

工程爆破技术与安全管理

陈庆凯 梅智学 赵德孝 编著



NEUPRESS
东北大学出版社

工程爆破技术与安全管理

陈庆凯 梅智学 赵德孝 编著

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 陈庆凯等 2002

图书在版编目 (CIP) 数据

工程爆破技术与安全管理 / 陈庆凯, 梅智学, 赵德孝编著. — 沈阳: 东北大学出版社,
2002.12

ISBN 7-81054-823-9

I. 工… II. ①陈… ②梅… ③赵… III. ①爆破技术 ②爆破安全—安全管理 IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 091564 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 东北大学印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm×260mm 1/16

印 张: 13.25

字 数: 330 千字

出版时间: 2002 年 12 月第 1 版

印刷时间: 2002 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 1~2350 册

责任编辑: 任彦斌

封面设计: 唐敏智

责任校对: 孙 平

责任出版: 秦 力

定 价: 22.00 元

前 言

工程爆破作为一种科学技术手段,已经广泛用于采矿工程、土建、交通、水利水电、国防等生产和工程建设之中,并在其中占有重要地位。我国工程爆破技术的发展已与国民经济建设的发展密不可分。然而,既能够适合于高等学校本科生教学,又可作为现场工程爆破技术人员培训的教材却很匮乏。而且,相关的工程爆破科学技术著作因缺乏系统性,多不适用于教学。为此,作者从全面、系统、简洁、实用的原则出发,结合多年的教学实践与现场工作经验,编写了《工程爆破技术与安全管理》一书。

本书从工程炸药、爆破器材、起爆器材、起爆方法等爆破理论基础出发,针对矿山工程爆破技术(地下矿山爆破、露天矿山爆破)、拆除爆破、特种爆破(水压爆破、聚能爆破、金属炸药加工、压实爆破、爆扩成井、爆炸夯实、高温环境下爆破、农林爆破以及微型爆破等)诸方面的工程爆破技术,从实用角度出发进行了详细的介绍。重点阐述了各种工程爆破技术的基本原理、技术设计、施工设计以及防止爆破意外事故、抑制爆破有害效应等。本书还分别阐述了爆破器材的检验与安全管理、工程爆破公害及安全措施,以及爆破安全管理等内容,在爆破安全管理中叙述了重点爆破工程分级管理以及各种爆破作业环境的安全规定。

本书每章后面都附有思考题,以便检验读者掌握本章主要内容的情况。

书中的例题多为工程实例,可供大家在爆破工程设计时参考。

本书由东北大学陈庆凯、梅智学、赵德孝编著。各章编写的分工如下:第1章、第2章、第3章露天矿山爆破和拆除爆破部分由陈庆凯编写;第3章其余部分、第4章由赵德孝编写;第5章、第6章由梅智学编写。

作为本科生教材和现场爆破工程技术人员培训教材,本书引用了大量国内外的有关参考资料。在此,编者向所引用的文献作者致以真诚的谢意。

由于编者水平所限,书中缺点、错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2002年9月10日

目 录

1 炸药爆炸的理论基础	1
1.1 炸药的爆炸	1
1.1.1 爆炸现象	1
1.1.2 炸药爆炸必须具备的条件	1
1.1.3 炸药的反应形式	3
1.2 炸药的爆炸性能指标	4
1.2.1 爆速	4
1.2.2 炸药的起爆能和敏感度	5
1.2.3 炸药的热感度	6
1.2.4 炸药的机械感度	7
1.2.5 炸药的爆炸冲能感度	9
1.2.6 炸药威力的衡量	10
1.2.7 炸药的氧平衡设计	11
思考题	17
2 工业常用炸药	18
2.1 工业炸药分类	18
2.2 常用炸药	18
2.2.1 起爆药	18
2.2.2 单质猛炸药	19
2.2.3 混合猛炸药	21
2.3 特种爆破材料	27
2.3.1 高分子混合炸药	27
2.3.2 静态破碎剂	29
思考题	30
3 爆破技术	31
3.1 起爆器材与起爆方法	31
3.1.1 火雷管起爆	31
3.1.2 电雷管起爆	32
3.1.3 导爆管—雷管起爆	40
3.1.4 导爆索起爆	44
3.1.5 混合起爆	46
3.2 矿山工程爆破技术	46
3.2.1 地下矿山爆破技术	47
3.2.2 露天矿山爆破技术	71
3.3 拆除爆破技术	83
3.3.1 拆除控制爆破的基本原理与方法	83

