

萬華社區大學自然與人文講座

講題：毫微（奈米）科技的過去、現在與未來

講師：交通大學建築研究所助理教授 葉李華

各位萬華社區大學的學員：

大家好，今天的題目是「毫微科技」，也就是現在最熱門的「奈米科技」，因為它的範圍很廣，所以我把它鎖定在一般性的介紹，做一個廣義的歷史性回顧，從文化層面來講起。

為何稱為「毫微科技」？

我捨「奈米科技」而取「毫微科技」是有道理的，因為奈米只是音譯，在不同區域會有不同譯法，像大陸就叫「那米」。這種譯法並不確實，甚至發生許多笑話，像大陸就有農夫要去買「那米」種子來種，因為他以為「那米」是一種新品種的米。

毫、微在中文裡面都表示「很小」，但在科技中文裡面有另外的解釋：毫指千分之一，微指百萬分之一。而奈米是從希臘文 *nanon*（侏儒）來的，當然也是小的意思，可是跟中文對不上，所以我傾向於使用「毫微科技」。

狹義的「毫微科技」就等於「奈米科技」，因為「奈」在科技中文裡面等於「毫」乘以「微」，指十億分之一。而因為「毫」「微」都是小的意思，那麼「奈米科技」其實也就是「小小科技」，並不一定要到十億分之一的程度，在微米（百萬分之一公尺）的程度也可以稱為廣義的毫微科技。像有一門學問叫「微機械學」，研究程度就是在微米的程度，等一下我們會再提到，所以「毫微科技」有狹義的說法也有廣義的說法，但「奈米科技」就一定是狹義的 *nanon technology*。而不論「奈米」「那米」都代表十億分之一公尺，因為「米」就是英文公尺的音譯。

「奈米」到底有多小？

對於這麼小的尺度，人是不會有感覺的，所以我們把範圍縮小為以原子計量來舉例，比原子更小就不提了，氫原子是所有原子裡面最簡單的，它的直徑大概是 0.1 奈米，這是粗略的計算，水分子（兩個氫原子，一個氧原子）的直徑是 0.3 奈米，這是比奈米小的層次，跟奈米同等的層次是葡萄糖的分子，大約等於一個奈米。DNA 是一個更大的分子，長串雙螺旋狀，如果去量它左右兩邊的兩個直徑，差不多是兩個奈米，一個典型的病毒約略是 75 奈米（平均值），細菌通常比病毒要大，目前找到最小的細菌約有 200 奈米大，CPU Pentium3 裡頭最小的積體電路長約 260 奈米，光線有各種顏色，對應到不同波長，紫光最短，410

奈米，紅光最長，680 奈米，典型的細菌是 1000 奈米，酵母菌 7000 奈米，紅血球 8400 奈米，如果是一粒非常細的沙子，直徑約 20,000 奈米。人的頭髮直徑長約 25,000 奈米，跟精子長度相同。而卵子，一粒剛剛受精的卵子直徑約 100,000 奈米。

奈米的等級

奈米科技（狹義的毫微科技）研究的方向就是要用人工製造出一些機器、儀器，能夠在奈米的等級。何謂奈米的等級？就是幾個奈米到幾十奈米那麼小。比如說 Pentium3 裡頭最小的積體電路長約 260 奈米，這算不算奈米科技？其實見仁見智。一般的標準是：如果大於 1,000 奈米就絕對不叫奈米科技。因為大於 1,000 奈米就是「微米科技」了，像剛才所講的「微機械學」就不是奈米科技，因為 1,000 奈米等於一微米，最好是小於 100，當然，零點幾奈米的話，以現在的科技還做不到，範圍大概在 1~999 奈米之間。

從文化層次看毫微科技——巨人和侏儒

童話或神話之中經常會出現形體迥異常人的人，他們不是特別高大就是特別矮小，像聖經中的「大衛與巨人」，童話故事的「傑克與仙豆」，格林童話的「姆指湯姆」等，這些角色背後是否有意義？

