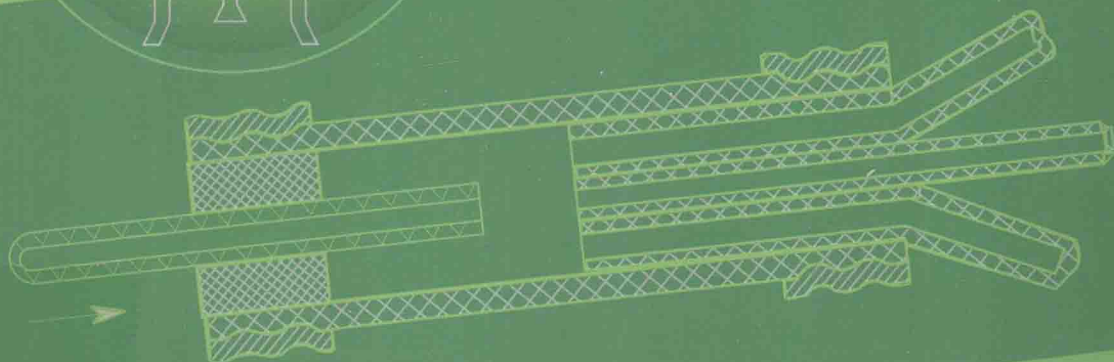
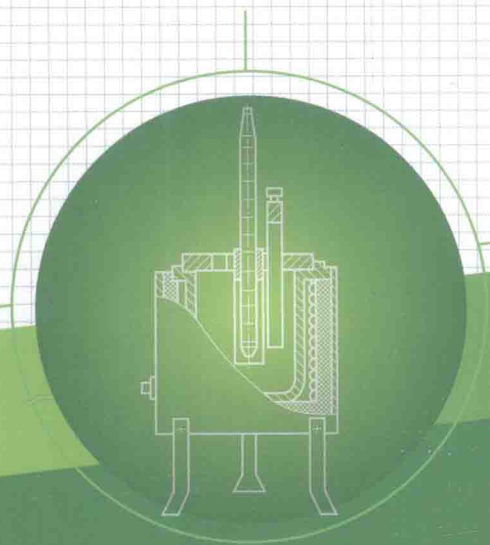




KUANGSHAN BAOPO SHIYONG JISHU XIJIE XIANGJIE

矿山爆破实用技术 细节详解

张立国 主编



化学工业出版社



煤矿实用技术细节丛书

KUANGSHAN BAOPO SHIYONG JISHU XIJIE XIANGJIE

矿山爆破实用技术 细节详解

张立国 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《矿山爆破实用技术细节详解》详细讲述了矿山爆破工程的理论、技术和方法等知识。全书分为7章,全面系统地阐述了爆炸和炸药的基本理论、岩石爆破作用原理、爆破器材与起爆方法、露天矿山爆破技术、井巷掘进爆破技术、地下采矿爆破技术、爆破安全技术等内容。各节内容采用“细节+详解”的体例,详细讲解各章节的主要内容,语言精练、简洁,便于读者更好地理解掌握。

《矿山爆破实用技术细节详解》可供从事矿山爆破工程的技术人员和管理人员参考使用,也可供相关院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

矿山爆破实用技术细节详解/张立国主编. —北京:化学工业出版社, 2015. 4

(煤矿实用技术细节丛书)

ISBN 978-7-122-22981-6

I. ①矿… II. ①张… III. ①煤矿-爆破安全 IV. ①TD7

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第026385号

责任编辑:袁海燕

装帧设计:刘丽华

责任校对:边涛

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张13 $\frac{3}{4}$ 字数346千字 2015年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00元

版权所有 违者必究

《矿山爆破实用技术细节详解》编写人员

主编 张立国

参编 南存全 贾宝山 张亚明 闫平科
白雅君 张淑鑫 颜廷荣 张立国

FOREWORD

前言

矿山爆破是将矿石从岩体中剥落下来和对矿体顶板围岩进行剥离，并按照工程要求爆破成一定的爆堆，破碎成一定的块度，为随后的铲装、运输工作创造条件。在矿山建设和生产中，爆破方法是破碎矿岩的主要手段。矿山爆破技术在矿山工程建设和生产中起到了很大作用并得到迅速的发展。因此，培养更好的矿山爆破工程相关技术及管理人员也就变得十分重要。

