

奈米科技在軍事領域之運用與影響

空軍中校 葛惠敏 陸軍上校 謝游麟

提 要

- 一、奈米科技在軍事上的運用：奈米隱形塗料、奈米微型武器、奈米基因武器、奈米通訊網路、奈米燃料及奈米彈藥等。
- 二、奈米科技可使武器裝備微型化、智能化、隱形化，且能更經濟的大量製造、節省能源、提昇武器裝備效能，並使傳統的戰爭型態與作戰模式發生根本性變化。
- 三、奈米科技發展對國軍之影響：國防安全受到挑戰、軍民科技合作將日益密切、改變現有的軍事體制與效能、對國軍人員心理將產生衝擊。
- 四、國軍因應奈米科技之發展：做好新科技來臨的準備、整合軍民科技資源、確立奈米科技在軍事上的發展方向、將奈米科技知識融入軍事教育中。

前 言

創新的觀念引導世界，工藝的齒輪推動世界，時代的巨輪隨著知識創新與科技發展，不斷開拓人類未知的視野與領域^①。其中「科技」乃是將科學與技術相結合，作有組織、有系統的運用，以達成吾人所望目標^②。自從工業革命以來，隨著人類對於科學知識的渴望，及對科技產品的依賴日漸提高，科技的發展可謂一日千里，不僅影響我們外在的生活條件及物質享受，甚至改變我

們對事物的思考模式和價值觀念。

科技發展到21世紀的今天，最熱門、最具顛覆性的科技是什麼？答案就是「奈米科技」。奈米科技可以把100億年份的書籍，存在一個方糖大小的記憶體裡，更可以在數十分鐘內完成目前電腦要花幾百年處理的計算。就因奈米科技具有如此神奇功能，故被廣泛運用在社會、經濟、產業及軍事等相關領域上。在軍事領域上，各先進國家莫不投入大量經費及制定相關開發計畫，積極發展奈米軍事科技。奈米科技在軍事上的充分運

註① 曾祥穎，第五次軍事事務革命（臺北：麥田出版社，2003年2月），頁155。

註② 陳偉寬，「從科技發展看21世紀戰爭新思維」，國防雜誌，第十九卷，第六期（2004年6月），頁77。

用，「奈米戰爭」有悄然而至的可能，它亦將引起另一波的「軍事事務革命」，衝擊現有之戰爭思想、軍事戰略、軍事理論、組織編裝及武器裝備等。基於此，吾人特應正視奈米科技發展趨勢對軍事領域之影響，並研擬相關因應之道，期能「洞燭先機，防患未然」，更能提早作好各項準備，以迎接奈米時代的來臨。

奈米科技之概述

奈米科技將為人類帶來第四波工業革命^③，相信在不久的將來此項科技會全面影響人類目前的生活，小如領帶，大到國防軍備，都將是奈米能夠發揮的舞臺。因此，科學家們也比喻說奈米對人類的影響絕對不下於早期的工業革命。但究竟什麼是奈米？奈米科技的意義為何？這些問題都須先加以釐清，才能對奈米科技及其相關領域能有進一步的瞭解。

一、奈米之定義

「奈米」是新科技的代名詞，並非可食用的米。所謂的奈米(Nanometer, nm)^④實際上是一個長度度量單位(nm)的譯名，指的是十億分之一公尺($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$)，也就是百萬分之一公釐。僅從這些數字，我們很難馬上想像出奈米的大小，若我們進一步用實

物來描述，1nm約是10倍於氫原子直徑大小(10^{-10} m)，人體內紅血球直徑大約8,000nm，人類頭髮的直徑大約20,000~50,000 nm^⑤。與目前半導體製程所使用之單位微米 $\mu\text{ m}$ (Micrometer, $1\mu\text{ m} = 10^{-6}\text{ m}$)差1,000倍。如果要更具體形容奈米尺寸有多小，把一奈米的物體放到乒乓球上，就像一個乒乓球放在地球上一般。事實上，奈米只是一個極小的長度單位，「奈米」本身並沒有任何的價值可言。

具奈米結構之物體為何擁有某些特殊功能，係因為物體在奈米尺度下的物理性質和一般物體的物理性質截然不同。一旦物體小到1奈米至100奈米的範圍便會有許多新的特性和現象。例如，蓮花花瓣表面的奈米結構使它具有抗水防塵的自潔功能，因而能出污泥而不染。利用這種特性亦能用來改善高科技的戰機雷達天線罩，也可以運用來生產自潔玻璃及奈米馬桶等民生用品。

二、奈米科技與奈米技術

奈米科技初始於20世紀80年代末期，旋即快速蓬勃發展成一項新科技。簡單地說，奈米科技(Nanotechnology，大陸稱納米科技)乃根據物質在奈米尺寸下之特殊物理、化學和生物性質或現象，有效地將原子或分子組合成新的奈米結構；並以此為基礎，設

註③ 至今人類已經歷三波重要的工業革命：第一波工業革命又稱為「機械化」革命，發生於十八世紀；第二波工業革命又稱為「電力化」革命，發生於十九世紀末期；第三波工業革命又稱為「資訊化」革命，發生於二十世紀中後期。二十一世紀初喧騰一時的技術革命，稱為第四波工業革命，又稱為「奈米化」革命。

