

# 衛星能多小—— 皮米及奈米衛星

■ 苗君易 · Artur Scholz · 莊智清 · 蔡永富

人類自有歷史以來，對於太空的嚮往未曾中斷，世界各文明也都留下相當多的天文觀測紀錄。1957年第一顆人造衛星史波尼克號（Sputnik）發射，開始進入了太空時代，迄今共有約5,000枚人造衛星進入太空。我國太空科技發展主要由國家太空中心負責推動，近20年來，執行福衛一、二與三號衛星計畫，發射了8枚衛星，建立了我國太空科技發展體系及基礎設施，也奠定了我國太空科技的基礎。

人造衛星若以重量歸類，可分為重量超過1,000公斤的大型衛星、介於1,000公斤與500公斤間的中型衛星、500至100公斤間的小衛星、100至10公斤的微衛星、10至1公斤的奈米衛星，以及1公斤以下的皮米衛星。同步軌道的商用通信衛星與天文觀測的哈伯望遠鏡都屬於大型衛星。目前，我國對地觀測的福衛二號衛星屬於中型衛星，利用掩星技術（詳見國家太空中心網站www.nspo.org.tw）進行大氣與電離層觀測的福衛三號衛星屬微衛星，而曾完成3項科學實驗的福衛一號衛星則是小衛星。

近20年來，資訊電子及微系統蓬勃發展，對於太空科技與衛星技術的發展也產生相當大的影響。一方面，衛星上的電子系統，尤其是衛星電腦可以靠著電子裝置輕、薄、短、小、省電與智慧化的優點，建立更完整的功能；另一方面，隨著電子裝備的微小化及功能提升，衛星的設計與製作也有小型化的趨勢，一明顯的實例是目前世界許多大學都致力於10公斤以下奈米 / 皮米級衛星的發展。

把衛星縮小主要的好處是可降低發射費用與增加發射機會。基本上衛星的發射費用是根據它的質量與軌道高度而定，中大型衛星在設計之初就須考慮發射載具的搭配，由於世界上具有發射衛星能力的國家仍屬有限，因此欲取得專屬發射往往費時且需昂貴的發射費用。如果衛星可縮小至100公斤以下，就有機會利用「搭便車」的方式發射，即利用火箭酬載艙內主要酬載（衛星）之外剩餘的空間與重量搭載發射，因此有較多的發射機會。

中大型衛星的酬載（例如商業通訊發射器、先進的太空實驗儀器等）所費不貲，得採用太空規格的元件進行不同階段的环境測試之後才得以升空，因此整體發展的時程得經歷數年。相較而言，本文所述10公斤以下的奈米／皮米級衛星的發展時程較短，經費規模較小，易於掌控整體計畫流程，非常適合大學或研究單位發展。

在大學校園內研製奈米／皮米級衛星的另一項好處是可與教學研究相結合，特別是做為學生專題實作或競賽的主題，以訓練學生衛星系統工程與團隊合作能力。

奈米／皮米級衛星由於體積小、重量輕，一般用來執行較為單純的任務，例如：衛星關鍵元件驗證、特定衛星本體技術發展或微系統科學酬載實驗等；對於較複雜的任務，則可以採用奈米／皮米級衛星星系或星群的方式布署。因此，奈米／皮米級衛星雖小，但本體功能完整，可說「麻雀雖小、五臟俱全」，若再結合模組化設計與分散式控制，未來極具成為有實際用途的衛星系統的潛力。

眾所周知，個人電腦產業得以蓬勃發展的一項關鍵因素是介面標準化。標準化介面使得廠商有發展各自模組的依據，能提供合理價格的零組件，進而建構整個電腦系統。類似地，於1990年代由史丹福大學Twiggs教授等發起的立方衛星（cube satellite）標準，目前已廣為國際學界接受，造就了今日奈米／皮米級衛星的蓬勃發展。

