

9. 電機科技發展淺說

■ 古希臘的智慧

以現代的科學眼光來看古代的文明，相信很多人還是會對前人所留下的智慧結晶感到訝異，到底他們是如何運用有限的人力與資源，進行長期的天體觀測？到底他們如何在缺乏紙筆的時代進行知識的累積與世代傳承？這些疑惑至今還是考古學家努力解決的目標。

在這些智慧結晶當中，最亮眼的非曆法莫屬，雖然巴比倫、埃及、印度和中國等古文明之間沒有交集，但是卻不約而同地在四、五千年前發展出曆法，準確地預測天象，更將季節天時的變化，融入日常的生活與文化當中；此外，如丈量天地的幾何學、思考人生的哲學、養生保健的醫學等，這些前人的智慧仍深遠地影響著現代人的思維與生活。可惜的是，許多前人智慧的創作過程，因年代久遠已不可考，在本文中將以古典時代的希臘做為探詢今日電機科技發展的起點。

在古希臘時代最具影響力的人物當中，首推古希臘七賢之首泰勒斯(Thales, 624~546 BC)，他是一位天文學家與數學家，在當代已懂得利用影長來丈量埃及金字塔的高度，也曾因準確預言日蝕而消弭一場戰爭，且曾經觀察到琥珀摩擦後吸引輕微絨毛的靜電感應現象，此項觀察記錄讓泰勒斯被公認為電學的始祖。

在泰勒斯之後，古希臘選出了許多的傑出人才，如亞里斯多德(Aristotle, 384~322BC)、阿基米德(Archimedes, 287~212BC)與托勒密(Ptolemy, 90~168AD)，其中影響最深遠的是亞里斯多德，他的研究成果一向被視為古典時代的最大成就，其中也包含了一些嚴重的錯誤推論，如「落地時重物的速度比輕物快」「地球是宇宙中心」，這些謬誤的想法在宗教神權的利用下，阻礙了歐洲自然科學的發展，甚至跨越了中古時代，其影響遠超過一千五百年。

■ 天才的世紀—十七世紀

自東羅馬帝國滅亡，歐洲逐漸走出黑暗時代，此時的宗教勢力雖然仍在，但是在哥白尼(Nicolas Copernicus)日心說的影響下，科學界啟動天文革命，試圖將「地球是宇宙中心」的謬誤予以排除，最後是由刻卜勒(Johannes Kepler)整理出「行星三大運動定律」，完整地描繪出實際的天體運動，恢復了天空的秩序，

這是十七世紀的首要科學成就。不過，刻卜勒的理論仍然無法解釋行星為何能夠在天上運動。

對於行星為何能夠運動的困惑，後來是經由牛頓(Isaac Newton)的研究才獲得解決，然而牛頓的重大成就並非偶然，而是一種傳承，他承繼了伽利略(Galileo Galilei)的研究成果，更巧合的是伽利略過世的那一年，牛頓也剛好出生，似乎冥冥之中自有定數。

伽利略首先以比薩斜塔實驗，粉碎了亞里斯多德「落地時重物的速度比輕物快」的桎梏，並且提出「慣性」的概念——靜者恆靜，動者恆動，讓物理學家得以擺脫「是什麼力量推動行星？」的問題，因為地球本來就在動！然而「行星為何繞日運動？」的疑惑還是沒能解決，牛頓在 23 歲時為這個問題提供了所需的理論——萬有引力定律，並以「物體三大運動定律」奠定了力學的基礎。

由於刻卜勒、伽利略、牛頓與其他眾多的科學家在十七世紀的努力，不僅讓社會擺脫了宗教神權的控制，也讓自然科學在力學的基礎上迅速發展，稱十七世紀為天才的世紀，實不為過。

■ 電磁學的發展

在十七世紀，由於科學界忙於力學的研究，無暇顧及其他領域的發展，電學與磁學在情勢下，只有一些零星的成果，如英國吉爾伯特(William Gilbert)從實驗中發現摩擦生電的現象並非琥珀所獨有，而是許多物質的通性，所以他採用琥珀的希臘文字elektron為字根，創造出新的詞彙electricity，也就是今日所稱的電，此外他也根據當代已知的磁極分布狀況，推論出地球是一塊超大的磁鐵，於1600年出版磁學相關的論文。不過在此科技萌芽的階段，電學與磁學只能以緩慢的速度逐步發展。

經過了天才的世紀——十七世紀，科學家們已在力學方面取得了豐碩的成果，因此進入十八世紀後，電學便受到科學家們更多的關注，也開始嶄露頭角。在1729年，葛利(Stephen Gary)率先發現經由接觸可將電性傳導至未經摩擦的物體上，並將這類物體稱為導體；緊接著在1733年，杜費(Charles F. du Fay)發現電性具有兩種類型，而且不同電性的物體，一經接觸後電性便相互抵消；到了1745年，荷蘭萊頓大學的穆新布洛克(Pieter van Musschenbroek)製造出世界上第一個

