

蠟燭的化學史

The Chemical History of a Candle

作者：Michael Faraday (麥可·法拉第)

譯者：胡景瀚*、林奕秀

國立彰化師範大學化學系

*chingkth@cc.ncue.edu.tw

第六章 呼吸作用與蠟燭燃燒之類比

各位來到皇家有位聽眾送我兩支日本來的蠟燭，這些蠟燭是用之前上課提到的物質做成的。你看，這兩支日本蠟燭比法國蠟燭更精緻，從外觀看來是高檔的奢侈品。古怪的是，它們是空心蠟燭。亞干先生就是利用這種特殊的方法，創造出實用的油燈。這些來自東方的禮物，其材質隨著時間變化，表面漸漸失去光彩，黯然失色。但只要用一塊乾淨的布或絲質手帕，磨擦蠟燭表面，便能打亮上面裝飾的小皺摺和花紋，輕易地恢復它們原有的美麗色彩。這裡有兩根蠟燭，我擦亮其中一支，另一支留著不擦，你就能清楚看到兩者的差別；但只要同樣地磨擦，另一支也可以恢復漂亮的樣子。仔細觀察，日本的鑄模蠟燭比我們這邊的蠟燭更接近圓錐形。

上次演講我談到很多關於二氧化碳的事。我們從石灰水實驗中發現，當蠟燭或油燈上的蒸氣落入裝著石灰水的瓶子，澄清石灰水（我已經說明過調配的方式，你可以試著做做看）會變成白色混濁，那就是石灰質，

存在於貝殼、珊瑚，以及地球上的各種岩石和礦物之中。但是我還沒完全告訴你二氧化碳的化學性質呢！讓我們一塊兒來研究這個主題吧。

我們曾經檢查過蠟燭燃燒所釋放的水，並分析其中所含的元素；現在讓我們來看看蠟燭燃燒產生的二氧化碳，它的元素是從哪裡來的？其實只要幾個實驗，我們就可以讓這些元素現形。我想你還記得，當蠟燭燃燒不完全時，會產生黑煙；但如果燃燒順利，就不會有煙產生。蠟燭的亮度由點燃的煙霧所決定。有個實驗可以證明這點：只要煙在燭焰中被點燃，它就會放出美麗的光芒，也不會產生黑色微粒。現在我要來製造出強烈的火焰。我在海綿上沾一點松節油。你看見煙霧大量升起、飄散到空氣中。記好了，從蠟燭得到的二氧化碳，就是來自這種煙。

■ 二氧化碳中含有碳和氧

為了讓你看清楚，我會把燃燒松節油的海綿丟入充滿氧氣的燒瓶，現在，煙霧完全被消耗掉了。這是我們實驗的第一部分，接下來呢？松節油燃燒，進而產生碳粒飛散在空中，這些碳粒在氧氣中被完全燃燒掉；藉著這個簡單的實驗，我們得到的結果和蠟燭燃燒一樣。在氧或空氣中燃燒的碳，以「二氧化碳」的形態出現；而那些不完全燃燒的粒子，告訴我們二氧化碳中的第二種物質：「碳」。空氣充足時，「碳」會使火焰明亮；但當氧的份量不足以燃燒「碳」時，碳就被大量地拋出來。

接下來我要演示碳和氧結合為二氧化碳，你現在對這個過程比之前更為了解。這個廣口瓶裡裝著氧氣，坩鍋中加進了碳並且被加熱到火紅。我讓廣口瓶保持乾燥，為了讓燃燒看起來更加明亮。我要讓碳和氧作用。你會看到碳粒（磨成粉的普通木炭）與氧在空氣中燃燒（從坩鍋弄出燒紅的碳粒）。現在我讓碳在氧氣中燃燒，仔細觀察它們的特別之處。從遠處看來燃燒好像有火焰，但其實沒有。每一顆碳粒燒起來放出亮光，就像顆小火星；當碳粒以此方式進行燃燒作用，就製造出二氧化碳。我尤其希望這些實驗能指出待會兒要加強說明的部分，碳粒是這樣燃燒的，而非以火焰的形式燃燒。

與其燃燒碳粒，不如用大塊一點的東西，讓你看清楚外形和尺寸，而且更能明確地追蹤效果。這兒有一個裝滿氧氣的廣口瓶，還有綁著一小塊木頭的木炭，我燃燒木頭以點燃木炭、開始燃燒作用。你現在看見

