

中共研發新型全氮類含能材料對我防衛作戰威脅與影響

作者/簡宏宇少校



國防大學理工學院 94 年班、美和科技大學經營管理碩士班；曾任隊長、所長、兵工修護官，現任職於陸軍步兵訓練指揮部特業組教官。

提要

- 一、新型含能材料是世界軍事強國爭相發展的重點，也是未來國家掌控核心軍事科技和技術的重要關鍵點，全氮類化合物因具有高密度、高生成焓、超高能量與爆炸產物清潔等優點，是成為新一代含能材料的典型產物，受到軍事強國的重視；而中共在 2017 年 1 月宣布合成首個全氮陰離子鹽，可以廣大應用在軍事科技上，對我國家安全造成潛在的嚴重威脅。
- 二、2019 年 10 月 1 日中共建政 70 周年，高調展示東風-41 型洲際彈道飛彈、巨浪-2 型潛射彈道飛彈、長劍-100 型超音速巡弋飛彈及東風-17 型高超音速彈道飛彈等新型武器，未來若在全氮陰離子鹽材料研發及量產技術成熟後，投入運用於飛彈武器及推進系統，將可能大幅提升中共在全球的戰略威懾優勢，對我國防安全亦將造成嚴重的影響。
- 三、在中共高科技武器不斷創新之際，新的戰爭型態亦不斷演進，我國未來面對中共新型含能材料的研發成功，現有的高效能防空飛彈將面臨更嚴峻與不可測的威脅，全軍官兵應認識高科技戰爭發展方向與新的戰爭型態正已經靜靜的轉變之中，未來我應強化心理建設，積極思考防衛作戰因應策略。

關鍵詞：含能材料、全氮陰離子鹽材料(N_5^-)、金屬氫、高能火藥、第四代核武

壹、前言

「全氮陰離子鹽材料」¹是一種比黃色炸藥(TNT)威力還要強大 18~20 倍的高能含能材料，這種材料目前在國際間尚無相關法案或公約可以管控它的研發與運用，中國大陸南京理工大學胡炳成教授研究團隊於 2017 年 1 月成功合成了世界首個全氮陰離子鹽，這代表未來可以利用這種高能含能材料製造威力更大的炸藥、發射藥、推進劑，以美國密蘇里戰艦 16 英吋主砲其高爆砲彈裝藥為 70 公斤為例，若換成全氮陰離子鹽材料，威力將可高達 1.4 噸傳統高爆炸藥，若將此種材料運用到核子武器上，未來亦有可能研發出體積小無輻射污染的第四代核子武器，研判中共研發此高能含能材料主要針對目標是與先進國家競爭軍武科技發展，增加戰略威懾或報復的能力，但不能排除未來運用範圍，將會直接威脅到我國防安全，國軍現有防禦工事及配賦的武器裝備若無相對提升效能，未來是否仍能夠發揮預期的反制效果，本於「防範於未然」之觀點，要長期關注與重視它未來的發展，才能有效確保國家安全，本篇研究即是本此精神讓讀者瞭解科技將主導戰爭成敗，要認識敵人的潛勢威脅，才不會發生未來要面對突發威脅時束手無策之窘境。

貳、何謂高能含能材料

含能材料(Energetic Material)是在一定條件下，自身能夠發生氧化還原反應，並釋放出大量能量的一類化合物或混合物，²其用途可以作為炸藥、推進劑、發射藥及火工品等主要原料，含能材料在性能上很微小的改善，就可能顯著影響武器系統的效能。目前已知的含能材料主要是以硝基等為致爆基團的 CHON 類化合物，³但 CHON 類含能材料在極限能量提高的潛力只有 30%，因此中共在含能材料的研究人員極力探索其他貯能方式與途徑。⁴

一、高能含能材料釋義

含能材料運用於傳統火藥上如硝基炸藥-三硝基甲苯(Trinitrotoluene, TNT)、硝酸酯炸藥-硝化甘油(Nitroglycerin, NG)、硝胺炸藥-黑索金(Research Department explosive, RDX)和奧克托今(Outokin explosives,

¹全氮陰離子鹽材料為一種無機化合物，其結構中的陰離子全部由氮元素構成，即陰離子部分含氮量達到 100%，可運用在炸藥、火藥、火箭推進劑等用途上，中共亦稱為全氮型超高含能材料。參考南京理工大學網站，〈中國大陸合成世界首個全氮陰離子鹽〉，<http://sce.njust.edu.cn/1559/list35.htm>，2017 年 1 月 27 日。

²羅運軍、龐思平、李國平，《新型含能材料》(中國大陸北京：國防工業出版社，2015 年 1 月)，頁 1。

³傳統火(炸)藥的基本元素主要是 C(碳)、H(氫)、O(氧)、N(氮)，因為該類火(炸)藥在安定性、燒蝕性、腐蝕性、相容性以及感度、煙、焰等性能方面具有優勢。參考王澤山主編，《火炸藥科學技術》(中國大陸北京：北京理工大學出版社，2002 年 12 月)，頁 10。

⁴許誠、畢福強、葛忠學、樊學忠、王伯周、汪偉、劉慶，〈全氮陰離子 N5-的研究進展〉《化工發展》(中國大陸北京)，2012 年，第 31 卷第 9 期，頁 2,019~2,023。

HMX)，高密度高氮含量化合物-三硝基氮雜環丁烷(Trinitroazetidine，TNAZ)、六硝基六氮雜異伍茲烷(HNIW/CL-20)及八硝基立方烷(Octanitrocubane，ONC)等；(如表一)而高能含能材料是指能量比常規炸藥(通常為 10^3 焦耳/克，以下簡稱 1 kJ/g)至少高 10 倍以上的高能量密度材料，是發展高效毀傷的核心技術。⁵

表一 常規炸藥與高能含能材料能量比較表

類別	特性	爆炸能量(kJ/g)
三硝基甲苯(TNT)	由甲苯經過硝化製成黃色結晶，熔點為 80.9℃，安定性高利於囤儲。	4.2
硝化甘油(NG)	由甘油、濃硝酸和濃硫酸混酸硝化製成的無色透明液體，沸點 50℃，安定性較低但爆炸能力極強。	6.62
黑索金(RDX)	由濃硝酸直接硝化或乙酸酐合成法製成無色晶體，熔點為 205.5℃，起爆容易，是綜合性極佳的炸藥，可作為發射藥。	6.636
奧克托今(HMX)	由乙酸酐、多聚甲醛和硝酸銨存在下，用濃硝酸硝化製成無色晶體，熔點為 282℃，綜合性優於黑索金，成本昂貴，中共將其用於高威力的飛彈彈頭、核武器的起爆裝藥和固體火箭推進劑。	6.092
三硝基氮雜環丁烷(TNAZ)	使用硝基甲烷法或氯代環氧丙烷法製成白色晶體，熔點為 99℃，成本昂貴，塑性好能與其它炸藥相容提升效能，可作為發射藥和固體火箭推進劑。	5.88
六硝基六氮雜異伍茲烷(HNIW/CL-20)	化學合成白色晶體，最大爆速、爆壓、密度等參數都優於 HMX，主要用於固體火箭推進劑，美國以 CL-20 為基礎，發展多種其他用途炸藥。	7.56
八硝基立方烷(ONC)	其合成方法繁瑣，條件苛刻，安定性高，但爆炸能量強大，且其分解產物為穩定無毒的二氧化碳和氮氣。	7.8
高能含能材料	比常規炸藥至少高 10 倍以上的高能量密度材料。	10~100