我們先提一位老先生，他叫「榮格」，是心理學界的一代宗師，是佛洛伊德（Freud）最有名的一個學生，他對佛洛伊德所提出的潛意識研究、心理分析非常有興趣，在成為心理醫師之後拜入他門下。他們兩人本來興趣相投，後來榮格不滿佛洛伊德把什麼事情都解釋到性、幼年時的性挫折，於是兩人就決裂了，在學術領域上分道揚鑣。

榮格和佛洛伊德因何決裂？因為佛洛伊德研究的只是意識跟潛意識的關係，而榮格不滿足，他要研究意識、潛意識跟集體潛意識。佛洛伊德說：「我們人清醒時表現出來的行為只是冰山一角，只是十分之一屬於意識的層次，我們還有十分之九屬於潛意識的層次，在夢境裡面最容易表現出來，而我們平常有很多行為也是你不知道為什麼這樣做，這都是潛意識在作祟。」榮格剛開始也覺得這很有道理，但是他認為還不夠，而且他也不認為性對潛意識會有那麼大的影響。他後來提出「潛意識之下還有集體潛意識」，佛洛伊德的比喻是「冰山一角」，榮格的比喻還更深入，他說：「我們看到這些露出海面上的東西，並不一定是冰山，而是海底的火山，它們的根基是連通的。」這個概念非常重要，代表全世界的人類，古往今來，都有一部份的潛意識是相通，跟人類任何外在因素無關，這些最根深蒂固的潛意識就叫做「集體潛意識」，集體潛意識有很多方法可以去研究，可是榮格覺得最重要的，是研究神話，這之間跟我們主題有關的就是「人類為何想要變大或變小？」

人類為何要變大？變小？

人類想變大比較容易了解，在完全靠人力、獸力，沒有機械的時代，形體越大力量也更大，越能做很多事情，像中國古神話「大禹治水」就講到大禹時常會變成怪獸來達到特殊目的，譬如變成狗熊來搬運大石頭。

變小的好處比較難理解，我自己的解釋是：「很早以前就有人想到，如果人能變小，就能做一些精巧的技藝，比如說要鑽到別人的身體裡面去，一定要變小才能鑽進去。在介於神話與童話的領域之間，有一個故事叫《格列佛遊記》。格列佛遊歷了四個國家，我們所熟知的是「格列佛大小人國歷險記」，這本書是在西元 1726 年時寫出來的，作者 Jonathan Swift (1667-1745)。Swift 是快速的意思。格列佛在小人國是巨人、在大人國變成小精靈，他在大人國做了一件事讓所有大人國的工匠嘆為觀止就是——他拿大人國國王的鬍渣做梳子。這段故事對我來說是很重要的啓示跟佐證：所有的童話裡面都曾想到，如果人的形體變小，就可以做一些常人做不到的事。很早以前就有一些有識之士想到，人如果變大或變小，就可以做一些超越人體極限的事，《格列佛遊記》是一個例外，因為他不是自己本身變大變小，而是他周遭的人事在變，變大的慾望很容易解釋，像我們在工業革命之後能用機械生產，不管是火車頭還是大型機械，都是人類變大的渴望慢慢轉化成科技的發展，變小的想法則大概晚了兩百年，而這就是今天我們要討論的毫微科技。

毫微科技的文化脈絡

在有科技以前，人類的想像就已很豐富，只是在科學之前人類只能想而不能做，頂多寫成故事流傳下來，但是做不到並不表示想不到，所以我們看科技發展有好幾個層次，一開始是單純的幻想，慢慢變成跟科學逐漸結合的幻想，也就是所謂的「科幻」，到最後才是真正的科學，從東西文化的脈絡來看，我們可以發現，古代這些聰明人其實早就想到了，人應該要設法變大或變小，但是怎麼樣去做他們也說不上來，只好採取一些比較奇幻的方式來表現，重要的是他們敘述了人變大或變小之後，可以做到那些一般人所做不到的事情。

單純的幻想其實就是「奇幻」，像《哈利波特》《魔戒》這種的，你可以說它是奇怪的幻想，天馬行空的幻想。做得到做不到沒關係，書中也不需要交代。像童話裡面也從來不講「為什麼」，只告訴你「會怎麼樣」。