随着采矿业的迅速发展，矿山爆破工艺和技术水平等都有了很大的提高，为了适应这种发展趋势，编写了本书。《矿山爆破实用技术细节详解》系统地介绍了矿山爆破技术的相关理论、技术和方法。内容简洁明了、通俗易懂。主要对爆炸和炸药的基本理论、岩石爆破作用原理、爆破器材与起爆方法、露天矿山爆破技术、井巷掘进爆破技术、地下采矿爆破技术、爆破安全技术等内容作了详细讲解。书中内容具有很强的条理性，采用“细节+讲解”的编写方式，重点突出，便于相关技术人员操作和理解。

《矿山爆破实用技术细节详解》可供从事矿山爆破工程的技术人员和管理人员参考使用，也可供相关院校师生参考使用。

该书由张立国主编，参加编写的人员还有南存全、贾宝山、张亚明、闫平科、白雅君、张淑鑫、颜廷荣等。

由于编者水平和时间有限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者
2015年1月

CONTENTS

目录

第1章 爆炸和炸药的基本理论

1

1.1 炸药爆炸的基本知识	1
细节1 爆炸及其分类	1
细节2 炸药爆炸的基本条件	2
细节3 炸药化学变化的基本形式	3
1.2 炸药的起爆和感度	4
细节1 炸药的起爆与起爆能	4
细节2 炸药起爆的基本理论	5
细节3 炸药的感度	6
细节4 影响炸药感度的因素	12
1.3 炸药的爆轰波理论	13
细节1 爆轰波与爆轰过程	13
细节2 爆轰波基本方程	14
细节3 爆轰波参数计算公式	15
细节4 爆轰波稳定传播的条件	16
1.4 炸药氧平衡与热化学参数	17
细节1 炸药的氧平衡	17
细节2 炸药的热化学参数	19
1.5 炸药的爆炸性能	21
细节1 爆速	21
细节2 炸药的爆力	23
细节3 猛度	24
细节4 殉爆和殉爆距离	25
细节5 聚能效应	26
细节6 沟槽效应	27
思考题	27

第2章 岩石爆破作用原理

28

2.1 岩石可爆性及其分级	28
---------------------	----

细节 1 岩石可爆性	28
细节 2 岩石可爆性分级方法	28
2.2 岩石中的爆炸应力波	30
细节 1 岩石的动力学特性	30
细节 2 爆炸应力波的传播特性	30
2.3 岩石爆破破碎机理	31
细节 1 爆炸气体产物膨胀压力破坏理论	32
细节 2 应力波反射拉伸破坏理论	32
细节 3 爆炸应力波和爆炸气体综合作用理论	32
2.4 岩石的爆破作用	33
细节 1 装药的内部爆破作用	33
细节 2 装药的外部爆破作用	34
2.5 影响爆破作用的主要因素	37
细节 1 炸药性能对爆破作用的影响	37
细节 2 岩石特性对爆破作用的影响	38
细节 3 爆破条件和爆破工艺对爆破效果的影响	40
思考题	43

第 3 章 爆破器材与起爆方法

44

3.1 工业炸药	44
3.1.1 炸药的分类及对工业炸药的性能要求	44
细节 1 炸药的分类	44
细节 2 工程爆破对工业炸药的要求	46
3.1.2 常用的工业炸药	47
细节 1 铵梯炸药	47
细节 2 铵油炸药	49
细节 3 乳化炸药等含水炸药	50
细节 4 煤矿许用炸药	53
细节 5 其他工业炸药	54
3.2 起爆器材	56
3.2.1 雷管	56
细节 1 常用雷管的分类及要求	56
细节 2 火雷管	57
细节 3 电雷管	59
细节 4 导爆管雷管	65
3.2.2 索状起爆器材	66
细节 1 导火索	66
细节 2 导爆索	67
细节 3 导爆管	69
3.2.3 继爆管	72
细节 1 继爆管的结构和作用原理	72
细节 2 继爆管的段别和性能	72