資料來源：王澤山主編，《火炸藥科學技術》(中國大陸北京：北京理工大學出

⁵李玉川、龐思平，〈全氮型超高能含能材料研究進展〉《火炸藥學報》(中國大陸北京)，2012 年 2 月，第 35 卷第 1 期，頁 1。

版社，2002 年 12 月)，頁 15~16，作者整理。

二、高能含能材料類型

目前高能含能材料主要分為兩類，一類是基於化學能的高能物質，如高能/高釋放率(奈米鋁、奈米硼)、全氮類及金屬氫等，能量達到 10~100 kJ/g；另一類是基於物理能的高能物質(如鈾-235 及鈾-239 同位素、反物質材料等)，能量水準在 100 kJ/g 以上。⁶

在化學能的含能材料分子中，以氮代替碳的化合物具有高密度優點，且中共研究分子中的 N-N 與 N=N 在反應時，僅產生氮氣或其他含氮化合物，相較於物理能的高能物質易產生輻射污染，此種材料是乾淨良好的材料。因此，中共認為 N-N 與 N=N 的「全氮化合物」將是含能材料發展的重要方向，其全新的貯能方式、超高水準的能量密度，將推動含能材料技術水平的發展。⁷

參、全氮陰離子鹽概述

鹽在化學中，是指一類金屬離子(如 Ca^{2+})或銨根離子(NH_4^+)與酸根離子(如 N^{3-})或非金屬離子結合的化合物，一般的鹽由陰、陽離子兩部分依靠靜電作用的離子鍵構成，無機化合物領域中，鹽的種類佔了 80%以上，有簡單鹽、混鹽、復鹽、配鹽等，其中有關全氮化合物簡單說明如下。

一、全氮化合物特性

「全氮化合物」指的是分子結構中有多個氮原子直接相連的化合物(如疊氮)，由於其高氮低碳氫含量以及高張力，使得該類化合物通常具有高的生成焓，⁸是理想的高能量密度材料，同時由於其分解產物為較無污染的氮氣，多氮化合物被稱為「綠色含能材料」。由於其高張力造成的不穩定性，多氮化合物的合成是一項極具挑戰性的工作，也是國際含能材料研究領域的熱點。⁹多氮化合物除了作為含能材料使用外，還可作為氮化碳奈米材料前體，用於農藥、醫藥、感光材料等領域的合成和應用研究。

二、全氮陰離子鹽種類

所謂全氮陰離子鹽就是指鹽的結構中，陰離子全部由氮元素構成，即陰離子部分含氮量達到 100%。含氮量高的化合物一般都可以作為能材，運

⁶同註 5，頁 1。

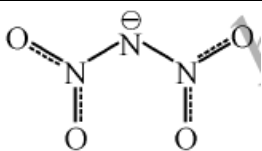
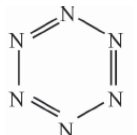
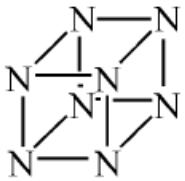
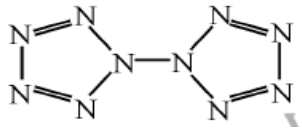
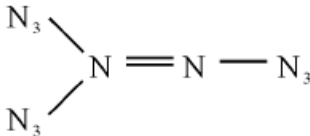
⁷同註 4，頁 2,020。

⁸「焓」為化學名詞，在化學反應中有吸熱或放熱現象，用以解釋反應物和產物之熱含量，通常以 kJ/mol 為單位，參考自國家教育研究院網站，<http://terms.naer.edu.tw/detail/535156/>，檢索日期：2020 年 6 月 5 日。

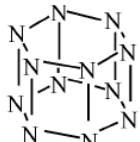
⁹每日頭條，〈南京理工大學發表 Science，報道首例五氮唑陰離子鹽的合成〉，<https://kknews.cc/science/gv2qqel.html>，2017 年 2 月 13 日。

用在炸藥、火藥、火箭推進劑等用途上，例如尿素、硝酸銨、纖維素三硝酸酯、黑索金、TNT、硝化甘油等許多物質，就是利用其含氮化合物爆炸或燃燒所產生的巨大能量。¹⁰

表二 $N_3 \sim N_{12}$ 結構全氮衍生物

化合物	結構	說明
N_3		1860 年由美國科學家 Curtius 和 Radenhausen 發現，在含能材料及醫藥等領域得到廣泛研究與應用。
N_4		具有高的化學能和空間張力，若作為火箭推進劑，將比現有最好的推進劑能量高 69%，但迄今各國尚未有合成方面資訊。
N_5		1998 年由美國科學家 Christe 等成功合成出線狀結構 N_5^+ 陽離子，是一種具有巨大爆炸力的白色鹽粒物質，但穩定性難以控制。
N_6		多數 N_6 為環狀結構，穩定性比 N_5 差。
N_7		2010 年美國科學家 Christe 發表合成探索，但目前尚無法通過化學方法分離出 N_7 負離子，經理論計算穩定性較 N_5 差。
N_8		N_8 立方烷是近年理論研究熱點，相關研究已有數十年，但由於合成難度高，迄今尚無合成方面的嘗試，其化合物具有高爆炸能量。
N_9		理論具代表性的為線型結構，但目前尚無合成方面資訊。
N_{10}		目前尚無通過化學方法可以合成，但穩定性太差，研究者很少。
N_{11}		理論計算表明，某些線型結構的 N_{11} 具有一定的穩定性，但目前尚無合成資訊。

¹⁰每日頭條，〈強：首個「全氮陰離子」鹽〉，<https://kknews.cc/zh-hk/science/x59929r.html>，2017 年 2 月 6 日。

N ₁₂		N ₁₂ 也是近年來研究較多的全氮結構，但目前尚無合成資訊。
-----------------	---	---

資料來源：李玉川、龐思平，〈全氮型超高能含能材料研究進展〉《火炸藥學報》(中國大陸北京)，2012 年，第 35 卷第 1 期，頁 2~4，作者整理。

自從 1772 年美國科學家自大氣中分離出來 N₂ 以後，直到 1890 年，才發現第一種全氮離子 N₃⁻，稱為「疊氮酸」或「疊氮酸鈉」，由 3 個氮構成的負價陰離子(N₃⁻)。¹¹此後相關研究止步不前。科研工作者對從 N₃ 到 N₁₂ 的各種全氮衍生物進行了大量的理論預測，(如表二)但真正製取成功相關化合物的成果少之又少，用於研製全氮離子的前體化合物「芳基五唑」直到 1956 年才首次被合成；¹²近期，美國於 1999 年在空軍研究實驗室首次合成呈線狀 N₅⁺ 陽離子，當時研究目的是製造新型火箭燃料來取代有毒的肼類火箭燃料，¹³現已研發由(N₅⁺)和(N₃⁻)合成的(N₈⁺)。¹⁴

