

炸药性能与装药工艺

陈熙蓉 许丽云 陈书言 刘忠华 编著

国防工业出版社

前 言

本书系兵器工业部机动技安局组织编写的，目的在于为安全技术干部学习提供教材。它是继1979年安全技术学习班应用的《炮弹装药安全生产基本知识》之后，根据学习班学员、教员及各方面的意见来进行的。

我们认为，欲提高对炸药装药生产的安全技术管理水平，具有解决安全技术方面问题的基本能力，就必须对炸药的基本性质及装药生产的本质有较深刻的了解，才能达到生产与安全一致的目的。

为此，本书比较系统完整地介绍了炸药装药的工艺理论、工艺过程、工艺装备、以及它们与安全问题的关系；另外还举出了一些具体的安全事故实例分析，使读者能增强生产与安全的统一认识。

全书共分九章，主要包括：弹药装药工业的任务、装药总工艺过程及对安全技术的要求；弹药装药常用的单质炸药与混合炸药的物理化学性质和爆炸性质；灌装、压装、螺旋装的工艺理论及工艺过程和设备；塑态装药的简介。

本书的编写，均由对炸药装药方面有实践经验的同志担任。在选择编写内容时，立足于引用建国以来炸药和弹药装药的丰富生产经验及科研成果，吸收了北京工业学院历届教材的合理部分内容，同时还参考了国外的有关书籍和文献，从总体上看，它是一本具有我国特色的、反映现实成就的装药专业书。因此，也可供炸药装药技术工作者、弹药设计工

作者以及有关从事炸药应用工作者参考。

为方便读者，书中计量单位全部采用新旧单位对照。

本书中的第一、二、三、五、七章由北京工业学院陈熙蓉同志编写，第四、九章由七三二厂刘忠华同志编写，第六章由一二三厂许丽云同志编写，第八章由一二三厂陈书言同志编写，主编工作由陈熙蓉同志担任。

在编写本书过程中，曾参阅了北京工业学院、204所、210所、123厂、732厂、763厂、282厂、724厂、805厂等单位的许多技术资料，以充实本书的内容。

参加本书审定工作的有：北京工业学院恽寿榕同志、123厂何雨丙同志、兵器工业部机动技安环保卫生司刘化民同志。

由于我们的业务水平所限，虽经再三修改，书中缺点错误在所难免，诚恳希望读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 弹药装药的历史简述	1
§ 1-2 弹药装药的任务	3
§ 1-3 装药方法的分类及装药工艺过程	8
§ 1-4 对炸药装药生产的安全技术要求	11
第二章 应用于弹药装药的炸药	13
§ 2-1 概述	13
§ 2-2 单质猛炸药	18
§ 2-3 混合炸药	48
第三章 注装法	95
§ 3-1 概述	95
§ 3-2 熔态物质结晶的一般规律	97
§ 3-3 熔态炸药在弹体中的结晶与凝固	107
§ 3-4 熔态炸药在凝固时缩孔的产生及防止	109
§ 3-5 熔态炸药在凝固时的气孔产生及防止	114
§ 3-6 注装药柱的热应力——药柱裂纹的产生及防止	116
§ 3-7 悬浮液混合炸药的注装	129
§ 3-8 块注法装药	147
§ 3-9 注装的安全技术	148
第四章 注装工艺与设备	150
§ 4-1 反坦克地雷的注装工艺与设备	151
§ 4-2 破甲弹梯/黑炸药注装工艺	172
§ 4-3 块装法工艺	179
§ 4-4 B炸药注装	181

