



# 塑料的社会、环境 和经济成本分析



# 致 谢

本报告由达博咨询公司（Dalberg Advisors）撰写，团队人员包括维南·德威特（Wijnand DeWit）、艾琳·伯恩斯（Erin Towers Burns）、让·查尔斯·金查德（Jean-Charles Guinchard）、努尔·艾哈迈德（Nour Ahmed）。同时感谢以下人员提供的宝贵建议和支持：高兴（Gao Xing）、杨松颖（Patrick Yeung）、金诚诚（Jin Chengcheng）、丁小慧（Ding Xiaohui）、范鹏（Fan Peng）、刘宇涵（Liu Yuhan）。

## 达博咨询

达博咨询是一家战略咨询公司，致力于建立一个所有人都能充分发挥其最大潜力、更具包容性和可持续性的世界。达博公司与社区、政府和公司合作，为其提供创新性综合服务，包括咨询、投资、研究、分析和设计，以创造广博影响。

## 世界自然基金会（WWF）

世界自然基金会是世界上最大、最有经验的独立环保组织之一，在全世界拥有超过 500 万支持者和超过 100 个国家参与的项目网络。世界自然基金会的使命是：通过保护世界生物多样性，确保可再生自然资源的可持续利用，推动降低污染和减少消费浪费，来遏止地球自然环境的恶化，创造人类与自然和谐相处的美好未来。

Published in September 2021 by WWF – World Wide Fund For Nature (Formerly World Wildlife Fund), Gland, Switzerland.

Any reproduction in full or in part must mention the title and credit the above-mentioned publisher as the copyright owner.

© Text 2021 WWF, All rights reserved

Design: Ender Ergün

A REPORT FOR WWF BY  
**Dalberg**

**WWF International**  
Rue Mauverney 28,  
1196 Gland, Switzerland.  
**www.panda.org**

**Dalberg**  
Rue de Chantepoulet 7  
1201 Geneva, Switzerland  
**www.Dalberg.com**

# 目录

行动呼吁	4
执行摘要	6
第一章 引言	10
第二章 问题	12
第三章 行动障碍	25
第四章 未来之路	27
附录（一）：国家案例	30
附录（二）：核算方法	36



# 行动呼吁

## 世界自然基金会呼吁采取全球联合行动

塑料因其独一无二的特性而在当今社会发挥着重要作用。然而，塑料的生产、消费和处置也给社会、环境 and 经济带来了巨大负面影响，由此产生的成本却并未计入原生塑料目前的价格。如这份报告所示，塑料的环境和社会成本要比初级塑料生产商所支付的市场价格高出至少 10 倍，给各国带来巨大外部成本。由于政府对塑料的真实成本缺乏足够了解，导致塑料管理不当，进而使国家在生态、社会和经济方面付出了越来越高的代价。2019 年生产的塑料在其全部生命周期里将产生至少 3.7 万亿美元的成本（+/-1 万亿美元）。现有的、旨在解决塑料危机的全球行动没能凑效。现

在如果不立即采取行动，2040 年生产的塑料在其生命周期内所产生的社会成本可能高达 7.1 万亿美元（+/-2.2 万亿美元），这个数值大约相当于 2018 年全球卫生支出的 85%，超过 2019 年德国、加拿大、澳大利亚三国的国民生产总值（GDP）总和。

**现在是各国政府采取行动的关键时刻，政府要确保塑料系统中的所有参与者都对塑料产生的成本负责，这些成本体现了塑料在其生命周期内给自然和人类带来的影响。**



Las Vegas, Nevada, USA, 2019 © shutterstock / John Dvorak

## 世界自然基金会呼吁所有政府采取如下行动：

### 国际层面：

- 协商建立一项具有法律约束力的国际协议，来处理塑料在其生命周期的每个阶段所产生的问题，到 2030 年停止塑料污染泄漏进入海洋，并以此促进实现可持续发展目标（SDGs），为制定旨在解决全球塑料污染问题的责任框架铺平道路。此协议应做到：
- 确立一系列国家目标和行动计划，以指导和规范塑料的减量、循环利用和管理。目标和计划的制定应与国际协议中的承诺保持一致，包括建立透明的报告机制以识别出塑料问题的跨界属性。
- 确立统一的定义和标准，以界定产品和流程，并确保所有市场、塑料价值链上的所有环节都遵循相同的定义和标准。
- 实施充分的监管措施和合规举措，并辅以全球共享的报告机制和监管框架，以促使塑料系统内所有利益相关方在进行塑料生产、回收、管理时都遵循相关的政策。
- 建立一家全球性质的科学机构，以评估和整合对自然界中塑料和微塑料的现有最佳研究。这样的机构能帮助科学界汇聚资源，确立用于评估和报告塑料污染、塑料泄漏情况的通用标准。
- 通过财政机制和技术支持，包括在国家间分享最佳实践的方式，帮助相关标准和措施得到落实。
- 支持学界加大对塑料全生命周期成本的研究、汇报和核算。

### 国家层面：

- 利用适当的政策工具，使塑料的全部成本实现内化，鼓励减塑行动，实施重复利用模式，鼓励创新和使用再生塑料，研发能减少生态足迹的可行替代材料。
- 与各行业和民间团体合作，确保采取基于系统的方法，以完整的系统处理塑料的生产、消费、废弃物的管理以及循环利用问题，避免分散的、单一的或形式化的政策行动。
- 支持投资建设国内生态友好型废弃物管理系统，加大对接收本国出口塑料废弃物的国家的投资，从而锁定经济和环境的长期惠益。
- 通过立法的形式，建立有效的生产者责任延伸制度（EPR），并将此作为所有塑料生产部门都要认真执行的一项政策机制，以确保贸易链上的各相关企业在塑料废弃物收集、减量、循环利用以及管理上担起更大责任。
- 在适当的地方层面开展工作，建立健全的管理计划和透明的核算机制，防止塑料泄漏至水系统或其他管理不当的废弃物处理体系。



# 执行摘要

塑料有着重要的作用，但同时塑料的生产、使用和处置也给社会带来了无数负面影响，塑料污染问题已成为当今最为紧迫的环境问题之一<sup>1</sup>。塑料由于看起来价格便宜且具有多种功能而得到越来越广泛的应用。在过去的 20 年里，塑料的产量几乎翻了一番<sup>2</sup>。塑料在生产过程中会释放化学污染物和温室气体（GHG），不仅会对人类健康造成不利影响，还会导致气候变化<sup>3,4</sup>。由于很多塑料制品都是按一次性用品来设计的<sup>5</sup>，塑料产量的增加势必会导致塑料废弃物的增加。塑料废弃物处理不当，会带来化学污染物的释放，进而导致气候变化。有时，塑料废弃物会直接泄漏至环境中，造成塑料污染。如今，每年有超过 1100 万吨的塑料流入海洋<sup>6</sup>。海洋污染给海洋生物带来威胁<sup>7</sup>，影响海洋生态系统服务功能<sup>8</sup>，损害渔业和旅游业等重要经济产业<sup>9</sup>。

这些影响给整个社会带来了巨大成本，但这些成本却并未体现在塑料的市场价格中。2019 年生产的塑料在其生命周期<sup>10</sup>内产生的成本将达到至少 3.7 万亿美元（+/-1 万亿美元）<sup>11</sup>，超过印度当年的 GDP<sup>12</sup>。从初级塑料生产商为原生塑料所支付的市场价格来看，塑料似乎是一种相对便宜的材料<sup>13</sup>。2019 年，初级形态塑料的单位成本刚刚超过 1000 美元每吨<sup>14</sup>。不过，这个价格没有把塑料在其整个生命周期所产生的所有成本全部计算进去。其实，这些塑料在其生命周期排放的温室气体所产生的成本就超过了 1710 亿美元<sup>15</sup>。单是在 2019 年这一年，针对这些巨量塑料废弃物的管理支出就超过了 320 亿美元<sup>16</sup>，管理的内容包括对塑料的收集、分类、处置和循环利用<sup>17</sup>。塑料在自然环境中完全降解，往往要花费成百上千年的时间，而且在降解过程中，塑料还会分解成更小的颗粒，从而使得从环境中回收和消除塑料变得愈加困难。而塑料一旦残留在环境中，就会进一步产生成本。例如，2019 年生产的塑料在其整个生命

周期所带来的海洋污染，将对海洋生态系统造成破坏，减少海洋生态系统提供的服务，产生 3.1 万亿美元的成本（+/-1 万亿美元）<sup>18</sup>。另外，清理现存的塑料污染也会产生成本。

同时，数据的缺乏导致有关塑料负面影响的成本估算受到影响，因此塑料真正的成本要高于当前的估值。另外，由于存在数据缺口，以及对塑料污染所造成的破坏范围和破坏程度理解不足，目前的估值水平只能是塑料全部生命周期成本的下限。

如果不采取关键的行动，塑料的产量就会显著地增长，从而导致社会成本相应增加。2040 年预计生产的原生塑料，在其全部生命周期里将产生 7.1 万亿美元（+/-2.2 万亿美元）的社会成本，这还没把它的市场价算在其中。这个数值大概占到 2018 年全球卫生支出的 85%，超过 2019 年德国、加拿大、澳大利亚三个国家的 GDP 总和<sup>19</sup>。到 2040 年，塑料产量预计翻番，塑料给海洋造成的污染将是现在的三倍<sup>20</sup>。到那时，塑料在全球碳预算中的比重将提升至 20%<sup>21</sup>，从而加快全球气候危机。

为了解决塑料危机，世界各国也采取了必要行动，但当前的措施还没达到能带来系统性改变的规模，而且相关的监管措施标准不一，分散凌乱，没能触及导致塑料污染问题的根源。一些重要组织<sup>22,23,24</sup>提出了发展塑料循环经济的办法来应对危机，企图把塑料控制在经济闭环中，防止其泄漏到环境中。这种办法能有效减少塑料带来的负面影响，包括将每年流入海洋的塑料数量减少 80%，将温室气体排放量减少 25%<sup>25</sup>。不过，这种对整个系统大修大补的办法需要强大的财政支持和技术支撑，这阻碍了政府采取进一步行动。同时，由于塑料的市场价格没能全面反映塑料的生命周期成本，以致有关塑料不利影响的反馈



回路出现缺位。结果是，整个社会缺乏足够的动力来推动应对塑料污染现状所需要的系统性变革。另外，数据的缺乏也限制了政府对塑料危机的认知与决策能力。在应对塑料污染问题时，政府的应对措施没有覆盖塑料的整个生命周期，而是仅针对生命周期的某个阶段，或是针对狭隘的问题范围，如限制一次性塑料袋的使用<sup>26</sup>。

塑料问题具有跨域性，要想有效解决塑料危机，就必须采取真正的全球行动。然而在解决塑料问题上当前最缺乏的就是全球协作。塑料问题之所以具有跨域性，是因为塑料的生命周期常常发生在不同国家。比如，塑料原材料的提取可能发生在 A 国，塑料制品的生产可能发生在 B 国，塑料的使用可能是在 C 国，而塑料废弃物的处置又可能是在 D 国。塑料污染同样不会受到国界的限制，它会通过水流和气流进行迁移，并沉积在海底。所以，塑料污染是一个全球性危机，要解决这个危机，就必须采取全球行动。然而现在缺乏的，正是可以专门阻止海洋塑料污染或是解决塑料全部生命周期问题的全球工具<sup>27</sup>。

民间团体、企业和金融机构认识到了这些挑战，于是越来越多地发出呼吁：通过建立一项新的全球协议，应对海洋塑料污染问题。这样的协议可以帮助政府解决塑料危机，减少塑料给社会带来的巨大成本。全球协议能提供一个设计良好的框架，促使各国在相关定义、政策、报告机制和实施支持方面协调合作，加快塑料向循环经济的转型。这项协议如能得到有效执行，将发挥具有法律约束力的工具的作用，鼓励并赋能给世界各国，促其担起责任，采取必要措施，解决塑料危机。截至目前，已有来自塑料价值链的 75 家核心企业支持《联合国塑料污染条约的商业界倡议》（Business Call for a UN Treaty on Plastic Pollution）<sup>28</sup>，全球有超过 210 万人签署了由世界自然基金会发起的请愿书，呼吁建立一项旨在解决海洋塑料污染的全球协议<sup>29</sup>。各国政府开始积极响应。截至 2021 年 8 月，在联合国所有成员国中大部分国家（104 个）已明确要求建立一项新的全球协议<sup>30</sup>。为了达成这项新协议，各国政府需要在 2022 年 2 月举行的联合国环境大会第五次会议上通过正式的谈判授权开启协商工作。









# 第一章 引言

塑料凭借其独一无二的特性在当今社会占据着重要的地位。塑料是一种特殊材料，质量轻，可塑性强，能防水，且价格便宜。这些特性使得很多产品都将它作为理想的材料，从服装和科技装备到太阳能电板和汽车零配件，无不如此。总之，塑料在当今社会扮演着重要的角色。特别是，塑料作为一种基本的防护材料，能保障食品的安全。用塑料作包装，可以防止食品的损耗、浪费和污染，保护食品不受害虫侵害和病毒污染，同时还能延长食品的存放期。在阻止新冠肺炎传播、减少新冠肺炎病死率方面<sup>31</sup>，塑料也发挥了重要作用。大部分的个人防护装备和医疗救助设备都全部或部分地由塑料制成。可以说，我们正处在“塑料时代”，在过去的20年里<sup>32</sup>，世界塑料的产量几乎翻了一番，到2050年估计将达到目前的三倍多<sup>33</sup>。

不断增多的塑料也造成了大量塑料污染，其中有很多进入了海洋。

随着塑料的作用日益凸显，塑料的使用尤其是一次性塑料的使用也迅速增长。由于很多塑料制品都是按一次性使用来设计的<sup>35</sup>，这导致了塑料废弃物的急剧增长。目前每年产生的城市固体塑料废弃物多达2亿多吨<sup>36</sup>，相当于523万亿根塑料吸管的重量，如果将这些吸管首尾相连，长度大概能绕地球280万圈<sup>37</sup>。现有的废弃物管理系统尚未具备处理如此巨量的塑料废弃物的能力，因此，大概有41%的塑料废弃物管理不当<sup>38</sup>，这其中又有47%的塑料废弃物泄漏至环境中，形成塑料污染，其中一些最终流入海洋。每年流入海洋的塑料超过1100万吨<sup>39</sup>。

什么是管理不当的塑料废弃物？管理不当的塑料废弃物是指被露天焚烧、直接倾倒或是直接泄漏至环境中的塑料废弃物<sup>40</sup>。

塑料污染给人类带来了无数有害影响，成为一个重大的全球问题。塑料污染不仅对人类构成了威胁，也对人类所生活的这个星球构成了威胁<sup>41</sup>。另外，它也给很多经济行业带来破坏，渔业和旅游业更是深受其害<sup>42</sup>。塑料的降解一般需要成百上千年的时间，这意味着这种破坏所带来的成本将由未来的数代人承担。随着塑料的破坏性影响逐渐被人们认识，公众对塑料问题的关注也与日俱增。现如今，塑料污染已成为全球公众最关心的三大环境问题之一，经常被提及<sup>43</sup>。