科幻則一定要跟當時科技做結合，通常科幻電影或科幻小說所描述的故事，一定都是當時科技所做不到的，如果當時科技做得到，就不是科學的幻想（Science Fiction）而是科學的現實了（Science Fact），而常常有一個事實是，科幻逐漸變成科學的事實，我有一個比喻：科幻像一座大樓一樣，下面是科學，上面是幻想。你必須根基夠穩才能向上一層層蓋。在科幻作品裡面幻想是科學的延

伸。我們常說「科學衍生科幻，科幻延伸科學。」

如果我們追溯最早的科幻的想像，跟毫微科技有關的題材，可以追溯到十九世紀以前，那時候就有人在寫縮小的科幻，我們可以把它叫做「縮形術」。我這裡列了三本書《內在旅行》、《維能歷險記》、《有靈魂的螞蟻》，這都是最早的縮形術，這些書跟神話不一樣的地方就在於，他們要想辦法說服你，說「這是有可能做到的事。」或者說「這是透過科學手續以後可以做到的事。」譬如說被特殊光線照到然後身體縮小之類的，重點是縮小絕不能無緣無故，不然就屬於「奇幻」而非「科幻」了。

有小說之後開始拍電影，我目前找到最早的電影是「巨博士」，這是我自己做的翻譯，想必台灣是不曾上映的，所以只能自己翻譯，它是 76 分鐘的電影，沒有分級，這是我目前能找到最早，跟「把人縮小」題材有相關的電影。

本題材最有名的一部電影，或者說具有歷史地位，承先啓後繼往開來的一部電影應該是「聯合縮小軍」(Technologic Voyage)，這部電影是 1966 年拍的，在台灣上映時可能是民國五十六年(1967)，這部電影算是我對科幻的啓蒙，在三十幾年前我幼稚園的時候爸爸帶我去看，也可能就是因為它，才讓我喜歡上科學／科幻。

它的劇情大概是說，某個重要人物得了腦中風，腦血管栓塞，要動手術。剛好當時有一個最新技術，可以把潛水艇縮小，用注射的方式注入人體，讓潛水艇透過血管移動，裡頭的人員再用雷射槍去清除腦血管栓塞，大概是這樣的構想。此片的想像力非常豐富，予人很多的啓發。因為醫生動手術一定要開膛破肚，但是這中間有一個矛盾：「明明動手術是爲了治病，爲什麼在手術過程中又增加無謂的傷口？」「如果透過一些精密的儀器，是不是動手術可以不必有外傷？」這是我覺得這部電影給人最大的啓示，透過不同的管道一樣可以把病給治好，現在的內視鏡手術差不多是這種概念。

「聯合縮小軍」有沒有成真的可能？

如果你問我：「人體有沒有可能被縮小？」答案幾乎是絕對的否定，人體不可能被縮小，我們用一個很簡單的科學推論就可以說服大家，人體是不可能被縮小或放大的，如果一個原來 170 公分的人被縮成粉筆一樣大小，這個粉筆人身體裡面原子跟分子的數目有沒有改變？如果改變了，假設這個人體內的原子和分子只剩下原來的 1/1000，那麼其他 999/1000 到那裡去了？假如他變大了，失去原子和分子是不是會回來？這是不可能的事。如果沒有少的話更糟糕，體積縮小重量沒有改變，而且也代表他體內的原子和分子被擠壓在這麼小的一個空間裡面，那裡面的物理作用和化學作用都被改變了，還有一個更妙的說法是，雖然原子和分子都沒有減少，但是它們也被縮小成爲 1/1000 倍，這是更不可能的事，因爲原子已經是最基本的粒子，它不可能被縮小，所以我們用一些很簡單的推論就可以證明人體不可能被縮小。

