

炸药与推进剂概论

国防工业出版社

炸药与推进剂概论

〔美〕基尔克-奥兹默 著

众 学 译

国防工业出版社

1975

内 容 简 介

本书译自基尔克-奥兹默《化工大全》第二版第8卷中有关炸药和推进剂的部分。

书中概略地介绍了有关炸药和推进剂的品种、发展简史、性质、制备方法和性能测试的方法等。对火、炸药的分类和定义作了论述。本书内容比较全面，叙述浅显易懂，还列举了较多的参考文献，通过它可以了解到美国等资本主义国家火、炸药工业的发展概况。

本书可供从事火、炸药生产和研究的工人、工程技术人员和有关院校的师生参考。

Encyclopedia of Chemical Technology,
Second Edition, Vol. 8, 581~719
Kirk-Othmer

1965

*

炸药与推进剂概论

[美] 基尔克-奥兹默 著

众 学 译

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张 6 7/8 142千字

1975年4月第一版 1975年4月第一次印刷 印数：0,001—5,000册

统一书号：15034·1409 定价：0.57元

目 录

前言	5
第一章 起爆药	11
§ 1-1 叠氮化物	13
§ 1-2 二硝基重氮酚	16
§ 1-3 雷酸盐	17
§ 1-4 斯蒂酚酸铅	21
§ 1-5 二硝基间苯二酚铅和二亚硝基间苯二酚铅	22
§ 1-6 特屈拉辛	23
§ 1-7 其它起爆药	24
第二章 单体高级炸药	26
§ 2-1 概述	26
§ 2-2 硝酸铵	29
§ 2-3 硝酸酯	33
§ 2-4 硝基化合物	55
§ 2-5 硝胺	68
§ 2-6 高氯酸铵	80
第三章 混合炸药	81
§ 3-1 二元炸药	81
§ 3-2 金属炸药	85
§ 3-3 塑性炸药	87
第四章 爆破炸药	94
§ 4-1 爆破炸药的经济意义	94
§ 4-2 爆破炸药的制造	95
§ 4-3 代那买特	97

§ 4-4	硝酸铵爆破炸药·····	105
§ 4-5	液氧炸药·····	107
§ 4-6	氯酸盐和高氯酸盐炸药·····	108
§ 4-7	地震勘探炸药·····	109
§ 4-8	油井和天然气井炸药·····	110
第五章	低级炸药·····	111
§ 5-1	黑火药·····	111
§ 5-2	点火药·····	118
第六章	炸药测试·····	122
§ 6-1	感度·····	122
§ 6-2	猛度·····	124
§ 6-3	威力·····	125
§ 6-4	安定性·····	126
第七章	推进剂·····	130
§ 7-1	绪论·····	130
§ 7-2	影响推进剂选择的主要因素·····	136
§ 7-3	推进剂的燃烧过程·····	144
§ 7-4	火炮和火箭推进剂的能量特性·····	158
§ 7-5	液体推进剂的特性·····	171
§ 7-6	固体推进剂的特性和制造方法·····	182
§ 7-7	推进剂的鉴定·····	214

前 言

炸药可以定义为这样一种物质，这种物质可以产生迅速自动传播的分解或其组份间产生反应，生成较稳定的物质，释放出热，在热的作用下对所生成的气体或邻近气体产生瞬间压力。炸药可以是固体、液体或气体。梯恩梯是固体炸药；硝化甘油是液体炸药；氢气和氧气的混合物是气体炸药。炸药可以是单一化合物，或由几种爆炸性化合物混合组成，也可由一种或几种爆炸性化合物与非爆炸性物质混合组成。梯恩梯、梯恩梯和硝酸铵的混合物，以及由硝化甘油和非爆炸性物质的混合物组成的代那买特就是一些实例。

爆炸产物通常是气体或气体和固体的混合物。硝化甘油仅产生气体产物；而黑火药既产生气体，又产生固体；有时，如乙炔铜，全部产物都是固体。因此，任何物质爆炸的价值在于它作用在邻近气体上的热效应。一般说来，气体爆炸产物的体积比原来炸药的体积大得多。

由爆炸作用释放的大量的热足以使爆炸从起爆点或起爆面传播到整个物质。释放的热量可以大大升高爆炸产物的温度，形成一个能被用来做功的高压。炸药所做的功主要由在爆炸过程中释放的总热量决定。