3.3.2	拆除控制爆破的设计原理	89
3.3.3	拆除控制爆破参数的设计计算	96
3.4	特种爆破技术	103
3.4.1	水压爆破	103
3.4.2	聚能爆破	109
3.4.3	金属爆炸加工	111
3.4.4	其他特种爆破技术	114
3.5	工程爆破技术新进展	131
3.5.1	工业炸药与爆破器材	131
3.5.2	工程爆破技术	136
思考题		138
4	爆破器材的检验与安全管理	141
4.1	工程爆破炸药的质量检验	141
4.1.1	不含水硝铵类炸药的含水量检验	141
4.1.2	硝化甘油类炸药的检验	142
4.2	报废炸药的销毁	143
4.2.1	炸毁法	143
4.2.2	焚烧销毁法	143
4.2.3	溶解法	143
4.2.4	化学分解法	143
4.3	起爆器材的安全检验	144
4.3.1	雷管检验	144
4.3.2	导爆索检验	145
4.3.3	导爆管检验	146
4.3.4	导火索检验	147
4.3.5	起爆器材销毁	147
4.4	炸药与爆破器材的安全管理	148
4.4.1	爆破器材的贮存	148
4.4.2	爆破器材运输	150
思考题		151
5	工程爆破公害及安全措施	152
5.1	爆破地震	152
5.1.1	爆破地震波的特征参数	153
5.1.2	爆破地震的测试	154
5.1.3	爆破地震效应的破坏判据	155
5.1.4	爆破地震安全距离	155
5.1.5	减震措施	157
5.2	空气冲击波	157
5.2.1	爆炸空气冲击波的形成和传播	158
5.2.2	爆炸空气冲击波的超压计算	158

5.2.3	爆炸空气冲击波的测定	160
5.2.4	爆炸空气冲击波的破坏作用和预防	160
5.3	飞石	163
5.3.1	飞石的危害及产生原因	163
5.3.2	飞石的观测	163
5.3.3	安全距离	163
5.3.4	飞石防护措施	165
5.4	爆破噪声	165
5.4.1	爆破噪声的产生与危害	165
5.4.2	噪声的物理参数	166
5.4.3	爆破噪声的测试方法与仪器	166
5.4.4	噪声允许标准	167
5.4.5	爆破噪声的防护措施	167
5.5	有毒气体	168
5.5.1	爆炸产生有毒气体的种类	168
5.5.2	有毒气体的允许含量	168
5.5.3	测试方法	168
5.5.4	影响有毒气体生成量的因素及保护措施	169
5.6	早爆	170
5.6.1	外来电引起早爆	170
5.6.2	其他早爆	183
5.7	拒爆	183
5.7.1	拒爆产生的原因	184
5.7.2	拒爆的预防及处理	184
	思考题	185
6	爆破安全管理	187
6.1	爆破作业的基本规定	187
6.1.1	重要爆破工程分级管理	187
6.1.2	爆破企业与爆破作业人员	188
6.1.3	爆破安全评估	189
6.1.4	爆破作业环境的规定	189
6.1.5	起爆方法	190
6.1.6	装药工作规定	190
6.1.7	填塞规定	190
6.1.8	警戒与信号	190
6.1.9	爆破后的安全检查	191
6.1.10	盲炮处理规定	191
6.2	爆破作业分类规定	192
6.2.1	露天爆破	192
6.2.2	硐室爆破	192
6.2.3	地下爆破	193
6.2.4	拆除爆破	194

6.2.5 水下爆破·····	194
6.2.6 金属爆破与爆炸加工·····	194
6.2.7 地震勘探爆破·····	195
6.2.8 油气井爆破·····	196
思考题·····	196
附录 A 爆破设计说明书·····	198
附录 B 爆破施工组织设计说明书·····	198
附录 C 硐室爆破设计对勘测工作的要求·····	199
附录 D 典型案例分析·····	199
参考文献·····	203

1 炸药爆炸的理论基础

1.1 炸药的爆炸

爆炸是人们日常生活中经常见到的现象。例如,车胎放炮、锅炉胀裂、燃放鞭炮等都是爆炸。一般认为,物质发生急剧变化并放出大量的能量对周围介质做机械功,同时可能伴随有声、光、热效应的现象,称为爆炸。爆炸的基本特征表现在速度高、威力大和破坏作用强等方面。从安全角度出发,爆破时还应考虑爆炸的副作用,如地震效应、冲击波、飞石、有毒气体、噪声以及其他对相邻物体、构筑物和人身的影响等。

1.1.1 爆炸现象

按照爆炸发生的原因,自然界各种爆炸现象可归纳为物理爆炸、化学爆炸和核爆炸三大类。

物理爆炸的特点是:爆炸过程是一个物理过程,即爆炸前后物质的化学成分没有发生改变,只是物态发生了变化。例如,当蒸汽锅炉内压力过大,超过了锅炉所能承受的抗压强度,使锅炉突然破裂,并发出巨大的声响,就是典型的物理爆炸。