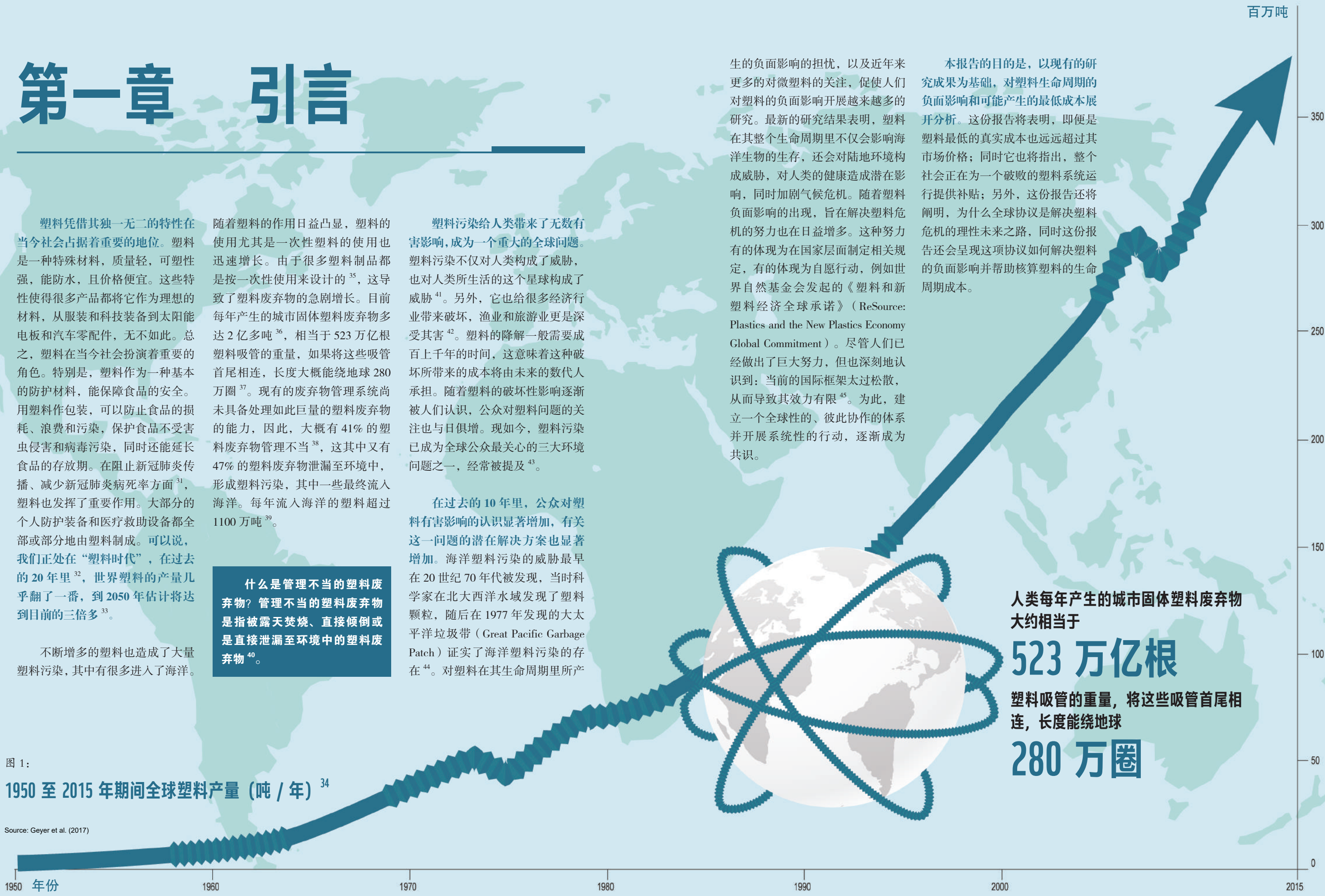
在过去的10年里，公众对塑料有害影响的认识显著增加，有关这一问题的潜在解决方案也显著增加。海洋塑料污染的威胁最早在20世纪70年代被发现，当时科学家在北大西洋水域发现了塑料颗粒，随后在1977年发现的大太平洋垃圾带（Great Pacific Garbage Patch）证实了海洋塑料污染的存在<sup>44</sup>。对塑料在其生命周期里所产

生的负面影响的担忧，以及近年来更多的对微塑料的关注，促使人们对塑料的负面影响开展越来越多的研究。最新的研究结果表明，塑料在其整个生命周期里不仅会影响海洋生物的生存，还会对陆地环境构成威胁，对人类的健康造成潜在影响，同时加剧气候危机。随着塑料负面影响的出现，旨在解决塑料危机的努力也在日益增多。这种努力有的体现为在国家层面制定相关规定，有的体现为自愿行动，例如世界自然基金会发起的《塑料和新塑料经济全球承诺》（ReSource: Plastics and the New Plastics Economy Global Commitment）。尽管人们已经做出了巨大努力，但也深刻地认识到：当前的国际框架太过松散，从而导致其效力有限<sup>45</sup>。为此，建立一个全球性的、彼此协作的体系并开展系统性的行动，逐渐成为共识。

本报告的目的是，以现有的研究成果为基础，对塑料生命周期的负面影响和可能产生的最低成本展开分析。这份报告将表明，即便是塑料最低的真实成本也远远超过其市场价格；同时它也将指出，整个社会正在为一个破败的塑料系统运行提供补贴；另外，这份报告还将阐明，为什么全球协议是解决塑料危机的理性未来之路，同时这份报告还会呈现这项协议如何解决塑料的负面影响并帮助核算塑料的生命周期成本。

图 1：  
1950 至 2015 年期间全球塑料产量（吨 / 年）<sup>34</sup>

Source: Geyer et al. (2017)





# 第二章 问题

社会和政府正在不知不觉中  
将自己埋在不断增长的塑料债务中

塑料在其生命周期内所产生的负面影响给政府和社会带来了巨大成本，这种成本要远大于塑料的市场价格。有些负面影响如塑料废弃物的管理，会产生直接经济成本；另一些负面影响则通过危害环境和人类健康，增加社会 and 政府的支付负担，从而转化为间接成本。塑料耐用且用途广泛，这也意味着塑料在其全生命周期内产生的成本也将是长期的。塑料要完全降解，需要花费几百上千年的时间。降解过程中，塑料会分解成更小的颗粒<sup>46,47</sup>，这使得塑料一旦泄漏至环境中就很难回收和清除。这个事实使得塑料危机明显有别于其他材料，因为尽管其他材料的价格也可能没反映其真实成本，但由于材料本身的特点，它们要么能更快地降解（例如纸），要么更容易回收。

- 尚未反映在市场价格中的塑料成本包括：
- 温室气体排放带来的成本；
  - 健康成本；
  - 废弃物管理成本；
  - 因处置不当而产生的成本（见图 3）。

虽然塑料在其生命周期内造成的外部影响多为人知，但有时候数据的缺乏使得人们难以对这些影响所达到的程度有清晰的了解。在每一种成本维度内，都有一些可量化的元素，也都是一些难以量化的元素（见表 1）。

## 塑料的生命周期成本介绍

塑料的生命周期不会随着塑料被丢弃而结束，它或许会存在数千年（见图 2）

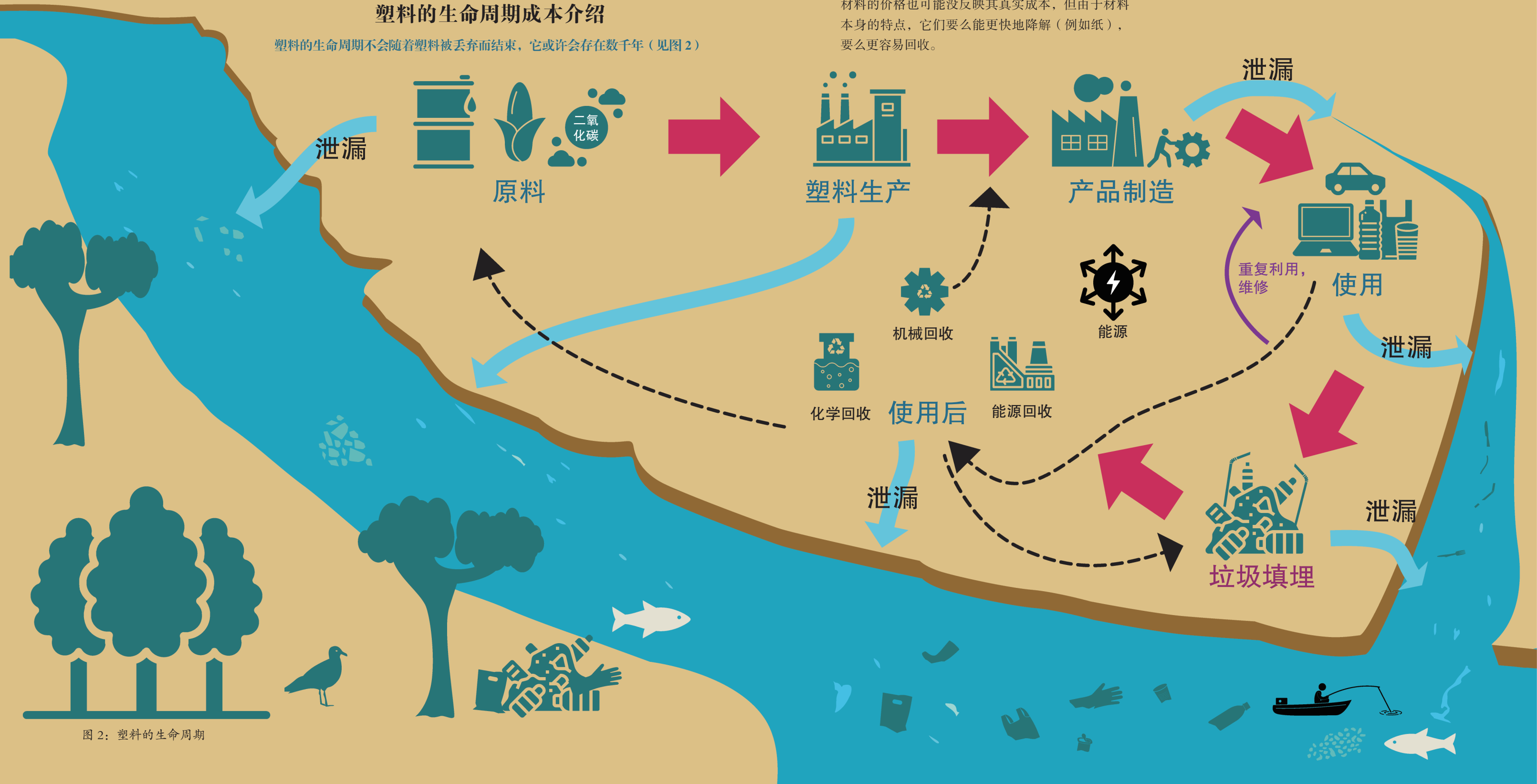


图 2：塑料的生命周期



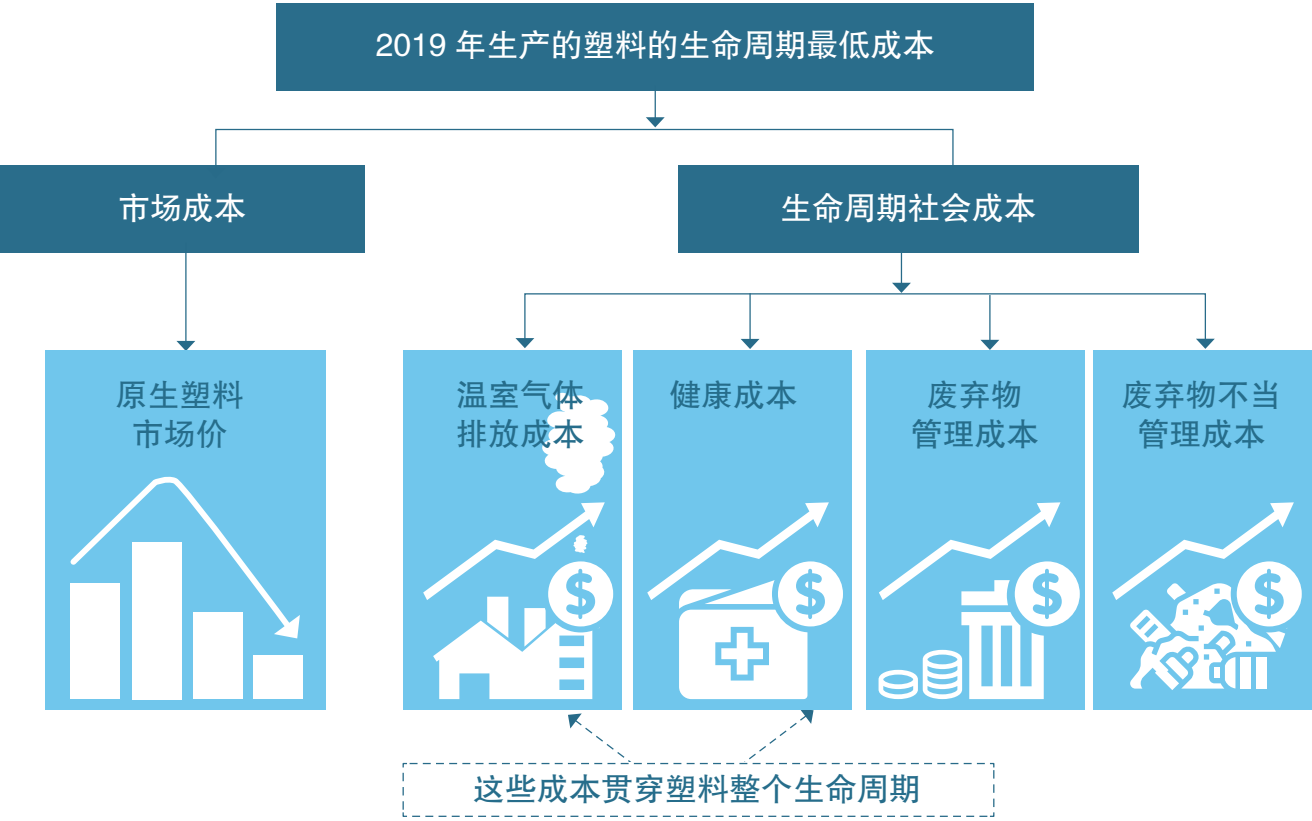


图 3：2019 年生产的塑料的最低生命周期成本概览

表 1：塑料生命周期内所造成的可量化成本和当前不可量化成本概览

成本维度	可量化元素	当前不可量化元素
市场价格	原生塑料市场价	
温室气体排放	●生产过程产生的温室气体排放成本 ●废弃物管理过程产生的温室气体排放成本 这两项成本均由社会间接承担（基于碳价格以及遵守碳承诺带来的成本）。	●不受管控的塑料废弃物造成的温室气体排放成本
健康		●生产过程产生的健康成本 ●废弃物管理过程产生的健康成本 ●塑料使用带来的健康风险 ●不受管控的塑料废弃物带来的健康成本
废弃物管理	●政府直接承担的成本，以及通过税收或是 EPR 制度间接由企业或民众承担的成本，用以进行正规的废弃物管理。 ●非正规废弃物管理部门承担的成本，此项成本用于非正规废弃物管理活动。	
未受管控的废弃物	●海洋塑料污染带来的生态系统服务成本损失，考虑到环境和经济受到的伤害，这部分成本将由政府和所有其他利益相关者间接地承担。 ●海洋塑料污染给渔业和旅游业带来的收入损失 ●清理成本	●陆地生态系统中的塑料污染所带来的生态系统服务成本损失（陆地上可发现的任何生态系统，包括雨林、沙漠和草地）

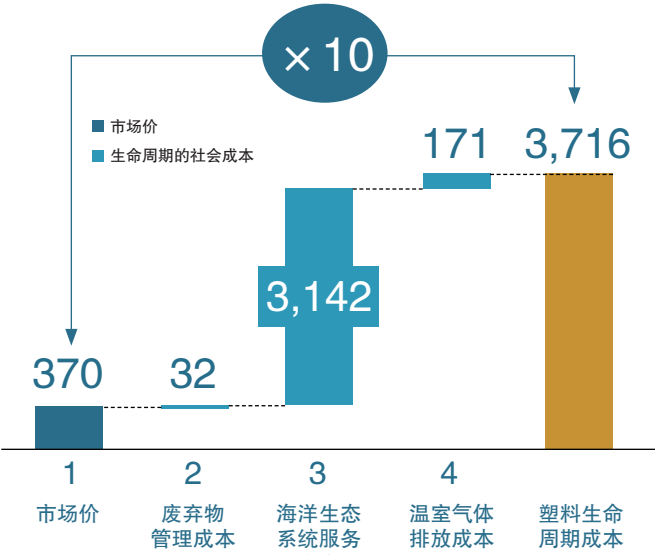
本章第一部分会估算社会、企业和政府需要承担的被认为是最低限度的塑料成本。在这部分内容里，只有得到充分研究支撑同时又量化的成本要素才会被包括在内。

本章第二部分将展现一些额外的塑料成本，由于研究还在进行中，这些成本没有被计算在预估成本中。不过，这类成本是确实存在的，这也意味着国家要承担的实际塑料成本高于本报告给出的估值。

本章第三部分将给出预测，看看上述成本在传统模式下是如何增长的。

单从市场价格来看，塑料是一种相对便宜的商品，然而塑料在其整个生命周期所产生的实际成本至少要比它的市场价格高十倍。例如，单是 2019 年全球生产的塑料，其实际成本就高达 3.7 万亿美元（+/-1 万亿美元）（见图 4）

