



发射场计量测试技术

刘延军 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

V55
1005



2007021694

V55
1005-1

总装部队军事训练“十五”统编教材

科研试验系列

发射场计量测试技术

刘延军 编著



国防工业出版社

· 北京 ·

2007021694

图书在版编目(CIP)数据

发射场计量测试技术/刘延军编著. —北京:国防工业出版社,2006. 12

总装部队军事训练“十五”统编教材. 科研试验系列
ISBN 7-118-04918-2

I. 发... II. 刘... III. 发射场—计量—测试技术—教材 IV. V55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 153960 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)

四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 10½ 字数 300 千字

2006 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

1881907005

第三届总装备部军事训练教材 编辑工作委员会

主任委员	张建启			
副主任委员	曹保榆	夏长法	侯贺华	郭文敏
委 员	(按姓氏笔画排序)			
	于俊民	王宜标	王泽民	尤广志
	冯 章	朱双华	朱忠刚	刘树军
	刘瑞成	安敏建	李方洲	李治三
	肖力田	迟宝山	张忠华	张海东
	陈永光	胡利民	侯 鹰	姜世忠
	聂 皞	倪红星	徐 航	郭 勇
	黄伟强	彭华良	裴承新	潘贤伦
秘 书 长	聂 皞			
办公室主任	田 禾			
办公室副主任	石根柱	郝 刚		
办公室成员	李国华	李立法	郑晓娜	

第三届总装备部军事训练教材 导弹航天测试发射系统编委会

主任委员 李晓箭

副主任委员 徐克俊

委 员 (按姓氏笔画排序)

王泽民 刘卫东 张海联

陈新华 尚友虎 穆 山

秘 书 石根柱

序

军事训练教材是部队开展军事训练和培养高素质科研试验与管理人才的重要基础。“十五”期间是我军加速武器装备现代化建设的关键时期,随着科学技术不断发展,新武器、新装备大量投入部队使用,急需编写相应的配套教材,来满足部队军事训练和人才培养的需求。为此,总装司令部印发了《总装部队军事训练教材建设“十五”计划》,并组织部分专家、学者编著了这套总装部队军事训练“十五”统编教材。

编著这套总装部队军事训练“十五”统编教材是国防科研试验事业继往开来的大事,也是体现国防科研试验技术水平的一个重要标志。它以新时期军事战略方针为统揽,以军委和总装首长关于加强军事训练工作的一系列重要指示为指导,以《军事训练与考核大纲》、《继续教育科目指南》为依据,坚持科学性、前瞻性和实用性相结合,不断满足军事训练和人才培养对教材的需求,为圆满完成武器装备科研试验和管理保障任务提供了有力的技术支持。

“十五”统编教材共计 69 部,内容涉及科研试验、陆军装备科研订购、通用装备保障和试验后勤等 4 个系列的 28 个系统。这套教材既总结升华了武器装备科研试验和管理保障经验,又反映了国内外最新动态和发展方向,是对国防科研试验工程技术系列教材建设的进一步延续和扩展,是一批高质量的精品教材。其使用对象主要是部队具有大专以上学历的科技人员和管理干部,也可供院校有关专业师生使用或参考。

期望这套教材能够有益于部队高素质人才的培养,有益于武器装备科研试验和管理保障任务的完成,有益于国防科技事业的进步。

总装备部军事训练教材

编辑工作委员会

二〇〇五年十二月

前 言

随着高新技术武器装备的发展,对计量的技术要求和管理要求越来越高。发射场试验设施、试验过程、试验数据、结果分析等方方面面都需要计量技术支撑和保障。因此,强化各级各类人员计量意识,提高计量人员素质是做好武器试验的基础工作。

发射场计量管理和计量技术属于军事计量范畴,依照军事计量相关法规进行管理,无论是技术上还是管理方面军事计量与国家计量密不可分,因此,本书遵照计量学科的普遍性和独立性要求,结合国家和军事计量的特点和规律,重点阐述发射场现实应用的计量管理和技术。