化学爆炸的特点是:爆炸过程是急剧的化学反应过程,放出足够的热能,形成高温高压气体,并对外界膨胀做功。爆炸后物质的化学成分和性质已不同于爆炸前物质的化学成分和性质,如硝酸铵炸药爆炸后生成水蒸气、氧气和氮气。瓦斯爆炸和炸药爆炸都属于化学爆炸。

核爆炸是某些物质的原子发生核裂变(U^{235} 的裂变)或核聚变(氘、氚、锂的聚变)的链锁反应时,瞬间释放出巨大能量,使裂变或聚变产物形成高温高压的气体而迅速膨胀做功,造成巨大的破坏作用。核爆炸过程释放的能量,可以达到普通炸药爆炸能量的几百万倍,具有强烈的爆破作用,但由于目前在工业上没有得到广泛有效的应用,其利用及安全问题不在本书讨论范围之内。

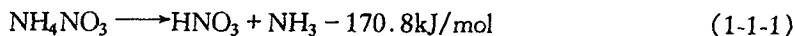
1.1.2 炸药爆炸必须具备的条件

炸药爆炸是一个化学反应过程,但炸药的化学反应并不都是爆炸,必须具备一定条件的化学反应才是爆炸。炸药爆炸必须具备放热反应、生成大量气体和高速反应三个条件。

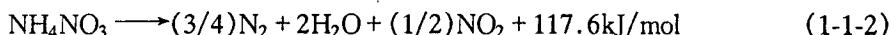
1.1.2.1 放热反应

炸药爆炸实质上是炸药中的化学能在瞬间转化为对外界做功的过程,化学反应释放出的热是做功的能源,也是化学反应进一步加速进行的必要条件。所以化学反应过程是否释放能量,决定了炸药能否产生爆炸。释放热量多少是爆炸作用大小的决定因素之一。如硝酸铵在不同条件下的反应。

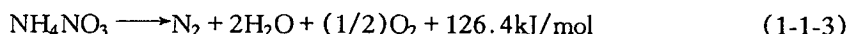
①在较低温度时(低于 150°C),产生分解反应,吸热不爆炸



②在迅速加热到 400~500℃时,放热反应,发生热分解



③在强烈冲能(如炸药爆炸产生的冲能)作用时,放热反应,可以形成爆炸



炸药爆炸时放出的热量大小常用爆热来衡量,爆热指单位质量炸药爆炸时所放出的热量。爆热可以用实验方法测定,也可以用理论计算方法确定。常见炸药的爆热值列入表 1-1-1 中。

表 1-1-1 常见炸药的爆热 kJ/kg

炸药名称	爆 热	炸药名称	爆 热
黑火药	2784	硝酸铵	1440
梯恩梯	4187	雷 汞	1733
特屈儿	2562	二号岩石炸药	3687
黑索金	6278	铵油炸药	4101
泰 安	5859	62%胶质炸药	5482
氯化铅	1536	硝化甘油	6217

炸药爆炸瞬间放出的热量主要用于对爆炸产物加热,使爆炸产物达到很高的温度,爆炸产物在原有体积内达到热平衡时的温度称为爆温。爆温与爆炸放出的热量有直接的关系。某些炸药的爆温列入表 1-1-2 中。

表 1-1-2 炸药的爆温值 ℃

炸药名称	爆 温	炸药名称	爆 温
雷 汞	4350	硝化甘油炸药	4040
硝化甘油	4600	岩石铵梯炸药	2400~2700
黑索金	3700	煤矿铵梯炸药	2000~2400
梯恩梯	3050	黑火药	2615

1.1.2.2 生成大量气体

气体具有良好的压缩性和很大的膨胀系数,炸药爆炸瞬间(十至几十微秒时间内)生成大量的气体容纳在原有体积内,必然产生很高的压力,高温高压气体为做功提供了必要条件,气体膨胀就是做功。产生气体多少和释放热量多少决定了炸药爆炸做功多少。

常用比容衡量炸药爆炸时产生的气体多少,比容指单位质量炸药爆炸后生成的气体在标准状态下所占的容积。比容越大的炸药,爆炸时对外做功的能力越大。表 1-1-3 列出了某些炸药的比容。

表 1-1-3 炸药的比容 L/kg

炸药名称	比 容	炸药名称	比 容
黑火药	280	泰 安	780
梯恩梯	695	硝化甘油	715
特屈儿	710	雷 汞	300
黑索金	890	硝酸铵	980

