

中共能源與材料 高科技發展概況

國防大學中正理工學院副教授 徐大杰博士

提 要

- 一、能源與材料技術包含在中共所訂定21世紀五大重要高技術領域之內。
- 二、化石燃料占中共能源結構之80%，為因應環保趨勢及其能源需求，已著手提升能源運用技術並開拓新一代能源。
- 三、在能源技術方面，潔淨煤、加速油氣田探勘、太陽能、風能及天然氣水合物等為其開發重點。
- 四、在超導材料、航空材料、輕合金、生醫、高分子及先進陶瓷材料等方面之研發，中共已有不錯之成果與應用。
- 五、由於近年其經濟開放，能源與材料技術亦將快速提升，值得我警惕。

壹、前 言

能源與材料科技是20世紀以來對人類生活影響十分巨大的兩大科技領域，對世界各國社會、經濟、工業乃至軍事，都影響深遠。因此，中共也把它們納入21世紀積極發展的五大重點高技術項目中。^{註一}本文將探討現今中共在這兩大高科技領域之發展狀況，以為我因應之參考。

貳、能源技術

人類經濟愈發展，對能源需求量愈

大，故此，世界各國均積極地開發各種能源方案，以提供其國內各項發展之需要。目前中共整體平均能源需求量，雖僅為美國能源需求之1/10，日本的1/5，但因近年來經濟快速的發展，預期往後數年對能源之需求將大幅增加。

一般而言，能源可分為一次能源及二次能源二類，所謂一次能源是指直接取自自然界，沒有經過加工轉換的各種能源，包括：化石燃料(煤、石油、天然氣)、油頁岩、核能、太陽能、水力、風力、潮汐能、地熱、生物質能和海洋溫差能等等。^{註二}由一次能源經過加工轉換以後得到的能源產品，稱為二次能源，如：電力、蒸汽、煤氣、汽油、柴油、

註一 高技術發展報告(北京，中國科學院科學出版社，2002年2月)，頁16。

註二 中國潔淨煤技術網，<http://www.cct.org.cn/cct/content.ASP?ID=6285>

液化石油氣、酒精、沼氣、氫氣和焦炭等等。一次能源又可分為再生能源和非再生能源兩大類。再生能源包括太陽能、水力、風力、生物質能、波浪能、潮汐能、海洋溫差能等。它們在自然界可以循環再生，而非再生能源則包括煤、原油、天然氣、油頁岩、核能等，它們是無法再生的。^{註三}

在全世界的一次能源中，化石燃料占80%，然其缺點為：一、資源有限。據估計，現今之主要能源，除煤以外，大都僅能再供給人類5、60年之用量；二、污染嚴重，破壞生態環境。燃燒化石燃料之排放物質，使歐洲和北美出現了大規模的大氣污染及環境酸化，上千個湖泊的湖水酸度使魚類無法生存，歐洲的部分土壤，其樹根部一公尺深度內已經酸化，而二氧化碳等氣體排放亦會造成溫室效應，導致酸雨、臭氧層破壞及地球氣候變化異常等狀況。據保守的估計，在歐洲僅材料腐蝕、魚類和農作、森林和人體健康受到的損害，每年就超過100億美元。目前各國解決的辦法大多傾向於：一、充分利用再生能源，並開發新能源；二、開發新材料及新技術，以提高能源使用效率，並達到清潔燃燒、減少污染之情況。

下文將對中共近年在重要能源科技方面的進展做一介紹。

一、潔淨煤技術

人類使用煤做為能源已超過百年歷史，並且在目前全球的能源結構中煤仍

然占最大比率(50%以上)，^{註四}據估計，地球上煤的儲量尚足夠供應人類使用約200年左右，且預估在未來20年內，煤仍將會是能源之主要供應來源。

中共的煤藏占世界總儲量的13%，而煤占其能源結構達70%，為其最主要的能源。相對的，燃煤所造成的污染也相當嚴重。其SO₂的排放量在1999年為世界第一，CO₂排放量為世界第二，僅次於美國，酸雨面積也已達其總面積的40%。目前，世界各國均大力發展潔淨煤技術，中共亦不例外。