2019 年生产的塑料其最低生命周期成本是 3.7 万亿美元（+/-1 万亿美元）<sup>48</sup>，其中有 90% 的成本没有体现在塑料的市场价格中。这些成本包括温室气体排放成本和废弃物管理成本，这些成本会落在社会和政府身上，最终由企业和民众来承担。对整个社会来说，塑料的生命周期成本是一个巨大的负担。2019 年全球所生产的塑料其生命周期成本高于印度在当年的 GDP



说明：图中数字被四舍五入（取整）到最近的十亿

图 4：2019 年生产的塑料的生命周期成本是塑料市场价格的十倍

（见图 5）<sup>49</sup>。

按初级塑料生产商为原生塑料支付的价格来算，2019 年生产的塑料其市场成本大概是 3700 亿美元<sup>51</sup>。90% 的塑料原料来源于化石燃料<sup>52</sup>，这意味着塑料的价格是与石油和天然气的价格直接关联的。由于化石燃料行业享受到政府大量的补贴，导致原生塑料的市场价格相对便宜。因此如果仅从塑料的市场价来看，塑料的确是一种看上去很便宜的商品。

什么是原生塑料（virgin plastic）？原生塑料是指化石原料（如天然气、原油）被精炼后而得到的、尚未被使用过的、也未被加工过的产品。

塑料在其生命周期内会释放出大量温室气体，仅 2019 年全球生产的塑料的温室气体排放就能产生 1710 多亿美元的成本，高于 2020 年全球能源转型支出的三分之一<sup>53</sup>。塑料的生命周期平均每年导致 18 亿吨的温室气体产生（详见深度分析 1）<sup>54</sup>，这比航空和海运的年排放总和还要多<sup>55</sup>。倘若把塑料看作一个国家，它就是世界上第五大温室气体排放国<sup>56</sup>。这些排放出来的温室气体正在使与气候变化相关的负面影响急剧增加，例如导致冰川消融<sup>57</sup>、洪水泛滥<sup>58</sup>、更严重的干旱以及其导致的农作物死亡<sup>59</sup>，这些负面影响给政府和社会带来巨大成本。然而如此巨大的成本只是一个开始，研究表明，气候变化带来的经济成本只会持续增加<sup>60</sup>。

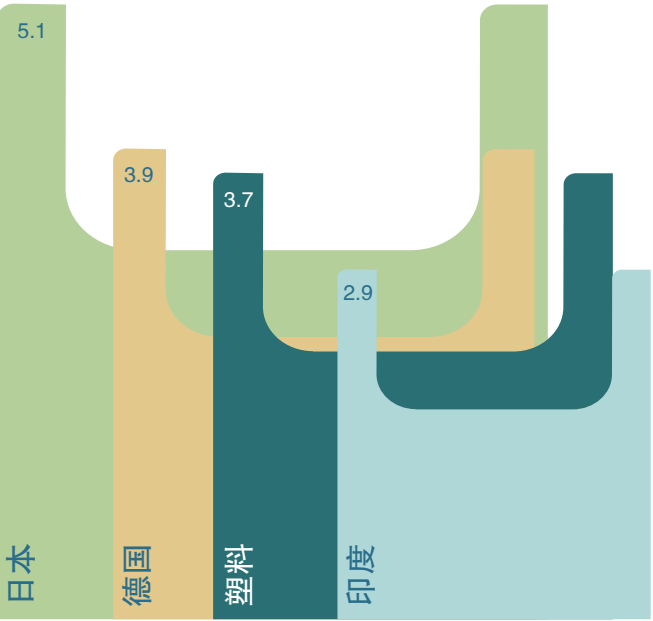


图 5：2019 年生产的塑料的生命周期成本超过印度当年的 GDP（单位：万亿美元）<sup>50</sup>





## 深度分析 1：塑料生命周期的每一个阶段都会释放大量温室气体

研究表明，塑料全生命周期排放的温室气体有 **91% 来自生产过程<sup>61</sup>**，也就是说，塑料在尚未变为废弃物之前就已经给社会带来巨大成本。大部分的温室气体排放发生在塑料使用前以及原材料提炼和生产过程中。以 2015 年为例，当年这方面的排放量是 16 亿吨<sup>62</sup>。不过，早期的研究表明，当塑料变为废弃物之后，其产生的温室气体比当前预计的水平要高很多<sup>63</sup>。

**废弃物管理也会带来温室气体排放，无论是焚烧还是填埋，都会直接或间接导致温室气体的产生。**根据以往研究估算周期排放，塑料在其生命周期末段所排放的温室气体数量低于其他阶段，以 2015 年为例，这个数值是 1.61 亿吨<sup>64</sup>。在生命周期末段，塑料相关的温室气体排放主要来自焚烧。不过，无论是填埋还是焚烧，都会导致对原生塑料需求的增加，从而带来温室气体的进一步排放。

**塑料废弃物处置不当会导致温室气体的大量排放，考虑到这一点，来自塑料生命周期下游的温室气**

**体排放要高于人们最初认识到的水平。**处置不当的塑料废弃物会被露天焚烧或者非法弃置进而导致泄漏至环境中，并常常流入海洋。由于塑料废弃物露天焚烧时缺少空气污染控制，在焚烧过程中会释放出一种叫做黑碳（black carbon）的空气污染物，这种物质对全球变暖的影响要比二氧化碳对全球变暖的影响大 5000 倍<sup>65</sup>。塑料在环境中非法弃置也会带来温室气体的排放，这是因为塑料在降解过程中会持续释放温室气体。已有研究表明，随着塑料分解的程度增加，温室气体的排放也会增多<sup>66</sup>。虽然目前的研究还不够充分，但现有的证据足以表明，无论是海洋中的塑料污染还是陆地上的塑料污染，最终都会成为温室气体排放的来源，其中陆地上的塑料污染会以更快的速度排放出温室气体。基于上述事实，处置不当的塑料废弃物有很大可能是温室气体排放的重要来源。不过，由于数据的缺乏，这种影响尚未被计算在塑料的生命周期成本内，因此，当前只能以最保守的方式对塑料温室气体排放带来的成本进行估算，这也是其成本的最低限。

要

## 深度分析 2：一些发展中国家正在不成比例地承担废弃物管理成本。虽然国际社会已采取行动限制塑料废弃物的出口，但是依然有一些高收入国家在将自己的塑料废弃物输出到低收入国家。

由于低收入国家的塑料废弃物回收再生成本较低，所以长期以来高收入国家将大量本国产生的塑料废弃物运至海外进行回收再生。在 1992 至 2018 年间，中国累计进口了全球 45% 的塑料废弃物，这使得全球塑料废弃物回收市场严重依赖中国<sup>70</sup>。

好在中国于 2018 年发起了“国门利剑”行动，限制塑料废弃物的进口。由于中国不再接受“洋垃圾”，这些高收入国家又缺乏回收能力，于是他们把目光纷纷转向东南亚和非洲。2019 年，美国共向越南输出了 83000 吨塑料废弃物<sup>71</sup>，这一体量大约等于 30 万个美国家庭一年的塑料废弃物产量<sup>72</sup>。

**然而，绝大多数废弃物并没有被循环再生，而是直接泄漏至环境中，给废塑料接收国的环境和民众健康带来危害。**很多废塑料接收国家的废弃物处理能力是有限的，例如在越南，72% 的塑料废弃物没能被妥善处置，以致造成塑料污染<sup>73</sup>。这种污染给接收国造成无数不利影响，包括使其供水受到污染，庄稼出现死亡，焚烧产生的有害气体使接收国的人民染上呼吸

道疾病<sup>74</sup>。

**尽管存在解决塑料出口问题的政策，但是由于高收入国家的废弃物管理体系能力有限，导致其依然严重依赖废弃物的出口。**虽然在最近通过的《巴塞尔公约》（Basel Convention）修正案的影响下，一些国家的政府开始采取行动，限制塑料废弃物的贸易，但出口依然在进行。最新的贸易数据显示，美国 2021 年 1 月的塑料废弃物出口量与一年前保持在同一水平。在此期间，马来西亚依然是美国废塑料的最大接收国<sup>75</sup>。

**正规回收系统处理能力不足为非法的废弃物处理提供了机会。**在新兴的亚洲进口国，非法回收机构因为规避了办理废弃物处理许可证的费用，同时也不使用环境友好的处置方式而降低成本，这两点使他们获利甚丰<sup>76</sup>。塑料废弃物的增加也使得非法填埋有所增多，以致塑料面临着泄漏至环境中的风险。结果，负责清理、监管这些塑料废弃物并为此承担费用的是那些接收国，而不是生产这些废弃物的企业和国家。





2019 年生产的塑料在其生命周期里对海洋生态系统服务的减损，将产生超过 3.1 万亿美元（+/-1 万亿美元）的成本，其中有 85% 的费用都要在未来的 100 年内由政府和社会来承担<sup>77</sup>。

海洋是世界上最重要的资源之一，它所提供的生态系统服务对人类的生存发展具有重要意义<sup>78</sup>。根据 2011 年的一次测算，海洋生态系统每年向人类提供的生态系统服务价值高达 61.3 万亿美元<sup>79</sup>，其重要的功能包括供给功能、调节功能、支持功能、文化功能<sup>80</sup>。供给功能指的是，人类可以从海洋中获取各种各样的食物、原材料、能源，如养殖或野生的鱼类、无脊椎动物、海藻等。调节功能指的是，海洋具有碳封存能力（详见深度分析 3），能减少二氧化碳向空气中的排放，同时还能调节气候，控制洪水的发生，有利于病虫害的防治。支持功能是指，海洋维持重要的物质循环，保证其他生态服务功能的运作。文化功能是指，海洋可以为人类提供精神栖息之所，为人们提供休闲、娱乐等文化享受。

### 深度分析 3：海洋塑料污染会削减海洋碳封存能力，加剧气候危机。

海洋具有强大的碳汇功能，在移除空气中二氧化碳方面发挥着重要作用。据统计，海洋能吸收 25% 的二氧化碳排放量<sup>87</sup>。海洋中会发生一系列生物过程，这种过程会捕捉洋面上的碳，并将其送至海底，这样空气中的碳就被清除了。比如，海洋中的浮游植物会借助光合作用摄入碳，而浮游动物和海洋中的其他生物又会以浮游植物为食，并通过粪便将摄入的碳排出体外。被排出的碳会沉到海底，在那里沉积成百上千<sup>88</sup>。

然而，塑料会限制海洋的碳汇功能。无论是实验室试验还是实地试验，结果都表明，浮游动物正在摄入大量微塑料<sup>89</sup>。这会改变浮游动物粪便的性质，使其更具浮力，从而减缓沉入海底的速度<sup>90</sup>。实验室试验还显示，摄入微塑料还会对浮游动物的进食速度产生影响。例如，暴露于聚苯乙烯粉尘的环境中，会使浮游动物的藻类细胞摄入量减少 11%，碳生物量摄入减少 40%，被食的藻类的总量也会出现下降<sup>91</sup>。暴露于微塑料环境的实验也表明，这会给浮游动物的成长和繁殖带来不利影响<sup>92</sup>。这些影响会大大削弱海洋的碳封存能力。例如，浮游动物的沉降速度越慢，碳重

塑料废弃物降低了人类从海洋中获取的这些服务的价值。受制于现有的研究水平，我们还无法准确计算海洋塑料污染每年到底造成多大损失，但目前的证据足以证明影响是巨大的，而且是全球性的<sup>81</sup>。海洋生态系统专家保守估计，海洋污染导致的生态系统服务的减少幅度在 1% 至 5% 之间<sup>82</sup>，要准确计算具体减少幅度需要进一步的研究。根据这个保守计算，每吨海洋塑料每年给海洋造成的污染成本最少也有 4085 美元至 8170 美元之多<sup>83</sup>。如果与文献记载中陆地生态系统服务受到人类影响的减少幅度相比较，上述估算算是保守的<sup>84</sup>。由于塑料在降解过程中会分解成更小的颗粒，所以此后每一年都会产生相应的成本，这意味着每一吨流入海洋的塑料在其生命周期里都会至少产生 204270 美元到 408541 美元的成本<sup>85</sup>。按照这个标准，2019 年生产的塑料一旦流入海洋成为海洋塑料污染，那么在其生命周期里将产生至少 3.1 万亿美元（+/-1 万亿美元）的成本，这个数值比 2019 年全球教育支出的 60% 还要多<sup>86</sup>。

新回到大气中的时间就越多。

另外，浮游动物对碳汇至关重要，进食量的减少会影响浮游动物的种群数量，进而影响碳汇。虽然此方面科学研究刚刚兴起，但已有的证据足以证明，塑料削弱了海洋的碳汇功能。

由此可见，塑料从两个方面加剧了气候危机，一是通过排放二氧化碳，一是通过限制海洋的碳汇能力，但无论是哪一种方式，都加剧了温室气体排放带来的影响。



© shutterstock / Fedorova Nataliia

海洋塑料污染会带来减少 GDP 的巨大经济成本。仅 2018 年这一年，此部分成本就高达 70 亿美元<sup>93</sup>。海岸线上的塑料污染阻止了游客前往旅游胜地的脚步<sup>94</sup>。游客的减少直接导致旅游收入的减少，给旅游业带来重创，尤其是在旅游旺季，影响更为显著。海洋塑料污染还会对捕鱼业和水产养殖构成风险。海洋塑料污染会污染水产养殖环境，降低养殖质量，影响水产的销路<sup>95</sup>。另外，塑料一旦进入海洋，就会降低海水质量，影响幼鱼的存活<sup>96</sup>，导致渔获量下降，渔业和水产养殖业的收入缩水。例如，根据估算，87 个沿海国家每年在渔业和旅游业上遭受的经济损失在 5 亿美元到 67 亿美元之间<sup>97</sup>。由于在估算塑料的海洋生态系统服务成本时已将渔业和旅游业所受的影响考虑在内，为了避免重复计算，上述这一估值就没有被包括进估算总值。

为了清理海洋塑料垃圾，政府、非政府组织以及

热心人士投入了大量劳动，这部分成本每年高达 150 亿美元<sup>98</sup>。大部分的清理活动都集中在有人居住的沿海地区、河流、港口和码头，有时一些特别的清理行动也会出现在陆地环境。政府和非政府组织要把工作人员运送到这些地区以开展清理活动，同时也要向清理人员支付报酬，这样就产生了直接成本。另外还存在间接成本，这方面成本主要发生在志愿者身上，他们不要报酬，却得付出时间，而且在清理塑料垃圾时还可能遇到锐器和有毒的塑料废弃物，对其健康构成潜在威胁。清理活动的直接成本很高，据估算，倘若 2018 年 87 个沿海国家海滩上的塑料垃圾都得到清理，结果将产生 56 亿至 150 亿美元的支出<sup>99</sup>。虽然这些国家非常倚重政府和非政府组织提供的资金支持，但清理活动产生的费用并没有体现在这份报告的可量化指标中，这也是为了避免以上成本与塑料污染成本之间出现重复计算。

### 知识聚焦：幽灵渔具是最具破坏力的海洋塑料

每年有大约 50 万吨至 100 万吨被遗弃或丢失的渔具进入海洋<sup>100</sup>。这些渔具堪称“幽灵渔具”（ghost gear），对海洋生物、海洋栖息地乃至沿海居民的生计构成巨大威胁。每年，幽灵渔具会夺去成千上万只海洋动物的生命。海洋塑料垃圾影响了大约 700 个海洋物种，正如我们在澳大利亚看到的那样（见附录 1：国家案例），动物们经常被渔网缠绕、困住<sup>101</sup>，缠绕个案中有 80% 会导致动物的直接伤害或死亡。世界自然基金会在此前发布的一份报告中指出，三分之二的海洋哺乳动物物种、二分之一的海鸟物种以及所有的海龟物种都曾受到幽灵渔具的伤害<sup>102</sup>。最近一项针对英格兰西南部一大片区域的研究中<sup>103</sup>，观察到十五只海豹被缠绕了一年之久，其中有九只海豹的身体被缠绕物划破，形成严重创伤，另有两只海豹在研究期间死去<sup>104</sup>。被缠绕的动物往往要忍受数月乃至数年的痛苦，缓慢地走向非人道的死亡<sup>105</sup>。对于濒危物种来说，这种威胁是巨大的。在地中海东北部，濒于灭绝的僧海豹也受到渔具缠绕的影响，在僧海豹的死因统计中，渔具缠绕被认为是仅次于故意猎杀的第二大致死原因<sup>106</sup>。

