

淺談鈍感彈藥發展—— 論我國軍彈藥整備作為之省思

作者/邱信智

審者/葉早發、賀增原

提要

- 一、隨現代戰爭模式改變與高科技武器發展，觀察近代戰爭中世界各國除不斷提升武器性能外，彈藥發展則朝向射程遠、精度高與威力大為主流，其中常用傳統火炸藥仍以三硝基甲苯(Trinitrotoluene, TNT)為主，而以TNT系列為主裝藥的彈藥，本質因特性較為敏感，易受外在環境刺激造成危害。自20世紀起世界各國均致力尋找物理與化學性能更加穩定，用以取代TNT之鈍感彈藥(Insensitive Munitions, IM)，同時期望增加彈藥爆炸性能、運輸、庫儲及使用安全性，以降低庫儲與其他作業意外所產生爆炸危害。
- 二、本文蒐整美國、中共等先進國家，對鈍感彈藥(IM)發展緣起、運用範圍及研製能量；另透過觀察俄烏戰爭中彈藥運補或作戰時，運補車隊、戰甲（砲）車遭受砲擊所產生殉爆，衍生人、裝傷損問題，導入鈍感彈藥之研究，對我軍防衛作戰之優劣、威脅與影響，剖析未來鈍感彈藥的發展與運用，以肆應未來戰爭應思考與採取因應做法。
- 三、後勤為建立維持部隊戰力與支援作戰之重要因素，因此，本研究透過平時屯儲可能產生爆炸意外及遭受攻擊時產生殉爆等兩種現象，淺談後續彈藥使用、運補及屯儲安全性。同時借鏡國外已逐漸發展鈍感彈藥趨勢，研擬如何積極投入後續研製，提升國軍彈藥庫儲安全性，以避免作戰時遭敵砲火攻擊，所產生彈藥反噬影響，確保防衛作戰時部隊之安全性。

關鍵詞：鈍感彈藥、TNT、爆炸性能、敏感性

圖片來源：青年日報/李德威



壹、前言

隨著現代化戰爭環境急遽變化，現今在各式戰車、飛機、艦艇和航空母艦等作戰載臺上，均屯儲大量各式彈藥以肆應作戰，而這些彈藥在擁有強大殺傷力的同時，也同步追求射程遠、精度高、威力大及殺傷範圍廣等要求，而忽略彈藥的安全性。¹ 在第二次世界大戰後，世界各國彈藥熔裝物質多以TNT或B炸藥為主，而在20世紀90年代時期，以TNT及B炸藥為主裝藥之彈藥，均在世界各國肇生多起慘痛的彈藥爆炸意外，此時各國才驚覺彈藥的安全性能不足，並瞭解彈藥在受到意外刺激、子彈或破片撞擊、人為事故或遭敵軍砲火攻擊時，均會產生殉爆現象，如1967年美國福萊斯特號航空母艦及1991年伊拉克戰爭時多哈基地屯儲彈藥，因不明原因遭意外

點燃或遭受破甲彈射擊，而引發彈藥庫火災與爆炸事故（如圖一），造成嚴重的人員傷亡和裝備財產損失，直接削減部隊戰鬥力。試想如果上述災難中所屬彈藥均替換為鈍感彈藥，災難與損失是否可降至最低程度。^{2、3、4}

上述事實說明，彈藥爆炸除作戰時



圖一 福萊斯特號航母事故圖

資料來源：網易⁵

1. 〈中國開發出超級炸藥，密度高威力高，安全卻類似塊肥皂〉，微文庫，https://www.gushiciku.cn/dc_tw/107782386，檢索日期：民國111年2月9日。
2. 杜成中、景偉文，〈從伊拉克戰爭看發射藥及裝藥技術的發展趨勢〉《彈道學報》，第17卷第4期，西元2005年12月25日，頁93-96。
3. 殷瑱、王雨時、聞泉、張志彪，〈不敏感彈藥及其引信技術發展綜述〉《探測與控制學報》，第39卷第3期，西元2017年6月，頁1-3。
4. 智小琦、王東青，〈鈍感彈藥的發展與分析〉《中北大學學報》，第29卷第3期，西元2008年，頁236-237。
5. 〈1967年美軍航母南海起火爆炸，134人死亡21架飛機被毀，誰幹的？〉，網易，<https://www.163.com/dy/article/GR81ES6G0552RJNF.html>，檢索日期：民國111年2月9日。

遭敵砲火攻擊外，更可能因意外或火災等原因引發彈藥殉爆。⁶ 綜合分析，近年彈藥發生殉爆原因具有以下特點：

- 一、預警時間短。
- 二、安全穩定性低。
- 三、對撞擊、摩擦或溫度等機械感度較低。
- 四、人、裝耗損量大。
- 五、殺傷、破壞力強。

統計近10年間在臺灣及世界各地，

因彈藥管理或不明原因造成爆炸事件，經報導計38起，累積傷亡人數計534死、數千人受傷（如表一）。因此，在現代化的作戰環境中，如何降低因磨擦、撞擊、跌落、高溫環境中所產生爆炸反應，以提高人員、武器的安全性與降低人員傷損問題，即是鈍感炸藥發展的起源。目前世界各國彈藥製造後多採屯儲居多，配合戰、演訓所消耗彈藥量有限，致屯儲與移運途中，常因作業不慎、撞擊或屯儲

表一 世界各地彈藥爆炸事件傷亡人數統計表

年份	發生事故概述	統計事故(起)	受傷人數	死亡人數
2012	非洲剛果共和國首都布拉柴維爾彈藥庫失火發生爆炸等事故。	5	1,510	225
2013	美國海軍在內華達州的霍桑陸軍倉庫出現迫擊砲彈爆炸等事故。	5	36	36
2014	俄羅斯哈巴羅夫斯克邊疆實施夜間訓練發生坦克內彈藥爆炸等事故。	4	112	5
2015	-	-	-	-
2016	中國緬甸撣邦東部邊境城鎮一處軍火倉庫因氣候炎熱發生爆炸等事故。	3	79	47
2017	烏克蘭卡爾可夫州的巴拉克列亞市彈藥庫發生起火爆炸等事故。	4	13	1
2018	韓國慶尚北道浦項市南區的軍團彈藥庫突然起火並引發爆炸等事故。	6	18	7
2019	韓國大田市製造火箭推進劑燃料發生爆炸等事故	7	127	6
2020	約旦阿達萊赫扎卡軍事基地彈藥庫閒置迫擊砲彈爆炸等事故。	1	數千人	192
2021	俄羅斯烏克蘭江布爾州彈藥庫爆炸等事故。	3	97	15
合 計		38	數千人	534

資料來源：本研究整理

6. 同註1。

環境不良，而引發爆炸事件，⁷ 此過程中也常造成嚴重之不良社會觀感、百姓不安及人員與財物損失，同時無形中也增加部隊彈藥庫儲管理的困難與成本。

由此可知，歷經多次慘痛的爆炸事故教訓，最終引發人們對於彈藥安全性的重視，可說鈍感彈藥的誕生，既是順應時代的發展需要，也是歷史經驗的累積。致使開發「鈍感彈藥」或降低「彈藥敏感度」就成為世界各國近年來一直追求與發展目標，其中以美國、北約大西洋公約組織、日本及中共等國，均已完成鈍感彈藥技術研發，並已應用於多種類型彈藥及飛彈，如美國MK系列航彈、105、155榴彈、MK-46魚雷、空軍MK-80系列航空炸彈、AGM-84導彈或法國的部分空對空、空對地導彈；英國風暴陰

影導彈(Storm Shadow)及德國多種導彈和榴彈等，多已裝填各種低易損性之鈍感彈藥。⁸ 為評估彈藥的低易損性及安全性，建立完善的試驗方法和安全評估要項，迄今已由美國、中共等超過15個國家共同認同北約自1988年所頒布「鈍感彈藥標準(IM)」及「鈍感彈藥測試標準(MIL-STD-2105D)」規範，⁹ 並作為所有非核彈藥、火炸藥裝置等鈍感彈藥評估安全設計標準。¹⁰

目前國軍使用火炸藥，仍以三硝基甲苯(Trinitrotoluene, TNT)為主要熔裝炸藥，而含TNT (如TNT、B炸藥、Octol、Tritonal…等) 在熔裝藥時，將因填裝時受熱產生融化、受冷後凝結的縮孔或屯儲時庫儲環境等問題，造成在使用時易發生意外，與長期儲存較不安定現象，^{11、12、13} 此

7. 〈彈藥庫〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%BD%88%E8%97%A5%E5%BA%AB>，檢索日期：民國111年2月10日。