1.1.2.3 高速度反应

只有迅速的化学反应,才能使炸药在瞬间释放出大量能量,达到很高的能量密度。尽管炸

药化学反应释放出大量能量并产生大量气体,如果没有必要的反应速度,也不能形成爆炸,反应速度标志着做功的功率。如煤在空气中燃烧释放出的热量(8960kJ/kg)是 TNT 炸药爆炸时释放热量的两倍多,但由于没有必要的反应速度,其能量密度远小于 TNT 爆炸时的能量密度,不能形成爆炸。

爆炸反应的速度通常用爆速来衡量,爆速指爆炸过程在炸药中传播的最大的稳定的速度。可以认为在同等条件下,爆速高的炸药,爆炸反应速度高,爆炸的威力也高。常用炸药的爆速列于表 1-1-4 中。

炸 药 名 称	爆 速	炸 药 名 称	爆 速
2 号岩石炸药	3600	梯恩梯	6700
铵油炸药	3143	黑索金	8400
浆状炸药	3400~5600	特屈儿	7250
乳化炸药	3200~4200	泰 安	8000
氮化铅	5300	硝化甘油	7500
二硝基重氮酚	5400	硝酸铵	1100~2700

炸药的化学反应只有同时具备以上三个条件,才能形成爆炸反应,产生爆炸效应。

1.1.3 炸药的反应形式

爆炸不是炸药惟一的化学反应形式,在特定的反应条件下,同种炸药可能有四种不同形式的化学反应:热分解、燃烧、爆炸和爆轰。四种反应形式产生不同的物理化学效应。

1.1.3.1 热分解

热分解是炸药化学反应的最低形式,表现为炸药在常温下缓慢的化学变化,使原物质发生本质的变化。炸药的热分解过程没有明显的声、光效应,通常不易觉察。反应速度随内外条件而变化,通常对温度比较敏感,温度越高,反应速度越快,湿度、压力和通风条件对反应速度和结果也会产生不同程度的影响。炸药热分解一般会带来不良后果,炸药因热分解而变质直接影响炸药的使用。在一定条件下,热分解会转变为燃烧甚至爆炸,以致发生意外爆炸事故。所以在炸药的制造、贮存过程中应严格控制环境条件,避免炸药的热分解。

1.1.3.2 燃 烧

燃烧是比热分解更高一级的化学反应形式,往往是由受热或火焰引起的。燃烧是物质的氧化过程,所以一般物质燃烧需要外界提供氧,而炸药本身含有丰富的氧和燃料,不需要外界的氧就可以燃烧,一旦炸药燃烧,靠隔绝空气的灭火方法不起作用,往往还会加速炸药的燃烧。炸药燃烧时对压力比较敏感,压力越大,燃速越高,甚至由燃烧转变为爆炸,所以在密闭条件下燃烧是很危险的。在炸药贮存时,要注意创造不利于燃烧的条件,如改善通风条件。

1.1.3.3 爆 炸

爆炸是炸药的最高化学反应形式。与燃烧的区别在于燃烧靠热传导传递能量和激发化学反应,爆炸则靠冲击波传递能量和激发反应区;燃烧受环境影响较大,爆炸则基本上不受环境影响。爆炸的反应速度、温度和压力都比燃烧高得多。所以爆炸表现出强烈的破坏作用。爆炸是爆破安全的主要控制对象。爆炸过程中遇到不利因素也可能导致爆炸中断,使爆炸过程转变为燃烧或热分解。

1.1.3.4 爆 轰

爆炸速度增长到稳定爆速的最大值时就转化为爆轰,爆轰是指炸药以最大稳定速度进行的反应过程。特定的炸药在特定的条件下的爆轰速度为常数。

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,就这个意义上讲,也可以认为爆轰是爆炸的一种特殊形式,即稳定的爆炸。

炸药爆炸已经在许多行业得到广泛应用,尤其在工程爆破方面。在岩土工程中,无论在经济方面还是在效率方面,爆破方式都比机械方式优势强;在城市建设和企业改造中,控制爆破也发挥了重要作用。

炸药化学反应的上述四种基本形式与各自必要的条件相对应,条件改变,反应形式也相应地改变,可以相互转化,即它们之间有着非常密切的内在联系。从安全和爆破工程方面考虑,都希望炸药按照预定的反应形式进行化学反应,即使反应形式发生转变,也应在可以控制的范围内,否则会引起预想不到的事故。

1.2 炸药的爆炸性能指标

炸药的爆炸性能指标主要有爆速、感度、殉爆距离、猛度及爆力等。这些指标表明了炸药的优劣。同时,对某种炸药,这些指标也说明该炸药产品是否合格及是否失效。在进行较大的爆破工程之前,应对这些性能指标进行必要的测定。

1.2.1 爆 速

爆速就是爆轰传播的速度,爆速越大,爆轰波的压力越高,爆炸的威力也越大。爆速的大小除了取决于炸药本身的性能外,还与密度、约束条件、药卷的直径等密切相关。因此,测定爆速应在标准条件下进行,以使测定值有可比性。测定的方法很多,现场常用的方法是导爆索法(也称对比测定法)。

