

金属爆炸加工 的理论和应用

黄兴 编著

592

建筑工业出版社

利用炸药作为能源加工金属，近年来在机械制造、建筑安装等工业部门获得一定范围的应用。目前，金属爆炸加工的范围已包括成形、校形、胀形、翻边、雕刻、压纹、粉末压制成形、焊接、表面硬化、切割等；所用的材料有厚板、薄板和金属粉末等。这种受控爆炸有其独特的理论和工程条件。本书对金属爆炸加工的基本理论和工程应用作了概括性的介绍，具体内容包括：爆炸动力学，隔离爆炸加工的基本原理；冲击波与工件和爆炸加工容器间的相互作用；金属在接触爆炸压力下所承受的载荷和产生的应力性质；工件边界对应力分布的影响；零件的隔离爆炸加工，切割、焊接、表面硬化、粉末压制成形等接触爆炸加工的应用等。最后评述了金属爆炸加工在工业中的地位和发展前景，列举了改进金属爆炸加工的新课题，并介绍了新的高速成形方法。全书内容特点是基础理论密切结合工程实践，图表数据较全，实用性较强。

本书供各工业部门从事金属爆炸加工技术研究与应用工程技术人员阅读参考。

金属爆炸加工的理论和应用

宋秀娟 浩 谦 编译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：10 1/4 字数：276 千字

1983年3月第一版 1983年3月第一次印刷

印数：1—3,900册 定价：1.65元

统一书号：15040·4383

目 录

绪 言	1
-----------	---

第一部分 金属爆炸加工的物理基础

第一章 炸药和爆炸概论	6
第二章 隔离爆炸加工的基本原理——爆炸所产生的 冲击波及其传播	26
第三章 隔离爆炸加工的基本原理——冲击波与边界 的相互作用	62
第四章 接触爆炸加工的基本原理——载荷与应力	86
第五章 接触爆炸加工的基本原理——金属的反应	113

第二部分 金属爆炸加工的工程原理和实践

第六章 炸药的使用	133
第七章 隔离爆炸加工系统及其组成部分	186
第八章 零件的隔离爆炸加工	220
第九章 接触爆炸加工	268
第十章 有关金属爆炸加工的其他问题	314

附 录

附录 1 英制单位与公制单位的换算表	323
附录 2 金属材料牌号的对照表	324
主要参考资料	325

绪 言

自从炸药发明以来，人类利用它作了许多有益的工作。特别是近三十年，随着人们对爆炸过程机理的深入研究和逐渐掌握，炸药在机器制造和建筑安装部门中也获得了一定范围的应用，在一些工厂和建筑工地出现了爆炸加工场，开始利用强大的受控爆炸能来加工金属制品。

利用炸药这种非常规的能源加工金属，对于从事金属加工工作的工程技术人员和工人来说，是一种新的加工方法和新的工作条件。在这种情况下，过去的知识和经验有些就变的不适用了，需要重新学习和补充。本书是根据国外出版的有关爆炸加工的名著综合编译成的，目的是向读者概括地介绍金属爆炸加工的基本理论和工程应用，期望这一先进的加工技术在我国获得应用和发展。

爆炸技术的研究，其中包括爆炸时所产生的冲击波对金属结构和材料的作用，原本是军事部门特有的任务，它们所感兴趣的问题是如何在军事行动中利用炸药来破坏目标。所以，在有关炸药和爆炸的研究中，有很大一部分是在军事部门的倡导下进行的，在金属爆炸加工技术的发展过程中，充分吸收和运用了这些研究的成果。

利用炸药的爆炸能量使金属成形，严格地讲，并不是什么新鲜事。早在1888年，查理斯·门罗（Charles Munroe）就曾利用压缩的硝化棉炸药，以和近代类似的方法，在铁板上压出了复杂的花纹。在门罗之后，又有许多研究者在金属爆炸加工方面进行了各种尝试，例如：在30年代，人们就已经掌握了用炸药进行厚钢板浅压延成形的方法。但是，所有这些早期的研究，在当时

