



电子装备试验数据的 非统计分析理论及应用

Non-statistical Analysis Theory and Application
for Electronic Equipment Test Data

柯宏发 陈永光 赵继广 胡利民 夏斌 杜红梅 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



电子装备试验数据的 非统计分析理论及应用

柯宏发 陈永光 赵继广
胡利民 夏 斌 杜红梅



国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

电子装备试验数据的非统计分析理论及应用 / 柯宏
发等著. —北京:国防工业出版社, 2016. 5

ISBN 978 - 7 - 118 - 10174 - 4

I. ①电… II. ①柯… III. ①电子装备 - 实验 - 统计
分析 IV. ①E933 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 061460 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 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 11 1/4 字数 315 千字

2016 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 78.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

感谢以下项目对本专著内容研究的资助！

中国博士后科学基金项目

国家重点实验室基金项目

总装备部“1153”人才战略工程专项

总装备部重点特色学科专业建设项目

军队“2110”工程建设项目

试验技术研究重点项目

序

“先决胜于试验场,再决胜于战场”,电子装备作为信息化战争的基础单元装备,对其进行试验得到的鉴定结论,是对未来战争中电子装备作战效能、作战适用性进行预测与评估的重要依据。另一方面,电子装备的试验鉴定是其全寿命周期管理过程的重要环节,试验鉴定技术水平直接影响电子装备的作战能力、发展速度和发展水平,因此对电子装备试验鉴定理论与技术进行深入研究,具有重大的军事意义。

电子装备的试验鉴定,主要根据装备研制总要求中规定的战术技术指标和作战使用要求,对电子装备进行定量描述、测试与评价,以检验、评估其在完成作战任务时的对抗效果。对电子装备进行试验鉴定需要综合应用严格的科学方法、现代测试系统和准确的测试结果数据分析方法,使用户能在接近实战环境中确定装备的战场作战能力。由于受到电子装备及试验鉴定活动的复杂性、试验活动管理者的认知局限性、数据分析处理方法与模型表达的多样性及局限性等不确定因素的影响,很多情况下试验数据的概率分布特征难以确定。传统的概率统计分析理论在这样的数据,特别是武器装备作战试验中贫信息数据面前,有些捉襟见肘乃至束手无策。同时,电子装备试验数据的不确定性遍历试验数据的获取、表达、传输、分析等处理全过程,试验数据的表达、分析与处理的局限性可能使数据的不确定性进一步传播和累积。总的看来,基于不确定性理论等非统计原理的试验数据描述、处理与分析是目前试验理论发展过程中亟需解决的重大难题,也成为电子装备试验鉴定领域的一个重要发展方向。

本书作者多年从事电子装备试验鉴定技术的研究工作,紧密结合电子装备试验鉴定需求,系统深入地研究了电子装备试验活动中未知概率分布试验数据的误差识别、预测建模以及聚类分析等大量实际问题,对试验数据的非统计分析理论与技术进行了概括和升华,初步构建

了试验数据非统计处理与分析的理论体系,是对现有武器装备试验数据分析方法的较大突破与发展,填补了国内电子装备试验数据处理与分析领域的空白。本书提出的非统计分析理论在多项大型和特大型电子装备试验中得到了成功的应用,既解决了传统概率统计方法难以合理处理的某些贫信息数据分析问题,又提供了一条研究和分析武器装备试验数据分析问题的新途径。

本书构思新颖,结构合理,内容深入浅出,理论联系实际,体现了先进性与新颖性的统一,在工程技术应用方面具有明显的特色与创新,是一部高水平的学术著作。本书的出版将为武器装备试验数据的非统计分析开辟一条新途径,也将对武器装备试验理论与技术的发展与提高起到积极的促进作用。

张光义

前 言

电子装备试验是电子装备研制过程中保证电子装备质量、提高电子装备性能和作战能力、促进电子装备技术发展的重要环节,电子装备试验数据处理与分析技术是其试验理论和技术的重要基础部分,而电子装备试验数据的来源和描述等受到很多不确定因素的影响,试验数据的概率分布特征难以确定,基于不确定性理论等非统计原理的试验数据描述、处理与分析是目前试验理论发展过程中亟须解决的重大难题。因此,深入研究电子装备试验数据的非统计分析理论与技术,具有重大的理论价值和军事意义。