第五章 压装法	190
§ 5-1 概述	190
§ 5-2 松装炸药的压紧与变形	191
§ 5-3 压力、温度与压药密度的关系	196
§ 5-4 药柱的局部密度	202
§ 5-5 压药模具	209
§ 5-6 压药时的保压问题与药柱“长大”现象	223
§ 5-7 压装工艺的安全技术	226
第六章 压装工艺与设备	231
§ 6-1 概述	231
§ 6-2 压装的工艺过程	232
§ 6-3 压药设备	247
§ 6-4 模具设计	259
第七章 螺旋装药法	271
§ 7-1 概述	271
§ 7-2 螺杆的作用原理	272
§ 7-3 螺旋装药药柱的形成	282
§ 7-4 对生产中易发生的质量问题的分析	290
§ 7-5 螺旋装药的安全技术	296
第八章 螺旋装药工艺与设备	298
§ 8-1 概述	298
§ 8-2 螺旋装药的主要工序	300
§ 8-3 螺旋装药机的构造及操作	314
§ 8-4 螺杆、曲线板的设计及抗压弹簧的计算	353
第九章 塑态螺旋装药法	361
§ 9-1 概述	361
§ 9-2 热塑态装药所用的炸药	362
§ 9-3 热塑态装药工艺、质量及安全技术	366
参考文献	372
附录 国际 (SI) 单位及换算关系	374

第一章 绪 论

§ 1-1 弹药装药的历史简述

自从有战争以来，随着科学技术的进步，弹药不断的演变和发展，装药工业也就随之由低级向高级逐步发展起来。

众所周知，我国古代发明了黑火药。据记载，在13世纪（南宋）时已能大量制造装填黑火药的铁火炮了。

欧洲在16世纪下半期，才开始有装填黑火药的球形爆破弹，用最简单的捣装法装药，这种弹的威力很低。到19世纪，由于各种炸药相继出现，弹药威力有了提高，装药工业也有了改变。如1832年法国化学家布拉康诺制得了纤维硝酸酯俗称硝化纤维素（简称硝化棉），1877年俄国人开始用硝化棉，采用压装法来装填炮弹，其威力比装黑火药的炮弹提高了许多倍。但是硝化棉有吸湿性大、化学安定性小、可压性差的缺点，不宜于做炮弹装药，以后为其他陆续发现的猛炸药所代替。

苦味酸早在18世纪末叶就作为染料应用，经过一百年后，才发现它具有爆炸性质。它的威力在当时仅次于硝化棉和甘油三硝酸酯俗称硝化甘油，但安定性较好，生产使用也较安全，因此到1855年以后，陆续在一些国家用于炮弹装药。根据苦味酸的熔化性质，第一次应用了注装法。但苦味酸的最大缺点，是容易生成对机械作用敏感的苦味酸盐，生产危险的可能性大，装填的炮弹也易发生膛炸。

1863年制得了梯恩梯，其威力虽稍低于苦味酸，但安定

性好，不与金属起作用，熔点范围合适，可压性好，适用于注装和压装工艺。1902年德国首先应用梯恩梯装填炮弹，以后其它各国也相继广泛采用。由于梯恩梯的优点很多，迄今仍然是弹药装药工业中应用最普遍的一种炸药。

由于注装法适用于任何口径，任意形状的弹药，因此在第一次世界大战前，注装成为主要的装药方法。只有制传爆药柱，和装填中小口径弹，才应用压装法。

第一次世界大战期间，消耗的弹药量十分惊人，单是炮弹就消耗了十亿发以上。由于炸药需要量的增加，单靠梯恩梯不能满足要求，于是有三硝基二甲苯、二硝基苯等单质炸药和工业应用的硝铵炸药来代替部份的梯恩梯。硝铵炸药中应用最多的有硝酸铵与梯恩梯的混合物（阿马托）、82%的硝酸铵与18%的三硝基二甲苯的混合物（阿莫克西尔）、88%的硝酸铵与12%二硝基萘的混合物（许尼及利特）、以及硝酸铵与梯恩梯和铝粉的混合物等。到了第一次大战末期，弹药装药已经变为以硝铵炸药为主了。大多数的硝铵炸药中，硝酸铵含量达70%以上，用于注装很困难，只能用捣装法装药，但生产能力很低，不能满足对弹药的大量需要。第一次世界大战后，许多国家研究和改进了硝铵炸药装药工艺。苏联的兹维列夫发明了粒状炸药的螺旋装药法，成功地制成了螺旋装药机，解决了硝铵炸药的机械化装药问题，显著地提高了装药的生产率。在第二次世界大战期间，苏联将所有中口径杀伤爆破弹，小口径空投炸药和所有的迫击炮弹，皆用螺旋装药法装填梯恩梯或硝铵炸药。

