

# 塑料与健康

塑料星球的隐藏成本



## 鸣谢

本报告作者包括瑞士日内瓦国际环境法中心 (CIEL) 的 David Azoulay, Earthworks 的 Priscilla Villa, 德克萨斯州环境司法宣传服务 (TEJAS) 的 Yvette Arellano, 上游组织 (UPSTREAM) 的 Miriam Gordon, 全球焚化炉替代方案联盟 (GAIA) 的 Doun Moon, 以及埃克塞特大学的 Kathryn Miller 和 Kristen Thompson。本报告的编辑是瑞士日内瓦国际环境法中心的 Amanda Kistler。

为本报告做出贡献的还有其他人, 他们是瑞士日内瓦国际环境法中心的 Carroll Muffett 和 Erika Lennon, 健康婴幼儿与光明未来组织 (Healthy Babies Bright Futures, HBBF) 的 Charlotte Brody, Arnika 组织的 Karolina Brabcova, 澳大利亚全国有毒物质网络 (National Toxics Network Australia) 的 Mariann Lloyd-Smith, 以及国际消除持久性有机污染物网络 (IPEN) 的 Bjorn Beeler。

同时也多谢密歇根大学法学院 / 瑞士日内瓦国际环境法中心的 Grace Smith, 食品包装论坛 (Food Packaging Forum) 的 Birgit Geueke 和 Ksenia Groh, 全球焚化炉替代方案联盟的 Monica Wilson、Claire Arkin、Cecilia Allen、Lea Guerrero、Hafsa Khalid 和 Sirine Rached, 绿色和平组织的 David Santillo, Shiv Srivastava, 以及忧思科学家联盟 - 科学和民主中心 (Center for Science and Democracy—Union of Concerned Scientists)。

本报告的完成得益于十一点基金会 (11th Hour Foundation)、缅因州社区信托基金广惠基金 (Broad Reach Fund of the Maine Community Trust)、盖利福瑞基金会 (Gallifrey Foundation)、海因里希·伯尔基金会 (Heinrich Böll Stiftung)、莱昂纳多·迪卡普里奥基金会 (Leonardo DiCaprio Foundation)、玛瑞斯拉基金会 (Marisla Foundation)、途径基金会 (Passport Foundation)、塑料解决方案基金 (Plastic Solutions Fund)、临界基金会 (Threshold Foundation) 和华莱士全球基金会 (Wallace Global Foundation) 的大力支持。

本报告中文版是“深圳市零废弃环保公益事业发展中心”实施的“化学品管理民间网络与能力建设”项目的一部分, 该项目是由联合国开发计划署负责管理的全球环境基金小额赠款计划支持的。



《塑料与健康》报告英文版, 请访问:

[www.ciel.org/plasticandhealth](http://www.ciel.org/plasticandhealth)

《塑料与健康》报告中文版, 请访问:

<http://www.toxicsfree.org.cn/html/5871931632.html>

# 塑料与健康

塑料星球的隐藏成本



**瑞士日内瓦国际环境法中心**利用法律的力量来保护环境，促进人权，确保公正和可持续的社会。该组织致力于建设这样的世界——它的法律反映了人类与环境之间的相互联系，尊重地球的承受极限，保护每个人的尊严和平等，并鼓励地球上的所有居民生活在彼此平衡的状态中。



EARTHWORKS

非营利组织 **Earthworks** 致力于保护社区和环境，使其免受矿物和能源开发活动的不利影响，并推广可持续解决方案。



**全球焚化炉替代方案联盟**是一个由 90 多个国家的 800 多个草根团体、非政府组织和个人组成的全球联盟，他们的终极愿景是公正、零焚化的无毒世界。



**健康婴幼儿与光明未来组织**是一个由非营利组织、科学家和捐赠者组成的联盟，它致力于设计实施一些注重实效的计划，以便在婴幼儿发育的最初 1,000 天内显著减少其所受的有毒化学物质暴露。该组织汇集了最强大最新的相关科学成果、数据分析方法、批判性思维、绩效评估方法、活动人才、沟通技巧和协作承诺。



**国际消除持久性有机污染物网络**汇集了 100 多个国家的环境和公共卫生问题应对领域的主要公益团体，在国际社会采取行动，尽量减少乃至消除危险的有毒化学物质。



**德克萨斯州环境司法宣传服务**致力于为个人提供相关教育，使他们了解环境污染引起的健康问题和影响以及适用的环境法规，促进这类法规的实施，并提供社区建设技能和资源以便实现卓有成效的社区行动和公众的更多参与，从而为社区成员提供必要的工具和手段来创建可持续的环境健康社区。



**上游组织**致力于将目前的抛弃型社会转变为以妥善管理文化为基础的社会。在该组织设想的世界里，塑料和其他材料不会在使用几分钟后就被丢弃。上游组织为企业、社区和民众赋能，共同创造更美好的未来。



**#break free from plastic** 是一项全球运动，旨在建设一个没有塑料污染的未来世界。全球各地的大约 1,400 个组织参与其中，共同呼吁全社会大幅减少一次性塑料制品的使用量，并大力推广塑料污染危机的长期解决方案。



**摆脱塑缚行动**一家以消除生活与环境中的塑料污染为目标，开展面向企业、公众与政策的倡导为主的民间机构。我们坚持环境正义和社会公平，致力于推动企业、公众与政府共同采取环境友好的塑料生产、使用、回收和处置方式，使我们的生活和环境免受塑料污染的危害。



**无毒先锋**一家聚焦有毒化学品污染的中国环保公益组织。使命是合力抗击“隐形污染”，消除有毒化学品对中国人群的健康影响。核心业务是：开展倡导行动，为公众日常消费品去毒；通过智库建设、大众传播和搭建合作网络，推动化学品管理议题主流化。

# 目录

vii 缩略词

## 1 摘要

## 5 第一章：引言

6 图1：全球塑料生产情况

8 图2：塑料与健康：塑料星球的隐藏成本

## 11 第二章：提取和运输

12 图3：非传统油气生产

12 空气污染

12 臭氧

13 周边社区所受的影响

13 心理健康与人权

13 儿童、婴幼儿和孕妇面临的风险

14 水

14 管道

15 图4：美国州际和州内天然气管道

## 17 第三章：精炼和制造

17 附文1：就地避难事件

17 塑料生产所用化学物质对人体健康的影响

17 有害空气污染物

20 附文2：案例研究：某拟建塑料生产厂的排放情况

21 表1：壳牌工厂的排放潜力

20 化工集群和事故风险

21 表1：壳牌工厂的排放潜力

22 社区参与和信息获取

22 外部因素：极端天气事件

23 塑料产业工人面临的威胁

24 附文3：案例研究：德克萨斯州曼彻斯特/哈里斯堡

## 27 第四章：消费者使用

27 图5：常见塑料树脂及其使用情况

### 27 塑料颗粒、增塑剂和其他化学添加剂

28 图6：主要塑料树脂类型及其在包装领域的应用

### 28 用于塑料和其他消费品的增塑剂

29 附文4：塑料添加剂

30 表2：塑料添加剂危险程度排名

### 31 和塑料颗粒累积污染物相关的潜在威胁

31 附文5：全球最恶劣化学物质：持久性有机污染物

### 31 食品包装的化学物质

34 附文6：塑料详解

34 表3：合并国家数据集

### 35 人体负荷

36 表4：塑料的常见有毒化学添加剂

### 37 微塑料颗粒的人体暴露途径

#### 37 饮水是微塑料的人体暴露源

38 表5：消费品的微塑料平均密度

#### 39 微塑料颗粒的细胞和组织毒性

40 附文7：儿童玩具里的有毒塑料软化剂

#### 40 摄入和内脏间转移

## 43 第五章：塑料废弃物管理

43 附文8：全球垃圾露天焚烧情况

### 44 变废为能

44 垃圾焚烧业瞄准亚洲市场求发展

### 44 垃圾焚烧的环境健康影响

#### 44 燃烧塑料产生的有毒排放物

45 图7：焚烧暴露途径

#### 45 焚烧后进入土壤和水的有毒副产物

46 附文9：全球灰渣管理案例

### 47 变塑料为燃料

47 较低可行性及最近的失败趋势

#### 47 环境健康影响

48 附文10：有毒循环

### 48 其他路径和未知情况

48 化学循环

48 用废弃物制造的道路和建筑材料

49 附文11：面临特定风险的拾荒者

- 51 第六章：环境中的塑料**
  - 52 附文12：生物塑料真相
  - 52 塑料的食入**
    - 52 鱼类和贝类
    - 53 海藻
    - 53 盐
    - 54 其他食品和饮料
    - 54 食物链中的微塑料
    - 54 人类健康影响
      - 55 图8：有毒食物链
    - 56 微塑料和有毒化学物质
      - 56 附文13：隐形污染物：没有地方是安全的
    - 56 微塑料和致病潜力
    - 56 微塑料的食入
  - 57 微塑料的吸入**
    - 58 吸入塑料颗粒的毒性
  - 58 农业土壤中的塑料**
    - 59 附文14：塑料是持久性有机污染物吗？
- 61 第七章：结论和建议**
  - 61 已知的已知
  - 62 已知的未知
  - 63 建议
- 65 参考文献**

# 缩略词

BBP	邻苯二甲酸苄基丁酯	PCDDs	多氯二苯并对二噁英
BP	英国石油公司	PCDFs	多氯二苯并呋喃
BPA	双酚A	PCTP	五氯硫酚
BTEX	苯、甲苯、乙苯和二甲苯	PE	聚乙烯
CDC	疾病预防控制中心	PentaBDE	五溴二苯醚
CO	一氧化碳	PET	聚对苯二甲酸
CO <sub>2</sub>	二氧化碳	PFAAs	全氟烷基酸
CO <sub>2</sub> e	二氧化碳当量	PFAS	全氟/多氟烷基化合物
decaBDE	十溴二苯醚	PFHxS	全氟己烷磺酸
DEHA	己二酸二(2-乙基己基)酯	PFOS	全氟辛烷磺酸盐
DEHP	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	PHA	聚羟基脂肪酸酯
DiNP	邻苯二甲酸二异壬酯	PLA	聚乳酸
DNA	脱氧核糖核酸	PM	颗粒物
ECHA	欧洲化学品管理局	PHOA	全氟辛酸
EDCs	内分泌干扰物	POPRC	持久性有机污染物 审查委员会
EU	欧洲联盟	POPs	持久性有机污染物
GIT	胃肠道	PP	聚丙烯
H <sub>2</sub> S	硫化氢	PP&A	聚酯、聚酰胺和丙烯酸
HAPs	有害空气污染物	PS	聚苯乙烯
HCB	六氯苯	PUR	聚氨酯
HDPE	高密度聚乙烯	PVC	聚氯乙烯
IPEN	国际消除持久性有机污染物网络	REACH	《化学品的注册、评估、授权和限制》
LDPE	低密度聚乙烯	RNA	核糖核酸
LEPC	本地应急规划委员会	ROS	活性氧
MDI	亚甲基二苯基二异氰酸酯	SCCPs	短链氯化石蜡
Mt	公吨	SO <sub>x</sub>	硫氧化物
NGLs	天然气凝液	TNPP	三(壬基酚)亚磷酸酯
NIAS	非有意添加物	TRI	有毒物质排放清单
NO <sub>x</sub>	氮氧化物	U-POPs	无意产生的持久性有机污染物
OctaBDE	八溴二苯醚	UCS	忧思科学家联盟
OSHA	美国职业安全与健康管理局	USEPA	美国联邦环境保护署
PAHs	多环芳烃	UV	紫外线
PBDEs	多溴联苯醚	VOCs	挥发性有机化合物
PBT	持久、生物累积和有毒	μm	微米
PCB	多氯联苯		





## 摘要

# 很显然，塑料引起了全球性的健康危机

虽说塑料是地球上最常见的材料之一，但人们对该材料及其对人类健康的影响依然知之甚少。随着现有塑料制品碎裂成较小颗粒并集聚有毒化学物质，更广泛的塑料暴露已经在新的环境和食物链中出现。这种暴露必定会随着塑料产量的增加而持续。

在塑料对人类健康的影响方面，迄今为止的研究仅限于塑料生命周期的一些特定阶段，并经常局限于单一产品、工艺流程或暴露路径。这种做法使人们无法察觉如下事实：在塑料全生命周期的每个阶段都会对人类健康产生明显的、复杂的交互影响：从井口到炼油厂，从商店货架到人体，从废弃物管理到空气、水和土壤污染的持续影响。

总体而言，塑料在其生命周期内的影响向世人敲响了毒害警钟：塑料在全球范围内威胁着人类健康。要想化解这些威胁，全世界的塑料产量、用量和废弃垃圾产生及处置量的增长趋势就必须停止乃至不断缩减。

本报告详细介绍了塑料在其供应链和生命周期的每个阶段对健康的影响，并揭示了每个阶段人类健康受到影响的众多暴露途径。本报告也详细说明了食入、吸入和接触塑料对人体的影响，以及与这些塑料颗粒相关的有毒化学物质，例如化学添加剂、加工剂和塑料副产品。本报告还表明：目前的系统性且令人不安的知识空白可能会加剧工人、消费者、周边社区乃至远离塑料源的社区所面临的暴露和风险。尽管存在这些空白，但本报告收集的证据仍足以使我们判定：迫切需要

采取预防措施来保护人类健康，使之免受塑料污染危机的影响。

## 主要研究结果

要想全面研究塑料的影响，就必须要考虑它的全生命周期。迄今为止，人们在评估和应对塑料的影响方面所采取的做法比较狭隘，既不充分，也不恰当。只有采取涵盖塑料完整生命周期的方法，人们才能充分了解它对人类健康的影响，也才能做出明智的决定来应对和解决塑料污染和风险。在解决塑料问题的过程中，也需要确保避免出现更多、更复杂的环境问题。

在其生命周期的每个阶段，塑料都会对人类健康构成明显的风险，这些风险源自人体暴露于塑料颗粒本身以及相关化学物质。在全球范围内，多数人都暴露于塑料生命周期的多个阶段。

### • 塑料的化石原料提取和运输

99% 的塑料来自化石燃料。油气提取，尤其是以获取天然气为目的的水力压裂法的使用，会向空气和水中释放多种有毒物质，并且经常是大量释放。通过水力压裂法，在生产塑料的主要原料过程中，所用的化学品，已知的有 170 多种会对人类健康产生多种影响，其中包括癌症、神经 / 生殖 / 发育毒性、免疫系统受损等。相关文献表明，这些有毒物质会直接影响皮肤、眼睛和其他感觉器官、呼吸 / 神经 / 胃肠系统、肝脏和大脑。

- 炼制塑料树脂及添加剂

在把化石燃料生产转化为塑料树脂和添加剂的过程中，一系列致癌物质和其他剧毒物质会被释放到空气中。相关文献表明，人类如果暴露于这些物质，其受到的影响包括神经系统受损、生殖 / 发育问题、癌症、白血病，以及诸如出生体重偏低等遗传影响。该行业工人和炼油设施附近的社区承受的风险最大，会因为紧急突发事件期间未受控制的排放而面临长期慢性或急性暴露。

- 消费品和包装

塑料制品的使用会导致人类食入 / 吸入大量微塑料颗粒和数百种有毒物质，而这些颗粒和物质或有致癌作用，或可影响发育，或可干扰内分泌。

- 塑料废弃物管理活动释放的有毒物质

所有塑料废弃物管理技术（包括焚烧、共烧、气化和热解）都会导致有毒金属（如铅和汞）、有机物质（如二噁英和呋喃）、酸性气体和其他有毒物质进入空气、水和土壤。所有这类技术都会导致工人和周边社区直接或间接暴露于有毒物质，暴露方式包括：吸入受污染的空气；直接接触受污染的土壤或水；摄入在受这些物质污染的环境中生长的食物。来自大气排放物、飞灰和废渣的有毒污染物能够传播很远的距离，并沉积在土壤和水中，然后在动植物的组织中累积，最终进入人体。

- 碎裂和微塑料

通过接触、食入或吸入方式直接进入人体的微塑料可能会导致多种健康影响，其中包括炎症、基因毒性、氧化应激、细胞凋亡和坏死，而它们又和多种负面健康结果有关，包括癌症、心血管疾病、炎症性肠病、糖尿病、类风湿性关节炎、慢性炎症、自身免疫疾病、神经退行性疾病和中风。

- 塑料降解引发的严重暴露

大多数塑料添加剂不与聚合物基质结合，容易渗入周围环境，殃及空气、水、食物或身体组织。随着塑料颗粒的持续降解，新的表层区域被暴露在外，使得其内部含有的添加剂持续释放于环境和人体中。

- 持续的环境暴露

塑料一旦以大型塑料或微塑料的形式进入环境，就会导致污染，并通过农业土壤、陆生食物链、水生食物链和水源供应在食物链中累积。环境中的这些塑料可以轻易地渗滤出有毒添加剂，或浓缩环境中已有的有毒物质，使它们能够再次被生物吸收，最终直接或间接进入人体。

各种不确定因素和知识缺口妨碍了对健康影响的充分评估，不利于消费者、社区和监管部门做出明智选择，并且会加剧塑料生命周期各阶段的短期和长期健康风险。

- 隐藏风险

多数塑料的化学成分和塑料生产流程中化学品使用状况的极度不透明，导致难以充分评估塑料的种种影响。就这些不确定因素的成因而言，对商业机密信息的极力保护以及披露要求的不充分起到了关键作用，从而导致监管部门很难制定适当的防范措施，消费者很难做出明智选择，周边社区很难降低自身暴露于塑料相关健康隐患的程度。

- 人们对交互暴露和协同效应依然知之甚少

相关风险评估流程未能评估消费品中所使用的数千种化学物质（如食品包装和环境中发现的此类物质）的混合物所产生的健康影响。

- 食物链中的塑料

尽管塑料和微塑料无处不在，并且可能通过多种途径产生严重影响，但在其通过陆地环境、海洋生态系统和食物链来产生影响和迁移方面，

相关研究十分有限。微塑料和相关有毒化学物质有可能转移到农作物和动物体内，这方面需要立即开展持续调查。

#### • 人体内的塑料

人体组织中的微纤维和其他塑料微颗粒情况有了越来越多的文献记录。我们在更好地了解它们产生的影响之前，应该采取预防措施来限制这些持久性污染物的产量和用量。

**减少塑料对人类的毒害暴露，将需要多种不同的解决方案和备选措施**，这是因为塑料的生命周期很复杂，并牵涉多个利益攸关方。

#### • 把人权和人类健康置于解决方案的核心

在塑料的整个生命周期及其每个阶段，解决方案都应该尊重人类的健康权及其拥有健康环境的权利。尽管依然存在不确定因素，但关于塑料在其全生命周期会造成严重健康影响的现有信息，足以使有关方面有充分的理由针对塑料的生命周期采取强有力的预防性措施，并促成塑料总产量和总用量的下降。

#### • 全面认识交互暴露

如果健康影响评估工作完全局限于产品的塑料成分，而无视数千种添加剂及其在塑料生命周期各阶段的作用方式，则这样的评估必然是不完整的。

#### • 提高透明度

解决塑料污染，就需要调整和采纳新法规框架，以保证公众可获得有关塑料制品和工艺流程中石油化学物质使用的信息，并增加更多的独立研究来填补目前和未来的知识空白。

#### • 基于透明性、参与性，以及可获救济的权利来构建解决方案

在确定、设计和实施塑料污染危机潜在解决方案的过程中，透明性是成功的关键。对有

毒物质内在特性和暴露程度的确定，以及对那些被称作“解决方案”的技术（如焚烧和变塑料为燃料技术）的潜在健康及环境影响的评估，都必须透明公开。解决方案不仅必须融合信息的使用权，还必须融合下列权利：有意义地参与应对塑料相关风险的决策过程的权利；发生危害时可诉诸司法的权利。

#### • 着眼全球，全面行动

塑料的生产、使用和处置在供应链中相互交织，这些供应链跨越国家、大洲和海洋的界限。迄今为止，有关方面在应对塑料的人类健康影响方面时，在很大程度上无视塑料生命周期和塑料危机的全球性。结果，一些措施虽然在局部地区或针对单一产品流发挥了积极作用，却常常被新型塑料、新型添加剂和新暴露路径的出现所削弱或抵消。除非各级政府努力应对塑料全生命周期的影响，否则当前这种零敲碎打的塑料污染危机应对方式将以失败告终。

截至目前，塑料危机应对工作取得的成效较为有限，原因有很多，比如影响的规模和复杂性、风险评估系统的局限性（尤其是化学物质的综合作用和暴露数据的有限性）、又长又复杂的供应链、维持现状所需的惊人资金投入，以及产业对健康影响的否认。尽管塑料产业确实有着巨大的经济利益，但社会承担的财务成本甚至比前者还要大。

本报告所述的研究结果非常明确。即使是目前的有限数据也足以表明：塑料在其全生命周期对人类健康产生了巨大影响。为了化解塑料对人类生活和基本权利的威胁，我们需要采取多项行动，采用多种解决方案。为了做到行之有效，这些行动和解决方案必须能够最终降低塑料和相关有毒化学物质的产量、用量、废弃处置量。



## 第一章

## 引言

虽然塑料是地球上最常见的材料之一，但多数人对该材料的性质、来源、影响和多样性依然知之甚少。

根据一般的说法，塑料是合成的有机聚合物——由较小分子的长链组成的巨大合成分子，主要来自化石燃料。为简单起见，当本报告谈及塑料时，是指一系列具有不同化学组成的聚合物和制品。能够形成长而不间断的分子链，这是塑料实用性、普遍性和耐久性的关键所在，使塑料树脂可被挤压、轧制、拉伸和挤出，变成各种想象得到的形状。这种多功能性使塑料成为我们物质世界不可缺少的一部分，并以多种物质形式不断出现在我们的生活中，如塑料瓶、袋子、食品包装、服装、假肢、汽车零件和建筑材料等。

自第二次世界大战结束以来，塑料生产商纷纷寻求新的消费市场，来消化当初为支撑战争而制造的材料和相应的生产设施。塑料作为传统材料的替代品，以及新型材料的基础，其用量飞速增长。

最近，对人类迄今制造的所有塑料的分析表明：全球塑料产量已从 1950 年的 200 万吨增加到 2015 年的 3.8 亿吨。到 2015 年底，人类已生产了 83 亿吨新塑料。值得注意的是，迄今生产的塑料当中，大约三分之二已经被释放到环境中并以某种形式一直存在，例如海洋中的碎片、空气和农业土壤中的微米或纳米颗粒、水源中的微纤维，或人体内的微米颗粒。

实际上，塑料目前在环境中无处不在，以至于它的存在可被用来确定埋藏它的沉积矿床的年龄和特征。换言之，塑料是“塑料世”（Plasticene Epoch）<sup>1</sup>的关键地质指标，该时期经常被称作“人类纪”，是人类对陆地生态系统逐渐产生重要影响的地质时代。<sup>2</sup>

**迄今生产的塑料当中，大约三分之二已经被释放到环境中并以某种形式一直存在于此，例如海洋中的碎片、空气和农业土壤中的微米或纳米颗粒、水源中的微纤维，或人体内的微米颗粒。**

至少自 20 世纪 70 年代以来，塑料生产量、使用量和消费量的持续增加，引起了人们对塑料人类健康和环境潜在影响的担忧，并且这种担忧在过去二十年日益频繁和严重<sup>3</sup>。在此期间的大部分时间里，人们的注意力集中在暴露于特定塑料前体或添加剂的特定人群，例如暴露于苯的工人、暴露于邻苯二甲酸酯和其他塑料添加剂的婴幼儿，或暴露于食品包装中的双酚 A 的消费者。

这种日渐加重的担忧伴随着塑料生产量和使用量的不断增加。人类迄今制造的所有塑料当中，超过一半是在过去的 15 年中生产出来的，并且生产规模逐年递增。由于水力压裂法所生产的廉价页岩气的激增，使得塑料的主要原料价格便宜且数量充足，因此这种增长有进一步加速的趋势<sup>4</sup>。根据目前的投资预测，到 2025 年，用于生产塑料的两种主要前体乙烯和丙烯的产量将增加 33-36%，即大约 1 亿吨。<sup>5</sup>

图 1  
全球塑料生产情况和未来趋势



来源：Maphoto/Riccardo Pravettoni plus a link to <http://www.grida.no/resources/6923>

虽然人们对塑料影响的担忧已被有关方面否定或淡化，但塑料污染危机的规模和紧迫性已使全球社会联合起来，在世界各地开展法律、科学和倡导活动以着手解决这一问题。比较成功的倡议包括塑料袋和一次性塑料制品法律禁令、零废弃城市倡议、海滩清理、废弃物处理新技术解决方案研究，以及使用国际法律框架应对全球塑料污染的建议。这其中的许多努力都基于同一个动机，即人类迫切需要消除海洋和其他生态系统所受的塑料污染。

迄今为止，关于塑料的健康和环境影响的讨论通常侧重于塑料生命周期的特定阶段——使用期间和处置之后。然而，塑料的生命周期及其相关的人类健康影响在两个方向上远远超出这两个阶段——上游的原料提取、运输和制造，以及下游的塑料进入环境并降解为微塑料和纳米塑料。越来越多的研究和调查正在为微塑料和纳米塑料对人类健康和环境的隐秘普遍影响提供新的洞见。

今天生产的几乎所有塑料（超过 99%）都是由化石燃料原料（主要是乙烯和丙烯，二者来自天然气凝液，或来自原油精炼的副产品轻油，近些年，煤炭也成了丙烯的来源之一）得来。因此，塑料生命周期的真实故事始于煤矿、井口或钻井平台，亦即日后成为塑料的化石燃料开始进入经济和人类环境之时。

本报告汇总了以塑料全生命周期对人类健康影响为主题的最佳且独特的研究成果，以便全面了解塑料供应链及塑料制造、使用、处置及其在环境中的存在所带来的健康危机的完整范围和规模。本报告分为以下几章：

### 提取和运输

化石燃料从井口或钻井平台被提取出来，然后通过管道或铁路运输到炼油厂和加工厂。

### 精炼和制造

这些原料在炼油厂和裂解装置中被加工，转化为聚合物，形成塑料经济的基础。这些新聚合物又与各种石化添加剂结合，使其具有塑料树脂的某些特性，例如透明着色、柔软、坚硬或柔韧，又或者使其具有某些其他的属性，例如不透光或不透氧，防止细菌滋生等。结合完之后，便可将其转化为所有活动领域都使用的产品了。



© iStockphoto/johnny007pan

### 消费者使用

在使用阶段，磨损会导致一些产品（如轮胎或纺织纤维）在环境中降解，并脱落成微塑料、纳米塑料、颗粒和纤维<sup>6</sup>，或渗漏一些有毒的添加剂。之后这些物质再通过家庭灰尘或食品包装等途径进入到食物中。

### 塑料废弃物管理

塑料制品的寿命各异，例如塑料食品包装和所有一次性产品的寿命很短，而建筑材料的寿命则长得多。但在寿命结束时，所有塑料制品都成为塑料废弃物。在人类截至 2015 年产生的大约 6,300 万公吨塑料废弃物中，约 9% 已被回收，12% 被焚烧，79% 在填埋场或自然环境中累积<sup>7</sup>。即使是很小比例的回收并经过工业加工的塑料，也对人类健康和环境造成影响。

**塑料生命周期的真实故事始于煤矿、井口或钻井平台，亦即日后成为塑料的化石燃料开始进入经济和人类环境之时。**

### 环境中的塑料

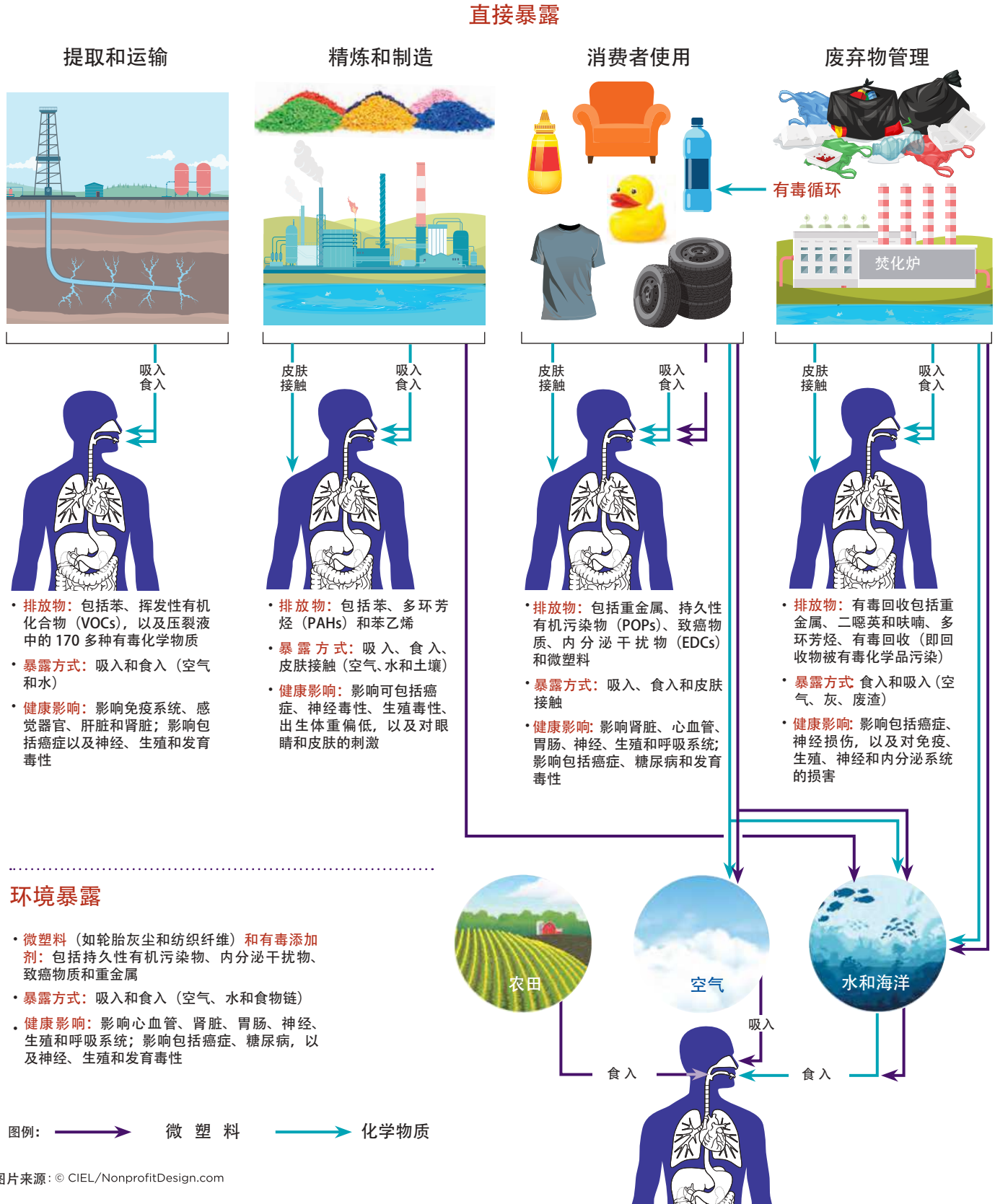
一旦塑料以大型塑料或微塑料的形式进入环境，它就会慢慢碎成更小的颗粒，污染环境中的所有区域（空气、水和土壤），积聚在食物链中，并释放有毒添加剂，或浓缩环境中的有毒化学物质，使它们再次被生物获取，直接或间接接触人体。<sup>8</sup>

因此，为了全面评估全球对塑料的依赖性是如何影响健康的，我们不仅要考虑塑料生命周期的每个阶段，还要考虑其在整个生命周期中使用和释放的各种物质的所有可能的暴露途径。化学物质对人类健康的影响均随其暴露途径而有所不同，分为吸入（我们吸入东西）、食入（我们吃入喝入东西），以及皮肤接触（我们的身体局部接触东西）。

图2

## 塑料与健康：塑料星球的隐藏成本

在塑料的全生命周期，人类通过食入、吸入和皮肤直接接触的方式暴露于多种有毒化学物质和微塑料。



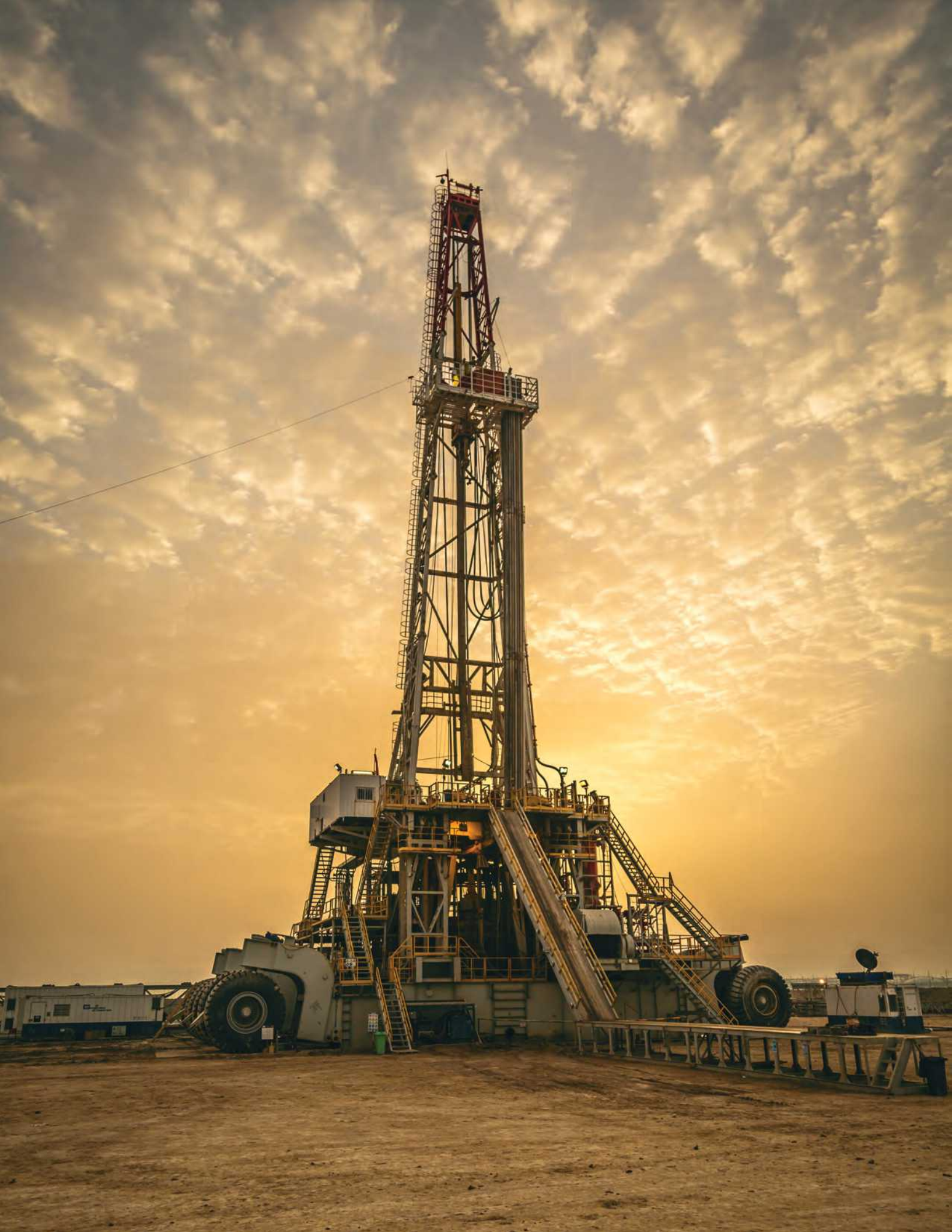


人们常常认为，关于塑料对人类健康影响的认知受阻于有限的长期接触累积风险量化信息，并且关于塑料降解和碎裂速度，以及化学物质渗透进入环境和食物链的信息也很有限<sup>9</sup>。然而，尽管本报告中确实存在知识缺口，但新兴的研究机构对“塑料是惰性的、安全的”这一传统观点予以了反驳。

