

紡織服飾品牌隨著立法禁用 PFAS  
而面臨創新發展壓力

2024 年 3 月

紡拓會編譯

# 紡織服飾品牌隨著立法禁用 PFAS 而面臨創新發展壓力

目 錄	頁次
摘要.....	1
簡介.....	1
全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 之應用.....	2
全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 以及含氟聚合物之龍頭生產商.....	3
五大龍頭生產商.....	5
含氟化合物和含氟化學品之市場.....	5
全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 在紡織品和成衣中之作用.....	7
全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 在開發功成衣和裝備之市場中的作用.....	7
為什麼全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 成為關注議題.....	8
PFAS 釋放到環境中之通路.....	9
觀察PFAS所造成影響之研究.....	11
已被確定為有害之PFAS的替代性產品.....	12
全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 之法規.....	13
各國家和地區對全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 之法規.....	16
加拿大.....	16
中國大陸.....	16
歐盟.....	17
英國.....	18
美國.....	19
美國全州立法.....	21
美國加州.....	21
美國緬因州.....	21
美國密西根州.....	22
美國紐約州.....	22
美國華盛頓州.....	22
美國其他州.....	23
品牌對全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 法規之回應.....	23
全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 替代性產品之創新和開發.....	24
全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 之替代性化學品.....	25
替代性耐久防潑水 (DWR) 加工整理劑和表面處理劑.....	26
3XDRY Bio : Schoeller Textil.....	27
Altapel F3 : Bolger & O’Hearn.....	28
ecorepel : Schoeller Textil.....	29
Nanotex Aquapel : Nanotex.....	30
Shell-Tech : Bolger & O’Hearn.....	31
Smartrepel Hydro : Archroma.....	31

替代性耐久防潑水（DWR）薄膜.....	34
dimpora eco pur 薄膜：dimpora.....	34
Gore-Tex ePE：W L Gore & Associates.....	34
sane 薄膜：dimpora.....	36
其他替代性材料.....	36

## 表目錄

表1：全氟/多氟烷基物質（PFAS）：2022年全球12家龍頭生產商.....	4
表2：全氟/多氟烷基物質（PFAS）：2023年紡織品和成衣應用商品實例.....	7

## 摘要

全氟/多氟烷基物質 (Per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS)，也被稱為"永久性化學物質 (forever chemicals)"，是由 10,000 多種合成含氟化合物 (synthetic fluorinated compounds) 組成之族群，因其獨有的特性而備受歡迎。它們最常使用於紡織品和成衣中，以製造耐久防潑水 (durable water repellent, DWR) 加工整理劑、表面處理劑和薄膜，其應用範圍廣泛，包括配件、汽車內裝潢、鞋類、家用紡織品、機能性成衣和裝備，以及工業用紡織品。事實證明，它們之發展是非常有用的，因為它們讓機能性成衣製造商能以相對較低之成本來大規模生產機能性防水成衣。而在其他應用中，PFAS 在化學防護服、醫療用紡織品和個人防護裝備 (personal protective equipment, PPE) –包括工作服–的防火材料之製造中發揮著至關重要的作用。

然而，PFAS 因其對環境和人類健康造成之破壞性影響而引起人們的關注。尤其是，它們在環境中持續存在，並已被證明具生物累積性、高度移動性和毒性。隨著越來越多之科學證據顯示 PFAS 對環境和人類健康產生不利影響，全球各地的立法者正加強現有法規或提出新法規來消除 PFAS。然而，不同地區、不同國家，甚至在某些情況下，不同州之間的法規強度存在顯著差異，而這是一個備受關注之議題。對於機能性成衣品牌來說，主要的挑戰在於了解到即將面臨之法規的影響，尤其是在各個地域市場法規有所不同之情況下。然而，更大的挑戰在於開發替代性物質，這些物質須具有與 PFAS 相同之機能性水準，同時又符合當前和即將面臨的法規。

## 簡介

全氟/多氟烷基物質 (Per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS)<sup>1</sup>–也被稱為"永久性化學物質 (forever chemicals)"–代表 10,000 多種合成含氟化合物，因其獨有之特性而備受歡迎。

含氟化合物–包括 PFAS–含有碳-氟鍵，這是有機化學中最強的化學鍵。

由於其化學鍵之強度，PFAS 具有無與倫比的機能性特性–包括極佳之耐腐蝕性、防燃性 (flame resistance)、導熱性、疏水性 (hydrophobicity)<sup>2</sup>、疏脂性 (lipophobicity)<sup>3</sup>、疏油性 (oleophobicity)<sup>4</sup>和穩定性。

---

<sup>1</sup> 全氟/多氟烷基物質 (Per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS) 在某些情況下也被稱為全氟化學物質 (perfluorinated chemicals, PFCs)。然而，一般來說，相較"PFCs"，術語"PFAS"被使用得較多。這是為了避免將全氟化化學物質與全氟碳化物 (perfluorocarbons) 混淆，因為全氟碳化物之縮寫也是 PFCs。全氟碳化物是人類活動所排放的最強烈且最持久之溫室氣體 (greenhouse gases, GHG) 類型之一。

<sup>2</sup> 疏水性 (hydrophobicity) 是用來描述材料排斥水分之傾向性的術語。

<sup>3</sup> 疏脂性 (lipophobicity) 是用來描述材料排斥脂肪 (fat) 之傾向性的術語。

<sup>4</sup> 疏油性 (oleophobicity) 是用來描述材料排斥油類 (oil) 之傾向性的術語。

然而，PFAS 之一些機能性特性也令人擔憂。例如，PFAS 的結構非常穩定，即使不是永久性存在，它們也會在環境中持續存在很長一段時間。

事實上，由於 PFAS 的穩定性使其被稱為"永久性化學物質 (forever chemicals)"。

被認為特別穩定之 PFAS 是那些含有長鏈碳原子的 PFAS。

此類材料之實例還包括全氟辛酸 (perfluorooctanoic acid, PFOA)，它含有八個碳原子鏈。

含有八個碳原子鏈的 PFAS 屬於通常稱為 C8 化學品之物質族群的一部分。

同時，含有六個碳原子鏈之 PFAS 則是稱為 C6 化學品之物質族群的一部分，C6 被認為是短鏈 PFAS。

長鏈 PFAS 不僅會持續存在於環境中，還具有：

- 生物累積性；
- 高度流動性；以及
- 毒性。

事實上，流行病學研究 (epidemiological studies)<sup>5</sup>觀察了接觸長鏈 PFAS 之影響，發現全氟辛酸 (PFOA) 與如下六種疾病之間可能存在關聯性：

- 高膽固醇；
- 高血壓；
- 腎癌；
- 睪丸癌；
- 甲狀腺疾病；以及
- 潰瘍性結腸炎。

在其他研究中，也發現長鏈 PFAS 與如下方面的不利影響之間存在關聯性：

- 荷爾蒙與代謝功能；
- 免疫系統；以及
- 肝臟。

### **全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 之應用**

全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 所具備之獨有特性使其成為眾多領域的消費品和工業應用之理想選擇，包括：

- 航空太空；
- 農業；
- 成衣；
- 汽車；

---

<sup>5</sup> 流行病學研究 (epidemiological studies) 是涉及流行病學 (epidemiology) 的醫學分支學科之一，其主要研究疾病的發生、傳播和管控。

- 化學品；
- 建築；
- 化妝品；
- 電子產品；
- 能源；
- 消防；
- 衛生保健；
- 家庭用品；
- 軍事用品；
- 石油和天然氣；
- 包裝；以及
- 紡織品。

事實上，根據發表於《環境科學：過程和影響（Environmental Science: Processes & Impacts）》上的一篇論文，在大約 64 個產業中匯報了 200 多種 PFAS 之應用<sup>6</sup>。

也就是說，PFAS 最常使用於製造潤滑劑、防護劑和界面活性劑，因為它們具極佳之疏水性、疏脂性和疏油性。

PFAS 最常見的應用包括：

- 紡織品和成衣之耐久防潑水（DWR）加工整理劑、表面處理劑和薄膜；
- 炊具之拒油和防潑水塗層；以及
- 消防泡沫之界面活性劑。

在其他地方，PFAS 被化學工業廣泛作為加工助劑，並使用於氯、氫氧化鈉和其他化學物質的生產。

此外，它們也經常被使用於電子儀器之製造，以及電子儀器和設備的測試。

例如，這些應用中之清潔溶液、冷卻劑和傳熱流體。

PFAS 常見的另一個應用是塑膠和橡膠之生產。尤其是，它們被使用為固化劑、發泡劑、泡沫調節劑、脫模劑和聚合物加工助劑。

同樣的，PFAS 因其令人格外矚目之耐腐蝕特性、防油特性和防水特性而經常使用於工業用塗料和油漆的製造。

## **全氟/多氟烷基物質（PFAS）以及含氟聚合物之龍頭生產商**

---

<sup>6</sup> 論文《全氟/多氟烷基物質（PFAS）之使用概述（An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances<PFAS>）》於 2020 年 10 月發表於《環境科學：過程和影響（Environmental Science: Processes & Impacts）》雜誌上，且可透過以下連結瀏覽：<https://bit.ly/3YGReda>。

全球全氟/多氟烷基物質（PFAS）的生產由 12 個主要生產商主導（見表 1），這些生產商共計佔據全球含氟聚合物（fluoropolymers）<sup>7</sup>市場總量約三分之二。

2022 年，在該排名前 12 的企業中有 11 家之產品淨銷售額（net sales）約為 3,160 億美元，而其銷售額分別介於 29 億美元至 931 億美元之間。

全球 PFAS 市場的 12 家大企業中，多達 6 家位於歐洲：3 家在德國、1 家在比利時、1 家在法國、1 家在瑞士。

其中有三家總部位於美國，有兩家總部位於日本，另有一家總部位於中國大陸。

然而，美國的龍頭生產商之一，即 3M（見表 1），於 2022 年 12 月宣佈，其打算於 2025 年底停止 PFAS 的生產—包括含氟聚合物、氟化液體和以 PFAS 為基材之添加劑產品的生產。

此外，到 2025 年底，該公司將致力於在其整個產品系列中停止使用 PFAS。

該公司將其決定歸因於如下幾個因素：

- 改變權益相關者之期望值；以及
- 加速監管動向，聚焦於減少或消除環境中 PFAS 之存在。

該公司每年銷售 PFAS 所產生的收益約為 13 億美元。

公司	總部	淨銷售額 <sup>a</sup> (十億美元)	含氟聚合物市場 佔有率 <sup>b</sup> (%)
3M	美國明尼蘇達州聖保羅	34.2	5
AGC Group	日本東京	15.4	4
Archroma	瑞士 Pratteln	n/a <sup>c</sup>	n/a
Arkema	法國 Colombes	12.3	7
BASF	德國 Ludwigshafen	93.1	n/a
Bayer	德國 Leverkusen	54.1	n/a
Chemours	美國德拉瓦州 Wilmington	6.8	12
大金工業（Daikin Industries）	日本大阪	23.6	11
東岳集團（Dongyue Group）	中國大陸山東	2.9	13
Honeywell	美國北卡羅來納州 Charlotte	35.5	n/a
Merck	德國 Darmstadt	23.7	n/a
Solvay	比利時布魯塞爾	14.3	8

<sup>a</sup> 所有產品之淨銷售額。<sup>b</sup> 每家公司佔全球含氟聚合物銷售額之比例。<sup>c</sup> Archroma 是一家私人公司，因此沒有可供比較之全面性財務數據。

資料來源：Textiles Intelligence；國際化學品秘書處（International Chemical Secretariat，ChemSec）。

<sup>7</sup> 含氟聚合物（fluoropolymers）是全氟/多氟烷基物質（PFAS）之一種類別。就收益方面而言，含氟聚合物約佔全球 PFAS 市場的三分之一。