导爆索法的原理,是利用已知爆速的导爆索与待测炸药相比较,求出待测炸药某一段长度内的平均爆速。测定方法如图 1-2-1 所示,取长 L (一般为 2m) 的导爆索,两端分别插入待测药包中的 A、B 两点,插入深度一般为药径的一半, A、B 两点间的距离为 l (通常为 200mm)。药包直径 30~40mm,长 300~400mm,一端插入雷管。将导爆索的中点对准铅板(厚 3~5mm,宽 40mm,长 40mm)上的标记 E,并用细线捆住铅板上的导爆索段。起爆后,爆轰波从起爆端沿药包传播,首先到 A 点,并立即引爆 A 端的导爆索。沿药包继续传播的爆轰波经 l/D (D 为待测定的炸药爆速) 时间后,到达 B 点,引爆 B 端的导爆索。当从两端开始的爆轰波在中间相遇时,由于爆轰波的叠加作用,波压增大,在铅板上留下明显的爆痕。设爆痕的位置为 F 点,它与导爆索中点 E 的距离为 Δh 。因此,导爆索从 A 至 F 的传爆时间 t_1 ,应等于药包中爆轰波通过 A、B 的时间 t_2 和导爆索从 B 至 F 的传爆时间 t_3 的和,即:

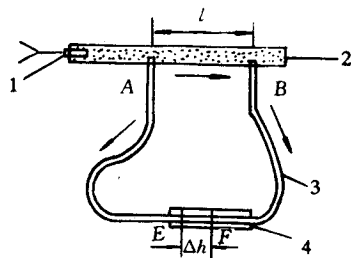


图 1-2-1 导爆索法测定炸药爆速

1—雷管;2—药包;3—导爆索;4—铅板

$$t_1 = t_2 + t_3$$

或

$$\frac{\frac{L}{2} + \Delta h}{D_{\text{索}}} = \frac{L}{D} + \frac{\frac{L}{2} - \Delta h}{D_{\text{索}}}$$

整理后得

$$D = D_{\text{索}} \times \frac{L}{2\Delta h} \quad (1-2-1)$$

导爆索的爆速一般为 6500m/s, 具体值可向厂家索取或查产品说明书。常用炸药的爆速列于表 1-1-4 中。

导爆索测定法简单易行, 应用方便, 具有一定的可靠性, 在生产中已广泛应用。但此法只测出某一段炸药的平均爆速, 其准确程度与导爆索爆速的准确程度有关, 一般测定误差为 3%~5%。要准确测定炸药的爆速, 可用电测法或高速摄影法。

1.2.2 炸药的起爆能和敏感度

爆炸是炸药在特定条件下的化学反应过程, 促使炸药进行爆炸反应的条件称为起爆条件。当炸药内部处于相对稳定状态时, 必须获得必要的外能才会破坏这种稳定状态, 使炸药的各元素重新组合, 发生爆炸反应。引起炸药爆炸的外能称为起爆能, 起爆能可以归纳为三类。

热能: 加热升温可以使炸药分子运动速度加快, 加速炸药的化学分解和化合, 达到一定的温度后, 便可以由爆燃转化为爆炸。如用导火索喷出的火花起爆雷管中的起爆药, 火花起爆黑火药, 炸药受到烘烤、加热或火花作用时, 开始热分解, 然后燃烧, 最后转变为爆炸的过程都是热能作用的结果。

机械能: 撞击、摩擦等机械能作用在炸药的局部, 使炸药局部分子获得动能, 加速运动, 局部温度升高, 形成“灼热核”。它的直径为 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ cm, 比炸药分子的直径 10^{-8} cm 大得多, 并且能存在 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ s 的时间。由于灼热核的形成, 首先局部发生爆炸, 然后发展为炸药的全部爆炸。这种观点即解释炸药起爆机理的“灼热核理论”。

爆炸能: 炸药爆炸时形成的高温高压状态携带的巨大能量能够引发附近炸药爆炸, 如炸药内部局部爆炸转变为全部爆炸, 起爆药引爆主炸药爆炸, 雷管引爆炸药都属于爆炸能起爆。

炸药在外能作用下, 发生爆炸反应的难易程度叫做炸药的敏感度, 简称感度。炸药感度的高低以激起炸药爆炸反应所需的起爆能大小来衡量。起爆所需的起爆能越大, 炸药的感度越低。炸药的感度是衡量炸药安全性的最重要指标, 感度越高的炸药, 使用越不安全。