註④ 奈米字首nano在希臘文原為「侏儒」的意思。

註⑤ 馬遠榮，奈米科技（臺北：商周出版社，2002年4月），頁13。

計、製作、組裝成新材料、器件或系統，產生全新的功能，並加以利用的知識和技藝^⑥。至於如何將物質微小化到奈米尺度，讓它具有良好的特性與機能，即所謂的「奈米技術」。奈米技術的本質屬跨領域的科技，是化學工程、機械工程、材料科學、材料工程、電子工程及物理科技的融合、昇華及發揮。奈米技術之各項研究領域，並不局限在某一單一研究領域上，只要研究目標為「奈米級」之事物，均屬奈米技術範疇。

三、奈米的自然現象

奈米效應與現象長久以來即存在於自然界中，並非全然是科技產物。例如：蜜蜂體內因存在磁性的「奈米」粒子而具有羅盤的作用，可以為蜜蜂的活動導航；蓮花之出污泥而不染亦為一例，水滴滴在蓮花葉片上，形成晶瑩剔透的圓形水珠，而不會攤平在葉片上的現象，即是蓮花葉片表面的「奈米」結構所造成。因葉片表面不沾水滴，污垢自然隨著水滴從表面滑落，此奈米結構所造成的蓮花效應(Lotus Effect)，如圖一所示。另外，在禽類（尤其鴨、鵝）羽毛的防水層、土著們塗在臉上用來防敵且持久不脫落的碳灰，都屬於奈米現象。其它像昆蟲翅膀的自潔作用、飛蛾漆黑眼睛具不反光功能、鴿子辨識方向的能力等現象，亦都是生物體內含有奈米粒子或具備奈米結構^⑦。就以上例子

來看，可知奈米現象其實是很自然的一件事情，早在我們身邊出現。

奈米科技在軍事領域之運用

隨著奈米科技發展的日益成熟，除了影響經濟、民生等發展外，亦逐漸融入軍事領域中。目前，世界各軍事大國相繼開發軍用奈米科技，如美國奈米開發技術經費中有一半來自國防部系統，法國有關奈米技術的軍事研究計畫也早已在國防實驗室開始起步^⑧。這些開發研究莫不利用奈米特殊的物理與化學性質，使其在軍事科技上能發揮經濟、省時、微型化及特殊效能等特性。至於目前奈米科技在軍事上的運用，分述如后：

一、奈米隱形塗料

「隱形」旨在避免敵人之探測裝備偵測到我方武器裝備^⑨。在現代軍事技術中，隱形技術迅速發展，特別是在隱形材料的開發更是達到空前程度。例如美軍利用奈米技術



圖一 蓮花效應

資料來源：維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/>

註⑥ 「何謂奈米科技」，科技年鑑奈米網，<http://nano.nsc.gov.tw>。

註⑦ 呂宗昕，奈米科技與光觸媒（台北：商周出版社，2003年10月），頁22-23。

註⑧ 黃俊麟，「奈米科技在軍事上發展的研究」，陸軍後勤季刊，第35期（2005年9月），頁46。

註⑨ 探測裝備主要依靠雷達、紅外線、電磁輻射及磁場的感應等技術來達到目的。

研製的超碳隱形塗料就是一種非常理想的隱形材料，這種材料顆粒極小，對雷達電磁波吸收率高達99%。如眾所周知的，在1991年波灣戰爭中美國空軍的F117A(Nighthawk)匿蹤戰機（如圖二），執行任務高達1,270餘架次，摧毀伊拉克95%的重要軍事目標，卻無任何一架飛機損毀，就是因為飛機機身上被覆多種奈米尺寸的紅外線和微波隱形材料，對不同波段的電磁波有強烈的吸收能力。此乃因奈米微粒尺寸遠小於紅外線及雷達波波長，可大幅減少波的反射率，造成紅外線探測器和雷達接收到的反射訊號變得相當微弱，進而達到隱形作用^⑩。



圖二 被覆有奈米塗料之F117A匿蹤戰機

資料來源：<http://home.pchome.com.tw/boy/squall2000/F-117.htm>

二、奈米微型武器

由於奈米電子元件的尺寸較目前使用的微電子元件小的多，也提供了研發智能化微型導航、飛彈防禦系統與微型飛行器的技術基礎。目前微型武器方面概可區分「偵察型」與「攻擊型」兩種系統^⑪：

（一）奈米衛星

美國於1995年開始研製奈米衛星，俗稱「麻雀衛星」。這種衛星比麻雀略大，重量不足10公斤，最輕的只有0.1公斤，其各項元件全部採用奈米材料製造，並利用最先進的微機電一體化整合技術，具有可重組性和再生性，成本低、性能好且可靠性強，可用於不同的軍事目的。又因奈米衛星體積小，使得這些衛星的隱蔽性良好，可避免受到敵人攻擊。若在太陽同步軌道上等間隔地佈置648顆功能不同的奈米衛星，就可保證在任何時刻對地球上任何一點進行連續監視，即使少數衛星失靈，整個衛星網路的運作也不受影響，促使戰場更加透明^⑫。