8. 董海山，〈鈍感彈藥的由來及重要意義〉《含能材料》，第14卷第5期，西元2006年10月，頁321-322。

9. Department of Defense Test Method Standard, “Hazard Assessment Tests for NON-Nuclear Munitions,” MIL-STD-2105D, NO.1(April, 2011), pp. 1-10。

10. 同註4，頁236-237。

11. 陳國光、董素榮，〈彈藥製造工藝學〉(北京理工大學出版社，西元2010年2月)，頁310-311。

12. Voigt, H. W., “Exudation Test for TNT Explosives Under Confinement: Exudation Control and Proposed Standards,” Technical report, AD-AI25476 /2/HDM, NO.1(February, 1983), pp. 8-12。

13. 〈不敏感彈藥〉，中文百科，<https://www.newton.com.tw/wiki/%E4%B8%8D%E6%95%8F%E6%84%9F%E5%BD%88%E8%97%A5/12662398>，檢索日期：民國111年2月10日。

外TNT在久儲後受到天候環境冷熱不均影響，易可能產生漏流滲出物，此漏流滲出物質極為敏感，如再經著火或不經意碰撞下將會產生殉爆（如表二）。

本研究為重視鈍感彈藥未來發展，藉由參考國外及中共鈍感彈藥應用與發展現況，作為我國軍鈍感彈藥的發展借鏡，提升彈藥設施屯儲使用及人員作業安全性，以降低人員、武器及載具損傷。

貳、鈍感彈藥技術發展之概況

一、鈍感彈藥之定義與要求：

不敏感彈藥(Insensitive Munitions, IM)稱為鈍感彈藥，是指當遭遇意外、熱及機械式刺激時，能將意外起爆機率和對發射平臺、後勤系統與人員的損傷降至最低程度。彈藥鈍感標準已成為先進國家衡量彈藥性能之重要指標。而鈍感彈藥現行多以單質炸藥為主，¹⁴ 後續考量爆炸威力、安全性及運用價值等，再配合與不同熔裝（鑄）之配方進行藥品改質，達到良好及所需爆炸性能（如圖二）。¹⁵

鈍感彈藥(IM)評鑑要求為「凡非核彈頭所屬彈藥及爆炸裝置」，且須達到2011年制定鈍感化測驗標準(MIL-STD-2105D)，¹⁶

表二 TNT滲出物質組成表

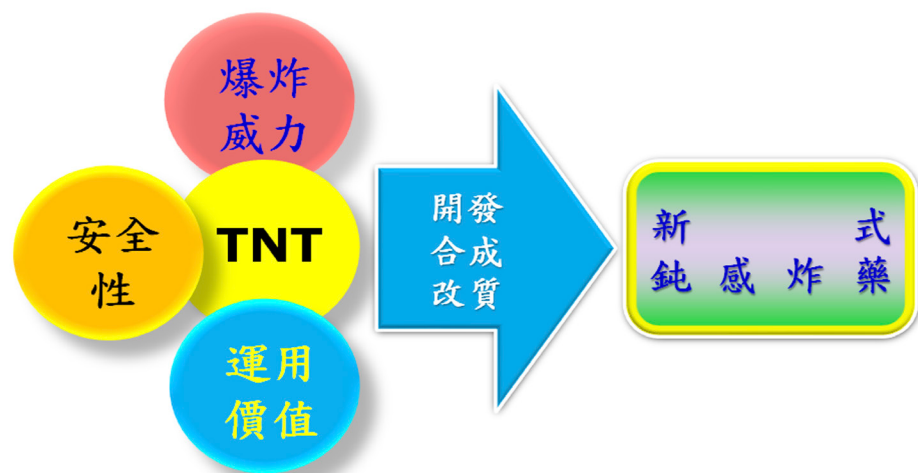
項次	滲出物質	百分比(%)	項次	滲出物質	百分比(%)
1	2,4-DNT	7.65	6	HNBB	0.1-0.5
2	2,4,5-TNT	0.67	7	MPDM	0.1-0.5
3	2,6-DNT	0.98	8	2-MNT (鄰硝基甲苯)	0.05
4	2,5-DNT	0.19	9	TNB	0.01
5	2,3,4-TNT	1.99	10	2,4,6-TNT	88.19
註	TNT於71°C68小時下，測得滲漏率為1.71%（此為模擬彈體所得數據）。				

資料來源：本研究整理(參考註12)

14. 〈材料基因組方法製備出鈍感高能炸藥分子〉，每日頭條，<https://kknews.cc/science/zeplmbl.html>，檢索日期：111年2月10日。

15. 高飛、劉俊學、侯曠怡，〈鈍感彈藥評估標準發展與試驗應用〉《四川兵工學報》，第34卷第8期，西元2013年8月，頁40-42。

16. 同註9， pp. 3-7。



圖二 鈍感彈藥發展示意圖

資料來源：本研究繪製

而達鈍感彈藥標準計區分6個測驗等級（如表三）：

- （一）I級反應：爆轟(Detonation)，最劇烈的彈藥反應，全數含能材料以超音速實施裂解消耗。
- （二）II級反應：部分爆轟(Partial Detonation)，僅次於I級的劇烈反應，全數含能材料以超音速實施裂解消耗。

（三）III級反應：爆炸(Explosion)，僅次於II級的反應，含能材料實施裂解破裂與消耗。

（四）IV級反應：爆燃(Deflagration)，部分或全部含能材料燃燒，導致金屬外殼破裂成碎片。

（五）V級反應：燃燒(Burning)，含能材料僅燃燒。

（六）VI級反應：無反應(No reaction)，彈

表三 彈藥安全性評估

測試項目 等級		快速加熱	緩慢升溫	子彈撞擊	破片衝擊	殉爆試驗	V型裝藥噴流衝擊
評鑑 反應	1級	IV	III	III	I	III	I
	2級	V	V	III	III	III	I
	3級	V	V	V	V	IV	III

資料來源：火炸藥學報¹⁷

17. 范士鋒，董平，梁爭鋒〈國外海軍彈藥安全性研究進展〉《火炸藥學報》，第40卷第2期，西元2017年4月，頁102-103。

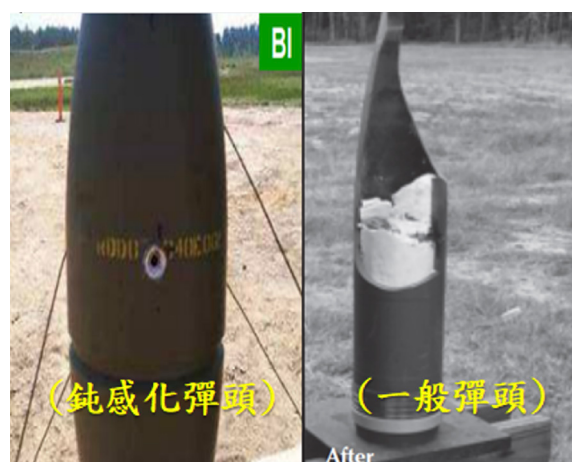
藥無任何反應。

從表三得知，彈藥安全性達到Ⅲ級標準，除在殉爆及V型裝藥噴流衝擊試驗測試中，彈藥受到衝擊僅會產生金屬外殼破裂成碎片與含能材料實施熱裂解外，餘均侷限於燃燒狀態（如圖三）。

二、鈍感彈藥之研製標準：

自1980年起，世界各國已開始對鈍感彈藥(IM)進行研究，目前鈍感彈藥以美國、中共等均已成功開發量產與執行換裝。惟鈍感彈藥現多以單質炸藥為主，¹⁸ 考量部分單質炸藥爆炸性能略低於TNT，後續均有與不同熔裝（鑄）配方進行藥品改質，以達到良好及所需的爆炸性能。

為達「鈍感彈藥測試標準(MIL-STD-



圖三 鈍感化與一般彈藥遭子彈射擊後對照圖

資料來源：Gray, Nancy, “Insensitive Munitions-New Explosives on the Horizon,” Holston Army Ammunition Plant Kingsporttn, 2008

2105D)」，主要研究區分「熔鑄裝藥改質、¹⁹ 添加鈍感劑、²⁰ 彈體結構及包裝防護改變」²¹ 等4大類，其中以「熔鑄裝藥改質」為主要發展方向。²²（彈藥影響因素

18. 邱信智，〈TNT替代火炸藥-DNAN合成奠基研究〉（國防大學理工學院化學工程碩士班碩士論文，西元2013年），頁6。

19. Arthur, P., and Phil, J. D., “Australian Melt-Cast Explosives R&D DNAN - A Replacement for TNT in Melt-Cast Formulations,” Explosives & Pyrotechnics Group Weapons Systems Division Defence Science and Technology Organisation, available at https://imemg.org/wp-content/uploads/IMEMTS%202006_Provatas_paper3B.pdf, 檢索日期：112年4月30日。

