

BAOPO YU BAOZHA JISHU

爆破与爆炸技术

佟 铮 马万珍 曹玉生 编著

中国人民公安大学出版社

爆破与爆炸技术

佟铮 马万珍 曹玉生 编著



中国人民公安大学出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

爆破与爆炸技术/佟铮等编著. - 北京: 中国人民公安大学出版社, 2001.11

ISBN 7-81059-934-8

I. 爆… II. 佟… III. 爆破技术 IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 008696 号

内容简介

本书是作者在多年从事教学、科研以及爆破与爆炸工程实践基础上, 参阅大量文献资料, 较系统地介绍了爆破与爆炸理论基础及其应用技术。全书共分 8 章, 内容包括: 爆破与爆炸理论基础, 起爆系统及器材, 露天工程爆破技术, 地下工程爆破技术, 拆除控制爆破技术, 爆炸破冰技术, 金属爆炸加工技术, 爆破与爆炸安全技术。

本书可作为高等院校土木工程专业以及材料工程专业的教学用书, 也可供各类从事爆破与爆炸工作的科技人员参考。

本书第六章内容为内蒙古自治区自然科学基金资助项目 (20001302)。

爆破与爆炸技术

BAOPO YU BAOZHA JISHU

佟铮 马万珍 曹玉生 编著

出版发行: 中国人民公安大学出版社

地 址: 北京市西城区木樨地南里

邮政编码: 100038

经 销: 新华书店

印 刷: 北京公大印刷厂

版 次: 2001 年 11 月第 1 版

印 次: 2002 年 8 月第 2 次

印 张: 9.375

开 本: 880 毫米 × 1230 毫米 1/32

字 数: 277 千字

印 数: 2401 - 3400 册

ISBN 7-81059-934-8/D·792

定 价: 26.00 元

本社图书出现印装质量问题, 由发行部负责调换

联系电话: (010) 83905728

版权所有 翻印必究

