

MIL-N-494A 硝基胍規格用於 M30 發射藥之潛義

趙雪兒¹ 趙嘉琦²

¹清華大學教育心理與諮商學系

²陸軍軍官學校機械系

摘要

近日有關火工研討每個會議，似乎都為硝基胍問題瘋狂。然硝基胍已經使用很長一段時間，常見有 α -型與 β -型。 α -型在水中結晶時呈長針狀，略有撓姓； β -型則呈長薄片。製造 M30 三基發射藥為硝基胍最常見之用途之一，當作 M456 高爆戰防彈發射裝藥，並因裝藥困難而享有惡名。不難想像，使用球型最能解決問題。然每種晶型都有其製備方法、工業技術的意義。直接獲得球型硝基胍遭遇極大之挑戰，退而求其次，將 α -型研磨成類球狀，做為解問題之方法。經過不斷調整得出令人滿意之類球型晶形，依其結果，MIL-N494A 訂定規格，詳其由來，隱含為 M30 發射藥挑選類球型硝基胍之潛義。

關鍵詞：硝基胍，M30發射藥，體密度

一、前言

國造 M30 發射藥之產製具有光榮之歷史，創始為 M41 式戰車先後配賦 M36 與 M41 式 90mm 加砲作為主武器，射擊 M332A1 高速破甲曳光彈(HVAP-T)、M431 高爆戰防彈(HEAT)，渠等發射裝藥從獲悉美軍 M17 配方提升至 M30 配方後，即逆向著手開發研究。

後除作為戰車加砲彈發射藥外，亦曾以多用途方式，裝填 M1 與 M2 式 90mm 高射砲射擊之多型彈藥。以此累積之豐厚經驗，後更於勇虎案中為 CM11(M48H)式戰車裝 M68 式 105mm 加砲射擊之 M456A1 式 HEAT 彈提供發射裝藥。多年來 M30 發射藥配方均處於微調狀態，惟藥型設計隨口徑彈種而變化模具。

國造 105 公厘 M30 發射藥技術成就，無不為集體智慧、血汗之結晶，其所以屢能推陳出新，青勝於藍者，實以經驗累積、

文獻傳承為其主要憑藉，其源出雙基而發皇叁基。嘆近日湊巧參加某些火工研討聚會，驚覺對此技術，非但至今仍難以超越三基 105 藥之研發，甚至退步至 90 藥之狀態。或受風氣所囿限，未能重視經驗紀錄之建言，造成技術斷層，深堪扼腕，乃將當年參與三基 105M30 藥之記憶，重新為文。

二、問題描述

盛情難卻，近日參加某火工討論，正式議程中有關硝基胍者有二，問與答(外籍顧問書面回覆)略以，問：「依據 MIL Spec，有兩種硝基胍的規格，一個較大，另一個較小。請問何種規格適合三基推進劑（例如 M30 推進劑）的生產？原因為何？」，答：「硝基胍的晶體大小以及其他特性，應一併作為生產三基推進劑之考量，請參考下列敘述。將 NQ 晶體以適當的方式融入

NC/NG/丙酮漿料，是製造 M30 推進劑的一個關鍵步驟。為了避免因大量固體顆粒(47.7% NQ)的存在而導致在發射時，槍(砲)管中推進料的機械性能不佳，必須將微粉化的固體顆粒有效且緊密地融入到漿料中。M30 和其他多基配方的脆度風險，在低溫下會更加顯著，這可能導致壓力波進入燃燒室。為了使推進劑成品具備良好的機械性能，必須擁有一台強大的揉合機，以及對混合過程的細緻調控。』，問：「如何提高 M30 推進劑的體密度？體密度是什麼意思？體密度和裝填密度有什麼區別？」，答：『體密度，或稱重力密度，是指佔據底層單位體積的固體質量，包括所有顆粒間空隙的體積。

