

普通高等教育兵工类规划教材

火工品实验 与测试技术

李国新 程国元 焦清介 编著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

责任编辑：李 俨

封面设计：庚辰年代

ISBN 7-81045-445-5

9 787810 454452 0 1>



A standard 1D barcode representing the ISBN 7-81045-445-5. The digits 9, 787810, and 454452 are printed below the main barcode bars. To the right of the main barcode is a smaller barcode with the digits 0 1> printed above it.

ISBN 7-81045-445-5/TQ · 5

定价：25.00 元

火工品实验与测试技术

李国新 程国元 焦清介 编著

北京理工大学出版社

内容简介

本教材共9章,包括火工品实验和测试技术两部分内容。火工品实验主要包括感度试验数理统计方法、感度实验、输出能量定性实验和环境实验等内容,介绍了各种实验的原理、方法、仪器装置、操作步骤和结果处理。测试技术以火工品输出能量、作用时间、作用过程为对象,对常用的测试方法和原理作了较详细的论述。测试中加了无损检测内容,向读者介绍了部分新技术在火工品检测中的应用。

本教材可作为高等院校火工、烟火专业学生的教科书,也可作为从事火工、烟火领域研究、生产的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

火工品实验与测试技术/李国新等编著. —北京:北京理工大学出版社,1998.8 (2004.7重印)

ISBN 7-81045-445-5

I. 火… II. 李… III. ①火工品-实验-高等学校-教材 ②火工品-测试技术-高等学校-教材 IV. TJ45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 16187 号

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区中关村南大街5号)

邮政编码 100081 电话:(010)68912824

各地新华书店经售

北京国马印刷厂印刷

*

850毫米×1168毫米 32开本 13.5印张 343千字

1998年8月第1版 2004年7月第2次印刷

印数:1001—2000册 定价:25.00元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

前 言

人类已进入信息时代,信息工业的关键在于信息的采集和处理。信息的采集主要依靠各种敏感元件,信息的处理则依靠计算机及科学的数据处理方法。火工品实验与测试正是在火工领域获取产品输入、输出及反应状态信息的主要途径,是分析和评估产品质量的重要方法。

《火工品实验与测试技术》是以爆炸力学、冲击动力学、电子技术、测试仪器、电磁学、传感技术、数理统计等为基础的一门综合性学科。它捕获火工品在生产、研制及作用过程中的数据和信息,对火工品的作用机理、水平及质量作出科学的评价,为产品的设计、研制提供重要的理论依据。

全书共分九章,主要包括感度试验用数理统计方法;感度实验;输出能力的定性实验和定量测试;作用时间及作用过程的测试;环境实验;无损检测及一般数据处理等内容。书中除了介绍传统的实验方法外,也加入了大量的新实验和先进的测试方法,还列举了部分应用实例以便帮助读者理解书中的各种测试方法。书中素材的主要来源是各种标准、参考文献及编著者几十年的经验积累。

该书作为教材使用,学时数为56学时,也可作为火工与烟火领域中工厂、研究所技术人员的参考书。

本书参考程国元编写的《火工品实验》、《火工品测试技术》两本内部讲义,经系列教材指导委员会专家确定大纲后编写而成。本书第2章由程国元编写;第5章由焦清介和李国新编写;第1、3、4、6、7、8、9章由李国新编写。焦清介和程国元两位编者为本书提供了大量素材。全书由南京理工大学徐振相教授主审,劳允亮、

孙业斌、蔡瑞娇、徐振相四位教授先后两次审阅了全部书稿。他们为本教材提出了宝贵的意见并付出了辛勤的劳动,在此对他们表示衷心的感谢!