儲電裝置—萊頓瓶，這也是最早的電容器；在1752年，美國的富蘭克林(Benjamin Franklin)冒著生命危險在費城進行風箏實驗，成功地將雷電導引至萊頓瓶中，並證明天上的雷電與摩擦生電的電性完全相同，不僅如此，他還發明了避雷針，將雷電導入大地，使人畜和建築物得以避開雷電的襲擊。

以上的電學發展仍然維持在電性的探討上，未能取得量化的數據或資料，這種情況一直到1760年代的後期才得以突破。首先在1766年，普里斯特里(Joseph Priestley)在牛頓萬有引力的啟發下，提出靜電力公式的基本假設—兩電荷間的靜電力與兩者距離的平方成反比。但是他沒能獲得具體的實驗數據，歷經二十年後，才由庫倫(Charles Coulomb)在1785年以扭力計實驗加以證實，為了紀念這項成就，後人將靜電力公式稱為庫倫定律。值得一提的是，庫倫實驗的成功，讓電學由定性分析正式步入定量分析的時代，加速了電學的發展。

前面提到的這些研究成果都屬靜電領域，由於萊頓瓶不能長時間穩定地供電，為了改善這種現象，義大利的伏打(Alessandro Volta)發明了能產生持續電流的電源—「伏打電堆」，也叫「伏打電池」，它是人類最早的電池，改進了萊頓瓶電量不足，儲電不易的缺點。

在十八世紀之前，科學家們仍然未曾發現電與磁有任何關聯。直到1820年，丹麥的奧斯特(H.C. Oersted)在一場電磁實驗中，無意間發現磁針受到電流的影響而擺動，也就是電生磁的效應。在聽到奧斯特的實驗結果之後，法國的安培(Andre Marie Ampere)重複相同的實驗，並提出「安培定律」來描述兩電流間所存在的作用力。他們的研究成果隨即引發出另一個議題：「電可以生磁，那麼磁是否也能生電？」

這個問題後來是由英國的法拉第(Michael Faraday)所解決。不過他的整個研究並不順利，總共歷經了八年的努力，才在1831年試驗成功，他發現將一塊磁鐵放入金屬線圈時，在過程中會在線圈上產生電流，若再拿出磁鐵時，線圈上則產生反方向的電流。這個現象說明了一個事實，電流不能無中生有，必須作功讓磁場運動才能產生電流，這就是「電磁感應」，這個現象的發現，奠定了日後發展電力工業的基礎。

法拉第還利用「力線」及「場線」的圖像概念推論出電磁波存在的可能性，

後來馬克斯威爾(James Clerk Maxwell)就依據這些概念，推導出電磁波方程式，並發現電磁波的速度與光相同，於是他再進一步猜想：光就是一種電磁波。不過馬克斯威爾只提供了數學的推理，真正的電磁波實驗，後來是由德國的赫茲(Heinrich R. Hertz)所證實，並啟動了通訊科技的發展。

馬克斯威爾是電磁學的集大成者，他總結了前人與當代的科學成果，並運用數學上的向量分析法，寫下了著名的「馬克斯威爾方程式」，至此完美的電磁學理論終於在十九世紀末建立完成，二十世紀的電機科技時代也跟著來臨。

■ 電機科技

電機科技的核心技術包括電子、通訊、控制與電力。

在二十世紀初的電機科技只具有部分核心技術的雛型，主要仍在電力與通訊技術的開發，直到 1947 年，電晶體——二十世紀最重要的發明——由美國貝爾實驗室的蕭克利(Shockley)、巴丁(Bardeen)與布拉頓(Brattain)三位科學家開發出來後，這種情況有了突破性的改變，半導體技術帶動了整個電機科技與產業的蓬勃發展。他們三人後來在 1956 年也因電晶體的發明獲頒諾貝爾物理獎。

電晶體的發明與 1940 年代所開發的電子計算技術有關，在當時的電子計算機主要是採用真空管來執行快速的運算，但是由於所需的真空管數量數以千計，因此體積龐大且價格昂貴，所消耗的功率更是嚇人，此外還有一個最大的致命傷，那就是壽命不長，通常一個真空管約可使用三千小時，將近四個月，乍聽之下，似乎還不算短，但是以機率來看，若是四個月必須汰換兩萬個真空管的話，平均起來，約 10 分鐘就會有一個燒毀，導致計算機無法正常運作，也就是說可能十幾分鐘就要從兩萬個酷似的真空管中，去尋找出到底是那一個燒毀，光想到這點就令人感到沮喪。幸好不到幾年的光景電晶體就誕生了。由於電晶體的體積小，消耗功率低，且量產容易，成本低廉，更重要的是它的壽命幾乎是無限的，所以一出現後，就取代了真空管，成為最重要的電子元件。