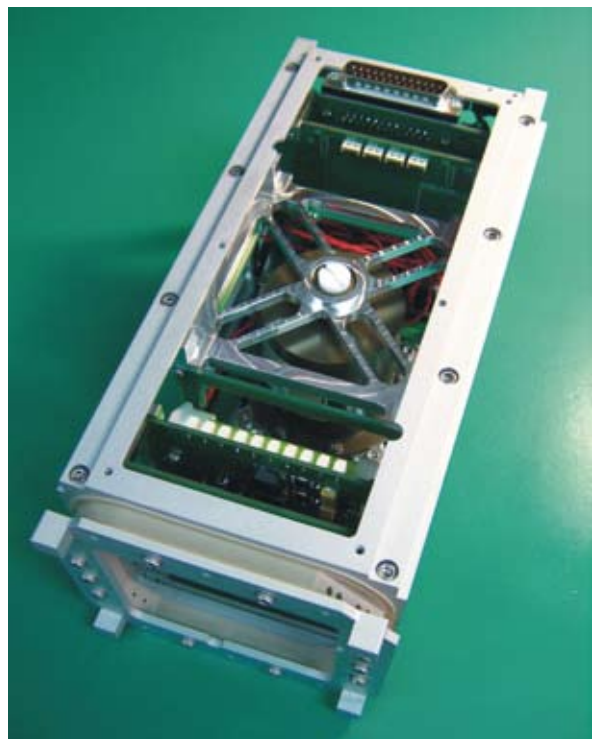
關於1至3公斤級奈米衛星，目前最常見的規格就是立方衛星，一單位立方衛星的體積是 $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ 、重量是1公斤。發射立方衛星的彈射莢艙也有標準化設計，一個莢艙可裝載3個立方衛星，方便搭載在火箭上發射，因此研製奈米／皮米級衛星可不需顧慮發射載具的相容問題。

自從立方衛星的標準在10年前發表後，目前已有近50枚立方衛星發射，參與立方衛星計

畫的大學涵蓋美國、日本、德國、加拿大、丹麥、挪威、荷蘭、韓國、哥倫比亞等。另外，美國政府相當重視立方衛星的發展趨勢與未來潛力，美國國家航空暨太空總署（NASA）曾支助發展數枚立方衛星進行生物化學實驗，美國Aerospace Corporation則利用立方衛星進行關鍵技術的驗證。

目前歐洲航太總署（ESA）計劃由不同大學研製並以分散式方式布署50枚立方衛星，以進行大氣層的資料蒐集。這稱作QB50的計畫是應用無線感測網路的概念，並利用立方衛星進行離地90至320公里高的大氣層物理研究。這個區域以往無法用熱氣球到達，而探空火箭也僅能在短暫的時間內穿越它。

我國國家太空中心於2002年研製出台灣第一枚名為「番薯號」（YamSat）的1公斤皮米級立方衛星，它的主要科學任務是應用微機電技術發展的微光譜儀，量測太氣層對太陽可見光



PACE衛星工程實體圖



PACE主要酬載—動量輪。



PACE衛星次要酬載—數位太陽感測器。

譜的散射量，進而研究大氣層變化及分析大氣成分。該衛星的製作也提供了多項國產元件的太空驗證機會，如：太陽能晶片、電池、電磁線圈、微控制器、記憶體晶片、機械結構、微光譜儀等，都是由國內廠家及研究機構提供的。

成功大學於2002年參與教育部顧問室航太科技教育改進計畫，就積極發展國內首創的兩公斤立方衛星，命名為PACE（Platform for Attitude Control Experiment，姿態控制實驗平台），它的最主要任務是衛星三軸穩定設計的驗證。

一般奈（皮）米衛星受限於體積小，產生電量也少，因此通常採用被動式或耗電量小的控制方式，如磁力矩控制等。其中制動器部分以被動式磁力桿與主動式耗電量小的磁力線圈為主，降低衛星旋轉角速度，因此所達成的姿態準確度較為粗略，且無法進行姿態控制，使得衛星的通訊與遙測能力受到限制。為了克服這限制，PACE衛星採用動量偏斜（momentum bias）設計，即藉由動量飛輪產生的力矩來穩定衛星姿態，輔以三軸磁力線圈，完成三軸指向任務。