本书共分8章,内容包括:概述、发射场计量管理、发射场计量技术基础、计量质量保证、测量不确定度、发射场计量基本参数、电磁兼容测量和接地电阻测量、发射场试验装备计量保障。这些内容是发射场管理和技术人员尤其是计量人员需要了解和掌握的基本计量知识。

本书依据国家计量法规和国内外最新有关标准,结合发射场计量工作现状,以海军试验基地编写的《军事试验计量技术与管理》和原国防科工委科技与质量司编写的《计量技术基础》两部文献为基础进行编写。编写过程中得到了王勇强、梁晓东等同志的帮助和支持,在此表示感谢。由于本人水平有限,在内容取舍和描述上难免有很多不妥或差错,敬请批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 发射场计量的基本任务	1
1.2 发射场计量的特点	1
1.3 发射场计量的主要工作	4
1.4 发射场计量在装备建设与管理中的地位与作用	6
1.5 发射场计量的一般要求	12
1.6 发射场计量保障体系	16
1.7 发射场计量的主要技术内容	19
第 2 章 发射场计量管理	28
2.1 计量管理基础	28
2.1.1 计量管理的概念	28
2.1.2 计量管理的特点	29
2.1.3 发射场计量管理内容	30
2.1.4 试验装备的计量监督	30
2.2 计量标准的管理	32
2.2.1 计量标准的建立	32
2.2.2 计量标准的考核	36
2.2.3 计量标准的运行与维护	40
2.3 测量设备的管理要求	45
2.3.1 测量设备的流转管理	45
2.3.2 测量设备的标识管理	46
2.3.3 不合格测量设备的处理	49
2.4 专用测试设备的管理	50

2.4.1	专用测试设备概述	50
2.4.2	专用测试设备的特点	51
2.4.3	专用测试设备的计量管理方法	52
2.4.4	专用测试设备的校准	56
2.5	计量人员的管理	58
2.5.1	计量人员的职责	58
2.5.2	计量人员的资格要求	59
2.5.3	计量人员的培训考核	60
第3章	发射场计量技术基础	63
3.1	计量环境条件	63
3.1.1	环境条件的影响与监测	63
3.1.2	供电干扰与抑制	66
3.1.3	屏蔽与接地	69
3.2	计量检定工作	74
3.2.1	检定的概念	74
3.2.2	检定系统	76
3.2.3	周期检定	77
3.2.4	检定结果	79
3.3	计量质量保证方案	79
第4章	计量质量保证	82
4.1	量值传递的法制管理	82
4.1.1	量值溯源	82
4.1.2	计量检定的法定技术文件	84
4.1.3	计量检定印证	86
4.1.4	计量考核	88
4.2	实验室认可	90
4.2.1	概述	90
4.2.2	实验室认可的标准	93
4.2.3	实验室认可的实施	99
4.2.4	实验室技术能力验证	102

4.3 测量过程的控制	104
4.3.1 测量过程控制概念	104
4.3.2 测量控制体系要求	105
4.3.3 测量设备的计量确认	109
4.3.4 测量过程控制方法	111
第5章 测量不确定度	113
5.1 概述	113
5.1.1 测量不确定度的概念	113
5.1.2 相关的名词概念	118
5.2 标准不确定度的评定	123
5.2.1 标准不确定度的 A 类评定	123
5.2.2 标准不确定度的 B 类评定	126
5.2.3 两类评定的可靠性	128
5.3 标准不确定度的合成	131
5.3.1 直接测量	131
5.3.2 间接测量	132
5.3.3 标准不确定度分量相关时协调方差的估计方法	133
5.4 扩展不确定度	135
5.4.1 扩展不确定度的评定	135
5.4.2 不确定度报告的基本内容	137
第6章 发射场计量基本参数	141
6.1 时间频率计量	141
6.1.1 时间频率计量基础	141
6.1.2 时间频率计量标准	145
6.1.3 时间频率计量技术的发展	148
6.1.4 时间频率计量	150
6.1.5 频率稳定度及相位噪声测量	158
6.1.6 频率捷变时间测量	162
6.1.7 时间频率传递与校准	164
6.2 力学计量	171

