



全球全氟/多氟烷基化合物 (PFAS) 问题： 无氟替代解决方案

消防泡沫液和其它来源：走向无氟化

国际消除持久性有机污染物网络 (IPEN) 专家小组
《斯德哥尔摩公约》第九次缔约方会议 (COP9)
日内瓦

2019年4-5月



a toxics-free future

摘要

氟化有机化合物(PFAS)广泛应用于许多工业以及家庭应用，包括纺织品、食品包装、染色和耐油处理、工业生产和灭火泡沫。相对而言，引人注目的分散灭火泡沫的使用约占全球总产量的三分之一，而其他三分之二的泡沫类型在使用和作为终端废物过程中，因为其使用过程中不那么明显和扩散导致其不太可能被释放。

现在非持久性产品可适用于氟化有机化合物 (PFAS)，从而得以污染控制。比如含有PFAS的消防泡沫，它是PFAS污染的一个主要来源，可以很容易过渡到新型更有效的非持久性产品的应用。

目前生产的无氟灭火泡沫塑料(F3)在许多应用中都是水成膜泡沫塑料(AFFF、FFFP、FP)的可行替代品。使用无氟灭火泡沫塑料(F3)可以避免昂贵的法律诉讼、监管起诉、违反许可证条件、清理和补救所带来的社会经济影响和财政负担。

持久性泡沫塑料和非持久性泡沫塑料之间的任何操作差异现在都可以通过适当的培训消除掉。2018年9月在罗马粮农组织总部举行的第14届斯德哥尔摩公约持久性有机污染物审查委员会会议上发表的白皮书以详细的参数支持了这一观点，并且在POPRC-14全体会议期间做特邀报告。

对于许多最终用户来说，讨论是否从传统的消防泡沫转向无氟灭火泡沫不再是关于“泡沫‘A’是否比泡沫‘B’更有效？”。在实际应用中，对事故的操作使用和采购过程中的调查已毫无疑问地证明，在许多情况下，无氟泡沫塑料的性能与AFFF一样好，而且还在不断改进。这使终端用户更多的考虑如果继续使用氟化泡沫更不改用F3产品的话，我们将承担多少额外的风险，费用以及潜在的因为使用氟化泡沫污染造成的责任。

泡沫塑料的选择和使用决策现在已经和商务决策融合，正确和全面的成本效益分析，包括业务持久性、避免声誉损害、限制补救和第三方损害成本的能力。人们已经认识到，灭火泡沫的实际寿命成本不能仅仅以购买泡沫浓缩液的原始成本为基础。

POPRC-14 IPEN峰会上发表的“无氟灭火泡沫塑料(3F)替代氟化成膜泡沫塑料(AFFF)的可行方案”白皮书扩考虑了氟化持久性有机污染物(FPOP)的其他来源及其对人类健康、环境和社会经济价值(包括社会基础设施)的影响，从而扩展了在峰会上发表的采取措施。

虽然消防泡沫在其由消防部门使用过程中的不可避免的分散性，造成显著的环境污染问题，但是还有其他不明显的生成全氟辛酸及其盐类(PFOA)或其他PFAS产品导致的污染源，例如PFAS扩散：

- 以渗滤液和挥发物的形式从垃圾填埋场释放的纺织品防污涂料。

- 通过污水处理厂生物滤液和污水灌溉对农业土壤进行改良。
- 不规范的家纺织物、个人防护用品和家具处理产品。
- 处理过的纺织品和织物在污水中使用PFAS进行洗涤。
- 经过PFAS处理的食物包装最终会释放出渗滤液。
- “隐性扩散”，例如手持和便携式泡沫灭火器。

目前C6技术的进步意味着最近这两年市场上的AFFF消防泡沫剂在内的产品，不太可能是免费 PFOA 的来源(目前可用的最佳氟表面活性剂原料 < 25 ppb PFOA 衍生物和前体)。这在很大程度上并不适用于较老的泡沫塑料和其他应用，因为这些应用程序也含有相当大比例的长链 PFAS (长链至 C14)，这些长链 PFAS 是 PFOA 及其相关有毒长链当量的前体。

即使使用所谓的C6纯AFFF，仍然存在产生多种有毒短链全氟烷基中间体和最终产物，它们具有极强的流动性和环境持久性。相比于长链材料对地下水和土壤的渗透破坏，几乎不可能从饮用水和废水去除和渗透于食用作物和牧草从而导致食物链的污染；短链PFAS的优点在于它们的低毒性和高效环境溶解性。

此外，白皮书指出环境污染的终端氟化物降解产物主要包含了主要是全氟羧酸(PFCA)或磺酸盐(交换树脂)，从来都不是只有一种，而是包含了一系列高顽固中间化合物，这些产物通过积累合成具有更强的生物行和毒性。据估计，由于环境的破坏，可能会产生数百种这样的化合物。