木炭燃燒，但沒有火焰（如果真的有火焰，也是很小的，因為緊鄰著碳的表面形成了氧化碳）。你看到木炭繼續燃燒，碳或木炭（這兩個名詞意思一樣）與氧結合，慢慢製造出二氧化碳。我手上還有一片木炭、一塊樹皮，燃燒時會被吹爆成碎片。因為「熱」的影響，一大塊的碳被縮小為會飛散的碳粒子；每個小粒子和一大塊碳一樣，以這種獨特的方式燃燒，它就像碳那樣，燃燒時沒有火焰。你觀察到很多進行中的燃燒作用，但都不是火焰。這個實驗呈現的是：碳燃燒時會出現閃光和火星。

二氧化碳由組成元素一次形成，如果我們用石灰水檢驗，你會發現裡面的物質和我之前描述得一樣。把 6 等份重的碳（不論碳來自燭焰或木炭粉）和 16 等份的氧放在一起，就會得到 22 等份的二氧化碳；當 22 等份的二氧化碳和 28 等份的石灰結合，會生成一般的石灰碳酸鹽。如果你檢驗牡蠣殼並磅秤組成成分的重量，會發現：每 50 等份的重量中，含 6 等份的碳、16 等份的氧，以及 28 等份的石灰。然而，我並不想讓這些細瑣的數字造成你的困擾，這不過是物質的一般原理。我們還要再進一步地研究，觀察碳如何逐漸消失（指向在氧氣瓶裡靜靜燃燒的木炭）。你可以說：實際上木炭就消散在周圍的空氣中。如果那是純粹的碳，我們其實可以輕易製備，也不會留下殘餘。如果使用的是完全純淨的碳，的確不會產生灰燼。碳在緻密的固體狀態下進行燃燒，單單「熱」本身並無法改變固體的性質，碳則消散為氣體，而且在一般環境下這氣體不會凝固為固體、或凝結為液體；可是呢，更令人驚奇的是，

氧沒有因為結合了碳而改變體積，二氧化碳的體積和原來氧的體積相同。⁴³

在完全了解二氧化碳的性質之前，我還要再演示一個實驗。二氧化碳這種化合物由碳和氧組成，我們可以將它分解為組成元素。就像水的分離，我們也可以將二氧化碳分開成兩個部分。分開二氧化碳最簡單、便捷的方法就是，運用某種物質吸引氧，但是留下碳。你回想一下，我曾經把鉀丟入水中或放上冰塊，鉀就可以把氧從氫分離出來。現在我們也要對二氧化碳做類似的事。你曉得二氧化碳是種「重」的氣體：我不打算用石灰水來進行檢驗，因為它會干擾接下來的實驗；我想，氣體的重量和熄滅火焰的能力，就足驗證二氧化碳了。我把燃燒中的火焰接近二氧化碳，你看火焰是否會被熄滅。你看到亮光變得黯淡。雖然含磷物質燃燒起來相當劇烈，但事實上二氧化碳可以撲滅燃燒的磷。這塊磷被加熱到高溫，我把它丟入二氧化碳氣體，它原本的亮光就黯淡下來了，但回到空氣中它又再次起火燃燒。我手上的鉀在常溫下就會和二氧化碳有所作用，但因為鉀會很快地覆上一層保護膜；我們可以像是做磷的實驗那樣，把鉀加熱到它在空氣中的燃點，它就可以在二氧化碳裡燃燒，把氧氣帶走，然後會看到剩下來的東西。

我要在二氧化碳氣體中燃燒鉀，證明氣體中含有氧。（一加熱鉀就爆炸了）。有時候我們會拿到難搞的鉀，燃燒時會爆炸或發生類似的狀況。我再拿一片鉀，加熱後丟入裝

著二氧化碳的罐子，你發現它會在二氧化碳氣體裡燃燒，燃燒情形不如空氣中好，因為二氧化碳含的是已經化合了的氧氣；但它的確在燃燒，並帶走氧氣。如果我現在把鉀放入水，你會發現在碳酸鉀的旁邊產生了一些碳。我在這裡做的實驗非常粗糙，但我能保證，如果我要仔細地進行實驗，花上一天的時間、而非五分鐘，我能在湯匙上或鉀燃燒的地方，留下足夠的碳；這樣的結論就不會引發任何質疑。這就是從二氧化碳得到的碳，普通的黑色物質。由此可知，以上實驗提供了完整的證據，二氧化碳是由碳和氧所組成的。現在我能告訴你：碳只要在一般的環境下燃燒，都會產生二氧化碳。