3.3 爆破器材的检验和销毁	73
3.3.1 爆破器材的检验	73
细节1 工业炸药的检验	73
细节2 起爆器材的检验	74
3.3.2 爆破器材的销毁	74
细节1 爆炸销毁法	74
细节2 焚烧销毁法	75
细节3 溶解销毁法	75
细节4 化学分解法	75
3.4 起爆方法	76
3.4.1 起爆方法概述	76
3.4.2 电雷管起爆法	76
细节1 电力起爆法的特点	76
细节2 电爆网路组成与量测仪表	76
细节3 电爆网路的基本连接方式	78
细节4 电爆网路的计算	79
细节5 采用电力起爆法的注意事项	80
3.4.3 导爆索起爆法	82
细节1 导爆索起爆法的特点	82
细节2 导爆索的连接方法	82
细节3 导爆索与炸药连接	83
细节4 导爆索起爆网路	83
3.4.4 导爆管雷管起爆法	84
细节1 导爆管起爆系统的组成和特点	84
细节2 导爆管起爆网路的连接形式	86
细节3 导爆管起爆网路实例	87
细节4 导爆管起爆网路的可靠度	88
细节5 起爆网路准爆的影响因素	88
细节6 导爆管起爆网路的设计要求	90
细节7 导爆管网路施工技术	91
3.4.5 高精度导爆管雷管起爆系统与逐孔起爆技术	92
细节1 高精度导爆管雷管起爆系统	92
细节2 导爆管雷管逐孔起爆技术	93
3.4.6 其他起爆方法	94
细节1 电磁波起爆法	94
细节2 高能电磁感应起爆法	95
细节3 数码电子雷管起爆法	95
细节4 混合起爆法	98
思考题	99

第4章 露天矿山爆破技术

100

4.1 露天深孔台阶爆破	100
--------------------	-----

4.1.1 露天深孔台阶爆破设计	100
细节1 台阶要素与钻孔形式	100
细节2 深孔台阶爆破参数	101
细节3 露天深孔爆破装药结构	106
细节4 露天深孔爆破布孔方式与起爆方式	107
4.1.2 露天深孔微差爆破技术	108
细节1 微差爆破作用原理	108
细节2 微差爆破间隔时间的确定	109
细节3 露天矿山多排孔微差爆破的优点及要求	110
细节4 多排孔微差挤压爆破	110
细节5 高台阶爆破	112
4.1.3 露天矿山穿孔设备	113
细节1 潜孔钻机	113
细节2 牙轮钻机	115
4.2 露天矿道路开挖爆破	118
4.2.1 路堑的开挖爆破	118
细节1 装药量计算和炮孔参数设置	118
细节2 微差爆破的参数和计算	119
4.2.2 沟槽的开挖爆破	119
细节1 沟槽开挖爆破特点	119
细节2 沟槽爆破方法	121
4.3 其他露天爆破	123
细节1 浅孔爆破	123
细节2 裸露药包爆破	125
细节3 硐室爆破	125
思考题	127

第5章 井巷掘进爆破技术

128

5.1 井筒掘进爆破技术	128
5.1.1 竖井工作面炮孔布置	128
细节1 掏槽眼的形式	128
细节2 辅助眼和周边眼布置	130
5.1.2 竖井爆破参数的确定	130
细节1 炮孔直径和深度	130
细节2 炮孔数目	131
细节3 炮孔布置	131
细节4 单位炸药消耗量	131
细节5 竖井爆破掏槽方法	132
5.1.3 斜井掘进爆破参数	134
细节1 斜井掘进作业的特点	134
细节2 斜井掘进爆破参数的确定方法	134
5.1.4 天井掘进爆破	134

细节 1 浅眼爆破法	134
细节 2 深孔爆破法	134
5.2 平巷掘进爆破技术	137
5.2.1 工作面和炮眼布置	137
细节 1 炮孔分类	137
细节 2 掏槽眼的排列形式	138
细节 3 辅助眼和周边眼的布置原则	141
5.2.2 爆破参数确定	141
细节 1 炮眼直径	141
细节 2 炮眼深度	142
细节 3 炮眼数目	142
细节 4 单位炸药消耗量	142
思考题	143