20. John, D. V., “Computer Model for the Solidification of Composition B,” AD-A163443 NO.1 (December, 1985), pp. 22-27。

21. 同註9，pp. 7-10。

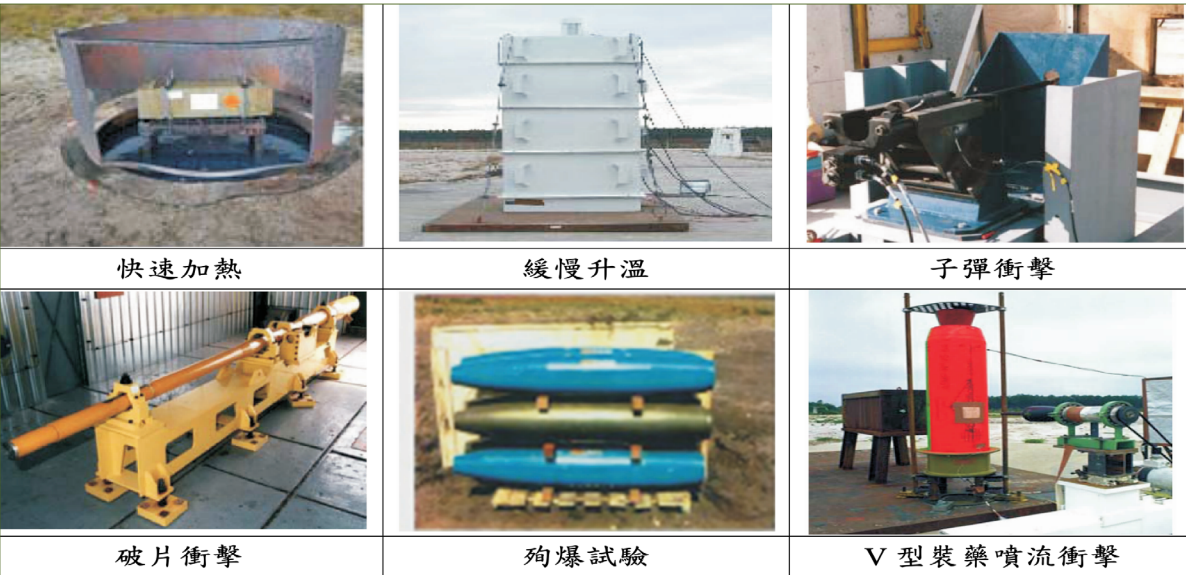
22. R. L. Simpson, P. A. Urtiew, D. L. Ornellas, G. L. Moody, K. J. Scribner, D. M. Hoffman, “CL-20 Performance Exceeds that of HMX and its Sensitivity is Moderate,” Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 22 Issue 5, (2004), pp. 249-255。

表四 彈藥安全性影響因素

影響因素	詳細參數
熔鑄裝藥	合成開發、粒子形狀、粒度分布、孔隙率、氣泡或裂紋等內部缺陷、熱膨脹係數、熱導率、熱點火溫度。
添加鈍感劑	高分子膠合物配方(矽橡膠、樹脂等)、石蠟、塑料、酯類。
彈體結構	彈體材料、壁厚、裝藥間空隙、包裝組件間連接強度、密閉性。
包裝防護	材質及結構、彈藥間距。

資料來源：火炸藥學報²³

表，如表四）。
依美軍頒布鈍感彈藥測試標準（MIL-STD-2105D，美國非核彈藥危險性評估試驗），²⁴ 認為鈍感彈藥需通過「12 公尺跌落試驗、快速加熱、緩慢升溫、子彈射擊、破片衝擊、殉爆試驗、V型裝藥噴流衝擊」等7項試驗(如圖四)，且測驗後只燃燒，不產生爆轟或殉爆來損害



圖四 彈藥安全性試驗裝置示意圖

資料來源：本研究整理（參考註17）²⁵

23. 范士鋒、董平、李鑫、梁爭峰，〈國外海軍彈藥安全性研究進展〉《火炸藥學報》，第40卷第2期，西元2017年4月，頁103。
24. 同註9，pp. 3-4。
25. 同註17。

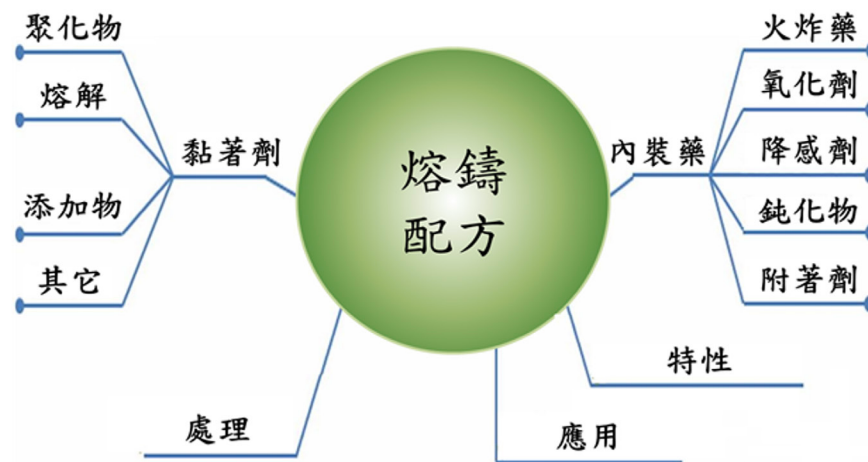
人員、設備或環境者，才可稱為「鈍感彈藥」。因此，各種含能彈藥在研製中，都會依據武器裝備及自身特點選擇相關測驗標準，以作為武器射擊驗證與評估之安全性。

現行鈍感彈藥研製，主要透過混合式之熔裝（鑄）方法（如：合成開發、添加高分子黏著劑、物理包覆鈍感物質、改變晶體結構等），彌補單質鈍感彈藥能量、原料來源及成本的不足，所以混合式熔裝（鑄）技術是火炸藥中含能材料開發的重要指標。²⁶

混合式炸藥為利用填充複合式材料或改變材料原型，因此設計時不僅要考慮爆炸產生能量與安全性，還需考慮材料相容性、成體型、機械性及力學。總體而言，混合式炸藥具有高密度、高能量及良好的安全與研製性能。²⁷ 而為滿足新式武器彈藥鈍感需求，仍須透過不斷改良以發掘新的單質鈍感彈藥，以利後續發展應用（如圖五）。而「鈍感彈藥標準」同時具有下列優點：²⁸

（一）不需改變現有裝藥設備。

（二）彈藥庫儲危害分類可由1.1類降至



圖五 彈藥熔鑄設計要求原理

資料來源：《含能材料》²⁹

26. 同註15，頁41-42。

27. 同註3，頁1-2。

28. Phil, J. D., "Characterisation of 2,4-Dinitroanisole: An Ingredient for Use in Low Sensitivity Melt Cast Formulations," DSTO-TR-1904,(2006), pp. 1-3。

29. 劉志劍、劉曉波、何冠松，李玉斌，聶福德，〈混合炸藥設計研究進展〉《含能材料》，第25卷第1期，西元2017年1月，頁2-3。

1.2-1.4類，安全性大幅增加。

(三) 提升運輸安全性，即使在運輸過程中，車輛不慎著火，彈藥也不會引發爆炸，降低人員、物品的損失。

(四) 彈藥應用性及性能增加，在嚴苛環境下亦可使用。

(五) 降低載具作戰時損耗。

(六) 日後失效、逾期彈藥易於處理（遇火不會爆炸，燒燬即可）。

三、鈍感彈藥發展之方向：

鈍感彈藥的發展除大幅提高彈藥安全性，亦可降低因意外刺激而造成災難，更可提高彈藥儲存、運輸及遭射擊後安全性、縮減屯存安全量距、降低對公眾利益的威脅與人員、物品損傷，緩解後勤部隊儲管壓力。

美國自2008年起已不再使用以TNT為主熔裝藥，且美國海軍自2003年起裝載TNT配方之彈藥也不可在艦上使用。³⁰統計自1982年起迄今於世界各國所發生彈藥事故，其中有50%以上的彈藥爆炸事故發生原因未明。據研究顯示以TNT為主裝藥之彈藥，常發生因屯儲環境不良，彈藥產生縮孔，致使彈藥產生不安定

現象。³¹

近年來以美國為代表的西方國家，均不斷開發新型鈍感彈藥，除要求提高爆炸威力外，更須提升武器系統使用的安全性，同時注重後續試驗方法和檢驗標準，務求形成一個完整性鈍感彈藥研究供應鏈（如表五）。