本书作者是国内最早在电子装备试验领域进行灰色系统等不确定性理论与技术应用研究的学者之一,近 10 年来,本书作者及其研究团队通过不懈努力,先后主持或参与与电子装备试验技术有关的中国博士后科学基金、“863”项目、装备预先研究项目、总装备部试验技术重点研究项目等 20 余项,在贫信息下电子装备作战效能评估、电子装备试验数据的灰色处理理论以及基于未确知有理数的试验数据处理理论等方面取得突破,在国内外期刊和会议上发表相关学术论文 60 余篇(其中,被 SCI、EI、ISTP 三大检索机构收录 40 余篇),获得国家发明专利 3 项、国家实用新型专利 1 项,获得军队科技进步二等奖 1 项、三等奖 6 项,总装备部教学成果一等奖和二等奖各 1 项,特别是前期部分研究成果形成了 4 本学术专著,包括《电子信息装备试验灰色系统理论运用技术》、《电子装备试验与训练最优化技术和方法》、《电子装备试验不确定性信息处理技术》和《电子装备复杂电磁环境适应性试验与评估》,这 4 部专著的出版都得到了国防科技图书出版基金的资助。

上述这些研究成果是形成本书的基础。本书研究了电子装备试验

数据的不确定性数学描述、处理与分析方法,对电子装备试验数据非统计分析理论与技术进行了理论上的升华和概括,初步构建了电子装备试验数据非统计处理与分析的理论体系框架,为电子装备试验非统计理论与技术奠定了基础,富有开拓性和创新性。

电子装备试验数据的非统计分析研究主要从理论与实践的结合上进行,重在应用,强调解决电子装备试验中的实际问题;并且注重可读性,尽量用通俗易懂的语言来叙述。本书所有研究成果均有很强应用背景,不能断言对所有实践问题都是最有效的分析处理方法,但是具有一定吸引力的新的选择。另外,本书的背景领域是电子装备试验数据处理,因此全书的章节题目中省略了“电子装备”字样。

本书包括3部分的内容:第1部分是基础理论部分,分析了电子装备试验数据的非统计处理与分析需求,介绍试验数据的不确定性预处理模型与方法;第2部分分别对基于灰色系统理论、模糊数学、联系数等的试验数据处理与分析模型进行研究;第3部分对试验数据的非统计数据预测与聚类技术进行研究。具体来说,全书共13章:

第1章分析了电子装备试验数据的非统计处理与分析需求,介绍了试验数据处理的非统计数学研究方法,提出了本书的研究目标与主要内容;

第2章研究了试验数据的非统计预处理模型与方法,包括定性数据的定量化转换模型、规范化处理模型以及不确定性评定模型等;

第3章研究了基于灰色理论的试验数据误差处理与评定方法,主要包括试验数据的灰数表达方法、粗大误差的灰色包络判别法和GM(1,1)判别法、系统误差的灰色关联判别法和GM(1,1)判别法等问题,并分别进行了应用实例研究;

第4章研究了基于灰色系统理论的试验数据估计方法,提出了试验数据列的灰距离信息模型,研究了试验数据的点估计模型与区间估计模型,并分别进行了应用实例研究;

第5章研究了基于模糊数学的试验数据处理与分析方法,主要包括基于模糊集的试验数据表达、隶属函数的确定方法,基于模糊概率的

试验数据处理方法,以及粗大误差的模糊判别方法等;

第6章研究了基于未确知有理数的试验数据处理与分析方法,主要包括试验数据的未确知有理数表达模型、粗大误差的未确知有理数判别方法、基于未确知有理数的参数估计模型等,并进行了实例分析;

第7章研究了基于盲数的试验数据分析方法,主要包括基于盲数的试验数据表达模型、盲数的可信度及BM模型等,并就基于盲数的电子侦察分队侦察能力、基于盲数的装备对抗态势等实际问题进行了分析;