都没有引起人们足够的重视，因为那时并不迫切需要这样一种新的金属加工方法。到了近三十年来，情况就大不相同了，在广泛应用各种新概念的高新技术领域里，人们又对金属爆炸加工进行了新的广泛的探索。目前在工业中运用爆炸能加工金属的大部分成就，都是以1950年开始的研究作为基础的。

金属爆炸加工首先是在技术发展很快的宇航工业中得到应用的。宇航工业的生产特点是：产品的型号更迭频繁、批量不大、零件的形状复杂多样、精度要求高、材料的刚度大、加工困难。由于这些特点，促使宇航工业特别重视研究利用高能的新加工方法，而爆炸加工恰好适应了这种要求。由于这种新的金属加工方法在各个工业部门都能利用，所以采用炸药作为加工金属的新能源的问题，随后也引起了其他金属加工部门的广泛兴趣和注意。

目前，金属爆炸加工的范围已包括：成形、校形、胀形、翻边、雕刻、压纹、粉末压制成型、焊接、表面硬化和切割等；所用的材料有厚板、薄板和金属粉末等。在上述各种爆炸加工中，有的已经在工业中实际应用，有的还处于研究发展阶段。

在下列条件下，采用爆炸加工方法特别有利：

大型零件的压力加工；

当零件的尺寸和成形所需的压力大大超过现有压力机的能力时；

当零件的形状特别复杂，或者零件的材料特殊，需要采用新的加工方法时；

在小批量生产，特别强调节省设备投资和减少劳动量的情况下。

研究金属爆炸加工技术所要达到的主要目的是：用最少量的价格比较低廉的炸药，充分利用它的爆炸能量去作较大的功，以获得良好的加工质量。除此之外，如何确保在使用炸药过程中的安全问题，也是研究金属爆炸加工技术时必须注意的。

根据炸药相对于加工对象的位置，可以把金属爆炸加工分成两种基本类型：第一种类型称为接触爆炸加工，加工时炸药直接

与被加工的对象接触，第二种类型称为隔离爆炸加工，加工时炸药与加工对象相隔一定的距离，爆炸时所产生的能量通过中间介质（空气、水、油等）传递到被加工的对象上。这两种爆炸加工方法在作用于工件上的压力大小和造成材料性状的变化上，存在很大的不同。

根据作用在工件上压力的大小或工件的变形速度，可以把所有的金属爆炸加工用加工谱的方式加以分类，如图 0-1 所示。整个金属爆炸加工谱分成两个基本区域：接触爆炸加工区和隔离爆炸加工区；整个加工谱所包括的压力范围是从每平方英寸几千磅到每平方英寸几百万磅。大部分爆炸加工是在几微秒到几毫秒的时间内完成的，处于加工谱右端的爆炸加工所用的时间比处于左端的要短的多。另外，在处于加工谱上不同位置的爆炸加工中，材料的性状也是很不一样的。

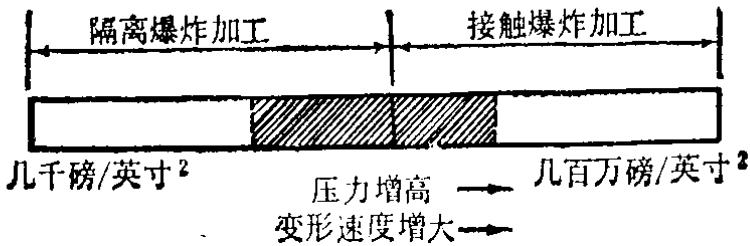


图 0-1 金属爆炸加工谱

除了使用炸药作为加工能源之外，大部分金属爆炸加工的实质与常规金属加工是类似的，这主要是指包括爆炸成形和爆炸校形在内的隔离爆炸加工。但也有少部分金属爆炸加工与常规方法迥然不同，这主要是指包括爆炸焊接、爆炸切割、粉末爆炸压制成型等在内的接触爆炸加工，在研究这类爆炸加工时，要涉及到有关金属性状的新概念。目前，绝大部分的爆炸加工产品都是位于图0-1左侧区域的隔离爆炸加工法制造的，位于图0-1右侧的接触爆炸加工法，目前虽然应用范围有限，但从已经进行的研究结果看来，将来一定也会象隔离爆炸加工一样大有前途。

