

254099

基本馆藏

钻 眼 爆 破

下 册

东北工学院井巷教研室編著



煤 炭 工 业 出 版 社

鉆 眼 爆 破

下 册

东北工学院井巷教研室編著

本書可作为高等学校教学参考用書

煤炭工业出版社

本書共分上下兩冊，上冊為鑛眼部分；下冊為爆破部分。

本冊是爆破部分，全書共分七章：一、爆炸與炸藥的基本理論；二、工業炸藥；三、起爆材料；四、爆炸物質的運輸、檢查、儲存及銷毀；五、起爆方法；六、在均質岩石中的爆破作用；七、爆破方法。

本書可供鑛山基本建設及采礦工程技術人員參考，也可供軍工、鐵道、水利等部門的有關工程技術人員參考。對於大專學院的建井、采礦等專業來說，本書也是一本較好的教學參考用書。

參加本書編寫者有：馬宇航、鈕強、徐小荷、劉清榮、馬柏台、陶增聯、余靜、劉之洋等同志，最後由劉清榮、徐小荷、鈕強同志整理。

1287

鑛 眼 爆 破

下 冊

東北工學院井巷教研室編著

*

煤炭工業出版社出版(社址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可証出字第084號

煤炭工業出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

開本 850×1168 公厘 $\frac{1}{32}$ 印張 6 $\frac{7}{16}$ 字數143,000

1959年9月北京第1版 1959年9月北京第1次印刷

統一書號：15035·951 印數：0,001—3,000冊 定價：1.00元

目 錄

第一章 爆炸与炸藥的基本理論.....	1
第一节 爆炸与炸藥的基本概念	1
第二节 氧平衡	12
第三节 炸藥的起爆与起爆能	16
第四节 炸藥的主要性能	18
第五节 爆炸的发生和传播过程的理論	40
第六节 爆炸产物的运动方向及聚能效应	46
第七节 安全炸藥理論	50
第二章 工业炸藥.....	55
第一节 概述	55
第二节 硝酸炸藥	57
第三节 硝化甘油炸藥	60
第四节 芳香族硝化炸藥	64
第五节 液氧炸藥	65
第六节 黑火藥	66
第七节 工业炸藥的改进方向	67
第三章 起爆材料.....	71
第一节 起爆藥	71
第二节 起爆器材	74
第四章 爆炸物質的运输、检查、儲存及銷毀.....	83
第一节 爆炸物質的运输	83
第二节 爆炸物質的检查	86
第三节 爆炸物質的儲存	89
第四节 爆炸物質的銷毀	97

第五章 起爆方法.....	98
第一节 导火綫起爆法	98
第二节 电雷管起爆法	101
第三节 电綫、电源及测量仪表	111
第四节 导爆綫起爆法与加强起爆法	120
第五节 微差起爆法	123
第六章 在均質岩石中的爆破作用.....	127
第一节 爆炸对岩石的破碎作用	127
第二节 藥包及其种类	130
第三节 岩石运动方向及爆破漏斗	131
第四节 炸藥量計算的原則	137
第七章 爆破方法.....	139
第一节 爆破方法的概述	139
第二节 浅眼柱状装藥爆破法(炮眼法)	140
第三节 深孔柱状装藥爆破法	162
第四节 集中装藥爆破法	171
第五节 外复爆破法	190
第六节 測定爆破效果方法	193
結束語	200

第一章 爆炸与炸藥的基本理論

第一节 爆炸与炸藥的基本概念

一、爆炸現象

在我們周围自然界当中，小至原子大至星球或太阳，无不发生爆炸現象。如近二年发生的两次最大太阳爆炸（1956年2月23日与1957年11月24日），涉及面竟达地球的三十倍，而其能量相当于100万顆氢弹。地球本身也有爆炸，經常以火山爆发形式出現。如世界上最大的一次火山爆发是发生于1883年克拉卡陶島嶼，当时由地球中心噴出数十万立方公尺的赤热岩漿，火焰升高达八万公尺，其結果使該島大部被炸坏，在爆炸中心形成深达280公尺的断谷。某些流星飞落到地球上时，因其飞速較高，一般每秒为数十万公尺，故一旦接触地球表面則立即炸毀。至于原子爆炸現象，則更为大家所熟悉了。