能够发生爆炸的化合物很多：硝酸盐、硝基化合物、亚硝基化合物、硝胺、雷酸盐、叠氮化物、氯酸盐、过氯酸盐、过氧化物及含双键、三键的碳化合物等，这些是其主要类型。然而并非这些类型内的所有化合物都能爆炸。硝酸铵和叠氮

化铅是炸药，而硝酸钠、硝酸钾、叠氮化钠和叠氮化钾就不是炸药。爆炸性基本上是由化合物分解时是否放热所决定，如分解反应是放热的，则表示分解产物的生成热之和与化合物生成热之间的差值是正的。

许多炸药的爆炸产物中有碳和氢的氧化物，有些炸药的爆炸产物是钠、铅、钾及汞的氧化物。这些氧化物是非常稳定并没有爆炸性的。但最近制出的固体三氧化氙 (XeO_3) 和气态四氧化氙 (XeO_4) 是非常敏感的炸药。

除少数炸药外，炸药的一个重要性质是氧平衡，它在很大程度上能决定一种炸药做功的能力。氧平衡是指炸药中的氧含量对所含的碳、氢及其它易氧化的元素氧化成二氧化碳、水等需要的总氧量之比。有的炸药，如叠氮化铅，其爆炸反应不是氧化反应，因此没有氧平衡。若一种炸药是负氧平衡，则其放热量比可能放热的最大值要小，其威力比零氧平衡时要小。由于硝化甘油和硝酸铵所含的氧比它们所含的全部碳和氢完全氧化所需的氧为多，因之它们具有氧化价值。乙二醇二硝酸酯是零氧平衡的炸药，而大多数炸药是负氧平衡的。氧平衡可按达到零氧平衡时含氧量的百分数或每克炸药达到零氧平衡时需要氧的克数来表示，它们可以为正或负。计算一些炸药氧平衡的实例如下：

炸 药	氧 平 衡
$\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_6 \longrightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ 乙二醇二硝酸酯	100% 或 0.000 克/克
$\text{C}_3\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_9 \longrightarrow 3\text{CO}_2 + 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 1\frac{1}{2}\text{N}_2$ 硝化甘油	105.9% 或 +0.35 克/克
$\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_7 + 5\text{O} \longrightarrow 4\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ 二乙二醇二硝酸酯	58.3% 或 -0.408 克/克

在公元 1000 年前后，装有黑火药的榴弹和炸弹已经在中国使用，但直到十三世纪才传到欧洲。随着火炮的发明，黑火药先用作发射药，过了短一段时间后，人们发现可以用它做机械功。在以后的五百年中，黑火药普遍用作点火药剂、导火索药剂，也作为发射药、榴霰弹的弹内炸药以及爆破炸药等。1628 年首先使用了“雷酸金”。十七世纪开始制得了雷汞。1846 年是炸药发展史上近代化的标志。那一年，发现了硝化纤维素的爆炸特性并制得了硝化甘油。1863 年诺贝尔 (Nobel) 开始了硝化甘油的生产。1864 年成功地制出了无烟药。1867 年又出现了代那买特和雷汞雷管。从那时以后，在军用和工业炸药方面有了迅速的发展。

最初给出的炸药定义，虽然是一个带普遍性的定义，实际上包括两类不同的物质。第一类称为低级炸药，自动燃烧 (autocombustion) 速度由每分钟几吋到约 400 米/秒，例如黑火药、点火药及胶质硝化纤维素火药。此类炸药曾用于爆破，而主要用作发射药和点火药。第二类炸药称为高级炸药，爆速为 1000~8500 米/秒，例如梯恩梯和代那买特。

令人感兴趣的是，某些炸药如硝化纤维素，既能进行低级炸药那种慢的自动燃烧，又能进行高级炸药那种典型的爆轰。

低级炸药主要根据组成分类，而高级炸药则按其起爆的难易程度分类。第一类高级炸药是由对热、冲击、摩擦十分敏感的化合物组成，当受到这些外力作用时即发生爆轰。由于它们具有不同的引起低感度炸药爆轰的能力，所以这类物质称为起爆药。叠氮化铅和雷汞就是起爆药的实例。大量的第二类的高级炸药，它们对用冲击、摩擦或单纯的加热来