（二）蚊子導彈

由於奈米元件比半導體元件工作速度快，可大幅提高武器控制系統的資訊傳輸、存儲和處理能力，因此可製造出智慧化微型導航系統，使制導武器的隱蔽性、機動性和存活力發生根本性的變化。利用奈米技術製

註⑩ 劉明和，「奈米科技在軍事上的運用」，陸軍學術月刊，第39卷458期（2003年9月），頁82。

註⑪ 黃德歡，改變世界的奈米技術（台北：瀛州出版社，2002年2月），頁21。

註⑫ 1999年，英國、美國、瑞典各發射了一顆奈米衛星。專用微型積體電路取代現在衛星上使用的有關係統，使微型衛星體積小、重量輕；生存能力強且研製費用低，不需大型實驗設施和跨度大的廠房；易發射，不需大型運載工具發射。

造形如蚊子的微型導彈，可直接接受電波遙控，神不知鬼不覺的滲透至敵人內部，其威力將足以炸燬敵方火炮、戰車、飛機、指揮部和彈藥庫等¹³。

(三) 螞蟻士兵

這是一種靠太陽能電池驅動，通過聲波控制的軍用「奈米機器人」（如圖三）。這些機器人體積比螞蟻還要小，但具有驚人的破壞力。它們可以經由各種途徑潛入敵方的軍事要地進行破壞。例如破壞敵方電子設備使其短路；爆破敵方重要目標及施放各種化學戰劑，迅速破壞敵方作戰系統¹⁴。

(四) 奈米偵察機

俗稱「蒼蠅偵察機」（如圖四），這是一種如蒼蠅般大小的袖珍飛行器，可攜帶各種探測設備，具有資訊處理、導航和通信能力，還可以有效地避開敵方雷達的探測。其主要功能為秘密部署到敵方資訊或武器系統內部或附近，以監視敵方行動，卻不易為敵人所察覺¹⁵。

(五) 奈米傳感器

俗稱「間諜草」，這是一種看似小草的微型探測器，其內裝有敏感的超微電子偵察儀器、照相機和感應器，可偵測出數百公尺以外的戰車、車輛等因移動時所產生的震動和聲音，並能自動定位、定向和進行移動。

(六) 奈米探測器

美國科研人員研究的「奈米探測器」，它是一種比軍用奈米傳感器更小的奈米偵察探測裝備，俗稱「智能塵埃」或「塵埃間諜」。這種「塵埃」探測裝置不需要自備飛行驅動設備和動力，即可隨風在空氣中流動或漂浮。同時此類探測器的用電量極低，除了配有電腦監視器外，還具有通訊收發裝備，可以神不知鬼不覺進行偵察活動¹⁶。

三、奈米基因武器

生物界中的生物體有許多具有與奈米層級大小及功能的物質（如DNA等），這些物質能自我辨認、自我組裝及自我複製等。一旦不同種群的DNA被排列出來，就可以生產出針對不同人類種群的基因武器，因為不同人類種群的遺傳基因也不同，故基因武器可以根據人類的基因特徵選擇某一種族群做為



圖三 螞蟻般大小的機器人

資料來源：<http://www.kepu.net.cn/gb/technology/robot/>

註¹³ 張雲峰，「奈米材料在軍事上之應用與發展」，青年日報，2009年4月18日，版7。

註¹⁴ 奈米科技辭典－螞蟻士兵、間諜草，<http://www.nttc.itri.org.tw/dict/index.jsp>，2008年4月14日。

註¹⁵ 奈米科技辭典－蒼蠅飛機，<http://www.nttc.itri.org.tw/dict/index.jsp>，2008年4月14日。

註¹⁶ 黃德歡，改變世界的奈米技術，頁22。

殺傷對象。所以，遺傳生物學技術和奈米技術的結合，在造福人類的同時也可能給人類帶來比原子彈和氫彈更危險的基因武器¹⁷。

四、奈米通訊網路

奈米材料在國防通訊網路系統的硬體架構上，佔極重要角色，尤其具高傳輸頻率及高效用的光譜通訊系統，可提供至少十倍以上的頻寬，應用在國防通訊傳輸。而經過操控奈米等級的原子生產出來的奈米碳管(Carbon nano tube)，未來將廣泛運用並逐漸取代IC元件，預計未來的半導體也將由奈米碳管合成，產生較現行半導體還高的效率。另由奈米碳管製成的顯示器效能極高，將可能取代薄膜電晶體液晶顯示器，成為未來軍



圖四 蒼蠅偵察器

資料來源：<http://www.kepu.net.cn/gb/technology/robot/>

事通信網路的主要角色。

五、奈米潤滑劑

軍用車輛使用的潤滑劑品質與車輛壽命有關，而奈米微粒尺寸小，正可增加化學反應的接觸面。因此，奈米潤滑劑與一般潤滑劑相比，其耐壓程度可增加3~4倍，磨損程度則減小10餘倍，可以達到減小摩擦係數的效果，甚至獲得超潤滑功能。

