

第 2 章 機電一體化中斷

2.1 它是如何開始的

機電一體化領域始於 1970 年代，當時需要機械系統更精確的受控運動。這迫使工業界和學術界探索傳感器和電子輔助反饋，同時在生產設施中主要使用電動驅動器而不是例如機械凸輪軸。這種引入反饋控制的運動構成了需要使機械工程師和電子工程師可以更好地合作，並彼此理解語言。請注意，當時的控制工程部門大部分是工業和學術界的電氣開發或研究部門的一部分。還採取了各種舉措，以開發通用的語言或方法。一些機構將機電一體化作為一門新興學科向前推進。

在行業中，設計團隊通常被迫在規範級別上從他們特定的學科知識中真正地討論更深刻的見解。計算機輔助的設計和仿真工具在 1980 年代末期和 1990 年代確實推動了這一領域的發展。面向項目的機電一體化工作方式的一個例子是光存儲設備的開發，如圖 2.1 所示。機械設計人員的團隊使用他們的有限元程序，以

及電子和控制專家以及他們的特定仿真工具，共同開發了機制，並對可製造性，成本和動力學提出了非常嚴格的規範。

在 1980 年代同一時期，在許多行業和學術界，機械工程師開始越來越多地解決動力學和控制問題，而控制組也開始出現在機械工程系中，所有這些都標誌著人們已經擺脫了圖 2.2 的單一學科方法。



圖 2.1 Philips Electronics NV 的帶平衡旋轉臂的光存儲設備

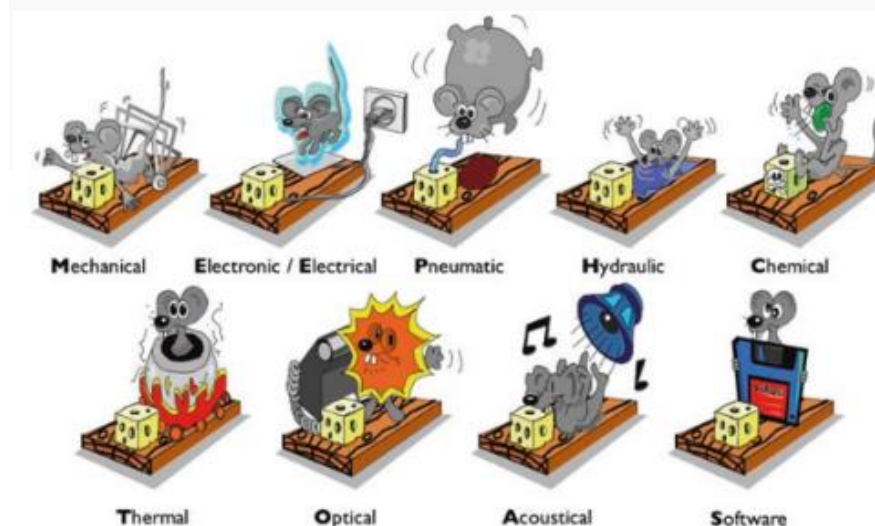


圖 2.2 針對給定問題的許多單學科解決方案[1]

2.2 計算機控制設備

個人計算機的飛速發展，使人們能夠更好地使用仿真和設計工具，從而在早期階段改善了總體設計過程和設計思想交流的質量。但是，同樣重要的是，基於 PC 的數字化計算機控制機電系統的測試和實現。這需要解決計算機科學工程的作用以及表示需要包括軟件規範，但仍然相當有限程度。這也導致越來越多的系統工程領域進入行業，成為在更複雜的產品和高科技系統上進行工作的一種方式。但是，請考慮“通用”語言，或者至少要理解每種語言。更好的是，顯然在硬件和軟件領域之間的瑣碎事情要少得多，而不是硬件領域本身。

從研究的角度來看，問題始於離散的時間級別，即如何使用計算機來實現控制功能，以前盡可能通過模擬實現來進行維護。但是，很快將更高級別的監督控制模式引入了機電一體化領域，這迫使人們進行研究以

使其轉向更多領域。離散事件系統面臨的更困難的問題是，面對機械系統中的連續時間動態。這導致了系統和控制學科內混合系統的研究領域。這部分構成了硬件（舊的機電一體化）和軟件（計算機科學）領域之間的自然接口。

2.3 應用

機電一體化思想帶來的性能提升是深遠的並得到廣泛認可。機電一體化的應用可以在許多產品和生產環境中找到。儘管在早期，控制電動機是一個經常看到的應用，但機電一體化的思想也是用於液壓系統的設計，壓電驅動執行器，建模和控制生產設備，科學設備，光機電一體化，汽車機電一體化等。

