

科學家的巧思—— 逆向思維

改變一般人慣用的思考方式，換個角度從相反的方向想事情，
自古至今，科學家們運用這種「反傳統、反向思考」的創作性思維，
獲得許多驚人的發現與突破。

■ 鍾岳霖 · 周長毅 · 邱冠群 · 鍾崇榮

逆向思維（reverse thinking）是指改變一般人慣用的思考方式，換個角度從相反的方向來分析事情。它是一種屬於「反傳統、反向思考」的創作性思維程序與模式，主要目的在於擺脫大家常用的僵固框架，從不一樣的角度思考問題，希望能有新的發現與突破。

思考學家王舜清在民國87年出版的思考學名著《成功者的致勝密碼—RT逆向思維》中，介紹許多古今中外成功者如何運用逆向思維，幫助他們完成一些難度極高，一般人無法達成的任務，使他們獲得空前成功的果實。本文介紹4位科學家用逆向思維獲得成功的實例。

發電機的誕生

1821年，電學之父麥可·法拉第（Michael Faraday, 1791-1867）設計了一個很有趣的實驗，第一次把電池產生的電能轉變為機械能。在一邊，法拉第把一個可以自由轉動的磁鐵放入裝滿水銀的玻璃杯中，用電線把磁鐵下的金屬棒連接到直流電源的陽極，並在玻璃杯上方放一條連在鐵架上固定的電線；在另一邊，把一個固定的磁鐵放在另一個裝滿水銀的玻璃杯中，用電線把這個磁鐵下的金屬棒連接至直流電源的陰極，並在玻璃杯上方放一條連在金屬架上可以自由轉動的電線。

逆向思維的主要目的在於擺脫大家常用的僵固框架，
從不一樣的角度思考問題，希望能有新的發現與突破。

當電線上的開關連通後，電線與水銀就會形成一條完整的電流通路。這時，杯中的磁鐵會繞著電線旋轉，而另一玻璃杯上方的電線會繞著磁鐵旋轉。因此，法拉第成功地把直流電源產生的電能轉變成機械能，做出史上第一部電動馬達。

這個實驗的結果促使法拉第產生一個非常有價值的逆向思維——這個實驗能把電能轉變成機械能，如果讓實驗過程逆轉，用機械能產生電能，會是一項很有意義的工作。1822年，法拉第在日記中提出——「既然通電可以產生磁力，為什麼不能用磁鐵產生電流呢？我一定要反過來試一試，用磁鐵產生電流！」

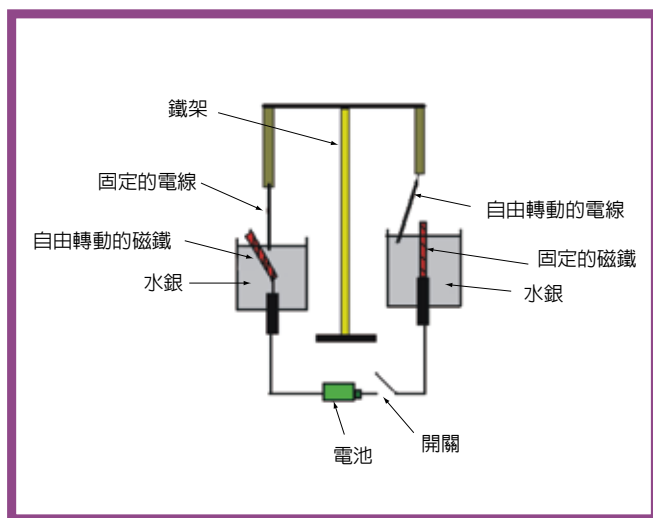
在這個意念的引導下，經過不斷地努力探索，1831年法拉第把銅絲繞成圓筒形的線圈，用電線在圓筒線圈兩端接一個檢流計。當他把一塊磁鐵棒插入長筒線圈內，檢流計上的指針動了起來，接著他迅速抽出磁鐵，檢流計的指針隨即向相反的方向偏轉。為了驗證剛才的結果是否可靠，法拉第不斷地把磁鐵在銅線圈中插入、拉出，並且仔細觀察檢流計指針偏轉的方向。連續做了好幾次實驗後，法拉第才確信磁鐵移動真的能夠促使銅線圈產生電流！