起爆是不敏感的，因而称之为非起爆型高级炸药。它们大量用于军事和工业部门中。梯恩梯和代那买特就是这类炸药的实例。

点火药是对冲击、摩擦非常敏感的低级炸药，用少量点火药，借其火焰的作用可点燃起爆药和某些其它低级炸药。黑火药和无烟药之类的低级炸药能用作发射药，因为能够控制它们的燃烧速度，使之不致发展成过高的压力，从而得到所要求的弹道性能。若不能控制燃烧速度，将造成过高的压力，可能使发射药由自动燃烧转变为爆轰，使枪炮或火箭破裂而完全丧失预期的弹道效果。

非起爆型高级炸药在工业上用于爆破、破坏作业、挖掘、地震勘探、金属成形、金属切割、金属结合及铆接。在军事上用它们来产生破片、空中爆炸、水下冲击、破甲及摧毁作用。这样的炸药还用于从飞机上抛出人员并使用于核武器中。高级炸药的制备和应用已经成为一项高度发展的并在不断改进和扩大的技术。

由于许多高级炸药用于制备如推进剂之类的现代低级炸药，故在本书中首先讨论高级炸药。构成大部分现代炸药的起爆型和非起爆型高级炸药将分别进行讨论，也分别讨论它们相互间的组合、与金属的组合、与粘合剂的组合等。工业爆破炸药包括一大类经过特殊考虑的高级炸药。关于低级炸药，首先讨论黑火药，然后讨论点火药，并简单说明测定炸药爆炸特性的试验，最后讨论推进剂。

本书只讨论每类炸药的最典型的代表，对于次要炸药的说明以及制造、分析、试验和应用的详细情况，可见所附参考文献。

命名法也须说明如下：硝化纤维素 (nitrocellulose) 和硝化甘油 (nitroglycerin) 不是最恰当的化学命名法，公认的命名应是纤维素硝酸酯 (cellulose nitrate) 和甘油三硝酸酯 (或丙三醇三硝酸酯) (glyceryl nitrate)。硝化纤维素和硝化甘油仍然普遍用于炸药工业中，但在本书内采用正确的名称“纤维素硝酸酯”和“甘油三硝酸酯”●。

● 为通用起见，译文中仍用“硝化纤维素”和“硝化甘油”。——译者

第一章 起爆药

起爆药在冲击和摩擦作用下很容易发生爆炸，这是它们与硝酸铵、梯恩梯和硝化纤维素这类非起爆型高级炸药的区别。大多数起爆药与被引爆的炸药相比具有显著低的爆速和猛度，并且在大多数情况下，包括雷管在内，它们的安定性也是较低的。虽然雷汞很贵，而且安定性也不令人满意，但直到二十世纪二十年代中期才发现了雷汞的代用物。现在使用的几种起爆药的敏感度范围是比较窄的，如表 1-1 所示。表中还列出了近来常用的主要起爆药的性能。

表1-1 起爆药特性

特 性	叠氮化铅		二 硝 基	雷 汞
	结 晶	糊 状	重 氮 酚	
结晶密度(克/厘米 ³)	α 型 4.71 β 型 4.93	4.38	1.63	4.42
表观密度	0.8	1.8	0.5~0.7	1.35~1.75
3000磅/时 ² 压力下的密度	2.9	2.6	1.2	3.0
溶解度 (%)				
20℃水中	0.02	—	0.08	0.01
18℃乙醇中	不溶	不溶	—	微溶
50℃乙醇中			2.43	
吸湿性 (%)	0.03	0.16	0.04	0.02
爆速 (米/秒)	5100	—	6900	5400
密度	4.0	—	1.58	4.17
砂试验①(克)	17.6	16.7	45.6	22.1
特劳泽试验(%TNT)	40.0	35	110	51
爆热(卡/克)	367	—	820	429

(续)