越来越多的研究表明，塑料的两大特点，即质量轻和持久得令人难以置信的分子键，在使其成为能满足多样需求的理想材料，并帮助改善人类生活的同时，也使它们成为广泛、普遍存在和持久的人类健康威胁，并对我们依赖的生态系统构成了威胁。同样，确定多种塑料添加剂对人类健康产生负面影响的多项研究也得出结论：人类健康面临重大风险，因此需要采取预防措施。

**越来越多的研究表明，塑料的两大特点，即质量轻和持久得令人难以置信的分子键，在使其成为能满足多样需求的理想材料，并帮助改善人类生活的同时，也使它们成为广泛、普遍存在和持久的人类健康威胁，也对我们依赖的生态系统构成了威胁。**







## 第二章

## 提取和运输

99% 的塑料来自化石燃料<sup>10</sup>。塑料可由各种化石燃料制成，事实也是如此。最早的碳氢塑料，包括曾经无处不在的尼龙，来自煤炭，而煤炭仍然是包括中国在内的一些国家和地区的塑料生产重要来源。在第二次世界大战爆发前不久，来自石油原料的聚合物发展速度飙升。战争结束后，塑料生产商为塑料树脂和制品寻求并创造的新用途和市场。从那时起，塑料的生产原料一直是石油、天然气和煤（其中煤的占比较小）；具体选择哪种原料，主要取决于它们的可得性和成本。

在美国，石油和天然气钻探始于 20 世纪初<sup>11</sup>，当时使用传统钻井技术打出一个竖井。后来的工艺引入了非传统钻井技术，首先是垂直钻井，然后是水平钻井，长度超过大约 2 英里（约 3.2 公里）。21 世纪初，水力压裂新技术的出现使以前无法开采的天然气得到利用。2006-2015 年间，非传统钻井和水力压裂共同掀起了巨大的石油和天然气热潮，这又推动了塑料生产的繁荣。随着提取方法和地点的增加，有毒化学物质被释放到水、空气和食物中，导致巨大的公共卫生风险。

水力压裂法常被称为压裂，是一种加压工艺，其中地下岩层（页岩）被破裂或破碎，以释放其所含的油气。水力压裂使用化学物质、沙子和淡水的混合物来撑开破裂的页岩，使石油和天然气从钻井中流出。一并流出的还有其他“回流”物，如用于钻井的水、沙子和化学物质，此外还有硫化氢和各种碳氢化合物<sup>12</sup>，包括苯、甲苯、乙苯和二甲苯，该组物质统称为苯系物（BTEX）。<sup>13</sup>

油气提取分为六个阶段：<sup>14</sup>

1. 100 多万加仑水、沙子和化学物质<sup>15</sup> 被运至现场并注入井内
2. 预生产：井台准备、钻井、压裂，包括注入涂有轻微放射性物质的塑料颗粒<sup>16</sup>
3. 加压混合物导致页岩破裂，而沙子则撑开裂缝，使油气流入井中
4. 生产：主动提取油气和废液
5. 油气运输，在洞穴或油罐中储存，以及配送
6. 将加工过的水和油气送去处理，供后续使用

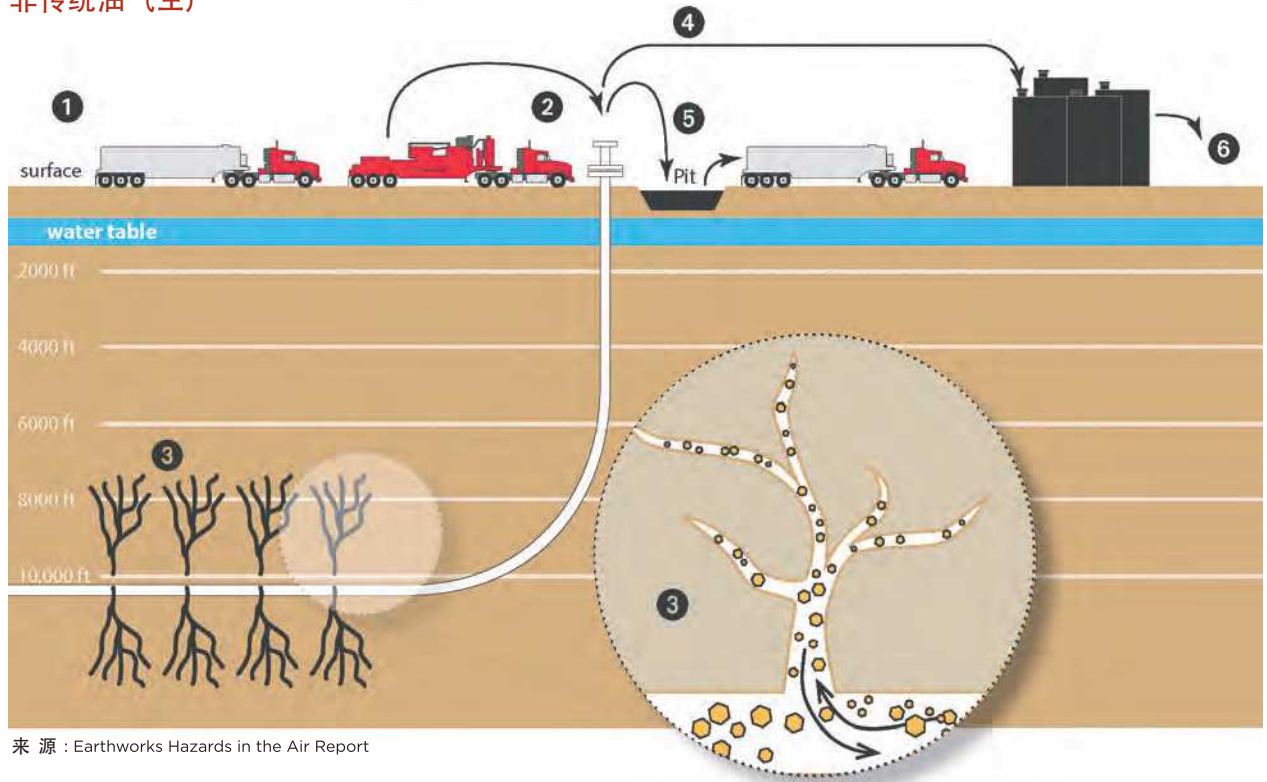
有两种类型的压裂气体，即湿气和干气。干气主要是甲烷，而湿气则包含由乙烷、丙烷、丁烷和戊烷组成的“天然气凝液”（NGLs）<sup>17</sup>。虽然所有碳氢化合物都可被转化为塑料和塑料前体，但乙烷更容易被裂化为乙烯，后者是塑料的主要成分之一，因此乙烷是塑料生产的优选原料。

压裂热潮带来了大量廉价的天然气。2014 年，美国化学理事会（American Chemistry Council）报道：“页岩气生产的繁荣使美国成为全世界最具吸引力的化学和塑料制造业投资地，从而使其竞争力实现惊人增长。”<sup>18</sup>



图 3

### 非传统油气生产



来源：Earthworks Hazards in the Air Report

- |  |  |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> 1. 水、沙子和化学物质被送往井台      | <input checked="" type="checkbox"/> 4. 主动提取油气和废液           |
| <input checked="" type="checkbox"/> 2. 井台准备、钻井、压裂          | <input checked="" type="checkbox"/> 5. 油气运输、储存和配送          |
| <input checked="" type="checkbox"/> 3. 加压混合物导致页岩破裂，使油气流入井中 | <input checked="" type="checkbox"/> 6. 将加工过的水和油气送去处理，供后续使用 |

### 健康影响

#### 空气污染

仅在美国，估计就有 1,260 万人生活在距离石油和天然气设施 800 米以内的区域<sup>19</sup>。研究表明，石油和天然气开发活动在生产、加工、运输和储存阶段会造成空气污染<sup>20</sup>。2009-2015 年期间，685 项同行评议研究活动调查了水力压裂法的影响。在 46 项空气质量研究中，87% 的研究表明空气污染排放量增加<sup>21</sup>。

包括钻井、压裂和火炬气燃烧（指该行业燃烧多余气体的过程）环节在内的预生产期间产生的空气污染，往往是众所周知的<sup>22</sup>。被认为是废弃物的多余气体的燃烧或排放量，随油气产量的迅速增加而相应增大<sup>23</sup>，并且可将有毒化学物质释放到空气中<sup>24</sup>。每个井平均需要 2,300 次卡车运输来供应水、沙子和其他材料，而柴油车在预生产阶段

也会加剧空气污染<sup>25</sup>。行驶车辆的柴油废气会向空气中释放有毒化学物质，如苯系物、颗粒污染物<sup>26</sup>、小颗粒物和液滴。一旦被人类吸入，这些物质就可导致心血管疾病和呼吸系统疾病，如呼吸短促、肺部炎症和哮喘症状恶化<sup>27</sup>。

#### 臭氧

空气污染还会影响距离石油和天然气设施更远的社区居民的健康状况。石油和天然气生产每年排放超过 900 万吨甲烷和其他污染物，如挥发性有机化合物。暴露在阳光下的挥发性有机化合物与氮氧化物混合会产生臭氧或地面烟雾污染，对人体健康有害<sup>28</sup>。石油和天然气污染所致的臭氧烟雾影响了农村社区，并且可能会扩散到距离污染产生地约 320 公里的地方<sup>29</sup>。

长期暴露于地面臭氧可能会损害肺功能并导致哮喘和慢性阻塞性肺病。尤其会伤害儿童、活跃于户外的年轻人、患有呼吸系统疾病的人和老年人<sup>30</sup>。预计到 2025 年，仅在美国，在 18 周岁以下的未成年人当中就将出现 75 万次夏季哮喘发作病例，2,000 多次与哮喘相关的急诊室就诊，以及 600 次与呼吸相关的住院，而这一切的起因就是油气污染引起的臭氧烟雾<sup>31</sup>。

### 周边社区所受影响

生活在油气开发设施附近的社区居民所受的健康影响取决于暴露途径（吸入、食入、皮肤和眼睛接触、噪音对耳朵的影响）、暴露持续时间、剂量、化学物质混合情况，以及相关薄弱因素，比如年龄、此前的健康状况和环境暴露史。油气作业排放的有害污染物除了影响皮肤和眼睛外，还会影响呼吸系统、循环系统、生殖系统、免疫系统、神经系统和消化系统<sup>32</sup>。与暴露可能对皮肤和眼睛造成的直接冲击不同的是，在暴露于并不总是那么明显的其他健康影响，可能会对个人及其后代产生不可预测和延迟的终生影响<sup>33</sup>。

在与油气生产相关的 353 种化学物质中，75% 会影响皮肤、眼睛和其他感觉器官、呼吸系统、胃肠系统和肝脏。多达一半的化学物质可能影响大脑 / 神经系统、免疫系统和心血管系统以及肾脏<sup>34</sup>。此外还有研究发现，较密集的水力压裂井与心脏或神经系统疾病患者的较高住院率有显著相关性<sup>35</sup>。

### 心理健康和人权

尽管油气开采、运输和储存对心理健康的影响是研究最不充分的领域之一，但相关研究依然发现，生活在油气开采设施附近的社区居民容易受到心理影响，导致压力、创伤和无能为力感<sup>36</sup>。来自水力压裂和钻井作业、气体压缩机、车辆和其他重型设备的高噪音可能导致睡眠障碍，诱发压力，并增大儿童的高血压、糖尿病、心脏病、抑郁症和学习困难发生概率。<sup>37</sup>

在世界各地，社区领袖和活动家们也面临着威胁、骚扰、酷刑、暴力甚至暗杀，原因是他们以和平方式反对新的油气开采项目，以保护社区的健康和环境。<sup>38,39,40</sup>

**尽管油气开采、运输和储存对心理健康的影响是研究最不充分的领域之一，但相关研究依然发现，生活在油气开采设施附近的社区居民容易受到心理影响，导致压力、创伤和无能为力感。**

### 儿童、婴幼儿和孕妇面临的风险

研究表明，在油气高产地区，儿童、婴儿和孕妇等弱势群体面临的健康风险尤其高<sup>41</sup>。油气钻井和水力压裂作业会使用并释放多种化学物质，而人们已经知道它们会干扰内分泌系统（人体内所有腺体的集合，它们产生激素，调节从饥饿到繁殖的一切感觉和活动，并影响几乎每个细胞、器官和代谢功能）<sup>42</sup>。内分泌干扰物是一些化学物质，它们干扰人体的内分泌系统，并对发育、生殖、神经和免疫系统产生负面影响。相关研究发现，内分泌干扰物与癌症、肥胖症、糖尿病、代谢疾病和不育症<sup>43</sup> 以及产前发育和婴幼儿早期发育期间（器官和神经系统在此期间形成）的风险增大有关联<sup>44</sup>。用于水力压裂法的化学物质中有 37% 被怀疑是内分泌干扰物<sup>45</sup>。对生殖和发育结果的危害与油气开发过程中使用的内分泌干扰物有关，包括苯、甲苯、乙苯和二甲苯<sup>46</sup>。

加拿大不列颠哥伦比亚省的一项研究发现，生活在水力压裂作业地点附近的孕妇尿液中含有较高水平的粘康酸，它是苯暴露标志物<sup>47</sup>。美国宾夕法尼亚州的研究发现，生活在水力压裂作业地点附近的孕妇早产风险增大 40%<sup>48</sup>，婴儿的健康指标较差，并且出生体重明显较低<sup>49</sup>。美国科罗拉多州的研究发现，生活在油气密集生产区的儿童和年轻人当中，脑、脊柱、脊髓和先天性心脏缺陷的出生缺陷患病率更高<sup>50</sup>，白血病发病率也更高<sup>51</sup>。



研究发现水力压裂法所用的致癌化学物质会污染附近社区的水和空气，从而增大儿童白血病的风险<sup>52</sup>。

### 水

水力压裂法所用有害化学物质可能会进入饮用水资源，起因包括溢出、废水不当处理或基础设施故障，并导致对人类健康的负面影响。在油气生产场地附近的 58 项同行评议水质研究中，有 40 项（69%）显示出与油气生产相关的水污染<sup>53</sup>。仅在美国的科罗拉多州、新墨西哥州、北达科他州和宾夕法尼亚州，2005-2014 年就记录了 6,648 起与水力压裂相关的泄漏事故<sup>54</sup>。

水力压裂法的废水是压裂用水、盐、有毒化学物质、有机物和天然存在的放射性物质组成的混合物<sup>55</sup>。废水对饮用水源和当地生态系统构成威胁，特别是通过以下方式：

- 废水溢出；
- 将废水注入井中，然后渗入地下水资源，或直接注入地下水资源中；
- 倾倒未经妥善处理的废水

- 把废水倾倒在 不带内衬的水池中储存，渗入地下水中<sup>56</sup>。

美国联邦环保署（EPA）已鉴别出 1,606 种与水力压裂法有关的化学物质，包括用于压裂的 1,084 种化学物质和废水中检测到的 500 种化学物质。这其中，已知有 173 种化学物质在人类摄入后会对健康产生如下影响：

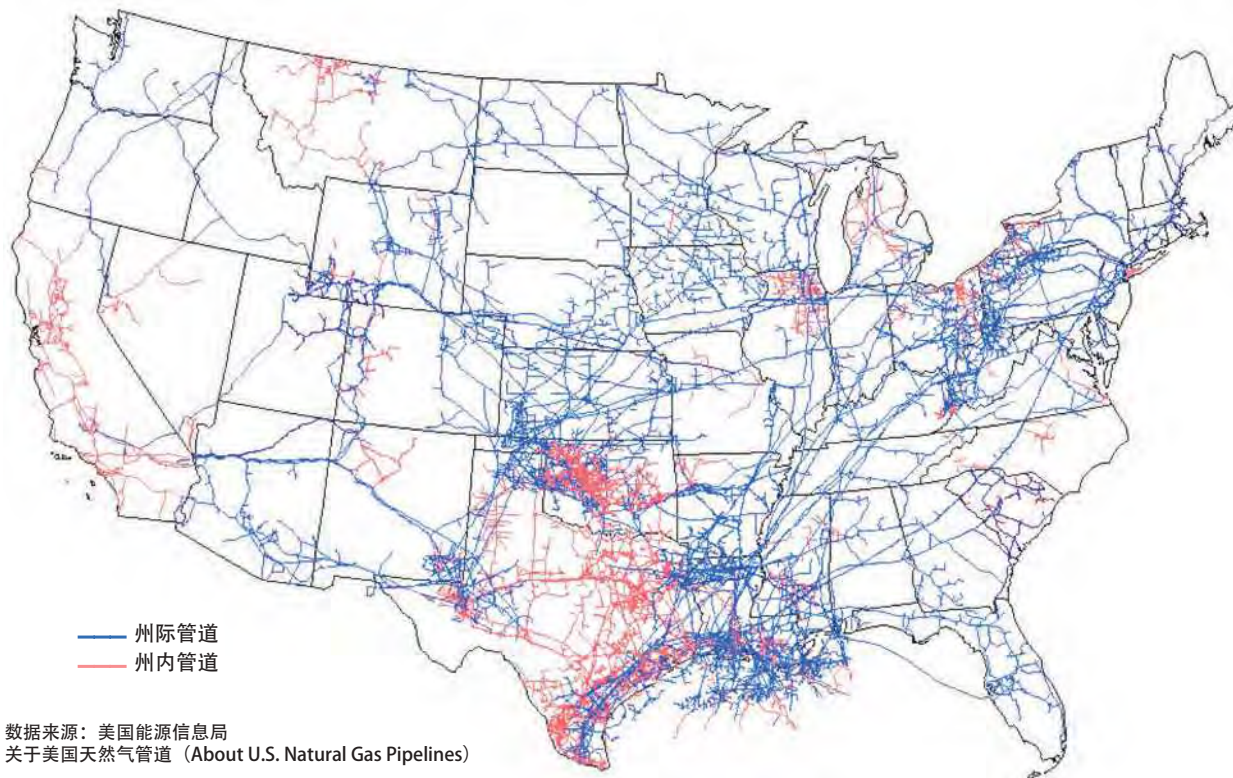
- 癌症；
- 神经毒性；
- 免疫系统效应；
- 体重和血液化学成分发生变化；
- 肝肾毒性；
- 生殖和发育毒性<sup>57</sup>。

### 管道

美国石油天然气产业的繁荣导致该国天然气管道迅速扩建。需要管道将天然气从开采地点输送到炼油厂、港口和消费者<sup>58</sup>。目前，估计有 480 万公里管道在美国各地输送天然气<sup>59</sup>。集气管将天然气从井中输送到运输管道，后者则将天然气输送到另一条中游管道或直接进入市场。



图4  
美国300万里天然气管道



数据来源：美国能源信息局  
关于美国天然气管道 (About U.S. Natural Gas Pipelines)

虽然管道被埋在地下，但它们不仅对地下水道构成威胁，而且对地上的人和自然栖息地也构成威胁。管道易碎，易冻结、腐蚀、破裂和泄漏。2010-2017年期间，仅在美国，管道事故就造成100人死亡，500人受伤，数千人撤离，并泄漏超过4.76亿立方米甲烷。2009年以来，用于运输石油、天然气或废水的管道造成超过7,000次溢出和泄漏等事故<sup>60</sup>，进一步增大了人类和环境暴露于已知有毒化学物质的风险，并加剧了相关的人类健康影响。

管道空气排放是另一个公共卫生问题。管道会排放甲烷、乙烷、苯、甲苯、二甲苯、一氧化碳、臭氧和其他污染物<sup>61</sup>。压缩站对天然气加压，以确保通过管道完成受控连续流动<sup>62</sup>，这会导致额外的空气排放和噪音污染。由于管道法规极其宽松且各有不同，因此损坏的管道或旧管道增加了逃逸排放和事故风险<sup>63</sup>。

在塑料到达消费者之前，在它远未进入环境的时候，其生命周期的初期阶段——化石燃料的提取和运输——就会对人类健康产生严重影响。因此，必须从提取塑料基本原料的井口开始了解塑料的毒性影响。为降低与塑料相关的公共卫生风险，减少石油、天然气和塑料的产量是关键所在。

**在塑料到达消费者之前，在它远未进入环境的时候，其生命周期的初期阶段——化石燃料的提取和运输——就会对人类健康产生严重影响。因此，必须从井口开始了解塑料的毒性影响。**







### 第三章

## 精炼和制造

塑料的精炼和制造显著影响人类健康。位于生产基地附近的周边社区和生产设施的工人尤其会受到严重影响。本报告中所说的周边社区是指那些由于靠近采掘业基础设施而受影响的社区，这些基础设施提取、处理、储存和运输化学物质、有毒物质和其他危险物质。这些社区每天都面临着毒性暴露、潜在事故或死亡的威胁。它们通常是有色人种、低收入社区和边缘化社区。因此，它们通常被视为阻力最小的区域，即使相关行业可能对当地环境和居民健康产生负面影响，当地人也可能没有能力和资源来挑战这些行业。周边社区所受的影响严重到了不成比例的程度，这些影响不仅来自毒性暴露，也来自环境退化、食品不安全、教育质量差和医疗保健服务不足，以及低收入地区普遍存在的其他一些挑战。这些影响只会因治理不善以及与周边社区的沟通不畅而加剧。

很显然，周边社区面临的污染源不是一个，而是多个。一座生产厂或炼油厂经常为更多的同类以及其他相关基础设施铺平了道路。由于某些工艺的相关性质（例如油气精炼和塑料生产）、规模效应和现有基础设施（如输送管道）方面的原因，这些工厂和设施经常比邻而居。

#### 附文 1

#### 就地避难事件

事故也被称为“就地避难事件”，其名称来自必须采取的行动。在发生事故时，要想最大限度地降低风险，就需要人们在住宅的室内或其他完全或几乎没有窗户的结构中就地避难，并留在这些避难所，直到地方当局表示人们可以安全外出了。参见：Emergency Action Plan, Shelter-in-Place, Occupational Health and Health Administration, <https://www.osha.gov/SLTC/etools/evacuation/shelterinplace.html>。

#### 塑料生产所用化学物质对人类健康的影响

虽然仍需对塑料生产过程关于人类健康影响的各个方面开展研究，包括所涉及的一些化学物质的致癌属性，但释放的多种化学物质已对人类产生了许多有害影响。

#### 有害空气污染物

根据美国国家环境保护局的说法，有害空气污染物又名“空气毒物”，在人们已知或怀疑其会导致癌症、生殖和出生缺陷或其他严重的人类和环境影响时被列为污染物<sup>64</sup>。依照美国《清洁空气法案》，美国环保局需要规范 187 种有害空气污染物的排放。



© iStockphoto/Joyce Marrero

塑料生产导致多种此类物质的释放，这是因为塑料生产不可缺少的多种化学物质都是有害空气污染物。例如忧思科学家联盟 (UCS) 的一份报告回顾了美国德克萨斯州休斯敦曼彻斯特社区每天出现的最有害空气污染物 (见附文 3)。接受检查的 6 种污染物中，有 4 种与塑料生产有关，它们是 1,3- 丁二烯、苯、苯乙烯和甲苯。许多此类化学物质以及通过塑料生产释放的其他化学物质，对人类健康构成特别严重的威胁，因为它们具有包括癌症在内的多种影响，并且可能难以检测，因为一些物质无色并且往往气味温和甚至无气味。以下是塑料生产过程中使用和释放的一些最恶劣化学物质的不完整名单：

#### 1,3-丁二烯

1,3- 丁二烯，一种易燃无色气体，具有类似汽油的温和气味，用作化学中间体以及橡胶、塑料和其他聚合物制造活动所需单体<sup>65</sup>。无论短期或长期接触这种污染物都会导致负面健康影响。

短期接触可引起眼睛和喉咙刺激、头痛、疲劳、血压和脉搏下降、中枢神经系统损伤和意识丧失。长期暴露可导致癌症，并增加患白血病的几率<sup>66</sup>。例如德克萨斯大学医学部的一项研究报告说，居住在休斯敦船舶航道 (这里有多家工厂) 2 英里 (约 3.2 公里) 范围内的儿童，其患急性淋巴细胞白血病的风险比居住地距离该通道超过 10 英里 (约 16 公里) 的儿童高 56%<sup>67</sup>。该项研究发现，生活在石油化学设施 1,3- 丁二烯排放量较高地区，儿童的淋巴性白血病和急性髓性白血病发病率较高<sup>68</sup>。

#### 苯

苯是一种易燃无色液体，有甜味，用作化学溶剂，有助于形成单体来制造塑料树脂、尼龙和合成纤维<sup>69</sup>。苯以多种方式释放，包括通过工业溶剂、燃煤和燃油排放，以及烟草燃烧散发的烟雾<sup>70</sup>。与 1,3- 丁二烯一样，接触苯会对健康产生严重影响。事实上，自十九世纪末以来，苯一直被认为是一种强力骨髓毒药<sup>71</sup>。短期接触苯会

导致头痛、震颤、嗜睡和眩晕，而暴露于高浓度苯甚至可在几分钟或几小时内导致死亡<sup>72</sup>。更长时间或持续一生的暴露会导致贫血、白血病等多种健康影响<sup>73</sup>。此外有研究表明，在那些工厂将苯释放到空气中的社区，某些类型的血癌，特别是非霍奇金淋巴瘤的病例较多<sup>74</sup>。因空气污染而暴露于高密度苯的妇女也会遭受特定的生殖健康影响，包括月经周期不规则和卵巢发育不全<sup>75</sup>。

#### 苯乙烯

苯乙烯是一种极易爆炸的无色液体，用于生产聚苯乙烯塑料和树脂<sup>76</sup>。它会被释放到空气中，并可从聚苯乙烯包装迁移到食品中，然后被摄取。有限的苯乙烯暴露会引起肺部、眼睛、鼻子和皮肤的刺激。高浓度暴露会导致视力改变，反应时间减慢，平衡保持能力出现问题，甚至癌症<sup>77</sup>。

#### 甲苯

甲苯是一种无色液体，有甜味。它既可用于生产苯等其他化学品，也可用于生产聚合物，如聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET），后者是塑料瓶和尼龙等产品的关键原料<sup>78</sup>。甲苯在聚合物生产领域被用作溶剂，会被释放到空气中，并且在含甲苯产品的使用过程中也会释放<sup>79</sup>。短期接触中低水平的甲苯会导致疲劳、虚弱、记忆力减退、恶心和食欲不振。长期接触会引起眼睛或肺部的刺激、头痛和头晕。甲苯也可能影响神经和生殖系统，并引起儿童发育问题。<sup>80</sup>

#### 乙烷

乙烷是通过压裂法提取的天然气的副产品，通过转化为乙烯用于塑料生产。乙烷裂解装置这种工业设施，用于将天然气提取过程中获得的乙烷转化为乙烯以生产塑料。乙烷本身是一种碳氢化合物，而乙烯的生产则导致二氧化硫、氮氧化物和挥发性有机化合物的排放，它们在阳光下共同产生臭氧、颗粒物、铅和一氧化碳。此外还可能释放出有害的空气污染物，包括丙烯醛、苯和挥发性有机化合物。这些会带来各种健康影响，

包括眼睛和喉咙刺激、恶心、头痛和少量鼻出血，而高水平接触则会导致更严重的肾、肝和中枢神经系统损伤。它们还与过敏和哮喘等呼吸系统疾病有关，有些还是已知或可疑的致癌物质<sup>81</sup>。

#### 丙烯及其氧化物

丙烯是一种无色气体，具有类似石油的微弱气味，是用于生产塑料（包括地毯纤维）和精细化学品的化学中间体<sup>82</sup>。接触中等浓度丙烯会导致头晕、嗜睡和意识不清<sup>83</sup>。环氧丙烷是一种高度易燃、易挥发的无色液体，用于生产聚氨酯塑料和其他聚醚<sup>84</sup>。环氧丙烷已被列为可能的人类致癌物质。短期接触可引起眼睛和呼吸道刺激，是一种温和的中枢神经系统抑制剂<sup>85</sup>。

**上述许多化学物质，以及通过塑料生产释放的其他化学物质，对人类健康构成特别严重的威胁，这是因为它们具有包括癌症在内的多种影响，并且可能难以检测，因为其中一些是无色并且往往气味温甚至无气味。**

#### 多环芳烃

超过 100 种化学物质被归类为多环芳烃，存在于煤焦油、原油、杂酚油、染料、杀虫剂和塑料中<sup>86</sup>。多环芳烃是公认的环境毒物，也可能对健康产生负面影响。德克萨斯 A&M 大学 2018 年开展的一项研究表明，多环芳烃出现在工业区的住宅入口附近，而美国联邦环保署清单所列的多环芳烃中，已发现有三种与塑料生产有关，包括蒽、菲和芘。该研究在样本住宅中发现了 61 种多环芳烃中的 19 种，其中包括环保署优先清单中的 16 种，以及 7 种可能的人类致癌物。



附文2

## 案例研究：某拟建塑料生产厂的排放情况

塑料生产设施在日常活动中释放出许多有毒物质。例如壳牌公司目前正在美国宾夕法尼亚州马塞勒斯 (Marcellus) 页岩天然气矿床附近建造一座乙烷裂解装置。该地区水力压裂作业规模与日俱增<sup>87</sup>。该装置旨在用水力压裂的副产品乙烯来生产塑料。该装置预计将排放各种对人类健康产生负面影响的化学物质，其中包括数以吨计的氮氧化物、一氧化碳、可过滤颗粒物、大颗粒物、细颗粒物、硫氧化物、挥发性有机化合物、有害空气污染物、氨和二氧化碳等价物<sup>88</sup>。如表 1 所示，这座乙烷裂解装置将大大加剧该地区的空气污染，因为该厂计划在周边社区附近排放大量有毒化学物质。它不仅排放苯和甲苯（它们会导致癌症和先天性缺陷<sup>89</sup>）等有害空气污染物，还会释放出挥发性有机化合物，它们会与同时释放的氮氧化物反应，产生臭氧烟雾和颗粒物，前者影响人们（特别是哮喘患者<sup>90</sup>）的呼吸能力，后者还可能导致癌症。<sup>91</sup>

乙烷裂解装置的成功与相关产业和技术的涌入有关，这表明产业扩张可能会随之而来<sup>92</sup>。塑料生产对周边社区的健康构成了特定危害和威胁，而这些危害和威胁，可能会因那些同样构成重大威胁的相关工业流程的存在或扩张而加剧，并且事实也经常如此。该地区还计划建设其他石化工厂，而塑料生产厂可能会随之而来，以便利用现有的基础设施为其提供支持<sup>93</sup>。污染统计数据忽略了卡车等其他污染源；为了运输产品，相关企业对卡车的需求与日俱增<sup>94</sup>。因此，该乙烷裂解装置的建设给周边社区造成的健康风险只会越发严重。

与塑料生产相关的多环芳烃（包括蒽、菲和芘）的暴露途径包括吸入、皮肤接触和食入。在高浓度暴露环境中，通过食入和吸入而暴露于多环芳烃的实验动物（包括怀孕小鼠）遭受了生殖问题、肿瘤、低出生体重和出生缺陷。暴露于蒽的人会出现头痛、恶心、食欲不振以及胃肠炎症或肿胀。此外，蒽还会延迟人体反应时间，并可能导致虚弱感。急性接触可导致皮肤损伤，包括灼烧或瘙痒感，以及体内组织中液体的积聚<sup>95</sup>。当通过食物、皮肤和空气暴露于大量的菲时，小鼠出现生殖问题、出生体重低和出生缺陷，还伴随着皮肤和免疫系统损害<sup>96</sup>。喂食芘的小鼠出现肾病，这种病可能以肾衰竭、血液变化、肾脏重量减轻和肝脏重量增加而告终。

周边社区和工人都容易受到多环芳烃暴露。根据德国联邦环境署发布的一份报告<sup>97</sup>，一些多环芳烃是“持久性、生物累积性、有毒 (PBT) 污染物。”<sup>98</sup> 2000 年，美国环保署指出，PBT 污染物是“剧毒持久的物质，可以在食物链中累积到对人类和生态系统有害的水平。”<sup>99</sup> 这意味着它们具有很长的生命周期并且可能扩散到广大区域。之所以很难降低持久性、生物累积性、有毒污染物风险，是因为它们能够远距离迁移，容易从空中进入水或土壤，并且能够在人体和环境中存在数代时间。目前美国环保署已经认定了 16 种此类物质<sup>100</sup>，但它希望添加 5 种新物质，其中 4 种与塑料生产有关，这 5 种物质是十溴二苯醚 (decaBDE)、五氯苯硫酚 (PCTP)、苯酚、异丙基化磷酸盐 (3:1) 和 2,4,6- 三叔丁基苯酚<sup>101</sup>。此外，目前的 16 种物质中有 4 种与塑料生产有关，即苯并 (g,h,i) 二萘嵌苯<sup>102</sup>、铅<sup>103</sup>、汞<sup>104</sup> 和四溴双酚 A<sup>105</sup>。一些 PBT 污染物对人类健康具有广泛的不利影响，包括对神经和生殖系统的损害，其他污染物则与发育问题和癌症有关<sup>106</sup>。

尽管存在这些已知风险，但对周边社区和塑料产业工人产生影响的空气、水和土壤污染物数据仍然不完整。此外还缺乏有关累积影响和暴露情况的信息。

### 化工集群和事故风险

如前所述，正如宾夕法尼亚州壳牌拟建乙烷裂解装置的预计排放量所表明的那样，周边社区特别容易受到塑料生产的影响。与远离工业场所的社区相比，周边社区每天接触的各种有毒化学物质的浓度要高得多。此外，它们一直承受着事故引发更严重暴露的风险——该风险随着塑料生产厂和相关产业数量的增加而加剧。

诸如灾难性的工业火灾、爆炸和化学物质释放等事件的频发程度，达到了令人惊讶的程度。例如美国路易斯安那州的埃克森美孚炼油厂和化工厂 2013 年报告了 76 起事故，平均每月超过 6 起<sup>107</sup>。释放的主要化学物质中有丙烯、乙烯和苯，所有这些都和塑料生产相关。

这些事件以及壳牌拟建乙烷裂解装置的排放估算值揭示了周边社区承受的固有风险。随着塑料生产的扩张，这些风险只会增加。与壳牌一样，埃克森美孚正在投资建设新厂并扩建现有工厂。例如埃克森美孚已投资 60 亿美元扩建一座有 36 年历史的塑料、炼油和化工厂，这是其“海湾地区发展行动计划”（Growing the Gulf Initiative）的一部分<sup>108</sup>。通过这次扩建，数百万加仑的天然气将通过数百条管道输送，并存放在蒙特贝尔维尤（Mont Belvieu）的地下盐丘中。这座城市位于德克萨斯州休斯敦以东约 48 公里处，建在一座盐山上，被地下储存的巨量碳氢化合物带来的危险所困扰<sup>109</sup>。该地区已有 125 个储存洞穴，存储

表 1

## 壳牌工厂的排放潜力

空气污染物	全厂排放速度 (吨/年)
氮氧化物	348
一氧化碳	1,012
可过滤颗粒物	71
PM <sub>10</sub> (大颗粒物)	164
PM <sub>2.5</sub> (细颗粒物)	159
硫氧化物	21
挥发性有机化合物	522
有害空气污染物	30.5
氨	152
二氧化碳当量	2,248,293

数据来源: PA Bulletin Doc. No. 15-558a.





