

炸药爆轰性质计算的氮当量公式及 修正氮当量公式：炸药爆速的计算

国迁贤 张厚生

(1983年1月5日收到)

在本文中，提出了炸药爆速计算的氮当量公式和修正氮当量公式及其计算方法，并进行实例计算。讨论了炸药的氮当量（修正氮当量）与爆热及爆容的关系，探讨了提高爆速的途径。本方法与其它计算方法对比表明，氮当量公式是简便，适用范围广、不需要生成热并有一定准确性的计算方法。修正氮当量公式不但具有上述优点，而且还是最准确的计算方法之一。

一、前言

炸药的爆速是重要的爆轰参数之一，爆速与炸药的实际应用，爆轰理论的研究，均有十分密切的关系。因此，炸药爆速的计算无论在理论上或在实际上，尤其是对新型高效炸药的合成，都是非常重要的。迄今为止，炸药爆速的计算方法大体上有：从爆轰流体动力学和爆轰产物状态方程出发的半经验计算方法^[1-13]；从炸药氧平衡出发的经验计算方法^[14-16]；从炸药爆热和爆容出发的经验计算方法^[17-20]；以及其他一些经验计算方法^[21-23]等等。

总而言之，上述这些爆速计算方法都是从各自不同的角度出发，虽然它们之间有较大的区别，但是在一定范围内，均取得了满意的结果。1964年，作者之一提出了一个计算炸药爆速的经验公式——氮当量公式，它是国内炸药界目前广泛使用的计算方法。后来，我们对氮当量公式做了进一步修改和完善，补充计算含氯、氟元素炸药的有关参数，增加炸药化学结构对爆轰参数影响的校正，发展成为修正氮当量公式。

本文将介绍这两种计算方法，并与另外一些爆速计算方法做一对比。依据氮当量概念，讨论提高炸药爆速的途径。

二、氮当量公式和修正氮当量公式

1 氮当量公式

早在1964年，我们认为，炸药的爆速除与其装药密度有关外，还与爆轰产物的组成有密切关系。我们以炸药的实测爆速为基础，提出了一个计算炸药爆速的氮当量公式：

$$D = 1850 \sum N + 1160 (\rho_0 - 1) \sum N = (690 + 1160 \rho_0) \sum N \quad (1)$$

$$\sum N = \frac{100}{m} \sum X_i N_i \quad (2)$$

式中 D —炸药的爆炸 (米/秒); ρ_0 —炸药的装药密度 (克/厘米³); $\sum N$ —炸药的氮当量; m —炸药的分子量; X_i —每克分子炸药爆轰时生成第 i 种产物的克分子数; N_i —第 i 种爆轰产物的氮当量系数。

在爆轰产物中, 取氮气对炸药爆速的贡献为 1, 其他爆轰产物与氮气相比较的比值, 称为氮当量系数, 如表 1 所示:

表 1 爆轰产物的氮当量系数

产 物	HF	CF ₄	H ₂ O	CO	CO ₂	H ₂	C	O ₂	Cl ₂	N ₂
氮当量系数	0.577	1.507	0.54	0.78	1.35	0.29	0.15	0.5	0.876	1

由表 1 看出, 大部分爆轰产物的氮当量系数与 Апин 等的爆轰产物的多方指数^[24]、第二维利系数^[25]、以及 Mader 所确定的爆轰产物余容^[4]的顺序, 是一致的。

当 100 克炸药爆轰时, 所生成的各种爆轰产物的克分子数与其氮当量系数乘积的总和, 我们称为炸药的氮当量。

当时应用公式 1, 计算了 52 种单质炸药, 27 种混合炸药的爆速, 其平均绝对误差分别为 ± 155 米/秒和 96 米/秒。

2 修正氮当量公式

70 年代初期, 我们应用氮当量公式, 曾经计算过 6 种类型, 166 个单质炸药, 628 组爆速数据。发现, 在爆速计算误差较大 (± 3%) 的炸药中, 分别含有下述各种化学键或基团, 如: OH、C—O—C、NH₂、NH、C=O、C=C、C=N、N—NO、ONO₂、CHO、N₃、C—F、C—Cl 等。由此可以看出, 产生较大误差的原因, 可能是原来的氮当量概念中, 忽略了炸药生成热的不同, 或者是没有考虑炸药分子结构的差异。

