

# Mathcad® 對航太及國防工業的衝擊

作者：英國 Industrial Media Limited 公司，Electrical Products and Panel Building Magazines 雜誌編輯 Boris Sedacca

航太及國防 (A&D) 工業擁有相當複雜各項程式，以符合各種繁瑣的需求、嚴謹的系統審核流程，以及各項政府規章認證需求。當中最重要課題就是，設計錯誤率必須接近零，而且不能因為成本縮減而犧牲作業上的適用性、安全性與有效性 (OSS&E)。所有的 A&D 產品皆需要遵守這些準則，不管是軍用飛機還是商用衛星，全部一體適用。工程師們必須最佳化 A&D 產品開發流程，並在降低風險的同時，加速創新及縮短上市時程。

一般來說，A&D 產業必須忍受非常漫長的產品開發生命週期，在某些情況下甚至長達一個世紀才能開發出航太用途的應用技術與載具。由於漫長的產品生命週期與產品本身的複雜度使然，工程師所創造的智慧財產有可能會消失或是被誤用。因此，我們需要建立一套能將工程師們的設計知識完整摘錄，且前後一致地記錄下來的方法。這樣一來，智慧財產不但能夠得到妥善保護，也能供組織內成員重複使用，不但可以避免產生過多成本，也能大幅降低產品開發的生命週期。

此外，還有大量的關鍵任務設計資訊需要適當地加以記錄，輕鬆地格式化處理、散佈及更新，以符合法規及安全上的需要。監控流程的每個步驟，是瞭解整個產品開發流程的基本動作。

精密的計算是 A&D 設計工程之母。計算的結果將用來定義產品特徵、影響產品品質、建立核心能力，並建立參考來源以便日後進行疑難排解。重要的工程計算結合了產品需求、原始資料插入、數學定理以及一些科學定律，加上一些工程假設與實務 Know-How，用以解答各項重要的問題。但是整個流程不光只是執行這些計算並得出結果而已，為了符合各式各樣，包括六個標準差與 ISO 9000 的企業與工業品質標準，我們必須使用已經成文的標準工程計算與設計流程。使用標準化的流程可以有效地減少工程的試誤作業並提升產能，最後產生具有傲人品質與效能的傑出產品。

工程師們必須最佳化 A&D 產品開發流程，以協助縮短產品開發生命週期、降低風險，並增加產能。

本白皮書探討 A&D 工程組織如何運用 Mathcad 來取代試算表與傳統的程式設計語言，以及 Mathcad 的獨有功能如何能為組織解決重大問題，並協助技術團隊改善效率。

## A&D 工業中的 Mathcad 應用

工程計算是產品開發流程的重要部分，應該視為智慧財產 (IP) 來擷取與共用。Mathcad 能夠擷取計算結果的智慧財產，同時應付各級工程組織對計算的廣泛需求。

完整的計算流程文件可以讓 A&D 工程組織：

- 藉由擷取與標準化重要計算來降低風險
- 避免產生產品設計錯誤與昂貴的專案追加項目
- 最小化稽核與重新稽核資料的需要
- 增加產能並提升品質
- 簡化並省略重複的流程
- 擷取工程師的智慧財產
- 確保關鍵資訊的重複使用性
- 定義最佳工作模式
- 運用精準的知識進行內部與外部的協同合作
- 減少錯誤與失誤
- 保護工程設計計算結果的識別與完整性

Mathcad 能夠針對 A&D 程式及產品的設計、測試與評估提供相關的工程實務協助。Mathcad 能夠簡化工程師的通訊，同時考量到團隊之間的各项設計決策功效與成本，進而減少最後的工程變更。最後，Mathcad 能夠促成協同合作與標準規範的實施，並在持續改善智慧財產內容的同時，加以最大化並重複運用在各项衍生的專案上。

各種以工程為主的組織都在導入 Mathcad 的基本原則 — 標準化工程工具，進而標準化各項計算的解決與記錄方式、提倡範本的使用，並特別透過網路將結果與全球分享 — 以擷取這些組織的產品設計計算結果。如此一來，這些公司將可以降低發生錯誤的風險，並避免因為耗時的重新設計而產生高昂的成本，及損失產能與潛在的客戶。

Mathcad 能夠針對 A&D 程式及產品的設計、測試與評估提供相關的工程實務協助。

當設計問題同時牽涉到好幾個學門時，工程師便需要跨機械、電子與熱力學等領域的整合式解決方案。對於包含各種學科理論的 A&D 工業來說更是如此。最佳的解決方案能夠帶領您從概念發生、設計階段，乃至測試及製造一氣呵成。