由于火工品实验与测试技术这种类型的教材在国内尚无公开出版,再加之由于作者水平有限,书中的错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 著 者

1997. 6

目 录

第1章 结 论	(1)
1.1 火工品实验与测试技术的特点	(1)
1.2 火工品实验与测试技术的内容	(4)
第2章 实验用火工品制作	(6)
2.1 试验准备	(6)
2.2 雷管制作	(8)
2.3 火帽制作	(12)
思考题与习题	(14)
参考文献	(14)
第3章 火工品感度试验统计方法	(15)
3.1 火工品感度曲线法(百分比法)	(17)
3.2 火工品感度试验常用统计方法	(20)
3.3 火工品感度试验其它统计方法	(33)
思考题与习题	(46)
参考文献	(49)
第4章 火工品感度实验	(50)
4.1 雷管火焰感度实验	(51)
4.2 激光感度实验	(55)
4.3 火帽针刺感度实验	(60)
4.4 雷管针刺感度实验	(65)
4.5 底火、火帽撞击感度实验	(72)
4.6 电火工品的电阻测量	(74)
4.7 桥丝式电火工品的电流感度实验	(78)
4.8 桥丝式电火工品的电压感度实验	(83)
4.9 火花式电雷管电压感度实验	(86)
思考题与习题	(89)
参考文献	(90)

第 5 章 火工品输出能力测试	(91)
5.1 火工品输出能力定性实验方法	(91)
5.2 火工品输出能力定量测试方法	(104)
5.3 火工品输出气体压力测试	(142)
5.4 输出冲击波压力测试	(151)
5.5 飞片输出能力测试	(163)
思考题与习题	(167)
参考文献	(168)
第 6 章 火工品作用时间与作用过程测试	(169)
6.1 测试方法及原理	(171)
6.2 火工品作用时间的测试	(204)
6.3 雷管爆速的测定	(213)
6.4 火工品作用过程测试	(217)
6.5 雷管作用同步性测试	(225)
思考题与习题	(227)
参考文献	(228)
第 7 章 火工品环境实验	(229)
7.1 锤击实验	(229)
7.2 震动实验	(234)
7.3 振动实验	(240)
7.4 坠落实验	(243)
7.5 静电感度实验	(247)
7.6 射频感度实验	(250)
7.7 杂散电流实验	(257)
7.8 雷击实验	(259)
7.9 霉菌实验	(263)
7.10 盐雾实验	(266)
7.11 热环境实验	(269)
思考题与习题	(273)
参考文献	(273)
第 8 章 无损检测技术	(275)
8.1 电热响应检测	(277)

8.2 微波无损检测	(283)
8.3 红外检测	(303)
8.4 X 射线检测	(313)
8.5 γ 射线检测	(335)
8.6 中子射线检测	(347)
思考题与习题	(353)
参考文献	(354)
第 9 章 数据处理	(355)
9.1 数据处理的基本概念	(355)
9.2 误差的正态分布	(370)
9.3 从样品估计总体	(374)
9.4 成对比较试验数据的处理方法	(379)
9.5 百分率试验数据的处理方法	(383)
9.6 计算机数据处理简介	(385)
思考题与习题	(390)
参考文献	(391)
附录	(392)
附录 1 $\rho(M, b)$ 表	(392)
附录 2 $G(\rho, b)$ 表	(393)
附录 3 $H(\rho, b)$ 表	(394)
附录 4 正态下侧分位数 u_p 简表	(395)
附录 5 t 分布双侧分位数 $[t, (v)]$ 简表	(396)
附录 6 正态分位数 u_p 对应的不发火率 P 表	(397)
附录 7 正态分布分位数表	(399)
附录 8 χ^2 分布分位数表	(401)
附录 9 t 分布双(单)侧分位数表	(413)

第1章 绪 论

1.1 火工品实验与测试技术的特点

火工品实验与测试是一门多学科综合性的技术,是获取产品在研制、生产过程中所需的各种数据和信息的技术手段,是了解火工品工作机理,评价其水平和质量,进行故障诊断和分析及实时监控的基础技术。火工品设计、研制和大批量生产都离不开实验与测试。到目前为止,火工品的设计在很大程度上仍依赖于经验,为了评价火工品性能的优劣,除必要的质量检验外,最终还要靠实验和测试结果来确定。通过实验与测试,获得各种测试参数和数据,以此确定所设计、研制和生产的產品性能是否达到规定的各项指标。