所謂潔淨煤技術係指煤炭從開採到利用的全程中，採取減少污染排放並提高利用效率之技術，其中包括潔淨生產、加工、高效能潔淨轉化、燃燒、發電，以及污染防治等技術。

(一)潔淨生產、加工

潔淨生產、加工主要是藉由煤炭洗選來達成，煤炭經洗選之後可大量降低灰分和硫之含量，減少煙塵及二氧化硫等污染，目前中共已建立洗選廠，洗選能量達5億噸，但占其煤炭總產量之比率仍偏低。此外，水煤漿則是一種新型的煤代油燃料，具有燃燒效率高、二氧化硫和二氧化氮排放量低之優點。至目前中共已建立了9座製漿實驗廠，包括白楊河等5個電廠已使用水煤漿發電，並進入商業化運轉。

(二)高效能潔淨轉化

1.煤炭氣化

煤炭氣化係將煤炭在適當條件

註三 中國石油公司，「發展再生能源」，<http://www.cpc.com.tw/classroom/small19106.asp>

註四 同註二。

下轉化為民生用及工業用燃氣，並除去煤中的硫和灰分，以減少污染。中共在水煤漿氣化方面有不錯的進展，其所開發的新型多噴嘴對置水煤漿氣爐，性能且優於著名美商TEXACO之設備。^{註五}

2. 煤炭液化

煤炭液化可分為間接液化和直接液化，均有減低污染的優點。煤炭液化其實已發展多年，只是因為石油興起，而較被忽略，近年石油價格上漲，煤炭液化又開始受到重視。目前中共在間接液化方面已接近南非SASOL之技術水準，對直接液化亦積極展開研究，現已建立了具國際水準的直接液化、加工與分析實驗室，進行基礎性研發。

3. 高效能潔淨發電

高效能發電方式之一係藉由提高臨界循環蒸氣參數來提高機組效率，若加裝煙氣淨化設備，則 SO_2 、 NO_x 及粉塵排放都可大量降低。中共目前已有能力建造次臨界機組，現正進行超臨界與超超臨界機組開發工作，而第一臺超臨界鍋爐已於2004年7月製成，並出口至澳洲。^{註六}此外，循環硫化床鍋爐亦是達成高效率潔淨燃燒的有效工具之一，中共在此方面基礎較強，已具備自行設計製造400噸/h以下等級鍋爐之能力，且已大量推廣使用。然而在煙氣淨化設備技術方面則仍在起步階段。

另外，中共目前亦正在開發高

強度、耐高溫、抗腐蝕及磨耗之合金鋼及催化劑製造技術，以配合烟道中除硫及氮化物之清潔燃燒、高效率超臨界發電系統整體煤氣化聯合循環技術等之開發，希望藉由整體一貫的開採利用方式，達到近零排放之目標。而採用高溫煤鹼金屬粉之磁流體發電(MHD)技術，也是中共積極研發之重點，此技術所需之設備構造簡單、但效率高，且污染少，若材料技術能有所突破，在能源有效運用上將頗有助益。

二、油氣資源

油氣資源係指石油及天然氣而言，在世界能源結構之中，為除了煤以外，所占比例最大之能源。自20世紀50年代起，中共就積極的開發新油氣田，並且陸續在53個盆地中發現了油氣。自1960年發現了大慶油田，1962年之後又相繼發現了勝利、大港、遼河、任丘等油田，截至2001年為止，總計有油田531個，有效可採原油量為130~160億噸，天然氣田185個，有效可採天然氣量1兆立方公尺，年產原油達1.6億噸，排名居世界第五位。^{註七}

除了油氣開採以外，中共亦對成油理論進行研究，並且針對其地理環境發展了其特有的石油地質理論，如「陸相盆地成油、生油理論」和「複式油氣聚集區帶成油理論」等，用以協助其油氣田探勘，同時也發展了配套的油氣探勘

^{註五} 同註一，頁122。

^{註六} 清潔能源技術論壇，<http://combust.hit.edu.cn/cgi-bin/topic.cgi?forum=43&topic=95&show=0>