肆、中共研究發展歷程

2012 年 9 月中共研究人員發現全氮陰離子(N₅⁻)是研製全氮高能鹽(N₅⁻+N₅⁺)的重要橋梁。N₅⁻+N₅⁺ 綜述了 N₅⁻ 的前體化合物「芳基五唑」之合成方法與反應原理、結構表徵和穩定性研究；通過芳胺的重氮化、環加成反應，成功合成出「芳基五唑」，利用低溫條件下的拉曼光譜、核磁共振譜及單晶繞射等儀器分析獲得了「五唑環」的結構資訊，並系統化研究了取代基和溶劑對「芳基五唑」穩定性的影響，進而利用電離法在質譜中檢測到了 N₅⁻ 離子。但是，利用化學方法無法達到量產等級的研製，其中「芳基五唑」化合物的穩定性較差，是造成 N₅⁻ 的化學合成難以取得突破性進展的主要原因。¹⁵

中共南京理工大學胡炳成教授團隊在其早期的研究中發現：在芳基五唑的芳基間位/對位上增加給電子基團的數目，就能提高由芳基五唑形成 cyclo-N₅⁻ 離子的效率。於是，他們研究透過加入一種試劑，在芳基五唑的碳氮鍵被切斷的同時來穩定所形成的 cyclo-N₅⁻ 離子。經過反覆實驗，發現採用間氯過氧苯甲酸

¹¹每日頭條，〈中國大陸造出威力比核武器大卻無污染的 N2 爆彈，美國拿出金屬氫 PK〉，<https://kknews.cc/history/38kopgo.html>，2017 年 2 月 1 日。

¹²「五唑基」為有機化合物之基，化學式 N=N=N=N-N-，參考自國家教育研究院網站，<http://terms.naer.edu.tw/detail/535962/>，檢索日期：2018 年 12 月 8 日。

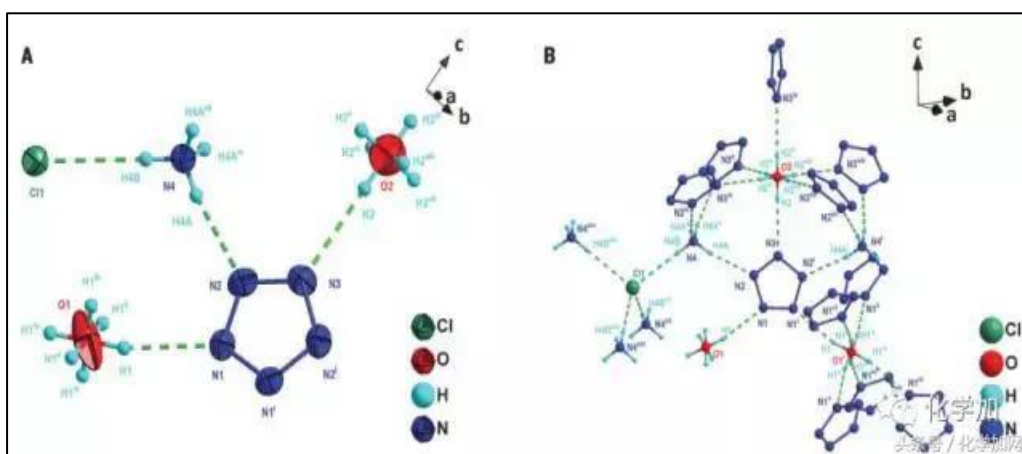
¹³聯氨、聯胺、二氮烷或肼(hydrazine)，化學式 N₂H₄、H₄N₂ 或 H₂N-NH₂，是無色的劇毒化合物，常態下呈無色油狀液體，常用於火箭燃料，參考自國家教育研究院網站，<http://terms.naer.edu.tw/detail/2772701/>，檢索日期：2020 年 2 月 18 日；科技新報，〈取代劇毒的火箭推進劑 新型液體火箭燃料採用 MOF 材料〉，<https://technews.tw/2019/04/09/rocket-fuel-mof-hydrazir.html>，2019 年 4 月 9 日。

¹⁴同註 9。

¹⁵同註 4，頁 2,021。

(m-CPBA)和甘氨酸亞鐵(Ferrochel)分別作為切斷試劑和助劑，並與 3,5-二甲基-4-羥基苯基五唑作用，透過氧化斷裂的方式選擇性地切斷芳基五唑分子中的碳氮鍵，再經過濾及層析管柱純化，可以在室溫下以 19%的回收率，獲得穩定的含有 cyclo-N₅⁻ 離子的無機鹽，其化學結構式為(N₅)₆(H₃O)₃(NH₄)₄Cl，產物為白色固體。¹⁶

2017 年 1 月胡炳成教授團隊，宣布合成首個全氮陰離子鹽，(如圖一)具備高密度、高能量、爆炸產物清潔等多項優點，研究團隊採用「間氯過氧苯甲酸」和「甘氨酸亞鐵」分別作為切斷試劑和助劑，通過氧化斷裂的方式首次成功研製室溫下穩定全氮陰離子鹽。熱分析結果顯示，這種鹽分解溫度高達 116.8 °C，具有相當好的熱穩定性。¹⁷南京理工大學亦指出，全氮類物質的能量可達 10~100 kJ/g，相當於 TNT 炸藥的 2 至 20 倍，目前該領域的研究熱點之一是全氮陰離子鹽的合成技術。¹⁸



圖一 N₅⁻全氮陰離子鹽 PHAC 的晶體結構圖
資料來源：每日頭條，〈強：首個「全氮陰離子」鹽〉，
<https://kknews.cc/zh-hk/science/x59929r.html>，2017 年 2 月 6 日。

伍、全氮陰離子鹽運用範圍

全氮陰離子鹽具備的高密度、高能量及爆炸產物清潔等特點，可以廣大應用在軍事科技上，目前初步研判中共已朝向不需核分裂的新一代核武、傳統炸藥性能提升及高能火箭推進劑等方向發展。(如表三)

¹⁶同註 10。

¹⁷東森新聞，〈中國大陸新春震撼發表新炸藥 威力堪比核武卻無汙染〉，
<https://www.ettoday.net/news/20170130/858367.htm>，2017 年 1 月 30 日。

¹⁸同註 1。

表三 全氦陰離子鹽材料軍事用途

軍事用途	效能與優點
新一代核子武器	體積小、高密度、高能量、爆炸後產物清潔，可搭載於彈道飛彈，在戰略使用上更具威嚇性；另未來可投入研發取代氫彈中的核分裂點火裝置，發展無輻射污染的第四代核武器。
傳統炸藥和發射藥	爆炸威力是現在高能炸藥的 18~20 倍之多，爆炸殺傷半徑與投射距離將可大幅提升。
高能火箭推進劑	大幅提升火箭比衝量，達到單級火箭即可突破大氣層，減輕人類探索太空的難度；另可用於改良飛彈推進系統，將可能全面提升射程、飛行速度及攻擊能力。