迄今为止，注装、压装、螺旋装三种基本装药方法，在工艺生产方面，生产过程机械化方面、安全操作方面，得到了很大的发展，生产药柱质量和生产效率均有显著的提高。

此外，还研究了适于一些新型高威力混合炸药和一些新型弹药的装药方法。

我国虽然最早使用火药，但是由于长期受着封建制度的桎梏，科学技术停滞不前，直到17世纪后期才开始从外国输入近代弹药。在旧中国，弹药工业和其它工业一样，十分落后，充满了殖民地色彩。一些弹药厂规模很小，设备极其简陋，只能用最原始的注装法装填一些简单的弹药，或者只能从事一些进口的武器弹药的修配工作。新中国成立后，随着国防工业的蓬勃发展，弹药工业也发生了根本的变化，装药工业已形成了体系，工业分布已日趋完善，如今不仅能生产研制各种现代弹药来装备部队，而且正向研制新型弹药，装药生产现代化的目标迈进。

§ 1-2 弹药装药的任务

弹药装药工业是生产各种弹药和战斗部必不可少的组成部份。弹药装药的质量优劣，对弹药使用的安全、和对目标作用的威力，都有直接的影响。具体而言，弹药装药必须满足弹药的以下各点要求：

一、保证弹药或战斗部对目标有尽量大的破坏作用

对于不同的目标，需要使用不同作用的弹药或战斗部。这些不同弹药或战斗部，对装药的要求是不相同的。

例如，对付坦克用的破甲弹，根据实验证明，在一定范围内破甲深度与装药的爆压成正比，即装药爆炸后的爆压越大，破坏坦克钢甲能力越强。而爆压大小决定于装药的爆速和装药的密度。因此，破甲弹装药应是高装药密度的高爆速炸药。此外，还考虑到破甲弹是利用聚能效应破甲的，聚能

效应对装药结构的轴对称性要求严格，如果装药结构的轴对称性差，就会引起药形罩闭合变形不对称，使形成的金属射流偏离轴线，导致破甲深度降低。装药结构的对称性与药柱的局部密度，炸药成份的均匀性，药柱中的疵病（缩孔、气孔、裂纹等）有很大关系。所以，装药工艺上，应满足破甲弹装药的高密度和装药结构均匀对称性的要求。

又如杀伤弹，要求有尽量多的有效破片数和最大的杀伤半径。因此，炸药装药的密度和弹壁材料的强度与厚度要恰当地配合，才能保证弹药要求的杀伤威力。

由上述举例可见，应根据各种弹药的战术技术要求，来选择炸药、确定合适的装药方法、制定装药工艺条件。

二、保证弹药在发射时的安全

炮弹在发射时，弹体内的底部装药承受着很大的惯性应力，其应力大小可按（1-1）式估算。

$$\lambda_{\max} = p_{\max} \frac{\pi D^2}{4G} h_z \rho_0 \quad (1-1)$$

式中 $\lambda_{\max}$ ——药柱底部所受的惯性应力，

$p_{\max}$ ——最大膛压，

D ——炮弹口径，

h_z ——药柱高，

ρ_0 ——药柱密度。

（1-1）式是在药室为圆柱形，药柱不与弹壁粘合的情况下建立的。如果药柱与弹壁结合，药室为圆锥形或桶形时，实验证明，药柱底部受的惯性应力要小。由（1-1）式看出，药柱所受的惯性应力与最大膛压、弹径平方、装药高度、装药密度成正比。药柱底部承受的惯性应力最大，当惯性应力超