在許多种工程中，如采矿、建井、地質、水力、航运、鐵路、公路、建筑、冶金与机械工程等以及在軍事上皆广泛地利用爆炸現象。在露天或井下的采矿工程当中，爆破是采取矿石或岩石的最基本的方法。在开山筑路或水力航运工程中，用爆破方法讓高山低头，河水讓路，这一种移山填海之能目前还是其他能源（机械能、电能、水力等）力所不能及的。

在适宜的条件下，一定量的能，在某种物質中发生急剧轉化，使周围介質受到干扰甚至破坏的現象謂之爆炸現象。

所有爆炸現象基本上可归納成两大类，即物理爆炸与化学爆炸。

物理爆炸的主要特征是在爆炸时仅仅发生物态急剧转化，其化学成分并不变，例如鍋爐爆炸和高压氧气缸爆炸等。在采矿爆破工程中，亦曾利用压缩的二氧化碳气体膨胀作用而制成之无烟爆破筒（应用于有沼气或煤尘爆炸危险的煤层中），亦属于物理爆炸一类；但此种物理爆炸在采矿工程中应用较少，而普遍采用的却是进行化学爆炸的炸藥，故下面着重说明一下化学爆炸。

二、化学爆炸

化学爆炸的本質就是某些特种物質的化学成分急速变化，其一般的特征是在爆破地点压力突然升高并对周围介質作机械功；同时伴随热、光、声等效应。

化学爆炸的产生必须具备下列四个条件：

1. 化学反应快：只有高速的反应才可能使某化学体系（如炸藥）在瞬間內釋放出大量的能，同时它也是爆破时产生巨大功率的先决条件。为証明后一点，特举一例。

設有一个8号安全硝铵炸藥的藥卷，其直径32公厘，长25公分，重200克。已知該炸藥的爆速为2800公尺/秒，爆炸生成热量636仟卡/公斤，热功当量427，試求爆炸后可能产生的功率。

$$\text{解：整个藥卷反应时间} = \frac{\text{藥卷长度}}{\text{爆速}} = \frac{0.25 \text{公尺}}{2800} \\ = 0.00009 \text{秒}$$

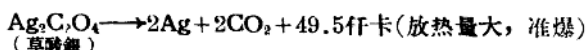
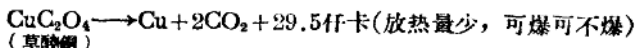
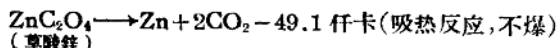
$$\text{整个藥卷爆炸时所作的功} = (0.2 \times 636) \times 427 \text{ 公斤} \cdot \text{公尺}$$

$$\text{則爆炸产生功率} = \frac{\text{功}}{\text{时间}} = \frac{(0.2 \times 636) \times 427}{0.00009 \times 102} \\ \approx 5.9 \times 10^6 \text{ 仟瓦。}$$

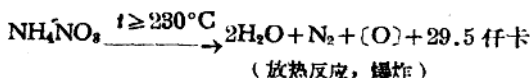
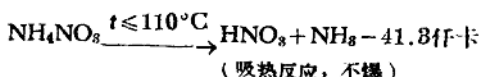
或 $\cong 5.9 \times 10^6 \times 1.36 \cong 8 \times 10^6$ 馬力。

这样大的功率相等于我国小丰满水电站的功率12倍，大約相当于四千万个劳动力（每人按 $\frac{1}{3}$ 馬力計算），如不是高速化学反应，則很难得到。

2. 放热量大：爆炸时放出巨大的热量是产生机械功的基础。如果某化学体系在反应时不仅无热量放出，而且吸热或放热量少，則无法繼續进行反应，爆炸现象亦不能产生，这一点早已被十九世紀法国化学家貝特罗用軍事爆炸之一的草酸盐所做的試驗結果証实。



