

粉状エマルション爆薬の研究

倪 欧琪*, 森本慎一郎**, 彭 金華*

本報では新しいタイプの産業爆薬としての粉状エマルション爆薬の開発結果を報告する。この爆薬は形状が粉状で、微視構造はエマルションに似た構造を持ち優れた爆発性、耐水性及び安定性を有する。この爆薬は乳化工程と噴霧乾燥工程を経て製造される。

1. はじめに

エマルション爆薬は、乳化技術で製造した油中水滴(W/O)型の産業爆薬である。この微視構造に関しては、酸化剤の水相と可燃物の油相とが十分均一に混合され、酸化剤と可燃物とが化合火薬類における分子中の酸化性官能基と可燃性官能基との結合に近い状態になる¹⁾。そのため、エマルション爆薬の起爆、爆轟の伝播及び爆発性能が理想的な状態となる。一般的な機械混合技術で製造した粉状爆薬はこのような状態にするのが不可能である。例えば、エマルション爆薬の爆速は機械混合で製造した爆薬のそれよりかなり高い。

しかしながら、エマルション爆薬自身は熱力学的に不安定な系であり、分散相の酸化剤は液滴粒径が非常に小さく、比表面積が大きく、表面エネルギーが高いため、粒子が互いに凝集して大粒径になる傾向がある。従ってエマルション爆薬の貯蔵安定性は一つの重要な問題である。

一般にエマルション爆薬中の含水量は約10%である。系中に水が存在するため、爆薬が爆発する時に水が水蒸気になり、多くの熱が吸収され、そのためエマルション爆薬の爆力は弱くなる。一方、系中に気泡を生成させ、鋭感化させなければ、エマルション爆薬は雷管起爆性とならない。気泡による鋭感化はコストを増し、技術の複雑化につながる。

以上の観点から、本研究の目的はエマルション爆薬の利点を十分に発揮させ、その欠点を克服する新型産業爆薬として粉状エマルション爆薬を開発することで

ある。具体的な方法としては、乳化技術を採用し、酸化剤と可燃物とを十分に混合し、均一の乳化基質を生成し、そしてこの乳化基質を噴霧乾燥させ、粉状爆薬とする。

今まで、この技術は中国の特許を取って、7箇所の工場で採用されている。この内2つの工場は大量生産に入り、他の5つの工場は生産ラインを準備している。

2. 組成の選択

2.1 含水量

産業爆薬用の粉状硝安においては、水は製品の品質に大きい影響を与える重要な因子であり、含水量が多ければ多いほど爆轟性能が低下する。このため産業爆薬用の粉状硝安に対しては品質の保証期間内の含水量は0.5%以下でなければならないと要求されている。

一般にエマルション爆薬の含水量は10~15%である。粉状エマルション爆薬として、乳化基質を作る時の含水量はエマルション爆薬のそれと同じ程度である。噴霧乾燥後の製品は1~3%の含水量とする。この条件下で、乳化ゲルは分散し、固体粉末になり易くなる。製品は優れた爆轟性能及び貯蔵性能を有する。

2.2 油相組成物

油相材料は直接に乳化効果、オイルフィルムの強さ及び爆薬の最終状態に影響する。まず、最終状態の固体について考えると高融点のものを油相材料として選ぶべきである。本研究では、主な油相材料としてはワックスを用いた。

一般的に言えば、選ばれたワックスは結晶粒度が小さく、柔軟性が大きく、融点が高く、収縮率が低いことが望ましい。このようなワックスからできるオイルフィルムは高い強度を有し、結晶粒子被覆能力が良好で、爆薬の貯蔵安定性を高める。単一のワックスでは

