

文章编号: 1006-9941(2001)02-0094-03

几种粉状铵梯油炸药配方的分析与评价

陆明, 吕春绪

(南京理工大学化工学院, 江苏南京 210094)

摘要: 给出了几种主要粉状铵梯油炸药的物化参数, 在不改变原材料成本情况下利用粉状铵梯油炸药配方设计的数学模型, 另行计算出几种粉状铵梯油炸药的理论配方。将理论计算配方与现有粉状铵梯油炸药配方进行了比较分析, 提出了改进配方的建议。

关键词: 粉状工业炸药; 硝酸铵(AN); 梯恩梯(TNT); 配方

中图分类号: TQ564.42

文献标识码: A

1 引言

工业炸药具有成本低、制造简单、应用方便可靠等特点, 已广泛应用于煤矿冶金、石油地质、交通水电、控制爆破等领域。目前, 我国工业炸药年消耗量为150万吨, 其主要品种有铵梯油炸药、乳化炸药(包括粉状乳化炸药)、铵油炸药(包括膨化硝酸铵炸药)、浆状炸药。在这些炸药中, 人们习惯使用的还是老产品粉状铵梯油炸药。为客观评价粉状铵梯油炸药, 本文利用粉状铵梯油炸药配方设计的数学模型, 在不改变原材料成本的情况下另行计算出几种理论配方, 并将理论配方与实际生产配方进行了比较分析。

2 粉状铵梯油炸药的基本参数

2.1 粉状铵梯油工业炸药的组分及物化参数

粉状铵梯油工业炸药的氧化剂为硝酸铵; 可燃剂除木粉外, 还有复合油相, 由液体燃料油和固体燃料组成, 且以柴油和石蜡为主; 敏化剂为梯恩梯。这些组分的分子式、摩尔分子质量、生成热、氧平衡和成本列于表1中^[1]。

2.2 现有粉状铵梯油炸药的基本参数

国内主要的粉状铵梯油炸药有: 2号岩石铵梯油炸药, 新2号岩石铵梯油炸药和4号岩石铵梯油炸药。其基本参数如表2^[2]所示。

表1 粉状铵梯油工业炸药原材料的物化参数

Table 1 Physical chemistry parameters of the raw materials of powdery AN-TNT-FO explosives

组分	分子式	摩尔分子质量	生成热 /kJ·mol ⁻¹	氧平衡 /%	成本 /元·kg ⁻¹
硝酸铵	NH ₄ NO ₃	80	353.46	+20	1.4
木粉	C ₁₅ H ₂₂ O ₁₀	362	1649.43	-137	0.4
柴油	C ₁₆ H ₃₂	224	660.44	-342	2.0
石蜡	C ₁₈ H ₃₈	254	558.03	-346	4.0
梯恩梯	C ₇ H ₅ O ₆ N ₃	227	41.93	-74	7.25

表2 国内粉状铵梯油炸药配方和有关参数

Table 2 Some parameters of powdery AN-TNT-FO explosives in China

炸药	配 方					爆热 /kJ·kg ⁻¹	氧平衡 /%	原材料成本 ²⁾ /元·t ⁻¹
	硝酸铵 /%	木粉 /%	柴油 /%	石蜡 /%	TNT /%			
2号岩石铵梯油炸药	85	4	0	0	11	3718.1	+3.38	2003.5
新2号岩石铵梯油炸药	87.5	4	1	0.5	7	3815.5	+1.68	1788.5
4号岩石铵梯油炸药	91.3	4	1.7	1+0.3 ¹⁾	2	3780.8	+0.96	1543.2

注: 1) 为外加添加剂, 且组成近似为以C, H为主;

2) 硝酸铵为1400元·t⁻¹, 木粉为400元·t⁻¹, 柴油为2000元·t⁻¹, 石蜡为4000元·t⁻¹, TNT为7250元·t⁻¹, 添加剂为10000元·t⁻¹。

收稿日期: 2000-11-13; 修回日期: 2001-02-26

作者简介: 陆明(1963-), 男, 副教授, 博士, 从事含能材料制造技术, 发表论文50多篇。

3 粉状铵梯油炸药配方设计的数学模型及计算结果

3.1 配方设计的数学模型

工业炸药配方设计主要考虑炸药性能和成本,而工业炸药的爆炸性能又与爆热成正比,因此选择爆热 Q_V 这一示性量作为数学模型的最优化目标,铵梯炸药的组成为C、H、O、N元素,由文献[3]可知,含C、H、O、N元素的工业炸药的数学模型为:

