
第 12 章	空气过滤基础	264
12.1	空气过滤基础知识	264
12.1.1	空气过滤机理	264
12.1.2	空气中的污染物	265

12.1.3	污染物的危害	266
12.1.4	过滤材料的作用	268
12.1.5	颗粒尺寸与过滤效率的关系	268
12.2	气溶胶测量方法	269
12.2.1	光学粒子计数器	269
12.2.2	扫描迁移率分析仪	276
12.2.3	稀释器	279
12.3	空气过滤试验粉尘	280
12.3.1	亚利桑那试验粉尘	280
12.3.2	270 目石英砂	282
12.3.3	BF1 和 BF2 试验粉尘	282
12.3.4	ASHRAE 试验粉尘	284
12.3.5	气溶胶颗粒	284
第 13 章	车用空气滤清器检测技术	286
13.1	车用空气滤清器	286
13.1.1	车用空气滤清器的作用	286
13.1.2	车用空气滤清器的类型	286
13.1.3	车用空气滤清器的结构	288
13.2	车用空气滤清器的过滤效率检测方法	294
13.2.1	重量法	294
13.2.2	粒子计数法	299
13.3	其他性能检测方法	303
13.3.1	阻力与压力降	303
13.3.2	容尘能力	306
13.3.3	变流量试验	306
13.3.4	复原性试验	307
13.3.5	滤芯破损	308
13.3.6	振动试验	308
13.3.7	失油率	309
13.3.8	密封性	310
第 14 章	通风用空气过滤器检测技术	311
14.1	通风用空气过滤器	311
14.1.1	通风用空气过滤器的类型	311
14.1.2	通风用空气过滤器的分级	313
14.1.3	通风用空气过滤器的结构	315
14.2	通风用空气过滤器的过滤效率检测方法	317

14.2.1	过滤效率检测方法概述	318
14.2.2	粒子计数效率试验方法	323
14.2.3	阻力/压差	329
14.2.4	容尘量	330
参考文献		332

上篇 颗粒度计量测试技术

第 1 章

颗粒度计量概述

固体颗粒污染物在流体系统的所有类型污染物中占据着主导地位，始终是流体污染控制的主要对象，各种类型的颗粒度测量仪器在流体系统污染物监测、预警中发挥着重要作用，颗粒度计量作为保证颗粒度测量仪器测量量值的准确、可靠一致的基本手段，是整个流体污染测控流程中不可或缺的关键一环。我国颗粒度计量技术经历了从无到有，从小到大，从标准单一到计量专业化、体系化的发展历程，伴随着流体污染控制的发展需求而逐渐成长壮大。

1.1 发展历程

1.1.1 起步阶段

1.1.1.1 液体中颗粒自动测量技术引入

颗粒与工业生产过程和人们的日常生活密切相关，为了更好地研究颗粒的性质，国外非常重视发展颗粒测量技术，以对颗粒进行定量测量。遮光法是众多颗粒测量技术中的一种，又称消光法。遮光法的基本原理是，当光束穿过一含有颗粒的介质时，部分光为颗粒所散射和吸收，使得穿过介质后的透射光强度受到衰减，其衰减程度与颗粒的大小和数量相关，利用这一关系实现对颗粒尺寸分布的测量。这种技术的实际应用最早出现在美国。20 世纪 60 年代中期，世界首台具有实用价值的遮光型液体颗粒计数器在美国诞生。该类仪器具有原理简单，测量方便，测量范围相对较宽，测量结果准确，重复性好，测量速度快等诸多优点，随后在全球范围内获得广泛推广应用，至今已成为流体污染控制领域中不可或缺的关键性