幽灵渔具也对重要的海洋栖息地造成了破坏，对海洋的健康构成了严重威胁。海洋栖息地如珊瑚礁和红树林，在维护海洋生态系统功能方面发挥着重要作

用，是几乎所有海洋物种的繁殖地和生长地<sup>107</sup>。幽灵渔具会缠绕到珊瑚礁的一部分，使其折断，并引起珊瑚的断裂，影响珊瑚礁生态系统<sup>108</sup>。这种影响有可能带来致命的后果，使海洋生物的栖息地遭到破坏，进而危及生物多样性<sup>109</sup>。

幽灵渔具还会影响食物的来源和沿海居民的生计。塑料污染使生物多样性受到威胁，使海洋资源减少，最终威胁到沿海居民的生计。那些靠捕鱼为生的沿海居民还有一种安全之虞，因为幽灵渔具为航行制造了危险<sup>110</sup>。渔船一旦被缠住，它在水中的稳定性就会受到影响，变得不易操控，造成翻船或与其他物体撞击的危险<sup>111</sup>。与此有关的最极端的一个案例是 1993 年发生在韩国的一次海难，当时一艘客船被一根尼龙绳缠住，船只出现转向、倾覆、沉没，最终导致 292 人死亡<sup>112</sup>。



© naturepl.com/ Enrique Lopez-Tapia/ WWF



塑料除了会产生目前可以量化的那些成本，在其生产、消费和处置过程中还会产生其他负面影响，这些影响目前尚未被充分了解。

尽管塑料在其生命周期内所产生的目前可量化的成本是巨大的，但这仅是冰山之一角。数据的缺乏、研究的不足以及评估方法的缺陷使得塑料的负面影响尚未被全部量化。可以说，在塑料的生命周期成本这个问题上，还存在很多已知的未知数。本节将重点介绍其中的一个方面。

塑料聚合物在生产、焚化和露天焚烧过程中会释放出化学污染物，对人类健康构成巨大威胁。

塑料在生产过程中会释放出化学污染物，危及人类健康。为生产塑料，很多时候需要从石油和天然气中提取相应物质，在此过程中会产生大量有毒物质进入空气和水中<sup>113</sup>，且数量显著。目前已知，在原生塑料的生产过程中会用到超过 170 多种压裂化学品，这些物质会给人带来很多健康问题，包括引发癌症、造成神经毒性<sup>114</sup>。研究发现，压裂油井的密度越高，连带因为心脏问题或神经系统问题的住院病人也会越多<sup>115</sup>。在将化石燃料转化成合成树脂的过程中，也会产生致癌物和其他污染物，有文献表明，这些物质会对人的神经系统、生殖系统带来负面影响，此外还会产生其他健康危害<sup>116</sup>。

焚烧塑料，尤其是在缺乏排放标准或缺乏监管的情况下焚烧塑料，会产生有害物质，这些有害物能扩散到很远的地方<sup>117</sup>。它们会对人类的健康造成不利影响，包括引发呼吸系统疾病、癌症、神经系统损害等等<sup>118</sup>。例如，当最常见的合成塑料之一聚氯乙烯（PVC）被露天焚烧时，会产生二噁英以及有关化合物，其中至少有 30 种化合物会对人类健康造成危害，有证据表明，它们会损伤人类大脑，扰乱激素分泌<sup>119</sup>。焚化和露天焚烧时产生的有毒物质能扩散到远方，并在环境中滞留多年。这些物质会在植物和动物身上富集，人类一旦食用，就会相应地将这些有毒物质摄入体内<sup>120</sup>。

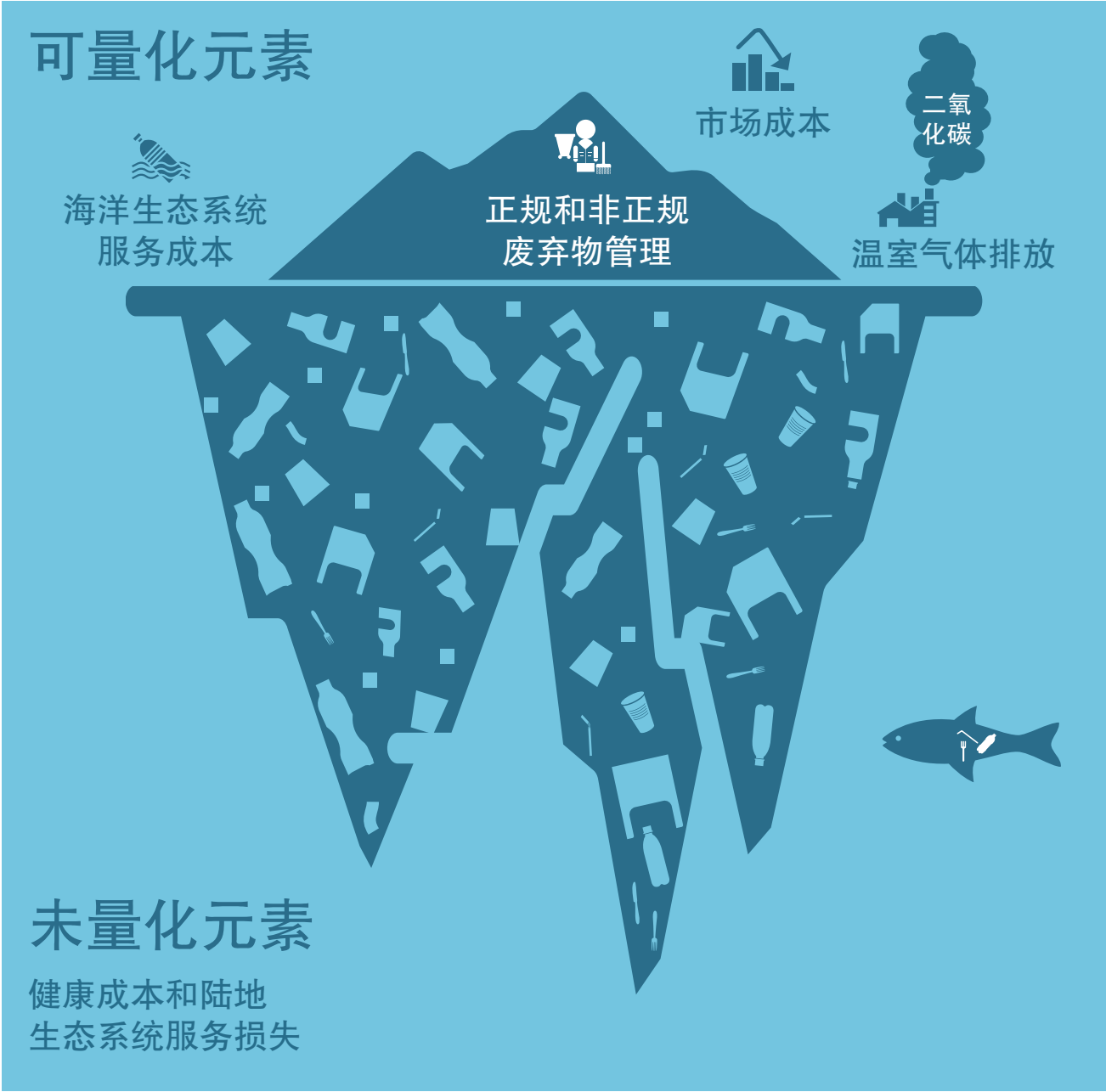
塑料的生产、焚化和露天焚烧会对人类健康构成巨大威胁，不过社会对于这些威胁的认知程度却缺乏相关记录。

有越来越多的证据表明，人类正暴露在微塑料之中，但对于人类健康影响的科学认知仍受限制。

在日常生活的每一个方面，人类都会接触到微塑料。在人们呼吸的空气里、喝的水里、吃的食物里、穿的衣服里，都有微塑料。特别是，在自来水、瓶装水、蜂蜜、虾和盐等人类消费品中也检测到了微塑料碎片<sup>121,122,123</sup>。科学家在人类的粪便里也检测到了微塑料<sup>124</sup>。这表明人类常常在不知不觉中摄入了微塑料。而且，科学家甚至在胎盘中检测到了微塑料，这意味着母亲在无意中摄入了微塑料，然后又使未出生的孩子暴露在微塑料中<sup>125</sup>。

不过，摄入微塑料是否会对人体健康造成负面影响还是个未知数。出于伦理的考虑，早期的研究并没有将人类暴露于微塑料环境中以观察它对人类健康的影响，而是着重于考察微塑料对海洋物种和小型哺乳动物的影响<sup>126</sup>。一项针对老鼠的试验发现，微塑料有可能引起老鼠能量和脂肪代谢的变化，导致神经系统功能紊乱，这意味着人类也可能受到类似影响。虽然现有的证据表明大部分的塑料颗粒可能并不会通过胃肠道被人体吸收<sup>127</sup>，可是一旦被人体吸收，这些微塑料就会释放出有害的、原本也是初级塑料产品成分的化学物质，也可能释放出塑料颗粒从环境中吸收来的致病性污染物。<sup>128</sup> 由于这方面的研究刚刚开始，所以世界卫生组织（World Health Organization）目前表示：由于缺乏足够的证据，尚不能认为微塑料颗粒一定会对人类健康构成威胁<sup>129</sup>。

塑料污染也会给陆地生态系统构成潜在风险，不过这方面的研究还没有广泛地开展。尽管有关塑料污染对海洋生态系统影响的研究越来越多，但塑料对陆地生态系统的潜在影响却缺乏足够的探索。2019 年的一份文献显示，在所有有关塑料污染的影响研究中有 76% 都是针对海洋生态系统，只有 4% 是针对陆地生态系统<sup>130</sup>。现有的研究成果指出：



陆上生物也大量暴露在塑料中。科学家在陆生鸟类<sup>131</sup>以及绵羊和山羊<sup>132</sup>的体内发现了塑料。另有研究发现，蜜蜂会把类似塑料这样的人造碎片带入窝巢<sup>133</sup>。随着农业生产对塑料制品的使用越来越多，农田土壤里也出现了越来越多的塑料碎片<sup>134</sup>。

塑料可能会对陆地生物的使用寿命和一些关键的生态系统过程构成威胁。例如，与花粉大小相似的塑料珠可能会干扰到传粉昆虫，使得重要植物的传粉受到影响<sup>135</sup>。有明显的证据表明，塑料有可能缠绕陆地动物，

使其窒息，威胁到陆地野生动物的生存。塑料的化学毒理效应也可能对陆地生态系统造成损害，尽管这方面的研究还不多。同样，微塑料也会阻碍蚯蚓的生长，使蚯蚓的体重变轻，考虑到蚯蚓对维持土壤健康的重要意义，微塑料对蚯蚓的影响最终可能会波及土壤生态系统甚至植物的生长<sup>136</sup>，对其产生不利影响。此外，塑料在土壤里的沉积可能使土壤质量出现不可逆转的恶化<sup>137</sup>。因此，一些物种和生态过程可能已经在遭受暴露在塑料中带来的危害，威胁陆地生态系统的功能。





### 知识聚焦：塑料生命周期过程中带来的环境不公平现象

边缘化社区不成比例地承担了塑料生命周期的成本：焚烧厂和油气炼化厂主要建在低收入地区和边缘化社区周围，给那里的居民带来健康和经济风险。2019 年的一项研究发现，在美国的 73 座焚化炉中有 79% 位于距离低收入地区和少数族裔居住区 3 英里范围之内<sup>138</sup>。另有研究发现，焚化炉和垃圾填埋场都不成比例地建在土著社区周围，因为那里的土地使用年限界定不清晰<sup>139</sup>。原油和天然气炼化厂也不成比例地建在低收入地区和边缘化社区<sup>140</sup>。焚烧和精炼过程中会释放出化学污染物，给居住在周围的人带来健康威胁。社区往往无法获得有关风险的信息，这限制了他们保护自己的能力和<sup>141</sup>。这些社区不仅面临健康风险也承受着经济损失，例如，由于周边工厂带来的环境污染，导致周边房产贬值。一项针对中国焚烧厂的研究发现，邻近焚烧厂的房价较最初挂牌价下降了 25% 之多<sup>142</sup>。

非正规废弃物收集者（拾荒者）在塑料废弃物处理过程中面临着重大的健康风险。长期和频繁地接触粪便、医疗废物和危险物质会使拾荒者面临诸如犯上呼吸系统紊乱等慢性疾病的风险<sup>143</sup>。由于常常缺乏防护服和防护装备，拾荒者经常直接暴露于有毒的废弃物中。一项针对露天焚烧塑料废弃物对健康的负面影响的研究表明，拾荒者面临很高的健康风险<sup>144</sup>。有记载的影响包括皮肤病、传染病、肌肉骨骼问题、呼吸系统疾病、非传染性疾病、胃肠道问题和水传播疾

病<sup>145</sup>。此外，拾荒者在治疗与职业相关的疾病时还常常遇到很多障碍，得不到充分医治。例如，南非的一项研究发现，在过去的 12 个月里，只有不到一半的拾荒者使用过医疗保健设施，一个重要的原因是，很多人腾不出休息时间<sup>146</sup>。

塑料导致的气候变化对弱势群体构成了不公平的影响。研究发现，气候变化引起的气温上升将在世界各地产生不平等的影响，大多数后果将由那些应对能力最低的人承担。实验数据表明，资本市场监管更好、基础设施更完备、汇率灵活、体制更民主的国家，会更快地从气温升高的负面影响中恢复过来<sup>147</sup>。此外，与发达国家的炎热地区相比，新兴国家和发展中国家的炎热地区受温度升高的影响会更大，其经济增长会更容易受到影响。这种不利影响在低收入国家会长久存在，造成这种影响的因素很多，如农业的产能下降，居民的健康状况恶化，易受天气影响的部门的劳动生产率下降等。因此，气候变化所导致的全球变暖和极端天气事件对发展中国家和新兴经济体的影响是不同于发达国家的<sup>148</sup>。此外，在发展中国家和新兴经济体中，最弱势的群体可能最先感受到这些不利影响，其受伤害的程度也会更大。现有证据表明，气候变化和社会经济不平等之间的关系可被描述为一个恶性循环<sup>149</sup>。最初的不平等导致弱势群体不成比例地遭受气候变化的不利影响，而这些不利影响随后又会带来更大的不平等。

塑料在其生命周期内产生了巨大成本和风险，可是这些成本和风险却没有反映在塑料的市场价格里。2019 年生产的塑料在其生命周期内将产生超过 3.7 万亿美元（+/-1 万亿美元）的成本，社会和政府已经在为这些成本买单<sup>150</sup>。2019 年生产的塑料在其全部生命周期成本中有超过 90% 的比例尚未被计入塑料的市场价格。更为重要的是，目前那些未量化的风险也没有被计入市场价格，这意味着社会所承担的成本很可能比目前估算结果还要高。因此，政府和民众在不知不觉的情况下正在补贴一个带来无数负面影响并造成环境不公的塑料系统。

如果不采取重大行动，塑料在其生命周期里所产生的成本及其造成的负面影响将继续上升，预计 2040 年生产的塑料在其寿命里将给社会带来 7.1 万亿美元（+/-2.2 万亿美元）的成本<sup>151</sup>。

预计在未来的几十年里，塑料的产量及其造成的污染将显著增加。到 2040 年，塑料的产量估计增加一倍以上。如果不做出改变，进入海洋的塑料垃圾预计将增加两倍，达到 2900 万吨<sup>152</sup>，届时海洋中的塑料总量将达到 6 亿吨，这个体量是 2005 年全球所有成年人体重的两倍左右<sup>153</sup>。

如不做出任何改变，未来 10 年生产的塑料在其生命周期内产生的最低社会成本将增加到 5.2 万亿美元（+/-1.6 万亿美元），而 2040 年生产的塑料在其生命周期内所产生的社会成本将增加到 7.1 万亿美元（+/-2.2 万亿美元）<sup>154</sup>。对政府和社会来说，这是一项巨额的潜在成本，这些成本原本可以用作其他公共支出，解决其他重要问题，如健康卫生问题等。预计，2040 年生产的塑料在其生命周期里给社会带来的成本将相当于 2018 年全球卫生支出的 85% 左右<sup>155</sup>，超过 2019 年德国、加拿大和澳大利亚的 GDP 总和（见图 6）<sup>156</sup>。