在隔离爆炸加工和接触爆炸加工中，作用在工件上的压力、传递到工件上的能量和工件中所产生的应力波的强度，有很大的

差别，这就使材料在这两类加工过程中的性状，也很不相同。但是，对于大部分爆炸加工来说，它们所造成的工件的塑性变形或破坏的基本过程都是相同的。例如，所有的爆炸加工都会使金属产生滑移、双晶、晶粒扭曲等金相组织上的塑性变形现象，在材料破坏时，都可以观察到集中在局部的剪切应力场和拉伸应力场。另一方面，在两种不同类型的爆炸加工之间，由于对工件加载的情况不同，它们控制工件塑性变形过程的方法，以及塑性变形的程度，也有很大差别。在接触爆炸加工中，强烈变化和极端集中的载荷作用，常使金属呈现出一种特殊的难以预料的性状。

金属爆炸加工问题可以分成两个方面：金属爆炸加工的基本性质问题（炸药、爆炸和冲击波的性质，它们所产生的载荷，以及材料对这种载荷的反应等）和它在工业中的实际应用问题。希望在自己所从事的工作领域内采用这种新技术的工程技术人员，应当对这两方面的问题都有所了解，既掌握有关爆炸系统的理论和试验结果，又了解目前它们的实际应用情况。因此，本书也分成两个部分：第一部分——金属爆炸加工的物理基础和第二部分——金属爆炸加工的工程原理和实践。

在本书的两部分中，各章之间是彼此呼应和互相补充的。例如：第一部分中的第一章——炸药与爆炸概论，介绍炸药在爆炸时的反应和爆炸生成物的动力学；与之相对应的是第二部分中的第六章——炸药的使用，在这一章中介绍的是炸药的性质、炸药的使用和实际爆炸加工系统的制作。

在第二章和第三章里，介绍的是隔离爆炸加工的基本原理。在第二章——爆炸所产生的冲击波及其传播中，介绍的是炸药在空气、水或粉粒状介质中爆炸时所产生的冲击波及其传播的特性。在说明这些特性时，主要是引用爆炸的军事应用研究的实验结果，而这些实验结果是可以用来解决金属爆炸加工问题的。第三章——冲击波与边界的相互作用，说明隔离爆炸加工中的另一个重要问题——冲击波与工件和爆炸加工容器之间的相互作用。掌握这种相互作用的原理和特性，是了解在第七章（隔离爆炸加

工系统及其组成部分)和第八章(零件的隔离爆炸加工)中所介绍的实际加工方法的基础。

第四章和第五章介绍接触爆炸加工的基本原理。第四章说明金属在接触爆炸的压力下所承受的载荷和所产生的应力的性质,以及工件的边界对应力分布的影响。第五章的内容是金属对接触爆炸所产生的应力的反应。与这两章相对应的是第九章——接触爆炸加工,在其中介绍了切割、焊接、表面硬化和粉末压制成形等几种实际的接触爆炸加工过程。

虽然本书的第一部分和第二部分之间在某种程度上是互相呼应的,但是不能认为根据第一部分中所介绍的原理,就能轻而易举地直接设计出第二部分中所介绍的那些实际的爆炸加工系统,因为本书的第一部分提供的仅是一些最基本的资料。

第十章是有关金属爆炸加工的其他问题,主要讨论金属爆炸加工在工业中的地位和前景。在这一章中,简单回顾了金属爆炸加工最近的发展,分析了它的优缺点,讨论了利用金属爆炸加工的经济性问题,列举了改进金属爆炸加工所需研究的新课题,并对其他两种新的高速成形方法给予了介绍和评价。

第一部分 金属爆炸加工 的物理基础

第一章 炸药和爆炸概论

一、引 言

炸药是在一定的外界作用下，能在本身内部迅速进行化学反应，并伴随产生大量气体生成物和热量的物质。世界上有许多种化合物属于这种物质。多年来，人类就花费了巨大的精力，研究如何控制爆炸反应和集中炸药所具有的巨大能量，利用它来完成各种有益的工作。由于对爆炸动力学和爆炸热化学进行了长期深入的理论和实验研究，人类现在已能按照预定的计划可靠地控制许多种炸药的爆炸作用，可以认为，人类现在已经充分掌握了爆炸过程。