觀察檢流計指針偏轉方向，他歸納出以下結果。當磁鐵靜止時，檢流計的指針沒有偏轉，顯

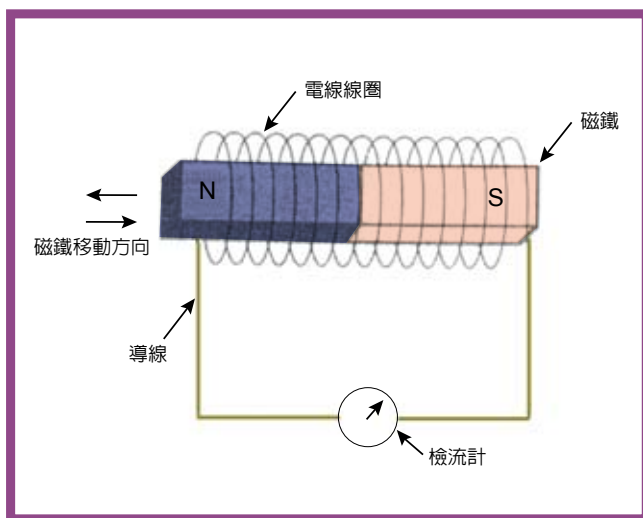
示線圈上沒有電流產生；當磁鐵移動時，檢流計的指針偏轉，顯示線圈上有電流產生；把磁鐵插入線圈與拉出線圈時，檢流計的指針偏轉方向相反，顯示線圈中產生的電流方向相反；磁鐵插入或拔出的速度越快，檢流計指針偏轉的角度越大，顯示線圈中的電流強度越強。

於是，法拉第得出這樣的結論——磁鐵運動是產生感應電流的必要條件，金屬線圈必須交切磁力線，才能產生感應電流。他把磁鐵運動產生電流的現象稱為「磁電感應」。

1831年9月23日，法拉第終於做出第一部能把機械能轉變成電能的發電機。他在一塊大磁鐵

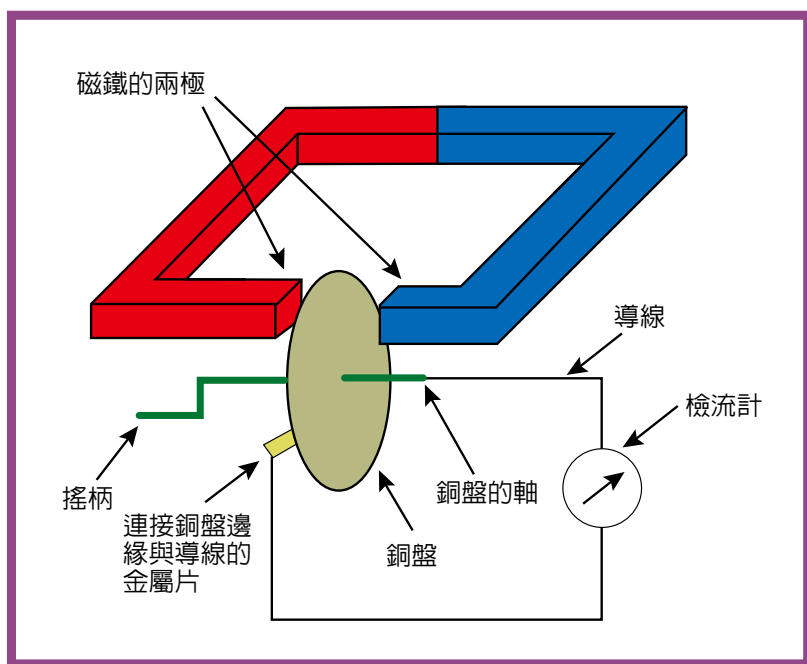


● 法拉第把電池的電能轉變成機械能的實驗裝置



● 法拉第用磁鐵產生電流的裝置

法拉第根據逆向思考，把機械能轉變成電能，成功地提供一種新的能源，為人類走向電氣化開闢了一條康莊大道。



● 法拉第做出把機械能轉變成電能的裝置

的兩極間放置一個中心有搖柄的圓形銅盤，並把銅盤支撐在支架上。銅盤的中軸連接一根導線，另一根導線連接一片與銅盤邊緣保持接觸的金屬，這兩根導線和一只檢流計相連。用手轉動銅盤的搖柄，就能在連接銅盤的導線中檢測到源源不絕的電流，而銅盤的轉速愈快，電流的讀數愈大。

法拉第根據逆向思考，把機械能轉變成電能，成功地提供一種新的能源，為人類走向電氣化開闢了一條康莊大道。這篇研究報告發表時，震撼了科學界。後來科學家尊稱法拉第為「電學之