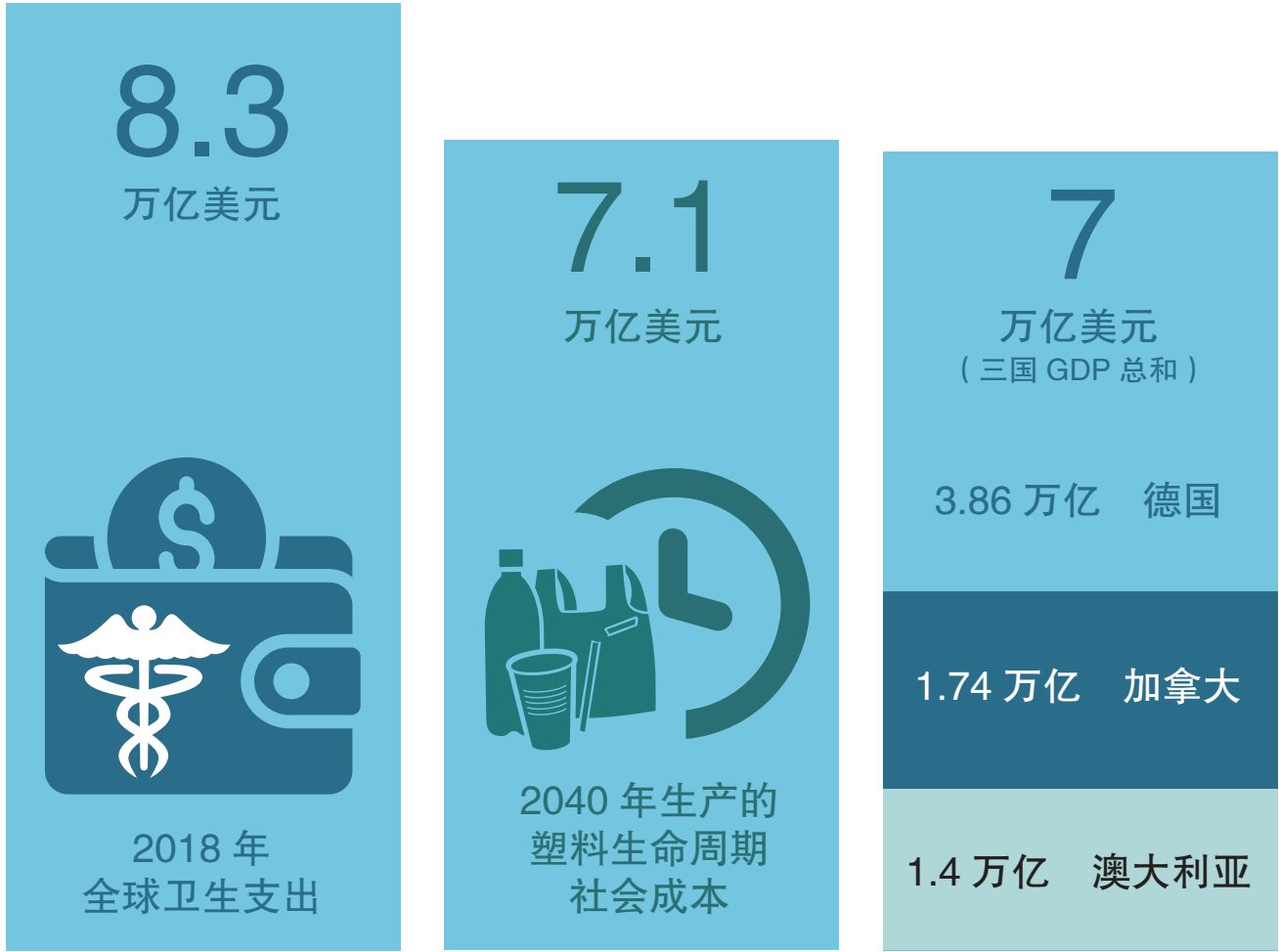


图 6：2040 年生产的塑料在其生命周期里给社会带来的成本相当于 2018 年全球卫生支出的 85%<sup>157</sup>，超过 2019 年德国、加拿大和澳大利亚的 GDP 总和<sup>158</sup>。



在一切照旧的情况下，仅塑料行业的碳排放就占到全球碳排放预算的 20%<sup>159</sup>，这削弱了政府应对气候危机的努力<sup>160</sup>。预计到 2040 年，塑料相关的二氧化碳排放将增加到每年 21 亿吨<sup>161</sup>。而此前制定的全球目标是，将气候变暖控制在比前工业时代高出 1.5 摄氏度的水平以内，为实现此目标，需要到 2050 年实现净零排放<sup>162</sup>。很显然，每年 21 亿吨的二氧化碳排放量跟这一目标形成巨大的对比。因此，塑料产量的持续增长所带来的温室气体排放量增加，危及到全球为应对气候变化所做的努力，破坏了各国政府的行动成

果。现在，各国政府正在将部分财政预算用于减缓气候变暖和适应气候变化的行动中。例如，在 2014 年至 2020 年期间，欧盟将其年度预算的大约 20% 用于与改善气候有关的行动<sup>163</sup>。由塑料导致的温室气体排放量的增加可能会削弱这一支出的效果，或者使这方面的支出进一步增加。而且，采取的塑料治理行动以及减少相关的温室气体排放的努力越滞后，社会和政府要付出的代价就越大。由此可见，对塑料采取的行动与应对气候变化的行动密不可分。



# 第三章 行动障碍

面对塑料污染，目前已识别出很多必要的解决方案，但出于多种原因，这些方案未能在全球范围内得到有效实施。

像艾伦·麦克阿瑟基金会（EMF）、世界经济论坛（WEF）和皮尤慈善信托基金（Pew Charitable Trusts）这样的机构已经提出有必要通过生命周期方法解决塑料危机。塑料在其生命周期内会产生巨大成本和风险，这意味着采取的行动必须覆盖塑料生命周期的每一个阶段。为了应对这一挑战，人们越来越意识到系统变革的必要性，要求向塑料循环方向发展。基于覆盖生命周期所有过程的考量，这就包括了塑料到达消费者之前和消费之后的所有阶段<sup>164</sup>。这种方法旨在通过创建一个“闭环”系统，以确保塑料既服务于经济同时又不会对环境产生负面影响，从而替代目前从一次性使用到丢弃的“线性”系统。该方法的原则包括：

- **减量：**消除不必要的塑料，不仅是吸管和购物袋，而且迅速普及具有革新性质的新型交付模式，将没有包装的产品直接交付给客户，或是使用可重复利用的包装。
- **循环：**本着可重复利用、可回收或是可堆肥的原则去设计所有塑料产品并尽快实现这一目标。同样重要的是，要投入资金建设必要的基础设施，从而迅速提高收集和回收利用这些塑料制品的能力。
- **创新：**迅速而大规模地实行创新，探索新的商业模式、新的产品设计、新材料、新技术和新的回收体系，加速向循环经济转型。

为了促进向循环经济的转变，很多机构给出了意见，提出了一系列干预措施，而且这些措施很全面。比如，皮尤慈善信托基金就曾提出九项系统的干预措施，这些措施全部符合循环经济的原则<sup>165</sup>。它们分别是：

1. 减少塑料增长，抑制塑料消费
2. 用纸张和可堆肥材料替代塑料
3. 设计可回收利用的产品和包装
4. 扩大中低收入国家废弃物的回收率
5. 将全球机械回收的能力提高一倍
6. 用新型塑料代替传统塑料
7. 建立设施来处理无法被经济地回收的塑料
8. 将塑料废弃物的出口量减少 90%
9. 推广已知的解决方案，以应对四种微塑料源<sup>166</sup>

**发展循环经济有利于降低成本，解决塑料带来的负面影响。**研究表明，这种方法可以将每年流入海洋的塑料数量减少 80%，使塑料导致的温室气体排放减少 25%<sup>167</sup>，同时它还能创造就业机会，改善工作环境。据估计，到 2040 年，循环经济可以为整个塑料价值链创造 70 万个高质量就业岗位<sup>168</sup>。以可回收利用为宗旨来创新设计，不仅能增加塑料材料的价值，还可以显著改善拾荒者的工作环境，提高他们的收入。

**然而由于对政府和行业的激励方式不当，上述这些方法未能得到很好的实施。**应对塑料危机所需的系统改革可能非常复杂，需要的支出也非常高，对于那些缺乏先进废弃物管理系统的国家来说，尤其如此。同时，原本对原生塑料进行的投资，现在必须大规模地转向其他投资，如开发新型交付模式，研发塑料替代品，新建收集和循环利用的设施<sup>169</sup>。要完成新的基础设施的建设，每年需要投入大约 300 亿美元<sup>170</sup>。然而，由于塑料的生命周期成本没有充分地体现在塑料的市场价格中，导致目前还没形成来自塑料不利影响的反馈回路。发展循环经济，需要大量财政资金的支持，



# 第四章 未来之路

## 全球协议可以为政府提供必要的机制来有效应对塑料危机并获得公众的支持。

如果一项关于海洋塑料污染的全球协议具有足够的雄心并被大多数国家采纳，那么它可以是应对塑料危机的独一无二的机会。

一项雄心勃勃、具有法律约束力的海洋塑料污染全球协议很可能是触发有效的全球协作、加快国家措施和计划的最佳工具。联合国环境规划署（UNEP）

曾对海洋垃圾和微塑料现有的和潜在的应对方案及行动的有效性进行评估，其得出的结论是：“一个设计良好的国际框架有助于解决塑料在其所有生命阶段所带来的大部分已知问题和挑战，这一框架可以在全球进行运作”<sup>183</sup>。全球协议将提供这一框架，促进世界各国在塑料治理方面采取统一行动，共同克服障碍使行动更见成效，并支持向循环经济转型（见图 7）。



图 7：建议的塑料污染全球协议的四个潜在组成部分<sup>184</sup>

而这一点恰恰阻碍了政府和企业的进一步行动。实际上，发展循环经济所需要的投入可能低于塑料在其生命周期内所产生的成本。例如，《截断塑料流》（Breaking the Plastic Wave）这份报告就曾指出，从传统模式向系统变革方法的转变能节省大量成本<sup>171</sup>。

技术限制和研究缺乏也阻碍了政府对塑料循环经济政策的实施。要保证政府制定的政策有利于循环经济的转型，就必须对提出的种种应对方案具有深入的专业知识。然而正是由于在技术能力和专业知识上的欠缺，才让政府止步不前，阻碍了政府对塑料循环经济政策的实施。同时，由于缺乏对塑料危机的科学认识，再加上各个地方的数据不一致，政府能获取的信息有限，这就限制了各国政府的进一步行动。例如，微塑料的排放究竟处在怎样的水平，目前还没被充分掌握<sup>172</sup>。这影响了政府决策，使其陷入无的放矢的境地。

到目前为止，政府的努力大多限于解决塑料生命周期中某个阶段的问题，或者仅关注某一类塑料产品的问题，很显然这样的举措是不足的。比如，有些国家的政府着重于提高废弃物的管理能力，而另一些国家的政府则专注于限制塑料袋的使用，问题是单靠个别措施并不能有效解决问题<sup>173</sup>。尽管很多国家都制定了与塑料有关的法规，但其中有 60% 的国家的法规只是对一次性塑料袋提出了监管<sup>174</sup>。

此外，如果不做出改变，政府和行业当前的承诺只能使塑料泄漏量每年减少 7%<sup>175</sup>。

缺乏法律强制力也会限制努力的效果。在过去的五年里，致力于解决塑料危机和塑料污染的自愿行动出现了大幅增长<sup>176</sup>。虽然这些行动堪称朝着正确的方向发展，但是单靠它们并不足以解决问题。执法不到位或是未能实现既定目标也可能导致人们对发展循环经济失去信心。例如，2003 年澳大利亚颁布了一项名为《塑料袋管理自愿行动守则》的法案（Voluntary Code of Practice for the Management of Plastic Bags），结果这项法案未能实现其设定的减少塑料袋使用和提高回收利用率的目标。再比如，由 26 个国家签署的《海洋塑料宪章》（The Ocean Plastics Charter），旨在提高塑料的利用效率以及针对塑料实施生命周期管理办法，但是这份文件由于不具法律约束力而效果有限<sup>177</sup>。

全球协作的缺乏也会削弱政府的努力。从国家的层面来讲，禁用塑料袋和其他塑料包装是最常用来控制塑料废弃物的补救方法。到目前为止，全球已有 115 个国家采取了这种方法，不过每个国家却存在区别。在法国，厚度小于 50 微米的塑料袋被禁止使用；可是在突尼斯，塑料袋的厚度小于 40 微米会被禁止使用<sup>178</sup>。这种差异尽管不大，却可能制造出漏洞，使非法的塑料袋流进市场，破坏政府的法规。例如，2017 年肯尼亚通过了世界上最严厉的塑料袋禁令，但自那以后，非法塑料袋就源源不断地从邻国走私进来<sup>179</sup>。各国法规缺乏一致性也会增加跨国企业运营的复杂性，在多个国家开展业务的企业不得不遵守针对塑料包装的数百条法规，其实这些法规只有略微的差异<sup>180</sup>。这些例子表明，要想有效地应对塑料危机就必须进行全球协作。

仅凭一国之力是无法解决塑料危机的，世界各国必须共同采取行动。但遗憾的是，目前还没有制定专门针对海洋塑料污染的全球协议。塑料的跨国问题受到国际问题的驱动，因此必须有真正的全球反应。塑料价值链遍布全球，塑料原材料的提炼、塑料的生产和使用以及塑料废弃物的处置常常发生在不同国家。塑料污染也不受国界的限制，它可以通过水流和气流进行迁移，最终沉淀在海底。世界的海洋面积中有一半以上是不受任何国家管辖的，这其中就包括海洋中的“垃圾带”（指海洋中有大量塑料垃圾堆积的一大片区域）<sup>181</sup>。这个情况表明，当一个国家的政府在努力解决塑料带来的负面影响并承担这种影响所带来的成本时，它有可能是在为其他国家在塑料方面的决策和行为买单，这种决策和行为可能是关于产品设计的，也可能是关于产品成分选择的。如果缺乏一个全球性的治理框架，单靠哪一国的政府是无法控制这些影响的。总之，一个全球性的问题必须通过一个全球性的方案才能解决。不过，目前“还没有形成一个全球性的协议来专门预防海洋塑料垃圾和微塑料的产生，也没有一个全球性的协议提供一种全面系统的方法，来管理塑料在每个生命阶段所造成的问题”<sup>182</sup>。

现在，建立一个全球性的框架来填补当前政策的空白，提供所需的技术指导和协调机制以应对塑料危机，逐渐成为共识。



**定义和标准应经全球商定和协调**，例如“回收”一词的定义是什么，产品标签上应该披露哪些塑料信息，要符合怎样的标准，这些必须在全球范围内进行商定并达成一致。

**这将提高政府解决塑料危机的效果。**非法的塑料进口行为会破坏政府政策，而统一的定义和统一的标准有助于减少这类行为的发生。例如，如果世界各国对一次性塑料袋的定义是一致的，就会断绝非法塑料袋被进口的风险。统一的定义和标准还能促进回收利用，例如，通过标签披露塑料的成分，提供必要的信息，这样就可以帮助人们判断某种塑料是否符合国家的回收利用政策，能否被回收利用，这样就可以减少由于对塑料成分不了解而将本可以回收利用的塑料做了不当处理的风险。

**统一的定义和标准有助于促进企业向循环塑料经济的方向发展。**当定义和标准统一之后，在进行跨国交易时，只需遵守一套规则即可，这样势必会简化企业的运营，激励企业创新。而且在这种情况下，企业只需做一次创新就能符合所有国家的规则，而不是做出多种创新来疲于应对各种标准。当前，由于各国的标准和法规不统一，企业在跨国运营时不得不去适应这些分散的、不同的法规和标准，由此产生了巨大成本，然而标准统一之后，这方面的成本就会大为减少。

**政策措施应覆盖塑料生命周期的所有阶段，并根据泄漏风险、塑料成分占比和成本效益情况为这些政策措施排出优先次序。**新协议应制定较高的共同行动标准，并制定具体和普遍适用的规则。这将确保国际社会采取统一行动，应对塑料带来的所有成本和负

面影响。必要时，政策措施可以根据国家情况的不同做相应调整，但无论如何，该协议都应积极激励技术创新，鼓励投资新的、可持续的解决方案。例如，针对麻烦最大的那些塑料，新协议可以要求各国引入和实施生产者责任延伸制度（EPR），以解决相关问题。这将激励企业去追求新型的交付模式或探索研发环保的塑料替代品。