矿用硝酸炸藥主要成分之一的硝酸铵，在不同温度的条件下由其放热反应情况即可决定是否爆炸。



一般工业用炸藥爆炸后产生热量为600~1200仟卡/公斤，其所产生的温度为1500~4500°C。

根据物理学上給呂薩克定律，气体（指理想气体）压力的增加和温度的上升成正比，即：

$$P = P_0 + P_0 \frac{t}{273}$$

式中 P ——最終压力，公斤/平方公分；

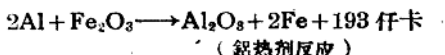
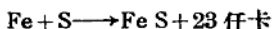
P_0 ——最初压力，公斤/平方公分；

t ——爆炸温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

由上式可知，温度每增加 1°C ，则压力增加最初值的 $\frac{1}{273}$

倍。

3. 产生气体多：放热量大虽然是化学爆炸的必要条件，但并不充分。例如下列化学反应尽管放出巨大的热量，但因反应时无大量的气体产生，也不会形成爆炸现象。



甚至铝热剂反应时所产生的热量，能够使反应产物的温度达到 3000°C 的高温也无爆炸现象的发生。

所以，要使化学爆炸具有可能性，除高速反应及放热量大而外，还必须产生大量的气体，后者的实际作用就是将爆炸热能传递给周围介质，亦即成为爆炸热能做机械功的直接媒介。

4. 自动进行传播：炸藥中某一点起化学反应后，其余各质点则不需要任何其它外界的因素而能自动进行传播的性质。这一条件乃是高速化学变化和巨大的放热反应的结果。

炸藥就是具备上述化学爆炸必要条件的固体、胶体或液体的化合物或机械混合物，其主要成分是碳、氢、氧、氮等元素。在化学上炸藥是不稳定（但有暂时相对的稳定性）的体系，其特点是容积小，能量大而集中，故它是一种工程应用上甚为方便的能源。

既然炸藥爆炸时所生成的热量、温度与压力等均为主要的

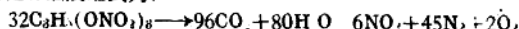
参变数，故有必要将它们的计算方法或测定方法加以说明，尽管计算精确度不高，但毕竟可作为各种炸藥性能相互比较的根据。

(1) 炸藥产生热量的计算：

爆炸产物的克分子热量的总和即为炸藥爆炸后所生成的热量。通常爆炸产物包括有 CO_2 、 H_2O 、 NO 、 H_2S 等等，这些产物的克分子热量可通过化学试验测得。所以用炸藥的化学变化反应方程式即可计算出炸藥爆炸后所生成的总热量，其单位以仟卡/克分子或仟卡/公斤表示。

例：试求每克分子重之硝化甘油（这是一种液体炸藥）的爆炸生成热量。

硝化甘油反应式为：



炸藥产物的热量 $\text{CO}_2 = 96 \times 94.3 = 9053$ 仟卡

$\text{H}_2\text{O} = 80 \times 57.84 = 4627$ 仟卡

$\text{NO} = 6 \times (-21.6) = -130$ 仟卡

$$\Sigma = 13550 \text{ 仟卡}$$

硝化甘油本身之反应热量为：

$$32\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 = 32 \times 94.2 = 3014 \text{ 仟卡}$$

32克分子硝化甘油爆炸生成热量

$$13550 - 3014 = 10536 \text{ 仟卡}$$

1克分子重的硝化甘油的爆炸生成热量

$$\frac{10536}{32} = 329.2 \text{ 仟卡}$$

每公斤硝化甘油的爆炸生成热量为：

$$329.2 \times \frac{1000}{227.1} = 1450 \text{ 仟卡}$$

（式中 1000 为 1 公斤 = 1000 克；227.1 = 硝化甘油的克分子量）

必须指出，上述计算中每克分子产物的生成热量是一定温度（15—20°C）和一定压力（760 公厘水银柱高度）的条件下测得的数据，而实际上炸藥爆炸时的温度与压力皆超过标准条件，故照理应将计算结果加以校正，但校正值一般不大于 3—5%，故可忽略之。

除用计算方法求炸藥爆炸时所生的热量外，还可采用“量热弹”的实验方法，其实质是：将炸藥装于真空密闭爆炸器中，以电雷管起爆，

爆炸后生成的热量借测热计测出；然后再由测值中减去雷管中起爆藥所产生的热量，其差即为該炸藥爆炸后所生成的热量。

爆炸产物的生成热量表

表 1

爆炸产物名称 项 目	二氧化碳 气 体	液体水 气 体	气体水 气 体	氧化氮 气 体	一氧化碳 气 体	硫化氢 气 体
化学式	CO ₂	H ₂ O	H ₂ O	NO	CO	H ₂ S
克分子量	44	18 (0°C)	18 (18°C)	30	28	34
每克分子的生成热 (仟卡/克分子)	+94.3	+68.37	+57.84	-17.7	+28.4	+5
每公斤的生成热 (仟卡/公斤)	+214	+379.3	+320	-402	+943	+147