Mathcad 對於 A&D 工業來說非常重要，因為經過多年的演變之後，Mathcad 已經變成最全方位的工程計算解決方案。Mathcad 不只能夠提供廣泛的計算與設計能力，還能進一步與其他工程與商業應用程式互通有無。大部分人對 Mathcad 的第一印象，就是它那獨特的視覺格式。它使用標準的數學符號，並將各種公式、圖表、插圖與文字通通整合在同一張工作表中。這種格式可以顯示使用者工作的每一個步驟，並提供傑出的技術工作記錄，不管是知識的擷取，還是跨群組與專案團隊的溝通，都是最理想的方式。

Mathcad 的互動性也是一大優勢。每當您變更一個變數，Mathcad 便可藉由獲得專利的自然數學技術，自動重新計算方程式、重新繪製圖表，並更新結果，讓您更快、更輕鬆地完成重複性設計工作。同時，Mathcad 也能自動為您轉換單位，為您省去各項技術專案中煩人、耗時的作業，並避免常見的錯誤。

Mathcad 是工程師的桌面平台不可或缺的好幫手，因為它能輕鬆地與許多技術專業人員每天都會用到的應用程式整合在一起 — 包括 Pro/ENGINEER®、Microsoft Office Excel、MathWorks 的 MATLAB®、National Instruments LabVIEW®、SolidWorks®、ANSYS®，以及 Bentley Microstation®。有了 Mathcad，使用者就可以將來自各種不同應用程式的資料、圖表元素與計算結果合併為統一的單一文件。

每當您變更一個變數，Mathcad 便可藉由獲得專利的自然數學技術，自動重新計算方程式、重新繪製圖表，並更新結果，讓您更快、更輕鬆地完成重複性設計工作。有了 Mathcad，使用者將可以安心地仰賴計算結果。這種對計算結果的信任能夠消除稽核與重新稽核的需要，同時改善可追蹤性。A&D 工業運用 Mathcad 來簡化有關飛機、太空船、飛彈與飛航元件及子系統的設計、開發、製造與測試設備的計算工作。在諸如結構設計、導向與控制系統、導航、檢測儀表與通訊，以及生產方法等領域上，Mathcad 可讓您輕鬆解決問題並進行設計。

某些採用 Mathcad 的 A&D 公司需要更好的方式來擷取與保存工程計算資訊，以最佳化他們的產品開發流程。有了 Mathcad，產品團隊可以在開發週期中提早進行設計與流程的變更 — 遠比日後花費昂貴代價來變更要來得划算。

下列成功案例將就各種組織如何將 Mathcad 運用在他們的 A&D 專案提供深入的探討與解說。所探討的 A&D 公司包括 BAE SYSTEMS (英國)、Asco Industries (比利時)、Lockheed Martin (美國)、Claverham Group (英國)、Alenia Spazio (義大利) 以及 Space Contact (西班牙)。

## 成功案例

### BAE SYSTEMS (英國)

BAE SYSTEMS 是一家全球性的系統公司，以大包商與系統整合商的身份承攬全球各地有關空中、陸地、海上、太空，與指揮及管制系統市場的業務。BAE SYSTEMS 負責設計、製造、與支援軍用飛機、水面艦艇、潛水艇、航太系統、雷達、航控系統、通訊系統、電子系統、導引武器系統，以及一系列的其他國防產品。

BAE SYSTEMS 公司內機身工程部門的結構計算團隊負責提供公司內各項飛機專案的結構工程師所需的計算類軟體工具。這些工具不但可用來提供客戶所需的機身審核證明，還是飛機最後取得飛航許可的關鍵之一。

在許多 A&D 公司眼裡，Mathcad 儼然變成了建立、共用與重新利用工程計算結果的標準。

為了提供審核證明，結構工程師必須針對飛機結構的靜態與疲勞強度提出許多面向的分析數據。這項工作牽涉到許多重要的應力計算，而且通常需要透過人工計算、舊式軟體工具與書面報告來合併得出結果。

結構計算團隊的目標就是以能夠產生自訂的計算結果、完美地整合專業軟體工具與產生報告的電子環境來取代上述傳統的人工作業。

對結構工程師來說，通常會從整架飛機的數學模型開始進行。一開始需要透過超級運算環境中的適當軟體套件來產生非常粗略的有限元素 (FE) 模型。然後將空氣動力與慣性負載套用到模型中，並透過諸如 Nastran 的 FE 解算裝置來解決問題。這項解決方案可針對例如機翼、機身等個別結構元件，乃至子元件層級提供分散式負載。然後，這些結果會輸入到針對特定結構功能執行，且更為仔細的計算過程中。這項詳細的分析結果有可能以更精細的 FE 模型，或以比上述人工計算更為傳統的結果來呈現。

