

# 磷的自述

蘇明德

磷是人體組成的重要元素之一，也是對人類非常危險的元素之一，磷的善與惡叫人捉摸不定。

說到我「磷」元素的發現，在歷史上充滿著傳奇性。研究西方化學史的學者們一致認為，我「磷」大概是在 1669 年由一位叫 Hennig Brand 的德國人（1630–1710）首先發現的。至於他的職業是什麼？有的說他是一個江湖醫生；也有的說他是一個破產商人；還有的說他是一位煉金術士；更有可能他身兼三職，甚至被化學史專家稱為「最後一位煉金術士」。

他是怎樣發現我「磷」的呢？據說他原本是想從尿裡提煉出金子，因而在蒸尿的過程中，偶然地在曲頸瓶的接受器裡發現到一種特殊的白色固體，像是蠟，帶有蒜臭味，在黑暗中不斷發光，就稱它為 kalte feuer（德文，「冷火」）。後來才知道：他偶然發現的這種物質叫白磷。

德國化學家馬格拉夫（Andreas Sigismund Marggraf, 1709–1782）首先研究了我「磷」和相關化合物的一些性質。1769 年瑞典化學家甘英（Johan Gottlieb Gahn, 1745–1818）證明我「磷」存在於人和動物的骨骼中。1771 年，瑞典化學家謝勒（Carl Wilhelm Scheele, 1742–1786）指出：人和動物的骨骼是由磷酸鈣組成，並在 1775 年加熱骨灰和硫酸，也得到我「磷」。

其實，我「磷」廣泛存在於動植物體中，因而我「磷」最初是從人和動物的尿以及



磷大概是在 1669 年由德國人 Hennig Brand 首先發現的（圖片來源：維基百科）



左：德國化學家馬格拉夫首先研究了磷和相關化合物的一些性質；中：1771 年，瑞典化學家謝勒指出：人和動物的骨骼是由磷酸鈣組成，並在 1775 年加熱骨灰和硫酸得到磷；右：1769 年瑞典化學家甘英證明磷存在於人和動物的骨骼中。



法國化學家拉瓦錫首先把磷列入化學元素行列，他燃燒磷和其他物質，進而確定了空氣的組成。

骨骼中取得的，這和古代人們從礦物中取得金屬元素有很大的不同。所以說，我「磷」算是第一個從有機體中取得的非金屬元素。也正因如此，我「磷」是地球上第 11 個最常見的元素。

法國化學家拉瓦錫（Antoine-Laurent de Lavoisier, 1743–1794）首先把我「磷」列入化學元素行列。他燃燒了我「磷」和其他物質，進而確定了空氣的組成。因此，有人說我「磷」的發現促進了人們對空氣的認識。

我「磷」的英文名字叫做 phosphorus，是由希臘文 phos（光）和 phoro（攜帶）兩詞組成，意思是「光的攜帶者」，也就是「發光物」的意思。我「磷」的元素符號因而採用 P 表示。



東漢哲學家王充所著的《論衡·論死篇》中說：「人之兵死也，世言其血為燐，人夜行見燐，若火光之狀。」



磷自燃所發出淡綠色的光

中文最初採用「燐」做為我「磷」的名字，因為古人認為死人和牛馬的血變為燐，即鬼火。東漢哲學家王充（西元 29 年～約西元 97 年）所著《論衡·論死篇》中寫道：「人之兵死也，世言其血為燐，人夜行見燐，若火光之狀。」也就是說，燐在中國古書中表示物質在空氣中自動燃燒的現象。後來根據中文化學元素命名原則，固態的非金屬元素以石為部首，因此「燐」改為「磷」。

前面說過，我「磷」在最初發現時取得的是白磷，是白色半透明晶體，熔點攝氏 44.1 度，在空氣中會緩慢氧化，產生的能量以光的形式放出，因此會在暗處發光。當我「磷」在空氣中氧化到表面上，積聚的能量使溫度達到攝氏 45 度時，我「磷」便會自燃。