着数百万桶碳氢化合物并迅速填充乙烷和其他天然气凝液。它们将从蒙特贝尔维尤出发，被运往埃克森美孚设在贝敦（Baytown）的工厂，那里将生产大约 150 万吨乙烯。这两家工厂共有 7,500 名员工，埃克森美孚估计，若包括承包商和其他人，这一数字将增加到 15,000 人。这么多的劳动力和许多周边社区一样，将面临固有的健康风险。

**由于周边社区经常无法获得相关风险的信息，并且很难引起相关企业或地方官员的更多关注，因此他们面临的问题进一步恶化。有毒化学物质信息的获取对于风险评估、危害减轻和决策参与至关重要。**

#### 社区参与和信息获取

由于周边社区经常无法获得相关风险的信息，并且很难引起相关企业或地方官员的更多关注，因此他们面临的问题进一步恶化。有毒化学物质信息的获取对于风险评估、危害减轻和决策参与至关重要<sup>110</sup>。美国的相关州和企业都有义务确保社区的知情权，特别是与他们可能接触到的有毒化学物质有关的信息，以及这些化学品可能带来的风险<sup>111</sup>。

即使有人尝试改善信息共享，实施起来依然面临其他阻碍。在参与活动标准化、社区知情权保护和战略规划制定方面的尝试之一，就是美国环保署关于建立地方应急计划委员会（LEPC）的倡议<sup>112</sup>。然而，这些委员会非但没有增加沟通和促进信息获取，反而经常只是给居民和代理机构之间的沟通增加了一个官僚层（和漫长的响应时间）。《休斯敦纪事报》的一份调查报告表明，这些委员会就连最起码的职责都没有履行，即没有向相关社区提供塑料和相关产品生产过程中可能释放的潜在化学物质的信息<sup>113</sup>，更不用说帮助制定应急响应计划这项关键工作了。由于缺乏

专项资金以及其他资源和必要工具，例如顾问、数据、支持人员、危险品培训和相关设备，地方应急计划委员会在紧急情况下采取行动的能力受到影响<sup>114</sup>。由于缺乏支持、周密安排和定期沟通<sup>115</sup>，社区制定实施应对计划的能力受限，带来了可怕的后果。2017 年 2 月，阿拉巴马州的一家化工厂泄漏了 335 千克氯气。由于披露和准备不充分，使得该工厂未能警告附近居民，也导致第一批应急人员被直接派遣到有有毒气体云笼罩的地点<sup>116</sup>。

因此，仅仅是声明有意保障知情权，并不足以使相关社区参与进来，也不足以保护他们免受塑料生产所致的毒害风险。知情权和参与权保障措施必须得到充分的资源和实施才能发挥作用。

#### 外部因素：极端天气事件

气候变化加剧了极端天气事件，有了塑料产业的推波助澜，这类事件只会日益增加，进一步加剧周边社区暴露于有毒化学物质的风险。2017 年，德克萨斯州休斯敦的飓风哈维登陆就是一个很好的例子。哈维在三天内带来了整整一年的降雨量。飓风影响了周边社区，他们不仅面临着巨大的降雨量及其相关问题，而且毒害暴露严重增加。在哈维走后的一周内，炼油厂和化工厂向邻近社区释放了约 45 万千克有害空气污染物，其中包括苯、1,3-丁二烯、二氧化硫和甲苯等<sup>117</sup>。法国阿科玛公司设在德克萨斯州罗斯比的化学品储存和化学加工厂发生和飓风相关的爆炸，导致 21 人寻求医疗，其中 15 人是首批应急人员，其中 7 人就严重疏忽和身体伤害向阿科玛提起诉讼。参与救险的警察在暴露于工厂的烟雾之后，有人看到他们弯腰呕吐，无法呼吸。医务人员试图向警察提供援助时，他们的身体也承受不住，也开始呕吐和大口喘气<sup>118</sup>。附近社区的居民被迫撤离家园一周。



© Bob McMillan/FEMA

### 塑料产业工人面临的威胁

与塑料生产相关的日常安全健康以及事故风险不仅会影响周边社区，还会影响工厂的工人。工人面临伤亡风险，并且由于更多地接触有毒化学物质而面临短期和长期健康风险。然而，这些风险的现实性并不总是显而易见的。与空气毒物“可接受限度”有关的要求，以及伤亡汇报规则，经常粉饰在塑料生产行业工作的真正风险。例如在美国，只有在正式雇员遭受伤亡时，伤亡才会被归咎于雇佣单位。因此，设施安全记录评估会产生误导，因为它们会忽略数千名合同工的数据，而这些工人经常从事最危险的工作。例如在英国石油公司设在德克萨斯州德克萨斯城的工厂发生的一起事故中，遇难的所有 15 名工人都是合同工。因此在职业安全与健康管理局的记录中，他们的死亡并未被归因于英国石油<sup>119</sup>。

**与塑料生产相关的日常安全健康以及事故风险不仅会影响周边社区，还会影响工厂的工人。工人面临伤亡风险，并且由于更多地接触有毒化学物质而面临短期和长期健康风险。**



### 附文 3

## 案例研究：德克萨斯州曼彻斯特/哈里斯堡

忧思科学家联盟和德克萨斯 A&M 大学，对曼彻斯特 / 哈里斯堡的一些住宅内部和周围存在的多种化学物质（比如有害空气污染物和多环芳烃）做了调查。正如这些调查所显示的那样，曼彻斯特 / 哈里斯堡社区是美国石化工业设施周边社区的典型代表。曼彻斯特属于休斯敦市，这里有美国最大的石油化工园区，也是世界上最大的此类园区之一。该园区驻有多个行业的企业，例如塑料生产设施和油气精炼厂，它们使用其副产品来生产塑料。休斯敦是美国最大的没有任何土地使用规划（此类规定意在指定某些区域用于特定目的和用途，如住宅区和工业走廊）的城市，这意味着它没有关于工业建筑建造地点的监管体系或限制。随着塑料产量的增加，基本塑料原料的产量和相关的有毒化学物质释放量也将增加。由于缺乏土地使用规划，这种毒害影响可能会由附近的社区承受。

曼彻斯特 / 哈里斯堡 90% 的居民住在距离某化工设施 1 英里（约 1.6 公里）范围内<sup>120</sup>。美国社区调查的最新人口普查和人口统计数据表明，该社区 97% 的人口是有色人种。在以曼彻斯特 / 哈里斯堡为中心的半径 1 英里范围内，有 21 处有毒物质释放清单（TRI）所列设施、11 处大规模危险废弃物产生源、4 座危险废弃物处理储存或处置设施、9 大污染物排放源，以及 8 大排污设施<sup>121</sup>。休斯敦市卫生和公众服务部的一份报告显示，癌症是曼彻斯特 / 哈里斯堡社区成员的第二大死因。在与癌症相关的死亡病例当中，除两例之外，其他所有病例都归因于支气管肺癌。此外，曼彻斯特 / 哈里斯堡 8% 的活产婴儿出生时体重过轻，这是婴儿死亡率的重要因素，也是健康问题的一个重要指标，这些问题包括精神发育、脑瘫、呼吸、视力和听力问题<sup>122</sup>。美国环保署的 EJSCREEN 工具将曼彻斯特 / 哈里斯堡列为 90-95 百分位的癌症风险率，高于美国其他大多数地方。<sup>123</sup>

该地区有四大污染物排放企业，瓦莱罗能源伙伴公司（Valero Energy Partners LP）<sup>124</sup> 和瓦莱罗精炼德克萨斯公司（Valero Refining-Texas LP）休斯敦炼油厂<sup>125</sup> 是其中两个，主要产品之一都是丙烯<sup>126</sup>。该地区有四大污染物

排放企业，瓦莱罗能源伙伴公司（Valero Energy Partners LP）<sup>124</sup> 和瓦莱罗精炼德克萨斯公司（Valero Refining-Texas LP）休斯敦炼油厂<sup>125</sup> 是其中两个，主要产品之一都是丙烯<sup>126</sup>。丙烯在塑料、精细化学品和地毯纤维生产中作为化学中间体<sup>127</sup>。该设施位于曼彻斯特 / 哈里斯堡的中心，与主要公园隔街相望，紧邻住宅区、礼拜场所、两所学校，还有一所服务周边 3 英里范围内居住的 8,747 名五岁以下儿童的幼儿发展中心。在瓦莱罗的旁边是康坦达化工（Contanda Chemical）储存设施，这里的 100 个钢桶容积为 226-74,475 桶成品油。目前该单位的总容积为 2,214,066 桶<sup>128</sup>。一处新的储存设施预计将于 2021 投入运营，提供 300 万桶额外容量和一个深水船坞。这个占地 1.42 平方公里的休斯敦船舶航道是通过与休斯敦港达成的协议建立的，以支持不断发展的石化和成品油行业。<sup>129</sup>

生态服务运营公司（EcoServices Operation Corp.）<sup>130</sup> 和亨茨曼国际公司（Huntsman International LLC）<sup>131</sup> 的曼彻斯特 / 哈里斯堡工厂总共释放 25 种致癌物质。前者的工厂毗邻 JR 哈里斯小学，98.2% 的学生为西班牙裔，89% 来自贫困家庭，62.6% 的儿童首次学习英语<sup>132</sup>。该厂主要生产硫酸，但也加工塑料和聚合物生产所需的辅助产品，如 Zeocros 塑料稳定剂、聚烯烃催化剂（聚乙烯、聚丙烯和其他聚合物生产中使用的二氧化硅）、Thermodrop 热塑性粒料以及其他多种产品<sup>133</sup>。

2018 年 8 月，里昂德尔巴塞尔公司（LyondellBasell）投资 24 亿美元，在该地区建造世界最大的环氧丙烷和叔醇工厂。环氧丙烷是一种潜在的致癌物质，用于生产聚氨酯塑料和其他聚醚<sup>134</sup>。上述扩建项目与最近在休斯敦船舶航道和德克萨斯州墨西哥湾沿岸竣工的乙烯扩建<sup>135</sup> 设施同步进行，后者是里昂德尔巴塞尔公司在美国增加 20 亿磅（约 90 万吨）乙烯产能计划的一部分。在大约 11 英里（约 18 公里）之外，该公司正在建造一座年产量为 90 万吨聚乙烯的工厂<sup>136</sup>。





© Carroll Muffett/CIEL

位于曼彻斯特 / 哈里斯堡以南不到 1 英里的是弗林特山资源公司 (Flint Hills Resources)，生产烯烃和聚合物，包括聚丙烯、乙烯、可发性聚苯乙烯和化学级丙烯<sup>137</sup>。2018 年 12 月，大型塑料制造商英力士 (INEOS) 完成了对该公司的收购。

如此多的与塑料相关的工业设施，表明曼彻斯特 / 哈里斯堡的居民与其他同类社区的居民一样，面临着重大的事故风险和其他风险。

美国环保组织地球正义 (Earthjustice) 表示：“关于德克萨斯州过去一年中各类事故所致的伤亡总数、就地避难和疏散命令，美国环保署尚未公布任何信息。”但是地球正义的跟踪数据显示，2017 年 3 月 14 日 (阿科玛化学灾难的初始日期) 至 2018 年 11 月 21 日期间，美国各地至少发生了 73 起事故。<sup>138</sup>

在化工设施周边社区面临的高得不成比例的污染、风险和死亡负担方面，曼彻斯特 / 哈里斯堡只是区区一例。它并不孤单。类似的社区还存在于美国墨西哥湾沿岸和世界各地。

## 在化工设施周边社区面临的高得不成比例的污染、风险和死亡负担方面，曼彻斯特 / 哈里斯堡只是区区一例。它并不孤单。类似的社区还存在于美国墨西哥湾沿岸和世界各地

此外，工人在生产过程中也会接触到大量有毒化学物质。在他们报告症状时，他们很少得到公司或政府的检测数据给予的验证。但与安全风险的情况一样，即使是官方报告也可能无法提供准确信息。“可接受的暴露限度”可能过高，并且这些水平没有考虑化学物质对人类的累积影响。<sup>139</sup>

如上所述，工人暴露于多种有毒化学物质，包括致癌物质和内分泌干扰物。它们尤其可能对女性的健康产生严重影响，这是因为此类化学物质是已知的乳腺癌起因，而内分泌干扰物则可能影响生殖系统<sup>140</sup>。工人主要是通过材料加热工艺和这些化学物质接触，该工艺使其更柔韧，以便制造塑料制品。释放的化学物质包括有害单体，如氯乙烯、苯乙烯、丙烯腈、双酚 A 和甲醛。这些化学物质被标记为致癌物质或内分泌干扰物，而暴露于这些物质可导致乳腺肿瘤、肝损伤、肺癌、卵巢囊肿、子宫内膜异位和乳腺癌等。此外，塑料生产中使用的添加剂 (包括增塑剂、阻燃剂和金属) 具有类似的致癌作用和内分泌干扰作用。本报告的其他章节对此做了进一步阐述。这些化学物质引起的疾病经常是在接触后数年才被诊断出来，并未体现在向政府提交的产业报告中。





## 第四章

## 消费者使用

无论塑料的用途是一次性的，比如聚苯乙烯咖啡杯<sup>141</sup>，或是多年使用，比如电视机外壳<sup>142</sup>，塑料在消费品中的使用都可能对人体健康产生不良影响。

量产塑料在二战结束后进入全球市场。最近对迄今塑料总产量的分析显示，截至2015年塑料累积总产量约为83亿吨。<sup>143</sup>

该分析把塑料分为三类：聚合物树脂、合成纤维和塑料添加剂。最普遍的塑料树脂的制造原料包括聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）、聚苯乙烯（PS）、聚氯乙烯（PVC）、聚对苯二甲酸乙二醇酯和聚氨酯（PUR）树脂。最常见的塑料纤维有聚酯、聚酰胺和丙烯酸（PP&A）<sup>144</sup>。

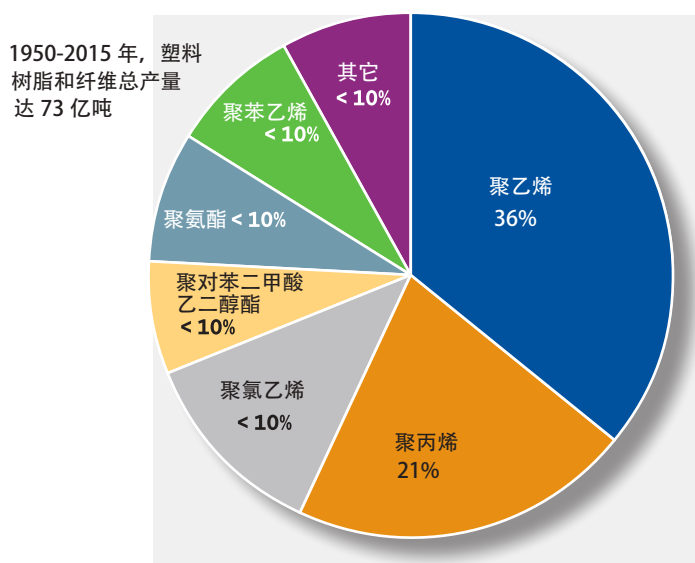
由于全球从可复用包装到一次性包装（包括容器）的转变，如今塑料最重要的市场是包装市场，占迄今塑料总产量的42%<sup>145</sup>。包装也是寿命最短的产品。大多数塑料包装在生产当年就停止了使用<sup>146</sup>，因为它们都是为一次性使用而设计的<sup>147</sup>。

## 塑料颗粒、增塑剂和其他化学添加剂

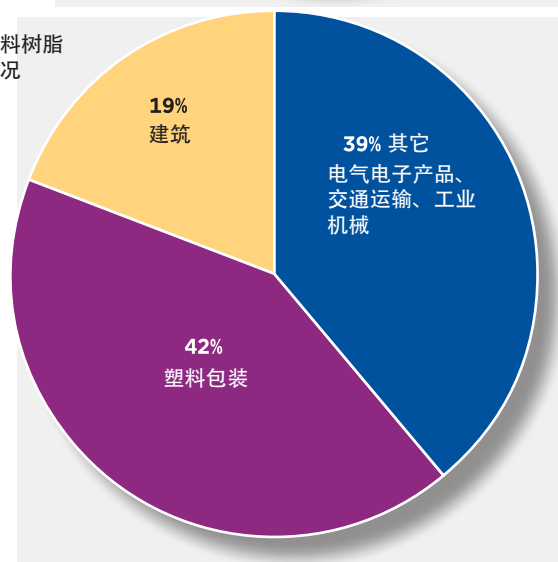
在考虑塑料对人体健康的影响时，我们在塑料颗粒（微塑料和纳米塑料颗粒）的影响和化学添加剂、增塑剂以及塑料颗粒相关污染物的影响之间必须有所区分。

图5

## 常见塑料树脂及其使用情况



非纤维塑料树脂的使用情况



来源：Roland Geyer, Jenna R. Jambeck and Kara Lavender, Law, Production, use, and fate of all plastics ever made.



图 6

### 主要塑料树脂类型及其在包装领域的应用



迄今为止，大多数关于微塑料和纳米塑料颗粒影响的研究都集中在对海洋生物的影响上，而它们对人类健康的影响受到的关注却少得多。新的数据表明，我们吃的食物、吸入的空气和饮用的水中都含有微塑料和纳米塑料颗粒（它们含有有毒化学添加剂）。科学家们因此担忧这些颗粒对人类健康的潜在影响。虽然我们对于微塑料和纳米塑料颗粒对人体健康的影响还不够了解，但新的研究结果使人们对“塑料是惰性和安全的”这一历史信念产生了严重质疑。越来越多的研究表明，塑料的两大特点，即质量轻和持久得令人难以置信的分子键，在使其成为能满足多样需求的理想材料，并帮助改善人类生活的同时，也使它们成为广泛、普遍存在和持久的人类健康威胁，并对我们依赖的生态系统构成了威胁。

有关方面对塑料中的增塑剂和其他化学添加剂，及其健康风险开展了更多的研究。然而，由于只有少数正在使用的化学物质经过了健康风险评估，因此仍然严重缺乏有毒添加剂的健康影响信息，特别是食品包装用的化学物质。关于长期暴露的累积风险，由于量化信息有限，因此更加难以充分了解塑料对人类健康的影响。

#### 用于塑料和消费品的增塑剂

塑料这一术语被用于指各种类型的聚合物，它们由聚合形成大分子链的单体合成。塑料可能会渗透出未反应的化学单体，其中一些具有危险性。在致癌单体释放方面最危险的塑料包括：聚氨酯（家具、床上用品和地毯背衬中的柔性泡沫）、聚氯乙烯（管道、包装、电线和电缆涂层，单体为氯乙烯）、环氧树脂（涂料、粘合剂和复合材料，如碳纤维和玻璃纤维）和聚苯乙烯（食品包装、光盘盒、消费品中的硬塑料，单体是苯乙烯）<sup>148</sup>。此外，双酚 A 这种对激素有干扰作用的增塑剂，作为聚碳酸酯塑料和环氧树脂罐内衬的未反应单体可能有渗透出。

在制造过程中可能会使用包括引发剂、催化剂和溶剂在内的多种化学物质和添加剂来创造聚合物<sup>149</sup>，包括稳定剂、增塑剂、阻燃剂、颜料和填料在内的其他化学添加剂则被用于提供各种特性。它们还可用于抑制光降解，增加强度、刚性和柔韧性，或防止微生物生长<sup>150</sup>。

大多数这些添加剂不与聚合物基质结合，并且由于它们的分子量较小，它们容易从聚合物<sup>151</sup>中渗入周围环境中，殃及空气、水、食物或身体组织<sup>152</sup>。随着塑料颗粒的持续降解，新的表层区域被暴露在外，使得其内部含有的添加剂持续释放于环境和人体中。<sup>153</sup>

对所有量产非纤维塑料的全球分析表明，就质量而言，它们平均含有 93% 的聚合物树脂和 7% 的添加剂<sup>154</sup>。某些聚合物含有比其他聚合物更高浓度的有毒添加剂。用于实现塑料柔性的增塑剂经常占最终产品的很大一部分，在某些产品中占 80%<sup>155</sup>。聚氯乙烯是填充了最多种添加剂的单体，包括保持聚合物稳定的热稳定剂，以及使聚合物变得柔韧的邻苯二甲酸酯等增塑剂<sup>156</sup>。聚丙烯对氧化非常敏感，因此含有抗氧化剂和紫外线（UV）稳定剂。

积聚在体内的微塑料是组织和体液的化学污染源。塑料、塑料单体和塑料加工剂中的各种化学添加剂具有已知的人体健康影响。例如邻苯二甲酸二（2-乙基己基）酯（DEHP）和双酚 A 等几种增塑剂会引起生殖毒性。其他如氯乙烯和丁二烯是致癌物质。苯和苯酚可致突变（即它们可能会改变生物体的遗传物质，通常是 DNA，从而增大突变的频率）。

一些最有害的添加剂包括溴化阻燃剂、邻苯二甲酸酯和铅热稳定剂<sup>157</sup>。已知可从塑料聚合物中渗滤出的其他有害化学物质包括抗氧化剂、紫外线稳定剂和壬基酚<sup>158</sup>。

#### 附文 4

### 塑料添加剂

添加剂被添加到塑料中以获得柔韧性（柔软剂和增塑剂）、耐热或耐日晒能力（稳定剂和抗氧化剂）、颜色和阻燃性，或作为填料。它们属于被低估的环境问题。最危险的添加剂类型包括溴化阻燃剂、邻苯二甲酸酯和铅化合物。一些溴化阻燃剂如多溴联苯醚（PBDEs）在结构上类似于多氯联苯（PCBs），它们是已知会在水生动物的脂肪组织中积聚的环境污染物，会引起神经毒性作用并改变甲状腺激素的功能<sup>159</sup>。用作软化剂或溴化阻燃剂的其他化学品会导致出生缺陷、癌症和荷尔蒙问题，女性尤其易受影响。一旦添加剂通过塑料焚烧等方式被释放，它们就会在环境中持续存在，并在食物链中积聚<sup>160</sup>。





表2

## 基于成分单体危险类别的某些塑料聚合物类型排序

聚合物	单体/添加剂	相对危害分数	回收代码	美国国家健康和营养检查调查 (NHANES) 中测出的成分
<b>具有最高相对危害分数的聚合物</b>				
柔性聚氨酯	环氧丙烷	13,844	6	
	环氧乙烷			
	甲苯二异氰酸酯			
聚丙烯酰胺 (PAN), 带有共聚单体	丙烯腈	12,379	7	丙烯酰胺
	丙烯酰胺			
	乙酸乙烯酯			
增塑聚氯乙烯	含增塑剂	10,551	3	邻苯二甲酸苄酯
	邻苯二甲酸丁酯 (BBP) 50% (重量)			
未增塑聚氯乙烯		10,001	3	
刚性聚氨酯	环氧丙烷	7,384	6	
	4,4'-亚甲基二苯基二异氰酸酯 (MDI)			
	环戊烷			
环氧树脂双酚A二缩水甘油醚 (DGEBA)	双酚a	7,139	7	
	环氧氯丙烷			双酚A
	4,4'-亚甲基二苯胺			
腈氯纶	丙烯腈	6,957		
	偏二氯乙烯			
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS)	苯乙烯	6,552	7	
	丙烯腈			苯乙烯
	1,3-丁二烯			
苯乙烯-丙烯腈 (SAN)	苯乙烯	2,788	7	
	丙烯腈			苯乙烯
高抗冲聚苯乙烯 (HIPS)	苯乙烯	1,628		
<b>具有最低相对危害分数的聚合物</b>				
低密度聚乙烯 (LDPE)	乙烯	11	4	
高密度聚乙烯 (HDPE)	乙烯	11	2	
聚对苯二甲酸乙二醇酯	对苯二甲酸	4	1	
聚乙酸乙烯酯 (PVA)	乙酸乙烯酯	1		
聚丙烯	丙烯	1	5	

在塑料制品合成中使用的数千种添加剂中，某些塑料类型含有比其他类型更多的添加剂。该表根据危险类别对聚合物类型进行了排序。

注释：来自不同成分单体的相对危害分数。排名越高=危害越大。

数据来源：改编自Lithner等人，2011年。

### 和塑料颗粒累积污染物相关的潜在威胁

塑料是疏水性的，这意味着它倾向于吸收多氯联苯和多环芳烃等疏水性的持久性有机污染物，同时在海水中循环<sup>161</sup>。累积的污染物可以浓缩至海洋背景水平的100倍<sup>162</sup>。研究人员发现，其中的某些化学物质在被海洋物种摄入后会被解吸到组织中<sup>163</sup>。虽然最近的一些研究得出结论，微塑料食入不太可能成为海洋生物暴露于有机污染物的重要来源<sup>164</sup>，但最近一项对温血生物（38°C, pH4）消化环境的条件予以模拟的研究表明，解吸速率可达海水中的30倍<sup>165</sup>。因此，在包括人类在内的哺乳动物体内，源自吸入或食入塑料碎片的污染物转移比原先想象的更重要。累积污染物的塑料碎片对身体负荷（体内的有毒化学物质总量）的总体贡献仍属未知<sup>166</sup>。预计陆地和海洋环境中的塑料累积量会继续增加，因此在寻求这个答案的同时也应采取预防措施<sup>167</sup>。

### 食品包装的化学物质

化学物质会从包装转移到食品中。这很常见，也是美国《联邦食品、药品和化妆品法》将食品包装用的化学物质定义为间接食品添加剂的原因<sup>168</sup>。化学物质从食品包装到食品和饮料的迁移，被认为是人类暴露于塑料相关污染物的主要来源<sup>169</sup>。用于食品接触的一些塑料聚合物在接触酸性或碱性食物、紫外线和热时会降解。在这些条件下会释放出像苯乙烯这样的有毒单体<sup>170</sup>。塑料添加剂则是多种不同的物质，可以完成多种功能。由于它们通常不与材料紧密结合，因此它们是渗入食物中的化学物质的另一种常见来源。非有意添加物质（NIAS）如杂质、副产物和污染物还会导致化学物质的迁移或渗透。相比之下，一些食品包装用的化学物质被设计成有意从包装中转移出来以实现多种功能，例如防止食物变质。<sup>171</sup>

### 附文5

### 全球最恶劣化学物质：持久性有机污染物

持久性有机污染物是一类高度危险的化学污染物，被认为是人类健康和生态系统面临的严重全球性威胁。由于持久性有机污染物带来风险，因此受到《斯德哥尔摩公约》的限制和禁止。短链氯化石蜡（SCCPs）、多溴联苯醚、壬基酚、辛基酚和全氟/多氟烷基化合物（PFAS）等塑料添加剂（软化剂和阻燃剂）是国际社会公认的持久性有机污染物。

具体而言，持久性有机污染物具有如下特征：

- 它们在特别长的时间内（多年）保持完好；
- 由于一些涉及土壤、水尤其是空气的自然过程，它们遍布于整个环境；
- 它们积聚在包括人类在内的生物体内，并以较高浓度存在于食物链中；
- 它们与人类和野生动物的癌症、生殖危害和其他疾病有关。

持久性有机污染物广泛存在于世界各地的环境中，可在食物链中传播，并由母亲传给婴儿。母亲从自己的身体将持久性有机污染物传给后代。对于人类和其他哺乳动物，持久性有机污染物会进入胎儿体内。婴儿通过母乳进一步暴露于持久性有机污染物。持久性有机污染物对发育中的胎儿最有害，可导致神经系统疾病和缺陷等健康障碍，并持续一生。持久性有机污染物的易感人群包括婴儿、少儿、妇女、营养不良以及免疫系统功能降低的病人或老人。

一些强有力的医学证据将以下人类疾病和残疾与一种或多种持久性有机污染物联系起来<sup>172</sup>：

- 癌症和肿瘤，包括软组织肉瘤、非霍奇金淋巴瘤、乳腺癌、胰腺癌和成年发作的白血病；
- 神经系统疾病，包括注意力缺陷障碍、攻击性及犯罪倾向等行为问题、学习障碍和记忆力受损；
- 生殖障碍，包括精子异常、流产、早产、低出生体重、后代性别比例改变、哺乳期母亲的哺乳期缩短，以及月经紊乱。



© iStockphoto/shorocks

**增塑剂易于迁移到食品和饮料中。一项学校膳食研究对食品在用邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和邻苯二甲酸二异壬酯(DiNP)材料包装前后的情况进行对比后发现,包装后,邻苯二甲酸酯平均浓度提高了100%以上<sup>176</sup>。单体双酚A从聚碳酸酯瓶中迁移到水中,其浓度随着热量增加而增大。环氧涂层罐的双酚A迁移甚至更令人担忧。**

从食品包装和其他食品接触材料迁移的化学物质即使在极低剂量下也可能是有害的。研究最多的物质包括<sup>173</sup>:

- 双酚A,存在于聚碳酸酯塑料(7号)、金属罐环氧树脂内衬,以及诸如纸质收据之类的非食品相关产品;
- 邻苯二甲酸酯,,包括邻苯二甲酸二异壬酯和邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯,后者是一种高产量邻苯二甲酸酯增塑剂;
- 己二酸二(2-乙基己基)酯(DEHA),一种非邻苯二甲酸酯增塑剂和用于肉制品包装的潜在致癌物质;
- 4-壬基酚,一种在某些橡胶制品和聚氯乙烯食品包装中存在的,抗氧化剂和热稳定剂三(壬基酚)亚磷酸酯(TNPP)的分解产物;
- 苯乙烯,用于制造聚苯乙烯和聚苯乙烯泡沫的单体。

- 全氟辛酸(PFOA)、全氟辛烷磺酸(PFOS)和全氟烷基酸(PFAAs)等全氟/多氟烷基化合物是有多种用途的常见化学品,为纸质包装、纸和纤维容器提供防油脂屏障(在最近的一项研究所测试的快餐包装当中,有三分之一发现了此类物质<sup>174</sup>);

- 高氯酸盐,用于食品包装的各种配方、垫圈封口,以及干燥食品包装中的抗静电剂。

除了缺乏对大多数食品包装用化学物质和塑料添加剂的测试外,也几乎没有任何研究能够揭示多种来源的累积暴露所致的影响。然而,大量研究表明化学物质可从包装迁移到食品中。例如聚氯乙烯保鲜膜和聚氯乙烯膜中的己二酸二(2-乙基己基)酯会渗入奶酪中<sup>175</sup>。

增塑剂易于迁移到食品和饮料中。一项学校膳食研究对食品在用邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和邻苯二甲酸二异壬酯材料包装前后的情况进行对比后发现,包装后,邻苯二甲酸酯平均浓度提高了100%以上<sup>176</sup>。单体双酚A从聚碳酸酯瓶中迁移到水中,其浓度随着热量增加而增大。环氧涂层罐的双酚A迁移甚至更令人担忧<sup>177</sup>。

虽然有更多的科学研究表明化学物质可从食品包装中迁移出来,但食品包装用化学物质的科学研究甚至几乎连问题的表面都未能触及。在用作食品包装添加剂的数千种化学物质当中,仅有少数几种经过了严格的测试<sup>178</sup>。至少有175种已知的有害化学物质(即内分泌干扰物、生殖毒物、致突变物或致癌物质)在美国和欧盟被用于食品接触材料中<sup>179</sup>。在美国批准的4,000种可有意添加到食品包装的化学物质当中,只有约1,000种已经通过健康风险评估,并且是以非常有限的方式评估<sup>180</sup>。在欧盟,食品包装和其他食品接触材料的制造商必须保证其产品的安全性,无论迁移物质是有意添加的,还是由杂质、副反应和污染造成的(第1935/2004号法规)。然而,这些非有意添加物质非常难以评估,并且成为很多争论的主题<sup>181</sup>。



由食品包装论坛牵头的一项倡议，汇编了一个与食品和非食品塑料包装相关的化学物质数据库，根据其对人体健康和环境的危害程度做了排序。该数据库目前包含 906 种可能与塑料包装有关的化学物质，以及 3,377 种可能相关的化学品，根据若干统一的危害数据来源其中至少有 148 种被确定为高度危险。这些化学物质在塑料中被用作单体、中间体、溶剂、表面活性剂、增塑剂、稳定剂、生物杀灭剂、阻燃剂、促进剂和着色剂等功能<sup>182</sup>。一些化学物质组别或类别被突出显示，表明它们引起了非常严重的关注，其中包括：有害金属（欧盟和美国禁止将其用于包装）、双酚、邻苯二甲酸酯和全氟 / 多氟烷基化合物。

研究鉴别出了两种全氟 / 多氟烷基化合物——全氟辛烷磺酸和全氟辛酸。二者在环境中非常持久，并可在食物链中累积。它们历来被用于食品包装，以便在纸质食品包装、快餐包装和微波炉爆米花袋等产品中形成防油脂屏障。由于全球对这类化学物质的关注度持续上升<sup>183</sup>，因此美国食品和药物管理局（FDA）最近采取行动评审这些化学物质，导致化工业决定停止在食品包装中使用它们。但令人遗憾的是，相关企业的做法是用另一些全氟 / 多氟烷基化合物来实现相同用途，而环境毒理学家则表示，这些替代品也对人类健康构成了重大威胁<sup>185</sup>。全氟辛烷磺酸和全氟辛酸受《斯德哥尔摩公约》的监管，而作为该公约的科学机构，持久性有机污染物审查委员会（POPRC）正对另一种全氟 / 多氟烷基化合物——全氟己烷磺酸（PFHxS）——开展评审。经济合作与发展组织（经合组织，OECD）已经确定了 4,730 种全氟 / 多氟烷基化合物。在上次会议上，持久性有机污染物审查委员会建议不要使用全氟辛酸和全氟辛烷磺酸的任何氟化替代品，这是“由于它们具有持久性和可迁移性，并可能对环境、人类健康和社会经济产生负面影响。”<sup>186</sup>





## 附文6

### 塑料详解

塑料有许多不同的尺寸。从纳米颗粒到大型塑料，塑料污染对健康的影响和暴露途径各不相同。迄今为止，还没有关于微塑料的国际定义。大型塑料通常被定义为直径大于5毫米的塑料物品。微塑料通常被认为是其最长点小于5毫米的合成有机聚合物颗粒。它们以不同的形状存在，可以是球形、碎片、颗粒、小丸、薄片、珠子、细丝或纤维。目前可以在小至1微米的环境采样中检测出微塑料，但很少有研究实际鉴别出直径小于50微米的颗粒。纳米塑料通常定义为1-100纳米直径<sup>187</sup>。

大型塑料通常以原始消费品形式进入海洋环境。最近，有关方面对六组不同国际海岸线数据中的20种最常见产品做了汇编，描述了进入环境的塑料制品的类型特征。在清单所列物品中，有75%是某种类型的食品和饮料包装（包装纸、瓶子和瓶盖、吸管、搅拌器、盖子、器皿、容器、杯子和盘子），余者则是与吸烟有关的产品（烟头、包装和打火机）以及各种其他产品，包括袋子、气球、尿布、避孕套、卫生棉条和六件装容器<sup>188</sup>。