6.2.1	质量计量	172
6.2.2	砝码	175
6.2.3	天平	176
6.2.4	压力计量	180
6.3	电磁学计量	189
6.3.1	电学基本参数计量	189
6.3.2	数字多用表的基本原理	201
6.3.3	数字多用表主要技术性能	204
6.3.4	数字多用表的检定	206
6.3.5	多功能标准源	209
6.3.6	常用电学仪表的检定	210
6.4	无线电计量	217
6.4.1	微波参数计量	217
6.4.2	高频信号参数计量	233
6.4.3	高频电压计量	249
6.4.4	脉冲参数计量	255
6.5	温度计量	263
6.5.1	玻璃液体温度计	263
6.5.2	标准铂电阻温度计	270
第7章	电磁兼容测量和接地电阻测量	275
7.1	电磁兼容测量	275
7.1.1	电磁兼容基础	275
7.1.2	电磁兼容测量场地及设备	279
7.1.3	干扰测量器具检测方法	284
7.2	接地电阻测量	286
7.2.1	接地电阻测试基本原理	287
7.2.2	接地电阻常用测试方法	288
第8章	发射场试验装备计量保障	295
8.1	发射场计量保证的管理	295
8.1.1	发射场试验装备管理部门职责	295

8.1.2	部站装备管理部门职责	296
8.1.3	计量测试站职责	296
8.2	发射场大型试验装备计量检测模式	297
8.2.1	大型试验装备计量检测特点	297
8.2.2	计量保证实现	298
8.3	发射场试验装备计量保障要求	298
8.3.1	试验装备计量保障总要求	298
8.3.2	试验装备检测和校准要求	299
8.3.3	试验装备的检测设备要求	300
8.3.4	试验装备的校准设备要求	301
8.3.5	检测设备的准确度要求	302
附录	计量术语	304
参考文献		321

第 1 章 概 述

军事计量源于国防科技工业计量,国防科技工业计量从 20 世纪 50 年代建立,是随着航天和核技术尖端武器装备的发展而逐渐发展起来,已经走过半个世纪的历程。随着国家管理体制的变化,国防科技工业计量经历了国防工业计量和国防科技计量、国防计量、国防军工计量、军事计量几个发展时期。经过几代人的共同努力,国防科技工业计量已成为国防科技工业和武器装备发展能力发挥重要作用的技术基础。航天发射场计量管理和技术属于军事计量范畴,在军事计量要求下,根据发射场系统装备的特点进行计量技术监督和管理。

1.1 发射场计量的基本任务

发射场计量是研究装备测量技术及测试方法的科学,涉及无线电、时间频率、力学、化学、电磁学等多个专业技术领域。其主要任务是运用先进的测量技术和科学的测试方法,对装备、检测设备及校准设备进行定期的检定或校准,确保装备性能参数的量值准确和统一。例如,导弹命中准确度离不开其测试设备的准确性,这些测试设备包括电压、频率、功率、温度、电磁兼容性等测试参数,必须用计量标准装置对其进行定期的校准与检定,才能保证导弹发射的命中率。

1.2 发射场计量的特点

发射场计量作为研究装备测试技术、保证试验装备技术指标达到试验要求的专门学科,具有与其他专业不同的特点。从学科专业上区分,发

射场计量专业与其他专业比较具有统一性、准确性、保障性、广泛性等特点。

(1) 统一性。保障装备性能参数测量结果统一是发射场计量的基本任务。例如,目前在执行卫星发射任务时,航天测控站及测量船在时间同步上的准确度必须优于 10^{-9} s 量级,否则就不能保证发射试验的同步。目前,美军各军种已全部装备上了高准确度测量型 GPS 接收机,需要通过 GPS 卫星的标准时间和标准频率进行时间、频率的检定或校准,满足高技术装备对时间、频率同步统一的要求。再如,导弹控制系统上的配电仪、程序配电器,当其时间间隔不准确时,就会改变预定航向,改变预定引爆时间。