^{註七} 同註一，頁102。

技術，如地面地質調查技術、井筒技術、石油地質實驗技術，以及盆地模擬—區帶評價—圈閉評價等油氣資源評價技術等。在地震探測方面則開發了三維地震技術、高精度地震數值技術，以及地下成像技術等。在鑽井技術方面，除已鑽探深度達7,200m之中深井外，也完成定向井、水平井、坐式井及高溫高壓特殊井等技術之開發。^{註八}

雖然中共油氣儲量及產量均很大，但近年因經濟快速發展，能源需求大增，自1996年起已成為石油淨進口國，預估2004年之石油進口量將超過一億噸。^{註九}因此，積極開拓油氣能源為其當務之急，其可能採取之方式為：(一)擴大盆地油氣探勘，如塔里木盆地、準葛爾盆地、柴達木盆地等；(二)增加天然氣水合物及煤層氣(甲烷)之開發；(三)提升油氣探勘基礎理論及石油地質綜合研究，加快儲量探明速度，並提高儲採比等。

三、再生能源

除了煤和油氣資源外，一次能源中的再生能源亦是中共近年積極開發的方向。中共對太陽能發電早已發展多年，其主要形式為利用鏡面反射聚集太陽光，推動汽渦輪機發電。而利用小型太陽能裝置之房屋供熱系統，則已普遍應用，不過主要是在地廣、日照長之西部地區。中共目前亦正在積極研製燃料奈

米半導體及有機光電轉換薄膜等，期能進一步提高光能轉換效率，降低太陽能發電成本。此外，近年也對於風能進行研發，目前已在內蒙古惠勝錫勒風場裝設了10臺1.5兆瓦風機，在上海崇明島兩個風場裝設14臺1.5兆瓦風機，河北尚義風場裝置23臺風機，期使風能開發進入到快速發展的階段。^{註十}

四、第四代能源

大致上而言，人類所使用的能源已歷經了三代，第一代是以木材為主，第二代以煤為代表，第三代則是石油。由於煤燃燒會造成環境污染和生態破壞，而全球石油儲藏大約將於50年後面臨枯竭景況。因此，世界各國都積極尋求第四代能源方案，此一新能源不但在開採技術及蘊藏量上要能滿足人類需求，同時要能達到環保及與大自然共存的要求。在眾多方案中，核能、天然氣水合物及氫能有可能成為下一代的能源。^{註十一}

(一)核能

核能是廉價且清潔的能源，但由於核電廠安全及廢料處理問題，使各國對其開發運用上均十分審慎，目前僅占世界能源結構之6%左右。傳統核能是以鈾為原料的核分裂反應方式產生，但由於其中的鈉液會對材料腐蝕，易造成洩漏，且 ^{239}Pu 半衰期很長(可超過10萬年)，對環境會造成嚴重污染。目前，中

註八 同註一，頁105。

註九 「中國油品供應吃緊石油進口將超一億噸」，<http://www.epochtimes.com/b5/4/10/29/n703152.htm>

註十 「中國發展風電要有穩定的激勵政策」，http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/fortune/2004-11/15/content_2221952.htm

註十一 同註一，頁110。

共正針對"加速器驅動核反應"做基礎性研究，此一新方法可減低核廢料污染問題。然而，地球上鈾資源的藏量十分有限，根據估算，僅可再供應全球30~60年使用。因此，核能僅可視為過渡性能源，勢必仍需尋找其它替代能源及新一代能源，以維持人類的永續發展。

(二)天然氣水合物

天然氣水合物(Gas Hydrate)是指在低溫高壓環境下，所形成富含天然氣體分子的冰狀固體結晶，又稱為「甲烷水合物」或「可燃冰」。1單位體積的天然氣水合物在常溫常壓下可釋放150至170單位體積的甲烷氣，遇有火源即可持續燃燒。^{註1}由於此種固態水合物需存在於低溫高壓條件下(<0~10°C, >10MPa)，故大都分部於深海底下300~1,000m之沉積物中。若以含碳量來估算，全球天然氣水合物含碳總量約為全部化石燃料(煤、石油、天然氣等)之兩倍，藏量相當豐富，且其燃燒十分乾淨，為清潔的綠色能源，極可能成為21世紀最重要的能源資源之一。