BAE SYSTEMS 在尋找強調細節的電子解決方案時，曾經考慮過許多現成的產品。這些產品當中，大部分不是過於專注在某項工程專業，要不就是缺乏整體彈性。BAE SYSTEMS 很快地發現 Mathcad 能夠滿足他們大部分的需求。當中的關鍵功能就是它那自由格式屬性、可重複性、各領域知識的擷取，稽核追蹤，以及報告功能。

為了滿足後續需求，BAE SYSTEMS 特地開發了一套稱為電腦整合技術標準 (CITS) 的互補性應用程式，用以做為獨立應用程式，或是當成 Mathcad 的一個元件來運作。它的主要功能是針對一些比較複雜的計算及/或外部資料存取提供方便之門，而這些計算結果及資料如果單獨以 Mathcad 產生可能相當耗時，且增加負擔。這些計算結果與外部資料格式，有許多都是 A&D 工業才會用到，而且有時候有具有商業敏感性。

CITS 是一種應用程式架構，用來掌管不限數量的外掛式計算方法。它透過標準 Microsoft COM 基礎技術，為所掌管的每項方法，包括 OLE 整合、檔案儲存、一般資料存取與外部資料整合，提供標準服務。每項方法都有自己的 GUI、資料儲存模型與計算方法，同時會繼承來自架構的標準功能。這些方法都是透過 MS Visual C++ 所產生，而且可以動態註冊到架構中。每個方法都能存取任何一項提供做為架構一部份的可重複使用元件。

BAE SYSTEMS 在尋找強調細節的電子解決方案時，曾經考慮過許多現成的產品。這些產品當中，大部分不是過於專注在某項工程專業，要不就是缺乏整體彈性。BAE SYSTEMS 很快地發現 Mathcad 能夠滿足他們大部分的需求。

目前的 CITS 生產用版本內含可進行下列作業的方法：

- 存取金屬與複合材料所需的外部材料屬性資料庫
- 計算複合鋪疊法的彈性屬性
- 執行金屬與複合板的應力 — 應變分析
- 計算任何光束形狀的幾何斷面屬性，包括從 Dassault Systemes 及從 IBM 的 CATIA 匯入的外部資料
- 運用剪切、軸承與關節僵硬理論來分析 2D 螺栓關節
- 分析金屬或複合板的穩定性

為了與 Mathcad 進行溝通，需使用 Mathcad Software Development Kit 來產生 CITS 相似元件。這樣一來，Mathcad 的資料變數與嵌入式 CITS 應用程式所內含的資料就可以完美地整合。目前來說，這項功能僅限於從 CITS 擷取資料時使用；然而，下一個生產用版本 (2.1) 將包括可將資料 (載入案件、幾何等等資料) 送入 CITS 的功能。

CITS 嵌入式物件與 Mathcad 之間的資料對應方式，與 Mathcad 隨附的標準 Excel 元件很類似，最主要的不同在於對應流程採用視覺點選機制，而不是讓使用者輸入儲存格位址。

CITS 元件可維護介面之間的單元關聯，以便使用 Mathcad 的工具針對完整計算結果執行維度檢查，並同時開發自訂的資料轉換機制來改善大型資料集的資料交換效能。

在許多情況中，工程師可根據為 CITS 所開發的一些方法，並利用其數學特性透過 Mathcad 來開發一些原型，然後再寫成程式碼。工程師會接著運用元件的整合功能，以 Mathcad 為基礎進行測試與品保記錄，過程中將透過單一 Mathcad 文件來比對所採用的原型理論與最後的程式碼。

採用充分整合、自行開發的應用程式來彌補 Mathcad 不足的地方，不但可讓使用者多出一項能夠輕易擴充並取代任何舊版小軟體的工具，更能讓使用者在既有的 CITS 架構下加強自身的整合能力。

然而，最後產生的系統還是免不了需要由工程師來操作。這套系統藉由快速地執行整合與計算作業，來提升工程師的生產力。

BAE SYSTEMS 公司的所有工程師皆已部署使用 CITS/Mathcad 系統。在 300 多名的工程師當中，大多數已經透過為期兩天，以角色為主的訓練課程，學會如何使用這套系統。這套課程包含如何使用 Mathcad、CITS、如何整合兩者，以及最終針對實際的飛機元件進行應力基礎計算並產生結果的特定訓練。