如果以上條件完全忽略不計，人體縮小成功，也不可能搭著潛水艇在他人體內到處遊走，這就要用「平方立方率」去解釋。如果一個小方塊變成大方塊，邊長變成兩倍、面積變成四倍、體積變成八倍。我要搭建這個大的正方形必須利用八個小的正方形才能搭起來，平方立方率就是說，如果你把一個東西縮小、放大，它的面積或體積是跟它的邊長成平方($n*n$)或立方($n*n*n$)的比例來縮小、放大的，不是所有跟它相關的特性都跟它一樣放大某一個倍數，放大的倍數是不一樣的。

舉一個生活化的例子：我們如果含一個冰塊在嘴裡，冰塊不太容易融化。如果嚼碎之後，冰塊立刻就融化了，為什麼？這就是平方立方率的概念。譬如說你把一個大冰塊嚼成八塊，就是把一個冰塊縮小成八個，它的體積變成原來的 $1/8$ ，但面積只縮成原來的 $1/4$ ，原本那個大冰塊只有上下左右前後六個面受到嘴裡的熱量，嚼成八塊之後，多出來的面也會接受嘴裡的熱量，所以很快就融化了。這是平方立方率的一個例子，同理可證，如果一個人縮成粉筆般大小，鑽進人體裡面一定立刻熱死。所以很多推論都足以證明這部電影不可能成真，可是在這裡我要強調：「科幻小說絕對不是科學論文或通俗議題，它只是描述一種概念，指出一種方向而已。倘若此概念有希望證實，此方向值得嘗試，那麼就一定會有設法實現，無論最後我們用什麼方法來使夢想實現，都可以算是一種成功。」不論科幻小說、電影，都不是一定要鉅細靡遺地呈現才叫「科幻成真」，只要它所指出的大方向被實現就可以，至於細節方面，因為編劇、導演和科學家、工程師的角度絕對不同，所以那並不重要，千萬不要看了電影之後立志發明縮小光線，那你一輩子也不可能做到，我們應該得到的啟示是：「原來手術透過精密儀器可以有另外更安全的方法。」這才是需要努力的方向。

毫微科技的重要里程碑——費曼（1918~1988）

1965 年諾貝爾物理獎得主

費曼的名氣比一般諾貝爾物理獎得主大很多，在台灣也有他的著作。天下文化出版了《別鬧了，費曼先生》《你管別人怎麼想》這兩本科普書，一賣幾萬本，已經變成鎮山之寶。

費曼對毫微科技的重大貢獻在於，他提出了一個方向。1959 年 12 月 29 日美國物理學會的年會請他做一個專題演講，他講的題目是「底層還有許多空間」，費曼提出的主張是，人類一直致力於開發太空「上層空間」卻沒想到底下、內部還有許多空間值得我們去開發，有一個例子，是企管人很喜歡講的小故事：「一個瓶子裡裝滿了小石子，能不能再裝？能，裝沙。裝滿沙之後能不能再裝？能，裝水。」企管人講這個故事的意思是說，只要肯拿出時間來，那怕再零碎的時間也可以做點事情，不過這跟費曼講的論點很像，雖然我們覺得地球已經沒有可利用空間，但是只要儀器改良，之前沒有利用到的縫隙還可以再做利用，這就叫做

「底層還有許多空間」。這裡頭最重要的一句話是：「到了公元 2000 年，子孫回顧我們這個時代將會納悶，為何直到 1960 年竟然還沒有人認真研究過這個領域。」從這個文獻我們得知，在 1960 年以前沒有人研究過毫微科技。至於做什麼研究呢？他提出一個例子：「為什麼不能在針尖上面寫下整部《大英百科全書》？」這意思就是說，把東西做小之後自然就省下空間了。費曼是美國人，是猶太人，雖然很聰明，可能對中國文化也不了解，我可以保證他說這句話跟中國的毫芒雕刻一點關係都沒有。

不過費曼為什麼不講別的東西而要講「針尖」呢？因為在西方文化，中世紀的時候，歐洲有很多哲學家兼神學家，天主教的神父，畢生都在鑽研哲學跟神學。他們曾經討論過一個非常嚴肅的哲學及神學問題：「一根針尖上可以容納多少位天使在上面跳舞？」這是當年非常嚴肅的哲學及神學問題，因為天使的大小跟他的神性有點關連。這也就是為什麼歐洲中世紀的經院哲學有另一個名稱叫「繁瑣哲學」的原因。