表3

合并国家数据集：海岸线数据中的20种最常见产品

塑料制品	ICC	NOAA	MOT	拯救海湾 Heal the Bay	COA	Project Aware	合计	百分比
食品包装（糖果、薯片等）	318,880.0	272.0	16,315.0	307.0	14,827.0	217.0	350,818.0	18.6
瓶盖（塑料）	273,089.0	779.0	11,735.0	27,352.0	2,328.0	205.1	315,488.1	16.7
饮料瓶（塑料）	206,993.0	122.0	7,809.0	6,297.0	5,508.0	289.0	227,018.0	12.0
袋子（塑料）	157,702.0	39.0	6,970.0	5,249.0	7,871.0	313.0	178,144.0	9.4
吸管、搅拌器	125,635.0	172.0	4,645.0	4,026.0	8,102.0	165.0	142,745.0	7.5
盖子（塑料）	75,921.0	186.9	409.0	5,829.5	15,347.0	57.9	97,751.2	5.1
餐具	42,599.0	33.0	1,848.0	47,133.0	1,864.0	352.0	93,829.0	4.9
烟头*	51,550.5	25.3	2,337.9	6,775.9	643.0	9.1	61,341.7	3.2
外卖包装（泡沫）	41,805.0	102.9	537.7	17,696.0	548.0	8.3	60,697.8	3.2
外卖包装（塑料）	49,973.0	123.0	37.0	5,624.0	1,021.7	9.9	56,788.6	3.0
杯子、盘子（塑料）	48,559.0	14.6	732.6	1,862.2	1,766.0	9.6	52,943.9	2.8
雪茄烟头	41,211.0	47.0	328.0	6,243.0	2,351.0	16.0	50,196.0	2.6
杯子、盘子（泡沫）	42,047.0	12.4	4,495.7	690.0	2,021.0	8.3	49,274.5	2.6
烟草包装/包装纸	33,434.0	82.3	604.5	352.0	694.0	19.0	35,185.8	1.8
气球	23,492.0	19.0	1,442.0	5,263.0	480.3	13.0	30,709.3	1.6
其他塑料瓶	17,548.0	62.0	1,578.0	4,769.6	1,429.0	9.0	25,395.6	1.3
香烟打火机	10,750.0	24.0	676.5	10,750.0	405.0	3.0	22,608.5	1.2
个人护理产品（避孕套和卫生棉条施放器）	11,555.0	37.4	827.5	2,213.2	1,875.1	14.0	16,522.2	0.8
6件装容器	8,224.0	3.0	180.0	641.0	130.0	10.0	9,188.0	0.4
尿布	3,938.0	12.5	276.8	2,150.6	82.0	7.0	6,466.9	0.3
合计	1,584,905.5	2,169.3	63,785.2	161,223.9	69,293.0	1,735.1	1,883,112.0	100

\* 雪茄烟头数量除以20，表示包数而非根数。

进入环境的微塑料是初级或次级微塑料。初级微塑料通常被描述成作为微型尺寸原始产品来生产的塑料树脂，而次级微塑料则是较大消费品的降解物<sup>189</sup>。初级微塑料包括粉末和小颗粒形式的预生产树脂颗粒（尺寸<5毫米），用于制造塑料消费品。这些树脂颗粒是从加工和运输设施中释放出来的，主要原因是从铁路、卡车和储存场所转移到加工设施期间的管理不善<sup>190</sup>。其他初级微塑料包括手清洁剂、面部磨砂膏和牙膏等个人护理产品中使用的微珠。美国、加拿大、澳大利亚、英国、新西兰、中国台湾和意大利都禁止在个人护理产品中使用塑料微珠<sup>191</sup>。接受测试的个人护理产品含有0.05-12%的塑料微珠<sup>192</sup>。初级微塑料还用于各种工业应用，包括用于油气钻探和其他类型提取作业的流体中，用作喷砂作业的磨料，以去除船体上的油漆，并用于清洁发动机和金属表面<sup>193</sup>。

次级微塑料是在海岸线和垃圾研究中发现的各种大型塑料产品——例如 B.A.N. 清单 2.0 (B.A.N. List 2.0) 所列的前 20 种物品的降解物。根据世界自然保护联盟 (IUCN) 最近的一项研究，合成纺织纤维和汽车轮胎磨损颗粒是海洋中微塑料的两大来源<sup>194</sup>。

纳米塑料越来越多地用于油漆、粘合剂、药品和电子设备等产品以及 3D 打印等领域<sup>195</sup>。这些产品随后成为进入环境的初级产品。与微塑料的相似之处在于，次级纳米塑料也是由于微塑料在环境中的进一步降解造成的。

## 人体负荷

之前讨论的化学物质从包装到食品和饮料的迁移例子，证实塑料和食品包装是人类暴露于多种有毒化学物质的来源，而人类生物监测被认为是精确确定实际暴露水平的最佳方法。它可以测量尿液或血液中的化学物质、其代谢物或特定反应产物<sup>196</sup>。

**食品包装中使用的许多化学品也用于其他各种消费品中。大多数人之所以在不知情或不同意的情况下暴露，是因为塑料和包装中的化学物质不会出现在成分列表中。**

美国疾病预防控制中心的国家健康和营养检查调查对 2009 - 2010 年人口化学暴露做了最全面的调查。它在美国 92% 的儿童（至少 6 周岁）和成年人尿液样本中发现了双酚 A<sup>197</sup>，在几乎所有样本中检测到 15 种邻苯二甲酸酯中的 10 种<sup>198</sup>，还检测出了全氟辛酸和高氯酸盐<sup>199</sup>；在 51% 的受试者体内发现了 4- 壬基酚<sup>200</sup>。其他研究表明双酚 A 在人体血液和其他组织中很常见<sup>201</sup>。

食品包装中使用的许多化学品也用于其他各种消费品中。尽管生物监测数据并未揭示人体内特定化学物质有多少是接触塑料或包装的结果，但它的确证实了人类因暴露于多种有毒化学物质而承受明显且日益加大的身体负荷。大多数人之所以在不知情或不同意的情况下暴露，是因为塑料和包装中的化学物质不会出现在成分列表中。



表4  
塑料的常见有毒化学添加剂

有毒化学添加剂	含有此类添加剂的产品	健康影响
丙烯腈	饮水杯、亚克力地毯和其他纺织品、塑料家具、3D打印、汽车零件和电器。	致癌物质
双酚A	聚碳酸酯塑料、塑料餐具、牙科填料和眼镜镜片。 双酚A还用于制造环氧树脂，后者被用作玻璃容器盖子和铝罐衬里的涂层。双酚A也被用于涂覆某些热敏纸。	双酚A是一种内分泌干扰物。乳腺癌、前列腺癌、子宫内膜异位症、心脏病、肥胖症、糖尿病、免疫系统改变以及生殖影响都与双酚A对内分泌系统正常功能的干扰有关。在幼儿当中，出生前后双酚A暴露与大脑发育和行为的改变有关。
镉	用作塑料中的着色剂和稳定剂。	肺癌、子宫内膜、膀胱癌和乳腺癌与镉有关。镉还会损害人体的心血管、肾脏、胃肠道、神经系统、生殖系统和呼吸系统。
阻燃剂	塑料家居用品（泡沫、家具衬垫、窗帘和百叶窗）和电子产品（台式电脑、笔记本电脑、手机、电视和家用电器）。	一些阻燃剂是内分泌干扰物。相关研究还将阻燃剂与甲状腺破坏、对生育能力和免疫系统功能的影响，以及婴儿出生前后大脑和神经系统的发育损害联系起来。根据《斯德哥尔摩公约》，几种阻燃剂被禁止生产或使用，因为它们对人类健康和环境构成无法遏制的威胁。
铅	铅被用作塑料稳定剂，已出现在塑料珠宝 <sup>1</sup> 、乙烯基雨具 <sup>2</sup> 、午餐盒 <sup>3</sup> 和乙烯基百叶窗中。	在儿童中，铅会导致出生前后的生长减缓、智商下降，以及注意力缺陷和行为问题增加。在成人中，铅暴露与肾功能下降，以及高血压、神经紊乱和记忆问题的风险增加有关 <sup>4</sup> 。铅暴露没有安全水平。
全氟/多氟烷基化合物	用于雨具、家具衬垫和地毯的塑料织物上的防油脂和防污剂，并作为炊具上的塑料涂层。	全氟辛酸和全氟辛烷磺酸与人类疾病有关，包括妊娠并发症、低出生体重、睾丸癌、肾癌以及甲状腺问题。《斯德哥尔摩公约》持久性有机污染物审查委员会建议不要使用全氟辛酸和全氟辛烷磺酸的任何氟化替代品，这是“由于它们具有持久性和流动性，并可能对环境、人类健康和社会经济产生负面影响。”
邻苯二甲酸酯	增塑剂，用于使塑料柔软和柔韧。	邻苯二甲酸酯是内分泌干扰物。它们会伤害生殖和神经系统，尤其是对于胎儿和婴儿。阴茎的变形以及学习和行为问题都与邻苯二甲酸酯暴露有关 <sup>5</sup> 。研究还表明，家中邻苯二甲酸酯含量越高，家中儿童患哮喘或其他呼吸系统疾病的可能性就越大。 <sup>6</sup>
苯乙烯（又名“乙烯基苯”）	聚苯乙烯塑料和发泡聚苯乙烯。	致癌物质
氯乙烯	聚氯乙烯：塑料家具、地毯背衬、包装或墙面覆盖物。	肝癌
短链氯化石蜡	塑料消费品、儿童用品。	短链氯化石蜡对肾脏、肝脏和甲状腺有不良影响，会干扰内分泌功能，并被认为是人类致癌物质 <sup>7</sup> 。

1 环境健康中心，铅水平较高的珠宝品牌，<https://www.ceh.org/campaigns/legal-action/previous-work/fashion-accessories/lead-in-jewelry/jewelry-brands-with-high-levels-of-lead>

2 环境健康中心，儿童雨具中的铅，<https://www.ceh.org/campaigns/legal-action/previous-work/childrens-products/lead-in-childrens-raingear>

3 环境健康中心，午餐盒中的铅，<https://www.ceh.org/campaigns/legal-action/previous-work/childrens-products/lead-in-lunchboxes>

4 美国国家环境健康科学研究所，铅（2018年10月12日），<https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/lead/index.cfm>

5 更安全食品加工和包装联盟，食品中无处不在的化学品，<http://www.kleanupkraft.org/#info>

6 美国健康、环境与司法中心，聚氯乙烯，危害我国儿童和学校师生健康的毒塑料，[http://www.chej.org/pvcfactsheets/The\\_Poison\\_Plastic.html](http://www.chej.org/pvcfactsheets/The_Poison_Plastic.html)

7 UNEP/POPS/POPRC.11/0/Add.2 Risk profile on short-chained chlorinated paraffins Nov. 2015

## 微塑料颗粒的人体暴露途径

越来越多的证据表明人类暴露于微塑料的程度日益严重。最近的报告表明，微塑料正通过我们饮用的水、吃的食物和吸入的空气进入身体。2018年，维也纳医科大学和奥地利环境局的一项研究分析了来自芬兰、意大利、日本、荷兰、波兰、俄罗斯、英国和奥地利的参与者的粪便样本。每个样本都检测出微塑料阳性，并且检测出多达九种不同类型的塑料树脂。研究人员在平均每10克粪便中发现20个微塑料颗粒。该研究表明，塑料已出现在人体肠道中，并且所有食物链都可能受到了污染<sup>202</sup>。人类食物源和水源被微塑料污染的证据越来越多，将继续揭示暴露途径。第6章更详细地分析了与食物链环境污染有关的具体暴露途径及其对人类健康的影响。

## 饮水是微塑料的人体暴露源

非盈利记者组织 Orb Media 最近的一项研究成为头条新闻，其结论是：微塑料污染了世界各地的自来水。纽约州立大学弗雷多尼尔分校的研究人员分析了来自14个国家的159份自来水样本，其中一半来自发达国家，另一半来自发展中国家。在这些样本中，81%显示每升有0至61个颗粒。结果表明：总平均值为每升5.45个颗粒，美国的平均值最高（每升9.24个颗粒），而欧盟国家的平均值最低。来自较发达国家的自来水的平均密度较高（每升6.85粒），而发展中国家的平均密度较低（每升4.26粒）。98%的颗粒是纤维<sup>203</sup>。

Orb Media 与同一批研究人员对瓶装水做后续研究后，发现瓶装水中的塑料含量是之前自来水的两倍<sup>204</sup>。该研究测试了来自11个领先品牌的19个地点的259瓶水，并发现93%的样本中有微塑料颗粒，平均每升325个塑料颗粒。测试显示每升平均10.4个塑料颗粒，几乎是自来水研究平均值的两倍。



© Anna Gregory

**越来越多的证据表明人类暴露于微塑料的程度日益严重。最近的报告表明，微塑料正通过我们饮用的水、吃的食物和吸入的空气进入身体。**

自来水研究显示83%的污染率，98%的颗粒是微纤维，而瓶装水研究则显示93%的污染率，只有13%的颗粒被归类为微纤维。瓶装水样品中鉴别出的塑料包括聚丙烯、尼龙和聚对苯二甲酸乙二醇酯。大多数(65%)微塑料被确定为碎片，表明和自来水的污染源不同，研究报告的作者认为这可能与包装有关。在大于100微米的颗粒中，聚丙烯是最常见的(54%)聚合物材料，与用于瓶盖的最常见塑料一致。在亚马逊网站上购买的雀巢优活(Pure Life)水的平均微塑料密度最高，平均为2,247颗粒/升<sup>205</sup>。



表5  
消费品的微塑料平均密度

			平均微塑料密度 (微塑料颗粒/升)				
			NR + FTIR 确认颗粒 (>100微米)	NR 打标签 的颗粒 (6.5-100 微米)	合计		
品牌	批次	购买地点			均值	最小值	最大值
Aqua	IB 101119	印度尼西亚雅加达	6.68	30.4	37.1	3	133
Aqua	BB 311019 08:11 PSRL6	印度尼西亚巴厘岛	10.5	695	705	1	4,713
Aqua	BB 311019 09:50 STB1	印度尼西亚棉兰	6.93	397	404	0	3,722
Aquafina	Oct0719 0121PF100375	Amazon.com	14.8	237	252	42	1,295
Aquafina	BN7141A04117	印度钦奈	11.6	162	174	2	404
Bisleri	HE.B.No.229 (BM/AS)	印度钦奈	18	808	826	39	5,230
Bisleri	MU.B.No.298 (MS/AD)	印度孟买	8.85	204	213	2	1,810
Bisleri	SO.B.No.087 (AS/LB)	印度新德里	0.57	3.15	3.72	0	32
Dasani	Oct 0118NHBRB	Amazon.com	14.6	150	165	85	303
Dasani	P18NOV17CG3	肯尼亚内罗毕	6.28	68.3	74.6	2	335
E-Pura	17.11.18	墨西哥的墨西哥城	22.3	664	686	11	2,267
E-Pura	14.10.18	墨西哥蒂华纳	7.76	12.2	20	3	92
E-Pura	09.08.18	墨西哥雷诺萨	0.21	37.1	37.3	0	149
依云	PRD 03 21 2017 14:02	Amazon.com	26	171	197	126	256
依云	PRD 05 24 17 11:29	美国纽约弗雷多尼尔	1.51	56.7	58.2	0	256
Gerolsteiner	07.142018 2 07.07.2017	美国纽约弗雷多尼尔	14.8	1,396	1,410	11	5,106
Gerolsteiner	NV No. AC-51-07269	Amazon.com	8.96	195	204	9	516
Minalba	FAB: 211017 09:06SP	巴西圣保罗	2.56	37.5	40.1	4	199
Minalba	FAB: 160817 15:05SP	巴西阿帕雷西达迪戈亚尼亚	5.3	7.19	12.5	0	47
Minalba	FAB: 091217 16:53SP	巴西里约热内卢	5.01	145	150	0	863
雀巢优活	100517 278WF246	Amazon.com	29.8	2,247	2,277	51	10,390
雀巢优活	P: 4/11/17 01:34 AZ	黎巴嫩贝鲁特	11	38.2	49.3	6	153
雀巢优活	730805210A 23:28	泰国曼谷	18	450	468	11	3,526
San Pellegrino	BBE 11.2018 10	Amazon.com	1.68	28.6	30.3	0	74
娃哈哈	20171102 1214JN	中国济南	9.1	147	156	30	731
娃哈哈	20171021 3214GH	中国北京	5.53	61.2	66.7	13	178
娃哈哈	20171103 2106WF	中国青岛	4.4	62.7	67.1	1	165

注释：还提供批次的最大和最小密度。NR, Nile Red.

2018年，德国对塑料瓶、玻璃瓶和饮料纸盒中的饮用水做了研究，其结论支持了塑料包装本身可能导致瓶装水污染这一观点。该研究发现每种水中都有小型（50-500微米）和非常小（1-50微米）的微塑料<sup>206</sup>。他们测试了在德国杂货店购买的22种不同的可回收和一次性塑料瓶、3种饮料纸盒和9种玻璃瓶所装水的微塑料含量。这项研究使用了微拉曼光谱仪，相比于以前研究所用的技术，它能够检测更小的粒子。所有微塑料颗粒中，将近80%的直径在5-20微米之间（非常小），因此无法通过先前研究所用的分析技术检测。在可返还的塑料瓶中发现了最高水平的微塑料（每升 $118 \pm 88$ 个颗粒），而一次性塑料瓶每升含有 $14 \pm 14$ 个颗粒，饮料纸盒中的微塑料含量为每升 $11 \pm 8$ 个颗粒，玻璃瓶为每升 $50 \pm 52$ 个颗粒。

可返还塑料瓶装水的大部分颗粒被鉴定为聚酯（主要是聚对苯二甲酸乙二醇酯，占84%）和聚丙烯（7%）。这并不奇怪，因为瓶子由聚

对苯二甲酸乙二醇酯制成，而瓶盖则由聚丙烯制成。

在一次性塑料瓶的水中，仅发现少量微聚对苯二甲酸乙二醇酯颗粒。在饮料纸盒和玻璃瓶的水中，发现了聚对苯二甲酸乙二醇酯除外的微塑料颗粒，例如聚乙烯或聚丙烯。作者提出这可以通过以下事实来解释：饮料纸盒涂有聚乙烯薄膜，而盖子则用润滑剂处理过。作者得出结论：包装本身可能会释放出微颗粒<sup>207</sup>。

#### 微塑料颗粒的细胞和组织毒性

与塑料中使用的化学物质相比，人们对塑料颗粒在人体中的毒性作用知之较少。最近对微塑料颗粒潜在健康风险的评估表明：进入人体的微塑料可能导致炎症（与癌症、心脏病、炎症性肠病和风湿性关节炎等有关）、遗传毒性（损坏细胞内的遗传信息，导致突变，进而可能导致癌症）、氧化应激（导致许多慢性疾病，如动脉粥样硬化、癌症、糖尿病、类风湿性关节炎、缺血后灌注损伤、

© Qiu Bo/Greenpeace





## 附文7

### 儿童玩具里的有毒塑料软化剂

短链氯化石蜡被用作聚氯乙烯塑料、橡胶和地毯的阻燃剂。其他用途包括油漆、粘合剂和密封剂中的增塑剂。在诸如玩具、贴纸、衣服、运动装备、儿童护理用品和厨房用具等儿童产品中发现了超过允许水平的短链氯化石蜡。

2017年，国际消除持久性有机污染物网络、阿拉斯加社区反有毒物质行动组织（Alaskan Community Action on Toxics）和 Arnika 对 10 个国家的儿童产品开展调查<sup>208</sup>，发现短链氯化石蜡的广泛污染，它可对肾脏、肝脏和甲状腺产生不利影响，干扰内分泌功能，并被认为是人类致癌物质。<sup>209</sup>

研究发布后不久，短链氯化石蜡被添加到《斯德哥尔摩公约》中以便全球清除。但由于工业界的强力游说，公约设置的禁令伴随着允许在塑料生产中继续使用短链氯化石蜡这一漏洞，这表明目前全球监管框架在解决有毒塑料添加剂方面存在不足。

根据最近的一篇科学论文<sup>210</sup>，“其他任何持久性人造化学物质的产量都低于短链氯化石蜡”，并且有迹象表明它的产量正在增加。考虑到短链氯化石蜡具有远距离迁移和累积能力，以及工业界正密集游说以继续将其用作塑料添加剂，人类和环境的暴露程度因此可能会增大。



Jumprope purchased in Japan contains 19,808ppm of SCCPs

心肌梗塞、心血管疾病、慢性炎症和中风)、细胞凋亡(与包括癌症在内的多种疾病相关的细胞死亡)和坏死(与癌症、自身免疫疾病和神经变性相关的细胞死亡)。随着时间的推移，这些影响也可能导致组织损伤、纤维化和癌症<sup>211</sup>。

所有塑料都含有活性氧(ROS)或自由基，它们是含有氧的不稳定分子，很容易与细胞中的其他分子发生反应。细胞内自由基的累积可能会对脱氧核糖核酸(DNA)、核糖核酸(RNA)和蛋白质造成损害，并可导致细胞死亡<sup>212</sup>。塑料的光降解或与金属的相互作用可导致自由基的形成。与自由基形成相关的损伤可导致心血管疾病、炎症性疾病、白内障和癌症<sup>213</sup>。

炎症似乎是进入胃肠道或肺系统的微塑料和纳米塑料引起的主要反应<sup>214</sup>。一些文献分析了降解塑料假体植入物释放到体内的塑料颗粒的影响，表明炎症是塑料颗粒穿过呼吸道或胃肠道上皮这一过程引起的一个值得注意的后果<sup>215</sup>。研究人员观察到磨损导致的聚乙烯和聚对苯二甲酸乙二醇酯颗粒在人体内各处移动，穿过淋巴系统，到达肝脏和脾脏。聚乙烯磨损颗粒积聚在关节置换装置周围的淋巴结中，并且可能达到非常高的浓度，以至于它们完全取代淋巴结，导致严重的炎症。如果食入或吸入的微塑料能够穿过上皮细胞，则会发生类似的反应<sup>216</sup>。

#### 摄入和内脏间转移

微塑料和纳米塑料可穿过蟹<sup>217</sup>和贻贝<sup>218</sup>等海洋生物的胃肠道。但对哺乳动物的研究较少<sup>219</sup>。根据对药物输送系统和纳米聚合物从包装材料向食物迁移的研究，科学家认为，微塑料和纳米塑料颗粒的食入和吸入可能导致颗粒到达身体的各个部位并产生各种影响<sup>220</sup>。食入可导致胃肠道内塑料颗粒的吸收和转移，吸入可导致其转移到肺部，颗粒也可能进入循环系统<sup>221</sup>。





© Bo Eide

颗粒大小、表面电荷和亲水性是影响移位的重要因素。目前的共识似乎是小于 1 微米的颗粒可穿过肠壁，并可能更深入地渗透到系统循环中<sup>222</sup>。各种纳米材料已经从肠道进入循环系统，并沉积到肝脏和脾脏中<sup>223</sup>。根据体外研究的结果，与健康对照者相比，炎症性肠病患者可能表现出更高的结肠和粘膜组织吸收水平<sup>224</sup>。纳米颗粒和微颗粒可通过活细胞转移到淋巴或循环系统<sup>225</sup>，可能在次级器官中累积<sup>226</sup>，或损害免疫系统和细胞的健康<sup>227</sup>。微塑料的存在可能诱导蚯蚓和鲑鱼的肠道阻塞或组织磨损<sup>228</sup>。对人体细胞的一项研究表明，微塑料会导致细胞毒性<sup>229</sup>。

微颗粒和纳米颗粒从肠道进入循环系统时会发生什么，我们并不是很清楚，但很明显，颗粒大小、表面电荷、孔隙度和生理状况等因素都

被认为比较重要<sup>230</sup>。微塑料颗粒和纳米塑料颗粒与细胞和组织相互作用，并在主要器官中积聚，可能会产生毒性效应，但这需要更多的研究。

**所有塑料都含有活性氧或自由基，它们是含有氧的不稳定分子，很容易与细胞中的其他分子发生反应。细胞内自由基的累积可能会对脱氧核糖核酸、核糖核酸和蛋白质造成损害，并可导致细胞死亡。**

研究表明，人类由于使用塑料消费品和塑料包装而暴露于各种微塑料和有毒化学物质。虽然仍然存在许多知识缺口，但现有数据清楚地表明了人类健康所受的多种严重影响。





## 第五章

## 塑料废弃物管理

全球塑料产量和消费量的不断增长已经大大超过了目前所有废弃物处理方法的处理能力。与普遍看法相反的是，只有一小部分塑料废弃物在经济上或技术上适合循环使用。1950-2015 年期间，大约 49 亿吨塑料，即人类生产的全部塑料的 60%，被丢弃在垃圾填埋场或自然环境中，日积月累<sup>231</sup>。在这些废弃物中，60% 进入了环境（它们或被填埋，或成为海洋和陆地垃圾），12% 被焚化，只有 9% 被回收利用<sup>232</sup>。为了管理不断增加的塑料废弃物，一些城市和政府受到废弃物管理企业强大游说的影响，正在转向废弃物焚化手段。表面上，焚化看起来可能像是一种可行的快速解决办法，“变废为能”或“变塑料为燃料”有望减少废弃物数量并产生能量。然而，所有焚化技术的性质均与废弃物露天焚烧相同。尽管使用了不同的术语，无论废弃物的成分如何，焚化和露天焚烧都是将一种形式的废弃物转化为其他形式的废弃物，包括有毒排放物和有毒灰渣。

废弃物焚化产生的排放物包括重金属（汞、铅和镉等）、有机化合物（二噁英，例如多氯二苯并对二噁英，以及呋喃）、多环芳烃、挥发性有机化合物和其他持久性有机污染物——后者包括多氯二苯并呋喃（PCDF）、多氯联苯和六氯苯（HCB）<sup>233</sup>，以及酸性气体（包括二氧化硫和氯化氢）、颗粒物（灰尘和砂砾）、氮氧化物、一氧化碳和二氧化碳<sup>234</sup>。

## 附文8

## 全球垃圾露天焚烧情况

废弃物露天焚烧的定义是焚烧不需要的可燃物质，如纸张、木材、塑料、纺织品、橡胶、废油和其他堆放于大自然或露天垃圾场的碎片，这里的污染物被直接排放到空气中<sup>235</sup>。露天焚烧还可涉及缺乏排放控制的焚化设备，比如火炉。这种做法经常用于发展中国家<sup>236</sup>和农村地区，特别是那些只能获得有限数量的低成本燃料和废弃物管理系统不完善的社区。约有 28 亿人（占全球人口之比超过三分之一）依靠明火或烧煤油和固体燃料（包括木材、煤炭和废弃物）的简单炉灶来烹饪和取暖。根据世界卫生组织的《室内空气质量指南》（Guideline for Indoor Air Quality），这种做法导致大约 430 万人因呼吸和心血管疾病、肺癌、中风、慢性阻塞性肺病和肺炎而过早死亡<sup>237</sup>。还有证据表明：住宅空气污染与低出生体重、肺结核、白内障、鼻咽癌和喉癌之间存在联系。

一项研究发现：露天焚烧占全球人为释放的小颗粒物总量的 29%，汞排放总量的 10%，多环芳烃排放总量的 40%<sup>238</sup>。塑料焚烧可对健康造成严重威胁，例如聚氯乙烯导致二噁英排放量过高<sup>239</sup>。这种持久的生物累积毒物可扩散到空气和土壤中，影响附近的动植物。露天焚烧还可能导致野火及其相关的伤亡<sup>240</sup>。联合国环境规划署将露天焚烧定义为一种环境不可接受的过程，可导致无意形成并释放持久性有机污染物，并建议停止露天焚烧和其他不受控制的废弃物焚烧，包括垃圾填埋场的焚烧<sup>241</sup>。



燃烧的塑料和其他废弃物排放的烟雾和微粒可引发呼吸系统健康问题，特别是儿童、老年人、哮喘患者和慢性心脏病或肺病患者<sup>242</sup>，而多氯二苯并呋喃和多氯联苯是众所周知的致癌物质，释放的金属是已知的神经毒素。来自焚烧堆的排放物、飞灰和底灰的有毒污染物能够传播很远的距离，并沉积在土壤和水中，然后在食物链动植物的组织中累积，最终进入人体<sup>243</sup>。

### 变废为能

相较于露天焚烧，商业垃圾焚化炉在更受控制的条件下焚烧纸张、塑料、金属和食物残渣等废弃物，但仍产生空气污染物、底灰、飞灰、可燃气体、废水、废水处理污泥和热量。一些焚化炉使用的是用各种废弃物制造的垃圾衍生燃料（RDF），而另一些焚化炉则是传统焚烧炉，焚烧混合废弃物，通常被称为“混烧焚化炉”。后者在高于 1,000°C 的温度下焚烧废弃物。当在非传统焚化炉（如水泥窑、燃煤电厂和工业锅炉）中使用煤或生物质燃烧废弃物时，该过程被称为“共烧”。

**来自焚烧堆的排放物、飞灰和底灰的有毒污染物能够传播很远的距离，并沉积在土壤和水中，然后在食物链上的动植物组织中累积，最终进入人体。**

垃圾焚烧产业经常使用的委婉语，如“变废为能”和“废弃物能量”，大致包括大规模燃烧焚化和气化等热过程，以及厌氧消化和垃圾填埋气回收等非热过程。在本报告中，“变废为能”是指废弃物焚烧，包括混烧、共烧和垃圾衍生燃料，而其他形式的热过程，如气化、热解和等离子，则在“变塑料为燃料”类别下单独介绍。

### 垃圾焚烧业瞄准亚洲市场求发展

焚化的使用情况在全球范围内变化很大。欧洲有近 500 个焚化炉，截至 2016 年，塑料废弃物焚化比例为 41.6%<sup>244</sup>。据报道，在中国，2016 年有 231 个焚化炉在运营，另有 103 个在建造或规划<sup>245</sup>。其他工业化程度较高地区的焚化率较低，例如在美国，固体生活垃圾焚化率只有 12.5%，自 1997 年以来仅建造了一座新的焚化炉。根据垃圾焚烧行业自己的估计，该行业将以超过 5% 的复合年增长率稳步增长。预计到 2025 年，废弃物产生量将增加一倍，达到每天 600 多万吨，为焚烧行业创造巨大的增长潜力<sup>246</sup>。焚烧行业看好中国、印度、泰国和马来西亚的政府举措，瞄准了增长率超 7% 的亚洲市场<sup>247</sup>。但是，焚烧在许多国家引起极大争议，最近多国建设新焚化炉的尝试引起了反对，包括中国、印度、菲律宾、印度尼西亚、越南、马来西亚、泰国、南非、埃塞俄比亚、西班牙、英国、波多黎各、墨西哥、阿根廷、智利和巴西。

### 垃圾焚烧的环境健康影响

#### 燃烧塑料的有毒排放物

垃圾焚烧行业声称焚烧采用了非常先进的排放控制技术，可提供清洁能源，缓解气候影响和毒性。然而，大量证据表明了垃圾焚烧排放物和副产品的短期和长期有害影响。

与垃圾焚烧相关的空气排放物包括：金属（汞、铅和镉）、有机物（二噁英和呋喃）、酸性气体（二氧化硫和氯化氢）、微粒（灰尘和砂砾）、氮氧化物和一氧化碳<sup>248</sup>。工人和附近社区居民可能由于吸入受污染的空气，接触受污染的土壤或水，以及摄取在受这些物质污染的环境中生长的食物而直接或间接地接触这些有毒物质<sup>249</sup>。这些有毒物质威胁着植物、人类和动物健康以及环境，它们持续存在并在整条食物链中生物累积<sup>250</sup>。塑料焚烧还会增加能源结构中的化石含量，并增加排放到大气中的温室气体。

在一些国家，较新的焚化炉采用空气污染控制技术，包括布袋除尘器、静电除尘器和洗涤器。但过滤设备无法防止有害排放物——例如不受控制且对健康特别有害的超细颗粒<sup>251</sup>——逃逸到空气中。

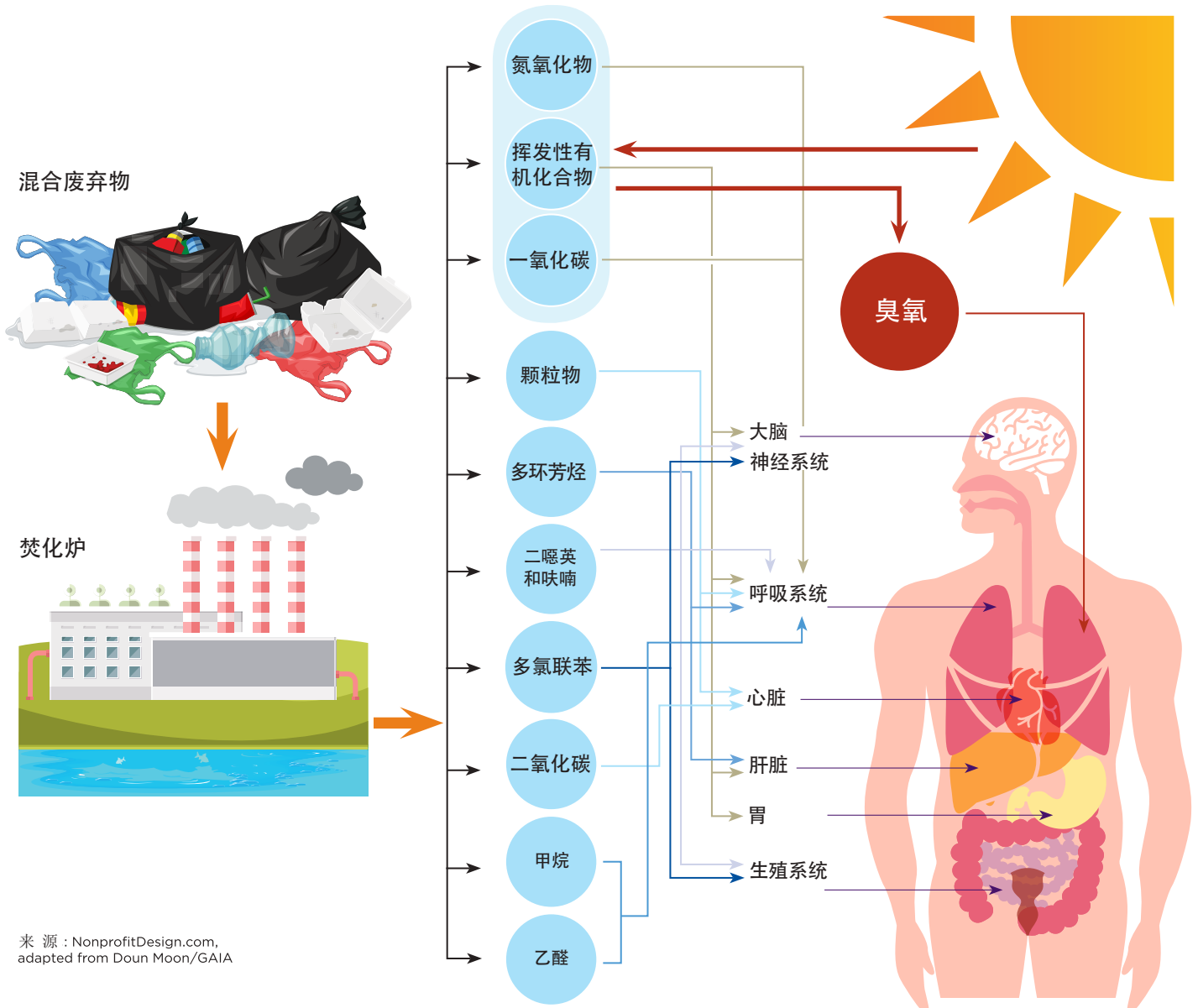
当设施启动或关闭，或者当废弃物的成分或体积发生变化时，也往往会发生故障，并且与正常运行条件相比，这些系统故障会导致更大的排放量<sup>252</sup>。据估计，在2015年，空气中的这类颗粒物导致全世界400多万人过早死亡<sup>253</sup>。有关