E-mail: cpep@public.bta.net.cn

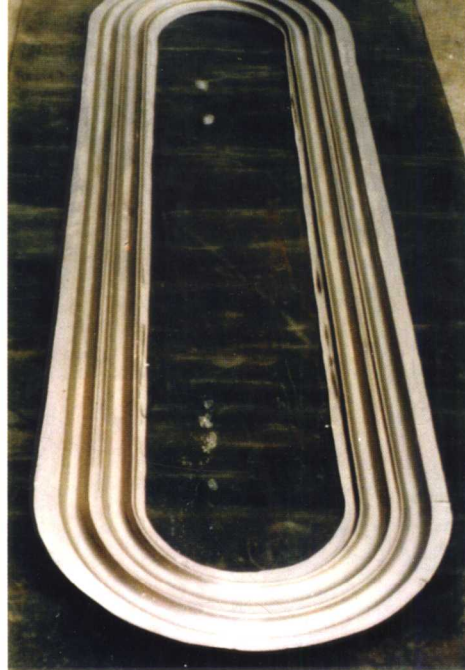


丰—准铁路路堑石方
大爆破工程



内蒙古万家寨 701 黄河公路大桥拆除控制爆破工程（全长 360 米）



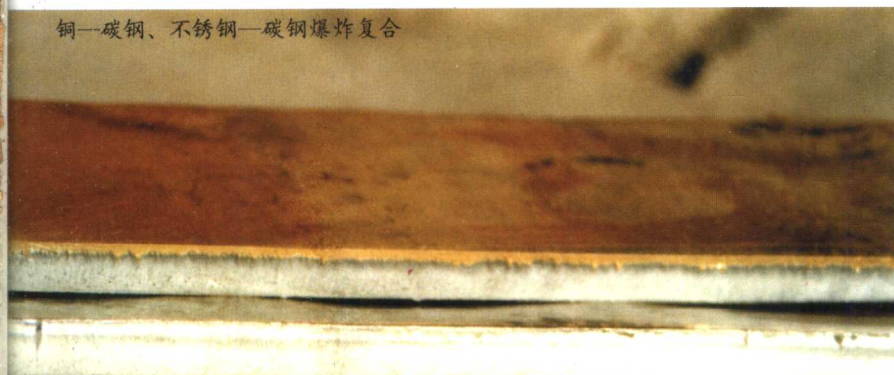


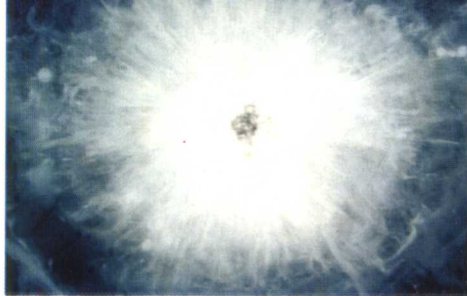
大型板状类零件及金属浮雕像爆炸成型

36毫米厚钢板爆炸切割

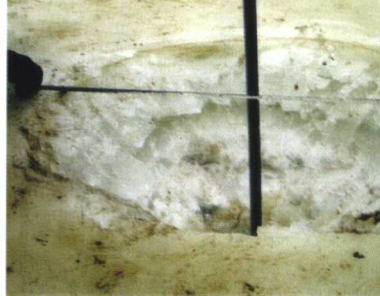


铜—碳钢、不锈钢—碳钢爆炸复合





冰介质内部爆炸作用



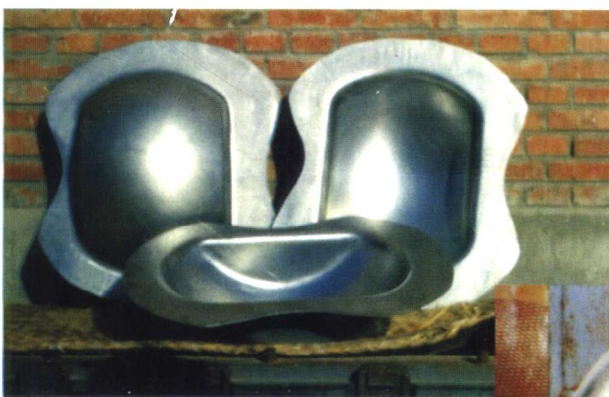
冰介质标准爆破漏斗



彩色装饰球无模爆炸成形



球形压力容器无模爆炸成形

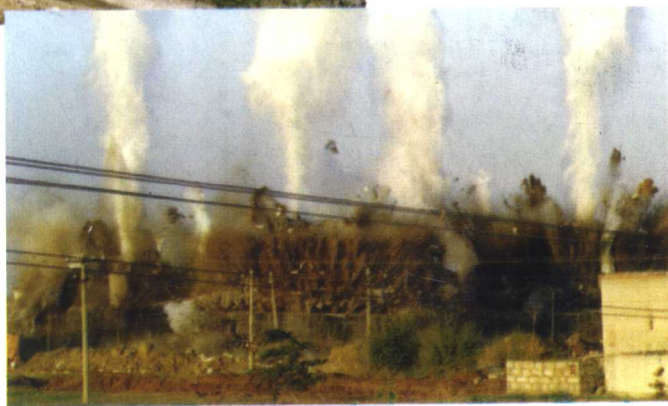


复杂曲面零件
爆炸拉深成型





呼和浩特市
超大型污水
消化罐水压控
制爆破拆除工
程 (总注水量
7000 立方米)



复杂环境中六层住宅
楼多向折叠定向
倾倒控制
爆破拆除工程



序

炸药的发明和应用，对人类社会的文明起了十分重要的作用。如今，随着社会的发展和科学技术的进步，爆破与爆炸技术的应用已深入到国民经济建设的许多领域：在工程建设方面，大量采用爆破技术去解决基本建设中的工程问题；在城市现代化建设中，拆除控制爆破技术发挥着重要作用；在工业生产中，采用爆炸加工技术可实现不同工业产品的加工；在抵御自然灾害方面，爆炸破冰技术的应用将化险为夷。

为了进一步促进我国爆破与爆炸技术的发展，佟铮副教授等三位作者在多年教学、科研和大量工程实践基础上编著了《爆破与爆炸技术》一书。该书本着重实践而不轻视理论的原则，在系统阐述爆破与爆炸基本理论基础上，较为系统全面地介绍了爆破与爆炸技术，书中融合了作者多项鲜为人知的科研成果和大型拆除控制爆破工程实例，是一本具有较高实用价值的专业参考书。