炸藥与起爆藥成分的生成热量表

表 2

项 目	名 称	炸 藥			起 爆 藥
		硝化甘油	氯酸钾	硝酸铵	迭氮化铅
化学式		C ₃ H ₅ (ONO ₂) ₃	KClO ₃	NH ₄ NO ₃	Pb(N ₃) ₂
克分子量		227.1	122.6	80	291.2
每克分子的生成热 (仟卡/克分子)		+94.2	+95.9	+88.1	-103
每公斤的生成热 (仟卡/公斤)		+415	+781	+1100	-364

(2) 爆温的计算:

当求得炸藥爆炸时生成的热量后，如已知爆炸产物的比热，则可算出爆温。

计算爆温时，一般皆假定爆炸反应是在定容条件下进行的絕热过程，换言之，即认为爆炸时所发生的热量只消耗在加热爆炸产物上。据此可写出下式：

$$Q_v = C_v t$$

式中 Q_v ——在定容下的爆炸变化热；

C_v ——所有爆炸产物由 0° 升至 t ° 的平均热容量(即比热的有关值)；

t ——爆炸温度。

在表 3 中列出几种較常見的炸藥与起爆藥的爆溫数值。

工业炸藥的爆溫表

表 3

炸藥名称	硝化甘油	黑火藥	硝酸炸藥	硝化甘油炸藥	雷 汞
爆溫°C	4110°C	2615°C	2300—2600°C	4040°C	4810°C

(3) 爆炸压力的計算

炸藥爆炸后所产生的爆炸压力(简称爆压),是炸藥的重要参变数。爆压一般可根据物理学上的給呂薩克定律与波义耳定律推求得,即:

$$PV = GRT \quad (1)$$

$$P_0 V_0 = G_0 R T_0 \quad (2)$$

$$\frac{PV}{P_0 V_0} = \frac{G}{G_0} \cdot \frac{T}{T_0} \quad (3)$$

$$\frac{PV}{P_0 V_0} = G \frac{T}{T_0} \quad (4)$$

$$\text{由(4)式得: } P = \frac{TP_0 V_0}{T_0} \cdot \frac{G}{V} \quad (5)$$

式中 G_0, G ——公斤或数公斤炸藥爆炸气体重量;

V_0, V ——公斤或数公斤炸藥爆炸气体容积;

T_0, T ——爆炸绝对温度($T_0 = 20^\circ + 273^\circ = 293^\circ$);

P_0 ——标准压力(760 公厘水銀柱或 1.033 公斤/平方公分);

P ——在 G, V, T 情况下的爆压(公斤/平方公分);

R ——气体常数。

式(5)中右項第一因子并不隨条件不同而变化,該值对于各种炸藥皆为常数,我們称之为炸藥比压,并以符号 f 表示,即:

$$f = \frac{TP_0 V_0}{T_0} \quad (6)$$

若将上述数据代入(6)式中可得:

$$f = \frac{T \times 1.033 \times V_0}{293} = 0.003525TV_0 = 0.003525V_0(273 + t); \quad (7)$$

式中 t ——炸藥爆炸溫度(以摄氏温度表示),

将(6)式代入(5)式得: $P = f \cdot \frac{G}{V}$, (8)

若令 $G=1$ 公斤, $V=1$ 公升, 则 $P=f$ 。由此可见, 炸藥比压 f 即表示一公斤炸藥在初爆时其气体容积为一公升的最初压力。

例: 試求一公斤硝化甘油的爆压。

已知一公斤硝化甘油爆炸后的爆炸产物在 20°C 与 760 公厘水银柱时所占容积为 766 公升, 其爆炸温度为 4320° , 将这些数值代入(7)式可得:

$$P = f = 0.003525TV_0 = 0.003525 \times 4320 \times 766 = 11660 \text{ 气压/一公斤炸藥}$$

若将此炸藥 200 公斤置于容积为 8 立方公尺的炸藥庫中, 则此炸藥爆炸时对炸藥庫墙壁可能产生的压力为 $P = f \cdot \frac{G}{V} = 11660 \times \frac{200}{800} = 291.5$ 公斤/平方公分。