● 只要改變石墨中碳原子的排列方式，就能把石墨變成鑽石。



● 法國巴黎自然科學博物館培育出的天才化學家莫瓦桑，因製成純氟、發明高溫電弧爐，以及製造出人造鑽石，而獲得1906年的諾貝爾化學獎。

父」，並且把1831年9月23日定為電機工業的誕生日。

石墨變鑽石

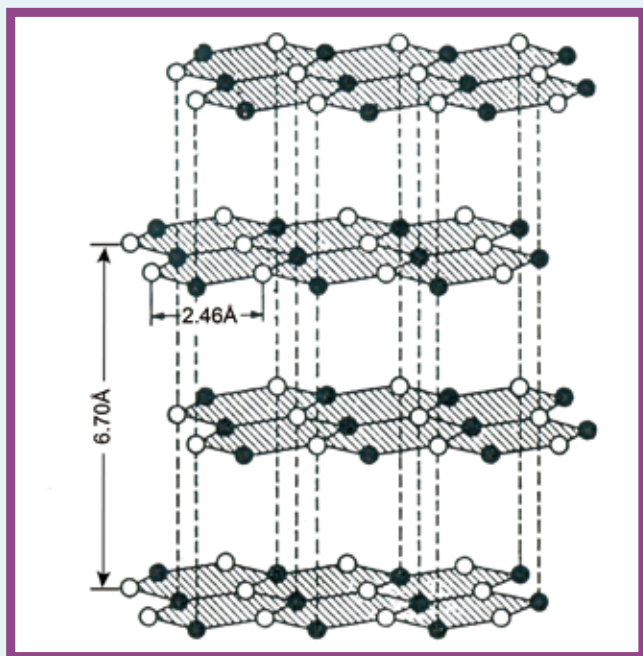
諾貝爾化學獎得主亨利·莫瓦桑（Henri Moissan, 1852-1917）曾經有這樣的一個故事。有一名竊賊偷了他一台鑲有鑽石的實驗設備，令莫瓦桑感到十分氣憤，他猜想竊賊之所以會偷這台設備的原因：「很簡單，因為鑽石非常昂貴！」因而他突然想起英國科學家麥可·法拉第曾經在「星期五之夜討論會」中，講

過如何把「鑽石變石墨」的過程。於是他運用逆向思維，想使「鑽石變石墨」的化學反應逆轉，並下定決心要研究出如何把價格低廉的石墨變成價值連城的鑽石的方法。

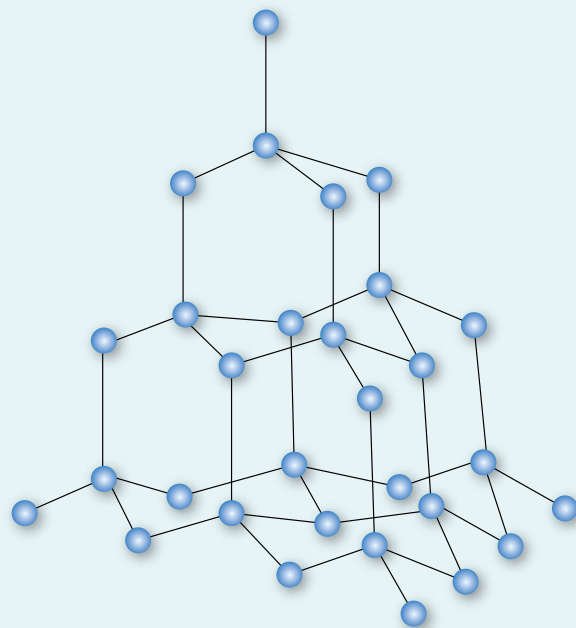
莫瓦桑知道鑽石和石墨是兩種由碳元素構成的同素異形物，但由於排列方式不同而產生兩種性質差異甚大的物質。只要改變石墨中碳原子的排列方式，就能把石墨變成鑽石。但如何改變石墨中碳原子的排列方式，一直困擾著他。

有一天，莫瓦桑參加一個在法國科學院舉辦的會議，會中有位礦物學家報告，在隕石內常常發現含有少量鑽石晶體的大鐵塊。莫瓦桑猜想這些鑽石晶體形成的過程，而設計出製造鑽石晶體的方法，經過多次試驗，終於找到使石墨變成鑽石的條件—高溫及高壓。

在極高的溫度下，碳原子的排列方式能快速改變，使石墨和鑽石達成平衡狀態。石墨的密度是 $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，而鑽石的密度是 $3.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，因為鑽石的密度遠大