監督過去幾年提交的機電一體化論文的流入情況，有關醫療設備，高精度系統，無人機（UAV），汽車和機器人技術的更多應用論文已提交。關於建模語言和工具的科學成就的論文有所減少，這可能意味著合適的工具現在更加普遍。機電一體化教育方面的論文

似乎也是如此。這是 1990 年代後期的熱門話題，在那裡找到了很好的例子，包括為學生做的實驗工作。

關於所謂的機電一體化設計方法的討論文件也不再那麼多了，因為到目前為止，很明顯，其中的一部分的機電一體化在實踐中所做的創新與幫助識別溝通的方式，最好通過使用共享模型或量化模擬。機電期刊提交中涉及的科學方法主要出現在系統和控制領域，在該領域中，機電應用通常被用作驗證或僅作為示例。

使用優化算法，不僅可以找到最佳控制律，而且越來越多地用於組件設計，直到系統拓撲優化為止一個新的設計工具。機電一體化項目和社區的核心仍然是機械工程，電氣工程以及系統和控制領域。與計算機科學和物理之間的相互關係仍然相當有限，但這將轉移到未來幾年。

2.4 多物理場

高端機電一體化系統（例如用於光學光刻或電子掃描探針的圖 2.3 中的晶圓掃描器）以及在空間應用和科

學儀器中的誤差預算越來越接近於平坦分佈在各種來源上。

例如，對於現代晶圓掃描儀，熱和冷卻流體引起的振動，現在與致動器激發的機械模態振動一樣重要。這與極端條件和要求有關；以超過 10 g 的加速度移動 80 kg 的質量，並達到以下精度納米，具有 mKelvin 溫度變化。這意味著“正常”機電一體化及其運動控制系統現在開始具有動態的具有熱和流體控制動力學的作用。整體表現評估和設計改進現在不僅涵蓋機械和電氣/電子和軟件學科，還涉及物理問題，例如基於熱和流體偏微分方程的建模。那會是什麼當我們包括附加製造的可能性時，對機電一體化設計思維有何影響？如果可以使用 3D 工業金屬或陶瓷打印機自由調整我們的機構形狀，那麼如何獲得整體最佳設計？

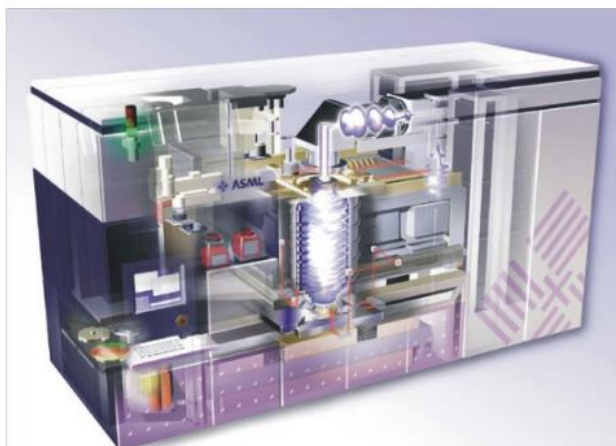


圖 2.3 晶圓掃描儀

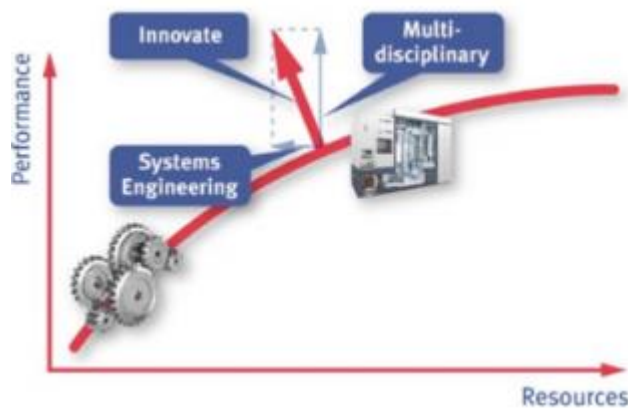


圖 2.4 性能 複雜性（資源）交易

如果我們能夠通過適當的系統工程和更多學科來處理這種複雜性，那麼現在只能將性能折衷提升到一個新的水平。

在圖 2.4 中，以性能與資源的關係形式描述了這種趨勢。情節，資源可以是金錢，人員，開發時間，計算機能力，能源等。性能通常是準確性，吞吐量和魯棒性可靠性。曲線表明，達到更高的性能確實會花費越來越多的資源，直到不可行為止。在圖中，還繪製了示例。第一，一個簡單的變速箱齒輪系統，性能低下（就精度而言），並且需要有限的資源。圖中第二個示例是現代晶圓掃描儀是極端性能和巨大需求的典範資源。

曲線表明，為了進一步促進創新，我們需要包含兩種方法。首先，針對所有相關學科，因此包括實例物理，我們將能夠提高性能。二，介紹在系統工程方法中，我們可以更好地處理複雜性，因此在資源軸上就不多了。