2000 年初，对于这些遗留化合物，比如 PFOS，PFHxS，PFOA，因为隧道视野的关系，经常发生；特别是因为这些化合物不太容易表现出来，人们更多的是关注由于 PFAS 所带来的危害。此外，由于单个氟化物如氟调聚物降解所产生的有氟终端产物，使行业侧重于任何单一化合物的持久性、生物积聚和毒性 (PBT)，从而忽略了这些忽略中间产物的范围和终端 PFAS 的产生可能性以及对其他多种化学物质的影响。所有 PFAS 终端化合物在环境上都具有极强的持久性，在已知的情况下，半衰期很长，而且中间转化化合物本身也具有持久性，它们可能具有化学反应性，毒性比终端产物更强。

针对单一物质(如PFHxA)的毒理学研究，没有考虑到化合物之间的合成，没有详细PBT数据支持庞大的化学合成物。对于PFAS暴露的多样性了解甚少，有必要从PFAS的特征以及其他的结构或者功能上类似的有机合成物，用单个个体识别的方法，或者可以提供混合物中的碳链前体合成比例信息，比如总的可氧化前体报告 (TOP报告)

唐纳德·拉姆斯菲尔德(Donald Rumsfeld)的“已知和未知的风险”名言，在这种情况下很适合用来描述PFAS的用途和效果：

- “**已知的已知**” --PFAS具有持久性、毒性、不同程度的生物累积性和高度分散性。
- “**已知的未知因素**” --我们接触到的PFAS(而且还在增加)远比我们能识别和分析的少数PFAS多。尽管我们知道PFAS家族非常庞大，但对他们的多样性、来源、身份和影响仍知之甚少。
- “**未知的未知因素**” --我们不知道PFAS的全部问题,但新信息的出现始终指向PFAS的副作用，这意味着会有大量的未知风险，因此使用和管理PFAS是至关重要的。
- 换句话说，未知的风险并不说明没有风险，因此当有迹象和副作用出现，产品的使用原则是必须有绝对的证据证明没有副作用，很遗憾的是，这一原则还没有被执行。

全球全氟/多氟烷基化合物 (PFAS) 问题：无氟替代解决方案——C8全氟/多氟烷基化合物的短链替代品气数已尽？

消防泡沫液、纺织品、布料及其它全氟/多氟烷基化合物扩散及污染源

Bluteau, T.^a, Cornelsen, M.^b, Day, G.^c, Holmes, N.J.C.^d, Klein, R.A.^e, Olsen, K.T.^f, McDowall, J.G.^g, Stewart, R.^h, Tisbury, M.ⁱ, Webb, S.^j, Whitehead, K.^k, Ystanes, L.^l.

^a 法国的Leia实验室

^b 德国埃森的Cornelsen Umwelttechnologie有限责任公司

^c 英国伦敦希思罗机场的消防合规经理

^d 澳大利亚昆士兰州政府科学和环境厅

^e 英国剑桥、美国纽约州纽约城市大学约翰·杰刑事司法学院克里斯蒂安·瑞根哈德应急研究中心 (Christian Regenhart Center for Emergency Response Studies)

^f 丹麦哥本哈根机场消防训练学校

^g 英国科比的3F有限公司

^h 澳大利亚阿德莱德的Ziltek公司

ⁱ 澳大利亚消防员联盟 (UFU) 和墨尔本城市消防队 (MFB)

^j 英国的HM消防检查机构运营实践前负责人、英国民航局 (CAA)

^k 阿曼的Unity Fire & Safety公司

^l 挪威伯尔根的Equinor公司 (前挪威国家石油公司)

代表IPEN独立专家小组

白皮书由IPEN专家小组成员为IPEN准备，并由同事为《斯德哥尔摩公约》第九次缔约方会议准备。本次会议定于2019年4月29日至5月10日在瑞士日内瓦召开。

2019 IPEN和IPEN专家小组成员名单所列作者

请按以下方式引用本出版物：

IPEN 2019/Stockholm Convention COP-9 White Paper, The Global PFAS Problem: Fluorine-Free Alternatives As Solutions.

相关作者：R. A. Klein <rogeraklein@yahoo.co.uk>、Nigel Holmes <Nigel.Holmes@des.qld.gov.au>



IPEN汇集了100多个国家的非政府组织，旨在减少乃至消除有毒化学物质对人体和环境的危害。

www.ipen.org



a toxics-free future

www.ipen.org

ipen@ipen.org

[@ToxicsFree](https://www.instagram.com/ToxicsFree)