# 1. 什么是持久性有机污染物（POPs）？

持久性有机污染物，是指具有高毒性、进入环境后难以降解、可生物积累，能通过空气、水和迁徙物种进行长距离越境迁移并沉积到远离其排放地点的地区，随后在那里的陆地生态系统和水域生态系统中积累起来，对当地环境和生物体造成严重负面影响的天然或人工合成的有机物。因为其英文全称为 Persistent Organic Pollutants，所以其缩写为 POPs。

**根据 POPs 的定义，POPs 同时具有下列四个方面的重要特性：**

①持久性：POPs 结构非常稳定，对于光、热、微生物、生物代谢酶等各种作用都具有很强的抵抗能力，在自然条件下很难发生降解。一旦进入环境中，它们将在水体、土壤和底泥等环境介质以及生物体中长期残留，可长达数年，甚至数十年。

②生物累积性：大多数 POPs 具有很强的亲脂憎水性，即不溶或者微溶于水、而易分配在脂肪中。由于野生动物及人体中都含有相当数量的脂肪组织，当 POPs 通过各种接触途径为生物体所摄入后，就会在脂肪组织中逐渐累积而形成“生物蓄积”，其浓度一般远高于周围环境介质中的 POPs 浓度，形成所谓的“生物浓缩”。在食物链中，由于捕食关系的存在，处于更高营养级的生物因不断地捕食体内含有 POPs 的低营养级生物，其体内将会蓄积更高浓度的 POPs，即所谓的“生物放大”。由于人类处于食物链的最高级，这种沿食物链的生物放大作用无疑意味着人类将可能受到更高浓度 POPs 的毒害。

③长距离迁移能力：大多数 POPs 具有半挥发性，这使得它们能够通过蒸发进入大气中，以游离气体的形式存在或者吸附在大气颗粒物上，并能够随着大气流动、水体流动以及生物体的迁徙等实现长达数百、数

千公里的远距离迁移。

④高毒性：这里毒性是一个广义的词，准确地说应称为“对生物体的负面效应”。人类和动物通过饮食和环境污染等途径摄入或接触到POPs，将可能导致生殖、遗传、免疫、神经、内分泌等系统等受到严重的负面影响，危害身体健康。

## 2. POPs与难降解有机物、PTS、PBTs有何区别？

从概念来看：

① POPs（Persistent Organic Pollutants），即同时具有持久性、生物累积性、长距离迁移能力和对生物体的负面效应的有机污染物。

②难降解有机物：通常指在自然条件下难于被化学生物光作用发生递降分解的有机化学物质。POPs与难降解有机物有联系，但并非一回事，难降解有机物仅仅反映出了污染物的环境持久性。

③ PTS（Persistent Toxic Substances），即持久性有毒物质。与POPs相比，它未强调生物累积性和长距离迁移能力，同时它不一定是指有机物。

④ PBTs（Persistent Bioaccumulative Toxic Pollutants），即具有持久性、生物累积性的有毒物质。与POPs相比，它未强调长距离迁移能力，同时它不一定是指有机物。

因此，POPs相对于难降解有机物、PTS、PBTs等概念，是一部分性质更为独特、对生态环境和人类健康危害更大的一部分有机污染物。

## 3. 什么是《斯德哥尔摩公约》？

《斯德哥尔摩公约》的全称是《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》，它是国际社会鉴于 POPs 对全人类可能造成的严重危害，为淘汰和削减 POPs 的生成和排放、保护环境和人类免受 POPs 的危害而共同签署的一项重要国际环境公约。

根据联合国环境规划署（UNEP）19 届理事会 1997 年 2 月通过 GC/13C 号决议，为保护人类健康和环境，由 UNEP 协同其他有关国际组织组建关于 POPs 的政府间谈判委员会（INC），并负责组织谈判。从 1998 年 6 月在加拿大蒙特利尔进行第一次谈判会议开始，经过 1999 年 1 月在肯尼亚内罗毕、1999 年 9 月在瑞士日内瓦、2000 年 3 月在德国波恩、2000 年 12 月在南非约翰内斯堡的共五次谈判会议，以及 1998 年 10 月在泰国曼谷、1999 年 6 月在维也纳的两次关于 POPs 筛选标准及程序专家组会议的艰苦谈判，终于在 2001 年 5 月 22—23 日于瑞典斯德哥尔摩举行的《关于持久性有机污染物斯德哥尔摩公约》全权代表大会上达成公约文本，当时共包括 30 条正文和 6 个附件。

来自 127 个国家、11 个联合国专门机构、4 个政府间组织、68 个非政府组织的代表共 600 多人参加了本次全权代表大会。有 110 个国家签署了大会最后文件，90 个国家签署了《斯德哥尔摩公约》，1 个国家（加拿大）当场批准了公约，正式启动了人类向 POPs 宣战的进程。我国派出由国家环境保护总局牵头，外交部、农业部、卫生部和国家经贸委等单位参加的中国政府代表团参加了本次会议。经国务院授权，时任国家环境保护总局祝光耀副局长代表中国政府签署了大会最后文件和《斯德哥尔摩公约》。

公约于 2004 年 5 月 17 日在全球生效，并于 2004 年 11 月 11 日对我国生效。

截至 2016 年 3 月，《斯德哥尔摩公约》收录了 26 种 / 类持久性有机污染物，共有 180 个缔约方。

# 4. 什么是“肮脏的一打”？

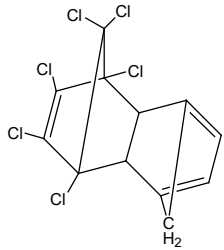
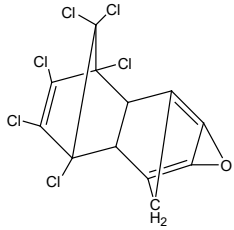
2001 年，首批被列入《斯德哥尔摩公约》全球控制清单的 POPs 有 12 种（类），被称为“肮脏的一打”（Dirty Dozen），它们可以分为三类：

①有机氯农药：艾氏剂、氯丹、滴滴涕（DDT）、狄氏剂、异狄氏剂和七氯、六氯苯（同时是工业化学品和非故意排放副产品）、灭蚁灵、毒杀芬；

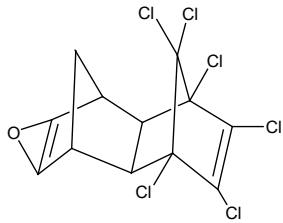
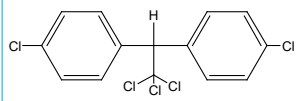
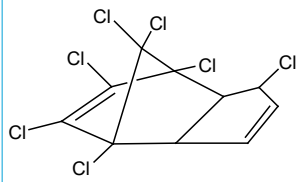
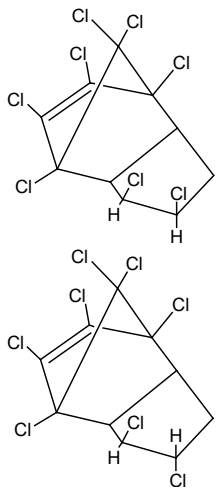
②工业化学品：多氯联苯（PCBs，同时是非故意排放副产品）；

③非故意排放副产品：多氯代二苯并－对－二噁英（PCDDs）、多氯代二苯并呋喃（PCDFs）。

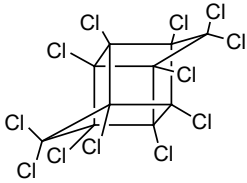
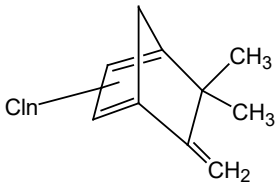
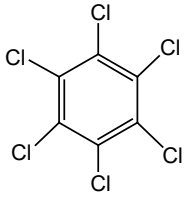
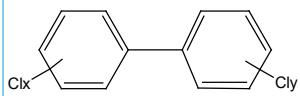
首批 12 种（类）POPs 污染物

| 名称 | 分类 | 结构式 | 性质及用途 |
|---|---|---|---|
| 艾氏剂（Aldrin） | 有机氯农药 |  | 用于防治地下害虫和饲料、蔬菜、果实作物害虫，是一种极为有效的触杀和胃毒剂 |
| 狄氏剂（Dieldrin） | 有机氯农药 |  | 用于控制白蚁、纺织品类害虫、森林害虫、棉花作物害虫和地下害虫，以及防治热带蚊蝇传播疾病 |

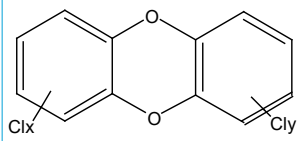
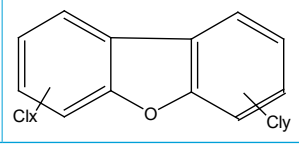
续表

| 名称 | 分类 | 结构式 | 性质及用途 |
| --- | --- | --- | --- |
| 异狄氏剂（Endrin） | 有机氯农药 |  | 属有机氯农药。用于喷洒棉花和谷物等大田作物叶片的特效杀虫剂 |
| 滴滴涕（DDT） | 有机氯农药 |  | 曾用于防治棉田后期害虫、果树和蔬菜害虫，具有触杀、胃毒作用。用于防治蚊蝇传播的疾病 |
| 七氯（Heptachlor） | 有机氯农药 |  | 用于防治地下害虫、棉花后期害虫及禾本科作物及牧草害虫，具有杀灭白蚁、火蚁、蝗虫的功效 |
| 氯丹（Chlordane） | 有机氯农药 |  顺、反氯丹的化学结构 | 用于防治高粱、玉米、小麦、大豆及林业苗圃等地下害虫，是一种具有触杀、胃毒及熏蒸作用的广谱杀虫剂。同时因具有杀灭白蚁、火蚁的功效，也用于建筑基础防腐 |

续表

| 名称 | 分类 | 结构式 | 性质及用途 |
| --- | --- | --- | --- |
| 灭蚁灵（Mirex） | 有机氯农药 |  | 广泛用于防治白蚁、火蚁等多种蚁虫 |
| 毒杀芬（Toxaphene） | 有机氯农药 |  | 用于棉花、谷物、坚果、蔬菜、林木以及牲畜体外寄生虫的防治，具有触杀、胃毒作用 |
| 六氯苯（HCB） | 工业化学品、非故意排放副产物 |  | 用于种子杀菌、防治麦类黑穗病和土壤消毒，以及有机合成。同时，某些化工生产中的中间体或副产品 |
| 多氯联苯（PCBs） | 工业化学品、非故意排放副产物 |  | 一般多是混合物，在常温下，随所含氯原子的多少而变化，可能为液状、水饴液或树脂状，是一种化学性质极为稳定的化合物。由于性能稳定，不易燃烧，绝缘性能良好，PCBs在工业上应用较广，可用于电力电容器、变压器、胶黏剂、墨汁、油墨、催化剂载体、绝缘电线等；同时也用于天然及合成橡胶的增塑剂，使胶料具有自黏性和互黏性 |

续表

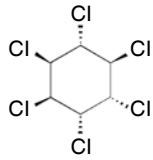
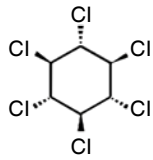
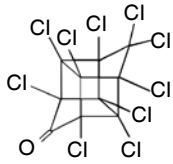
| 名称 | 分类 | 结构式 | 性质及用途 |
| --- | --- | --- | --- |
| 多氯代二苯并－对－二噁英（PCDDs） | 非故意排放副产物 |  | 是一组有75种异构体的化学品。在制造氯酚过程中的副产品，一些杀虫剂、除草剂农药中含有PCDDs。研究发现，在固体废物焚烧、汽车排气、煤炭和木材燃烧时也产生PCDDs；氯碱和钢铁工业排气与废渣中也含有PCDDs |
| 多氯代二苯并呋喃（PCDFs） | 非故意排放副产物 |  | 是一组有135种异构体的化学品，其产生过程同PCDDs |

# 5. 国际公约新增列的 POPs 有哪些？

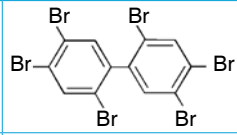
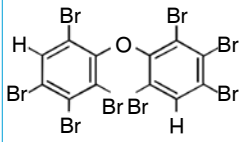
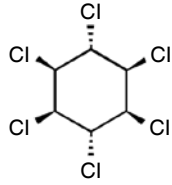
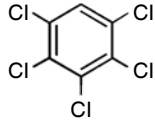
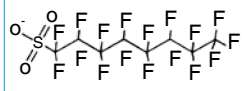
2009 年 5 月 4 日至 8 日，公约 POPs 审查委员会第四次会议通过了将 9 种污染物增列入公约附录 A，附录 B 和附录 C 的决定。2011 年 5 月 25 日至 29 日，公约 POPs 审查委员会第五次会议通过了将硫丹增列入公约附录 A 的决定。2013 年，《斯德哥尔摩公约》第六次缔约方大会通过决定，将六溴环十二烷（HBCD）增列入公约附录 A。2015 年，第七次缔约方大会通过将六氯丁二烯、五氯苯酚及其盐类和酯类增列入公约附录 A，多氯萘增列入公约附录 A 和附件 C。

截至 2015 年 5 月，在最初 12 种 POPs 污染物基础上，又有 14 种新增 POPs 污染物被列入公约受控清单，其具体信息如下表所示。

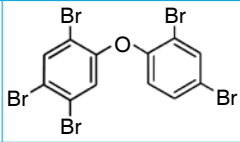
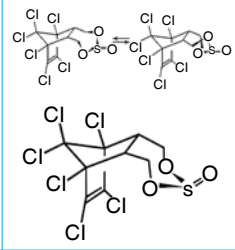
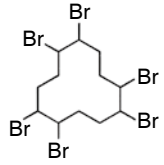
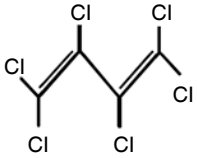
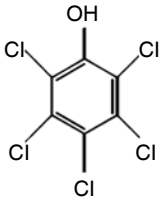
14 种新增 POPs 污染物信息

| 名称 | 分类 | 结构式 | 性质及用途 |
|---|---|---|---|
| α- 六氯环己烷 | 农药、副产物 |  | 尽管将 α - 六氯环己烷作为杀虫剂的用途已逐渐被禁止，但该物质仍作为生产林丹的中间产物而产生的非故意排放副产物 |
| β- 六氯环己烷 | 农药、副产物 |  | 尽管将 β - 六氯环己烷作为杀虫剂的用途已逐渐被禁止，但该物质仍作为生产林丹的中间产物而产生的非故意排放副产物 |
| 十氯酮 | 农药 |  | 十氯酮是人工合成的有机氯化合物，主要用于农业杀虫剂及杀真菌剂 |

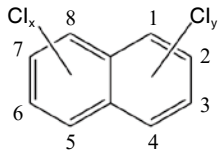
续表

| 名称 | 分类 | 结构式 | 性质及用途 |
| --- | --- | --- | --- |
| 六溴联苯 | 工业化学品 |  | 六溴联苯作为工业化学品主要被用于阻燃剂，其大规模应用时期为20世纪70年代 |
| 六溴二苯醚和七溴二苯醚（商用八溴二苯醚） | 工业化学品 |  | 商用八溴二苯醚是指一种包含有多溴二苯醚的商用混合物，通常由五溴二苯醚到十溴二苯醚同类物质组成。商用八溴二苯醚主要被当作一种添加型阻燃剂，在塑料工业中用于电子元件设备外壳的聚合物中 |
| 林丹 | 农药 |  | 林丹作为广谱农药，主要被用于种子与土壤处理、叶面施肥、动物与人的皮外寄生虫抑制等。近年来，林丹的生产大幅减少，已知仅有几个国家仍在生产 |
| 五氯苯 | 农药、副产物、工业化学品 |  | 五氯苯被用作PCB生产、杀菌剂、阻燃剂、化学品中间物质等，曾被用于生产五硝基甲苯 |
| 全氟辛基磺酸和其盐类以及全氟辛基磺酰氟 | 工业化学品 | 全氟辛烷磺酸阴离子<br> | 全氟辛基磺酸和其盐类主要用作高性能氟表面活性剂或者农药的有效成分，涉及的应用领域较为广泛，如：电镀、消防、纺织、半导体、石油等。全氟辛基磺酰氟是生产全氟辛基磺酸和其盐类的中间体 |

续表

| 名称 | 分类 | 结构式 | 性质及用途 |
| --- | --- | --- | --- |
| 四溴二苯醚和五溴二苯醚（商用五溴二苯醚） | 工业化学品 |  | 商用五溴二苯醚主要作为溴代阻燃剂被用于电子电器、建材、纺织品等行业 |
| 硫丹及其异构体 | 农药 |  | 硫丹自 20 世纪 50 年代以来被用作控制作物病虫害、采采蝇、皮外寄生虫的农药。作为一种广谱杀虫剂，硫丹被用作咖啡、棉花、水稻等农作物的杀虫剂 |
| 六溴环十二烷 | 工业化学品 |  | 六溴环十二烷主要作为溴代阻燃剂被用作建材防火材料添加剂、纺织助剂等 |
| 六氯丁二烯 | 工业化学品 |  | 六氯丁二烯曾被用作橡胶及其他聚合物的溶剂、回收含氯气体或从气体中清除挥发性有机成分的“清洗剂”、液压液、热传导液或变压器油、或用在陀螺仪中。六氯丁二烯还在铝和石墨棒的生产中使用 |
| 五氯苯酚及其盐类和酯类 | 农药 | 五氯苯酚： | 1930 年代，五氯苯酚最初作为木材防腐剂投入使用。之后，五氯苯酚被用于多种其他用途，如生物杀灭剂、杀虫剂、消毒剂、枯叶剂、防变色剂和抗微生物剂，并用于生产月桂酸五氯苯酯 |

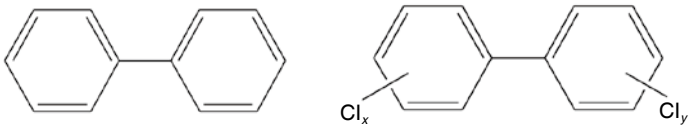
续表

| 名称 | 分类 | 结构式 | 性质及用途 |
| --- | --- | --- | --- |
| 多氯萘 | 工业化学品、非故意排放副产物 | <br>$x + y = 1 \sim 8$ | 多氯萘历来被用作木材防腐剂、油漆和机械润滑油添加剂、热交换液体、高沸腾特种溶剂、发动机曲轴箱添加剂、电机调试用化合物、抗化学腐蚀的计量器液体、仪器的密封剂和形成色散制剂，还用于电缆绝缘和电容器 |

资料来源：斯德哥尔摩公约官方网站，http://www.pops.int

# 6. 什么是 PCBs 和 Aroclor？

多氯联苯（PCBs）在结构上是在其母体——联苯（Biphenyl）分子的两个苯环上有一定数目的氢为氯原子所取代而形成的，如图所示。因氯原子取代数目和位置的不同，PCBs 共有 209 种可能的结构。




联苯（Biphenyl）　　多氯联苯（PCBs）

PCBs 与其母体（联苯）的结构

Aroclor 是一种典型的 PCBs 商品名称，大约在 20 世纪 30 年代被合成。Aroclor 一般按照混合物中含氯百分数，用 Aroclor 12×× 来表示，最后两位数字代表了含氯的百分数。例如：Aroclor 1221 中约含有 21% 的氯元素。下面列出的是一些典型的 Aroclor 商品的 CAS（美国化学文摘）登记号：

Aroclor 产品的 CAS 登记号和含氯量

| Aroclor 商品名 | CAS 登记号 | 含氯量 |
|---|---|---|
| Aroclor 1221 | 11104-28-2 | 21% |
| Aroclor 1232 | 11141-16-5 | 32% |
| Aroclor 1242 | 53469-21-9 | 42% |
| Aroclor 1248 | 12672-29-6 | 48% |
| Aroclor 1254 | 11097-69-1 | 54% |
| Aroclor 1260 | 11096-82-5 | 60% |

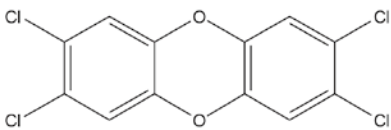
续表

| Aroclor 商品名 | CAS 登记号 | 含氯量 |
|---|---|---|
| Aroclor 1262 | 37324-23-5 | 62% |
| Aroclor 1268 | 11100-14-4 | 68% |

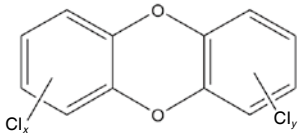
其中，Aroclor 1254 是应用最普遍的一种 Aroclor，同时也能作为其他同系物的一个很好的代表。Aroclor 1254 中含有联苯和 54% 的氯，它由 11% 的四氯代、49% 的五氯代、34% 的六氯代和 6% 的七氯代联苯所组成。Aroclor 1254 已被用于电容器、电力变压器、真空泵、气体传输涡轮机、电线的高温绝缘层和电力设备中，以及热交换液体、涂料、墨水、杀虫剂、填料、添加剂、涂料和复写纸中。它也用作纤维素塑料、苯乙烯树脂和氯化橡胶的可塑剂、液压油、阻燃剂、蜡添加物、除尘剂、杀虫剂添加物、滑润剂、切削油、密封剂和堵漏剂。

# 7. 什么是二噁英和二噁英类似物？

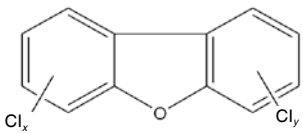
二噁英（Dioxin）是一个被简化了的、容易引起误解的环境科学名词。最初是特指 2,3,7,8- 四氯代二苯并 - 对 - 二噁英（2,3,7,8-TCDD），后来被扩大为对 75 种 PCDDs 和 135 种 PCDFs 的总称，常缩写为 PCDD/Fs。




2,3,7,8- 四氯代二苯并 - 对 - 二噁英（2,3,7,8-TCDD）




多氯代二苯并 - 对 - 二噁英（PCDDs）




多氯代二苯并呋喃（PCDFs）

PCDD/Fs 及其母体的结构

而二噁英类似物（Dioxin-like Chemicals）则是具有二噁英活性的更广泛的卤代芳烃化合物的统称，除了 PCDDs 和 PCDFs 外，还包括部分 PCBs、多氯联苯醚（PCDEs）和多氯萘（PCNs）等。而且除了氯代化合物外，多溴代二苯并 - 对 - 二噁英（PBDDs）、多溴代二苯并呋喃（PBDFs）、部分多溴联苯（PBBs）及其他混合卤代化合物（如氯与溴的混合取代物）

也包括在内。这样分类是因为它们都可以通过共同的毒性机制——芳烃受体（Ah 受体）发挥作用，这些化合物在化学上具有共平面结构，能够与 Ah 受体结合启动细胞内信号传导通路，发挥毒性作用。

# 8. 哪些溴代阻燃剂作为 POPs 被列入公约受控清单？

阻燃剂是指能够使聚合物不容易着火或者着火后使其燃烧变慢的一种助剂。溴代阻燃剂是目前世界上产量和使用量最大的有机阻燃剂。溴代阻燃剂（也被称为“溴系阻燃剂”）包括脂肪族、脂环族、芳香族及芳香—脂肪族的含溴化合物，由于这类阻燃剂的阻燃效率高，相对用量少，对复合材料的力学性能几乎没有影响，因此被广泛用于聚苯乙稀树脂、纺织品、聚氨酯海绵及电路板、电器产品（如电视、电脑等）的塑料外壳中。据估计，全世界溴代阻燃剂的年产量超过 20 万 t。

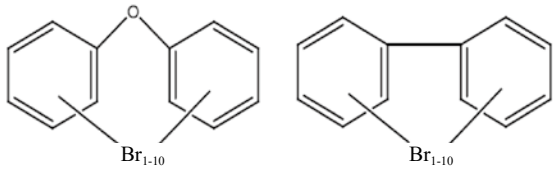
溴代阻燃剂主要分为添加型和反应型，其中添加型溴代阻燃剂典型的有多溴联苯（PBBs）、多溴联苯醚（PBDEs）和六溴环十二烷（HBCD），这类溴代阻燃剂由于与添加载体之间没有化学键联结，因而容易从产品释放到环境中，特别是电子垃圾（如废旧家电和相关电子信息产品）在露天堆放和简单拆解回收处理过程中会向环境中进行较为大量的释放。

已有一些溴代阻燃剂被证明具有持久性、生物累积性、长距离迁移能力以及生物危害性，因而被作为 POPs 增列入国际公约加以管制。目前已被列入《斯德哥尔摩公约》的溴代阻燃剂有四种，包括六溴联苯、商用八溴二苯醚、五溴二苯醚、HBCD。

### 多溴联苯与多溴联苯醚（PBBs 和 PBDEs）

PBBs 是最早被投入使用的溴代阻燃剂之一，化学通式为 $C_{12}H_{(0\text{-}9)}Br_{(1\text{-}10)}$，PBDEs 的化学通式为 $C_{12}H_{(0\text{-}9)}Br_{(1\text{-}10)}O$，两者仅相差一个氧原子。PBDEs 和 PBBs 化学性质相似，在室温下具有蒸汽压低和亲脂性强的特点，沸点为 310 ～ 425℃，在水中溶解度小。它们都具有相当稳定的化学结构，很难通过物理、化学或生物方法降解。PBBs 和 PBDEs 根据溴原子取代

数量和位置的不同，各有 209 种可能的结构，其结构式如下图所示。




PBDEs 结构式（左）和 PBBs 结构式（右）

PBDEs 和 PBBs 作为阻燃剂在历史上被大量生产并广泛用于工业产品中，尤其在电器制造（电视机、计算机线路板和外壳）、建筑材料、泡沫、室内装潢、家具、汽车内层、装饰织物纤维等。虽然 PBDEs 和 PBBs 都有 209 种可能的结构，但是商业上常用的 PBDEs 和 PBBs 通常是混合物，其中所包含的同类物种类较为有限。

PBDEs 高温分解产生溴原子，溴原子是强还原剂可以捕获 • OH 和 • O • 等燃烧反应的核心游离基，从而达到阻燃灭火的目的。商业上常用的 PBDEs 主要有三种类型，它们是五溴联苯醚、八溴联苯醚和十溴联苯醚。PBDEs 具有持久性、生物毒性、生物富集性和长距离迁移的特性。PBDEs 使用过程及产品废弃后释放至环境，经由食物链的生物浓缩及累积，对生物及人体健康产生潜在的威胁，PBDEs 已成为一类在环境中无处不在的污染物，PBDEs 在包括空气、水体、底泥、土壤在内的各环境介质中含量有显著上升。在多介质的环境体系中，土壤是 PBDEs 最主要的存储源和再释放源，近年来，因含 PBDEs 的各种电子垃圾的非法拆解和长期露天堆放，导致其中的 PBDEs 进入土壤环境。

### 六溴环十二烷（HBCD）

六溴环十二烷（1,2,5,6,9,10−Hexabromocyclododecan，HBCD）的分

子式为 $C_{12}H_{18}Br_6$，六溴环十二烷为白色结晶粉末，熔点为 168 ～ 196℃，溴含量为 74.7%。HBCD 可溶于醇、酮及酯等有机溶剂中，如甲醇、乙醇、乙酸戊酯、丙酮等，主要用作聚苯乙烯（添加量为 2%）、聚丙烯（添加量为 2% ＋三氧化二锑 1%）、高抗冲聚苯乙烯、聚丙烯、ABS、聚乙烯、聚碳酸酯、不饱和聚酯等阻燃剂，还适用于织物、丁苯胶、黏合剂和涂料以及不饱和聚酯树脂进行阻燃处理。尽管 HBCD 具有优良的阻燃效果，但其对人类和环境会构成潜在的、长期的危害。

HBCD 于 1998 年被首次报道发现于瑞典 Viskan 河流的鱼体和底泥中，后陆继在欧洲、北美、亚洲及北极地区等地样品中（大气、土壤、底泥、沉积物、生物体和人体）都被检出，同时由于其具有高的辛醇 - 水分配系数，易于在脂肪中蓄积，并可以通过食物链传递，在高营养级生物中富集，是一种高生物累积性物质，即具有生物放大效应。

# 9. 什么是全氟辛烷磺酸及其盐类？

2009 年 5 月召开的《斯德哥尔摩公约》第四次缔约方大会（COP4）通过决议，决定将 9 种新 POPs 增列入公约，其中全氟辛烷磺酸及其盐类（PFOS）与全氟辛烷磺酰氟（PFOSF）被列入了附件 B。

PFOS 是 Perfluorooctane Sulfonate 的简称，其作为一种重要的全氟化表面活性剂，也是许多其他全氟化合物的重要前体物。作为氟化有机物的代表性化合物，由于具有低表面张力、低临界胶束浓度、良好的热稳定性和化学稳定性及相容性等优越的自身特性，PFOS 可以用于低表面物质的润湿，乳化、分散，并可用于高温、强酸、强碱，强氧化剂介质体系中。PFOS 被广泛使用于纺织品、电镀、消防、航空、农药、地毯、皮鞋、造纸等众多领域。

8 个碳原子的链烃及其末端的磺酰基是 PFOS 的主体结构，链烃上一般连接氢原子，已经是相对稳定的化学结构。PFOS 在相对稳定的化学结构上将氢原子全部置换为氟原子，提高了生物键能，使得这类化合物具有很高的生物、化学和热稳定性，不会轻易发生分解。由于 C—F 键的生成和断裂都需要很高的能量，因此自然界中很少有天然氟代烃的存在，大部分全氟代的有机分子是人工合成的。这种人工合成的物质一旦生成就很难降解。

美国 3M 公司于 20 世纪 50 年代率先将 PFOS/PFOSF 投入商业生产，以 PFOSF 为原料所生产的一系列产品都获得了巨大成功，多年来一直雄踞全球产量首位。资料表明，3M 公司历史上共生产了约 75 000t PFOS/PFOSF（按 PFOSF 计），其中最高年产量达 3 500 t。而 3M 以外的其他公司的产量非常有限，历史最高年产量总计不超过 1 000t。2000 年 5 月，

美国 3M 公司宣布启动自愿停产计划，并在 2002 年末彻底停止生产。其他厂商也陆续采取了类似行动，目前几乎所有国外厂商均已停止了 PFOS 的生产，仅巴西声称还在生产少量 PFOS 锂盐用作杀虫剂。

绝大多数的 PFOS 类物质都是被作为表面活性剂而使用的，而例外的情况是作一种较为特殊的农药——氟虫胺（Sulfluramid，*N*—乙基全氟辛烷磺酰胺，CAS 号：4151-50-2），它是由美国固信公司（Griffin Corporation）于 1989 年率先研制出来并在美国完成原药登记，后来被富美实公司（FMC）等多家美国公司作为活性成分用于白蚁和蚂蚁防治饵剂。由于美国 EPA 对氟虫胺提出了淘汰要求，各原药和制剂厂商于 2008 年 5 月已自愿撤销了所有相关产品的登记。

# 10. 什么是 POPs 的“全球蒸馏效应”？

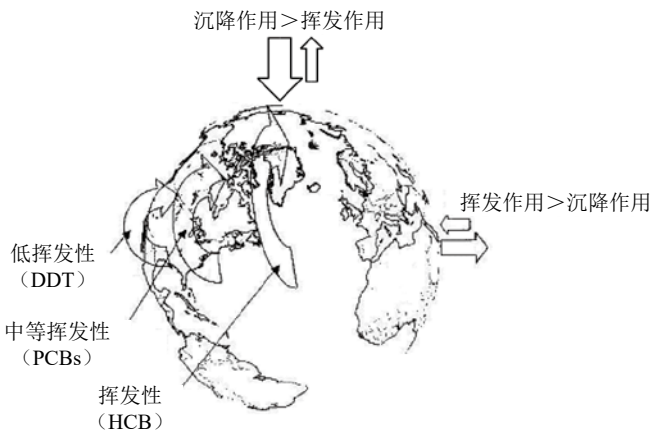
近年来，在从未使用过 POPs 的南北极地区的冰雪内检测到 DDT 等有机氯农药类 POPs，美国阿拉斯加的阿留申群岛上栖居的秃鹰体内也有测出 POPs。阿留申群岛附近的西北太平洋海域生活的鲸鱼体内也测出含有很高的有机氯农药类 POPs。更为惊人的是：地球北部的许多高山，如奥地利的阿尔卑斯山、西班牙的比利牛斯山、加拿大的落基山顶及我国喜马拉雅山顶，也发现了较高浓度的有机氯农药，而且随着山高增加和温度的降低，冰雪中所含的农药浓度也在增加，虽然在高山上几乎是没有人烟的冰雪世界，但山顶冰雪所含农药的浓度为山下农业区域的 10~100 倍。这些极地和高山雪域的 POPs 是从哪里来的呢？

一位名叫 Goldberg E. D. 的科学家最早提出了“全球蒸馏效应”（Global Distillation）的科学假设，借此他成功地解释了 DDT 通过大气传播从陆地迁移到海洋的现象。后来，加拿大科学家 Wania F. 和 Mackay D. 用这个概念成功地解释了 POPs 从热温带地区向寒冷地区迁移的现象。

如同化学实验室中的蒸馏实验，用火加热烧瓶中的试剂，使其蒸发，将蒸气导入冷凝管中冷凝，冷凝后的液体流入接收瓶保存。地球也像是一个大烧瓶，赤道地区灼热的阳光就像是烧瓶下面的火，在热带地区曾大量使用的 DDT 残留在土壤中，和土壤一起就像是烧瓶里面的试剂；DDT 被蒸发，上升到高空，长距离迁移，然后冷凝，再以降水方式降下。在寒冷地区，雨雪清除了大气中的有机氯农药，使其降落；而寒冷又使地面上的有机氯农药不易挥发，所以寒冷地区地面的有机氯农药浓度不断增加。从全球来看，由于温度的差异，地球就像一个蒸馏装置——在低、中纬度地区，由于温度相对高，POPs 挥发进入大气；在高纬度地区，POPs 沉降下来。

因此，全球蒸馏效应也被称为“冷凝效应”（Cold Condensation Effect），最后造成 POPs 从热带地区迁移到寒冷地区。这就是从南北极和高寒地区发现有 POPs 的原因。