单位还在低收入和社会政治边缘化社区中不成比例地建造焚化炉，给他们带来有毒的灰渣和空气污染、噪音污染和事故<sup>254</sup>。

#### 焚烧后进入土壤和水的有毒副产物

除有毒空气排放外，焚化技术还在热处理的各个阶段产生剧毒副产物。通过空气过滤装置捕获的污染物被转移到焚烧的副产品中，例如飞灰、底灰、锅炉灰（也称为“炉渣”）和废水处理污泥<sup>259</sup>。底灰来自炉子，并与炉渣混合。

图7  
焚烧导致的有毒暴露途径





© iStockphoto/ReneDya

附文9

### 全球灰渣管理案例

尽管焚烧行业声称“无污染”，但已发生了几起焚烧厂剧毒灰渣管理失当的案例。2015年，有人发现瑞典此前五年在挪威的一个小岛上倾倒剧毒飞灰，导致重金属泄漏到奥斯陆峡湾和岛上发生爆炸的风险<sup>255</sup>。在中国的一项研究表明：由于缺乏有毒废弃物填埋场，焚烧灰被倾倒在无适当装备的垃圾填埋场<sup>256</sup>。2012年，有关机构对美国加利福尼亚州布特（Butte）县卡万塔（Covanta）倾倒的大量灰渣做了测试，发现二噁英含量很高<sup>257</sup>。最近，美国马萨诸塞州的灰渣填埋场因扩建计划未能满足卫生局许可要求而面临诉讼。马萨诸塞州癌症登记处（Massachusetts Cancer Registry）报告说，附近社区居民的脑癌、膀胱癌和肺癌发病率高于正常预期<sup>258</sup>。

飞灰是含有二噁英和呋喃等有害成分的烟气中的颗粒物，从烟囱中排出。飞灰的毒性大于底灰，因为它们容易随风飘散的小颗粒，更容易渗透出有毒成分<sup>260</sup>。在生活垃圾焚化厂，空气污染控制系统越高效，灰渣的毒性越大<sup>261</sup>。

焚烧产生的灰渣成为新的废弃物处理问题。灰渣最终可能会出现在填埋场（灰渣填埋场、危险废弃物填埋场和生活垃圾填埋场）等许多地方，与水泥混合，沉积在洞穴或矿井中，或被倾倒在空地、农田（灰渣有时被误标为肥料）、岛屿和湿地。灰渣中的金属和有机化合物可能会渗透出（例如它们可能会溶解并从灰渣中迁移到雨水或是与灰渣混合的其他水中），并迁移到地下水或附近的地表水中，进一步扩大人类毒性暴露循环。除了威胁供水外，焚化炉灰渣还可通过人类直接吸入或食入空气中或沉降的灰渣来影响其健康。<sup>262</sup>

垃圾焚烧灰渣对当地和全球环境以及人类健康构成严重威胁。它们含有大量无意产生的剧毒持久性有机污染物，包括《斯德哥尔摩公约》附录 C 所列的那些，如二噁英、呋喃、多氯联苯和六氯苯，它们具有致癌性，致突变性并 / 或危害生殖健康<sup>263</sup>。灰渣还含有重金属，包括砷、钡、镉、铬、铜、钼、镍、铅、锡、锑、硒和锌，它们来自塑料和家庭危险废弃物<sup>264</sup>。已知这些物质会通过工业暴露、空气或水污染以及摄入导致重金属中毒。

### 变塑料为燃料

气化、热解和等离子弧通常被统称为“变塑料为燃料”方法，旨在将废弃物转化为合成气体或合成油，然后燃烧以减少废弃量。它们在美国和欧洲被归类为焚烧方式，原因是该过程涉及废弃物的热处理和所产生气体的燃烧。<sup>265</sup>

- 气化：含碳材料在 540-1,540°C 的温度下进行热转换，并且空气或氧气供应量有限<sup>266</sup>。气化会产生污染物和由一氧化碳、氢气和二氧化碳组成的合成气，需要先进的污染控制技术<sup>267</sup>。来自空气污染控制设备的废气、炉渣和飞灰以及废水是气化的副产品，类似于垃圾焚烧<sup>268</sup>。

- 热解：有机物质在高温下的无氧热化学分解。热解在温度高于 400°C 的无氧环境中发生<sup>269</sup>。反应过程中产生的合成气通常被转化为生物柴油等液态烃。其他副产物通常是未转化的碳和 / 或木炭和灰，其中固结了重金属和二噁英。<sup>270</sup>

- 等离子弧：等离子炬提供 2,200-11,000°C 的补充热量，以产生合成气和热量<sup>271</sup>。据报道，该技术生产的炉渣有渗滤出砷和镉等重金属的风险<sup>272</sup>。

### 较低可行性及最近的失败趋势

变塑料为燃料市场一直在增长，有关单位越来越多地尝试发展商业规模的固体生活垃圾气化业务。到目前为止，由于操作经验不足、成本高、缺乏资金和环境问题，这些尝试通常延迟多年并高调地失败<sup>273</sup>。最近的一项研究得出结论，认为固体生活垃圾热解的热力学可行性值得怀疑，该技术对环境造成危害。因此，它尚未被证明是一种可持续的废弃物处理技术和能源。<sup>274</sup>

气化、热解和等离子弧通常被统称为“变塑料为燃料”方法，旨在将废弃物转化为合成气体或合成油，然后燃烧以减少废弃量。它们在美国和欧洲被归类为焚烧方式，原因是该过程涉及废弃物的热处理和所产生气体的燃烧。

### 环境健康影响

废弃物气化会产生剧毒的一氧化碳，其浓度远高于致命剂量<sup>275</sup>。有毒、酸性和可冷凝的碳氢化合物（焦油）是不可避免的气化副产物，并且当设施处理混合废弃物时，由于难以稳定该过程，因此会产生大量此类物质<sup>276</sup>。当压力增大时，有毒气体会逃逸到空气中<sup>277</sup>。如上所述，热解和等离子弧的副产物含有浓缩的有毒物质，它们可能潜入环境中。更一般而言，塑料废弃物的热处理会导致二噁英和多氯联苯等持久性有机污染物以及来自塑料废弃物原始成分的铅、砷、汞和其他重金属的排放：来自石油、气体或煤的聚合物，它们已经与阻燃剂和 / 或增塑剂等有毒添加剂结合<sup>278</sup>。



## 附文 10 有毒循环

含有有毒化学物质的材料回收再生的行为会污染消费品，导致危险化学品再次暴露和重新释放到环境中。有毒循环是真正循环经济的一大阻碍。就持久性有机污染物而言，它们的持久性、毒性以及污染食物链和远距离迁移的能力构成了特别的挑战。

国际消除持久性有机污染物网络的《毒漏洞：将危险废弃物循环再生到新产品中》(Toxic Loophole: Recycling Hazardous Waste into New Products) 报告<sup>279</sup> 表明：包括由电子废弃物再生制成的玩具在内的消费品，均被有毒化学物质污染。产品测试显示欧洲销售的产品含有受限或禁用的多溴联苯醚，这是一组在电子废弃物中发现的有毒阻燃化学物质。

在收集的 430 个塑料制品中，有 109 个被确定为可能含有源自电子废弃物的阻燃剂。对这 109 个制品的更详细化学分析表明：

- 94 个样品 (86%) 含八溴二苯醚 (OctaBDE)
- 100 个样品 (92%) 含十溴二苯醚
- 儿童玩具中发现的多溴联苯醚浓度最高，其次是发饰和厨房用具。来自葡萄牙的玩具吉他含有最高的多溴联苯醚浓度 (3,318 ppm，或产品重量的 0.3%)，是塑料中该物质最保守限值的 3 倍。

已知多溴联苯醚会破坏人类甲状腺功能，影响发育中的大脑并造成长期的神经损伤<sup>280</sup>。研究表明，多溴联苯醚暴露与儿童多动及注意力较差有关<sup>281</sup>。儿童玩具污染特别令人担忧，这是因为儿童喜欢把物品放在口中，因此有可能摄入这些有毒物质。

如果该项研究中分析的产品是由新塑料而非回收材料制成的，那么几乎一半的产品不符合欧盟关于持久性有机污染物管制的法规，它要求新塑料所制物品的十溴二苯醚浓度不得超过 10 ppm。新塑料和再生材料所制物品的多溴联苯醚含量之所以存在不同标准，是由于法规对废弃物所含持久性有机污染物的限值定得较弱，没有考虑到有待回收的废弃物流的潜在毒性。这个问题远远超出了欧盟的边界。《斯德哥尔摩公约》对五溴二苯醚 (PentaBdE) 和八溴二苯醚循环再生豁免，助推了循环再生目标的全球化，也导致多溴联苯醚的排放和暴露会以全球有毒遗产的形式长期存在。

市售天然气的环境安全性仍然值得怀疑。天然气燃烧时会释放镍、铅和其他有毒金属的超细颗粒<sup>282</sup>。塑料衍生燃料的废气排放量比柴油更高，硫含量比汽油和柴油都更高<sup>283</sup>。当燃料被出售并配送至其他地方的各个产业以用于车辆和锅炉等不同场合时，对这些燃料进行监测并实施严格的空气污染控制措施，堪称一大挑战。

氢气和一氧化碳这两种高度易燃的气体也会产生火灾和爆炸隐患<sup>284</sup>。启动和关闭操作以及不受控制的进气增加了潜在的爆炸风险<sup>285</sup>。瑞典曾有六年记录了 2,865 起气化炉火灾<sup>286</sup>。

### 其他路径和未知情况

近年来，为了处理塑料废弃物，有关方面提出了其他许多技术或策略，例如化学循环或使用塑料废弃物来制造道路或建筑材料。

### 化学循环

化学循环的定义是：把塑料通过化学方法转化为其基本成分，以再次生产塑料这种材料。虽然有关单位正在探索塑料的各种热化学和催化转化<sup>287</sup>，但关于高温处理逸散性排放物毒性、溶剂管理、工艺经济性和催化剂效率，仍然存在许多未知数。有时，“化学循环”术语是指通过气化和热解等焚烧方法将塑料转化为燃料。在这种情况下，“化学循环”与垃圾焚烧具有相同的环境健康问题。对声称应用“化学循环”的多个设施的检查表明，这些设施实际上是在开展“变塑料为燃料”的作业。<sup>288</sup>

### 用废弃物制造的道路和建筑材料

近年来出现了“塑料变道路”（或称“塑料沥青”）和“塑料变砖”项目，以利用焚化炉底灰在路基施工、散装填料、混凝土块体制造或混凝土灌浆作业中代替骨料。<sup>289</sup>





© iStockphoto/Sjo

- **塑料变砖**：塑料砖由两根铁棒在砖模中压制而成。模具中充满了达到气密数量的塑料废料，并在太阳能烤架中加热一小时，然后立即喷射冷却；<sup>290</sup>

- **塑料变路**：将收集并经过清洁的塑料废料切碎成均匀尺寸（2-4 毫米）。然后将混合物在 160-180°C 下熔化，并在相似温度下与热骨料和沥青混合。<sup>291</sup>

虽然大多数“循环再生”新方法的毒性尚待探讨，但已知它们存在与加热塑料、化学添加剂和微塑料相关的健康风险。聚丙烯、聚乙烯和聚苯乙烯等聚合物在加热时会向大气释放中高毒性排放物，如一氧化碳、丙烯醛、甲酸、丙酮、甲醛、乙醛、甲苯和乙苯<sup>292</sup>。鉴于约有 58.8 万吨已用于道路标记的塑料由于风化或车辆造成的磨损而无意释放微塑料<sup>293</sup>，因此随着道路中塑料废料使用量的增加，无意损耗的塑料、添加剂和微塑料的数量只会增加。在使用和处置这些材料期间，建筑材料引发了关于微塑料和相关化学物质排放的进一步疑问。

近年来出现了“塑料变道路”（或称“塑料沥青”）和“塑料变砖”项目，以利用焚化炉底灰在路基施工、散装填料、混凝土块体制造或混凝土灌浆作业中代替骨料。

附文 11

### 面临特定风险的拾荒者

在从废弃物收集到塑料运输、分类、洗涤、加热和熔化的废弃物循环处理的各阶段，拾荒者承受着极高的健康风险。由于长期频繁接触粪便、医疗废弃物，以及废弃物、空气排放物或加工过程中的副产品渗滤出的化学有害物质，他们面临呼吸系统疾病等慢性病风险<sup>294</sup>。对于成千上万的拾荒者，特别是在欠发达国家或社区的恶劣条件下从事塑料收集、回收和处置的人，国家政府和地方当局应提供适当的医疗保健和社会保障，以确保其职业健康和安全。<sup>295</sup>



sustainable  
coastlines  
Hawaii



## 第六章

# 环境中的塑料

人类文明正面临越来越沉重的塑料污染负担。环境中有无数的塑料来源，包括工业和农业废弃物、汽车轮胎磨损导致的颗粒物、灰尘、垃圾填埋、废水和故意乱扔的垃圾等。塑料很容易从海洋、淡水和陆地环境中分散到空气、土壤、河流、湖泊和海洋中。它不仅难看，而且还可能对全球生态系统和人类健康产生严重的负面影响。塑料碎片无处不在，甚至殃及海洋最深处，即西太平洋 11.034 公里深的马里亚纳海沟<sup>296</sup>。数十年来废弃物管理不善，加上塑料的过度生产和快速消耗，使问题更加严重。2010 年，人类向海洋中排放了 480-1,270 万公吨塑料<sup>297</sup>。一项研究预测，海洋中可能有大约 5.25 万亿块塑料碎片，重约 26.9 万吨，但这些数字几乎无法核实。<sup>298</sup>

紫外线、风和波浪作用等风化方式将环境中的塑料碎片变成更小的微米和纳米尺寸的碎片（见附文 6 的定义）。在鲸和其他许多海洋物种的消化系统中发现了大量的塑料<sup>299</sup>。过去二十年，较小的塑料片对微观海洋生物的影响已开始显现。研究表明，人类的确有可能遇到微塑料，原因是这些颗粒已在许多市售鱼类和贝类<sup>300</sup>，以及世界各地城市中心的街道尘埃样本中被发现<sup>301,302,303</sup>。最近一项未发表的研究表明，微塑料也存在于全球人类粪便中。<sup>304</sup>

微塑料之所以特别值得担忧，是因为它们具有相对大的表面积并可深入渗透到生物体中，并吸引（吸附）或释放（解吸或渗滤出）化学添加剂或污染物。<sup>305</sup>

研究表明，塑料碎片对野生动物有直接影响，包括缠结、消化系统受阻和毒理学影响。从人类健康的角度来看，吸入或食入微塑料的影响取决于尺寸、化学成分和形状等因素，所有因素都会影响颗粒是否会从体内排出或被细胞吸收，并且是否可能移位。微塑料对环境和人类健康的间接影响尤其难以确定。迄今为止的大多数调查都是在海洋环境中进行的，并且很明显，微塑料以人类尚未完全理解的方式在与生态系统的每个部分相互作用。新的研究表明，除了下文描述的人类健康影响外，还可能在与塑料污染相关的大规模生态风险，包括鱼类种群的健康和海洋碳储存的改变，这可能对食品安全和气候安全产生长期影响。<sup>306</sup>

人类无疑需要立即着手应对塑料污染及其相关不确定性，但国际政策讨论仅达到了与 27 年前的 1992 年全球气候变化谈判相当的阶段。相关各方认识到需要采取全球行动并授权确定各种备选方案，但讨论进度缓慢，行业阻力很大，具体承诺少之又少<sup>307</sup>。为了控制塑料废弃物负担，科学家们正在呼吁制定涉及塑料全生命周期的国际法，例如减少聚合物和有毒添加剂的产量，制定塑料回收利用和废弃物管理实施目标，以及走向循环经济。<sup>308,309</sup>



预计环境中原本就很多的微塑料还会增加，需要更多的信息来了解这将对人类健康有何影响。有关机构正在定期发布研究结果，并正拟定实验室（和田野）研究的采样检测标准，以使结果更具可比性。然而，尽管全球监管政策仍处于制定阶段，但一些医疗从业者已开始表示对食品中存在微塑料一事的担忧。<sup>310,311</sup>

附文 12

### 生物塑料真相

生物塑料（或称“生物聚合物”）与传统塑料不同，原因在于它由玉米、木薯、甜菜或甘蔗等可再生植物原料，而非石化产品制成。生物塑料可以像常规塑料一样通用，并被用于制造各种商品。食品包装用途包括咖啡杯、瓶子、盘子、餐具和蔬菜袋；医疗应用包括手术缝合、植入和骨折固定；其他商业应用包括面料。生物塑料包括聚乳酸（PLA）、植物衍生的聚对苯二甲酸乙二醇酯和聚羟基链烷酸酯（PHA），并可能是生物聚合物、石化衍生塑料和纤维的混合物。

生物塑料并非一定就是可生物降解的。植物基聚对苯二甲酸乙二醇酯所用材料与其石化等效物无法区分。植物基聚对苯二甲酸乙二醇酯和石化聚对苯二甲酸乙二醇酯一样，也不会分解，但可与传统聚对苯二甲酸乙二醇酯一起回收。因此，植物基聚对苯二甲酸乙二醇酯的环境影响与常规塑料相同。聚乳酸不适于家庭堆肥；生物降解需要使用高温（>58°C）和 50% 相对湿度的工业堆肥工艺，而大多数家用堆肥机在低于 60 摄氏度的温度运行，且很少超过此温度。

纯生物塑料在分解时会释放出二氧化碳（或甲烷）和水。然而，如果在制造过程中添加添加剂或有毒物质（事实往往如此），则这些物质在降解期间可能被释放。与基于化石燃料的塑料一样，生物塑料可添加化学物质以增大强度，防止起皱或赋予透气性。进一步的研究和生命周期分析将有助于了解不同生物塑料的作用和影响。

科学家们预测，如果我们摄入微塑料，就可能承受与塑料颗粒相关的化学物质的物理效应和 / 或毒性效应。考虑到空气、食品和饮料所含微塑料的多种暴露途径，需要进一步研究以充分了解其效应。筹划卓有成效的人体健康研究以查明人类摄入微塑料的毒理学影响，是一项困难的工作。大规模人群研究面临许多混杂因素，因为我们在日常生活中会接触到各种有毒物质，而实验研究往往脱离实际。欧盟对某些污染物（包括汞、农药和食品中的某些工业化学物质）出台了规定，但对于供人食用的海产品中的微塑料则暂无规定<sup>312,313</sup>。以下是一系列人类食物塑料污染研究：

#### 塑料的食入

如第 4 章所述，塑料食品包装和饮用水因含有微塑料和相关有毒化学物质而成为重要的食品污染源。然而，污染源不仅是包装食品，天然食物链也是人类污染的来源。迄今为止，大多数研究都集中在海洋食物上，并且仍存在许多知识空白。需要对海洋和陆地食物链污染做更多研究。

#### 鱼类和贝类

塑料在空气、农业土壤、淡水和海洋环境中无处不在并且持久存在。迄今为止，很多研究都聚焦于塑料在海洋中的影响。我们已经发现塑料漂浮在每个海洋，存在于沉积物中，海洋最深处也未能幸免。<sup>314</sup> 已经有证据显示，从微观浮游动物到大型海洋哺乳动物的 690 多种海洋物种已经摄入了微塑料。在许多具有重要商业价值的物种体内也发现了微塑料。<sup>315,316</sup>

在人体内，大部分从海鲜中摄取的微塑料可能来自完全可食用的物种，如贻贝、牡蛎、虾、螃蟹和一些小鱼。然而，人类和微塑料的接触可能不仅限于食用上述物种这条途径——诸如鱼的肌肉组织之类的海产品可能在生物体内或在制备过程中受到污染。<sup>317</sup>

在诸如大西洋鲭鱼 (*Scombrus scombrus*)、大西洋鲱鱼 (*Clupea harengus*)<sup>318</sup> 和鲽鱼 (*Pleuronectes plastessa*)<sup>319</sup> 之类的许多商业物种的消化道中发现了微塑料。有证据表明,微塑料可以从欧洲鳀 (*Engraulis encrasicolus*) 等物种的消化道转移到肝脏中。<sup>320</sup>

研究表明,挪威龙虾 (*Nephrops norvegicus*, 常称为“挪威海螯虾”)和蜘蛛蟹 (*Maja squinado*) 体内含有微塑料<sup>321,322</sup>。螃蟹食入或通过鳃吸入微塑料<sup>323</sup>。尽管它们的鳃和消化道在人类进食之前被去除,但它们在烹饪时仍可能存在,这是因为螃蟹是整个烹饪的。因此,微塑料和任何相关的化学污染物可能存在于烹饪液中。在野生虎虾 (*Penaeus semiculatus*) 和褐虾 (*Crangon crangon*) 壳体内及消化道外的区域和肌肉组织中也发现了微塑料。<sup>324,325</sup>

人们在蓝贻贝 (*Mytilus edulis*)、花蛤 (*Venerupis philippinarum*) 和长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 等野生和养殖的软体动物中发现了微塑料,所有这些都是滤食动物<sup>326,327,328,329</sup>。微塑料可以扩散到贻贝的每个组织,这与鱼类截然不同,后者体内的微塑料(迄今为止)主要出现于消化道内<sup>330</sup>。一项研究发现,从英国超市购买的所有贻贝样品中都有微塑料<sup>331</sup>。从超市购买的熟贻贝比那里的鲜活贻贝含有更多的微塑料。

有机构在分析从马来西亚当地市场购买的四种干鱼后得出结论:人们每年可能消耗多达246种人造颗粒(微塑料和颜料)<sup>332</sup>。分析报告的作者因此得出结论:需要对微塑料颗粒如何产生毒性效应做更多研究。

### 海藻

一项实验室调查的主题是人类能否因食用海藻而暴露于微塑料。调查结果表明:在高度暴露情况下,微塑料颗粒可能粘附在可食用的海藻物种墨角藻 (*Fucus vesiculosus*) 的表面<sup>333</sup>。



© Stockphoto/twildlife

不过洗涤可使微塑料颗粒的数量减少 94.5%。

### 盐

在来自海洋、湖泊和岩盐的精盐中发现了微塑料颗粒<sup>334,335,336,337</sup>。然而,实验室方法的差异可能使我们难以对不同研究予以比较,并且在未来,标准化措施应该会使结果的解释更加直接。研究人员已经发现岩盐和海盐的样本含有微塑料,这表明在海洋和陆地环境中存在高背景水平的塑料污染<sup>338</sup>。用塑料包装的袋装盐和其他食品在加工和包装过程中也可能被微塑料污染。



© Carroll Muffett/CIEL

### 其他食品和饮料

微塑料在陆地、海洋和淡水环境中普遍存在<sup>339</sup>。研究人员已发现微塑料污染瓶装水<sup>340,341</sup>、自来水<sup>342</sup>、啤酒<sup>343,344</sup>、蜂蜜和糖<sup>345</sup>。微塑料颗粒的来源难以确定，它们可能来自环境来源，其中包括水、用作肥料的废弃物处理污泥，以及加工和包装过程。

### 食物链中的微塑料

微塑料可抗降解。实验室的实验表明，微塑料和纳米塑料可从猎物转移到食肉动物，并且和塑料相关的化学添加剂和污染物也可通过食物链传播<sup>346,347</sup>。研究人员发现，常见的岸蟹因被喂食塑料污染的贻贝，也摄入了微塑料珠子和纤维<sup>348</sup>。一项研究发现，纳米塑料很容易通过食物链从藻类 (*Chlamydomonas reinhardtii*) 传播到大型蚤 (*Daphnia magna*) 再到中华青鳉 (*Oryzias sinensis*)，直至顶部捕食者黑鲢鱼 (*Zacco temminckii*)<sup>349</sup>。另一项研究则考察了在凯尔特海捕获的鳎鱼和蜘蛛蟹消化道中的鳞柄玉筋鱼 (*Ammodytes tobianus*)，

由此记录下微塑料在野外是如何从猎物转移到捕食者体内的<sup>350</sup>。海洋生物与微塑料之间复杂的相互作用，凸显出微塑料进入食物链的多种可能途径<sup>351,352,353</sup>。研究表明，人类暴露于来自多种食物源的微塑料，详见图2。

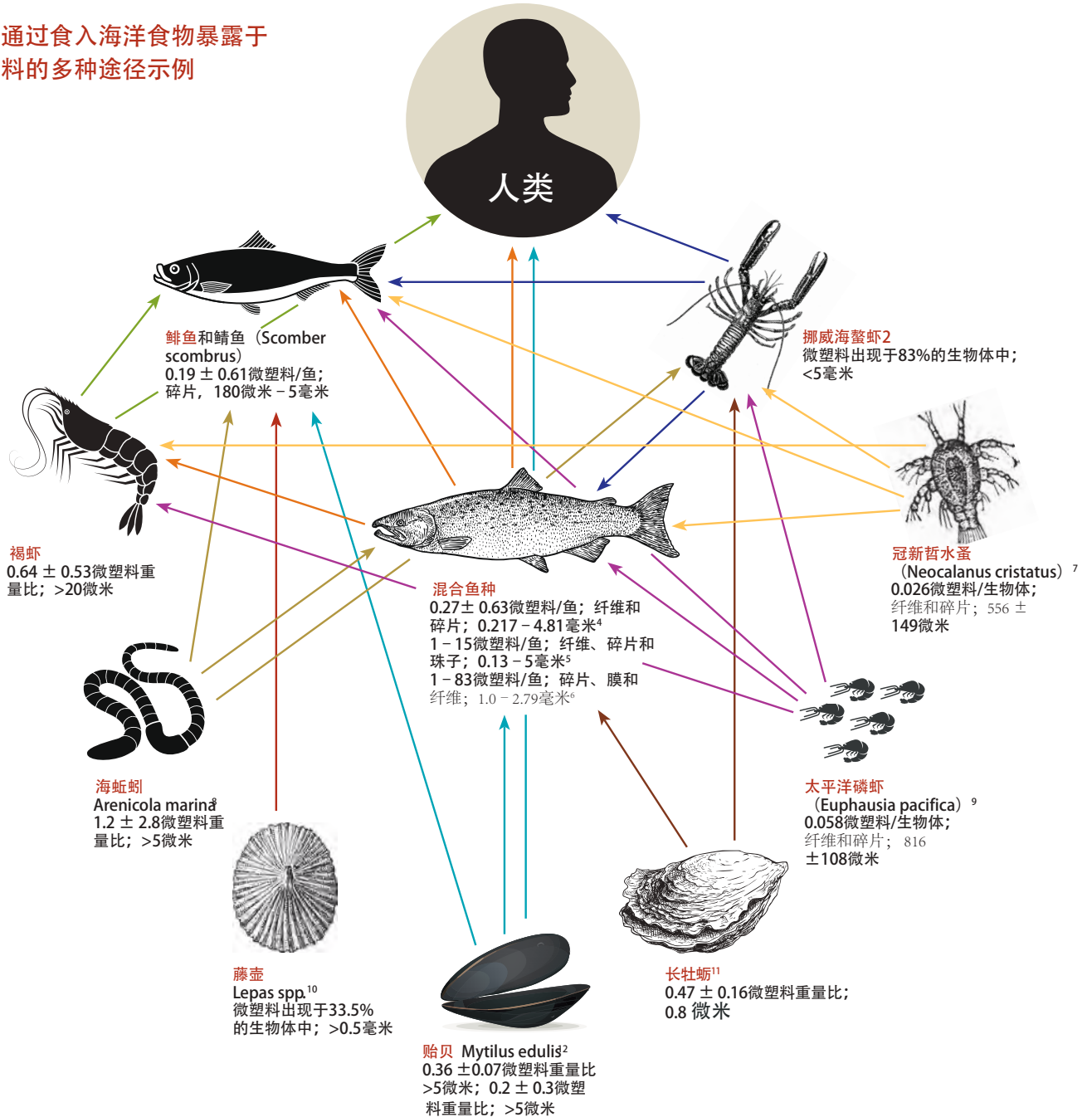
### 人类健康影响

微塑料可通过两种主要途径进入人体——通过鼻腔进入肺部；通过口腔进入胃部<sup>354</sup>。通过食物消费摄入微塑料会引起健康问题，这是因为颗粒可能会从消化道转移到其他部位，并成为有毒化学物质传递的途径<sup>355,356</sup>。在化学添加剂当中，邻苯二甲酸酯增塑剂、双酚 A、抗菌剂和多溴化阻燃剂引起了人们的特别关注<sup>357,358</sup>。微塑料平均含有 4% 的添加剂，具体取决于塑料类型<sup>359</sup>。现有研究表明，邻苯二甲酸酯、双酚 A 和一些阻燃剂等塑料添加剂是内分泌干扰物和致癌物质。它们还表明塑料可以累积重金属并吸附有毒污染物，如周围水体中的多环芳烃和有机氯农药<sup>360</sup>。塑料以数十种形式存在，每种形式都有不同的表现，以不同速率降解，并以不同方式吸附（吸引）、解吸（释放）和渗滤出化学添加剂。在考虑潜在毒性时，重要的是要考虑塑料的制造，以及吸收和解吸特性<sup>361</sup>。整个环境中有毒和无毒化学暴露的持续波动，均意味着人类和动物的暴露情况会有所不同。这种波动也改变了微塑料吸附和解吸化学污染物和添加剂的速率。

关于进入人体的微粒（包括塑料）所产生的影响，其进一步线索可以在医学文献中找到。一旦进入体内，微塑料颗粒就能够跨越生物学界限。正如第 4 章所述，人工关节置换术中的聚乙烯颗粒被发现转移到淋巴结、肝脏和脾脏<sup>362</sup>。肺部纳米药物输送这一新领域的研究表明，直径为 4 纳米、8 纳米、2 纳米和 16 纳米的纳米颗粒可穿透肺组织肺表面活性膜。<sup>363</sup>

图8

人类通过食入海洋食物暴露于  
微塑料的多种途径示例



参考文献

- 1 102(1) Rummel, C.D. et al., Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea 134 - 141 (Marine Pollution Bulletin 2016).
- 2 62(6) Murray, F. & Cowie, P., Plastic contamination in the decapod crustacean Nephrops norvegicus (Linnaeus, 1758) 207 - 1217 (Marine Pollution Bulletin 2011).
- 3 98(1-2) Devriese L. et al., Microplastic contamination in brown shrimp (Crangon crangon, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area 179 - 187 (Marine Pollution Bulletin 2015).
- 4 101 (1) Nees, D. et al., Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast 119-126 (Marine Pollution Bulletin 2015).
- 5 Lusher, A.L. et al., Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: the True's beaked whale Mesoplodon truei (Environmental Pollution 2015).
- 6 60 (12) Boerger, C.M. et al., Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre 2275 - 2278 (Marine Pollution Bulletin 2010).
- 7 Desforges, J.P., Galbraith, M., & Ross, P.S. Ingestion of microplastics by zooplankton in the Northeast Pacific Ocean 19 (Arch. Environ. Contam. Toxicol 2015).
- 8 Van Cauwenberghe, L. et al., Microplastics are taken up by mussels (Mytilus edulis) and lugworms (Arenicola marina) living in natural habitats 199 (Environmental Pollution 2015).
- 9 Desforges, J.P., Galbraith, M., & Ross, P.S. Ingestion of microplastics by zooplankton in the Northeast Pacific Ocean 19 (Arch. Environ. Contam. Toxicol 2015).
- 10 Goldstein, M.C., Goodwin, D.S., Gooseneck barnacles (Lepas spp.) ingest microplastic debris in the North Pacific Subtropical Gyre (PeerJ. 2013).
- 11 193 Van Cauwenberghe, L., Janssen, C. Microplastics in bivalves cultured for human consumption 65 - 70 (Environmental Pollution 2014).
- 12 193 Van Cauwenberghe, L., Janssen, C. Microplastics in bivalves cultured for human consumption 65 - 70 (Environmental Pollution 2014).

来源: 改编自 Carbery, M., O' Connor, W., & Thavamani, P., Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web a implications for human health (Environment International 2018).