爆炸物质有气态的（如氧气和乙炔的混合物）、液态的（如硝化甘油）和固态的（如三硝基甲苯）三种。根据爆炸反应的性质，炸药又可以分成猛炸药（高级炸药）和火药（低级炸药）两种。在火药中，燃烧以每秒几英寸的速度从表面向内部扩展，它燃烧时所产生的气体向四周传播时，也不会形成很高的压力。与猛炸药传播速度极快（5000~25000 英尺/秒）的反应相比，火药中的反应过程是相当缓慢的。由于这种基本性质，火药一般是被用来作为枪炮的发射药和导弹及火箭的推进剂。

二、猛炸药的种类及其性质

猛炸药分成两类：初级炸药（起爆药）和次级炸药。起爆药比较敏感，用比较少的能量就能将其引爆。最普通的起爆药叠氮化铅（ PbN_6 ）是一种白色的结晶粉末，其爆热为 $260\sim 367$ 卡/克，它可以作为许多种不如它灵敏的炸药的起爆药。次级炸药的比能^①较起爆药高，但是它们不敏感且十分稳定，只有在强烈的冲击或摩擦下，在较高的温度和一定能量的火花作用下，次级炸药才能起爆。

几乎所有的一般炸药（氮化铅除外），它们反应的能量都服从这样一种化学规律：如果反应是氧与氮化合，则反应的能量几乎为零；如果是氧与碳或氢化合，则将发生大量放热的反应。在应用最广的一些炸药中，都含有硝基化合物和复杂的硝酸酯，这可以从表 1-1 中列出的一些炸药的化学成分中看出。在爆炸时，炸药中氧的化学亲合力发生变化，由与氮亲合变为与碳或氢亲

一些炸药的化学成分 表 1-1

炸 药 名 称	分 子 式
硝化甘油(NG)	$\text{C}_3\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_9$
硝化纤维素(NC)	$(\text{C}_6\text{H}_7\text{N}_3\text{O}_{11})_n$
三硝基甲苯(TNT)	$\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6$
季戊四醇四硝酸酯(PETN, 泰安)	$\text{C}_{15}\text{H}_{18}\text{N}_{12}\text{O}_{24}$
环三亚甲基三硝胺(黑索金、CTMTN或RDX)	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$
三硝基苯甲硝胺(特屈尔)	$\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_5\text{O}_8$
苦味酸	$\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$
三硝基间苯二酚铅(斯蒂芬酸铅)	$\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_9\text{Pb}$
叠氮化铅	PbN_6
雷汞	$\text{C}_2\text{N}_2\text{O}_2\text{Hg}$

① 一公斤炸药爆炸时所产生的气体压力与体积的乘积具有能量的因次，称为该种炸药的比能，用以衡量炸药的静效应。——编者

合，生成一氧化碳、二氧化碳和水，在此过程中，释放出大量的能量。各种炸药爆炸时所释放的能量不同， 大约为 1000卡/克左右。炸药爆炸时所产生的 气体的体积， 换算到标准温度和压力下， 大约为1000厘米³/克左右。表 1-2 中列出了一些炸药爆炸时所释放出来的能量和所产生的气体的体积。

炸药爆炸时所产生的能量和气体 表 1-2

炸 药	爆 热(卡/克)	气 体 体 积 (厘米³/克)
硝酸铵	346	980
乙[撑]=硝酸(哈雷特、Haleite)	1276	908
硝化甘油	1486	715
季戊四醇四硝酸酯(PETN)	1385	790
苦味酸	1000	675
环三亚甲基三硝酸(RDX、黑索金)	1300	908
三硝基苯甲硝酸(特屈尔)	1120	760
三硝基甲苯(TNT)	925	730

固体炸药有粉末、颗粒、用粉末压制成块或熔化浇注成块等几种物理形态。为了便于使用，有时在炸药里还加有石蜡等赋形剂。炸药每一部分的形状都有它特殊的作用，各种炸药的典型应用范围将在第六章中详细介绍。