设备。

20 世纪 60~70 年代, 国外已广泛采用液体颗粒计数器来测量油液中颗粒污染物的尺寸分布和浓度, 确定油液污染度等级, 为油液污染控制技术的科学化与精确化提供了重要支撑, 与之配套使用的一些技术标准也相应建立起来。1964 年, 美国航空航天工业协会 (AIA) 制定了 NAS 1638《液压系统零件清洁度要求》污染度分级标准, 将 $5\mu\text{m}$ 以上的颗粒分为 5 个尺寸段, 规定了在 100mL 油液中不同污染度等级所含不同尺寸段的固体颗粒数, 给出了分段计数的固体颗粒污染度等级。各不同尺寸段的最大固体颗粒数的分布与 ACFTD 试验粉尘分布规律很接近。该分级方法一直沿用至今。60 年代末期, 一些美国大学生在做课题研究时, 采用光学显微镜统计得出了 ACFTD 的颗粒尺寸分布。1977 年, 国际标准化组织发布了 ISO 4402: 1977《液压传动 液体颗粒计数器的校准 采用空气滤清器精细试验粉尘 (ACFTD) 的方法》, 将 ACFTD 作为标准颗粒正式用于液体颗粒计数器的校准。

油液污染分析是实施油液污染控制的基础。我国从 20 世纪 80 年代初在机械、航空、煤炭和船舶等工业部门开展了液压污染控制的研究并逐步推行有关污染控制的技术和管理措施, 取得了一定的成效。而在油液污染分析方面, 我国还在用白色绸布过滤收集油液中的杂质, 然后依据其颜色深浅来判断油液污染程度这种落后的做法。随着我国油液污染控制技术的发展, 对现代化测试技术的需求也愈发迫切, 为液体颗粒计数器进入我国工业应用领域提供了契机。我国航空工业就是较早引入此类仪器的一个领域。70 年代末, 我国通过与英国开展航空项目合作引入了“斯贝”项目, 在附件“燃油、液压污染试验技术”子项目中引进了 7 台美国 HIAC 公司制造的 PC 320 型液体颗粒计数器。这 7 台仪器最终分配给了航空下属的几家辅机单位。其中的一台被分配到了 116 厂。该厂成立了一个测试组来分管这台仪器。该测试组面对进口新型设备, 在没有专家指导, 资料匮乏, 没有专业技能与经验的情况下, 一切从零开始, 克服了重重困难, 硬是啃下了进口设备安装调试这块儿硬骨头, 自主完成了液体颗粒计数器的安装调试。而另外 6 台仪器在长达 4 年的时间里未拆封, 一直在等待外国专家来安装调试。1983 年初, 当英国专家 Northey 先生来华安装调试这 7 台液体颗粒计数器时, 令其难以置信的是, 116 厂的仪器早已投入使用, 该专家对此颇为赞赏, 并邀请了两位技术人员随行安装调试其他仪器并培训操作人员。116 厂测试组后来发展成为国防科技工业颗粒度一级计量站 (以下简称“颗粒度一级站”), 成为完成我国航空工业首台液体颗粒计数器安装调试并投入使用的单位。

有了先进的测试仪器只是具备了硬件基础, 并不代表掌握了先进的污染测试技术。在当时的条件下, 诸如在什么样的环境下操作, 用什么类型的采样容器, 选用何种工作液, 如何清洗等事关液体颗粒计数器正确操作的基础性问题, 都没有现成的答案。液体颗粒计数器在我国还属新生事物, 大家并不熟悉, 各工业应用部门在掌握其应用方面都经历了一个逐步熟悉与摸索的过程, 并通过这一实践把外来的先进仪器和技术转化成了实实在在的技术能力。在整个行业的共同努力下, 逐步创建了适合液体颗粒计数器的工作条件: 按照试验规范要求, 建成了符合国际标准的 10000 级洁净间, 满足了液体颗粒计数器对工作环境中微米级固体颗粒的严格控制要求; 首次清洗出符合国际标准要求的洁净采样容器, 为油液污染测试和控制技术的实施开了一个至关重要的好头; 起草编制了用于流体颗粒污染测试的系列标准, 包括: 采样容器清洗方法鉴定、系统管路采取液样、液体颗粒计数器校准和测试方法等标准, 充分保证了液体颗粒计数器测量结果的准确性和重复性, 为油液污染测试技术和过滤产品过滤性能试验技术研究提供了基础支撑。

