

1. 全氟碳化合物 (PFCs) 的簡介：

全氟碳化合物 (Perfluorocarbons, PFCs) 有時稱作碳氟化合物，分子式為 C_xF_y ，其化合物碳上的氫原子皆被氟原子所取代，且分子僅含碳和氟原子而稱之。

全氟烷化合物 (Perfluoroalkyls) 屬於全氟化物 (Perfluorinated compounds, PFCs) 的一種，主要以烷類化合物為主碳鏈結構，而碳鏈上的氫原子皆被氟原子和其他官能基所取代。

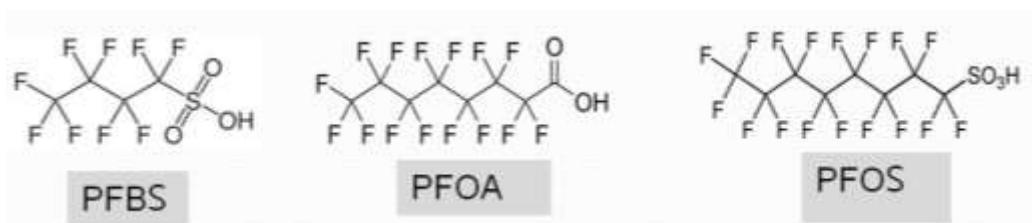
全氟碳化合物，使用最多的是聚氟乙烯 (Polytetrafluoroethene, PTFE)，俗稱「塑料王」，商品名為鐵氟龍 (Teflon)。這種材料的產品一般統稱作「不黏塗層」/「易潔鍍物料」；是一種使用了氟取代聚乙烯中所有氫原子的人工合成高分子材料。這種材料具有抗酸抗鹼、抗各種有機溶劑的特點，幾乎不溶於所有的溶劑。同時，聚四氟乙烯具有耐高溫的特點，它的摩擦系數極低，所以可作潤滑作用之餘，亦成為了不沾鍋和水管內層的理想塗料 (文章取自維基百科\聚四氟乙烯)。

全氟化合物 (Perfluorinated compounds, PFCs)，在美國最常使用的兩種全氟化合物分別是全氟辛酸 (perfluorooctanoic acid, PFOA) 以及全氟辛烷磺酸 (perfluorooctane sulfonic acid, PFOS)。PFOS 具有防油、防水的特性，故亦廣泛應用在紡織品、地毯、鞋材、紙張、影印塗料、消防泡沫、影像材料、航空液壓油等製造領域中。PFOA 常用於生產高效能氟聚合物如鐵弗龍等之加工助劑。而氟調聚化學法製品中亦可能含有 PFOA，甚至日常用品像披薩盒與微波爆玉米花袋子等各種防油紙袋也曾發現含有 PFOA。

全氟化合物 (Perfluorinated compounds, PFCs) 依照官能基區分，可分為

- 全氟化的烷基和芳基鹵 (Perfluorinated alkyl and aryl halides)
- 氟氯烯烴 (Fluorochloroalkenes)
- 全氟醚和環氧化物 (Perfluoroethers and epoxides)
- 全氟醇 (Perfluoroalcohols)
- 全氟酮 (Perfluoroketones)
- 全氟胺 (Perfluoroamines)
- 全氟羧酸 (Perfluorocarboxylic acids)
- 全氟腈和異腈 (Perfluoronitriles and isonitriles)
- 全氟磺酸及相關衍生物 (Perfluorosulfonic acids and related derivatives)
- 全氟化芳硼酸鹽 (Perfluorinated aryl borates)

全氟丁磺酸(Perfluorobutanesulfonic acid, PFBS)與全氟辛烷磺酸(perfluorooctane sulfonic acid, PFOS)屬於全氟磺酸(Perfluorosulfonic acids)類。而全氟辛酸(perfluorooctanoic acid, PFOA)屬於全氟羧酸(Perfluorocarboxylic acids)。



這類化合物分子碳上的氫原子皆被氟原子，而尾端碳鏈尾端可有不同官能機取代。長碳鏈端含許多氟原子(陰電性高)的部分擁有疏水特性和疏油特性，而尾端官能基部分擁有親水特性。此化合物的強碳氟鍵結的特性，使其具有很高的穩定性，能夠經受很強的熱，光照，化學作用，同時亦不受微生物作用和高等脊椎動物的代謝作用而降解，並長久存在於自然環境中。