过了装药的临界应力，就会发生膛炸。

为了保证发射的安全性，在装药设计时，要考虑药柱底部的惯性应力不应超过所选择炸药的最大容许应力。在装药工艺生产中，则要注意药柱不应有各种疵病，如不能有超过规定的缩孔、气孔、粗结晶及裂纹等。因为这些疵病，会降低药柱本身的强度，使局部应力升高，而可能导致膛炸；药柱与弹体结合要牢固，否则在发射时，弹壁与药柱产生剧烈摩擦而爆炸；弹底与药柱之间不应有间隙，因为有间隙时，炮弹发射时药柱后座与弹底猛烈撞击，同时间隙中的气体受绝热压缩而产生高温，这些因素都可能引起装药的爆炸。药柱中，如混入了硬性杂质（如碎玻璃，砂子及金属零件等），也会在发射时引起膛炸。

可见，发射时安全性，是与装药工艺密切有关的。

对于火箭战斗部，虽然没有炮弹那么大的惯性力，但也有一些其它要求：如有些导弹战斗部的装药，要求能够耐受气动加热的高温，航弹装药，要求摘去引信后空投落地时不爆炸，深水炸弹在搬运使用过程中可能碰撞，使弹壁变形挤压装药而不得爆炸。这些要求均与弹药设计、炸药选用、装药工艺有直接关系。

三、保证弹药或战斗部在引信作用下应完全爆轰

为了使装药在引信适时的作用下完全爆轰，而不瞎火或半爆，药柱应有足够的爆轰感度，传爆药柱应有足够的起爆能力，其二者之间要装配正确。

影响药柱的爆轰感度，除了炸药本身性质外，还与爆炸装药的成型方法有关。其它条件不变时，压装的药柱爆轰感度比注装的大，如压装的梯恩梯能用8号雷管起爆，注装的

梯恩梯则不能。同一压装药柱，密度小的爆轰感度比密度大的要大。注装粗结晶药柱比细结晶的爆轰感度要小。

传爆药柱与爆炸药柱之间有间隙时，传爆能力会减弱。如果间隙过大时，甚至会使主装药半爆或瞎火，其间如隔有较厚的金属壳或其它材料的垫片时，都有可能降低传爆药柱的起爆能力。

可见，保证弹药装药的适时完全爆轰，与传爆药柱所用的炸药、药柱尺寸、装药成型方法、装药工艺条件有关；与主装药的结构、密度、质量有关；以及传爆药柱和主装药之间的正确装配也有关。

四、保证弹药或战斗部在长期贮存中不变质

弹药在长期贮存期间内，装药应具有足够的化学安定性和物理安定性，经过长期贮存的弹药仍应保持设计要求的性能。

所谓化学安定性系指炸药成份之间无化学反应，相容性好，炸药本身几乎不分解；炸药的爆炸性能不改变，爆轰感度未降低，机械感度和热感度没有增大，炸药对弹壁无腐蚀。

物理安定性则指装药在长期贮存时，原来的尺寸不变，装药结构完整，不渗油，不吸湿。

保证炸药装药具有良好的化学和物理安定性，最重要的措施是选择或配制质地优良的炸药；其次是有合理的装药装配工艺。如装药时，不致对药室内的漆层或药形罩的镀层有损坏。又如对容易吸湿的硝酸炸药，其上加一层梯恩梯防潮药塞等。此外，在装药生产中，应确保原材料符合标准，在加工过程中不得混入杂质，弹体金属内外表面要擦拭干净，

涂覆各种防腐油漆，包装要严密。

五、保证弹药或战斗部运输中的安全

在运输过程中，弹药或战斗部应能经受颠簸和振动。因此，要求炸药装药要有较低的机械感度，和较好的药柱强度，以及合理的装药装配工艺。

六、保证弹药装药生产者的安全和良好的劳动条件

在装药加工生产中，主要加工的对象是炸药，如果稍有疏忽，就可能产生爆炸事故。因此，采用的装药方法应当能保证安全的；对于最可能发生爆炸危险的工序（如压药、螺旋装药、药柱加工等）应隔离操作。要注意合理的工艺线布置，防止通道阻塞；炸药及半成品过多堆放。还应采用周到的安全设施。在装药车间设计时，一切土木建筑、水电装修等应符合火炸药生产的技术规范。