(2) 准确性。保证装备测量结果准确是发射场计量的基本要求,没有准确的测量,就得不到科学评价试验结果的数据,也难以保证试验过程的顺利实施。

(3) 保障性。计量测试在装备保障维修使用中起着重要的技术支持作用。在装备的日常维护使用中,使用人员要对检测设备及测量标准进行定期的检定或校准,以保证测量数据的准确。修理后的装备、测量设备,需要进行计量再检定或再校准,以确认装备性能技术指标是否达到要求。

(4) 广泛性。发射场计量工作领域广,涉及专业参数多。例如,通信装备从有线到无线到光通信,无线通信从中长波到短波、超短波到微波,卫星通信从传输交换系统到终端设备,其频率范围从 100Hz ~ 100GHz,功率从毫瓦到兆瓦,涉及上百个参数,需要计量的仪器仪表型号有千余种。

从计量工作内容上区分,发射场计量工作与其他计量工作相比具有保障对象复杂、测量技术先进、保障方式多样等特点。

1. 保障对象复杂

发射场计量的服务对象是现代化的武器装备和试验装备,它除了具有一般计量科学的特性外,还有其自身的特殊要求和特点。国防武器装备研制、生产、试验是一个非常庞大的系统,是现代科学技术和基础工业最新成就的高度综合,几乎集中了所有当代高新科技成果,是国家规模的系统工程,技术规模大,技术复杂,综合性强。参加研制、生产、试验的多

种元器件、零部件、分系统、大系统直至全弹、全星要求量值准确可靠,才能保证系统的成功。在国防武器装备研制、生产、试验活动中,任何微小的失误,都会造成巨大的损失。因此,发射场计量工作必须具有很强的适应性和应变能力,必须具备专业配套齐全、参数多、量限宽、测量准确度和可靠性高、特殊的专用的计量标准,以及检测装置充分、能适应各种环境变化和现场服务等特点。

2. 测量技术先进

现代化的武器装备试验,发射场承担着繁重的武器试验鉴定、卫星及载人航天器发射的测控任务,大型测控装备及门类繁多的仪器仪表、专用测试设备,涉及多种高新技术领域。这就要求发射场建立的计量标准,具有参数多、频带宽、自动化程度高、综合系统性强,以满足武器装备的高准确度、高灵敏度、抗电磁干扰、隐身等要求。随着武器装备的发展,发射场试验任务中需要测量的参数不断发生变化,这就需要建立相应的计量标准和校准手段,以满足准确测量和量值统一的要求。随着测控距离的加大,要求提高发射机的发射功率和接收机的灵敏度,需要准确测量大功率、低噪声、大衰减和小电压等参数,要求计量参数的动态范围能够覆盖现实需要。在发射场,有些参数测量的准确度要求虽不高,但是工作环境或工作条件要求特殊,必须实时、实地进行测试,对测试技术提出新的要求。武器装备的技术先进性决定了计量保障技术的先进性,没有与之相应的计量保障手段,要满足现代化武器装备研制、生产、试验的需要,是不可想象的。确定武器装备战术技术指标的准确性和可靠性,是建立在所用计量标准准确度基础之上的。只有提高计量标准的准确度,才能保证武器装备在研制、试验、生产及使用过程中各项技术指标的准确性,才能保证装备的质量。

3. 保障方式多样

量值传递是保证量值准确一致的主要手段,大量的参试设备、仪器仪表通过量值传递把国家基准、国防最高计量标准与被试装备战术技术性能参数量值有机地联系在一起。目前,发射场计量工作主要以实验室内量值传递为主,但仅仅开展实验室内量值传递不能满足试验任务量值统一要求,因此需要根据发射场装备配置和使用特点开展试验现场巡回检

定。针对新武器装备系统结构复杂和环境条件恶劣等特点,发射场计量测试工作需要由传统的实验室量值传递,逐步向现场实时的计测服务发展。如遥测通信系统时间同步和校频准确度的确定,环境干扰电磁场的测试,对接参数实时测试,动态参数在线或现场测试等,都需要到现场进行实时的、动态的、自动化的综合测试校准才能完成。