如果我將一塊木頭放入裝著石灰水的瓶子。無論我如何搖晃這個瓶子，它都保持在澄清的狀態；可是，如果我在瓶子內燃燒這塊木頭呢？你當然曉得，燃燒會得到水。可是我有得到二氧化碳嗎？你看，碳酸鈣和二氧化碳中的碳，都來自於木頭、蠟燭或其它東西。事實上，你自己就常常在做一個很棒的實驗，證明碳存在木頭裡。當你燃燒木頭的時候，不要完全燃燒，將火吹熄，你就看到碳了。

但是有些碳無法用這種方式顯現出來，例如蠟燭，雖然它的確含有碳。這裡有一瓶煤氣，會產生大量的二氧化碳氣體；你現在沒看到碳，但我們能馬上讓它現形。我將點燃煤氣，只要筒子裡有煤氣，就會持續燃燒。你還是沒看到碳，但有看見火焰；因為火焰是明亮的，這會讓你猜到火焰裡有碳。但我還要進行另一個操作。另一個筒子裡也裝著同樣的煤氣，裡面還混有另一種物質，這種

⁴³ 這個觀察其實就是亞佛加厥學說：「同溫同壓下，相同體積的不同氣體，其分子的數目相同」，雖然亞佛加厥學說在本文出版之前半個世紀就已經發表（1811年），有可能法拉第並不知道亞佛加厥學說。

物質可以燃燒煤氣中的氫，但不會燃燒碳。我用一根小火燭點燃這罐混合氣體，你發現氫被消耗掉了，但碳沒有，它變成了濃密的黑煙。我希望藉著這些實驗，讓你學會如何辨別碳；並且曉得氣體或其它東西在空氣中完全燃燒的時候，會產生甚麼物質。

在我們結束碳的主題之前，我們還要針對碳的燃燒進行幾個很棒的實驗。在燃燒過程中，碳以固體形態進行燃燒，燃燒過後，碳就不再是固體了。很少有燃料是這樣作用的。事實上，只有這類含碳的燃料：碳、木炭、木柴，才會這樣作用。我不知道除了碳之外，還有哪些元素的物質燃燒時也有同樣的情形。如果所有的燃料都像鐵那樣，燃燒後成為固體，我們的世界會怎麼樣呢？我們將不會看到壁爐中的燃燒現象。這裡還有一種燃料也很適合燃燒，至少和碳一樣好。它有多會燒呢？光是處在空氣中，它就自己燒起來了。(折斷一管自燃性的酒石酸鉛)。這個物質是鉛，⁴⁴你看，它燃燒地多麼美啊。火焰分得很開，就像壁爐裡的一堆碳：空氣可以接觸到它的表面、進入裡邊，所以它可以燃燒起來。⁴⁵但為什麼當它聚成一團時，不會這樣燃燒呢？(把管子清空，將內容物倒在鐵盤上堆成一堆。)原因很簡單，因為空氣進不去。

雖然它能產生高熱，但無法釋放出壁爐和鍋爐所需的大量熱能；因為燃燒後的產物沒有逸散開來，在底部的可燃物無法和空氣

接觸。這和碳的燃燒差得遠了。碳和酒石酸鉛燃燒後在壁爐內都會產生猛烈的火，但是碳燃燒產生的物質會消失，留下乾淨的部分。我曾經讓你看過，碳燃燒時會在氧氣中逐漸消散，沒有留下灰燼；但在這裡(指向那堆自燃物質)，因為燃料和氧結合，實際上我們得到比燃料更重的灰燼。從這裡你發現了碳和酒石酸鉛、鐵的差異，如果我們選擇用鐵來發光發熱，把鐵用在我們的燃料實驗上，會得到很奇妙的結果。碳燃燒的時候，如果它的產物以固體型態飄散，我們會看見空氣中佈滿不透明的物質，就像磷的燃燒一樣；而實際上當碳燃燒時，所有的東西都消失在空中。在發生燃燒作用之前，碳處於固定、無法改變的狀態；但經過燃燒後，成為氣體的碳反而很難變成固體或液體。