六、奈米燃料

軍用武器裝備所使用之燃料用量大，而燃燒之效率又直接影響燃料消耗率。由於奈米材料微粒尺寸小，表面積相對較大，這使它具備作為火箭固體燃料及反應催化劑的特點，可使燃燒效率提高百倍以上，這對提高軍用飛機的飛行速度、距離及減輕載重來說都極為重要。

七、奈米彈藥

無論是火炮或輕武器，都要求初速大、射程遠。而目前的技術手段只有靠增加裝藥量，這勢必又會增加武器及彈藥重量，與當前武器設計趨勢相悖。科學家在實驗室中，將金屬鋁或銅製成奈米級的顆粒，將會提高單位體積所能釋放的能量，不但能使彈頭的初速和射程得以提高，而且還會使彈藥的重量減輕，便於攜帶和運輸¹⁸。

八、奈米特戰服

軍服是軍隊的常規用品，它不僅要求具有結實耐穿、保暖、防水、抗菌、隱身和阻燃等性能，還要求具備輕便、易清潔、舒

註¹⁷ 江明鑑，「奈米技術的軍事運用及戰場模式」，空軍學術月刊，第574期（2004年9月），頁24。

註¹⁸ 尹邦耀，奈米時代（台北：五南圖書出版社，2002年3月），頁18。

適等特點。傳統的服裝布料無法同時滿足這些要求，這就給奈米科技帶來大顯身手的機會。經過奈米材料特殊處理過的軍服布料除了能夠滿足上述要求以外，還具有抗紫外線、高溫、強度高、彈性好、高耐磨性和高穩定性等特點，更要能適應野戰環境。奈米特戰服如圖五所示。

九、其他軍事運用

其他奈米材料，如奈米陶瓷也已進入實際應用。奈米陶瓷克服了傳統陶瓷韌性差、不耐衝擊的弱點，可用於製造軍用渦輪發動機的高溫零件，藉以提高發動機效率、工作壽命及可靠性。奈米陶瓷具有高活性、高斷裂韌性和耐衝擊的性能，可有效提高主戰坦克複合裝甲的抗彈能力，增強速射武器陶瓷襯管的抗燒蝕性和抗衝擊性。

奈米科技對軍事領域之影響

一、對武器裝備效能之影響

奈米科技可使武器裝備微型化、智能化、隱形化，且能更經濟的大量製造、節省能源、提昇武器裝備效能。

(一)提高武器系統智能化程度

「人工智慧」是奈米武器系統特點之一。人工智慧係將人的智慧、知識與經驗等植入電腦系統，使其運用時更為便捷，功能更為廣大。微機電技術能在一個矽晶片上置放100萬個微型機器，每臺機器都有電子控制系統，構成極小的微機電系統。將這種系統裝置在軍用頭盔、服裝或武器中，不僅可以監測和傳輸一個士兵的自我狀況和位置，而且還能監測和傳輸附近敵人的活動。

(二)改善武器裝備的隱形性能

利用奈米微粒材料的尺寸遠小於紅外線和雷達波波長及磁損耗的特點，可製成電磁吸收率極高的隱形材料。使用奈米材料可製成具備超薄輕質的隱形塗層，幾十奈米厚的塗層就可達到現有隱形塗層幾十微米厚的吸波效果，大幅度減輕現有吸波材料的重量。

(三)實現武器系統超微型化

武器裝備的體積大小乃影響其作戰靈活



圖五 奈米特戰服

資料來源：美國國防部網站，<http://www.defenselink.mil>

性、存活性重要關鍵之一。用量子元件取代大規模的積體電路，將使武器控制系統的重量與功率縮小上千倍，武器裝備的體積、重量亦隨之縮小，使目前車載、機載的電子戰系統縮小至可單兵攜行，隱蔽性更好，安全性更高。

(四)縮短武器生產週期

奈米武器較傳統武器裝備更能大量化生產，同時於研製時可省去大量線路板和接頭等。因此，奈米武器裝備系統較傳統武器裝備成本低、可靠性高，便於生產及運輸。

(五)增加武器殺傷力

奈米技術的應用使武器系統的重量大幅減輕，使彈藥的可靠度和儲存時間提高數倍以上，且因其重量輕，可增加彈藥的裝藥量，摧毀及殺傷力大幅增加。若結合生物科技於炸彈上裝載病毒或細菌等，其致命力將更甚以往。

(六)奈米材料將引爆新的軍用材料革命

奈米技術的發展將使新的材料朝向功能更多、性能更佳、重量輕、強度大以及智能化發展，因此將改變火炮、裝甲車輛、雷達、飛機、飛彈、軍用衛星、雷射等武器的製作方式、外型、功能、大小及所能應用的戰場環境。

二、奈米科技對未來戰爭模式之影響

隨著奈米科技所製造的各種武器裝備投入戰場，傳統的戰爭型態與作戰模式將會發生根本性變化。以奈米武器為主的「奈米戰

爭」紀元即將展開，未來戰場將產生巨大轉折，邁入另一新紀元戰爭。奈米科技將徹底改變戰爭面貌，全新之戰略、戰術及戰鬥模式亦將誕生，而未來戰場範圍將無所不在，真正達到草木皆兵、防不勝防的恐怖境界。基於前述有關奈米科技對於武器裝備的影響，可進而推論奈米科技的發展對未來戰爭可能產生的模式。