誠如2004年起法國Societe Nationale des Poudres et Explosifs公司(SNPE)、美國Los Alamos國家實驗室都在積極合成多種新型態鈍感彈藥。³²其中現行取代TNT常見熔裝炸藥計2,4-二硝基苯甲醚(2,4-Dinitroanisole, DNAN)、3,4-二硝基氧化呋喃(3,4-Dinitrofurazanfuroxan, DNTF)、1,3,3-三硝基氮雜環丁烷(1,3,3-Trinitroazetidine, TNAZ)、3-硝基-1,2,4-三唑-5酮(3-Nitro-1,2,4-Triazol-5One, NTO)等，而越來越多替代TNT新式鈍感彈藥都不斷提高爆炸威力，而依彈種型號、種類不同，內裝藥配方也不同。如同美國、澳大利亞均採用DNAN為基礎熔裝炸藥，研製替代TNT作為60迫砲彈(PAX-21)配方，因此只有爆炸性質相近，熔裝配方比例並不相同，本研究列舉現行改良後單質炸藥合成後運用：(鈍感彈藥之

30. 同註9，頁2-4。

31. 〈前瞻鈍感化學品關鍵含能材料製程研發〉，政府研究資訊系統，頁4-7，<https://www.grb.gov.tw/search/planDetail?id=11773683>，檢索日期：112年4月30日。

32. 王宇，魏超，張崧，〈鈍感火工品中新技術、新含能材料研究進展〉《科技報導》，西元2013年10月，頁76-77。

表五 鈍感彈藥檢驗標準與發展

年份	國家	發展動向
1964	美國	美國海軍發表標準化文件WR-50（海軍武器要求空中、水面和水下發射武器的彈頭安全性測試）。
1967	美國	發表（引信安全設計準則）-MIL-STD-1316，規定陸、海、空三軍對直列式火炸藥敏感度要求和允許使用直列式火炸藥。
1982	美國	在WR-50基礎上，建立世界上第一個鈍感彈藥軍用標準 DOD-STD-2105（非核武器的彈藥危險性評估標準）。
1988	北約	制定有關研製評估和測試鈍感彈藥的標準STANAG 4439（鈍感彈藥介紹、評估和測試），並頒布盟軍出版物AOP-39（鈍感彈藥的開發、評估和測試指南）。
1991	美國	制訂鈍感彈藥軍用標準MIL-STD-2105A（海軍）。
1994	美國	制訂鈍感彈藥軍用標準MIL-STD-2105B。
2003	美國	制訂鈍感彈藥軍用標準MIL-STD-2105C。
2011	美國	制訂鈍感彈藥軍用標準MIL-STD-2105D。

資料來源：科技報導³³

鈍感度比較表，如表六)^{34、35}

（一）TATB（2,4,6-Triamino-1,3,5-Trinitrobenzene，三氨基三硝基苯）：

雖屬舊式鈍感彈藥一種，但因爆速、猛度、價格及合成過程中會產生有毒物質，造成使用用途受限。2003年美國Thiokol Propulsion兵工廠針對上述問

題發表新的合成方法，以降低合成成本及提升可塑性，使得TATB可用性大幅提升。例如：火箭推進劑(PBXN-7型)，即是以TATB為基礎壓藥式鈍感彈藥，或可調整不同TATB、膠料及其他彈藥作為火藥鏈中傳爆藥或導爆管組。惟TATB威力不足，較少用於彈頭主炸藥。³⁶

33. 同註32，頁76。
34. 李廣武、趙繼偉、杜春蘭，《常規導彈彈藥安全性考核與技術》（北京：中國宇航出版社，西元2015年），頁20-37。
35. 同註28，pp. 2-3。
36. J. Hanks, T. Highsmith, A. Sanderson, & S. Velarde, “The Development of an Alternative Route to Triaminotrinitrobenzene,” Insensitive Munitions & Energetic Materials Symposium, 2003, pp. 7-11.

(二) RS-RDX (Royal Demolition explosive, 海掃根或黑索金)：

現行可採合成方法製備，藉由控制晶型、粒徑大小及粒徑分布等改變，降低爆轟衝擊波敏感度，達到鈍感化要求。³⁷ 以RS-RDX為基礎炸藥可作成壓藥式及鑄藥式的塑膠炸藥(Plastic Bonded Explosive, PBX)。以傳統A-3型炸藥為例，此種炸藥以壓藥方式加工，若使用傳統RDX，最小顆粒直徑為290微米，如使用I-RDX®壓藥加工時，卻可達270微米。在塑膠炸藥方面，RS-RDX亦廣為各國使用，例如法國HBU-88A、B2211及B2213A等編號的炸藥均使用I-RDX®。

(三) RS-HMX(1,3,5,7-Tetranitro-1,3,5,7-Tetrazocane, 奧克托今)：

相對應RS-RDX，RS-HMX陸續被開發後，近年來，尚未看到RS-HMX後續運用。而RDX及HMX均可利用晶型奈米化技術提升鈍感性，例如：美國陸軍作戰能力發展司令部(RDECOM)使用超臨界溶劑結晶法製備奈米級RDX，以獲得較佳鈍感特性。³⁸

(四) NTO(3-Nitro-1,2,4-Triazole-5-one, 3-硝基-1,2,4-三唑-5酮)：

以NTO炸藥為基礎塑膠炸藥，是鈍感彈藥選擇含能材料之一，爆轟性能與RDX相同，例如法國B2214的B炸藥。此種彈藥可和DNAN、TNT等單質炸藥實施熔鑄式混合，例如法國XF-13153/333系列炸藥。NTO在熔鑄式彈藥的鈍感化，主要運用化學特性及晶形影響，降低彈藥黏度，使彈藥微孔隙降低來達到鈍感效果。

(五) DNAN、TNAZ：

此二種鈍感單質炸藥熔點介於92~110°C之間，美國自2003年起已逐步用已取代鈍感性不佳TNT。主要在於不改變現有熔鑄裝藥設備下，可大幅提升傳統砲彈彈頭鈍感效能。例如：美國Pictinny 兵工廠的PAX-21、PAX-24、PAX-25、PAX-28、PAX-33、PAX-41系列彈藥即是使用DNAN作為基礎，再混合鋁粉、HMX、RDX、AP及NTO後，作為各式迫砲彈及105公厘榴彈砲的主裝藥，而使用DNAN作為基礎熔裝藥時，則不用更改

37. Coon, C. L. & Guimont, J. M., "HMX and RDX Synthesis," SRI-2607-FR, Stanford Research Institute, (Jan. 31, 1974), pp. 7-16.

38. Jonathan T. Essel, Andrew Claude Cortopassi, Kenneth K. Kuo, Christopher G. Leh, James Hansell Adair, "Formation and Characterization of Nano-sized RDX Particles Produced Using the RESS-AS Process," *Propellants Explosives Pyrotechnics*, vol. 37, NO. 6 (2012), pp. 669-706.

原有鑄藥系統及設備；但使用TNAZ時，則必需修改鍋爐加熱系統。³⁹

(六) FOX-7(1,1-Diamino-2,2-Dinitroethene，1,1-二胺基-2,2-二硝基乙烯)：

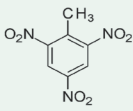
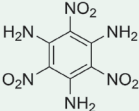
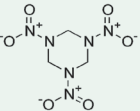
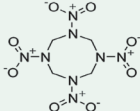
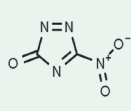
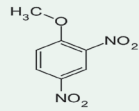
瑞典於1998年首次合成，一種綜合性能優異的新型鈍感高能炸藥，FOX-7具有較高熱穩定性和化學性，屬國際公認最具發展潛力的鈍感炸藥之一，其分子式極為簡單，炸藥威力與RDX相同，爆轟感度比RDX鈍感，例如：以

FOX-7取代RDX用於空用炸彈PBXN-109，命名為F-PBXN-109，顯示FOX-7的鈍感化優勢。⁴⁰

四、中共鈍感彈藥發展與應用：

中共於1984年頒布「引信安全性設計準則」、1994年頒布「傳爆藥安全性試驗方法」、2000年「傳爆藥安全鑑定程序」，最終在2005年完成鈍感彈藥「火工品試驗方法」檢驗規範，同時律定12項火炸藥性能檢驗標準「快(慢)速升

表六 鈍感炸藥感度比較表

炸藥種類	TNT	TATB	RDX	HMX	NTO	DNAN
單體化學式	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆	C ₆ H ₆ N ₆ O ₆	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈	Mg(H ₂ O) ₆	C ₇ H ₆ N ₂ O ₅
結構						
密度(g/cm3)	1.65	1.94	1.82	1.91	1.91	1.34
分解溫度(°C)	240	370	219	275	215	425
摩擦感度(N)	353	353	120	120	30	0
撞擊感度(H50)	153	59	38	30-32	88	30
爆速(m/s)	6,900	7,541	8,750	9,010	8,510	5,974
殉爆測試(隔板數)	320	190	310	305	260	-
30kg落錘高度(m)	>4	>4	0.5	1	>4	0.5

資料來源：本研究整理（參考註19、註29、註32、註37、註38、註39）

39. Steven Nicolich & John Niles, “Formation and Characterization of Nano-sized RDX Particles Produced Using the RESS-AS Process,” *Propellants Explosives Pyrotechnics* ,vol.37,NO.6(2012). pp. 10-17.