## 五大龍頭生產商

全球 PFAS 市場之前五大龍頭生產商是：

- 排名第一，位於中國大陸山東省之東岳集團（Dongyue Group）；
- 排名第二，位於美國德拉瓦州 Wilmington 之 Chemours；
- 排名第三，位於日本大阪之大金工業（Daikin Industries）；
- 排名第四，位於比利時布魯塞爾之 Solvay；以及
- 排名第五，位於法國 Colombes 之 Arkema。

2022 年，該前五大龍頭企業的所有產品銷售額均介於 29 億美元至 236 億美元之間。

他們所有產品的銷售額合計達 599 億美元，佔全球含氟聚合物市場總額之 51%。

## 含氟化合物和含氟化學品之市場

根據 24ChemicalResearch 出版的報告顯示，預測在 2022 年至 2028 年期間，全球含氟化合物（fluorinated compounds）<sup>8</sup> 市場價值將以 4.7% 之複合年成長率（compound annual growth rate, CAGR）增長，自 198 億美元增長至 261 億美元。

自地域方面看，預計在 2022 年至 2028 年期間，亞太地區對含氟化合物的需求將以 5.3% 之複合年成長率增長，自 84 億美元增長至 115 億美元。

北美的需求預計將以 4.4% 之複合年成長率增長，自 55 億美元增長至 72 億美元，歐洲的需求預計將以 4.1% 之複合年成長率增長，自 43 億美元增長至 55 億美元。

以含氟化學品（fluorochemicals）<sup>9</sup> 為例，2022 年全球市場總值成長 26%，自 224 億美元增長至 283 億美元。由於受到 COVID-19<sup>10</sup> 疫情的影響，2021 年和 2020 年出現衰退，而 2019 年則成長 21%。

展望未來，根據全球產業分析家（Global Industry Analysts）<sup>11</sup> 出版的報告顯示，預估在 2022 至 2030 年期間全球含氟化學品市場總值將以 5.4% 之複合年成長率增長，總計將達到 430 億美元。

自地域方面看，預計在 2022 年至 2030 年期間中國大陸含氟化學品市場總值將以 9.2% 的複合年成長率增長，達到 96 億美元。

---

<sup>8</sup> 全氟/多氟烷基物質（PFAS）是含氟化合物（fluorinated compounds）之一種類別。

<sup>9</sup> 全氟/多氟烷基物質（PFAS）是含氟化學品（fluorochemicals）之一種類別。

<sup>10</sup> COVID-19，也稱為 2019 冠狀病毒（coronavirus）疾病，是由嚴重急性呼吸系統綜合症冠狀病毒 2（severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2）引起之傳染病。該病毒於 2019 年 12 月在中國大陸武漢首次發現。2020 年 1 月 30 日全球衛生組織（World Health Organization, WHO）宣佈其為國際關注之公共衛生緊急事件（Public Health Emergency of International Concern），並於 2020 年 3 月 11 日宣佈其為疫情（pandemic）。在某些更嚴重之情況下，該疾病可能致命。

<sup>11</sup> 全球產業分析家（Global Industry Analysts）於 2023 年 1 月出版《含氟化學品：全球策略業務報告》報告。全球產業分析家（Global Industry Analysts）是一家位於美國加州 San Jose 之市場研究公司。

在加拿大，其市場價值預計將以 4.4%之複合年成長率增長，而在德國和日本，其市場價值預計將分別以 3.5%和 2.7%的複合年成長率增長。

根據 Mordor Intelligence 出版之報告<sup>12</sup>，全球含氟化學品市場的成長將主要受到暖氣、通風和空調（heating, ventilation, and air conditioning, HVAC）系統<sup>13</sup>—尤其是汽車產業—需求之推動。

除此之外，該市場預計還將受益於製造防水成衣的物質之研發。

這個預期是基於消費者朝向健康和積極生活方式轉變的趨勢，而這將刺激如下方面之需求增加：

- 戶外成衣；以及
- 運動服。

根據這項預期，在 2023 年至 2030 年期間，全球防水透氣紡織品市場總值預計將以 5.7%的複合年成長率加速增長，自 18 億美元增長至 27 億美元，而這相對的，預計也將推動膨體聚四氟乙烯（expanded polytetrafluoroethylene, ePTFE）之使用。

ePTFE 是製造透氣防水薄膜的主要成分。值得注意的是，它是使用名為聚四氟乙烯（polytetrafluoroethylene, PTFE）之多氟烷基物質（polyfluoroalkyl substance, PFAS）製造而成的。

根據 Grand View Research<sup>14</sup>之一份報告顯示，在全球防水透氣紡織品市場中，作為原材料的 ePTFE 市場預計在 2023 年至 2030 年期間將以 6.4%之複合年成長率增長。

根據 Mordor Intelligence 表示，儘管分別對 2028 年和 2030 年含氟化合物和含氟化學品市場進行正向預測，但對於含氟化學品對環境造成不利影響之擔憂預計將威脅到 2030 年的成長。

同樣的，消費者對含有含氟化物和含氟化學品—例如有害的全氟/多氟烷基物質（PFAS）—之紡織品和防水成衣的看法可能會惡化，而這可能會進一步威脅到其成長。

---

<sup>12</sup> Mordor Intelligence 於 2023 年 7 月出版《含氟化學品市場規模和占有率分析—2023~2028 年成長趨勢和預測( Fluorochemical Market Size & Share Analysis—Growth Trends & Forecasts 2023~2028 )》報告。Mordor Intelligence 是一家位於印度 Hyderabad 的市場研究公司。

<sup>13</sup> 在暖氣、通風和空調（heating, ventilation, and air conditioning, HVAC）系統中，含氟化學品被用來作為冷卻劑（refrigerant）。

<sup>14</sup> Grand View Research 於 2023 年 4 月出版《預測 2023~2030 年防水透氣紡織品市場之規模、市占率和趨勢分析報告，依原材料<ePTFE、聚氨酯>、織物、應用、地域和細項別（Waterproof Breathable Textiles Market Size, Share & Trends Analysis Report By Raw Material<ePTFE, Polyurethane>, By Fabric, By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2023~2030 )》報告。Grand View Research 是一家位於美國加州舊金山的市場研究公司。

## 全氟/多氟烷基物質（PFAS）在紡織品和成衣中之作用

全氟/多氟烷基物質（PFAS）通常用於製造紡織品和成衣應用商品—包括配件、汽車內裝潢、鞋類、家用紡織品、機能性成衣和裝備，以及工業用紡織品—中所使用之耐久防潑水（DWR）加工整理劑、表面處理劑和薄膜。

以以下形式為 PFAS 於紡織品加工整理製程的使用：

- 消泡劑；
- 脫模劑；以及
- 潤濕劑。

產業	應用商品	技術功能
成衣	配件；運動休閒成衣；休閒成衣；鞋類	拒油性；耐污性；防水性
家用紡織品	寢具；百葉窗；地毯；窗簾；廚房用紡織品；墊毯	拒油性；耐污性；防水性
機能性成衣和裝備	健身運動服；戶外成衣和裝備；個人防護裝備（PPE）；運動鞋；運動服；工作服	防燃性；拒油性；耐污性；防水性
產業用紡織品	汽車內裝潢；醫療用紡織品；戶外用紡織品；個人防護裝備（PPE）；工作服	防燃性；拒油性；耐污性；防水性

資料來源：John Wood Group；Textiles Intelligence。

## 全氟/多氟烷基物質（PFAS）在開發機能性成衣和裝備之市場中的作用

全氟/多氟烷基物質（PFAS）在機能性成衣和裝備市場之發展中發揮重要作用。

PFAS 最初於 1930 年代被發現，徹底改變了機能性成衣和裝備市場。

這是因為它能以相對較低的成本大規模生產機能性防水塗料。

在 1960 年代，由於開發 Gore-Tex 品牌之防水多微孔（microporous）薄膜，該市場則進一步發生了革命。

該薄膜為 W L Gore & Associates 開發，它是一家位於美國德拉瓦州 Newark 的材料科學公司。

在開發這種薄膜之過程中，該公司發現一項膨脹和拉伸 PFAS 聚四氟乙烯（PTFE）的方法，以生產一項具有複雜三維（three-dimensional, 3D）網路之孔隙和彎曲通道的材料。

該材料到處具有每平方英吋多達 90 億個微孔 (micropores) –即每平方公分有 14 億個微孔，而且每微孔直徑差異介於 0.1 到 0.5 微米 (microns)<sup>15</sup>之間。

因此，這種被稱為膨體聚四氟乙烯 (ePTFE) 的材料對如下物體展現出極佳之拒斥性：

- 細雨；以及
- 水滴。

同時，該材料也具透氣性，因為它可讓水分–包括水蒸氣分子–透過其網路結構輸送到其外表面，而將水分在外表面蒸發。

因此，ePTFE 表現出前所未有的機能性水準，並引起人們對 PFAS 在開發機能性耐久防潑水 (DWR) 材料方面之潛力的新關注。

於 ePTFE 開發之前，在製造機能性成衣和裝備時必須犧牲透氣性才能達到防水性 (water repellency)。

自 ePTFE 開發以來，PFAS 已被證實在開發**運動服、戶外成衣和裝備**等應用商品的強化防水透氣材料方面具有非常重要之價值。

事實證明，它們在**化學防護服 (chemical protective clothing)** 的開發中具極珍貴之價值，因為具高耐化學性和耐熱性；與其他物質相互作用較弱；以及具低滲透性。

同樣的，PFAS 已被證實是開發用於**個人防護裝備 (personal protective equipment, PPE)** –包括**工作服 (workwear)** –的防火材料 (flame resistant materials) 之關鍵要素。

就**醫療用紡織品 (medical textiles)** 而言，PFAS 在潔淨空氣套裝、手術用布簾和手術服之製造中發揮著至關重要的作用，其有助於防止傳染源在患者和醫療專業人員之間傳播。

尤其是，PFAS 有助防止體液等污染物滲透到醫療用紡織品中。

## 為什麼全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 成為關注議題

越來越多的科學證據顯示，全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 令人擔憂。

尤其是含有長鏈碳原子的 PFAS 已被證實對環境和人類健康構成重大威脅。

這是因為長鏈 PFAS 之誘人特性，尤其是其極佳的穩定性，也使其對環境惡化具有極強之抵抗力。

---

<sup>15</sup> 一微米 (microns 或 micrometre) 是一米的百萬分之一 (10<sup>-6</sup> 米)。

此外，它們還具有：

- 生物累積性；
- 高度流動性；以及
- 毒性。

### PFAS 釋放到環境中之通路

接觸全氟/多氟烷基物質（PFAS）的風險存在於整個紡織品和成衣價值鏈中，包括自原材料生產到"產品使用壽命終期（end of useful product-life）"的場合—例如回收含有 PFAS 之產品。

直接或間接接觸如下含有微量 PFAS 的物質可能會導致 PFAS 接觸風險：

- 空氣排放；
- 廢水；以及
- 固體垃圾。

然而，特別令人關注之一項

管道是由 PFAS 生產工廠釋放到環境中的 PFAS。

位於美國西維吉尼亞州華盛頓之 **Washington Works** 就是被發現向環境釋放 PFAS 的製造工廠實例，該工廠自 1948 年起由**杜邦（DuPont）**—位於美國德拉瓦州 **Wilmington** 之化學品公司—營運。

該工廠主要目的是生產合成含氟聚合物特氟龍（Teflon），是一款作為紡織品和家庭消費品的防油和防水塗層。

該特氟龍是使用名為聚四氟乙烯（PTFE）之 PFAS 生產的。

此外，其製造過程需要使用名為全氟辛酸（PFOA）之長鏈 PFAS 形式的化工助劑（auxiliary chemical）<sup>16</sup>，而該 PFOA 作為污水排放至工廠釋放到當地水道之中。