(一)「奈米軍團」充當戰場主角

奈米微型武器具高智能、精準、破壞力強及不易偵知的特性，對目前戰場上大型武器系統將產生重大威脅。因此，「奈米軍團」將作為一種全新的作戰力量，未來的戰場上將極可能有數不清各式各樣的微型武器充當主角¹⁹。在這些微型、高度智慧化的奈米軍團和資訊化的正規部隊混合編成下，影響軍事力量的整體構成，促使軍隊規模變小、質量提高、指揮幅度增大、層級減少，更使遠端遙控指揮成為主要指揮方式。而且隨「奈米軍團」的陸續服役，「微型軍」將可能是繼目前陸、海、空三軍後新的作戰軍種。

(二)作戰武器更加系統化

現代化科技武器的發展，是國防與軍隊現代化重要指標，由於高科技的不斷革新，使得現代武器裝備具精度高、殺傷力大、防護性好等特性，且已逐漸趨向「系統化」發展。如波灣戰爭中已經使用的武器系統主要有：資訊系統、電子戰系統、傳統武器系

註¹⁹ 依大陸學者越冬等人所著「奈米技術與奈米武器」一書提及「奈米軍團」可因其工作原理、功能、活動空間不同，將出現不同的軍兵種，包括微型陸軍、微型海軍、微型空軍、微型海軍極微型天軍。

統、精確武器系統、隱形武器系統及衛星系統等。在未來戰場上，作戰行動將是系統對系統的對抗²⁰，尤其當由奈米科技製成之微型化、智能化武器充斥戰場時，亦將成為一個「微型」戰鬥系統，有別於傳統之大型武器系統，屆時系統間的對抗將使戰場變得更複雜，作戰武器的「尺度不對稱」將是一大特色。

(三)戰爭更具突發性

由奈米塗料所製成或改良之匿蹤飛機、匿蹤飛彈及其它的隱形武器裝備，將以極度隱匿地接近戰場，直到出現於敵人目視範圍內，其震撼性及突然性將超出敵人所能預想，在面臨此種戰場景況時，易使人喪失戰鬥意志。若再加上前述透明化的戰場，將使未來戰爭更具突發性，往往來不及應變戰爭已告結束。

(四)戰場環境更加危疑震撼

「奈米軍團」的加盟將使戰場情報與反情報的競爭更加激烈，破壞與反破壞的手段更加殘酷。更由於微型武器充斥整個戰場，將使戰場環境變得詭譎多變，處處危機。不論是植物、昆蟲或是其他常見細小物體，都將成為戰場上可疑的偵蒐器或破壞武器，讓人防不勝防，使原本就已充滿危疑震撼的戰場更加令人恐懼。

(五)戰場更加透明化

傳統戰爭中，不論是陸、海、空或太空各領域之高科技武器，為求更精準、更有威

力、航行更遠、攜彈量更多、防禦力更強，在外觀上往往趨向體積大、重量重。但由於奈米材料製成大量之「麻雀衛星」、「蒼蠅偵察機」、「塵埃間諜」等微型偵察武器，將構成從太空到空中、地面、海上嚴密高效的奈米偵察監視網，將戰場徹底透明化，不再有「戰場迷霧」。因此，對於奈米軍事技術落後的國家而言，已無軍事秘密可言，未曾交手，勝敗已成定局。

(六)出現新的作戰理論

奈米武器與傳統武器系統相結合，以小吃大的戰場景況將成為全新的作戰形式。全新的作戰樣式和方法將催生全新的作戰理論，如「隱形偷襲戰」、「微型點穴戰」、「隱蔽癱瘓戰」和「奈米威懾戰」等新的作戰理論將層出不窮²¹。由於奈米武器與裝備的投入戰場，對於五大戰力（偵蒐力、機動力、打擊力、補充力、指通力）的提昇產生了決定性影響，使戰爭中力、空、時等戰略要素出現革命性的轉變，也使野戰戰略中補給線、內外線作戰、集中與奇襲等概念受到衝擊。

(七)改變對「軍事力量」的認知

目前對軍事力量的評定主要是以陸、海、空軍人數，及坦克、飛機、軍艦、飛彈等武器裝備的類型、數量、性能等指標來描述。然而若以奈米武器系統為主導的作戰力量，上述這些指標將無法正確地進行衡量。因為奈米武器系統的智能性、微型性、隱匿

註²⁰ 陳偉寬，「論資訊科技與軍事戰略」，空軍學術月刊，第557期（2003年4月），頁24。

註²¹ 黃惠娟，「納米技術將使未來資訊化戰場發生重大改觀」，解放軍報，2009年3月30日，版5。



性等特點，將使軍事力量的發揮擁有巨大潛能，往往一個微型機器人，將可能勝過十個士兵的作戰效能；一架微型偵察機將可能取代現今無人載具的功能等。

(八)戰場「集中原則」受到考驗

在傳統戰爭中，「集中原則」係將優勢之兵、火力集中於具有決定性的作戰方向與目標。而在未來奈米化的戰場中，集中原則將可能發生根本性變化，集中原則將不再強調兵力的集中，而是強調火力與資訊力的集中。這是因為：1.奈米武器系統可發揮遠距精準打擊或直接部署於敵人陣地，形成火力集中，而兵力可不集中於戰場，即可發揮戰力；2.隨著武器系統資訊化程度不斷提昇，其火力效能的發揮越來越依賴C4ISR系統的支持，而C4ISR系統功能的發揮端賴「資訊」的有效獲取、傳輸及處理，而奈米武器系統適可加強這些系統的資訊能力；3.由奈米技術製成的偵察、監視系統，部署在陸、海、空及太空等各領域，戰場上大規模集中的兵力極易被其發現。