我们考虑了炸药化学键和基团对爆速的影响, 并且调整了爆轰产物的氮当量系数, 得到了炸药的修正氮当量, 提出了爆速计算的修正氮当量公式:

$$D = (690 + 1160 \rho_0) \sum N^* \quad (3)$$

$$\sum N^* = \frac{100}{m} (\sum P_i N_{P_i} + \sum B_k N_{B_k} + \sum G_j N_{G_j}) \quad (4)$$

式中 $\sum N^*$ —炸药的修正氮当量; P_i —每克分子炸药爆轰时所形成第 i 种产物的克分子数; N_{P_i} —第 i 种产物的修正氮当量系数; B_k —第 k 种化学键在分子中出现次数; N_{B_k} —第 k 种化学键的修正氮当量系数; G_j —第 j 种基团在分子中出现次数; N_{G_j} —第 j 种基团的修正氮当量系数。

我们根据 166 个单质炸药, 628 组实测爆速, 在电子计算机上, 应用最小二乘法, 求得爆轰产物、化学键和基团的修正氮当量系数, 见表 2:

表 2 修正氮当量系数





2-1 爆轰产物的修正氮当量系数 N_{P_i}

爆 轰 产 物	HF	CF ₄	H ₂ O	CO	CO ₂
N_{P_i}	0.612	1.630	0.626	0.723	1.279
爆 轰 产 物	H ₂	C	O ₂	Cl ₂	N ₂
N_{P_i}	0.195	0.149	0.553	1.194	0.981

2-2 化学键的修正氮当量系数 N_{B_k}

化学键	C—H	C—C	>C—C<^*	---C---C---^*	C=C	C≡C
N_{B_k}	-0.0124	0.0628	-1.0288	0.0101	0.0345	0.2140
化学键	C—F	C—Cl	C=O	C—O	C—N	---C---N---^*
N_{B_k}	-0.1477	-0.0435	-0.1792	-0.0430	0.0090	-0.0807
化学键	C=N	C≡N	N—H	N—F	N—O	O—H
N_{B_k}	-0.0077	-0.0128	-0.0578	0.0126	0.0139	-0.1106
化学键	N—O**	N—N	N=N	N≡N	N=O	
N_{B_k}	-0.0023	0.0321	-0.0043	0	0	

2-3 基团的修正氮当量系数 N_{G_j}

基 团					OH·NH ₂
N_{G_j}	-0.0064	-0.0161	-0.1052	-0.0225	0.0470
基 团	C—NO ₂	N—NO ₂	C—ONO ₂	N—NO	N ₂
N_{G_j}	0.0016	-0.0028	0.0022	0.0429	0.0065

注 * 表示芳香体系的共轭双键;

** 表示硝基中的氮-氧键。

当时应用公式 3, 计算了 6 种类型, 166 个单质炸药, 628 组爆速数据, 其平均计算误差为 ±1.90%。我们又应用公式 1 和公式 3, 计算了 43 个新合成、新测试或新发表的炸药 (166 个炸药以外的), 54 组爆速数据, 其平均计算误差分别 ±2.43% 和 1.56%。

三、计算方法和计算实例

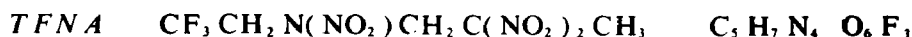
1、计算方法

对于碳氢氮氧氟氯炸药来说，形成爆轰产物的次序规定如下：氟最先与氢作用，形成氟化氢；氟有多余时，氟与碳作用得到四氟化碳；有多余的氢时，氢与氧作用生成水；有多余的氧时，氧与碳化合得到一氧化碳，继而得到二氧化碳；仍有多余的氧时，则形成氧气；氟、氧不足以将氢完全氧化时，则有氢气生成；氟、氧不足以将碳氧化时，则有固体碳形成；氮形成氮气；假定氯生成氯气。