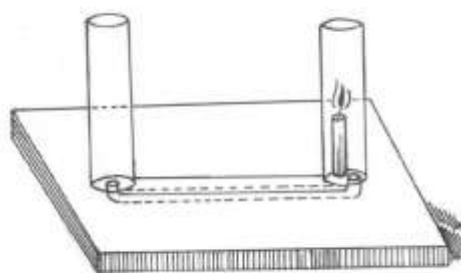
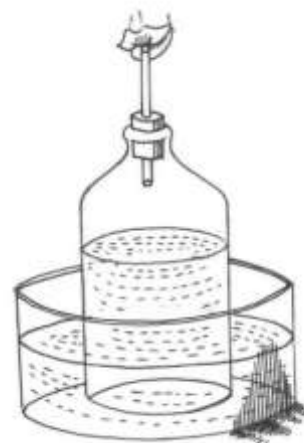
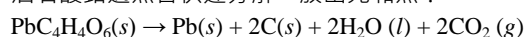


圖 31



⁴⁴ 法拉第稱實驗中所談的物質為鉛，其實這物質是酒石酸鉛($\text{PbC}_4\text{H}_4\text{O}_6$)。我們以「酒石酸鉛」代替書中的「鉛」。酒石酸鉛遇熱會快速分解，放出光和熱：



⁴⁵ 其實，酒石酸鉛加熱後為自發反應，不需要空氣。

圖 32

■ 呼吸作用是一種燃燒，呼出的氣體是二氧化碳

現在我們將進入一個很有趣的主題，也就是蠟燭的燃燒和我們人類生命中的燃燒現象的關聯性。每個人身體裡都進行著某種類似蠟燭的燃燒，我會解釋清楚這一點。存在於人的生命和蠟燭之間的，不僅僅是一種詩意的聯想。為了釐清兩種燃燒的關係，我設計了一個小小的裝置，我們現在就可以組裝起來（圖 31）。這塊木板上有個可以蓋起來的小凹槽，裡面是玻璃細管；在凹槽的兩端，我接上玻璃圓管，連接的玻璃管與圓筒形成通道，空氣能順暢通行整個裝置。我把一根蠟燭放進其中一個圓筒，這根蠟燭會繼續順利燃燒。你仔細觀察，供應燃燒的空氣從玻璃圓管進入，下到凹槽內的管子，最後上升到放置蠟燭的圓筒。如果我關閉空氣進入的孔道，這個裝置就無法正常運作，進而造成燃燒作用停止、蠟燭熄滅。現在你想想，為甚麼會這樣呢？

之前我們做過一個實驗，我把蠟燭燃燒產生的氣體送到另一根蠟燭。如果我把蠟燭燃燒產生的氣體，用某種複雜器材送進供應端的圓筒，原本另一邊燃燒的蠟燭也會熄滅。如果說，我呼出的氣會讓蠟燭熄滅，你是怎麼想的呢？我的意思不是要把它吹熄，而是因為我呼出的氣體本身不助燃。現在我往裝置左方（圖 31）吹入氣體，但不吹動燭焰；除了我嘴巴出來的氣體之外，沒有其它氣體進入裝置。你看到結果了，我沒有把蠟燭吹熄，我只是讓呼出來的氣體進入裝置，

結果蠟燭因為缺乏氧氣而熄滅了，除此之外，沒有其它原因。我的肺已經帶走了空氣中的氧，因此呼出來的氣沒有足夠的氧供應蠟燭燃燒。起初蠟燭燒得好好的，但在我送入的壞空氣到達那邊時，蠟燭隨即熄滅。留心觀察空氣到達彼端之前的那段時間，那是很奇妙的感覺。

現在，我要讓你再看另一個很重要的實驗。這個玻璃罐子裡有新鮮的空氣，你可以讓蠟燭或煤氣燈在其中燃燒。我把罐子移近一點，方便我用吸管向瓶內吹氣。接著把罐子浸到水裡（圖 32），就像這樣，我可以吸走空氣（如果軟木塞夠緊的話）、將空氣吸進肺裡，然後再吐回罐子裡；我們來檢查檢查，看看結果如何。從水的升降可以明顯地看到，我先吸了空氣，然後吐回去；現在把小火燭丟入呼吸過的空氣，從暗下來的火光可以得知蠟燭熄滅了。即使我只呼入一口氣，一樣會完全破壞空氣原有的燃燒效用，所以我的第二次呼吸等於是多餘的。現在你曉得了，許多窮人階級的房子設計不當，住在裡面的人重複呼吸同樣的空氣，通風不良、缺乏新鮮空氣。空氣被呼吸一次就壞掉了，可見新鮮空氣多麼重要。