體密度=推進劑的質量/單位體積。

裝載密度=推進劑的質量/藥桶的單位體積。

體密度 $\approx$ 裝載密度。

可藉由以下方式增加推進劑的體密度：

- a) M-30 推進劑的最大比重=每立方公分 1.66 公克
- b) 藉由改進製程工藝，以達成最大比重(顆粒最終含水量應 $<0.5\%$ 、合適的醚/醇比例、適當的溶劑/乾燥硝化纖維素比例、配料的混合時間和添加順序、乾燥工藝等)。
- c) 拋光顆粒並且以石墨作為塗層。
- d) 若適合，請從彈道學角度酌以調整，降低推進劑料的長/徑比。』。

進一步追問，國造 M30 發射藥近年來體密度(Bulk density)已不符 MIL-P-46458F 規格之要求[1]，因此衍生出裝藥困難問題，除此外，彈道性能亦不穩定，時有不合格。

三、問題分析

硝基胍發射藥的歷史是以解決藥粒機

械性能為主的歷史。以美國為例，美軍於 40 年代末 50 年代初研製成了第一代 M 系列(美陸軍代號)硝基胍(叁基)發射藥(M15、M17)裝備在 76、90、120、155mm 的加農砲和榴彈砲上，部分地取代單基發射藥。M15 能量較低，和單基藥相當，但對砲管之燒蝕較輕，並且砲口焰、砲尾焰較少。M17 係高能叁基發射藥，由於採用高氮量混合硝化棉和長針狀硝基胍，低溫機械性能較差。因此 50 年代美軍大力發展第二代 M 系叁基發射藥，用塑化性能較佳的皮羅棉取代混合硝化棉，用粉末狀硝基胍取代流散性差的長針狀硝基胍，並調整配方，這就是目前廣泛裝備於火砲的第二代制式叁基發射藥 M30。

以史為鑑，吾人判定，國造 105 公厘 M30 發射藥又發生體密度(Bulk density)不合格之老問題。解決之道，除使用流散性較佳之硝基胍，尚須溶解度及藥型設計等密切配合，此處溶解度係指丙酮/硝甘加入後拌藥，使青藥(green gain)7 孔與藥壁(web)獲得設計之收縮率。相關作法，完整說明如后。

四、硝基胍晶型粒徑

硝基胍(Nitroguanidine, NGU or NQ)，分子式為 $\text{CH}_4\text{N}_4\text{O}$ ，係一種白色多晶物質，一般為低密度無光澤結構。硝基胍常見存在兩種晶型，即 α -NQ 和 β -NQ。 α -NQ 是硫酸作用於硝酸胍，然後用水中沉澱製得。從水中得到的 α -NQ 是具有良好的彈性的長針狀結晶。發射藥最早使用的硝基胍就是這種工業上未經精製的 α -NQ。另有製法，硝化硫酸胍與硫酸銨的混合物，經硫酸作用於雙氰胺可製得單一的 β -NQ，或者含有一定量 α -NQ 的 β -NQ，從水中結晶的 β -NQ 是細長的平板狀結晶[2-4]，但工業上較少採用。

NQ 的結晶密度為 1.715gm/cc，但因其有韌性及柔性，故在 3000psi 壓力下測得結晶密度僅為 0.95gm/cc。NQ 在有機溶劑中的溶解度是很有限的，其在丙酮中的溶解度也是很小的。因此國造 M30 發射藥使用丙酮溶劑法時，須以機械壓力方法配合其自身條件作最有利之定型。從理論上推導，因使用粒徑較小的球狀 NQ 最為合適。前揭會議之書面答覆(問題描述記載)似有誤解，叁基藥甚少合適使用醚/醇溶劑，一般單基藥方合適使用醇/醚溶劑，或為誤解問題，抑或翻譯有誤。

α -NQ 屬正交晶系，其晶胞參數為 $a=17.58\text{\AA}$ ， $b=24.84\text{\AA}$ ， $c=3.58\text{\AA}$ ，所以結晶形狀趨向於長針狀方向發展，這對硝基胍發射藥裝填性能是相當不利的。然 α -NQ 製法比較穩定成熟，工業上大多採用其經濟量產。事實上，國內外用於發射藥生產者皆 α -NQ，但切忌採用長針型 α -NQ，因其本身類似一條裂縫，其兩相晶界亦然，而且堆積鬆散，假密度小，流散性差，加工性能不好，在發射藥中容易堆積在一起，形成空氣泡似的結構集中物。反觀，短而細的類球狀 α -NQ，堆積密度大，流散性好便於在發射藥中分散。