資料來源：作者整理

一、新一代核子武器

第一代核武器是指利用原子核分裂反應所釋放的能量，產生大規模爆炸殺傷破壞效應，即美軍於第二次世界大戰對日本使用的原子彈；第二代核武器在講求更高爆炸能量的基礎下，以原子彈作為點火裝置，利用其核分裂產生的高溫高壓，使作為核燃料氘和氚原子高速碰撞產生核融合，釋放巨大能量，即氫彈；(如圖二)¹⁹第三代核武器講求等特殊功能，例如中子彈、衝擊波彈、 γ 射線彈等。



圖二 原子彈(左)及氫彈(右)爆炸場景

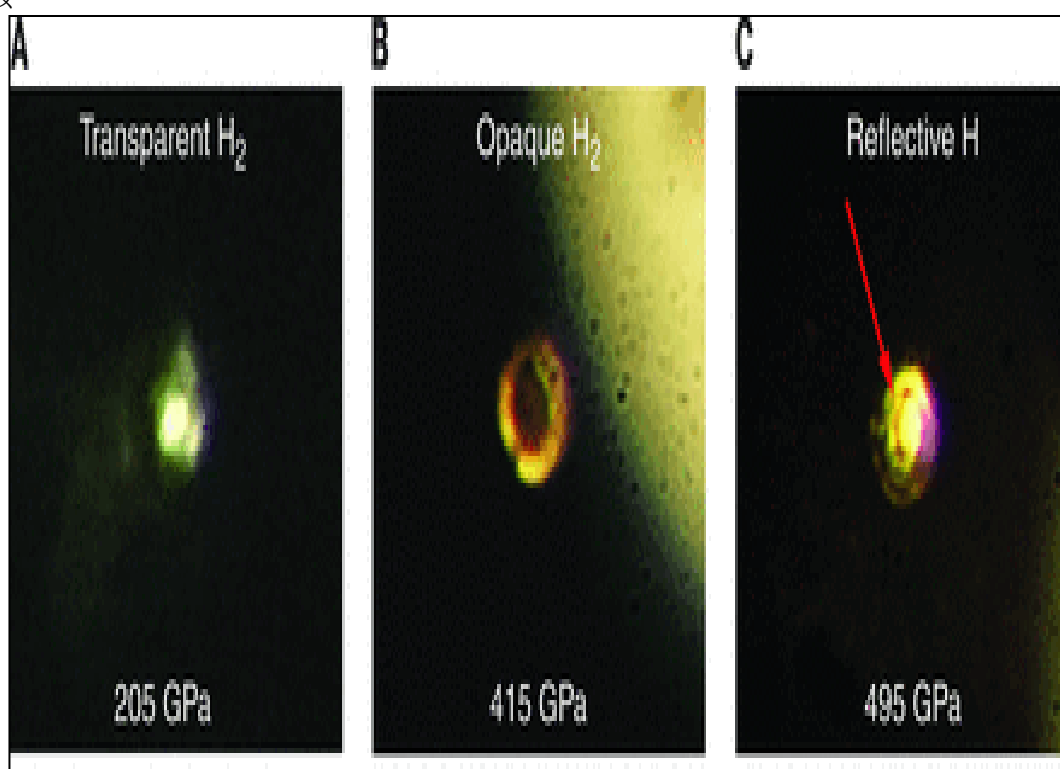
資料來源：每日頭條，〈中國大陸科學家合成世界首個全氦陰離子鹽〉，<https://kknews.cc/science/6kxpog3.html>，2017 年 1 月 28 日。

第四代核武器關鍵是核爆炸效應模擬技術和慣性約束核融合裝置，不需要現場引爆進行核試驗，不受禁止核試驗條約約束，較有代表性的為美國的金屬氫、(如圖三)²⁰美國與法國共同合作的核同質異能素武器、美國與法

¹⁹王繼新，〈氫彈之路-氫彈武器設計構型的早期發展〉《兵器知識》(中國大陸北京)，第 376 期，兵器知識雜誌社，2015 年 5 月，頁 62。

²⁰美國科學家將極強的壓力(495 萬大氣壓力)施加於氫原子上，使之變成金屬，從而造出一種新的高技術材料，

國、瑞士及俄國研究中的反物質武器。²¹新一代核子武器具備不需進行核試驗，不受聯合國禁止核試驗條約約束，無輻射污染，在國家戰略運用上更為靈活等優點，美國、俄國、日本及中共等均在這方面投入研究；中共在 2017 年 1 月由南京理工大學胡炳成教授團隊，成功合成了世界首見全氦陰離子鹽，²²研判可能投入應用全氦陰離子鹽材料取代氫彈中的核分裂點火裝置，發展無輻射污染的第四代核武器，²³然就核融合嚴苛的環境而言，因氘和氚原子本身都帶有正電，必須運用高達攝氏 2 億度的高溫環境，讓原子核變成電漿狀態，使相斥的原子核產生核融合效應；²⁴全氦陰離子鹽歸屬化學能材料，其能量若要達到物理能水準，仍尚需投入大量資源研發。



圖三 施加 495 萬大氣壓力於氫原子產生金屬氫
資料來源：Ranga P. Dias, Isaac F. Silvera, “Observation of the Wigner-Huntington transition to metallic hydrogen”, Science(AAAS, USA), Vol. 355, (17 Feb 2017), pp. 715-718.

爆炸威力相當於相同質量 TNT 炸藥的 25-36 倍，是目前最強大的化學爆炸物，稱為乾淨氫彈，因此被列為美國國家研究項目，此技術有望使美國研製成第四代核武器。

²¹王少龍、羅相杰，《核武器原理與發展》（中國大陸北京：兵器工業出版社，2005 年 12 月），頁 65~112。

²²環球網，〈世界首個全氦陰離子鹽成功合成〉，<https://read01.com/3x8QDk.html>，2017 年 2 月 2 日。

²³每日頭條，〈中國大陸核武器已發展至第四代，性能極佳與美不相上下〉，

<https://kknews.cc/military/9223rv8.html>，2017 年 2 月 13 日。

²⁴科技大觀園，〈核融合的秘密〉，<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/skzb.html>，2020 年 5 月 20 日檢索。

二、傳統炸藥和發射藥

根據理論預測，全氮類物質的能量最高可達 TNT 炸藥的 20 倍，²⁵奧克托今(HMX)炸藥的 18 倍，換句話說，爆炸威力是現在高能炸藥的 18~20 倍之多，這可以用於製造更高威力的炸藥和發射藥。以二戰時期美國密蘇里號戰艦使用的 16 吋三聯裝主砲為例，其高爆砲彈裝藥約 70 公斤，若砲彈裝藥及發射藥換成新型全氮類物質，相當於裝載了約 1.4 噸的傳統高爆炸藥，爆炸殺傷半徑與投射距離將可大幅提升。(如圖四)²⁶



圖四 常規發射藥(左)與裝填全氮類物質(右)爆炸後衝擊波示意圖

資料來源：每日頭條，〈美國宣布合成出金屬氮，「乾淨氮彈」真的不遠了〉，<https://kknews.cc/news/e9l8vrn.html>，2017 年 1 月 29 日。