早在 1950 年代，在 **Parkersburg**—位於該工廠東北約 7 英里的小鎮—之當地居民就對 **Washington Works** 工廠排放的化學物質之毒性產生懷疑。

根據位於美國加州舊金山的科學顧問公司 **ChemRisk** 於 2004 年進行之一項研究顯示，該廠在 1951 年至 2003 年期間向當地環境排放超過 170 萬磅（771 噸）的 PFOA。

該排放之 PFOA 被發現污染地下水、地表水和土壤，並顯示出污染社區飲用水供應源。

---

<sup>16</sup> 化工助劑（auxiliary chemical）用於輔助製造過程。在這方面，它不同於為了達到特殊效果而應用於產品之功能性化學物質。

C8 Science Panel<sup>17</sup>在 2005 年至 2013 年期間進行一系列研究，包括自大約 69,000 名當地居民採集了血液樣本，得出的結論是，接觸到 PFOA 與美國俄亥俄州 Valley 中部社區中流行之如下六種疾病間存在著"可能的關聯性 (probable link)"：

- 高膽固醇；
- 高血壓；
- 腎癌；
- 睪丸癌；
- 甲狀腺疾病；以及
- 潰瘍性結腸炎。

該研究結果發表後，對杜邦公司提起法律訴訟，並於 2017 年 2 月終結。

法律訴訟結果是，杜邦公司同意以 6.707 億美元的總費用和解 3,550 起人身傷害案件。

該和解是針對杜邦公司之一系列類似法律訴訟中規模最大的一起，這類法律訴訟可追溯到 1999 年，當時一名農民首次將杜邦公司告上法庭，該農民聲稱他的牛群因接觸到 Washington Works 工廠排放之有毒廢棄物而死亡。

另一家被發現向環境中排放 PFAS 的製造工廠是一家位於美國密西根州 Rockford 之工廠，由 Wolverine Worldwide<sup>18</sup>經營，是一家鞋類公司，總部也位於 Rockford。

2017 年，當地居民對該工廠產生的排放汙水開始產生擔憂。

居民聲稱，該公司故意將含有 PFAS 之排放汙水自工廠釋放到環境中，以及當地垃圾掩埋場中。

結果，該公司對當地超過 25 平方英里 (64.7 平方公里) 的土地造成污染。

該工廠使用 PFAS 的主要目的是加工製造鞋類之皮革。

該製造過程涉及應用名為 Scotchgard 的耐久防潑水 (DWR) 處理劑，該處理劑是由 PFAS 之龍頭生產商 3M 提供。(3M 總部位於美國明尼蘇達州 St Paul)

然而，該處理劑含有兩種 PFAS，即：

- 全氟辛酸 (PFOA)；以及
- 全氟辛烷磺酸 (perfluorooctanesulfonic acid, PFOS)。

---

<sup>17</sup> C8 Science Panel 是由 David Savitz、Kyle Steenland 和 Tony Fletcher 三名流行病學家組成之小組，其成立目的是針對在 2005 年至 2013 年期間接觸到來自美國西維吉尼亞州華盛頓 Washington Works 製造工廠所釋放的 PFOA 對健康之影響，進行調查研究。如欲了解進一步資訊，請瀏覽：[www.c8sciencepanel.org](http://www.c8sciencepanel.org)

<sup>18</sup> Wolverine Worldwide 擁有 Bates、Cat Footwear、Chaco、Harley-Davidson Footwear、Hush Puppies、HYTEST、Merrell、Saucony、Sperry、Stride Rite、Sweaty Betty 和 Wolverine 等品牌。

由密西根州環境、五大湖和能源部（Michigan Department of Environment, Great Lakes and Energy, EGLE）進行之測試發現，該工廠附近的地下水含有 1,250 ppt（parts per trillion，萬億分之一）的 PFOS，該工廠附近住宅水井的水中含有 38,000 ppt 之 PFOS。根據美國環境保護署（Environmental Protection Agency, EPA）規定，水中 PFOS 的安全含量為 0.02 ppt 或更低。

2018 年，Wolverine Worldwide 對 3M 提起法律訴訟，指控其隱瞞 Scotchgard 資訊並造成環境破壞。

Wolverine Worldwide 聲稱，在 Rockford 工廠處理含有微量 Scotchgard 之廢棄物時所使用的方法與 3M 之建議和做法一致。

Wolverine Worldwide 指稱，3M 多年來已意識到 PFOA 和 PFOS 會帶來環境風險，然而並未採取行動以消除其 Scotchgard DWR 處理劑中的有害物質。

此外，Wolverine Worldwide 又指稱 3M 向該公司保證 Scotchgard 可安全使用，並且 3M 並沒有警告該公司與其 DWR 處理劑相關之任何潛在環境風險。

而且，在 2000 年 3M 宣佈計劃消除其 Scotchgard 生產中使用的 PFOA 和 PFOS 後，Wolverine Worldwide 指稱 3M 繼續向 Rockford 工廠供應原始配方兩年，並堅稱 PFOA 和 PFOS 不會對環境或健康造成風險。

### 觀察 PFAS 所造成影響之研究

在針對化學品製造商—例如杜邦和 3M，以及 Wolverine 等機能性成衣和鞋類製造商，與向當地環境釋放 PFAS 相關之問題而發生多起備受矚目的法律案件之後，觀察接觸長鏈全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 造成影響的流行病學研究取得了進展。

如前所述，C8 Science Panel 在 2005 年至 2013 年期間進行之研究發現全氟辛酸（PFOA）與六種疾病之間可能存在關聯性，而最近的研究則發現長鏈 PFAS 與對荷爾蒙與代謝功能、免疫系統和肝臟之不利影響間存在關聯性。

研究發現，孕婦特別容易長期接觸到長鏈 PFAS。

例如，許多人被發現患有妊娠毒血症（pre-eclampsia，又稱子癇前症）<sup>19</sup>—一種會影響懷孕期間婦女和即將分娩之婦女健康的狀況。

此外，含有微量長鏈 PFAS 的臍帶血（umbilical cord blood）被發現會對胎兒產生不利影響。

尤其是，它與低出生體重、出生缺陷、發育遲緩和新生兒死亡有關。

---

<sup>19</sup> 妊娠毒血症（pre-eclampsia，又稱子癇前症）之症狀包括：視力模糊、高血壓、嚴重頭痛、臉部、腳部和手部腫脹以及嘔吐。儘管有許多妊娠毒血症病例的症狀較輕，但如果不進行監測和治療，這種情況可能會導致嚴重之併發症。

研究發現，兒童接觸到長鏈 PFAS 會抑制免疫反應。因此，疫苗已被證實對該兒童效果較差。

同時，研究發現，在動物身上，接觸到長鏈 PFAS 會對內分泌系統、免疫系統、腎臟和肝臟產生不利影響。

就 PFOA 方面，尤其是全氟辛烷磺酸（PFOS）而言，長期接觸已被證實會導致動物腫瘤。

2023 年 7 月，有報導指稱，居住在美國北卡羅來納州 Fayetteville 一家名為 Fayetteville Works 的製造工廠附近之家庭寵物血液中的 PFAS 含量令人擔憂，PFAS 對動物造成有害影響之證據因而曝光了。

該工廠由位於美國德拉瓦州 Wilmington 的化學品公司 Chemours<sup>20</sup>經營，該公司主要為電子、能源、醫療和運輸等多個產業生產含氟聚合物化學品。

根據北卡羅來納州立大學（North Carolina State University）研究人員 Scott Belcher 所進行之研究顯示，居住在 Fayetteville Works 工廠附近的 32 份狗血液樣本和 31 份馬血液樣本中皆含有 PFAS。

此外，生活在該工廠附近之 Cape Fear River 中的短吻鱷亦被發現接觸到高濃度之 PFAS。

該短吻鱷呈現與紅斑狼瘡（lupus）症狀相似的疾病症狀。

令人擔憂的是，在環境中持久存在之 PFAS 使研究人員相信，地球上幾乎所有動物和人類的血液中皆已含有一定程度之 PFAS。

這一假設得到位於美國麻薩諸塞州波士頓的哈佛陳曾熙公共衛生學院（Harvard T H Chan School of Public Health in Boston）研究人員之支持，他們估計達 98% 的美國人之血液中可檢測到長鏈 PFAS。

該假設還得到一些報告的支持，即在動物、大氣、城市化地區和沿海海洋地區之土壤和沈積物中也發現長鏈 PFAS。

長鏈 PFAS 甚至在地球上最偏遠的地區也被發現，例如加拿大北極地區（Canadian Arctic）。

### 已被確定為有害之 PFAS 的替代性產品

為應對接觸全氟/多氟烷基物質（PFAS）的影響之研究結果以及法律挑戰的威脅，一些化學品製造商正開發那些已被確定有害之 PFAS 的替代品。

---

<sup>20</sup> Chemours 是全氟/多氟烷基物質（PFAS）之龍頭生產商。

然而，在許多情況下，這些替代品因含有其他較少記錄在案之短鏈 PFAS—包括 C6 化學品—而受到批評。

此類化學品被懷疑對環境和人類健康造成的危害與長鏈 PFAS 一樣大。

C6 化學品僅含有 6 個碳原子鏈，而 C8 化學品—例如 PFOA—則含有由 8 個碳原子組成之長鏈。

因此，C6 化學品或短鏈 PFAS 被認為在環境中的持久性不如 C8 化學品。

然而，C6 化學品具有與 C8 化學品或長鏈 PFAS 相當之機能性特性。

然而，很多人擔心人們對短鏈 PFAS 的不利影響缺乏了解，而且製造商似乎能在沒有監管之情況下輕易開發含有此類化學物質的產品。

為應對這種缺乏了解之情況，瑞典化學品管理局（Kemikaleinspektionen，KEMI—Swedish Chemical Agency）<sup>21</sup>在 2020 年對替代性 PFAS 化學品進行審查，並發現了重大的"數據差距（data gaps）"。

它還發現，雖然 C6 化學品在環境中的持久性不如 C8 化學品，但其持久性較低之程度只是非常輕微的。

據 KEMI 表示，這也在 C3 和 C4 化學品中發現了同樣之狀況。

由於這項發現，化學品製造商正開發的許多長鏈 PFAS 替代品被政府組織和監管機構視為"令人遺憾之替代品（regrettable substitutes）"。

## 全氟/多氟烷基物質（PFAS）之法規

由於公眾之強烈抗議，以及越來越多的科學證據顯示全氟/多氟烷基物質（PFAS）對環境和人類健康產生不利影響，因此全球各地之立法者正引入新法規、加強現有法規或提出新法規，以便消除 PFAS。

在許多情況下，法規是為限制 PFAS 和含有 PFAS 之產品的製造、使用、銷售、進出口，尤其是如下產品：

- 化妝品；
- 消防泡沫；
- 家庭用品；
- 包裝；以及
- 紡織品。

在某些情況下，法規是為讓製造商對 PFAS 釋放到環境中造成之損害負責。

---

<sup>21</sup> 瑞典化學品管理局（Kemikaleinspektionen，KEMI—Swedish Chemical Agency）是位於瑞典 Sundbyberg 之政府機構，專業從事化學品監管。