该书的编写体系精练，思路清晰，内容新颖，可读性强，适用面广，是从事爆破与爆炸技术的科技人员、大学师生和研究生参阅的一本好书。该书的公开出版发行是爆破界的一件喜事，它无疑在教学、科研和各类工程应用等方面均具有较高的参考价值，对于我国爆破与爆炸技术的发展将起到积极的推动作用。

值此该书出版发行之际，特向广大读者和同行们竭诚推荐，并乐于为之作序，谨此作为祝贺。



2001年11月于北京

前 言

随着科学技术的迅速发展，爆破与爆炸技术的实际应用已远远超越军事和矿山开采等范畴，它在国民经济建设的许多领域得到日益广泛的应用，为社会主义现代化建设做出了重大贡献。特别是近 20 年来，人们通过对爆破与爆炸过程和机理的深入研究，从理论和实践上促进了爆破与爆炸技术的迅速发展，使我国爆破与爆炸技术的发展已达到国际先进水平。

利用廉价的炸药为能源，应用于不同的工程或工业目的，具有高效、节能、工期短、成本低的特点，而且在特定条件下，它时常发挥着人工或设备所无法取代的重要作用。在工程建设方面，爆破技术成为破碎岩石的主要手段，采用定向抛掷爆破技术可将大量土石方抛掷到预定的位置，以实现移山填海、移山筑坝等大型工程目的；在城市建筑物、构筑物 and 基础等拆除爆破中，控制爆破技术得到空前的发展和运用，使其在现代化城市建设和改造中发挥着重要作用；在工业生产中，金属爆炸加工技术迅速发展，利用炸药爆炸瞬间所产生的巨大能量来进行不同种类工业产品的爆炸加工，如爆炸成形工业球形容器、将金属材料爆炸拉深成形或爆炸胀形、将多层不同的金属爆炸复合为一体，将金属表面爆炸强化或爆炸硬化以及爆炸切割金属材料或者人工爆炸合成金刚石等；在抵御自然灾害方面，可利用炸药爆炸的能量进行黄河凌汛期的破冰排凌，使我国北方沿黄河地区减少凌灾的威胁。今天，随着社会的发展和科学技术的进步，进一步推动爆破与爆炸技术的发展与应用显得更加重要。

本书是作者在多年教学、科研和大量工程实践基础之上编撰而成的。书中融合了作者近年来在爆破与爆炸技术领域中的多项科研成果和典型爆破与爆炸工程实例。书中列举了多项国内最大规模同类拆除

控制爆破工程实例，还有部分特种爆破内容与读者初次见面，有的科研成果已入选中国“八五”科学技术成果，并在国际范围进行过交流。

全书共分8章，作者努力以实际应用为出发点，在阐述爆破与爆炸基本理论上较系统地总结了爆破与爆炸技术及其应用。本书可作为有关院校采矿、土木工程专业及材料工程专业教材或参考书，也可供各类从事爆破与爆炸技术的工程技术人员参考。

国际著名爆破专家、中国工程院院士、中国爆破协会常务副理事长、国际岩石爆破破碎委员会委员、国际爆破破碎杂志亚洲区主编、北京矿冶研究总院副院长、博士生导师汪旭光教授，对本书的编写给予了大力支持和具体指导，并为本书作了序，李振声教授对本书进行了审校，在此一并表示衷心感谢！

由于作者学识有限，虽竭尽所能，谬误之处恐所难免，恳请读者批评指正。

作者

2001年11月于北京

目 录

第一章 爆破与爆炸理论基础	(1)
第一节 爆炸现象及其特征	(1)
第二节 炸药分类及其爆炸性能	(3)
第三节 炸药起爆理论	(20)
第四节 炸药传爆理论	(21)
第五节 岩体介质爆破破碎理论	(31)
第六节 岩石特性及其分级	(49)
第二章 起爆系统及器材	(56)
第一节 非电力起爆系统及器材	(56)
第二节 电力起爆系统及器材	(69)
第三章 露天工程爆破技术	(80)
第一节 露天台阶爆破	(80)
第二节 露天硐室爆破	(89)
第三节 道路工程爆破	(112)
第四节 沟槽爆破	(117)
第五节 基础扩桩爆破	(118)
第四章 地下工程爆破技术	(123)
第一节 掏槽爆破	(123)
第二节 掘进爆破	(126)
第三节 光面爆破	(130)
第四节 微差爆破	(135)
第五章 拆除控制爆破技术	(138)
第一节 拆除控制爆破基本原理	(138)
第二节 基础拆除控制爆破	(146)
第三节 楼房、厂房拆除控制爆破	(151)
第四节 烟囱、水塔拆除控制爆破	(163)