在暗處把白磷暴露在空氣中，白磷就會被空氣中的氧氣緩慢地氧化成五氧化二磷（ $P_2O_5$ ），同時發出淡綠色的光。因此有些山上蘊藏著豐富的磷礦時，它們若露出地面與氧氣一接觸，便會發出一閃一閃的螢光，遠遠看去就像是一盞盞的燈火。同樣地，當人們在漆黑的夜晚路過荒郊的墳地時，常會看到一團團淡綠色的火光，它飄忽不定時隱時現，人們稱它為鬼火。長期以來，人們一直把鬼火看成是一種神祕的東西，由此還引出了《聊齋誌異》中一個又一個的鬼故事。

其實鬼火並不神祕，它是動物屍體腐爛後，體內的「磷」化合物被土壤中的細菌分解成磷化氫（ $P_2H_4$ ）氣體後冒出地面，遇到空氣後會自燃。也就是說，鬼火的謎底就是「磷」的自燃。

用「磷」製成的單質有許多種，如：白磷（又叫黃磷）、紅磷、黑磷（又叫紫磷）等。化學家把這些由同種元素組成，但化學和物理性質都不同的物質叫做同素異形體。我「磷」的同素異形體中，最重要的就是白磷、紅磷和黑磷。

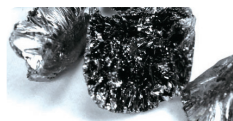
白磷是一種蠟狀的固體，有劇毒。當它含有少量雜質時，就會變成淡黃色，因此人們也常稱白磷為黃磷。白磷的熔點很低，只有攝氏44.1度，在空氣中受到輕微的摩擦就會自燃，為安全起見，通常把白磷儲存在水中，這樣既可隔絕空氣，還可保持溫度在它的自燃點以下，而且可以阻止白磷的蒸氣跑出危害人體健康。在切割白磷時，也必須把它放在盛水的槽中，用小刀或用剪刀在水面下切割，絕對不能暴露在空氣中進行。切割完的大塊也應放回原瓶，繼續保存在水中。

把白磷放在密閉的容器中，加熱到攝氏260度，就會轉變成紅磷。有趣的是，如果把紅磷加熱到攝氏416度就會昇華，它的蒸氣冷卻後又會轉變成白磷。

### 磷的種類



紅磷



黑磷



白磷  
是蠟狀的固體物



奧地利化學家施勒特爾發現了紅磷，才真正確定白磷和紅磷是屬於同素異形體。

紅磷製作成的火柴盒



圖片來源：種子發



軍事上用的燃燒彈和煙幕彈中就裝有白磷，把煙幕彈引爆後會生成大量濃濃白煙，其成分是五氧化二磷。

正因為我「磷」容易自燃，在過去我「磷」常用來製造火柴，這大概是從 1830 年開始的，是在我「磷」發現大約 160 年後，而且這種使用只維持了十多年。這是因為我「磷」在發現後，產量仍不大，而白磷有劇毒，0.1 克的白磷足以使人死亡，人們吸入白磷蒸氣後會發生牙床、骨頭壞死病症。白磷與一些氧化劑混合製成的火柴也很容易著火，效果雖然很好，可是不安全，把這種火柴放在衣服裡會引火焚身。

直到 1845 年，奧地利化學家施勒特爾（Anton Schrötter von Kristelli, 1802–1875）發現了紅磷，才真正確定白磷和紅磷是屬於同素異形體。由於紅磷的熔點攝氏 240 度比白磷高出許多，受熱後能轉變成白磷

而燃燒，再加上紅磷無毒，因此後來人們用紅磷代替白磷製造出安全火柴。安全火柴的火柴頭上沾上氯酸鉀（ $\text{KClO}_3$ ）和三硫化二銻（ $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ），紅磷則塗在紙條上貼在火柴匣的兩側。當火柴頭在火柴匣的側面上摩擦時，就會發熱而燃燒。

