

電力紀事：  
美國大停電

影響超過50萬人的大停電：

1991~1995年：41次

1996~2000年：58次

超過100百萬瓦的大停電：

1991~1995年：66次

1996~2000年：76次

美國電力需求增加百分比：

1988~1998年：30%

1999~2009年(預計)：20%

輸電容量增加百分比：

1988~1998年：15%

1999~2009年(預計)：3.5%

1999年美國工業研發費佔

淨銷售額的百分比：

通訊器材：12%

電腦／電子：11%

電力：少於0.1%

資料來源：北美電力可靠性委員會；美國能源情報署；  
美國國家科學基金會

用一種能將電換成熱的阻斷電阻器，讓發電機做溫和的轉換。

改善電廠間的聯繫亦有助於電力輸送網的穩定。防護型繼電器是根據局部性資訊來反應，所以可能因誤判而做出非必要的斷線。專用的光纖線路能快速比對相鄰電廠的狀況，預防非必要的斷電。全球定位系統(GPS)可為各電廠讀數加上時間標記，使得操作管理員在審視一連串及時狀態資料時，能做出更好的判斷。位於俄勒岡州波特蘭市的邦尼維電力管理局以及總部設在密蘇里州聖路易市的阿莫林公司就都使用了GPS時間標記。

一旦操作員大致了解電力輸送網的狀況，就可以把訊息傳送給既快速又靈巧的電閘。彈性交流輸電系統設備可以將電流調大或調小，而稱為故障限流器的超導閘則可使斷電器更安全地切斷電源。接更多條的交流電線或超導線可以增加傳輸容量，但出問題時也會在電力輸送網內引成更大的漣漪。伊利諾大學的電子工程師索爾(Peter Sauer)說：「系統必須能夠控制大幅度的擾動，而最常用的辦法就是切斷連線。」

葛蘭特表示，「概念上，一部主電腦可以像飛航管制般從上往下鳥瞰整個電力輸

送網。1996年的美西大停電後，業界的調查分析顯示，這種全域式的監視原本可以讓95%的消費者免於缺電之苦。」雖然專家們對於建造這種概念電腦的可行性意見紛歧，但大都同意其他較不費力的方案應該可行。

可行方案之一是改良控制方法，自動將出錯的部份隔離起來，並將剩餘的電力輸送網重新劃分成數個供需平衡的獨立區域。EPRI委外進行這個稱為「自適島化」(adaptive islanding)技術的電腦模擬工作，研究結果顯示此技術可比傳統方法保持更多的負載流量。根據明尼蘇達大學電子工程師、EPRI共同資助的此項研究計畫主持人安明(Massoud Amin)的說法，自適島化將在五年內實現。

熟習電力輸送網的專家都不認為停電會完全消失。如果混沌或網絡理論是正確的，在負載壓力大或高度聯結的系統裡，大規模連鎖跳電的機率總是存在的。當電力輸送網的可靠性逐步增加時，所需的費用也會逐步增加。所以隨時貯存新電池是有道理的，而且這個道理還要對上好一陣子呢！(王孫崇 譯)

麥克爾 住在美國紐約市，當他布魯克林的家中停電時，他撤到了附近的公園。

【光學】

# 扭轉的光

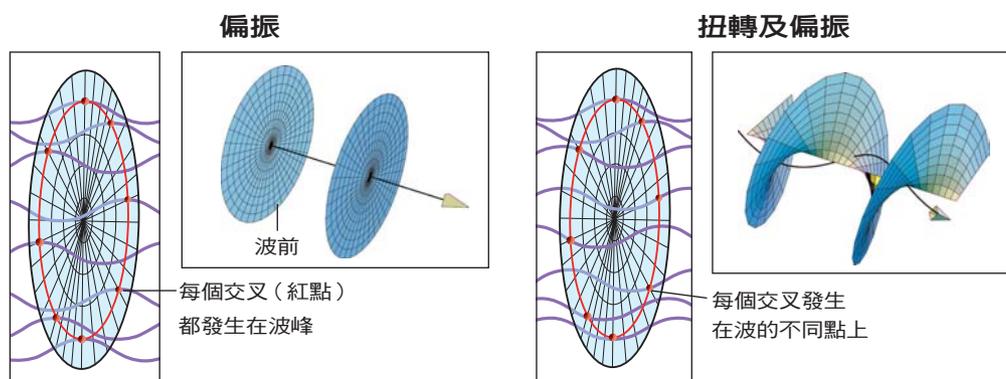
光所具備的扭轉特性，為天文學提供新的研究角度。 撰文／馬瑟(George Musser)

一般人以為，我們現在已經對光瞭若指掌。小學生在學校裡已經學過稜鏡及透鏡，人們穿著印有馬克士威方程式的T恤，而這些方程式的量子版本是目前最精確的科學理論。然而，卻有一個至今科學家仍在設法釐清的現象隱藏在這理論中，那是一個尚未被探索過的光的特性。