● 石墨晶體結構示意圖



● 鑽石晶體結構示意圖

一般人常把失敗看作成功的絆腳石，做為不再嘗試的藉口。但愛迪生運用逆向思維，認為失敗是邁向成功最好的踏板，激勵自己努力做新的試驗。

於石墨的密度，所以在極高的溫度下，鑽石的比率會隨著壓力的增加而增加。

1893年，莫瓦桑和他的助手利用高溫使一大塊生鐵融化。在鐵水中加入石墨後，讓鐵水迅速冷卻。當鐵從液態冷卻成固態時，使得內部的鐵水產生極大的壓力，提供了高溫高壓的環境，讓高溫鐵水中的部分石墨變成鑽石。當鐵塊冷卻至室溫後，莫瓦桑用鹽酸溶解鐵塊，得到石墨與鑽石的混合物。從混合物中挑選出鑽石晶體，用水清洗，就得到「人造鑽石」。

莫瓦桑做出人造鑽石這項成就，促使許多化學家效法他的逆向思維—使化學反應反轉，成功地製造出許多有用的產品。

碳絲電燈的發明

在「世界發明大王」湯馬士·愛迪生（Thomas Edison, 1847-1931）年輕的時代，一般照明的設備是弧光燈。然而這種燈的光線太亮，非常刺眼，成本很高，壽命卻不長。

愛迪生決定發明一種既便宜，又耐用的照明燈。於是收集了許多耐熱的材料，做成細絲放在一個圓形的玻璃燈泡



●美國發明家愛迪生一生發明了打字機、碳絲電燈、電報機、電池、留聲機、電影機等兩千多項物品，獲得超過1,300件專利，被譽為光明的使者及發明大王。

裡，他和助手把玻璃燈泡裡的空氣抽掉，再用銅絲與電池連接，當電流通過時，這些細絲會發出光亮。可惜的是，這些細絲很快就燒斷了。他先後試驗了一千多種材料，都很快就燒斷。

一般人常把失敗看作成功的絆腳石，做為不再嘗試的藉口。但愛迪生運用逆向思維，認為失敗是邁向成功最好的踏板，激勵自己努力做新的試驗。的確，大部分人會把這些

失敗實驗當作一種挫折，認為「失敗這麼多次，應該不會成功了。」愛迪生之所以傑出，就是因為他有不同於一般人的思考模式：「我找到了許多種燈泡不耐用的原因，這些實驗並不是失敗的結果，反而是邁向成功的踏腳石。我從來沒有失敗過，每次實驗都讓我了解了更多導致失敗的原因，讓我逐步地接近成功。」

這樣的逆向思考鼓舞著愛迪生繼續尋找合適的材料，終於在1879年的某一天，正當他搥著竹扇乘涼時，突然想到用扇子的竹片製成的碳絲是一種很好的耐高溫材料。於是他從扇子中取出一段竹片，放在顯微鏡下觀察，發現它可能是一種很好的發光材料。他馬上進行測試，成功地利用竹絲做出第一盞能夠持續點亮1,200小時的碳絲電燈。不久之後，這種電燈走進每一個家庭，照亮整個世界，對現代生活有很大的貢獻。

愛迪生的逆向思維使他成為人類發明史上輝煌的明星，他的名言：「我才不會沮喪，因為每一次不當的嘗試都會把我往前更推進一步，更邁向成功。」這句話持續不斷地鼓舞著從事科學研究的人員。

鎢絲電燈的改良

1909年，美國通用電器公司的研發人員用鎢絲替代碳絲電燈中的碳絲，因為鎢的熔點（攝氏3,410度）與沸點（攝氏5,900度）是所有金屬中最高的，並且能夠在通電後發出很亮的白光。因此當時科技界一致認為用鎢絲替代碳絲是一項重大的變革。

可惜的是，鎢絲通電後產生的高溫使得鎢絲越來愈脆，很容易斷裂，因此鎢絲燈的壽命不長。此外，在使用的過程中，鎢絲會緩慢氧化，形成黑色的沉積物附著在玻璃燈泡壁上，使得燈光越來越暗。

1909年夏天，艾耳文·郎繆耳（Irving Langmuir, 1881-1957）進入通用電器公司，他的第一個研究任務就是改良鎢絲燈的性能，以及延長它的壽命。

當時通用電器公司的研發人員除了郎繆耳外，全都認為鎢絲燈使用壽命不長及燈光變暗的原因，是因為玻璃燈泡裡有傷害鎢絲的氣體。因此他們一致認為只有進一步把鎢絲燈泡中的氣體抽出，提升燈泡中的真空度，才能改善鎢絲燈的性能，以及延長它的壽命。只有朗繆耳根據逆向思維，建議採用相反的方法，把氫氣、氧氣、氮氣、氬氣、水蒸氣等各種不同的氣體分別加入燈泡