第8章研究了基于联系数的试验数据处理与分析方法,主要包括试验数据的联系数表达模型,基于联系数的方差分析模型,以及基于集对同势的分析模型等;

第9章研究了基于灰色系统理论的试验数据预测模型与方法,主要包括基于灰色 Verhulst 优化模型的电子装备故障时间预测、基于GM(1,N)模型及其优化模型的侦察概率模型与影响因素相对重要性分析方法,以及基于 MGM(1,N)模型的运动目标轨迹坐标预测模型等;

第10章研究了基于灰色系统理论的试验数据聚类模型与算法,主要提出了灰色面积变权聚类 and 灰色关联熵权聚类新方法,并对灰色关联聚类及其聚类可靠性模型进行了研究;

第11章研究了基于模糊数学的试验数据聚类模型,并就基于侦察能力的电子装备分类、电子装备侦察能力的分类等进行了应用研究;

第12章研究了基于未确知有理数的试验数据预测与聚类模型以及试验数据的未确知均值聚类模型,并对装备性能的未确知有理数聚类以及装备操作水平的未确知均值聚类等进行了应用研究;

第13章研究了试验数据的联系数预测与聚类模型,提出了基于均值和极值的联系数预测模型,以及基于距离矩阵的联系数聚类模型。

这些内容包括了电子装备试验数据的非统计分析技术与方法,内容丰富,层次分明,论据充分,知识量、信息量大,集前瞻性、探索性、学术性、应用性于一体,具有重要的理论价值和实践价值。

感谢总装备部“1153”人才资助工程的资助;感谢中国洛阳电子装备试验中心王国良总工程师、军械工程学院导弹工程系高敏主任、总参谋部合肥科技创新工作站王可人主任对本书的指导和帮助;感谢装备学院的各级领导和同仁在本书出版过程中给予的许多支持和帮助。本书的撰写参考了国内外许多专家学者发表的论文和书籍,也参考了课题组的许多研究报告、文章和学位论文,特别是刘义等人的论文,在书后的参考文献中均已一一列出,在此一并深表诚挚的感谢。

“路漫漫其修远兮”,电子装备试验数据的非统计分析理论与技术作为一门新型且极有难度的研究方向,本书内容尚处于研究和探索中,还有许多问题有待于进一步探索。加之作者学识水平有限,国内没有相关的理论专著借鉴,虽多方讨论和几经改稿,书中错误、缺点和短见之处在所难免,恳请读者和各方面专家不吝赐教指正。

著 者

目 录

第 1 部分 基础理论

第 1 章 绪论	2
1.1 电子装备试验活动及其数据分析	2
1.1.1 电子装备试验活动	2
1.1.2 电子装备试验数据分析	6
1.1.3 试验数据非统计处理需求	7
1.2 试验数据非统计处理的研究现状与发展	9
1.2.1 试验数据的非统计数学研究方法	9
1.2.2 试验数据非统计处理的研究现状	15
1.2.3 试验数据非统计处理的发展	23
1.3 试验数据的非统计处理研究内容	24
1.3.1 研究体系框架	25
1.3.2 主要研究内容	26
第 2 章 试验数据的非统计预处理模型与方法	29
2.1 试验数据的不确定性特征与识别	29
2.1.1 试验数据的不确定性内涵与外延	29
2.1.2 试验数据的不确定性识别	31
2.2 定性试验数据的量化处理模型	33
2.2.1 基于灰色白化函数的转换方法	33

2.2.2	基于模糊数学的转换方法	37
2.2.3	基于云模型的转换方法	37
2.3	试验数据的规范化处理模型	40
2.3.1	无量纲化处理	41
2.3.2	归一化处理	41
2.3.3	等极性化处理	42
2.4	试验数据的非统计不确定性评定模型	43
2.4.1	模糊性不确定性测度	43
2.4.2	灰色性不确定性测度	44
2.4.3	未确知性不确定性测度	44
2.4.4	联系度不确定性测度	45