2.5 機器人

與上述高端系統幾乎相反，機器人技術領域也影響機電一體化領域。在這裡，不是需要多物理學科，而是計算機科學領域來應對非結構化和不斷變化的環境。在機器人技術方面，發展方向是視覺，地圖繪製和本地化，因此不僅要了解環境（“世界建模”），還要了解人工智能（AI）領域，這已經是數十年的承諾，但可以發展在未來幾年迅速發展。由於即將推出的自動駕駛汽車，這兩個領域目前都處於加速階段。



圖 2.5 Preceyes 眼科手術機器人[5]

在動力總成（即電驅動和變速箱）領域以及計算機科學的應用領域，汽車行業的破壞力是巨大的，例如現代汽車中的傳感器，包括在乘用車和商用車中實現的自動功能的快速發展。事實上，這一切都與機電一體化，人工智能，控制有關！

機器人技術領域，包括自動駕駛汽車，可以看作是獨立於機電一體化的研究領域，但例如速度要求，工業機器人的數量或外科機器人（例如圖 2.5 的 Preceyes 機器人）的精度要求有必要包括以下內容：

機器人的動態行為。從剛體建模到柔性系統的轉變，直接使其成為機電一體化的核心。系統工程思想和系統拓撲優化也是如此，在車輛的混合動力系統中也是如此。機電一體化的終結和機器人技術的啟動？

2.6 網絡物理系統，智能產業和物聯網

從分散的機電一體化系統到聯網的系統的轉變被稱為網絡物理系統領域，指的是控制論領域。研究的問題是如何在數據包（信息）丟失期間或之後保證穩定性和性能，以及如何處理可變延遲。該領域距離機電一體化的硬件還很遠，但是發展如此之快，我們應該問一個問題，充分利用網絡控制系統的潛力，例如在遠程狀態監視和服務領域。在接下來的十年中，物聯網（IoT）的爆炸式增長進一步要求找到該問題的答案。

機電一體化將在 IoT 的未來發展中成為一種應用。工業 4.0 或智能工業的關注點是關於聯網的現代工業自動化。

- 如果共享物流知識，如果一個工作站的性能達到是否優化了作為總物流或運營的一部分，如果生產設備中的服務和維修功能強大，因為工作站靈活並且可以適應？
- 這對工業機器人和智能機電一體化生產設備意味著什麼？
- 這將如何影響我們的機電設備的設計要求以及產品？

物聯網不僅會改變現代化的工廠。據估計，到2020年，將有500億台設備連接到互聯網。這意味著它將進入我們的家庭，家用設備以及汽車。當可穿戴電子設備被進一步推動時，我們被傳感器所包圍，我們只需要朝致動一步就可以閉合迴路，從而再次進入機電一體化領域！

2.7 走向系統集成

監督這些發展，我們可能會質疑機電一體化實際上是或將會是。機電一體化是否受到干擾？它已經蒸發到系統工程中了嗎，它是否是支持學科的一部分，它是

否已經擴大成為網絡物理學的骨幹？此外，如果生物系統也要實現技術設備（人類互聯網），那麼機電一體化學科的作用是什麼？我們應該如何在機電一體化思維方面對人們進行教育？在圖 2.6 中，使用系統工程的作用來實現學科和技術貢獻的必要整合。

在本書中，許多提到的發展將得到解決。我們不會對機電一體化的未來及其教育有確切的答案，但是我們也知道，由於我們無法預測未來，因此它應該是強大且適應性強的！我們肯定知道技術發展的步伐正在加快，因此，我們也應該如此！



圖 2.6 學科和技術的系統工程集成[4]

第 3 章

機電一體化的未來挑戰

3.1 引言

在航空航天工業中，掌握機電一體化系統的設計是一項主要任務

需求。實際上，計劃成本的很大一部分都花在了這些設計上

系統，也代表了產品性能的很大一部分。在這個一章，未來幾年行業將面臨的一些主要挑戰機電一體化領域已暴露。這些挑戰涉及設計機電一體化系統，其驗證/確認及其操作。

3.2 設計中的挑戰-架構和規模

3.2.1 使用模型確定體系結構的大小

嵌入式技術系統的物理架構，例如電子飛行控制系統的機械執行器，圖 3.1a [1]或電力電子供應網絡的模塊，圖 3.2b [2]，是來自以下組件的關聯不同的技

術。Van der Auweraer 等人的工作。 [3]Hehenberger 等。 [4]強調這種多領域系統的設計需要不同的建模層，例如如圖 3.2 所示：

- 機電一體化層必須考慮功能和物理耦合在組件之間放置。通常使用 0D / 1D 完成此級別的建模