天然氣水合物早在20世紀30年代就被發現，70年代蘇聯學者首先發現了具商業開採價值的氣田之後，世界各國便相繼投入研發工作。1995年美國在東岸大西洋海底布萊克海臺所發現的天然氣水合物資源量，估計可供應美國105年的天然氣需要，日本1994於南海海槽發現的水合物資源量，估計可滿足其

100年之能源消耗。其它如俄羅斯、德國、加拿大、挪威、英國及印度等都積極進行探勘研究，不過由於技術困難，目前國際間沒有任何商業開採實例。

中共從20世紀90年代起即展開天然氣水合物相關研究，相關單位如海洋局、礦產部、科學院及石油部門等，都投入研發工作，並於2004年5月在廣州成立天然氣水合物研究中心，為中共第一個全面性的天然氣水合物研究機構。研究結果初步認為東海的沖繩海槽、臺灣東北及東南海域、南海北部陸坡、西沙及南沙海槽都具有天然氣水合物蘊藏的條件，為可能的分部區。大體而言，其研究工作仍屬起步階段。

雖然天然氣水合物很可能成為人類新一代的能源，但它也可能對全球氣候和生態環境將造成危害。近年來，由於各國二氧化碳大量排放形成大氣層溫室效應，使得全球氣候暖化及海平面升高。然而，甲烷氣造成的溫室效應卻是二氧化碳的20倍，且海底下天然氣水合物的甲烷量約為大氣中的3,000倍。若海底水合物的甲烷釋出，可能會造成海底地殼結構變動，以致更進一步釋出甲烷，若海底下的甲烷氣大量釋放到大氣中，如此造成連鎖反應，將對全球氣候及人類生存環境造成嚴重的危害甚至災難，因此，對天然氣水合物的開發必須十分謹慎！^{註2}

(三)氫能及氦能

^{註1} 「地調所：油價高天然氣水合物量產可能提早」，<http://news.yam.com/cna/fn/200411/20041105372791.html>

^{註2} 同註一，頁113。

傳統的一次能源中石油、天然氣等由於不可再生。因此，只能做為過渡性的能源，而分子氫、氫同位素、氦同位素以及前述之太陽能則因儲量豐沛，可能成為人類最理想的永久性能源。

1. 氫能

在宇宙中，氫是含量相當豐富的元素，但是地球上的游離氫卻十分稀少，且因為氫能是一種高密度能源，生產氫要消耗大量的能量。因此，若要以氫做為能源，就必須尋求有效且經濟的製氫方法。目前主要製氫的方法有甲烷分解、煤的氣化作用以及電解水等方式，但這些方法都需要消耗其它能源，目前較有可能的是往廉價的水力、核能及太陽能製氫方向發展，尤其是太陽能電池及光電技術的發展，將有可能大量的產製氫氣。另外，安全、高效能、高密度、低成本的儲氫技術，亦是氫能利用實用化的重要關鍵。

中共對氫能的研究可以追溯到60年代發展航空工業時期，對做為火箭燃料的液態氫的生產和 H_2/O_2 燃料電池的研製工作，70年代則對氫做為能源載體和新的能源系統進行研究。近年來，各大學院校、「中國」科學院及石油化工等部門都積極投入氫能的研發和利用，如自然科學基金基礎研究、「863」高技術研究及科學院重大項目研究等。目前，上海一種只以氫和空氣為動力的

旅遊觀光車已能達到零污染排放的要求。此外，由於中共的鎳和稀土儲量豐富，發展儲氫合金具有資源優勢，目前在儲氫合金材料方面已能量產，^{註四}預估到2010年，中共的鎳氫電池產量將超過8億個，產值將達到數十億元。^{註五}