火工品实验与测试技术有以下特点:

1. 单次性

火工品是内部装有少量药剂,可在较小的外界刺激能量作用下激发,产生燃烧或爆炸,从而完成点火、传火、起爆、传爆、作功等功能的一次性使用的器件和装置。当对火工品进行各项实验时,往往只能通过燃烧或爆炸才能获取所需的测试参数,而试验件本身经过实验后也遭到破坏,无法再做重复性实验,这就是火工品实验单次性的特点,即不能百分之百进行性能检测。

通常采用的办法是在一批产品中,抽取一定数量的样品进行实验。希望抽取的样品尽量少,而获取的信息又尽可能反映该批产品的整体特性,因此在实验中,除考虑实验方法、手段外,还要选择一种最佳的数据处理与可靠性评定方法,即以数理统计和概率论为依据,对产品特性的数学分布类型、上下限指标及误差等作出正确的估算和判断。这样既可以获得可信的数据,又大大减少了试

验样品数量。例如在火工品输入实验中,感度试验用的统计方法具有至关重要的作用,方法选择得当,实验结果的可信度可以得到较大的提高,实验样品数量也可以减少。

2. 作用过程复杂性

火工品从接受外界激发能量到高速爆轰,中间经历了一系列物理化学反应,其作用过程复杂,反应速度极快,输出功率很高,给测试和理论设计带来很大困难。另外,由于火工品体积小,装药层次多,使得大部分装药或一定比例装药处于非稳定爆轰;在爆轰的过程中,多种物理化学效应共存,它们在瞬间产生,互相交叉,相互影响,又在瞬间消失,这些更增加了测试难度。要求对火工品进行连续检测,才能为建立非稳态爆轰理论和产品设计计算方法提供可靠的试验数据。

火工品作用过程复杂的特点决定了它的测试方法和测试手段,应注意以下几点:

(1) 确定严格、标准的实验方法和手段。近些年来,制定和出台了一批国家标准和部标准,这对实验的规范、统一及保证实验结果的可比性提供了很好的依据。然而,标准的制定,需要一定的理论和实践基础,在很大程度上,实验和测试数据的积累,是确定标准的重要依据。逐步完善和进一步充实实验与测试方法,使它们标准化和通用化,是一项艰巨而繁杂的工作,需要花很多人力和物力去完成。

(2) 选择高响应、高精度的测试仪器和传感元件。由于火工品测试是一种瞬态测试技术,当检测频率很高时,必须考虑测试系统的高频响应影响,否则会降低测试结果的可信度,有时甚至会得出错误的结论。传感元件是影响测试精度的关键部件,书中介绍了很多专用传感器,如测时用的探针、光电管等,测压用的电磁传感器和压电传感器等,无损检测用的波导传感元件和 X 检测装置等,这些传感元件的响应速率、测试灵敏度及其工作状态,决定着测试结果的准确性和可信程度。

(3) 严格保证实验装置和辅助件符合检测要求。火工品在真实环境中进行实验是很困难的,不仅需要昂贵的配套装备,还要具备各种恶劣环境和不同时间的考验,这对于火工品设计和生产中产品的验收是做不到的。通常,采用与实际使用情况接近的模拟装置对火工品的某个参数进行测定。如用电落锤仪模拟引信作用时击针戳击火帽的情况,用雷管点燃器模拟火焰雷管的点燃状态,用震动实验机模拟火工品在运输条件下受冲击加速度长时间、反复作用时的状态,用盐雾装置模拟火工品在海上或沿海地带抗潮湿和盐雾影响的能力等。

实验装置在使用前要进行检定,严格控制主要部件的尺寸和工作状态。如落球仪吸嘴轴线的垂直度、针刺感度仪上平面的水平度、静电感度仪高压输出漏电压、锤击实验机本体部件的配合误差等,在实验前都应做严格的调整,这样测出的结果才有可比性,才有意义。此外,对辅助工具和量具等,也应严格控制其各项指标,以获得比较理想的模拟效果。