根据上述规定得到炸药爆轰反应方程，按公式1~4，求出炸药的爆速。当计算混合炸药的爆速时，先求出其中每个炸药组分的含量（重量百分比）与其氮当量（修正氮当量）乘积的总和，该总和就是混合炸药的氮当量。在混合炸药中，所有炸药组分的总含量大于90%时，计算值可以与实测值比较接近。

2、计算实例

当装药密度为1.692克/厘米³时，1, 1, 1-三氟-3, 5, 5-三硝基-3-氮杂已烷的爆速为例，计算如下：



$$m = 276.13 \quad \text{实测爆速为 } 7400 \text{ 米/秒}$$



$$\sum N = \frac{100}{m} \sum X_i N_i = 2.927$$

$$D = (690 + 1160 \rho_0) \sum N = 7765 \text{ (米/秒)}$$

$$\Delta D = -365 \text{ (米/秒)} \quad (-4.9\%)$$

$$\sum P_i N_{P_i} = 3 N_{HF} + 2 N_{H_2O} + 4 N_{CO} + N_C + 2 N_{N_2} = 8.091$$

$$\sum B_k N_{B_k} = 7 N_{C-H} + 3 N_{C-C} + 3 N_{C-F} + 4 N_{C-N} + 6 N_{N-O} + N_{N-N} = -0.2872$$

$$\sum G_j N_{G_j} = N_{N-NO_2} + 2 N_{C-NO_2} = 0.0004$$

$$\sum N^* = 100/m (\sum P_i N_{P_i} + \sum B_k N_{B_k} + \sum G_j N_{G_j}) = 2.826$$

$$D = (690 + 1160 \rho_0) \sum N^* = 7497 \text{ (米/秒)}$$

$$\Delta D = -97 \text{ (米/秒)} \quad (-1.3\%)$$

按公式1或3计算TFNA的爆速分别为7765和7497米/秒，计算误差分别为-4.9和-1.3%。

四、一些爆速计算方法的比较

我们以6种类型，166个单质炸药，628组实测爆速为基础，按各种计算方法的应用范围，进行炸药爆速的计算，以供比较。按6种炸药类型，其统计结果列于表3。

应当指出，我们应用Martin-Yallop修正氧平衡公式⁽¹⁴⁾，计算零氧平衡和负氧平衡炸药的爆速，而不计算正氧平衡炸药的爆速。Martin-Yallop公式如下式所示：

$$D = 2509 + 13.25 Q + 3793 \rho_0 + 12.81 \rho_0 Q \quad (5)$$

表 3 一些炸药爆速计算方法的比较

序号	炸药类型	修正氧平衡公式			NMQ 公式			氧当量公式			修正氧当量公式		
		炸药数目	爆速数目	\overline{D}' (±%)	炸药数目	爆速数目	\overline{D}' (±%)	炸药数目	爆速数目	\overline{D}' (±%)	炸药数目	爆速数目	\overline{D}' (±%)
1	芳香族炸药	39	256	2.38	23	236	1.80	39	256	2.80	39	256	1.90
2	直链脂肪族炸药	40	102	3.77	20	92	3.00	56	136	2.89	56	136	1.89
3	杂环族(脂杂环族)炸药	26	100	2.40	5	70	1.59	27	109	2.25	27	101	1.18
4	硝酸酯炸药	22	96	3.98	15	94	4.50	25	105	3.02	25	105	2.57
5	含氟氟炸药	14	20	6.89	3	7	1.90	15	21	2.98	15	21	1.52
6	叠氮类炸药	4	9	2.42	3	8	7.45	4	9	5.36	4	9	2.83
	总计	145	583	3.05	69	507	2.58	166	628	2.82	166	628	1.90

注 * $\overline{D}'\% = \sum |AD\%| / n$
 $AD\% = (D_{*} - D_{H}) \times 100 / D_{*}$
 式中 D_{*} —实测爆速(米/秒), D_{H} —计算爆速(米/秒), n —爆速数目。