1999年1月5日受理

*南京理工大学

中国南京孝陵衛200号

TEL +86-(0)25-4315897

FAX +86-(0)25-4431339

**法政大学工学部物質化学学科

〒184-0002 小金井市梶野町3-7-2

TEL 042-387-6132

FAX 042-387-6132

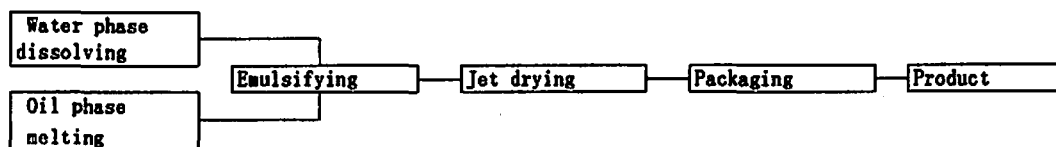


Fig. 1 Flow sheet of the powdered emulsion explosive manufacture

全ての要求を満足することができない。例えばパラフィンには収縮率が小さいという利点を持っているが、融点が低く、結晶粒度が大きい。オゾケライトは結晶粒度が小さく、融点が高いが収縮率がパラフィンのそれより大きい。少量のオゾケライトをパラフィンに加えると、パラフィンの結晶粒度を小さくさせ、融点を高め、柔軟性を強化し、耐酸化性を改善することができる。そのため、粉状エマルジョン爆薬に用いたワックスは混合物であり、それは酸化剤の水相と良いエマルジョンを形成し、製品粉体のオイルフィルム強度を高め、乳化基質は固体粉末になり易い。このように作った粉状エマルジョン爆薬は良好な耐水性及び貯蔵性を有する。油相材料の含量は3~6%とした。

2. 3 酸化剤

酸化剤の選択の尺度は安定供給できること、安価であること、使用が簡単であることなどである。多くの実験の結果、硝酸アンモニウム(以下、硝安)を主な酸化剤と定め、含量は89~93%とした。

2. 4 乳化剤

乳化剤は粉状エマルジョン爆薬の重要な成分であり、直接に乳化基質の品質、オイルフィルムの強さ及び製品の性能に影響する。

多くの実験の結果、一つの高分子乳化剤Aを用いることにした。大分子量の炭化水素鎖の疎水基が油相中に存在すると、オイルフィルムの強さをかなり高めることが出来る。実用試験の結果はこの乳化剤が本爆薬の水相と油相に対して良い乳化効果をもつことを示した。添加量は1.0~2.0%が適当である。

3. 製造技術

粉状エマルジョン爆薬の製造技術は大きく二つの部分に分けられる。製造工程はFig. 1のように示される。第一部分は乳化工程で、第二部分は乾燥造粒工程である。粉状エマルジョン爆薬製造における乳化技術は普通のエマルジョン爆薬の場合とほとんど同じで、工場の実際の条件により、バッチ式乳化技術も、連続式乳化技術も用いることが出来る。乾燥造粒の技術は爆薬工学で用いられている通常のものとは異なる。本技術では、より先進的な噴霧乾燥技術を改良し、爆薬

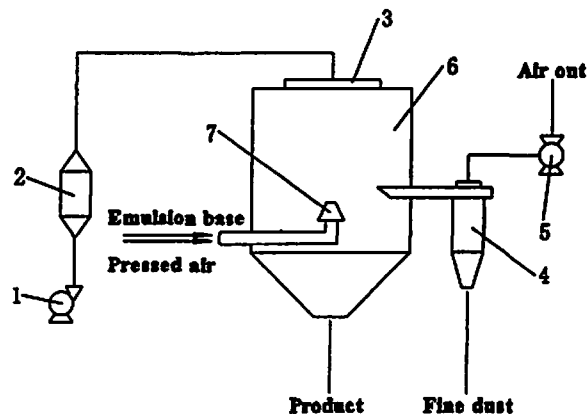


Fig. 2 Flow sheet of jet drying

1-blower, 2-air temperature controller, 3-air dispersal, 4-separator, 5-blower, 6-jet drying tower, 7-atomizer