2. 使用面問題：

一般而言，環境中出現的最典型全氟化合物為 PFOA 和 PFOS，而環境中 PFOS 和 PFOA 的主要來源有兩種說法，一是多種全氟碳化合物在環境中降解的最終轉化產物 (Olsen G W, Burris J M, Mandel J H, Zobel L R. J. Occup. Environ. Med., 1999, 41: 799—806)，二是 PFOA 與 PFOS 本身在使用和製造其他全氟化合物過程中的殘留，例如聚四氟乙烯生產過程中會加入 PFOA 做加工助劑。

在使用上，由於全氟烷化合物常用來做為食品器具表面塗層成分之一，如因不當使用導致塗層脫落或是有刮痕，便可能增加全氟烷化合物溶出之風險。

只要是分解後的小分子還保有 PFCs 的特性都算 PFCs。由於 PFCs 的「強碳氟鍵結」特性，使其具有很高的穩定性，能夠經受很強的熱，光照，化學作用，微生物作用和高等脊椎動物的代謝作用而不降解，而可以長久存在於自然環境中 (Kissa E. Fluorinated surfactants and repellents, 2nd edition. New York: Marcel Dekker Inc., 2001)。而環境對於 PFCs 沒有自淨的能力，即會造成自然生態系統和人的健康產生危害。PFCs 傾向維持不變的結構殘留在人體裡很長一段時間，全氟辛酸 (PFOA) 和全氟辛烷磺酸 (PFOS) 更會潛藏在體內許多年。目前發現長期吸入含全氟烷化合物的空氣或直接讓它接觸到皮膚會對工人的健康產生負面影響。另外，可能也會引起人體呼吸系統、免疫系統的問題以及導致新生兒缺陷。

3. 對人體影響：

一．對健康的影響

(一)對人類健康的影響

目前流行病學多藉由血中 PFOA 和 PFOS 的量來評估暴露 PFCs 的健康效應，多數成果指出暴露 PFCs 會造成血清脂質上升、出生體重降低、尿酸上升，部分職業暴露研究發現暴露 PFCs 可能會增加前列腺癌、腎癌及睪丸癌之風險，但整體而言 PFCs 與癌症間的關係尚未明確。其他健康效應還有發生肝損傷之生理指標值改變，如血清中 ALT 及膽紅素微量增加。

(二)對實驗動物健康的影響

實驗動物多著重於 PFOA 及 PFOS 的暴露，且口服攝入的研究較多，吸入及皮膚暴露之研究則較少。主要對動物造成肝毒性、發育毒性及免疫毒性。

吸入暴露

1. 雄性大鼠暴露 7.6 mg/m³ PFOA，2 週，造成肝重增加、肝細胞肥大及壞死。
2. 雄性大鼠暴露 67 mg/m³ PFNA，4 小時，造成肝重增加。

皮膚暴露

1. 雄性大鼠，皮膚暴露 20 mg/kg PFOA，2 週，造成肝組織病變。
2. 小鼠，皮膚暴露 6.2 mg/kg PFOA，1 次/天，共 4 天，造成肝腫大。

口服暴露

口服暴露之動物實驗很多，以下依其毒性進行摘要介紹

肝毒性：齧齒類動物口服暴露造成肝重增加、肝細胞肥大、血清膽固醇和三甘油酯降低等。

發育毒性：PFOA 及 PFOS 都會影響齧齒類動物發育，包含死胎、新生兒體重降低、存活率下降、神經發育毒性、乳腺分化、陰道口開啟時間及第一次發情期延遲等。

免疫毒性：PFOA 及 PFOS 會誘發小鼠免疫系統的胸腺及脾臟萎縮、胸腺細胞及脾臟細胞型態改變、免疫反應受損。

生殖毒性：大鼠口服攝入 PFOA，2 年，發現睪丸間質細胞增生、睪丸血管鈣化、卵巢血管增生等。小鼠於孕期暴露 PFOA，造成乳腺分化延遲等。

致癌毒性：PFOA 誘發大鼠肝細胞腺瘤，睪丸間質細胞腺瘤、及胰腺腺細胞瘤等。

目前人類研究多著重於 PFOA 及/或 PFOS 的暴露，分為三大類：職業工人暴露吸入含 PFCs 之空氣及粉塵、製造 PFOA 之工廠附近居民飲用受 PFOA 污染的飲用水、及一般民眾受環境背景值暴露的情況。吸收、分佈、代謝及排泄的資料如下：