(九)減少作戰人員傷亡

隨著微型化技術的發展，像昆蟲一樣大小的微型武器系統，能夠進入間諜或偵察人員不易進入的地方，進行各種偵察與破壞任務，也能對飛機或衛星系統無法發現的處所進行偵察；在惡劣環境下，尤其是在具核輻射、失能性、致命性毒劑時，亦可有效的進行工作。而士兵們欲完成這些任務將具相當大的危險性，若由微型武器系統取代之，既可保持戰鬥力又可減少人員傷亡。

(十)戰爭成本大幅降低

現代戰爭成本消耗甚大，讓人望而生畏。如發射一枚高性能飛彈將耗資數十萬美元；又如在1991年波灣戰爭中，美國在短短的42天就花費了600多億美元的軍費，即使像美國這樣財力雄厚的超級大國，也不得不要求其他盟國分攤過高的軍費。然軍事武器進入奈米化後，不需要有使人員舒服和安全的措施和裝置，也無需核、生、化環境下保護人員的設備，以及支付訓練人員的費用。因此，奈米武器裝備所用資源較少，成本低廉且效能高，故能被大量採用。反而造價昂貴的龐然大物，如飛機、火炮、軍艦、坦克等，在未來的戰爭中將會大幅度減少。由於奈米武器裝備所用材料少，成本低，奈米級戰爭將不僅成為全新樣式的戰爭，而且還是十足的低消耗戰爭。

奈米科技發展對國軍之影響及因應之道

綜合上述，奈米科技發展將徹底改變目前的武器裝備結構及未來戰爭型態。尤其奈米科技如果大量應用於軍事領域與國防事務，必將會引發另一次的軍事事務革新，衝擊國軍現有之戰略思維、組織編裝、戰術戰法及軍事理論等，甚而引起整個軍事體系「質」與「量」的改變。

一、奈米科技發展對國軍之影響

(一)國防安全受到挑戰

過去十餘年來，中共的國防預算每年都呈兩位數成長，並陸續採購新式尖端武器，且相繼研發「超限戰」、「信息戰」、「點穴戰」等不對稱的戰術戰法，對我威脅日益

嚴重。尤其目前部署在海峽對岸的戰略導彈數目已超過千枚，其海軍更已從近岸防禦逐漸轉為外向型的遠洋海軍，艇艦活動範圍早已突破第一島鏈，甚至進入第二島鏈，這些軍事部署與舉動，已嚴重威脅區域與台海安全。值此全球奈米科技蓬勃發展之際，中共亦傾全力從事研究發展，甚至與他國積極合作開發，企圖以奈米科技帶動其他產業全面升級發展，無論在學術上、經濟上、國防上等均將對我形成威脅。尤其中共強調「質量建軍，科技強軍」為建軍總體方針，企圖藉「量」的精簡達成「質」的提昇，預判在奈米科技的發展上會有「跳躍式」的成長，若中共將此科技大量運用於軍事方面，對我國防安全將是嚴峻的挑戰。

(二)軍民科技合作將日益密切

奈米科技是一整體性科技，在實際運用上幾乎無軍用與民用之分，亦即軍用與民用製品同質性高，可相互支援運用，相輔相成，使國防科技的擴展變得更容易。尤其奈米科技需要結合跨領域的研究，除了須打破學門間的壁壘，加強不同領域間的調和外，同時須配合產業與市場需求，引導學術研究方向，促進產、學、研及軍方等各方面的資訊交流與合作，以集中並快速累加奈米科技基礎研究的知識能量，使之發揮最大效益。因此，國軍在奈米科技的發展上與國內產、學、研各界的合作是不可避免的，而且彼此間關係會更加緊密。

(三)改變現有的軍事體制與效能

1.建軍更朝向「精兵政策」

為了配合國防預算的限制或為適應未

來戰爭型態需要，「精兵政策」已是時代潮流。在奈米化武器裝備普遍發展與廣泛運用下，必將裁減傳統武力及提昇人員素質，國軍人員必然朝向量更少、質更精方向發展。進而促使軍隊指揮幅度擴大、指揮層級扁平化；組織編制將從數量規模型進一步轉變為質量效能型；組織型態亦將由人力密集型轉變為科技密集型。

2.改變後勤支援體系

高效能、低成本的奈米武器大量湧向戰場，也必將對傳統的後勤體系產生衝擊，展現全新的後勤支援模式。例如，奈米武器裝備體積小、重量輕、可靠度高、自動化程度高、作戰中物資能量消耗小，傳統大型的、人工的、被動的後勤支援方式將被精緻化、資訊化、智慧化、整體化為主的支援方式取代。