炸药的特性还包括它所释放的总能量、化学反应过程在炸药中传播的速度和起爆感度。根据这三方面的指标， 可以把炸药加以分类，如表1-3所示。虽然有些炸药（如 TNT、PETN 和特屈尔等）是单一的化合物，但是为了获得所需的特殊性能，许多炸药通常是用这些单一的化合物混合而成的（派生炸药）。大部分派生炸药的主要成分是TNT，因为它的熔点比较低（80℃），可以用作其他熔点较高的高能炸药的载体，使其便于注装。除了以TNT为基础的派生炸药以外， 还有许多种由不同比例的硝化甘油、氧化剂和稳定剂组成的复杂混合物，统称为代那迈特炸药（dynamite）。

主要炸药的分类

表 1-3

基本炸药	叠氮化铅 雷汞	三硝基甲苯(TNT) 苦味酸铵(D型炸药) 苦味酸	乙[撑]二硝酸胺(哈雷特、 Halaite) PETN 三次甲基三硝基胺 特屈尔
派生炸药	混合起爆药	TNT+硝酸铵=阿马托 (amatol) TNT+特屈尔=特屈托 尔(tetrytol) TNT+苦味酸铵=皮克 拉托尔(Picratol) TNT+铝=垂托那尔 (tritonal) TNT+硝酸铵+铝=米 诺尔(minol)	TNT+哈雷特=艾德纳 托尔(ednatol) TNT+PETN=喷托利 特(pentolite) TNT+三次甲基三硝基 胺=RDX-B TNT+特屈尔+三次甲 基三硝基胺=PTX TNT+铝+三次甲基三 硝基胺=托派克斯 (torpex) TNT+硝酸铵+铝+三 次甲基三硝基胺= DBX
能量(卡/克)	300~500	500~1000	>1000
爆速(米/秒)	3000~4000	5000~7000	6500~8300
感度[用美国矿务局冲击落锤仪测定: 2公斤锤的落高(厘米)]	(最高) 5~10	(最低) 90~100	(中等) 15~80

当以一定的方式使用一种炸药时，一般不可能直接用上述三种特性来评价这种炸药的效果。所以，必须规定出一些能比较实际地度量炸药效力的方法，这些度量方法虽然不能计量出每种炸药的绝对效力，但是却能比较不同炸药的相对性能。炸药的这种可比较的性能有以下四个方面：炸药的爆破能力（是炸药爆炸时产生破坏作用的能力）；猛度（说明炸药的破碎能力，用炸药爆

炸时所造成的砂子颗粒的破碎程度来度量)；炸药的作功能力(用在弹道臼炮中爆炸的10克炸药所产生的后座力来确定)；炸药的推动能力(是它的起重能力或投射能力的粗略指标)。虽然各种炸药这几方面的性能没有很大的差异，并且这种差别没有超过两倍以上，但是在实际使用中，炸药之间这些性能上的差别，却有着巨大的意义。

三、理想爆轰的传播

当炸药分解时，气体和热量的产生的过程极其迅速，以每秒

几千英尺的速度在炸药中推进，并在通过之后留下高温、高压气体，这种过程称为爆轰。爆轰过程以不变的速度稳定地在炸药中进行，这种恒定的爆速，是使炸药得以有效地被利用的重要基本特性之一。