第 2 部分 处理与分析

第 3 章	试验数据的灰色误差分析理论与应用	48
3.1	试验数据的灰数表达与灰色分析	48
3.1.1	电子装备试验数据的灰数与数据列表示	49
3.1.2	试验数据的累加(减)生成	51
3.1.3	灰色关联分析	53
3.1.4	GM(1,1)模型	56
3.2	粗大误差判别的灰色包络方法	59
3.2.1	灰色包络判别准则	59
3.2.2	灰色包络判别实例	61
3.3	基于 GM(1,1)模型的粗大误差直接判别法	63
3.3.1	基于 GM(1,1)模型的直接判别法	63
3.3.2	基于 GM(1,1)模型的直接判别法实例	65
3.3.3	直接判别法可行性仿真实例	67
3.4	粗大误差的 GM(1,1)模型精度判别法	72

3.4.1	GM(1,1)模型精度判别法原理	72
3.4.2	GM(1,1)模型精度判别法实例	73
3.5	系统误差判别的灰色系统方法	75
3.5.1	系统误差的灰色关联判别方法	75
3.5.2	系统误差的 GM(1,1)模型判别	76
3.5.3	系统误差的灰色判别实例	76
第4章	试验数据的灰色估计理论与应用	80
4.1	试验数据列的灰色距离信息模型	80
4.1.1	基于灰色系统理论与范数的灰色距离定义	80
4.1.2	灰色距离信息量的定义与性质	82
4.1.3	平均距离信息量的定义与性质	84
4.2	试验数据列的灰色点估计模型	86
4.2.1	参数的点估计模型	87
4.2.2	不确定度评定	88
4.2.3	灰色点估计结果的接受与拒绝标准	90
4.3	试验数据列的灰色区间估计模型	91
4.3.1	试验数据灰色估计区间的确定	91
4.3.2	与传统概率参数估计的比较	92
4.4	试验数据列的灰色估计步骤与算例	95
4.4.1	试验数据列的灰色估计步骤	95
4.4.2	试验数据的灰色点估计算例与分析	95
4.4.3	试验数据的灰色区间估计算例与分析	97
第5章	试验数据的模糊分析理论与应用	101
5.1	基于模糊集的试验数据表达	101
5.1.1	模糊集合的概念	101
5.1.2	试验数据与模糊信息	103

5.1.3	基于历史试验数据的隶属度确定方法	105
5.1.4	基于模糊隶属度的试验数据表达模型	107
5.2	基于模糊概率的试验数据表达	108
5.2.1	模糊事件与模糊概率	108
5.2.2	基于模糊事件的雷达发现目标概率	109
5.2.3	抽检中不合格装备的模糊概率表达	110
5.3	粗大误差的模糊判别方法	111
5.3.1	模糊信息扩散原理及信息扩散估计	111
5.3.2	基于模糊熵的粗大误差判别原理与应用	114
5.3.3	基于模糊聚类的粗大误差判别原理与应用	118
5.4	试验数据的模糊估计模型与实例	121
5.4.1	基于模糊测度的点估计模型与实例	121
5.4.2	基于模糊信息扩散原理的参数点估计模型	124
5.4.3	基于模糊隶属度的区间估计模型与实例	127
第 6 章	基于未确知有理数的试验数据分析理论与应用	130
6.1	试验数据的未确知有理数表达	130
6.1.1	未确知有理数的定义	131
6.1.2	小样本试验数据的未确知有理数构造模型	133
6.2	未确知有理数的数学运算	134
6.2.1	未确知有理数的加(减)运算	134
6.2.2	未确知有理数的乘(除)运算	137
6.2.3	未确知有理数的大小关系	138
6.3	基于未确知有理数的粗大误差判别	138
6.3.1	基于未确知有理数的判别原理	139
6.3.2	领域半径的确定模型与仿真	140
6.3.3	等效辐射功率测试数据的粗大误差判别实例	143
6.4	基于未确知有理数的参数估计	145