3.增進聯合作戰指管效能

聯合作戰指揮管制的特徵在於「統一指揮，分權實施」，此目標之達成關鍵在於指管通情系統的建立，而健全之聯合作戰指管通情系統的基本要求，在於戰場透明化、指揮快速化、管制精確化及戰力統合化等。另外，指管通情系統尚須具有情報偵察能力、決策反應及戰場控制能力、通信技術能力、系統存活率、反干擾能力及具通用性能力等，而上述這些基本要求及能力均可藉由奈米化之武器、裝備及系統來達成。

4.增加「有效嚇阻」力量

由於奈米科技可提昇武器裝備作戰效能，大幅改變力、空、時三大戰略要素，將使戰略、戰術等觀念大為改變，戰力結構亦

將隨之調整。國軍若能積極發展奈米科技，充分運用於軍事領域中，亦將是一股有效的嚇阻力量，使敵人不敢越雷池一步。

(四)執行反恐制變任務日益困難

恐怖活動為世人帶來不安與恐懼。因此，「反恐」是當今普世價值，各國莫不積極採取各種防護措施，以減少恐怖活動帶來的破壞與損失。由於恐怖活動不受時空限制、手段極其殘忍，所使用之武器裝備亦趨向智能、多樣，令人防不勝防。又因奈米武器或系統具體積小、重量輕、易攜行、安置容易及高智能化等特性，若為敵特攻人員或恐怖分子所持有，運用於各恐怖活動或重要處所，勢將造成嚴重危害，不利國軍遂行反恐制變任務²²。

(五)對國軍人員心理將產生衝擊

一項新科技、新系統或新事物的來臨，往往一般人在初期接觸或運用時，會產生恐懼、懷疑、排斥、迴避或甚至有拒絕接受的心理。這是因為一般人習慣於舊有領域，在短時間內無法接受新觀念所致，其中以「資訊科技」引入軍中所造成的衝擊為最明顯例子。奈米或奈米科技對大多數人而言是一陌生的名詞與科技，當它悄悄的走進軍事領域中，對現存的軍事思想、組織體系、戰略戰術，乃至一般的日常生活，都會有一定程度的衝擊，甚至挑戰現有的思維與行為模式，進而造成軍中不同族群間對於新科技的看法各異。因此，在享受或運用奈米科技成果之

際，預判將會對軍事組織及成員帶來「軍事事務革命」，吾人需提早做好準備以因應。

二、國軍應如何因應奈米科技之發展

(一)做好新科技來臨的準備

從世界各先進國家及我國奈米科技發展趨勢看來，此項科技在不久的將來，勢將融入我軍事領域中。屆時奈米生活用品、奈米化的武器裝備、系統等將逐漸出現在你、我之間，改變現有的生活與工作模式。吾人必須學習接受此項新科技，調整原有的思考方式，破除封閉思想，克服心理障礙，創新觀念。同時組織中亦必須有一股有接受新觀念的風氣，鼓勵改變、接受改變，迎接奈米科技所帶來的創新與挑戰。

(二)整合軍民科技資源

「國防科技」係指在軍事方面用途的科技，它應以全國的科技力量及可用資源，發展及獲得所需之武器系統，以符合軍事作戰需求，達成軍事戰略目標。當前我國對於奈米科技的研發已投入大量人力、物力與財力，藉以提昇國家競爭力，尤其在民間科技發展方面，已建立一定程度的研發能量及成果，並帶來不少商機與市場。對於國軍而言，為取得未來戰場上科技的優勢，不可一味閉關自守，墨守成規。首先必須確立奈米科技在國防上的發展目標與方向，並修訂各項法律規定，將民間與國防資源有效整合與互補，促進國防與民間資源共享，如此可避免受國外廠商限制，在短時間內獲得戰力

註²² John L. Petersen and Dennis M. Egan, "Small security : nanotechnology and future defense" Defense Horizen. March 2002.

最大優勢。惟在整合各界研發資源之際，國防部相關單位首須考量研發武器裝備、系統或零附件等之作戰需求、成本效益、作業時限及實際三軍所需等因素，以達事半功倍效果。

(三)確立奈米科技在軍事上的發展方向

就目前國防資源而言，國軍全面換裝或研製高科技武器裝備方面較為困難。因此，宜從民間已產業化的技術平台與成果切入，採結合現有技術、局部性能提升方式或由產業界現有之技術、產品轉為軍用，循「由少而多、由點而面、由慢而快、由易而難」之進程，從「量變到質變」，「有所為，有所不為」，確立奈米在軍事上的發展方向²³。

1.確認作戰需求

國防科技之發展與尖端武器之研發，首須依據未來台澎防衛作戰之全般戰略構想、敵情威脅、各先進國家武器裝備發展趨勢及本身能力，擬定發展目標與研發方向。對於奈米科技在軍事上之運用亦復如此，必須認清未來究竟要打什麼樣的戰爭，考量可用資源，擬定整體之科技戰略，俾利奈米武器系統及裝備之發展。