#### Asco Industries (比利時)

Asco 在商用航太工業中，已經屹立了 25 年之久。Asco Industries 在 1954 年以私人的包商身份起家，至今仍舊為私人企業且獨立運作。該公司主要業務為針對例如襟翼與翼縫條機制、引擎座架、起落架元件與煞車鼓等複雜、高強度的飛機元件，執行共同開發、機械加工、處理與認證組裝。其中一項業務重心就是用於民航空用飛機的高升力裝置，包括前緣翼縫條或後緣翼縫條航跡。

「我們透過 Mathcad 來符合兩樣不同的需求」，Asco 的 Rana Qadir 說道。「第一件事，就是解答微分靜態平衡方程式，以便將負載沿著翼縫條進行分散。接著，我們依據材料的最終張力與抗壓強度，並透過這些負載來產生前置航跡尺寸，以符合最小的重量需求。

「重量是很重要的課題，而且我們一直嘗試將設計做到最好，讓所有零件的重量降到最低，以符合設計上的靜態與疲勞需求。在這些傳統的 Mathcad 檔案當中，我們會先將輸入資料與包含幾何與負載資料的 Excel 試算表連結起來。一旦完成了所有的基礎計算，我們會接著針對前置尺寸與重量產生表格式與圖表式輸出資料」，Qadir 接著說道。

第二個需求就是產生詳細的應力計算結果，來證明所設計的結構具備靜態與疲勞完整性。這些最後的報告都會提供給諸如 CASA 與 Airbus UK (BAE SYSTEMS) 的等級 1 設計機構進行核准，然後才能用來驗證飛機。

Qadir 解釋：「有了 Mathcad，我們可以透過互動式的方程式，清楚地陳述我們的想法。」「我們採用一種稱為 Nastran 的有限元素分析 (FEA) 套件來取得精確的詳細負載與應力分佈，而且我們也可以使用 Excel 試算表來處理來自 Nastran 的大量資料。但是唯有 Mathcad 所提供的工具才能讓我們以一種清晰、可理解的格式來發表我們的作品。對於需要向其他工程師展示與證明自己工作成果的工程師來說，Mathcad 真的非常好用。」

Qadir 和他的同仁使用 Mathcad 的時間已經超過 5 年。在這之前，他們合併使用 Word 和 Excel 文件，但是要將各種方程式放到 Word 文件真的很讓他們頭痛。

「整個過程非常混亂，而且每個方程式之間也無法互通」，Qadir 回憶著。「如果你更動了某個地方，就必須回頭檢查，並全部重來。有了 Mathcad，一切迎刃而解。這就是為何我們用它來撰寫報告，並做出最棒的設計的原因。

「我們同時使用 Mathcad 來張貼 Nastran 所產生的圖片。我們很快就可以提出認證文件。在過去，如果我們需要更新 Word 格式的報告的話，肯定要花費許多時間。現在只要交給 Mathcad，我們只需要更改幾個數字，它就會自動幫我們把該更動的地方全部改好。」

#### Lockheed Martin (美國)

Lockheed Martin 是全世界規模最大的國防承包商，主要針對先進技術系統、產品與服務提供政府與商業客戶所需的研究、設計、開發、製造與整合服務。核心業務則為系統整合、航太、太空系統與技術服務等等。Lockheed Martin 在 2006 年的營收突破了 390 億美元，員工數更達到 14 萬人。

Lockheed Martin 公司的 David Rady 已經有好幾年的 Mathcad 使用經驗，最初是從 2.1 版開始用起。在加入 Lockheed 之前，他曾在電子工程部門中工作過，並使用 Mathcad 來進行快速傅利葉轉換 (FFT)、數位訊號處理 (DSP)、摺積與雷達波束的範圍涵蓋。

他解釋：「有時候我會使用 Mathcad，其他時候則是透過試算表、紙、筆或是 C++、Fortran，與 Basic 等程式語言」。「我使用 Mathcad 來進行座標的轉換，以便將地面站的卡式 XYZ 座標轉換為飛機可用的柱狀極性座標。我透過 Mathcad 開發出一套演算法並加以測試，以確保在將它寫入應用程式所需的計算機語言中時，能夠正常運作。因為透過 Mathcad 所撰寫的數學算式非常清楚而且容易閱讀，所以我就可以判斷程式設計是否正確。」

「在我上一份工作中，我也採取相同的方式為訊號處理應用程式撰寫嵌入式系統程式語言。我們必須以 C 語言針對特殊的 DSP 卡來設計程式，其中包含內建 FET 與摺積演算法的 CPU」，Rady 解釋著。

Rady 需要透過 Mathcad 來撰寫演算法，然後將之寫入目標語言中，以確保在載入嵌入式處理器之前能夠得出相同的答案。如此一來，便能加快工作的執行速度，而且不會造成 I/O 過載。