2. 氦能

由於傳統使用鈾為原料的核(分裂)能僅能再提供人類約60年的使用，因此許多國家都寄望於清潔、高效能之核聚變(或稱為核融合)能的開發，核聚變比核分裂可產生更大的能量(約為4倍)，且較無核輻射及污染問題。因此，為理想的新一代能源。核聚變反應的原料為氫的同位素「氘(D)」、「氚(T)」及氦的同位素(3He)，而地球的海水中存有豐富的氘和氚，但D-T聚變會放出大量的中子，因此，防護設施較嚴格，成本也較高。目前中共正進行聚變反應點火機制的物理原理研究，以及耐中子輻射、耐高溫及抗氫脆材料之開發。

相較於D-T聚變，D- 3He 聚變則較為安全(無輻射)、結構簡單、廉價，且能量更高。然而 3He 在地球中藏量甚少，卻大量存於月球土壤中(約100~500萬噸)，^{註六}若能從月壤中取得 3He ，則D- 3He 聚變將有可能成為永久能源。目前，美國已展開重返月球計畫，其目的之一即是為探測月球上 3He 、水及可燃性氣體等資源量。^{註七}

註四 「中國氫能的發展概況」，<http://www.newenergy.org.cn/energy/hydrogen/overview/gaikuancn.htm>

註五 張小貝，「氫能」，科學時報，<http://www.bjke.gov.cn/gkjq/nykx/k10525-04.htm>

註六 「神奇的氦電」，北京科技報，<http://www.bjke.gov.cn/gkjq/nykx/k104105.htm>

註七 同註一，頁142。

參、材料技術

材料技術是另一項影響人類目前生活及未來發展十分重大的高科技技術，中共近年也針對此一領域積極進行研發，以下僅對幾項重要材料技術之進展狀況予以介紹。

一、超導材料

超導材料的運用對提高能源使用效率有重大幫助。高溫超導材料具有儲能效率極高、輸電耗電近於零之特性，它可使傳統電機設備之體積重量大幅降低，但效率卻更高，同時對發展高速磁浮列車及大型加速器所需之超強磁場亦至為重要。目前中共已有能力量產超導材料鈮、鈦合金鈹和棒材，成為繼美國之後，世界上第二個在該領域可量產的國家。^{註大}估計可年產低溫超導線材1,200噸，高溫超導線材40,000千公尺，^{註九}其臨界電流密度可達 10^5A/cm^2 ，為傳統銅電纜的100倍；另外，中共也運用高溫超導材料研製成可載重500公斤、乘坐5人的磁浮實驗車。^{註十}並已開發了一些超導應用產品，如高溫超導濾波器，年產30萬臺，超導馬達，年產4,000臺；超導電纜，年產400千米；超導MRI—核磁共振成像儀，年產3,000臺。^{註二}目前則繼續研發更高溫的室溫超導材料。

^{註大}「西部超導公司投產」，<http://www.huaxia.com/20041108/00259329.html>

^{註九}「超導材料系列產品生產基地項目」，<http://www.huaxia.com/20040421/00196952.html>

^{註十}「高溫超導材製造」，http://www.chinainfo.gov.cn/data/200107/1_20010701_2851.html

^{註二}同註大。

^{註三}同註一，頁48。

二、航空材料

航空材料為現代材料科技之先導，其進展狀況不但顯示了一個國家結構材料之水準，同時更影響其他工業技術之發展，中共航空材料之發展主要在機身材料及發動機材料方面。

(一)機身材料

中共在航空飛行器之機體材料發展重點為低成本高性能之樹脂基複合材料，此類材料的特點為具有較高之耐溫性和抗損傷容限，以及較低之溼熱環境效應。此類材料中又以液態成型之聯銨樹脂基複合材料最具發展性，不但製造成本低、強度高，且重量較輕，北京航空材料研究院已可利用此材料製作出機身中之剪切樑。^{註三}

(二)發動機材料

目前先進的軍用航空發動機其主要材料包括鈦合金、高溫合金及高溫複合材料等，中共除開發了單晶鎳基高溫合金、陶瓷及複材等之研製技術，並將第一代DD3及第二代DD6單晶合金分別用於直升機小型發動機及先進渦輪發動機葉片上，其品質與其他國家產品相當，且成本更低。但大體而言，中共的航空材料仍以仿製為多，創新者較少，單一用途者多，多用途材料較少。