然而，儘管為監管 PFAS 做出了努力，但人們普遍認為現有的法規和擬議法規對 PFAS 的監管力度還不夠，而這是備受關注之議題。

還有，不同地區、不同國家，以及美國各州的監管力度也有顯著差異。

此外，PFAS 之大量應用—以及大量流通中的個人使用 PFAS 化學品—使得 PFAS 之法規及它們最終的逐步淘汰非常具挑戰性。

例如，經濟合作暨發展組織（Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD）—總部位於法國巴黎，致力於制定政策和循證標準之國際組織—發現，流通中的 10,000 種 PFAS 中，絕大多數皆含有未經評估而且不屬於現行法規監管範圍。

除此之外，人們越來越擔心立法者未能及時了解化學品製造商在開發 PFAS 的"令人遺憾之替代品（regrettable substitutes）"方面所取得的進展。

對許多人來說，通常與監管架構相關之逐一化學方法（chemical-by-chemical approach）並不被認為能解決 PFAS 的問題。

相反的，有許多人建議需要採取更全面之監管方法。

這項建議得到了許多龍頭科學刊物的支持。

它也得到一些遊說團體和施壓群體之支持，包括：

- AFIRM Group—總部位於美國加州 Orinda 的組織，致力消除成衣和鞋類產業使用之有害物質；以及
- 國際化學品秘書處（International Chemical Secretariat, ChemSec）—總部位於瑞典 Gothenburg 的非營利組織，倡導使用更安全之替代品來取代有毒化學品。

例如，2020 年 10 月發表在《環境科學：過程與影響（Environmental Science: Processes & Impacts）》<sup>22</sup>的一篇論文中，認為 PFAS 之高持久性令人擔憂，因此應將 PFAS 作為獨立的一類化學品來進行管理，並且所有非必要用途之 PFAS 應逐步淘汰。

然而，與此同時，化學品工業的一些龍頭企業，以及部分紡織產業協會和右翼遊說團體已宣佈反對為消除使用 PFAS 為目的而擬議之法規。

例如，W L Gore & Associates—位於美國德拉瓦州 Newark 的材料科學公司，也是使用 PFAS 基材防水多微孔薄膜之開發者—反對在 2022 年 2 月於美國馬里蘭州進行限制使用 PFAS 的立法舉措。

---

<sup>22</sup> 論文《PFAS 之高持久性足以將其作為化學品等級來進行管理（The high persistence of PFAS is sufficient for their management as a chemical class）》，於 2020 年 10 月發表在《環境科學：過程與影響（Environmental Science: Processes & Impacts）》雜誌上，並可透過如下連結瀏覽：<https://bit.ly/3XGbxH4>。

而最近，於 2023 年 7 月，德國機械設備製造業聯合會（Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau，VDMA–Mechanical Engineering Industry Association）<sup>23</sup>則呼籲修訂在歐盟進行 PFAS 之擬議立法，並表示該立法將"危害許多工業流程（endanger many industrial processes）"並"危及重要的紡織品機器零組件（threaten important textile machine components）"。

2022 年 2 月，W L Gore & Associates 和 VDMA 反對在美國馬里蘭州限制使用 PFAS 之立法舉措，認為 PFAS 是不可或缺的。

此外，他們還擔心沒有切實可行之 PFAS 替代品來提供相類似的機能性水準。

同時，聯合國環境規劃署（United Nations Environment Programme，UNEP）表示，儘管遭到化學品工業與紡織產業之企業的反對，但仍打算在未來幾年特別關注 PFAS 之法規。

尤其是，聯合國環境規劃署將設法加強《關於持久性有機污染物之斯德哥爾摩公約（Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants）》，簡稱《斯德哥爾摩公約（Stockholm Convention）》——一項於 2004 年 5 月生效的多邊條約，其目的在於保護環境和人類健康避免遭受持久性有機污染物（persistent organic pollutants，POPs）之不利影響。

目前已有多達 191 個締約國同意該條約，並有 152 個締約國簽署了該條約。其中，有 147 個締約國已承認（ratified）<sup>24</sup>並執行該條約，而其他 5 個國家（即汶萊、海地、以色列、馬來西亞和美國）儘管簽署了該條約，但仍未採用該條約中所訂定的法規。

另有 39 個締約方已加入該條約並在未簽署的情況下執行該條約。

該條約所針對之污染性化學物質分為三類，分別是：

- 附件 A，包括禁止生產、進口和出口的化學物質；
- 附件 B，包括限制生產、進口和出口的化學物質；以及
- 附件 C，包括禁止非有意排放到環境中的化學物質。

就長鏈 PFAS 方面而言，以下物質被列入 2009 年 5 月條約之附件 B 中：

- 全氟辛烷磺酸（PFOS）；
- 全氟辛烷磺酸（PFOS）之鹽類；以及
- 全氟辛烷磺酰氟（perfluorooctane sulfonyl fluoride，PFOSF），相關之化學物質。

---

<sup>23</sup> 德國機械設備製造業聯合會（Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau，VDMA–Mechanical Engineering Industry Association）是位於德國法蘭克福之工業協會。

<sup>24</sup> 承認（ratification）是一國依其內部程序核可條約並通知其他締約方該國同意承擔條約約束之過程。該條約隨後對該國正式具約束力。

2019 年 5 月，全氟辛酸（PFOA）——款長鏈 PFAS，對環境和人類健康的不利影響有據可查—被列入條約附件 A。

較近期，於 2022 年 6 月，該條約附件 A 中還列出了以下物質，以回應對開發 PFAS 的"令人遺憾之替代品（regrettable substitutes）"的擔憂：

- 全氟己烷磺酸鹽（PFHxS），被認為是 PFOS 之替代品；
- 全氟己烷磺酸鹽（PFHxS）之鹽類；以及
- 全氟己烷磺酸鹽（PFHxS）之相關化合物。

## 各國家和地區對全氟/多氟烷基物質（PFAS）之法規

### 加拿大

在加拿大，訂定了《2012 年禁止某些有毒物質法規（Prohibition of Certain Toxic Substances Regulations, 2012）》，禁止生產、使用、銷售和進口某些有毒物質。

2022 年 5 月，加拿大政府提出《2022 年禁止某些有毒物質法規（Prohibition of Certain Toxic Substances Regulations, 2022）》，以廢除並取代現行法規。該法規預計將於 2024 年某時期開始生效。

該擬議法規之目的是限制多種 PFAS 的製造、使用、銷售和進口，其中包括 PFOS 和 PFOA。

這些物質已在某種程度上受到有毒物質清單（Toxic Substances List）—《1999 年加拿大環境保護法（Canadian Environmental Protection Act, 1999，簡稱 CEPA 1999）》日程表 1—之管制。

但該擬議法規的目的是在採取更全面之方法來解決 PFAS 問題。

採用這種方法的重大決定是為回應有證據顯示製造商所開發之取代 PFAS 的替代性化學品也可能對環境和人類健康有害。

該擬議法規在 2022 年 7 月 28 日截止之 75 天期限內接受公眾諮詢。

加拿大政府預計將於 2023 年底在「加拿大公報（Canada Gazette）」<sup>25</sup>上公佈最終版「2022 年禁止某些有毒物質法規（Prohibition of Certain Toxic Substances Regulations, 2022）」，該法規預計將在公佈之日起六個月後生效。

### 中國大陸

在中國大陸，有疑慮的化學品會受到《危險化學品安全管理條例（Regulations on Safe Management of Hazardous Chemicals）》和《新化學物質環境管理登記辦法（Measures for the Environmental Management Registration of New Chemical Substances）》之限制。

---

<sup>25</sup> 《加拿大公報（Canada Gazette）》是加拿大政府之官方報刊。

現有立法依照《斯德哥爾摩公約（Stockholm Convention）》的規定限制 PFOA 之使用。

然而，中國大陸生態環境部（Ministry of Ecology and Environment，MEE）<sup>26</sup>在 2021 年 10 月宣佈將推出一項行動計畫，即《新污染物管理行動計畫（New Pollutant Management Action Plan）》，以管理尚未由現行法規納入管理之 28 種其他化學物質所帶來的風險。

尤其是，該行動計畫制定了法規，禁止和限制多種 PFAS。

實際上，該法律將自 2026 年 1 月 1 日起禁止生產、加工、使用、進口與出口 PFOS 和 PFHxS 以及其鹽類與 PFHxS 相關之化合物。

對更多 PFAS 的法規預計將成為未來幾年中國大陸立法者關注之焦點。

## 歐盟

在歐盟，化學物質的生產和使用受到 REACH（Registration，Evaluation，Authorisation and Restriction of Chemicals—化學品註冊、評估、授權和限制）之管制。

REACH 於 2007 年 6 月生效，要求所有在歐盟開展業務的公司每年對所有化學物質之生產、使用和進口量達到或超過 1 噸的情況進行登記。

REACH 之目標是：

- 保護環境和人類健康免於受到化學物質帶來之風險；
- 促進替代性測試方法和物質在歐盟內部市場的自由流通；以及
- 增強競爭力和創新能力。

依據 REACH，超過 200 種化學物質被列為高度關注化學物質（substances of very high concern，SVHC），且其使用受到了限制。

這些化學物質中有多種類型之 PFAS，包括：

- GenX<sup>27</sup>；
- 全氟丁磺酸（perfluorobutane sulfonic acid，PFBS）；以及
- 全氟己酸（perfluorohexanoic acid，PFHxA）。

---

<sup>26</sup> 生態環境部（Ministry of Ecology and Environment，MEE）是中國大陸政府之致力於保護中國大陸的空氣、土地和水免受污染之部門。

<sup>27</sup> GenX 是一項短鏈全氟烷基物質（PFAS），使用六氟環氧丙烷二聚酸（hexafluoropropylene oxide dimer acid，HFPO-DA）的銨鹽（ammonium salt）製造而成。它是由位於美國德拉瓦州 Wilmington 之化學品公司杜邦於 2009 年與美國環境保護署（Environmental Protection Agency，EPA）就逐步停止生產和使用 PFOA 進行談判後開發的，其可作為全氟辛酸（PFOA）之替代品。然而，後來發現 GenX 對免疫系統有不利影響，尤其是長時間接觸 GenX 會抑制白血球消滅病原體的能力。

在 2021 年 8 月，另外六種 PFAS—被稱為 C9-C14 全氟羧酸（perfluorocarboxylic acids，PFCA）—被列入 SVHC 清單中，即：

- 全氟癸酸（perfluorodecanoic acid，PFDA）；
- 全氟十二烷酸（perfluorododecanoic acid，PFDoDA）；
- 全氟壬酸（perfluorononanoic acid，PFNA）；
- 全氟十四烷酸（perfluorotetradecanoic acid，PFTeDA）；
- 全氟十三烷酸（perfluorotridecanoic acid，PFTrDA）；以及
- 全氟十一烷酸（perfluoroundecanoic acid，PFUnDA）。

清單中包含的 C9-C14 PFCA 被發現是 PFAS 生產過程中不可避免之副產品。

在某些情況下，這些物質被拿來作為全氟辛酸（PFOA）—一種長鏈 PFAS—的"令人遺憾之替代品"。

根據符合於《斯德哥爾摩公約》法規而制訂的《持久性有機污染物（Persistent Organic Pollutants，POP）》法規中之規定，限制在歐盟使用其他更高級別的 PFAS—即 PFOS 和 PFHxS。

在 2023 年 2 月，歐洲化學品管理局（European Chemicals Agency，ECHA）<sup>28</sup> 發佈了一項具里程碑意義之提案，全面限制 PFAS 的使用。

該提案為歐洲化學品立法提出了雄心勃勃之願景，其所設定的法規強度是前所未有的。

該提案於 2023 年 3 月 22 日向利害相關者提出，此舉措標誌著為期六個月之諮詢期的開始。

最終立法文件預計將於 2025 年發佈。

## 英國

在英國，化學物質之製造和使用受到英國 REACH（化學品註冊、評估、授權和限制）的管制，該法案於 2021 年 1 月 1 日生效，此前該國按照眾所周知之過程退出歐盟，如英國脫歐（Brexit）<sup>29</sup>。