「在 Lockheed 我們擁有的繪圖應用程式，特別是有關旋轉方面的」，Rady 接著解釋。「我第一個選擇就是在 Mathcad 中執行，看看結果會是怎樣。我的團隊當中有些人比較喜歡使用 MATLAB，但是對我來說，使用 MATLAB 太像是設計程式了。如果我需要設計程式的話，我會比較偏好 Ada 或 C++。」

「我可以透過 Mathcad 來驗證數學，然後將之剪貼到 Word 文件中，以便產生各種規則、計畫與分析結果。有時候，我喜歡把它當成文字編輯器來用，因為它的方程式遠比 Word 的方程式編輯器要來得好用。」

Rady 同時使用 Mathcad 來進行驗證，確認軟體能夠發揮應有的功能。透過 Mathcad 來得到解答會比逐行閱讀程式碼以確認某項功能已正確寫入程式中，要來得便捷許多。

「你馬上可以看到旋轉數據與方程式，而不用在 C++ 程式碼區塊中逐行檢查錯誤」，Rady 接著說。「現在我可以透過 Mathcad 為一些方程式加上 COMMENT 註記，以利我嘗試其他可能的情況。當專案團隊試著討論數學題目時，Mathcad 能夠協助他們更有效率地進行溝通」，他說。「Mathcad 能夠很清楚地將數學計算攤在大家面前，讓所有人一目了然，而不會雞同鴨講。」

「此外，當你需要證明某樣東西未來可能的樣貌時，還可利用 Mathcad 的繪圖功能來呈現。透過 Mathcad 的動畫功能，你可以很清楚地表達是否已經完成了預定的目標。」

Rady 在上一個工作中，同時採用其動畫工具來呈現訊號處理資料，當中通過的大部分資料都是雜訊。當訊號通過時，他的團隊想要知道是否可以看得到這些訊號。Rady 能夠在產生訊號時即時擷取這些影格，然後將它們放入動畫中。

「當專案團隊試著討論數學題目時，Mathcad 能夠協助他們更有效率地進行溝通。擷取到的資料會馬上讀入資料檔中並加以處理，接著轉換為 AVI 檔。那時候，我就可以向觀眾呈現一部有關訊號何時出現，以及何時消失的影片。Mathcad 真的非常好用，我希望可以說服更多人來使用它。它真的能幫你省去很多時間與解釋的功夫。」

### Claverham Group (英國)

Claverham Group 專門提供航太、國防與工業用致動產品與相關的服務。Claverham 在 1998 年 1 月併購了 Fairey Hydraulics Limited (FHL) 之後正式成立，隸屬 Fairey 集團的 FHL 在當時已經是全球觸發技術業界的先驅。FHL 是麥道公司 (McDonnell Douglas)/波音公司 (Boeing) 與英國航太軍用飛機部門 (British Aerospace Military Aircraft Division) 的主要供應商，同時擁有許多其他客戶的合約。2000 年 12 月，Hamilton Sundstrand 這家在高科技航太元件與系統擁有領先地位的供應商，反過頭來併購了 Claverham 公司。併購 Claverham 的動作為 Hamilton Sundstrand 現有的次要飛航控制致動業務增添了飛機主要飛航控制致動能力。除了飛機主要飛航控制能力之外，Claverham 的產品還能運用在飛彈致動，這是 Hamilton Sundstrand 公司在併購前未曾踏進的領域。現有的 Claverham 生產用版本則繼續提供致動技術，包括：

- 戰機主要飛航控制致動器
- 直昇機主要飛航控制致動器
- 導引武器尾翼致動系統
- 特殊用途的液壓系統
- 特殊用途的致動器，例如直昇機甲板鎖
- 先進的液壓元件，例如直接驅動閥
- 起落架
- 潛水艇潛水與導航系統

Reg Raval 是 Claverham 的控制系統總工程師，從 Fairey Aviation (也就是 Delta Wing 的先驅公司) 時代，歷經 Fairey Hydraulics 公司，乃至 1998 年被 Claverham 收購，前後總共在這家公司服務了 28 年。

Raval 解釋：「我們現在是 Hamilton Sundstrand 公司的一份子，專門為許多飛機提供冷卻系統與次要控制系統」。「他們主要是買我們在主要飛航控制致動系統上的經驗，以便掌握諸如副翼、尾部升降副翼與方向舵等主要平面部分，進而維持飛機的操控性並提升其穩定度。」