**该协议应建立一个专门的科学机构来评估和跟踪塑料问题。为了确保该制度随着时间的推移得到逐步加强，还应要求各国提交年度进展报告和监测报告。**科学机构的一项关键任务将是开发一套便于全球认可的方法学，用以衡量关键指标和指导收集数据。这将为监测进展提供所需的基线，为决策提供必要的信息。建议每 4 到 5 年进行一次全面的评估与总结，以确保各国沿着既定的方向前进，竭力达成目标，并视情况做出必要的调整。这也将有助于更好地了解不同措施的有效性，从而为今后的干预措施提供信息。

**应通过财政机制和技术支持的形式协助该协议的实施，包括在各国之间分享最佳实践。这将有助于各国突破目前阻止其采取有效行动的部分障碍。**例如，对于那些废弃物管理系统较为落后的国家，该协议将为其提供必要资金，以加强基础设施建设，使其达到应有水平。

附录（一）提供了一些案例，展现了南非、日本和澳大利亚三个国家如何在该协议的支持下更好地应对塑料危机，从而减少塑料在其生命周期内给这些国家带来的成本。

**全球协议的建立有助于减少塑料的经济、环境和社会成本，有助于降低塑料在其生命周期内带来的负面影响。它还将得到公众的支持。**

**该协议能够促使政府采取更富成效的干预措施，从而帮助各国减少塑料所带来的目前没有被包括在塑料价格中的成本。**更富成效的政府政策可以帮助世界各国向循环经济转型，减少塑料在其生命周期内所产生的负面影响。这也可以使塑料的市场价格更趋近于塑料生命周期的全部成本。全球协作将确保所有国家都在采取行动，减少有的国家在为邻国的塑料污染买单的情况发生。综上所述，该协议有助于各国减少塑料在其生命周期内所产生的负面影响，帮助各国降低相关的成本。

**由于公众对塑料治理支持率很高，政府对该协议的承诺很可能会得到公众强烈而积极的反应。**公众对塑料污染的认识已经大幅提高<sup>185</sup>。此外，人们对塑料危机其他方面的关注和认识也在上升。现在公众普

遍认为，塑料污染已成为一个重大的环境和公共卫生问题<sup>186</sup>。随着意识的提高，公众对政府应对塑料危机的行动的支持也在增强。例如，联合国环境规划署（UNEP）对亚洲消费者和企业的一项调查发现，91% 的消费者对塑料废弃物表示出了担心，消费者和企业都希望政府能采取更大的行动<sup>187</sup>。对海洋塑料污染全球协议的特别支持也在增加。此前，世界自然基金会曾拟定一份请愿书，呼吁制定一项应对海洋塑料污染的全球协议<sup>188</sup>，来自世界各地的 210 多万人签署了这份请愿书。与此同时，各国政府也开始做出响应。截至 2021 年 8 月，联合国所有成员国中有 104 个国家已明确表示要达成一项新的全球协议<sup>189</sup>。

**一项具有法律约束力的全球塑料污染协议可以提供必要的框架，帮助各国政府采取更有效的行动来应对塑料危机。它还可以促进必要的全球协作，以解决塑料跨界污染的问题。该协议能确保有效政策的实施，推动塑料向循环经济转型。因此，全球塑料协议有可能成为世界各国努力解决与塑料危机有关的负面影响的有效工具，帮助降低目前强加给社会的巨大成本。**



Jakarta, Indonesia, March, 2019 © WWF / Vincent Kneefel



# 附录 (一): 国家案例

## 案例 1: 南非

全球协议的实施能帮助南非更有效地应对塑料危机，降低与塑料生命周期相关的成本，这些成本包括塑料对关键经济产业造成的有害影响以及对人类健康构成的威胁。

2019 年南非生产的塑料的最低生命周期成本约为 607.2 亿美元（+/-171.1 亿美元）<sup>190</sup>，这一成本考虑了人民生活 and 关键经济产业受到的损害、政府需要承担的清理成本以及居民受到的健康威胁。

南非的废弃物管理系统正在疲于应对国家塑料废弃物的产生，这些塑料废弃物被大量泄漏到环境中。南非每人每年平均产生 41 公斤的塑料废弃物，远高于 29 公斤这一全球平均水平<sup>191</sup>。南非的废弃物管理系统相当脆弱，背负着巨大的压力，不得不从边缘化的非正规废弃物部门那里寻求支持，后者的规模一直在增长扩大。2018 年，有 35% 的南非家庭没有享受到每周的废弃物收集服务，有 29% 的家庭垃圾没有被收集<sup>192</sup>。因此，塑料泄漏量很高，估计每年有 7.9 万吨的塑料泄漏到环境中<sup>193</sup>。按绝对数来计算，在将陆源垃圾泄漏至海洋的全球国家排名中，南非位居第 11 位<sup>194</sup>。另有证据表明，南非境内来自陆地来源的海洋塑料垃圾有所增加，这预示着问题可能会进一步加剧<sup>195</sup>。

塑料泄漏威胁了南非人民的设计，影响了南非的关键经济产业，并使南非政府支付了数百万美元的清理费用。旅游业是南非的一个重要产业，价值 1.25 亿兰特，为南非的 GDP 贡献了 2.9% 的份额<sup>196</sup>。南非拥有 3000 多公里的海岸线，吸引着世界各地的游客，然而这条海岸线目前正遭受塑料污染的威胁。

有研究表明，每米海滩上如果有超过 10 件大件物品的垃圾，结果将会吓退 40% 的外国游客，另有 60% 的当地游客会考虑不重返开普敦旅游<sup>197</sup>。因此，塑料污染很可能会对那些依靠旅游业为生的人群产生负面影响。塑料污染也威胁到南非的渔业部门，许多人依靠它作为生计来源。渔业部门直接雇佣了 27000 名劳动力<sup>198</sup>，生计渔民数量达到 29233 人<sup>199</sup>。研究表明，鱼类摄入微塑料以后，渔业的资源量和质量可能下降<sup>200</sup>。为了减少这种风险，地方政府将其预算的很大一部分用来清理塑料污染和非法倾倒。清理费用会占到城市废弃物管理支出的 1% 至 26%，每个地方因面积和预算的不同而有所差异<sup>201</sup>。

有强有力的证据表明，这种塑料污染也对人类健康构成了风险。垃圾填埋被南非政府作为最重要的废弃物处理方式，这一方式将人们直接暴露于风险之中，使人们的健康受到威胁。当地许多垃圾填埋场没能达到合规标准，2017 年，估计有 40% 的塑料废弃物（45.7 万吨）流入了不合规的垃圾填埋场<sup>202</sup>。这一点，连同很多废弃物未被收集的事实，使得露天焚烧成为一种常见

做法。露天焚烧塑料废弃物会对人体健康造成重大潜在风险，这一结论已得到证实。塑料废弃物在焚烧过程中会释放出化学污染物，这些化学污染物能引发包括呼吸系统疾病在内的一系列健康问题<sup>203</sup>。

## 已采取的行动

为解决塑料危机，自 2003 年以来南非政府已实施了一系列具体措施。2003 年，南非颁布了一项塑料袋法规，内容包括征收塑料袋税、禁止使用 30 微米以下的薄膜塑料等。2021 年南非政府对这项法规进行了修订，规定从 2023 年开始，所有塑料袋（包括进口塑料袋）必须含有至少 50% 的再生材料。到 2025 年 1 月，所有塑料袋必须含有至少 75% 的再生材料。到 2027 年 1 月，所有塑料袋必须由完全是“消费后的再生材料”制成<sup>204</sup>。2021 年，南非政府还专门针对所有包装（包括塑料包装）颁布了带有强制性的 EPR 方案，要求责任主体（根据该方案的定义，责任主体指的是包装制造商、品牌所有者、进口商、代理商和零售商）必须对投放到市场上的包装的最终处置工作负起财务和（或）运营上的责任<sup>205</sup>。



2020 年，包括南非政府在内的塑料包装价值链上的所有利益攸关方共同推出了《南非塑料协议》（SA Plastics Pact），这是一个国家层面的塑料协议，是艾伦·麦克阿瑟基金会下的国际塑料协议网络的一部分。这是一项自愿协议，制定了需要限时达成的目标。它是一个独立的竞争前平台，由树脂生产商、非正规废弃物部门等行业成员组成，并得到了世界自然基金会南非分会、国际自然保护联盟（IUCN）等非政府组织的支持。

## 全球协议能提供的帮助

虽然这些举措正朝着正确的方向发展，但一项全球协议可以为南非政府带来额外帮助。它能促成各国采取一致行动，让南非政府分享其他国家的研究成果，并能为其提

供资金支持，最终提高南非塑料行动的效力。该协议可为南非提供所需的财政支助，以扩大其废弃物管理系统，提高塑料收集率，减少泄漏。此外，经过商定的监测和报告的标准和方法，也能对从事收集和回收利用业务的机构和人员形成激励，促使他们将收集和回收利用率维持在一个既定的水平，让他们承担起相应的责任。

通过报告机制，该协议可以帮助南非构建一个有关当前塑料全貌的基线，借助这样的基线，南非政府便能知道哪里还需要干预措施，并以此评估进展，直至目标实现。借助全球协作，进口不合规塑料产品的非法行为就会受到大大限制，类似一次性塑料禁令这样的法规就能得到更有效执行。总之，全球协议可以提高南非政府应对塑料危机

的努力的有效性，从而减少塑料污染对南非经济的损害，以及其对南非人民构成的健康风险。

南非政府还联合许多其他非洲国家一起支持该协议，其承诺有望得到公众的大力支持。在 2019 年 11 月举行的非洲环境部长级会议（AMCEN）上，54 个成员国发布了一项联合声明，呼吁对塑料污染采取全球行动<sup>206</sup>。会上还建议制定一项新的全球协议来应对塑料污染<sup>207</sup>。在南非，公众对应对塑料污染的行动表示支持，有 2000 多名民众通过请愿书表达他们对这个问题的关心<sup>208</sup>。南非的两大零售商——伍尔沃斯控股有限公司（Woolworths Holdings Ltd.）和 Pick ‘nPay 大型连锁超市也表达了他们对一项全球协议的支持<sup>209</sup>。



## 案例 2: 澳大利亚

全球协议的实施有助于澳大利亚向循环经济的转型，帮助其降低与塑料生命周期有关的成本，这些成本考虑了澳大利亚经济和野生动物受到的损害。

澳大利亚正在进行改革，以向更循环的经济转型，并围绕其循环经济路线图和国家塑料计划制定了一系列战略<sup>210,211</sup>。然而，要想实现这一计划，就需要清除一系列障碍，重视一系列机遇。一项具有法律约束力的协议将提供一个有效的、有利的框架，使澳大利亚在加入协议中受益，同时做出贡献。

**2019 年，澳大利亚生产的塑料所产生的最低生命周期成本大约为 122.5 亿美元（+/-34.5 亿美元）<sup>212</sup>，这些成本囊括了澳大利亚的经济所受到的损失以及澳大利亚的野生动物所受到的威胁。**

**澳大利亚意识到了自身存在的塑料问题<sup>213</sup>。澳大利亚人每年要消耗 350 万吨的塑料废弃物<sup>214</sup>，其中大概有 100 万吨都是一次性塑料<sup>215</sup>。在一次性塑料消费方面，澳大利亚人均消费量仅次于新加坡，每人每年平均消费 59 公斤，而全球的平均水平是 15 公斤<sup>216</sup>。在澳大利亚，近三分之二所消费的塑料是进口的<sup>217</sup>，市场上 93% 的塑料包装使用了原生塑料<sup>218</sup>。尽管塑料消费在持续上升，但塑料回收却没有跟上脚步（2018 至 2019 年，回收率仅有 11.5%）。据估计，整个澳大利亚每年有 13 万吨塑料废弃物泄漏到环境中<sup>219</sup>。**

**塑料污染正在对澳大利亚的渔业、航运业和旅游业等关键经济产业带来负面影响，对澳大利亚的经济造成损害。**海洋经济构成了澳大利亚 GDP 的一部分，在 21 个亚太经合组织（APEC）国家中排名第

九<sup>220</sup>。2015 年，澳大利亚海洋经济遭受塑料污染影响的损失预计超过 4.3 亿美元，其中渔业和水产养殖损失 4100 万美元，航运损失 5900 万美元，海洋旅游损失 3.3 亿美元<sup>221</sup>。这些仅仅是直接成本，还没算上大范围的补救（清理）费用等间接成本。

**塑料给澳大利亚的野生动物构成了重大威胁。**在位于澳大利亚北海岸的北部海湾地区，据估计有 15000 只到 20000 只海龟受到被丢弃或遗失的渔具的缠绕<sup>222</sup>。只需摄入一片塑料，就能将海龟的死亡率增加 22%，估计有 52% 的海龟摄入了塑料碎片<sup>223</sup>。短尾海鸥是澳大利亚为数最多的海鸟，它们也受到了塑料的影响，其中超过 67% 的短尾海鸥被发现摄入了塑料<sup>224</sup>。澳大利亚科学家处在记录这一问题的最前沿，他们一贯倡导制定能防止塑料泄漏到环境中的政策解决方案<sup>225</sup>。

### 已采取的行动

**澳大利亚正在采取果断行动来应对塑料危机。**国家和地方各级的环境部长已经达成共识，到 2025

年逐步淘汰 8 种问题最大的塑料以及不必要的一次性塑料<sup>226</sup>。中央和地方政府已经开始逐步淘汰这类产品。澳大利亚政府已发布法令，要求从 2021 年 7 月起禁止出口未经处理的塑料废弃物<sup>227</sup>，并制定了到 2025 年要实现的具体的回收目标。目标包括要实现所有包装都可重复使用、回收再生或者可堆肥，当中 70% 的塑料包装需要是可回收再生或可堆肥的，同时所有的塑料包装要包含 20% 的再生材料<sup>228</sup>。澳大利亚政府已向澳大利亚回收投资基金投资了 1 亿美元，以建设本地的回收利用基础设施<sup>229</sup>。与此同时，澳大利亚政府还专门拨出资金来解决幽灵渔具的问题（拨款 1480 万美元）<sup>230</sup>。另外，澳大利亚政府还拿出 1600 万美元<sup>231</sup> 进行区域投资，以加强应对整个太平洋地区塑料污染问题的行动。

### 全球协议能提供的帮助

**全球协议可以加强澳大利亚向塑料循环经济转型的努力。**在澳大利亚制定的循环经济路线图中，存在 10 个已确定的关键挑战，这些挑战阻碍了澳大利亚循环经济的发展。而旨在解决塑料污染的全球方

法由于将塑料的全部生命周期都纳入监管之下，因此有望解决 10 个挑战中的 5 个挑战<sup>232</sup>。这些挑战包括：进口塑料的可回收性问题，对再生产品的需求，再生材料和产品的评判标准，以及对塑料生命周期的研究等等。虽然澳大利亚的循环经济路线图为本地的转型提供了框架，但来自国际因素的影响既可能助澳大利亚一臂之力，也可能破坏澳大利亚的转型努力。这种国际因素包括全球塑料贸易的情况、塑料研究的进展和塑料创新的表现。一项有效的全球协议将为国家的行动提供一个支持性和补充性的框架。

**可是，如果缺乏全球协作，澳大利亚的努力就会被削弱。**澳大利亚的海岸线同时受国内和国际海洋

塑料污染的影响。虽然大多数的海洋污染来自澳大利亚国内，但研究表明，国际污染源也给澳大利亚北部和其他地区造成了污染问题<sup>233</sup>。在全球 20 大海洋塑料排放国中，有一半处在亚太地区<sup>234</sup>。即使国内政策有效地减少了泄漏至海洋中的塑料数量，可是如果邻国不减少塑料泄漏，澳大利亚将继续受到海洋塑料污染的影响。通过协调全球行动，促使各国从源头上减少污染，尤其针对最大的塑料排放源，这正是一项全球协议在做的事，它能减少上述提到的风险。

**该协议还能澳大利亚创造机会，通过分享政府、科学家、非政府组织、企业和社区的最佳做法，使其成为应对塑料污染领域中公认**

**的全球领导者。**澳大利亚利用其特殊的地理位置、强有力的公众支持、一系列创新举措以及和原始自然环境和野生动物的紧密联系，发展出了应对塑料危机的独特办法。现在，各国政府正越来越多地展开合作，寻求向循环经济的转变，并增强国内回收再生的能力。澳大利亚科学家为研究塑料污染影响、寻求塑料污染应对方案贡献了证据和经验，做出了巨大贡献。澳大利亚的创新集中体现在“无塑七月”（Plastic Free July）等运动倡议上以及随身咖啡杯（KeepCup）等产品设计上，这样的创新正在向世界展现其持续影响力。澳大利亚为全球方法的推广做出了巨大贡献，这种方法可以通过全球协议的技术支助部分与其他国家分享。