第五节	桥梁拆除控制爆破·····	(170)
第六节	水压控制爆破·····	(174)
第七节	静态破碎·····	(184)
第六章	爆炸破冰技术·····	(193)
第一节	冰介质的基本性能·····	(193)
第二节	药包在冰介质内部爆炸作用机理·····	(196)
第三节	冰介质爆破漏斗及单位药量·····	(201)
第四节	冰的爆破·····	(203)
第五节	黄河凌坝体爆炸破冰排凌·····	(205)
第七章	金属爆炸加工技术·····	(210)
第一节	金属爆炸加工的基本理论·····	(210)
第二节	金属球形容器无模爆炸成形·····	(221)
第三节	金属板料爆炸拉深·····	(231)
第四节	金属筒形件爆炸胀形·····	(237)
第五节	金属爆炸焊接·····	(243)
第六节	金属爆炸切割·····	(251)
第七节	粉末爆炸压制·····	(258)
第八节	其他爆炸加工技术·····	(261)
第八章	爆破与爆炸安全技术·····	(269)
第一节	爆破震动效应的控制·····	(269)
第二节	爆炸空气冲击波与噪声的控制·····	(274)
第三节	爆破飞石的控制·····	(280)
第四节	外来电流的危害及预防·····	(283)
第五节	盲炮的预防与处理·····	(287)
主要参考文献	·····	(289)

第一章 爆破与爆炸理论基础

第一节 爆炸现象及其特征

一、爆炸现象

爆炸现象，是物质系统蕴藏的或瞬间形成的大量能量在有限体积和极短时间内骤然释放或急剧转化的现象。在这种骤然释放或急剧转化的过程中，物质系统的能量转化为机械功以及光和热的辐射等。在自然界中，存在着各种各样的爆炸现象。根据它们产生的原因和特点，可分为三类。

1. 物理爆炸：在爆炸前后，仅发生物质形态的变化，而物质的化学成分和性质并未改变的爆炸现象，称为物理爆炸。如：锅炉、车胎、氧气瓶等爆炸均为物理爆炸。

2. 化学爆炸：在爆炸前后，不仅发生物质形态的变化，而且物质的化学成分和性质也发生改变的爆炸现象，称为化学爆炸。如：各种炸药、瓦斯、煤尘等爆炸均为化学爆炸。

3. 核爆炸：由于某些物质的原子核发生裂变或聚变的连锁反应释放出巨大能量而引起的爆炸现象，称为核爆炸。

目前，各类爆破工程主要是利用炸药化学爆炸的破坏功能。这是因为炸药这种化合物不仅具有巨大的爆炸威力，并且价格十分低廉，也易于控制。

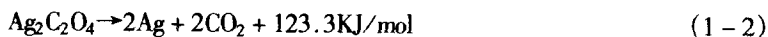
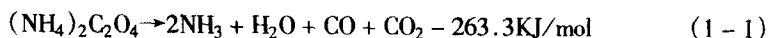
概括地讲，爆炸是物质系统一种急剧的物理或化学变化过程，系统本身能量的转化可对周围介质做机械功，同时伴随着强烈声、光、热等效应。

二、炸药爆炸基本特征

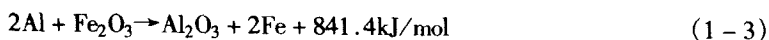
炸药是在一定条件下，能发生急剧化学反应，放出大量的热量，生成大量气体，显示爆炸效应的化合物或混合物，一般由碳、氢、

氧、氮等元素构成。炸药的爆炸就是炸药中的氧对其他元素，主要是碳、氢的氧化过程。炸药爆炸必须具备以下四个特征，即变化过程应是放热的、反应过程是高速的、生成大量气体产物和能够自动进行传播的特征。