圖 33

我們更進一步地研究，來看看石灰水會發生甚麼事。這個球形瓶（圖 33）裝著石灰水，針對空氣的通路裝置特殊玻璃管，這樣我們就能知道結果是否為呼出的空氣所造成的。我可以（藉著 A 管）吸空氣，讓外面的新鮮空氣進來、經過石灰水，或是從 B 管把氣吹到石灰水底部，顯示出它對石灰水的影響。你發現，無論我吸多久，讓外面的空氣進來與石灰水接觸，也不會發生任何改變。新鮮空氣並沒有使石灰水變混濁；但如果我對石灰水連續吹氣，它就變成了混濁的乳白色液體，這便是呼出氣體的作用。從呼出氣體和石灰水的接觸的結果，你知道空氣是被二氧化碳所弄壞的。

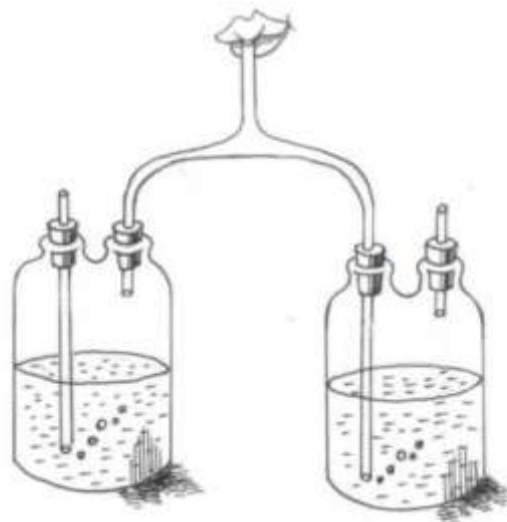


圖 34

桌上有兩個瓶子，一瓶裝著石灰水，另一瓶裝著普通的水。玻璃管穿進去並連接兩個瓶子（圖 34）。這個裝置雖然簡單，卻很好用。⁴⁶我從這個吸管吸氣，往另一個吸管吐氣，玻璃管的裝置會避免空氣倒流。我的嘴巴和肺吸入外面進來的新鮮空氣，而呼出的氣體則通過石灰水；這樣我可以持續呼吸，做出準確的實驗，得到良好的效果。你發現新鮮空氣不會對石灰水起作用，但當石灰水只接受我吐出的氣，你就看出兩者的差異了。

■ 吸入肺中的氧和食物產生類似燃燒的作用，並釋放出二氧化碳和熱量

我們再進一步想，這個運行不息的，我們賴以為生的，造物主安排的，獨立於人類意志的「呼吸作用」究竟是甚麼呢？如果停止呼吸，我們就活不下去。當我們睡覺的時

⁴⁶ 圖 34 的裝置，當實驗者吸氣時空氣會從左邊的瓶子進入，吐氣時二氧化碳從右邊的瓶子流出。當左邊的瓶子為石灰水，右邊的瓶子為純水時，石灰水為澄清。反之，將裝置左右對調時石灰水變成混濁。

候，呼吸器官和相關的部分仍然在運作，我們不能不呼吸，肺必須與空氣接觸。我簡短地說明一下這個過程。我們吃東西時，食物通過體內奇妙的血管和器官，被帶到不同地方，尤其是消化系統。食物經過變化後由一組血管流經肺部，同時，呼吸的空氣則被另一組血管帶進及帶出肺部。此時空氣和食物接觸，只隔著一層薄膜。空氣即在這個過程中對血液作用，產生類似蠟燭燃燒的效果。蠟燭和空氣中的某些部分結合，形成二氧化碳、釋放「熱」；而在肺部的變化也相當奇妙的，空氣進來和碳結合（此處所指的碳並非處於自由狀態，而是在可以和空氣起作用的情況），產生二氧化碳、送到大氣中並釋放出熱量：因此我們可以將食物視為燃料。我用一小塊糖來說明。糖跟蠟燭含有一樣的元素，雖然元素組成比例不同，但都是碳、氫、氧的化合物。元素間的比例如下表所示：