三、高能火箭推進劑

長征九號是中共航天科技集團研製中的巨型登月火箭，主要任務是負責載人登月、火星科考取樣返回、太陽系外圈行星探測等多種高難度任務。2016 年，長征九號完成驗證，預計在 2030 年前首次發射。其近地軌道運載能力為 50~140 噸，月球轉移軌道運載能力為 15~50 噸，與美國神農五

²⁵同註 18。

²⁶每日頭條，〈美國宣布合成出金屬氮，「乾淨氮彈」真的不遠了〉，<https://kknews.cc/news/e9l8vrn.html>，2017 年 1 月 29 日。

號登月火箭載運能力相近。²⁷推力大的火箭是發展太空探勘必要的工具，因核能火箭研製困難，傳統火箭將是長時間人類上太空的工具，中共胡炳成教授團隊研發合成的全氦陰離子鹽，也是運載火箭的關鍵技術，新型材料將可大幅度提升火箭的比衝，有望大幅度提高運載火箭性能，²⁸如應用於高推力的火箭燃料，將有助於對大型火箭的開發。²⁹另外，未來全氦陰離子鹽材料研發及量產技術成熟後，若投入運用於中共現役各型彈道飛彈，改良彈頭及推進系統，將可能全面提升射程、飛行速度及攻擊能力。

陸、國際尚無相關管控法案

含能材料運用範圍廣泛，並與民生經濟、國防建設、戰略安全息息相關，³⁰甚至於發展大規模毀滅性武器；英國學者 David Held 在論述「軍事全球化」的觀念時曾經指出：戰爭體系的改變、大規模毀滅性武器的擴散，以及軍事管理機制的變革等 3 項因素，是決定國際社會走向戰爭與和平的關鍵議題。³¹國際間為了約束使用、發展、持有各種大規模毀滅性武器，制訂了各種公約及協定，其目的主要是以人道、和平方式解決國際爭端。

一、大規模毀滅性武器公約

大規模毀滅性武器公約(如表四)包含了戰爭所使用的武器(海牙公約、日內瓦公約)、禁止特定的武器(禁止化學武器公約、禁止生物武器公約)、限制武器的研發(部分禁止核試驗條約、全面禁止核試驗條約)、限制正當武器貯存及供應體系(美蘇戰略武器裁減條約)、鑒於共同毀滅原則而反對大規模毀滅性武器(反彈道飛彈條約)及限制核子技術轉移(核武禁擴條約)。³²

²⁷東森新聞，〈長征九號擬 2030 首飛 載運能力為現役中國大陸火箭 5 倍〉，

https://www.ettoday.net/amp_news.php%3fnews_id=1397102，2019 年 3 月 12 日；中時電子報，〈人類最強火箭〉，<https://www.chinatimes.com/amp/tube/20151030005138-261407>，2015 年 10 月 30 日。

²⁸同註 11。

²⁹何偉，〈中國大陸研發高性能的全氦爆裂炸藥可增強傳統武器威力及大型火箭開發〉，

<http://blog.udn.com/H101094880/90205853>，2018 年 9 月 29 日檢索。

³⁰唐易，〈讓中國大陸在火炸藥領域領先世界〉《兵工科技》(中國大陸北京)，2018 年第 4 期，兵工科技雜誌社，2018 年 4 月，頁 40。

³¹Frank Barnaby 原著，高嘉玲譯，王崑義推薦序，〈一場沒有終點的戰爭〉《怎樣製造一顆核子彈》(台北市：商周出版，2004 年 7 月)，頁 3。

³²徐家仁，〈彈道飛彈與彈道飛彈防禦〉(麥田出版社，2003 年 12 月)，頁 277；美國科學家聯盟網站，〈大規模毀滅性武器〉，<http://www.fas.org/nuke/guide/index.html>，檢索日期：2018 年 12 月 27 日；全球安全網站，〈核生化武器及彈道飛彈〉，<http://www.globalsecurity.org/wmd/index.html>，檢索日期：2019 年 1 月 9 日。

表四 國際有關大規模毀滅性武器制定公約及協定

條約名稱	年代	主要內容
海牙公約	1899 1907	國際分別在 1899 年及 1907 年舉行 2 次海牙和平會議，其主要內容可分為和平解決國際爭端、訂定戰爭開始和中立國權利與義務、明確律定戰爭法規等 3 類，正式確立宣戰制度，禁止使用散布窒息性或有毒氣體投射物，並從陸、海、空戰等方面限制作戰手段和方法，完善戰鬥員、戰俘和傷病員的待遇。
日內瓦公約	1906 2005	以國際人道法為核心，區分第一公約至第四公約，分別為改善戰地武裝部隊傷者病者境遇、改善海上武裝部隊傷者病者及遇船難者境遇、戰俘待遇及戰時保護平民等 4 類，其中在 1925 年簽署協議，各國在戰爭中不使用窒息性、毒性或其他氣體，以及使用類似液體、物體或器件，即化學武器與生物武器。
禁止化學武器公約	1993	世界第一個全面禁止，且徹底銷毀一整類大規模殺傷性武器，並具有嚴格查核機制的國際軍控條約，對維護世界和平、國際安全具有重要意義。
禁止生物武器公約	1975	世界第一個禁止發展、生產、貯存生物與有毒武器的公約，締約國家不得取得、持有生物武器，且不可轉讓、援助、鼓勵、誘使其他國家取得生物武器，並以和平方式使用生物科技。
部分禁止核試驗條約	1963	禁止除了在地下以外(大氣層、太空、水下)的一切核武器試驗，其目標是減緩冷戰期間的軍備競賽，及防止核武器試驗造成地球大氣中過量的放射性塵埃。
全面禁止核試驗條約	1996	在「部分禁止核試驗條約」的基礎上，要求締約國承諾不進行、導致、鼓勵或以其他方式參與進行任何核武器試驗爆炸或任何其他核爆炸，並進一步承諾在其管轄或控制下的任何地方，禁止和防止任何核爆炸。
美蘇戰略武器裁減條約	1963 2010	美蘇戰略武器限制談判首度舉行於 1963 年，目的在減少雙方毀滅性核子武器，其中戰略武器裁減條約第一階段(1991)簽訂後，前蘇聯隨即解體，條約於 2009 年到期失效；第二階段(1993)簽訂後，基於多種原因，雙方國會均遲未批准生效；後於 2002 年美俄簽訂「戰略攻擊武器裁減條約」，獲得雙方國會批准生效，另於 2010 年改簽「新裁減戰略武器條約」，雙方需將核子彈頭數量各限制在 1,550 枚以下，並建