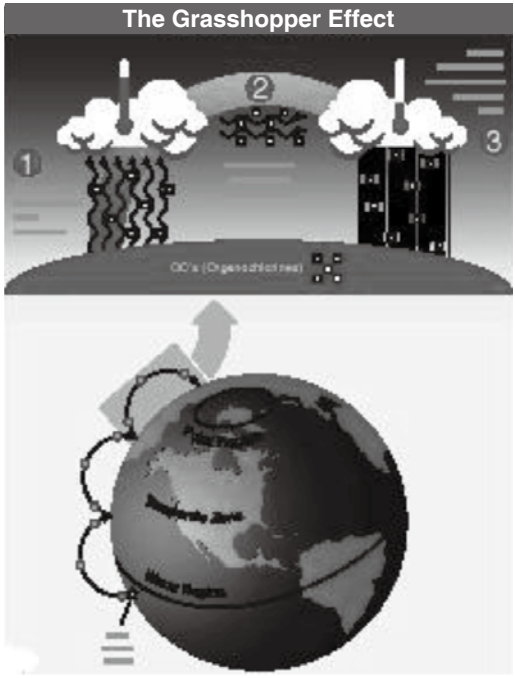
高寒地区的高级动物，像海豹、北极熊，为了抗寒，体内积累了大量脂肪。而脂肪恰恰是 POPs 最好的栖居地，POPs 被脂肪吸收，在脂肪中积累，富集到一定浓度水平，就将影响这些动物的健康。




POPs 全球蒸馏效应示意图

# 11. 什么是 POPs 的“蚱蜢跳效应”？

加拿大科学家 Wania F. 和 Mackay D. 认为：化合物的物理化学特性以及一些与冷暖有关的环境因素对 POPs“全球分配”的影响可能甚至比 POPs 的排放地和传播途径更为重要，尤其是 POPs 在向高纬度迁移的过程中会有一系列距离相对较短的跳跃过程。因为在中纬度地区季节变化明显，在温度较高的夏季 POPs 易于挥发和迁移，而在温度较低的冬季 POPs 则易于沉降下来，总体上会表现出 POPs 的跳跃式跃迁。



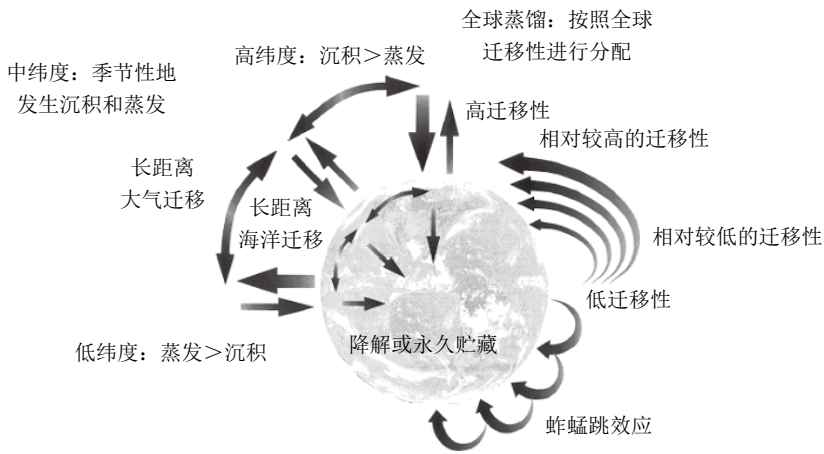

POPs 蚱蜢跳效应示意图

POPs 可以通过周而复始地从地面蒸发到大气，然后再回落到地面的跃迁，最终从地球上的某一地区（例如，源排放点）而到达与之相距遥远的另一地区，这种特性被称为“蚱蜢跳效应”（Grasshopper Effect）。

根据这一科学假设，极地将成为“全球 POPs 的汇”。科学家们已经发现越来越多的证据支持这一假设，例如：PCBs、毒杀芬、氯丹和 DDT 等 POPs 在极地的污染水平要比地球上其他地区高。而 Muir D. C. G. 等在研究有机氯农药在北极湖泊沉积质中的空间和时间变化趋势时也发现：越易挥发的有机氯农药越易在极地地区积累，有机氯农药在极地的沉降趋势大于温带地区。

# 12. POPs 是如何实现全球迁移的？

基于“全球蒸馏效应”和“蚱蜢跳效应”这两大科学假设，POPs 的全球迁移过程可以用下图来表示。




POPs 的全球迁移过程

研究表明，以下几个方面的因素也会影响 POPs 的全球迁移过程：

①大气稀释：能将 POPs 从释放源带到从未使用过 POPs 的清洁地区。

②物理去除过程：通过物理作用将 POPs 从一相转移到另一相，如部分 POPs 通过吸附从水相转移到土壤和底泥之中，这部分 POPs 通常不参与全球迁移。

③化学反应：POPs 在大气中会发生部分光解，同时可与大气中通过光化学反应产生的 • OH 等强氧化剂反应，这类化学反应会大大缩短

POPs 的半衰期。

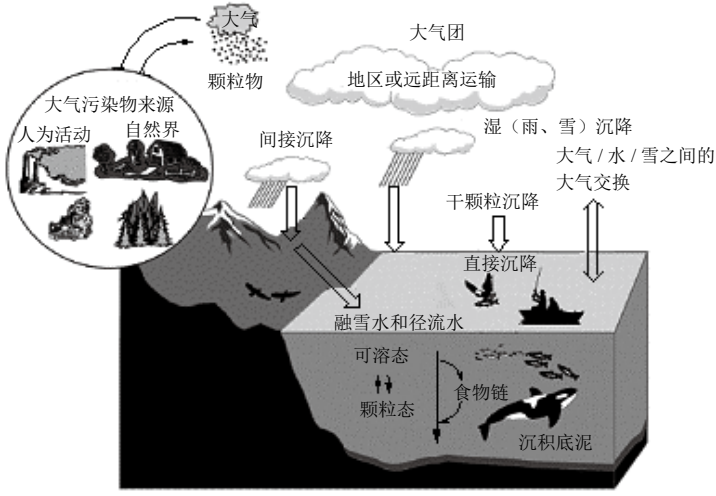
④在水、土壤、食物链中也能发生一定程度的生物降解、光解等反应，这部分 POPs 也不参与全球迁移。

⑤对空气 / 界面交换过程的一些限制因素。

以上因素的共同作用能够缓解 POPs 在两极的沉积趋势。现有的监测数据也表明，尽管存在全球蒸馏效应，但是许多 POPs 在极地地区的残留量正在逐年减小，这可能也与近年来全球范围内对 POPs 生产和使用的限制有关。

# 13. POPs 在各种环境介质中是如何迁移的？

人类生存的环境是一个由多介质单元（水、气、土、植物和动物等）组成的复杂系统。一般来说，当 POPs 从其发生源进入环境介质后，不会固定在某一位置，而是要发生稀释扩散，进行跨环境介质边界的迁移、传递和转化等一系列物理、化学和生物过程。通过这些迁移过程，POPs 能到达全球偏远的地区，如南极、北极和沙漠，进而造成全球性的污染。



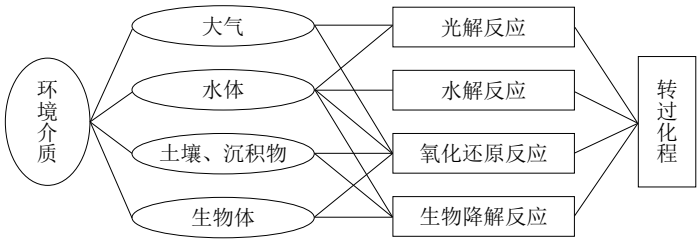

POPs 在多介质间的迁移过程示意图

水体中 POPs 主要以溶解在水中和吸附在悬浮颗粒物上两种状态存在，其中一部分溶解在水中的 POPs 能通过挥发作用进入大气中，吸附在水中悬浮颗粒物上的 POPs 则通过沉积作用沉降到底泥中。而土壤中的部分 POPs 可通过挥发作用进入大气中，还有部分 POPs 能和土壤中的有

机质和固体颗粒物紧密结合，这些 POPs 能通过植物的根、茎、叶和种子等的吸收进入食物链。大气中的 POPs 主要以气态和颗粒态两种形式存在，通过雨水冲洗和干、湿沉降向水体或土壤转移。POPs 在多介质间迁移过程示意图形象地描述了 POPs 在多介质环境中迁移转化的各种途径，POPs 最终贮存场所主要是土壤、河流水体和底泥。

# 14. POPs 在环境中是如何转化和降解的？

化学物质在环境介质中的转化和降解过程主要可分为两大类：一类是化学转化，包括水解反应、光解反应和氧化还原反应等；另一类是生物转化，包括微生物的好氧和厌氧反应以及其他生物对 POPs 的体内代谢过程。下图列出了有机物的转化过程与环境介质的关系。




POPs 的转化过程与环境介质的关系

对于许多 POPs，在天然环境介质中发生的主要的降解过程是光解过程。相对而言，生物降解的速度极为缓慢。

光化学反应主要是指在光的照射下，通过化合物的异构化、化学键的断裂、重排或分子间的化学反应产生新的化合物，从而达到降低或消除有机物在环境中污染。大气光化学反应对于大气环境中 POPs 的转化起着重要作用，而大部分天然水环境也暴露在太阳光的照射之下，光解反应对于水体中 POPs 的转化也具有一定的作用。

环境中所发生的光解反应一般分为直接光解反应和间接光解反应两种过程。直接光解反应是指化合物分子直接吸收光能，由基态变为激发态，然后在激发态下发生改变原来分子结构的一系列反应。间接光解反应又

称光敏化反应，在这个反应过程中，光能首先被光敏物质（如天然水中的腐殖质或微生物）所吸收，然后处于激发态的光敏物质将它所吸收的能量传递给基态的化学物质，使之成为激发态并发生改变其分子结构的分解反应，而光敏物质又回到初始的基态。在间接光解反应中，光敏物质也起着类似催化剂的作用，其分子结构本身并不发生改变。间接光解反应对化合物在天然水体中的光降解起主导作用。

# 15. POPs 具有哪些生态毒性？

POPs 之所以成为当前全球环境保护的热点问题，在于其具有一系列很强的生态毒性，能够对野生动物和人体健康造成严重的不可逆转的危害。

**（1）对免疫系统的毒性效应**

POPs 会抑制生物体免疫系统的功能。POPs 对免疫系统的影响包括抑制免疫系统正常反应的发生、影响巨噬细胞的活性、降低生物体对病毒的抵抗能力。研究人员通过测试佛罗里达海岸宽吻海豚的肝血，发现海豚的 T 细胞淋巴球增殖能力的降低和体内富集的有机氯有显著关系。研究也发现海豹食用了被 PCBs 污染的鱼会导致维生素 A 和甲状腺激素的缺乏，而这两种物质的缺乏使它们更易感染细菌。

POPs 对人的免疫系统也有重要影响。研究发现，人的免疫系统失常与婴儿出生前和出生后暴露于 PCBs 和 PCDDs 的程度有关。由于 POPs 易于迁移到高纬地区，POPs 对于生活在极地地区的人和生物影响较大。生活在极地地区的爱斯基摩人由于日常食用鱼、鲸、海豹等海洋生物的肉，而这些肉中的 POPs 通过生物放大和生物积累已达到很高的浓度，所以爱斯基摩人的脂肪组织中含有大量的有机氯农药、PCBs 和 PCDDs。通过对加拿大爱斯基摩人婴儿的研究发现，母乳喂养和奶粉喂养婴儿的健康 T 细胞和受感染 T 细胞的比率和母乳的喂养时间及母乳中有机氯的含量相关。

**（2）对内分泌系统的影响**

如果一种物质能与雌激素受体有较强的结合能力，并影响受体的活动，进而改变基因组成，那么这种物质被认为是内分泌干扰物质。研究

表明，人和其他生物的许多健康问题都与各种人为或自然产生的内分泌干扰物质有关。通过体外实验已证实 POPs 中有几类物质是潜在的内分泌干扰物质。

PCBs 的混合物 Aroclor 1221、Aroclor 1232、Aroclor 1242 和 Aroclor 1248 在体内实验中就表现一定的雌激素活性。此外，男性精子数量的减少、生殖系统的功能紊乱和畸形、睾丸癌及女性乳腺癌的发病率都与长期暴露于低水平的类激素物质有关。Falck 等发现和患良性乳腺肿瘤的女性相比，患恶性乳腺癌的女性的乳腺组织中 PCBs 和 DDE 水平较高。

**（3）对生殖和发育的影响**

生物体暴露于 POPs 会产生生殖障碍、畸形、器官增大、机体死亡等现象。如鸟类暴露于 POPs，会引起产卵率降低，进而使鸟的种群数目不断减少。实验研究发现生活在荷兰西部瓦登海地区的海豹生殖能力下降主要是由于这些海豹措食的鱼受到了 PCBs 的污染，进而影响了它们生殖系统的功能。POPs 对鸡的毒性实验表明：PCBs 可诱发鸡胚的死亡和不同程度的水肿，使种蛋的死亡率明显升高。实验表明，把子宫和乳腺暴露于 2,3,7,8−TCDD 中会减轻性器官的重量、抑制卵子的产生，甚至会使雌性个体雄性化。POPs 同样会影响人的生长发育，尤其会影响孩子的智力发育。曾有人对 200 名孩子进行研究，其中有 3/4 孩子的母亲在怀孕期间食用了受到有机氯污染的鱼，结果发现这些孩子出生时体重轻、脑袋小，在 7 个月时认知能力较一般孩子差，4 岁时读写和记忆能力较差，在 11 岁时测得他们智商（IQ）值较低，读、写、算和理解能力都较差。

**（4）致癌作用**

实验表明一些 POPs 会促进肿瘤的生长。对在沉积物中 PCBs 含量较高地区的大头鱼进行研究发现：大头鱼皮肤受到损害，肿瘤和多发性乳头

瘤等病的发病率明显升高。对小鼠、大鼠、仓鼠、田鼠进行 19 次 2,3,7,8-TCDD 染毒试验，致癌性均为阳性。国际癌症研究机构（IARC）在大量动物实验及调查基础上，对首批 12 种 POPs 的致癌性进行了分类，如下表所示。

首批 12 种 POPs 的致癌性

| 致癌性分类 | POPs |
| --- | --- |
| Ⅰ类：人体致癌物 | 2,3,7,8-TCDD |
| Ⅱ A 类：较大可能的人体致癌物 | PCBs 混合物 |
| Ⅱ B 类：有可能的人体致癌物 | 氯丹、DDT、七氯、六氯苯、灭蚁灵、毒杀芬 |
| Ⅲ类：对人体致癌作用尚不清楚 | 艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、PCDDs（除 2,3,7,8-TCDD 以外）、PCDFs |

### （5）其他毒性

POPs 还会引起其他一些器官组织的病变。如 TCDD 暴露可引起慢性阻塞性肺病的发病率升高，也可以引起肝脏纤维化以及肝功能的改变，出现黄疸、精氨酶升高、高血脂，还可引起消化功能障碍。此外 POPs 对皮肤还表现一定的毒性，如表皮角化、色素沉着、多汗症和弹性组织病变等。POPs 中的一些物质还可能引起精神心理疾患症状，如焦虑、疲劳、易怒、忧郁等。

# 16. POPs 与环境荷尔蒙有何联系？

据 1992 年丹麦哥本哈根大学的研究报告，在过去仅仅 50 年内，人类男性的平均精子数减少了 41.6%，精液量减少了约 20%。研究人员收集了 1938 ～ 1990 年 61 份关于精子数量的科学文献后进行统计分析，发现世界上男性的平均精子数从 1940 年每毫升精液中含 1.13 亿个下降到 1990 年的约 6 600 万个。另外一个研究小组的统计也表明，20 世纪 50 年代出生的男性的精子数为每毫升精液中含大约 1 亿个，70 年代出生的男性则减少到 7 500 万个，以这种速度推测，在 90 年代出生的男孩长大成人后，其精子数可能减少到 5 000 万个。在医学上，每毫升精液所含的精子数低于 2 000 万个以下便可能造成男性不育症，而 400 万以下则意味着完全的男性不育症。精液质量的降低直接导致人类生育能力的下降。舆论界惊呼：按此发展下去，不出 21 世纪全人类便会面临消亡的危机！

有证据表明，目前不孕不育率增加、流产率上升、睾丸癌和生殖系统肿瘤增加，新生儿尿道下裂、睾丸畸形、隐睾、阴茎过小等出生缺陷明显增加，而且儿童性发育异常、障碍以及男性女性化等现象也呈上升趋势。

近年来的研究发现，人类生育能力的下降很可能是由一类被称为“环境荷尔蒙”的化学物质所造成的。环境荷尔蒙也被称为“环境激素”“环境内分泌干扰物”。美国白宫科学委员会在 1997 年的一次工作会议上对环境荷尔蒙下的定义为：“由于介入生物体内的荷尔蒙的合成、分泌、体内运输、结合、作用或分解，而影响生物体正常性的维持，影响生殖、发育或行动的外来物质”。环境荷尔蒙进入人体以后，与细胞中的荷尔蒙收容器官结合，与荷尔蒙一样产生作用，造成荷尔蒙过剩，或使荷尔

蒙收容器官无法接受人体自然分泌的荷尔蒙，其结果是搅乱了人体自身的荷尔蒙，尤其是性荷尔蒙的正常工作，使得人体出现各种各样的机能障碍。这种扰乱内分泌系统作用的可怕之处在于它关系到人类的繁殖、关系到今后人类的质与量的问题。

1998 年，日本环境厅公布的《关于外因性扰乱内分泌化学物质问题的研究班中期报告》，列出了 65 种能产生环境荷尔蒙的嫌疑物质。其中包括：二噁英类、多氯联苯、六氯苯、滴滴涕、氯丹、艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、七氯、毒杀芬、六六六、十氯酮、多溴联苯等。也就是说，目前列入公约受控清单中的 POPs 绝大部分都属于扰乱内分泌系统的环境荷尔蒙的嫌疑物质。

## 17. POPs 是通过哪些方式与人体相接触或被吸收的？

在日常生活中，由于 POPs 物质无处不在，因此它可以通过呼吸的空气、皮肤接触含有 POPs 污染物的物品、饮食摄入（未洗净的瓜果蔬菜、含有 POPs 物质的水产品）等多种途径进入人体。

以二噁英为例：日本的科学家通过研究表明，人们日常生活中的各种行为活动，例如：呼吸、饮食、接触等，都不可避免地会接触到二噁英类污染物。那么人们在日常的一天中会摄入多少二噁英物质呢？日本的学者对一个正常人每天二噁英的摄入情况也做了一个研究。

一个体重 50kg 的成年人，一天摄入的二噁英量大约在 84 pg，也就是平均每公斤体重每日的摄入量为 1.68 pg。具体摄入情况如下：

$$1.68 = \underset{\text{呼吸摄入}}{0.039} + \underset{\text{接触摄入}}{0.012} + \underset{\text{食物摄入}}{1.63}$$

由此可见，POPs 类物质进入人体的最主要途径是通过食物摄入。

## 18. 为什么胎儿和婴儿更容易受到 POPs 的危害？

POPs 如果为母体所摄入的话，确实能够通过一定的渠道传输给胎儿和婴儿。在母体怀孕期间，POPs 会通过胎盘从母体传输给胎儿而造成危害。人类和其他哺乳动物一样，在胚胎和婴儿阶段是其最为脆弱的时期，他们的身体、大脑、神经系统和免疫系统正在处于成长发育阶段。此时一旦接触到 POPs，就可能导致较成人更大的损害。在哺乳期间，POPs 会通过母乳传输给婴儿而造成危害。

## 19. 为什么说 POPs 可能影响几代人？

由于 POPs 所具有的特殊性质，其进入人体后一方面由于其生物累积性而易蓄积在脂肪组织中，另一方面由于其持久性而代谢速度很慢，不易被分解或者排出体外。因此，POPs 一旦被母体摄入后，将长期在母体内存在。

当母体怀孕时，POPs 会通过胎盘直接传输给后代；而当孩子出世后，母亲在给婴儿哺乳时同样也会发生 POPs 的传输。正是通过这种过程，POPs 一代代地被传输下去。因此，POPs 可能会影响几代人。

历史上的“日本米糠油事件”，正是 POPs 能够影响几代人的明证。通过多年来的跟踪研究表明，不仅当年的受害者体内有 PCBs、呈现出明显的 PCBs 中毒症状；在其第二代甚至第三代体内也同样检测出有 PCBs，同时部分第二代和第三代也呈现出了 PCBs 中毒症状，如全身黏膜黑色素沉着、发育缓慢等。

## 20. 有机氯杀虫剂类 POPs 的中毒症状有哪些？

有机氯杀虫剂类 POPs 可从呼吸道、消化道、皮肤进入体内，且可蓄积于脂肪组织中。主要受影响器官为神经系统、肝、肾及心脏。对皮肤及黏膜也有刺激作用。其中 DDT 具有轻度雌激素样反应，并有抗类固醇作用。中毒症状发生的时间和严重度，根据毒物的种类、剂型、数量和进入途径不同而异，一般在 30 分钟至数小时内发病。

①轻度中毒的症状：头痛、头晕、乏力、视力模糊、恶心、呕吐、腹痛、腹泻、易激动、偶有肌肉不自主抽动等；

②较重中毒的症状：多汗、流涎、震颤、抽搐、腱反射亢进、心动过速、紫绀、体温升高等；

③重症中毒的症状：可呈癫痫样发作或出现阵挛性、强直性抽搐，偶有在剧烈和反复发作后陷入昏迷和呼吸衰竭，甚至死亡。

## 21. 多氯联苯的中毒症状有哪些？

人畜摄入含 PCBs 食物后，由于其具有疏水亲脂性，所以被吸收的部分多蓄积在多脂肪的组织中，在肝脏中的残留最多。PCBs 可引起皮肤损害和肝脏损害等中毒症状。在全身中毒时，表现嗜睡、全身无力、食欲不振、恶心、腹胀腹痛、黄疸、肝肿大等。表现在外的有颜面、颈部或是身体柔软部位出现疙瘩，或是类似青春痘的皮肤病、头晕目眩、手脚疼痛、四肢无力、水肿，或是指甲、眼白、齿龈、嘴唇、皮肤等处的黑色素沉淀，甚至融入细胞的 DNA 中，导致遗传因子紊乱，促使癌症的产生。严重者可发生急性肝坏死而致肝昏迷和肝肾综合征，甚至死亡。

少量的 PCBs 并不会引起急性毒性，而是会慢慢地侵入人体。对于人体的伤害主要在肝、肾以及心脏。除了会破坏这些内脏的机能之外，还会缩小其体积，减轻重量。此外，还会产生贫血、骨髓发育不良、脱发等症状。

## 22. 二噁英类的中毒症状有哪些？

二噁英的暴露途径主要是经口摄入、皮肤接触以及呼吸道摄入。二噁英的主要靶器官有脂肪组织、免疫系统、肝脏以及胚胎。二噁英能够导致皮肤性疾病，产生免疫毒性、内分泌毒性、生殖毒性、发育毒性，并具有很强的致畸致癌性（其中 2,3,7,8−TCDD 已被美国环境保护局确证为一级致癌物）。

人类由于职业接触或意外事故中暴露中毒的症状主要有：氯痤疮，肝损害，卟啉血症，感觉障碍，精神障碍，食欲减退，体重减轻且接触人群肿瘤发病率升高。

二噁英类对人体的毒性作用主要包括以下几个方面。

①皮肤性疾病：二噁英导致的皮肤性疾病主要为氯痤疮，主要症状为黑头粉刺和淡黄色囊肿。1897 年第一次描述了因二噁英发生氯痤疮的病例。30 年代，氯痤疮成为多氯联苯农药制药厂制药工人的职业病。主要症状为病人皮肤出现囊泡、小脓泡，重者全身疼痛，并可持续数年。动物实验研究显示，当其体内二噁英浓度达到 23 ～ 13 900 ng/kg 时，就发生氯痤疮，而人类则仅需 96 ～ 3 000 ng/kg 即可发病。

②致癌性：二噁英对动物具有较强的致癌性，其中 2,3,7,8−TCDD 被列为国际癌研究所致力研究的强致癌物质之一，被列为一类致癌物，也是一种致命的致癌物质。对啮齿动物进行的 2,3,7,8−TCDD 染毒实验表现为诱发多部位肿瘤，小鼠的最低致肝癌剂量仅为 10 ng/kg。1988 年 , 美国发表了全球第一个二噁英危险评价公报，指出一万个癌症病人中，就有一个是因二噁英引起的。1995 年，该报告的第二版将这个数值修定为 1/1000。5 份回顾性研究结果显示，人群接触二噁英与人群所有癌症的总

体危险性增加有关。

③生殖毒性：二噁英的生殖毒性主要是通过对生物个体的性激素影响来实现的。一般认为，其毒性对男性和雄性动物较明显。主要症状表现为睾丸重量减轻、精细胞减少、输精管中精母细胞和成熟精子退化。有报道称二噁英可以通过诱导附睾精子的氧化应激状态来影响小鼠的生殖功能。调查显示，在意大利 Seveso 地区遭受二噁英污染后，受污染的居民后代中女孩比例高于男孩，在受影响的某些动物身上也发现了这种雌性化增多的现象。二噁英对雌性的影响主要表现为子宫重量减轻，卵巢功能障碍、子宫中雌性激素受体减少、严重的导致不孕及子宫内膜异位。

④免疫毒性：二噁英对细胞免疫和体液免疫均具有抑制作用，造成免疫能力下降。体内和体外研究发现，二噁英可引起胸腺内细胞耗竭和胸腺萎缩，此外研究还发现二噁英对骨髓、肝脏、肺脏中的淋巴干细胞、T 细胞分化等细胞免疫均有一定影响。通过对台湾地区米糠油事件的受害者检查发现，其血清中的 IgA（粘膜局部抗体，Iimmunoglobulin A）和 IgM（免疫球蛋白，MImmunoglobulin M），血液中 T 淋巴细胞百分含量下降，这与动物试验中观察到的症状相似，说明二噁英对人体体液免疫具有一定影响。

⑤内分泌毒性：二噁英是一种环境激素，它能够造成内分泌系统的正常功能的紊乱。例如二噁英会改变甲状腺激素和内胰岛素的代谢水平，引起糖代谢紊乱。调查发现，越战期间接触橙剂的美国士兵和意大利遭受二噁英污染的 Seveso 地区的人群中，糖尿病的发病率明显上升。另外，二噁英还可以干扰糖皮质激素、维生素 A、血脂和卟啉代谢，引起一系列带些紊乱。

⑥发育毒性：二噁英对发育中的个体尤其是胚胎期的影响比较大。在对老鼠和猴子的实验中发现，在胚胎期通过母体接触二噁英的后代通

常呈现出畸形、性成熟期延迟、生育率降低及生殖器官受到损害等症状。但对于人类来说，二噁英致畸较难确认，但研究发现，参加越战的美军士兵的妻子们自发性流产和下一代子女呈现的各种缺陷率增加了 30%。

⑦行为与智力影响：2001 年，Walkowiak 等在《柳叶刀》发表研究报告指出，产前与产后 PCBs 暴露抑制了儿童运动和心理的正常发育。一项对产前 PCBs 暴露与青少年时期（11 岁）注意力及信息处理能力相关性研究发现，产前 PCBs 暴露与容易冲动、注意力差、语言、图像、听觉工作记忆力差有关。另外一项研究也显示婴儿血液中低剂量 PCBs（0.01 ～ 4.41 ng/kg）和 DDE（0 ～ 10.29 ng/kg）与婴儿注意力差有相关性。但是在德国的 1993—2000 年以及 2000—2002 年的进行的两项实验中却未发现此相关性。为此，另有研究认为这可能是由于 PCBs 对婴儿注意力和活动性的影响存在特定的敏感时间窗口，这也许是导致 PCBs 与儿童行为及智力异常研究存在争议的原因之一。此外，也有研究认为二噁英和 PCBs 可以改变人体甲状腺激素水平，而甲状腺对于哺乳动物神经系统的正常发育具有重要作用，在胎儿和新生儿时期，甲状腺激素失调可能会导致运动和认知障碍。

# 23. 为什么说二噁英是目前世界上已知毒性最强的物质？

二噁英是一组化合物的统称，属于氯代三环芳烃类化合物，有近 200 个同系物异构体。其中毒性最强的是 2,3,7,8- 四氯二苯并 - 对 - 二噁英（2,3,7,8-TCDD），分子量 321.96，为无色或白色的结晶固体。

难于分解：二噁英在标准状态下一般为白色固体、无色无味，熔点约为 303 ～ 305℃，当温度达到 705℃的时候才开始分解。二噁英难溶于水，易溶于有机溶剂和脂肪，自然界的微生物和水解作用对二噁英的分子结构影响较小，因此二噁英很难自然降解消除。随着氯化程度的增高，二噁英的溶解度和挥发度相应的减小。此外二噁英的蒸气压很低，一般随取代氯原子数目的增加而降低，在大气环境中超过 80% 的二噁英分布在大气颗粒物中。

不易代谢：二噁英可存在于食品、空气污染物中，经呼吸道、消化道和皮肤进入人体，分布于全身，以肝脏、脂肪等组织器官中含量较高，具有生物蓄积和生物放大作用。二噁英由于其化学稳定性并易于被脂肪组织吸收，因此不易被代谢，在猪体内，半衰期约为 22 ～ 43 天。

毒性强烈：二噁英属剧毒物，其毒性相当于氰化钾的 1000 倍以上，是砒霜的 900 倍，即使是在极其微量的情况下，长期摄入也会引起癌变和畸形，是对人类健康危害最大的化学物之一，被称为“地球上毒性最强的毒物”。在二噁英众多的各种异构体中，2,3,7,8-TCDD 毒性最大，已被国际癌症研究中心列为人类一类致癌物。

# 24. 什么是二噁英的毒性当量？

因为环境中二噁英是以混合物的形式存在，故国际上常把不同组分的二噁英折算成 2,3,7,8−TCDD 的量来表示，称为毒性当量（TEQ）。PCDD、PCDF 和共平面的 PCB 的各种同系物毒性的强弱以毒性当量因子（TEF），即用其毒性与 2,3,7,8−TCDD 的毒性相比得到的系数大小来表示，毒性当量因子（TEF）与其浓度或者含量的乘积，称为其毒性当量含量（TEQ）。《斯德哥尔摩公约》采用的毒性当量系数与公认的国际标准相一致，首先是采用世界卫生组织于 1998 年针对 PCDD、PCDF 和共平面 PCB 订立的哺乳动物毒性当量因子（I-TEF），毒性含量以毒性当量表示（I-TEQ）。即将样品中各种二噁英同族体的含量乘以其相应的毒性当量因子后求和，得到样品中二噁英类物质的总毒性。在 210 种 PCDD/Fs 同族体中，人们主要关注其中毒性较大的 17 种，它们的毒性当量因子如下表所示。

17 种二噁英的毒性当量因子

| PCDDs | I–TEF 值 | PCDFs | I–TEF 值 |
|---|---|---|---|
| 2,3,7,8− | 1.0 | 2,3,7,8− | 0.1 |
| 1,2,3,7,8− | 0.5 | 2,3,4,7,8− | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8− | 0.1 | 1,2,3,7,8− | 0.05 |
| 1,2,3,7,8,9− | 0.1 | 1,2,3,4,7,8− | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8− | 0.1 | 1,2,3,7,8,9− | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8− | 0.01 | 1,2,3,6,7,8− | 0.1 |
| OCDD | 0.001 | 2,3,4,6,7,8− | 0.1 |
| （八氯二苯并－对－二噁英） | | 1,2,3,4,6,7,8− | 0.01 |
| | | 1,2,3,4,7,8,9− | 0.01 |
| | | OCDF（八氯二苯并呋喃） | 0.001 |

注：其他的 PCDD/Fs 的 I-TEF ＝ 0。

## 25. 多溴联苯醚的毒性如何？

多溴联苯醚（PBDEs）的毒性实验研究表明，PBDEs 对动物的影响主要包括：①减少甲状腺荷尔蒙甲状腺素数量；②增加动物肝 / 体重比值；③减少动物体内胸腺素重量；④减少动物体内免疫球蛋白数量；⑤对动物神经系统的毒性。

PBDEs 对老鼠和兔子的毒性研究表明，PBDEs 会对实验对象的神经系统造成损害。八溴联苯醚的浓度如果大于 2 mg/kg 就可能会导致胎儿的中毒和畸形，十溴联苯醚则在 80 mg/kg 的浓度下会使得成熟动物的甲状腺、肾脏和肝脏产生形态上的改变。

PBDEs 的化学结构与甲状腺激素的结构十分相似，并且，甲状腺激素与 PBDEs 的代谢产物一样，都能够生成羟基化和卤化的二苯醚。因此，几乎所有的多溴联苯醚都能干扰生物体内甲状腺激素的平衡。由于甲状腺的激素可以调节胎儿以及幼儿时期的发育，所以母亲体内和幼儿体内的甲状腺激素水平对大脑的正常发育有着十分重要的影响。甲状腺激素失衡在动物身上表现为学习和思维能力下降，并伴有多动症的症状和焦虑的行为状态。有统计表明，参与生产 PBDEs 产品的工人易患甲状腺功能减退。

另外值得注意的是，PBDEs 不同同系物的毒性差别很大。商品中工业五溴联苯醚毒性最大，在很低的剂量下就会表现出毒性；而十溴联苯醚则需要很大剂量才能表现出毒性。

## 26. 硫丹的毒性如何？

硫丹为高毒性物质，可引起包括神经毒性和生殖系统毒性在内的多种毒性作用。大鼠进行亚慢性染毒表现为血液和肝脏代谢系统的变化、血浆和红细胞内的胆碱酯酶含量下降。另外，硫丹被认为具有遗传毒性，细菌、酵母和细胞以及动物实验的结果表明，硫丹能够引起基因突变、DNA 损伤和染色体异常，有研究观察到硫丹会对人体淋巴细胞、肝胚细胞、中国仓鼠细胞卵细胞等产生遗传毒性和致突变性。

硫丹会通过呼吸、饮食或经皮吸收摄入生物体内。对眼和上呼吸道有刺激作用，并对中枢神经系统、肝、肾有损害作用。人吸入硫丹粉尘会出现恶心、兴奋、颜面潮红和口干等症状，急性中毒主要表现为中枢神经系统损伤，一般表现为头痛、头晕、瞳孔收缩、恶心、呕吐、抽搐、痉挛、口吐泡沫。