如果在爆炸产物中尚存有固体残流时, 则爆炸产物所占的容积应改写成:

$$V = v - uG \quad (9)$$

式中 v —— 一公斤炸藥爆炸后生成气体所占的容积;

u —— 一公斤炸藥爆炸后生成固体残渣所占的容积。

今以 a 代表一公斤炸藥爆炸后产生气体的余容, 则

$$V = v - (a + u)G \quad (10)$$

代入(8)式 $P = f \frac{G}{V - (a + u)G}$, (11)

用 V 除分子和分母, 则

$$P = \frac{f \frac{G}{V}}{1 - (a + u) \frac{G}{V}}, \quad (12)$$

式(12)中的 $\frac{G}{V}$ 值对爆压计算结果影响很大, 它表示炸藥重量与其所占容积之比, 一般称为炸藥的装填比重, 以 Δ 表示:

$$\Delta = \frac{G}{V} \quad (13)$$

于是:

$$P = \frac{f\Delta}{1 - (a+u)\Delta}, \quad (14)$$

式(14)是计算爆压时较常用的公式, 它比(8)式的计算结果较为准确(注: 式中的 a, u, Δ 皆在相应的参考书中可查表得出)。

(4) 气体爆炸产物体积的计算

炸药爆炸后所产生的爆炸产物有气体、液体与固体残渣, 如二氧化碳(CO_2)、一氧化碳(CO)、水(H_2O)、水蒸气、氧化氮($\text{NO}, \text{N}_2\text{O}_4$)、硫化氢(H_2S)、氮(N_2)、氢(H_2)、氧(O_2)、氯化钾(KCl)、氯化钠(NaCl)和碳酸铵($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)等, 其中尤以气体产物居多。气体产物体积的大小必将影响上述的爆压、爆炸温度以及生成热量, 故应加以计算, 其方法如下:

设炸药爆炸分解的反应通式为:

$$mM = n_1N_1 + n_2N_2 + n_3N_3 \quad (15)$$

式中: M ——炸药的分子量;

m ——该炸药的克分子数;

N_1, N_2, N_3 ——爆炸产物的分子量;

n_1, n_2, n_3 ——爆炸产物的克分子数。

一克分子量炸药的气体产物的体积(v)在 0°C 和 760 公厘水银柱高时应如下式所示:

$$v = \frac{(n_1 + n_2 + n_3 \dots)}{m} \times 22.42 \text{ 公升/克分子}, \quad (16)$$

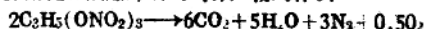
1 公斤炸药爆炸后生成气体所占的体积, 即气体比容(v_0)应为:

$$v_0 = \frac{(n_1 + n_2 + n_3 \dots)}{mM} \times 2242 \times 1000 \text{ 公升/公斤} \quad (17)$$

按(17)式即可计算出每一公斤炸药的比容。

至于某些爆炸产物在爆炸时是气体, 而在 0°C 时却是液体或固体产物者, 一般都假定其为气体, 所以计算其体积时, 也按气体体积计算。

例: 计算硝化甘油爆炸后的气体产物的体积



若 H_2O 为水蒸气(在 0°C 与 760 公厘水银柱高时),

则比容

$$v_0 = \frac{(6 + 5 + 3 + 0.5) \times 22.42 \times 1000}{2 \times 227} = 716 \text{ 公升/公斤}.$$

若 H_2O 为液态水(在 $0^\circ C$ 与 760 公厘水銀柱高时)，則比容

$$v_0 = \frac{(6+3+0.5) \times 22.42 \times 1000}{2 \times 227} = 469 \text{ 公升/公斤.}$$

此外还可利用試驗仪器，通过爆炸实验的实际测定，試驗仪器有汞气量計在测压弹或测热弹中进行。

三、爆炸与燃烧的区别

大家知道，各种不同可燃物（如木柴、煤炭、酒精等）的燃烧皆为該物質和氧化合的过程，同时有大量的热产生。炸藥爆炸后亦产生大量的热，因此有必要将一般燃烧与爆炸的以及炸藥的燃烧与爆炸的区别略加叙述。

一般可燃物的燃烧必須由外界供給足量的氧气，同时燃烧的化学反应进行很慢（速度通常为每秒数公尺，而爆炸为数千公尺），而且燃烧后所产生的气体比爆炸后所产生的气体要少得多。至于爆炸或燃烧产生的热量大小問題是很值得重視的。在表 4 中列出几种炸藥和燃料在爆炸和燃烧时生成热量的数据。