1. 放热反应：热是爆炸做功的能源。炸药爆炸化学反应释放大热量是它对周围介质作机械功的物质基础，也是使反应高速自动进行的首要条件。否则，化学变化不能自行传播，爆炸过程也就不能产生。如草酸铵在吸热反应的条件下不爆炸，而草酸银在放热反应条件下则发生爆炸。



2. 生成大量气体：炸药爆炸时所产生的气体产物是对外做功的介质。由于气体具有很大的可压缩性和很高的膨胀系数，炸药爆炸瞬间生成的大量气体产物，在爆热作用下形成高温高压状态，并在膨胀过程中将能量迅速转变为机械功使周围介质受到破坏。如果化学反应不生成大量气体，即使放热量大，也不会发生爆炸。如铝和氧化铁的反应：



反应放出的热量很高，但反应过程没有生成大量气体，因而不是爆炸反应。

3. 反应过程高速进行：只有高速的化学反应，才能保证炸药能量高度集中于有限空间内。当能量瞬间释放，即产生巨大功率。否则，即使化学反应具备上述两个条件，也不会产生爆炸。如煤的燃烧，既生成大量热又生成气体，但煤的燃烧过程进行的十分缓慢，因而不能形成爆炸。

4. 反应过程自动传播：在外部能量激发下，炸药爆炸放出大量的热，致使炸药中局部化学反应后，其余部分的反应则无需任何外部因素就能自动传播下去。

综上所述，炸药爆炸是一个高速、自动进行并伴随产生大量气体产物的放热化学反应过程，必须具备上述四个基本条件，四者相辅相成，缺一不可，只有它们的综合效果才能使炸药的化学过程具有爆炸

性质。

三、炸药化学反应基本形式

根据化学反应的激发条件，爆炸并不是炸药惟一的化学反应形式，由于条件不同，炸药的化学反应过程以不同的速度进行传播，并且在性质上有着重大区别。炸药化学反应的基本形式主要有以下四种。

1. 热分解：炸药同其他物质一样，它在一定的温度下会发生热分解，这种热分解是在整个炸药内全面发生，分解速度与环境温度有关，它反映了炸药的化学安定性。显然，炸药的热分解性能直接影响着炸药的存储。

2. 燃烧：炸药在一定的条件下可以被点燃，并且随着温度、压力环境的变化以不同速度进行缓慢的燃烧（每秒数毫米）或速燃甚至爆燃（每秒数米）。炸药在密闭空间中燃烧时，由于其压力和温度超过极限值，稳定的燃烧可能变为爆炸。

3. 爆炸：在足够的外部能量作用下，炸药以每秒数百米至数千米的高速进行爆炸反应。与燃烧相比，爆炸在传播的形态上有着重大的本质区别。当炸药的爆炸反应速度增长到稳定爆速的最大值时就转化为爆轰。因此，爆炸只是炸药反应过程中的一种过渡状态。

4. 爆轰：爆轰是指炸药以每秒数千米的最大稳定速度进行反应的过程。它是炸药特有的一种化学反应形式，并且与外部的压力、温度等条件无关。一种炸药在特定条件下的爆轰速度为常数。炸药在爆轰条件下具有最大的破坏作用。

炸药上述化学反应形式，在一定条件下是可以相互转化的。热分解也可发展为燃烧甚至爆炸；反之，爆炸也可以转变为燃烧或热分解。

第二节 炸药分类及其爆炸性能

一、常用工业炸药分类

凡在外部施加一定的能量后，能发生化学爆炸的物质叫炸药。由于炸药的组成、物理性质、化学性质、爆炸性能的不同，所以炸药的

分类方法很多。对于常用工业炸药，目前一般都是根据炸药的组成和用途来分类。

（一）按炸药组成分类

1. 单质炸药：单质炸药系指碳、氢、氧、氮等元素以一定的化学结构存在于同一分子中，并能自身发生迅速氧化还原反应的物质。这种单一成分化合物类炸药的分子内含有特殊的原子团，因而具有不稳定性，在外界一定的热能和机械能的作用下即行分解，引起爆炸反应。

2. 混合炸药：混合炸药系指由两种或两种以上独立的化学成分所组成的机械混合物，既可以含单质炸药，也可以不含单质炸药，但应含有氧化剂和可燃剂两部分，而且二者是以一定的比例均匀混合在一起的，当受到外部能量激发时，能发生爆炸反应。混合炸药是目前各类爆破工程中应用最广、品种最多的一类炸药。