Claverham Group 專門提供航太、國防與工業用致動產品與相關的服務。「在過去的 12 年間，我一直負責設計所有的控制系統架構，與其相關控制迴圈結構。早期我習慣使用 Fortran 與 Basic 之類的電腦程式語言。每當我設計控制系統時，會從最先的幾個原則開始下手，因為沒有兩個控制系統是完全一樣的，每個都是獨一無二的。因此，你必須從最先的幾個元件下手，來得出所有狀態方程式。一旦完成這些步驟，接著你必須瞭解狀態方程式，並賦予它們控制能力。」

運用計算機來分析設計系統漸近線的手動計算方式是第一步。一旦流程開始進行，Raval 就可以跟負責設計導彈彈體的同仁討論，然後將資料指定給每個變數。

「我們專長在設計機翼與平面惰性、勁度等等項目。我們將這個階段稱為分析設計階段，也就是你開始使用電腦前的階段。一旦開始這個階段，我就會接著設計功能尚未齊備的程式來協助進行分析流程。在以前，我會採用 Basic 來撰寫程式碼，讓我進行這些計算。」

一旦 Raval 與他的同仁大略地將系統定義好之後，他們就必須接著定義分析方法，也就是詳細且充分地定義系統。這個過程不只包含許多計算，亦包含很多的系統時間模擬。為此，Raval 曾經使用 Fortran 77 來設計程式。他曾經從阮奇庫塔二階與阮奇庫塔四階等標準來源中設計出好幾個演算法與數值整合方法。

在 1980 年中期，Raval 第一次拿到 Mathcad Version 1。「當我拿到 Version 2 時，開始瞭解到 Mathcad 的神奇妙用」，Raval 回憶道。「當我拿到 Version 6 時，便常常運用在初步設計評估上。在當天結束時，我特地將 Mathcad 運用在控制系統分析上，來建立複雜的系統模型、「假設」分析情況，以及敏感度分析。這當中牽涉到數學演算來定義狀態方程式。一旦這些都定義好之後，我發現 Mathcad 特別好用，因為它不會強迫我進入另一個程式碼編寫環境。」

「如果我想要進行整合運算，只需進入 Mathcad 的微分方程式，並使用標準的數學整合符號，而無須採用類似 INT 後面跟著複雜的方括號、逗點與各種條件的語法指令。我發現這項方法真的非常好用，因為它能讓我專注於數學運算，Mathcad 自然會幫我處理好程式碼部分。」

「我同時發現符號功能非常好用。當我得出狀態方程式時，控制系統之間的關係就會變得異常複雜。這樣會產生困難且複雜的數學運算式。為了找出這些方程式的因數，你有可能花很多時間與精力才有辦法「清理」這些方程式。」

「最重要的是，我從實際裝置上取得了真正的資料並匯入 Mathcad，這時 Mathcad 早已儲存了我對系統的理論模擬，因此我可以比較兩者來驗證系統。在當天結束時，我特地將 Mathcad 運用在控制系統分析上，來建立複雜的系統模型、「假設」分析情況，以及敏感度分析。運算式不需要太多的清理工作，因為 Mathcad 會幫我完成。它會在沒有指定數值變數的情況下，為我簡化符號與分析結果。」

「如果我需要延伸運算式，它也會以數值方式為我完成。我喜歡運用牛頓勒普森法 (Newton Raphson method) 來解決方程式。如果方程式兩側有我不知道的變數，我只需透過 Mathcad 的解答常式並給予近似的解決方案。Mathcad 另一項好用的地方就是它的資料匯入功能。我喜歡實地參與各項工作，並在舵機控制系統裝載到飛機上之後遵循該系統指示。」

在那之前，我們需要在模擬飛機環境的動態試驗台上進行繁重的實驗工作。Raval 將各種控制系統都嵌入到那個環境中，並透過 Tektronix 數位示波器，針對取樣頻率約為 2-5 KHz 的 12 位元資料，進行多次的即時測量。

在先前，這種資料必須先印出來，並採用一組圓規與尺來評估，以確保控制系統能夠按照設計邏輯正常運作。現在，Raval 可以將 Tektronix 資料儲存到磁碟上，並匯入到 Mathcad 中。

「如果這些資料完全一樣，或是位於實驗錯誤或測試設備可允許的範圍內，則我可以得出模型完全正確，且在特定範圍為可接受的結果。我也可以將資料匯入標準的 Microsoft Office 環境中，例如 Word 與 Excel，然後將我的分析結果發送到位於通訊網路上的其他同仁手中。我的組織現在已經廣泛運用 Mathcad 了。而且已經安裝在所有工程師的個人電腦上，總共大約有 50 部」，Raval 解釋著。