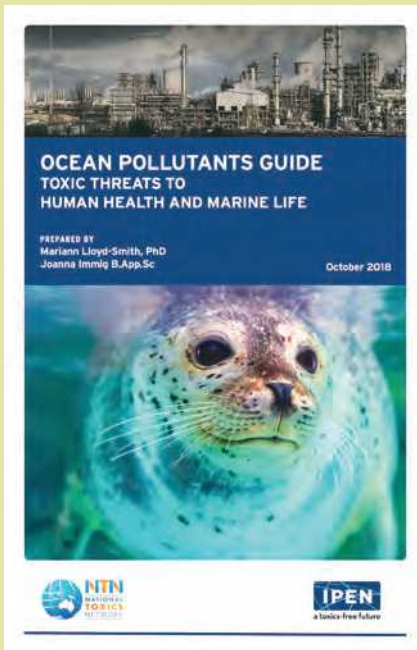


由于人体试验方面存在伦理问题，因此调查微塑料潜在毒性的初步工作已通过实验室和田野研究来评估海洋物种和小型哺乳动物所受的影响。研究人员通过荧光显微镜发现，小鼠消耗的聚苯乙烯微塑料（5微米和20微米）可在肝脏、肾脏和消化道中积聚。<sup>364</sup>

附文 13

### 隐形污染物：没有地方是安全的

尽管海洋覆盖 71% 的地表并占地球水资源的 97%，但即使是其最偏远部分也已被用于制造塑料的有毒化学添加剂污染。马里亚纳海沟中的小虾体内发现有毒化学物质，其中包括溴化阻燃剂等塑料添加剂。这些污染水平明显高于附近重工业区域记录的污染水平，表明人为污染的生物累积有多么严重，污染物遍布全球海洋并直达海洋最深处。<sup>365</sup>



巨大的塑料旋涡和多层浓汤般的微塑料已将海洋塑料污染问题推上了世界舞台，而搭乘塑料这趟便车的隐形持久性污染物则像是在海洋环境中埋设的有毒定时炸弹<sup>366</sup>。极持久的化学污染物已在改变海洋动物的繁殖和行为，影响它们的免疫系统，并通过改变其应对疾病的能力来威胁其生存<sup>367</sup>。

任何地方都不安全。全球的大部分地表通过河流系统与海洋相连。隐藏在海洋中的塑料及其相关有毒化学物质所组成的有毒遗产，是全球生态系统密不可分的一部分，人们不可忽视它。

### 微塑料和有毒化学物质

关于微塑料所含的化学污染物通过食物转移到人类的可能方式，我们尚不完全清楚，值得进一步研究<sup>368,369,370</sup>。微塑料食入所致的健康影响存在种种不确定性，科学家们建议开展紧急研究，特别是在内分泌系统面临的潜在影响方面<sup>371</sup>。人类所暴露的微塑料和相关化学物质，即使在低剂量水平下也可能有毒。虽然塑料只是人类和化学物质接触的一个来源，但它可能是某些化学物质的重要来源。

某研究团队在研究微塑料对小鼠的潜在毒性后报告称，微塑料可能诱导能量和脂肪代谢的变化，引起氧化应激，并且可能具有神经毒性<sup>372</sup>。该研究表明微塑料消费使人类面临潜在风险。

### 微塑料和致病潜力

另一个健康问题涉及在微塑料上生长的细菌。一项调查活动研究了在北海和波罗的海收集的微塑料表面生长的细菌<sup>373</sup>。该研究发现聚乙烯、聚丙烯和聚苯乙烯碎片表面存在副溶血弧菌（*Vibrio parahaemolyticus*）。该细菌可引起人类胃肠道疾病，需要更多的研究来了解人类消费的微塑料表面上的病原体是否会带来严重的疾病风险。

### 微塑料的食入

有关机构对人类摄入塑料微粒的潜在影响已经研究了几十年，但尚未完全了解这类影响，原因是这些颗粒与各种各样的添加剂和污染物相关。例如在大鼠、狗、山羊和猪试验中，聚氯乙烯微粒已经从消化道转移到淋巴和循环系统、胆汁、脑脊液、尿液、肺和哺乳动物的乳汁中<sup>374</sup>。迄今为止的证据表明，微塑料与其他肠道成分（包括蛋白质、脂类和碳水化合物）之间的相互作用非常复杂<sup>375</sup>。微塑料的累积可能导致炎症、组织损伤、细胞死亡和癌变<sup>376</sup>。此外，从微塑料中渗滤出或解吸的有毒化学物质还可能产生毒理学影响（见上文第 4 章“消费者使用”）。





鉴于这些颗粒在我们的食物中普遍存在，并且摄入后对人类健康造成严重风险，因此我们必须优先对它们做进一步研究，以了解并预防因消费微塑料而产生的健康风险<sup>377,378,379,380</sup>。实验室研究、田野研究和大型长期监测研究正在实施，在我们完全了解风险的性质之前，有必要采取预防措施减少食入所致的暴露。

### 微塑料的吸入

我们呼吸的空气也是微塑料暴露源。微塑料在大气中的沉降是一个新兴的研究领域，在法国巴黎<sup>381</sup>和中国东莞市<sup>382</sup>进行的研究已经揭示了微塑料（主要是纤维）存在于大气总降尘中。在巴黎拥挤的市区内，研究人员发现微塑料纤维的室内浓度范围是 1-60 根纤维 / 立方米，而室外浓度范围是 0.3-1.5 根纤维 / 立方米<sup>383</sup>。在室外，由于空气具有稀释作用，因此人们通常是暴露于空气中的低浓度微塑料<sup>384</sup>，而在室内则发现了更高的浓度，这是因为人们会更直接地暴露于地毯和家居纺织品等微塑料来源，并且室内缺乏风和其他扩散机制<sup>385</sup>。研究人员还认为人们和室内空气接触的影响更重要，这是因为人们平均每天有 70-90% 的时间是在室内<sup>386</sup>。空气中塑料颗粒的

**我们呼吸的空气也是微塑料暴露源。微塑料在大气中的沉降是一个新兴的研究领域，在法国巴黎和中国东莞市进行的研究已经揭示了微塑料（主要是纤维）存在于大气总降尘中。**

沉降可能会导致其在皮肤和食物上积聚，进而导致皮肤和胃肠道暴露<sup>387</sup>。根据报告披露的室内空气浓度和吸入空气的平均量，研究人员假设每个人的肺部每天可能接触到 26-130 颗空气传播的微塑料。<sup>388</sup>

其他空气传播塑料来源包括已降解的农用塑料和薄膜<sup>389</sup>、衣物干燥器释放的纤维<sup>390</sup>和波浪作用引起的海盐气溶胶<sup>391</sup>。最近，车辆轮胎磨损产生的灰尘已被认为是空气中微塑料的主要来源之一<sup>392</sup>。空气中的塑料也可随全球气流扩散<sup>393,394</sup>。



© iStockphoto/yanik88

研究人员认为职业暴露比室内暴露还更重要<sup>395</sup>。与其他人相比，纺织业工人暴露于更高浓度的合成纤维，暴露持续时间更长。这种暴露的影响使研究人员能深入了解更高浓度的微塑料（特别是纤维）暴露对人类健康的潜在危害。例如在美国和加拿大的尼龙绒<sup>396</sup>工厂中有4%的工人患有肺组织瘢痕等间质性肺病，引起咳嗽、呼吸困难和肺活量下降<sup>397</sup>。

### 吸入塑料颗粒的毒性

塑料微纤维可以深入肺部<sup>398</sup>并诱发急慢性炎症<sup>399</sup>。尺寸、形状、颗粒与不同生物结构的相互作用<sup>400</sup>和颗粒浓度<sup>401</sup>决定了颗粒是否会滞留在肺部以及它们会在此停留多久。较长的纤维更持久，典型的肺部清除机制更难以清除它们<sup>402</sup>。直径小于0.3微米且长度为10微米的纤维是最可能致癌的纤维<sup>403</sup>。某些尺寸和直径的纤维引起大鼠的急性炎症反应，而较短较粗的纤维则未表现出肺部炎症诱发作用<sup>404</sup>。

一旦被吸入，大多数纤维很可能被肺衬液困住。上气道的肺内衬较厚（中央肺），经过此处的直径大约1微米的颗粒能够绕过肺内衬，穿过

支气管上皮<sup>405</sup>。微塑料颗粒的直径使其能够沉积于肺的更深处，在此可以穿透较薄的肺衬液并接触上皮，然后通过扩散或活跃的细胞摄取在身体各处转移<sup>406</sup>。

决定肺内纤维毒性的其他因素包括浓度、沉积位置，以及化学物质从纤维表面渗滤出或解吸的可能性<sup>407</sup>。微塑料可抵抗人类受试者体内的化学降解。被吸入或食入后，它们可能会滞留或嵌入肺部或其他器官。患者恶性肺组织中的吸入纤维几乎没有变质迹象，表明它们具有生物持久性，并且塑料纤维可以滞留于肺部深处<sup>408</sup>。生物持久性和剂量可能是风险因素<sup>409</sup>。吸入的塑料颗粒还与氧化应激和随后的炎症有关，并且纳米颗粒可引起气道炎症和肠纤维化<sup>410</sup>。

塑料颗粒中积聚的化学添加剂和有毒物质吸入人体后的健康影响尚不得而知。实验室的体外研究表明，含有添加剂的聚合物会对细胞产生更高的毒性并增加炎症反应，而人类受试者体内则未显示增加<sup>411</sup>。但是，某些塑料添加剂或单体可能会从吸入或食入的颗粒迁移出来，进入体内<sup>412</sup>或空气和灰尘，例如邻苯二甲酸盐和双酚A就是如此<sup>413</sup>。住宅灰尘含有从电子设备、家具衬垫和地毯的塑料部件中释放出来的多溴联苯醚（阻燃剂），浓度可超过90纳克/克灰尘<sup>414</sup>。目前还不清楚多溴联苯醚是如何进入住宅灰尘的，但有很多人认为多溴联苯醚是通过塑料家用产品和纺织品的正常磨损释放出来的<sup>415</sup>。微塑料也可能吸附并释放空气污染物，就像它们在海洋环境中所做的那样<sup>416</sup>。

### 农业土壤中的塑料

土壤是粮食生产和安全的核心。土壤决定了人类和动物食物的成分。它是陆地、水生环境和大气之间的界面，却正在受到包括塑料在内的多种污染物的影响。关于陆地环境中微塑料来源和迁移的数据很少<sup>417</sup>。例如研究人员发现德国东南部农田被大型塑料和微塑料污染，

而当地从未使用含微塑料的肥料和农用塑料<sup>418</sup>。最近的一些研究表明，陆地塑料污染可能是海洋污染的 4-23 倍<sup>419</sup>。

塑料广泛存在于农业土壤中<sup>420</sup>，其来源包括农用聚乙烯薄膜（它们会风化成碎片）、生物固体和污水污泥（来自废水处理厂）<sup>421,422,423,424,425</sup> 和灰水（来自合成纤维衣物洗涤）<sup>426,427</sup>。

进入市政处理系统的污水携带了大量纺织品微纤维、个人护理产品中的微塑料和消费品中的降解物<sup>428</sup>。进入处理系统的微塑料有 80-90% 滞留在残留的污水污泥中<sup>429</sup>。这种污泥通常被用作农业肥料，导致塑料沉积于农田并长期滞留于此<sup>430</sup>。为了了解污水污泥作为微塑料污染源的关键性，一项研究估计：在欧洲和美国农田每年增加的微塑料中，污水污泥分别占 63,000-43,000 吨和 44,000-300,000 吨<sup>431</sup>。根据最近的一项研究，由于土壤中的光和氧气少，因此微塑料可在其中存留 100 多年<sup>432</sup>。

用于补充土壤养分的堆肥和肥料也是土壤中日益重要的塑料来源。最近一项研究对生物废弃物发酵和家庭堆肥中的有机肥做了评估，结果发现所有样品均含微塑料。最丰富的塑料类型是与食品包装相关的塑料<sup>433</sup>。

科学家尚未充分了解农业土壤所含塑料的影响及其对此类土壤的毒理学影响和生态影响。一些研究已经确定了关注点，另一些研究的结果则强调需要进一步研究，以确定塑料在不同环境条件下（例如在土壤与水中）是如何降解并渗滤出持久性有机污染物的<sup>434,435,436,437</sup>。

土壤所含塑料的一个健康问题在于有毒化学物质可能转移到作物和动物体内。塑料工业是环境中化学添加剂的主要来源。其中一些添加剂，包括如苯二甲酸酯<sup>438</sup>、多溴联苯醚<sup>439</sup>和双酚 A<sup>440</sup> 等内分泌干扰物，已在新鲜果蔬中

发现。尽管确定某种污染物的确切来源几乎是不可能的，但果蔬所含塑料添加剂和有毒污染物的报告可作为早期预警，应该触发预防原则的紧急实施以减少暴露。

科学文献正在提供与塑料相关的化学物质间接影响的证据。蚯蚓若在土壤中接触聚氨酯颗粒，其体内会积聚多溴联苯醚<sup>441</sup>。蚯蚓对维持健康的生态系统和土壤非常重要，在农业区尤其如此。蚯蚓通过钻洞、处理残渣、移动土壤来对土壤通气，并且是某些其他动物的主要食物来源。多溴联苯醚可能会进入蚯蚓体内，被转移到土壤的其他区域及食物网的其他部分。

附文 14

### 塑料是持久性有机污染物吗？

《斯德哥尔摩公约》未将塑料正式认定为持久性有机污染物<sup>442</sup>，但塑料及其化学添加剂和污染物的特性使其可能与正式认定的持久性有机污染物一样有害，并具有类似特征<sup>443</sup>。这些特征包括：

- 持久性塑料可降解为微塑料和纳米塑料颗粒，使海洋生物群容易吸收，并表示它们可在食物链中累积；
- 塑料聚合物所含的一些化学添加剂和污染物具有内分泌干扰特性，即使是极低剂量也可能有害；
- “‘新鲜’塑料废弃物流”的存在，标志这类废弃物在海洋生态系统中有显著的持久性。

欧洲化学品管理局（ECHA）支持将微塑料认定为持久性有机污染物，认为微塑料类似于 PBT/vPvB（非常持久和非常可生物积累）物质。2018 年 1 月，欧洲化学品管理局依据其旗舰化学品法规《化学品的注册、评估、授权和限制》（REACH）附录 XV 提出了限制建议<sup>444</sup>。至截稿时，尚未通过关于该提案的决定。



## 第七章

# 结论和建议

本报告简要介绍了我们目前对塑料在其整个供应链和全生命周期中，产生的一系列人类健康影响的认知。它记录了塑料生命周期每个阶段影响人类健康的众多途径，从井口到炼油厂，从商店货架到人体，从废弃物管理到人类在空气污染物和环境塑料中的持续暴露。本报告还揭示了我們目前系统性的、令人不安的知识缺口，它们可能会加剧工人、消费者、周边社区乃至全球那些远离明显塑料源的社区所受的暴露和风险。

### 已知的已知

塑料生命周期的每个阶段都对人类健康构成重大风险，全世界大多数人在塑料生命周期的多个阶段接触塑料。

### 塑料化石原料的提取与运输

石油、天然气和煤炭等化石燃料是塑料的主要原料，占塑料所含之物的90%以上。油气提取，尤其是以获取天然气为目的的水力压裂法，会向空气和水中释放多种有毒物质，并且经常是大量释放。相关文献表明，这些有毒物质会直接影响皮肤、眼睛和其他感觉器官、呼吸系统、胃肠系统、肝脏以及大脑和神经系统<sup>445</sup>。与塑料生产相关的水力压裂作业所用的170多种化学物质已知会对人类健康产生多种影响，其中包括癌症、生殖/发育/神经毒性和免疫系统受损等。<sup>446</sup>暴露于此类有毒物质也与心脏病或神经系统疾病的较高住院率相关。<sup>447</sup>

### 塑料树脂和添加剂的石化炼制

将化石燃料转化为塑料树脂和添加剂的过程会把致癌物质和其他剧毒物质释放到空气、水和土壤中，对人体健康产生一系列不良影响。根据相关文献记录，这些物质的影响包括神经系统受损、生殖和发育问题、癌症和遗传影响，导致低出生体重、癌症和白血病达到创纪录的水平。产业工人和塑料生产设施附近社区面临的风险最大，既面临长期暴露，也面临突发排放风险。塑料生产对贫困社区和边缘化社区，以及这些社区内弱势群体（特别是儿童和育龄妇女）的健康影响严重到了不成比例的地步。

### 消费品和包装

塑料消费品和包装中的微塑料和相关化学物质均对人体健康产生影响。塑料制品的使用导致人类食入或吸入大量微塑料颗粒和数百种有毒物质，其不利影响包括发育影响、内分泌干扰和癌症。

### 通过接触、食入或吸入微塑料直接暴露

进入人体的微塑料可导致一系列健康影响，包括炎症（与癌症、心脏病、炎症性肠病、类风湿性关节炎等有关）、遗传毒性（细胞内遗传信息的损害，导致突变，这可能导致癌症）、氧化应激（导致慢性疾病，如癌症、糖尿病、类风湿性关节炎、心血管疾病、慢性炎症和中风）、细胞凋亡（与包括癌症在内的多种疾病相关的细胞死亡）以及坏死

(与癌症、自身免疫疾病和神经变性相关的细胞死亡)。随着时间的推移, 这些影响也可能导致组织损伤、纤维化和癌症。

#### 环境中对人体内的严重暴露

大多数塑料添加剂不与聚合物基质结合, 并且容易从聚合物中渗入<sup>448</sup> 周围环境中, 殃及空气、水、食物或身体组织<sup>449</sup>。随着塑料颗粒的持续降解, 新的表层区域被暴露在外, 使得其内部含有的添加剂持续释放于环境和人体中<sup>450</sup>。邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和双酚 A 等几种增塑剂会引起生殖毒性。苯和苯酚具有致突变性——它们改变生物体的遗传物质(通常是

DNA), 增大了突变频率。其他还有一些最有害的添加剂包括溴化阻燃剂、邻苯二甲酸盐和铅热稳定剂<sup>451</sup>, 以及从塑料聚合物中渗滤出的其他有害化学物质包括抗氧化剂、紫外线稳定剂和壬基酚<sup>452</sup>。

#### 塑料废弃物管理活动的有毒排放

所有塑料废弃物焚化技术(包括焚烧、共烧、气化和热解)都会导致有毒金属(如铅和汞)、有机物质(如二噁英和呋喃)<sup>453</sup>、酸性气体和其他有毒物质进入空气、水和土壤<sup>454</sup>。所有这类技术都会导致工人和周边社区直接或间接暴露于有毒物质, 暴露方式包括: 吸入受污染的空气; 直接接触受污染的土壤或水; 摄入在受这些物质污染的环境中生长的食物。来自焚烧堆的排放物、飞灰和废渣的有毒污染物能够传播很远的距离, 并沉积在土壤和水中, 然后在动植物的组织中累积, 最终进入人体。<sup>455</sup>

#### 通过农业土壤、陆地和水生食物链以及供水持续暴露

一旦塑料以大型塑料或微塑料的形式进入环境, 它们就会污染并积聚在食物链中, 在此可能会释放有毒添加剂或浓缩其他有毒化学物质, 使它们能再次被生物获得, 最终直接或间接接触人体。<sup>456</sup>

#### 已知的未知

不确定因素和知识缺口妨碍我们对健康影响进行完整评估, 不利于消费者、社区和监管机构做出明智选择, 并在塑料全生命周期加重了短期和长期的健康风险。

#### 隐藏的风险

由于大多数塑料的化学成分及其生产工艺极不透明, 因此我们无法充分了解暴露情况, 也无法对影响予以全面评估。

© Greenpeace/Alex Hofford



此外，商业机密信息的处理方式和不充分的披露要求加重了上述问题。这些缺陷不利于：

- 监管机构制定充分安全措施；
- 消费者做出明智选择；
- 周边社区降低其暴露于塑料相关健康隐患的程度，在出现紧急情况时合理应对。

### 细节很重要

尽管主要开采、生产和废弃物处理设施附近的社区居民在塑料全生命周期承受着特别大的风险，但是他们在获取自己暴露于有毒物质的定量和定性信息时，面临着系统性且通常很大的阻碍。

### 交互暴露和协同效应仍然难以评估和了解

塑料风险评估流程面临许多局限，特别是在食品包装和其他制成品中所用数千种化学物质的混合物的累积暴露对健康的影响方面。

### 我们的食品决定了我们的健康

尽管微塑料普遍存在并且可能通过一系列途径产生显著影响，但是在陆地环境中微塑料的分布、迁移、降解和影响方面，我们仍然知之甚少。塑料和微塑料通过海洋生态系统和食物链的迁移现在才得到研究；关于塑料在农业土壤中的作用和毒理学 / 生态影响的研究还处于起步阶段。有毒化学物质向作物和动物的潜在转移急需接受持续调查。

### 塑料人最终会怎样？

越来越多的文献记录了微纤维和其他塑料微粒在人类血液和人体组织中的情况。在更好地了解塑料微粒在人体中的确切行为和影响之前，应将这些持久性污染物不断增加的产量和普遍使用视为重大的公共卫生问题。

### 建议：以生命周期法来评估、管理和减少塑料

从设施选址到新产品测试，再到着手应对塑料危机日益多样化的表现形式，迄今为止对



© Greenpeace/Yvan Cohen

塑料影响的评估不成比例且不恰当地集中在塑料生命周期的单个阶段，并且经常只限于该阶段内的单一暴露途径。本报告证明：每个阶段都与其他阶段相互作用，并且所有这些阶段都以多种通常是交互的方式与人类环境和人体相互作用。

### 采取生命周期法

目前评估和应对塑料影响的狭隘方法既不充分也不恰当。为了了解和应对塑料风险，并在面对这些风险时做出明智的决策，需要采用全生命周期法来评估塑料对人类健康的全部影响。

### 充分认识交互暴露

如果健康影响评估工作完全局限于产品的塑料成分，而无视数千种添加剂及其在塑料生命周期各阶段的作用方式，则这样的评估必然是不完整的，是危险的。



© Bo Eide

### 让隐者显形

解决塑料污染，就需要调整和采纳新法规框架，以保证公众可获得有关塑料制品和工艺流程中石油化学物质使用的信息，并增加更多的独立研究来填补目前和未来的知识空白。

### 避免使用错误的塑料危机解决方案

塑料代表了一个纷繁多样的世界，其复杂的生命周期涉及各种各样的作用因素。因此，要想减少对塑料的毒性暴露，就需要各种解决方案和选择。而要想充分消除塑料污染问题及其对人类健康的影响，就需要确保我们在试图解决这些问题的过程中，不会创造更多越来越复杂的环境问题。

### 把人权和人类健康置于解决方案的核心

在塑料的整个生命周期及其每个阶段，解决方案都应该尊重人类的健康权及其拥有健康环境的权利。尽管需要对一些不确定因素进一步开展独立科学研究，但本报告中记录的关于塑料在其全生命周期会严重健康影响的现有信息，足以使有关方面有充分的理由针对塑料的全生命周期采取强有力的预防性措施，并促成塑料总产量和总用量的下降。

### 基于透明性、参与性，以及可获救济的权利来构建解决方案

在确定、设计和实施塑料污染危机潜在解决方案的过程中，透明性是成功的关键。如上所述，有毒物质的内在特性和暴露程度的确定，以及对于那些被称作“解决方案”之技术（如焚烧和变塑料为燃料技术）的潜在健康及环境负面影响的评估，都必须透明公开。正如联合国负责有毒物质对人权影响问题的特别报告员在一份声明中所说：“在相关物质和废弃物的整个生命周期中，受害者本应获得的有效补救的权利、有意义参与的权利、仅在同意前提下接受实验的权利、最高健康标准的权利以及其他一些人权都由于大量信息空白而受损。”<sup>457</sup>

### 着眼全球，全面行动

塑料的生产、使用和处置在全球供应链中互相交织，这些供应链跨越国家、大洲和海洋的界限<sup>458</sup>。迄今为止，有关方面在应对塑料的人类健康影响方面时，在很大程度上无视塑料生命周期的全球性。结果，一些措施虽然在局部地区或针对单一产品流发挥了积极作用，却常常被新型塑料、新型添加剂和新暴露路径的出现所削弱或抵消。除非各级政府努力应对塑料全生命周期的影响，否则当前这种零敲碎打的塑料污染危机应对方式将以失败告终。

截至目前，塑料危机应对工作取得的成效较为有限，原因有很多，比如影响的规模和复杂性、风险评估系统的局限性、未知的累积效应、暴露数据的有限性、又长又复杂的供应链、保持现状所需的惊人资金投入，以及产业对健康影响的否认。尽管塑料产业确实有着巨大的经济利益，但社会承担的财务成本规模至少不亚于前者<sup>459,460</sup>。

本报告所述的调查结果是确凿的。即便是有限的数字也依然表明：塑料生命周期对人类健康的毒性影响令人惊悚。今后需要采取许多行动来应对这种对人类生命和人权的威胁，而目前则显然急需采取全球行动来减少塑料和相关有毒化学物质的产量和消费量。



# 尾注

- See Patricia L. Corcoran, Charles J. Moore & Kelly Jazvac, *An Anthropogenic Marker Horizon in the Future Rock Record*, 24(6) *GSA Today* 4, 4-8 (2014), <http://www.geosociety.org/gsatoday/archive/24/6/article/11052-5173-24-6-4.htm>.
- See Paul J. Crutzen & Eugene F. Stoermer, *The Anthropocene*, 41 *Glob. Change Newsl.* 17, 17-18 (2000).
- See Center for International Environmental Law (CIEL), *Fueling Plastics: Plastic Industry Awareness of the Ocean Plastics Problem* (2017), <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2017/09/Fueling-Plastics-Plastic-Industry-Awareness-of-the-Ocean-Plastics-Problem.pdf>.
- See Center for International Environmental Law (CIEL), *Fueling Plastics: How Fracked Gas, Cheap Oil, and Unburnable Coal are Driving the Plastics Boom* (2017), <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2017/09/Fueling-Plastics-How-Fracked-Gas-Cheap-Oil-and-Unburnable-Coal-are-Driving-the-Plastics-Boom.pdf>; Center for International Environmental Law (CIEL), *Fueling Plastics: Fossils, Plastics, & Petrochemical Feedstocks* (2017), <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2017/09/Fueling-Plastics-Fossils-Plastics-Petrochemical-Feedstocks.pdf>.
- CIEL, *Fueling Plastics: How Fracked Gas, Cheap Oil, and Unburnable Coal are Driving the Plastics Boom*, *supra* note 4, at 1.
- See Julien Boucher & Damien Friot, IUCN, *Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources* (2017), <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-002.pdf>.
- See Roland Geyer, Jenna R. Jambeck & Kara Lavender Law, *Production, Use and Fate of All Plastics Ever Made*, 3(7) *Sci. Advances* 1 (2017).
- See Maddison Carbery, Wayne O'Connor & Palanisami Thavamani, *Trophic Transfer of Microplastics and Mixed Contaminants in the Marine Food Web and Implications for Human Health*, 115 *Env't Int'l* 400, 400-09 (2018), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29653694>.
- See Tamara S. Galloway, *Micro- and Nanoplastics and Human Health*, in *Marine Anthropogenic Litter* (Melanie Bergmann et al. eds., 2015).
- See CIEL, *Fueling Plastics: Fossils, Plastics, & Petrochemical Feedstocks*, *supra* note 4, at 1.
- See American Oil & Gas Historical Society, *First Oil Discoveries*, <https://aoghs.org/petroleum-discoveries> (last visited Jan. 31, 2019).
- See U.S. Env'tl. Prot. Agency, *The Process of Unconventional Natural Gas Production*, <https://www.epa.gov/uog/process-unconventional-natural-gas-production> (last updated Jan. 26, 2018).
- See Theo Colborn et al., *Hazard Assessment Articles: Natural Gas Operations from a Public Health Perspective*, 17(5) *Hum. & Ecological Risk Assessment: An Int'l J.* 1039, 1039-56 (2011), available at [https://www.biologicaldiversity.org/campaigns/fracking/pdfs/Colborn\\_2011\\_Natural\\_Gas\\_from\\_a\\_public\\_health\\_perspective.pdf](https://www.biologicaldiversity.org/campaigns/fracking/pdfs/Colborn_2011_Natural_Gas_from_a_public_health_perspective.pdf).
- See Earthworks, *Hazards in the Air* (2017), [https://earthworks.org/cms/assets/uploads/archive/files/publications/HazardsInTheAir\\_sm.pdf](https://earthworks.org/cms/assets/uploads/archive/files/publications/HazardsInTheAir_sm.pdf).
- See Anthony Andrews et al., Cong. Research Service, *Unconventional Gas Shales: Development, Technology, and Policy Issues* (2009), <http://fas.org/sgp/crs/misc/R40894.pdf>.
- See Int'l Atomic Energy Agency (IAEA), *Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry* (2003), [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1171\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1171_web.pdf).
- See Penn State Marcellus Center for Outreach & Research, *Maps & Graphics*, <http://www.marcellus.psu.edu/resources-maps-graphics.html> (last visited Jan. 31, 2019).
- Press Release, American Chemistry Council, *U.S. Chemical Investment Linked to Shale Gas Reaches \$100 Billion* (Feb. 20, 2014), <https://www.americanchemistry.com/Media/PressReleasesTranscripts/ACC-news-releases/US-Chemical-Investment-Linked-to-Shale-Gas-Reaches-100-Billion.html>.
- See The Oil & Gas Threat Map, <https://oilandgasthreatmap.com> (last visited Jan. 31, 2019).
- See U.S. Env'tl. Prot. Agency, *GHGRP Petroleum and Natural Gas Systems*, <https://www.epa.gov/ghgreporting/ghgrp-petroleum-and-natural-gas-systems> (last updated Oct. 17, 2018).
- See Jake Hays & Seth B.C. Shonkoff, *Toward an Understanding of the Environmental and Public Health Impacts of Unconventional Natural Gas Development: A Categorical Assessment of the Peer-Reviewed Scientific Literature*, 2009-2015, 11(4) *PLoS ONE* (2016), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154164>.
- See Ohio Env'tl. Prot. Agency, *Understanding the Basics of Gas Flaring* (2014), [https://www.epa.state.oh.us/portals/27/oil and gas/basics of gas flaring.pdf](https://www.epa.state.oh.us/portals/27/oil%20and%20gas/basics%20of%20gas%20flaring.pdf).
- Union of Concerned Scientists, *Natural Gas Flaring, Processing, and Transportation* (Apr. 3, 2015), <https://www.ucsusa.org/clean-energy/coal-and-other-fossil-fuels/natural-gas-flaring-processing-transportation>.
- See Angela K. Werner, Sue Vink, Kerriane Watt & Paul Jagals, *环境健康影响的 Unconventional Natural Gas Development: A Review of the Current Strength of Evidence*, 505 *Sci. of The Total Env't* 1127, 1127-41 (2015), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.084>.
- See Seth B.C. Shonkoff, Jake Hays, & Madelon L. Finkel, *Environmental Public Health Dimensions of Shale and Tight Gas Development*, 122(8) *Env'tl. Health Perspectives* 787, 787-95 (2014), <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1307866>.
- See Ellen Webb et al., *Potential Hazards of Air Pollutant Emissions from Unconventional Oil and Natural Gas Operations on the Respiratory Health of Children and Infants*, 31(2) *Reviews on Env'tl. Health* 225, 225-43 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27171386>.
- See U.S. Env'tl. Prot. Agency, *Particulate Matter (PM) Pollution*, <https://www.epa.gov/pm-pollution> (last updated Nov. 12, 2018).
- See Lesley Fleischman et al., *Clean Air Task Force, Gasping for Breath: An analysis of the health effects from ozone pollution from the oil and gas industry* (Aug. 2016), [http://caif.us/resources/publications/files/Gasping\\_for\\_Breath.pdf](http://caif.us/resources/publications/files/Gasping_for_Breath.pdf).
- See Clean Air Task Force & Earthworks, *Country Living Dirty Air: Oil and Gas Pollution in Rural America* (July 2018), [https://www.caif.us/wp-content/uploads/2018/07/CATF\\_Pub\\_CountryLivingDirtyAir.pdf](https://www.caif.us/wp-content/uploads/2018/07/CATF_Pub_CountryLivingDirtyAir.pdf).
- See Colborn et al., *supra* note 13.
- See Fleischman et al., *supra* note 28.
- See Shonkoff, Hays & Finkel, *supra* note 25.
- See Colborn et al., *supra* note 13.
- See Colborn et al., *supra* note 13.
- See Thomas Jemielita et al., *Unconventional Gas and Oil Drilling Is Associated with Increased Hospital Utilization Rates*, 10(8) *PLoS ONE* (2015), <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0131093>.
- See Jameson K. Hirsch et al., *Psychosocial Impact of Fracking: A Review of the Literature on the Mental Health Consequences of Hydraulic Fracturing*, 16(1) *Int'l J. of Mental Health & Addiction* 1, 1-15 (2017), <https://link.springer.com/article/10.1007/s11469-017-9792-5>.
- See Jake Hays, Michael McCawley & Seth B.C. Shonkoff, *Public Health Implications of Environmental Noise Associated with Unconventional Oil and Gas Development*, 580 *Sci. of The Total Env't* 448, 448-56 (2017), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716325724>.

38. See, e.g., Human Rights Watch, *Amazonians on Trial: Judicial Harassment of Indigenous Leaders and Environmentalists in Ecuador* (Mar. 26, 2018), <https://www.hrw.org/report/2018/03/26/amazonians-trial/judicial-harassment-indigenous-leaders-and-environmentalists>.
39. See, e.g., Amnesty International, *A Criminal Enterprise? Shell's Involvement in Human Rights Violations in Nigeria in the 1990s* (2017), <https://www.amnesty.org/download/Documents/AFR4473932017ENGLISH.pdf>.
40. See, e.g., Emma Hughes & James Marriott, *All that Glitters: Sport, BP, and Repression in Azerbaijan* (2015), <https://platformlondon-org.exactdn.com/wp-content/uploads/2015/06/All-That-Glitters-Pdf.pdf>.
41. See Concerned Health Professionals of N.Y. & Physicians for Social Responsibility, *Compendium of Scientific, Medical, and Media Findings Demonstrating Risks and Harms of Fracking (Unconventional Oil & Gas Extraction)* (5th ed. Mar. 2018), [https://www.psr.org/wp-content/uploads/2018/04/Fracking\\_Science\\_Compendium\\_5.pdf](https://www.psr.org/wp-content/uploads/2018/04/Fracking_Science_Compendium_5.pdf).
42. See Kim Ann Zimmerman, *Endocrine System: Facts, Functions and Diseases* (Feb. 15, 2018, 8:50 PM), <https://www.livescience.com/26496-endocrine-system.html>.
43. See Nat'l Inst. of Env'tl. Health Sciences, *Endocrine Disruptors*, <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/endocrine/index.cfm> (last reviewed Jan. 22, 2019).
44. See Christopher D. Kassotis et al., *Endocrine-Disrupting Chemicals and Oil and Natural Gas Operations: Potential Environmental Contamination and 建议 to Assess Complex Environmental Mixtures*, 124(3) *Env'tl. Health Perspectives* 256, 256-64 (2015), <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1409535>.
45. See Colborn et al., *supra* note 13.
46. See Ashley L. Bolden et al., *Exploring the endocrine activity of air pollutants associated with unconventional oil and gas drilling*, 17(26) *Env'tl. Health* (2018), <https://ehjournal.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12940-018-0368-z>.
47. See Elyse Caron-Beaudoin et al., *Gestational exposure to volatile organic compounds (VOCs) in Northeastern British Columbia, Canada: A pilot study*, 110 *Env'tl. Int'l* 131, 131-38 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29122312>.
48. See Joan A. Casey et al., *Unconventional natural gas development and birth outcomes in Pennsylvania, USA*, 27(2) *Epidemiology* 163, 163-72 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26426945>.
49. See Janet Currie, Michael Greenstone & Katherine Meckel, *Hydraulic fracturing and infant 健康影响: New evidence from Pennsylvania*, 3(12) *Sci. Advances* (2017), <http://advances.sciencemag.org/content/3/12/e1603021>.
50. See Lisa M. McKenzie et al., *Birth Outcomes and Maternal Residential Proximity to Natural Gas Development in Rural Colorado*, 122(4) *Env'tl. Health Perspectives* 412, 412-17 (2014), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24474681>.
51. See Lisa M. McKenzie et al., *Childhood hematologic cancer and residential proximity to oil and gas development*, 12(2) *PLoS ONE* (2017), <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0170423>.
52. See Elise G. Elliot et al., *Unconventional Oil and Gas Development and Risk of Childhood Leukemia: Assessing the Evidence*, 576 *Sci. of The Total Env't* 138, 138-47 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27783932>.
53. See Hays & Shonkoff, *supra* note 21.
54. Brooks Hays, *Study finds 6,600 oil spills in four states over ten years*, *UPI Science News* (Feb. 21, 2017, 11:15 AM), [https://www.upi.com/Science\\_News/2017/02/21/Study-finds-6600-fracking-spills-in-four-states-over-10-years/5611487691909](https://www.upi.com/Science_News/2017/02/21/Study-finds-6600-fracking-spills-in-four-states-over-10-years/5611487691909).
55. See Andrew J. Kondash, Nancy E. Lauer & Avner Vengosh, *The Intensification of the Water Footprint of Hydraulic Fracturing*, 4(8) *Sci. Advances* (2018), <http://advances.sciencemag.org/content/4/8/eaar5982>.
56. See U.S. Env'tl. Prot. Agency, *Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States, Executive Summary* (2016), [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/hfdwa\\_executive\\_summary.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/hfdwa_executive_summary.pdf).
57. See *id.*
58. See The INGAA Foundation, Inc., *North American Midstream Infrastructure Through 2035: A Secure Energy Future* (2011), <http://www.ingaa.org/Foundation/Foundation-Reports/Studies/14904/14889.aspx>.
59. U.S. Energy Info. Admin., *Natural Gas Explained: Natural Gas Pipelines*, [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=natural\\_gas\\_pipelines](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=natural_gas_pipelines) (last updated Dec. 19, 2018).
60. Mike Soraghan, *Flow lines cited in more than 7K spills*, *E&E News*, May 16, 2017, <https://www.eenews.net/stories/1060054568>.
61. See Pa. Dep't of Env'tl. Prot., *Northcentral Pennsylvania Marcellus Shale Short-Term Ambient Air Sampling Report* (2011), [http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/airwaste/aq/aqm/docs/marcellus\\_nc\\_05-06-11.pdf](http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/airwaste/aq/aqm/docs/marcellus_nc_05-06-11.pdf).
62. See Nels Johnson, Tamara Gagnolet, Rachel Ralls & Jessica Stevens, *The Nature Conservancy - Pa. Chapter, Natural Gas Pipelines: Excerpt from Report 2 of the Pennsylvania Energy Impacts Assessment* (2011), <https://www.pennfuture.org/Files/Admin/ng-pipelines.pdf>.
63. See Soraghan, *supra* note 60.
64. U.S. Env'tl. Prot. Agency, *Technology Transfer Network - Air Toxics Web Site, Pollutants and Sources*, <https://www3.epa.gov/airtoxics/pollsour.html> (last updated Sept. 26, 2018).
65. See Nat'l Ctr. For Biotechnology Info., *PubChem Compound Database, 1,3 - Butadiene*, [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1\\_3-butadiene#section=Consumer-Uses](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_3-butadiene#section=Consumer-Uses) (last visited Jan. 31, 2019).
66. See U.S. Dep't of Labor, *Occupational Safety and Health Admin. (OSHA), 1,3-Butadiene*, <https://www.osha.gov/SLTC/butadiene/healtheffects.html> (last visited Jan. 31, 2019).
67. See Kristina M. Walker, Ann L. Coker, Elaine Symanski & Philip J. Lupo, *A Preliminary Investigation of the Association Between Hazardous Air Pollutants and Lymphohematopoietic Cancer Risk Among Residents of Harris County Texas* (Univ. of Tex. School of Public Health 2007), <https://pdfs.semanticscholar.org/3b67/75f96037b7d2104a11296784f5d24cd33.pdf>.
68. See *id.*
69. See Centers for Disease Control & Prevention, *Emergency Preparedness and Response: Facts About Benzene*, <https://emergency.cdc.gov/agent/benzene/basics/facts.asp> (last updated Feb. 14, 2013).
70. See Clifford P. Weisel, *Benzene exposure: An overview of monitoring methods and their findings*, 184 *Chemico-Biological Interactions* 58, 58-66 (2010), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4009073>.
71. See Peter F. Infante, *Benzene: an historical perspective on American and European occupational setting, in Late Lessons from Early Warning: the Precautionary Principle 1896-2000* 38, 38-51 (Eur. Env'tl. Agency 2001).
72. See U.S. Env'tl. Prot. Agency, *Benzene* (rev. Jan. 2012), <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/benzene.pdf>; see also Centers for Disease Control & Prevention, *supra* note 69; *EurekaAlert!*, *Higher Cancer Incidences Found in Regions Near Refineries and Plants that Release Benzene* (July 29, 2013), [https://www.eurekaalert.org/pub\\_releases/2013-07/w-hci072413.php](https://www.eurekaalert.org/pub_releases/2013-07/w-hci072413.php).
73. See American Cancer Society, *Benzene and Cancer Risk*, <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/benzene.html> (last updated Jan. 5, 2016).
74. *EurekaAlert!*, *supra* note 72.
75. See Robert DeMatteo, *Nat'l Network on Env't & Women's Health, Chemical Exposure and Plastics Production—Issues for Women's 健康影响: A Review of Literature* (Dec. 2011), <http://cwhn.ca/sites/default/files/resources/cancer/short%20lit%20review-%20EN%20-%20formatted.pdf>.
76. See U.S. Env'tl. Prot. Agency (U.S. EPA), *Styrene* (rev. Jan. 2000), <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/styrene.pdf>.
77. See U.S. EPA, *Styrene*, *supra* note 76; see also DeMatteo, *supra* note 75, at 3.
78. See U.S. EPA, *Toluene* (rev. July 2012), <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/toluene.pdf>.
79. See *id.*
80. See *id.*
81. Univ. of Pitt. Graduate Sch. of Pub. Health Ctr. for Healthy Environments & Communities, *Pittsburgh Regional Environmental Threats Analysis (PRETA) Report, PRETA Air: Hazardous Air Pollutants 28* (2013), [http://www.chec.pitt.edu/documents/PRETA/CHEC\\_PRETA\\_HAPs\\_Report.pdf](http://www.chec.pitt.edu/documents/PRETA/CHEC_PRETA_HAPs_Report.pdf) [hereinafter *PRETA Report*].
82. See Nat'l Ctr. For Biotechnology Info., *PubChem Compound Database, Propylene*, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Propene#section=Top> (last visited Jan. 31, 2019) [hereinafter *PubChem Propylene*].
83. See *id.*
84. See Nat'l Ctr. For Biotechnology Info., *PubChem Compound Database, Propylene Oxide*, [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Propylene\\_oxide#section=Top](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Propylene_oxide#section=Top) (last visited Jan. 31, 2019) [hereinafter *PubChem, Propylene Oxide*].
85. See *id.*
86. See Agency for Toxic Substances & Disease Registry, *Toxic Substances Portal, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)*, <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=25> (last updated Mar. 3, 2011).