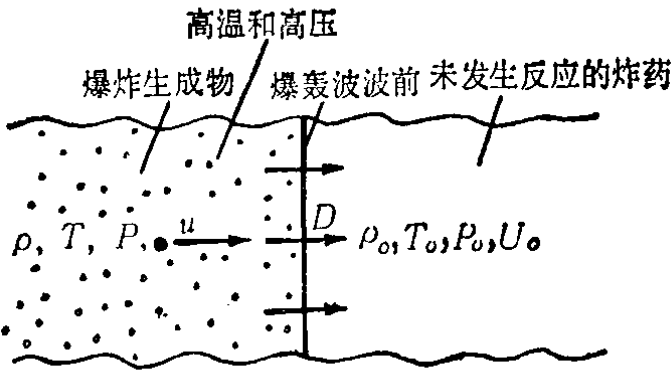


图 1-1 理想爆轰过程的参数

可以比较简单地把理想爆轰(见图1-1)看成是以恒定的爆速 D 在炸药中传播的一种急剧突变。在爆轰波前的右侧，未爆炸的炸药保持其初始条件：密度 ρ_0 和温度 T_0 。假设爆轰波波前左侧的炸药已经完全完成了它的反应，高温 (T) 和高压 (P) 的气体充满它原有的体积，把气体的密度压缩到 ρ (大大超过了爆炸前炸药的密度 ρ_0)，使其以速度 u 向右流动。在假定爆轰过程是靠炸药放热反应的能量保持的情况下，可以认为在理想爆轰过程中高温气体不存在横向扩散。这样，只需引用质量、能量和动量守恒定律，并合理地假设气体生成物中的音速、质点速度和爆速之间的关系，就可以对整个理想爆轰过程用流体动力学的理论加以说明。

不同种类的炸药，它们的爆速也不同，其范围是从8000英尺/秒（如硝酸铵）到26000英尺/秒（以RDX为基的炸药）。颗粒状炸药TNT的爆速取决于它的容重。容重是对颗粒炸药爆速影响最大的一个参数。当密度的变化范围是从 $\rho_0=1$ 到 $\rho_0=1.6$ 时，爆速 D 与初始密度 ρ_0 之间非常近似地成正比关系：

$$D = A\rho_0 \quad (1-1)$$

式中 D ——爆速；

ρ_0 ——初始密度；

A ——与炸药种类有关的常数。

如果一种炸药的 $A=4.5 \times 10^5$ 厘米⁴/克秒、 $\rho_0=1$ 克/厘米³，则根据公式（1-1）可知，它的爆速等于4.5公里/秒；但如果 $\rho_0=1.6$ 克/厘米³，则它的爆速将等于7.2公里/秒。压力对爆速十分敏感，随爆速的平方变化，它们之间的关系可以表示为：

$$P = D^2 \rho_0 (\rho - \rho_0) / \rho \quad (1-2)$$

式中 P ——压力；

D ——爆速；

ρ_0 ——炸药的初始密度；

ρ ——爆炸生成物的密度。

这两个公式是以确定爆速与炸药密度关系的实验数据为基础建立的，利用这两个公式可以计算所有的爆炸参数。对于一种爆速 $D=7.2$ 公里、 $\rho_0=1.6$ 克/厘米³的典型炸药来说，其爆炸生成物的密度 $\rho=2.13$ 克/厘米³，差不多增大了30%。在这种情况下，压力 P 等于200千巴，而爆炸生成物的流速 u （在图1-1中方向朝右）可由下式确定：

$$u = D(\rho - \rho_0) / \rho \quad (1-3)$$

其值等于1.8公里/秒，为爆速的四分之一。一般，炸药是从一点起爆的。在图1-2中所示的无限介质的情况下，爆轰波从这一点以不变的速度向所有的方向传播，形成球形的爆轰波波前。对于高能炸药来说，爆轰波波前推进1英尺距离所需的时间大约为40微秒。随着爆轰波的向外扩展，波前的曲率逐渐减小，在距离起

爆点较远的地方，实际上可以把波前看成是平面。图 1-3 是爆轰波波前在有横向约束的装药中的发展情况，圆柱形装药是这种装药的典型例子。还有一种常用的装药方式是在细长的圆柱形炸药外面包布，这种装药称为导爆索。可以把爆轰波在这种导爆索中的传播看成是一种一维过程，即爆轰以一定的速度沿着导爆索进行，而不论它弯曲的形状如何。