		立新的裁武監督機構。
反彈道飛彈條約	1972	美國及前蘇聯同意核戰將毀滅全人類的前提下，有效限制反彈道飛彈系統質與量的部署，並宣佈儘早達成停止核武競賽、有效裁減戰略武器及解除核武裝目標。
核武禁擴條約	1968	由英國、美國、蘇聯和其他 59 個國家締結簽署的一項國際條約，宗旨是防止核擴散、推動核裁軍和促進和平利用核能的國際合作，核國家保證不直接或間接地把核子武器轉讓給非核國家，不援助非核國家製造核子武器；非核國家保證不製造核子武器，不直接或間接地接受其他國家的核子武器轉讓，不尋求或接受製造核子武器的援助，也不向別國提供這種援助。

資料來源：徐家仁，《彈道飛彈與彈道飛彈防禦》(麥田出版社，2003 年 12 月)，頁 277；美國科學家聯盟網站，〈大規模毀滅性武器〉，<http://www.fas.org/nuke/guide/index.html>，檢索日期：2018 年 12 月 27 日；全球安全網站，〈核生化武器及彈道飛彈〉，<http://www.globalsecurity.org/wmd/index.html>，檢索日期：2019 年 1 月 9 日，作者整理。

二、國際尚無含能材料相關管控法案

上述國際公約均針對傳統核子、生物及化學武器而規範，在先進國家以高科技研發新型高能含能材料，目前尚無具體的管控規範，僅能以部分公約加以約束，但這在未來將產生武器與技術擴散的風險，造成新一波國際間和平的威脅。

柒、對我防衛作戰威脅與影響

自第二次世界大戰後，美、中、前蘇聯等軍事強國仍不斷在火藥學與含能材料積極研發，期能藉此突破軍武科技發展，保持領先地位。³³中共的軍事武力以發展高科技武器、彈道飛彈、巡弋飛彈、航空母艦、潛艦與反太空武器等為主要重心，且中共的 C4ISR 與太空作戰能力亦不斷持續提升，未來將可能達到對西太平洋地區大部分軍事目標，施以精準打擊。近年來，中共除藉由國際政治、經濟環境等手段對我造成影響，更頻繁在東南沿海舉行大規模軍演，這些軍演均具有轉換成實戰狀態的潛力；未來，中共新型含能材料除了在軍武科技上與美軍產生新的競爭，對我國亦造成潛在的嚴重威脅，本節針對中共研發新型含能材料，對我可能造成影響與威脅說明如后：

³³張永麗、楊慧群，〈新型含能材料的研究發展〉《四川兵工學報》(中國大陸太原)，2012 年 2 月，第 33 卷第 2 期，頁 123。

一、研發新一代核武擴大對我國戰略威懾優勢

現階段中共仍不斷進行各種研究，積極提升兵力投射的距離與武器的精度，結合陸、海、空、天、電等五維作戰模式下的各種武器，³⁴運用新型含能材料與既有裝備相互結合，賦予新的作戰概念；除此之外，中共積極從事「反介入/區域拒止」戰略的佈局，著眼於阻止美軍介入亞太地區事務，包含發展太空戰力、太空反衛星能力、空軍戰力、以飛彈威脅敵前進基地及資電能力，雖然美軍相繼推展「海空整體作戰」與「亞太再平衡」戰略，然而中共軍力的日漸提升著實影響區域的穩定情勢，更對我國國家安全構成危害。³⁵

美軍近年逐漸加強在亞太地區軍演規模，雖然日、韓等盟國可提供機場、港口及後勤設施做為軍力部署，但相對性在中共的彈道飛彈威脅下亦顯得脆弱，未來若運用全氮陰離子鹽材料成功研發新一代核武，增加對周邊國家戰略威懾選項，使「反介入/區域拒止」戰略發展更為全面，美軍在投入亞太地區兵力風險則同步升高，將使中共間接擴大對我國作戰優勢。

二、提升彈藥性能威脅我軍防禦工事強度

中共自 1960 年代開始發展「三位一體」戰略核打擊力量，逐步建立空基遠程戰略轟炸機空射、海基戰略核潛艇潛射和以陸基發射井發射遠程戰略飛彈進行戰略核打擊的威懾能力。且近年全面進行現代化，包含遠距的監視與打擊力，讓共軍在空中、太空、陸地、海洋、電磁等作戰空間，都逐漸成為領先的國家；³⁶2016 年中共空軍司令員馬曉天證實中共「新型遠程戰略轟炸機轟-20」航程將可能超過 8,000 公里，載彈量可達 20 至 30 噸，並具備隱形能力，中共軍事專家杜文龍在受訪時表示，載彈量的關鍵是彈藥性能有多先進。³⁷而全氮陰離子鹽材料的研發，可縮小彈藥體積，並增加爆炸殺傷半徑與投射距離，填補了彈藥性能在戰略威懾性不足的缺憾，使中共在新一代轟炸機戰略打擊能力大幅提升，同時在陸、海、空主要現役裝備，因彈藥體積縮小、性能提升，將可增加彈藥酬載量，且朝向「三位一體」、「核、常兼備」的方向加速發展。

³⁴ 呂兆祥，〈中共對臺軍事武力發展對我防衛作戰之影響〉《國防雜誌》(桃園)，第 30 卷第 4 期，國防大學，2015 年 7 月，頁 81。

³⁵ 高志榮，〈共軍的「反介入」戰略發展美國因應作為研究〉《空軍學術雙月刊》(台北市)，第 657 期，國防部空軍司令部，2017 年 4 月，頁 31-33。

³⁶ 鄧忻傑譯，Wortzel M. 原著，〈中共軍事現代化及網路作為〉，《陸軍學術月刊》(桃園)，第 52 卷 545 期，2016 年 2 月，頁 128。

³⁷ 每日頭條，〈淺談中國大陸的戰略轟炸機發展〉<https://kknews.cc/zh-tw/military/m3njvk2.html>，2017 年 8 月 1 日。

我軍重要指揮所、觀測所、油彈庫、砲兵及戰車掩體等作戰設施，目前防護結構均以鋼筋混凝土為主，混凝土材料由於承受抗拉強度能力較差，其破壞型態是以張力破壞伴隨剪力破壞，遭受飛彈及炸彈撞擊時，可能產生貫入或貫穿，造成結構體之破壞；³⁸因此，面對中共未來提升彈藥性能，我軍防禦工事強度將可能面臨重大威脅。

三、改良飛彈推進系統壓迫我軍戰力防護時間

中共近年快速換裝新式戰機、軍艦，對我國部署的地對地飛彈、巡弋飛彈數量雖未大幅成長，但射擊精度已有相當程度的改良，同時也將新式遠程火箭部署在東部戰區沿海基地，射程號稱可以涵蓋我國西部地區，且將遠程火箭納為共同打擊敵軍航空母艦的聯合火力之一。³⁹觀察中共曾於 2014 年試射「WU-14 高超音速武器」，採用超燃衝壓發動機及液態燃料，搭配發射推進載台(飛彈或戰略轟炸機)，達到 10 馬赫高超音速性能；⁴⁰另於 2019 建政 70 周年閱兵典禮上，展示東風-17 高超音速彈道飛彈，採用單級固體燃料火箭，飛行速度可達到 20 馬赫，並改良彈頭外型設計，藉由空氣動力產生變軌滑翔，提高攔截難度，增加打擊目標成功率，⁴¹顯示中共在飛彈武器效能及作戰運用層面仍不斷精進提升。