40. C. Collet, B. Le Roux, B. Mahe, B. Nouguez, “FOX-7 Based Insensitive Cast PBX,” *IMETS*, 2009. (May 11-14,2009) pp. 3-12.

溫、破片衝擊、子彈射擊及噴射流感度」等，務求在鈍感彈藥的發展能趕上美國、北約等國家，確保未來戰爭能有效避免遭突擊時，降低所屬災損問題。

中共近年已成功研製一系列以2,4-二硝基苯甲醚(2,4-dinitroanisole, DNAN)、二乙二醇二硝酸酯(Nitric acid 2-(2-nitrooxyethoxy)ethyl ester, DEGDN)、NTO、TATB、FOX-7、RDX、HMX及AP、MNA等為基礎的低感度新型熔鑄混合彈藥。⁴¹ 由於配方中不含TNT，毒性遠低於TNT熔鑄型彈藥，同時再增加複合鈍感劑，使彈藥的衝擊波感度和收縮率明顯低於B炸藥，除提高生產時安全性，還能有良好鈍感力、熱應力及低沖擊感度等特性，在此介紹中共現行幾種已使用之鈍感彈藥組成配方(如表七)。

參、現況探討與分析比較

近來國外特別重視鈍感彈藥研究，本研究針對「鈍感彈藥研製與發展、彈藥屯儲作為及鈍感彈藥發展運用」實施探討，俾有效提升彈藥屯儲安全性，綜合歸納如下：

一、鈍感彈藥研製與發展：

中共自2005年起已完成鈍感彈藥全系統檢測標準制定；同步加速「鈍感彈藥」、引信、彈體、包裝型式及彈藥全系統研發，務求彈藥全系統(含裝填含能材料)均達國際「鈍感化」標準。

國軍對鈍感彈藥研發與法規制定，較中共及西方國家起步晚，依《110年國防報告書》略以：「國防部透過委託國內之公、私法人團體，建立國防工業動員生產體系，結合各部會資源與民間產、學、研能量，積極投入自力研發及產製，建構滿足國防需求的國防工業鏈」，促使國防與民生都能得到升級。⁴²

中共為積極朝軍事現代化，自2000年起規劃每年國防經費均有10%以上成長，而火箭軍及武器更新更占有相當大的比例。目前中共已完成多種鈍感彈藥研發，雖然針對已開發之鈍感化配方，如何運用於那些彈種，目前尚無資料可查，惟透過由製成導彈所需引信、推進劑及起爆藥等單質炸藥，比較完成鈍感化研製配方與使用方式，參據2000-2005年所訂定之「鈍感彈藥檢驗標準」進行推估，目前該型彈藥研判已運用於東風-15B/DF-15B

41. 同註29，頁3。

42. 中華民國110年國防報告書編纂委員會，《中華民國110年國防報告書》(國防部，民國110年10月)，頁96-98。

表七 鈍感彈藥組成配方

名稱	組成	名稱	組成
PBX9007	90%黑索今，9.1%聚苯乙烯，0.5%鄰苯二甲酸二辛脂，0.4%松脂。	BX1	60%三硝基三氨基苯(TATB)，35%硝鉍(硝鉍為95%黑索今5%奧克托今混合物)，5%800號氟樹脂。
PBX9604	96%黑索今，4% 800號氟樹脂。	BX2	60%三硝基三氨基苯(TATB)，35%硝鉍(硝鉍為95%黑索今5%奧克托今混合物)，5%聚四氟乙烯。
PBX9503	80%三硝基三氨基苯(TATB)，15%黑索今，5%800號氟樹脂。	BX3	60%三硝基三氨基苯(TATB)，35%硝鉍(硝鉍為90%黑索今和10%奧克托今混合物)，5%800號氟樹脂。
PBX9404	94%奧克托今，3%硝化棉，3%磷酸三β氯乙酯。	BX4	60%三硝基三氨基苯(TATB)，35%硝鉍(硝鉍為90%黑索今和10%奧克托今混合物)，5%聚四氟乙烯。
LX-14	95.5%奧克托今，4.5%聚氨脂。	Debrix18AS	95.3%黑索今，2.7%10號蠟，1.5%硬脂酸鋅，0.5%其他。
LX-15	95%六硝基芪，5%800號氟樹脂。	Debrix11	99%B型黑索今，1%10號蠟。
AFX-521	95%PYX(2,6-二苦氨基-3,5二硝基芪啶)，5%800號氟樹脂。	Debrix12	95.8%黑索今，4.2%10號蠟。
AFX-511	95%TPM(三苦基密胺)，5%800號氟樹脂。	NREV9501	25.8%NTO，69.6%黑索今，4.6%乙烯-乙酸乙烯共聚物。
PBXW-7 (I型)	35%黑索今，60%三硝基三氨基苯(TATB)，5%聚四氟乙烯(PTEE)。	NREV9502	46.4%NTO，49%黑索今，4.6%乙烯-乙酸乙烯共聚物。
PBXW-7 (II型)	35%黑索今，60%三硝基三氨基苯(TATB)，5%氟橡膠。	NREV9503	58.1%NTO，36.9%黑索今，5%乙烯-乙酸乙烯共聚物。
X-0298	97.5%奧克托今，1.07%煙油，1.43%苯乙烯、丁二烯共聚物。	NREV9504	76.3%NTO，18.9%黑索今，4.8%乙酸乙烯共聚物。
TR1	98.75%黑索今，1.25%聚乙烯蠟。	A-1X-1	94.25%黑索今，5.75%蠟、硬脂酸、蘇丹紅。

資料來源：探測與控制學報⁴³

43. 同註3，頁1-3。

等6型導彈（如表八）。

本研究針對現行中共及國軍鈍感彈藥「規範制訂、開發技術、運用現況及檢測標準」等因素實施比較（如表九）。

因此，國軍在鈍感彈藥檢測標準制定、開發技術、運用現況等均遠遠不足，然彈藥製造工業在世界各國往往脫離不了民間產業，相較於中共及世界各國對武器與民生工業發展得知，我國雖具備

良好生物科技與農藥、紡織等基礎建設，且透過《國防法》及行政院「5+2產業創新計畫」等各項國防與民生產業合作指導綱要訂定，然後續如何應用與扶植民間工（產）業共同投入國防產業供應鏈，⁴⁵ 將是值得納入後續觀察與探究。

二、彈藥屯儲作為：

彈藥補給往往是維護作戰部隊重要一環，觀察近年中共火箭軍研發各種導

表八 各型導彈威力比較分析表

導彈名稱	服役年份	動力	彈頭重量 (公斤)	彈頭威力	數量 (枚)
東風-15B/DF-15B	2003-2005	固體推進劑	920	高爆彈頭2-15萬噸當量核彈頭	1,200
東風-15C/DF-15C	2005-2010	固體推進劑	> 900	鑽地彈頭	
東風21型	2013	固體推進劑	600	高爆彈頭200-300噸當量核彈頭	> 50
東風31型	2006	固體推進劑	700	高爆彈頭200-300噸當量核彈頭	75-100
東風41型	2010	固體推進劑	800	高爆彈頭200-300噸當量核彈頭	75-100
巨浪2型	2000	固體推進劑	900-1,350	高爆彈頭100-1,000噸當量核彈頭	48
註	依中共鈍感彈藥測訂標準訂定及研發資料顯示研判，扣除2000年服役導彈計算。				

資料來源：本研究整理⁴⁴

44. 陳東偉，〈中共導彈武力現代化與區域安全〉（淡江大學國際事務與戰略研究所碩士在職專班碩士論文，西元2017年），頁34-46。

45. 中華民國108年國防報告書編纂委員會，〈中華民國108年國防報告書〉（國防部，民國108年9月），頁7。

表九 共軍與國軍鈍感彈藥研發進展差異比較分析表

區分 項目		共軍	國軍
執行 進度	鈍感化測試規範制訂	1984年頒布「引信安全性設計準則」、1994年「傳爆藥安全性試驗方法」、2000年「傳爆藥安全鑑定程序」、2005年完成「火工品試驗方法」。	尚未制訂
	鈍感化研究報告(篇)	>200	約15
	鈍感彈藥合成開發(種)	>143	約9
	鈍感彈藥運用現況	已量產	小批量合成
	鈍感性能檢測標準	已設置	未設置
研發 主軸	合成新鈍感化合物	>30	2
	改變晶體結構	>43	3
	添加鈍感劑	>40	3
	晶體微米球型化	>30	1
	包裝載體材質變更	-	-