現代人研究毫微科技幾乎都會追認這篇演講是起跑點。譬如說我們用原子排列出字母，就是呼應費曼當初的挑戰，現在早就有人達成了。如果能用原子來排列出字母拚字，在針尖上擺《大英百科全書》綽綽有餘。費曼當年提出的挑戰在三十年後已經實現了，可見得毫微科技真是突飛猛進。突飛猛進的另一個原因是，其他相關的科學理論及技術也已發展得差不多，已經蓄勢待發。幾乎可以說是費曼一聲令下，大家就向前衝，而我們的起跑點是 1960 年。

平方立方率對毫微科技的重要性

為什麼大象腿粗、蚊子腿細，有沒有生物學上的根據？越大的動物腿越粗、越小的動物腿越細，這其實也是平方立方率，並沒有什麼生物學上的根據。如果我把蚊子放大一千倍，讓它跟大象差不多大的話，它自己會把自己給壓垮。如果它的身高增加十倍，體積會增加 $10*10*10=1000$ 倍，重量也應當是蚊子的一千倍，可是它的腳，按照面積來量，只增加 $10*10=100$ 倍，那等於它的腳要承受本來十倍的重量，如果十倍重還不垮，再繼續放大下去總會垮掉，這是平方立方率另外一個運用，生物越巨大腿一定要越粗。

早年的好萊塢拍怪獸片，為了節省人力物力，都是拿昆蟲，譬如蜘蛛來拍，旁邊放些小佈景，拍好之後再放大到螢幕的尺寸，那種做法完全不合平方立方率。因為蜘蛛如果要變那麼大，腿絕不可能那麼細。同樣的東西一大一小，大的東西一定要加粗才夠結實。學建築的人都知道，做小模型只要用紙板、木頭，實地去蓋卻要鋼筋水泥，這是因為建築要照模型比例放大，不能任意加粗，解決的方法就是改良材料。

從小變大，如不加粗一定要改良材料；現在反過來，從大變小就是毫微科技，你把一個模型縮小成 1/1000、1/10000，平方立方率對我們來說就是一大福音，在毫微科技裡面不太考慮強度的問題，因為體積縮小強度自然變大。如果放

大一樣東西材料必須更堅固，反之縮小一樣東西材料就不必考慮它是否堅固。一個紙做的模型如果縮小千倍、萬倍，可能用塑膠袋都做得出來，就是這樣的感覺。

毫微科技現在跟未來的發展

美國現在有一個計劃，叫「國家級毫微科技計劃」(NNI, National Nanotechnology Initiative)。這裡頭的 initiative 是「國家級計劃」，沒有任何意思。這是由柯林頓總統在 2000 年 01 月 21 日在加州洛杉磯的加州理工學院所做的公開演講中所宣布的，正式宣布美國要以國家力量來推動這個計劃。怎麼做？他希望在這個計劃中能發展出二十一世紀下一代新的材料，利用毫微科技。他舉了三個例子：「一、造出強度十倍於鋼，卻輕得多的建築材料。二、把整個國會圖書館裡面所有的資訊濃縮在一個方糖大小的記憶元件裡面。三、設法偵測出只有個位數的癌細胞。」這三個宣誓現在還做不到，但也不是科幻小說，因為在二十世紀末、二十一世紀初，經過那麼多年的努力，很多東西都已經成熟了。毫微科技絕對不是近幾年才冒出來的，從 1960 到 2000 算是準備期，2000 年算是個分水嶺。重要的是柯林頓透過演講正式宣佈要以國家級力量來推動，可以測知其將來會有相當大的發展。

毫微科技最新的發展

首先從足球講起。足球是由黑跟白拚起來的，黑是五邊形、白是六邊形，拚起來的形狀叫「截角的正二十面體」。先用二十個三角形貼成一個正二十面體，再把尖尖的部份切掉，這時就變成類似足球的形狀，吹漲之後就是圓的。足球上這些交接的點有六十個點，將每個點放上一個碳原子，就構成了**碳六十**，也叫做「巴克球」，也叫做碳六十，是毫微科技裡頭最重要的材料之一。這是六十個碳原子組成的球狀物，是一個非常強力的材料。