三、生物醫學材料

近年來，由於生物技術的突破，以

及人口逐漸趨向高齡化、青壯年創傷及疑難疾病增多等因素，造成生物醫學材料得到快速發展。生醫材料主要是用於對生物體進行診斷、治療、修復、替換病損組織器官或增進其功能。^{註三}

由於近年來奈米技術的快速發展，藥物控釋材料及基因治療載體材料也成為中共相關單位之研發熱門重點。所謂藥物控釋是指藥物通過生物材料並以固定速度、特定方向甚至智慧型地釋放過程。而基因治療係導入正常基因於特定細胞(如癌細胞)中，對缺損或致病的基因進行修復。此外，將體內病原或毒物濾除之血液淨化材料，其重點是在濾膜、吸附劑等的研製，中共在此領域已有良好之成果並已達國際水準。

四、輕合金

在各類金屬中，鋁、鎂、鈦等金屬密度較小，故通稱為輕金屬，而其相對應之合金則稱為輕合金。

(一)鋁合金

鋁合金比重小、導熱性佳、易於成型且價格低廉，早已廣泛應用於航空、交通運輸及建築等領域。不過，由於鋁合金材料易於成型，故強度並不高，隨著工業應用的需要，高強度、高韌性成為鋁合金發展之方向。其中，高強韌鑄造鋁合金，因為製造週期短、成本低廉，是各國研發重點之一。例如：法國開發的A-U5GT、美國的2010，都具有良好之強韌度，而中共所研發的

ZL205A，抗拉強度達510MPa，延伸率可達13%。最近，北京航空材料研究院研製出一種鑄造鋁合金，其延伸率可達19%~23%，衝擊韌性為 $_{ak}181\sim 304\text{kJ/m}^2$ ，其成分與ZL205A相近，但韌性更佳。

(二)鎂合金

鎂合金因具有比重小、比強度和比剛性高、導熱性好、電磁屏蔽能力強、易回收、無污染等優點，近年來也逐漸使用於汽車、電子及航空工業中。但應用量仍較鋁合金少很多，主要原因是鎂元素活性很強，使鎂合金在熔煉澆鑄過程中容易發生劇烈的氧化燃燒，因此生產較困難。通常因應的作法為添加溶劑或 SF_6 、 CO_2 、Ar等氣體以達到阻燃之作用，但此種方法會嚴重污染環境，並降低合金性能。中共於2000年在上海交通大學成立輕合金精密成型工程研究中心，專司研發高品質鎂合金熔劑、鎂合金錠生產、鎂合金塑性變形加工和表面處理等技術。^{註四}最近，該中心開發出一種阻燃性及力學性能均佳之阻燃鎂合金，已應用於汽車變速箱外蓋及手機、MP3等電子產品外殼上。

(三)鈦合金

鈦合金因比重小、耐蝕性及耐熱性佳、剛性及強度高、儲氫能力佳等特性，使其成為航空工業、石化工業、生物醫學及尖端科技領域中之重要材料。早期鈦合金最主要用於航空發動機及機身結構，現已逐漸擴展至一般民生及消

^{註三} 同註一，頁49。

^{註四} 輕合金精密成型工程研究中心，http://www.materialsone.com/materials/class/books_show.php?books_id=431

身結構，現已逐漸擴展至一般民生及消費性產品領域。

高溫鈦合金是目前鈦合金發展的主要方向之一，自美國於1954年研製成功可耐溫達350°C的Ti-6Al-4V合金之後，各國均相繼開發出耐高溫的材料，中共也已開發出耐溫達600°C之Ti55及Ti60合金。此外，強度可達1300MPa之超高強度鈦合金及阻燃鈦合金亦是中共近年研發之重點。