資料來源：本研究整理

彈，與升級舊有導彈系統及提升使用安全性而言。就防空考量臺灣海峽的寬度，已不足成為現代化戰爭的天然屏障，兩岸兵力質與量的差距，刻正逐漸拉大我空防劣勢。依美國蘭德智庫評估，中共若同時對臺灣發射100枚以上導彈，將可突破國軍「愛國者」及「天弓」系統飛彈防禦，同時瞬間癱瘓我國軍重要固定設施、雷達陣地、機場及油彈庫。⁴⁶

在中共攻臺想定中，考量初期作戰

效益，共軍應採用近程彈道導彈實施大規模先制奇襲，攻擊臺灣陸基防空系統、空軍基地及其他重要軍事基礎設施(如：彈藥庫、油料庫)，而囿於我國鈍感炸藥發展遲滯，為降低導彈、空轟等襲擊風險，現行規劃優先以改善彈藥庫儲屯儲環境為主。

國軍彈藥庫儲設施計坑道式、半地下化及磚造庫房等3種，隨著國軍軍事事務革新及組織更迭變革，規劃自102年起

46. 同註44，頁105。

逐年將未具抗炸及環控設備之磚造老舊平面庫改建為半地化庫房，俾利戰力保存與提升彈藥屯儲防護與安全(國軍彈藥庫房建築標準，如表十)；另同步針對彈藥前支點預置分屯，要求應落實屯儲目標選定與加強屯儲防護作為，確保後勤能有效支援作戰。⁴⁷

國軍重要指揮所、油、彈庫、砲兵及戰車掩體等設施，多採用鋼筋水泥加厚鋼板作為基礎防護結構，⁵⁰ 據報導指出：「中共東風15型導彈已可對地下掩體與指揮所進行鑽地打擊(如圖六)」，⁵¹ 致使現行彈藥庫庫房建築結構，將可能遭

貫入或突穿。此時屯儲彈藥如屬非鈍感彈藥，勢必嚴重影響我國軍人員與庫儲、設備安全。因此，考量如何增加防禦工事強度或戰時彈藥前支點屯儲地點選定，將是國軍即將面臨重大考驗。

觀察近年戰爭型態，研判共軍初期優先可能攻擊為機堡出入口(坑道洞口)、機場滑道、各式彈藥庫、油料庫等，以阻滯我戰機起降與後續油、彈整補及指揮管制中心運用，而針對共軍現行導彈攜帶彈藥量，研判爆炸可能產生炸坑狀況(如表十一)。

三、鈍感彈藥發展運用：

表十 國軍彈藥庫房設施建築標準

彈藥庫房設施建築標準			
庫房形式	坑道式洞庫	半地化庫房	平面庫
結構	主體均為運用外、離島坑道構築棚庫，具天然植被與堅硬花崗岩石等防護。	主體採RC拱頂型，防爆層採背霧砂質緩衝層，塊石混凝土抗貫穿及霧土植生。	設置夾層，增加防潮性，四週設有排水溝，防止積水，四週規劃天然或人工擋牆。
抗炸力	>550磅炸彈(穿甲彈)。	抗550磅炸彈(穿甲彈)。	抗50磅炸彈(穿甲彈)。
※註：1磅約0.45公斤，50磅約22.5公斤，550磅約247.5公斤。			

資料來源：本研究整理^{48、49}

47. 邱信智，〈從後勤支援觀點探討不對稱作戰下最適彈藥整補策略〉《陸軍後勤季刊》，民國111年第1期，民國111年2月，頁24。

48. 國軍未爆(廢)彈處理手冊(國防部陸軍司令部)，民國109年3月24日，頁286-290。

49. 軍事工程教範(國防部陸軍司令部)，民國94年4月15日，頁2-30。

50. 同註49，頁7-12。

51. 藍仲聖，〈習近平強軍夢——論火箭軍建軍規劃〉《陸軍學術雙月刊》，第52卷第548期，民國105年8月，頁115-116。



圖六 GBU-28雷射制導炸彈穿透建築物時留下的彈孔

圖片來源：每日頭條⁵²

在科技化的現代中，彈藥爆炸事故迄今在世界各地仍頻繁不斷的發生，並造成重大人員和財產損失。而鈍感彈藥發展模式，已然成為世界各國工業、民生發展與國防科技研發不可或缺之要素，它包含未來戰爭型態、作戰方式、敵情威脅程度、戰略構想及可能獲得資源等因素，同時考量火炸藥使用安全性，然單質火炸藥製作並非只有彈藥一途，它往

往可伴隨著醫藥、染料及農業等諸多民生運用(如：苯甲醚合成2,4-二硝基苯甲醚(DNAN)過程，可轉換用途至殺蟲劑、阿斯匹靈、植物生長調節劑、染料等)；列舉「酚」合成火炸藥之衍生物與用途(如圖七)。

四、SWOT分析：

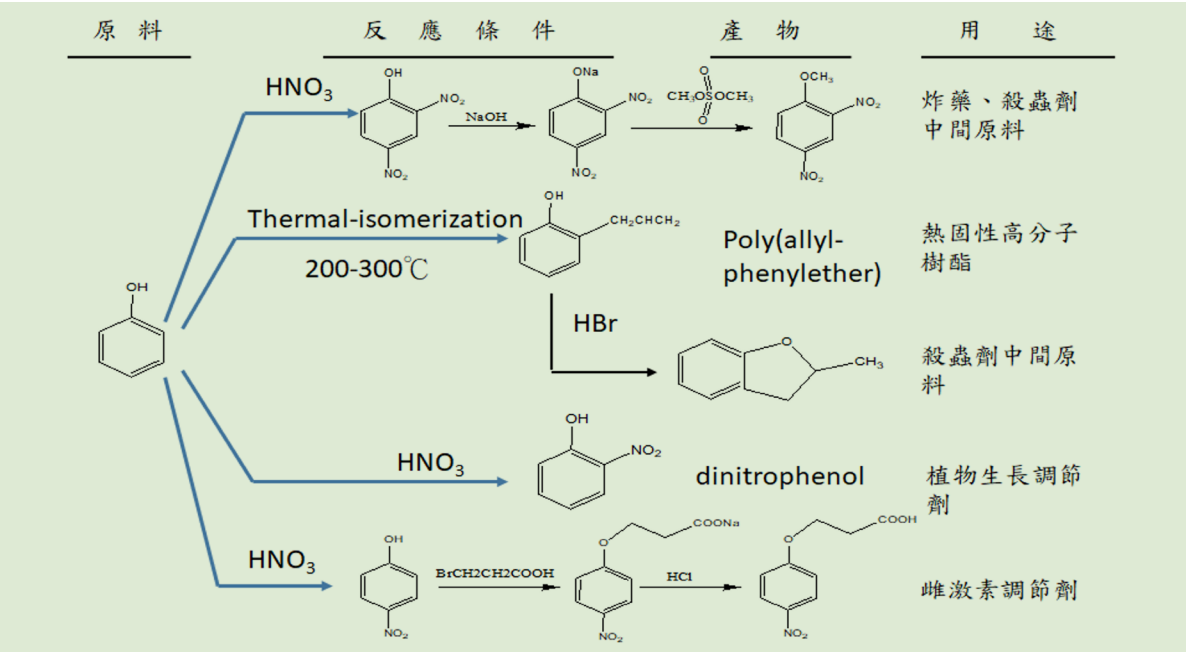
本研究針對「鈍感彈藥研製與發展、彈藥屯儲作為及鈍感彈藥發展運用」

52. 〈東風15C鑽地武器曝光可瞬間粉碎敵大型地下指揮所〉，每日頭條，<https://kknews.cc/military/jvg4jgq.html>，檢索日期：民國112年4月13日。

表十一 中共各式彈藥爆炸研判炸坑直徑及貫穿深度表

類別	武器名稱	彈頭重 (公斤)	炸藥淨重 (磅)	炸坑直徑/深度 (公尺)
地面 武器	東風15型	2,268	1,100	15/15
	東風11型	800	880	12/12
	長風2號	500	550	10/11
	長劍10型	500	550	10/11
艦艇 武器	艦對地飛彈-鷹擊18號	800	880	12/12
	艦砲彈	110	25	0.8/0
	潛射導彈	2,500	2,570	20/19
空中 武器	空對地飛彈	350	385	8/9
	制導炸彈	2,000	2,200	17/18
	空投炸彈	2,500	2,570	20/19
	集束(子母)彈	223	257	6/0