Great Barrier Reef, Australia, 2006  
© Troy Mayne / WWF



### 案例 3: 日本

实施一项全球协议可以帮助日本避免与塑料危机相关的成本，包括塑料对渔业和温室气体排放的有害影响，同时为日本提供机会，巩固自己作为塑料行动全球领导者的地位。

2019 年日本生产的塑料的最低生命周期成本约为 1086.9 亿美元（+/-306.4 亿美元）<sup>235</sup>，这一成本考虑到了渔业和水产养殖业受到的威胁。

按人均计算，日本是世界第二大塑料包装废弃物产生国。塑料是日本商业的重要组成部分，是日本社会不可分割的一部分。出于食品安全考虑，类似香蕉这样的可以单独分装的食品都会用一次性塑料进行包装。由此，日本每年产生的塑料废弃物约有 900 万吨<sup>236</sup>，成为全球第二大人均塑料包装废弃物产生国，仅次于美国<sup>237</sup>。

来自日本及其邻国的塑料泄漏正在污染日本周围的水域，给旅游业、渔业和水产养殖业带来威胁。日本周围的水体充斥着塑料污染。东亚海洋的塑料污染水平高于北太平洋的 16 倍，高于全球海洋的 27 倍<sup>238</sup>。据关西地区联盟（The Kansai Regional Union）推算，大阪湾有 300 万个塑料袋和 610 万片乙烯胶。在日本周边近海地区发现了许多塑料垃圾，其中很多都来自日本国内源头<sup>239</sup>。这些废弃物正在影响旅游业，塑料垃圾冲上日本的很多海滩，吓跑了游客。旅游业在 2019 年为日本贡献了超过 3000 亿美元的产值<sup>240</sup>，鉴于此，塑料污染可能对日本经济造成严重损害。这种污染也影响了日本的渔业。针对东京湾的一项调查发现，在为调查而捕获的 64 条鳀鱼中，近 80% 样本的消化系统内存在塑料废弃物<sup>241</sup>。这可能会影响日本渔业

的产量和质量，导致渔业部门收入减少，产生就业方面的危机。2018 年，包括加工业在内的日本海产品行业共为社会提供了 202430 个就业岗位<sup>242</sup>。另外，塑料污染还会加剧人类透过食用受污染的鱼把微塑料摄入体内的危险。

#### 已采取的行动

日本开发了一个先进的废弃物管理系统，旨在循环利用或回收再生大量的塑料废弃物，从而阻止其泄漏到环境中。2000 年，《材料循环型社会形成推进基本法案》（Basic Act for Establishing a Sound-Material-Cycle Society）生效<sup>243</sup>。该法案旨在促进 3R 行动（reduce, reuse, recycle），即“减量化、再利用、循环再生”，并确保废弃物管理符合要求。作为该法案的一部分，废弃物被强制要求进行分类，当中的塑料进行回收再生，消费者也被教育分类和处理废弃物的知识。对废弃物进行分类，有时是一项很复杂的工作，不过由于日本人都甘愿承担这一工作，上述法案的遵从率很高。这是一个相对高效的系统，具有减少塑料泄漏的巨大潜力。联合国认为，因为日本拥有一个有效的废弃物管理系统，日本国内发生的一次性塑料的泄漏也会相对受限制<sup>244</sup>。

然而对于日本政府来说，仍然有很大的空间来提高其塑料行动的有效性，减少塑料生产、使用和泄漏带来的负面影响。根据官方数据，2018 年日本循环利用或回收了 84% 收集到的塑料<sup>245</sup>。不过，其中有 56% 的塑料废弃物都被焚烧来获取能源<sup>246</sup>。这等于是说，大多数塑料并没有通过回收再生变为新产品，这意味着新的原生塑料的生产需求继续存在。此外，尽管日本已实施了排放管控，以减少焚烧产生的化学污染物，但焚烧仍然是温室气体排放的净贡献者。日本将焚烧作为废弃物管理的主要方式，这从两个方面加剧了气候危机：一是焚烧过程中直接出现的排放，一是对新塑料的需求间接地增加了温室气体的排放。另外，日本政府对于市政污水系统难以移除的微珠和微纤维等初级源微塑料没有监管。结果，这些颗粒通过污水处理厂并被排放到附近水域，进一步导致了塑料泄漏，增加了相关成本。

#### 全球协议能提供的帮助

日本在 2021 年 7 月表达了对一项全球协议的支持，这明确了日本在塑料行动方面的领先声音，同时提供机会提高政府应对塑料问题的政策有效性。在 2019 年 6 月举行的大阪 G20 峰会上，日本提出



了“大阪蓝海愿景”（Osaka Blue Ocean Vision），希望到 2050 年将新增的海洋塑料垃圾污染减少到零<sup>247</sup>。日本决定支持制定海洋塑料污染国际协议，该决定为在限期内加快实现这个愿景提供了一个新平台。日本政府的下一步重要行动是共同促成有关全球协议的决议草案，该草案将允许在联合国环境大会第五次会议上开始新条约的谈判。日本的支持将对在 2022 年 2

月的会议上取得重要成果发挥关键作用。该协议也有望增强日本当前塑料行动的效力。寻求建立 EPR 制度有助于将部分负担从市政当局转移到企业，通过财政激励，EPR 制度能促进企业改用其他材料或创建新型交付模式。这有助于减少日本的塑料消费，进而减少废弃物的产生。全球协作可以帮助日本减少来自邻国的塑料泄漏，减少其通过水系进入日本海域的风险，进而减少

其带来的有害影响。该协议将帮助日本政府提高其应对塑料危机的行动的有效性，减少对旅游业、渔业和水产养殖业的负面影响。重要的是，日本民众对全球协议的支持率很高。61% 的日本市民认为，日本应该在推动一项新的国际协议方面发挥领导作用，以解决日益严重的塑料污染问题<sup>248</sup>。



# 附录（二）：核算方法

以下内容是本报告作者用来估算塑料生命周期成本最低值的方法。如前文所述，该模型所评估的内容，均是目前塑料生命周期中可量化的影响，并参考了经过同行评审的出版物，同时搜集了足够的数据支持本报告进行最优的模型估算。此外，本报告还概述了塑料有可能带来的其他潜在成本，但为了避免重复计算以及考虑到目前的研究无法支持准确量化等因素，这部分潜在成本并未计入本模型。

## 塑料的生命周期成本核算过程说明：

该模型的目标是：在皮尤慈善信托基金、世界经济论坛、德勤公司 (Deloitte)、碳追踪金融智库 (Carbon Tracker) 以及各种学术论文所发表的研究成果的基础上，对塑料的成本进行更全面的分析，提供塑料成本的更全面视角<sup>249,250,251,252,253,254,255,256,257,258,259,260,261</sup>。本报告分析过程中，依然存在两个挑战：（1）构成塑料总成本的部分成本还没有数据可参考；（2）其他成本

尽管有数据可供参考，但这些数据的精确性还有待提高，或是需要通过更多的研究进行验证。

本报告模型包含了多个成本维度，此前已做过介绍。这些成本维度有足够的数据支撑以帮助模型估算（下图中称为“可量化成本”）；另外，目前数据无法支撑模型估算的那些成本（下图中称为“未量化成本”）已被剔除。可量化成本的估算，根据塑料危机所产生的不同影响分成不同维度，并采用最佳数据进行估算，或是基于现有数据给出估算数值。同时，为避免本报告中提供数据产生争议，已多次说明模型采用的是“最优估算”的情况。鉴于塑料生命周期的影响尚未被充分记录，这个模型提供的估算是 2019 年生产的塑料在其全部生命周期中所产生的最低成本，生命周期涵盖从原材料提取到相关塑料完全降解为止的各阶段。现将该方法的具体内容详述如下：

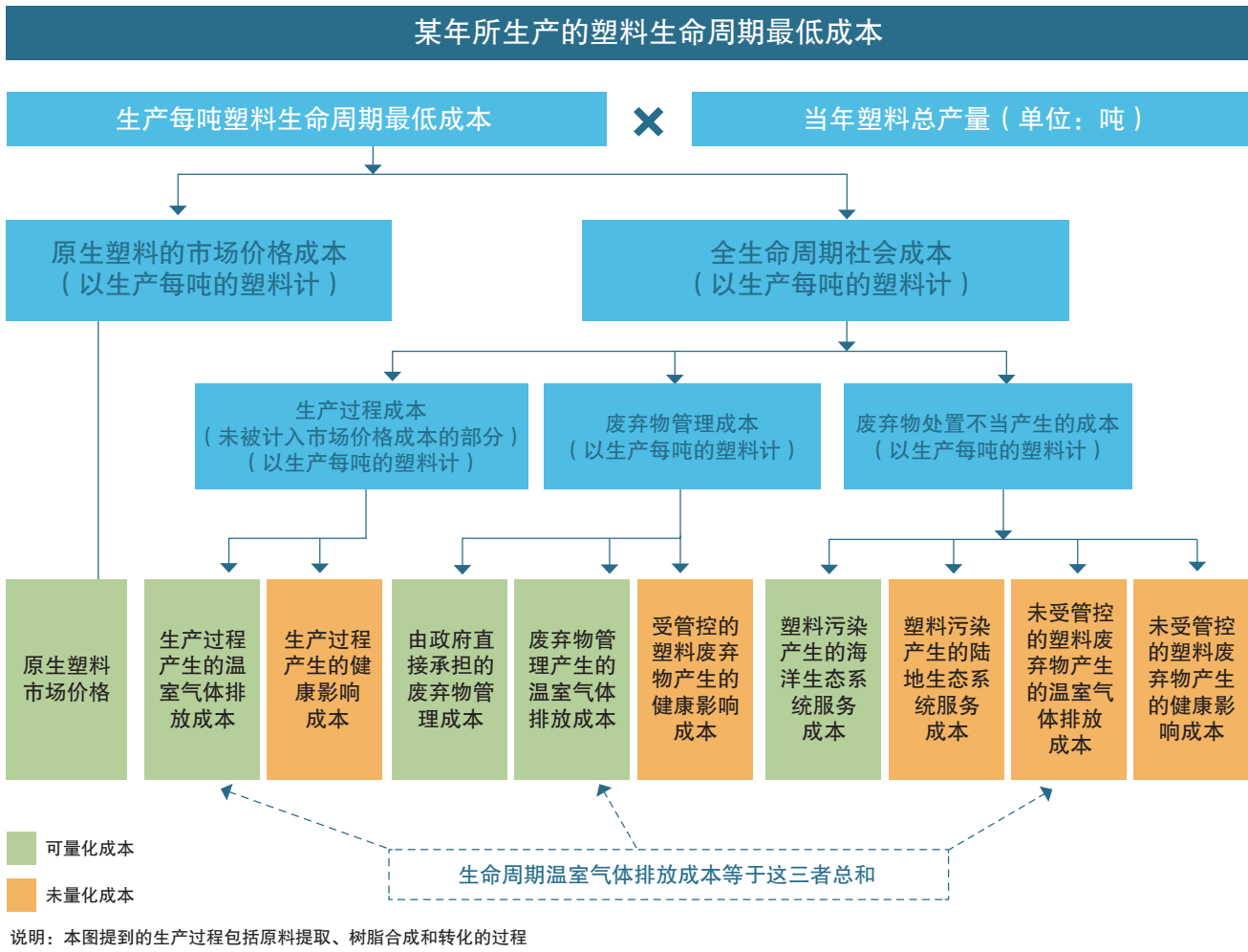


图 8：塑料最低生命周期成本构成概览

## 模型计算

### 1. 塑料的市场成本：

#### ● 以下参数被用来估算全球 2019 年生产的塑料市场成本：

参数 1：2019 年不同类型塑料聚合物的全球市场价格，由全球统计数据库公司 Statista 提供<sup>262</sup>。

参数 2：2018 年不同类型塑料占全球塑料总产量的百分比，由 Statista 公司提供<sup>263</sup>。

参数 3：2019 年全球塑料产量估算数据（总产量 3.68 亿吨），由欧洲塑料制造商协会（PlasticsEurope Market Research Group, PEMRG）和 Conversio 咨询公司（Conversio Market & Strategy GmbH）提供<sup>264</sup>。

#### ● 2019 年塑料市场成本的估算步骤：

第 1 步：以其他塑料聚合物的平均价格作为替代指标，由此得出 2019 年每吨其他聚合物的价格为 1020.98 美元。

第 2 步：参照 2018 年每种塑料聚合物的产量分布，来计算 2019 年每吨塑料的加权平均成本（例如，以美元计的 PET 成本 × PET 的产量占比 + 以美元计的 HDPE 成本 × HDPE 产量占比，如此类推），由此得出每吨塑料的平均成本为 1006.67 美元。

第 3 步：用每吨塑料的平均成本 1006.67 美元乘以 2019 年全球塑料产量 3.68 亿吨，从而计算出 2019 年生产的塑料的市场总成本，约为 3700 亿美元。

### 2. 废弃物管理成本：

#### ● 以下参数被用来估算全球 2019 年生产的塑料所产生的废弃物管理成本：

参数 1：由皮尤慈善信托基金提供的城市固体塑料废弃物不同管理阶段的数据，此数据最初是为编写《截断塑料流》报告而收集的<sup>265</sup>，核算了 2016 年全球城市固体塑料废弃物管理过程的每个阶段的数量和成本。这包括：

◎ 正规收集：由正规部门收集的废弃物<sup>266</sup>。

◎ 正规分类：由正规部门对废弃物进行分类，包括进口的废弃物<sup>267</sup>和国内回收后再利用的废弃物<sup>268</sup>。

◎ 非正规收集和分类：由非正规部门收集和分类的废弃物<sup>269</sup>，包括最初通过非正规方式收集的废弃物，以及由拾荒者从垃圾场或不卫生的垃圾填埋场回收的废弃物<sup>270,271</sup>。

◎ 废弃数量和成本：通过专门的垃圾填埋场废弃处理的废弃物，或是以焚烧（带有能源回收性质）的方式处理的废弃物<sup>272,273</sup>。

◎ 回收数量和成本：通过开环或闭环机械回收的塑料废弃物。机械回收的废弃物既可能来自正规分类的废弃物，也可能来自非正规收集和分类的废弃物<sup>274,275</sup>。不同回收产品的售价取决于其中高价值塑料组份（PET、HDPE 和 PP）。

说明：这些成本维度的数量和成本数据是按八种不同的地理原型进行统计的。按照世界银行（The World Bank）的定义，这些地理原型可按国家收入分为四组：高收入经济体、中上收入经济体、中低收入经济体和低收入经济体；此外也按照联合国的城乡分类法对这些原型进行分类，共计为八种。所有成本数据均按 2018 年的美元价格计价。

参数 2：2019 年生产的塑料预计有 70% 的比例会变为废弃物。根据 Geyer 等人的一项研究<sup>276</sup>，1950 年到 2015 年累计生产的塑料中有 70% 已经成为废弃物。本报告的作者假设这一比例并未随着时间的推移而发生改变。

参数 3：2019 年全球塑料产量估算数据（总产量 3.68 亿吨），由欧洲塑料制造商协会和 Conversio 咨询公司提供<sup>277</sup>。

#### ● 为估算全球 2019 年生产的塑料所产生的废弃物管理成本，计算步骤如下：

第 1 步：先是利用皮尤慈善信托基金提供的数据计算出不同废弃物管理阶段的成本，然后再将所有阶段的成本汇总起来，结果计算出 2016 年城市塑料废弃物管理成本约为 266 亿美元。

第 2 步：利用美国劳工部劳工统计局（U.S. Labor Department’s Bureau of Labor Statistics）提供的美国消费价格指数数据，将以 2018 年美元价计算的 2016 年废弃物管理成本按 2019 年美元价进行换算，由此得出 2016 年废弃物管理成本约为 270 亿美元。

第 3 步：用 2016 年的废弃物管理成本（换算后的 270 亿美元）除以 2016 年产生的城市固体塑料废弃物的总量（2.15 亿吨），从而得出塑料废弃物的管理成本为 125.68 美元/吨（以 2019 年美元价计算）。

第 4 步：将 2019 年生产的塑料总量（3.68 亿吨）乘以成为废弃物的塑料比例 70%，结果得出 2019 年生产的所有塑料中有 2.576 亿吨的塑料将变为废弃物。