2.結合現有技術能量

在有限的國防資源下，對於奈米科技的運用，宜在維持傳統戰力的前提下，在傳統戰力結構中融入高科技，不須大幅修改現有的研發制度與生產作業模式。奈米科技目前主要研究方向是讓欲開發產品都含有奈米技

術或是奈米材料的成分，進行所謂的「奈米改性」，使其具備奈米性能，這是最快提升戰力與最節約投資成本的方式。例如在傳統的武器載台上，塗裝奈米粉末或顆粒於材料表面，即可減少空氣阻力，提高速度與機動性，並可達到電子隱形的效應，達到「保存戰力」目的。另奈米材料可增加武器裝備的耐蝕性、耐磨性及耐熱性，均有助於武器裝備之抗老化，延長使用壽限。其他如軍用微電子技術、光電技術、資訊技術、材料技術等亦可經由奈米科技來提升。

3.局部提升武器裝備性能

全面檢討現役武器裝備，依其系統結構、功能運作、妥善狀況及獲得難易，依需要將功能強之奈米系統取代原有系統，並與原系統相結合，進一步提昇武器效能。例如，目前國軍指C4ISR系統中最迫切需要解決的是資料庫的容量與數據通信傳輸的頻寬，若能利用奈米技術改善系統存取能力及處理速度，將有助於C4ISR系統效能發揮。

4.依序研發微型奈米武器系統

國防科技在發展上，應有使用一代、實驗一代、研究一代的規劃；在國防建設上也應有使用好今天、建設好明天、設計好後天的前瞻，奈米科技在軍事領域上的運用亦須本此要領。根據美國國防部先進研究計畫機構(DARPA)的研究，包括奈米衛星、蚊子導彈、袖珍飛機、螞蟻士兵等都是未來極可能在戰場上立大功的小兵²⁴。這些微型武器系

註²³ 曾祥穎，第五次軍事事務革命，頁166-169。

註²⁴ 「奈米微型武器防不勝防」，<http://www.dajiyuan.com/>，大紀元，2003年6月25日

統概可區分「偵察型」及「攻擊型」兩類，因此微型武器系統成本低廉，不易為敵發現，確實可為未來重要的發展趨勢。既然勢不可擋，就要下定決心，以積極進取精神，不斷研究發展，努力創新才能突破困難，跟上時代步伐。在研發順序上建議依「偵察型」、「攻擊型」之順序，結合現有技術，整合產官、學、研力量區分期程完成。

5.研發可強化「戰力保存」裝備

在敵第一擊攻擊中，得以保持完整戰力，並於有利決戰時空，迅速發揮聯合作戰戰力，為防衛作戰成功之關鍵因素。基於此，研發相關奈米塗料（利於裝備隱形）、奈米軍服（利於官兵於各種野戰環境下生存）等裝備，均有利於國軍之戰力保存。而且這些裝備之奈米技術，在國內產業界已有相當之研發能量與成果，可藉由軍民合作管道，不論是委外或自製方式，均可達軍民共享目的。

（四）將奈米科技知識融入軍事教育中

科技為促進人類文明進步與生活改善的原動力，而運用科技的能力，是指善用與科技相關的知識、技術、資源及價值判斷，以便適應社會變遷、改善未來生活、解決相關問題及規劃其生涯發展的能力。

隨著奈米科技時代的來臨，國軍未來人才之培養，除了應具備工作上的專業知識外，另外必須具備「科技素養」。尤其奈米科技已逐步生活化、產品化之際，奈米相關的知識已是全民通識教育的一環，故必須融入國軍各階段軍事教育中，以培養幹部宏觀的器識，因應奈米時代的挑戰。

結語

奈米時代已悄悄來臨，奈米科技將是21世紀科技與產業發展最大驅動力，對人類科學、經濟、產業、社會、文化及軍事等面向帶來前所未有的衝擊，它將帶來新的工業革命。尤其奈米科技在軍事領域中充分的發展和應用，將徹底改變目前的武器裝備結構及未來戰爭型態，引發另一波軍事事務革命，衝擊國軍現有之戰略思維、組織編裝、戰術戰法及軍事理論等，甚至對國軍人員心理產生衝擊。奈米科技所引進新的軍事事務革命，對國軍而言將會有重大的挑戰，也會有重大的機遇。迎接挑戰，把握機遇，掌握主動，順應軍事事務革命的潮流，就能獲得軍事領域的制高點和戰略主動權，則國防武力必然強盛；輕忽軍事事務革命的潮流，軍隊建設就會落後，則國防必然衰弱。國軍適逢奈米科技蓬勃發展的黃金時代，須做好準備，儘早因應，在有限的國防資源下，循「由少而多、由點而面、由慢而快、由易而難」的進程，確立奈米科技在軍事領域上的發展方向，朝發揮本身優勢、保持領先競爭力的終極目標邁進。

作者簡介

葛惠敏中校，空軍通校女官班83年班，空軍學院正規班96年班，台灣大學政治學系碩士，曾任通訊官、分隊長、教官、謝游麟上校，陸軍官校75年班、戰院94年班、國防大學國防科學研究所博士班92年班，曾任營長、群指揮官，現任國防大學戰爭學院上校教官。