式中 Q — 炸药的修正氧平衡(%)。

在公式 5 中，没有正氧平衡的校正项。因之，公式 5 不适用于正氧平衡炸药爆速的计算。应用公式 5 计算 145 个单质炸药，583 组爆速数据，其平均误差为 ± 3.05%，它是这些方法中计算误差最大的。当 $Q > -13.97\%$ (泰安) 时，共 47 个单质炸药，90 组爆速数据，其平均误差为 ± 5.24%；当 $Q < -60.00\%$ 时，共有 5 种单质炸药，13 组爆速数据，其平均误差为 ± 4.80%。当修正氧平衡处于 $-13.97 > Q > -60.00$ 之间，其平均误差为 ± 2.59%。因之，在此范围内的爆速计算，公式 5 是基本可用的。

应用 Kamlet 等的 NMQ 公式⁽¹⁷⁻¹⁹⁾，计算 69 个炸药，507 组爆速数据，其平均误差为 ± 2.58%，远大于文献 [17-19] 的 ± 1.20%。对硝酸酯、叠氮化合物来说，NMQ 公式几乎是不适用的。对于硝基胍等炸药爆速的计算，亦产生相当大的偏差。

由表 3 看出，在这些计算方法中，以氮当量公式是最简便的，修正氧平衡公式的计算结果是最差的。修正氮当量公式不但总的计算误差最小，而且绝大多数类型的炸药爆速的计算误差也是最小的。因此可以认为，它比其它方法较为优越，而且适应范围广泛。

近几年陆续发表了一些新的计算方法，我们选择少许炸药做些对比。这个对比是在文献 [23] 中计算方法比较的基础上，补充了应用氮当量公式及修正氮当量公式的计算爆速，其结果如表 4 所示。

由表 4 看出，在这些方法中，以 Айзенштаг⁽¹⁶⁾ 法的计算误差为最大；Rothstein-Petersen⁽²³⁾ 法次之，氮当量法居中，而以 NMQ 法⁽¹⁷⁻¹⁹⁾ 及修正氮当量法为最佳。

五、讨 论

应用氮当量公式和修正氮当量公式，计算许多炸药的爆速时看出，计算值与实测值均得到良好的符合，并证明这两种方法具有广泛的适用性。

对于 CO_2-H_2O 平衡(零氧平衡)或 $CO-H_2O$ 平衡的炸药来说，每克分子炸药的修正氮当量 $m \sum N^m$ 与其爆热 mQ 、爆容 mV 、均分别呈现良好的线性关系(见图 1)。还发现，炸药

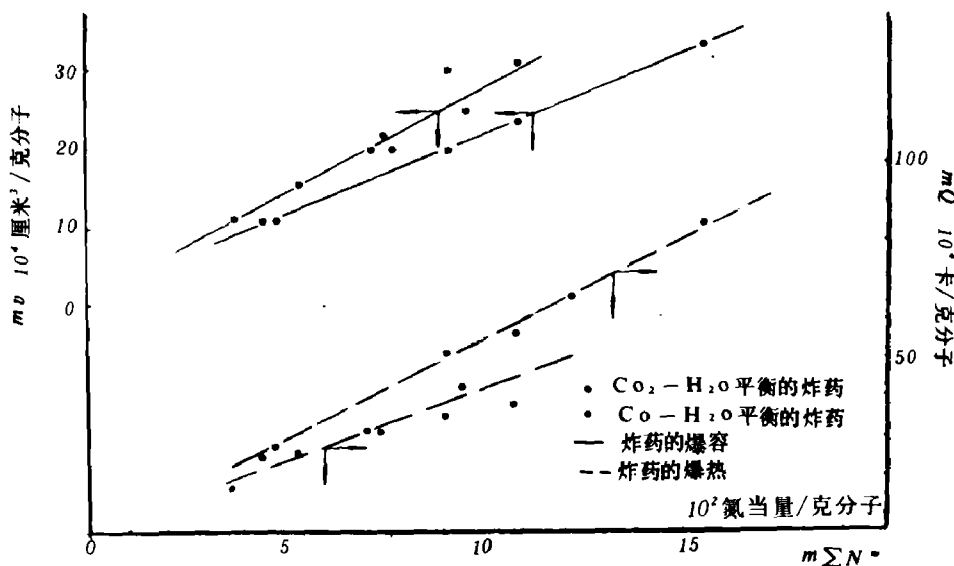
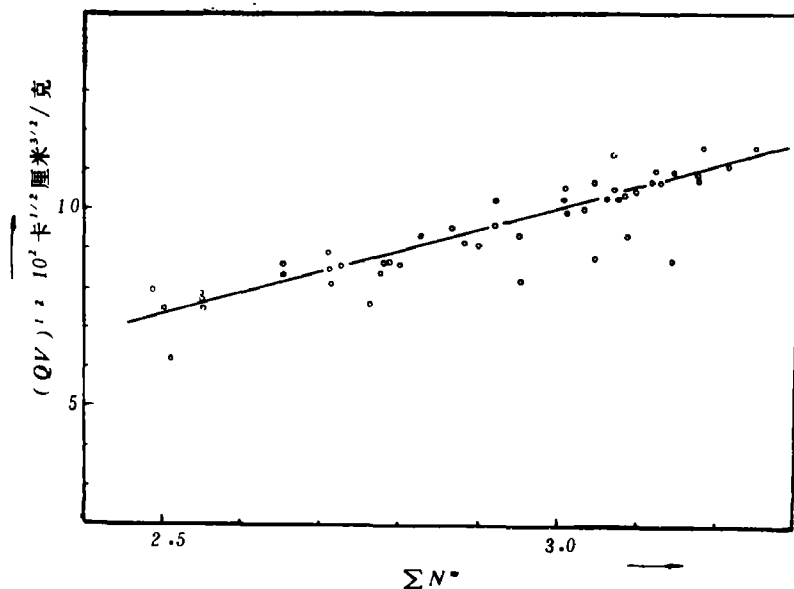