中，觀察各種氣體會和鎢絲發生哪些反應，以及這些氣體會產生哪些效果。

在高溫中，氫氣與鎢絲反應產生氫原子，氫原子在鎢絲中產生氫化鎢，使鎢絲變脆；氧氣與水蒸氣在高溫中與鎢絲反應形成鎢氧化物，氧化後使得鎢絲變細，鎢氧化物蒸氣會凝聚在燈泡的玻璃壁上，使燈泡變黑，燈光變暗。

然而氮氣和氬氣在高溫中不但不會與鎢絲反應，而且從鎢絲氧化出來的鎢原子撞擊到氮氣分子或氬氣原子後，會反彈回鎢絲表面。因此氮氣和氬氣的存在會對鎢絲產生保護作用，降低鎢絲

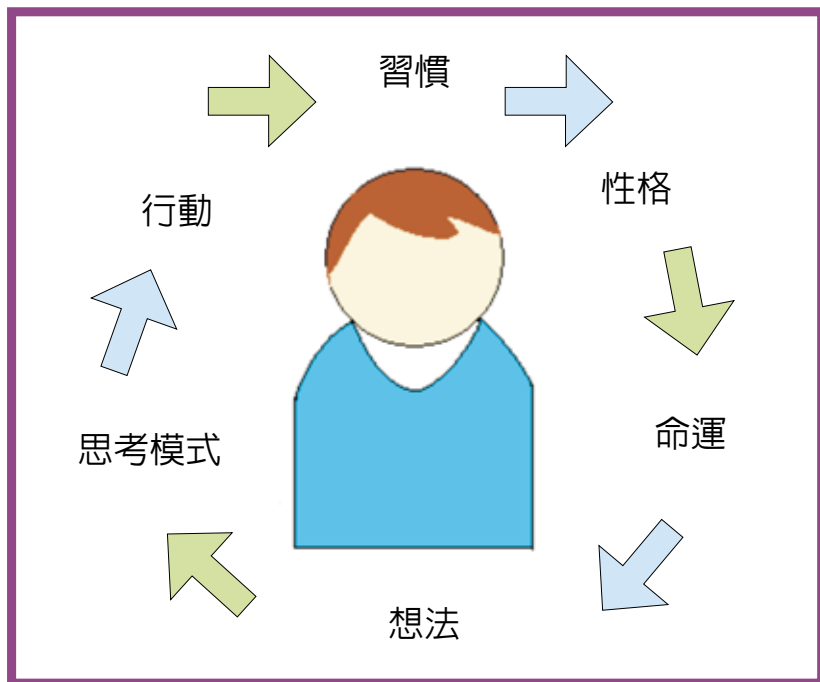


● 美國化學家郎繆耳由於在表面化學方面的開創性研究，在1932年獲得諾貝爾化學獎。



● 鎢絲燈泡

把教科書的內容以強迫的方式灌輸給學生，
不管學生是否能吸收消化，
這種教學方式極易使學生陷入僵固的思考模式。



● 思考模式是影響我們行為與命運的最重要因素

氣化的速率，減少燈泡壁上黑色沉積物的生成，顯著延長鎢絲的使用壽命，以及改善鎢絲電燈的照明效果。

經過4年的研究，朗繆耳就用氮氣和氬氣的混合氣體填充鎢絲燈泡，並且把鎢絲的形狀捲成螺旋狀，成功地改良了鎢絲電燈的效果和壽命。1916年，他因此而獲得美國化工學會頒發的帕金獎章。

朗繆耳在評論自己的這項研究成果時，說出他如何使用

逆向思維來改良鎢絲電燈的效果和壽命：「當大家使用一種方法時，從反向的方法進行研究，會是另一種可行的方法。例如在製造鎢絲電燈時，把燈泡的氣體抽出，使燈泡內形成高度真空是一種可行的方法，人們只把注意力放在提高真空度上，以為只要提高真空度，效果就會倍增。我懷疑這種方法，決定以相反的方法——往燈泡內填充氣體，於是贏得了一次成功的機會。」「用相反的

方法」就是一項最典型的逆向思維。

目前國內的升學教育，由於教材內容太多、教學時數不足、升學壓力過大、考試題目偏重知識的記憶等因素，使得教師普遍採用傳統的講敘式教學法，把教科書的內容以強迫的方式灌輸給學生，不管學生是否能吸收消化。這種教學方式極易使學生陷入僵固的思考模式，而用這種思考模式想事情，很難有創新的發現。思考模式是影響我們行為與命運的最重要因素，誠如王舜清在《成功的致勝密碼—RT逆向思維》書中所言：「只要我們把逆向思維的觀念，變成一種生活上的好習慣，想要成功，一點也不困難。」

鍾岳霖

新竹高中

周長毅

大同高中

邱冠群

清華大學化學系

鍾崇榮

清華大學化學系