

LEO 通信推動關鍵技術成長

■文：編輯部

水蒸氣和氧氣都會使得射頻信號大幅度衰減，水蒸氣的吸收頻段是在 22183 和 323GHz，氧氣的吸收頻段則在 60 和 118GHz，在 LEO 衛星通信中，避開信號易衰減的頻段，就以輕鬆將信號傳遞到地面接收設備。但這個任務並不輕鬆，衛星通信系統需要克服一系列特殊的鏈路預算障礙。這些障礙包括多普勒頻移、大氣畸變、時延、極端溫度波動、大功率電平驅使放大器進入到非線性區域，以及太空環境極其惡劣的條件。因此無論是設計、製造還是部署，每一個階段都需要小心，才能確保衛星每次都能做到一次成功。隨著 LEO 衛星不斷升空，相關的關鍵技術也得到進步成長的機會。

鐳射通訊技術

在衛星資料落地過程中，由於無法不計成本在全球密佈地面接收裝置，因此需要依靠衛星之間的通信，構築資料傳輸鏈。相較於既有的射頻 (RF) 通信系統，鐳射通信設備不僅重量輕、體積小、容量大而且還有高速和資訊安全 (不易被攔截) 等優勢。

“以傳輸一份 80G 的資料為例，採用 RF 傳輸需要 13 分鐘，而如果採用鐳射通信僅需 16

秒。因此，包含 SpaceX、Tesat、ThalesAlenia、Mynatic 在內的大量業者投入這一領域。除作為衛星間通信，還可以進行衛星於地面設備之間的直接傳輸。” MIC 資深產業分析師曾巧靈表示。

鐳射通信技術可以大幅度提高 LEO 衛星的通信能力和整個網路的容量，目前，業者主要佈局在 5000 公里到 10000 公里傳輸距離的衛星間通信的項目研發。

軟體定義無線電，SDR (Software Defined Radio)

傳統的衛星客制化程度非常高，一旦進入軌道投入工作 (工作



圖片人物：MIC 資深產業分析師曾巧靈

時間 5 通常為 5~20 年)，在任務需求有變動的時候就很難進行大幅度的調整。而採用 SDR 的衛星則

圖說：主要業者在鐳射通信技術領域的佈局

廠商	產品項目	傳輸速率	傳輸距離(公里)			應用情境			適用軌道		
			<5000	5000-10000	>10000	衛星對衛星	衛星對飛行載具	衛星對地	GEO	MEO	LEO
TESAT Spacecom (AirBus)	LCT135	1.8 Gbps			v	v	v	v	v	v	
	SmartLCT	1.8 Gbps			v	v				v	
	ConLCT	10 Gbps		v						v	
	TOSIRIS	10 Gbps	v					v		v	
Thales Alenia Space	CubeLCT	100 Mbps	v					v		v	
	Optel-C	10 Gbps		v		v				v	
	OPTEL-µE	2 Gbps			v	v				v	
Mynatic AG	CONDOR Mk3	10Gbps			v	v	v	v	v	v	
	CONDOR Mk2	1.25Gbps		v		v	v	v	v	v	
SpaceX	測試用的0.9 Gbps	2.5 Gbps		v		v				v	
合計	-	-	2	4	4	8	3	5	2	10	

資料來源：TESAT Spacecom(AirBus),Thales Alenia Space, Mynatic AG, SpaceX MIC 整理 2022 年 6 月

能夠動態修改波束、容量、功率分配等參數。例如：波束重新配置，可為救災、應急遠端操作目的提供信號覆蓋，而不必等到衛星退役或者再發射新星的高成本方式進行調整。在烏克蘭戰場，星鏈系統就是透過這樣的技術抵抗住了俄軍大規模的干擾和資料攻擊。

“衛星發射量的增加和地面站技術的進步，為協調地面站與太空網路節點之間互通與有效操作，軟體扮演重要角色”曾巧靈說。

Airbus 計畫在 2023 年將 SDR 衛星送上軌道。OneWeb、Boeing、Amazon 都有相應的產品計畫推出。業者希望，未來的衛星可以向智慧型手機那樣，透過增加 APP 的方式來添加和調整衛星的任務，且能夠自主偵測和防禦網路安全威脅。