第 6 章 地下采矿爆破技术

144

6.1 地下采场浅孔爆破	144
6.1.1 炮孔布置	144
6.1.2 爆破参数	145
细节 1 炮孔直径和炮孔深度	145
细节 2 最小抵抗线和炮孔间距	146
细节 3 单位炸药消耗量	146
细节 4 单孔装药量和一次爆破总药量	146
6.2 地下采场深孔爆破	147
6.2.1 深孔布孔方式	147
细节 1 水平扇形布孔	149
细节 2 垂直扇形布孔	150
细节 3 倾斜扇形布孔	150
6.2.2 深孔爆破参数	151
细节 1 深孔直径	151
细节 2 炮孔深度	151
细节 3 最小抵抗线、孔间距和密集系数	152
细节 4 堵塞长度	153
细节 5 单位炸药消耗量	153
细节 6 单孔装药量	154
6.2.3 深孔爆破设计	154
细节 1 地下采场深孔爆破的设计内容	155
细节 2 地下采场深孔爆破设计的准备工作	155
细节 3 地下采场深孔爆破布孔设计原则	155
细节 4 深孔爆破的起爆网路	156
细节 5 地下采场深孔爆破施工工艺及注意事项	156
6.2.4 VCR 采矿法	156
细节 1 VCR 法的原理	156

细节 2 VCR 法采矿工艺	157
细节 3 VCR 法的优点和发展	158
6.2.5 地下深孔挤压爆破	158
6.3 煤矿井下爆破	159
6.3.1 煤矿井下爆破特点及煤矿许用爆破器材	160
细节 1 煤矿井下爆破特点	160
细节 2 煤矿许用爆破器材	160
细节 3 煤矿井下爆破网路	160
6.3.2 半煤岩巷道掘进爆破	161
细节 1 炮孔布置	161
细节 2 钻机选择及施工组织	161
6.3.3 煤巷掘进爆破	161
6.3.4 采煤工作面爆破	162
细节 1 炮孔布置形式	162
细节 2 爆破参数	164
细节 3 炮采工作面爆破顺序	165
6.3.5 急倾斜煤层采煤爆破	166
6.3.6 放顶煤松动爆破	166
6.3.7 石门揭开煤层时的震动放炮	168
细节 1 瓦斯排放	168
细节 2 震动放炮的实质	168
细节 3 震动放炮炮眼布置	169
细节 4 震动放炮的主要措施	169
思考题	169

第 7 章 爆破安全技术

171

7.1 爆破器材的安全管理	171
7.1.1 爆破器材的贮存	171
细节 1 爆破器材库的安全距离	171
细节 2 爆破器材贮存的一般规定	172
细节 3 爆破器材贮存、收发与库房管理的具体规定	173
细节 4 临时性爆破器材库和临时性存放爆破器材的要求	173
7.1.2 爆破器材的运输	174
细节 1 爆破器材运输的一般规定	174
细节 2 爆破器材的运输方法	175
细节 3 爆破器材的装卸	176
细节 4 往爆破作业地点运输爆破器材	176
7.2 爆破引发的事故	177
细节 1 爆破引起瓦斯事故	177
细节 2 爆破引起煤尘事故	177
细节 3 爆破引起透水事故	177
7.3 爆破安全距离	178

细节 1	爆破地震作用安全距离	178
细节 2	爆破冲击波安全距离	179
细节 3	个别飞散物安全距离	179
细节 4	贯通巷道爆破安全距离	180
7.4	爆破事故预防与处理	181
细节 1	早爆产生的原因和预防措施	181
细节 2	拒爆和丢炮的防治和处理	182
细节 3	残爆、爆燃和缓爆产生的原因和预防措施	184
细节 4	放空炮的原因及其预防措施	185
细节 5	炮烟熏人的原因和预防措施	185
细节 6	爆破伤人的原因和预防措施	186
细节 7	爆破崩倒支架造成冒顶的原因及预防措施	187
7.5	爆破安全知识	188
细节 1	爆破工作一般安全知识	188
细节 2	从事爆破作业单位应具备的条件	189
细节 3	对从事爆破作业的单位及作业人员的规定	190
细节 4	特殊场所进行爆破作业的规定	190
7.6	爆破工作中自救、互救和创伤急救	190
细节 1	矿工自救与互救原则	190
细节 2	发生灾害事故的基本行动原则和组织救灾要求	191
细节 3	事故发生时自救和互救措施	192
细节 4	现场创伤急救技术	196
细节 5	创伤急救方法	204
	思考题	205