不管是紅磷還是白磷，燃燒後都會放出濃濃的白煙，白煙的主要成分是「五氧化二磷」（ $\text{P}_2\text{O}_5$ ）。在軍事上用的燃燒彈和煙幕彈中就裝有白磷，把煙幕彈引爆後，白磷就會在空氣中迅速燃燒，生成大量的五氧化二磷。五氧化二磷的白色小顆粒懸浮在空氣中便形成了煙霧，使敵人看不清目標。也由於白磷毒性大，對人體組織尤其是對鼻子和下巴的軟骨傷害較大，因此在接觸時要異常小心。

鬼火並不神祕，它是動物屍體腐爛後，體內的磷化合物被土壤中的細菌分解成磷化氫氣體後冒出地面，遇到空氣後自燃造成的。

溫度低於攝氏 34 ~ 40 度時，白磷在空氣中與氧反應並發出白光。這個反應與發磷光相似，通常稱為化學發光。

至於我「磷」的第三種同素異形體——黑磷，它看起來像黑色粉末。黑磷可經由白磷強加壓力製得，並且黑磷具有像金屬一樣的光澤，因此又稱為金屬磷。除此之外，黑磷有個有趣的性質，就是黑磷雖是個非金屬物質，但可以傳導電流，因此可製作成導電材料。

今天，當說到磷光現象或發磷光的材料時，人們仍把我「磷」和光聯繫在一起。從字面上來說，一種含磷材料受到光照射時會發光常被說成是發磷光，也有可能是發螢光。這種光照射本身可以成為另一種光源。例如：硫化鋅（ZnS）是一種眾所周知的發螢光的材料，當受到快速運動的電子撞擊時會閃光，電視映像管就利用這種效應產生電視圖像。

我「磷」有個著名的放射性同位素，叫做磷-32（ $^{32}\text{P}$ ），它在醫學和工業上非常有用，因為常拿來做為追蹤劑。比如說，已知我「磷」會存在於身體裡許多部位（像骨骼、牙齒），因此具有放射性的  $^{32}\text{P}$  可做為追蹤劑去研究身體的各部位，以及其在人體內的化學變化，甚至可以幫助找到在腦、眼、乳房、皮膚等的腫瘤（癌）細胞，以便及早治療。有時帶放射性的  $^{32}\text{P}$  可以殺死腫瘤細胞，有助於減緩或阻止病變。 $^{32}\text{P}$  還可幫助確定一個人的含血量有多少。

不僅如此， $^{32}\text{P}$  在其他科學研究上也相當有用。例如  $^{32}\text{P}$  常添加到輪胎上，然後偵測輪胎使用時發出的輻射，藉以得知輪胎哪裡磨損，以及需要多長時間才能造成如此的磨耗。

我「磷」在自然界中絕大部分以磷酸鹽岩石的型式存在，又稱為磷礦石。這種岩石



發螢光材料—硫化鋅。



磷礦石

主要由磷酸鈣和氟磷灰石所組成，後者是一種含鈣、氟和磷酸根的礦物。每年數百萬噸的商用的我「磷」經由碳在二氧化矽（ $\text{SiO}_2$ ）的存在下加熱磷酸鈣製得。美國之所以是世界上我「磷」的最大生產國，是因為美國的磷礦石的產量占全世界總量的三分之一。

磷酸鹽的一個重要用途就是製成肥料。其實，我「磷」和氮、鉀並稱為肥料的三大主要元素。製造磷肥的主要原料是磷礦石。前面提到過，磷礦石的主要成分是磷酸鈣。由於磷酸鈣難溶於水，因此不易被植物吸收，化學工業製造磷肥的目的就是加工磷礦石，使它轉化為易溶於水的磷酸鹽，以利農作物的吸收。