特 性	叠氮化铅		二 硝 基	雷 汞
	结 晶	糊 状	重 氮 酚	
冲击试验				
试验A(时②)	2	5	2	2
试验B(厘米②)		11	5	5
试验C(厘米③)	43	—	—	24
引起爆炸的最低温度(℃)				
0.1秒延滞期	383	396	220	263
5秒延滞期	345	340	180	210
75℃国际耐热试验,48小时失重(%)	—	0.17	0.24	0.18
100℃耐热试验				
第一个48小时失重(%)	—	0.5	0.5	爆炸
第二个48小时失重(%)	—	0.1	1.1	—
100℃真空安定性试验				
加热40小时产生的气体(毫升)	0.4	0.2	6.0	—
	斯蒂酚 酸 铅	二硝基间 苯二酚铅	二亚硝基间 苯二酚铅	特 屈 拉 辛
结晶密度(克/厘米 ³)	3.02	—	3.67	1.7
表观密度	1.0~1.6	0.54	—	0.45
3000磅/吋 ² 压力下的密度	—	1.39	2.3	1.05
溶解度(%)				
20℃水中	0.04	0.02	不溶	极易溶
18℃乙醇中	不溶	0.002	不溶	不溶
吸湿性(%)	0.05	0.19	0.73	0.77
密度2.9时的爆速(米/秒)	5200	—	—	—
砂试验①(克)	10.5	1.6	0.0	2.0
特劳泽试验(%TNT)	42	—	—	53
爆热(卡/克)	368	270	—	658
冲击试验				
试验A(时②)	3	4	—	2
试验B(厘米②)	8	—	68	7
试验C(厘米③)	50	—	—	—

(续)

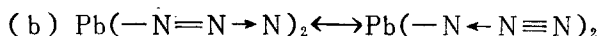
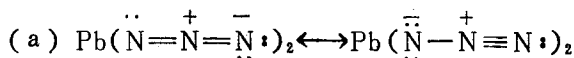
	斯蒂酚 酸 铅	二硝基间 苯二酚铅	二亚硝基间 苯二酚铅	特 屈 拉 辛
引起爆炸的最低温度 (°C)				—
0.1秒延滞期	293	—	274	—
5秒延滞期	282	265	205	154
75°C国际耐热试验, 48小时失重(%)	—	0.34	1.78	0.5
100°C耐热试验				
第一个48小时失重 (%)	1.5	0.2	2.43	23.2
第二个48小时失重 (%)	1.5	0.02	0.15	3.4
100°C真空安定性试验				—
加热40小时产生的气体(毫升)	0.3	<0.4	—	—

- ① 0.4克炸药炸碎的砂子克数。
 ② 2公斤落锤, 10次试验中引起1次爆炸的最小落高。
 ③ 1公斤落锤, 10次试验中引起1次爆炸的最小落高。

§ 1-1 叠氮化物

1-1-1 叠氮化铅 $[Pb(N_3)_2]$ 叠氮酸和它的铅、银、汞盐是在1890~1891年间制得。通常制得的叠氮化铅是针状结晶, 但也发现有斜方晶型(α 型)和单斜晶型(β 型)的结晶, 其中 β 型的感度大得多, 加热时两种晶型的分解速度不同。叠氮化铅也可以制成很细的无定形聚集体, 它们的粒度在3~4微米之间, 称为胶态叠氮化铅。

叠氮化铅基本上是共价的结构, 两种结构之间存在着共振现象。可用下述二种方法之一来表示其结构。



因为共振能较小, 所以它的稳定性不如碱金属叠氮化物中的纯离子型物质。

1893年，第一次生产军用和工业用的结晶叠氮化铅时发生了破坏性的爆炸事故，以后仅在法国和瑞士继续进行制造。又过了一段时间，英国才开始使用。德国自第一次世界大战以来和美国自1931年以来曾生产一种带有粘合剂的圆形聚集体的无定形叠氮化铅，称为“糊精叠氮化铅”，其大致组成是叠氮化铅93%、氢氧化铅4%、糊精及杂质3%。

制备 α 型结晶叠氮化铅的方法是将叠氮化钠稀溶液慢慢地加到不断搅拌着的稀醋酸铅或硝酸铅溶液中。胶态叠氮化铅是由较浓的溶液进行快速混合来制备的。制备糊精叠氮化铅是将弱碱性的叠氮化钠溶液慢慢地加到硝酸铅和糊精的溶液中，然后将沉淀的叠氮化铅用水洗涤，贮存在水中或50:50的水和乙醇或甲醇的混合物中。