### Alenia Spazio (義大利)

Alenia Spazio 是義大利 Finmeccanica 國防工業集團旗下的一家公司，在太空系統與硬體上享有全球領導供應商的美譽。這家公司在開發電信相關衛星系統活動、遠端遙測、氣象學與科學應用，還有載人系統及太空基礎架構、太空運輸與重入系統、控制中心、專業太空軟體，以及平行處理超級電腦上面有著廣泛的經驗。

Alenia Spazio 是義大利太空局 (ASI) 負責管理的所有計畫之主要承包商，同時參與歐洲太空局所組織的大部分專案。它不只參與一些歐盟研究計畫並進行電信與遙測系統的創新，同時也是義大利太空局與美國國家航太總署 (NASA) 雙邊合作專案的承包商之一。

Alenia Spazio 的 L'Aquila 廠房在天線與各項結構、數位設備、低頻電源裝置與高頻裝置的製造上具有整合的能力，而這些能力通常牽涉到運用微電子技術與產品。當中所涉及的活動包括自動測試設備、微電子與混合波導聯結、整合式電路、複合材料、數位設備、RF 射頻設備、電源 LF 設備、ASIC 元件與品質保證等。

PCB 技術部門中某位名為 Lucca Sollecchia 的電子工程師說：「我使用 Mathcad 來模擬無線射頻與天線的微波條帶線電路」。「我使用 Mathcad 來撰寫方程式，以判斷條帶線航跡寬度，並發現了幾個用來模擬這些寬度的模型。我為每個產生模型的襯底材料設計一份唯一的 Mathcad 試算表，方便我輸入電介質的厚度、電介質常數、阻抗、波長 (lambda) 與其他相關參數。」

「這些試算表可以針對不同可用的襯底材料計算出航跡寬度。儘管頻率取決於程式，但是我現在已經在處理中心頻率為 10GHz 的條帶線天線。這款特殊的天線主要應用於民用通訊。」

「我將來自供應商的微波襯底材料方程式轉譯到資料表中。我將各項參數輸入專屬的 Mathcad 試算表，並從每一群方程式中得出許多結果。這樣一來我就可以挑選所需的材料。這些方程式接著會經過簡化，並與其他文件整合。」

Alenia Spazio 在 2000 年 12 月買下了 Mathcad 程式。「在我開始使用 Mathcad 之前，我習慣用 MATLAB」，Sollecchia 回憶著說。「但是 Mathcad 真的比較簡單。」

### Space Contact (西班牙)

Space Contact 在機械、熱力與流體動力分析上，為全球的太空相關應用提供了許多工程上的解決方案。機械部門使用 Nastran 來執行衛星與發射器結構的 FEM 分析。Space Contact 正參與天線的結構分析，包括 Rosetta 衛星，以及 MGAX 與 MGAS 天線。它同時參與一些發射器的結構分析，包括使用液態氫與氧氣做為噴射燃料的 Ariane 5。

熱力與流體分析部門負責執行有關衛星、發射器、服務模組、設備與其他子系統，還有不同種類的天線 (舉凡碟型、變頻微帶天線等皆是) 的各種分析。天線的幾何與熱力屬性包含貼身型陣列天線 (Conformal Array Antenna, CAA)、SARA 外型雙網碟反射式天線 (SARA Shaped Dual Gridded reflector antenna)、ARABSAT 驗證器，與 ASCAT for METOP。該公司同時針對推進系統執行熱控制分析，當中最重要首推第二代氣象衛星 (Meteosat Second Generation, MSG)。

Space Contact 主管暨航太工程師 Adolfo Aguilar 說明：「這個流程只能由對這項工作特別熟悉的工程師來執行」。「我們使用 Mathcad 的有限元素方法來進行熱控制與結構分析計算。在開始使用 Mathcad 之前，我們用的是 Mathematica，後來因為客戶要求而改用 Mathcad。所有使用有限元素的模型都很複雜，而我們使用 Mathcad 來檢查各項結果。」

「Mathcad 的主要優勢就是它比 Mathematica 容易使用，因為 Mathematica 比較像是程式語言。Mathcad 的矩陣功能特別適合用來計算應力張量，而我們需要依據應力張量來判斷結構各部分的安全範圍。例如，我們的複合材料是由好幾層碳纖維與不同材質所組成。安全範圍就是我們用來設定結構斷裂的數據，而我們採用逐層 (layer-per-layer) 矩陣計算方式來得出這個數據。」

「Mathcad 很容易使用，而且在列印中等計算結果並匯入 Microsoft Word 文件時，特別好用。我們撰寫各種方程式並設定初始條件，然後將輸出的結果拿來與來自其他軟體套件 (諸如 Nastran) 的數據進行比較」，Aguilar 這麼說。