“屆時，一些公司的 SDR 衛星的上市時間和成本將會下降 50%！”曾巧靈強調。

相位陣列天線技術

相位陣列天線技術同樣是信號傳遞的關鍵技術之一，這項技術將許多無線電發射 / 接收模組放置在一個陣列中，使用電子方式控制波束以追蹤衛星，而不是機械地移動衛星的碟形天線。這項技術的優勢包括：轉向速度快，追蹤迅速、具有較長時間的可靠性和穩定性，維護需求少，還能同時生成多個光是實現多功能操作，使得在高速行駛的交通工具中實現寬頻資料傳輸成為可能。

Intellian、Thinkom、Kymeta、Hughes 等公司正在與天線領域與衛星服務商展開合作，以實現更具性能和成本效益的天線系統，降低衛星寬頻應用的用戶成本。

衛星在軌測試技術

傳統的衛星測控與通信業務是獨立實施的。通常，採用 X 頻段支持商業衛星的測控，在開展通信業務時需要有一個 X 頻段測控站提供服務，在 LEO 大量在軌的今天，這種方式無論在運營成本或即時性方面都不是最佳的工作模式。

“低軌衛星通信星座的發展也在改變衛星的在軌測控與運行，新型低軌衛星集成了諸多的前沿技術，如通信基帶處理技術、數位波束形成 (DBF) 等，使得衛星在軌的可重配置能力大大增強，要求在有限的星地連線時間內，更自動、更靈活的進行在軌的測試、控制與資料傳輸。通用設備平臺將發揮其靈活、開放的優勢，助力衛星技術的反覆運算創新，並加速測控與在軌運行融合的探索。”NI 亞太區商業航太負責人劉金龍說

NI 將通用化儀器設備用於在軌射頻測試，與友商合作開發出測控數傳軟硬體一體化解決方案，同時實現桌面測試和在軌測試雙項測試目標。在無人值守站控平臺的支持下，測控數傳基帶能夠與測運控遠端平臺進行無縫的遙測、遙控資料交互、遠端對測控數傳基帶進行狀態監視和參數配置，為測控任務提供有效保障。

LEO 應用對元器件提出了新的要求

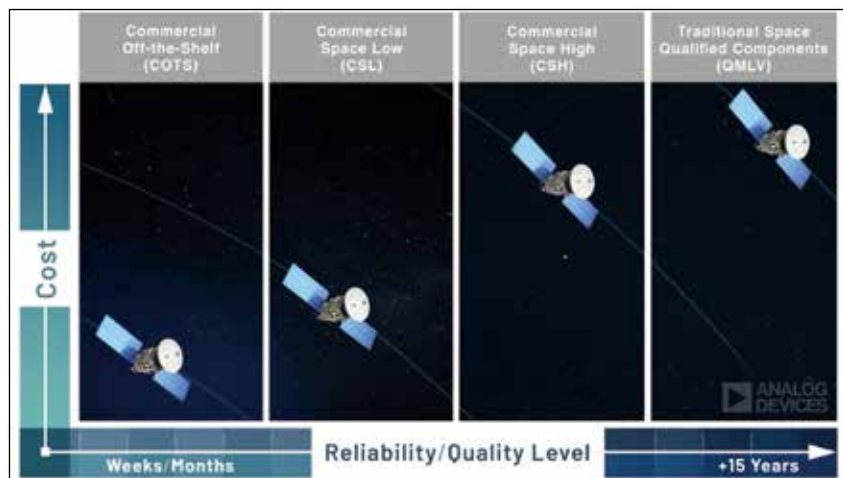
對衛星來說，太空的射線輻射是其內部電子元器件的主要殺手，輻射產生的影響包括臨時故障、長期退化、災難性故障等。衛星設備適用的防禦措施是使用經過輻射加固和測試的電子設備，它們經過專門的輻射性能和生存能力測試。

“如今，商業航太衛星市場（主要為低成本 LEO 衛星）快速擴張，現已成為市場發展的驅動力。大批量商業航太市場不能承擔成本較高、要求嚴格、耐輻射，並且符合航太標準的“傳統”晶片、元件和設備，並且通常也不需要。”航空航太、防務和 RF 產品總經理 Yasmine King 《商業航太衛星的新時代》一文中指出。

在衛星市場中，15 至 20 年的抗輻射飛行任務的市場份額只占一小部分。如今新太空商業市場有著不同的結構——任務持續時間只有幾年，甚至幾個月，因此在太空輻射威脅相對較低的地方輻射加固水準的要求也更低。