1.1.1.2 液体中颗粒自动测量技术应用

基于液体颗粒计数器的液体中颗粒自动测量技术在我国工业部门流体污染测控中普及率比较高,相比之下在我国航空工业推广应用更早,重视程度也更高。我国航空工业在油液污染分析上率先采用液体颗粒计数器,用于新型号研制与列装机型管理维护,这反映在多个层面:从新机型的设计到旧机型的改造全面铺开;标准研究部门收集相关信息、资料,规划组织标准编制;仪器研究所研制新的颗粒度测量仪器;主附机研究所在考虑为新飞机设计加入固体颗粒污染度控制参数,主附机厂则考虑如何为这些参数实施做准备。其推动作用是巨大的,深刻地影响并改变着航空工业众多主附机厂所。20世纪80年代短短的10年间,仅航空工业就购买了50余台液体颗粒计数器,彻底改变了60年代以来绸布过滤,用眼睛定性判断污染状态的落后观念与做法。航空工业领域在液体中颗粒自动测量技术方面一些好的技术与做法也逐步推广应用到了其他工业领域,全面推进了我国油液污染测试与控制技术的升级换代。

航空领域污染分析方式的变革源自现场油液系统的严重污染状况。在航空工业第一台液体颗粒计数器完成安装调试后,航空系统有关部门组织实施了为期一年的飞机液压系统污染状况取样测试摸底调查,从有关的主附机厂所、空军、基地和各大民航机场飞机以及地面模拟机取样测试近百架次,检测结果表明,苏联和美国飞机液压系统油品为“洁净”、“非常洁净”,而我国的多个机种飞机液压系统油品均为“污染”、“严重污染”。调查结果触目惊心,我国飞机液压系统污染控制状况与先进国家差距太大了,凸显在航空系统推广应用液压污染控制技术的紧迫性和必要性。原因在于我国污染分析的落后方法和技术,难以承担起准确及时进行污染控制必需的监测与报警作用。

对装备系统流体污染的测试分析是流体污染控制所有环节的基础,也往往是最为薄弱的环节,做实做好最为关键。我国航空系统较早介入颗粒计数技术的研究与应用,广泛收集研究新资料,在吸收国外先进流体污染控制技术的基础上,编制了飞机液压系统设计规范,根据航空工业实际情况编制了航空工作液污染测试系列标准,为液体颗粒计数器提供了配套的操作规范;用先进的测试分析技术为某新型飞机液压系统设计包括了过滤器选型、过滤器配置和过滤器控制能力在内的整体污染控制方案,针对系统元件的污染敏感度、污染耐受度和耐磨损等特性开展了大量的验证工作,验证结果直接用于确定该型飞机的设计指标,最终其油液污染控制能力优于国外同类机水平;自主研建了“模拟系统工况考核过滤器整个寿命期颗粒过滤效率”的试验设备和方法,成功将液体颗粒计数器应用于污染控制关键元件“过滤器”的过滤性能测试上,取得了完整详细的试验分析数据,使设计人员在为飞机液压系统选配过滤器时不再“雾里看花”,而是做到科学精确。颗粒度一级站为颗粒计数技术在我国的应用做了许多开创性的基础工作,快速促进了此先进技术在航空领域的推广应用,为航空工业飞机流体污染控制水平的起步和提高做出了积极的努力,得到了航空部有关领导和主附机厂所的充分认可与信赖,1985年被航空工业部批准为“航空工业部飞机流体系统污染测试站”。

通过应用先进的液体中颗粒自动测量技术,我国飞机液压系统污染测试和控制的整体管理与技术水平获得了较大提升。我国飞机制造业用新的污染控制理论和现代化的技术手段,开展污染测试分析和控制研究,从20世纪80年代中期完成“飞机液压系统固体颗粒污染度分级”、“飞机液压系统污染测试”系列方法制定,到90年代初“系统污染度验收水平和控制水平”和“重要附件污染度验收水平”等一系列污染控制标准颁布,通过航空工业各部门的努力,在吸收国外先进技术的同时,也总结我国的飞机污染控制实践经验,既反映了我国