（二）按炸药用途分类

1. 起爆药：起爆药的共同特点是感度（敏感度）高，它是一种对外界作用十分敏感的炸药，在较轻微的外界作用（机械作用、热作用等）下，即可发生爆炸，而且其反应过程极为短暂，一旦引爆便迅速转化为稳定的爆轰。在爆破工程中，起爆药主要用于制作起爆器材（火雷管和电雷管等），用来起爆其他猛炸药。属于此类炸药的有雷汞、氮化铅等。

2. 猛炸药：同起爆药相比，猛炸药的感度较低，具有相当的稳定性，使用时通常需要借助起爆药才能激发爆轰，猛炸药爆炸的主要形式是爆轰。猛炸药一旦被起爆就会有更高的爆速和更强烈的破坏威力，由于猛炸药的爆炸威力大，破碎岩石和构筑物的效果好，所以它是各类爆破工程中最基本的常用炸药类型。猛炸药还可分为单质猛炸药和混合猛炸药两类。

3. 发射药：发射药的特点是它对火焰的感度极高，它的反应过程是迅速燃烧。发射药能够在没有外界助燃剂（如氧）的参与下进行有规律的燃烧，放出大量的热量和气体，对外界做抛射功。发射药在密闭条件下也可转化为爆炸。此类炸药适用于军事上的枪炮或火箭推进剂。黑火药就是发射药的一种，常用以制造导火索。

二、单质炸药

1. 单质起爆药

单质起爆药主要用于引发猛炸药的爆炸。常用单质起爆药有雷汞、氮化铅和二硝基重氮酚等。

(1) 雷汞：雷汞 $\text{Hg}(\text{CNO})_2$ 为白色或灰白色微细晶体，干燥的雷汞对撞击、摩擦和火花均极为敏感，容易发生爆炸。潮湿的或压制的雷汞感度降低。湿雷汞易与铝起作用生成极易爆炸的雷酸盐，故不能用铝材制作雷汞雷管的外壳。工业用雷管都用铜壳或纸壳。应防止雷汞受潮，以免发生雷管拒爆。

(2) 氮化铅：氮化铅 $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ 通常为白色针状晶体，与雷汞或二硝基重氮酚比较，热感度较低，而起爆威力较大。氮化铅不因潮湿而失去爆炸能力，可用于水下起爆。由于氮化铅在有 CO_2 存在的潮湿环境中易与铜发生作用而生成极敏感的氮化铜，因此氮化铅雷管不可用铜管壳而用铝壳或纸壳。

(3) 二硝基重氮酚 $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_2\text{N}_2\text{O}$ (简称 DDNP) 为黄色或黄褐色晶体。它的安全性好，在常温下长期贮存于水中仍不降低其爆炸性能。干燥的二硝基重氮酚在 75°C 时开始分解， $170^\circ\text{C} \sim 175^\circ\text{C}$ 时爆炸。二硝基重氮酚对撞击、摩擦的感度均比雷汞或氮化铅低。它的热感度则介于两者之间。由于二硝基重氮酚的原料来源广、生产工艺简单、安全、成本较低，而且具有良好的起爆性能，所以目前国产工业雷管主要是用它来作起爆药。

2. 单质猛炸药

单质猛炸药是一种具有强烈爆炸作用的化合物。与起爆药相比，敏感度较低，爆炸威力大，可用作雷管的加强药。工业上常用的单质猛炸药有梯恩梯、黑索金、泰安、硝化甘油等。

(1) 梯恩梯，即三硝基甲苯，简称 TNT。它是黄色晶体，吸湿性弱，几乎不溶于水。梯恩梯的热安定性好，常温下不分解，遇火能燃烧，在密闭条件下或大量燃烧时转为爆炸。它的机械感度较低，但如混入细砂一类硬质掺合物时则易引爆。梯恩梯有广泛的军事用途，工业上常用精制梯恩梯作雷管中的加强药或硝铵类炸药中的敏化剂。

(2) 黑索金，即环三次甲基三硝胺 $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_3(\text{NO}_2)_3$ ，简称 RDX。