87. Clean Air Council, *What You Need to Know about Shell's Petrochemical Facility ("Ethane Cracker")* 1, <https://cleanair.org/wp-content/uploads/Shell-Factsheet-4.pdf>.
88. *Id.* at 1.
89. See *id.* at 1; see also Terrie Baumgardner, Opinion, *Your Health vs. Cracker Plant Jobs*, Pitt. Post-Gazette, Apr. 6, 2017, <https://www.post-gazette.com/opinion/Op-Ed/2017/04/06/Your-health-vs-cracker-plant-jobs/stories/201704300020>.
90. See Baumgardner, *supra* note 89.
91. See *id.*
92. See PRETA Report, *supra* note 81; see also Baumgardner, *supra* note 89.
93. See Baumgardner, *supra* note 89; see also PRETA Report, *supra* note 81.
94. See Baumgardner, *supra* note 89.
95. See U.S. Evtl. Prot. Agency, *Anthracene*, <https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/wastemin/web/pdf/anthrace.pdf> (archive document).
96. See U.S. Evtl. Prot. Agency, *Phenanthrene*, <https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/wastemin/web/pdf/phenanth.pdf> (archive document).
97. See Umweltbundesamt, *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Harmful to the Environment! Toxic! Inevitable?* (2016), <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/polycyclic-aromatic-hydrocarbons>.
98. See U.S. Evtl. Prot. Agency, *Why are Persistent, bioaccumulative and toxic pollutants (PBTs) a problem?*, <https://toxics.zendesk.com/hc/en-us/articles/212338097-Why-are-Persistent-bioaccumulative-and-toxic-pollutants-PBTs-a-problem> (last visited Jan. 31, 2019).
99. See *id.*
100. See U.S. Evtl. Prot. Agency, *Toxics Release Inventory Program (TRI) Program, Persistent Bioaccumulative Toxic (PBT) Chemicals Covered by the TRI Program*, <https://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/persistent-bioaccumulative-toxic-pbt-chemicals-covered-tri> (last updated Feb. 7, 2017).
101. See U.S. Evtl. Prot. Agency, Office of Pollution Prevention & Toxics, *Use Information for Persistent, Bioaccumulative, and Toxic Chemicals under TSCA Section 6(h)* (2017), [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-09/documents/pbt\\_public\\_webinar\\_-\\_9-5-17.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-09/documents/pbt_public_webinar_-_9-5-17.pdf).
102. See U.S. Evtl. Prot. Agency, *Benzo(g,h,i) perylene*, <https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/wastemin/web/pdf/benzoper.pdf> (archive document).
103. See Patricia Coyle, Michael J. Kosnett & Karen Hipkins, *Severe lead poisoning in the plastics industry: a report of three cases*, 47(2) Am. J. of Indus. Med. 172, 172-75 (2005).
104. See U.S. Evtl. Prot. Agency, *Report to Congress on the Global Supply and Trade of Elemental Mercury* (Dec. 2016), [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/mercury\\_global\\_supply\\_and\\_trade\\_rtc\\_and\\_signed\\_transmittal\\_letters.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/mercury_global_supply_and_trade_rtc_and_signed_transmittal_letters.pdf).
105. See Nat'l Ctr. for Biotechnology Info., *PubChem Compound Database, Tetrabromobisphenol A*, [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Tetrabromobisphenol\\_A](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Tetrabromobisphenol_A) (last visited Jan. 31, 2019).
106. See Int'l Chem. Secretariat, *The new SIN List substances* (2014), [https://chemsec.org/app/uploads/2016/03/New\\_SIN\\_substances\\_October\\_2014.2.pdf](https://chemsec.org/app/uploads/2016/03/New_SIN_substances_October_2014.2.pdf).
107. See Ronald White, Union of Concerned Scientists, *The Impact of Chemical Facilities on Environmental Justice Communities* 6 (2018), <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2018/08/impact-chemical-facilities-on-environmental-justice-communities-ucs-2018.pdf>.
108. Press Release, ExxonMobil, *ExxonMobil Plans Investments of \$20 Billion to Expand Manufacturing in U.S. Gulf Region* (Mar. 6, 2017), <https://news.exxonmobil.com/press-release/exxonmobil-plans-investments-20-billion-expand-manufacturing-us-gulf-region>.
109. See Peter Applebome, *Chemical in Salt Caverns Hold Pain for Texas Town*, N.Y. Times, Nov. 28, 1988, at A00016, <https://www.nytimes.com/1988/11/28/us/chemicals-in-salt-caverns-hold-pain-for-texas-town.html>.
110. See Baskut Tuncak (Special Rapporteur on the Implications for Human Rights of the Environmentally Sound Management and Disposal of Hazardous Substances and Wastes), *Report of the Special Rapporteur on the implications for human rights of the environmentally sound management and disposal of hazardous substances and wastes*, U.N. Doc. A/HRC/30/40, para. 7 (July 8, 2015); see also UN Human Rights High Commissioner, *Right to Information on Hazardous Substances and Wastes*, <https://www.ohchr.org/EN/Issues/Environment/ToxicWastes/Pages/Righttoinformation.aspx> (last visited Jan. 31, 2019).
111. See generally Tuncak, *supra* note 110 (highlighting the obligations of states and businesses to ensure people can enjoy their human rights and highlighting the importance of the right to know in the event of an accident).
112. See Press Release, President Barack Obama, *Executive Order – Improving Chemical Facility Safety and Security* (Aug. 1, 2013), <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2013/08/01/executive-order-improving-chemical-facility-safety-and-security>.
113. See Matt Dempsey & Mark Collete, *Chemical Breakdown, Part 3: EPA's fix on chemical safety is already broken*, Hous. Chron., May 21, 2016, <https://www.houstonchronicle.com/news/investigations/article/EPA-s-fix-on-chemical-safety-is-already-broken-The-8053061.php> (stating "At a minimum, LEPCs are required to disclose chemical inventories to interested residents or community watchdogs. But Texas [and states like it] has circumvented federal law by withholding those reports, and the EPA does nothing to stop the state.").
114. See Michael K. Lindell, *Are Local Emergency Planning Committees Effective in Developing Community Disaster Preparedness*, 12(2) Int'l J. of Mass Emergencies & Disasters 159, 159-82 (1994), <https://training.fema.gov/hiedu/downloads/ijems/articles/are%20local%20emergency%20planning%20committees%20effective%20in%20develo.pdf>; see also Yogin Kothari, *Avoiding Chemical Disasters, Managing Risks: EPA Addresses Chemical Safety*, Union of Concerned Scientists Blog (Mar. 28, 2016, 5:12 PM), <https://blog.ucsusa.org/yogin-kothari/avoiding-chemical-disasters-managing-risks-epa-addresses-chemical-safety>.
115. See Erica M. Matheny, *A Survey of the Structural Determinants of Local Emergency Planning Committee Compliance and Proactivity; Towards an Applied Theory of Precaution in Emergency Management*, ETD Archive (2012), <https://engagedscholarship.csuohio.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1194&context=etdarchive>.
116. See Christine Todd Whitman, *Will Trump's State of the Union Ignore This National Security Threat?*, Newsweek, Jan. 29, 2018, <https://www.newsweek.com/will-trumps-state-union-ignore-national-security-threat-793949>.
117. See Steven Mufson, *Harvey causes chemical companies to release 1 million pounds of extra air pollutants*, The Tex. Trib., Sept. 4, 2017, <https://www.texastribune.org/2017/09/04/harvey-causes-chemical-companies-release-1-million-pounds-extra-air-po>.
118. See Brady Dennis & Steven Mufson, *In Scathing Lawsuit, First Responders Describe Vomiting, Gaspings at Texas Chemical Plant Fire*, Wash. Post, Sept. 7, 2017, [https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2017/09/07/in-scathing-lawsuit-first-responders-describe-vomiting-gaspings-at-texas-chemical-plant-fire/?utm\\_term=.abb3d9682cb3](https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2017/09/07/in-scathing-lawsuit-first-responders-describe-vomiting-gaspings-at-texas-chemical-plant-fire/?utm_term=.abb3d9682cb3).
119. The Center for Public Integrity, *Fueling Fears: Regulatory Flaws, Repeated Violations Put Oil Refinery Workers at Risk* (May 19, 2014), <https://publicintegrity.org/workers-rights/worker-health-and-safety/fueling-fears/regulatory-flaws-repeated-violations-put-oil-refinery-workers-at-risk/#part-7>.
120. Union of Concerned Scientists & Texas Environmental Justice Advocacy Services (TEJAS), *Double Jeopardy in Houston: Acute and Chronic Chemical Exposures Pose Disproportionate Risks for Residents, Executive Summary* (2016), <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2016/10/ucs-double-jeopardy-summary-eng-2016.pdf>.
121. See City of Hous. Dep't of Health & Human Services, Office of Surveillance and Public Health Preparedness, *Community Health Profiles 1999-2003: Harrisburg/Manchester Super Neighborhood*, <https://www.houstontx.gov/health/chs/Harrisburg-Manchester.pdf>.
122. See *id.* at 8.
123. See U.S. Evtl. Prot. Agency, *EJSCREEN Report (Version 2017): the User Specified Area, Texas, EPA Region 6* (July 17, 2017).
124. See U.S. Evtl. Prot. Agency, *TRI Facility Report: Valero Energy Partners LP*, <https://www3.epa.gov/enviro/facts/tri/ef-facilities/#/Chemical/7701WVLRNR971MA> (last visited Jan. 31, 2019).
125. See *id.*
126. See Valero, *Houston Refinery*, <https://www.valero.com/en-us/Pages/Houston.aspx> (last visited Jan. 31, 2019).
127. See PubChem Propylene, *supra* note 82.
128. See Contanda Locations, *Houston, TX – Manchester*, <https://www.contanda.com/contanda-locations/houston-tx-manchester> (last visited Jan. 31, 2019).
129. See Press Release, Contanda, *Contanda Terminals to begin construction on a new Houston Storage Terminal* (Aug. 22, 2018), <https://www.contanda.com/contanda-terminals-to-begin-construction-on-new-houston-storage-terminal>.

130. See U.S. Evtl. Prot. Agency, *TRI Facility Report: EcoServices Operation Corp.*, <https://www3.epa.gov/enviro/facts/tri/ef-facilities/#/Chemical/77012STFFR8615M> (last visited Jan. 31, 2019).
131. See U.S. Evtl. Prot. Agency, *TRI Facility Report: Huntsman International LLC*, <https://www3.epa.gov/enviro/facts/tri/ef-facilities/#/Chemical/77012XDNCR101CO> (last visited Jan. 31, 2019).
132. See Tex. Educ. Agency, *2015-16 School Report Card: Harris JR Elementary School* (2016), [https://rptsvr1.tea.texas.gov/cgi/sas/broker?\\_service=marykay&year4=2016&year2=16&\\_debug=0&single=N&title=2016+School+Report+Card&\\_program=perfrep.perfmast.sas&prgopt=2016%2Fsrc%2Fsrc\\_spec.sas&ptype=H&batch=N&level=campus&level=campus&search=campname&namenum=harris&campus=101912166](https://rptsvr1.tea.texas.gov/cgi/sas/broker?_service=marykay&year4=2016&year2=16&_debug=0&single=N&title=2016+School+Report+Card&_program=perfrep.perfmast.sas&prgopt=2016%2Fsrc%2Fsrc_spec.sas&ptype=H&batch=N&level=campus&level=campus&search=campname&namenum=harris&campus=101912166).
133. See, e.g. PQ Corporation, *Product Search*, <https://www.pqcorp.com/product-search> (search results for "all products") (last visited Jan. 31, 2019).
134. See *PubChem, Propylene Oxide*, *supra* note 84.
135. See CIEL, *Fueling Plastics: Fossils, Plastic, & Petrochemical Feedstocks*, *supra* note 4.
136. See Press Release, LyondellBasell, *LyondellBasell Begins Construction of the World's Largest PO/TBA Plant* (Aug. 22, 2018), <https://www.lyondellbasell.com/en/news-events/corporate--financial-news/lyondellbasell-begins-construction-of-the-worlds-largest-potba-plant>.
137. See Flint Hill Resources, *Olefins and Polymers: Manufacturing Starts Here*, <https://www.fhr.com/products-services/olefins-and-polymers> (last visited Jan. 31, 2019).
138. See Earthjustice, *A Disaster in the Making* (rev. Nov. 21, 2018), <https://earthjustice.org/features/toxic-catastrophes-texas-national-chemical-disaster-rule>.
139. See DeMatteo, *supra* note 75.
140. See *id.*
141. See Alesia Lucas, *Styrene and Styrofoam 101*, Safer Chemicals, Healthy Families (May 26, 2014), <https://saferchemicals.org/2014/05/26/styrene-and-styrofoam-101-2>.
142. See Toxic-Free Future, *TV Reality: Toxic Flame Retardants in TVs*, <https://toxicfreefuture.org/science/research/flame-retardants-tvs> (last visited Jan. 31, 2019).
143. See Geyer, Jambeck & Law, *supra* note 7.
144. See *id.*
145. See *id.*
146. *Id.* at 2.
147. World Economic Forum (WEF), *Industry Agenda, The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics* 12 (2016).
148. See Delilah Lithner, Åke Larsson, & Göran Dave, *Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition*, 409(18) *Sci. of The Total Env't* 3309, 3309-24 (2011), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.038>.
149. Galloway, *supra* note 9; see also Lithner, Larsson & Dave, *supra* note 148.
150. See Stephanie L. Wright & Frank J. Kelly, *Plastic and Human 健康影响: A Micro Issue?*, 51(12) *Env'tl. Sci. & Tech.* 6634, 6634-47 (2017), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b00423>.
151. See Thomas Roy Crompton, *Additive Migration from Plastics Into Foods: A Guide for Analytical Chemists* (2007).
152. See Galloway, *supra* note 9.
153. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
154. See Geyer, Jambeck & Law, *supra* note 7.
155. See Christoph Buchta et al., *Transfusion-related Exposure to the Plasticizer di(2-ethylhexyl) phthalate in Patients Receiving Plateletpheresis Concentrate*, 45(5) *Transfusion* 798, 798-802 (2005), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15847671>.
156. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
157. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
158. See Wright & Kelly, *supra* note 150 (citing Lithner, Larsson & Dave, *supra* note 148).
159. See Blastic, *Toxicity of Plastics*, <https://www.blastic.eu/knowledge-bank/impacts/toxicity-plastics> (last visited Jan. 31, 2019).
160. See William J. Sutherland et al., *A Horizon Scan of Global Conservation Issues for 2010, 25(1) Trends in Ecology & Evolution* 1, 1-7 (2010), <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.10.003>.
161. See Yuko Ogata et al., *International Pellet Watch: Global Monitoring of Persistent Organic Pollutants (POPs) in Coastal Waters*, 58(10) *Marine Pollution Bulletin* 1437, 1437-46 (2009), <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.06.014>.
162. See Yukie Mato et al., *Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment*, 35(2) *Env'tl. Sci. & Tech.* 318, 318-24 (2001), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es0010498>.
163. See Mark Anthony Browne et al., *Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity*, 23(23) *Current Biology* 2388, 2388-92 (2013), <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.10.012>; see also Chelsea M. Rochman et al., *Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress*, 3 *Sci. Rep.* 3263 (2013), <https://doi.org/10.1038/srep03263>.
164. See Linda M. Ziccardi et al., *Microplastics as vectors for bioaccumulation of hydrophobic organic chemicals in the marine environment: A state-of-the-science review*, 35(7) *Env'tl. Toxicology & Chemistry* 1667, 1667-76 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27093569>; Wright & Kelly, *supra* note 150; see also Frederic Gallo et al., *Marine Litter Plastics and Microplastics and their Toxic Chemicals Component: the Need for Urgent Preventive Measures*, 30(13) *Env'tl. Sci. Eur.* 13 (2018), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29721401>.
165. See Adil Bakir, Steven J. Rowland & Richard C. Thompson, *Enhanced Desorption of Persistent Organic Pollutants from Microplastics under Simulated Physiological Conditions*, 185 *Env'tl. Pollution* 16, 16-23 (2014), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.007>.
166. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
167. See Gallo et al., *supra* note 164.
168. See 21 U.S.C. §321(s).
169. See Koni Grob et al., *Food Contamination with Organic Materials in Perspective: Packaging Materials as the Largest and Least Controlled Source? A View Focusing on the European Situation*, 46(7) *Critical Rev. in Food Sci. & Nutrition* 529, 529-36 (2006), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16954061>; Galloway, *supra* note 9.
170. Audrey Thier, Miriam Gordon & Andria Ventura, *Clean Water Action & Clean Water Fund, What's in the package? Unveiling the Toxic Secrets of Food and Beverage Packaging* 6 (2016), [https://www.cleanwateraction.org/sites/default/files/CA\\_TIP\\_rpt\\_08.24.16a\\_web.pdf](https://www.cleanwateraction.org/sites/default/files/CA_TIP_rpt_08.24.16a_web.pdf).
171. See Aaron L. Brody, Eugene R. Strupinsky & Lauri R. Kline, *Active Packaging for Food Applications* (2001).
172. See World Health Organization (WHO), *Persistent Organic Pollutants: Impact on Child Health* (2010) [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44525/9789241501101\\_eng.pdf?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44525/9789241501101_eng.pdf?sequence=1).
173. See Thier, Gordon & Ventura, *supra* note 171.
174. See Laurel A. Schaidler et al., *Flourinated Compounds in U.S. Fast Food Packaging*, 4(3) *Env'tl. Sci. & Tech. Letters* 105, 105-11 (2017), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.estlett.6b00435>.
175. Thier, Gordon & Ventura, *supra* note 171, at 7.
176. See Teresa Cirillo et al., *Children's Exposure to Di(2-ethylhexyl)phthalate and Dibutylphthalate Plasticizers from School Meals*, 59(19) *J. Agric. & Food Chemistry* 10532, 10532-38 (2011), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21894916>.
177. See Elvia M. Mungia-Lopez et al., *Migration of bisphenol A (BPA) from can coatings into a fatty-food stimulant and tuna fish*, 22(9) *Food Additives & Contaminants* 892, 892-98 (2005), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16192075>.
178. See Luz Claudio, *Our Food: Packaging and Public Health*, 120(6) *Env'tl. Health Persp.* a232, a232-a237 (2012), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3385451>; see also, Thomas G. Neltner et al., *Data gaps in toxicity testing of chemicals allowed in food in the United States*, 42 *Reprod. Toxicology* 85, 95-94 (2013), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23954440>.
179. See Birgit Geueke, Charlotte C. Wagner & Jane Muncke, *Food contact substances and chemicals of concern: A comparison of inventories*, 31(8) *Food Additives & Contaminants – Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment* 1438, 1443 (2014), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24999917>.
180. See *id.* at 1438.
181. See Birgit Geueke, *Food Packaging Forum, Dossier-Non-intentionally added substances (NIAS)* (2018), <https://www.foodpackagingforum.org/food-packaging-health/non-intentionally-added-substances-nias>.
182. See Press Release, *Food Packaging Forum, Ksenia Groh, Chemicals associated with plastic packaging* (2018), <https://www.foodpackagingforum.org/news/chemicals-associated-with-plastic-packaging>.
183. See Green Science Policy Institute, *The Madrid Statement* (2015), <http://greensciencepolicy.org/madrid-statement>.

184. See Schaidler et al., *supra* note 174.
185. See Green Science Policy Institute, *Fluorinated Replacements: Myths versus Facts* (Aug. 17, 2017), [http://greensciencepolicy.org/wp-content/uploads/2017/12/pfoa\\_flyer\\_v21.pdf](http://greensciencepolicy.org/wp-content/uploads/2017/12/pfoa_flyer_v21.pdf).
186. See Int'l Institute for Sustainable Development (IISD), *14<sup>th</sup> meeting of the Persistent Organic Pollutants Review Committee (POPRC-14) of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*, 15(252) Earth Negots. Bull. (Sept. 24, 2018), <http://enb.iisd.org/vol15/enb15257e.html>.
187. See Hannes K. Imhof et al., *Pigments and plastic in limnetic ecosystems: a qualitative and quantitative study on microparticles of different size classes*, 98 Water Res. 64, 64–74 (2016), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135416301427>.
188. See UPSTREAM et al., *B.A.N. List 2.0* (2018), <https://upstreamolutions.org/ban-list-20>.
189. See Karen Dius & Anja Coors, *Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects*, 28 *Envtl. Sci. Eur.* 2 (2016), <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069-y>.
190. See Therese M. Karlsson et al., *The unaccountability case of plastic pellet pollution*, 129(1) *Marine Pollution Bull.* 52, 52–60 (2018), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X18300523>.
191. See Beat the Microbead, *Results so far*, <http://www.beatthemicrobead.org/results-so-far> (last visited Feb. 1, 2019).
192. See Todd Gouin et al., *Use of micro-plastic beads in cosmetic products in Europe and their estimated emissions to the North Sea environment*, 141 *SOFW-J.* 40, 40–46 (2015).
193. See Dius & Coors, *supra* note 189.
194. See Boucher & Friot, *supra* note 6.
195. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
196. See Holger M. Koch & Antonia M. Calafat, *人体负担s of chemicals used in plastic manufacture*, 364 *Phil. Transactions of the Royal Soc'y B: Biological Sci.* 2063, 2063–78 (2009), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873011>.
197. Thier, Gordon & Ventura, *supra* note 171, at 7.
198. *Id.*
199. *Id.*
200. *Id.*
201. *Id.* (citing Laura N. Vandenberg et al., *Urinary, Circulating, and Tissue Biomonitoring Studies Indicate Widespread Exposure to Bisphenol A*, 118 *Envtl. Health Persp.* 1055, 1055–70 (2010)).
202. See Philipp Schwabl et al., *Assessment of microplastic concentrations in human stool – Preliminary Results of A Prospective Study*, 6 *United Eur. Gastroenterology J. Supplement 1* (presented at UEG Week 2018), <https://www.ueg.eu/education/document/assessment-of-microplastic-concentrations-in-human-stool-preliminary-results-of-a-prospective-study/180360>.
203. Mary Kosuth, Sherri A. Mason & Elizabeth V. Wattenberg, *Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt*, 13(4) *PLoS ONE* e0194970 (2018), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>.
204. See Sherri A. Mason, Victoria G. Welch & Joseph Neratko, *Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water*, 6 *Frontiers in Chemistry* 407 (2018), <https://orbmedia.org/sites/default/files/FinalBottledWaterReport.pdf>.
205. See *id.*
206. See Darena Schymanski et al., *Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water*, 129 *Water Res.* 154, 154–62 (2018), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135417309272>.
207. See *id.*
208. See Pamela Miller & Joseph DiGangi, *IPEN, Toxic Industrial Chemical Recommended for Global Prohibition Contaminates Children's Toys* (2017), <https://ipen.org/documents/toxic-industrial-chemical-recommended-global-prohibition-contaminates-childrens-toys-0>.
209. See Persistent Organic Pollutants Review Committee Eleventh Meeting, *Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its eleventh meeting, Addendum: Risk profile on short-chained chlorinated paraffins*, UNEP/POPS/POPRC.11/10/Add.2 (Nov. 23, 2015).
210. See Dan Xia et al., *Human Exposure to Short- and Medium-Chain Chlorinated Paraffins via Mothers' Milk in Chinese Urban Population*, 51 *Envtl. Sci. & Tech.* 608, 608–15 (2017), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b04246>.
211. See Wright & Kelly, *supra* note 150, at 6642.
212. National Cancer Institute, *NCI Dictionary of Cancer Terms: reactive oxygen species*, <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/reactive-oxygen-species> (last visited Feb. 1, 2019).
213. See Vijaya Chavan Lobo, A. Patil, A. Phatak & N. Chandra, *Free radicals, antioxidants and functional foods: 人类健康影响*, 4(8) *Pharmacognosy Rev.* 118, 118–26 (2010), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3249911>.
214. See Wright & Kelly, *supra* note 150, at 6641.
215. See *id.*
216. See *id.* at 6640.
217. See Andrew J.R. Watts et al., *Effect of Microplastic on the Gills of Shore Crab Carcinus maenas*, 50(10) *Envtl. Sci. & Tech.* 5364, 5364–69 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27070459>.
218. See Mark A. Browne et al., *Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, Mytilus edulis (L)*, 42 *Envtl. Sci. & Tech.* 5026, 5026–31 (2008), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es800249a>.
219. See Messika Revel, Amélie Châtel & Catherine Mouneyrac, *Micro(nano)plastics: A Threat to Human Health?*, 1 *Envtl. Sci. & Health* 17, 17–23 (2018), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584417300235>; Carsten Schmidt et al., *Nano- and microscaled plastic particles for drug targeting to inflamed intestinal mucosa- a first in vivo study in human patients*, 165(2) *J. of Controlled Release* 139, 139–45 (2013), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23127508>.
220. See Galloway, *supra* note 9.
221. See Sinja Rist et al., *A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics*, 626 *Sci. of The Total Env't* 720, 720–26 (2018), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29396337>.
222. See EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), *Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood*, 14(6) *EFSA J.* 4501 (2016), <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4501>.
223. See Clara Silvestre, Donatella Duraccio & Sossio Cimmino, *Food packaging based on polymer nanomaterials*, 36(12) *Progress in Polymer Sci.* 1766, 1766–82 (2011), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670011000311>.
224. See Schmidt et al., *supra* note 219.
225. See G.M. Hodges et al., *Uptake and translocation of microparticles in small intestine: Morphology and quantification of particle distribution*, 40(5) *Digestive Diseases & Sci.* 967, 967–75 (1995), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7729286>; see also Anne des Rieux et al., *Transport of nanoparticles across an in vitro model of the human intestinal follicle associated epithelium*, 25(4–5) *Eur. J. of Pharmaceutical Sci.* 455, 455–65 (2005), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15946828>.
226. See John H. Eldridge et al., *Vaccine-Containing Biodegradable Microspheres Specifically Enter the Gut-associated Lymphoid Tissue Following Oral Administration and Induce a Disseminated Mucosal Immune Response*, 251 *Advances in Experimental Med. & Biology* 191, 191–202 (1989), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2610110>; see also P.U. Jani, D.E. McCarthy & A.T. Florence, *Nanosphere and microsphere uptake via Peyer's patches: observation of the rate of uptake in the rat after a single oral dose*, 86(2–3) *Int'l J. of Pharmaceutics* 239, 239–46 (1992), [https://doi.org/10.1016/0378-5173\(92\)90202-D](https://doi.org/10.1016/0378-5173(92)90202-D); see also Gerhard Volkheimer, *Hematogenous dissemination of ingested polyvinyl chloride particles*, 246(1) *Annals of the N.Y. Acad. of Sci.* 164, 164–71 (1975), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1054950>.
227. See Wright & Kelly, *supra* note 150, at 6638.
228. See Cristina Pedà et al., *Intestinal alterations in European sea bass Dicentrarchus labrax (Linnaeus 1758) exposed to microplastics: Preliminary results*, 212 *Envtl. Pollution* 251, 251–56 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26851981>.
229. See Gabriella F. Schirinzi et al., *Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells*, 159 *Envtl. Res.* 579, 579–87 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28898803>.
230. See Galloway, *supra* note 9.
231. See Geyer, Jambeck & Law, *supra* note 7.
232. See *id.*
233. See UNEP, *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* (2007), <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-BATBEP-GUIDE-GUIDELINES-All.En.pdf> [hereinafter UNEP Guidelines on Art. 5 & Annex C of POPS Convention].