の生産に適合させる。噴霧乾燥設計に当たって最も重要なことは噴霧器の選び方である。現在採用されている噴霧器には主に遠心式、圧力式及び気流式などがある²⁾。本研究では多くの実験研究を経て、高粘性のものに適合し、安全で維持の簡単な気流式の噴霧器を採用することが決まった。乳化基質が気流式噴霧器を経て、噴霧され、生成した液滴が熱気流中で乾燥され、最後に固体の粉末製品になる。粉末の粒径範囲は50~100 μm である。技術パラメータを調節すると、均一な粒径分布の製品が得られる。

全プロセス中で製粉技術が最も重要である。これをFig. 2に示す。この技術の鍵は2つある。その1つは高粘性の物質を微粉碎し、乾燥することである。ここでは、ノズルの設計、気/液比の選択、液体物質の輸送、風量及び風温、タワー内の熱風の分布などが重要である。もう1つは噴霧乾燥の安全性で、即ち、粉塵爆発の危険性である。李建軍他の粉塵最小発火エネルギー及び爆発下限濃度の試験結果³⁾をTable 1とTable 2に示す。

Table 1により、粉状エマルジョン爆薬の最低点火エネルギーはPETN以外の爆薬のものより高い。更にTable 1に示した結果の実験条件は、粉状エマルジョン爆薬の濃度は $7.5\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ で、他の粉塵濃度は $1.25\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。これも粉状エマルジョン爆薬の必要な最低点火エネルギーが高く、点火可能性がより小さいことを示している。Table 2により、粉状エマ

Table 1 Minimum ignition energy (MIE) of some dust clouds

Dust	PETN	Powdered emulsion	Black powder	RDX	TNT
MIE (J)	0.83	0.68	0.40	0.33	0.07

Table 2 Lower explosion concentration (LEC) of some dust clouds

Dust	Powdered emulsion	PETN	TNT	Corn
LEC (g/l)	1.33 ±0.08	0.112 ±0.005	0.077 ±0.005	0.184 ±0.005

ルシオン爆薬の爆発下限濃度は他の粉塵より高い。以上の結果を見ると粉状エマルシオン爆薬の粉塵爆発危険は他の爆薬より低いことが分かる。更に、噴霧タワーにいい接地の対策を採用して、生産の安全性を確保している。6年間の安全生産の経験は本プロセスの安全性を実証している。

4. 性能

粉状エマルシオン爆薬の爆発性能、貯蔵性能、耐水性及び安全性などの試験を行った。

4.1 爆発性能

粉体エマルシオン爆薬の爆発性能をTable 3に示す。Table 3より本開発の粉状エマルシオン爆薬は岩石二級エマルシオン爆薬の性能に近くあるいはそれを越え、二号岩石粉状AN-TNT爆薬よりかなり優れていることが分かる。

4.1.1 殉爆距離の測定

薬包と同じ直径の丸棒を用い、砂の表面に半円溝を作り、被測定爆薬の励爆及び受爆薬包をある間隔をおいて半円溝におく。励爆薬を起爆した時に、受爆薬が

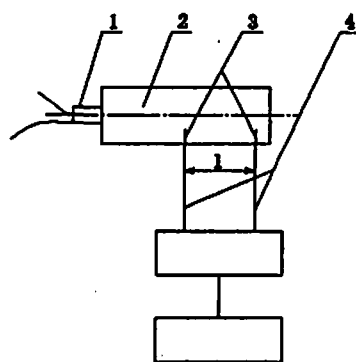


Fig. 3 Set-up of measuring detonation velocity
1-detonator, 2-sample, 3-sensor, 4-signal wires

完全に爆轟すると、殉爆と判定する。三回の試験を行い、全部が殉爆した時の最大距離を殉爆距離とする。粉状エマルシオン爆薬はより高い殉爆感度を有する。この殉爆距離は10~15cmに達する。これは通常の粉状産業爆薬よりかなり大きい。