英國 REACH 之建立是為減少與歐盟標準不一致的風險。

---

<sup>28</sup> 歐洲化學品管理局（European Chemicals Agency，ECHA）是一個歐盟機構，總部位於芬蘭赫爾辛基，負責管理 27 個歐盟成員國實施化學品立法。

<sup>29</sup> 英國脫歐（Brexit）一詞用於指自 1973 年 1 月 1 日以來即為成員之英國退出了歐盟。英國的成員資格於 2020 年 1 月 31 日格林威治標準時間（Greenwich Mean Time，GMT）23:00 正式結束，其後則是與歐盟協商簽訂貿易協定之前的過渡期。該過渡期於格林威治標準時間 2020 年 12 月 31 日 23:00 結束，貿易協定則於 2021 年 1 月 1 日開始生效。

然而，在 2021 年 12 月，英國環境、食品和農村事務部( Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra ) 宣佈打算開發一項

替代性模式來管制化學物質之製造和使用，以作為英國化學品策略的一部分。

Defra 打算使用該模式對尚未受英國 REACH 監管之其他類型的 PFAS 進行監管管理選項分析 (Regulatory Management Options Analysis, RMOA)，以確定進一步之限制條件。

儘管如此，英國退出歐盟後，人們仍然擔心英國政府是否有能力維持限制危險化學物質的全面監管系統。

## 美國

隨著公眾越來越關注 PFAS 對環境和人類健康之不利影響，美國政府由於據稱美國缺乏化學品法規而面臨嚴厲批評，尤其是未能採用斯德哥爾摩公約中所規定的法規。

此外，美國環境保護署 (Environmental Protection Agency, EPA) <sup>30</sup>為控制國內 PFAS 生產而採取的行動被一些人認為是膚淺且不充分的。

2006 年，EPA 邀請八家主要公司<sup>31</sup>參加一項名為"2010/2015 PFOA 管理計畫 (2010/2015 PFOA Stewardship Program)"的自願性計畫。

該計畫之目標是：

- 到 2010 年，達成 PFOA、易致毒化學品和相關化學品的排放量比 2000 年減少 95%；
- 到 2010 年，達成產品製造中使用之 PFOA、易致毒化學品和相關化學品的數量比 2000 年減少 95%；以及
- 到 2015 年，消除 PFOA、易致毒化學品和相關化學品之排放。

根據美國環境保護署表示，所有參與的企業皆達成該計畫之目標。

然而，該計畫因進展得還遠遠不夠而受到批評。尤其是，有人擔心該計畫僅只關注 PFOA 而已。

---

<sup>30</sup> 美國環境保護署 (Environmental Protection Agency, EPA) 是美國政府之獨立執行機構，負責環境保護事務。

<sup>31</sup> 參與"2010/2015 年 PFOA 管理計畫"之八家主要公司包括：3M，總部位於美國明尼蘇達州聖保羅的全球性工業製造公司；Arkema，總部位於法國 Colombes 之全球性化學品公司；旭化成 (Asahi Kasei)，總部位於日本東京的全球性化學品公司；BASF，總部位於德國 Ludwigshafen 之全球性化學品公司；Clariant，總部位於瑞士 Pratteln 的全球性化學品公司；大金 (Daikin)，總部位於美國明尼蘇達州 Minneapolis 之全球性工業製造公司；杜邦 (DuPont)，總部位於美國德拉瓦州 Wilmington 的全球性化學品公司；Solvay，總部位於比利時布魯塞爾之全球性化學品公司。

此外，有人擔心，該計畫允許參與企業在沒有 EPA 監管之情況下開發長鏈 PFAS 化學品的"令人遺憾之替代品"。

在對此提出強烈抗議後，EPA 於 2019 年 2 月宣佈，將開始針對約 300 種 PFAS 進行監管。

這包括了依據《綜合環境因應、補償和責任法案（Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act, CERCLA）》-也被稱為"超級基金（Superfund）"-將 PFOA 和 PFOS 指定為危險物質。

由於這項公告，EPA 於 2020 年 3 月提出第一項相關立法，規定了飲用水中兩種 PFAS 安全等級的最低要求。

然而，據說，川普政府（Trump administration）<sup>32</sup>在美國有毒物質和疾病登記署（Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR）<sup>33</sup>發佈一份令人震驚的報告後，已停止法律程序，該報告測量美國全國飲用水和家用產品中發現之 PFAS 對健康的影響。

針對該調查結果，川普政府的一名助理人員表示：「公眾、媒體和國會對這些數據之反應將是巨大的。」

「這對美國環境保護署和[美國]國防部（Department of Defense, DoD）將造成極其痛苦之影響。我們似乎無法讓 ATSDR 意識到這將成為潛在公關工作之噩夢。」

在 2021 年 1 月 20 日上台的拜登政府（Biden administration）<sup>34</sup>領導下，美國環境保護署恢復了對 PFAS 之監管工作。

因此，EPA 於 2021 年 3 月宣佈修訂 PFAS 製造商之排放污水和廢水標準之計畫，並於 2021 年 10 月發佈解決 PFAS 問題的定名為《PFAS 策略路線圖：2021~2024 年 EPA 之承諾行動（PFAS Strategic Roadmap: EPA's Commitments to Action 2021~2024）》"的全體機構任務（a whole-of-agency approach）"。

儘管取得了進展，美國現有製造商所生產和進口的 PFAS-包括 PFOA，以及含有 PFAS 之產品-仍然是合法的。

然而，想要在美國進行 PFOA 處理之新公司必須遵守《重大新使用規則（Significant New Use Rules, SNURs）》。

---

<sup>32</sup> 唐納德·川普（Donald Trump）於 2017 年 1 月 20 日就任美國總統，任期於 2021 年 1 月 20 日結束。

<sup>33</sup> 有毒物質和疾病登記署（Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR）是美國政府機構，總部位於美國喬治亞州亞特蘭大，專門致力於最大限度地減少與接觸有害物質相關之人類健康風險。

<sup>34</sup> 喬·拜登（Joe Biden）於 2021 年 1 月 20 日就任美國總統，任期預計於 2025 年 1 月 20 日結束。

尤其是，他們必須在 PFOA 進口、製造或加工開始前 90 天通知 EPA 其使用目的，以便 EPA 可進行審查並可能對任何此類物質之使用加以限制。

### 美國全州立法

因應美國對 PFAS 的監管有限，美國有些州正採取行動並透過全州立法（state-wide legislation）來限制 PFAS 之使用和製造<sup>35</sup>。

事實上，自 2018 年以來，與 PFAS 相關之州立法活動數量增加了一倍多。在 2018 年，州立法機構提出了 76 項與使用 PFAS 相關的法案和補充撥款，但到 2021 年，州立法機構審議了超過 196 項與使用 PFAS 相關之法案。

### 美國加州

在美國加州，議會法案（Assembly Bill）形式的「AB 1817 產品安全：紡織品：全氟烷基和多氟烷基物質(perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances, PFAS), AB 1817 Product safety: textile articles: perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances」立法於 2022 年 9 月獲得通過成為法律，並將於 2025 年 1 月 1 日生效。

該法律禁止任何人在加州製造、分銷、銷售或提供作為經銷任何新的、非先前擁有的含有受管制 PFAS 之紡織品。

此外，它還要求製造商在替換紡織品中受管制的 PFAS 時採用毒性最小的替代品。

還有，該法律要求紡織品製造商向在加州銷售或分銷產品之人員提供證明，證明其紡織品符合法律規定且不含任何受監管的 PFAS。

### 美國緬因州

在美國緬因州，立法文件（Legislative Document）LD 1503《制止全氟烷基和多氟烷基物質污染法案（LD 1503 An Act To Stop Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substance Pollution）》於 2021 年 7 月獲得通過成為法律。

該法律於 2023 年 1 月生效，禁止任何人在緬因州銷售或分銷任何含有 PFAS 之織物處理劑和住宅用地面覆蓋物—包括地毯和墊毯。

此外，該法律還要求含有 PFAS 之產品製造商向環境保護部門（Department of Environmental Protection）報告他們的產品中存在此類物質。

到 2030 年，該法律將擴大範圍，禁止銷售或分銷任何含有 PFAS 之產品，除非發現在產品製造中使用 PFAS 是不可避免的。

---

<sup>35</sup> 由美國各地環境衛生組織和聯盟組成的"更安全國家（Safer States）"團體提供了與全氟/多氟烷基物質（per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS）以及其他有毒化學品相關之州立法活動的全面解析。如欲了解進一步資訊，請瀏覽：<https://bit.ly/44DobZV>。

## 美國密西根州

美國密西根州於 2018 年 1 月通過了一項法律，規定了飲用水和地下水七種 PFAS 安全含量之最低要求。

該法律於 2020 年 8 月生效，要求對不符合最低要求的飲用水源進行淨化處理。

為確保遵守法律，成立了一個名為"密西根州 PFAS 行動響應小組(Michigan PFAS Action Response Team, MPART)"之多機構倡議 (multi-agency initiative)。

該 MPART 的目標是將代表了健康、環保之諮詢委員會和組織與州政府其他部門聚集在一起，以便：

- 調查 PFAS 污染來源和地點；
- 採取保護飲用水行動；以及
- 讓公眾了解情況。

密西根州之所以採取強有力的監管 PFAS 行動，很大程度上是由於當地居民在 2017 年對美國密西根州 Rockford 市一家工廠帶來之排放汗水引發的擔憂。

該工廠為也是位於 Rockford 之鞋類公司 Wolverine Worldwide 所有，該公司主要經營加工用於製造鞋類的皮革。

## 美國紐約州

在美國紐約，參議院法案 (Senate Bill) S6291A 修訂環境保護法之法案，涉及禁止在成衣中使用全氟烷基和多氟烷基物質，並於 2022 年 12 月獲得通過成為法律。

該法律將於 2023 年 12 月 31 日生效，禁止任何人在紐約銷售或提供經銷任何含有以 PFAS 作為添加化學物質的成衣產品。

同時，紐約正審議參議院法案 S5648，該法案提議禁止銷售某些含有 PFAS 的產品，即非可穿戴式 (non-wearable) 紡織產品、戶外成衣和個人防護裝備 (personal protective equipment, PPE)。

此外，該法案還建議含有 PFAS 之產品製造商必須向消費者公告這些產品中存在此類物質。

## 美國華盛頓州

在美國華盛頓州，生態部 (Department of Ecology, DoE) 正根據《華盛頓更安全產品法案 (Safer Products for Washington Act)》制定 PFAS 使用法規。

該法規的最終草案計劃於 2025 年完成，預計將適用於成衣、化妝品、個人防護裝備 (PPE)、密封劑和蠟狀物等製品中 PFAS 的使用。

## 美國其他州

在美國其他地方，包括明尼蘇達州、新罕布夏州、新澤西州、俄亥俄州和佛蒙特州在內的許多其他州皆起訴了 PFAS 製造商，聲稱它們威脅了環境和人類健康。

新墨西哥州甚至因該州美國空軍基地釋放 PFAS 造成污染而對聯邦政府提起法律訴訟。

## 品牌對全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 法規之回應

由於對全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 的擔憂以及全球對 PFAS 之法規日益嚴格，品牌面臨了採取行動以反對使用 PFAS 的巨大壓力。

此外，由於對 PFAS 有害影響之研究正加速進行，媒體對 PFAS 的負面報導不斷增加，公眾對含有 PFAS 之產品的看法也在日益惡化。

尤其是對於機能性成衣品牌來說，與 PFAS 相關的風險比其他品牌帶來之威脅更大。這是因為 PFAS 的不利影響與機能性成衣品牌標榜著健康生活方式和擁抱戶外之核心價值形成鮮明對比。