## 可追蹤性與 XML

Mathcad 的另一項功能則是建立可稽核的軌跡或計算與數字歷程 — 例如，各種公式、假設、方法與產品需求 — 並確保特定工程設計與資料能夠完成驗證與認證。這項可追蹤性功能除了需仰賴對特定計算的註解 (例如方程式的由來、使用原因等等)，還需要建立特定資訊 (例如記錄文件的作者、公式的上次修改日期等等)。這個流程不只能保證使用正確資訊，亦能提供使用原因說明，確保工程師的輸入資料一致。

可追蹤性能夠與 XML 建立緊密的連接；XML 是一種針對資料交換所建立的語言，可允許資訊透過內部網路、外部網路或網際網路，或是其他任何網路或未連接網路的平台，在組織內部或外部自由流通 (特別是與客戶及合作夥伴)。Mathcad 可讓使用者將工程計算常數或方程式來源記錄到文字區域或 XML 的註解中。如果有兩份工作表重複使用了某項計算，Mathcad 就會將計算資訊的來源記錄到 XML 註解中。Mathcad 能夠建立可稽核的航跡或各種計算與數字歷程 — 例如，各種公式、假設、方法與產品需求 — 並確保特定工程設計與資料能夠完成驗證與認證。

使用 XML 能夠發揮下列各項功能：

- 輕鬆轉換檔案格式：將 XML 文件轉換到標準商業文件格式，例如 Microsoft Word 與 Adobe FrameMaker 檔案，進而免除重新格式化文件所需的時間與資源。
- 進階搜尋功能：可同時搜尋文字與計算，包括計算結果，讓工程師以最快的時間找到所有關鍵資料。
- 壓縮：減少工作表檔案大小 — 包括所有包含許多資料的物件，例如表格與圖片，以協助降低儲存需求。



## 結語

包括計算關鍵產品參數、分析測試資料與預測產品效能等工程計算，全部都是產品設計的骨幹。在產品開發流程的每個過程中，每個設計決策幾乎都得經過無數次的計算才能得出。然而，在 CAD 模型奮力擷取設計幾何資訊的同時，卻沒有盡力擷取或管理這些計算結果。儘管 CAD 工具、產品資料管理，與產品生命週期管理解決方案能夠擷取與管理設計幾何與計算結果，卻無法擷取其完整樣貌，包括各種方程式與內含的假設。

在使用了標準化工程工具與各項最佳工作模式，仍然無法解答並記錄各項計算之後，A&D 組織就得冒險進行不必要的重新設計並可能犯下昂貴的錯誤，導致智慧資本的浪費。Mathcad 在許多航太工業公司眼裡，已經變成了建立、共用與重新利用工程計算結果的標準。透過 Mathcad 的標準化作業讓公司得以擷取工程計算智慧財產、保存寶貴的企業資產、支援各項標準規範，並改善個人與流程的產能。

### Mathcad A&D 客戶

- Aerostructures (澳洲)
- Alenia Spazio (義大利)
- Asco Industries (比利時)
- BAE SYSTEMS (英國)
- BOC Edwards (英國)
- Boeing (美國)
- Bofors Defence (瑞典)
- Civil Aviation Authority (英國)
- Claverham Group (英國)
- Danish Space Research Institute (丹麥)
- DERA (英國)
- DLR (德國)
- Dornier Satellitensysteme (德國)
- DSTO (澳洲)
- Enator Moveo (瑞典)
- ESA/ESTEC (荷蘭)
- ESO (德國)
- European Space Agency (比利時)
- General Dynamics (美國)
- GKN Westland Helicopters (英國)
- Gulfstream Aerospace (美國)
- Honeywell (美國)
- ITT Aerospace/Communication (美國)
- Korea Airlines (南韓)
- Lockheed Martin (美國)
- Loral Space & Communications (美國)
- MAN Technologie (德國)
- Matra Marconi Space (法國)
- Meteorological Satellite Center (日本)
- NASA
- Northrop Grumman (美國)
- Orbital Sciences (美國)
- Raytheon (美國)
- Robert Bosch GmbH (德國)
- SAAB Dynamics (瑞典)
- Singapore Technologies Aerospace
- SNECMA
- Societa Italiana Avionica (義大利)
- Space Contact (西班牙)
- Swedish Space Corporation (瑞典)
- Textron (美國)
- Thales Air Defence (英國)
- TRW Aeronautical (英國)
- Turbine Air Systems
- United Technologies (美國)
- Volvo Aero Corporation (瑞典)