五、硝基胍晶型粒徑加工

採用短而小的粉狀類球型 NQ 是增加體密度之基礎措施。 α -NQ 雖為針、棒結晶，但可以製得很細很短的結晶，達到類似球狀之效果。然而可以使 α -NQ 細一點短一點，比較有效的辦法，先將粗製針狀 NQ 重新結晶製成假比重(0.7~0.9 以上)大的粒狀 NQ，然後粉碎而成，其多屬機械粉碎法如氣流粉碎、膠體磨粉碎等法。研磨後 NQ 比表面 $15000\text{cm}^2/\text{cm}^3$ 增加為 $20000\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ，計算方法如下節詳述。

六、硝基胍晶型粒徑規格對比

國造發射藥針對 NQ 之暫編自用規格要求，累積實務經驗後總結討論，早已納入正式技術書刊[5]，轉錄全文如下：

「軍用硝基胍之規格只有一種等級，視其晶粒大小再分為兩級，其要求規定如下：

顏色:白色

形狀:結晶粉末

純度:最低 99.5%

灰份:最多 0.30%

全揮發份:最多 0.25%

不溶水之雜質:最多 0.20%

可溶水之雜質:最多 1.00%

酸度:按硫酸計最多 0.06%

氯化物:按氯化鈉計最多 0.02%

硫酸鹽:按硫酸鈉計最多 0.20%

水抽物之 PH 值:最少 4.5，最多 7.0

表面比:

A 級:最少每立方公分 12000 平方公分

最多每立方公分 18000 平方公分

B 級:最少每立方公分 18001 平方公分

由於硝基胍不能溶解，故用以製造發射藥時，需先研為微粒再滲入其他成分中才能混合均勻。故其表面比(粒度)必須能符合要求。其他各項條件之要求，係為控制雜質之含量。此類雜質為製造氰胺化鈣(Calcium cyanamide)，氰基胺，二氰基胺，或胍等可能滲入者。」

上揭重點，國造發射藥使用之 NQ，純度最低為 99.5%，以表面比檢驗替代粒度檢驗，並分為 A、B 兩級，在依其補充說明，B 級應屬研磨後之微粒，故為正選。

倘依問題描述內容，現 NQ 改採美軍規格作業，遂查 MIL-N-494A 規格[6]，其要項與原國軍規格大致相仿，判斷是美軍由原生產 M15、17 發射藥之 JAN-N-494 規格擴充所得，除保留供 M15、17 生產所

需之 NQ 規格外，並增加 M30 所需之 NQ 規格。其不同處：

依純度分為二型：

Type I – 最低 98%

Type II – 最低 99%

依平均粒徑分為二級：

Class 1 – 4.3~6 μ

Class 2 – 小於 3.3 μ

兩相比較，國造 105 公厘 M30 發射藥改採 MIL 之 NQ 規格，純度部份，即使指定 Type II，仍屬寬放。粒徑部份，即比表面積者，後者常見定義為單位重量之表面積，單位為 cm^2/g ；然而發射藥研究時，另採定義為單位體積之表面積，單位為 cm^2/cm^3 ，其作法源自內彈道學中藥型函數(Form function)之燃面控制參數項之一，初始燃燒面對初始體積之比(S_0/V_0) [7-9]。依據文獻[2]之 Table 7 資料，粗製 NQ 平均晶粒 55 μ ，範圍 3-155 μ ，長寬比約 30。，假設某粗製 NQ 為圓柱體如圖 1(a)，晶粒直徑 10 μ 。長 150 μ ，則計算得：

$$S_0 = 2\pi R^2 + 2\pi Rh \quad (1)$$

$$V_0 = \pi R^2 h \quad (2)$$

$$\frac{S_0}{V_0} = 4133 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} \right) \quad (3)$$

精製後 NQ，亦為圓柱體如圖 1(b)，晶粒直徑 4 μ 。長 6 μ ，則計算得：

$$\frac{S_0}{V_0} = 13000 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} \right) \quad (4)$$