作為回應，許多機能性成衣品牌正採取自願性措施，完全禁止使用 PFAS。

此類品牌包括：

品牌	總部地點
adidas	德國 Herzogenaurach
Columbia Sportswear	美國俄勒岡州 Portland
Dick's Sporting Goods	美國賓夕法尼亞州 Coraopolis
Jack Wolfskin	德國 Idstein
lululemon sportsa (lululemon)	加拿大溫哥華
Patagonia	美國加州 Ventura
Peak Performance	瑞典 Stockholm
Puma	德國 Herzogenaurach
Vaude	德國 Tett nang

在機能性成衣產業之外，正採取自願性措施逐步淘汰 PFAS 的公司包括：

品牌	總部地點	備註
3M	美國明尼蘇達州 St Paul	PFAS 龍頭生產商
Benetton Group	義大利 Ponzano Veneto	成衣品牌
Esprit	香港	成衣品牌
H&M Group	瑞典斯德哥爾摩	零售商，旗下擁有 & Other Stories、Afound、Arket、COS、H&M、H&M HOME、Monki、Sellpy 和 Weekday 等品牌

Inditex	西班牙 Arteixo	旗下擁有多個全球性品牌，包括 Bershka、Massimo Dutti、Oysho、Pull&Bear、Stradivarius、Zara 和 Zara Home
IKEA	荷蘭 Delft	家居用品品牌
Levi Strauss & Co	美國加州舊金山	牛仔成衣品牌
Milliken & Company (Milliken)	美國南卡羅來納州 Spartanburg	化學品和紡織品製造商

同時，有些品牌正致力於開發符合法規但仍具有與 PFAS 相同機能性水準的替代性物質。然而，這是一項重大挑戰。

同時，還有少數但實力雄厚之品牌繼續積極挑戰 PFAS 的法規，他們認為 PFAS 在其產品製造中至關重要。

例如，W L Gore & Associates—位於美國德拉瓦州 Newark 之材料科學公司，也是使用 PFAS 為基材的防水多微孔薄膜之開發者—反對於 2022 年 2 月在美國馬里蘭州限制使用 PFAS 的立法進程，儘管該公司已於 2017 年承諾在 2023 年底自其消費織物產品系列中消除 PFAS<sup>36</sup>。

根據報道，該公司爭辯了擬議立法中對 PFAS 的定義過於寬泛，並不應包含聚四氟乙烯（polytetrafluoroethylene，PTFE）。

事實上，PTFE 是製造該公司原創 Gore-Tex 防水多微孔薄膜的重要成分。

值得注意的是，該公司在美國馬里蘭州 Elkton 經營一家名為 Cherry Hill 之工廠，據報導該工廠採用全氟辛酸銨（ammonium pentadecafluorooctanoate，APFO）為基材的水分散物（aqueous dispersions）和以 PTFE 為基材之粉末來生產薄膜和其他消費品。

至關重要的是，APFO 是全氟辛酸（PFOA）的銨鹽（ammonium salt），它是一種長鏈 PFAS，其對環境和人類健康之不利影響已得到充分證實。

## 全氟/多氟烷基物質（PFAS）替代性產品之創新和開發

各品牌面臨逐步停止使用全氟/多氟烷基物質（PFAS）的壓力，導致 PFAS 替代性化學品和使用 PFAS 製造之替代性材料的研發（research and development, R&D）加快腳步了。

<sup>36</sup> 2022 年 1 月，W L Gore & Associates 宣佈，由於產品開發和規模化方面面臨挑戰，該公司將無法實現到 2023 年底從其消費織物產品系列中消除全氟/多氟烷基物質（PFAS）之目標。然而，該公司確實相信，到 2025 年底，它有望從其絕大多數消費品系列中消除 PFAS。

## 全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 之替代性化學品

目前正大力投資開發全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 的替代性化學品，並且主要集中在如下四類關鍵物質上之研究：

- 碳氫化合物 (hydrocarbons)；
- 奈米材料 (nanomaterials)；
- 矽膠 (silicone)；以及
- 石蠟 (paraffins)。

這是因為這些物質的防水性水準與 PFAS 相當，因此顯示在耐久防潑水 (DWR) 加工整理劑、表面處理劑和薄膜等應用中之潛力。

以**碳氫化合物 (hydrocarbons)** 為例，有些品牌聲稱在使用該化學物質開發 DWR 材料時已達超疏水機能性 (superhydrophobic performance)。

然而，與碳氫化合物相關的危害尚未被完全了解。

事實上，不能普遍認為替代性化學品對人類健康和環境之危害比它們打算取代的 PFAS 更小，而且品牌因使用不太經過驗證之化學品而面臨聲譽風險，這些化學品可能被認為是"令人遺憾之替代品"。

例如，一些碳氫化合物被發現會對環境造成危害，尤其是當它們與其他物質—例如溶劑和添加劑—結合使用時，這些物質本身就被認為是具有危險性的。

同樣的，人們對**奈米材料 (nanomaterials)** 也存在擔憂。尤其是，讓奈米材料產生功用之特性也可能導致某些奈米材料對環境和人類健康造成危害。

例如，一些奈米材料的高耐久性和高反應性引發了與其在環境中之持久性相關之問題。

此外，吸入的奈米材料也可能會滯留或散佈於人類肺部裡。

同樣的，一些進入體內之奈米材料被懷疑能穿透細胞膜或穿過腦血管屏障 (blood-brain barrier)。

此外，人們普遍認為奈米材料將成為未來幾年全球立法者關注的焦點，而該領域之法規很可能會加強。

相同的，**矽膠 (silicone)** 也已確定會成為立法者未來關注之焦點。

這是因為用於製造矽膠的如下現有前驅物 (precursors) 之風險已被確定：

- 八甲基環四矽氧烷 (octamethylcyclotetrasiloxane, D4)；
- 十甲基環五矽氧烷 (decamethylcyclopentasiloxane, D5)；以及
- 十二甲基環六矽氧烷 (dodecamethylcyclohexasiloxane, D6)。

例如，含有矽膠前驅物的排放汙水已被發現對水生生物有害。

此外，D4 被懷疑足以損害人類之生育能力，而 D5 則被懷疑具有潛在的致癌性。

除了與可用來作為 PFAS 替代品之化學品相關的危害之外，這些替代性化學品中只有少數已被證明能提供與 PFAS 相抗衡所需的防乙醇性 (alcohol repellency) 和防油性水準。

此外，只有少數替代性化學品被發現可提供有效之抗磨損和抗染污防護。

例如，僅使用石蠟 (paraffins) 製成的 DWR 材料無法達到使用 PFAS 製成之 DWR 材料所提供的機能性等級。

更具體地說，石蠟並不耐用，因為它們在清潔過程中容易溶解，並且隨著穿戴時間之推移而磨損。

此外，石蠟往往會限制其所應用的織物之透氣性。因此，使用該織物製成的成衣在長時間穿著時可能會感覺不舒適。

就醫療用紡織品方面而言，保護人類生命之標準需要具備特定的機能性水準，而如果不使用 PFAS 就很難達到。

同樣的，如果不使用 PFAS，幾乎不可能滿足美國國家消防協會 (National Fire Protection Association, NFPA)<sup>37</sup> 制定的消防員和其他緊急應變人員防護服的性能標準。

因此，似乎需要對 PFAS 之創新替代品的研發進行大量投資，而品牌必須迅速採取行動，否則將面臨法規挑戰和聲譽受損之風險。

### 替代性耐久防潑水 (DWR) 加工整理劑和表面處理劑

有數家公司一直在致力於開發多種非氟化 (non-fluorinated) 替代品，來取代使用以 PFAS 為基材 的耐久防潑水 (DWR) 加工整理劑和表面處理劑。

在替代性方案之開發中，最引人矚目的是：

- 3XDRY Bio，來自 Schoeller Textil；
- Altopel F3，來自 Bolger & O'Hearn；
- ecorepel，來自 Schoeller Textil；
- Nanotex Aquapel，來自 Nanotex；
- Shell-Tech，來自 Bolger & O'Hearn；以及
- Smartrepel Hydro，來自 Archroma。

---

<sup>37</sup> 美國國家消防協會 (National Fire Protection Association, NFPA) 是位於美國麻薩諸塞州 Quincy 之非營利組織，其目的是為了消除火災、電氣危險及相關危險所造成的死亡或受傷、財產損失和經濟損失。

### 3XDRY Bio : Schoeller Textil

3XDRY Bio 是一項耐久防潑水 (DWR) 加工整理劑，為 Schoeller Textil 所生產。Schoeller Textil 是位於瑞士 Sevelen 之紡織品製造商，專業自事創新紡織品和紡織技術的開發。

該加工整理劑採用仿生 (biomimetic)<sup>38</sup>設計，其目的是為複製植物葉子外表面之防護性蠟膜。

該薄膜也被稱為植物角質層 (plant cuticle)，包含了角質和多種具有疏水特性 (hydrophobic properties) 之脂質 (lipids)。

該薄膜的主要功能是控制葉子表面之水分蒸發，同時又防止水分子自葉子表面滲透進去。

此外，該薄膜被認為在控制葉子表面微生物的存在方面發揮了重要作用。

與該薄膜一樣，3XDRY Bio 能控制其所塗覆之織物表面的水分。此外，它還可防水性污垢並防止污漬。

然而，重要的是，該整理劑不會影響其所應用之織物的透氣性。

該整理劑含括兩項關鍵技術。一項是疏水性的，而另一項是親水性的 (hydrophilic)<sup>39</sup>。

其疏水性技術應用於織物之外表面，能防潑濕氣。例如，與織物外表面接觸的水分子會匯集成水滴並流走。

同時，其親水性技術應用於織物之內表面，能吸收濕氣並將其芯吸到織物的外表面而使水分蒸發掉。

在成衣應用中，經過 3XDRY Bio 整理之織物有助調節穿著者的溫度並提高舒適度，尤其是因為它們可防止水分積聚在皮膚上。例如，這在運動期間特別重要。

因此，經過 3XDRY Bio 整理之織物最適合用於製造：

- 健身運動服；
- 戶外成衣；
- 運動服；以及
- 工作服。

根據 Schoeller Textil 表示，採用該整理劑的織物是：

- 可機洗的；
- 適用於工業洗滌的；以及
- 快速乾燥的。

---

<sup>38</sup> 仿生學 (biomimetics) 被定義為對自然及其元素、過程和系統的研究，其目的是模仿和調適它們或從它們當中獲得靈感，以創造日常問題之解決方案。

<sup>39</sup> 親水性 (hydrophilicity) 是用來描述材料之吸水傾向性的術語。

據稱，該整理劑之疏水特性和親水特性可在 40°C 溫度下承受多達 50 次家庭洗滌週期，並且它們可透過熨燙或機器乾燥等熱處理來恢復功能。

3XDRY Bio 不含 PFAS，與 Schoeller Textil 最原始的 3XDRY 整理劑不同，3XDRY 整理劑是使用含六個碳原子鏈或 C6 化學品之全氟/多氟烷基物質（PFAS）製成的。

更具體地說，3XDRY Bio 是使用農產品形式之"可再生初級產品（renewable primary products）"製造而成的。

該加工整理劑經認證符合藍標系統（bluesign system）<sup>40</sup>，因此而可被認為對人類和環境安全。

該整理劑可自 Schoeller Textil 之分銷合作夥伴 Huntsman Textile Effects<sup>41</sup>—總部位於新加坡，開發並授權使用化學品、數位油墨和染料的公司—獲得授權使用。