爆炸和炸药的基本理论

1.1 炸药爆炸的基本知识



► 细节1 爆炸及其分类

(1) 爆炸

在自然界中，经常会遇到各种爆炸现象。爆炸发生时，常伴随有强烈的放热、发光、声响等效应。如汽车或自行车轮胎“放炮”、锅炉爆炸、鞭炮燃放、原子弹与氢弹爆炸等。

广义地讲，爆炸是某一物质系统的一种极迅速的物理或化学变化。在变化过程中，瞬间释放系统内含有的能量，并借助系统内原有气体或爆炸生成气体的膨胀对周围介质做功，使之产生巨大的机械破坏效应。

(2) 爆炸分类

按引起爆炸原因和特征的不同，可将爆炸分为物理爆炸、核爆炸和化学爆炸三类。

① 物理爆炸

由物理原因造成的爆炸，爆炸时不发生化学变化，物质的化学成分和性质不发生改变，仅仅是物质的存在形态发生变化的爆炸现象称为物理爆炸。例如，氧气瓶爆炸、锅炉爆炸、轮胎爆胎等都是物理爆炸。在实际生产中，除了煤矿利用内装压缩空气或者二氧化碳的爆破筒落煤外，很少应用物理爆炸。

② 核爆炸

由原子核裂变（如 ^{235}U 的裂变）或核聚变（如氘、氚、锂的聚变）的链式反应释放出巨大能量而引起的爆炸现象称为核爆炸，如原子弹、氢弹的爆炸。核爆炸释放出的能量相当于数万吨至数千万吨梯恩梯（TNT）爆炸，爆炸中心区温度可达数百万至数千万摄氏度，压力可达数十万兆帕以上，并辐射出很强的各种射线。

③ 化学爆炸

由化学变化所引起的爆炸，发生爆炸时，不仅物质形态发生变化，而且物质的化学成分和性质也发生变化的爆炸现象称为化学爆炸。例如，各种炸药、瓦斯、煤尘的爆炸以及鞭炮燃放等均属于化学爆炸。

工程爆破是利用炸药爆炸所释放出的能量对介质做功，以达到预定工程目的的爆破作业。岩石的爆破过程就是炸药发生化学爆炸释放能量，并将能量转化成机械功、破坏岩石的过程。因此，在工程爆破中研究应用最广泛的爆炸是炸药的化学爆炸。

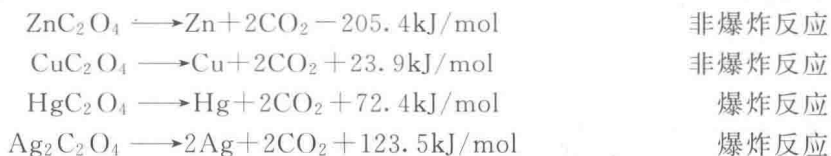
► 细节 2 炸药爆炸的基本条件

炸药是在一定条件下，能够发生快速化学反应，放出能量，生成气体产物，并显示爆炸效应的化合物或混合物。

炸药爆炸必须同时具备以下三个基本条件，缺一不可，也称为炸药爆炸的三要素。

(1) 变化过程释放大量的热

放热是炸药发生爆炸反应得以进行的首要条件。热是爆炸做功的能源，如果化学变化过程中没有足够的热量放出，化学变化本身不能供给继续变化所需的能量，化学反应就不能自行传播，爆炸过程也就根本不可能发生。化学变化是否具有爆炸性可以从以下典型的草酸盐分解反应看出：



以上 4 个分解反应，虽然都生成气体产物，反应速率也很高，但第一个反应是吸热反应，不可能发生爆炸；第二个反应虽然属于放热反应，但反应热很小，不足以使反应自动加速和传播，也不是爆炸反应；而后两个反应由于是放热反应，且放出的热量足够大，能够使反应得以迅速进行并稳定传播，具有明显的爆炸特征。