吸收：根據流行病學研究，人類可透過呼吸吸入及口服攝入的暴露途徑吸收 PFCs，目前皮膚暴露吸收的情況則無相關的報導。動物實驗研究得知除呼吸及口服可吸收 PFCs 外，大鼠皮膚暴露 PFCs 會造成肝及免疫等全身性毒性。

分佈：經口服暴露，人類及動物皆發現 PFCs 進入生物體內後，主要分佈於血液、肝臟等，可經母體傳給腹中胎兒，亦可經哺乳傳至嬰兒體內。人類及動物之吸入及皮膚暴露後的分佈不明，只知工人職業暴露經吸入含 PFCs 之空氣及粉塵，於血清中有發現 PFCs。

代謝：啮齒類動物和靈長類動物實驗發現口服暴露 PFCs，在動物體內不進行代謝。吸入及皮膚暴露的代謝不明。

排泄：經口服暴露，人類血清中 PFOA、PFOS、PFHxS、PFBuS 及 PFBA 的半衰期分別為 3.8 年、5.4 年、8.5 年、665 小時及 72 小時，主要經尿液及膽汁排泄。人類吸入及皮膚暴露的排泄情況不明。

4. 法規管理：

根據我國毒管法 PFOS 為列管毒性化學物質，毒性分類為 1,2；而 PFOA 則為非列管毒性化學物質。

備註：

第一類：不易分解（或因生物蓄積、濃縮、轉化），致污染環境或危害人體健康者。

第二類：慢毒性（致腫瘤、生育能力受損、畸胎、遺傳因子突變、其他慢性病）。

國內目前未有 PFOS 使用於食品容器的相關規定;PFOS 常用來做為食品器具表面塗層成分之一，但根據食藥署的「食品器具容器衛生標準」，並未有 PFOS 的相關規定。

紡織品上是否可以使用？經濟部標檢局對於紡織品無相關規定。

Provisional health advisory (PHA) 定義:PHA 反映出合理的、以健康為基準的危害物濃度，若飲用水高於此濃度應採舉一些措施以降低不受管制的汙染物暴露。

根據 ATSDR 原文指出美國環保署對於飲用水中的 PFOA 與 PFOS 建立一個暫時的建議(provisional health advisory, PHA)，分別為 0.4 與 0.2 $\mu\text{g/L}$ 。

美國環保署參考資料

http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-04/documents/factsheet_contaminant_pfos_pfoa_march2014.pdf

PFOA 目前尚未列入歐盟管制法規中；而對於 PFOS 的管制資料如下：在 2002 年 12 月經濟合作發展組織(OECD)召開的第 34 次化學品委員會聯合會議上將 PFOS 定義為「持久存在於環境(persistent)、具有生物累積性(bioaccumulative)並對人類有害的物質(toxic to mammalian species)，因而進一步立法管制，於 2008 年 6 月 27 日開始實施限制措施。

管制如下：

- PFOS 在製劑中的濃度等於或超過總體 0.005%(50ppm)，不得於市場銷售。
- PFOS 在成品或半製成品部件的濃度相等於或超過總體 0.1%(1000ppm)，不得於市場銷售。(針對新產品，對於已經使用中的以及二手市場上的產品不限制。)
- 在紡織品或其他塗層物料，PFOS 含量必須少於每平方公尺 1 微克($\mu\text{g/m}^2$)。

參考資料

<https://proj.ftis.org.tw/isdn/Norm/Detail/2B8508DCA18D2159?parentId=2B8508DCA18D2159>

歐盟禁用 PFOS 的第 2006/122/EC 號指令：

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:372:0032:0034:EN:PDF>

雖然有些短鏈含氟替代品看起來似乎比較不會在人體內長年累積，然而他們仍如長鏈化合物般，很難在環境中分解。因此，採用短鏈或其它含氟替代品，仍舊無法減少環境中聚和全氟烷基物質的數量。同時，由於一些短鏈聚和全氟烷基物質的效果較差，反而需要使用更多的數量，才能達到相同的效能。