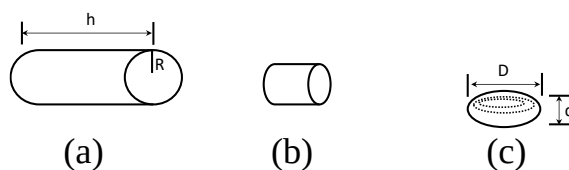
對照屬原規格之 A 級，MIL 規格 Class 1。

加工研磨後 NQ，類似碾球型體如圖 1(c)，長軸 3.2 μ ，短軸 3 μ ，依計算公式[10]：

$$\frac{S_0}{V_0} = \frac{D^2 - (2-2\pi)Dd + (1-2\pi+4\pi^2)d^2}{D^2d + (\frac{\pi}{2}-2)Dd^2 + (1-\frac{\pi}{2}+\frac{2}{3}\pi^2)d^3} = 19885 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} \right) \quad (5)$$

對照屬原規格之 B 級，MIL 規格 Class 2。

由例證知，原規格之 B 級約等同 MIL 規格之 Class 2，故生產 M30 發射藥，NQ 改採 MIL-N-494A 作業時，應指定 Class 2。



圖一：NQ 加工構型圖

七、M30 發射藥裝藥設計

發射藥裝藥設計是內彈道設計的延伸，是武器彈藥設計的重要組成部分。一般而言，裝藥設計的主要任務和最終目的就是確定發射藥的性能，以使武器達到戰術與技術所要求的射程、初速和其它指標。因此，裝藥設計和內彈道設計是密切相關的，內彈道性能設計參數最終由裝藥條件參數來保證。藥與彈兩次系統間為明確分工，一般都有系統規格，即訂立發射藥的密度要求[11-12]：

1. 真密度:指藥粒本身的密度，也就是單位體積發射藥之質量。發射藥的真密度對燃燒的規律性影響很大。真密度愈大，燃燒時愈有規律。發射藥在膛內燃燒時，希望有較好的規律性，以得到合乎要求的彈道性質(膛壓及初速)。因此，要求發射藥具有一定的密度。
2. 假密度:指將發射藥自由裝入容器後，以發射藥所佔容積計算，單位容積中所含發射藥的質量。發射藥的假密度決定於發射藥的真密度、尺寸、形狀及表面狀況。發射藥的真密度愈大、藥粒愈小、藥粒的孔愈少及孔徑愈小，則假

密度愈大。藥粒表面用石墨加光後，假密度可增大。對管狀藥及帶狀藥不測定假密度，而測定其在藥室中的極限容量。即將發射藥不用力的裝滿藥筒時的最大重量。發射藥的假密度愈大，發射藥所佔的體積就愈小，在藥室容積一定的條件下，藥室的裝藥量就愈多，這樣裝藥的能量也愈大，射擊時，彈頭的初速及射程就可增大。

3. 裝填密度:指單位藥室容積中的裝藥量。在一定裝填條件下，增大發射藥之假密度，即可增大發射藥量，裝填密度就能增大，火砲射程即可增大。

針對 M30 發射藥，除滿足一般裝藥的要求，同時由於其在性能與生產工藝方面的特點，必然對裝藥設計提出新的要求，瞭解這些要求對於完成裝藥設計任務是十分重要的。該主要要求即適當調高裝填密度，俾高初速的戰車砲彈，選用 M30 發射藥能更好地滿足彈道指標要求。因為 M30 發射藥的真密度較高約 1.67g/cm^3 ，大於其它單雙基發射藥。另 M30 發射藥於低溫、低壓的點火性能較差，因此匹配 M83 電底火，具有較大的傳火管，容納班乃特傳火藥，以提高點火能量。同時為製造安全，須於裝藥後再旋入電底火，皆使裝藥設計困難度提高。裝填 M456A1 彈種時其裝藥量，經系統工程折衷，最佳為 5.205kg，提昇至 M456A2 時，增為 5.642kg。由於不易自由裝入，常規的假密度測試法並不適用，另假密度裝填方式與實際裝彈作業方式顯然不同，MIL-P-46458F 另設計體密度測試作法，具有藥室極限容量的意義，也是一種變通簡易的裝填密度作法，都是要保證裝藥順利進行。