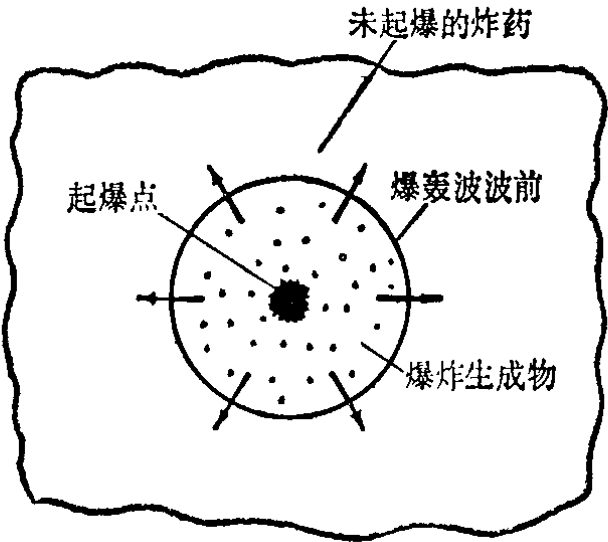


图 1-2 从一点起爆所产生的爆轰波波前

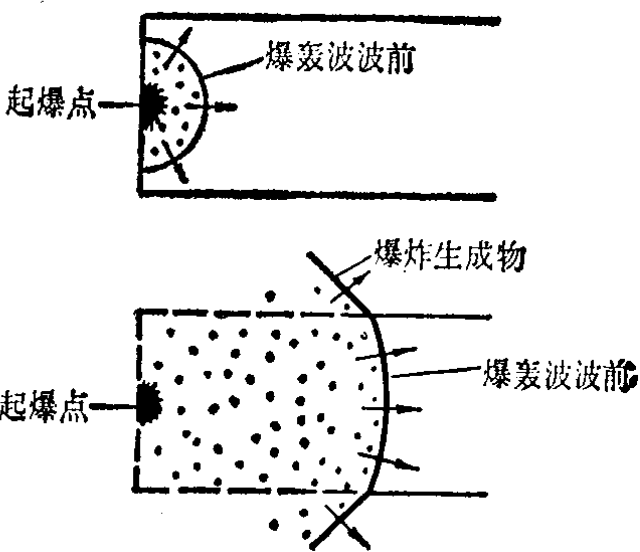


图 1-3 从一端起爆的爆轰波波前沿圆柱形装药的传播

由于各种炸药的爆速是恒定的，这就使为完成一定的任务而进行的爆炸装药的设计工作变得比较简单了。通过适当的装药空间分布，改变爆轰波波前的形状，就可以获得预定的瞬时压力分布。除此之外，利用爆轰传播速度的恒定，还可以进行分辨力达到微秒级的定时起爆。

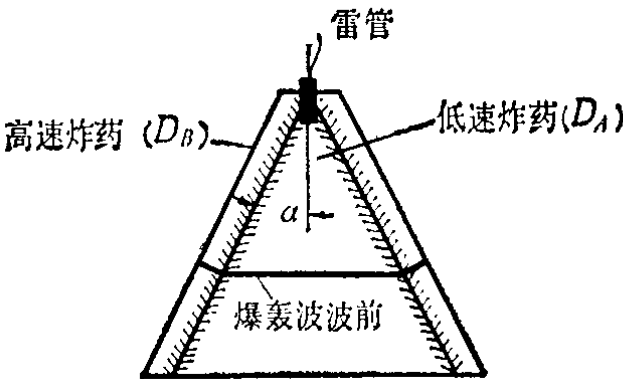


图 1-4 平面爆轰波发生器

利用爆速恒定性的另一个例子是由两种炸药所组成的平面爆轰波发生器(图1-4)，在这种装置中，虽然爆炸是从一点开始的，

但是却会产生一个平面的爆轰波波前。爆轰波发生器中的装药由炸药A和炸药B组成，具有较低的爆速 D_A 的炸药A被一薄层具有较高爆速 D_B 的炸药B所包围。角度 α 这样选择：使炸药B中的爆速的垂直分量等于爆速 D_A ，即：

$$\alpha = \arccos(D_A/D_B)。(1-4)$$

当爆轰波通过炸药B时，不断地在炸药A中引起爆轰，其速度恰好使爆轰波波前保持为一个平面。有时为了使爆轰波波前集中，还可以制作更复杂的爆炸装药系统，其方法则都是在外面包一层爆速较高的炸药。