資料來源：本研究整理^{53、54}



圖七 酚合成火炸藥過程之衍生物與用途

資料來源：參考註18

53. 同註49，頁286-290。

54. 同註50，頁2-30。

透過SWOT分析，實施內部優勢(S)、劣勢(W)與外部環境機會(O)及威脅(T)，進而探討未來國軍鈍感彈藥發展模式，俾有效提升庫儲安全性，綜合歸納分析如下：

(一)內部與外在因素：

1、優勢(Strength)：

- (1) 提升彈藥屯儲安全性，有效戰力保存。
- (2) 增加彈藥運補安全，降低人員傷損。
- (3) 建立完善鈍感彈藥研製機制，有效延長彈藥儲存壽命。
- (4) 可降低禁限範圍，確保百姓居住安全。
- (5) 與民生產業建立互助合作鏈，促進民間產業發展。

2、劣勢(Weakness)：

- (1) 科研人員不足，技術與資源難以整合。
- (2) 研發與產製能量不足，且設備廠房老舊。
- (3) 保密機制與管理較為不易。
- (4) 易遭滲透破壞。

3、機會(Opportunity)：

- (1) 民間企業協助生產合作，提升作業效率，可為國軍參用。
- (2) 提升國家民間產業及軍事競爭力。
- (3) 配合軍工合作，可降低軍工廠生產

管理負荷與成本效益。

4、威脅(Treat)：

- (1) 軍工合作後，軍工廠擴建及彈藥研製效益尚待評估。
- (2) 藉由產學合作，資訊管理與安全防护尚待研擬。
- (3) 鈍感彈藥研製人員與技術欠缺。

(二)策略模擬：

1、(S-O)策略：遴選數種現行世界各國常用之鈍感彈藥或單質火炸藥，參考國外現行鈍感彈藥研製方式，與建立相關檢驗標準程序，縮短研製與檢測時間。

2、(W-O)策略：為縮短研製時效，可循國外成功案例，藉由產學合作優先建立小批量研發產製及參數建立，俟效益評估完成後，納入未來移轉軍工廠擴大產能之依據。

3、(S-T)策略：考量現行軍工廠組織調整，造成作業與研發能量不足，透過產學合作與扶植國內廠商共同發展，以提升國防自主能量與活絡民生經濟。

4、(W-T)策略：鈍感彈藥發展勢必成為未來主軸，然資訊與保密管理勢必是一大考驗，在現行國軍資訊系統安全防护尚無法支援與管理民間技術，建議重要品項開發與量產，仍由

軍工廠負責實施。

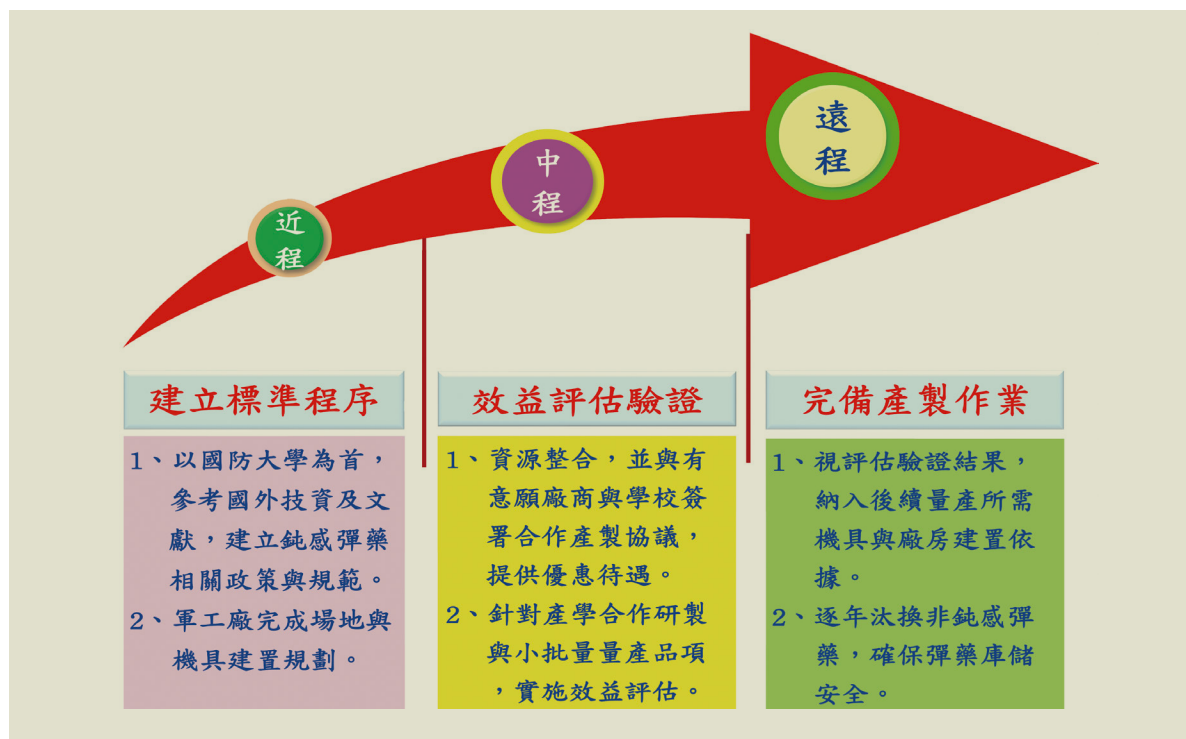
(三)SWOT分析後目標：

綜合上述，藉由SWOT分析策略模擬，為確保彈藥屯儲安全與降低運補時傷損，審視世界各國發展趨勢設定國軍未來在鈍感彈藥近、中、遠程發展目標（如圖八）。經此，國軍面對此鈍感彈藥發展，勢必視為未來軍事發展的重要課題與研發方針。

相較於美國、中共等國已逐漸朝鈍感彈藥發展，我國雖具備良好民間產業及基礎建設，惟受限「槍砲彈藥刀械許可及管理辦法」及「國防部委託法人團體從事研發產製維修作業要點」要求，致限制我國中小企業相關彈藥研發與生產。⁵⁵因此，考量我國發展現況及作業能力，爰就「運用軍工合作發展、建立完善分屯作為、落實滲透運補規劃」等三個面向，分述對我軍現階段彈藥整備因應作為：

肆、對我軍建議與啟示

一、運用軍工合作發展，提升科研技術能量



圖八 SWOT分析設定目標

資料來源：本研究繪製

55. 〈槍砲彈藥刀械許可及管理辦法〉，內政部，民國111年11月15日。

誠如中共、印尼透過軍售、外購管道購買烏克蘭、俄羅斯及法國武器，同時簽署各式武器合作產製、售後維保與軍事技術轉移等交流，扶植國內軍工產業鏈，適值我國參酌與借鏡。^{56、57、58} 因此，針對提升國內業界產能、扶植國內廠商發展國防產業及與活絡經濟民生等訴求，提出建議作法如下：

- (一) 參據美、中作法優先建立鈍感彈藥政策規範，藉軍售、外購協商將部分具關鍵生產技術辦理轉讓或合作產製協議，並整合簽署有意願協助發展國防之廠商，給予優惠待遇，鏈結廠商建立資源整合，達成主動供補支援後勤需求；並藉由技令、機具、操作人員、檢測機臺培訓養成，建立國內鈍感化標準SOP規範。
- (二) 彈藥火工所需中間產物及原物料，與醫藥、染料及彈藥等領域息息相關。惟我國受限「槍砲彈藥刀械

管制條例」限制，致使彈藥火工研發、生產、製造、販賣等均須經國家機關核准。建議透過國防政策法規修訂，擴大產學合作與國內學校（國防大學理工學院、臺灣大學等）鏈結，共同研製與小批量量產新式火炸藥配方，提供未來量產之依據。

二、建立完善分屯作為，強化戰力保存能力

美國智庫「中共攻臺大解密」提到，中共武力犯臺最新採取行動為對臺封鎖及火箭軍轟炸，以奪取整體作戰首要制電磁權、制空權與制海權。⁵⁹ 在國軍尚未量產替換鈍感彈藥前，為降低彈藥屯儲遭導(砲)彈攻擊而引發殉爆，勢必強化彈藥庫抗炸能力及逐步將平面庫改為半地下化庫房。然彈藥庫改為全面半地下化，統計國軍現有未具抗炸、溫溼度等環控功能「磚造老舊平面庫房」計222棟，改建所需經費高達約25億美元，且整建