炸药的感度高低对于炸药的加工制造、贮存运输及安全使用都十分重要, 炸药的感度太高时, 不能直接用于工程爆破, 只能少量地用于特定的爆破器材(如雷管)中, 如纯硝化甘油的感度太高, 以致被宣布为不能使用的危险品, 当进行钝化处理以后, 才可以用于工程爆破。感度太低的炸药, 需要很大的起爆能, 增加了起爆的负担, 也不适合于工程爆破。研究炸药的感度的目的在于掌握炸药在特定条件下爆炸的可能性, 分析影响感度的诸因素, 通过采用相应的措施, 使炸药的感度满足生产、贮存、运输、使用和经济上的不同要求。

1.2.3 炸药的热感度

炸药在热能的作用下发生爆炸的难易程度称为炸药的热感度。炸药的热感度目前还不能用理论或经验公式进行计算,主要采用实验测定的方法来确定。通过测定炸药的爆发点、火焰感度来确定。

1.2.3.1 爆发点

爆发点指炸药在规定时间(5分钟)内起爆所需加热的最低温度。爆发点越低的炸药,热感度越高。爆发点测定原理很简单:将定量炸药(0.05g)放在恒温的环境中5min,如果炸药没有爆炸,说明此环境温度太低,升高环境温度后再试;如果不到5min就爆炸,说明环境温度太高,降低环境温度再试;直至调整到某一环境温度时,炸药正好在5min爆炸,此环境温度就是炸药的爆发点。测定炸药的爆发点常用爆发点测定仪,如图1-2-2所示,相当于一个坚固的可调温保温瓶。虽然爆发点测定的原理很简单,但实际操作却很费时。常见炸药的爆发点见表1-2-1。

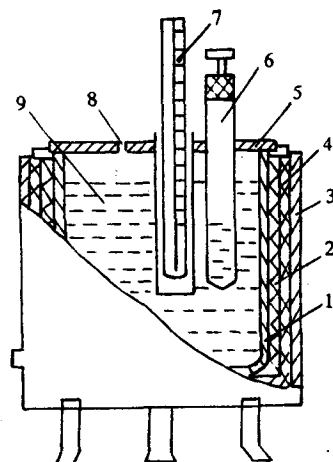


图 1-2-2 爆发点测定仪

1—合金浴锅;2—电热丝;3—外壳;
4—隔热层;5—锅盖;6—铜试管;7—
温度计;8—放气孔;9—低熔点合金

表 1-2-1 常见炸药的爆发点

炸药名称	爆发点	炸药名称	爆发点
二硝基重氮酚	170~175	泰安	205~215
雷汞	170~175	黑索金	215~235
胶质炸药	180~200	梯恩梯	290~295
特屈儿	195~200	硝酸类炸药	280~320
硝化甘油	200~205	叠氮铅	330~340

1.2.3.2 火焰感度

炸药在明火(火花,火焰)的作用下发生爆炸的难易程度,称为炸药的火焰感度。火焰感度用图1-2-3所示火焰感度测量装置测定,试管内装入待试炸药(起爆药0.05g,猛炸药1g),通过调整导火索头距炸药的距 X ,点燃导火索进行试验,同样距离试验六次,找出六次同样试验100%都能使炸药点燃的最大距离 $X_{\max}$ 和100%都不能使炸药点燃的最小距离 $X_{\min}$, $X_{\max}$ 越大,炸药的火焰感度越高, $X_{\min}$ 越小,火焰感度越低。当起爆炸药时,要了解炸药的 $X_{\max}$;当从安全方面考虑时,也需要了解炸药的 $X_{\min}$ 。

1.2.3.3 电火花敏感度

炸药的静电敏感度表示炸药在静电放电时,在电火花的作用下发生爆炸的可能性。炸药颗粒间以及和其他物体间的相互摩擦都会产生静电。在炸药和起爆器材加工制造中,以及机

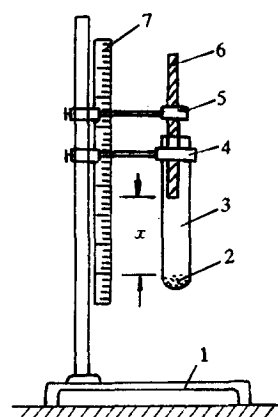


图 1-2-3 火焰感度测量装置

1—支座;2—炸药;3—试管;4—下夹头;
5—上夹头;6—导火索;7—标尺

械化装药(如铵油炸药)时,静电的产生是发生爆炸事故的原因之一。所以必须测定炸药的静电感度。

炸药的静电感度是通过电容放电的方法来测定,测定装置如图 1-2-4 所示。220V 交流电压经升压和整流后变为高压直流,对电容充电(开关位于 A 位)。待电容电压达到一定值时,将 K 合到 B 位,电容通过电极间隙放电,产生火花而引起炸药燃烧或爆炸。燃烧或爆炸的百分数即炸药电火花感度。作用于炸药的电火花能量可用式(1-2-2)计算:

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1-2-2)$$

式中: E——电火花能量, J;

C——电容, F;

V——电压, V。

表 1-2-2 中为几种单质猛炸药的电火花感度,仅供参考。

表 1-2-2

炸药的电火花感度

(%)

能 量/J	0.013	0.050	0.113	0.200	0.313	0.450	0.613
炸 药 名 称	电 压/kV						
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
梯恩梯	18	50	68	83	100	100	—
黑索金	0	13	20	38	55	85	100
特屈儿	10	37	68	100	100	—	—

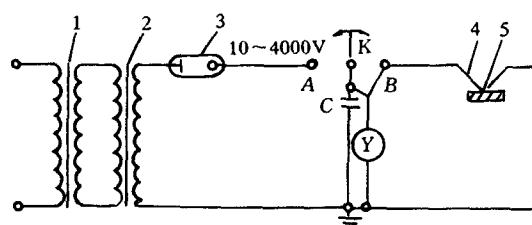


图 1-2-4 静电火花感度测定装置

1—自耦变压器;2—升压变压器;3—高压整流管;

4—电极;5—炸药

1.2.4 炸药的机械感度

机械感度主要有撞击感和摩擦感度。在爆破工程中,雷管内利用起爆药的热感度起爆,起爆药与炸药间利用爆炸能起爆,一般不用炸药机械感度起爆。机械感度主要影响炸药的贮存、运输和使用安全,机械感度高的炸药会给爆破工程带来更多的不安全因素,所以爆破工程中不希望炸药的机械感度高。在军火方面,弹药的引信一般用机械作用起爆,机械感度对弹药的起爆有重要意义。

1.2.4.1 撞击感度

撞击感度表示炸药在撞击作用下发生爆炸的难易程度。撞击感度用实验方法测定,实验的原理是利用自由落体的能量撞击炸药,猛炸药用垂直落锤仪(见图 1-2-5),撞击能量较大,在撞击能固定的条件下,用 25 次同等试验中炸药发生爆炸的百分率表示所试炸药的撞击感度,常用单质猛炸药的撞击感度见表 1-2-3。起爆药用弧形落锤仪(见图 1-2-6),撞击能量较小。通过调整重锤的落高,同一落高下做多次试验,100% 能使炸药爆炸的最小落高为上限距离,100% 不能使炸药爆炸的最大距离为下限距离。试验次数 10 次以上。三种主要起爆药的撞击感度见表 1-2-4。

表 1-2-3

猛炸药的撞击感度

(%)

炸药名称	撞击感度	炸药名称	撞击感度
梯恩梯	4~9	铵松脂炸药	0~4
特屈儿	50~60	2#岩石炸药	32~40
黑索金	70~80	1#岩石炸药	48~56
泰安	100	62%胶质炸药	100

表 1-2-4

起爆药的撞击感度

炸药名称	锤重/g	上限/mm	下限/mm
雷汞	480	80	55
叠氮铅	975	235	65~70
二硝基重氮酚	500		225

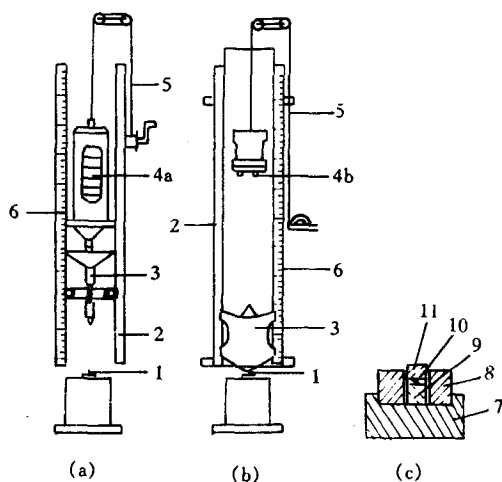


图 1-2-5 垂直落锤仪

(a) 电控式 (b) 机械式 (c) 击站装置

1—击站装置; 2—导轨; 3—落锤; 4a—电磁铁

4b—钢爪; 5—钢丝绳; 6—标尺; 7—底座

8—套筒; 9—下击柱; 10—炸药; 11—上击柱

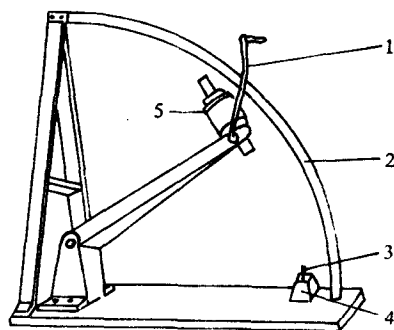


图 1-2-6 弧形落锤仪

1—定位钩; 2—弧形架; 3—炸药;