我防衛作戰準備，各項戰力防護作為，以能承受中共第一擊為目標，足夠維持後續防衛作戰能力，中共現有情監偵與彈道飛彈攻擊能力，已可對我國家運作之政、經中心及國內暨軍隊相關通聯與重要設施等目標，實施猝然之先制攻擊，⁴²未來中共若運用全氦陰離子鹽材料提升各型飛彈射程、飛行速度及攻擊能力，並在頻繁的大規模軍演掩護下，對我實施戰略奇襲，壓迫我戰略預警與應變作為時間，我戰力防護將更困難，在敵強大火力轟擊下，我作戰準備必受嚴重影響。

四、加速戰爭節奏影響我防衛作戰心理壓力

即使現代戰場已經進入核子戰爭或高科技戰爭的型態，參戰國要實際上取得最後的勝利，還是必須依靠使用傳統武器的兵員執行清掃並占領戰場，鞏固地域的安定，而槍砲則是傳統武器中極為重要的角色。⁴³隨著現代新

³⁸郁文風主編，《軍事工程教範》，(桃園市：陸軍司令部，2003 年 4 月)，頁 2-30~2-44。

³⁹自由時報，《兩岸戰力失衡 台灣應強化遠距打擊能力》<http://news.ltn.com.tw/news/politics/paper/879029>，2015 年 5 月 10 日。

⁴⁰陳品全，〈中共 WU-14 高超音速武器之研究〉《步兵季刊》(高雄市)，第 255 期，國防部，2015 年 3 月，頁 82。

⁴¹香港經濟日報，〈東風 17 曝光：何謂超高音速導彈〉，<https://inews.hket.com./article/2464169>，2019 年 10 月 5 日。

⁴²同註 34，頁 83。

⁴³國防部，《全民國防教育-國防科技》(台北市：國防部總政治作戰局，2011 年 12 月)，頁 4。

興科學技術的高速發展，越來越多的新型含能物質及其化合物被發掘和使用，且因現代武器、航空、太空等國防工業領域的需要，新型含能材料也持續不斷的發展，而含能材料的性能高低，則直接影響武器的綜合威力。⁴⁴因此，中共目前在含能材料領域上，仍不斷積極追求高能量密度、高能量釋放速率與高力學等性能突破，藉以全面提升各型武器效能。

觀察中共自 2016 年起，透過與各國聯合軍演增加軍事合作機會，在國際及國內共舉行超過 400 餘場旅級以上規模實兵演訓，其中海軍艦艇及空軍各型機種已多次突破第一島鏈，並藉由遠海長航運用轟 6K 戰略轟炸機及遼寧號航空母艦編隊訓練繞行我國一圈，頻繁進出我國海空域周邊進行演訓，運用此舉對我國空軍、海軍及防空飛彈部隊增加戰備壓力，⁴⁵審視中共快速發展聯合作戰及強化聯合指揮機制，並加速新型高科技武器裝備研發與部署，同時朝向廣泛運用於傳統武器的性能改良，發展多樣化的新式微型武器，從中改變作戰方式，藉由擴大戰術戰法運用，逐漸加快戰爭節奏，將造成我國在防衛作戰心理壓力快速遽增。

五、科技發展產生新威脅來源

回溯 2015 年中共舉辦陸軍領導機構、火箭軍和戰略支援部隊成立大會，其中戰略支援部隊編組包含航天系統部，其任務包含太空資訊支援、太空控制、太空攻防及太空軍事活動保障等 4 個面向；⁴⁶另外中共在 2017 年全國人大會議上亦明確指出，國防科技和武器裝備，是軍隊現代化的重要標誌，把國防科技和武器裝備納入國家經濟科技發展體系，才能推動國防科技和武器裝備建設跨越式發展。⁴⁷從上述不難發現，中共非常重視國防事務與武器裝備對未來戰場發展趨勢的影響，且均與科技發展息息相關。

而具備核武的國家，受制於國際間對核武使用上的約制，目前均使用於國家戰略上的威嚇用途，且美、中、俄在太空科技的發展，早已互相掌握各國核武基地情資、投射能力與核彈數量，新型含能材料若與核武器結合發展，將大幅提升爆炸傷害與投射能力，同時因其具有爆炸後無污染的優點，可降低戰爭後遺症，避免傳統核武在使用後可能造成玉石俱焚，且在

⁴⁴安然主編，〈東方的爆裂-從王澤山院士獲獎談火炸藥與含能材料〉，《兵器》（中國大陸北京），第 229 期，北京兵器雜誌有限公司，2018 年 6 月，頁 22。

⁴⁵王涇憲，〈共軍軍改元年演訓概況對我防衛作戰之啟示〉，《陸軍學術月刊》（桃園），第 53 卷 554 期，2017 年 8 月，頁 17-42。

⁴⁶曾志華，〈共軍戰略支援部隊支援效能之研究〉，《步兵季刊》（高雄市），第 275 期，國防部，2020 年 1 月，頁 64。

⁴⁷中國大陸軍網，〈軍報評論：推動國防科技和武器裝備軍民融合〉，http://www.81.cn/big5/jmywyl/2017-03/14/content_7525355.htm，2017 年 3 月 14 日。

研究及使用上不違反聯合國對大規模毀滅性武器的管理約制，這將促使國際間產生新的國家安全威脅，也間接產生擴散所造成的全球性毀滅風險。

捌、結語

國家的武器裝備無法全時全面保持在最新狀態，這是各個國家在建軍備戰面臨的現實問題，自從有戰爭出現以來，軍事科技的發展都自有其獨立體系，且在既有的研究基礎下，帶動社會型態的演進，但是在進入 21 世紀後卻有反轉現象，軍事科技開始受民生科技的牽引，從中共在 2017 年將「軍民融合發展」提升至國家安全和發展的層次，可看出其對軍隊現代化的急迫感。中共在新型含能材料的研發突破，我國應要有所警示，如何在國家資源運用差異下，仍能以不對稱作戰為原則，發展應對之道，才能使國家安全不致受到威脅。當前中共軍力發展，無論傳統裝備或高科技軍武，因為有完整的軍工產業體系，所以能夠有節奏穩定的發展國防工業，台灣海峽對我國安全屏障功能日漸降低，鑑於我國防整體資源有限，唯有強化全民國防理念，全民團結一致抵禦外來威脅，民生與國防結合，生活與戰鬥結合，深植離此一步即無死所之決心，建構全民一體之實體與心理防衛體系，方能有效面對中共日益強大軍力威脅。

※本篇文章係轉引於《陸軍學術雙月刊》第 56 卷 573 期(中華民國 109 年 10 月發行)