已授權 3XDRY Bio 使用於製造其產品的品牌包括：

- Theory<sup>42</sup>，總部位於美國紐約州紐約市之當代成衣（contemporary apparel）品牌；以及
- Tilley，總部位於加拿大多倫多之戶外成衣品牌。

### **Altopel F3 : Bolger & O'Hearn**

Altopel F3 是 Bolger & O'Hearn—位於美國馬薩諸塞州 Fall River 之特種化學品製造商，專業為不織布、造紙和紡織產業提供服務—所生產的耐久防潑水（DWR）整理劑。

該整理劑最適合用於製造機能性成衣，包括運動服和戶外成衣。

Altopel F3 賦予織物防水性和耐磨性。

同時，它的存在不會影響織物之透氣性或觸感。

在使用了 100% 尼龍和 100% 聚酯製成的織物方面，據稱其整理劑功能可承受多達 50 次家庭洗滌週期。而在棉質織物方面，據說其整理劑功能可承受 20 至 30 次家庭洗滌週期。

---

<sup>40</sup> 藍標系統（bluesign system）是由瑞士機構藍標科技公司（bluesign technologies）開發的，其為整個紡織供應鏈——從原材料供應到零售分銷——訂定了環境、健康和 safety（environmental、health and safety，EHS）之標準。它保證在生產鏈中使用之所有元件和製程對人類和環境都是安全的。

<sup>41</sup> 2023 年 2 月 28 日，Archroma—總部位於瑞士 Pratteln，專業生產特殊化學品之公司—從 Huntsman Corporation 收購了 Huntsman Textile Effects。

<sup>42</sup> Theory 隸屬於 Fast Retailing—總部位於日本的成衣公司，該公司還擁有 Comptoir des Cottonniers、GU、Helmut Lang、J Brand、PLST、Princesse tam.tam、Theory Luxe 和 Uniqlo 等品牌。

該整理劑不含 PFAS，並使用"水基系統（water-based system）"製造而成。Bolger & O'Hearn 資深技術經理 Frank Keohan 表示：「植物材料在[該加工整理劑]重量成分中佔了很大之比例。」

與使用了 PFAS 製成的 DWR 加工整理劑不同，Altopel F3 被認為對人類和環境安全，經認證符合藍色標誌系統。

在其產品製造中使用該整理劑之品牌包括 Polartec<sup>43</sup>—總部位於美國馬薩諸塞州 Andover 的機能性成衣和紡織品品牌。

### **ecorepel : Schoeller Textil**

ecorepel 是 Schoeller Textil 生產的防潑水整理劑。

此整理劑最適合用於製造機能性成衣，包括戶外成衣和運動服。

ecorepel 賦予織物耐磨性、防污性和防水性。

同時，它的存在不會影響織物之透氣性或觸感。

此外，該整理劑之功能是永久性的，可在整理劑之整個使用壽命期間內承受嚴重磨損和高達 40°C 溫度下的頻繁洗滌。

根據 Schoeller Textil 表示，採用該整理劑之織物可機洗，以及適用於專業濕式洗滌。

然而，它們不適用於乾式清洗。

與該公司的 3XDRY Bio 加工整理劑一樣，ecorepel 也是仿生的，因為它的目的也是在複製植物葉子外表面之防護性蠟膜。

該加工整理劑由兩個關鍵組分製成，即：

- 石蠟和三聚氰胺樹脂（melamine resin）之分散體；以及
- 聚異氰酸酯（polyisocyanates）<sup>44</sup>之分散體。

施加了該整理劑的織物中之纖維會被石蠟鏈塗覆，因此而產生細緻的薄膜。

該石蠟鏈具有螺旋結構，其可：

- 降低織物之表面張力；以及
- 防止水滴滲透織物表面。

與使用 PFAS 製成的加工整理劑不同，根據經濟合作暨發展組織（Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD）固有生物降解性測試方法 302B：

---

<sup>43</sup> Polartec 隸屬於 Milliken & Company (Milliken)—總部位於美國南卡羅來納州 Spartanburg 之紡織品和化學品龍頭供應商。

<sup>44</sup> 聚異氰酸酯（polyisocyanates）是交聯劑（cross-linkers），常用於製造功能性黏合劑、塗料和密封劑，用途廣泛，包括成衣、汽車零組件、家具和工業零組件。

Zahn-Wellens/EMPA 測試 ( Test Method 302B for Inherent Biodegradability : Zahn-Wellens/EMPA Test ) , ecorepel 被認為具有 80% 至 100% 之可生物降解性。

事實上，該加工整理劑經過認證，符合藍標(bluesign)系統，因此而被認為對人類和環境是安全的。

### **Nanotex Aquapel : Nanotex**

Nanotex Aquapel 是 Nanotex<sup>45</sup>—總部位於美國密西根州 Bloomfield Hills，專業自事奈米技術之紡織品製造商—生產的防潑水處理劑。

該處理劑適用於製造：

- 成衣；
- 健身運動服；
- 家用紡織品；
- 戶外成衣；以及
- 工作服。

施加該處理劑的織物具有防污和防水功能。

同時，它不會影響織物之透氣性或觸感。

該處理劑被設計為仿生的，因為它複製了水生鳥類羽毛之疏水特性。

尤其是，該鳥類羽毛是使用具奈米級紋理凹槽的樹枝狀微觀結構製成的。

因此，與該羽毛接觸之水分子無法滲入羽毛。

相對的，與該羽毛接觸的水分子會形成水珠並流走。

相較之下，Nanotex Aquapel 含有奈米級"晶須 ( whiskers ) "，能降低經過處理織物之表面張力。

透過這種方式，與織物接觸的水滴在織物之表面上會形成水珠並流走。

該處理劑的防水性已依據美國紡織化學和染色協會 ( American Association of Textile Chemists and Colorists , AATCC )<sup>46</sup>防水性測試方法 22 : 噴霧測試和 AATCC 水性液體防水性測試方法 193 : 耐水/醇溶液性( Test Method 22 for Water Repellency: Spray Test and AATCC Test Method 193 for Aqueous Liquid Repellency : Water/Alcohol Solution Resistance ) 得到證明。

---

<sup>45</sup> Nanotex 隸屬於 Crypton—總部位於美國密西根州 Bloomfield Hills 之功能性織物製造商。

<sup>46</sup> 美國紡織化學和染色協會 ( American Association of Textile Chemists and Colorists , AATCC ) 是一個非營利協會，總部位於美國北卡羅來納州三角科技園區 ( Research Triangle Park )，為紡織業專業人士提供服務。

### **Shell-Tech : Bolger & O'Hearn**

Shell-Tech 是 Bolger & O'Hearn 生產的耐久防潑水（DWR）整理劑。

此整理劑適用於多種應用，包括家用紡織品、戶外用紡織品、機能性成衣、個人防護裝備（PPE）和產業用紡織品。

該整理劑會賦予其所應用之織物防水性和防污性。

同時，它不會影響織物的透氣性、懸垂性、舒適性或觸感。

此外，經過 Shell-Tech 整理之織物即使在經過 50 次家庭洗滌週期後仍能保持其防水性和防污性。

在許多情況下，經過 Shell-Tech 整理的織物之防水性永遠保持不變。

此整理劑不含 PFAS，並採用"水基系統（water-based system）"製造而成。

但值得注意的是，據說它的機能性比其他不使用 PFAS 製成之 DWR 加工整理劑要好得多。

此外，它的機能性水準與使用含有六個碳原子鏈—也被稱為 C6 化學品—之全氟/多氟烷基物質（PFAS）製成的加工整理劑相同。

相較其他不含 PFAS 之 DWR 整理劑，它可使用較少的整理劑來達到所需之機能性等級。

還有，與其他不含 PFAS 的 DWR 整理劑不同，它施工過程不需要高溫。

因此，該整理劑不太可能損害所應用織物之色彩、外形穩定性（dimensional stability）和觸感。

### **Smartrepel Hydro : Archroma**

Smartrepel Hydro 是 Archroma<sup>47</sup>生產的一系列耐久防潑水（DWR）整理劑，Archroma 是總部位於瑞士 Pratteln 之特種化學品製造商，為建築、不織布、包裝、造紙、個人護理和紡織品等多個產業提供服務。

該系列含括如下六種加工整理劑：

- Smartrepel Hydro CMD；
- Smartrepel Hydro LDS；
- Smartrepel Hydro PM；
- Smartrepel Hydro SPK；
- Smartrepel Hydro SR；以及
- Smartrepel Hydro TS。

**Smartrepel Hydro CMD** 適用於芳香族聚醯胺（aramids）、纖維素製品（cellulosics）、彈性纖維、尼龍和羊毛等製成之織物。

---

<sup>47</sup> Archroma 是全氟/多氟烷基物質（PFAS）的龍頭生產商。

施用該整理劑的織物可用於製造：

- 成衣；
- 家用紡織品；以及
- 工作服。

**Smartrepel Hydro LDS** 適用於芳香族聚醯胺、玻璃纖維、尼龍、聚酯和羊毛製成之織物。

施用該整理劑的織物可用於製造：

- 健身運動服；
- 成衣；
- 運動服；
- 產業用紡織品；以及
- 工作服。

**Smartrepel Hydro PM** 適用於纖維素製品、尼龍和聚酯製成之織物。

施用該整理劑的織物可用於製造：

- 成衣；以及
- 工作服。

**Smartrepel Hydro SPK** 適用於尼龍和聚酯製成之織物。

施用該整理劑的織物可用於製造：

- 汽車用紡織品；以及
- 鞋類。

**Smartrepel Hydro SR** 適用於纖維素製品和聚酯製成之織物。

施用該整理劑的織物可用於製造：

- 汽車用紡織品；以及
- 家用紡織品。

**Smartrepel Hydro TS** 適用於聚氨酯（polyurethane，PU）皮革，以及尼龍和聚酯製成之織物。

施用該整理劑的織物可用於製造：

- 健身運動服；
- 成衣；
- 家用紡織品；
- 戶外用紡織品；
- 運動服；以及
- 工作服。

該系列中之所有六種整理劑皆賦予其所應用的織物防水性、耐磨性、抗紫外線（ultraviolet，UV）和柔軟觸感。

同時，它們不會影響織物之透氣性。

該整理劑的防水性已依據美國紡織化學和染色協會（AATCC）防水性測試方法 22：噴霧測試（Test Method 22 for Water Repellency：Spray Test）得到證明。

此外，事實證明，經過 20 次家庭洗滌後，採用此整理劑之織物仍能保持其防水性。

還有，可能已磨損的機能性可透過熱處理—例如：熨燙，或機器烘乾—來復原。

此系列中之所有加工整理劑均不含 PFAS，並且根據經濟合作暨發展組織（OECD）制定的測試方法，它們具有"高度（highly）"生物降解性。

這些加工整理劑被認為對人類和環境非常安全，因此經認證符合藍標(bluesign)系統，以及 ZDHC 製造限用物質清單（ZDHC Manufacturing Restricted Substances List，ZDHC MRSL）<sup>48</sup>。

此整理劑可單獨使用，也可與交聯劑和潤濕劑結合使用，以作為多種"耐久防潑水系統（durable water repellent systems）"之組分。

該系統提供的機能性水準優於單獨加工整理劑所提供之機能性水準。

該系統含括：

- Power Cotton x Rain Away，適用於棉質成衣；
- Rain Away，適用於戶外成衣及裝備；
- Safe Seats NextGen，適用於汽車用紡織品和家用紡織品；
- Soft Shield，適用於成衣；以及
- Wick Stop，適用於鞋類。

例如，就 Rain Away 系統而言，Smartrepel Hydro CMD 或 Smartrepel Hydro TS 可與名為 Arkophob DAN 的交聯劑組合。