各种炸药都具有不同程度的毒性和挥发性，长期接触会引起职业病。因此装药生产应尽量采用机械化、自动化。尽量使装药生产密闭化或远距离控制。使得装药生产者接触炸药粉尘的浓度和气体浓度均能符合国家卫生标准规范。

七、保证装药生产达到经济合理的要求

弹药或战斗部在战争中的消耗量是巨大的，一发炮弹所花的成本相当可观。因此，装药生产应符合多快好省的方针。装药生产应是高速度的，生产率大、生产周期短，更换产品快，生产成本低。装药工厂中生产车间和存放半成品、原材料库房应符合安全布局，炸药装药所用的原材料应立足于国内资源。

综上所述，炸药装药的生产应基本上满足以上七方面的要求。但实际上全面达到有时是存在矛盾的。因此对于某一具体产品的设计、炸药的选择、装药工艺的制订等问题，要兼顾矛盾的各方面来解决，注意主要矛盾的主要方面。而主要矛盾对于不同产品、不同地点、不同时间又常常是不相同的。例如，对导弹战斗部来说，解决威力指标常常是主要矛盾。而对于大量消耗的榴弹，则炸药装药生产的高效率和经济性就显得很突出。又如硝酸铵炸药，由于长期贮存不安定，只用于战时的装药生产，而战时弹药的消耗量大，不存在长期贮存的问题。

§ 1-3 装药方法的分类及装药工艺过程

一、装药方法的分类

按照弹药装配的完全程度，可分为两种类型：一种是完全装配，即弹药在装药车间装配时已装上引信，称之为全备弹。另一种是不完全装配，只装假引信（防潮塞），称为半备弹。如榴弹、航弹、地雷、手榴弹等大多数弹药都是以半备弹形式出厂，在前线使用时才装引爆装置。只有极少数弹药，如穿甲弹、破甲弹，由于装配是弹底引信，必须在弹丸与药筒结合之前，或者战斗部与发动机结合之前就应装上，此类皆属于整装弹。

炸药装药方法，常见的有以下几种：

（一）捣装法 用手工或简单工具将粒状炸药装入药室，然后用力捣紧。

捣装法是最原始的方法，由于靠人工或简单机械工具压紧炸药，不能得到较高密度的药柱，我国极少采用，苏联在

卫国战争时期曾用于装填手榴弹，德国在二次大战时曾广泛用于航弹装药。

(二) 注装法 将熔化的炸药或悬浮炸药，注入药室中凝固成药柱。

注装法可以装填任何口径，任何形状的药室，注装的设备简单。在战时，它对于迅速大量组织分散成小规模装药生产很有意义。但它对所使用的炸药有一定限制。

(三) 压装法 用液压机的压力，将模具或弹体中的散粒体炸药压紧。

压装法适用于装填中小口径，药室不鼓起的弹药；它对炸药的适应性最大；亦能获得高密度的装药。

(四) 螺旋装药法 用螺旋装药机的螺杆，将散粒体炸药输入药室，并压紧。

螺旋装药法与压装法本质上基本相同，其特点能适应较大药室形状的变化，适于装填弧形药室的弹药，但只能用摩擦感度和冲击感度小的炸药。

(五) 塑态装药法 将塑态炸药，借助螺杆的推送和压入药室，然后固化成型。

(六) 振动装药法 将较高粘度的熔态悬浮炸药，装入弹体内，用振动的方法使它密实，然后凝固成型。经常外加真空，所以又称真空振动装药。

(七) 复合装药法 即两种装药方法的合用。如有的弹药，一部份炸药装药用螺旋装药法，另一部份用注装法，或者有的用压装和注装的合用。

实际上，还有其它一些装药法，如离心沉降法、压力沉降法、压力注装法、和注射法等。但均属于注装法的范畴。

最常用的装药法，则是注装、压装、螺旋装药等三种。

按照炸药是否直接装入弹体，又可分为两种。一种是将炸药直接注入或压入弹体药室中；另一种是药柱成型后，用粘合剂或其它方式将药柱固定于药室中。后者只适用于药室简单的情形，其优点是，药柱与弹体分装，宜于长期贮存，制成的药柱能全部检验。