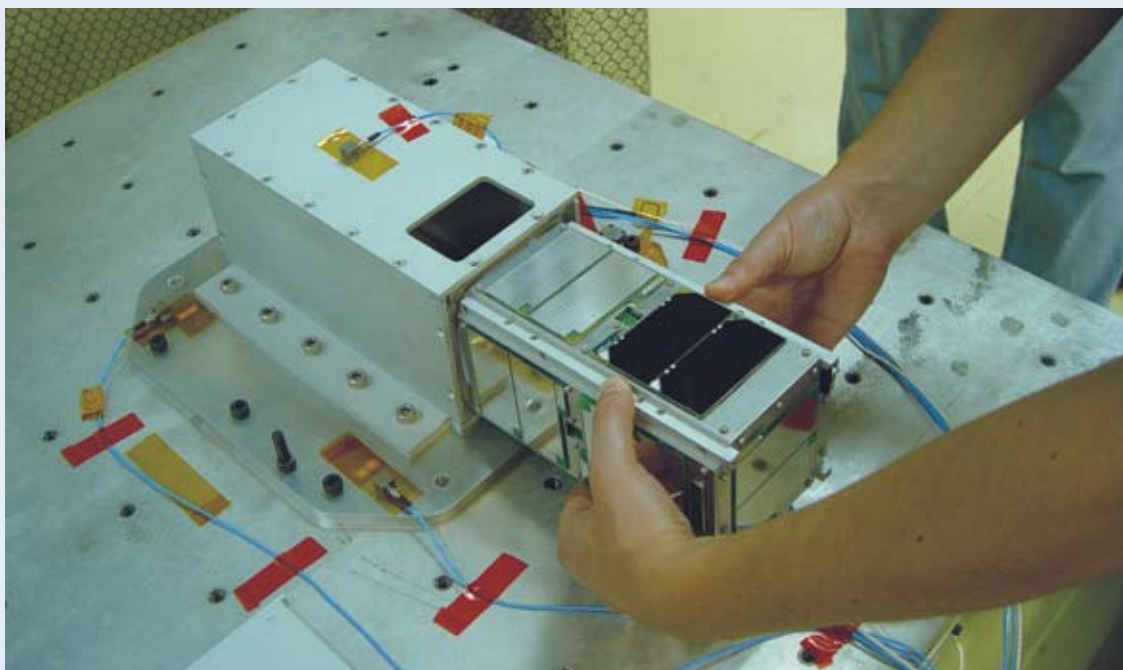
PACE衛星預計運行於650公里的太陽同步軌道，採用業餘無線電通信頻帶（UHF / VHF），外

殼以鋁合金製成，主要酬載是動量飛輪及微機電數位太陽感測器（Digital Sun Sensor, DSS）。動量飛輪由PACE衛星團隊與中山科學研究院合作發展，數位太陽感測器則由成功大學自行研發。

PACE衛星本體包含6個次系統，分別是結構次系統、熱控次系統、姿控次系統、電能次系統、遙傳指令次系統，以及指令與資料處理次系統。PACE衛星已於國家太空中心進行過熱真空分析驗



PACE衛星熱真空分析驗證



PACE衛星震動測試驗證

證及震動測試，目前正進行最後飛行體的整合與測試，以及尋求發射的機會。

PACE計畫主要由學生自行發展，自2002年計畫開始以來持續培育相關專長人才，尤其是衛星系統的設計與製作，包含諸多工程與科學領域專業，學生參與計畫不僅可發揮所學，並可與其他專業背景的成員進行交流與合作，對跨領域人才的培養有莫大效益。值得一提的是，PACE衛星團隊於2004年7月參加第18屆美國航太學會微衛星國際研討會學生論文競賽，並取得前六強佳績。

這些年來，這個衛星計畫提供國內10位大學部學生完成專題實作，6位研究生完成碩士論文，以及來自德國、法國、秘魯及馬來西亞的國際學生參與暑期實習及博、碩士論文研究。

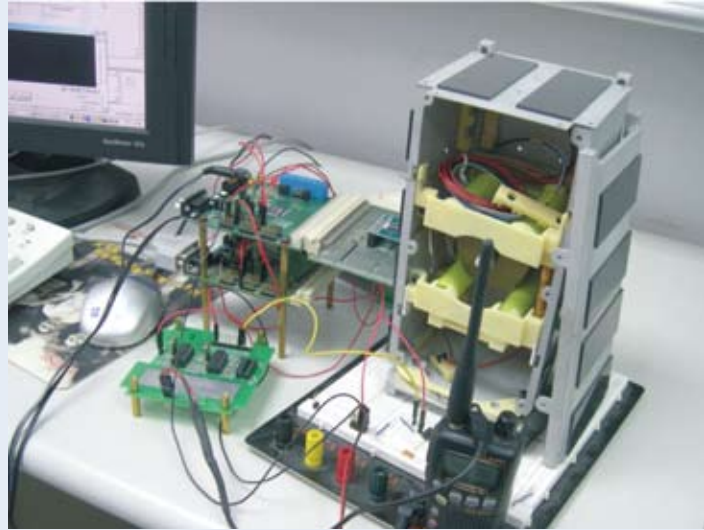
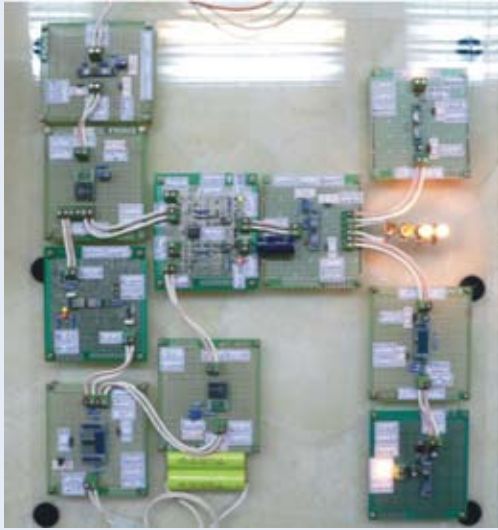
除PACE衛星本體的發展製作外，當衛星順利升空後在軌道上運行時，必須與衛星地面站進行通聯。成功大學已於歸仁校區設置一衛星追蹤地面站，目前地面站設備計有無線電收發機、UHF / VHF天線、短波天線、天線轉向控制器及介面、調變解調模組及地面控制電腦，並具備HF / VHF / UHF三頻段接收能力。