在內彈道設計的基礎上選定合理的方案，同時確定 M30 發射藥的藥粒形狀和尺寸，為裝藥設計所需之基礎設定條件。M30 發射藥裝藥的彈道設計，關鍵問題是固定裝藥量和藥粒藥壁厚度(Web thickness)，須

注意者，NQ 能量高、火藥力強，所占百分比又較多，配方製成藥粒後，其燃速變化是否服從指數燃速定律與藥型函數為設計調整要項，藉著藥粒孔間距離、孔徑調整假密度及裝填密度，以保證訂出合適之裝藥量[13-14]。

八、討論

國造 105 公厘 M30 發射藥裝藥設計之關鍵在於藥壁厚度與裝藥量之最佳設計，其為以 NQ 為最多成分之叁基發射藥，NQ 品質之良窳，諸如顆粒形狀與尺寸大小，當然重要且必須首先面對。但是如何將其均質緊緻地與其他成份融合為一體，巧妙地做成一合乎燃速要求與合格裝藥量的藥粒，更不可忽視，且更為重要!相關問題，不亞於 NQ 規格，略舉如次:

1. M30 發射藥是在雙基藥的基體中加入填料 NQ 製成的，硝化棉的含氮量與溶塑性能有密切關聯，且為基底。國造 M30 發射藥慣使用強棉與弱棉混合之混合棉，含氮量為平均值，不易察覺有異，但高氮之強棉不利於溶塑，反之氮量稍低之皮羅棉有甚佳之溶塑性，更能發揮三基藥骨架和黏結劑之功能，在藥型設計與模具製作時，影響重大，也是 NQ 是否黏結良好的主因，卻常被忽略。
2. 生產過程中，各原料含水量要嚴格控制，尤其是硝化棉與硝化甘油為安全計，往往加入過多水份，將降低溶劑(丙酮)對藥料的溶塑性能，使國造 M30 發射藥鬆質，三種密度均降低，裝藥量自然不合格。
3. 硝化棉和硝甘丙酮混液在預拌道次中通過溶劑對硝化棉的膨潤、溶解與攪拌、捏合，使藥料成為均勻地可塑藥團，塑化操作是國造 M30 藥製程中關鍵的環節，續經過拌藥道次，各成分均勻混合，硝化棉塑化更聚合化，填料 NQ 在黏合劑基體中充分散，容易提高密度。

4. 壓塊，把塑化原料壓成密實的塊狀，除去空氣泡。壓條使藥粒孔徑成型，更為緊緻，均有助於增加藥粒密度。
5. 製程中，載道品控要以藥型尺寸為重點，藥壁厚度藥時時監測。
6. 配方驗證、製造數據下達、小批量試造皆要加入體密度測試及評估，合格方能量產，即便量產，也須定時抽查。

九、結論

本文從運用美軍 MIL 規格選擇 NQ 型式、等級為引，試圖解決 M456 彈藥裝藥問題出發，介紹了 NQ 晶粒相關知識，詳細說明 MIL-N-494A 規格發展歷程與源流，並與原國造 NQ 暫編規格相互對比，舉例計算說明，將 MIL 規格隱含之潛義指明。該例足以證明生產 M30 發射藥時，如採 MIL 規格作業，應指定 Class 2 之 NQ。對於徹底解決體密度不合格所引發的裝藥問題，藉回顧技術困難與實際解決經驗，也做了討論與展望，成功紀錄在茲，說明原委，足堪採信。