磷礦石是由海鳥製造出來的，成千上萬的海鳥在這些小島上棲息，時間一長便在島上形成了厚厚的鳥糞層，由於鳥糞中含有大量的磷，而可用以製造磷肥。

秘魯沿海的小島上有著豐富的磷礦石，有趣的是這裡磷礦石是由海鳥製造出來的。成千上萬的海鳥在這些小島上棲息，時間一長便在島上形成了厚厚的鳥糞層，由於鳥糞中含有大量的我「磷」能製造磷肥，因此這些鳥糞泥土竟成了秘魯的一種重要的出口物資！

磷酸鈣是地表上最常見的磷酸鹽型態，而且蘊藏量相當多，過去一百五十多年來一直拿來製成肥料。最初使用的是骨粉，它也是磷酸鈣，但現在已經很少用它來製成肥料，只有一些園藝家和農民使用。大部分農作物現在都使用過磷酸鈣（ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ），這是用硫酸處理磷酸鈣後得到的，溶解性更高。

幾乎所有的商用的我「磷」都用於生產「磷酸」（ $\text{H}_3\text{PO}_4$ ）。磷酸是固體，通常以85%的磷酸水溶液出售，主要用途是生產三磷酸鹽肥料。沒有我「磷」存在的土壤是貧瘠的，由於活體植物細胞中很多重要化合物都是我「磷」的化合物，因此植物生長很需要我「磷」。

磷酸是一種中等強度的三元酸（也就是說，1個磷酸可以解離出3個氫離子），有著廣泛的用途。用磷酸處理過的金屬製品可以防鏽。在有機合成工業中，磷酸大量用做催化劑，在石油精煉、製藥等領域也都需要用到磷酸。磷酸的許多鹽類還能促進農作物的根部發達，增強抗寒或抗熱

磷酸鹽的一個重要用途是製成肥料，磷和氮、鉀並稱為肥料的三大主要元素。

磷是人體內含量僅次於鈣的礦物質，是人體所需的電解質之一，不僅是人體細胞膜的主要成分，也是構成骨骼的重要元素。

能力，促進農作物提早成熟，使它們穗粒增多，籽粒飽滿，是一種重要的化學肥料磷肥的主要來源，因此磷酸被人們稱為植物的營養素。

製造磷肥的最簡單方法是把磷礦石磨碎成磷礦粉直接施用，由於土壤中含有許多酸，因此磷礦粉也能逐漸溶解而被農作物吸收，只是效果並不理想。把磷礦石和焦炭以及含鈣、鎂、矽的礦石混合放到高爐中煨燒、熔融，可製得鈣鎂磷肥。鈣鎂磷肥也難溶於水，但它較磷礦粉易溶於弱酸性溶液中，因此施肥效果有所提高。此外，磷酸經過一系列複雜的反應後，能生成結構複雜的多磷酸，它與氨反應能得到各種多磷酸的銨鹽，這是一種新型的磷肥，它的施肥效果比前面提到的幾種磷肥都高。

磷酸鹽的第二個重要用途是做為清潔劑。清潔劑中的主要成分是三聚磷酸鈉 ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ，又簡稱 STPP)，可以殺死一些細菌，同時起了軟水劑的作用，可使鎂和其他硬水元素沉澱，也使清潔劑的清潔效率得以提高。

雖是如此，目前很多地方已經禁止銷售含三聚磷酸鈉的清潔劑，因為會導致優養化作用，使湖裡的植物和藻類所需的氧氣大部分被消耗掉，雖然這造成水生植物和藻類可以大量快速生長，卻使得魚及其他水底生物因為缺氧而死去。此外，因它的超營養作用使得藻類生長失控，湖水漸漸被這些綠色植物堵塞，也慢慢演變成一片沼澤，最後形成草地，湖就這樣消失了。

我「磷」在很多地方與元素周期表處於同一家族的氮的化學性質相似。和氮元素一樣，我「磷」也是生命所不可缺少的

元素之一。我「磷」又是關係全世界動、植物健康的必需元素，一個大眾已知的事實：我「磷」是骨骼和牙齒生長、發展的重要元素之一。人的骨骼中 20% 的成分是磷酸羥鈣 ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ )，人的牙齒基本上就是由磷酸鈣 ( $\text{CaP}_2\text{O}_8$ ) 組成的。