# 27. 全氟辛烷磺酸及其盐类的毒性如何？

全氟辛烷磺酸及其盐类（PFOS）可对生物造成多种影响，其毒性效应包括肝脏毒性、生殖和发育毒性、内分泌干扰效应、神经毒性、潜在致癌性等。

## 肝毒性

针对啮齿类及非人类灵长类动物的 PFOS 长期染毒实验显示，PFOS 可导致实验动物的肝重增加，及体内肝细胞腺瘤的出现。PFOS 激活过氧化物酶体增殖体激活受体 (PPAR−α) 是其潜在的诱发因素之一，这种激活模式可以引发参与过氧化物酶体增殖、细胞周期控制和细胞凋零的基因表达的改变。

针对罗非鱼的肝细胞培养液的 PFOS 急性毒性研究显示，24 h 后肝细胞存活能力显著降低。另有研究表明，PFOS 的急性毒性暴露（100 mg/kg，按体重计）可引起小鼠肝脏过氧化酶体增殖浓度的减少和肝肿大。

## 生殖和发育毒性

生殖和发育毒性实验表明，怀孕动物对 PFOS 的长期暴露可导致新生动物的体重降低、腭裂、全身水肿、眼睛睁开时间推迟、骨骼骨化延迟和心室心脏畸形。出生前暴露实验发现，在最高暴露剂量组（10 mg/kg）中，新生大鼠在 30 ～ 60 min 内死亡。在第二高暴露剂量组（5 mg/kg）中，新生大鼠可以存活 8 ～ 12 h。当暴露剂量降至 3 mg/kg 时，50% 的新生大鼠可以存活。这表明新生大鼠的发病率和死亡率与它们体内的 PFOS 负荷存在显著相关。

另有研究表明，PFOS 对大鼠精子形成和成熟过程有损伤作用，PFOS 会使大鼠体重和睾丸重量下降，精子畸形率升高，精子活动率降低。

### 内分泌干扰效应

PFOS 可以将甲状腺激素从它们的结合蛋白中替换出来，从而导致大鼠血清中的甲状腺激素的浓度水平降低。

### 神经毒性

PFOS 可通过升高细胞内钙离子浓度并增强钙离子通道，来产生急性和慢性的神经毒性效应。研究证明 PFOS 对培养的神经元的损坏程度主要源于碳链的长度以及连接在全氟化烷基链上的官能团。

### 潜在致癌性

基因芯片技术显示 PFOS 可抑制基因表达，且被抑制基因的数量与染毒剂量有关，被 PFOS 抑制的基因主要参与电子和氧的转运、蛋白质氨基酸的磷酸化和水解。3M 公司用大鼠研究了 PFOS 的慢性毒性和致癌性，以 0.5 mg/L、2.0 mg/L、5.0 mg/L、20 mg/L 剂量对雄性和雌性大鼠经口连续染毒，染毒 53 周时，大鼠胆固醇含量降低，丙氨酸转氨酶浓度明显升高；染毒 104 周时，肝小叶中心的肝细胞增生，并形成空泡，同时各剂量组出现肝胆囊水肿恶化。

# 28. 贴有“OEKO-TEX”生态标志的纺织品就一定不含有 PFOS 吗？

OEKO-TEX® Standard 100 是国际纺织品生态学研究与检测协会（OEKO-TEX）出版的一个标准文件。该标准规定了授权在纺织品上加贴 OEKO-TEX® Standard 100 标签的一般要求和特殊要求。标准适用于纺织品、皮革制品以及生产各阶段的产品，包括纺织品及非纺织品的附件；也适用于床垫、羽绒羽毛、泡沫、室内装饰及其他具有类似特性的材料；但是不适用于化学品、助剂和染料。




OEKO–TEX® Standard 100 标签

OEKO-TEX® Standard 100 标志（可信任纺织品——已按照 OEKO-TEX® Standard 100 进行了有害物质检测）是指符合一般及特别技术条件，并经隶属于国际纺织品生态学研究与检测协会（OEKO-TEX®）的某一机构或许可认证机构授权，在纺织产品或其附件上使用的一种标志。

从 2009 年的修订版开始，PFOS 被纳入了该标准中，2015 年标准具体如下表所示。

OEKO-TEX® Standard 100 标准中的 PFOS 限值

| 产品分类 | I<br>婴儿 | II<br>直接接触皮肤 | III<br>不直接接触皮肤 | IV<br>装饰材料 |
|---|---|---|---|---|
| PFOS/（μg/m$^2$） | ＜ 1.0 | ＜ 1.0 | ＜ 1.0 | ＜ 1.0 |

因此，如果在纺织品上发现贴有 OEKO-TEX® Standard 100 标签，就可以视为其不含有 PFOS，即不会对人体造成伤害。

# 第二章
# 来源存在篇

# 29. POPs 物质是如何进入历史舞台的？

1774 年，瑞典药剂师 Karl Eilhelm Scheele 发现了元素氯（Cl），氯取代是许多 POPs 呈现持久性和毒性的重要原因。

1873 年，在法国斯特拉斯堡大学 Adolph von Bayer 实验室工作的德国人 Othmar Zeidler 合成了 DDT。

1886 年，H. Moissan（1906 年诺贝尔化学奖获得者）首次用电解 HF-KF 分离出元素氟，氟取代是新增列 POPs 呈现持久性和毒性重要原因。

1927 年，位于美国阿拉巴马州安尼斯顿的安尼斯顿军火公司（Anniston Ordnance Company）首先将多氯联苯作为热载体、绝缘油等商品化投放市场，该公司于 1930 年更名为斯旺化学公司（Swann Chemical Company）。

1929 年，PCBs 开始以 Aroclor 为商品名进行生产，之后包括美国、澳大利亚、法国、德国、西班牙、英国、俄罗斯、中国、日本等，越来越多的国家开始生产和使用 PCBs，生产出的 PCBs 被出口到全球各个国家。一名孟山都公司的工程师曾赞誉 PCBs 的性能为“完美得而无与伦比”（as perfect as any industrial chemical can be）。

1939 年，瑞士化学家 Paul Hermann Müller 发现了 DDT 的杀虫活性。在接下来的几十年内，以 DDT 为代表的有机氯合成杀虫剂得以大规模生产，并在农业生产和卫生领域广泛应用。

1944 年，Khanenia 和 Zhiravlev 发现将松节油中的萜烯氯化可以提高其对虱子的毒性，几年后 Hercules Powder Company（力士粉剂公司）将其商品名定为毒杀芬（Toxaphene）。

1946 年，Prins H.J. 率先在 *Rec. Trav. Chim.* 杂志上报道了灭蚁灵的杀

虫活性，但是直到 1955 年它才正式被用作杀虫剂。

1948 年，Paul Hermann Müller 因发现 DDT 的杀虫活性而获得当年度的诺贝尔医学和生理学奖。人们对于有机氯杀虫剂“高效无害”深信不疑，对于合成农药的前途充满了乐观的憧憬。

1952 年，美国 3M 公司开始用电解氟化法（electrochemical fluorination，ECF，也称为西蒙法）生产全氟辛烷磺酰氟（PFOSF），并从 PFOSF 进一步生产各种全氟辛烷磺酸及其盐类。

1957 年，Sanderman 等报道了 2,3,7,8−TCDD（2,3,7,8− 四氯二苯并 − 对 − 二噁英）的合成方法，并首次确定了其结构。

1977 年，荷兰学者 Olie 等在垃圾焚烧炉烟气中检测出二噁英，从而使人们意识到焚烧等热过程与二噁英生成之间的紧密关系。

# 30. POPs 是如何进入环境的？

在《斯德哥尔摩公约》所规定的 POPs 中，大多数是人类为了满足特定的需要而有意合成和生产的，而二噁英（PCDD/Fs）则主要是在一些工业过程中作为副产物无意生成的。此外，六氯苯（HCB）和 PCBs 等除故意生产外，也会在一些工业过程中无意生成。

①杀虫剂类 POPs：包括艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、DDT、六氯苯、七氯、氯丹、灭蚁灵、毒杀芬、十氯酮、林丹、五氯苯、硫丹等。除了生产过程随“三废”排放进入环境之外，这一类 POPs 主要是通过农业生产过程以及卫生领域的虫害防治过程而进入环境，通常是首先进入土壤和水体中，进而挥发进入大气或者生物累积到动物体内。

②工业产品类 POPs：包括 PCBs、多溴联苯、多溴二苯醚、PFOS/PFOSF 等。这里以 PCBs 为例，PCBs 通常是作为助剂而被添加到各种各样的工业产品中，其中相当重要的用途是作为电力工业中的变压器和电容器中的浸渍剂。PCBs 可能从各种含 PCBs 的产品中直接缓慢地释放出来并直接进入环境；当含 PCBs 电力设备被废弃后进入垃圾填埋场或者焚烧炉后，PCBs 并不容易降解或被分解，从而逐渐释放出来进入土壤、地下水和空气等各种环境介质中；即使是封闭应用的变压器和电容器，在其报废后如果储存或处置不当，也会造成其中的 PCBs 大量进入环境。

③无意排放类 POPs：包括二噁英、α- 六氯环己烷、β- 六氯环己烷等。以二噁英为例，美国环保局（EPA）的一份报告指出，90% 以上的二噁英是由人为活动所引起的。科学家分析了 2 800 年前智利木乃伊体内的二噁英含量，发现还不及现代人的千分之一。通过对美国湖泊底泥和英国的土壤、植被的研究发现，二噁英的含量在 20 世纪 30 ～ 40 年代

才开始快速上升，而这段时间正对应于全球氯化工迅猛发展的时期。与此同时，森林火灾、火山喷发或某些天然过程也可以产生二噁英。日本的《二噁英特别措施法》中就明确将火山和森林火灾列为二噁英的自然产生源。另外在 1997 年，美国食品与药物管理局（FDA）曾经要求美国阿肯色州 Riceland 食品公司和 Quincy 大豆公司停止饲喂了含豆油饲料的鲇鱼、鸡和鸡蛋的销售，原因就在于饲料中所添加的黏皂土受到了二噁英物质的污染，这些黏皂土来源于密西西比的一个矿区。而证据表明，这个矿区及周围没有被用于填埋过该类废物，因此推断这些黏皂土中的二噁英可能是史前天然形成的。为了区分环境中存在的二噁英是天然过程还是人为活动所产生的，学术界定义了二噁英的“自然背景”和“当前背景”。“自然背景”是指环境中所存在的由天然过程所产生的二噁英；“当前背景”是指今天环境中实际存在的二噁英。实际上，“自然背景”我们是无法知道的，“当前背景”主要是由人为活动所造成的。

# 31. 生活中主要的 POPs 污染源有哪些？

POPs 的污染和一般常规污染物造成的污染不同，POPs 污染一般是看不见、摸不着也闻不到的，它在环境中以极低浓度存在，但污染危害性确相当大。

在日常生活中，我们几乎无法避免地要与这类物质相接触，施洒在田地里的有机氯农药随着雨水流入河川，或者附着在瓜果蔬菜进入了您的菜篮子；淘汰了的旧电容器或者变压器可能就是隐藏在您身边的多氯联苯“炸弹”；垃圾焚烧炉、汽车尾气和钢铁冶金等工业释放的二噁英随大气落入附近的土地，又随雨水流入江河湖海……

以二噁英为例：主要的污染源是化工冶金工业、垃圾焚烧、造纸等产业。而垃圾焚烧为二噁英的重要排放源。日常生活所用的胶袋，PVC（聚氯乙烯）软胶等物都含有氯，燃烧这些物品时便会释放出二噁英，悬浮于空气中，随雨水等沉降进入土壤和水、沉积物，进入食物链，最终进入人体。

因此，我们的生活中可能到处都存在 POPs 物质。

## 32. 废弃库存农药类 POPs 是如何产生的？

废弃库存农药在许多国家都是个严重的问题，数十年来废弃的农药堆积在发展中国家，据估计全球有超过 20 万 t 的农药散布在数千个储存点。大部分的 POPs 农药已被禁用或废弃。目前已发现有些储存点因容器锈蚀而导致的 POPs 渗漏，污染了当地土壤和地下水，危害居民健康和生态环境。

废弃库存农药类 POPs 存在的原因：

①禁用的农药未卖完而被储存起来。

②因未妥善储存或过期而造成农药变质。

③原产品的用途已不再适用。

④因辅助成分化学变化而导致产品无法使用。

# 33. POPs 容易存在于哪些环境介质中？

### 杀虫剂类 POPs

此类 POPs 较多地被直接喷洒在农田土壤中。由于其环境持久性，即使相关杀虫剂已禁用多年，目前在土壤中还能够被频繁检出。同时，通过雨水的冲刷作用，大量的杀虫剂会被雨水造成的地表径流携带进入水体。

### 工业产品类 POPs

此类 POPs 主要伴随着其生产、使用、报废等生命周期主要环节而进入环境。以 PCBs 为例，主要是由封存的含多氯联苯电力设备（如变压器和电容器）的泄漏所造成的，其首先进入的环境介质通常是土壤和地下水。

### 无意排放类 POPs

主要来自于各种工业过程的副产物，一般首先随烟气排放进入大气。吸附在大气颗粒物上的 POPs 又会随着干沉降和湿沉降过程进入土壤和水体。

# 34. 燃烧过程为何会产生二噁英？

二噁英是经由天然和伴随人为活动所产生的，并非人类刻意制造的。其产生来源主要为自然生成、工业原料制程的副产物、特定工业制程的燃烧行为、废弃物焚化炉及其他人为的燃烧行为等。因此，二噁英在燃烧排放物中是普遍存在的，并与燃烧物所含物质有关，目前有多项研究尝试去解释其如何在燃烧过程中形成，多数报告均指向焚化炉及与二噁英形成有关的前驱物，最常见的包括氯酚及氯苯化合物。一般而言，氯酚及氯苯燃烧会产生 PCDDs，多氯联苯燃烧则会产生 PCDFs。

PCDD 主要合成途径有乌尔曼反应、缩合反应、自由基反应、与邻苯二酚盐之反应及取代反应四种，而 PCDF 之合成途径则有多氯联苯氧化、多氯酚盐的聚合反应及多氯酚盐及多氯苯的反应三种。至于焚化过程中产生的二噁英主要与废弃物成分、炉内形成及炉外低温再合成等过程有关。直接影响二噁英形成的因素包括温度、氧和水蒸气、飞灰上之碳和氯、HCl 和 $Cl_2$ 及催化剂等。

## 35. 垃圾焚烧炉是二噁英的首要排放源吗？

废物焚烧炉被许多人认为是二噁英的代名词，实际上它并不是二噁英的唯一来源。联合国环境规划署化学品处（UNEP Chemicals）于 2005 年发布的《二噁英识别与定量工具包》中列出来十大类近 70 种二噁英的产生和排放源。许多工业生产过程如铁矿石烧结、制浆造纸、再生有色金属冶炼等都会产生和排放二噁英。另外，火山爆发等自然现象也会生成二噁英。

事实上，许多的现代化大型焚烧炉由于采用了有效的最佳可行技术 / 最佳环境实践（BAT/BEP），已对二噁英的产生进行了很有效的控制。对焚烧过程遵循“3T ＋ E”原则，即良好的温度控制、充分的炉内烟气湍流程度、足够的停留时间和适当的空气供给量。使焚烧温度控制在 850 ～ 1 000℃、二燃室停留时间超过 2 s、保持较大的湍流程度、供给过量的空气，这样可以从工艺条件上避免二噁英的大量生成。另外，对焚烧烟气采用急冷、活性炭吸附与布袋除尘等方式进行净化，可以确保二噁英的排放达到极低的水平（＜ 0.1 ng TEQ/$m^3$）。

因此，关于焚烧炉的二噁英问题需要科学认识，对于许多土地资源稀缺、废物围城问题突出的都市地区，科学选址、选择成熟工艺、采用 BAT/BEP 措施，并科学严格管理，焚烧炉将能够在不危害居民健康和环境的同时有效地实现废物的减量化和无害化。

## 36. 汽油和液化气燃烧会含有二噁英吗？

日本 1997 年实施的《二噁英特别措施法》规定，机动车行驶带来的尾气排放也是二噁英的重要污染源之一。

汽车燃料中含有芳烃和二氯乙烷以清除汽车尾气中的铅（以四烷基铅作为防爆剂）。有研究表明，由于汽油的不完全燃烧，汽车尾气可以释放二噁英，其中 2,3,7,8−TCDD 为 0.5 ～ 16.7 pg/$m^3$，2,3,7,8−TCDF 为 0.55 ～ 201.4 pg/$m^3$。这些数值远远低于二噁英的其他来源，而且由于目前铅已不再作为防爆剂来改进辛烷值，进而含氯清除剂也可以停止使用，为此这一问题导致的二噁英污染会得到基本解决。

石油液化气是指由石油加工过程中所产生的低分子量的烃类炼厂气经压缩而成的液体，其主要成分是丙烷、丁烷、丁烯等。它的成分中不含有可以生成二噁英的物质，因此，单纯的液化气的燃烧是不会导致二噁英物质的产生，但是如果使用液化气去作为垃圾焚烧的助燃气体或者其他焚烧用途，那么可能会因为引入其他含氯的杂质导致二噁英物质的产生。

## 37. 吸烟会摄入更多的二噁英吗？

研究者发现，吸烟会摄入二噁英。有数据表明：英国香烟含量最高，平均每盒含 13.8 pg，每盒日本香烟含量为 6.1 pg，每盒中国香烟含量为 1.8 pg。

美国环保局规定人体每日摄取二噁英最高允许量，以体重计算，每公斤不超过 0.01 pg。吸一盒日本香烟相当于二噁英吸入量为 2.44 pg；吸一盒中国香烟相当于吸入二噁英量为 0.72 pg。而在排风不利的情况下，被动吸烟者每人吸入二噁英量则高达 0.5 pg 左右。如果一位体重为 65 kg 的吸烟者，每天吸一盒中国烟，其吸入的二噁英量为 0.72 pg，已超过了其日最高吸入限量 0.65 pg。

## 38. 已知哪些工业过程会产生副产品类 POPs？

二噁英（PCDD/Fs）、五氯苯、六氯苯（HCB）、多氯联苯（PCBs）、六氯环己烷等同为在涉及有机物质和氯的热处理过程中无意形成和排放的化学品，均是燃烧或化学反应不完全所致。

下列工业来源类别具有相对较高地形成和向环境中排放这些化学品的风险性：

①废物焚烧炉，包括：城市生活废物、危险性或医疗废物或下水道中污物的多用途焚烧炉；

②燃烧危险废物的水泥窑；

③以元素氯或可生成元素氯的化学品为漂白剂的纸浆生产；

④冶金工业中的下列热处理过程：铜的再生生产、钢铁工业的烧结工厂、铝的再生生产、锌的再生生产。

副产品类 POPs 也可从下列来源类别无意生成和排放出来，其中包括：

①废物的露天焚烧，包括在填埋场的焚烧；

②冶金工业中的其他热处理过程；

③住户燃烧源；

④使用矿物燃料的设施和工业锅炉；

⑤使用木材和其他生物质能的燃烧装置；

⑥排放无意形成的持久性有机污染物的特定化学品生产过程，特别是氯代酚和氯代醌的生产；

⑦焚尸炉；

⑧机动车辆，特别是使用含铅汽油的车辆；

⑨动物遗骸的销毁；

⑩纺织品和皮革染色（使用氯代醌）和修整（碱萃取）；

⑪处理报废车辆的破碎作业工厂；

⑫铜制电缆线的低温燃烧；

⑬废油提炼。

## 39. 拆解废旧电力设备会产生 POPs 污染吗？

一些陈旧的或者是报废的电力设备由于其电容器和变压器中的浸渍液可能含有 PCBs 物质，因此在拆解这些旧电力设备时很可能造成 PCBs 污染事故。

国家环境保护局和能源部在 1991 年 10 月颁布了《防止含多氯联苯电力装置及其废物污染环境的规定》，其中明确规定“严禁任何单位和个人出售、收购、拆解含多氯联苯电力装置”以防止拆解造成的 POPs 污染。

此外，中国台湾地区台南湾里于 20 世纪 60 年代末 70 年代初开始曾大量拆解过各种废旧电器，从业者通过焚烧的方式来去除非金属部分、回收其中的金属，结果造成了严重的二噁英污染事故。

# 40. 如何检测环境中的 POPs 含量？

由于环境中的 POPs 具有分布广泛、残留浓度低、干扰物质多、组成复杂等特点，且毒杀芬、PCBs、PCDD/Fs 等 POPs 包含多种同系物或异构体，因此，对环境中的 POPs 进行分析时，要求对样品的分析手段必须具有灵敏、准确、快速和自动化程度高等特点。

此外，POPs 样品的采集和预处理技术是环境样品分析的重要一环，只有采用科学合理的采样方法和高效准确的预处理技术才能保证 POPs 的分析数据准确可靠。在进行 POPs 环境样品的分析时，一个非常关键的问题是要求所采集的样品必须具有代表性。因此，采集 POPs 环境样品前，设计符合调研目的和所要考察的介质的采样方案至关重要，具体包括采样点的位置、样品数量以及采样时间。采样时还需严格遵守预定的采样方案（包括采样步骤和方法）等。就环境介质中的 POPs 而言，目前常用的预处理方法包括溶剂萃取（SE）、固相萃取（SPE）、固相微萃取（SPME）、微波萃取（MAE）、超临界流体萃取（SFE）、压力溶剂萃取（PLE）和加速溶剂萃取（ASE）等。

对采集后的 POPs 样品进行预处理后，接下来就需要对 POPs 进行分析。POPs 常用的分析方法包括化学分析与生物分析，化学分析的主要过程是首先实现 POPs 的分离，然后以特定的化学检测器对 POPs 进行定性定量测定；POPs 常用的化学分析方法主要有气相色谱（GC）法、气相色谱 / 质谱（GC/MS）法、高效液相色谱（HPLC）法、液相色谱 / 质谱（LC/MS）法、超临界流体色谱（SFC）法等。其中最常用的是 GC/MS 和 LC/MS，分别适用于非极性 / 弱极性 POPs（如：有机氯农药、PCBs、二噁英等）和极性 POPs（如全氟辛烷磺酸等）。生物分析技术则是利用

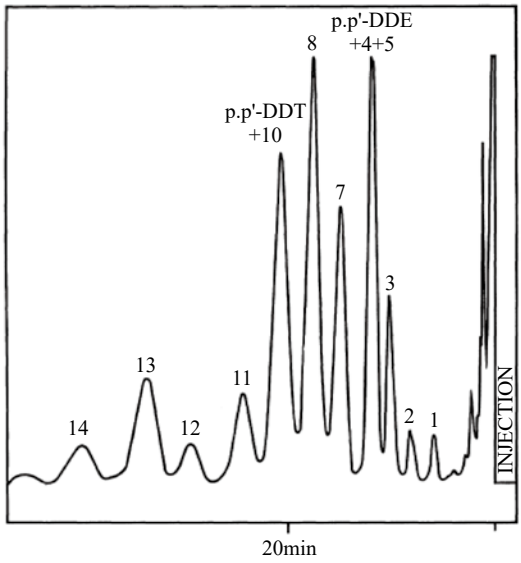
生物对 POPs 的某些特征反应以实现对环境中 POPs 的检测。POPs 的生物分析方法主要包括生物传感器检测法、表面胞质团共振（SPR）检测法和以芳香烃 （Ah）受体为基础的生物分析方法等。

# 41. POPs 在人体中的存在情况如何？

1964 年，瑞典皇家自然资源委员会要求斯德哥尔摩大学分析化学系来调查人体脂质中 DDT 及其代谢物的存在水平。在该系工作的化学家索伦 • 詹森（Sören Jesen）在测定人体血液中的 DDT 含量时，偶然发现了一种神秘的化合物。他进一步发现，大约 30 年前收集的野生生物标本中，无一例外都含有这种化合物，而这些标本是从瑞典及其附近的海域采集而来的。后来，这种神秘的物质竟然从詹森的妻子和女儿的毛发里也检测出来了，这究竟是什么东西呢？揭开这一秘密花了詹森两年多的时间，他最终发现这种神秘物质是 PCBs。1966 年，詹森关于此项研究的论文发表在英国的《新科学家》（*New Scientist*）杂志上。这一里程碑式的研究引起了广泛轰动，它颠覆了人们关于封闭使用的工业化学品是不会被人体所摄入的传统认识，直接导致了 PCBs 本身的禁用，同时公众要求加强化学品境管理的意识也显著增强。

POPs 在 19 世纪被人类大量合成应用，或作为工业副产物而大量生成。由于 POPs 的持久性和生物累积性，POPs 在各种环境介质和生物体中广泛存在。时至今日，尽管部分 POPs 已被停止生产和使用，但是世界上已很难找到没有 POPs 存在的净土了，相应地几乎人人体内都有或多或少种类，或高或低含量的 POPs。

西班牙格拉纳达大学（Universidad de Granada）放射医学和物理治疗系的科研人员于 2008 年 1 月公布的一项研究结果表明，在他们所检测的 387 名成年西班牙人志愿者的脂肪组织样品中，100% 都被检出有一种以上的 POPs，主要有 DDT 的代谢物滴滴伊（检出率 100%）、PCB-153（检出率 92%）、六氯苯（检出率 91%）、PCB-180（检出率 90%）、PCB—138（检出率 86%）、六六六（检出率 84%）等。



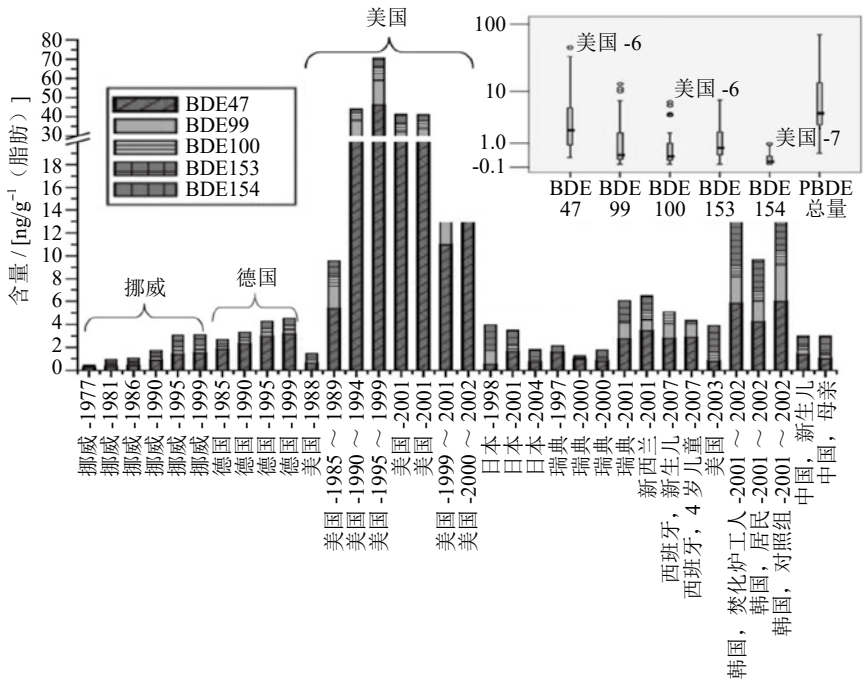

**詹森在色谱图上发现的多个神秘谱峰是由多氯联苯引起的**

［资料来源：Sören Jensen. The PCB Story. *Ambio*. 1972,1(4): 123 ～ 131］

通过细心考察志愿者的饮食习惯、生活方式、起居行为等，研究人员试图找到体内 POPs 含量的影响因素。进一步研究发现，妇女体内的 POPs 含量相对要高于男子体内的含量，而年长者体内的含量相对要高于年轻人体内的含量。科研人员推测这可能有两种解释，一种解释是由于 POPs 的持久性和生物累积性，其通过食物进入人体内并日积月累，因此年长者体内的 POPs 含量相对较高；另一种解释是所谓的“群组效应”（Cohort Effect），即在 POPs 高污染年代出生的人体内的 POPs 含量应当相对较高。而这些 POPs 被认为是通过食物、饮水或呼吸等进入人体并在人体脂肪组织中累积下来的。

# 42. 溴代阻燃剂类 POPs 在人体中的存在水平如何？

已有不少的文献报道了各种人体样品，如：人体组织、血样、母乳等中 PBDEs 污染水平的调查结果。下面显示了世界范围内人体血样 PBDEs 主要同类物 BDE47、99、100、153、154 的含量分布情况，共包含了 10 个国家的 1 157 份血样的结果，时间跨度为 1977—2007 年。从图中可以看出，BDE47 的含量最高，其平均含量占 PBDEs 总含量的 47.9%，其次为 BDE153，所占比例为 17.3%。不同地区人体血样中的 PBDEs 含量差别很大，范围为 0.44 ～ 71 ng/g ( 脂肪 )。其中含量最高的为美国，相对于欧洲而言美国人群处于一个相对较高的 PBDE 暴露环境；而日本人群所处的环境中 PBDE 的含量比欧洲要低。研究证明，目前我国人体血样中 PBDE 的含量还处于一个相对较低的水平。




不同国家人体血样中 PBDEs 的含量分布图

［资料来源：王亚韡 , 江桂斌 . 人体中多溴联苯醚 (PBDEs) 和全氟辛烷磺酰基化合物 (PFOS) 研究进展 . 科学通报 . 2008,53(2): 129 ～ 140］

# 43. 溴代阻燃剂类 POPs 在我国环境中的存在水平如何？

溴代阻燃剂进入环境可通过多个途径，包括生产与使用过程中的大气排放、含 PBDEs 废物的回收利用和垃圾填埋场的渗出等。从产品的整个生命周期来看，PBDEs 与 HBCDs 相对较为易于从产品转移到周围环境中。最近的调查结果发现，我国珠江三角洲、长江三角洲、渤海湾等主要水体和流域中都普遍存在溴代阻燃剂污染。

除了室内使用的电器等常见的非点源外，有两种典型的点源来源，即电子垃圾产品拆解厂和溴代阻燃剂工业品生产活动。

溴代阻燃剂工业品生产活动是产生相关 POPs 污染的主要源头之一。以 HBCD 为例，2011—2012 年我国 HBCD 产量约 3.5 万～ 3.8 万 t，生产厂家主要集中在山东、河北等地。在山东某 HBCD 生产厂家附件土壤样品 HBCD 含量的研究表明，该地区环境受到生产过程的影响，土壤中 HBCD 浓度范围在几纳克 / 克至几十纳克 / 克（干重），且随着与生产厂房距离的增大而降低，最终在距厂房 15 km 左右 HBCD 浓度降至背景值。

废弃电子电器中部分重金属等物质可以回收再利用，可创造相当可观的经济收益。但是因为电子产品制造材料成分复杂，含有多种有毒物质，因此不当的拆解处理会造成严重的环境危害。

例如，对某电子垃圾集中拆卸地区进行的检测研究发现，PBDEs 在电子垃圾酸洗地点土壤中达到了 2 720 ～ 4 250 ng/g（干重），在打印机墨辊堆放点土壤中达到了 593 ～ 2 890 ng/g（干重），在塑料零件和电线的燃烧残渣中高达 33 000 ～ 97 400 ng/g （干重）。废弃电子电器的不当拆解已经成为该地区陆生生态系统中最主要的 PBDEs 释放源。

而在对电子电器回收地区哺乳期妇女进行的检测中，分别检测了母乳、胎盘、头发样品中 PCDD/Fs 的含量，结果发现母乳、胎盘和头发中 PCDD/Fs 毒性当量均显著高于对照组地区哺乳期妇女各种样品中 PCDD/Fs 的毒性当量，表明废弃电子电器的粗放回收对当地环境和人体健康已经造成了极大的威胁。

# 44. 全氟辛烷磺酸及其盐类在人体中的存在水平如何？

由于血液中的污染物浓度与人体内的浓度存在很好的相关性，而且采集人的血样不会对人体造成伤害，所以血液中的污染物浓度就成了一个很好的人类暴露的检测指标。

世界范围内对于 PFOS 在血液中的存在情况已经开展了一定的研究。在一项针对美国 6 个红十字会血液收集中心捐献的 645 个成人血清样品开展的研究中发现，男性血清 PFOS 浓度的平均值为 37.8ng/mL，略高于女性平均值 31.3 ng/mL。在 2006—2007 年，针对澳大利亚昆士兰州东南部地区人群的 2 420 份血清样品检测结果显示，在分析的 8 种主要的全氟化合物中，PFOS 的平均浓度最高，达到 15.2 ng/mL。针对德国南部 356 份非职业性暴露人群血浆中的 PFOS 浓度进行分析时发现，女性血浆中 PFOS 浓度范围为 2.5 ～ 30.7 ng/mL，男性血浆中 PFOS 浓度范围为 2.1 ～ 55.0 ng/mL。基于之前的检测结果，研究人员指出德国一般人群血浆中 PFOS 浓度参考值为：成年男性 25 ng/mL，成年女性 15 ng/mL，学龄期儿童（6 周岁）10 ng/mL。

目前我国开展的人体 PFOS 存在水平检测尚处于起始阶段，从现有结果来看，部分地区人群的 PFOS 血液浓度值较高，值得引起重视。

## 45. 全氟辛烷磺酸及其盐类在环境中的存在情况如何？

目前来看，尽管一些国家和地区正在采取种种措施控制 PFOS 污染，但 PFOS 在环境中已扩大为全球性污染，水体中的存在水平大体为每升水中几纳克到几百纳克 PFOS 的污染程度。PFOS 成为了世界各地水土污染中最主要的全氟化合物污染物之一，在世界各处均被检出，而我国属于受其污染较为严重的地区之一。同时，PFOS 还呈现出分布不均匀的特性，其在水体中的浓度从每升零点几纳克到几千纳克不等，在人口稠密区域的浓度明显高出偏远区域，且常表现出点状分布，往往与污水处理厂等工业厂区的分布关系最密切。此外，PFOS 在我国生物体内，尤其是禽类、蛋类的含量水平应当引起重视。