參考文獻：

- [1] MIL-P-46458F (AR), Amendment 1, Propellant M30 for use in cartridge, 105mm HEAT-T M456A1 HEAT-T-MP M456A1E2 and TP-T M940, US Army Research Development & Engineering Command @ Armament Research Development & Engineering Center, 1982.
- [2] Urbanski, T., Chemistry and Technology of Explosives, Pergamon Press, Vol. III, pp. 22-33, 1967.
- [3] AMCP 706-177, AMC Pamphlet, Engineering Design Handbook, Explosives Series, Properties of Explosives of Military Interest, Headquarters, U. S. Army Materiel Command, pp. 239-242, 1967.
- [4] 陳俊瑜、夏炎生，火炸藥學，兵器系統叢書 21，中正理工學院，第四章，pp. 187-193, 1991.
- [5] 阮望聖、林國雄、楊祖印、張光中、陳澍聖、賈文豪、張繼國、陳嘉孟、羅惠生、陳益明、楊清龍、曾卓凡、黃俊浩，炸藥理論與應用，聯勤第二〇三廠，第四篇，第二章，pp. 490-491, 1986.
- [6] MIL-N-494A, Military Specification, Nitroguanidine (Picrite), Department of Defense, 1968.
- [7] AMCP 706-247, AMC Pamphlet, Engineering Design Handbook, Ammunition Series, Section 4, Design for Projection, Headquarters, U. S. Army Materiel Command, pp. 4-8, 4-27~4-28, 1964.
- [8] Krier, H., and Summerfield M., Interior Ballistics of Guns, Volume 66 Progress in Astronautics and Aeronautics, American Institute of Astronautics and Aeronautics, Part I, pp. 23-25, 1979.
- [9] 曾卓凡、潘庭平、卓平生、張春山、陳宏權、章啟明、程俊中、章陽明、鄭毓珊、郭冠雲、歐仕榮(Ostrom, T. R.)，內彈道學，聯勤兵工生產署彈道中心，第五章，第 109-123 頁，1987.
- [10] 趙嘉琦、夏永寧、王橋譚、蘇一中、許世輝、胡寧康、陳玉山、萬軍，“國造球藥碾藥操作之研究”，火藥技術，第二十八卷，第一期，pp.15-32, 2012.
- [11] 楊清龍，發射藥理論特性及應用簡介，203-RD-TM-0001，聯勤第二〇三廠，pp.23-25, 1983.
- [12] 阮望聖、靳貴根、羅惠生、胡德成、楊清龍、曾卓凡、羅柏林，發射藥理論與應用，聯勤第二〇三廠，第一篇，第四章，pp.19-20, 1987.
- [13] 洪兆宇、方淳民、趙嘉琦，“國造 105 公厘 HEAT 發射藥之模具設計”，陸軍軍官學校建校 99 週年校慶學術研討會論文集，高雄鳳山，pp. ME-51~60, 2023.
- [14] 洪兆宇、趙嘉琦、陳治安、林世明、鄧永昇，“國造 105 公厘 M30 發射藥之模具設計”，黃埔學報，第八十五期，pp.39-50, 2023.

The Silent Code Characterizing Nitroguanidine with MIL-N-494A at M30 Propellant Production

Hsueh-Er Chao¹, Chia-Chi Chao²

¹ Department of Educational Psychology and Counseling, National Tsing Hua University

² Department of Mechanical Engineering, ROC Military Academy

Abstract

These days, it seems nitroguanidine problem is everywhere on the fireworks conference. Stories range from sample color to panic-inducing study that makes employee fear for their safety. Nitroguanidine have been around a long time, but have recently surged in popularity. There two common varieties of nitroguanidine: the α -form nitroguanidine and the β -form nitroguanidine. The α -form nitroguanidine crystallizes from water in long, fairly flexible needles. The β -form nitroguanidine crystallizes from water in thin, elongated plates. One of the most popular uses of nitroguanidine is to manufacture triple base propellant, M30 powder, which can be loaded into M456 high explosive anti-tank cartridge. M30 propellant is also famed for its status as a loading difficulty with M456 round. It is easy to understand why the performance of nitroguanidine depends on ball particle shape. Behind every particle shape is a preparing method, or industrial process, hard at work. A ball shape as a nitroguanidine grain can be rather challenging to achieve. In fact, there are extremely few of them currently synthesis ball shape nitroguanidine directly. Much of a pseudo-ball shape nitroguanidine relies on mill operation: they need to adjust and readjust a particle size from α -form nitroguanidine grinding until they find the perfect shape to evoke the desired emotion or effect. By using particle diameter (size) algorithms to pinpoint grain shape and dimension, Mil-N-494A specification implies the process of identifying and pick up pseudo-ball shape nitroguanidine.

Key words : nitroguanidine, M30 propellant, bulk density