(2) 反应过程的高速率

反应过程的高速率则是爆炸反应区别于一般化学反应的重要标志。炸药爆炸反应时间大约是 $10^{-6} \sim 10^{-7}\text{s}$ 量级。虽然炸药的能量储藏量并不比一般燃料大，但是因为反应的高速度，炸药爆炸时能够达到一般化学反应无法比拟且高得多的能量密度。炸药与一般燃料的放热量和能量密度数据如表 1-1 所示。

表 1-1 炸药与一般燃料的放热量及能量密度的比较

物质名称	单位质量物质的放热量/(kJ/kg)	单位体积炸药或燃料空气混合物的能量密度/(kJ/L)
煤	32660	17.90
汽油	41870	17.60
黑火药	2930	2805
梯恩梯	4190	6700
黑索金	5860	10467

1kg 煤块燃烧可以释放出 32660kJ 的热量，这个热量与 1kg TNT 炸药爆炸放出的热量相比要多几倍，可是这块煤燃烧完成的时间大约需要几分钟到几十分钟，在这段时间内放出的热量不断以热传导及辐射的形式传送出去，所以虽然煤的放热量很多，但是单位时间的放热量并不多。同时还要注意到煤的燃烧是与空气中的氧进行化学反应而完成的，1kg 的煤完全反应就需要 2.67kg 的氧，这么多的氧必须由 9m^3 的空气才能提供，所以作为燃烧原料的煤和空气的混合物，单位体积所放出的热量也只有 17.9kJ/L，能量密度很低。爆炸反应就完全相反。炸药反应通常都是以 $5 \sim 8\text{km/s}$ 的速度进行。一块 10cm 见方的炸药爆炸反应完毕也就需要 $10\mu\text{s}$ 的时间。由于反应速度极快，虽然总放热量不是太大，但是在这样短暂时间内的放热量却比一般燃料燃烧时在同样时间内放出的热量高出上千万倍。同时，因为爆炸反应无须空气中的氧参加，在反应所进行的短暂时间内放出的热量来不及散出，以致可以认为全部热量都聚集在炸药爆炸前所占据的体积内，这样炸药单位体积所具有的热量就达到 1MJ/L 以上，要比一般燃料燃烧高数千倍。因为反应过程的高速度使炸药内所具有的能量

在极短的时间内放出, 瞬间达到极高能量密度, 所以炸药爆炸具有巨大的做功功率及强烈的破坏作用。

(3) 变化过程生成大量气体产物

在反应过程中生成的大量气体产物, 是炸药爆炸对外做功的媒质。爆炸瞬间炸药定容地转化为气体产物, 其密度要比正常条件下气体的密度大几百倍到几千倍。也就是说, 正常情况下这么多体积的气体被强烈压缩在炸药爆炸前所占据的体积内, 从而导致 $10^9 \sim 10^{10}$ Pa 以上的高压。同时, 因为反应的放热性, 这样处于高温、高压的气体产物必然急剧膨胀, 将炸药的位能变成气体运动的动能, 对周围介质做功。在这个过程中, 气体产物既是导致高压的原因, 又是对外界介质做功的媒质。某些炸药爆炸气体产物在标准条件下的体积见表 1-2。

表 1-2 某些炸药爆炸气体产物在标准条件下的体积

炸药	1kg 炸药放出的气体产物/L	1L 炸药放出的气体产物/L
梯恩梯	740	1180
特屈儿	760	1290
泰安	790	1320
黑索金	908	1630
奥克托金	908	1720

可见, 1kg 猛炸药爆炸所产生的气体换算到标准状态 (1.0133×10^5 Pa, 273K) 下的气体体积为 700~1000L, 为炸药爆炸前所占体积的 1200~1700 倍。

又例如铝热剂反应:



尽管反应十分迅速, 且放出很多的热量, 后一个反应放出的热量足以把反应产物加热到 3000°C , 但终究因为没有气体产物生成, 没有将热能转变为机械能的媒质, 无法对外做功, 所以不具有爆炸性。