4—钢底座; 5—落锤

1.2.4.2 摩擦感度

摩擦感度衡量炸药在摩擦作用下发生爆炸的难易程度。摩擦感度用摆式摩擦感度测量仪测定, 测量原理如图 1-2-7 所示。

炸药放在上下击柱之间, 由液压系统通过导柱塞给炸药施加一定压力, 摆锤由 96° 自由落下打击击杆, 击杆使上击柱移动, 上击柱与炸药间发生摩擦作用。同样的试验进行 25 次, 用 25 次中发生爆炸的百分数来表示被测炸药的摩擦感度。某些炸药的摩擦感度见表 1-2-5。

表 1-2-5

炸药的摩擦感度

(%)

炸药名称	摩擦感度	炸药名称	摩擦感度
梯恩梯	0	铵松脂	4~16
特屈儿	24	2号岩石炸药	16~20
黑索金	90	1号煤矿炸药	28
铵铝高威力炸药	40	2号煤矿炸药	36
4号高威力炸药	32		

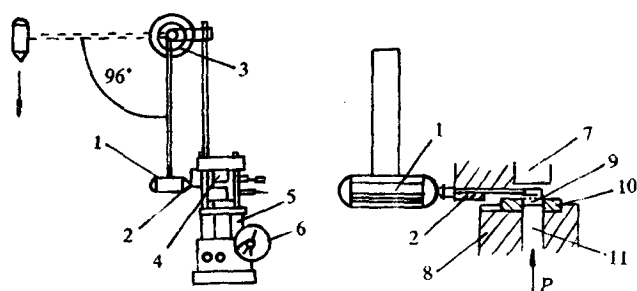


图 1-2-7 摆式摩擦感度仪示意图

1—摆锤;2—击杆;3—角度标量;4—测定装置;5—油压机;6—压力计;
7—顶板;8—上下击柱;9—炸药;10—导向套;11—柱塞

1.2.5 炸药的爆炸冲能感度

爆炸冲能感度指炸药在爆炸冲击波的作用下发生爆炸的难易程度。当炸药爆炸时,产生的爆炸冲击波对相邻或附近炸药作用,受作用炸药被引发爆炸的难易程度即该炸药的爆炸冲能感度。用爆炸冲能起爆炸药是爆破工程起爆的主要方法。炸药爆炸冲能感度常用殉爆距离、极限起爆药量来衡量。

1.2.5.1 极限起爆药量

保证炸药起爆所需的最小起爆药量称做该炸药的极限起爆药量(简称极限药量)。如用 A 炸药起爆 B 炸药,能使 B 炸药完全起爆的 A 炸药的最小药量称为 B 炸药的极限起爆药量,实验装置见图 1-2-8。

操作步骤:称取 0.5g 或 1.0g 炸药试样,以 49.03MPa 压力将其压入 8# 铜雷管壳中,然后再装入起爆药,扣上加强帽,以 29.4MPa 压力加压,并插入导火索;将制成的这种火雷管直立放在 4mm 厚的铅板上起爆。根据铅板穿孔大小来判断测试的炸药是否引爆。完全爆炸的标准是铅板穿孔直径不小于雷管外径。通过增减起爆药的药量,经过一系列试验,即可测出它的极限起爆药量。用这种方法测定的几种猛炸药的极限起爆药量列于表 1-2-6。这种方法适合于测定单质猛炸药被高感度起爆药起爆的爆炸冲能感度。工业炸药的极限起爆药量可用起爆药包的最小药量来衡量。实际上工业炸药的爆炸冲能感度常用下面介绍的殉爆距离来衡量。

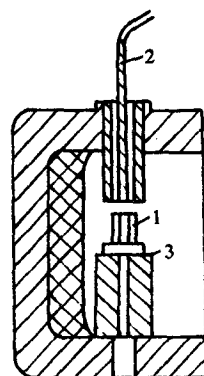


图 1-2-8 极限起爆药量测定装置

1—雷管;2—导火索;
3—铅板

表 1-2-6

几种单质猛炸药的极限起爆药量

g

起爆药名称	受试炸药		
	梯恩梯	特屈儿	黑索金
雷汞	0.24	0.19	0.19
氯化铅	0.16	0.10	0.05
二硝基重氮酚	0.163	0.17	0.13

1.2.5.2 殉爆距离

工业炸药的爆炸冲能感度常用殉爆距离大小来衡量,测定方法如图 1-2-9 所示。主爆药包与从爆药包同置于直径与药包直径相近的半圆沟中。两个药包纵轴在同一水平线上,距离