234. See UNEP, *Solid Waste Management: Sound practices – Incineration*, [http://www.unep.org/jp/ietc/ESTdir/Pub/MSW/sp/SP5/SP5\\_4.asp](http://www.unep.org/jp/ietc/ESTdir/Pub/MSW/sp/SP5/SP5_4.asp) (last visited Feb. 1, 2019).
235. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Waste* (2006), <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl>.
236. Reliance on solid fuels for cooking is highly concentrated in low and middle-income countries across Asia, Africa, and Latin America. More than 95% of the population uses solid fuels for cooking in a number of countries, most of which are in sub-Saharan Africa. See World Health Organization (WHO), *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Household Fuel Combustion* (2014), <http://www.who.int/airpollution/guidelines/household-fuel-combustion>.
237. See *id.*
238. See Christine Wiedinmyer, Robert J. Yokelson & Brian K. Gullett, *Global Emissions of Trace Gases, Particulate Matter, and Hazardous Air Pollutants from Open Burning of Domestic Waste*, *Envtl. Sci. & Tech.* 9523, 9523-30 (2014), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es502250z>.
239. See Mengmei Zhang, Alfons Buekens & Xiaodong Li, *Open burning as a source of dioxins*, *Critical Reviews in Envtl. Sci. & Tech.* 543, 543-620 (2017), <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1320154>.
240. See Ilda T. Hershey & Nicole L. Wolf, *The Dangers of Backyard Trash Burning*, *Oklahoma Coop. Extension Serv. AGEC-1027*, <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-7930/AGEC-1027web.pdf>.
241. See UNEP, *Guidelines on Art. 5 & Annex C of POPS Convention*, *supra* note 233.
242. See UNEP *Guidelines on Art. 5 & Annex C of POPS Convention*, *supra* note 233.
243. See Yibo Zhang et al., *Leaching Characteristics of Trace Elements from Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash*, *Geotechnical Special Publ'n* 168, 168-78 (2016); IPEN, *After Incineration: The Toxic Ash Problem* (2005), [http://ipen.org/sites/default/files/documents/After\\_incineration\\_the\\_toxic\\_ash\\_problem\\_2015.pdf](http://ipen.org/sites/default/files/documents/After_incineration_the_toxic_ash_problem_2015.pdf).
244. See Plastics Europe & EPRO, *Plastics—The Facts 2017 29* (2018), [https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics\\_the\\_facts\\_2017\\_FINAL\\_for\\_website\\_one\\_page.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf).
245. See Michael Standaert, *As China Pushes Waste-to-Energy Incinerators, Protests Are Mounting*, *Yale Environment 360* (Apr. 20, 2017), <https://e360.yale.edu/features/as-china-pushes-waste-to-energy-incinerators-protests-are-mounting>.
246. See World Energy Council, *World Energy Resources 2016 57* (2016), <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/nana-sinkam1/docs/resources-wec-2016.pdf>.
247. Ankit Gupta & Aditya Singh Bais, *Global Market Insights, Waste to Energy (WTE) Market Size, Industry Outlook Potential Report, Regional Analysis* (2016), <https://www.gminsights.com/industry-analysis/变废为能-wte-market>.
248. See UNEP, *Solid Waste Management: Sound practices—Incineration*, *supra* note 234.
249. See *id.*
250. See Rinku Verma et al., *Toxic Pollutants from Plastic Waste—A Review*, 35 *Procedia Envtl. Sci.* 701, 701-08 (2016), <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.069>.
251. See Bart Ostro et al., *Associations of Mortality with Long-term Exposures to Fine and Ultrafine Particles, Species and Sources: Results from the California Teachers Study Cohort*, 123(6) *Envtl. Health Persp.* 549, 549–56 (2015), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25633926>.
252. See National Research Council (US) Committee on Health Effects of Waste Incineration, *Waste Incineration & Public Health* (2000), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK233633>.
253. See Health Effects Institute, the Institute for Health Metrics and Evaluation & University of British Columbia, *State of Global Air 2017: A Special Report on Global Exposure to Air Pollution and Its Disease Burden* (2017), [https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/SoGA2017\\_report.pdf](https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/SoGA2017_report.pdf).
254. See Lara Schwarz, Tarik Benmarhnia & Lucie Laurian, *Social Inequalities Related to Hazardous Incinerator Emissions: An Additional Level of Environmental Injustice*, 8(6) *Envtl. Just.* 213, 213-19 (2015); Marco Martuzzi, Francesco Mitis & Francesco Forastiere, *Inequalities, inequities, environmental justice in waste management and health*, 21(6) *The Eur. J. of Pub. Health* 21, 21-26 (2010); Ana Isabel Baptista & Kumar Kartik Amarnath, *Garbage, Power, and Environmental Justice: The Clean Power Plan Rule*, 403 *Wm. & Mary Envtl. L. & Pol'y Rev.* 41 (2017).
255. See *Sweden dumps toxic ash on Norway Island*, *The Local* (May 11, 2015, 10:42 PM), <https://www.thelocal.no/20150511/sweden-dumps-toxic-ash-in-norway>.
256. See Keith Bradsher, *China's Trash Problem May Also Be the World's*, *N.Y. Times* (Aug. 12, 2009), <https://archive.nytimes.com/query.nytimes.com/gst/fullpage-9800E1DD113DF931A2575BC0A96F9C8B63.html>.
257. See Tom Gascoyne, *Fly in the ashes: Waste from co-generation plant tests high for dioxins*, *News Rev.* (2012), <http://www.newsreview.com/chico/fly-in-the-ashes/content?oid=6579788>.
258. See *Complaint, Conservation Law Found. v. Mass. Dep't of Envtl. Prot.* (Mass. Sup. Ct. 2018), <https://www.clf.org/wp-content/uploads/2018/05/2018-05-09-Complaint.pdf>.
259. See Joerg Römbke et al., *Ecotoxicological Characterisation of 12 Incineration Ashes using 6 Laboratory Tests*, 29(9) *Waste Mgmt.* 2475, 2475-82 (2009), <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.032>.
260. See British Society for Ecological Medicine, *The Health Effects of Waste Incinerators: 4th Report of the British Society for Ecological Medicine* (2d ed. 2008).
261. See *id.*
262. See UNEP, *Solid Waste Management: Sound practices—Incineration*, *supra* note 234.
263. See IPEN, *After Incineration: The Toxic Ash Problem*, *supra* note 243.
264. See Aneeta Mary Joseph et al., *The Use of Municipal Solid Waste Incineration Ash in Various Building Materials: A Belgian Point of View*, 11(1) *Materials* 141 (2018), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29337887>.
265. See Neil Tangri & Monica Wilson, *GAlA, Waste Gasification & Pyrolysis: High Risk, Low Yield Processes for Waste Management* (2017), <http://www.no-burn.org/gasification-pyrolysis-risk-analysis>.
266. See Thomas Stringfellow, *An Independent Engineering Evaluation of 变废为能 Technologies, Renewable Energy World* (Jan. 13, 2014), <https://www.renewableenergyworld.com/articles/2014/01/an-independent-engineering-evaluation-of-变废为能-technologies.html>.
267. See Umberto Arena, *Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review*, 32(4) *Waste Mgmt.* 625, 625-39 (2012), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22035903>.
268. See A.Y. Ilyushechkin, D.G. Roberts, D. French & D.J. Harris, *IGCC Solids Disposal and Utilisation: Final Report for ANLEC Project 5-0710-0065* (2012), <http://decarboni.se/sites/default/files/publications/90176/igcc-solids-disposal-utilisation.pdf>.
269. See Stringfellow, *supra* note 266.
270. See Fichtner Consulting Engineers Limited, *The Viability of Advanced Thermal Treatment of MSW in the UK* (2004), [https://www.itad.de/information/studien/346.Fichtner\\_Consulting\\_Engineers\\_Limited.html](https://www.itad.de/information/studien/346.Fichtner_Consulting_Engineers_Limited.html).
271. See Stringfellow, *supra* note 266.
272. See Fla. Dep't of Envtl. Prot., *Whitepaper on the Use of Plasma Arc Technology to Treat Municipal Solid Waste* (2007).
273. See Nate Seltenrich, *Emerging 变废为能 Technologies: Solid Waste Solution or Dead End?*, 124(6) *Envtl. Health Persp.* a106, a106-11 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4892903>.
274. See Andrew N. Rollinson & Jumoke Mojisola Oladejo, *'Patented blunderings', Efficiency Awareness, and Self-sustainability Claims in the Pyrolysis Energy from Waste Sector*, 141 *Resources, Conservation & Recycling* 233, 233-42 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.038>.
275. See Andrew N. Rollinson, *Fire, explosion and chemical toxicity hazards of gasification energy from waste*, 54 *J. of Loss Prevention in the Process Indus.* 273, 273-80 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.04.010>.
276. See *id.*
277. See Deb Pal, *Gasification: Refining Safety*, *Waste Mgmt. World* (2012), <https://waste-management-world.com/a/gasification-refining-safety>.
278. See Nuria Ortuño et al., *Emissions from the Pyrolysis and Combustion of Different Wastes* (2013).
279. See Jitka Straková, Joseph DiGangi & Génon K. Jensen, *Toxic Loophole: Recycling Hazardous Waste into New Products* (2018), <https://english.amika.org/publications/toxic-loophole-recycling-hazardous-waste-into-new-products>.
280. See Per Ola Darneud, *Toxic Effects of Brominated Flame Retardants in Man and in Wildlife*, 29(6) *Env't Int'l* 841, 841-53 (2018), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12850100>; Thomas A. McDonald, *A Perspective on the Potential Health Risks of PBDEs*, 46(5) *Chemosphere* 745, 745-55 (2002), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11999798>; Lucio G. Costa et al., *Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants: Environmental contamination, 人体负担 and potential adverse health effects*, 79(3) *Acta Bio-Medica* 172, 172-83 (2008), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19260376>.

281. See Elise Roze et al., *Prenatal Exposure to Organohalogens, including Brominated Flame Retardants, Influences Motor, Cognitive, and Behavioral Performance at School Age*, 117(12) *Envtl. Health Persp.* 1953 (2009), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20049217>.
282. See Terri Hardy & Chris Bowman, *Sacramento trash-to-energy plan raises red flags*, Sacramento Bee (Nov. 17, 2008), <http://large.stanford.edu/publications/power/references/hardy>.
283. See Ioannis Kalargaris, Guohong Tian & Sai Gu, *Influence of Advanced Injection Timing and Fuel Additive on Combustion, Performance, and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine Running on Plastic Pyrolysis Oil*, 9 *J. of Combustion* 1, 1-9 (2017), <https://doi.org/10.1155/2017/3126342>; Md, Zaved Hossain Khan et al., *Pyrolytic Waste Plastic Oil and Its Diesel Blend: Fuel Characterization*, 8 *J. of Envtl. & Pub. Health* 1, 1-6 (2016).
284. See Rollinson, *supra* note 275. These are caused by both underpressure (oxygen ingress) and overpressure (flammable gas egress) in both the high temperature reactor and in ancillary components, due to the multi-component and dynamic features of a gasifier system.
285. See Pal, *supra* note 277.
286. See Rollinson, *supra* note 275.
287. See Kim Ragaert, Laurens Delva & Kevin Van Geem, *Mechanical and 化学物质回收 of Solid Plastic Waste*, 69 *Waste Mgmt.* 24, 24-58 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28823699>.
288. See Heather Caliendo, *Plastics-to-Oil Recycler Finds New Niche in Polystyrene*, *Plastics Tech.* (Apr. 27, 2018), <https://www.ptonline.com/articles/plastics-to-oil-recycler-finds-new-niche-in-polystyrene>.
289. See World Energy Council, *supra* note 246.
290. See Shikhar Shirmali, *Bricks from Waste Plastic*, 5(1) *Int'l J. of Advanced Res.* 2839, 2839-45 (2017).
291. See Nityanand Jayaraman, *Opinion, Heard about plastic roads? Here's why it's not a solution to our plastic problem*, *The News Minute* (Dec. 20, 2015, 9:58 AM), <https://www.thenewsminute.com/article/heard-about-miracle-plastic-roads-heres-why-its-not-solution-our-plastic-problem-36927>.
292. See Chung-Jung Tsai et al., *The pollution characteristics of odor, volatile organochlorinated compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons emitted from plastic waste recycling plants*, 74(8) *Chemosphere* 1104, 1104-10 (2009), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19091382>.
293. See Boucher & Friot, *supra* note 6.
294. See Flavia Auler, Alika T.A. Nakashima & Roberto K.N. Cuman, *Health Conditions of Recyclable Waste Pickers*, 39(1) *J. of Cmty. Health* 17, 17-22 (2013), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23864429>.
295. See ILO & WIEGO, *Cooperation among Workers in the Informal Economy: A Focus on Home-based Workers and Waste Pickers* 22 (2017), [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_emp/---emp\\_ent/---coop/documents/publication/wcms\\_567507.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/---coop/documents/publication/wcms_567507.pdf).
296. See Sanae Chiba et al., *Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris*, 96 *Marine Pol'y* 204, 204-12 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.03.022>.
297. See Jenna Jambeck et al., *Plastic waste inputs from land into the ocean*, 347(6223) *Sci.* 768, 768-71 (2015), <http://science.sciencemag.org/content/347/6223/768>.
298. See Marcus Eriksen et al., *Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea*, 9(12) *PLoS ONE* (2014), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>.
299. See Bianca Unger et al., *Large Amounts of Marine Debris found in Sperm Whales Stranded along the North Sea coast in Early 2016*, 112(1-2) *Marine Pollution Bull.* 134, 134-41 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27539635>.
300. See David Santillo, Kathryn A. Miller & Paul Johnston, *Microplastics as Contaminants in Commercially Important Seafood Species*, 13 *Integrated Envtl. Assessment & Mgmt.* 516, 516-21 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28440928>.
301. See Sharareh Dehghani, Farid Moore & Razegheh Akhbarzadeh, *Microplastic Pollution in Deposited Urban Dust, Tehran metropolis, Iran*, 24(25) *Envtl. Sci. Pollution Res.* 20360, 20360-71 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28707239>.
302. See Rachid Dris et al., *Microplastics contamination in an urban area: A case study in Greater Paris*, 12(5) *Envtl. Chemistry* 592 (2015), <https://doi.org/10.1071/EN14167>.
303. See Liqi Cai et al., *Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence*, 24(32) *Envtl. Sci. & Pollution Res.* 24928 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28918553>.
304. Press Release, United European Gastroenterology, *UEG Week: Microplastics discovered in human stools across the globe in 'first study of its kind'* (Oct. 23, 2018), <https://www.ueg.eu/press/releases/ueg-press-release/article/ueg-week-microplastics-discovered-in-human-stools-across-the-globe-in-first-study-of-its-kind>.
305. See Carbery, O'Connor & Thavamani, *supra* note 8.
306. See Tamara S. Galloway, Matthew Cole & Ceri Lewis, *Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem*, 1(5) *Nature Ecology & Evolution* 116 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28812686>.
307. See Stephanie Borrell et al., *Opinion, Why we need an international agreement on marine plastic pollution*, 114(38) *P.N.A.S. USA* 9994, 9994-97 (2017), <https://www.pnas.org/content/114/38/9994>.
308. See *id.*
309. See Boris Worm et al., *Plastic as a Persistent Marine Pollutant*, 42(1) *Ann. Rev. of Env't & Resources* 1, 1-26 (2017), <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060700>.
310. See Editorial, *Microplastics and human health – an urgent problem*, 1(7) *The Lancet Planetary Health* e254 (Oct. 2017), [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30121-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30121-3).
311. See Amy V. Kontrick, *Microplastics and Human Health Impact: Our Great Future to Think About Now*, 14(2) *J. of Med. Tech.* 117, 117-19 (2018), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29687221>.
312. See Eur. Food Safety Authority (EFSA) Panel on Contaminants in the Food Chain, *Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood*, 14(6) *Eur. Food Safety Auth. J.* 4501 (2016), <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>.
313. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
314. See Chiba et al., *supra* note 296.
315. See Sarah C. Gall & Richard C. Thompson, *The impact of debris on marine life*, 92(1-2) *Marine Pollution Bull.* 170, 170-79 (2015), <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>.
316. See Santillo, Miller & Johnston, *supra* note 300.
317. See France Collard et al., *Microplastics in livers of European anchovies (Engraulis encrasicolus, L.)*, 229 *Envtl. Pollution* 1000, 1000-05 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28768577>.
318. See Christoph D. Rummel et al., *Plastic Ingestion by Pelagic and Demersal Fish from the North Sea and Baltic Sea*, 102(1) *Marine Pollution Bull.* 134, 134-41 (2016), <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.043>.
319. See Natalie A. Welden, Bexultan Abylkhani & Leigh M. Howarth, *The Effects of Trophic Transfer and Environmental Factors on Microplastic uptake by Plaice, Pleuronectes platessa, and Spider crab, Maja squinado*, 239 *Envtl. Pollution* 351, 351-58 (2018), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29674213>.
320. See Collard et al., *supra* note 317.
321. See Fiona Murray & Phillip R. Cowie, *Plastic Contamination in the Decapod crustacean Nephrops norvegicus (Linnaeus, 1758)*, 62(6) *Marine Pollution Bull.* 1207, 1207-17 (2011), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21497854>.
322. See Welden, Abylkhani & Howarth, *supra* note 319.
323. See Andrew J.R. Watts et al., *Uptake and Retention of Microplastics by the Shore Crab Carcinus maenas*, 48(15) *Envtl. Sci. & Tech.* 8823, 8823-30 (2014), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24972075>.
324. See Lisa I. Devriese et al., *Microplastic Contamination in Brown Shrimp (Crangon crangon, Linnaeus 1758) from Coastal Waters of the Southern North Sea and Channel Area*, 98(1-2) *Marine Pollution Bull.* 179, 179-87 (2015), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26456303>.
325. See Sajjad Abbasi et al., *Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf*, 205 *Chemosphere* 80, 80-87 (2018), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29684694>.
326. See Lisbeth Van Cauwenbergh & Colin R. Janssen, *Microplastics in bivalves cultured for human consumption*, 193 *Envtl. Pollution* 65, 65-70 (2014), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>.

327. See Katie Davidson & Sarah E. Dudas, *Microplastic ingestion by wild and cultured Manila clams (Venerupis philippinarum) from Baynes Sound, British Columbia*, 71(2) Archives of Environ. Contamination & Toxicology 147, 147-56 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27259879>.
328. See Jiana Li et al., *Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom*, 241 Environ. Pollution 35, 35-44 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.038>.
329. See Cassandra L. Murphy, *A comparison of microplastics in farmed and wild shellfish near Vancouver Island and potential implications for contaminant transfer to humans* (Feb. 2018) (unpublished M.Sc. Thesis, Royal Roads University), <https://viurrspace.ca/handle/10613/5540>.
330. See Prabhu Kolandhasamy et al., *Adherence of microplastics to soft tissue of mussels: A novel way to uptake microplastics beyond ingestion*, 610-11 Sci. of The Total Env't 635, 635-40 (2017), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.053>.
331. See Li et al., *supra* note 328.
332. See Ali Karami et al., *Microplastics in eviscerated flesh and excised organs of dried fish*, 7 Sci. Rep. (2017), <https://www.nature.com/articles/s41598-017-05828-6>.
333. See Kasper B. Sundbæk et al., *Sorption of fluorescent polystyrene microplastic particles to edible 海藻 Fucus vesiculosus*, 30(5) J. of Applied Phycology 2923, 2923-27 (2018), <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-018-1472-8>.
334. See Dongqi Yang et al., *Microplastic Pollution in 表Salt from China*, 49(22) Environ. Sci. & Tech. 13622, 13622-627 (2015), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26486565>.
335. See Maria E. Iñiguez, Juan A. Conesa & Andres Fullana, *Microplastics in Spanish 表salt*, 7 Sci. Rep. (2017), <https://www.nature.com/articles/s41598-017-09128-x>.
336. See Ali Karami, Abolfazl Golieskardi, Cheng Keong Choo, Vincent Larat, Tamara S. Galloway & Babak Salamatinia, *The presence of microplastics in commercial salts from different countries*, 7 Sci. Rep. (2017), <https://www.nature.com/articles/srep46173>.
337. See Kosuth, Mason & Wattenberg, *supra* note 203.
338. See *id.*
339. See Anderson Abel de Souza Machado et al., *Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems*, 24(4) Global Change Biology 1405, 1405-16 (2018), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29245177>.
340. See Barbara E. Ölsmann et al., *Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water*, 141 Water Res. 307, 307-16 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.027>.
341. See Schymanski et al., *supra* note 206.
342. See Kosuth, Mason & Wattenberg *supra* note 203.
343. See Gerd Liebezeit & Elisabeth Liebezeit, *Synthetic Particles as Contaminants in German beers*, 31(9) Food Additives & Contaminants Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment 1574, 1574-78 (2014), <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.945099>.
344. See Kosuth, Mason & Wattenberg *supra* note 203.
345. See Gerd Liebezeit & Elisabeth Liebezeit, *Non-pollen Particulates in Honey and Sugar*, 30(12) Food Additives and Contaminants Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment 2136, 2136-40 (2013), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24160778>.
346. See Matthew Cole et al., *Microplastic Ingestion by Zooplankton*, 47(12) Environ. Sci. & Tech. 6646, 6646-55 (2013), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23692270>.
347. See Outi Setälä, Vivi Fleming-Lehtinen & Maiju Lehtiniemi, *Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web*, 185 Environ. Pollution 77, 77-83 (2014), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013>.
348. See Paul Farrell & Kathryn Nelson, *Trophic Level Transfer of Microplastic: Mytilus edulis (L.) to Carcinus maenas (L.)*, 177 Environ. Pollution 1, 1-3 (2013), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.046>.
349. See Yooeun Chae et al., *Trophic Transfer and Individual Impact of Nano-sized Polystyrene in a Four-species Freshwater Food Chain*, 8 Sci. Rep. (2018), <https://www.nature.com/articles/s41598-017-18849-y>.
350. See Welden, Abylkhani & Howarth, *supra* note 319.
351. See Galloway, Cole & Lewis, *supra* note 306.
352. See Adam Porter et al., *Role of Marine Snows in Microplastic Fate and Bioavailability*, 52(12) Environ. Sci. & Tech. 7111, 7111-19 (2018), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b01000>.
353. See Sundbæk et al, *supra* note 333.
354. See Gallo et al., *supra* note 164.
355. See Tamara S. Galloway & Ceri N. Lewis, *Marine Microplastics Spell Big Problems for Future Generations*, 113(9) P.N.A.S. USA 2331, 2331-33 (2016), <https://doi.org/10.1073/pnas.1600715113>.
356. Wright & Kelly, *supra* note 150.
357. See Richard C. Thompson et al., *Plastics, the Environment and Human 健康影响: Current consensus and future trends*, 364(1526) Phil. Transaction of the Royal Soc'y B: Biological Sci. 2153, 2153-66 (2009), <https://dx.doi.org/10.1098%2Frstb.2009.0053>.
358. See Gallo, *supra* note 164.
359. See EFSA, *supra* note 312.
360. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
361. See GESAMP, *Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: Part Two of a Global Assessment* (2016), <http://www.gesamp.org/publications/microplastics-in-the-marine-environment-part-2>.
362. See Robert M. Urban et al., *Dissemination of wear particles to the liver, spleen, and abdominal lymph nodes of patients with hip or knee replacement*, 82(4) J. of Bone & Joint Surgery 457 (2000), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10761937>.
363. See Yan Xu et al., *Transport of nanoparticles across pulmonary surfactant monolayer: a molecular dynamics study*, 19(27) Physical Chemistry Chem. Physics 17568, 17568-576 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28621369>.
364. See Yongfeng Deng et al., *Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure*, 7 Sci. Rep. (2017), <https://www.nature.com/articles/srep46687>.
365. See Alan J. Jamieson et al., *Bioaccumulation of Persistent Organic Pollutants in the Deepest Ocean Fauna*, 1 Nature Ecology & Evolution (2017), <https://www.nature.com/articles/s41559-016-0051>.
366. See Mariann Lloyd-Smith & Joanna Immig, *IPEN, Ocean Pollutants Guide: Toxic Threats to Human Health and Marine Life* (Oct. 2018), [https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-ocean-pollutants-v2\\_1-en-web.pdf](https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-ocean-pollutants-v2_1-en-web.pdf).
367. See Cynthia De Wit, Aaron T. Fisk & Derek C. G. Muir, D.C.G., *Effects of Persistent Organic Pollutants (POPs) in Arctic Wildlife*, 67 Organohalogen Compounds (2005).
368. See Carbery, O'Connor & Thavamani *supra* note 8.
369. See Gallo et al., *supra* note 164.
370. See GESAMP, *supra* note 361.
371. See Gallo et al., *supra* note 164.
372. See Deng et al., *supra* note 364.
373. See Inga Kirstein et al., *Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic Vibrio spp. on microplastic particles*, 120 Marine Environ. Res. 1, 1-8 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27411093>.
374. See Volkheimer, *supra* note 226.
375. See Hans Bouwmeester, Peter C.H. Hollman & Ruud J.B. Peters, *Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology*, 49(15) Environ. Sci. & Tech. 8932, 8932-47 (2015), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26130306>.
376. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
377. See Lancet Planetary Health, *supra* note 310.
378. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
379. See Gallo et al., *supra* note 164.
380. See Sinja Rist et al., *A Critical Perspective on Early Communications Concerning Human Health Aspects of Microplastics*, 626 Sci. of The Total Env't 720, 720-26 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.092>.
381. See Dris et al., *Microplastics contamination in an urban area: A case study in Greater Paris*, *supra* note 299.
382. See Cai et al., *supra* note 303.
383. See Rachid Dris et al., *A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments*, 221 Environ. Pollution 453, 453-58 (2017), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013>.
384. See *id.*
385. See Joana Correia Prata, *Airborne Microplastics: Consequences to Human Health?*, 234 Environ. Pollution 115, 116 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043>.
386. See J.E. Alzona et al., *Indoor-outdoor Relationships for Airborne Particulate Matter of Outdoor Origin*, 13(1) Atmospheric Environ't 55, 55-60 (1979), [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(79\)90244-0](https://doi.org/10.1016/0004-6981(79)90244-0).



387. See Prata, *supra* note 385, at 122.
388. See *id.*
389. See Subrahmaniyan Kasirajan & Mathieu Ngouajio, *Polyethylene and Biodegradable Mulches for Agricultural Applications: A Review*, 32(2) *Agronomy for Sustainable Dev.* 501, 501-29 (2012), <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3>.
390. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
391. See E. Athanasopoulou et al., *The role of sea-salt emissions and heterogeneous chemistry in the air quality of polluted coastal areas*, 8 *Atmospheric Chemistry & Physics* 5755, 5755-69 (2008).
392. See Boucher, *supra* note 6.
393. See Teresa Rocha-Santos & Armando C. Duarte, *A Critical Overview of the Analytical Approaches to the Occurrence, the Fate and the Behavior of Microplastics in the Environment*, 65 *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 47, 47-53 (2015), <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>.
394. See Michael Scheurer & Moritz Bigalke, *Microplastics in Swiss Floodplain Soils*, 52(6) *Envtl. Sci. & Tech.* 3591, 3591-3598 (2018), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29446629>.
395. See Prata, *supra* note 385, at 116.
396. Flocking is a method to apply very short (1/10" to 1/4") fibers called flock to a substrate, such as fabric, foam, or film, coated with an adhesive. Flocking is an inexpensive method of producing an imitation extra yarn fabric, flocked in a design, or a pile-like fabric where the flock has an overall pattern. See Robyne Williams, *Flocking*, Love to Know, <https://fashion-history.lovetoknow.com/fabrics-fibers/flocking> (last visited Feb. 1, 2019).
397. See William L. Eschenbacher et al., *Nylon Flock-Associated Interstitial Lung Disease*, 159(6) *Am. J. of Respiratory & Critical Care Med.* 2003, 2003-08 (1999), <https://doi.org/10.1164/ajrccm.159.6.9808002>.
398. See John L. Pauly et al., *Inhaled Cellulosic and Plastic Fibers Found in Human Lung Tissue*, 7 *Cancer, Epidemiology, Biomarkers & Prevention* 419, 419-28 (1998), <http://cebp.aacrjournals.org/content/cebp/7/5/419.full.pdf>.
399. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
400. See Samuel Schürch et al., *Particles at the airway interfaces of the lung*, 15(3-4) *Colloids & Surfaces B: Biointerfaces* 339, 339-53 (1999), [https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(99\)00099-5](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(99)00099-5).
401. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
402. See D.B. Warheit et al., *Potential Pulmonary Effects of Man-made Organic Fiber (MMOF) Dusts*, 31(6) *Critical Rev. of Toxicology* 697, 697-736 (2001), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11763480>.
403. See Gilbert S. Omenn et al., *Contribution of Environmental Fibers to Respiratory Cancer*, 70 *Envtl. Health Persp.* 51, 51-56 (1986), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3830113>.
404. See D.B. Warheit et al., *Four-week Inhalation Toxicity Study in Rats with Nylon Respirable Fibers: Rapid Lung Clearance*, 192(2-3) *Toxicology* 189, 189-210 (2003), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14580786>.
405. See Wright & Kelly, *supra* note 150 (citing Marianne Geiser, Samuel Schürch & Peter Gehr, *Influence of Surface Chemistry and Topography of Particles on Their Immersion into the Lung's Surface-lining Layer*, 94(5) *J. of Applied Physiology* 1793, 1793-1801 (2003), <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00514.2002>).
406. See Wright & Kelly, *supra* note 150 (citing Christian A. Ruge, Julian Kirch & Claus-Michael Lehr, *Pulmonary Drug Delivery: From Generating Aerosols to Overcoming Biological Barriers -- Therapeutic Possibilities and Technological Challenges*, 1(5) *The Lancet Respiratory Med.* 402, 402-13 (2013), [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(13\)70072-9](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(13)70072-9)).
407. See Pauly, *supra* note 398.
408. See *id.*
409. See Wright & Kelly, *supra* note 150, at 6638.
410. See *id.*
411. See Prata, *supra* note 385, at 121.
412. See Matthew Cole et al., *Microplastics as Contaminants in the Marine Environment: A Review*, 62(12) *Marine Pollution Bull.* 2588, 2588-97 (2011), <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>.
413. See Ruthann A. Rudel et al., *Phthalates, Alkylphenols, Pesticides, Polybrominated Diphenyl Ethers, and Other Endocrine-Disrupting Compounds in Indoor Air and Dust*, 37(20) *Envtl. Sci. & Tech.* 4543, 4543-53 (2003), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14594359>.
414. See Hermann Fromme et al., *Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs), Hexabromocyclododecane (HBCD) and "Novel" Brominated Flame Retardants in Household Dust in Germany*, 64 *Envtl Int'l* 61, 61-68 (2014).
415. See Wright & Kelly, *supra* note 150, at 6642.
416. See Prata, *supra* note 385, at 122.
417. See Matthias C. Rillig, *Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil?*, 46(12) *Envtl. Sci. & Tech.* 6453, 6453-54 (2012).
418. See Sarah Piehl et al., *Identification and Quantification of Macro- and Microplastics on an Agricultural Farmland*, 8 *Sci. Rep.* (2018), <https://www.nature.com/articles/s41598-018-36172-y>.
419. See Alice A. Horton et al., *Microplastics in Freshwater and Terrestrial Environments: Evaluating the Current Understanding to Identify the Knowledge Gaps and Future Research Priorities*, 586 *Sci. of The Total Env't* 127, 127-41 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28169032>.
420. See Ee-Ling Ng et al., *An Overview of Microplastic and Nanoplastic Pollution in Agroecosystems*, 627 *Sci. of The Total Env't* 1377, 1377-88 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.341>.
421. See Luca Nizzetto, Martyn Futter & Sindre Langaas, *Are Agricultural Soils Dumps for Microplastics of Urban Origin?*, 50(20) *Envtl. Sci. & Tech.* 10777, 10777-779 (2016), <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.6b04140>.
422. See Horton et al., *supra* note 419.
423. See A.M. Mahon et al., *Microplastics in Sewage Sludge: Effects of Treatment*, 51(2) *Envtl. Sci. & Tech.* 810, 810-818 (2016), <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.6b04048>.
424. See de Souza Machado et al., *supra* note 339.
425. See Nicolas Weithmann et al., *Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment*, 4(4) *Sci. Advances* eaap8060 (2018), <http://advances.sciencemag.org/content/4/4/eaap8060>.
426. See Kimberly Ann V. Zubris & Brian K. Richards, *Synthetic Fibers as an Indicator of Land Application of Sludge*, 138(2) *Envtl. Pollution* 201, 201-11 (2005), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.04.013>.
427. See Rillig, *supra* note 417.
428. See Sherri A. Mason et al., *Microplastic Pollution is Widely Detected in U.S. Municipal Wastewater Treatment Plant Effluent*, 218 *Envtl. Pollution* 1045, 1045-1054 (2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27574803>.
429. See Julia Talvitie et al., *How well is microlitter purified from wastewater?—A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant*, 109 *Water Res.* 164, 164-72 (2017), <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.046>.
430. See de Souza Machado et al., *supra* note 339.
431. See Luca Nizzetto, Sindre Langaas & Martyn Futter, *Pollution: Do Microplastics Spill on to Farm Soils?*, 537 *Nature* 488 (2016), <https://www.nature.com/articles/537488b>.
432. See Horton et al., *supra* note 419.
433. See Weithmann et al., *supra* note 425.
434. See Michael O. Gaylor, Ellen Harvey & Robert C. Hale, *Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Accumulation by Earthworms (Eisenia fetida) Exposed to Biosolids-, Polyurethane Foam Microparticle-, and Penta-BDE-Amended Soils*, 47(23) *Envtl. Sci. & Tech.* 13831, 13831-839 (2013), <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es403750a>.
435. See Rocha-Santos & Duarte, *supra* note 393.
436. See Yooeun Chae & Youn-Joo An, *Current Research Trends on Plastic Pollution and Ecological Impacts on the Soil Ecosystem: A Review*, 240 *Envtl. Pollution* 387, 387-95 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.008>.
437. See Ng et al., *supra* note 420.
438. See Samantha E. Serrano et al., *Phthalates and Diet: A Review of the Food Monitoring and Epidemiology Data*, 13(1) *Envtl. Health* 43 (2014), <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-43>.
439. See Thomas McGrath, Andrew S. Ball & Bradley Clarke, *Critical Review of Soil Contamination by Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and Novel Brominated Flame Retardants (NBFRs): Concentrations, Sources and Congener Profiles*, 230 *Envtl. Pollution* 741, 741-57 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28732337>.
440. See Jian Lu et al., *Analysis of Bisphenol A, Nonylphenol, and Natural Estrogens in Vegetables and Fruits Using Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry*, 61(1) *J. of Agric. & Food Chemistry* 84, 84-89 (2013), <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf304971k>.
441. See Gaylor, Harvey & Hale, *supra* note 434.

442. According to the United Nations Environment Program (UNEP), POPs are considered "chemical substances that persist in the environment, *bio-accumulate* through the *food web*, and pose a risk of causing adverse effects to human health and the environment." The Stockholm Convention was ratified in 2004 with an initial 128 parties. As of June 2018, there are 182 parties to the Convention (181 nations and the EU). It sets forth a commitment whereby signatories agree to eliminate the use of nine of the dirty dozen POPs identified in the Convention and sets forth a process for evaluating additional chemicals to be listed as POPs. The Convention also mandates that developed nations provide new resources and measures to eliminate the production and use of POPs and manage and dispose of them properly.
443. See Gallo, *supra* note 164.
444. See European Chemicals Agency (ECHA), *Annex XV Restriction Report: Proposal for a Restriction* (Jan. 11, 2019), <https://echa.europa.eu/documents/10162/82cc5875-93ae-d7a9-5747-44c698dc19b6>.
445. See Shonkoff, Hays & Finkel, *supra* note 25; Colborn et al., *supra* note 13.
446. See U.S. Env't Prot. Agency, *Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States* (2016), <https://cfpub.epa.gov/ncea/hfstudy/recordisplay.cfm?deid=332990>.
447. See Thomas Jemielita et al., *Unconventional Gas and Oil Drilling is Associated with Increased Hospitalization Utilization Rates*, 10(8) PLoS ONE e0137371 (2015), <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0131093>.
448. See Crompton, *supra* note 153.
449. See Galloway, *supra* note 9.
450. See Wright & Kelly, *supra* note 150.
451. See *id.* (citing Lithner, Larsson & Dave, *supra* note 148).
452. See Wright & Kelly, *supra* note 150 (citing Lithner, Larsson & Dave, *supra* note 148).
453. See UNEP Guidelines on Art. 5 & Annex C of POPs Convention, *supra* note 233.
454. See UNEP, *Solid Waste Management: Sound practices – Incineration*, *supra* note 234.
455. See Zhang et al., *supra* note 236.
456. See Carbery, O'Connor & Thavamani, *supra* note 8.
457. See U.N. Office of the High Commissioner for Human Rights (OHCHR), *Statement of the Special Rapporteur on the implications for human rights of the environmentally sound management and disposal of hazardous substances and wastes at the 30<sup>th</sup> session of the Human Rights Council* (Sept. 16, 2015), <https://www.ohchr.org/EN/NewsEvents/Pages/DisplayNews.aspx?NewsID=16444&LangID=E> (last visited Feb. 2, 2019).
458. For example, see the transport of ethane gas from the United States to the UK for plastic production via ships. See, e.g., INEOS Trading & Shipping, *Shipping*, <https://www.ineos.com/businesses/ineos-trading-shipping/shipping> (last visited Feb. 2, 2019).
459. See Teresa M. Attina et al., *Exposure to Endocrine-disrupting Chemicals in the USA: A Population-based Disease Burden and Cost Analysis*, 4(12) *The Lancet, Diabetes & Endocrinology* 996, 996-1003 (Dec. 1, 2016), [https://www.thelancet.com/journals/landia/article/PIIS2213-8587\(16\)30275-3/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/landia/article/PIIS2213-8587(16)30275-3/fulltext).
460. See Leonardo Trasande et al., *Burden of Disease and Costs of Exposure to Endocrine-disrupting Chemicals in the European Union: An updated analysis*, 4(4) *Andrology* 565, 565-72 (2016), <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/andr.12178>.



# 塑料与健康

## 塑料星球的隐藏成本

虽说塑料是地球上最常见的材料之一，但人们对该材料及其对人类健康的影响依然知之甚少。随着塑料产量和使用的增加，人体塑料暴露必也在增加。在塑料对人类健康的影响方面，迄今为止的研究仅限于塑料生命周期的一些特定阶段：从井口到炼油厂，从商店货架到人体，从废弃物管理到空气、水和土壤污染的持续影响。在生命周期的每个阶段，塑料都对人类健康产生显著风险。加总起来，塑料在其生命周期内的影响向世人敲响了毒害警钟：塑料在全球范围内威胁着人类健康。



报告英文版下载链接：[www.ciel.org/plasticandhealth](http://www.ciel.org/plasticandhealth)

报告中文版下载链接：<http://www.toxicsfree.org.cn/html/5871931632.html>