我「磷」在人體內的含量大約占體重的十分之一，許許多多的活細胞含有我「磷」元素，例如：其中一個存在於細胞中的重要化學分子就是三磷酸腺苷 (ATP)，可提供能量給細胞，使細胞藉此而存活。又例如：細胞裡的 DNA (去氧核糖核酸) 也含有我「磷」，DNA 是活生物體執行多種功能的化學物質，並控制了生物的遺傳。

仔細觀察腎臟病人或洗腎患者，會發現他們的皮膚總是比較蠟黃、暗沉、多皺紋且缺乏彈性，外表總比同齡者蒼老得多。過去醫界總是百思不解，現在經研究證實，造成這些老化的主要元兇就是高血磷。

我「磷」是人體內含量僅次於鈣的礦物質，是人體所需的電解質之一，不僅是人體細胞膜的主要成分，也是構成骨骼的重要元素。我「磷」本身絕對不是壞東西，但如果體內含有過多的我「磷」，確實會造成老化現象。

很多人都知道腎臟病人因為體內鉀離子過高，必須靠洗腎方式把鉀離子帶出人體。但是我「磷」不一樣，我「磷」無法透過洗腎帶出，而且還具有累積性，如果沒有嚴格監控，就會進一步破壞腎臟功能。

人體內的我「磷」離子過多，會加速細胞氧化，減少細胞分化功能。而腎臟是人體平衡我「磷」的主要器官，這就像一台每天只能處理 10 公噸垃圾的機器，慢慢

增加負擔到 20 噸、30 噸，甚至 40 噸，機器在過度耗損下，隨時都有當機的風險。人體內的我「磷」含量過高，容易在血管與內分泌系統產生沉澱物，慢慢就會發生血管鈣化、心律不整、骨骼病變等，罹患血管阻塞的風險是一般正常人的 3 到 5 倍。

但並非所有食物中的我「磷」都有問題。食物裡的我「磷」又可分成無機磷與有機磷二大類。無機磷主要來自天然食物，含量較多的包括魚、肉、蛋、奶及豆類；有機磷則是人工所製造。二者最大的差別在於：無機磷經過腸胃道 2、3 次消化後，吸收率只有 40 到 50%，相較之下，有機磷分子結構經過人工轉變，吸收率高達 80%、90% 以上。

含有我「磷」的化合物被許多加工食品應用做為保存劑與鹽添加劑，可以增加食物的口感與保存期限。特別是漢堡、薯條、碳酸飲料都含有高量的我「磷」，發育中的青少年更要小心。

我「磷」在人體內會與鈣離子相互平衡，但如果只單吃一些高磷食物而沒有補充鈣質，在代謝過程中就會帶走大量的鈣質。

過量的我「磷」會使骨骼發展受影響，甚至增加罹患骨質疏鬆症的機會。因此特別提醒少吃加工食品，因很多都是高「磷」食物，多吃新鮮的魚、肉、蔬果能降低有機磷的攝取。正常人每日我「磷」的建議攝取量約 1 公克，只要不過分偏食且少吃加工食品，這很容易做到。

1995 年，日本曾發生轟動國際的地下鐵毒氣事件，其中壞人所用的毒物就叫「沙林」( $(\text{CH}_3)_2\text{CHOOPF}(\text{CH}_3)$ )，它是種含有我「磷」的化合物。沙林會阻斷人體內擔任神經傳遞物質的乙醯鹼酯酶，導致中樞神經麻痺癱瘓，是一種致命的劇毒化合物。

從以上的介紹可以清楚看到：我「磷」雖是人體的必需元素，也是會危害人體的元素。聰明的您對於我「磷」能不注意、小心嗎？

---

蘇明德

嘉義大學應用化學系

---