# 第三章
# 污染事件篇

# 46. 日本“米糠油事件”是如何发生的？

发生在日本北九州市、爱知县一带的日本“米糠油事件”是世界著名的“八大公害事件”之一。

1968 年 3 月，日本的九州、中国、四国等地发生几十万只鸡突然死亡的事件（该事件也称作“火鸡事件”）。病鸡主要症状是气喘，头和腹部肿胀，而后死亡。经检验，发现鸡饲料中有毒，由于没有进一步追究，所以当时并没有弄清楚饲料中有毒物质的来源。

1968 年 6 月至 10 月，日本福岛县先后有 4 家共 13 人因原因不明的皮肤病到九州大学附属医院就医，患者表现为痤疮样皮疹并伴有指甲发黑、皮肤色素沉着、眼结膜充血、眼脂过多等，疑是氯痤疮。随后的几年，全国各地患者逐年增多，其中以福冈、长崎两县最多。截至 1978 年 12 月，包括东京都、京都郡和大阪府在内的 28 个县共发现 1 684 名患者，其中死亡 30 余人。

该事件引起了日本卫生部门的高度重视，成立了由九州大学医学部、药学部和县卫生部组成特别研究组，来自农学部、工学部、生产技术研究部及久留米大学公共卫生学专家，分别从临床、流行病学和解剖学等方面开展调研。

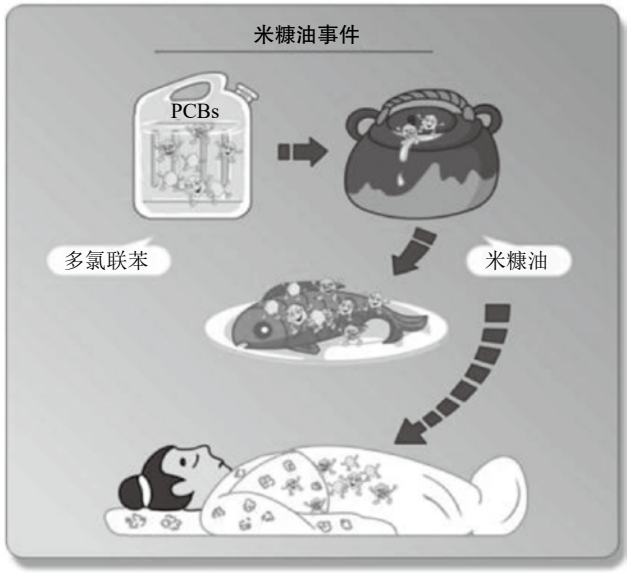
临床组在 3 个多月内确诊了 325 名患者，他们来自 112 个家庭，平均每个家庭出现 2.9 个患者，进一步证实该病有明显家庭集中性。经解剖分析，在患者的分泌物、指甲、毛发及皮下脂肪等样品中都发现了 PCBs。

流行病学组对采用了环境流行病学调查法中的病例对照调查法，即随机选出与患者性别、年龄条件一致、住在同处的未患病者作为对照组，

对患者组和对照组食用油的情况进行了调查，食用天然黄油、人造黄油、猪油的患病家庭和对照组家庭的百分比没有差别，食用菜籽油或其他食用油的对照组比患者组多，食用米糠油的患者组则比对照组多得多。通过环境流行病学的回顾性调查，终于查明在米糠油生产过程中的 PCBs 污染是米糠油事件的主因，同时进一步证实了患者体内的 PCBs 来自用作热载体的 KC-400。

调查人员抓住这条关键线索进行追踪调查，发现所有患者食用的米糠油均系 Kamei 仓库公司制油部 2 月 5 日至 6 日出厂的产品。调查指出，九州大牟田市一家粮食加工公司食用油工厂，在生产米糠油时，为了降低成本追求利润，在脱臭过程中使用 PCBs 液体作导热油。因生产管理不善，使得 PCBs 混进米糠油中。随着这种有毒的米糠油在全国各地销售，造成食用者中毒生病或死亡。而生产米糠油的副产品——黑油则作家禽饲料出售，引发了“火鸡事件”。

其实，早在 1966 年，美国就受到 PCBs 的污染。有人警告说，这种污染已扩展到人们生活的各个方面，但没有引起日本当局和食品行业的重视，而且还认为 PCBs 对日本来说没有构成威胁。令人悲哀的是仅在两年内，PCBs 中毒就使日本遭遇到一场灾难，所以日本的米糠油事件又称“多氯联苯污染事件”。




“米糠油事件”成因示意图

# 47. “台湾油症事件”是怎样造成的？

与日本“米糠油事件”相隔 11 年后的 1979 年，中国台湾地区再次上演了类似的悲剧。彰化县鹿港、福兴、秀水、埔盐等乡镇附近的居民突然罹患未曾见过的皮肤病，病症有眼皮肿、手脚指甲发黑、身上有黑色皮疹，由于患者的人数高达数千人，引起社会各界的广泛关注。经过追踪调查，患者中毒竟是由日常食用的米糠油造成的。彰化县溪湖镇一家名为“彰化油脂企业公司”的食用油厂在生产米糠油时，使用了 PCBs 对米糠油进行脱色和脱味处理，由于生产管理不善，管道渗漏，使 PCBs 渗入了米糠油中，导致食用这批被污染的米糠油的人发生了中毒甚至死亡事件。在受污染的米糠油中检出的 PCBs 含量为 $53\times10^{-6}$ ～ $99\times10^{-6}$，在该工厂脱臭器下水道的土壤中检出的 PCBs 含量高达 1 147.2 $\times10^{-6}$。据统计，这次事件共造成近 2 000 人中毒，53 人死亡。这次事件也被称为“台湾油症事件”。

美国新生儿缺陷基金会指出，PCBs 若由孕妇吸收，可透过胎盘，或乳汁导致早期流产、畸胎、婴儿中毒。一些受到影响的胎儿出生时，皮肤深棕色素沉着，全身黏膜黑色素沉着，发育较慢，很像一瓶可口可乐，俗称为“可乐儿”。此外，婴儿体重过轻，黄疸、眼球突出、头骨点状钙化、肝脾肿大、脚跟突出、皮肤脱落、眼部奶酪状分泌、免疫功能低下，都是“可乐儿”的畸型表现。

此事件中的中毒人员的症状有：面部、颈部或是身体出现疙瘩，或类似青春痘的皮肤病，大的像花生，小的像米粒，挤破以后，会流出白色油脂般的颗粒和脓汁，然后留下一块黑色的疤痕。患者亦出现头晕目眩、手脚疼痛、四肢无力、水肿，或指甲、眼白、齿龈、嘴唇、皮肤等处的

黑色素沉淀。由于 PCBs 中毒没有特效药，只能针对患者的症状加以治疗。

值得注意的是，PCBs 不但危害当代，其残毒还会贻害后代。当年深受 PCBs 所害的部分油症患者虽已亡故，但有关卫生单位已经陆续发现了第二代、第三代患者。据媒体 2004 年 9 月的报道，彰化县做血液筛检时，发现一名两岁幼儿血液里含有 PCBs，其浓度比母亲、外祖母的低，中毒症状也较轻微，判断属遗传致病，是第三代油症患者。同样，在苗栗县南庄乡和苗栗市的 55 名油症患者中，有四名患者仅二十多岁，卫生人员认为他们应该是在母亲怀孕时通过母体摄入 PCBs，也可能出生后通过母乳而摄入 PCBs，从而呈现出皮肤略黑、发育迟缓的“可乐儿”症状。

另外，油症患者最初分布在台中县、彰化县、苗栗县、新竹县，后来因结婚或迁徙扩散到云嘉南、高屏、花莲等县市。这些病患不仅自己身心受创，并且绝大多数的后代也受到了 PCBs 的影响。

2008 年 9 月，一部由蔡崇隆制作并导演的反映中国台湾地区 PCBs 中毒事件的纪录片《油症——与毒共存》，开始在全岛巡回播映。




反映中国台湾地区油症事件的纪录片——《油症——与毒共存》的电影海报

# 48. 其他的典型多氯联苯污染事件还有哪些？

### （1）中国台湾地区 RCA 公司污染地下水事件

在中国台湾地区经济快速起飞时期的 1970—1992 年间，外资纷涌而至。美国家电第一品牌——美国无线电公司（RCA）就在这个时期在台湾设立了台湾美国无线电股份有限公司，并在桃园、竹北、宜兰等地设厂，生产电视机、映像管、录放影机、音响等产品。至 1992 年停产关厂，其雇用员工高达 2 ～ 3 万人。一直到 1994 年，RCA 严重公害污染问题才得以披露。

经调查，发现 RCA 桃园厂多年来直接挖井倾倒有机溶剂等有毒废料，造成厂区土质恶化、水源破坏怠尽，连离厂区 2 km 远的地下水也含有过量的三氯乙烯、四氯乙烯，超出饮用水标准的 1 000 倍。同时还违法掩埋废电容器及变压器、造成含 PCBs 的绝缘油泄漏，严重污染了土壤和地下水。已离职多年的员工更陆续传出逾千人罹患肝癌、肺癌、大肠癌、胃癌、骨癌、鼻咽癌、淋巴癌、乳癌、肿瘤等职业性癌症，专家指出，RCA 员工的罹癌率为一般人的 20 ～ 100 倍。1998 年，RCA 职业性癌症员工自救会成立，根据 2001 年统计，在 RCA 桃园厂工作多年的员工，至少有 1 375 人罹患癌症，其中 216 人死亡。该厂厂区已被宣布为岛内第一个永久污染区，堪称中国台湾地区史上最严重的污染伤害事件。

### （2）加拿大 PCBs 运输泄漏事件

1986 年 4 月 13 日，加拿大一辆卡车载着一台有高浓度 PCBs 液体的变压器去废物储存场，途中在经过安大略省北部的凯拉城附近时，有 400 多升 PCBs 从变压器中泄漏，污染了 100 km 的高速公路和其他车辆。

# 49. 越南战争期间美军大量喷洒“橙剂”造成了什么后果？

在越南战争时期，越南游击队藏于茂密的热带雨林中，美国的武装直升飞机发现不了，反而使处于暗处的游击队很容易攻击处于明处的美国军队。为此，美军决定实施“牧场行动计划”，他们用飞机等向越南丛林喷洒了大量的落叶剂，清除遮天蔽日的树林。据战后美国政府解密文件披露，从 1961 年到 1971 年的 10 年间，美军采用飞机和直升机喷洒，并动用了汽艇、吉普车、卡车甚至背负喷雾器的士兵，在越南南部地区约 1/10 的土地上喷洒下了约 7 570 L 的落叶剂。因当时这些液体都保存在容积约 206 L 的鼓形圆桶里，圆桶的标签是橙色的，而被称其为“橙剂”（Orange Agent）。橙剂是一种农药，为 2,4−D 和 2,4,5−T 两种有机氯农药的混合物，另外其中还含有 $10\times10^{-6}$（百万分之十）的二噁英杂质。



橙剂使用示意图

橙剂的大量使用使美国士兵和广大越南军民均暴露于高浓度的橙剂之中。因当时不知道它的危害，便未引起警觉，许多美军士兵或是被飞机直接喷洒到橙剂，或是进入了刚刚

被喷洒过橙剂的树林，接触时间达数年之久。

战争结束了，20 世纪 70 ～ 80 年代，在越南服过兵役的美军老兵中许多人得了奇怪的病，其后代也都出现了不同程度的生理缺陷。在针对一些神经管异常，面部开裂等有生理缺陷的孩子进行的研究中，调查人员惊异地发现他们的父亲很多是在越南战争中服过役的老兵。而越战大兵所患的各种疾病中，已有 9 种疾病被证实与“橙剂”有直接关系，包括心脏病、前列腺癌、氯痤疮及各种神经系统疾病等。研究数据表明，参加过“牧场行动计划”的老兵糖尿病的发病率也要比正常人高出 47%；心脏病的发病率高出 26%；患何杰金氏淋巴肉瘤病的概率较普通美国人高 50%。

越南的情况则更为悲惨。在越南长山地区，人们经常会发现一些肢体残缺或浑身溃烂的畸形儿，他们都是“橙剂”的直接受害者。据统计，越战中曾在南方服役的人，其孩子出生缺陷率高达 30%。下图是战后出生的据称是受橙剂毒害的越南人的新闻画面。



深受橙剂毒害的越南人

然而，橙剂所遗留下来的危害至今没有结束，战争的悲剧还在继续。

美国、澳大利亚和越南都做过大量流行病学调查。美国集中调查了喷洒橙剂的越战飞行员，约 1 000 人，并与未接触橙剂的老兵相对照。结果显示：这些飞行员的精液质量比正常人差；他们的妻子自发性流产率、新生儿缺陷率和死亡率均和比常人高出很多。

2003 年 4 月 17 日，美国哥伦比亚大学的一位科学家在英国著名的《自然》杂志上发布了关于橙剂的最新研究结果。研究人员利用最新的数据，估算出“牧场行动计划”喷洒的橙剂数量比 1974 年美国国家科学院的一份报告估算的数量多 700 万 L，其造成的二噁英污染，可能比原先估计的严重一倍。

研究人员建立了一个计算机数据库，涉及喷洒任务飞行路线、除草剂类型和数量、军队部署和调动、地形和土壤类型、越南居民分布情况等，据此绘制出了精确的污染地图。他们将 3 万个越南村落的情况与数据库对照，发现至少有 3 000 个村落遭到直接喷洒，200 万～ 400 万人的健康受到影响。

1979 年，一个代表 240 万名越战老兵的团体状告了生产落叶剂的美国陶氏化学公司和蒙桑托公司。1984 年，生产过“橙剂”的 7 家美国化工企业最终向老兵或其直系亲属赔偿了 1.8 亿美元。2012 年，越南和美国开始清理越南战场使用的化学武器枯叶剂“橙剂”残留物。据越南媒体报道，美国政府将花费 4 100 万美元致力于清除越南 7.3 万 $km^3$ 的土地污染。

# 50. 什么是意大利塞维索二噁英污染事件？

ICMESA（Industrie Chimiche Meda Società）化工厂位于意大利米兰以北 15 km 的塞维索（Seveso）附近的一个小镇上，隶属于总部设在瑞士日内瓦的 Givaudan S.A. 公司（该公司在 1963 年时被 Roche 集团收购）。该厂共有 170 名工人，主要生产化妆品和制药工业所需要的化工中间体。1969 年该厂开始生产一种名为 2,4,5− 三氯酚（TCP）的产品，它是一种用于合成除草剂的有毒的、不可燃烧的化学物质。由于该厂生产 TCP 需要在 150~160℃下持续加热一段时间，因而为 2,3,7,8−TCDD 等二噁英的生成创造了条件。




ICMESA 化工厂

1976 年 7 月 10 日，ICMESA 化工厂的 TBC（1,2,3,4− 四氯苯）加碱水解反应釜突然发生爆炸。该反应釜的目的是使 TBC 经水解而形成制造 TCP 的中间体——2,4,5− 三氯酚钠，由于反应放热失控，引起压力过高

而导致安全阀失灵而形成爆炸。由于当时釜内的压力高达 4 个大气压，温度高达 250℃，包括反应原料、生成物以及二噁英杂质等在内的化学物质一起冲破了屋顶，冲入空中，形成一个污染云团，这个过程持续了约 20 min。在接下来的几个小时内，污染云团随着风速达 5 m/s 的东南风向下风向传送了约 6 km，并沉降到面积约 732 hm 的区域内，污染范围涉及 Seveso、Meda、Desio、Cesano Maderno 以及另外 7 个属于米兰省的城市。根据事故后的监测数据，影响区域按土壤中 TCDD 含量的不同可分为三个等级：高污染区（≥ 50 μg/m$^3$）、中污染区（5 ～ 50 μg/m$^3$）、低污染区（＜ 5 μg/m$^3$），如图所示。




ICMESA 化工厂爆炸的影响区域

事故发生后，ICMESA 化工厂立刻警告当地居民不要吃当地的农畜产品，同时声明爆炸泄漏的污染物中可能含有 TCP、碱性碳酸钠、溶剂以及其他不明有害物质。7 月 12 日，反应釜所在的建筑物被关闭。

7 月 13 日，当地的小动物出现死亡；7 月 14 日，当地的儿童出现皮肤红肿。7 月 17 日，当地卫生部门邀请米兰省立卫生和预防实验室主任 Aldo Cavallaro 教授对现场进行分析。尽管当时二噁英还鲜为人知，但 Aldo Cavallaro 教授凭借其多年的公共卫生领域的专业经验，怀疑污染云团中含有的二噁英是造成动物死亡和儿童皮肤红肿的原因。不久，从瑞士日内瓦的 Givaudan S.A. 公司总部传来消息，公司实验室在事故发生后第一时间于现场采集的样品中发现了二噁英。

据调查，爆炸当时反应釜内的物质包括 2 030 kg 的 2,4,5− 三氯酚钠（或其他 TCB 的水解产物）、540 kg 的氯化钠和超过 2 000 kg 的其他有机物。在清理反应釜时，发现了 2 171 kg 的残存物，其中主要是氯化钠（约 1 560 kg）。按此推算，污染云团实际上包含了约 3 000 kg 的化学物质，其中据估计包括有 300 g ～ 130 kg 的二噁英。因此，ICMESA 化工厂的爆炸事故造成了轰动世界的二噁英污染事件。

为了消弥污染事件所造成的严重后果，当地政府采取了一系列的措施，包括：

①事件发生两周后，当局决定将受害最严重的区域内的 724 人（该厂工人和附近居民）进行疏散和安置。

②对受影响区域进行健康卫生专项监测，消除事件所造成的社会和环境影响。对一些居民的检查发现，他们体内的二噁英水平达到了 $5.6\times10^{-9}$——这是迄今为止所发现的人体内二噁英的最高水平。同时事故发生后当地居民至少发生了 183 例氯痤疮——这是二噁英中毒的典型症状之一。

③对土壤、水、作物等受污染的情况进行分析，制订土壤和建筑物的清理方案，防止污染扩散。

④对公共建筑和设施进行了清洗，尽可能将其恢复到事件发生之前的状态。

⑤把方圆 1.5 km 以内的植物都进行了填埋；将高污染区 40 cm 厚的表土层全部挖掉，清运出的土壤与爆炸后的废墟以及用于清理的各种设备一起，被贮存在事故发生地附近的两个容积达 300 000 $m^3$ 的、条件严格控制好的地洞中。

⑥ 1977 年在完成清理后的高污染区上建立了一个名为“Bosco delle Querce”的公园。

⑦对受到事故严重影响的当地农业、手工业和旅游业进行补偿和扶持。



高污染区土壤取样分析



对受影响设施进行清洗

1977 年 6 月 17 日，一个名为“塞维索特别办公室”（Seveso Special Office）的机构成立了。该机构直到 1987 年 3 月才完成使命，功成身退。据称该机构关闭时，其历史累积下来的各种与受影响区域处理相关的档案文件装满了 700 个箱子。

# 51. 历史上还发生过哪些类似 ICMESA 工厂的工业污染事故？

在历史上曾发生过多起与 2,4,5−TCP 装置有关的工业事故：

1949 年，美国西弗吉尼亚孟山都（Monsanto）公司的 2,4,5-TCP 装置发生事故，受害者 250 人，发现 122 例氯痤疮病例。至 1983 年，死亡 32 人，死因全部是恶性肿瘤或循环系统疾病。

1953 年，德国路德维格沙玛的巴斯夫（BASF）公司的 2,4,5−TCP 装置发生事故，受害者 75 人。最普遍的损害是神经系统感觉减弱和肝脏损害，发现 55 例氯痤疮病例，至少 17 人死亡，其中 6 人死于癌症。

1956 年，法国格勒诺勃的 Rhone-Poulenc 公司的 2,4,5−TCP 装置发生事故，受害人数不详。发现 17 例氯痤疮病例，部分受害者出现高血脂和高胆固醇血症。

1963 年，荷兰阿姆斯特丹 NV Philip 公司的 2,4,5−T 装置发生事故，受害者 106 人，发现 44 例氯痤疮病例，其中 21 人伴随中枢神经系统障碍，一些病人出现肌肉疲劳症状。至少已有 8 人死亡，其中 6 人死于肌肉纤维坏死。

1964 年，美国密歇根州密德兰市的陶氏（Dow）化学公司 2,4,5−TCP 装置发生事故，受害者 61 人，发现 49 例氯痤疮病例，4 人死于肿瘤（其中 1 人为软组织肉瘤）。

1956—1969 年，匈牙利布拉格的 Spoland 公司 2,4,5−TCP 装置发生事故，受害者 78 人，均发生氯痤疮，其中 50 人产生高血压、高血脂和高胆固醇血症和糖尿病。

1968 年，英国德贝夏的 Coalite & Chemical 公司的 2,4,5−TCP 装置发生事故，受害者 90 人，发现 79 例氯痤疮病例。

## 52. 什么是比利时“二噁英鸡污染事件”？

1999年2月，比利时养鸡业者发现饲养的母鸡产蛋率下降，蛋壳坚硬，肉鸡出现病态反应，因而怀疑饲料有问题。据初步调查，发现荷兰3家饲料原料供应厂商提供了含二噁英成分的脂肪给比利时的韦尔克斯特饲料厂，该饲料厂于1999年1月15日以来，把上述含二噁英的脂肪混搀在饲料中出售。据悉，其含二噁英成分超过允许限量的200倍左右，这些含高浓度二噁英成分的饲料被售给超过1 500家养殖厂，其中包括比利时的400多家养鸡厂和500多家养猪厂，并还输往德国、法国、荷兰等国。比利时其他畜禽类养殖业也不能排除使用该饲料的可能性。比利时的调查结果显示，有的鸡体内二噁英含量高于正常限值的1 000倍，危害极大。

6月1日，比利时政府宣布停售和收回市场上所有比利时制造的蛋禽食品。

6月3日，比利时政府再次宣布，由于不少养猪和养牛场也使用了受到污染的饲料，全国的屠宰场一律停止屠宰，等待对可疑饲养场进行甄别，并决定销毁1999年1月15日—1999年6月1日生产的蛋禽及其加工制成品。

比利时“二噁英污染鸡事件”在世界上掀起了轩然大波：

欧盟：6月2日，欧盟委员会指责比利时“知情不报，拖延处理”，并决定在欧盟15国停止出售，并收回和销毁比利时生产的肉鸡、鸡蛋和蛋禽制品，以及比利时生产的猪肉和牛肉，并保留向欧洲法院上告比利时、追究其法律责任的权力。

美国：决定全面封杀欧盟15国的肉制品，美国农业部6月3日禁止从欧洲进口鸡肉和猪肉，直到欧洲的肉制品完全摆脱污染，才会解除禁令。

法国：决定全面禁止进口比利时肉类、乳制品和相关加工产品，其中包括使用动植物油制成的糕饼。法国国内 66 家农场的肉品，因为饲料来源有问题，也遭到当局管制。法国还为此专门成立了危机处理小组，封闭了 70 家使用有嫌疑饲料的养牛场。

希腊：农业部宣布，希腊禁止进口及买卖比利时鸡肉及鸡蛋等产品，自即日起扩及比利时的牛、猪肉及包括牛奶等相关产品。对已进口的比利时冷冻鸡肉及蛋黄酱等产品进行销毁。

韩国：6 月 5 日紧急回收受污染的欧洲猪肉。

新加坡：除了禁令外，官方建议国民扔弃所有相关的食品以保万无一失。

瑞士和俄罗斯：停止了鸡肉类和鸡蛋产品的进口后，又禁止出售比利时的牛奶及奶制品、奶酪、猪肉和牛肉制品。



比利时一家屠宰场正在处理受污染的鸡

中国大陆：6 月 9 日，卫生部向各省、自治区、直辖市卫生厅（局）发出紧急通知，要求各地暂停进口比利时、荷兰、法国和德国 4 国自 1999 年 1 月 15 日生产的乳制品、畜禽类制品（包括原料、半成品）。已从上述四国进口的自 1999 年 1 月 15 日生产的有关产品一律进行封存，暂停销售。6 月 11 日，外经贸部、卫生部、海关总署、国家环境保护总局、国家出入境检验检疫局、国家国内贸易局、国家工商行政管理局联合发出关于暂停进口和禁止经销比利时等国受二噁英污染食品的紧急通告。已从上述四国进口的上述动物和动物食品一律封存，暂停销售。经检验合格后方可使用。经检验查明属受二噁英污染的食品，有关部门应按环保标准和要求立即采取销毁措施。

中国香港特区：卫生署 6 月 3 日和 8 日分别宣布禁止销售并回收比利时等 4 国的家禽、猪肉、牛肉和乳制品。

中国台湾地区：6 月 8 日全面暂停进口比利时、法国的乳制品和畜产品，并列出禁止进口 77 种比利时产品。

此外，日本、加拿大等国也纷纷采取暂停进口或禁售措施。

迫于强大的国际和国内的压力，比利时卫生部和农业部部长相继被迫辞职，并最终导致内阁的集体辞职。据统计，该事件共造成比利时直接损失 3.55 亿欧元，间接损失超过 10 亿欧元，对比利时出口的长远影响可能高达 200 亿欧元。

# 53. 什么是中国台湾地区“湾里二噁英污染事件”？

中国台湾地区台南湾里的老百姓原本一直过着自给自足的农业生活，然而自 20 世纪 60 年代末 70 年代初起，湾里地区开始大量引进废弃五金，经过燃烧加工后提炼出黄金等高价值的贵重金属。这种简单易操作、利润丰厚的行业打破了人们平静的生活。在堪称疯狂的废五金时代，为利所趋，湾里地区的居民从小孩到妇女、老人，不分男女老幼，无不分工合作、全力投入废五金回收的工作，几乎整个湾里地区都在依赖废五金工业生活。

由于环保意识极为淡薄，许多从业者为图方便迅速，竟在二仁溪两旁的空地上焚烧废五金及废电缆，以回收其中的铜及其他金属，而燃烧后的废弃物就往二仁溪倾倒。当时废五金处理业者，多半集结在二仁溪两侧流域，厂房多半仅用木板条围起，作业场所也都未申请工厂登记证，全部为违章工厂。焚烧过程排放的滚滚浓烟遮天蔽日，连正午的太阳都昏黄如夕阳。难闻的臭气使湾里以及邻近的高雄茄定地区的居民苦不堪言，学校的学生只好天天戴口罩上课。尽管后来由于当地居民强烈抗议，业者暂时停止了日间焚烧，但是在夜间还是偷偷烧电缆，这一过程持续了十几年。当地为解决湾里地区空气污染，特别在湾里海边及高雄大寮乡的大发工业区建立燃烧废五金专业区，并要求厂商设立焚化炉及相关空气污染防治设备。由于业者在采用这些设备进行焚烧回收时，其处理成本高于露天燃烧的成本。同时，在废料的标购不利及重视回收获利等因素的影响下，从业者多放弃使用二次燃烧及空气污染防治设备，因而集中管理的方式并未奏效。

在废五金使湾里由落后变为繁荣的同时，由此产生的严重空气污染

所导致的一些负面影响开始显现。在湾里地区，先天性畸形发生率是21.3‰，高出中国台湾地区发生率 3 倍以上；而无脑儿的发生率则高达10.6‰，是中国台湾地区发生率的 10 倍；癌症的死亡率是中国台湾地区的 4.5 倍。

1981 年 8 月 25 日，瑞典 Umea 大学有机化学系主任克利斯多夫 • 拉培到中国台湾访问，提出了焚烧废电缆可能会产生二噁英而对人体健康造成伤害的警告，引起了中国台湾地区卫生当局的注意。11 月底，从湾里采集的样本被送往加拿大环境部实验室分析。

1982 年 4 月，负责分析的劳长春博士回函中国台湾地区“卫生署”，证实初步化验结果表明样品中确实存在二噁英。7 月 6 日，岛内报纸根据“卫生署”刚接到的化验报告，报道了台南湾里燃烧废电缆的浓烟中含有二噁英的事实，监测结果发现土壤中的二噁英含量达到 2 $\times 10^{-6}$，空气中达到 0.2 $\times 10^{-6}$，其含量均已超出不适合人类居住的安全界限。

“湾里二噁英污染事件”使岛内公众第一次认识了二噁英。为了防止污染的进一步恶化，中国台湾地区采取了暂停进口废电缆等六项措施，同时对湾里及邻近的高雄茄定地区着手开展流行病学调查。然而，二噁英污染事件在中国台湾地区并未就此停息。1986 年，二仁溪及凤山溪畔废五金业者再次重蹈覆辙，产生的二噁英严重地污染了当地环境，使当地民众 2 000 多人出现头晕发烧现象。

迫于强大的内外部压力，1993 年中国台湾地区终于决定全面禁止进口废五金。湾里地区终于结束了以牺牲环境和健康为代价的“日进斗金”的废五金时代，留下的则是满目疮痍的二仁溪，以及令人值得深思的惨痛教训……

# 54. 什么是中国香港特区“财利船厂二噁英污染事件”？



原财利船厂有 3 万 $m^3$ 的土地受到二噁英污染

香港财利船厂位于竹篙湾东北岸，占地约 19 $hm^2$，自 1964 年开始运作。2001 年 4 月，中国香港政府为兴建配合香港迪士尼乐园发展的必要基础设施（包括竹篙湾连接路的竹篙湾路段和 P2 道路），与财利船厂以 15 亿元巨款达成搬迁协议。然而接下来在进行环境评估的过程中，“香港土木工程署”在厂内东南部土地发现了不寻常浓度的二噁英，估计有多达 3 万 $m^3$ 的泥土受到污染（如图蓝线框中所示），为香港历来最为严重的一次二噁英污染事件。

香港土木工程署决定对含二噁英的污泥进行热脱附处理，使用间接加热方法把泥土中的污染物蒸发成气体，热脱附处理所产生的包括有机化合物及二噁英随后会凝固成残渣，最后这些残渣被运往青衣化学废物处理中心进行了焚化处置，如图所示。



（a）热脱附装置



（b）青衣化学废物处理中心

用来处理受污染土壤的热脱附设备与高温焚烧装置

据估计，处理过程总共产生了 100 t 含残余二噁英的固体残渣，并进行了焚化处理。该署表示，二噁英残渣运送至化学废物处理中心的潜在风险极低，因残渣属非挥发性，不溶于水，也不易燃。运送时，会按环境许可证的规定，采取所有必要的预防措施。而青衣化学废物处理中心内设有一座性能卓越的高温焚化炉，可完全销毁二噁英。在过去数年所进行的实地监测表明，焚化炉的二噁英排放量平均为每立方米约 0.007 ng I-TEQ，远低于 0.1 ng I-TEQ 的排放标准，而此标准也为世界上最严格的标准。高温焚化是经核准的环评报告建议使用的处理程序，符合国际做法。“环保署”也会定期监察，确保处理程序符合法定的排放规定。

2004 年 11 月 26 日，青衣化学进行的试烧报告结果显示排放符合所有环保规定，因此“环保署”署长随后批准开始焚化含二噁英残渣。2005 年 1 月 4 日，首批约 22 t 含二噁英残渣从大屿山倒扣湾被运送到青衣化学废物处理中心，并于 2005 年 1 月 5—9 日完成销毁。据估算，热脱附处理厂的处理费用达 3.5 亿元，较原来估计的清理污染物所需约 3 000 多万元高出近十倍。

# 55. 什么是德国毒饲料事件？

德国二噁英污染事件是近年来德国乃至欧盟发生的影响比较大的一次食品安全危机，它最初源于下萨克森州在 2010 年 12 月底开展的一次食品例行检查。在这次行动中，检查人员发现鸡蛋中二噁英含量超标。随后，德国多个州也发现鸡肉、猪肉二噁英含量超标。

据德国媒体报道，德国联邦消费者保护和食品安全局表示，石勒苏益格·荷尔斯泰因州的“哈勒斯和延奇”饲料原料供应商是二噁英毒饲料的源头。德国警方在 2011 年 1 月调查了位于该州的这家公司，该制造商涉嫌将工业用脂肪酸用于生产饲料脂肪，并将总共近 530 t 被二噁英污染的饲料脂肪供应给下萨克森州、北威州、汉堡和萨克森—安哈特州等州的 12 家饲料工厂，而不知情的饲料工厂又把二噁英超标的毒饲料卖给了养殖场。农业部随后宣布，当局化验“哈勒斯和延奇”公司生产的饲料脂肪样本后发现，部分样本中二噁英含量超出法定标准 78 倍。

“哈勒斯和延奇”公司从一家生物柴油生产厂购入脂肪酸，后者加工的是从餐馆回收的废油，而这是这次事件中二噁英的最初来源。调查还表明，早在 2010 年 3 月，一家实验室就发现“哈勒斯和延奇”公司使用的脂肪酸中，二噁英含量超出最高限量一倍，但并未向当局汇报。

德国因此封闭了超过 4 700 家农场。该次事件的重灾区下萨克森州销毁大约 10 万枚鸡蛋，图林根州一家屠宰场暂时封存了 6.6 万 t 肉类产品。此外，位于下萨克森州南边的北威州宰杀了近 8 000 只喂食过“毒饲料”的母鸡。同样位于下萨克森州南边的萨克森—安哈特州也关闭了一些相关企业。德国食品、农业与消费者保护部均表示，大约 13.6 万枚销往荷兰的鸡蛋可能也受到污染。

德国食品、农业与消费者保护部发言人霍尔格·艾歇勒表示，尽管情况不容乐观，但当局已召回受污染农场生产的肉类或蛋类产品，并通过在互联网上公布问题鸡蛋编号，以及扑杀数千只鸡并销毁鸡肉等措施，确保受污染家禽没有流入市场。

在德国曝出二噁英饲料污染事件之后，欧盟坚称无须对其肉禽产品出台进口和销售禁令，德国也试图通过测试结果来打消人们对相关食品的安全顾虑，称致癌物质二噁英在肉禽食品中的含量在可接受的范围。尽管如此，许多国家仍旧对此感到紧张，并纷纷采取了相应措施。

韩国是第一个禁止从德国进口猪肉产品的国家。对此，欧洲卫生委员会称韩国有些反应过激。欧洲卫生委员会的发言人弗雷德瑞克·文森特表示：“考虑到德国当时的相关情况，我们本不用小题大做，但是为了让韩国人放心，我们还是将和他们进行沟通和交流。”