3. 破坏性与安全操作

火工品是用作点火和起爆的器件,如果不按操作规程进行试验,则容易使其提前动作,产生意外爆炸事故。如在火花电雷管生产时、在火帽分盘中、在压药过程中、在退模甚至存储时,都可能出现意外的爆炸事故。实验和测试的主要对象是各种火工品,尤其是研制和试生产的产品,出现意外事故的概率会更高。因此在实验中,要特别注意执行安全操作规程,每一个实验环节、步骤及操作顺序,都不能麻痹。为防止意外事故和确保人身安全,实验应在防护装置内进行,起爆或点火时,操作人员一定要离开现场。

火工品实验与测试的破坏性在一次试验过后,传感器、模具和辅助工具等也可能遭到破坏,有些即使没坏,但性能和尺寸等都发生了变化,也不能继续使用。如果实验设计不合理,还有可能毁坏设备和仪器。

综合上述特点,火工品测试难度远远超过普通的测试技术。

近些年来,国内外在火工品测试方面有很大的发展,主要表现在下列几个方面:

(1) 利用高新技术改善传统的测试方法和测试装置。例如用压电聚合物薄膜(PVDF)测小雷管输出性能和用新一代静电放电(ESD)装置测炸药的静电感度。

(2) 重视信息传感技术,引入相关学科的测试方法和技术。例如用多谱勒干涉或反射测量技术测试雷管输出爆轰波面速度和粒子位移。

(3) 发展无损检测及实时在线监测技术。例如用X射线摄影成像技术监测火工品内部缺陷等疵病。

1.2 火工品实验与测试技术的内容

本书的研究内容包括火工品制作、火工品实验、火工品测试、感度试验统计和数据处理四部分。重点是火工品实验与测试部分,它详细阐述了实验和测试的目的、原理、方法和使用的仪器设备。

火工品实验包括感度实验、输出实验和环境(安全)实验三部分内容。

根据刺激能量的不同感度实验分为火焰、激光、针刺、撞击、电流、电压等感度实验,它们的实验结果,反应了被测样品对各种刺激量的敏感程度,进而验证产品的可靠和安全性能。

输出实验测量火工品作用时释放能量的形式、时间和大小,如输出威力、气体压力、热能等。介绍的实验方法有两种,一种是定性实验,包括铅板、钢块凹痕、隔板和铜柱实验,另一种是定量测试方法,包括气体压力、冲击波压力、飞片能量、时间等的测试。

环境实验是火工品安全性能的主要实验方法,它模拟火工品在自然环境、勤务处理环境和工作环境中可能遇到的各种意外情况和恶劣条件,对火工品的适应能力进行考验。书中对国内已有的一些实验进行了介绍,包括机械冲击与振动、杂散电流刺激、热湿

影响、生物霉菌侵蚀等。

火工品测试技术包括火工品输出特性测试、作用时间和过程测试、无损检测三部分。

输出特性测试根据测定装置原理不同分为电磁法、压阻法、应变法和压电法等,利用这些方法可对火工品输出时产生的气体压力、冲击波压力和飞片能量等进行定量测试。

作用时间和过程测试包括常用的一些方法,如探针、高速摄影和光电法等,它们可用于测量微秒、毫秒级雷管的作用时间和延期元件的延期时间,也可测定爆速和作用过程。

无损检测是一门新型的综合性技术,本书涉及到的主要有电热响应、微波、红外、X射线、 γ 射线等方面的检测原理及应用实例。由于无损检测技术应用历史较短,许多测试方法和手段还有待于完善和规范化,因此本书介绍的内容仅供参考。

通过本课程的学习,能较全面的了解火工品实验与测试技术的基本原理、方法及其对火工品设计、研制的重要意义,掌握各种测试仪器和实验装置的使用方法,掌握试验数据的采集及处理方法。