图 1 炸药的克分子氮当量与其克分子爆热、爆容的关系

表 4 一些爆速计算方法的比较

编号	炸药	分子式	密度 (克/厘米 ³)	爆速 (米/秒)	来源	NMQ 公式 ^[17]		Айзенхуртс法 ^[16]		Rothstein 法 ^[21]		氮当量公式			
						计算爆速 (米/秒)	误差 (%)	计算爆速 (米/秒)	误差 (%)	计算爆速 (米/秒)	误差 (%)	计算爆速 (米/秒)	误差 (%)	计算爆速 (米/秒)	误差 (%)
1	TNT	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆	1.65	6960	23	7018	-0.8	7230	-3.9	6672	4.1	7000	-0.6	7065	-1.5
			1.65	7140	10	7018	1.7	7230	-1.3	6672	6.6	7000	2.0	7065	1.1
2	HNB	C ₆ N ₆ O ₁₂	2.00	9500	23					9108	4.1	9599	-1.0	9259	2.5
3	TNB	C ₆ H ₃ N ₃ O ₆	1.688	7466	26	7312	2.1	7254	2.8	7270	2.6	7531	-0.6	7362	1.4
4	PA	C ₆ H ₃ N ₃ O ₇	1.76	7800	10	7553	3.2	7427	4.8	7360	5.6	7958	-2.0	7580	2.8
5	TNA	C ₆ H ₄ N ₄ O ₆	1.76	7420	23	7491	1.0	7720	-4.0	7490	-0.9	7782	-4.9	7599	-2.4
6	DATB	C ₆ H ₃ N ₃ O ₆	1.84	7670	23	7630	0.5	8150	-6.3	7690	-0.3	8078	-5.3	7863	-2.5
			1.84	7725	17	7630	1.2	8150	-5.5	7690	0.5	8078	-4.6	7863	-1.8
7	TATB	C ₆ H ₆ N ₄ O ₆	1.94	7940	23	7980	-0.5	8340	-5.0	7870	0.9	8439	-6.3	8189	-3.1
			1.94	8143	17	7980	2.0	8340	-2.4	7870	3.4	8439	-3.6	8189	-0.6
8	TeTryl	C ₇ H ₃ N ₃ O ₆	1.73	7910	23	7790	1.5	7770	1.8	7780	1.6	7856	0.7	7769	1.8
			1.73	7935	26	7790	1.8	7770	2.1	7780	2.0	7856	1.0	7769	2.1
9	HNS	C ₁₁ H ₆ N ₆ O ₁₁	1.74	7120	23	7269	-2.1			6840	3.9	7454	-4.7	7360	-3.7
10	DIPAM	C ₁₂ H ₆ N ₆ O ₁₂	1.79	7490	23					7440	0.7	7973	-6.4	7538	-0.6
11	Hexyl	C ₁₂ H ₃ N ₇ O ₁₂	1.67	7280	25	7301	-0.2			7450	-2.2	7558	-3.7	7356	0.9
			1.67	7150	26	7301	-2.1			7450	-4.2	7558	-5.7	7356	-2.9
12	TNF TB	C ₆ H ₆ N ₆ O ₁₄	1.78	8300	23	8612	-3.8	8340	-0.5	8560	-3.1	8668	-4.4	8479	-2.2
			1.78	8450	17	8612	-1.9	8340	1.3	8560	-1.3	8668	-2.6	8479	-0.3
13	BTNEN	C ₆ H ₄ N ₆ O ₁₄	1.96	8850	23	8928	-0.9	8710	1.6	8690	1.8	8766	0.9	8821	0.3