除了韩国之外，斯洛文尼亚是第一个对德国肉禽产品加强监管和设置限制的欧盟国家，在测试二噁英含量的同时，他们停止了禽肉和鸡蛋的销售。俄罗斯也加强了对来自德国和其他欧盟国家的肉禽产品的监控。

# 56. 其他的典型二噁英污染事件还有哪些？

### （1）美国 Bliss 公司废油污染事件

1971 年，美国 Bliss 公司将一部分混有二噁英的废油洒在密苏里州的马圈和牧场里。根据当时的报告，洒上废油后没过多久，马匹接连因为患病而死亡。而停在赛马场的橡木上的飞鸟也接二连三地往地上掉。赛马场的业主和他两个年幼的孩子也都患病。幸运的是最后只有 62 匹马死亡，并没有出现人员死亡。1982 年圣诞节前夕，在泰晤士滨城附近的 Meramec 河发生洪水，使得人们对以前 Bliss 公司投弃废油而污染的土壤的影响产生忧虑，近 2 240 人因此受到影响。美国环保局（EPA）针对被投弃在填埋场等地的污染废油的二噁英进行追溯调查。1983 年，美国政府出资 3 300 万美元买下了泰晤士河沙滩内被二噁英所污染的地域。

在泰晤士滨城事故之后，有人进行了两项小型的研究。一是调查了受污染的母亲所生孩子的健康状况，结果发现孩子的免疫系统异常、脑功能障碍；二是调查脑机能障碍情况，发现在 7 名男女儿童中，女孩的脑机能障碍比男孩明显。这意味着二噁英可能对正在发育中的女性具有更大的影响。

### （2）澳大利亚悉尼奥运会主会场污染事件

1999 年 8 月 11 日，国际环保人士和悉尼奥运会有关机构的专家在 2000 年悉尼奥运会主会场附近察看了在此清理出的约 400 t 被二噁英污染的泥土，8 月 12 日，这些被污染的泥土进行了最后的处理，以此启动距奥运会开幕 400 天倒计时活动。



专家们在察看被污染的土壤

悉尼奥运会组委会采用热脱附法来抽取泥土中的二噁英等污染物，然后再将这些泥土送到悉尼家宝湾（Homebush Bay）用碱性催化分解技术作进一步处理，而处理所产生的废物最终被运往澳洲另一省份的热处理厂作最终处置。组委会称，这些泥土经过处理后，对人体不会有任何危害。

### （3）德国柴鸡蛋污染事件

《德国世界报》2005 年 1 月 16 日报道，根据 1 月刚实施的《欧盟农产品标准》，德国许多州已发现不少柴鸡蛋中的二噁英含量超标。食用这种柴鸡蛋虽然不会在短期内导致人体产生病变，但被吸收的二噁英会长期潜伏在人体的脂肪组织中，并最终对人体造成危害。

报道说，由于散养的鸡经常会在被污染的地面上找食吃，所以在各项指数的检验中，散养柴鸡产的柴鸡蛋的质量要比养鸡场的鸡蛋差。在通常情况下，散养柴鸡蛋中二噁英的含量要比养鸡场的鸡蛋高 2.5 倍。

德国消费者保护、食品及农业部部长屈纳斯特已要求彻底销毁这些有毒柴鸡蛋。

### （4）法国牛奶污染事件

2007 年 8 月，法国西部的两个乳制品厂在对原奶进行常规检查时发现其二噁英含量严重超标。经调查，这批鲜奶为乳制品厂从附近 60 余家养牛场购得。这一事件曝光后，法国食品卫生安全部门立即对这些养牛场逐一展开调查，并通知同一地区的其他奶制品企业对收购的牛奶进行检查化验。化验的结果表明，部分养牛场所售鲜奶中的二噁英浓度超过欧盟标准的 3 倍。据此，法国食品卫生安全部门决定，在获得进一步结果之前，为确保消费者安全，对消费者发出了不要食用相关养牛场出产的牛奶及牛肉等相关产品的警告。同时，法国相关部门的调查分析表明，由于这些出现问题的养牛场远离闹市和工业区，因此工业污染的可能性极小，基本确定饲料为污染源。兽医专家指出，食用被二噁英污染的饲料的牛至少需要 7 年时间才能使体内的二噁英含量恢复到正常水平。因此，被污染的牛大多会被宰杀。这给该地区的养牛业带来了沉重打击。

### （5）爱尔兰猪肉污染事件

2008 年 9—12 月，爱尔兰生产的猪肉制品发生了全球召回的食品安全事件。据调查，造成这一事件的是由于 Millstream Recycling 公司提供的动物饲料的二噁英污染所致。该受污染饲料被销售至爱尔兰国内 37 个养牛场和 9 个养猪场，以及北爱尔兰的 8 个养牛场和一个乳制品场。警方在调查过程中发现，生产饲料的 Millstream Recycling 公司未按规定使用食用油处理面包干和面团等原料，而使用了工业用机油。爱尔兰农业部长特莱弗·萨金特也证实了这一情况。他表示这场二噁英污染事件是由于饲料加工用油达不到食用油标准造成的。据检测，超标生猪肉中二噁英浓度和猪饲料样品中的二噁英浓度达到欧洲联盟二噁英含量安全上限的 80 ～ 200 倍。爱尔兰农业部门表示，受二噁英污染的爱尔兰猪肉制品已销往 25 个国家和地区。针对这一情况，爱尔兰宣布，对 9 月 1 日

出产的所有猪肉制品进行召回，当局限制了至少 10 家养猪场的生猪贸易，共宰杀 10 万头猪，4 000 头牛。使用受污染饲料的 9 家养猪场所生产的猪肉制品占到了爱尔兰全国产量的 6% ～ 7%。猪肉行业份额占爱尔兰农业的第四位，每年为爱尔兰贡献 4 亿欧元。约有半数猪肉产品销往爱尔兰国内市场，其余出口至其他国家，包括英国、荷兰、德国、中国等。该事件对爱尔兰肉类行业造成了重大打击，甚至影响了爱尔兰全国的经济状况。同时大规模召回行动也严重影响了数千肉类行业从业人员的收入及就业，爱尔兰猪肉行业与其他国家的业务往来也被冻结。预计该行业需至少十年才能完全消除负面影响。



欧盟证实爱尔兰向俄销售的部分猪肉受到污染



中国退回爱尔兰进口猪肉制品

# 57. 什么是美国“多溴联苯污染事件”？

1973 年夏季的一天，美国密执安化学公司下属的一个工厂把十几袋重达 50 磅的多溴联苯（PBBs）装上车。该货车内还装有多袋饲料添加剂氧化镁，准备开往密执安州农场局服务公司的一个大型饲料厂。装 PBBs 的口袋标记本来应该是红色的，但因红色口袋不够用，就临时改用油印黑色标记。而氧化镁口袋上的标记也是黑色的，这是造成二者容易混淆的客观条件。加之 PBBs 与氧化镁外观上相似，所以当货物运到饲料厂后，这数百磅 PBBs 便被当作氧化镁添加剂混入饲料。随后，这批饲料被广泛出售给密执安州各农场，致使大量禽畜吃进了 PBBs。当时大家都被蒙在鼓里，直到家畜家禽纷纷病倒、死亡，人们仍然一无所知。

后经 7 个月的调查，原来扼杀禽畜的凶手是 PBBs。PBBs 的毒性相当于 PCBs 的 5 倍，人吃了被 PBBs 污染的猪肉后，会出现剧烈头痛，严重倦怠，肠胃难受，关节僵硬或肿胀等各种症状。这桩污染事故的代价是：损失 3 万头牛、6 000 头猪、1 500 只羊、150 万只鸡。至于鸡蛋、奶酪、奶油和饲料的损失数量则更加惊人。

# 第四章
# 国际公约篇

# 58. 为什么说《寂静的春天》是人们认识 POPs 过程的一个里程碑？

20世纪40年代起，人们开始大量生产和使用DDT等有机氯类杀虫剂。到了 50 年代，这些有机氯化物被广泛使用在生产和生活中。这些物质的确在短期内起到了杀虫的效果，使粮食产量得到了空前的提高。

然而，这些物质的制造者和使用者们却全然没有想到，这些用于杀死害虫的毒物会对环境及人类贻害无穷。它们通过空气、水、土壤等潜入农作物，残留在粮食、蔬菜中，或通过饲料、饮用水等进入畜体，继而又通过食物链进入人体。这种有机氯化物在人体中蓄积，使人的神经系统和肝脏功能遭到损害，引起皮肤癌，使胎儿畸形或引起死胎。同时，这些药物的大量使用使许多害虫产生了抵抗力，并由于生物链结构的改变而使一些原本无害的昆虫变为害虫。人类制造的杀虫剂，无异于为自己种下了一个毒果。

当这些有毒的化学物质对环境造成严重污染时，美国海洋生物学家蕾切尔·卡逊（Rachel Carson）用了 4 年时间对使用化学杀虫剂对环境造成的危害进行了调查，并出版了《寂静的春天》（*Silent Spring*）一书。1962 年 6 月《纽约客》杂志分三次发表了卡逊女士《寂静的春天》的缩写本，9 月出版全书。此书是从一个震撼人心的“明天的寓言”讲起：



蕾切尔·卡逊与她的《寂静的春天》

“一个美丽而充满生机的美

国中部小城，以其鸟类丰富多彩而驰名，当到了候鸟蜂拥而至的季节，人们会长途跋涉来这里观光。

一天随着一批携有杀虫剂居民的到来，很快发生许多不祥的变化。神秘的疾病袭击成群小鸡；牛羊也病倒和死亡；孩子在玩耍时突然倒下，几小时后死去。能看到几只战栗的小鸟，也已不能飞翔。小路两旁只有焦黄枯萎的植物，小溪也失去生命，因为水中已经没有鱼类。人从梦中醒来，再也听不到鸟儿歌唱，原野、森林和沼泽都是一片沉寂，一切声音都没有了，只有可怕的寂静……”

卡逊在寓言最后说：“我知道并没有一个村庄经受过所描述的全部灾难，但其中某些灾难在有些地方确已发生。”

在这本书中，卡逊阐述了农药对环境的污染，用生态学的原理分析了这些化学杀虫剂对人类赖以生存的生态系统带来的危害，指出人类用自己制造的毒药来提高农业产量，无异于饮鸩止渴，人类应该走“另外的路”。

《寂静的春天》是一部划时代的绿色经典著作，它的出版对那些把剧毒的 POPs 类杀虫剂作为“杀手锏”的人来说，无异于是一种挑战。那些既得利益者们对卡逊进行了围攻，说她是“极端主义者”“大自然的女祭司”等，使卡逊承受了不亚于达尔文当年发表《物种起源》的压力。然而，日后的事实却证明了卡逊的预言，这些剧毒物对环境及整个生物链造成的巨大破坏是无法弥补的。

《寂静的春天》是一部警示录，由于它的广泛影响，美国政府开始对书中提出的警告进行调查，最终改变了对农药政策的取向，并于 1970 年成立了环境保护局。美国各州也相继通过立法来限制杀虫剂的使用，最终使剧毒杀虫剂停止了生产和使用，其中包括曾帮助保罗·缪勒获得诺贝尔奖的滴滴涕等。

《寂静的春天》可以说是人类认识 POPs 的一座里程碑，是人类环保意识觉醒的标志。由于它在美国历史上产生了巨大的作用和影响，被列为“改变美国的书”之一。《寂静的春天》在阐述了滴滴涕等 POPs 类杀虫剂对生态环境的危害的同时还告诫人们：关注环境不仅是工业界和政府的事情，也是民众的分内之事。围绕《寂静的春天》引起的广泛争论为民间环保运动的蓬勃兴起奠定了坚实的基础。

# 59. 人类对 POPs 的认识经历了怎样的过程？

**（1）蒙昧期：20 世纪六十年代之前**

1938 年，瑞士科学家保罗·缪勒发现了 DDT 的惊人杀虫效果，并在杀灭马铃薯甲虫上取得成功，这一事件标志着人们 2 000 余年来应用天然及无机药物防治农业害虫的历史就此被改写。从 20 世纪 40 年代起，人们开始大量生产和在农业上应用包括滴滴涕、六六六在内的有机氯农药，从而在短期内起到了极佳的杀虫效果，粮食产量和劳动效率得到了空前的提高。另外，在第二次世界大战期间，美国陆军用滴滴涕成功地消灭了传播斑疹伤寒疾病的虱子和跳蚤，挽救了大批士兵的生命。滴滴涕在农业和卫生领域的巨大成功在全球掀起了研制有机合成农药以及其他人工合成化学品的热潮。

**（2）觉醒期：20 世纪六七十年代**

20 世纪 60 年代末开始，越来越多的污染事件和研究结果证实了卡逊在《寂静的春天》中的预言。例如在北美地区和欧洲有关有机氯农药的研究，尤其是滴滴涕及其代谢产物 DDE 引起鸟类和海洋哺乳动物生殖损害的研究指出，这些化学物质在污染源附近以及距离几千公里之遥的地方都引起了负面效应，包括：①生殖障碍和种群下降；②功能异常和其他荷尔蒙系统异常；③性别混乱；④免疫系统障碍；⑤行为失常；⑥肿瘤和癌症等。由于其具有生物蓄积性，那些食物链中的高等捕食者受到的损害最重，而人类作为食物链中的最高等捕食者，无疑正面临着极大的威胁。

这一时期发生了一些非常重大的环境污染事件，例如 1976 年 7 月在意大利发生的二噁英泄漏事件，1968 年在日本以及 1979 年在中国台湾地

区发生的因食用受多氯联苯污染的米糠油而导致上千人中毒的事件等。由于人类的代际间隔时间较长（20 ～ 30 年时间），所以相关研究进展缓慢，有些影响直至 20 世纪 90 年代左右才被发现。已经发现的有毒化学品对人类的影响包括① 癌症、肿瘤；②神经损害问题；③免疫系统问题；④生殖缺陷和性别混乱问题等。研究表明，妇女和婴儿尤其容易受到影响。

**（3）准备期：20 世纪八九十年代**

针对越来越多的污染事件和负面研究报道，国际社会对有毒化学品采取了一些控制措施，这一期间主要工作是建立信息交换和风险评价的方法。1985 年，联合国粮农组织（FAO）制定了《国际农药销售和使用的行为规则》，开始关注农药生产和使用给环境带来的破坏，而 POPs 中很多种类都属于农药。1987 年，联合国环境规划署（UNEP）制定了《化学品国际贸易信息交换伦敦准则》，规定了国际贸易中应对化学品信息披露。

1992 年联合国环境发展大会上通过了《21 世纪议程》，其第 19 章“包括防止有毒和危险产品非法国际贩运的有毒化学品的环境无害化管理”，号召成立政府间化学品安全论坛（IFCS），为各国有毒化学品管理及防止环境污染提供了一个政府间协商、信息交换平台，具有历史意义。《21 世纪议程》提出跨组织化学品无害化管理计划（IOMC），以促进那些涉及第 19 章执行的国际组织间的合作。

1995 年 5 月，UNEP 理事会通过了关于 POPs 的 GC18/32 号决议，强调了减少或消除首批 12 种（类）POPs 的必要性。会议提出的 POPs 定义为：一组具有毒性、持久性、易于在生物体内蓄积和进行长距离迁移，对排放源附近或远处的环境和人体产生损害的有机化合物。

从此，POPs 的概念正式得到国际社会的认可。GC18/32 号决议同时邀请国际化学品安全计划处（IPCS）、IFCS 以及 IOMC 等国际机构参与

首批 12 种（类）POPs 的危害、控制措施和机制的评估工作。

1996 年 6 月，IFCS 专家组会议确认，有充分证据表明需要采取国际行动，包括制定有法律约束力的国际文书来减少 12 种 1 类特定 POPs 对人类健康和环境的风险。随后 IFCS 向 UNEP 理事会和世界卫生大会建议应当发起国际性行动，减少和消除 POPs 排放物，逐步淘汰其生产和使用来保护人类健康和环境。

1997 年 2 月 UNEP 理事会决定邀请有关国际组织，合作准备召开政府间谈判会议，制定有法律约束力的国际文书，以便采取国际控制行动。

**（4）实施期：21 世纪开始**

2001 年 5 月 22—23 日，UNEP 在瑞典斯德哥尔摩主持召开了外交全权代表大会。会议通过了《斯德哥尔摩公约》并供开放签署。《斯德哥尔摩公约》于 2004 年 5 月 17 日 , 即第五十份与《斯德哥尔摩公约》有关的批准、接受、核准或加入文书提交九十日后，开始在国际上生效，标志着人类淘汰和消除 POPs 的努力正式进入全面实施阶段。截至 2016 年 3 月，《斯德哥尔摩公约》缔约方的数量已达 180 个。

# 60.《斯德哥尔摩公约》的目标和主要内容是什么？

**《斯德哥尔摩公约》的目标：**

铭记《关于环境与发展的里约宣言》之原则 15 确立的预防原则，保护人类健康和环境免受 POPs 危害。

《斯德哥尔摩公约》具有五个主要目标：

①先消除公约受控名单中的最危险的 POPs；

②支持向较安全的替代品过渡；

③对更多的 POPs 采取行动；

④消除库存 POPs 和清除含有 POPs 的设备和废物；

⑤协同致力于没有 POPs 的未来。

**公约的主要内容：**

公约正文共 30 条，包括目标、定义、实质性条款 14 条、常规性条款 14 条，以及 7 个附件。

附件 A 列出需要消除其生产和使用的 POPs 物质及其特定豁免的情况。

附件 B 指明了需要限制生产和使用的 POPs 物质。

附件 C 对无意产生的 POPs 物质进行说明，并提供防止和减少其排放的关于最佳可行技术和最佳环境实践（BAT/BEP）的一般性指导。

附件 D 规定了新 POPs 信息要求和筛选标准。

附件 E 提出了审查新 POPs 时需在风险简介中提供的资料。

附件 F 说明了提出增列 POPs 建议时应提供的涉及社会经济因素的信息。

附件 G 规定了争端解决的仲裁程序和调解程序。

《斯德哥尔摩公约》中包含的 POPs 物质一览表

| 列入公约的时间 | 附件 A | 附件 B | 附件 C |
| --- | --- | --- | --- |
| 首批受控 12 种（2001.5） | 艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、七氯、毒杀酚、多氯联苯、氯丹、灭蚁灵、六氯苯 | 滴滴涕 | 多氯二苯并对二恶英、多氯二苯并呋喃、六氯苯和多氯联苯 |
| 《2009年修正案》增列 9 种（2009.5） | α- 六氯环己烷、β- 六氯环己烷、十氯酮、六溴联苯、林丹、六溴二苯醚和七溴二苯醚、五氯苯、四溴二苯醚和五溴二苯醚 | 全氟辛基磺酸及其盐类和全氟辛基磺酰氟 | 五氯苯 |
| 《2011年修正案》增列 1 种（2011.4） | 硫丹 | | |
| 《2013年修正案》增列 1 种（2013.5） | 六溴环十二烷 | | |
| 《2015年修正案》增列 3 种（2015.5） | 六氯丁二烯、五氯苯酚及其盐类和酯类、多氯萘 | | 多氯萘 |

# 61.《斯德哥尔摩公约》是目前唯一的针对 POPs 的公约吗？

就国际公约而言，《斯德哥尔摩公约》是目前唯一针对 POPs 的公约。

就地区公约而言，目前还有一份很重要的针对 POPs 的公约，即《关于长距离越境空气污染物公约》框架下的《持久性有机污染物议定书》。该议定书是在 1998 年 6 月丹麦的奥尔胡斯召开的泛欧环境部长会议上制定的，由美国、加拿大和欧洲 32 个国家共同签署。该议定书规定，禁止或削减 POPs 物质的排放并禁止和逐步淘汰某些含 POPs 产品的生产。议定书中所提出的受控 POPs 共有 16 种，即在《斯德哥尔摩公约》提出的首批 12 种 POPs 之外，还包括六溴联苯、林丹、多环芳烃和开蓬（十氯酮）四种物质。2009 年《持久性有机污染物议定书》各缔约方通过决议，将六氯丁二烯、六氯环己烷、六溴二苯醚和七溴二苯醚、四溴二苯醚和五溴二苯醚、五氯苯、全氟锌基磺酸、氯化萘和短链氯化石蜡加入议定书受控物质清单。

# 62.《斯德哥尔摩公约》现有的组织机构有哪些？

**缔约方大会：**

缔约方大会依照公约第 19 条成立，是《斯德哥尔摩公约》的管理和决策机构，由批准、接受或加入《斯德哥尔摩公约》的各缔约方政府组成。缔约方大会通过历次会议通过的决议来推动《斯德哥尔摩公约》的实施。

《斯德哥尔摩公约》规定缔约方大会应不断审查和评价公约的实施情况。它应履行公约为其指定的各项职责，并应为此目的：（a）设立它认为实施公约所必需的附属机构；（b）酌情与具有资格的国际组织以及政府间组织和非政府组织开展合作；（c）定期审查根据第 15 条向缔约方提供的所有资料；（d）考虑并采取为实现本公约各项目标可能需要的任何其他行动。

缔约方大会第一次会议于 2005 年 5 月召开，大会通过的议事规则决定，缔约方大会的第二次和第三次常会应每年举行，此后的常会应每两年举行一次。截至 2015 年 5 月 31 日，缔约方大会共召开了七次会议，并通过了 192 项决议，决议内容涉及缔约方大会议事规则、新 POPs 增列、资金机制、遵约机制、成效评估、国际合作与协调等和公约实施密切相关的各项议题，以推动《斯德哥尔摩公约》的履约进程。

**公约秘书处：**

《斯德哥尔摩公约》规定秘书处的职能为：（a）为缔约方大会及其附属机构的会议作出安排并为之提供所需的服务；（b）根据要求，为协助缔约方，特别是发展中国家缔约方和经济转型国家缔约方实施本公约提供便利；（c）确保与其他有关国际组织的秘书处进行必要的协调；（d）基于按照第 15 条收到的信息以及其他可用信息，定期编制和向缔约方提

供报告；（e）在缔约方大会的全面指导下，作出为有效履行其职能所需的行政和合同安排；（f）履行本公约所规定的其他秘书处职能以及缔约方大会可能为之确定的其他职能。

公约规定公约秘书处职能应由 UNEP 执行主任履行。根据缔约方大会第一次会议决议，公约秘书处的常驻地为瑞士的日内瓦。

公约附属机构：

**POPs 审查委员会：**

根据公约规定，2005 年缔约方大会第一次会议通过了 POPs 审查委员会的工作大纲，设立了 POPs 审查委员会。委员会的主要职责是根据公约第 8 条的规定，按一定的标准和程序，对缔约方提出拟增列进公约附件 A、B 和 / 或 C 的化学品进行审查，并向缔约方大会提出增列建议和控制措施。2005 年 11 月，POPs 审查委员会召开了第一次会议。其后，委员会每年召开一次会议，截至 2015 年 12 月 31 日，委员会共召开 11 次会议。2005 年以来，先后有 18 种（类）化学品进入审查程序，其中 15 种（类）化学品顺利通过了 POPs 审查委员会全部三段式审查程序，14 种已提交并通过了缔约方大会的审议，被分别增列入公约附件 A、B 和 / 或 C。

**成效评估委员会：**

成效评估委员会是为开展公约第 16 条规定的成效评估而设立的。2013 年，公约缔约方大会第六次会议决议通过了公约成效评估框架，其中包含成效评估委员会工作大纲，决定设立成效评估委员会。成效评估委员会的主要职责为负责审查秘书处汇编的与成效评估相关的信息和资料，对这些信息和资料进行评估，就《斯德哥尔摩公约》的成效得出结论，并向缔约方大会提供可能需要改进的建议。成效评估委员会各区域成员的提名由 2015 年 5 月召开的缔约方大会第七次会议决定。委员会将嗣后开展工作，并就公约第二次成效评估期相关情况向缔约方大会第八次会议汇报。

## 63. 《斯德哥尔摩公约》对缔约方提出了哪些要求？

《斯德哥尔摩公约》规定了各缔约方明确的减排和控制义务，即：

①减少或消除源自有意生产和使用的 POPs 物质的排放，包括按照公约相关附件的规定，禁止和消除附件 A 所列化学品的生产和使用，限制附件 B 所列化学品的生产和使用，限制附件 A 和 B 所列化学品的进、出口。

②减少或消除附件 C 类化学品的无意排放。

③减少或消除源自库存和废物的 POPs 物质的排放。

公约同时还规定了缔约方履行本公约的一般性义务，即：

①制定、执行和更新旨在履行本公约规定的各项义务的国家实施计划。

②促进或进行 POPs 方面的信息交流，包括设立负责此类交流的国家联络点。

③进行公众宣传和教育。

④鼓励和进行 POPs 及其替代品的研究、开发和监测工作，并支持这些方面的国际合作交流。

⑤报告其为履行公约规定所采取的措施和这些措施在实现公约各项目标的成效。

⑥酌情在区域基础上并视其技术和资金能力实施旨在评估公约受控 POPs 物质成效的监测方案和机制。

# 64. 新 POPs 物质是如何增列入《斯德哥尔摩公约》的？

《斯德哥尔摩公约》管制的 POPs 物质名单是开放的。《斯德哥尔摩公约》第 8 条规定，任一缔约方均可提交提案，将某一化学品增列入附件 A、B 和 / 或 C。公约同时规定，增列需经过三个阶段的审查，即附件 D 规定的 POPs 信息要求和筛选标准审查、附件 E 规定的需在风险简介中提供的资料的审查和附件 F 规定的涉及社会经济考虑因素的信息的审查，并最终由缔约方大会决定是否将其增列入公约受控物质清单。附件 D 审查主要根据公约规定的化学品的鉴别、持久性、生物蓄积性、远距离环境迁移的潜力、不利影响五项筛选标准对该化学品进行审查，评价其是否符合 POPs 特性。附件 E 审查的目的是评价该化学品是否会因其远距离环境迁移而对人体健康和 / 或环境产生重大不利影响，因而应当采取全球性行动。附件 F 审查主要评价对该化学品可能实行的各种管控措施，包括管理和消除在内的所有选择办法。公约第 19 条规定设立的 POPs 审查委员会，行使缔约方大会在 POPs 增列方面为其指定的相关审查职能。

# 65. 《斯德哥尔摩公约》所规定的资金资源和机制是什么？

《斯德哥尔摩公约》第 13 条对资金资源和机制从多个角度做了原则性的规定：首先要求每一缔约方承诺根据自身能力，并依照国家计划、优先目标和方案，为那些旨在实现公约目标的国家活动提供资金支持和激励。公约同时要求发达国家缔约方应提供新的和额外的资金资源，以偿付发展中国家缔约方和经济转型国家缔约方为履行公约各项义务而发生的全部增量成本。公约还明确指出发展中国家缔约方和经济转型国家缔约方对公约义务的有效履行将取决于发达国家在资金资源、技术援助和技术转让诸方面所做承诺的履行程度。公约决定确立一套以赠款或减让方式向发展中国家缔约方和经济转型国家缔约方提供充足和可持续的资金资源的机制，以协助他们实施公约按照《斯德哥尔摩公约》第 14 条的规定，全球环境基金（GEF）受委托临时充当负责资金机制运作的主要实体。

GEF 是一个独立的国际机构，创建于 1991 年，其主要活动是根据协议向有利于全球环境的活动提供净增量成本部分，资助的项目现集中在六个领域，即生物多样性、气候变化、国际水域、土地退化、可持续森林管理以及化学品和废物。目前，《斯德哥尔摩公约》《气候变化框架公约》《生物多样性公约》《土地荒漠化公约》和《关于汞的水俣公约》指定 GEF 作为其资助机制，只有批准了相关公约的国家才有资格申请 GEF 的资助。

自 1991 年起，GEF 已为 165 个发展中国家的 3 690 个项目提供了 125 亿美元的赠款并撬动了 580 亿美元的联合融资。

GEF 的执行机构和实施机构负责提出项目建议，并管理 GEF 项目的实施。GEF 执行机构和实施机构在 GEF 项目的实际管理方面发挥着关键性的作用，特别是帮助有资格的政府和非政府组织开发、实施和管理 GEF 项目。目前正在运作中的 GEF 国际执行和实施机构有：世界银行、联合国开发计划署、联合国环境规划署、联合国粮食农业组织、联合国工业发展组织、非洲开发银行、亚洲开发银行、欧洲复兴开发银行、美洲开发银行、国际农业发展基金、保护国际、南非发展银行、世界自然保护联盟、世界自然基金会—美国分会。

中国是 GEF 的创始成员国，财政部是负责协调全球环境基金中国项目的窗口单位。

## 66. 《斯德哥尔摩公约》是如何进行成效评估的？

根据公约第 16 条，缔约方大会应自公约生效之日起四年后，并嗣后按照缔约方大会所决定的时间间隔，基于 POPs 在区域和全球环境中的迁移情况，并结合缔约方国家报告和不遵约情事的信息，对公约执行成效进行评估。成效评估的依据主要有三个：全球监测报告、国家报告、不遵约情事。其中缔约方国家报告由各缔约方自己提交，而关于不遵约情事相关审查机制的谈判进展缓慢，所以目前公约成效评估相关议题下谈判和讨论的主要内容为全球监测计划和公约成效评估本身，尚不涉及不遵约情事部分内容。

全球监测计划的实施，在全球范围内获得了许多关于 POPs 的科学数据，是公约成效评估的基础。2006 年，缔约方大会第二次会议通过决议，同意在 2009 年缔约方大会第四次会议上完成公约首次成效评估，并确定了制定和执行全球监测计划的基本内容，将空气和母乳 / 血清中的 POPs 含量作为全球监测的核心数据。2007 年，缔约方大会第三次会议通过决议，暂行通过全球监测计划，并通过了用于首次成效评估的全球监测计划的执行计划，同时决定成立区域组织小组和全球协调小组。区域组织小组和全球协调小组在闭会期间完成了第一次区域监测报告和全球监测报告，并将其提交给 2009 年的缔约方大会第四次会议审议。

缔约方大会第四次会议最终通过了全球监测计划，将第一次全球监测计划获得的数据作为今后公约成效评估的基线，并确认完成首次成效评估。会议还确定成效评估以六年为一个周期，同时规定每次成效评估都将分两个阶段进行。第一阶段将对资料进行独立汇编。将使用通过《斯德哥尔摩公约》现有安排收集的资料，包括全球监测计划报告、国家报

告汇编、秘书处的技术援助报告，以及来自受托管理财政机制的实体的报告。一旦缔约方大会通过了遵约程序，根据这些程序编制的报告也将用于支持成效评估。第二阶段将成立一个委员会评估现有资料，以评估《斯德哥尔摩公约》的成效。

2013 年缔约方大会第六次会议进一步通过决议，通过了成效评估框架。框架明确了成效评估的目的是评估《斯德哥尔摩公约》是否成功实现了其保护人体健康和环境免受 POPs 危害的目标，确定为实现这一目标而采取的具体实施措施的成效，以及确定改善实施措施的方法。框架明确了成效评估的要点和指标，并制定了成效评估委员会工作大纲。根据此框架，2017 年缔约方大会第八次会议将审议成效评估委员会报告并完成公约第二次成效评估。

## 67. 为什么公约要遵循“共同但有区别责任”原则？

“共同但有区别责任”是指，由于地球生态系统的整体性与导致环境退化的各种不同因素，以及各国履约能力上的差异，为此对保护和改善全球环境各国负有共同的但是又有区别的责任。这是 1992 年 6 月 3—14 日在里约热内卢召开联合国环境与发展会议通过的《关于环境与发展的里约宣言》（也称为地球宪章）的原则 7 中所阐明的。

各国应本着全球伙伴关系的精神进行合作，以维持、保护和恢复地球生态系统的健康和完整。鉴于造成全球环境退化的原因不同，各国负有程度不同的共同责任。发达国家承认，由于其社会对全球环境造成的压力和它们掌握的技术和资金，它们在国际寻求持续发展的进程中承担着责任。

“共同但有区别责任”原则重点强调了三个方面：

①基于地球生态环境的整体性，因此各国对保护全球环境都负有共同的责任。它意味着，世界各国不分大小、贫富、种族、地域、资源等各方面的差异，对保护全球环境都负有一份责任，都应当无一例外地参加全球环境保护事务。

②在各国之间尤其是在发展中国家与发达国家之间，保护和改善全球环境的责任是有差别的，应与其在历史上和当前对环境造成的破坏成正比。而当代环境问题主要是发达国家在其工业化过程中，片面追求物质财富的增长而肆无忌惮地向地球排放大量污染物所积累形成的。发达国家工业化的过程也是其长期过度消耗地球资源和严重污染地球环境的过程。因此，发达国家应对全球环境的污染和破坏负主要责任，应在保护全球环境中率先行动，削减其污染物的排放量，对其不可持续的生产

和消费方式进行实质性的改革。

③本着公平和效率的原则，拥有雄厚经济实力和先进环保技术的发达国家有义务提供资金来帮助发展中国家参加全球环境保护，或补偿由于保护环境而带来的额外损失，并以优惠的、非商业性条件向发展中国家提供环境无害化处置技术；对于发展中国家，则应坚持权利义务相平衡原则，在力所能及的范围内承担保护本国及全球环境的责任。

在《斯德哥尔摩公约》中遵循这一原则主要有两方面的原因：

①这体现了发达国家和发展中国家在经济、科技及履约能力方面的实际差距，发达国家在 POPs 的管理、处置、替代等各方面具有相对较好的经验和技术积累，同时发达国家通过历史上以污染为代价的发展过程已积累了较发展中国家雄厚的经济基础。

②许多的 POPs（如有机氯农药、多氯联苯等）在历史上的生产和应用大国主要是现在的一些发达国家，它们对 POPs 污染问题的解决负有不可推卸的责任。因此，发达国家有责任、有义务为发展中国家的履约活动提供资金和技术援助。

## 68. 为什么《斯德哥尔摩公约》要强调“预防原则”？

《里约环境与发展宣言》共包括了 27 条原则，其中原则 15 为预防原则，即为了保护环境，各国应按照本国的能力，广泛采取预防措施。遇到严重或不可逆转损害的威胁时，不得以缺乏充分科学证据作为理由，延迟采取符合成本效益的措施防止环境恶化。