6.4.1	未确知有理数的数学期望	145
6.4.2	未确知有理数的方差	146
6.4.3	接收机灵敏度的抽样确定	147
6.4.4	电子装备侦察能力的比较与分析	149
6.5	基于未确知有理数的试验数据分析实例	151
6.5.1	天线增益的未确知有理数表达与分析	152
6.5.2	电子装备试验周期的整体优化	156
6.5.3	电子干扰装备等效功率的可靠度分析	159
6.5.4	电子侦察装备的配备数量分析	163
第7章	基于盲数的试验数据分析理论与应用	167
7.1	盲数的定义与运算	167
7.1.1	盲数的定义	167
7.1.2	盲数的运算	168
7.1.3	盲数的均值	170
7.2	盲数的可信度及盲数模型	170
7.2.1	盲数的可信度	170
7.2.2	盲数模型	171
7.3	基于盲数的试验数据分析实例	172
7.3.1	基于盲数的电子侦察分队侦察能力分析	172
7.3.2	基于盲数的电子侦察装备配备数量分析	174
7.3.3	基于盲数的装备对抗态势分析	176
第8章	基于联系数的试验数据分析理论与应用	178
8.1	基于联系数的试验数据表达	178
8.1.1	联系数表达与分析模型	178
8.1.2	电子装备试验数据的联系数模型	180
8.1.3	不确定性系数 i 的取值方法	184

8.2	基于联系数的试验数据处理实例	186
8.2.1	电子系统可靠度的联系数表示模型	186
8.2.2	侦察能力的联系数表示与比较	187
8.2.3	基于联系数的试验时间不确定性分析模型	189
8.3	基于联系数的试验数据方差分析及应用	192
8.3.1	联系数的构造及其基本运算	192
8.3.2	基于联系数的试验数据方差分析原理	193
8.3.3	信噪比对接收机性能的影响程度分析	195
8.4	基于集对同势的试验数据分析及应用	197
8.4.1	集对同势的相关概念	197
8.4.2	基于集对同势的试验数据分析示例	198
8.5	基于联系数的电子装备效能分析	199
8.5.1	基于联系数的电子装备系统效能分析	199
8.5.2	基于联系数的电子装备体系效能分析	201

第3部分 预测与聚类

第9章	试验数据的灰预测理论与应用	208
9.1	试验数据预测概述	208
9.2	基于灰色 Verhulst 优化模型的数据预测	209
9.2.1	灰色 Verhulst 模型及其求解	210
9.2.2	灰色 Verhulst 优化模型	211
9.2.3	电子装备平均故障工作时间预测	213
9.2.4	电子装备试验配试设备的研制费用预测	216
9.3	基于 GM(1,N) 模型的装备工作状态估计	218
9.3.1	GM(1,N) 模型及其参数估计	219
9.3.2	GM(0,N) 模型及其参数估计	221
9.3.3	电子装备的数据传输误码率建模	221

9.3.4	信号侦察概率的影响因素建模分析	226
9.4	GM(1,N)优化模型及其应用	233
9.4.1	GM(1,N)优化模型	233
9.4.2	基于GM(1,3)优化模型的数据传输差错率 建模	234
9.4.3	基于GM(1,4)优化模型的侦察概率影响因素 分析	236
9.5	基于MGM(1,N)模型的数据预测	239
9.5.1	MGM(1,N)模型及其参数估计	240
9.5.2	基于MGM(1,N)的目标轨迹预测原理	242
9.5.3	无人机飞行轨迹预测实例仿真	245
9.6	基于区间数的GM(1,1)与灰色Verhulst模型及其 应用	255
9.6.1	基于区间数的GM(1,1)模型	255
9.6.2	基于区间数的灰色Verhulst模型	259
9.6.3	运动目标距离的区间GM(1,1)模型预测	259
9.6.4	电子装备训练效果的区间灰色Verhulst模型 预测	263
第10章	试验数据的灰聚类理论与应用	267
10.1	试验数据聚类概述	267
10.2	灰色关联聚类及应用	268
10.2.1	灰色绝对关联度的定义	268
10.2.2	灰色关联聚类原理	269
10.2.3	灰色关联聚类的可靠性	270
10.2.4	电子装备性能评价指标的归类约减	272
10.2.5	基于灰关联的通信侦察装备归类	274
10.3	灰色面积变权聚类及应用	276