也可由同样原料，用拜亚兹（Biazzi）连续法来制备叠氮化铅。

纯叠氮化铅由无色的结晶或聚集体组成；糊精叠氮化铅呈浅黄色，在50倍放大镜下观察不到结晶面。受到高装填压力时，与雷汞不一样，没有钝感现象（“压死”）。

叠氮化铅几乎不溶于大多数普通溶剂，易溶于醋酸，稍溶于醋酸铵水溶液，不溶于氢氧化铵。用冷的10%氢氧化钠溶液处理16小时可使废的叠氮化铅分解而不留下可爆炸的残渣。将叠氮化铅悬浮在亚硝酸钠溶液中，同时加入硝酸，同样可分解叠氮化铅。硝酸铈铵的水溶液也能分解叠氮化铅，同时放出氮气，可用这一反应来测定叠氮化铅的纯度。

结晶和胶态叠氮化铅几乎不吸湿。糊精叠氮化铅稍吸湿，但干燥它并不困难。

当用火焰点燃叠氮化铅的单个晶体或聚集体时，它并不

象单个雷汞晶体那样地进行燃烧，而是进行爆轰。若叠氮化铅晶体长度超过 0.1 毫米，在破碎时就会爆炸，因此控制晶体大小是必要的。

如表 1-1 所示，叠氮化铅对冲击和热不如雷汞敏感；针刺试验表明叠氮化铅对摩擦也不如雷汞敏感。糊精叠氮化铅的感度低于结晶型，而胶态叠氮化铅的感度与结晶型相同。叠氮化铅的热感度比雷汞差，这对它的应用受到一些限制，因此有时用更易点燃的物质，如斯蒂酚酸铅，作为它的面层覆药 (cover charge)。

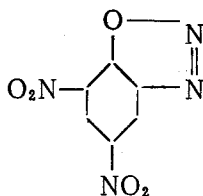
叠氮化铅在最大密度时的爆速也比梯恩梯的爆速低得多。虽然叠氮化铅的爆速、猛度、威力都较低，但仍比雷汞有明显的优越性。如表 1-1 中 100℃耐热试验结果表明的那样，叠氮化铅是比较安定的，它在 80℃贮存 15 个月没有影响，而雷汞在 80℃放置一天半，纯度已降至 90%。

由于叠氮化铅在安定性、成本、原料取得等方面都优于雷汞，因此在工业雷管和军用弹药方面已在很大程度上取代了雷汞。

1-1-2 叠氮化银 (AgN_3) 制备叠氮化银与制备结晶叠氮化铅的方法极为相似，但其制品系由大小差别悬殊的细无定形聚集体组成。叠氮化银的冲击感度与结晶叠氮化铅相当，但对热比叠氮化铅敏感得多。在 251℃加热时，叠氮化银熔化并分解成银和氮，若突然加热到稍高温时则会爆炸。叠氮化银是比叠氮化铅较好的起爆药，因其成本较高，限制了它的广泛应用。

§ 1-2 二硝基重氮酚

二硝基重氮酚可能有一个环状重氮氧化基团。它于1860年报导过,但直至1922年才将它作为炸药使用于混合物中。



二硝基重氮酚是黄色或红黄色的无定形粉末,在157~158°C熔化,在更高温度时会爆炸。制备方法是用亚硝酸钠和盐酸对苦氨酸 $[\text{NH}_2(\text{NO}_2)_2\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}]$ 进行重氮化,所得暗棕色粒状产物再用冰水充分洗涤;精制法是将产物溶于热丙酮中,再加入大量冰水使之沉淀。它几乎不吸湿,也不溶于水,微溶于甲醇或乙醇。能在水或醇和水的混合物中贮存。

在不封闭时,用火焰点燃二硝基重氮酚只发出闪光,在封闭时,点燃的结果将发生爆炸。装填压力大至130000磅/时²时,它也不会钝感化。

二硝基重氮酚的冲击感度与雷汞一样,但对摩擦较钝感。它的摩擦感度与叠氮化铅近似,但热感度却比雷汞、叠氮化铅都高,这就使它较易点燃,因此比叠氮化铅更为适用。由砂试验和爆速值(见表1-1)表明,它的猛度基本上和梯恩梯相同,由特劳泽铅铸试验测得的威力值远远大于叠氮化铅或雷汞。