	糖的元素重量比
碳	72
氫	11
氧	88

這是件很神奇的事，氫和氧的質量比正是它們在水中的比例，所以糖等於是 72 等份的碳和 99 等份的水組成。⁴⁷糖裡面的碳和氧結合，呼吸作用帶進氧氣，讓人作用得像蠟燭一樣，這些作用除了產生熱能之外，還有更美妙的結果；藉著一個相當美麗卻十分

簡單的過程，維持我們生命系統的運作。

我要用糖來做實驗，讓你看看更為驚人的結果；為了加速實驗反應，我們使用糖漿，其中含有 3/4 的糖和一些水。把硫酸滴上糖漿，硫酸會把水帶走，留下一團黑色的碳。（講者把兩者混在一起）。你仔細觀察碳是怎樣出現的，很快就會出現一團固體的黑炭、來自糖的碳。你知道糖是吃的食物，但你絕對想不到，糖竟然能弄出這一團固態的碳！如果我再動些手腳，讓糖裡面的碳發生氧化，我們會得到更驚人的結果。我要使用一種氧化劑，它能比空氣更快使物體氧化；用氧化劑氧化糖，這種燃燒形式上與呼吸作用不同，但一樣是氧化反應。在我們的身體裡，糖的碳和肺提供的氧接觸而發生氧化。如果我讓這個作用立刻完成，你就會看到這種燃燒。差別是，肺部從空氣吸進氧，在這裡氧化劑則讓燃燒的過程迅速完成。

等我告訴你碳的產量時，你會大感詫異。一枝蠟燭可以燒上 4~7 個小時。每天有這麼多的碳變成二氧化碳上升到空氣中呢！呼吸的時候，我們呼出那麼多碳！因為燃燒或呼吸作用，碳發生了多麼奇妙的變化啊！24 小時之內，藉著呼吸作用，人可以將 198 公克的碳轉變成二氧化碳，乳牛可以轉化 1,980 公克，馬可以轉化 2,235 公克的碳。也就是說，馬的呼吸器官在一天之內燃燒 2,235 公克的木炭或碳，以供應生命所需的熱能。所有溫血動物（恆溫動物）都用這個方法得到熱能，也就是燃燒非自由態的碳。這個事實讓我們體會到，碳的轉換對大氣造成驚人的影響。24 小時內，光是倫敦人的呼吸就能產生 2,270 公噸的二氧化碳，這些碳跑去哪

⁴⁷ 此處的質量比是雙糖的比例，應為蔗糖。

裡了呢？它們飄進空氣啦。如果碳像是我給你看的酒石酸鉛或是鐵那樣，燃燒時製造出固體物質，那麼會發生甚麼事呢？燃燒作用就不會持續了。木炭燃燒會成為氣體，接著飄散逸入空氣；空氣是很好的載體，可以把二氧化碳帶到其它地方。二氧化碳接下來又會變成甚麼呢？

■ 呼出體外的二氧化碳可為植物所用

我們呼出的氣體有害人體（人無法吸入同樣的氣體兩次），但神奇的是，呼吸作用的產物居然能讓地表上的植物和蔬菜成長。⁴⁸水裡的魚和其它動物雖然沒有直接和大氣接觸，但牠們也以相同的原理進行著呼吸作用。就像這些魚（指向一缸金魚），牠們呼吸從空氣溶入水中的氧氣，產生二氧化碳。而這些物質都在地球上移動，使得動物和植物的國度共存共榮。所有地表上的植物都吸收碳，就像我帶來說明的這株植物；我們呼出的二氧化碳飄入空氣，植物的葉子再從空氣帶走碳，進而生長、茁壯、茂盛。給植物我們需要的新鮮空氣，它們無法存活；給植物我們不要的碳，它們便欣欣向榮。就像我們看到的，這塊木頭中的碳和樹及植物的生長一樣，都是來自於空氣中的碳；植物帶走有害人類但有利於自己的東西，對一方造成疾病的，對另一方卻是健康的。人無法獨存於天地，這是民吾同胞，物吾與也的道理，所有自然界的存在均繫於萬物相生的法則。