除了顏色(取決於電磁波的波長)及偏振(電場的指向)外，光束也可以帶有軌

道角動量(波前的形狀)。研究光學的人在10年前就已經發現這個特性，但是因為某些原因，這些發現只在在同行專家的小圈子內流傳，並未擴散開來(參閱《科學人》9月號〈靈巧的光手指〉)，甚至對極欲利用光的所有特性的天文學家來說，都很少注意到這個發現。

現在，終於有一位天文學家挺身而出宣揚這個名詞了。在11月10日出版的《天



**扭得好：**在線性偏振光（上圖左）中，光波的電場分量同步上下振盪，因此波前呈平行的切面。一旦加入扭轉（上圖右），波會以一種特殊的模式失去同步；在這個例子中，波峰的軌跡為螺旋線。

文物理期刊》中，美國康乃爾大學榮譽退休教授哈威特（Martin Harwit）提出，光的軌道角動量帶有天體的新資訊，這些資訊是無法藉由光的顏色及偏振來判斷的。哈威特說：「那篇文章就是故意寫得很聳動，而這種可能性震驚了許多人。」

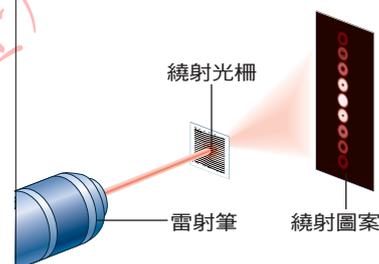
一道由雷射或是遠方恆星所產生的理想光束，光波的波前是平坦的。在這道光束的每一個橫切面上，所有電磁波都位於振盪週期中的同一相位上：波峰與波峰對齊，波谷與波谷對齊。但是在一道稍微複雜的光束中，隨著環繞光束軸心的角度不同，相位也會改變。以上圖右的例子來看，在某一個切面上，12點鐘的位置可能對應到波峰，6點鐘的位置則對應到波谷。如果你把所有的波峰連接起來，它們會形成螺旋。下一個最複雜的可能性是雙螺旋，其相位以兩倍的速率變化（波谷的位置在3點鐘及9點鐘方向）。更複雜的還有狀似義大利螺旋麵條的三重螺旋（波谷的位置分別在2點鐘、6點鐘及10點鐘方向）等等。

就像偏振光一樣，扭轉光也攜帶角動量：實驗上，它可以驅動小塑膠珠旋轉。如果把光想像成粒子（光子）而不是波，並暫時忽略其他量子特性，扭轉光看起來就像是光子在一條螺旋狀的路徑上飛馳。

物理學家讓一道雷射光通過一個螺旋狀的透鏡或是特殊的繞射光柵，即可製造出

扭轉光。哈威特認為，宇宙中的自然過程也可以讓光扭轉，例如星際雲氣中類似透鏡效果的密度變化，或是圍繞在旋轉黑洞外的彎曲時空。外星文明甚至可能是靠扭轉光而非其他編碼方法來傳遞訊息（如物理學家所建議的星際空間通訊方法）。偵測扭轉光最靈敏的方法，是利用一系列的干涉儀，就像去年由英國格拉斯哥大學物理學家李契（Jonathan Leach）及帕杰德（Miles Padgett）的小組所做的實驗。

天文學家或許會特別喜歡扭轉光的一個奇異特性。就像地球每個時區都包含北極一樣，扭轉光束的中心軸也含有每種相位的波。這些波會互相抵消，只剩一片漆黑，而如果我們以透鏡聚焦扭轉光，得到的將不再是一個點，而是一個環。2001年，美國亞利桑那大學的物理學家史瓦茲蘭德（Grover Swartzlander）提議利用這個特性來尋找系外行星。做法是在望遠鏡上安裝一種特殊的繞射光柵，它可以將星光抹開成一個環，環中央的洞很暗，暗到附近亮度僅為百萬分之一或是十億分之一的天體都能被看到。帕杰德說：「這是一個充滿原創性的點子。當我第一次讀到這篇論文時，我說：『天啊，真是個聰明的想法！』」在牛頓那個時代，人們可能認為將白光分解成七色光是件神奇的事，也許有一天，扭轉光在眾人眼裡也會變成司空見慣的東西。（郭西川 譯）



### 扭轉光DIY

利用簡單的雷射筆就可以製造出扭轉光：

1. 從這裡下載繞射光柵的圖案：[departments.colgate.edu/physics/research/optics/oamgp/gp.htm](http://departments.colgate.edu/physics/research/optics/oamgp/gp.htm)，圖案中心的分叉會造成光的扭轉。
2. 利用影印機將下載的圖案縮至每邊約0.5公分大，然後再轉印到透明的投影片上。
3. 以雷射照射投影片上的圖案，確定光束穿過分叉，然後投影到數公尺外的螢幕上。光柵會將雷射光束分成一排圓圈。位於最中央圓圈兩側的圓圈，中心處應該都有一個小洞，這個洞就是扭轉光的記號。