Arkophob DAN 採用多種直鏈式的（linear）和支鏈式的（branched）碳氫聚合物（hydrocarbon polymers）製造而成。

當 Rain Away 系統應用於織物時，施於製造該系統之成分組合會在織物表面形成一層類似於脂肪膜或蠟膜的薄膜。

據說該系統之機能性水準與使用 PFAS 製成的加工整理劑相當。

---

<sup>48</sup> ZDHC 製造限制物質清單(ZDHC Manufacturing Restricted Substances List，ZDHC MRSL) 是禁止在紡織品、皮革和鞋類製造中有意使用之化學物質清單。此清單由 ZDHC 基金會（ZDHC Foundation）零排放計畫路線圖（Roadmap to Zero Programme）監督。該零排放計畫路線圖涉及 150 多個簽約品牌、價值鏈附屬公司和聯營公司的合作，其目的在消除其供應鏈中危險化學品之使用並減少產業的化學品足跡。

## 替代性耐久防潑水 (DWR) 薄膜

就耐久防潑水 (DWR) 薄膜而言，有些公司正致力於開發以 PFAS 為基材之 DWR 薄膜的非氟化替代性產品。在該開發之替代性方案中，最引人矚目的有：

- dimpora eco pur 薄膜，來自 dimpora；
- Gore-Tex ePE，來自 W L Gore & Associates；以及
- sane 薄膜，來自 dimpora。

### dimpora eco pur 薄膜：dimpora

dimpora eco pur 薄膜是 dimpora—總部位於瑞士蘇黎世，專業生產用於戶外成衣應用商品之機能性薄膜的公司—所生產之防水透氣薄膜。

該薄膜不含 PFAS，並使用以聚氨酯 (PU) 聚合物為基材的液體組合物來生產。

將該組合物施加到礦物基 (mineral-based) 模板上並固化。

然後將所得薄膜自模板上脫離，以讓薄膜表面上的微孔顯露出來。

於此階段，可將薄膜黏合到織物基材上以形成貼合材料。

dimpora 生產如下多種結構之貼合板：

- 2 層貼合板；
- 2.5 層貼合板；以及
- 3 層貼合板。

其薄膜表面的微孔有利於透氣和吸濕排汗。

尤其是，它們使得水分能自薄膜之內表面傳送到薄膜的外表面，並在那裡將水分蒸發掉。同時，該微孔可防止水蒸氣分子形式之水分自薄膜表面滲透進去。

該薄膜不會影響其所應用的成衣之舒適度或彈性。

事實上，dimpora eco pur 薄膜與 dimpora 生產的其他薄膜不同，它本身具固有彈性，因此有利於活動自如。

根據 dimpora 表示，該薄膜之機能性與使用全氟/多氟烷基物質 (PFAS) 製成的薄膜相當，甚至更好。

在其產品製造中使用這種薄膜之品牌包括 Rotauf，它是總部位於瑞士 Chur 的機能性成衣品牌。

### Gore-Tex ePE：W L Gore & Associates

Gore-Tex ePE 是一種防水透氣薄膜，為總部位於美國德拉瓦州 Newark 之材料科學公司 W L Gore & Associates 所生產。

該薄膜最適合用於製造機能性成衣，包括戶外成衣、機能性鞋類和運動服。

該薄膜是 W L Gore & Associates 首款不含 PFAS 的薄膜產品。

該產品之開發是其公司致力於 2023 年底前自其產品系列中消除 PFAS 的結果。

該薄膜之開發是利用了數十年生產膨體聚四氟乙烯（ePTFE）的經驗而得以實現的，這些膨體聚四氟乙烯用於製造透氣和防水薄膜。

作為開發過程之一部分，該公司於 2017 年與位於美國加州柏克萊的加州大學之研究人員合作，針對使用 PFAS 製造的 DWR 材料問題找到了"更環保之解決方案（greener solutions）"。

此次合作的目標是生產以 PFAS 之替代性材料為基材的 DWR 材料，該材料是：

- 耐久的；
- 疏水性的；
- 疏油性的；以及
- 可洗滌的。

研究人員得出結論，認為最適用於生產之 DWR 材料是經過塗層整理的電紡奈米纖維網狀膜（spun nanofibre mat）。

該公司發現最適用於生產該薄膜之塗層是使用了二甲基二甲氧基矽烷（dimethyldimethoxysilane，DMDMS）製造而成。

最終，W L Gore & Associates 並沒有繼續進行該織物之商業規模生產。

然而，在接下來的幾年裡，該公司在 Gore-Tex ePE 之設計中採用了該奈米織物設計的原理。

例如，該悶光織物被設計為是仿生的，因為它複製了銀葉菊（silver ragwort）之葉片的超疏水特性。

該銀葉菊葉片具有分層之微米和奈米結構，由直徑 6 微米的纖維網路組成。每根纖維之表面皆有粗糙的紋理。

相較之下，Gore-Tex ePE 則是使用含有發泡聚乙烯（expanded polyethylene，ePE）之多微孔聚合物以支架型式製造而成的。

該微孔可防止水滴和水分子形式之濕氣滲透到薄膜表面。

該薄膜透氣、重量輕、堅固且防風。

此外，據說它與 W L Gore & Associates 使用 ePTFE 製造的其他薄膜一樣耐用。

然而，它大約只有那些薄膜平均厚度之一半。

還有，它被認為對人類和環境非常安全，因此被認證為符合藍標(bluesign)系統和 Standard 100 by Oeko-Tex<sup>49</sup>。

在其產品製造中使用該薄膜之品牌包括：

---

<sup>49</sup> Standard 100 by Oeko-Tex 認證產品不含有害物質。該標準可用於測試在生產過程之任何階段之原材料、中間產品和最終用途產品。

- Arc'teryx，總部位於加拿大溫哥華之戶外成衣和戶外裝備品牌；
- Dakine，總部位於美國俄勒岡州 Hood River 之運動成衣品牌；
- Mammut，總部位於瑞士 Seon 之戶外成衣品牌；
- Reusch，總部位於義大利 Bolzano 之機能性配件和裝備品牌；以及
- Salomon，總部位於法國 Épagny Metz-Tessy 之戶外成衣品牌。

### **sane 薄膜：dimpora**

sane 薄膜是 dimpora 生產的防水透氣薄膜。

它最適合用於製造戶外成衣。

該薄膜不含 PFAS，是採用以聚丙烯（polypropylene，PP）聚合物為基材之液體組合物來生產的。

將該組合物施加到礦物基模板上並固化。

然後將所得薄膜自模板上脫離，以讓薄膜表面上的微孔顯露出來。

該微孔有利於透氣和吸濕排汗。尤其是，它們使得水分能自薄膜內表面輸送到薄膜的表面，水分可在那裡蒸發掉。

同時，該微孔還可防止水分子形式之濕氣滲透到薄膜表面。

dimpora 表示，即使在最極端的天氣條件下功效也是如此。

該薄膜被認為具有高水準之機能性，並且對人類和環境安全，因此榮獲 H&M Foundation<sup>50</sup>頒發的全球變革獎（Global Change Award，GCA）。H&M Foundation 是位於瑞典斯德哥爾摩之非營利組織，該組織"支持為全球最緊急的問題制定解決方案（supports the development of solutions to the world's most urgent problems）"。

該基金會表示，這款薄膜代表了紡織和成衣業的"突破性材料（breakthrough material）"。

### **其他替代性材料**

除了開發替代性耐久防潑水（DWR）處理和加工整理劑和 DWR 薄膜外，還有部份公司致力開發其他 PFAS 基材之替代品，例如不含 PFAS（PFAS-free）的機能性織物。

舉例來說，Polartec—位於美國麻薩諸塞州 Andover 的機能性成衣和紡織品品牌—開發了不含 PFAS 之名為 Power Shield 的防水透氣層壓織物。

該織物由三層組成，分別為：

---

<sup>50</sup> H&M Foundation 隸屬於總部位於瑞典斯德哥爾摩之 H&M 集團，旗下擁有 & Other Stories、Afound、ARKET、COS、H&M、H&M HOME、Monki、Sellpy 和 Weekday 等多個品牌。H&M 基金會由 H&M 集團創辦人兼大股東 Stefan Persson 家族私人資助。

- 基礎層；
- 單片薄膜（monolithic membrane）<sup>51</sup>形式之中間層；以及
- 外層。

該整體膜採用 48%的生物基材料製成，該材料源自非基因改造（non-genetically modified, non-GMO）和非食品源植物材料。

根據 Polartec 表示，這些植物材料是採用可再生和可永續發展之方式種植的。

此外，該薄膜是在被認為採用負責任和安全流程之工廠製造的，因此，它被認證為符合藍標(bluesign)系統。

與用於製造防水透氣織物之其他薄膜不同，Power Shield 中使用的薄膜不採用微孔來促進吸濕排汗。

相反的，該薄膜使水蒸氣分子形式之水分能以分子等級穿透過其表面而擴散出去—自薄膜的內表面傳送到薄膜之表面。

同時，該薄膜可防止水滴滲透其表面。

根據 Polartec 表示，該薄膜的機能性水準優於使用膨體聚四氟乙烯（ePTFE）和聚氨酯（polyurethane, PU）製成的薄膜。

此外，該薄膜優於其他不含 PFAS 之薄膜，因為它能承受長時間的拉伸、洗滌和磨損。

事實上，Polartec 認為該薄膜提供之機能性水準"完全是前所未有的（totally unprecedented）"。

由於該薄膜提供之機能性強度，Power Shield 織物在極端條件下表現得特別好。

例如，對織物進行的測試顯示其具有 20,000g/m<sup>2</sup>/24h 之透濕率（moisture vapour transmission rate, MVTR）<sup>52</sup>。

此外，此織物可承受 20,000 毫米以上的靜水壓力（hydrostatic pressure）<sup>53</sup>。

---

<sup>51</sup> 單片薄膜（monolithic membrane）採用細薄的不滲透層（impermeable layer）樣式，其可以透過芯吸作用將水分快速從織物之內部排到織物外部。

<sup>52</sup> 透濕率（moisture vapour transmission rate, MVTR）是指材料在給定時間內允許濕氣穿透過其外表面之速率。在本文中，MVTR 被定義為在 24 小時內穿透過 1 平方公尺薄膜的以公克為單位之水蒸氣量。MVTR 越高，逸出的濕氣量越大。Power Shield 之 MVTR 是根據日本工業標準（Japanese Industrial Standards, JIS）L 1099 紡織品水蒸氣滲透性測試方法（L 1099 test method for water vapour permeability of textiles）進行測試的。

<sup>53</sup> 靜水壓力（hydrostatic pressure）是施加在材料上之壓力，以等效水柱的高度表示。由於施加之壓力僅由水柱的高度決定，因此可以使用該數字來量化材料之防水程度。例如，能承受一公尺靜水壓力的薄膜將阻止水通過，直到水之壓力超過該值。Power Shield 的耐靜水壓性能依照國際標準化組織（International Organization for Standardization, ISO）測試方法 811：2018 紡織品—耐水滲透性之測試—靜水壓測試（test method 811：2018 Textiles—Determination of resistance to water penetration—Hydrostatic pressure test）進行測試。

在其產品製造中使用該織物的品牌包括：

- Foehn Clothing，總部位於加拿大魁北克之產業用成衣品牌；
- Halfdays，總部位於美國科羅拉多州丹佛市之滑雪服品牌；
- The North Face<sup>54</sup>，總部位於美國科羅拉多州丹佛市之戶外成衣品牌；以及
- Patagonia，總部位於美國加州Ventura之戶外成衣品牌。

---

<sup>54</sup> The North Face 隸屬於 VF Corporation—總部位於美國科羅拉多州丹佛市的成衣公司，旗下經營多個品牌，包括 Dickies、Timberland 和 Vans。