4.1.2 爆速の測定

イオンギャップ法により爆速の測定を行った。試験装置をFig. 3に示す。薬包の直径は32mmで、包装材料は紙である。粉状エマルシオン爆薬の中の酸化剤と還元剤との混合は非常に均一性が高く、爆轟性能が優れている。測定結果は全て $4000\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ を越え最高 $4800\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ に達した。

4.1.3 猛度の測定

装置をFig. 4に示す。爆薬爆発前後の鉛柱の高さの差を猛度とする。粉状エマルシオン爆薬の爆速は高いので、その猛度も大きく、17~19mmである。

4.1.4 仕事効果の測定

試験装置をFig. 5に示す。爆薬爆発前後の鉛鑄孔の容積の差を爆薬の仕事効果とする。粉状エマルシオン爆薬の仕事効果は340~360mlで、普通のエマルシオン爆薬のそれよりかなり高い。これは粉状エマルシ

Table 3 Explosion performances of the powdered emulsion explosive and other commonal explosives

Performance Explosive	Max gap cm	Det velocity m/s	Brisance mm	Lead block test ml	Critical diameter mm
Powdered emulsion	10~15	4300~4800	17~19	340~360	8
1st class emulsion for rock blasting	≒4	≒4500	≒16	≒320	—
No.2 AN-TNT for rock blasting	≒3	≒3200	≒12	≒320	—

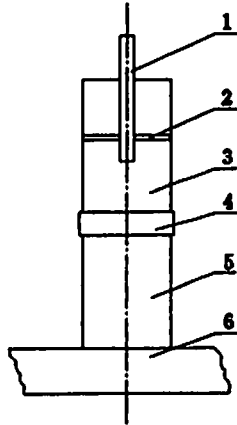


Fig. 4 Set-up of determining brisance
1-detonator, 2-paper disc, 3-tested explosive,
4-steel plate, 5-lead cylinder, 6-steel base

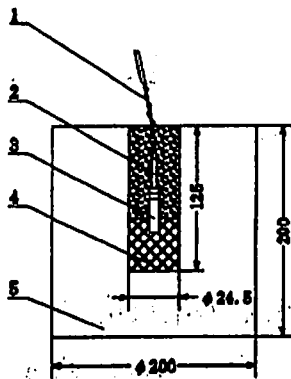


Fig. 5 Set-up of determining work done
1-leg wires, 2-quartz sand, 3-electric detonator,
4-explosive, 5-lead cylinder

ン爆薬の含水量が一般のゲル状エマルジョン爆薬のそれより低いからである。

4. 1. 5 限界薬径

紙筒に粉状エマルジョン爆薬を充填し、種々の薬径の薬包を作成する。雷管で起爆し、完爆するかどうかを観察する。完爆する最小直径を爆薬の限界薬径とする。その結果、粉状エマルジョン爆薬の限界薬径は8 mmであった。

4. 2 貯蔵性能

Table 4に、最高12ヶ月まで一定期間貯蔵した粉状エマルジョン爆薬の爆速と殉爆距離を示す。表から分かるようにその貯蔵性能は良好である。

4. 3 耐水性能

薬包(紙包装製品)を1mの深さの水中に浸し、一定の時間後にその爆発性能を測定した。Table 5に示し

Table 4 Storage period of the powdered emulsion explosive

Storage period (month)	2	4	6	12
Det. velocity ($m \cdot s^{-1}$)	4430	4500	4480	4450
Max. gap (cm)	10	10	10	10

Table 5 Water resistance of the powdered emulsion explosive

Dip time (h)	6	10	14	24
Det. velocity ($m \cdot s^{-1}$)	4500	4532	4480	4520
Max. gap (cm)	10	10	10	10
Appearance	Good	Good	Good	Good