该原则也被称为“风险预防原则”。预防原则是针对环境恶化结果发生的滞后性和不可逆转性的特点而提出的，目前已被许多环境法学家列为国际环境法的基本原则之一。

预防原则的目的在于，当我们对某一事物或行为的有害影响缺乏确定的科学知识的时候，该原则为我们提供行动指导。其核心观念是：即使以我们现有的科学水平无法在工业或技术活动和某种对环境的危害之间确立因果联系，也要本着预防原则对此项活动进行管理控制。

《斯德哥尔摩公约》针对的一些 POPs，由于其结构复杂、分析困难，人们对于其在环境中的存在、迁移、转化、归趋等详细情况尚不完全清楚。但是确实已有很多迹象和证据表明，这些 POPs 对于环境和人类具有非常严重的危害。另外，符合 POPs 定义的物质其实还有很多，公约中规定了受控 POPs 的名单是根据需要进行扩充的；而为了避免重蹈像有机氯农药、多氯联苯这样先大规模应用多年后才采取控制行动的覆辙，必须尽早将呈现 POPs 特性的污染物列入公约控制名单。基于上述两方面原因，《斯德哥尔摩公约》强调“确认预防原则受到所有缔约方的关注，并体现于本公约之中”。

事实上，《斯德哥尔摩公约》的草案中更为强调预防原则，其表述为：“确认预先防范方针是所有缔约方关注的核心所在，同时也是本公约的

基石”。由于一些国家担心该原则可能会被出于贸易保护等原因而滥用，从而导致更多的物质过多过快地被加入受控 POPs 名单中，因此正式文本中对其表述进行了一些修改，但是预防原则的体现对于像《斯德哥尔摩公约》这样针对化学品管理的公约是非常重要的。

# 69. 《巴塞尔公约》《鹿特丹公约》与《斯德哥尔摩公约》有何关系？

《巴塞尔公约》是《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》的简称，它是关于通过控制危险废物跨越国境的转移和处置来防止危险废物对环境和人体健康造成危害的全球性国际公约，于 1989 年 3 月 22 日在瑞士的巴塞尔通过，1992 年 5 月 5 日开始生效。截至 2015 年 7 月 31 日，《巴塞尔公约》已有 183 个缔约方。我国参与了该公约的起草和谈判，并于 1991 年 9 月 4 日批准加入该《巴塞尔公约》；在 1992 年 5 月 5 日《巴塞尔公约》生效时，同时对我国生效。

《鹿特丹公约》是《关于在国际贸易中对某些危险化学品和农药采用事先知情同意程序的鹿特丹公约》的简称，是 1998 年通过的。其目标是通过便利就国际贸易中的某些危险化学品的特性进行资料交流、为此类化学品的进出口规定一套国家决策程序并将这些决定通知缔约方，以促进缔约方在此类化学品的国际贸易中分担责任和开展合作，保护人类健康和环境免受此类化学品可能造成的危害，并推动无害环境的方式加以使用。截至 2015 年 7 月 31 日，《鹿特丹公约》已有 154 个缔约方。我国于 1999 年 8 月 24 日签署了该公约，并于 2004 年 12 月 29 日正式批准加入该公约。目前，《鹿特丹公约》暂不适用于中华人民共和国香港特别行政区。

《斯德哥尔摩公约》与《巴塞尔公约》《鹿特丹公约》都是由 UNEP 主持制定的化学品和废物领域的多边环境协定，它们共同构成了对有害化学品实现“从摇篮到坟墓”的全生命周期环境无害化管理的国际框架，《斯德哥尔摩公约》中受控的 POPs 也同样被列入了《巴塞尔公约》和《鹿

特丹公约》的管制范围。UNEP 理事会于 2002 年通过决定，指出化学品和废物多边环境协定秘书处之间应加强合作、协同增效。

2010 年和 2013 年，上述三公约缔约方分别召开了首次和第二次同期特别会议，启动《巴塞尔公约》《鹿特丹公约》和《斯德哥尔摩公约》协同进程。该进程的直接目的是加强相关公约之间的合作与协调，以取得协同效应，提高相关公约实施效率，促进相关公约得到更加有效的实施。目前，三公约缔约方大会已分别做出决定，授权三公约在联合活动、联合管理、联合服务、评估机制、同步财务预算及联合审计等方面开展行动。

# 第五章
# 控制技术篇

# 70. 什么是化学品的“环境无害化管理”？

1992 年 6 月，UNEP 在巴西里约热内卢召开的全球环境与发展大会上通过了《21 世纪议程》，其中第 19 章有毒化学品环境无害化管理中，提出了“生命周期管理”“优先控制对象”“事故预防与应对”“公众知情权”等重要原则。

国际化学品环境无害化管理的指导方针可以概括为：“以保护人类健康和环境为首要目标，通过建立、健全化学品安全管理法律、法规和安全管理制度，采用科学、符合国情与国际规范的程序，开展化学品危险性鉴别、分类和标签，进行风险评价和风险管理；重点控制和淘汰那些对人体健康或环境构成不可接受或无法控制风险的化学品；制定事故应对程序和应对预案，尽量降低重大事故的风险及影响；妥善处理处置化学品生产和使用中产生的化学废物，鼓励开发、使用安全、无害及对环境友好的化学产品。传播化学品安全信息，鼓励工人和公众知情参与安全生产，预防和有效控制化学品生命周期各个阶段对人体健康和对环境的危害，同时，维护化学品技术革新和工业竞争力，促进社会经济的可持续发展。”

近年来，化学品环境无害化管理的发展趋势主要体现为以下几点：

①强化和完善化学品环境管理立法，开展化学品危险鉴别与风险评价。

②禁止和淘汰高危险性化学品的生产和使用，推行清洁生产，实现从末端治理向污染预防的转变。

③延伸生产企业的环境责任，鼓励发展绿色化工技术。

④鼓励公众知情与参与，推行“责任关怀”制度，促进安全、健康和环境保护。

1999 年 12 月，《巴塞尔公约》第 5 次缔约方大会上对于化学品的“环境无害化管理”是这样定义的：“在全生命周期管理的架构下，降低及避免有害废物的产生，并将其处理或处置至不会造成人体健康及环境危害的程度，避免及减少有害废物的越境转移。”

按照《斯德哥尔摩公约》的要求，应该对 POPs 废弃物（主要是杀虫剂类 POPs 和 PCBs）进行环境无害化管理，这实际上包括了七个步骤：公告、收集库存资料、库存资料分析、选择策略、合理化、选择技术、实施。

# 71. 什么是“有害生物综合治理（IPM）”？

有害生物综合治理（Integrated Pest Management, IPM）是人类在与自然界有害生物的竞争中，不断认识深化的结果，也是当今国内外在病虫害治理中所推崇的防治策略和模式。联合国粮农组织（FAO）最初将IPM 定义为是一种有害生物的管理系统，依据有害生物的种群动态及与其相关的环境关系，尽可能协调地运用一切适当的技术及方法，将有害生物控制在经济损害允许的水平以下。

1986 年，我国在四川成都召开的全国第二次农作物病虫害综合治理学术讨论会上，将 IPM 定义为是对有害生物进行科学管理的一种体系，它属于农田最优化生产管理体系中的一个子系统。它是从农业生态系统的整体出发，根据有害生物和环境之间的相互关系，充分发挥自然控制因素作用，因地制宜协调应用必要的措施，将有害生物控制在经济损害允许的水平以下，以获得最佳的经济、生态和社会效益。

近年来，IPM 概念又被进一步拓展和延伸，IPM 不再是单纯的技术名词，而是代表生态、人力和社会资源的系统管理。即除了“有害生物”（Pest）外，P 又被赋予了“人”（People）、“参与”（Participation）、“政策”（Policy）、“农药”（Pesticide）、“生产”（Produce）、纯收益（Profit）等新内涵。IPM 既然是系统管理的范畴，就不能就病虫论病虫、就防治论防治，应该重视农民的参与、农民素质及决策能力的提高，以及相关政策的扶持。



我国农业生产中使用黄板和捕食螨等 IPM 技术（田亚静 / 摄）

IPM 就是要把螨害等病虫害的防控工作作为人与自然和谐发展的重要组成部分，通过各种技术措施集成创新，突出其对高效、生态、安全农业的保障作用。必须遵循以下技术原则。

①遵循农作物健康栽培原则。从培育健康的农作物和良好的农作物生态环境入手，使植物生长健壮，并创造有利于天敌的生存繁衍而不利于病虫发生的生态环境。从土、肥、水、品种和栽培措施等方面入手，培育健康作物。培育健康的土壤生态、良好的土壤生态是农作物健康生长的基础；采用抗性或耐性品种，抵抗螨害等病虫害的侵害与发生；采用适当的肥水以及修剪、生草栽培、间作、套种等科学栽培措施，培育不利于螨害等病虫害的发生发育的条件，从而抑制其危害。

②遵循充分保护和利用生物多样性的原则。保护和利用生物多样性，可调整生态中螨害等病虫害的种群结构，设置虫害传播障碍，调整作物受光条件和田间气候环境，从而减轻螨害等病虫害的防治压力。保护利

用生物多样性，从功能上来说，可以增加农田生态系统的稳定性，创造有利于有益生物种群稳定增长的环境，既可有效抑制有害生物暴发成灾，又可抵御外来有害生物的入侵。

③遵循充分利用生态调控的原则。其核心就是强调有害生物的生态管理（EPM）等策略。在这些策略的使用过程中，针对不同情况，提出如有害生物的总体治理（TPM）、有害生物的区域治理（APM）、有害生物的合理治理（RPM）、生物因素强化型综合治理（Bio-IPM）、有害生物的自然调控（Natural Pest Regulation， NPR）等一系列策略。

④遵循保护和应用有益生物的原则。通过保护有益生物的栖息场所，为有益生物提供可替代的充足食物。应使用有益生物影响最小的防控技术，有效地维持和增加农田生态中有益生物的种群数量，达到自然控制螨害等病虫害的效果。田间常见的有益生物如捕食螨和一些微生物，在一定的条件下均可有效地将螨害等病虫害抑制在经济损失允许的水平以下，因此必须重视对这些有益生物的保护和利用。

⑤遵循科学使用农药原则。农药作为防治螨害等病虫害的重要手段，具有不可替代的作用。但农药带来的负面效应也是不可忽视的，农药残留可引起人类的食物中毒，使用管理不当可造成人畜中毒，同时不合理地使用农药还会造成环境污染等。科学使用农药，充分发挥其作用，避免和减轻农药的负面效应，是实现 IPM 的最终目标。科学使用农药一是要优先使用生物农药或高效、低毒、低残留农药；二是要对症施药；三是要遵循有效低量无污染的原则；四是要交替轮换用药，避免长时间单一使用同一类的农药而产生抗药性；五是要严格按安全间隔期用药，IPM 主要目标之一就是要避免农药残留超标，保障农产品质量安全，在农作物上使用农药一定要严格按安全间隔期用药，避免出现农药残留超标。

采用有害生物综合治理来淘汰和替代有机氯农药类 POPs 在农业生

产、城市卫生等领域的应用，目前已成为世界各国的共识。我国在农业生产领域、白蚁防治行业引进了有害生物综合治理技术，以替代滴滴涕、三氯杀螨醇、氯丹和灭蚁灵的使用，推动了农业绿色防控和白蚁防治行业的技术升级。2007 年我国全面淘汰了滴滴涕、三氯杀螨醇、氯丹和灭蚁灵的生产、流通、使用和进出口，成功实现了中国实施《斯德哥尔摩公约》，全面淘汰所有首批受控杀虫剂类持久性有机污染物的国际履约承诺。

## 72. 什么是“最佳可行技术”和“最佳环境实践”（BAT/BEP）？

“最佳可行技术”是指所开展的活动及其动作方式已达到最有效和最先进的阶段，从而表明该特定技术原则上具有切实适宜性，从总体上减少公约附件 C 第一部分所列化学品的排放及其对整个环境影响的限制排放奠定基础。这里的“技术”包括所采用的技术以及所涉装置的设计、建造、维护、运行和淘汰的方式；“可行”技术是指应用者能够获得的、在一定规模上开发出来的并基于其成本和效益的考虑、在可靠的经济和技术条件下可在相关工业部门中采用的技术。而“最佳”是指对整个环境实行高水平全面保护的最有效性。

“最佳环境实践”是指环境控制措施和战略的最适当组合方式的应用。

# 73. 生活垃圾焚烧过程二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

生活垃圾焚烧炉是《斯德哥尔摩公约》确定的附件 C 中的化学品具有高产生和排放量的污染源。生活垃圾通常具有高度的多相性，主要包括有机成分、矿物、金属和水。在焚烧的过程中，烟气主要成分为水蒸气、氮气、二氧化碳和氧气。随着废物组分、操作条件和烟气处理系统的不同，也将释放出酸性气体（$SO_x$、$NO_x$、HCl）、颗粒物（包括粒状金属）、大量挥发性有机物和挥发性金属（如汞）。同时，带来无意产生和排放的 POPs（PCDD/F、PCB、HCB），此外还可能释放出多溴代二苯并对二噁英（PBDD）和多溴二苯并呋喃（PBDF）。当焚烧炉设计不当或操作条件较差时将使上述污染物产生量大大增加。



生活垃圾焚烧控制室 （姜晨 / 提供）

### 控制技术

联合 BAT/BEP 的成效结果显示，城市生活垃圾焚烧炉中 PCDD/F 空气排放水平在折氧浓度为 11% 的情况下，可实现低于 0.1ngI-TEQ/$m^3$ 的排放水平，且实现酸性气体、颗粒物、挥发性有机物和挥发性金属的最小化排放。主要技术包括以下内容。

①源头削减：零废物管理策略，倡导绿色节俭的生活方式，通过立法和经济手段来消除废物的源头产生。

②垃圾分类：可回收物质（如铝及其他金属、玻璃、纸、可回收塑料、建筑和拆建废物）的分散和集中分类收集，能够减小废物的体积，节省有用的资源并能去除不能燃烧的成分。同时，废物减量化，源头分离和回收可减少需进行最终处理的废物体积。

③储存及预处理：应该对废物进行合适的分类隔离以确保处理安全。储料区必须密封良好，能抵抗温度变化，并且有可控的排水系统、消防系统。存储和操作区域的设计应该考虑防止环境介质的污染，并且便于清除泼溅或者渗漏物。另外，将储料区的空气引入焚烧用气，可以减小储料区内的异味并降低挥发性 POPs 向环境介质的排放。

④缩短存储时间：缩短存储时间可以防止发生废物腐败、不必要的反应以及容器标签损坏。

⑤非焚烧技术：堆肥、机械生物处理（通过机械和生物处理方法来减少废物体积）、高温熔化、特殊建造的填埋场容纳并隔离废物。

⑥焚烧技术：焚烧厂的选址、设计、运行、维护以及污染物控制等都是合格焚烧技术的重要评价依据。主要的城市生活垃圾 BAT/BEP 焚烧技术包括集中燃烧（移动炉排式）焚烧炉、用水冷却的炉排炉、带炉排的回转窑、带有运输系统的静止炉排炉、带有二次焚烧室的标准模块焚烧炉、流化床焚烧炉和带有延展器 / 加煤器的焚烧炉。同时，控制进料废

物的组分，确保工况稳定；实现完全焚烧需要温度达到或超过 850℃；氧气浓度 6% 时停留时间大于 2s。

⑦尾气处理的最佳可行技术：除尘（颗粒物）技术、酸性气体去除技术、尾气精处理技术、氮氧化物（$NO_x$）催化去除技术。

⑧焚烧残渣管理：底灰和炉灰处理、尾气处理残渣管理。

⑨流出液的最佳可行技术：使用干式或半湿式的处理系统能减少流出液总量。污水处理的最佳可行技术包括对处理设施污水再循环和再使用的最优化、不同污染程度污水处理分离系统的应用、洗涤器出水的物理—化学处理以及氨的去除。去除有机物时需要使用活性焦炭过滤器和嵌碳聚合物。

# 74. 医疗废物处置过程二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

《斯德哥尔摩公约》将医疗废物焚烧炉列在第二部分源目录中，它们能排放出大量公约附件 C 中的化合物，如二噁英、六氯苯等。医疗废物一般包括传染性卫生保健废物、刀具、解剖和病理学废物、化学品、有毒或制药废物、放射性废物、普通非传染性废物（玻璃、纸、包装材料、食品等）。其中，含氯废物将产生氯代化合物，如二噁英。



医疗废物处置设施（任志远 / 摄）

## 控制技术

联合 BAT/BEP 的成效结果显示，医疗废物焚烧炉中 PCDD/F 空气排放水平在折氧浓度为 11% 的情况下，可实现低于 0.1ngI-TEQ/$m^3$ 的排放水平。主要技术包括以下内容。

①源头削减：在替代产品满足卫生和病患安全的前提下，通过工艺

改进、产品替代、更换、优先购买等方法，从源头减少医疗物品的使用量，从而减少医疗废物的产生量。

②分类：医疗废物中的 75% ～ 90% 是无危险的或者是普通的卫生保健废物，与城市生活废物类似，正确分类可以实现医疗废物的减量化。同时，可将报纸、包装物、文件纸、玻璃、铝罐头、建筑碎片等废物回收再利用。另外，分类应该在废物生产者的监控下进行，并且离产生源尽可能的近，以便及时监管废物并避免危险的二次分拣。

③收集：设置不同颜色标识的容器用于不同废物成分的分类。正确包装废物，防止撕破或撑破。容器应正确标识，如标明传染性、细胞毒性废物等。

④运输和中转：一旦一次容器装满后，必须被送到中转站。处理废物的人员在收集运送和存放废物期间必须穿防护服（如手套、鞋子）。明确运送路线和时间。不可对含有刀具或其他传染性废物的容器进行压缩；不可手动进行含有传染性成分的废物分类。

⑤非焚烧处置技术：处置过程应优先考虑不会产生二噁英、六氯苯等污染物的非焚烧技术。如蒸汽灭菌、高级蒸汽杀菌系统、微波处理、干热杀菌、碱性水解、生物处理、特定废物填埋等。

⑥焚烧处置技术：焚烧技术可能仍然是主要的处置方法，代表最佳可行性技术的燃烧工艺包括热解燃烧炉、回转窑、炉排炉、流化床焚烧炉、标准模块焚烧炉。同时，焚烧温度应达到 850℃后进料；应具有自动设备防止在达到此温度前进料；安装辅助燃烧器；避免焚烧过程的启动和停止；避免低于 850℃的温度以及低温区；确保有足够的氧含量；最后一次注入空气、温度应高于 850℃、氧含量达到 6% 后二次焚烧室中足够的停留时间达到 2s；实现在线监测，以便进行燃烧控制（温度、氧气含量、CO、烟灰）。

⑦烟气净化：通过烟灰净化器、机械振打器、声或蒸汽烟灰吹脱器避免颗粒物沉积，经常清洗有烟气在关键温度范围经过的部分。同时，采用纤维过滤器、陶瓷过滤器、旋风除尘器、静电除尘器、采用活性炭颗粒的高效吸附单元（电动文丘里管）等措施也可有效去除烟灰。

⑧二噁英的去除技术包括催化氧化、气相淬火、涂附催化剂的纤维过滤器、活性炭或平炉焦炭吸附、气体夹带流或循环流化床反应器等。

⑨飞灰和底灰以及污水处理技术针对的主要的废物成分是飞灰、炉渣、废水处理产生的滤饼、石膏和废弃活性炭的废物。这些废物是主要的危险废物，必须进行安全填埋。最常用的方法是置于适当的双壁容器中进行填埋、固化后填埋以及热后处理。

# 75. 再生铜冶炼行业二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

再生铜冶炼是指以铜的废料、矿泥、废弃的电脑部件和电子产品以及精炼厂的残渣作为原料的铜材加工，其涉及的工艺包括进料预处理、熔融、合金化和浇铸。其生产进料中含有油、塑料和涂料等有机物，或燃料的不完全燃烧，或操作温度在 250 ～ 500℃区间，均可产生 POPs（PCDD/F、PCB、HCB）。同时，由于金属铜也是二噁英产生的催化剂，因此，再生铜冶炼行业是二噁英产生的重要行业。

## 控制技术

联合 BAT/BEP 的成效结果显示，铜的再生生产向空气中排放的 PCDD/F 的成效水平可实现低于 0.5ngI-TEQ/$m^3$ 的排放水平，且实现 PCB、多氯萘和六氯苯的最小化排放。主要技术包括以下内容。

①高温高级熔炉：进料和质量控制的不同会影响到生产工艺的设计和配置。被认为是最佳可行技术的熔炼和还原的生产工艺包括高炉、袖珍熔炉（全封闭的）、顶吹式转炉、密封埋弧电炉以及艾萨熔炉。完全封闭的顶吹式转炉和卧式〈Pierce-Smith〉转炉是吹炼过程的最佳可行技术。对于不含有机污染物的清洁废铜料，可以使用床式反射炉工艺、床式竖炉工艺或者 Contimelt 工艺。这些工艺都被认为是在配置上适合于气体收集和处理系统的最佳可行技术。

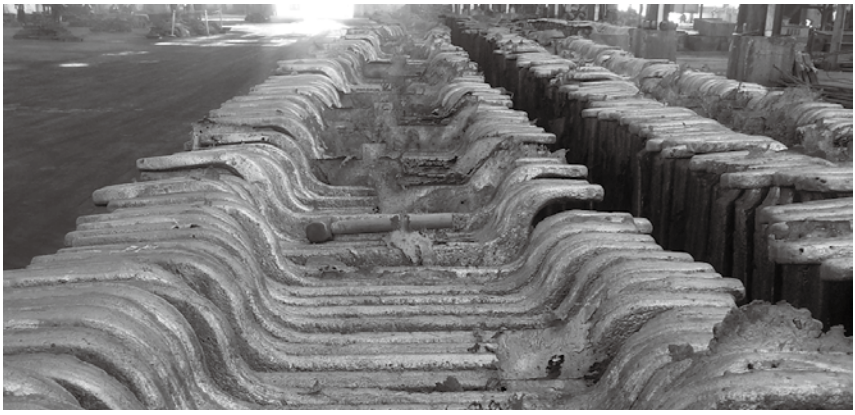
②原材料的预分类：严格控制原料来源、去除原料中的油、在具备高效除尘器情况下使用研磨技术、剥去绝缘皮以去除塑料。通过原料的充分混合以获得均一的进料，从而有利于使生产条件处于稳定状态。

③有效过程控制：除保持操作温度在 850℃以上之外，还可以控制其

他一些诸如温度、停留时间、气体组成和烟尘收集装置等参数，以最大限度减少 PCDD/F 排放。

④污染控制技术：烟尘和大气污染物的回收、高效除尘（袋式除尘器、湿式 / 干式洗涤除尘器或陶瓷过滤器）、后续燃烧炉和淬火冷却、活性炭吸附。

⑤最新研究：催化氧化，是一项具有高去除率和低能耗等优点的新兴技术，可以考虑在铜的再生熔炼中使用；使用贵金属催化剂可以将有机污染物转化为水、二氧化碳和盐酸。



再生铜冶炼（田亚静 / 摄）

# 76. 再生铝冶炼行业二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

铝的再生熔炼是指通过预处理、熔融和精炼等手段对已使用过的铝产品或加工中废弃的铝材进行铝的再生的过程。在生产过程中，需要用到燃料、助熔剂和一些合金，同时需要添加氯、氯化铝或者氯代有机物来去除其中的镁。《斯德哥尔摩公约》附件 C 中所列的化学物质（如二噁英）可能由脱镁过程中的添加剂、不完全燃烧、进料中的有机物、氯化物以及系统温度在 250 ～ 500℃生成。

## 控制技术

联合 BAT/BEP 的成效结果显示，铝的再生生产向空气中排放的 PCDD/F 的成效水平可实现低于 0.5ngI-TEQ/$m^3$ 的排放水平，且实现灰尘、金属化合物、氯化物、氮氧化物（$NO_x$）、二氧化硫以及一氧化碳的最小化排放。主要技术包括以下内容。

①高温高级熔炉：反射炉、旋转炉和倾斜旋转炉、感应炉和 Meltower 高炉等。

②进料的预分类：在预处理过程中，原材料应去除油、油漆和塑料，确保无油无氯的进料。有机物和含氯化合物的去除可以减少潜在的 PCDD/F 的生成量，所使用的方法包括金属屑离心分离机、金属屑烘干机和其他的热去除技术。为脱油而进行的热去除和脱油工艺之后应进行补充燃烧，这样可以去除废气中的有机物质。

③燃烧控制：在熔炼室中进行燃烧和熔炼时，尽可能通过减少火炉开关的次数来减少不完全燃烧和烟尘的产生，在火炉燃烧时加入原料，并将产生的烟尘进行再生燃烧。

④有效的过程控制：使用过程控制系统，可以维持生产过程的稳定，并且通过参数调节来使 PCDD/F 的产生最小化，例如维持熔炉的温度在 850℃以上。通过持续监测 PCDD/F 的释放，可以确保它们释放的减少。在无法进行 PCDD/F 的持续监测的地方，其他的可变量例如温度、停留时间、气体组成和烟尘收集器的控制应得到持续的监测，维持最适宜的操作环境。如通过测定烟道尾气中一氧化碳与氧气的浓度来调整气体—燃料的比例，或者根据烟尘的产生调整熔融材料的供给量等。

⑤除镁：保持加氯过程开始与燃烧过程结束之间的时间间隔和加氯过程完成与点燃的时间间隔在 5 ～ 10 min，同时进行抽气（残余的气体排出）；在熔融金属过程中提高初始温度来提高效率；根据镁的含量来进行组合材料的分类；标准化氯及助熔剂的用量。需要注意的是使用六氯乙烷片进行除镁已经被证实会导致高含量的 PCDD/F 的排放，尤其是六氯苯，这种方法在欧洲是被禁止使用的。

⑥污染控制技术：烟气收集、高效除尘（过滤除尘、干湿洗涤器、陶粒过滤器、涂有催化剂的过滤器）、后续燃烧和淬火冷却、活性炭吸附（固定床或移动床活性炭反应器，加滤袋除尘）。

⑦最新研究：催化氧化，是一种应用在废物焚烧中消除 PCDD/F 的新技术。由于在废物焚烧中能够有效地去除 PCDD/F，应考虑将其应用到金属的再生熔炼中。该技术利用一种贵金属催化剂提高在 370 ～ 450℃的反应速率，将有机物氧化成水、二氧化碳和盐酸。然而，废物的焚烧过程通常发生在 980℃。催化氧化可以在较短的停留时间内破坏 PCDD/F，只需要较低的能量消耗就能达到 99% 的效率。

# 77. 再生铅冶炼行业二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

再生铅的熔炼包括铅和铅合金的生产，主要来自汽车废旧电池，还有其他用过的铅源（管道、焊料、浮渣、铅盖）。生产过程包括废料的预处理、熔化和提炼。不完全燃烧，进料中含高浓度油、塑料和其他有机材料，以及温度介于 250 ～ 500℃都可能产生《斯德哥尔摩公约》附件 C 所列化学品（如二噁英）。

## 控制技术

联合 BAT/BEP 的成效结果显示，铅的再生生产向空气中排放的 PCDD/F 的成效水平可实现低于 0.1ngI-TEQ/$m^3$ 的排放水平，且实现二氧化硫、其他含硫化合物、酸雾、氮氧化物、金属（尤其是铅）及其化合物和粉尘的最小化排放。主要技术包括以下内容。

①高温高级熔炉：鼓风炉（与好的过程控制相结合）、ISA 冶炼炉 / Ausmelt 炉、上端鼓风的旋转炉、电炉和旋转炉等。浸没式电弧炉是一个混合铜和铅的密封单元。如果气体提取系统具有完善的设计和尺寸，该炉工艺将比其他工艺更为洁净。

②原料的预分类：废料应当进行分类和预处理，实现无塑胶和无油进料。电池在进入熔炉之前应当被磨碎，磨碎之后，用风力或者密度分选技术来移出塑料。热去膜和热去油工艺可以实现除油。原料储存、处理和预处理技术将由原料大小、分布、污染物和金属含量来决定。

③有效的过程控制：过程控制系统可用于维持过程稳定，并在最小化 PCDD/F 产量的参数条件下操作，例如维持炉温大于 850℃以破坏 PCDD/F。当缺乏对 PCDD/F 的连续监测时，其他变量应当被连续监测和

维持，如温度、停留时间、气体组成和废气收集装置。需要特别关注的是，对熔炉和坩埚（用于熔化金属）温度的测量和控制，这样可预防或最小化烟气的产生。

④污染控制技术：烟气收集、高效除尘（袋式过滤除尘、干湿洗涤器、陶粒过滤器、涂有催化剂的过滤器）、后续燃烧和淬火冷却、活性炭吸附（固定床或移动床活性炭反应器）。

⑤最新研究：催化氧化，是一种用于消除废物焚烧炉排放 PCDD/F 的新技术。这个过程应考虑用于贱金属再生熔炉，因为它被证实可有效破坏废物焚烧炉中的 PCDD/F。催化氧化将有机物处理成水、二氧化碳（$CO_2$）和盐酸，在 370 ～ 450℃使用一种贵金属催化剂来增加反应速率。相对而言，典型焚烧的温度高达 980℃。催化氧化可在较短的停留时间和较低的能耗下破坏 99% 的 PCDD/F。



再生铅冶炼生产企业（吴广龙 / 摄）

# 78. 再生锌冶炼行业二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

锌的再生熔炼是指从铜合金生产和电弧炉炼钢中的尾尘、钢废料以及镀锌工艺中的废料中生产锌的过程。进料中的污染物质（包括油和塑料）、不完全的燃烧以及 250 ～ 500℃的温度条件都会产生《斯德哥尔摩公约》附录 C 中所列的化学物质（如二噁英）。

## 控制技术

联合 BAT/BEP 的成效结果显示，锌的再生生产向空气中排放的 PCDD/F 的成效水平可实现低于 0.5ngI-TEQ/$m^3$ 的排放水平，且实现二氧化硫、其他含硫化合物、酸雾、氮氧化物、金属（尤其是锌）及其化合物的最小化排放。主要技术包括以下内容。

①原料的预分类：结合风动法和密度分离技术，磨碎技术可以用来去除塑料。使用热处理去膜和脱油工艺进行脱油。进料储存、处理和预处理的方法也因材料大小的分布、污染物和金属含量的不同而定。

②有效的过程控制：使用过程控制系统，可以维持生产过程的稳定，并且通过参数调节来使 PCDD/F 的产生最小化，例如维持熔炉的温度在 850℃以上可以去除 PCDD/F。 在无法进行 PCDD/F 的持续监测的地方，其他的可变量例如温度、停留时间、气体组成和烟尘收集器的控制应得到持续的监测，维持最适宜的操作环境。

③污染控制技术：烟气收集、高效除尘（过滤除尘、干湿洗涤器、陶粒过滤器、涂有催化剂的过滤器）、后续燃烧和淬火冷却（后续燃烧应在 950℃以上的温度条件下进行来保证有机物的完全燃烧。之后要进行热气体的快速淬火冷却，应在 250℃以下的温度条件下进行）、活性炭吸

附（固定床或移动床活性炭反应器）。

④最新研究：催化氧化，是一种应用在废物焚烧中消除 PCDD/F 的新技术。由于在废物焚烧中能够有效地去除 PCDD/F，应考虑将其应用到金属的再生熔炼中。催化氧化是利用一种贵金属催化剂提高在 370 ～ 450℃的反应速率，将有机物氧化成水、二氧化碳和盐酸。相对地，废物的焚烧过程通常发生在 980℃。催化氧化可以在较短的停留时间内破坏 PCDD/F，只需要较低的能量消耗就能达到 99% 的效率。

# 79. 钢铁烧结过程二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

钢铁工业中的烧结车间是生产铁的过程中的一个预处理工序。在这个步骤中，铁矿石的精细小颗粒（有的工厂也包括再生的氧化铁废料，例如集尘、氧化铁皮等）通过燃烧结成大块。烧结过程利用焦炭颗粒和煤对细小的铁矿石进行加热并生成半熔融态的物质，它们可以固化成为块状的多孔烧结物以满足高炉对于进料的尺寸和强度的要求。

烧结过程中所形成的附件 C 中所列化学物质很可能主要通过从头合成反应。一般来说，PCDF 是烧结车间的废气中最主要的污染物。PCDD/F 可能在矿石被点燃后不久开始形成，最先是在烧结床的顶部区域，随后二噁英、呋喃和其他污染物在接近烧穿点的烧结带下部的较冷的原料层发生冷凝。

## 控制技术

联合最佳可行技术与最佳环境实践的成效结果显示，铁的烧结车间向空气中排放的 PCDD/F 的成效水平可实现低于 0.2ngI-TEQ/$m^3$ 的排放水平，且实现 CO、$CO_2$、$SO_x$、$NO_x$ 和颗粒物的最小化排放。主要技术包括以下内容。

①替代工艺：目前，铁烧结的替代工艺有两种。第一种是直接还原，利用铁矿石生产出直接还原的铁产品。可用的铁矿石的直接还原工艺有两个，分别是 Circored 法和 Circofer 法。这两个工艺都使用了循环流化床和鼓泡流化床相结合的两步法。Circored 法使用氢气作为还原剂。而 Circofer 法则使用煤作为还原剂。第二种是直接熔融。直接熔融作为烧结车间、焦炭炉和高炉相结合的传统工艺的替代工艺，能够直接生产出铸铁。

②烧结带的稳定运行和一致运行：工作带移动速度稳定、炉床成分（原料的持续搅拌，最大化减少氯化物的进入）、炉床高度、添加剂的使用（例如添加烧过的石灰可以减少 PCDD/F 的形成）、减小轧屑含油量、减小从工作带、管道和尾气调节系统中渗入的空气以及减少工作带的中途停止等。

③连续的工况监测：建立工况参数值和烟囱污染物排放量之间的关系；连续监测工况参数并与最优化进行对比，在设备异常时发出警报并采取措施加以修正。

④尾气的再流通：整个烧结带中的尾气的再流通，或者局部尾气的再流通，都可以最大限度地减少污染物的形成和释放。

⑤原料选择：从原料中去除轧屑油；用无烟煤代替焦炭屑替代原料；避免使用被污染的原料（例如避免使用静电除尘器的烧结物粉尘）；规范进料中有害物质的浓度限制（例如进料中的含油量应该限制在 0.02% 以下）。