当前技术水平,也规划了中长期的发展目标,革新了落后的测试方法,改变了污染测试技术不能适应现代飞机制造业要求的落后局面;采用先进的颗粒计数分析技术,揭示了飞机液压系统严重污染的现状,引起了有关部门的关注和警觉,改变了以往人们对污染严重的状况无从知晓、无所作为、安于现状,在污染危害隐患面前缺乏应有忧患意识的不利状况;通过科学验证,在已定型及虽未定型但属早期设计的、整体布局确定的飞机上,通过改进局部设计,弥补了原有设计在污染控制方面的缺陷与不足,效果显著,在新型飞机设计上采用先进的污染测控技术,满足其流体污染控制的现代化要求。总之,液体颗粒计数器为航空工业主附机厂所、技术决策等各方面提供了各型飞机流体污染控制关键状态信息,推动航空领域流体污染控制步入量化可控时代,有效提升了各机型的工作可靠性,航空工业由此奠定了良好的流体污染测控技术基础,积累了丰富的工作经验与成果,并通过积极推进资源技术共享,为相关技术在我国工业部门的推广应用起到了良好示范作用。

美国从20世纪60年代初开始使用液体颗粒计数器,到70年代初在有关标准中明确规定系统的固体颗粒污染度控制水平,大约用了10年多一点的时间。我国飞机制造业在70年代末随“斯贝”引进液体颗粒计数器,到90年代初由航空航天工业部发布航空工业标准HB 6639—1992《飞机I、II型液压系统污染度验收水平和控制水平》及HB 6649—1992《飞机I、II型液压系统重要附件污染度验收水平》,这意味着我国也用了大致相同的时间,在流体污染控制技术领域里跨越了与国外相当的、同样的发展历程。航空工业十几年卓有成效的工作积累,已经为流体污染控制技术在其他领域的发展开辟了道路,奠定了坚实基础。

1.1.1.3 颗粒度量标准和技术机构建立

随着流体污染测试技术在全球的快速发展,液体颗粒计数器的使用已扩展至众多领域,测试仪器生产厂家快速增多,国际认证认可制度的建立和人们质量意识的加强,使得液体颗粒计数器测量量值的准确性和一致性越来越受到仪器制造厂、质量控制部门和用户等多方面的关注。就航空工业而言,由于在短短几年间购进了大量不同生产厂家、不同型号规格和不同原理的液体颗粒计数器,分布在各厂所的不同部门使用,操作人员水平参差不齐,在20世纪80年代中后期,曾多次出现飞机交付方和验收方测试数据不一致引起推诿扯皮的现象,甚至发生多架飞机起落架无法放下,险些酿成大祸的严重事故和其他因油液污染引发的重大事故。为此,航空部有关部门多次委派颗粒度一级站到试飞现场排查,最终发现主要是由于仪器测试数据不准确,而误将飞机液压系统中严重污染的油液判定为合格,造成系统关键部位卡死的严重后果。面对如此严峻局面,当时的航空航天部主管领导曾强调:颗粒度量值作为涉及飞机性能安全的参数,必须纳入计量部门的归口管理。

但是如何纳入计量管理?怎样实施?因为颗粒度作为新兴的边缘计量专业,没有建立起与常规计量类似的量值溯源与传递关系,国家计量院没有专门的技术机构,没有建立计量标准装置,颗粒度量值在国内无法溯源。而当时在国际上各国的溯源也只是溯源至国际标准规定的一种给出颗粒尺寸与分布的粉尘,根据该粉尘的分布配制成油中颗粒悬浮液样品对仪器进行校准,但各国计量部门没有将颗粒度量值纳入计量,都是仪器制造厂配制颗粒悬浮液样品在仪器出厂前对仪器进行校准,而用户在买完仪器后就几乎不再考虑校准,尤其当时在我国对这些问题还处于意识懵懂阶段,而各公司之间和一个公司的每批样品之间都存在着显著的差异。就技术层面而言,不能溯源至外国仪器厂配制的油中颗粒悬浮液样品。怎么办?怎样将国外先进的校准技术与中国特有的计量管理模式相结合?如果在我国国防工业申请成为计量技术机构,必须建立计量标准装置,经由国防工业计量主管部门按要求严格考核。于是,随“斯贝”项目引进的为国防流体污染测试分析和控制做出了杰出贡献的那台液体颗粒