目标函数:

$$Q_V = \Delta H_{H_2O} \cdot g_1 + \Delta H_{N_2} \cdot g_2 + \Delta H_{CO_2} \cdot g_3 + \Delta H_{CO} \cdot g_4 - \sum 10x_i \Delta H_i / m_i \quad (1)$$

约束条件:

$$\sum \alpha_i x_i = 100\eta$$

$$\sum x_i = 100$$

$$\sum P_i x_i = P/10$$

$$s_i \leq x_i \leq t_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中: ΔH ,爆炸反应生成物和工业炸药组成物的生成焓, $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; g ,爆炸反应生成物的摩尔数; x_i ,粉状工业炸药 i 组分的百分含量; m_i , i 组分的分子量; α_i , i 组分的氧平衡,% ; η ,整体粉状工业炸药的氧平衡,% ; P_i , i 组分的原材料价格, $\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$; P ,整体粉状工业炸药的原材料价格, $\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$; s_i ,组分合理取值范围的下限,% ; t_i ,组分合理取值范围的上限,%。

设硝酸铵、木粉、柴油、石蜡和梯恩梯的百分含量分别为 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 和 x_5 ,则有:

$$g_1 = 0.250x_1 + 0.304x_2 + 0.714x_3 + 0.748x_4 + 0.110x_5$$

$$g_2 = 0.125x_1 + 0.066x_5$$

$$g_3 = 0.125x_1 - 0.442x_2 - 1.492x_3 - 1.457x_4 - 0.154x_5$$

$$g_4 = -0.125x_1 + 0.856x_2 + 2.143x_3 + 2.165x_4 + 0.436x_5$$

$$\sum 10x \Delta H_i / m_i = 44.183x_1 + 45.562x_2 + 29.486x_3 + 21.970x_4 + 1.848x_5$$

将上述组分的百分含量和爆炸生成物的生成热代入工业炸药配方设计的数学模型,可得目标函数具体表达式^[4]:

$$Q_V = 51.084x_1 - 50.653x_2 - 180.37x_3 - 173.169x_4 + 15.759x_5 \quad (2)$$

约束条件:

$$20x_1 - 137x_2 - 342x_3 - 346x_4 - 74x_5 = 100\eta$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 100$$

$$1.4x_1 + 0.4x_2 + 2.0x_3 + 4.0x_4 + 7.25x_5 \leq P/10$$

$$85.0 \leq x_1 \leq 90.0$$

$$2.0 \leq x_2 \leq 4.0$$

$$1.0 \leq x_3 \leq 2.0$$

$$0.5 \leq x_4 \leq 1.0$$

$$2.0 \leq x_5 \leq 11.0$$

上述数学模型中 $\eta \leq 0$, P 分别为2 003.5, 1 788.5, 1 543.2 $\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$ 。

3.2 几种粉状铵梯油炸药配方设计的理论计算结果

上述数学模型利用Excel进行规划求解,其结果列于表3中。

表3 几种粉状铵梯油炸药的理论配方

Table 3 Theoretic formulation of AN-TNT-FO explosives

配方编号	TNT /%	硝酸铵 /%	木粉+石蜡 /%	柴油+爆热 / $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	氧平衡 /%	原材料成本 / $\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$
1	10.5	85.0	4.5	4090.5	0	2003.5
2	6.8	87.2	6.0	4001.9	-5.68×10^{-11}	1788.5
3	3.0	90.0	7.0	3908.3	0	1543.2

4 粉状铵梯油炸药理论配方的分析与评价

4.1 爆热分析

表2与表3所列粉状铵梯油炸药的原材料成本相当,比较可知,表2中几种粉状铵梯油炸药的爆热普遍较小,与表3所列炸药的理论爆热有一定差异,如2号岩石铵梯炸药的理论爆热为3 718.1 $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,而表3中的配方1,其理论爆热达到4 090.5 $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;新2号岩石铵梯油炸药的理论爆热为3 815.5 $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,而表3中的配方2,其理论爆热可达4 001.9 $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;4号岩石铵梯油炸药的理论爆热为3 780.8 $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,而表3中的配方3,其理论爆热达到3 908.3 $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;分析其原因主要是配方氧平衡问题。从表2中炸药的氧平衡可知,国内目前生产的几种粉状铵梯油炸药均为正氧平衡;若炸药配方采用零氧平衡或正氧平衡值小一些,则能提高粉状铵梯油炸药的爆热^[5]。