た本粉状エマルジョン爆薬は良好な耐水性能を有することが分かる。

4. 4 安全性能¹⁾

4. 4. 1 打撃感度

落槌試験で、粉状エマルジョン爆薬の打撃感度を測定する。落槌の重さは10kgで、落高は250mm、薬量は50mgである。計50回の試験を行った。爆発は一回もおこらなかった。

4. 4. 2 摩擦感度

振り子式摩擦感度試験器を用い粉状エマルジョン爆薬の摩擦感度を測定する。条件は振り角 96° 、負荷圧力4.9MPa、薬量30mgである。計50回の試験を行った。爆発は一回も起こらなかった。

4. 4. 3 銃撃感度

口径7.6mmのライフル銃を用い銃撃感度を測定する。銃弾の初速は $710 \sim 725 m \cdot s^{-1}$ で、サンプルと銃口との距離は25mである。命中した6薬包の中、燃焼または爆発の薬包数を爆薬の銃撃感度の尺度とする。試験結果から、この条件下での粉状エマルジョン爆薬の銃撃感度は0/6であった。

4. 4. 4 熱感度

1gのサンプルを秤量し、4等分し、別々の鉄板の4個の穴の中に入れる。鉄板を $200^\circ C$ に加熱し、時間を記録する。20分以内にサンプルが燃焼或いは爆発するかどうかを観察する。但し3回の試験で燃焼も爆発もしなければ、合格と判定する。この試験では粉状エマルジョン爆薬は燃焼も爆発もしないことが分

かった。

4. 4. 5 静電気感度

試験条件は電気容量10000±500pF, ギャップ0.12 mm, 直列抵抗0 kΩ, 充電電圧20kV, サンプル量30mgである。この条件下で放電エネルギーは2Jとなり, 粉状エマルジョン爆薬は燃焼または爆発の現象を示さなかった。

5. 結 論

上述した結果を総合すると, 本開発の粉状エマルジョン爆薬はエマルジョンの均一性を持ち, 優れた爆轟性能を有する。製品は粉末のため, 結晶粒子間のオイルフィルム強度が増大し, 系の微視的物理構造の安定性がかなり増加し, 爆薬の貯蔵安定性はよくなる。乾燥後の系の含水量は減少するため, 爆薬の爆力がかかなり大きくなる。製品は粉状のため, 気泡鋭感化の必要がなく, そのままで雷管起爆出来る。微視的物理構

造は油中水或いは油中結晶体のタイプのため, よりよい耐水性を有する。

組成物の中に有毒物質を含まず, 環境を汚染することがなく, 製造技術が簡単である。同じ生産ラインで粉状エマルジョン爆薬も, 一般のエマルジョン爆薬もいずれも製造することが可能である。

文 献

- 1) 汪旭光, 「乳化爆薬」, 冶金工業出版社, 北京, 1986
- 2) 郭宜, 王喜忠, 「噴霧乾燥」, 化学工業出版社, 北京, 1983
- 3) 李建軍, 汪旭光, 欧育湘他, 「粉状エマルジョン爆薬の最低点火エネルギー及び粉塵爆発濃度の下限についての研究」, 民用爆破器材新進展(4), 兵器工業出版社, 北京, 1995, pp. 314-318
- 4) 倪 欧琪, 「粉状エマルジョン爆薬の安全性能の研究」, 爆破器材, 26(6), pp. 16-18(1997)

Study of powdered emulsion explosive

Ougi NI*, Shin-ichirou MORIMOTO** and Jinhua PENG*

In this paper, the development of a new type of the powdered emulsion explosive as a new type of commercial explosive is reported. This explosive is powder in shape, emulsion-like conformation in microstructure, and has excellent explosion performances, water-resistance and stabilities. This explosive is manufactured through the processes of emulsifying and spray drying.

(*School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology Nanjing, CHINA, 210094

** School of Engineering, Hosei University, 3-7-2 Koganei-shi, Kajino-cho, Tokyo 184-0002, JAPAN)