计数器,通过国防工业计量主管部门的严格考核,被批准为“国防工业颗粒度计量最高标准装置”,成为国防工业颗粒度量值的“基准”。1990年原“航空工业部飞机流体系统污染测试站”被批准更名为“航空航天工业部颗粒度计量测试站”。在批文上规定的主要任务为:“在保证量值准确的前提下,保证部内各有关单位在颗粒度计量测试方面量值的准确与统一;同时承担飞机流体污染测试仲裁业务;对颗粒计数器及传感器的校准与检定;提供计量测试用的标准液体及标准采样瓶;对颗粒度计量测试人员的培训考核等;履行专业计量站的有关职能。”

1.1.2 计量管理阶段

1.1.2.1 航空工业颗粒度计量管理体系的建立

航空工业各单位对颗粒度这一新计量参数的管控程度差别很大。为了解颗粒度参数在航空主辅机厂所的应用与管理现状,颗粒度一级站于1990~1992年深入航空科研、生产一线单位开展油液污染度测试情况调研,掌握了仪器所属单位、人员配备、工作环境、仪器管理情况等方面的详细资料,并组织开展了航空工业颗粒度测试联合比对试验,结果令人震惊:航空工业颗粒度参数测试准确率仅为25%!此结论引起了航空工业主管部门的高度重视,1991年3月以航空航天部文件的形式下发了《航空工业关于颗粒度测量设备纳入计量器具管理渠道依法管理的通知》,1992年8月,又以航空航天工业部司局文件形式下发了关于颁布《航空工业颗粒度计量监督管理办法》的通知。文件明确规定了颗粒度测量仪器必须检定校准,颗粒度测试人员必须经过颗粒度一级站考核取证才能上岗,航空工业产品的研制、试验、生产使用部门和单位在对测试设备、计量器具、测试人员、环境条件和规章制度考核认可后,方可承担航空产品科研和生产中颗粒度测试任务。由此将颗粒度计量专业的重要性提升至一个全新高度,从主观上引起了各单位的充分重视。

为切实发挥国防颗粒度最高计量标准作用,夯实计量管理基础,航空工业组织编制了JJG(航空)066—1995《颗粒度测量仪器计量检定规程》,在航空领域对液体颗粒计数器实行强制检定;组织开展液体颗粒计数器联合比对试验,从各单位比对误差中找问题、查原因,分解成一个个质量改善课题,围绕这些课题开展形式多样的质量管理活动,多次荣获国家质量管理优秀成果奖,最终将航空工业颗粒度测试准确率提高至95%以上;举办多期颗粒度计量检定人员培训考核会议,通过对计量基础理论知识、计量专业知识和实际操作技能的培训考试,前后近千名计量测试人员取得了资格证;开展了“油中颗粒标准物质研制”的项目研究,攻克了标准颗粒均匀悬浮性、稳定性、批次间差异等多项技术关键,我国首批4种型号的“油中颗粒标准物质”通过了国家标准物质审查,发布编号为GBW(E)120017~120020,成为国内首批具有国家生产许可证的该类型颗粒标准物质。航空工业不断强化颗粒度一级站在颗粒度计量上的专业地位与管理职能,以之为中心逐步建立并完善了航空颗粒度计量管理体系,使航空工业的颗粒度计量管理能力持续有效加强。20世纪90年代,航空工业基本实现了颗粒度量值的统一。

1.1.2.2 国防军工颗粒度计量管理体系的建立

微米级固体颗粒好比流体系统中的“癌细胞”,具有隐蔽性、突发性和系统破坏性等特点,直接影响战机、战舰、战车及核潜艇等国防武器装备的工作性能和使用寿命,危害极大。因此,微米级固体颗粒始终是武器装备流体污染测控的重中之重。微米级固体颗粒具有尺寸分布宽、形状复杂等特点,可散布于武器装备液压、冷却、润滑等流体系统的各功能单元,堵塞流通孔道或破坏运动副,造成关键部件功能失效。鉴于此,武器装备流体系统和元