选择何种装药工艺方法，是根据弹药类别、炸药性质、药室形状等条件而确定的。

二、弹药装药及装配的总工艺过程

不同弹药和战斗部的装药总工艺过程，基本相同。一般分为五个部份：弹体准备、炸药准备、装药、药柱加工和弹体结合、最后装配及防锈处理到修饰包装。

弹体准备的任务，是将弹体准备到适合于装填炸药的状态。主要的工作为：拆箱、去油、清理弹体外表面、检验弹体金属质量、弹体预热并输送到装药工序。

炸药准备的任务，是将炸药过筛、加热或混合。对注装法则为炸药预先熔化、晶化处理等。

药柱加工的目的在于装药后，是除去药室中多余的炸药，如刮平药面、钻传爆孔、清理螺纹等，使药柱达到符合生产图纸的要求。如果是压装的药柱就必须再进行药柱加工，但要与弹体结合。一般用粘合剂，也有用塑料圈使药柱在弹体中固紧。带有口螺或带有底螺的中口径或大口径弹体，在分别装药完毕后，还要进行口螺或底螺与弹体的结合工作，要保证联结处的密封性。

最后装配完成工作，包括弹体外表面擦锈、涂漆、装配零件、检验、涂标记、包装等。

在整个工艺过程中，从质量和安全方面要求来看，装药

是关键。而装药前的弹体准备和炸药准备，及装药后的修饰完成则又是必不可少的辅助工序。

§ 1-4 对炸药装药生产的安全技术要求

在装药生产中，加工的主要对象，是具有各种不同程度爆炸危险性的炸药及半成品。且炸药本身有不同的毒性，因此装药生产中，如何实现生产安全和良好的劳动条件，是装药生产领导及技术干部的职责，应当具备“生产确保安全、安全为了生产”及“安全第一”的思想。为此要采取一系列技术组织措施，除了有完善的安全技术管理组织、安全技术教育、安全技术守则外，在技术上，应从以下方面采取措施：

装药车间和工房的基本建设，应符合相应爆炸危险等级的安全规范。如一级危险工房就应在建筑结构和建筑设计上有相应的安全措施；有爆炸危险的工房之间要有合理的安全距离；特别危险的装药及加工工序，应在单独的防爆小室内进行隔离操作；一般的辅助间如通风、配电、压空等应与装药生产工房隔开；运输炸药有专门通道；门窗大小、高度、开启方向以及安全门窗的位置；地面材料；墙壁装饰等都应符合安全要求。

在设备安装上，电器设备要采用防爆型，所有设备要接地，且电阻不超过规定数值；工房还应有完善的避雷措施，照明安装都应符合安全要求。

要有完善的消防设施，如能自动控制的雨淋管等。

生产时，严禁炸药中混入杂质，特别是硬性杂质更要注意；撒落在地上的炸药应及时清除，不得再用；车间内绝对不能使用明火；避免黑色金属撞击；车间的通道应畅通无

阻；工房内的炸药应按照规定存放量贮存，人数不得超过定员规定。

必须使生产者有完善的保健措施。有害的粉尘或蒸汽浓度，应符合工业卫生标准规定；生产时应穿戴合适的工服、工帽和口罩等，下班后用温水洗澡。

上述各项基本要求，均适用于各种装药车间及工房，这些规定是根据炸药爆炸发生的机理作为科学根据，并通过大量生产实践而提出的，因此在安全技术管理上应认真遵守。