在我們更進一步研究前，還有個小小的主題要說明，這個主題和我們講過的作用是

相關的，它和我們切身的物質：不同狀態的氧、氫、碳，奇妙地聚集、互相關聯。讓你瞧瞧剛剛燒起來的酒石酸鉛，燃料甚至在離開瓶子前就和空氣起了作用。現在有股化學吸引力，有了這股力量，我們想要的作用才能順利進行；我們呼吸的時候，這股力量也在作用著。蠟燭燃燒的時候，許多地方產生互相吸引的力量。酒石酸鉛的燃燒也是化學吸引力的很棒例子。如果燃燒的產物從表面飄散，酒石酸鉛會著火、持續燃燒，直到燒完為止；但你還記得，酒石酸鉛和碳的燃燒有所不同，酒石酸鉛只要和空氣接觸，就會馬上發生反應，但是碳卻能保存數個月或數年。埃爾柯雷諾⁴⁹出土的手稿便是用含碳墨水寫的，經過了 1,800 多年；雖然手稿在某些狀況下接觸到空氣，但並沒有完全被空氣改變。

現在來說說，是甚麼使得酒石酸鉛和碳在這方面有所不同？真是不可思議，作為燃料的物質（木頭）居然在「等待」反應；碳不像酒石酸鉛或許多我還沒堆上桌子的東西一樣，馬上就燃燒，而在等待反應的時機。蠟燭，例如美麗的日本蠟燭，不像酒石酸鉛或鐵（磨碎的鐵可以和酒石酸鉛產生一樣的效果）馬上就會起作用，反而可以等上個許多年甚至好幾世代，都不發生任何變化。我

⁴⁹ 埃爾柯雷諾 (Herculaneum) 位於義大利，羅馬時代古城，於西元 79 年與龐貝城 (Pompeii) 同遭維蘇威火山 (Mount Vesuvius) 爆發之難，全城掩埋。著名的「神秘別墅」(Villa of the Mysteries) 即在城市近郊，留存建築完整，壁畫凝結西元 1 世紀羅馬的繪畫風格，顏色至今鮮豔明麗，畫面顯示出儀式性的神秘、難解真義，故得名「神秘別墅」。古城自火山爆發後掩埋至 18 世紀，才於埃爾柯雷諾和龐貝城進行發掘，出土許多遺址與物件，對歐洲藝術的希臘羅馬風格有推波助瀾之力。法拉第於 1860 年講授這一系列的化學課程，距離古城的大量發掘不過半世紀；時人對於如此豐富的史料仍在驚喜與摸索中，講者切時地引用這個例子，是相當令聽者印象深刻的。

⁴⁸ 此處指的是光合作用： $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6(\text{H}_2\text{O})_6 + 6\text{O}_2$

這裡有些煤氣。我從瓶子噴出氣體，但並沒有燒起來，煤氣接觸空氣，但要溫度夠高才會燃燒。如果溫度夠熱，它就會燒起來。如果我把它吹熄，煤氣燈裡吹出的煤氣要等到重新被點燃後才會燃燒。

令人驚奇的是物質等待燃燒的程度不一，有些物質只要溫度提高一點點就燃燒，有些則需要相當的高溫。火藥和火藥棉在不同的條件下燃燒。火藥由碳和其它物質組成，屬於易燃物；火藥棉是另一種可燃物。⁵⁰它們都會「等待」，但兩者燃燒所需的溫度不同、條件不同。用一條加熱的鐵線接觸火藥和火藥棉，就能知道哪個會先反應（把燒熱的鐵碰觸火藥棉）。火藥棉有反應，但鐵線最熱的部分仍不足以點燃火藥。多麼奇妙啊，不同的物質呈現出如此大的差異！有些物質要等到相關物受熱活化才反應，有些，像是呼吸作用，則立即反應。空氣一進入肺就和碳結合，即使在人體只能短暫忍受的低溫下，這個作用也是立刻進行，並呼出二氧化碳；如此，所有事物都穩當地進行著。你看，呼吸和燃燒作用的類比是多麼地驚奇而美妙。說真的，在這六堂演講的尾聲，我有個期許：希望你在你的一生之中，要像蠟燭一樣，照亮周圍的人；你的作為則要見證蠟燭之美，對同胞盡責，行事正直有益於人。

⁵⁰ 火藥棉是浸泡過硝酸的棉花。