⑥原料预处理：细小颗粒的进料（例如集尘）应该在投入烧结带之前被充分地凝聚成团，并且应该对进料进行充分的混合搅拌。这些措施可以最大限度地减少废气中夹带和形成的污染物以及无规则的排放。

⑦尿素注入：添加一定量的尿素颗粒到烧结带中，这项技术被认为能够防止和减少 PCDD/F 和二氧化硫的排放。

⑧污染控制技术：吸附 / 吸收和高效除尘、细小颗粒的湿式洗涤系统、烧结尾气的颗粒物去除、烧结带的加盖。

# 80. 钢材再生过程二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

再生钢材通过电弧炉直接融解含铁碎料生产。电弧炉融解和提炼废铁原料，在独立的钢厂中产生碳素钢、合金钢和不锈钢。在电弧炉生产钢铁的过程中，由于不含氯的有机物（如塑料、煤和颗粒碳）在含氯供体的环境中燃烧，因此最容易通过从头合成来生成《斯德哥尔摩公约》附件 C 中列出的化学物质，比如 PCDD 和 PCDF。

## 控制技术

联合 BAT/BEP 的成效结果显示，再生钢铁制造厂和钢铁铸造厂向空气中排放的 PCDD/F 的成效水平可实现低于 0.1ngI-TEQ/$m^3$ 的排放水平。主要技术包括以下内容。

①电弧炉的改进工艺：对于生产厂，第一种选择就是使用更高质量并且含有更少污染物的废料。第二种选择是利用还原铁或者相似的原料（由铁矿生产的和比起劣质铁料含更低污染物浓度的铁料）来代替部分含铁废料。第三种选择是在电弧炉炼钢中使用热的金属。

②原料的质量：一般可应用的措施包括原料精细分类工序的改进、改进的质量控制程序、原料类型的改进（例如避免使用含油废钢）和设置程序化的规程来避免含有污染物的原料的进入。

③电弧炉操作：缩小炉顶的敞开进料时间，减少空气向电炉内的渗漏和避免或减少操作延时。在温度低于 125℃条件下，PCDD/F 的冷凝加快，先从高氯代的开始。

④废气调节处理系统的设计：为了减少气体调节系统内 PCDD/F 的从头合成，应当将熔炉废气快速降温至 225 ～ 200℃以下。

⑤连续参数监测系统：建立工况参数值和烟囱污染物排放量之间的关系；连续监测工况参数值并与最优化进行对比，在设备异常发出警报时立即采取措施加以修正。

⑥收尘除尘：废气粉尘收集（可通过联合废气和烟罩系统、投料口和烟罩系统、建造空气散逸装置来实现）、袋式除尘器收集器。

⑦带有快速水冷装备的外置二次燃烧系统：通过废气除尘系统中的二次燃烧或者独立的后续燃烧室的燃烧可以减少 PCDD/F 的形成。将这个技术同快速水冷技术结合，可应用于电弧炉制钢。

⑧吸附剂的注入：具有特定尺寸的褐煤焦炭被注入除尘室逆向流动的废气中。焦炭（或者活性炭）吸附废气中的 PCDD/F。碳与废气的充分混合和选用合适尺寸的焦炭（与气流中颗粒大小相近），可实现 PCDD/F 的最佳去除。

⑨固废处理：电弧炉炉渣和除尘器滤尘应该被最大限度地回收利用。高合金钢废气的滤尘应尽可能回收其中的有价值金属。剩余的固体废物应该进行对环境无害的处理。

⑩废水处理：电弧炉的循环水冷系统可以避免污水的产生；尽可能利用循环污水；通过合理设计，使半干式空气污染控制系统达到污水零排放的目的；在排入环境前，湿式除尘系统中排除的污水应该先进行处理。

# 81. 火葬过程二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

火葬是通过焚烧进行尸体处理的一种方式，这一过程可能有 PCDD/F、HCB 和 PCB 的形成及排放，主要原因有：①尸体和伴随尸体燃烧的一些塑料中含有的氯化物、污染物前体物及氯元素，如棺材上的装饰物和私人物品；②焚尸炉设计不合理，可能造成不完全燃烧，或是在有机物与氯化物存在于进料或废气介质中时通过从头合成产生；③烟气回收处理不完善；④骨灰管理的多样化，造成其中残留的 PCDD/F 可能引发各种环境介质的污染风险。

## 控制技术

联合 BAT/BEP 的成效结果显示，焚尸炉中 PCDD/F 空气排放水平在折氧浓度为 11% 的情况下，可实现低于 0.1ngI-TEQ/$m^3$ 的排放水平，且实现二氧化硫、氯化氢、一氧化碳、挥发性有机物、颗粒物的最小化排放。主要技术包括以下内容。

①焚尸炉设计：焚尸炉需能在进料、燃烧及棺材灰烬的回收过程中温度维持在 850℃以上，尸体能有 2s 气体停留时间。还需强调必须避免废气在再形成温度窗口内温度降至 850℃以下。

②焚尸预处理：需避免棺材及装饰物中存在的塑料、金属和氯化物以减小不完全燃烧或从头合成过程中 POPs 的产生。

③使用清洁燃料：应尽量少使用已被 POPs 潜在污染的废物源或其他燃料。

④有效燃烧控制：焚尸炉有效的燃烧控制应维持二级燃烧炉入口及出口处的温度在 850℃以上，维持二级燃烧炉内氧气浓度大于总体积的

6%，将燃烧气体保持在二级燃烧炉中至少 2s。

⑤有效程序控制：需利用程序控制系统来维持过程稳定并在能够最小化 POPs 排放的参数水平下运转，如控制温度、停留时间、气体成分等来实现最小化。

⑥烟气收集：过程中需要注意一方面满足焚尸炉密封以防止无意泄漏，另一方面应允许热量回收和废气收集。

⑦空气污染控制装置：袋式除尘技术是最有效的颗粒物清除方法并且也可用于酸性气体的干式或半干式吸收和金属物质的控制，但该过程需要降温。也包括使用固定或移动的反应堆，或者往气流中喷射粉末状活性炭，再通过使用高效除尘系统（如袋式除尘）来将其排除。

# 82. 造纸行业二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

《斯德哥尔摩公约》附件 C 所列的化学品中，明确指出在使用氯元素的制浆过程中会产生 PCDD 和 PCDF。氯取代在 2,3,7,8 位的 17 种 PCDD/F 同系物中，只有 2,3,7,8−TCDD 和 2,3,7,8−TCDF 两种物质会在使用氯的漂白过程中产生。大多数的 2,3,7,8−TCDD 和 2,3,7,8−TCDF 是在漂白工序的氯化段（C 段），经由氯与 TCDD 和 TCDF 的前体物反应而生成的。

## 控制技术

联合 BAT/BEP 的成效结果显示，当传统漂白工艺中二氧化氯的使用量超过 85% 时，或使用无元素氯漂白或全程无氯漂白时，向水体排放的 2,3,7,8−TCDF 和 2,3,7,8−TCDD 将会低于排放标准 EPAMethod1613。主要技术包括以下内容。

①含氯漂白药剂的纸浆生产的最佳可行技术：通过使用二氧化氯（无元素氯漂白）或全程无氯漂白工艺代替元素氯漂白工艺；通过减少氯倍数或增加二氧化氯替代氯气的量；通过使用前体物去除剂和彻底冲洗减少二苯并－对－二噁英、二苯并呋喃这类前体物质进入漂白工厂；最大化去除节点和污垢以减少氯倍数；以及减少使用被多氯代酚污染的纸浆。

②替代工艺：硫酸盐浆的全程无氯漂白、非木纸浆的全程无氯漂白。

# 83. 危险废物水泥窑焚烧行业二噁英控制技术有哪些？

## 二噁英产生机理

水泥窑主要用于生产水泥熟料。使用水泥窑燃烧废物旨在回收能源，并替代化石燃料和矿物燃料。在一些案例中，水泥窑可用于处置危险废物。但使用水泥窑燃烧危险废物可能产生和释放《斯德哥尔摩公约》附件 C 所列的化学物质。此外在危险废物的存放地，也可能释放上述污染物。



水泥窑处置设施（彭政 / 提供）

## 控制技术

联合 BAT/BEP 的成效结果显示，危险废物水泥窑焚烧炉中 PCDD/F 空气排放水平在折氧浓度为 11% 的情况下，可实现低于 0.1ngI-TEQ/$m^3$ 的排放水平，且实现二氧化硫、氮氧化物、氨化合物、有机化合物的最

小化排放。主要技术包括以下内容。

①准备工作：为了使燃料成分更均质化，预前处理很重要，包括烘干、切碎、混合或研磨等。同时，当废物到达现场时，要妥善处理和存储废物；设计废物中间存储设备时，应该考虑每种废物的危害和特性，合理设计替代燃料的存储设备。

②清洁燃料：设备运行期间为了维持稳定的状态，要求长期一致地输入一种替代燃料；连续供应达到规范要求替代燃料；在启动和关闭程序过程时，不能使用垃圾衍生燃料。

③进料控制：设备运行期间为了维持稳定的状态，要求长期一致地输入一种废物；进料到水泥窑的物质需要挑选和控制；不能将含有机化合物废物的生料作为水泥窑进料。卤代废物应该通过主燃烧器进料。能够作为前驱体的含有有机化合物的废物不能作为生料进料。

④燃烧控制：废物通过预热器窑 / 预煅烧炉的主燃烧器或二级燃烧器进料。对于二级燃烧器，应确保在燃烧区温度大于 850℃时，废物停留时间大于 2s；确保快速冷凝废气到温度低于 200℃。

⑤过程优化：控制水泥生产过程以维持稳定的工作条件；在现有的窑系统配置基础上，尽可能地采用预加热器和预煅烧炉以将能源使用降至最低；使用现代化的水泥窑冷却器用以最大限度地回收尾气热量。记下设备运行良好时的参数并使用这些作为基础数据以改进其他设备的运行情况。通过加入控制剂量的废物来评估排放物浓度变化，以控制污染物排放。

⑥污染物控制技术：进一步改造除尘设备和灰尘再循环设备（静电除尘、纤维过滤器）、活性炭的注入、活性炭过滤器、选择性催化还原、活性炭注射技术。

# 84. 消防行业 PFOS 管控技术有哪些？

### 水成膜泡沫

水成膜泡沫（AFFF），也称作液态泡沫灭火剂，是对消防和 / 或蒸汽控制产品的统称。水成膜泡沫与其他泡沫灭火剂的不同之处在于，含有很低比例的氟化表面活性剂，如 PFOS。这一关键组分为该产品提供了独特的性能，使得其在防火及灭火方面极为有效，特别是 B 级火灾液体事故。同时，也带来了 PFOS 环境排放的可能性。

### 控制技术

消防行业的终极目标是拯救生命，而《斯德哥尔摩公约》的 BAT/BEP 则是要在解救生命的前提下，通过如下方式，缓解 PFOS 的环境排放，减少环境污染风险。

①正确选择灭火泡沫：尽可能正确识别火灾原因，对于 A 类火灾（固体物质火灾），可不使用泡沫灭火。正确选择灭火泡沫，不仅可以减少环境污染，更有利于迅速控制火情。

②泡沫的库存管理：制定和维护消防系统的列表，并记录每一系统中使用的水成膜泡沫的种类、数量或者设备。并对库存 PFOS 泡沫加强标识，这非常必要。

③防止意外释放：定期检查，确保容器的完整性；测试消防系统，避免释放到下水道或者土壤中；审查喷水灭火系统，防止喷头或车辆的物理损坏；定期给喷水灭火系统进行预防性维护，包括防回流阀。

④释放过程的管理：使用密闭的控制系统或者隔离阀、尽可能快地把释放出的材料放进安全的容器中（如果可行的话）、筑造妨碍物以控制释放、堵塞沟流、安装下水道塞、把释放的材料引进控制水池中、将

释放的材料注入化粪池系统的抽水卡车或者真空卡车中、使用消泡剂来减少泡沫的体积、加入吸附剂、将受影响的土壤放进塑料容器中，并且盖紧防止其继续释放。

⑤释放记录：量化和记录发生的任何释放也非常重要，包括释放的水成膜泡沫量的估计，释放物的性质（例如浓度或者稀释度），以及受影响的材料的数量（例如土壤、水等）。消防系统中有两种方法可以量化释放：第一，基于灭火系统操作的时间来计算释放量。第二，测量事件发生之后留在系统中的水成膜泡沫浓度的量，并且将其与在释放之前的库存对比。

⑥信息公开：及时公开相关信息，如水成膜泡沫释放发生的场所、释放的性质和政府报告要求（应该考虑的事可能会包括对饮用水供应商的潜在影响、释放到环境敏感地带、释放的严重性和外界的牵连等）。

⑦残余（废弃）材料的管理：处理水成膜泡沫溶液和浓缩漂洗水的最佳可行技术，是在设计用于处理卤化废物流的设施中进行高温焚烧。含有较高水平水成膜泡沫的小容量固体材料（如土壤、吸附材料等）也可以用类似的方式处理。当水成膜泡沫是以稀溶液形式存在时，可用颗粒活性炭处理。

# 85. 电镀行业 PFOS 管控技术有哪些？

### 铬雾抑制剂

在电镀行业，全氟辛基磺酸（PFOS）作为表面活性剂或湿润剂在实现镀层厚度及化学腐蚀性能等方面均十分有效。此外，PFOS 还可作为除雾剂在不污染附近渡槽的同时减少因带出效应造成的损失。在镀铬工艺中，PFOS 可以降低气溶胶排放并改善工作环境。

### 控制技术

现行 BAT/BEP 意味着，或者在环路闭合得非常紧密的前提下使用 PFOS，这样很难会发生任何排放，或者使用非氟化的易降解表面活化剂。

①改变生产技术：尽可能地应用不涉及 PFOS 的替代性工艺过程，例如在装饰性镀铬时，用三价铬电解质替代六价铬电解质。在某些应用中，物理气相沉积法可以应用来取代电镀工艺。

②使用替代品：多氟替代物和非氟替代物。多氟替代物主要有 FC-53、FC-53B、Fumetrol®21。不过，这些替代品，特别是降解产物很可能在环境中持久存在。非氟化替代物是指由可生物降解且无毒的物质来替代 PFOS。这些物质没有毒性，而且很容易被生物降解。虽然在铬电解液或酸蚀槽中，这些物质会被降解，必须不断地加量，但是成本还是没有使用含氟表面活化剂高。在蚀刻槽中，六价铬由于化学降解会形成三价铬。通过离子膜电解，三价铬被氧化成六价铬。这一过程是最佳可行技术，而且普遍被用来维护铬溶液。

③最小化 PFOS 使用：通过测量的电解质表面张力、测量的安培小时率、特定的表面生产量、测量的泡沫稳定性等指标，尽最大的努力来减少 PFOS 的使用量。

④封闭六价铬镀硬铬的 BAT/BEP 技术：封闭六价铬镀硬铬的物料循环的最佳可行技术，是使用合适技术的组合，例如级联漂洗、离子交换和蒸发。当使用高蒸发率的热电解质时，物料循环链的封闭有时可以用简单的方法轻易实现，例如结合使用单一静态漂洗和由泵带动的流速缓慢的七级漂洗。然而大多数情况下，都需要用蒸发器来从漂洗水中重新恢复电解质。

⑤封闭装饰性镀铬的 BAT/BEP 技术：就是利用蒸发法实现带出恢复。具有高耐强氧化剂的阳离子交换树脂可以选择性地去除掉部分不需要的金属离子。处理化学品的封闭循环并不意味着就会没有废水排出。不能避免地会有 10% ～ 20% 剂量的 PFOS 损失到废水中。PFOS 的来源可以是离子交换器、空气洗涤废物、电镀厂的地板水和结转效果的再生。

⑥废水处理：活性炭吸附法、特殊的碱性离子交换树脂、电化学分解等，均可达到 99% 以上的去除率。

# 86. 电子废物处置过程 PBDE 管控措施有哪些？

## 电子废物中的 POPs

多溴二苯醚（PBDEs）在电子产品生产领域主要用于印刷电路板、电缆线片、聚氨酯泡沫以及电器塑料中的阻燃剂。电子废物回收和处理过程中，最受关注的化学物质是铅、汞、多溴二苯醚（PBDEs），列入附件 C 的化学物质（尤其是 PCDD/F，以及相关溴化二噁英和呋喃）。同时，消耗臭氧层物质（ODS）和温室气体 (GHG) 的释放也受到高度关注。



电子废物拆解车间（高鹏 / 摄）

## 管控措施

电子废物的管理应从电子产品的生命周期开始，包括产品设计、维护、回收和处置等全过程。可以在实现 POPs 物质减排的同时，减少 ODS 和 GHG 的环境排放，主要的管控措施包括以下内容。

①绿色设计：改变生活方式和设计方案，减少电子废物的产生；改

善回收系统，更加有效地分离和选拣材料；提高产品质量，正确使用电子产品，减少维修损耗，延长产品生命周期。

②生产者责任：可以通过发起相关倡议，规范性建立生产商和其他利益相关者的责任，要求生产者承担管理生命终期物品的责任。

③选用替代品：商用五溴二苯醚（C-PentaBDE）和商用八溴二苯醚（c-OctaBDE）大约在十年前被淘汰，并且在过去 20 年里已开发了多种替换品。包括：活性 TBBPA（用于环氧树脂）、TBBPA 添加剂（用于酚树脂）、磷基无卤阻燃剂等。磷基无卤阻燃剂包括：二氢氧杂磷杂菲(DOPO)/ 氢氧化铝（用于环氧树脂）、金属膦酸酯 /DOPO/ 二氧化硅（用于环氧树脂）、膦酸酯聚合物（用于环氧树脂）、抗火热固性塑料等。

④塑料部件标识：对回收电子废物中塑料部件或混合塑料进行标识或标记，在出口 / 进口或工业部门进行利用以制造新物品的过程中，以便了解其来源。确保电子废物中含 PBDEs 塑料部件和其他塑料部件在回收时不被用于敏感用途，包括对婴儿和儿童有暴露风险的玩具和其他塑料制品；食品包装，食品容器；食品和动物饲料的贮仓、仓库和管道；厨房设备；冰箱内部；冷冻箱内部；水箱和水管，特别是饮用水管道的水箱；直接接触的塑料部件，如家具、工具和门把手。虽然《斯德哥尔摩公约》不建议回收含 PBDEs 塑料部件，但它可以降级处理为非敏感用途材料，如木材或踏板。

⑤含 POPs 塑料的分离技术：高效手工拆解、大块分选技术（滑动火花光谱技术、X 射线荧光技术、X 射线衍射技术、拉曼光谱技术、分离聚合物的沉浮技术）、聚合物流分离技术。

⑥热处理技术：危险废物焚烧炉、水泥窑、铜熔炼炉、电弧炉、烧结工厂、再生铝熔炉、锑熔炉等。其相关的 POPs 控制技术请参考相应的 BAT/BEP 技术导则。

# 87. POPs 废物的无害化管理技术有哪些？

## POPs 废物的定义

目前，《斯德哥尔摩公约》与《巴塞尔公约》采用下列低 POPSs 含量的暂行定义来规范 POPs 废物的含义：(a) 多氯联苯：50 mg/kg；(b) 多氯二苯并对二噁英和多氯二苯并呋喃：15 μg/ 毒性当量 /kg；(c) 艾氏剂、氯丹、滴滴涕、狄氏剂、异狄氏剂、七氯、六氯代苯、灭蚁灵和毒杀芬：50 mg/kg。

## POPs 废物的无害化管理

无害环境管理目前仅仅是一项广泛的政策性概念，并未为其订立一个明确的普遍定义。以下讨论的无害化管理技术，均应遵守“尽可能从源头减少废物的生产原则”“越境转移规定”“逐步淘汰 POPs 的生产和使用的期限”“危险废物一般处置要求”以及“公众参与”的前提，同时应实现以下内容。

①防止和尽量减少废物的生成：尽可能通过改变生产工艺等方式减少废物的生成；对设备实行定期保养，以提高工作效率并防止出现溢漏和泄漏；以迅捷方式控制溢漏和泄漏；对由 POPs 构成、含有此类污染物或受其污染的废物的集装箱和设备进行消毒处理；对由 POPs 构成、含有此类污染物或受其污染的废物实行隔离处理，以便防止其他材料受到其污染。

②清查和编目：尽可能查明由 POPs 构成、含有此类污染物或受其污染的废物。编目中应包括本国国内生产情况、进出口情况、废物处置情况。

③取样、分析和监测：应在每一次取样、分析和监测方案的实施过程中都采用同样的方法。此外，还应采用严格的质量保证和质量控制措施。

④处理、收集、包装、设置标签、运输和储存应遵守《巴塞尔公约》、《实施工作手册》（UNEP，1995）、国际海洋危险货物运输守则（国际海事组织，2002）、国际民用航空组织的《危险货物运输技术指南》、国际空运协会的《危险货物条例及联合国关于危险货物运输示范条例的建议》。

⑤预处理技术：吸附和吸收、脱水、机械筛分、混合、油 / 水分离、pH 的调整、减小废物的径度、溶剂清洗、热解析工艺。

⑥销毁和永久性质变处理技术：碱金属还原工艺、碱性催化分解工艺 (BCD)、加氢脱氯催化工艺 (CHD)、水泥窑混合焚化、气相化学还原工艺 (GPCR)、危险废物焚化工艺、光化脱氯和催化脱氯反应综合工艺 (PCD 和 CD)、离子体电弧工艺、叔丁基氧钾工艺 (t-BuOK)、超临界水氧化工艺 (SCWO) 和低于临界的水氧化工艺、金属的热冶金生产、废物到气体的转换。

POPs 废物的无害化管理技术列表

| 名称 | 去除率 | 废物类型 | 商业化程度 |
|---|---|---|---|
| 碱金属还原工艺 | 超过 99.9999% | 所有类型的变容器和变压器 | 国外较成熟 |
| 碱性催化分解工艺（BCD） | 99.99% ～ 99.9999% | 所有类型的高含量 POPs 废物，包括土壤、沉积物、废渣和液体 | 国外较成熟 |
| 加氢脱氯催化工艺（CHD） | 99.98% ～ 99.9999% | 废旧电容器、液状氯化废物或存在于各种溶剂中的氯化废物 | 国外较成熟 |
| 水泥窑混合焚化 | 超过 99.9998% | 所有类型 POPs 废物，也能够处理液体和固体废物 | 国外较成熟 |
| 气相化学还原工艺（GPCR） | 可达 99.9999% | 所有类型的高含量 POPs 废物，包括水性液体和油性液体、土壤、沉积物、变压器和电容器 | 国外较成熟 |

续表

| 名称 | 去除率 | 废物类型 | 商业化程度 |
| --- | --- | --- | --- |
| 危险废物焚化工艺 | 超过 99.9999% | 所有类型 POPs 废物，如气体、液体、固体、废渣和稀浆 | 有很长的历史和经验 |
| 光化脱氯和催化脱氯反应综合工艺（PCD 和 CD） | 可达 99.999999% | 含有多氯联苯的变压器和电容器中的油、含有大量多氯联苯并对二噁英 / 多氯联苯并对呋喃和受这些物质污染的变压器和电容器及其他 POPs 废物。无法处理土壤和沉渣 | 技术较新 |
| 离子体电弧工艺 | 99.9999% ～ 99.999999% | 含多氯联苯的油、农药废物等必须是液体、气体或固体 | 技术较新 |
| 叔丁氧钾工艺（t-BuOK） | 99.98% ～ 99.9999% | 低污染度矿物油 | 国外较成熟 |
| 超临界水氧化工艺（SCWO）和低于临界的水氧化工艺 | 超过 99.9999% | 所有类型 POPs 废物，包括液状废物、各种油类、溶剂和直径不超过 200 μm 的固体 | 技术较新 |
| 金属的热冶金生产 | 没有相关数据 | 可能受到 PCDD/F 污染的来自气体处理或轧屑的粉尘或矿泥，或可能受到 PCDD/F 污染的含铅过滤残渣 | 没有商业化数据 |
| 废物到气体的转换 | 可达 99.974% | 含 POPs 或受 POPs 污染的固体、液体、泥状或浆状物 | 技术较新 |

# 88. POPs 污染场地修复技术有哪些？

目前，POPs 污染场地的修复技术主要分为原位修复技术和异位修复技术，其中原位修复技术是指对污染场地（包括土壤和地下水）中存在的污染物进行就地处置，使之得以降解，不需要建立昂贵的地面基础设施和远程运输，操作维护比较简单。另外，原位修复可以对深层次的土壤和地下水进行修复。异位修复则是将土壤挖出或将地下水泵出后再进行处理。相比较而言，原位修复更为经济，异位修复技术的环境风险较低，处理效果较易控制。

POPs 污染场地修复技术列表

| 分类 | 名称 | 商业成熟度 | 适宜的对象 |
|---|---|---|---|
| 原位修复 | 化学淋洗 | 国内较成熟 | 适用于从原位物料去除卤化半挥发性有机物、非卤化、半挥发性有机物、多氯联苯及爆炸品 |
| | 土壤蒸汽抽提 / 地下水曝气技术 | 国外较成熟 | 黏土含量较低、渗透性较大、地下水位较低的土壤 |
| | 玻璃化技术 | 国外较成熟 | 含水率较低、污染物深度不超过 6 m 的土壤 |
| | 固化 / 稳定化 | 国外较成熟 | 适用于半挥发性有机化合物，多环芳烃，PCBs、农药、重金属和所有形态的氰化物 |
| | 原位热处理技术 | 国外较成熟 | 几乎任何深度、任何土壤条件，适宜批量处理 |
| | 原位化学氧化 | 国外较成熟 | 适用于挥发性有机化合物，多环芳烃，农药、PCBs 和酚醛树脂 |
| | 生物通风法 | 技术较新 | 黏土含量较少，深度小于 1 m 的土壤 |
| 异位修复 | 低温热解析技术 | 国外较成熟 | 各种 POPs 废物及土壤 |
| | 高温焚烧 | 国内较成熟 | 所有的液态、固态 POPs 废物污染土壤 |
| | 化学氧化 | 国内较成熟 | 用于非卤化挥发性有机物和半挥发性有机物、燃料碳氢化合物和杀虫剂 |
| | 血粉强化厌氧生物降解技术 | 实验室阶段 | 低浓度含氯农药的土壤和沉积物 |

续表

| 分类 | 名称 | 商业成熟度 | 适宜的对象 |
| --- | --- | --- | --- |
| 异位修复 | 水泥窑共处置 | 国内较成熟 | 各种 POPs 废物及土壤 |
| | 堆肥法 | 国外较成熟 | POPs 污染土壤 |
| | 碱催化分解 | 国外较成熟 | 各种 POPs 土壤和液相污染物 |
| | 机械化学脱氯 | 国外较成熟 | 各种 POPs 土壤、沉积物和液态污染物 |
| | 玻璃化技术 | 国外较成熟 | 各种 POPs 土壤和沉积物 |
| | 声波技术 | 技术较新 | PCB 土壤 |
| | 植物修复 | 国外较成熟 | 各种 POPs 土壤和沉积物 |
| | 加热还原与钠分散技术 | 实验室阶段 | 各种 POPs 土壤 |
| | 亚临界水氧化 | 技术较新 | 各种 POPs 土壤 |
| | 自蔓延高温脱氯 | 实验室阶段 | 高浓度六氯苯土壤 |
| | TDT-3R | 实验室阶段 | 高浓度六氯苯土壤 |

# 第六章
# 中国履约篇

## 89. 我国是《斯德哥尔摩公约》的缔约方吗？

是，我国是《斯德哥尔摩公约》的缔约方。中国政府一直高度重视POPs问题，自1998年起国内相关部委便组团参加了历次政府间谈判会议（INC）。2001年5月23日，《斯德哥尔摩公约》开放签署的首日，中国政府签署了该公约。

2004年6月25日，第十届全国人民代表大会常务委员会第十次会议正式批准我国加入《斯德哥尔摩公约》，并适用于香港特别行政区和澳门特别行政区。2004年11月11日，《斯德哥尔摩公约》对我国正式生效，标志着中国将全面履行公约各项义务，淘汰、削减和控制公约所列出的各类POPs物质。

## 90. 我国有履行《斯德哥尔摩公约》的机构或机制吗？

是的，我国有履行《斯德哥尔摩公约》的机构或机制。为全面履行《斯德哥尔摩公约》义务，2005 年国务院批准成立由国家环境保护总局（现环境保护部）牵头、11 个相关部委（现为 14 个部委）组成的国家履约工作协调组，并设立协调组办公室。协调组定期召开有关会议商议履约有关事项，并制订年度工作计划，各部门协力推动履约工作。国家履行《斯德哥尔摩公约》工作协调组组成见下图。



## 91. 我国制订了哪些履行公约的战略规划？

我国政府高度重视 POPs 履约工作，2007 年 4 月国务院批准《中华人民共和国履行〈关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约〉国家实施计划》（简称《国家实施计划》），《国家实施计划》是我国履约工作的纲领性文件，其明确了我国的履约目标、战略和行动计划，确定了分阶段、分区域和分行业稳步推进履约工作。为应对新增列 POPs 的履约工作，目前环境保护部正协调各相关部门对该《国家实施计划》进行更新。2012 年 7 月环境保护部、外交部、国家发展改革委等 12 部委联合印发实施《全国主要行业持久性有机污染物污染防治“十二五”规划》，进一步明确了“十二五”期间我国 POPs 履约和污染防治的主要目标和任务。

## 92. 我国有哪些主要的POPs污染防治政策要求？

2009 年 4 月 16 日，环境保护部和国家发展改革委等 10 部委联合发布公告，宣布自 2009 年 5 月 17 日起，禁止在中国境内生产、流通、使用和进出口杀虫剂类 POPs 包括滴滴涕、氯丹、灭蚁灵及六氯苯（紧急情况下用于病媒防治的滴滴涕用途除外）。

2010 年 10 月 19 日，环境保护部、外交部、国家发展改革委等 9 部委联合发布了《关于加强二噁英污染防治的指导意见》，提出了淘汰落后产能、严格环境准入、实施清洁生产、实施减排工程等措施和任务。

2011 年 10 月 17 日，国务院发布了《关于加强环境保护重点工作的意见》，要求加强持久性有机污染物排放重点行业监督管理。

2011 年 3 月 27 日，国家发展改革委发布《产业结构调整指导目录（2011 年本）》，将滴滴涕、PCBs、六六六、PFOS 等 14 种 POPs 物质纳入落后产品，并鼓励削减和控制二噁英排放的技术、POPs 替代品、POPs 废物处置技术、含 POPs 土壤修复技术的开发与应用。

2013 年 2 月 16 日，国家发展改革委发布《国家发展改革委关于修改〈产业结构调整指导目录（2011 年本）〉有关条款的决定》，将“泡沫灭火剂氟表面活性剂替代物”纳入鼓励类。

2013 年 12 月 30 日，环境保护部、海关总署联合修订发布的《中国严格限制进出口的有毒化学品目录》（2014 年），将部分新 POPs 列入名录。

2014 年 4 月 3 日，环境保护部办公厅发布了关于发布《重点环境管理危险化学品目录》的通知（环办 [2014]33 号），其中将 PFOS 类纳入管理范围。

2013 年 6 月 18 日，最高人民法院、最高人民检察院发布《最高人民

法院、最高人民检察院关于办理环境污染刑事案件适用法律若干问题的解释》，明确“非法排放持久性有机污染物等严重危害环境、损害人体健康的污染物超过国家污染排放标准或各省、自治区、直辖市人民政府根据法律授权制定的污染物排放标准三倍以上的”，应认定为“严重污染环境”。

2014 年 3 月 25 日，环境保护部和国家发展改革委等 12 部委联合发布关于新增列 POPs 修正案生效公告，要求自 2014 年 3 月 26 日起，禁止生产、流通、使用和进出口 α- 六氯环己烷、β- 六氯环己烷、十氯酮、五氯苯、六溴联苯、四溴二苯醚和五溴二苯醚、六溴二苯醚和七溴二苯醚；自 2014 年 3 月 26 日起，禁止氯丹、PFOS/PSOFS、硫丹除特定豁免和可接受用途外的生产、流通、使用和进出口。对于特定豁免用途的，应抓紧研发替代品，确保豁免到期前全部淘汰；对于可接受用途的，应加强管理及风险防范，并努力逐步淘汰其生产和使用。各级环境保护、发展改革、工业和信息化、住房城乡建设、农业、商务、卫生计生、海关、质检、安全监管等部门，应按照国家有关法律法规的规定，加强对上述 10 种 POPs 生产、流通、使用和进出口的监督管理。一旦发现违反本公告的行为，将严肃查处。

# 93. 我国对水、空气和土壤中的 POPs 含量有何限制？

我国目前仅对部分 POPs 制定了相关的环境标准，具体见下表。

持久性有机污染物环境质量标准

| 污染物 | 环境要素 | 环境值 | 备注 |
|---|---|---|---|
| DDT | 水 | ≤ 0.001 mg/L | 《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006） |
| | | ≤ 1 μg/L | 《生活饮用水水源水质标准》（CJ 3020—1993） |
| | | ≤ 0.001 mg/L | 《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002） |
| | | ≤ 0.00005 mg/L（Ⅰ类）<br>≤ 0.0001 mg/L（Ⅱ～Ⅳ类） | 《海水水质标准》（GB 3097—1997） |
| | | Ⅰ类不得检出<br>Ⅱ类≤ 0.005 μg/L<br>Ⅲ类 Ⅳ类≤ 0.1 μg/L<br>Ⅴ类 > 1 μg/L | 《地下水环境质量标准》（GB/T 14848—93） |
| | | ≤ 0.001 mg/L | 《渔业水质标准》（GB 11607—89） |
| | 沉积物 | Ⅰ类，≤ $0.02\times10^{-6}$<br>Ⅱ类，≤ $0.05\times10^{-6}$<br>Ⅲ类，≤ $0.10\times10^{-6}$ | 《海洋沉积物质量》（GB 18668—2002） |
| | 土壤 | 一级，≤ 0.05 mg/kg<br>二级，≤ 0.5 mg/ kg<br>三级，≤ 1.0 mg/ kg | 《土壤环境质量标准》（GB 15618—1995） |
| PCBs | 水 | $2.0\times10^{-5}$ mg/L | 《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002） |
| | 沉积物 | Ⅰ类，≤ $0.02\times10^{-6}$<br>Ⅱ类，≤ $0.20\times10^{-6}$<br>Ⅲ类，≤ $0.60\times10^{-6}$ | 《海洋沉积物质量》（GB 18668—2002） |