发射场试验装备技术复杂,更新换代周期短,仅仅依靠传统的计量手段难以满足试验装备技术保障需求,必须开展有针对性的计量研究工作,提高计量保障能力,以满足试验装备对计量工作提出的现实需求。开展发射场计量科研工作,需要针对试验需求,利用计量专业测试水平高、参数门类多、准确度高等技术优势,研制发射场试验专用测试设备,建立和更新计量标准。针对复杂的专用测试设备缺乏检定规程和校准手段等情况,研究采取检校措施,确保仪器准确可靠。计量科研是发射场装备科研的重要组成部分,是发射场试验能力提高的技术基础。没有高层次的科研项目和高水平的科研成果,人才培养就没有坚实的依托,综合试验能力就无法提高。

发射场大量测试仪器技术性能指标需要维护和校准,特别是复杂武器系统的大型试验,往往要求在短期内对成千台的各类通用和专用计量测试设备进行检定和修理,工作量大,突击性强。发射场开展检定仪器仪表工作同时,必须投入足够的人员和精力开展维修工作,以保证在较短的时间内交付足够数量的技术指标合格的测试仪器供任务使用,装备维修是发射场计量的一项重要保障工作。

1.3 发射场计量的主要工作

发射场计量的主要任务:一是建立、维护和保存装备测量标准装置、测试系统,研制装备特殊需要的专用测量标准以保证计量保障工作的顺利开展;二是研究装备性能测试方法,制定装备检测设备的检定规程与校准技术规范,实现对装备及其配套检测设备的检定与校准,确保装备性能指标符合要求;三是建立人员培训考核制度,保证计量人员具有合格资质,满足专业法制规定要求;四是落实军用校准实验室和测试实验室

实施认可和考核制度,强化实验室质量管理体系建设,提高把握武器装备研制、生产的质量能力。

建立科学合理的计量标准,按照军事计量要求开展量值溯源和量值传递工作,控制试验装备的各种量值准确、一致,以保证装备的性能和质量满足试验需求。针对发射场试验装备计量保障需求,开展计量科研工作,建立和完善军事装备计量测试手段和保障体系,提高试验装备技术保障水平,促进试验装备效能的发挥。加强发射场计量人员管理,开展技术交流、培训与考核工作,提高人员素质和技术水平。提高计量保障能力,为试验装备的全寿命、全系统管理提供技术支持和技术服务。

(1) 研究建立测量标准。根据装备及其配套检测设备的技术指标要求,建立满足装备性能指标需求的测量标准装置。依靠量值可靠的计量标准,对装备进行定期的检定或校准,确保装备及其检修设备始终满足规定的或预期的使用要求。

(2) 建立不间断的装备量值溯源与传递链。为实现发射场测量参数量值准确,必须对计量标准和测量设备实施不间断的量值溯源和量值传递,建立起不间断的量值溯源与传递链。使装备及其配套检测设备的参数量值能够溯源到国家或国际计量标准。各级计量站每年都要按照规定将保存的计量标准送到上级计量机构进行检定或校准,利用计量站溯源过的计量标准对下一级测量仪器进行量值传递,保证溯源与传递链连续紧密衔接。

(3) 建立人员培训考核制度。发射场计量工作的产品是数据,数据是用来对试验或产品等对象进行进行评价、鉴定、验证、仲裁的依据,而数据准确与否和人的素质密切相关,因此无论在国家计量法规还是军队计量条例中,都明确要求计量人员必须定期接受培训与考核,持证上岗。实施培训考核制度可确保所有计量人员的工作质量满足要求,并对自己的行为承担法律责任。

(4) 建立发射场计量技术机构认可考核制度。计量技术机构的认可考核按照规定的标准和周期,对计量技术机构的质量管理体系和技术能力进行评定,合格的颁发证书。实施认可考核制度,是为了保证开展计量工作的实验室设备、环境、组织管理、组织机构、管理制度、人员素质等各