這地面站自2003年6月正式運作，同年與日本東京工業大學CUTE-I衛星完成第一次衛星追蹤及通訊，並把資料回報該團隊；2008年底至2009年第一季也與日本東京大學合作，進行XI系列衛星地面站協同追蹤與衛星姿態判別實驗，並於日本H-2A F15衛星發射任務軌道初期成功接收PRISM衛星訊號，以確認衛星發射成功。

除此之外，成功大學衛星地面站後續都能成功追蹤多枚立方與業餘衛星，期間更與德國阿亨科技大學（Aachen University of Applied Sciences）合作，協助操作該校發展的Compass-1皮米衛星。

事實上，由於全世界有近100所分布於地球不同角落的學校和科研單位進行立方衛星發展，因此促成了建立全球地面站網路，相互支援進行衛星追蹤。成功大學PACE團隊也是該網路的一員，藉由衛星操作與相互支援，促進了國際交流，也激發了學生的學習興趣。

展望未來發展，奈米 / 皮米級衛星相當適合做為微小化太空元件的測試平台。如：微機電數位太陽感測器、微光譜儀、微控制器、



PACE衛星電路整合與測試

微CMOS感測器、電磁線圈等太空科學及姿態控制的關鍵元件，都可利用奈米 / 皮米級衛星進行太空環境的性能驗證。這些研究成果將有利於後續發展衛星微小化，提升奈米 / 皮米級衛星的功能，同時經過太空飛行驗證後的微小化元件也可使用於中、大型衛星上，對提升其功能有直接的助益。

另外，奈米 / 皮米級衛星也可做為前瞻太空科學研究的平台。由於這等級的衛星研製時間短，所需的費用較低，受到很多研究機構的青睞，對過去認為遙不可及的夢想，可設法予以實現。

一個實例是太空生物領域的研究。生物細胞在微重力環境或輻射環境下的研究，對於生物、製藥、太空人健康乃至於星際移民有實質的重要性，是目前相當熱門的課題。美國國家航空暨太空總署透過立方衛星GeneSat-1與Pharmasat-1搭載生物艙酬載，成功地把生物系統送至外太空微重力環境中進行相關研究。目前國內在生物微機電方面的研究已有相當成果，期許未來可研製微小化的生物實驗系統，以皮米 / 奈米級衛星進行太空環境實驗，開拓生物學領域於太空環境中的

研究。

綜言之，奈米 / 皮米級衛星具有發展時程短及製造成本低的優點，相較於一般中大型衛星的功能以及與地面站通聯裝置，可說是一樣也不缺，只是衛星性能較簡單且體積較迷你。此外，奈米 / 皮米級衛星的設計及製作都可在學校完成，目前立方衛星已成為國際間各大專院校發展衛星的主流。在可預見的未來，奈米 / 皮米級衛星科技也會在國內蓬勃發展，將有助於我國太空科技自主發展，培養所需人才。

## 誌謝

謹代表成功大學PACE實驗室團隊感謝這些年來教育部顧問室航太科技教育改進計畫、國家太空中心與成功大學的經費支持與技術協助。

---

苗君易 · Artur Scholz  
成功大學航太工程學系

莊智清 · 蔡永富  
成功大學電機工程學系

---