所以, 对于爆炸来说, 放热性、高速度、生成大量的气体产物是缺一不可的, 只有在这三个要素同时具备时, 化学反应才会具有爆炸的特性。

► 细节 3 炸药化学变化的基本形式

爆炸并不是炸药唯一的化学变化形式。由于炸药化学变化的激发条件、所处的环境和炸药本身性质的不同, 炸药的化学变化过程可能以不同的速度进行传播, 同时在性质上也具有很大的差别。按照其传播速度和性质的不同, 可将炸药化学变化的基本形式分为四种, 即热分解 (缓慢分解)、燃烧、爆炸和爆轰。

(1) 热分解

与其他化合物一样, 炸药在常温下就能进行分解反应并放出热量, 但分解速度很慢, 不会形成爆炸。当温度升高时, 分解速度加快, 温度继续升高到某一定值 (爆点) 时, 热分解就能转化成燃烧或爆炸。

对炸药来说, 虽然缓慢分解这种变化形式没有什么实用价值, 但它反映了炸药的化学安定性。在储存、加工和使用炸药时, 都需要了解炸药的化学安定性。

(2) 燃烧

炸药不仅能爆炸, 而且在一定的条件下, 绝大多数炸药都能够稳定地燃烧而不爆炸。研究表明, 炸药的燃烧过程与爆炸过程不同, 其基本特点如下。

① 燃烧时反应区的能量是通过热传导、气体产物的扩散辐射而传入炸药的。但在爆轰时, 能量与炸药的连续传爆是借助于爆轰波沿炸药的传播来实现的。

② 燃烧的速度大大低于爆轰波的传播速度。燃烧速度总是小于原始炸药的声速，通常是每秒几毫米至数十厘米，最大也不超过每秒数百米。而爆轰的过程则恰恰相反，它的速度总是大大超过原始炸药的声速。

③ 在最初的一瞬间，燃烧波后的燃烧产物是向后运动的，而在爆轰过程中恰恰相反。因此，在燃烧区域内燃烧产物的压力大大低于爆轰波后面的压力。

④ 在炸药燃烧的条件下，化学反应的速度和性质主要决定于外界压力。例如，低氮硝化纤维素及其他某些复杂的硝酸酯在相当低的压力（ $3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^5 \text{ kPa}$ ）下燃烧时，会产生一氧化碳和甲醛，而在较高的压力（几万到几十万千帕）下燃烧就不会发生上述情况。

（3）爆炸

爆炸在传播的形态上与燃烧相比有着重大的本质区别。炸药爆炸的特点是在爆炸点的压力急剧地发生突变时，传播速度很快而且不变，通常每秒达数千米，但是这种速度与外界条件的变化不大，即使是在敞开容器中也能进行高速度爆炸反应。一般地说，爆炸过程是很不稳定的，不是过渡到更大爆速的爆轰，就是衰减到很小爆速的燃烧直至熄灭。因此，爆炸只是爆炸变化过程中的某一种过渡状态。

（4）爆轰

炸药以最大而稳定的爆速进行传爆的过程叫做爆轰。它是炸药所特有的一种化学变化形式，与外界的压力、温度等条件无关。不同的炸药爆轰的传播速度不同，一般为每秒数千米。例如，梯恩梯的爆速为 6800 m/s ，是指梯恩梯在该条件下能够达到的最大的稳定的爆炸速度。对于任何一种炸药来说，在给定的条件下，爆轰速度均为常数。在爆轰条件下，爆炸具有最大的破坏效应。

爆炸和爆轰并无本质上的区别，只不过是传播速度不同而已。爆轰的传播速度是恒定的，爆炸的传播速度是可变的。从这个意义上讲，也可以认为爆炸就是爆轰的一种形式，即不稳定的爆轰。

需要指出的是，炸药化学变化的上述 4 种形式在性质上虽有不同之处，但它们之间却有着非常密切的联系，在一定的条件下这四种化学变化形式是可以相互转化的。炸药的热分解在一定的条件下可以转化为燃烧，而炸药的燃烧随温度和压力的增高有可能转变为爆炸，直至过渡到稳定的爆轰；反之，爆炸也可以转化为燃烧、缓慢分解。

1.2 炸药的起爆和感度

▶ 细节 1 炸药的起爆与起爆能

炸药是一种具有相对稳定性的物质，要使其发生爆炸必须施加一定的外界能量作用。通常将外界施加给炸药某一局部而引起炸药爆炸的能量称为起爆能。激发炸药发生爆炸的过程称为起爆。