ADI 認為，在衛星市場中，15 至 20 年的抗輻射飛行任務的市場份額只占一小部分。如今新太空商業市場有著不同的結構——任務持續時間只有幾年，甚至幾個月，因此在太空輻射威脅相對較低的地方輻射加固水準的要求也更低。今天的小型衛星需要創新的設計解決方案，減小尺寸、重量、功率和成本，但是僅使用 COTS 器件可能無法滿足許多新航太事業的保護、

圖說：根據可靠性要求 ADI 細分了商業航太產品的等級



圖片來源：ADI

測試和可靠性需求。

ADI 公司的商業航太產品彌合了低端 COTS 器件與傳統全航太級氣密 QML V 產品之間的差距。商業航太產品實現了可靠性與低成本之間的平衡，以達到可接受的風險水準。其他功能包括晶圓批次統一性和可追溯性、輻射監測器和強化測試，以及 COTS 商用級產品不支援的功能。

新太空時代需要新方案

與發射到地球靜止軌道的傳統衛星相比，LEO 低軌道衛星受到的大氣保護更多，受輻射程度更低。此外，低軌道衛星設計壽命較短。雖然 LEO 對電子元件的性能和品質保證要求與傳統衛星相近，但抗輻射能力要求較低。從歷史上看，航太用元器件一直被安裝在密封的陶瓷封裝內，以通過嚴格的 QML 或 ESCC 認證和生產流程測試，導致這些通常小批量生產的元器件成本相對較高，對成本敏感型的 LEO 衛星市場成長不利。

製造商們開始研發測試更有針對性的產品，以滿足商業航太衛星時代的設備製造需求。

Microchip 推出面向 LEO 應用的耐輻射電源管理器件

2023 年 1 月，在現有耐輻射產品組合的基礎上，Microchip 宣佈推出首款商用現貨 (COTS) 耐輻射電源器件 MIC69303RT 3A 低壓差 (LDO) 穩壓器。MIC69303RT 是新型大電流、低電壓的電源管理解決方案，專為低地軌道和其他空間應用而設計。新推出的器件可提供塑膠和密封陶瓷原型樣品，以滿足不同任務要求。

MIC69303RT 基於成熟的 COTS 器件，更易於進行初步評估和早期開發。該器件支援 1.65 至 5.5V 單一低電壓電源運行，在大電流下可提供低至 0.5 伏的輸出電壓，在極端條件下可提供高精度和 500 毫伏的超低壓差電壓。MIC69303RT 是 Microchip 耐輻射宇航級單片機 (如 SAM71Q21RT) 和 PolarFire

圖說：Microchip MIC69303RT



FPGA(包括 RTPF500TLS) 的配套電源解決方案。

意法半導體發佈經濟型抗輻射加固晶片，面向新太空”衛星應用

意法半導體的新型 LEO 抗輻射加固塑膠封裝元器件可以直接用於新太空航天器，在產品認證和制程方面進行了產品優化，具有規模經濟效益。新產品不需要使用者進行額外的認證或篩選測試，消除了巨大成本和風險。

ST 的新系列抗輻射加固功率、類比和邏輯晶片採用低成本塑膠封裝，為衛星電子電路提供重要功能。意法半導體剛剛發佈了該系列的首批九款產品，包括 LEO3910 2A 可調低壓差穩壓器、LEOAD128 8 通道、1Msps 12 位模數轉換器 (ADC)、LEOLVDSRD 400Mbps LVDS 驅動器接收器、LEOAC00 四路 2 輸入反及閘、



LEOAC14 施密特觸發器輸入十六進位反相器、LEOA244 三態輸出八進制匯流排緩衝器、LEOAC74 雙通道 D 型觸發器、LEOAC08 四通道 2 輸入及閘和 LEOAC32 四通道 2 輸入或閘。