第 2 章 实验用火工品制作

本章介绍的制作火工品的方法,主要适用于火工品实验用样品或研制过程中所需的样品,它是在实验室条件下进行的。

2.1 实验准备

2.1.1 原材料准备

(1) 实验用火工药剂、管壳、加强帽等从合格品中随机取样。

(2) 火工药剂在实验前必须进行干燥,以除去水份或溶剂。干燥时可将火工药剂摊开放入 40~45℃ 的水烘箱中,烘干 4h(或在 55~60℃ 下烘干 2h)。取出即放入烘干器内,冷却 2h 以上方可使用。

(3) 药剂称量一般用千分之一天平进行(如果产品要求火工药剂精度高,可用万分之一天平)。炸药与起爆药不得于一处称量,称量起爆药时,应戴防爆眼镜。称药处存药量不得超过技安规则规定的质量,取药须用较硬的纸或软材料制的小勺,严禁用硬质物品摩擦、挤压药剂。撒药必须及时用酒精浸湿的棉花清擦干净,废药收集于放有机油的专用容器中,以便集中销毁。

2.1.2 火工品中压药压力的计算

火工品中压药所需总压药力 F 可按式(2-1)计算。

$$F = p_1 S = \frac{1}{4} \pi d^2 p_1 \quad (2-1)$$

式中 F ——总压药力 (N);

p_1 ——压药压力 (Pa);
 S ——冲头截面积 (m^2);
 d ——冲头直径 (m)。

2.1.3 压机选择

压制试样时,根据试样的尺寸和压药压力大小选择适当的压机。常用的压机有油压机、杠杆压机和直接以铅铊负荷提供压力的精密压机。

(1)精密压机 试样压药所需的力 F_y 等于铅铊重力加上铅铊托盘重力之和。

(2)油压机 试样压药所需的力 F_y 等于油压机的表压 P_2 乘以油压机活塞截面积 S_2

$$F_y = P_2 S_2 \quad (2-2)$$

式中 P_2 ——表压读数 (Pa);

S_2 ——活塞截面积 (m^2)

(3)杠杆压机 杠杆压机所挂铅铊重力及位置须根据压机的杠杆结构计算求得。如图 2-1 所示,压药压力为

$$aF = (0.5bm_1 + m_2L)g \quad (2-3)$$

式中 F ——压药力 (N);

a ——杠杆支点与压药模具的距离 (m);

b ——杠杆长度 (m);

m_1 ——杠杆质量 (kg);

m_2 ——铅铊质量 (kg);

L ——铅铊悬挂位置与支点距离 (m);

g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

如果铅铊质量固定,可求出铅铊悬挂位置,同样 L 为固定值时,可求出 m_2 。杠杆本身的质量也可根据杠杆体积及钢的密度 $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 来计算。

通常,对一台杠杆压机应事先计算出压力与重荷对应关系的

图表，再按图表查出需要的钝重。

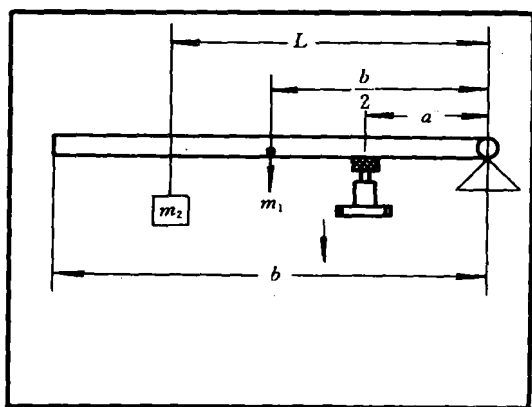


图 2-1 杠杆压机原理图

2.1.4 压机压力的标定

常用铜柱法标定压机压力，铜柱为纯铜制品，有圆柱形和圆锥形两种，受压前先用千分尺测量所用铜柱的压前高度，然后放入测压装置中使铜柱受压变形，受压后再测量铜柱的压后高度，根据铜柱产生的永久变形的大小可查铜柱说明书中的表格，求得相应的压力值。

具体各种产品的装药、压药操作和注意事项分别见各有关实验。

2.2 雷管制作

2.2.1 目的与任务

雷管是传爆序列中一个主要元件，它要将接收的较小的起始冲能转变为爆炸能输出，从而引爆传爆药或主装药柱。通过本试