编号	炸药	分子式	密度 (克/厘米 ³)	爆速 (米/秒)	来源	NMQ 公式 ⁽¹⁷⁾		Агзешуттэвэ ⁽¹⁸⁾		Rohstin 法 ⁽¹⁹⁾		氮当量公式		修正氮当量公式	
						计算爆速 (米/秒)	误差 (%)	计算爆速 (米/秒)	误差 (%)	计算爆速 (米/秒)	误差 (%)	计算爆速 (米/秒)	误差 (%)	计算爆速 (米/秒)	误差 (%)
14	NM	C ₂ H ₂ N ₂ O ₂	1.14	6320	23	6480	2.5	6910	-9.3	5510	12.8	5852	7.4	6048	4.3
15	TNM	C ₁ N ₂ O ₂	1.65	6550	23	6670	-1.8	6270	4.3	6750	-3.1	6442	1.6	6542	0.1
			1.65	6400	26	6670	-4.2	6270	2.0	6750	-5.6	6442	-0.7	6542	-2.2
16	EDNA	C ₂ H ₂ N ₂ O ₄	1.71	8230	23	8280	-0.6	8640	-5.0	8310	-1.0	8104	1.5	8331	-1.2
			1.71	8391	17	8280	1.3	8640	-3.0	8310	1.0	8104	3.4	8331	0.7
17	BTNEU	C ₂ H ₂ N ₂ O ₁₁	1.86	9000	23	8990	0.1	8680	3.6	9130	-1.4	9120	-1.4	8895	1.2
18	NO	C ₂ H ₂ N ₂ O ₂	1.72	8160	23	7690	5.8	8630	-5.8	8270	-1.3	8335	-2.1	8171	-0.1
			1.72	8280	28	7690	7.1	8630	-4.2	8270	0.1	8335	-0.7	8171	1.3
19	DNPN	C ₂ H ₂ N ₂ O ₁₀	1.73	8100	23	8220	-1.5	8270	-2.1	8160	-0.7	8061	0.5	8295	-2.4
20	MDNA	C ₂ H ₂ N ₂ O ₄	1.70	8864	29	8745	1.3					8667	2.2	8647	2.4
21	HMX	C ₂ H ₂ N ₂ O ₄	1.90	9140	23	9120	0.2	9230	-1.0	9050	1.0	9088	0.8	9179	-0.4
22	RDX	C ₂ H ₂ N ₂ O ₆	1.82	8850	23	8890	-0.5	8950	-1.1	8950	-1.1	8776	0.8	8885	-0.4
23	R-Salt	C ₂ H ₂ N ₂ O ₃	1.60	7900	15	7610	3.7	8070	-2.2	7890	0.1	7414	6.2	8002	-1.3
			1.60	7800	23	7610	2.4	8070	-3.5	7890	-1.2	7414	4.9	8002	-2.6
24	Sorguyi	C ₂ H ₂ N ₂ O ₁₀	2.01	9150	23					8850	3.3	9557	-4.4	9186	-0.4
			2.01	9422	30					8850	6.1	9557	-1.4	9186	2.5
25	PETN	C ₂ H ₂ N ₂ O ₁₂	1.77	8290	23	8710	-5.1	8540	-3.0	8090	2.4	8477	-2.3	8482	-2.3
			1.77	8600	17	8710	-1.3	8540	0.7	8090	5.9	8477	1.4	8482	1.4
26	DINA	C ₂ H ₂ N ₂ O ₄	1.67	8000	23	8210	-2.6	8620	7.8	7950	0.6	7965	0.4	8059	-0.7
27	NG	C ₂ H ₂ N ₂ O ₄	1.60	7700	23	8177	-6.2	7800	-1.3	7440	3.4	7876	-2.3	7825	-1.6
			1.60	8000	31	8177	-2.2	7800	2.5	7440	7.0	7876	1.6	7825	2.2
28	HN,Bc BTF)	C ₂ N ₂ O ₄	1.901	8620	20	8535	1.0			8420	2.3	8819	-2.3	8764	-1.7
平均绝对误差(±%)						37组	2.13	32组	3.30	40组	2.78	41组	2.71	41组	1.66