# 94. 我国对 POPs 排放有何要求？

我国对 POPs 物质的排放要求主要针对二噁英类的，具体见下表。

| 序号 | 标准名称 | POPs 物质 | 排放要求 |
|---|---|---|---|
| 1 | 城镇污水处理厂污染物排放标准（GB 18918—2002） | 二噁英类 | 污泥农用时控制标准限值为 100 ng 毒性单位 /kg（干污泥） |
| 2 | 钢铁烧结，球团工业大气污染物排放标准（GB 28662—2012） | 二噁英类 | 现有企业排放浓度限值为 1.0 ng-TEQ/$m^3$；新建企业排放浓度限值为 0.5 ng-TEQ/$m^3$；特别排放限值为 0.5 ng-TEQ/$m^3$ |
| 3 | 炼钢工业大气污染物排放标准（GB 28664—2012） | 二噁英类 | 现有企业排放浓度限值为 1.0 ng-TEQ/$m^3$；新建企业排放浓度限值为 0.5 ng-TEQ/$m^3$；特别排放限值为 0.5 ng-TEQ/$m^3$ |
| 4 | 水泥工业大气污染物排放标准（GB 4915—2004） | 二噁英类 | 水泥窑焚烧危险废物时二噁英排放浓度限值为 0.1 ng TEQ/$m^3$ |
| 5 | 水泥窑协同处置固体废物污染控制标准（GB 30485—2013） | 二噁英类 | 水泥窑协同处置固体废物污染控制标准为 0.1 ng TEQ/$m^3$ |
| 6 | 危险废物焚烧污染控制标准（GB 18484—2001） | 二噁英类 | 最高允许排放浓度限值为 0.5 ng TEQ/$m^3$ |
| 7 | 制浆造纸工业污水排放标准（GB 3544—2008） | 二噁英类 | 二噁英排放限值为 30 pg TEQ/L |
| 8 | 生活垃圾焚烧污染控制标准（GB 18485—2014） | 二噁英类 | 排放烟气中污染物限值为 0.1 ng TEQ/$m^3$。生活污水处理设施产生的污泥、一般工业固体废物专用焚烧炉排放烟气二噁英类限值为：焚烧处理能力＞100 t/d，二噁英类排放限值为 0.1 ng TEQ/$m^3$；焚烧处理能力为 50~100 t/d，二噁英类排放限值为 0.5 ngTEQ/$m^3$；焚烧处理能力＜ 50 t/d，二噁英类排放限值为 1.0 ng TEQ/$m^3$ |

# 95. 我国针对杀虫剂类 POPs 做了哪些工作？

| 时间 | 行动 |
| --- | --- |
| 1982 年 | 农业部、林业部、化工部、卫生部、商业部和国务院环境保护领导小组联合颁布《农药登记规定》，农牧渔业部颁布《农药登记规定实施细则》，规定新农药和进口农药必须进行登记，老品种农药应补办登记手续 |
| 1982 年 7 月 | 化工部发布《关于废止滴滴涕乳粉等三个农药部颁标准的通知》 |
| 1983 年 | 国务院常务会议通过《关于停产六六六、滴滴涕农药的决定》，停止我国六六六、滴滴涕的生产 |
| 1987 年 2 月 | 国务院发布《危险化学品安全管理条例》，对化学危险品的生产、使用、储存、经营、运输、装卸的安全管理做出了规定 |
| 1990 年 | 国家质量技术监督局发布 GB 12268—1990《危险货物品名表》，对 1986 年国家标准局发布的 GB 9644—1986《危险货物分类与品名编号》进行了细化，将艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、七氯、灭蚁灵、毒杀芬、氯丹、滴滴涕等杀虫剂类 POPs 列入第 6 类第 1 项毒害品 |
| 1994 年 | 国家环保局、海关总署和对外贸易经济合作部发布《化学品首次进口及有毒化学品进出口环境管理规定》，将艾氏剂、狄氏剂、七氯、六氯苯、滴滴涕等 POPs 列入“中国禁止或严格限制类有毒化学品名单” |
| 1997 年 5 月 | 国务院发布《农药管理条例》，该法规 2001 年又进行了修订 |
| 1998 年 1 月 | 国家环境保护总局、国家经贸委、外经贸部和公安部颁布了首批《危险废物名录》。在总计 47 类危险废物中，有机氯农药被列入第 4 类 |
| 1999 年 | 国家经贸委发布《淘汰落后生产能力、工艺和产品目录》（第一批）的第 6 号令，规定氯丹、七氯为落后产品应予淘汰 |
| 2002 年 | 国务院修订发布《危险化学品安全管理条例》 |
| 2002 年 10 月 | 国家经贸委发布《危险化学品登记管理办法》和《危险化学品经营许可证管理办法》 |
| 2006—2012 年 | 实施“氯丹灭蚁灵替代示范项目”，引入白蚁防治综合虫害防治（IPM）技术，全面淘汰了白蚁防治氯丹和灭蚁灵的使用 |
| 2007—2014 年 | 实施“中国用于防污漆生产的滴滴涕替代项目”，全面淘汰了用于防污漆生产的滴滴涕。该项目是我国最后一个淘汰首批杀虫剂类 POPs 项目，结束标志着公约首批受控物质中所有消除类和限制类的淘汰项目已全部完成 |
| 2007 年 4 月 | 国务院批准《国家实施计划》，明确了中国的履约目标、战略和行动计划，确定分阶段、分区域和分行业稳步推进履约工作 |

续表

| 时间 | 行动 |
| --- | --- |
| 2008—2013 年 | 实施“中国含滴滴涕三氯杀螨醇生产控制和环境友好的综合虫害防治（IPM）技术全额示范项目”，引入螨害 IPM 控制技术，替代了含滴滴涕三氯杀螨醇的使用 |
| 2009 年 4 月 | 环境保护部和国家发展改革委等 10 部委联合发布公告，宣布自 2009 年 5 月 17 日起，禁止在中国境内生产、流通、使用和进出口杀虫剂类 POPs 包括滴滴涕、氯丹、灭蚁灵及六氯苯（紧急情况下用于病媒防治的滴滴涕用途除外），标志着中国实现了淘汰首批杀虫剂类 POPs 的阶段性履约目标 |
| 2011 年 3 月 | 国家发展改革委发布《产业结构调整指导目录（2011 年本）》，将滴滴涕、六六六等 14 种 POPs 杀虫剂纳入落后产品 |
| 2012 年 7 月 | 十二部委联合发布《全国主要行业持久性有机污染物“十二五”规划》 |
| 2013 年 8 月 | 第十二届全国人民代表大会常务委员会第四次会议决定批准《斯德哥尔摩公约》有关新增列九类持久性有机污染物的《关于附件 A、附件 B 和附件 C 修正案》和有关新增列硫丹的《关于附件 A 修正案》 |
| 2014 年 5 月 | 我国全面停止含滴滴涕的三氯杀螨醇的生产 |

# 96. 我国针对多氯联苯做了哪些工作？

| 时间 | 行动 |
| --- | --- |
| 1974 年 3 月 | 原国家第一机械工业部发文要求停止使用三氯联苯制造电力电容器 |
| 1979 年 8 月 | 原国家经济委员会、国务院环境保护领导小组发文要求停止进口以 PCBs 为介质的电器设备 |
| 1991 年 3 月 | 国家环保局和国家能源部发布《防止含多氯联苯电力装置及其废物污染环境的规定》及三个附件——《含多氯联苯电力装置登记表》《含多氯联苯 (PCBs) 废物暂存库和集中封存库设计规范》和《含多氯联苯（PCBs）水质、土壤污染控制值（暂定）》 |
| 1992 年 3 月 | 国家环保局和国家技术监督局发布《含多氯联苯废物污染控制标准》（GB 13015—91），规定了含 PCBs 废物污染控制值及含 PCBs 废物的处置和分析方法，适用范围包括 PCBs 废物的收集、贮存、运输、回收、处理和处置 |
| 1995 年 12 月 | 国家环保局和电力工业部发文，要求各有关单位配合国家对 PCBs 电力装置的使用、贮存和废弃情况进行全国性调查 |
| 1998 年 1 月 | 国家环保总局、国家经贸委、外经贸部和公安部颁布了首批《危险废物名录》。在总计 47 类危险废物中，含 PCBs 的废物被列为第 10 类 |
| 1999 年 | 国家经贸委发布《淘汰落后生产能力、工艺和产品目录》（第一批）的第 6 号令，规定 PCBs 为落后产品应予淘汰 |
| 2006-2013 年 | 实施“中国多氯联苯管理与处置示范项目”，建成高浓度 PCBs 高温焚烧处置设施和低浓度 PCBs 热脱附处理设施，完成浙江省 16 个废弃 PCBs 电容器封存点和其他 12 个省份地上暂存废弃 PCBs 电力设施的清理和处置，消除了其环境隐患 |
| 2007 年 4 月 | 国务院批准《国家实施计划》，明确了中国的履约目标、战略和行动计划，确定分阶段、分区域和分行业稳步推进履约工作 |
| 2011 年 3 月 | 国家发展改革委发布《产业结构调整指导目录（2011 年本）》，将 PCBs 纳入落后产品 |
| 2012 年 7 月 | 十二部委联合发布《全国主要行业持久性有机污染物“十二五”规划》 |
| 2014 年 12 月 | 完成山东省含 PCBs 电力设备处置工作，消除环境风险 |

# 97. 我国针对二噁英做了哪些工作？

| 时间 | 行动 |
| --- | --- |
| 1998 年 1 月 | 国家环境保护总局、国家经贸委、外经贸部和公安部颁布了首批《危险废物名录》。在总计 47 类危险废物中，含多氯代二苯并呋喃、多氯代二苯并－对－二噁英的废物被列为第 43 类和第 44 类 |
| 1999 年 | 比利时、荷兰、法国、德国四国相继发生因饲料被二噁英污染，导致畜禽类产品及乳制品含高浓度二噁英的食品事件。我国迅速对此做出反应，并开始关注二噁英问题 |
| 1999 年 | 卫生部发出紧急通知，暂停进口比利时、荷兰、法国、德国四国自 1999 年 1 月 15 日后生产的乳制品、畜禽类制品（包括原料、半成品）。已从上述四国进口的上述产品一律封存，暂停销售 |
| 1999 年 6 月 | 外经贸部、卫生部、海关总署、国家环保总局、国家出入境检验检疫局、国家国内贸易局、国家工商行政管理局发出关于暂停进口和禁止经销比利时等国受二噁英污染食品的紧急通告。之后，又相继联合发布公告，对可能受污染的来自比利时、荷兰、法国和德国相关产品的进口和销售采取了一系列临时措施 |
| 1999 年 6 月 | 国家环境保护总局科技攻关项目“城市生活垃圾焚烧设施二噁英排放规律及其控制对策研究”启动，开始在国家环境分析测试中心建设排放源二噁英监测实验室，研究建立二噁英采样分析方法和我国焚烧源排放二噁英的形成特征及污染控制对策 |
| 2000 年 2 月 | 国家环境保护总局发布《危险废物焚烧污染控制标准》（GWKB 2—1999）和《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GVKB 3—2000）。这些行业标准是为贯彻《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，减少废物焚烧造成的二次污染而制定的，首次规定了二噁英污染控制指标 |
| 2000 年 3 月 | 中国环境科学学会二噁英专家委员会在北京成立，旨在为国内的二噁英研究提供技术交流和研讨平台，对政府和管理部门的决策和立法提供技术支持 |
| 2000 年 7 月 | 对外贸易经济合作部、卫生部、海关总署、国家环境保护总局、国家出入境检验检疫局、国家国内贸易局、国家工商行政管理局发布公告，取消因二噁英污染事件对比利时、荷兰、法国和德国相关产品采取的临时措施，恢复正常进口和销售 |

续表

| 时间 | 行动 |
| --- | --- |
| 2001 年 3 月 | 《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484—2001）和《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485—2001）颁布，分别代替 GWKB 2—1999 和 GWKB 3—2000 |
| 2001 年 10 月 | 国家环境保护总局发布《多氯代二苯并二噁英和多氯代二苯并呋喃的测定—同位素稀释高分辨毛细管气相色谱 / 高分辨质谱法》（HJ/T 77—2001）行业标准，自 2002 年 1 月 1 日起实施 |
| 2001 年 11 月 | 国家环境保护总局、国家质量监督检验检疫总局发布《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484—2001），规定了危险废物焚烧炉二噁英类最高允许排放浓度限值 |
| 2001 年 12 月 | 为贯彻《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，保护生态环境，保障人体健康，指导危险废物污染防治工作，国家环境保护总局发布《危险废物污染防治技术政策》 |
| 2002 年 12 月 | 国家环境保护总局、国家质量监督检验检疫总局发布《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002），规定了污泥农用时二噁英类控制标准限值 |
| 2003 年 | 国家环境保护总局发布《销毁日本遗弃在华化学武器废气中二噁英类的测定—同位素稀释高分辨毛细管气相色谱 / 高分辨质谱法》（HJ/T 124—2003）行业标准，自 2003 年 5 月 1 日起实施 |
| 2003 年 5 月 | 国家环境保护总局根据国务院部署，启动《全国医疗废物处置设施建设规划》和《全国危险废物处置设施建设规划》编制工作 |
| 2003 年 12 月 | 国务院批复《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》，根据规划，将在全国分区配套建设 7 个二噁英监测中心 |
| 2003 年 12 月 | 国家环境保护总局发布《医疗废物集中处置技术规范（试行）》，专门规定了控制二噁英排放的技术措施和控制要求 |
| 2004 年 1 月 | 国家环境保护总局、国家发展和改革委员会联合印发《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》（环发 [2004]16 号）。国家环境保护总局发布《危险废物集中焚烧处置工程建设技术要求（试行）》和《医疗废物集中焚烧处置工程建设技术要求（试行）》（环发 [2004]15 号） |
| 2004 年 3 月 | 原国家环境保护总局 POPs 履约办公室正式成立 |
| 2004 年 5 月 | 国家环境保护总局下发《关于严禁建设简易危险废物和医疗废物焚烧处置设施的紧急通知》，严禁建设各类简易危险废物和医疗废物焚烧处置设施，严禁以应急的方式和技术的设施，进一步加强处置设施建设过程中的资质管理，严格建设程序 |

续表

| 时间 | 行动 |
| --- | --- |
| 2004 年 12 月 | 国家环境保护总局、国家质量监督检验检疫总局发布《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915—2004），规定了水泥窑焚烧危险废物时二噁英排放浓度限值 |
| 2007 年 4 月 | 国务院批准《国家实施计划》，明确了中国的履约目标、战略和行动计划，分阶段、分区域和分行业稳步推进履约工作 |
| 2008 年 | 启动实施“中国医疗废物可持续环境管理项目”，支持医疗机构开展医疗废物分类及减量示范、6 种 BAT/BEP 处置技术示范，并实施了 BAT/BEP 推广应用激励计划，以最大限度减少行业二噁英排放 |
| 2008 年 6 月 | 环境保护部、国家质量监督检验检疫总局发布《制浆造纸工业污水排放标准》（GB 3544—2008），规定了水污染物二噁英排放限值 |
| 2010 年 | 启动实施“制浆造纸行业二噁英减排项目”，对 4 种典型非木浆制浆工艺二噁英产生情况进行了全过程的检测和评估，开展了二噁英减排 BAT/BEP 示范和推广应用 |
| 2010 年 10 月 | 环境保护部、外交部、国家发展改革委等 9 部门联合发布了《关于加强二噁英污染防治的指导意见》，为二噁英污染防治工作指明了方向 |
| 2011 年 | 启动实施 “生活垃圾综合环境管理项目”，推动将 BAT/BEP 纳入我国生活垃圾全过程管理和处置实践中，以提高城市生活垃圾的高标准管理和无害化处置能力，避免和控制焚烧设施二噁英类及其他污染物的产生和排放 |
| 2012 年 6 月 | 环境保护部、国家质量监督检验检疫总局发布《钢铁烧结，球团工业大气污染物排放标准》（GB 28662—2012）和《炼钢工业大气污染物排放标准》（GB 28664—2012），规定了大气污染物二噁英类排放浓度限值 |
| 2012 年 7 月 | 十二部委联合发布《全国主要行业持久性有机污染物“十二五”规划》 |
| 2013 年 1 月 | 环境保护部和中国保险监督管理委员会发布《关于开展环境污染强制责任保险试点工作的指导意见》，鼓励存在较大环境风险的二噁英排放企业投保环境污染责任保险 |
| 2014 年 5 月 | 环境保护部、国家质量监督检验检疫总局发布《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485—2014），规定了排放烟气中二噁英类排放限值 |
| 2014 年 | 启动实施“再生铜冶炼行业 UPOPs 减排全额示范项目”，将选择典型企业开展 BAT 示范，推动整个行业的技术升级和产业的规模化、集群化、标准化，实现二噁英及其他有毒污染物的减排 |

# 98. 我国已经在 POPs 领域开展了哪些履约国际合作项目？

截至 2014 年，按照分行业、分区域、分阶段的原则，组织实施了 50 多个 POPs 履约国际合作项目，共争取全球环境基金和双边赠款近 2 亿美元，带动国内外配套资金超过 6 亿美元。通过项目实施，引进资金和技术，提升管理水平，促进了相关行业履约目标的实现。

| 领域 | 序号 | 项目名称 | 合作机构 | 执行期 |
|---|---|---|---|---|
| 综合 | 1 | 四川省汶川特大地震化学品污染风险评估 | WB | 2008.7—2009.7，已完成 |
| | 2 | 中国编制和执行国家实施计划能力建设 | UNITAR | 2006.3—2008.5，已完成 |
| | 3 | 中国履行《斯德哥尔摩公约》能力建设及国家实施计划编制 | UNIDO | 2004.4—2007.4，已完成 |
| | 4 | 持久性有机污染物及其他有毒物质污染管理 | USEPA | 2004—2009，已完成 |
| | 5 | 持久性有机污染物暴露影响评估和管理能力加强 | WB | 2004—2006，已完成 |
| | 6 | 中国国家实施计划编制前期能力加强 | WB | 2002—2003，已完成 |
| | 7 | 中挪合作中国履行《斯德哥尔摩公约》地方能力建设 | NIVA | 2007—2010，已完成 |
| | 8 | 中挪合作 POPs 地方履约能力建设项目二期 | NIVA | 2012—2014，实施中 |
| | 9 | 中国履行《斯德哥尔摩公约》长期能力建设 | UNIDO | 2007—2014，已完成 |
| | 10 | 中国履行《斯德哥尔摩公约》国家实施计划更新项目 | UNIDO | 2014—2017，实施中 |

续表

| 领域 | 序号 | 项目名称 | 合作机构 | 执行期 |
|---|---|---|---|---|
| 综合 | 11 | 全球环境基金基于区域生态效益的 POPs 和化学品管理项目 | UNIDO | 2014—2016，实施中 |
| 废物和污染场地 | 12 | 中国 POPs 污染场地管理与处置技术评价 | GTZ | 2006.6—12，已完成 |
| | 13 | 中国 POPs 污染场地政策框架和修复技术研究项目 | WB | 2009—2010，已完成 |
| | 14 | 中国杀虫剂类 POPs 和其他 POPs 废物环境无害化管理和处置项目准备项目 | UNIDO | 2008—2009，已完成 |
| | 15 | 中国杀虫剂类 POPs 和其他 POPs 废物环境无害化管理和处置项目 | UNIDO | 2009—2014，实施中 |
| | 16 | 中国污染场地管理项目（PPG） | WB | 2013—2014（PPG），已完成 |
| | 17 | 中挪合作危险废物与工业废物水泥窑协同处置项目一期 | NORWAY | 已完成 |
| 杀虫剂类 | 18 | 中国削减和淘汰杀虫剂类 POPs 的战略 | UNDP | 2001—2006，已完成 |
| | 19 | 中国含滴滴涕三氯杀螨醇生产控制和综合虫害管理技术示范全额项目 | UNDP | 2008—2012，已完成 |
| | 20 | 中国用于防污漆生产的滴滴涕替代全额项目 | UNDP | 2007—2013，已完成 |
| | 21 | 中国白蚁防治氯丹 / 灭蚁灵替代示范项目 | WB | 2005—2012，已完成 |
| PCBs | 22 | 中国多氯联苯清单方法学和削减处置初步战略编制 | WB | 2004—2006，已完成 |
| | 23 | 中国多氯联苯管理与处置示范 | WB | 2006—2013，已完成 |
| | 24 | 中国在线变压器脱氯示范 | WB | 2006—2010，已完成 |
| 二噁英 | 25 | 中国二噁英监测能力加强示范 | NEDO | 2004.3-2006.3，已完成 |
| | 26 | 中国二噁英削减战略：BAT/BEP 和增量成本估算 | UNIDO | 2005-2007，已完成 |

续表

| 领域 | 序号 | 项目名称 | 合作机构 | 执行期 |
|---|---|---|---|---|
| 二噁英 | 27 | 中国医疗废物环境可持续管理 | UNIDO | 2008.3—2013.3，实施中 |
| | 28 | 中国造纸行业二噁英减排和控制 | SEPA | 2008.4—2010.7，已完成 |
| | 29 | 四川地震灾区医疗废物环境无害化管理快速响应项目 | UNIDO | 2009.7—2010.6，已完成 |
| | 30 | 无意产生的持久性有机污染物在非木浆造纸行业排放研究 | WB | 2009.3—12，已完成 |
| | 31 | 中国制浆造纸行业二噁英减排项目 | WB | 2012—2018，实施中 |
| | 32 | 中国生活垃圾环境综合管理项目 | WB | 2011—2016，实施中 |
| | 33 | 再生铜冶炼行业 UPOPs 减排全额示范项目 (PPG) | UNDP | 2014—2016，实施中 |
| 新 POPs | 34 | 通过环境无害化管理减少电器电子产品的生命周期内持久性有机污染物和持久性有毒化学品的排放准备金项目 | UNDP | 2014—2018，实施中 |

# 99. 我国 PFOS 的总体情况如何？

从目前掌握的情况来看，我国 PFOS 的生产和应用具有以下特点：

（1）历史较短：国外自 20 世纪 50 年代开始商业化生产直至 2002 年逐渐停产，经历了半个世纪的时间。而我国在 20 世纪 80 年代才开始 PFOS/PFOSF 的生产，生产历史仅为国外的一半。

（2）规模较小：根据统计，全球累计生产的 PFOS 数量相当庞大，约 12 万 t（以 PFOSF 计），其中历史上一直雄踞最大生产商的美国 3M 公司多年来一直保持超过 3 000 t 的年产量。3M 公司等国外厂商停止 PFOS 生产后，我国的生产规模才有了较大的增长。即使是历史最高年产量也仅为 250 t（2008 年），仅为 3M 公司历史正常年产量的 8% 的水平。至 2013 年我国累计生产的 PFOS 约为 0.17 万 t，仅占全球总产量的约 1.4%。

（3）使用现状：国际上 PFOS 的历史用途极为广泛。2014 年 3 月 26 日，环境保护部部等十二部委发布了公约修正案生效公告［2014 年第 21 号］，宣布自 2014 年 3 月 26 日起，公约增列 PFOS/PFOSF 等九类 POPs 及增列硫丹修正案对我国生效。

根据公告，自 2014 年 3 月 26 日起，禁止 PFOS/PFOSF 除特定豁免和可接受用途外的生产、流通、使用和进出口。对于特定豁免用途的，应抓紧研发替代品，确保豁免到期前全部淘汰；对于可接受用途的，应加强管理及风险防范，并努力逐步淘汰其生产和使用。按照国际惯例，特定豁免用途将于 2019 年 3 月 25 日到期。

公告所列出的 6 种特定豁免用途包括：半导体和液晶显示器（LCD）行业所用的光掩膜、金属电镀（硬金属电镀）、金属电镀（装饰电镀）、

某些彩色打印机和彩色复印机的电子和电器元件、用于控制红火蚁和白蚁的杀虫剂、化学采油的生产和使用。

公告所列出的 7 种可接受用途包括：照片成像、半导体器件的光阻剂和防反射涂层、化合物半导体和陶瓷滤芯的刻蚀剂、航空液压油、只用于闭环系统的金属电镀（硬金属电镀）、某些医疗设备（比如乙烯四氟乙烯共聚物（ETEE）层和无线电屏蔽 ETEE 的生产，体外诊断医疗设备和 CCD 滤色仪）、灭火泡沫的生产和使用。

## 100. 我国 POPs 履约工作取得了哪些成效？

我国政府高度重视《斯德哥尔摩公约》履约工作，经过多年努力，履约工作取得实际成效。一是全面淘汰了滴滴涕、氯丹、灭蚁灵等 17 种 POPs 生产、使用和进出口，实现阶段性履约目标；二是大力削减二噁英排放强度，废弃物焚烧、铁矿石烧结、再生有色金属生产等重点行业二噁英排放强度降低超过 10%，增长趋势基本得到遏制；三是清理处置了官厅水库水源保护地、十堰“南水北调”水源保护地等环境敏感区域内已查明的 20 000 余 t 含杀虫剂 POPs 废物、30 000 台含 PCBs 设备以及 13 000 余 t PCBs 废物和污染土壤，消除了环境隐患和健康风险；四是批准了 10 种新增受控物质修正案，组织更新《国家实施计划》，进一步加强了对 POPs 的管控、淘汰和治理。

# 附录一：我国履行《斯德哥尔摩公约》大事记

| 时间 | 行动 |
| --- | --- |
| 2000 年 12 月 | 原国家环境保护总局环境保护对外经济合作中心成立 POPs 工作组 |
| 2001 年 5 月 | 中国政府在瑞典斯德哥尔摩签署《斯德哥尔摩公约》 |
| 2003 年 4 月 | 原国家环境保护总局《斯德哥尔摩公约》履约领导小组第一次会议于 15 日召开，宣布成立原国家环保总局 POPs 履约筹备办公室 |
| 2003 年 5 月 | GEF 第 21 次理事会正式批准了中国履行斯德哥尔摩公约国家能力建设和国家实施方案编制项目，这是 GEF 批准的第一个 POPs 国家实施方案编制全额项目 |
| 2003 年 9 月 | 中国 POPs 履约国家实施方案编制领导小组第一次会议于 23 日召开 |
| 2003 年 12 月 | 国务院批复原国家环境保护总局提出的《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》，根据规划将在全国分区配套建设七个二噁英监测中心 |
| 2004 年 3 月 | 原国家环境保护总局 POPs 履约办公室正式成立 |
| 2004 年 6 月 | 第十届全国人民代表大会常务委员会第十次会议于 25 日审议通过，正式批准我国加入《斯德哥尔摩公约》 |
| 2004 年 9 月 | 中国实施《斯德哥尔摩公约》能力建设及国家实施方案编制项目正式启动 |
| 2004 年 11 月 | 《斯德哥尔摩公约》对我国正式生效，标志着中国将全面履行公约各项义务，淘汰和削减公约所列出的各类 POPs |
| 2005 年 5 月 | 国务院批准成立国家履行《斯德哥尔摩公约》工作协调组，负责审议和执行国家 POPs 管理和控制的方针和政策，协调国家 POPs 管理和履约方面的重大事项 |
| 2007 年 4 月 | 国务院批准《国家实施计划》，明确了中国的履约目标、战略和行动计划，分阶段、分区域和分行业稳步推进履约工作 |
| 2009 年 4 月 | 环境保护部和国家发展改革委等 10 部委联合发布公告，宣布自 2009 年 5 月 17 日起，禁止在中国境内生产、流通、使用和进出口杀虫剂类 POPs 包括滴滴涕、氯丹、灭蚁灵及六氯苯（紧急情况下用于病媒防治的滴滴涕用途除外），标志着中国实现了淘汰首批杀虫剂类 POPs 的阶段性履约目标 |
| 2010 年 10 月 | 环境保护部、外交部、国家发展改革委等 9 部门联合发布了《关于加强二噁英污染防治的指导意见》，为中国二噁英污染防治工作指明了方向 |
| 2011 年 10 月 | 国务院发布了《关于加强环境保护重点工作的意见》，要求加强持久性有机污染物排放重点行业监督管理。建立化学品环境污染责任终身追究制和全过程行政问责制 |

续表

| 时间 | 行动 |
| --- | --- |
| 2012 年 7 月 | 十二部委联合发布《全国主要行业持久性有机污染物污染防治“十二五”规划》 |
| 2013 年 8 月 | 第十二届全国人民代表大会常务委员会第四次会议决定批准《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》有关新增列九类持久性有机污染物的《关于附件 A、附件 B 和附件 C 修正案》和有关新增列硫丹的《关于附件 A 修正案》 |
| 2014 年 3 月 | 有关新增列九类 POPs 和有关新增列硫丹的修正案对我国生效。新增列 POPs 的修正案对我国生效，启动《国家实施计划》更新工作 |
| 2014 年 5 月 | 我国全面停止含滴滴涕的三氯杀螨醇生产 |
| 2016 年 7 月 | 第十二届全国人大常委会第二十一次会议批准了《〈关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约〉新增列六溴环十二烷修正案》 |

# 附录二：POPs 有关知识常用查询网站

**《斯德哥尔摩公约》官方网站：http://www.pops.int**

由 UNEP《斯德哥尔摩公约》秘书处建立维护，发布关于公约谈判、履约义务、国际进展等各种相关资讯。

**中国 POPs 履约行动网站：www.china-pops.org**

由国家履行《斯德哥尔摩公约》履约工作协调组办公室建立，动态发布中国履行《斯德哥尔摩公约》进展情况、履约热点问题，以及 POPs 领域各国际合作项目的最新进展。

**中国 POPs 科技网：www.china-pops.net**

由清华大学持久性有机污染物研究中心创建的 POPs 学术网站，旨在“建立 POPs 网络平台，加强 POPs 学术研究，普及 POPs 基本知识，服务于 POPs 政府管理”。

**POPs 减排网：http://www.pops-ttpc.org**

履行《斯德哥尔摩公约》技术转移促进中心建立的 POPs 网站，同步更新 POPs 领域最先进的技术的进展情况、国际动态信息，并供下载相关管理文件和视频等，为政府部门、科研机构、大学、企业用户以及行业协会的搭建了一个开放交流平台。

**国际 POPs 消除网：http://www.ipen.org**

国际 POPs 消除网（International POPs Elimination Network，IPEN）是一个全球非政府组织，是与 UNEP 的第一次政府间磋商会议（INC1）同时建立的虚拟联合体，旨在促进全球范围的 POPs 消除行动。

**化学品协会国际理事会（ICCA）：http://www.icca-chem.org**

ICCA 是世界化学工业的一个重要的商业组织，能够敦促和协调各成

员针对环境问题采取先进的生产工艺或污染控制及削减措施。ICCA 的 POPs 专家小组曾对 POPs 的定义、判定基准和筛选程序进行了大量研究工作，并于 1997 年 9 月就扩大 UNEP 现行 12 种物质候选名单及其筛选程序向 UNEP 提交了立场文件，提出了判定一种物质是否需要采取国际行动的过程。

**全球环境基金（GEF）：http://www.gefweb.org**

GEF 是全球 175 个国家的国际金融组织，是《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》的临时资金机制。

**联合国欧洲经济委员会：http://www.unece.org**

联合国欧洲经济委员会（UNECE）的官方站点，可以找到《长距离迁移越境空气污染物公约（LRTAP）》及在此框架下的 POPs 议定书的链接。

**美国毒性物质与疾病登记署：http://www.atsdr.cdc.gov**

美国毒性物质与疾病登记署（Agency for Toxic Substances and Disease Registry，ATSDR）的网站，ATSDR 是美国疾病控制中心（CDC）下的毒性物质与疾病的登记机构，该网站定期发布接触毒物，尤其是 POPs 与疾病关系方面的警报。

**美国综合风险信息系统：http://www.epa.gov/iris**

美国国家环保局的综合风险信息系统（IRIS），提供有关人类暴露于环境介质中的污染物时对健康影响的数据库，其中有包括 POPs 在内的各类化学物质的人类致癌性数据、动物致癌性数据、致癌性风险评价等。

**IHPA 的 POPs 废物处置技术数据库：www.ihpa.info**

国际六六六和农药协会（IHPA）在其网站上对适合 POPs 废物处置的相关技术建立了专题数据库，对技术原理、性能、成本、实际应用情况等进行了详细的综述。

# 参考文献

1. 林海鹏等，二噁英毒性及其对人体健康影响的研究进展 [J]，环境科学与技术，2009 年（09）.
2. 时国庆等，环境内分泌干扰物质的健康影响与作用机制 [J]，环境化学，2011 年（01）.
3. 杨普云等，替代三氯杀螨醇螨害 IPM 技术与实践，北京：中国环境科学出版社，2012 年 .
4. Guidelines on Best Available Techniques and Provisional Guidance on Best Environmental Practices Relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants， Secretariat of the Stockholm Conventions， 2006.
5. Guidance on Best Available Techniques and Best Environmental Practices for the use of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and related chemicals listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants， Secretariat of the Basel， Rotterdam， and Stockholm Conventions， 2012.
6. Guidance on best available techniques and best environmental practices for the recycling and waste disposal of articles containing polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on POPs， Secretariat of the Basel， Rotterdam， and Stockholm Conventions， 2012.
7. Updated general technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of， containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs)， Secretariat of the Stockholm Conventions ， 2007.

8. Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes containing or contaminated with unintentionally produced PCDDs, PCDFs, HCB or PCBs, Secretariat of the Stockholm Conventions, 2007.
9. Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with the pesticides aldrin, chlordane, dieldrin, endrin, heptachlor, HCB, Mirex or toxaphene or with HCB as an industrial chemical, Secretariat of the Stockholm Conventions, 2007.
10. Technical guidelines for the identification and environmentally sound management of plastic wastes and for their disposal, Secretariat of the Stockholm Conventions, 2002.
11. 上海市环境科学研究院等，《污染场地土壤修复技术导则》（征求意见稿）编制说明，2009 年。