再來是奈米碳管，非常結實。跟石墨一樣由碳構成，硬度卻是天差地遠。石墨就是鉛筆的材料，是一層一層的，很容易被剝開；奈米碳管則是立體的，非常結實。最結實的一種碳的結構就是鑽石，所以碳是可剛可柔，端看其原子怎樣排列。現在是改變碳原子排列的立體形狀，就可以得到巴克球、奈米碳管這些東西。

再來是毫微電線，英文就叫 nanowire。寬度只有幾個奈米，它是用一個個原子串起來的，你們或許會問：「那麼小的電線，怎麼做呢？」其實根本不用做，它會自我組成，並且自我修復，譬如說某種化學溶液，你只要在外面適當控制電場、磁場、溫度，就有辦法從這個化學溶液裡面引導出毫微電線。這個溶液裡的化學成份會因為你在外面加了電場磁場自己就長出來。

倪匡在 1981 年的《天人》裡頭提出外星人利用外在的磁場和電場刺激人體內礦物質發生變化，而在人腦中自然生出電路板的說法。當然你可以說這是他自

己天馬行空的想像，但是同樣的概念在二十多年後竟然被證實了，實在不可思議。未來的毫微科技真的是神奇，人類之前所有最狂野的想像都有可能因而實現。

毫微科技跟自然界的比較

毫微科技有很多東西可以跟自然界做比較，甚至模仿自然界，因為很多東西自然界經過千萬年演化，已經非常完美了，病毒就是一個例子，病毒可說是自然界的奈米機器人，它的結構是完美的幾何圖形，有些還有腳，它可以用腳附著在細菌上面，用腳把細胞壁打穿然後鑽進去，這些不管奈米機器人或奈米探針現在都有人在研究，但是自然界其實早就有了。所以毫微科技的另一項發展就是師法大自然。

現在因為毫微科技很熱門，所以大家處處留心，看自然界那裡可以發現相同原理。結果植物學家在荷葉上面發現奈米結構。為什麼雨水、露珠可以在荷葉上頭滾來滾去，完全不會散開？因為荷葉的表面有奈米結構。

現在有一門學問叫「仿生學」，模仿大自然的動植物，不管是結構或行爲，來設計一些人造的東西。這門學問是滿新，而且方興未艾的。

最後我要強調，任何一門尖端科技都是其來有自，絕對不會憑空冒出來。如果我們能了解其歷史文化脈絡，就不會對它有恐懼感和陌生感。

參考書目簡介

《那米科技》，商業周刊出版社：這是目前台灣在奈米科技方面出的最好的一本書。

《典雅的幾何》，天下文化出版的：對病毒結構有興趣的學員們可以參考《科學月刊》十月號：也是介紹奈米科技

問題與討論

學員發問：目前奈米科技好像沒有關係到新能源？

講師回答：我並未查到任何資料，是關於奈米科技與開發新能源的，目前主要的方向是柯林頓提出的材料、資訊、醫學。能源方面可能要再查。

學員發問：為什麼水珠會在荷葉上滾來滾去？

講師回答：如果妳看過「蟲蟲危機」就知道，對螞蟻來說，水是一球球的，也就是因為尺度改變，不同的角度去看會發生不同的變化，水珠在荷葉上滾動主要是因為表面張力，因為荷葉的表面紋理結構已經到達奈米層級，加上水的表面張力讓水珠不會擴散，才會滾來滾去，如果水對於螞蟻都是球狀，是不會擴散的東西，那麼對於奈米結構而言，就更不會擴散了，有人認為表面張力的說法不好，

應該是表面縮力，水珠會盡量縮小自己的表面，也許就是因為這樣的相互作用，讓它會在荷葉上滾動，我只能說大家要跳脫自己的既定觀念，因為人類的尺度不是絕對的。