如果在爆炸装药的内部安置某种阻挡层（如图1-5所示），阻挡住爆轰波波前的特定部分，则可以急剧地改变爆轰波波前的几何形状。在图1-5中，通过对阻挡层的特殊的布置，使爆轰波波前产生会聚，从而可以在工件中引起沿着轴线的应力集中。

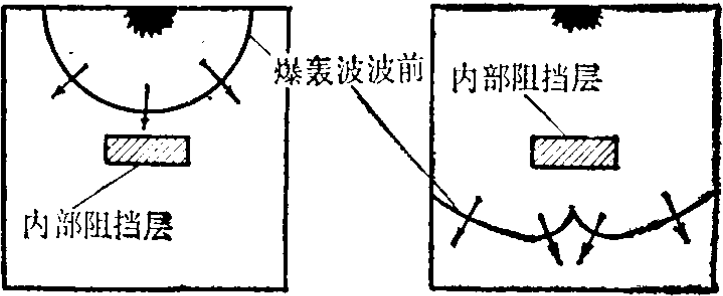


图 1-5 爆炸装药中的阻挡层对爆轰波波前的影响

四、炸药中的反应区

在上述的讨论中，都是假定固体火药转变为气体生成物的过程是在瞬间完成的。当然，实际上这是不可能的，因为所有的化学反应的完成都是需要一定时间的。因此，尚未发生反应的和已完成反应的炸药之间的界限是不明显的。图1-6中所表示的这两部分炸药之间厚度有限的边界就是炸药的反应区、当处在一个随爆轰波波前一起运动的坐标系中观察时，如爆轰是稳定的，则所看到的这一边界层的几何形状将是保持不变的。由于维持爆轰传播的能量得自反应区，所以反应区的性质是炸药的一个重要的属性，它对炸药的爆速，以及装药的性能都有很大的影响。

一些炸药的反应区的宽度列于表1-4中。象TNT、特屈尔和RDX这类反应时间很短（1或2微秒）的炸药，其反应区的宽度

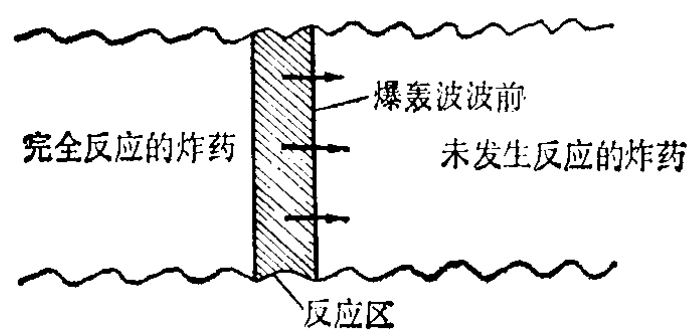


图 1-6 宽度无限大的炸药中的反应区

度大约为2或3毫米。反应更快的硝化甘油，其反应区的宽度仅有0.4毫米。象含有80%硝酸铵的阿马托（amatol）这类反应较慢的炸药，其反应区较宽，为2.06厘米。

一些炸药的反应区宽度 表 1-4

炸 药	反 应 区 宽 度（厘米）
特屈尔	0.33
RDX	0.20
阿马托80/40	2.06
硝化甘油	0.04
PETN	0.17
代那迈特	0.60
TNT(细粉)	0.30

十分明显，由于炸药的反应发生得十分迅速，所以反应区中的温度、压力和密度的分布以及炸药的分解程度都不可能是到处一致的。图1-7中表示的是上述各个参数与反应区中的位置的关系。值得注意的是：在反应开始以前，压力就立刻陡增到最大值，正是由于这种压力的突升，才不断地引起下一步反应的发生。一旦稳定的爆轰建立起来之后，情况将保持稳定，在观察的瞬间以前发生的反应所产生的高压将服从能量守恒定律和查普曼—乔盖特（Chapman-Jouget）条件（压力波在反应区中传播的条件）。在爆轰波波前的后面，压力立刻下降到一个常数值，至此反应即已完成。反应区中的密度随着压力而变化，先增大随后减小。另一方面，温度在开始发生一个突升之后，将随着反应的进