電晶體主要可以分為兩種類型：接面式電晶體與場效型電晶體，其中場效型的觀念早在 1930 年便有人申請專利，但是在開發上並不順利，一直到 1960 年，才由柯恩(D·Kahng)及阿塔拉(M·Atala)設計出金屬-氧化物-半導體(簡稱金氧半)

的閘極結構，所以稱為金氧半場效電晶體(MOSFET)。由於金氧半場效電晶體具備低耗電量、高穩定性、容易量產等優勢，因此在微電子的應用領域中，後來居上，在產量及用途上都一枝獨秀，遠遠超過其他的電子元件。此外，金氧半場效電晶體是採用平面的配置方式，所以製作容易，成本較低，加上可以緊密排列，使體積大幅縮小，目前製作 IC 晶片時，都是以金氧半電晶體為主要技術。

事實上，在 IC 晶片的優勢中，最吸引人的就是體積不斷縮小，摩爾(Gordon Moore)在 1964 年曾預言晶片上的電晶體數目每年都會加倍，這就是有名的「摩爾定律」，當然這個預言只是在初期時有效，不可能一直持續，時至今日，科技進入奈米時代，摩爾定律也不再適用，而製造電晶體個數超過數十億個的 IC 晶片早已不是難事。

在通訊技術部分，美國科學家摩斯(Samuel Morse)首先在 1844 年在巴爾的摩與華盛頓之間成功傳遞他所開發的摩斯電碼。接著美國發明家貝爾(Alexander Graham Bell)在 1892 年架設電話線，讓紐約與芝加哥兩地相隔九百哩的人們得以遠距離相互通話。在此同時，通訊界因電磁波的存在已獲得證實，便極力開發新的通訊技術—無線通訊，首先是義大利發明家馬可尼(Guglielmo Marconi)在 1896 年取得了世界上第一個無線電報的專利，接著在 1901 年利用無線電，將一項訊息從英國越過大西洋成功地傳送到加拿大，奠定了遠距離無線通訊的地位。此外在 1920 年利用 AM(調幅)技術的大眾性商業廣播系統也正式啟用，人類文明從此步入無線傳播的時代。

時至今日，通訊已是世界各國爭相推動的高科技產業，加上資訊與半導體技術的急遽發展，使得通訊系統業者競爭更形激烈，也導致無線網際網路的應用快速崛起，而近日內雲端技術崛起，讓通訊技術如虎添翼，未來人類文明的發展，實難以預估。

至於控制技術部分，它並非電機科技所專有，但是隨著 IC 晶片的廣泛應用，目前電機控制已成為工業的主流，在所有的系統中，幾乎都是使用 IC 晶片的控制器與感測器，來達到系統全面自動化的目標，例如工業機器手臂就是一例；此外，與日常生活息息相關的汽車導航、遙控技術、數位相機等，也無一不是自動化的控制產品。相信今後的控制科技在 IC 晶片的推波助瀾下，不僅是自

動化，也必然趨向於智慧化，甚至是能與環境互動，如人形保全機器人就是此類型的尖端產品。當下一世代的機器也擁有思考的能力時，人類的文明將會如何因應，已是今日眾所矚目的焦點問題，至於是福是禍，在在考驗著人類的智慧。

最後是電力技術，百年來人類的物質文明得以持續發展，即是拜此技術所賜，它提供了我們日常所需的電能，舉凡住家、商業、工業或交通等一切活動，都與電能息息相關。在我們日常生活中，除了電池以外，最重要的是來自公共電力系統所輸送的交流電，這些電能主要來自水力、火力與核能，但隨著地球能源的大量開採濫用，世界各國以警覺到能源不足與環境污染的嚴重問題，並開始以全球的觀點商討對策，嘗試以綠色能源來解決這個棘手的問題，包括利用風力發電與太陽能晶片，來取代高污染的火力發電與高危險性的核能發電，至於成效如何，以及世界各國是否真能彼此合作，則有待進一步觀察。

■ 結論

目前世界各國已經因為地球暖化所帶來的負面影響，付出了龐大的代價，近日內的日本福島核電廠爆炸，也引發了世界各國輻射塵污染的危機，更可悲的是，人類面對這個危機時，竟然是一籌莫展。或許這個警訊正是在昭告我們人類，必須謹慎思考濫用能源所帶來的後果，必須有更積極的作為來減緩地球環境的日益惡化。你是否想過，或許回歸大自然的恬淡生活，是拯救地球的唯一之途，只是，你願意嗎？