炸藥和燃料在爆炸和燃燒时生成的热量比較表 表 4

物 質 名 称	一公斤物質的热量(仟卡)	一公升物質的热量(仟卡)
黑火藥(爆炸)	665	800
三硝基甲苯 爆炸)	1010	1620
碳(和氧的混合物燃燒)	2140	4.1
苯、和氧的混合物燃燒)	2330	4.4

从表 4 中看出，单位重量的炸藥爆炸时所产生的热量比单位重量的燃料与氧气混合物燃烧时所产生的热量为少；但是对于单位容积而言，則恰恰相反，即炸藥所产生的热量比燃烧大

几百倍甚至可达千倍(例如黑火藥为 800 仟卡/公升, 而炭与氧混合物为 4.1 仟卡/公升), 这是因为可燃物質和氧的混合比容要比固体或液体炸藥的比容大得多的緣故。

此外, 上表还說明, 小量容积的炸藥产生的热量很大, 换言之, 即炸藥的能量比較集中。

上面主要說明了一般燃料的燃烧与炸藥爆炸的区别問題。但应指出, 工业炸藥中的某些炸藥(如三硝基甲苯、二硝化乙二醇等), 在一定的条件下不产生爆炸現象而是比較平稳的燃烧, 例如用三硝基甲苯点火燃烧相当緩慢, 甚至比汽油燃烧还平靜。苏联捷尔道維奇教授曾用二硝化乙二醇作了下面的燃烧試驗, 并且解释了炸藥的燃烧是从点燃处的火焰扩散到整个炸藥的自动传播問題。

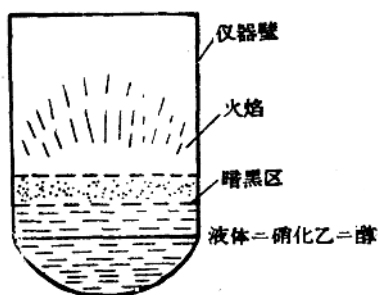


图 1 液体二硝化乙二醇的燃烧情况

他認為燃烧化学反应发生在直接靠近火焰綫的一层极薄的炸藥层內。所謂火焰綫就是火焰(已經燃着的炸藥)和未燃着的界綫, 如图 1 的暗黑区即是明显的标志, 在此暗黑区内温度平稳上升, 即从原来的温度上升到火焰的温度, 同时炸藥物質的組成也变成燃烧的生成物。火焰所生的热量将使这一过渡层

加热，并促进其发生高速的化学反应，这时所发生的热量又去加热下一层炸藥，使其变热和燃烧等等，这样一层一层地直到物質全部燃烧完毕为止。这种炸藥的燃烧现象只是在低压之下才能进行。假若随着化学反应的速度增加、气体的增多及温度压力的不断上升，那么它必从燃烧而导至爆炸，这一点是可以理解的。所以燃烧与爆炸，燃料与炸藥有共同之点，也有其区别的特点，而且不同的条件皆可互相转化；对于对我们采矿工作者来说，应该着重研究的是炸藥的爆炸现象、优质炸藥及其能量的充分利用。

第二节 氧 平 衡

氧平衡就是表示炸藥中含氧量和可燃物充分氧化所需氧量是否平衡的问题。

表示氧平衡的方法有两种：采用“氧平衡率”或“氧系数”，在爆破工程中采用前者较为普遍。

氧平衡率是炸藥爆炸后出现之单体氧的克分子量与炸藥总分子量比值的百分数，如炸藥爆炸后呈现剩余的单体氧时，则其克分子量用正号表示，如不足应以负号表示。若刚好氧化完全，无单体氧产生，则此值为零。

$$\text{氧平衡率}(\%) = \frac{\text{炸藥爆炸分解后单体氧(剩余或不足)的克分子量}}{\text{参加爆炸时炸藥的总克分子量}}$$

随炸藥化学成分之不同，其氧平衡可概括为三种：

1. 零氧平衡——炸藥本身的含氧量恰好等于将其中可燃体(C,H)完全氧化时所需的氧量。所谓完全氧化，即指氧化成为 CO_2 和 H_2O 。

例：混合物炸藥（液氧炸藥）