图 2 炸药的氮当量与 $(QV)^{1/2}$ 值的关系

的修正氮当量与其爆热及爆容乘积的 $1/2$ 次方 $(QV)^{1/2}$ 呈线性关系(见图 2)。除少数奇异点外,以图 2 中的数据为基础,应用最小二乘法求得如下关系式:

$$(QV)^{1/2} = 545 \Sigma N^* - 627 \quad (6)$$

式中 Q ——炸药的爆热(卡/克); V ——炸药的爆容(厘米³/克)。

公式 6 表明,炸药的氮当量与实际物理量 $(QV)^{1/2}$ 的数值相关。这就是说,高效炸药的合成必须尽量合成具有较高爆热和爆容的化合物,爆热与爆容二者是不可偏废的。

自从提出氮当量公式以来,许多同志都讨论了爆轰产物对爆轰参数的贡献。所用的方法都是比较 100 克炸药爆轰时,形成单一爆轰产物的氮当量值,用下式表示:

$$C_{pi} = \frac{100}{m_{pi}} N_{pi} \quad (7)$$

式中 C_{pi} ——第 i 种爆轰产物的氮当量值; m_{pi} ——第 i 种爆轰产物的分子量。

依公式 7 所得的氮当量值,按大小顺序列入表 5:

表 5 爆轰产物的氮当量值 C_{pi}

5-1 原始氮当量

产物	H ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	HF	CO	CF ₄	O ₂	C	Cl ₂
C_{pi}	14.5	3.57	3.07	3.00	2.89	2.79	1.71	1.56	1.25	1.23

5—2 修正氮当量

产物	H ₂	N ₂	H ₂ O	HF	CO ₂	CO	CF ₄	O ₂	Cl ₂	C
C _p	9.75	3.50	3.48	3.06	2.91	2.58	1.85	1.73	1.68	1.24

3.

由表5看出,除CO₂、Cl₂外,在原始及修正氮当量中其它爆轰产物氮当量值的顺序,基本上是一致的。因之,欲合成高效炸药时,应当考虑增加形成高氮当量值的爆轰产物,也就是增加形成该产物的元素。当然还应该与其它因素如密度、氧平衡、生成焓、分子结构与晶体结构等联合起来,统筹考虑,这样就能增加达到予期目标的可能性。

六、结 论

在本文中,我们提出了炸药爆速计算的氮当量公式和修正氮当量公式及其计算方法。讨论了炸药的氮当量与其爆热及爆容的关系,探讨了提高爆速的途径。与其它计算方法对比表明,氮当量公式是简便、适用范围广、不需要生成热,并有一定准确性的计算方法。修正氮当量公式不但同时具有上述优点,而且还是最准确的计算方法之一。