五、高分子材料

在人類日常生活中，塑膠、橡膠、纖維及塗料等高分子材料早已深入各領域。高分子材料是由長鏈分子所組成，由若干原子按一定之規律連接而成，又稱為聚合物材料。由於其極低之介電常數，二次大戰時，被用為英國雷達及潛艇的電纜絕緣材料，美國杜邦研發之尼龍66纖維也用做降落傘的材料。中共在此一領域之研發成果包含離子交換樹脂、高分子粘結劑、鎳催化順丁橡膠、超細聚丙烯，以及已出口之SBS熱塑彈性體等。近期之研究則往奈米應用及高分子材料成型加工技術方向發展，如在材料表面引入奈米粒子的超臨界流體溶漲技術、大面積高分子光電功能薄膜、奈米纖維成纖技術及超分子成型加工技術等。此外，材料作用與功能可隨外界條件變化而調節、修飾與修復之智慧型高分子材料亦是研發重點。^{註五}

^{註五} 同註一，頁75、78。

^{註六} 同註一，頁88。

^{註七} 「先進陶瓷研究與產業化面臨的機遇與挑戰」，<http://www.cnpowder.com.cn/meeting/taoci/1tjj.htm>

六、先進陶瓷材料

所謂先進陶瓷材料係指用精製高純度人工合成之無機化合物為原料，精密燒結製成之高性能陶瓷，由於具有優異的光、聲、電、熱性能，使其在應用上與金屬或高分子材料相比，毫不遜色。例如：在電子及通訊方面，大型積體電路中的各式基板及基底材料，光纖通訊之石英光纖、光纖連接器，以及雷射作用材料等等。在軍事方面，飛彈、火箭及衛星上之隔熱片及塗料；雷達系統中之微波介質等，也都使用先進陶瓷材料。此外，環保、醫學(如人工關節及假牙等)以及清潔能源等領域，也都大量使用先進陶瓷材料。^{註八}

中共發展先進陶瓷材料的時間較早，至目前為止已獲得相當成果。其中纖維補強陶瓷基複合材料已應用於戰略導彈及衛星天線上，而所研發的陶瓷零件也應用於飛機發動機、機械密封及金屬切削工業中。氧化鋁、氧化鋯陶瓷製成之積體電路基板、光纖連接器零件等，均已量產。此外，中共在多元氮陶瓷相圖、多相複合陶瓷以及納米陶瓷粉製備與燒結等之研發成果，在國際上亦有不錯之評價。另外，在片式陶瓷元件、微波介質陶瓷、先進陶瓷成型技術、陶瓷分離膜等方面亦獲得了不錯的成果。^{註九}為了進一步提高材料性能並降低成本，未來研發將朝向結構設計及製

程控制方面進行。^{註六}

肆、結語與省思

綜觀前述，中共在能源利用與開發上，仍以傳統化石燃料(尤其是煤炭)為主，主要原因為礦藏量龐大，且技術需求及經濟水準較低之故。惟因近年全球環保意識覺醒及能源需求量增加，中共也積極提升其能源運用技術水準並開發新一代能源(如潔淨煤技術與太陽能利用等)，且已獲得初步成果，估計部分技術不久即可達到世界先進水準。在材料科技方面，中共在某些各別技術上(如超導、航空材料及先進陶瓷材料等)已可達到世界水準。但就整體而言，若要在此二領域達到全面環境、技術提升與需求的滿足，則仍需一段時間。然因其近年經濟、社會開放，各國資金與技術的大量投入，對於其能源、材料以至其它相關科技的加速提升，極有助益，此一磁吸效應，也對我研發技術與資源也相對

造成壓力。而我政府雖也已將能源與材料納入國家重點科技發展項目中，但資源相對集中於綠色能源、生物科技及光電半導體等領域。固然這些項目乃世界潮流走向，然對傳統能源與材料領域，政府仍應給予持續支持與重視，如此不僅可分散科研投資風險，並可維持我民生與國防科技之均衡發展，避免整體科技落入中共之可能，值得深思。

收件：93年11月15日

修正：93年12月24日

接受：94年01月10日

作者簡介

徐大杰博士，陸軍上校，中正理工學院機械系72年班、美國海軍工程學院兵器系統工程碩士78年班、美國威斯康辛大學機械工程博士；現任職於國防大學中正理工學院副教授。

註六 同註一，頁91。