一般来说，引起炸药爆炸的原因可以归纳为两个方面，即内因和外因。从内因看，是由于炸药分子结构的不同所引起的。也就是说，炸药本身的化学性质和物理性质决定着该炸药对外界作用的选择能力。吸收外界作用能量比较强，分子结构比较脆弱的炸药就容易被起爆，否则起爆就比较困难。例如，碘化氮只要用羽毛轻微触动就会引起爆炸；梯恩梯（TNT）在一定距离内即使用枪弹射击也不会爆炸；硝酸铵用几十克乃至数百克梯恩梯（TNT）才能引爆。

所谓外因系指外界作用的起爆能。根据外部作用形式的不同,起爆能通常有3种形式。

(1) 热能

利用加热的作用形式使炸药爆炸,如直接加热、火焰、火花、电热等。热能是最基本的一种起爆能,工程爆破中使用的工业雷管就是利用热能来引爆雷管中的起爆药。

(2) 机械能

通过机械作用使炸药产生爆炸,其机械作用方式一般有撞击、摩擦、针刺、枪击等。机械作用引起炸药爆炸的实质是在瞬间将机械能转化为热能,从而使局部炸药达到起爆的温度而爆炸。

在工程爆破中,很少利用机械能进行起爆,但是在炸药的生产、贮存、运输和使用过程中,应该注意防止因机械能作用而引起的意外爆炸事故。

(3) 爆炸能

这是工程爆破中应用最为广泛的一种起爆能。它是利用某些炸药的爆炸能来起爆另外一些炸药。例如,在爆破作业中,利用雷管爆炸、导爆索爆炸和中继起爆药包爆炸来起爆其他炸药。

► 细节2 炸药起爆的基本理论

(1) 炸药的热能起爆理论——均匀灼热理论

热能起爆是研究可爆性物质转变为燃烧或爆炸的一种最简单的形式,它可以作为研究更复杂的一些现象(例如冲击起爆、摩擦起爆等)的研究工具。

谢苗诺夫研究并创立了爆炸性混合气体的热能起爆理论,之后弗兰克-卡门涅茨基进一步研究发展了该理论,并将它成功地应用于凝聚体炸药。

该理论的基本要点是:在一定的温度、压力和其他条件下,如果一个体系反应放出的热量大于热传导所散失的热量,就能使该体系——混合气体发生热积聚,从而使反应自动加速而导致爆炸。也就是说,爆炸是系统内部温度渐增的结果。

谢苗诺夫的热起爆理论是最简单的热起爆理论。他没有考虑动态平衡的经历过程,因为他研究的是爆炸性气体,气体内部容易产生热交换,内部温度几乎一致;他也没有考虑气体的自动加热过程,而只考虑其温度和周围的热交换性质。所以这个理论与时间无关,因而是静止状态的。

谢苗诺夫进行该项研究的基础是基于以下三点假设。

- ① 炸药内各处温度相同,没有温度梯度,即炸药的里层和外层不存在温度差。
- ② 周围环境温度 T_0 不变。
- ③ 炸药达到爆炸时的炸药温度 T 大于 T_0 ,但是 T 与 T_0 的差值不大。

(2) 炸药的机械能起爆理论——灼热核理论

灼热核理论认为,当炸药受到撞击、摩擦等机械能作用时,并非受作用的各个部分都被加热到相同的温度,而只是其中的某一部分或几个极小的部分,首先被加热到炸药的爆发温度,促使局部炸药首先起爆,然后迅速扩展到炸药的全部。这种温度很高的微小区域通常被称为灼热核。灼热核一般是在炸药晶体的棱角处或微小气泡处形成。对于单质炸药或者含单质炸药的混合炸药来说,其灼热核通常在晶体的棱角处形成,而对于含水炸药(乳化炸药、浆状炸药等)来说,一般是在微小气泡处形成灼热核。这两种形成灼热核的原因有所不同。

- ① 绝热压缩炸药内所含的微小气泡,形成灼热核。

当炸药内部含有微小气泡时,在机械能作用下微小气泡被绝热压缩,此时机械能转变为