张明南研究员、李福平高级工程师等对本文给予大力支持和帮助,张珊珊工程师等在电子计算机上付出辛勤的劳动,特此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] Price D., *Chem. Rev.*, 59 (1959), 801.
- [2] Kistiakowsky, G. B., Wilson, E. B., *OSRD*, 114 (1941).
- [3] Cowan, R. D., Fickett, W., *J. Chem. Phys.*, 24 (1956), 932.
- [4] Mader C. L., *LA-2613* (1961).
- [5] Mader C. L., *LA-2900* (1963).
- [6] Mader C. L., *LA-3704* (1967).
- [7] 钱学森, 物理力学讲义, 科学出版社, (1962), 248.
- [8] 疋田 强, 工业火药, 13 (1952), 3, 77; 221.
- [9] 木原太郎, 疋田 强, 工业火药, 13 (1952), 106, 17, (1956), 261.
- [10] 疋田 强, 工业火药ハンドブック, 共立, (1966), 318.
- [11] 田中克己, 疋田 强, 工业火药, 38 (1975), 210.
- [12] Edwards, J. C., Chaiken, R. F., *Comb. Flame*, 22 (1974), 269.
- [13] Dobratz, B. M., *UCRL-51319*, (1974).
- [14] Martin A. R., Yallop, H. J., *Trans. Faraday Soc.*, 54 (1958), 257.
- [15] Pagowski W., *Chem Stosowana Soc.*, A 8 (1964), 83.
- [16] Айзенштадт, И. Н., *Физ. Гор. Взрыва*, 12 (5), (1976), 754.
- [17] Kamlet, M. J., et al., *J. Chem. Phys.*, 48 (1968), 23; 36; 43; 3685.
- [18] Kamlet, M. J. et al., *AD 661483* (1967).

- [19] Kamlet, M. J. et al., *Israel J. Technology*, 7 (1970), 43 .
- [20] Пепекин, В. М., Лебедев, Ю. А., ДАН СССР, 234 (1977) 105 ; 1391 .
- [21] 田中克己, 工业火药, 38 (1977), 107 .
- [22] Lombard, J. M., Garnaud, G., Bernard, M. L., *Explosifs*, 31 (3), (1978), 67.
- [23] Rothstein, L. R., Petersen, S. R., *Propellants Explos.*, 4 (3), (1979) 56, *ibid.*, 68 (4), (1981), 91; AD 060889 (1978).
- [24] Апин, А. Я. и др., *ЖПМТФ*, 5 (1961), 117 .
- [25] 泰罗, J., (钟以文译), 凝聚体炸药的爆轰, 国防工业出版社, (1959).
- [26] Fedoroff, B. T. et al., *Encyclopedia of Explosives and Related Items*, Vol. 1 .
- [27] Urbanski, T., *Chem. Techn. Expls.* 1-3 (1964-1967), Pergamon Press.
- [28] Johansson, C. H., Persson, P. A., *Detonics of High Expl.* (1970), "AP" .
- [29] Piskorz, M., Urbanski, T., *Biul. Wojskoowej Akad. Techn. im Jaroslawa Dabrowskiego* (Warsaw), 8 (84), (1959), 112 .
- [30] 彭忠吉, 万道正, 兵工学报, 3 (1980), 23.
- [31] 装药工作者原材料编辑小组, 装药工作者手册, 国防工业出版社, (1960).

NITROGEN EQUIVALENT (NE) AND MODIFIED NITROGEN EQUIVALENT (MNE) EQUATIONS FOR PREDICTING DETONATION PARAMETERS OF EXPLOSIVES— PREDICTION OF DETONATION VELOCITY OF EXPLOSIVES

Guo Yuxian Zhang Housheng

Abstract

In this article, the nitrogen equivalent (NE) and the modified nitrogen equivalent (MNE) equations for calculating detonation velocities of explosives are formulated as follows:

$$D = (690 + 1160 \rho_0) \sum N \qquad D = (690 + 1160 \rho_0) \sum N^*$$

$$\sum N = 100 (\sum X_i N_i) / m \qquad \sum N^* = 100 (\sum P_i N_{P_i} + \sum B_k N_{B_k} + \sum G_j N_{G_j}) / m$$

The calculating method is described and the illustration given. The relationship of the NE (MNE) of explosives with the heat of explosion and volume of detonation products is discussed. And the ways for raising detonation velocities of explosives are explored. Compared with the other methods, the NE equation is simpler and more convenient and has a wider range in application; besides, it does not require heat of formation in explosives and has fairly good accuracy. The MNE equation not only has the same advantages mentioned above, but also is one of the most accurate calculating methods.