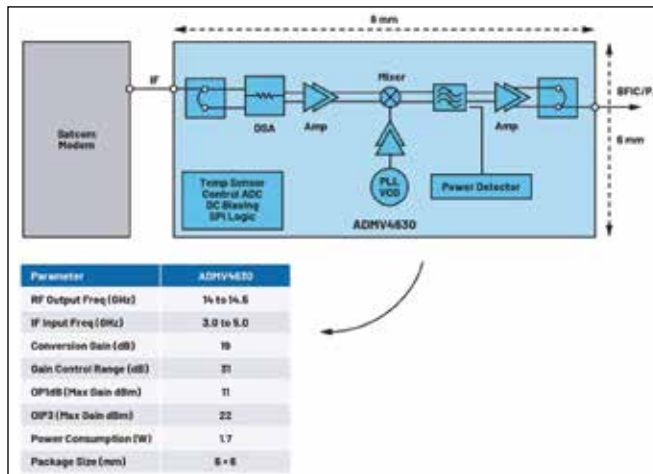
這些產品用於整個衛星系統，例如，發電配電、星載電腦、衛星遙感跟蹤器、收發器等衛星系統。意法半導體今後幾個月繼續發佈新品，擴大該系列，增加更多功能，以進一步擴大設計師的選擇範圍。

該系列確保抗輻射加固與 LEO 飛行任務相符，抗總電離劑量輻照高達 50 krad(Si)，抗總非電離劑量很高，抗單粒子門鎖 (SEL) 效應高達 62.5MeV.cm²/mg。LEO 系列產品與意法半導體的 AEC-Q100 車規晶片共用同一條生產線，利用統計程序控制方法，在量產的同時保證產品品質穩定。器件放氣特性在新太空普遍接受的範圍內。外部端接的精加工確保空間中沒有晶須，同時相容鉛 (Pb) 和純錫安裝製程，並符合 REACH 標準。

ADI 針對使用者終端的 Ku 和 Ka 頻段 UDC

LEO 衛星在不斷移動，因此，終端內上 / 下變頻器的頻率合成器必須實現快速鎖定以提供不間斷連接。頻率合成器用於輔助上變頻和下變頻。它們在賦能終端在運行期間連接和重新連接不同衛星方面發揮著至關重要的作用，因為從一顆衛星到另一顆衛星，空中頻率在工作頻段 (即 Ka 和 Ku 頻段) 內不斷

圖說：高度集成的 Ku 頻段變頻器



圖片來源：ADI

變化。

衛星使用者終端對 IC 整合度提出了很高要求，ADI 利用矽製程技術的性能和整合能力來回應這一需求。這些解決方案需要非常高的 IC 整合度，以實現尺寸非常小的無線電終端，同時保持非常低的功耗，並嚴格遵守優化的無線電成本要求。

上 / 下變頻器 (UDC) 是使用者終端中的基礎產品，它們將數據機 IF 或基帶資訊直接連接到 Ku 頻段或 Ka 頻段。這些 UDC 包含眾多 RF 和 IF 信號調理功能，例如濾波器、放大器、衰減器、PLL VCO 和功率檢測。所有 IC 的設計都考慮到了使用者終端的信號鏈性能。ADMV4630/ADMV4640 是 Ku 上下頻段 UDC，支援衛星數據機的 IF 介面。

Teledyne e2v 四核 ARM Cortex-A72 宇航處理器

Teledyne e2v 宣佈交付其

先進的宇航認證的四核 Cortex-A72 邊緣處理平臺的飛行正片 (FM)——LS1046-Space。對於計算密集型的太空應用，包括高輸送量衛星、資料壓縮以及人工智慧

和成像，該處理器的性能比現有的方案高出 30 倍。這款產品是對 Teledyne e2v 的產品系列的重要補充，可支援大量新的宇航應用。

LS1046 Space 適合在要求最苛刻的太空環境中運行，其工作溫度範圍從 -55 到 125°C。它可耐受 100 krad 的總電離劑量。此外，對單粒子栓鎖 (SEL) 和單粒子翻轉的免疫性能正在驗證中。該產品通過了最高 NASA 1 的認證處理器。它特別適合用於功率受限卻需要先進的資料路徑設計並訪問多個集成外設的立方體衛星和微小衛星平臺。