另外,从爆炸安全性看,正氧平衡生成的氮氧化物能促使瓦斯与矿尘的燃烧和爆炸,因此粉状铵梯油炸药的配方最好设计为零氧平衡。当然有一些工业炸药需用纸管包装,部分纸管材料与炸药自身爆炸产物发生二次反应,对此在炸药配方的氧平衡设计时应加以考虑。

4.2 爆炸后有毒气体排放量的分析

为使炸药爆炸后生成的有毒气体量减少,通常将炸药配方考虑为零氧平衡,这时炸药的作功能力也大,在负氧平衡时,容易生成一氧化碳;正氧平衡时,生成

氮氧化物,且多余的氧量愈大,在高温条件下生成氮氧化物愈多。氮氧化物的毒性高于一氧化碳。在计算炸药爆炸后有毒气体排放量时,是按 1 L 氮氧化物相当于 6.5 L 一氧化碳来计算的。

4.3 梯恩梯的含量分析

由表 3 可知,随着梯恩梯含量的增加,粉状铵梯炸药的爆热增加,爆炸性能提高。其原因归结于梯恩梯生成热较小,以致(2)式中 x_5 之系数为正值。因此随着梯恩梯含量的增加,炸药的理論爆热增加。但必须指出这一结论只在一定范围之内成立,因为若 x_2 、 x_3 和 x_4 的变化不大,而 x_5 的值不断增加, x_1 的值将减小,最终导致 Q_v 下降。

当然,并不是无梯硝铵炸药其爆热就低,如无梯硝铵炸药,其爆热为:

$$Q_v = 51.084x_1 - 50.653x_2 - 180.317x_3 - 173.169x_4$$

由于式中的 x_1 值较大,则 Q_v 值亦较大。如岩石膨化硝铵炸药的理論爆热也可达 $3\ 845.6\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

粉状铵梯油炸药中,一定含量的梯恩梯存在,除了增加炸药的爆热外,还具有敏化剂作用,使硝铵炸药具有可靠的爆轰感度,保证炸药的完全爆轰和能量的完全释放,但梯恩梯是一种毒性物质,一方面,可通过呼吸道及皮肤沾染中毒,引起中毒性肝炎、再生障碍性贫血、白内障和影响生育;另一方面,生产过程中含梯恩

梯的废水,也对环境产生污染。因此应适当减少铵梯油炸药组分中梯恩梯的含量。

5 结 论

在不改变原材料成本的情况下利用粉状铵梯油炸药配方设计的数学模型,分别计算得出几种粉状铵梯油炸药的理論配方,将理論配方与国内几种现有粉状铵梯油炸药配方进行比较分析后认为,粉状铵梯油炸药的氧平衡偏正,可导致炸药的爆热偏低,就爆炸后有有毒气体排放量和使用安全性而言,配方设计宜为零氧平衡;另外,由于梯恩梯是毒性物质,因此应减少炸药中的梯恩梯含量。

参考文献:

- [1] 云主惠. 浆状炸药的热化学计算[J]. 爆破器材, 1980,9(2): 1-6.
- [2] 陆明,吕春绪. 几种粉状工业炸药的热化学计算与分析[J]. 爆破器材,1999,28(4): 1-5.
- [3] 陆明. 岩石膨化硝铵炸药配方设计的数学模型[J]. 爆破器材,1999,28(5): 4-8.
- [4] 陆明. 膨化硝铵炸药研究[D]. 南京理工大学,1999.
- [5] 吕春绪,刘祖亮,倪欧琪. 工业炸药[M]. 北京:兵器工业出版社,1994. 136.

Formulation Assessment of some Powdery AN-TNT-FO Explosives

LU Ming, Lü Chun-xu

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The physical chemistry parameters of some powdery AN-TNT-FO explosives were given in this paper. The mathematical model for formulation design of powdery AN-TNT-FO explosives was studied. The calculated formulation of the mathematical model for the formulation design of AN-TNT-FO explosives which has the same raw material cost as that of AN-TNT-FO explosives now available was reported. The theoretic formulations are compared with the formulations of powdery AN-TNT-FO explosives which are being made in our country and the suggestion of formulation improvement is made.

Key words: powdery industrial explosives; ammonium nitrate (AN); trinitrotoluene (TNT); formulation