參考文獻

- 1.南京理工大學網站，〈中國大陸合成世界首個全氮陰離子鹽〉，
<http://sce.njust.edu.cn/1559/list35.htm>，2017 年 1 月 27 日。
- 2.羅運軍、龐思平、李國平，《新型含能材料》(中國大陸北京：國防工業出版社，2015 年 1 月)。
- 3.王澤山主編，《火炸藥科學技術》(中國大陸北京：北京理工大學出版社，2002 年 12 月)。
- 4.許誠、畢福強、葛忠學、樊學忠、王伯周、汪偉、劉慶，〈全氮陰離子 N₅-的研究進展〉《化工發展》(中國大陸北京)，2012 年，第 31 卷第 9 期，頁 2,019~2,023。
- 5.王澤山主編，《火炸藥科學技術》(中國大陸北京：北京理工大學出版社，2002 年 12 月)。
- 6.李玉川、龐思平，〈全氮型超高能含能材料研究進展〉《火炸藥學報》(中國大陸北京)，2012 年 2 月，第 35 卷第 1 期。
- 7.每日頭條，〈南京理工大學發表 Science，報道首例五氮唑陰離子鹽的合成〉，
<https://kknews.cc/science/gv2qgel.html>，2017 年 2 月 13 日。
- 8.每日頭條，〈強：首個「全氮陰離子」鹽〉，
<https://kknews.cc/zh-hk/science/x59929r.html>，2017 年 2 月 6 日。
- 9.每日頭條，〈中國大陸造出威力比核武器大卻無污染的 N₂ 爆彈，美國拿出金屬氫 PK〉，
<https://kknews.cc/history/38kopgo.html>，2017 年 2 月 1 日。
- 10.國家教育研究院網站，<http://terms.naer.edu.tw/detail/535962/>，檢索日期：2018 年 12 月 8 日。
- 11.國家教育研究院網站，<http://terms.naer.edu.tw/detail/2772701/>，檢索日期：2020 年 2 月 18 日。
- 12.科技新報，〈取代劇毒的火箭推進劑 新型液體火箭燃料採用 MOF 材料〉，
<https://technews.tw./2019/04/09/rocket-fuel-mof-hydrazir.html>，2019 年 4 月 9 日。
- 13.東森新聞，〈中國大陸新春震撼發表新炸藥 威力堪比核武卻無汙染〉，
<https://www.ettoday.net/news/20170130/858367.htm>，2017 年 1 月 30 日。
- 14.王繼新，〈氫彈之路-氫彈武器設計構型的早期發展〉《兵器知識》(中國大陸北京)，第 376 期，兵器知識雜誌社，2015 年 5 月。
- 15.王少龍、羅相杰，《核武器原理與發展》(中國大陸北京：兵器工業出版社，2005 年 12 月)。

- 16.Ranga P. Dias, Isaac F. Silvera, “Observation of the Wigner-Huntington transition to metallic hydrogen” , Science(AAAS, USA), Vol. 355, (17 Feb 2017), pp. 715-718.
- 17.環球網，〈世界首個全氦陰離子鹽成功合成〉，<https://read01.com/3x8QDk.html>，2017年2月2日。
- 18.每日頭條，〈中國大陸核武器已發展至第四代，性能極佳與美不相上下〉，<https://kknews.cc/military/9223rv8.html>，2017年2月13日。
- 19.科技大觀園，〈核融合的秘密〉，<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/skzb.html>，2020年5月20日檢索。
- 20.每日頭條，〈美國宣布合成出金屬氫，「乾淨氫彈」真的不遠了〉，<https://kknews.cc/news/e9l8vrn.html>，2017年1月29日。
- 21.東森新聞，〈長征九號擬 2030 首飛 載運能力為現役中國大陸火箭 5 倍〉，https://www.ettoday.net/amp_news.php%3fnews_id=1397102，2019年3月12日。
- 22.中時電子報，〈人類最強火箭〉，<https://www.chinatimes.com/amp/tube/20151030005138-261407>，2015年10月30日。
- 23.何偉，〈中國大陸研發高性能的全氦爆裂炸藥可增強傳統武器威力及大型火箭開發〉，<http://blog.udn.com/H101094880/90205853>，2018年9月29日檢索。
- 24.唐易，〈讓中國大陸在火炸藥領域領先世界〉《兵工科技》(中國大陸北京)，2018年第4期，兵工科技雜誌社，2018年4月。
- 25.Frank Barnaby 原著，高嘉玲譯，王崑義推薦序，〈一場沒有終點的戰爭〉《怎樣製造一顆核子彈》(台北市：商周出版，2004年7月)。
- 26.徐家仁，《彈道飛彈與彈道飛彈防禦》(麥田出版社，2003年12月)。
- 27.美國科學家聯盟網站，〈大規模毀滅性武器〉，<http://www.fas.org/nuke/guide/index.html>，檢索日期：2018年12月27日。
- 28.全球安全網站，〈核生化武器及彈道飛彈〉，<http://www.globalsecurity.org/wmd/index.html>，檢索日期：2019年1月9日。
- 29.張永麗、楊慧群，〈新型含能材料的研究發展〉《四川兵工學報》(中國大陸太原)，2012年2月，第33卷第2期。
- 30.呂兆祥，〈中共對臺軍事武力發展對我防衛作戰之影響〉《國防雜誌》(桃園)，第30卷第4期，國防大學，2015年7月。
- 31.高志榮，〈共軍的「反介入」戰略發展美國因應作為研究〉《空軍學術雙月刊》(台北市)，第657期，國防部空軍司令部，2017年4月。

- 32.自由時報，《兩岸戰力失衡 台灣應強化遠距打擊能力》
<http://news.ltn.com.tw/news/politics/paper/879029>，2015 年 5 月 10 日。
- 33.陳品全，〈中共 WU-14 高超音速武器之研究〉《步兵季刊》(高雄市)，第 255 期，步訓部，2015 年 3 月。
- 34.香港經濟日報，〈東風 17 曝光：何謂超高音速導彈〉，
<https://inews.hket.com./article/2464169>，2019 年 10 月 5 日。
- 35.鄧忻傑譯，Wortzel M.原著，〈中共軍事現代化及網路作為〉，《陸軍學術月刊》(桃園)，第 52 卷 545 期，2016 年 2 月。
- 36.每日頭條，《淺談中國大陸的戰略轟炸機發展》
<https://kknews.cc/zh-tw/military/m3njvk2.html>，2017 年 8 月 1 日。
- 37.郁文風主編，《軍事工程教範》，(桃園市：陸軍司令部，2003 年 4 月)。
- 38.國防部，《全民國防教育-國防科技》(台北市：國防部總政治作戰局，2011 年 12 月)。
- 39.安然主編，〈東方的爆裂-從王澤山院士獲獎談火炸藥與含能材料〉，《兵器》(中國大陸北京)，第 229 期，北京兵器雜誌有限公司，2018 年 6 月。
- 40.王濟憲，〈共軍軍改元年演訓概況對我防衛作戰之啟示〉，《陸軍學術月刊》(桃園)，第 53 卷 554 期，2017 年 8 月。
- 41.曾志華，〈共軍戰略支援部隊支援效能之研究〉《步兵季刊》(高雄市)，第 275 期，國防部，2020 年 1 月。
- 42.中國大陸軍網，〈軍報評論：推動國防科技和武器裝備軍民融合〉，
http://www.81.cn/big5/jmywyl/2017-03/14/content_7525355.htm，2017 年 3 月 14 日。