56. 〈俄烏若開戰，中烏軍工合作會受影響嗎？兩國航發合作或受損失〉，每日頭條，<https://kknews.cc/military/pjlg52j.html>，檢索日期：民國111年3月4日。

57. 黃財官，〈中共「新安全觀」戰略研析與策略作為〉《陸軍學術雙月刊》，第43卷第491期，民國96年2月，頁55-56。

58. 周茂林譯，〈法國與西班牙國防工業發展〉《國防譯粹》，第44卷第12期，民國106年12月，頁81-83。

59. 范元基，〈以南斯拉夫聯盟防禦北約空襲行動論我不對稱防衛作戰之思維〉《空軍學術雙月刊》，第212期，民國109年6月1日，頁37-38。

時間恐達40年之久。誠如《韓非子·難勢》中《矛與盾的邏輯關係》，⁶⁰ 為提升庫房空(抗)炸能力，現有彈藥庫房抗炸防禦程度勢必須參考美軍TM-5-855-1技術手冊，於軍事抗炸防護結構在設計增加「抗貫穿層、爆壓衰減層」，以抵禦飛(炸)彈的貫穿效應，⁶¹ 此法設計將導致整建經費再大幅提升，勢必造成我國防預算壓力與負荷。

因此，可參考科索沃戰爭針對敵空襲作法，就是「欺敵偽裝、分散部署」等作為，降低敵空襲造成損害。所以彈藥庫及前支點所屯儲位置，平時應選定多個民間堅固建築物、賣場地下室、橋樑涵洞、隧道內或現有具隱(掩)蔽設施等安全處所開設「彈藥補給(前支)點」，⁶² 以達分散屯儲風險及達成就近整補目標，滿足部隊作戰需求。

三、落實滲透運補規劃，演訓驗證勤支效能

面對未來科技化、自動化與數位化的戰場環境，後勤整備作為須與時俱

進，觀察「俄烏戰爭」俄羅斯雖擁有強大空(攻)襲火力、有良好情報蒐與空優支援，惟俄軍進行大規模運補時，車隊因疏於隱(掩)避及疏散作為，且彈藥尚未換裝鈍感彈藥，致運補時遭烏克蘭運用各式武器多次炸毀運補車隊，車隊同時因彈藥殉爆造成全數毀損。⁶³ 由此得知，俄羅斯如將現行彈藥替換為鈍感彈藥，雖車隊遭砲(飛)彈炸毀，將不致於因彈藥殉爆產生人員與車隊全毀困境，衍生作戰部隊因補給問題造成攻擊停滯，與綿延數公里等待補給窘境。

考量當前我國軍尚未換裝鈍感彈藥，為避免車隊及運補彈藥遭炸毀，藉由漢光、演訓及基地測考時機，驗證彈藥補給課題是否可同時結合現行動員與委商機制，落實編組真、偽車隊，運用戰鬥間隙，採「小群多路，滲透運補」等偽裝、欺敵措施遂行運補任務，避免車隊遭敵空襲造成傷損，以強化運補效能。⁶⁴

60. 同註59，頁38-39。

61. 盧騰昱、黃金德，〈現在戰爭的盾牌-軍事掩體抗炸設計〉《新新季刊》，第50卷第1期，民國111年1月，頁26-28。

62. 同註47，頁26-27。

63. 〈俄軍運補車隊被全殲！張誠：無人機搭配迫擊砲〉，三立新聞網，<https://www.setn.com/News.aspx?Newsid=1081819>，檢索日期：民國111年3月9日。

64. 同註47，頁26-28。

伍、結論與建議

由於臺海軍力逐漸失衡，審視中共近年除了快速發展聯合作戰及強化聯合指揮機制，亦加速新型高科技武器裝備研發與部署，同時廣泛改良傳統性武器性能，與發展多樣化微型武器，從而企圖改變作戰方式，嘗試藉由擴大戰術戰法運用加快戰爭節奏，造成我國在防衛作戰的心理壓力。⁶⁵

前總統府戰略顧問海軍一級上將劉和謙曾在《為將之道》提到，戰爭是死生之地，存亡之道、國之大事，面臨戰爭唯有爭勝爭先，而戰爭的勝敗，則取決於國防事務如何建軍備戰。⁶⁶ 所以，因應戰爭型態不斷改變，而以科技研發作為支撐，乃是「創新」戰術戰法的不二法門，^{67、68} 中共除擁有現代化軍事科技，更加透過改善「戰場經營、戰力防護、補給勤支等作為」持續努力，現行雖然尚未完成鈍感彈藥全面更替，然假以時日，必可達成鈍

感化目標。而我們身為國軍後勤的一份子，更須借鏡各國發展優勢，深入瞭解國防與產業界如何成為互動之夥伴關係為重要研究課題與發展方向，俾確保後勤支援無虞。本研究分別就「科技研發、部隊訓練、勤務支援」等面向，建議我國軍採行作為如下：

一、就科技研發而言，綜觀中共在2011年起，藉由「軍民融合(Military-Civil Fusion, MCF)」策略，將國家安全、軍事科技藉由與民生工業採合作共存相依的方式，就可看出中共執行軍隊現代化及致力發展軍事科技的重視。然現今美國、中共及北約等國早已在新型鈍感彈藥有了重要的研發與突破，實值我國借鏡參考運用。而我國行政院、國防部對中科院、軍備局、工研院及大專院校等，能否借鏡烏克蘭境內近3,600家軍工與民間企業構成經濟生態圈型態，⁶⁹ 實施跨部會合作共同發

65. 簡宏宇，〈中共研發全氦陰離子鹽對我威脅與影響之研析〉《陸軍學術雙月刊》，第56卷第573期，民國109年10月，頁79。

66. 徐衍璞，〈論述第二次世界大戰德國名將古德林、曼斯坦、隆美爾將道風範〉《陸軍學術雙月刊》，第56卷第569期，民國109年2月，頁41。

67. 余永章，〈簡述將校才德治軍之要〉《陸軍學術雙月刊》，第56卷第569期，民國109年2月，頁4-5。

68. 同註65，頁79-80。

69. 〈解放軍國防預算罕見被外媒冷落，他諷「7.1%增幅」無關烏俄衝突〉，ETtoday新聞雲，<https://www.ettoday.net/news/20220305/2202000.htm?form=mweb-newsshare-line>，檢索日期：民國111年3月6日。

展研製鈍感彈藥，再透過外購研發製造經驗與技術轉移，推動國內在彈藥製程發展跨上新里程。

二、就部隊訓練而言，在不對稱作戰下彈藥整補，需建立敵情威脅與安全防护概念，各部隊於平時應落實與友軍支援協定簽訂與安全防护演練，利用年度漢光演習或戰備訓練月等時機，透過完整兵要調查、選定堅固設施、運用多元化輸具、運補路線規劃、建立運補安全走廊與基本安全防护能力等科目演練，確保補給勤支能有效達成任務。

三、就勤務支援而言，後勤整補攸關部隊戰力發揮，考量我國國力與資源問題，國軍應參考近代戰役與我國敵情相似國家(如：科索沃)作法，並借鏡「烏俄戰爭」所遭遇運補問題，藉美國「新聯合作戰概念」提到，有效運用「利用民間堅固設施、分散屯儲配置、靈活調整載具」等手段；⁷⁰ 思考如何以最節省開支與精進現行「軍民融合」、「民物力動員」及「國家政策」等作為，實施民、物力

車機動員徵集與適時開放「管制性軍品」委商運補任務，以配合區域安全防护與隱(掩)蔽作為，尋求奇正相輔、明暗相生之補給模式，以達平、戰時密切分工合作，確保戰力持久與發揚。

最後，即使在科技化的現代中，彈藥爆炸事故迄今仍頻繁在世界各地不斷的發生，同時在我國軍採取守勢作戰整體防衛構想中，面對中共具優勢之導彈及空襲的威脅下，為降低敵空(砲)襲或作業不慎所造成彈藥殉爆，衍生之重大的人員傷亡和財產損失。如前所述，鈍感彈藥研製無疑是未來避免核武以外之重要武器發展的方向，因此唯有積極拓展中科院、軍備局與民間廠商的三方軍事融合，協助國軍建構完整「後勤供應鏈」體系，努力尋求與投資發展鈍感彈藥，將是國軍未來因應不對稱戰爭中必然的結果。

作者簡介

邱信智中校，國防大學理工學院化材所碩士畢業。預官87年班，後校正規班93年班，曾任後訓中心彈藥教官組主任教官、組長，現為五支部彈藥庫業務課課長。

70. 王建基譯，〈新聯合作戰概念：全球公域介入及機動聯合構想〉《國防譯粹》，第44卷第7期，民國106年7月，頁20-22。