圖說：Teledyne e2v 的 LS1046-Space 處理器



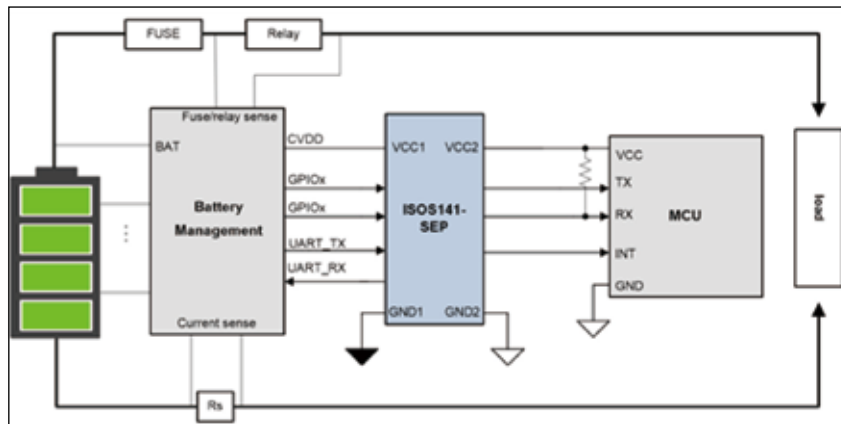
64 位 LS1046-Space 處理器的時鐘頻率高達 1.8 GHz，可實現 3 萬 DMIP。此外，它還提供了一個快速 2.1 GT/s 的 64 位元 DDR4 SDRAM 記憶體控制器，帶有嵌入式 8 位改錯碼 (ECC)，以及四個 ARM 核心共用的 2MB L2 緩存。L1 和 L2 緩存都支持 ECC 保護，以實現高度的動態資料防破壞的能力。

這款高可靠性處理器擁有豐富的嵌入式介面，包括 10 Gbit 乙太網、三個 PCI Express (PCIe) v.3.0 通道、SPI、I²C 和多個 UART，從而進一步增強了其性能。

TI 數位隔離技術滿足 LEO 衛星的高抗輻射和抗干擾要求

以前，設計人員採用光耦合器和脈衝變壓器等隔離技術來隔離航天器應用中的信號和電源，不過，這些技術的局限性會給隔離式子系統帶來挑戰。對於光耦合器，這些限制包括較差的抗輻射性能、有限的電氣性能和每個封裝的通道數有限，同時脈衝變壓器的尺寸較大，可能難以用於設計。

圖說：航天器 BMS 中使用 ISOS141-SEP 數位隔離器隔離 UART 和 GPIO 信號



作為一種替代方案，採用塑膠封裝的耐輻射 SiO₂ 數位隔離器 (如 ISOS141-SEP 四通道數位隔離器) 可通過具有以下特性的單粒子鎖定 (SEL) 和單粒子絕緣擊穿 (SEDR) 抗擾度來滿足 LEO 應用子系統的抗輻射性能和抗干擾要求。

採用塑膠封裝的數位隔離器可以隔離多個航太應用 (從電力系統到通信有效載荷) 中的信號。這些隔離器有助於簡化設計，提供抗輻射功能並在單個封裝中提供多通道解決方案，同時與現有解決方案相比保持高隔離完整性。這些先進特性將對與地球通信的 LEO 衛星的發展發揮重要作用。

ADI 及 Keysight 共推相位陣列技術加速部署

2022 年 10 月 17 日，ADI 及 Keysight 宣佈共同加速相位陣列技術的推廣與部署。相位陣列技術能簡化與創建衛星通訊、雷達和相位陣列系統相關開發工作，為實現無處不在之連接及感測關鍵。

ADI 相位陣列平台系列提



供一套完整的解決方案，可運用 Keysight 相位陣列測試解決方案進行測試和校準，協助客戶加速開發波束成形解決方案。此次合作整合雙方生態系統的整體實力，以打造整合設計、測試和校準的全方位解決方案。其中的相位陣列天線亦是推動實現新一代無線通訊應用以及訊號智慧和地球觀測應用的關鍵。

Keysight 無線測試事業部副總裁暨總經理 Peng Cao 表示：「Keysight 先進的測量解決方案將相位陣列測試時間從幾分鐘縮短至幾秒鐘。透過與 ADI 密切合作，我們成功將測量速度提升了 70 倍並仍保持卓越精度。ADI 先進的波束成形技術和 Keysight 測量創新技術相結合，使客戶有機會實現完整的端對端相位陣列解決方案，進而加速產品上市並提供優異性能。」

ADI 航空航太與防務事業部副總裁 Bryan Goldstein 表示：「客戶需要的不僅是波束成形 IC，而是包含相位陣列測試和校準的整體系統級解決方案。ADI 與 Keysight 的合作旨在運用 ADI 系統平台協助加速相位陣列平台之採用，從而打造資料速率更高的通訊及感測解決方案。」 CTA