**第 5 步：**将每吨废弃物的管理成本 125.68 美元乘以 2019 年生产的塑料的废弃物 2.576 亿吨，得出 2019 年生产的塑料的废弃物管理成本大约为 320 亿美元<sup>278</sup>。此处将城市固体塑料废弃物的单位成本（以吨计）作为总体塑料废弃物管理的单位成本，并将 2016 年的数据通过以上步骤进行转换，用于 2019 年。

### 3. 塑料污染产生的海洋生态系统服务成本：

● **以下参数被用来估算 2019 年生产的塑料所产生的海洋生态系统服务成本：**

**参数 1：**根据 Costanza 等人的估算，2011 年海洋提供的生态系统服务价值按 2007 年美元价计算约为 49.7 万亿美元<sup>279</sup>。虽然也有其他学者对海洋生态系统服务功能进行研究，但 Costanza 等人的结论基于其 1997 年对全球生态系统服务价值的研究之上得出<sup>280</sup>，因此对海洋生态系统服务价值估算相对更具代表性。同时，针对学术界对 1997 年发表文章的质疑，Costanza 等人在新的论文中作出了回应，调整了生态系统服务价值数据，使用了土地利用变化数据，并更新了其他数据，加强了之前的结论。

**参数 2：**按照 Beaumont 等人的测算，海洋塑料污染导致生态系统服务减少在 1%—5% 之间<sup>281</sup>。一个由很多专家组成的科研小组，对塑料给每种类型生态系统的服务造成的损害进行研究，并对现有的证据进行了评估，Beaumont 等人在此基础上进行研究并得出以上结论。塑料对海洋生态系统服务的破坏是广泛的，包括调节功能和文化功能无不受到影响。如果没有新的研究和证据出现，Beaumont 等人的测算结果短期内不会发生改变。

**参数 3：**Beaumont 等人<sup>282</sup> 估算了 2011 年海洋中塑料垃圾存量，约 7500 万吨<sup>283</sup> 至 1.5 亿吨<sup>284</sup> 之间。

**参数 4：**海洋中塑料污染的存留时间被认为是无穷尽的。这个判断基于如下事实：大多数塑料将永久地留在海洋中，进一步分解成越来越小的颗粒，而无论变成的颗粒有多小，都将继续带来伤害。越来越多的研究阐述了微塑料和纳米塑料的危害。然而，在本计算模型中由于使用了折现率作为参数（见参数 5），塑料生命周期成本的 85% 将在前 100 年内发生，95% 将在前 150 年内发生。200 年后产生的成本会出现 98% 以上的折现，因此不会对塑料全生命周期成本产生显著影响。

**参数 5：**基于 Drupp 等人的研究成果，估算出社会折现率（Social discount rate，SDR）为 2%，200 名

专家中有超过三分之二的人认为 2% 这个折现率是合适的<sup>285</sup>。

**参数 6：**2019 年全球塑料产量估算数据为 3.68 亿吨，由欧洲塑料制造商协会和 Conversio 咨询公司提供<sup>286</sup>。

**参数 7：**2019 年生产的塑料，预计有 70% 的比例会变为废弃物。这一结论基于 Geyer 等人的一项研究<sup>287</sup>。据估计，1950 年到 2015 年累计生产的塑料中，有 70% 已经成为废弃物。本报告的作者假设这一比例并未随着时间的推移而发生改变。

**参数 8：**根据《截断塑料流》报告的研究，2016 年泄漏到海洋中的塑料垃圾和初级源微塑料<sup>288</sup> 约为 1110 万吨<sup>289</sup>。

**参数 9：**据 Boucher 和 Friot 估计，每年泄漏到海洋中的渔具有 60 万吨<sup>290</sup>。

**参数 10：**根据 Arcadis 在 2012 年的一项研究<sup>291</sup>，在源自海洋来源的塑料垃圾中，渔具约占 65%，剩下 35% 来自航运污染源，可能是船舶上的生活废物、泄漏的货物或是绳索等。

**参数 11：**根据 Geyer 等人的估计<sup>292</sup>，2015 年产生的塑料废弃物有 3.02 亿吨。

● **本报告采取以下步骤来核算 2019 年生产的塑料所带来的海洋生态系统服务成本：**

**第 1 步：**使用由美国劳工部劳工统计局发布的美国消费价格指数数据，将以 2007 年美元价格计算的 2016 年海洋生态系统服务值，换算成以 2019 年美元价格计算的 2011 年海洋生态系统服务值，结果为 61.3 万亿美元。

**第 2 步：**将 61.3 万亿美元的 1% 作为参考值（采用 Beaumont 等人所预估的 1%—5% 这个范围的最保守值<sup>293</sup>），由此得出 2011 年海洋塑料污染造成的最低成本大概为 6130 亿美元。

**第 3 步：**将海洋塑料污染造成的成本（6130 亿美元）分别除以海洋塑料总量的最下限和最上限（7500 万美元和 1.5 亿美元），由此得出海洋塑料最低单位成本大概在每吨 4085 美元至每吨 8171 美元之间。这个估值是每吨塑料产生的海洋生态系统服务平均成本。然而，海洋塑料的单位成本实际上并不是固定的，它因塑料类型和塑料大小的不同而改变；另外，塑料的来源和去向也会对此数值构成影响。鉴于此，海洋塑料的实际单位成本可能大于、也可能小于本报告核算的平均水平。

**第 4 步：**最终进入海洋的塑料废弃物可能需要 400 多年的时间才能降解，也有研究表明，塑料可能在海洋

中留存数千年。因此，塑料废弃物将给社会和政府带来至少数百年甚至数千年的支付成本。然而，鉴于对未来成本估算的不确定性，作者保守地建立了这个模型。作者使用长久净现值公式（perpetual net present value formula）来估算每吨海洋塑料所产生的生命周期成本；使用净现值公式（net present value formula）计算海洋垃圾未来可能产生的现金成本流，该现金成本流使用折现率计算（作者使用的社会折现率为 2%），此种估算方式赋予未来长期成本以较低权重。结果计算出，海洋塑料的生命周期成本大概在 204270 美元/吨到 408541 美元/吨之间，其中 85% 将由社会和政府在未来 100 年支付。（未来 150 年为 95%）。

**第 5 步：**为计算出塑料废弃物进入海洋中的比例，作者借助《截断塑料流》这份报告的研究成果<sup>294</sup>，将来自城市固体废弃物和初级源微塑料的泄漏量（前者为 980 万吨，后者为 130 万吨）与每年海上来源带来的泄漏量（92.3076 万吨<sup>295</sup>）相加，由此测算出 2016 年泄漏至海洋的塑料量约为 1200 万吨；然后再除以 2015 年产生的塑料废弃物总量（3.02 亿吨），由此得出进入海洋的塑料废弃物的比例大概为 4%。在核算过程中，作者将 2015 年塑料废弃物的产量作为 2016 年塑料废弃物产量的替代。当前的估值是保守估计，因为仅核算了市政固体废弃物管理系统中的塑料废弃物和次级微塑料，来自电子、建筑工程和运输的塑料一般不被看作海洋碎片的来源<sup>296</sup>，因此并未计算在内。作者认为，借助《截断塑料流》的数据，对进入海洋的塑料废弃物的比例做出当前这样的保守估计是合理的。

**第 6 步：**作者将 2019 年的塑料产量（3.68 亿吨）乘以塑料—废弃物转化率 70%，再乘以泄漏到海洋的塑料废弃物的比例（4% 左右），由此估算出 2019 年生产的塑料约有 1000 万吨流入海洋，成为海洋塑料垃圾和微塑料。

**第 7 步：**作者将 2019 年生产的流入海洋的塑料总量 1000 万吨，乘以每吨塑料造成的海洋生态系统服务成本（204270 美元至 408541 美元之间），由此估算出 2019 年生产的塑料所带来的海洋生态系统服务成本大概在 2.1 万亿美元到 4.2 万亿美元之间。虽然已有的研究表明最可能的折现率为 2%（如上所述），但作者也进行了场景分析，以确认在更高的折现率下该部分成本的变化趋势。分析结果显示，折现率越高，对未来的长期成本产生的权重越低。由于作者使用的是永久净现值公式，如果折现率提高到 4%，此部分成本将缩减一半，约为 1 万亿美元至 2.1 万亿美元之间。不过，还应该注意到一个重要的细微差别：当成本总

数减少了一半，未来产生的影响要小得多。如果当前的决策者关注未来几十年将发生的成本，由折现率上升带来的成本估算差异就不那么显著了。但考虑到从现在到 2050 年这段时间被看成是采取气候行动的关键时间线，因此不同的折现率所造成的不同的贴现成本是：按 2% 的折现率计算，到 2050 年累计的贴现成本大概是 9380 亿美元；按 4% 的折现率计算，到 2050 年累计的贴现成本是 7240 亿美元，仅比前一种情况低 23%。

**第 8 步：**随后作者估算出，2019 年生产的塑料在其生命周期内造成的海洋生态系统服务成本的中位数大概为 3.1 万亿美元。

### 4. 塑料生命周期的温室气体排放成本：

● **以下参数被用来估算 2019 年生产的塑料在其生命周期内所产生的温室气体排放成本：**

**参数 1：**2015 年塑料生命周期的温室气体排放总量依据 Zheng 和 Su 的研究估算<sup>297</sup>。由于现阶段数据量不足，导致了 Zheng 和 Su 的研究无法将使用阶段或处置不当的塑料废弃物核算在内，导致目前核算的温室气体排放总量数据偏低。但作者认为现阶段可以利用 Zheng 和 Su 的研究数据对塑料造成的温室气体排放成本进行保守估算。这些数据也没有考虑到使用再生塑料替代那些高碳密度原生塑料进行生产的情况，但二人的研究关注了转换过程和塑料在其生命周期每个阶段的排放情况，因此作者选择使用 Zheng 和 Su 的估算数据<sup>298</sup> 而不是使用 CIEL 提供的数据（80 万吨）<sup>299</sup>。

表 2：2015 年整个塑料生命周期的温室气体排放量<sup>300</sup>

生命周期阶段	内涵	排放量
合成树脂生产	包括从起步阶段到聚合物生产之间的所有活动	1085
制造阶段	涵盖了将聚合物变成最终塑料产品的制造过程	535
末段	包括对塑料废弃物的处理以及弃置过程	161
总计		1781



**参数 2:** 塑料的碳成本被估算为 100 美元 / 吨，这一估值与联合国政府间气候变化专门委员会( IPCC )提供的平均价格一致。这一数据曾出现在 IPCC 发布的《1.5℃ 特别报告》( IPCC SR15 ) 中<sup>301</sup>，借用了科学国际研讨会( IAMs ) 的文献。这是基于在给定的减排技术的帮助下把温度降到某一数值所需的成本。

**参数 3:** 由 Geyer 等人估算的 2015 年的塑料产量<sup>302</sup>，数值为 3.8 亿吨。

**参数 4:** 由 Geyer 等人估算的 2015 年塑料废弃物的产量<sup>303</sup>，数值为 3.02 亿吨。

**参数 5:** 2019 年生产的塑料最终变为废弃物的比例估计为 70%，这是基于 Geyer 等人的一项研究<sup>304</sup>。这项研究指出，在 1950 至 2015 年累计生产的塑料中有 70% 已成为废弃物。本报告的作者假设这一比例并未随着时间的推移而发生变化。

**参数 6:** 根据欧洲塑料制造商协会和 Conversio 咨询公司估算，2019 年全球塑料的产量是 3.68 亿吨<sup>305</sup>。

● **我们采取了以下步骤来估算 2019 年生产的塑料在其生命周期内产生的温室气体排放成本：**

**第 1 步：**将树脂合成阶段的排放量 10.85 亿吨与制造阶段的排放量 5.35 亿吨进行加总，以此计算出 2015 年生产过程产生的总排放量为 16 亿吨。

**第 2 步：**将生产过程的总排放量（16 亿吨）除以 2015 年的塑料总产量（3.8 亿吨），从而计算出生产过程中每吨塑料的二氧化碳排放量为 4.3 吨。

**第 3 步：**用 2019 年的塑料产量（3.68 亿吨）乘以每吨塑料的二氧化碳排放量（4.3 吨），从而计算出 2019 年生产的塑料在生产过程中二氧化碳排放总量为 16 亿吨。此计算结果基于以下前提，即假设塑料生产过程中二氧化碳排放强度自 2015 年以来一直保持不变。

**第 4 步：**用 2015 年塑料生命末段二氧化碳排放量（1.62 亿吨）除以 2015 年的塑料废弃物产量（3.02 亿吨），计算出每吨塑料废弃物的二氧化碳排放量为 0.53 吨。

**第 5 步：**用 2019 年的塑料产量 3.68 亿吨乘以塑料废弃物与塑料的转化比例 70%，从而得出在 2019 年生产的塑料中有 2.58 亿吨的塑料将变为废弃物。

**第 6 步：**用每吨塑料废弃物在生命末段的排放量 0.53 吨乘以 2019 年塑料废弃物的转化量 2.58 亿吨，从而计算出 2019 年生产的塑料在生命末段的二氧化碳排

放量为 1.37 亿吨。此计算结果基于以下前提，即假定塑料生命末段产生的二氧化碳排放强度自 2015 年以来一直保持不变。

**第 7 步：**将第 2 步计算的 2019 年塑料生产过程中产生的排放量 16 亿吨和第 6 步计算的 2019 年塑料生命末段的排放量 1.37 亿吨相加，从而得出 2019 年生产的塑料在其生命周期内排出的二氧化碳总量，结果为 17 亿吨左右。

**第 8 步：**用塑料生命周期的二氧化碳排放量 17 亿吨乘以每吨二氧化碳产生的成本 100 美元 / 吨，从而计算出 2019 年生产的塑料在其生命周期内所造成的温室气体排放成本，结果大概为 1710 亿美元。

**5. 至 2040 年可量化的塑料生命周期社会成本：**

● **为了估算塑料生命周期的社会成本，本报告使用了以下参数：**

**参数 1:** 世界经济论坛提供的塑料产量的预计增长率<sup>306</sup>。世界经济论坛根据全球独立的大宗商品市场信息提供商安迅思( ICIS ) 提供的数据，认为 2015 年至 2030 年期间塑料行业的年增长率将达到 3.8%；另外，根据国际能源机构发布的《2015 年世界能源展望》报告( World Energy Outlook 2015 )<sup>307</sup>，2015 年至 2030 年期间塑料行业的年增长率预计为 3.5%。

**参数 2:** 按照欧洲塑料制造商协会和 Conversio 咨询公司估算，2019 年全球塑料产量是 3.68 亿吨<sup>308</sup>。

**参数 3:** 经本报告作者的估算，2019 年生产的塑料在其生命周期内将产生 2.3 万亿美元到 4.4 万亿美元之间的社会成本。这一数值是如下三方相加的结果：（1）废弃物管理成本；（2）生态系统服务成本；（3）温室气体排放成本。

**参数 4:** 根据 Drupp 等人的测算，社会折现率大概是 2%，这是个中位数。在受访的 200 名专家中有超过 2/3 的人对这个数值感到满意<sup>309</sup>。

● **本报告采取以下步骤对塑料生命周期的社会成本进行估算：**

**第 1 步：**将 2019 年的塑料产量（3.68 亿吨）作为基点，先按 3.8% 的年增长率计算出从现在开始到 2030 年塑料的年产量；然后再按 3.5% 的年增长率，计算出 2031 年至 2040 年塑料的年产量。最后通过加总，计算出从现在开始到 2040 年的塑料总产量。

**第 2 步：**用 2019 年生产的塑料的生命周期社会成本（2.3 万亿美元至 4.4 万亿美元），除以 2019 年的塑料产量（3.68 亿吨），从而计算出每吨塑料的生命周期社会成本，数值在 6244 美元至 11937 美元之间。

**第 3 步：**将每吨塑料的生命周期社会成本（6244 美元至 11937 美元），乘以每年预计的塑料产量，结果计算出 2020 年至 2040 年期间每年生产的塑料的生命周期社会成本。

表 3：成本估算

2019 年生产的塑料的有关指标	下限	上限	中位数
市场成本	3700 亿美元	3700 亿美元	3700 亿美元
废弃物管理成本	320 亿美元	320 亿美元	320 亿美元
海洋生态系统服务成本	2.1 万亿美元	4.3 万亿美元	3.1 万亿美元
生命周期温室气体排放成本	1710 亿美元	1710 亿美元	1710 亿美元
2019 年可量化总成本	2.7 万亿美元	4.8 万亿美元	3.7 万亿美元
可量化的生命周期社会成本（废弃物管理成本 + 生态系统服务成本 + 温室气体排放成本）	2.3 万亿美元	4.4 万亿美元	3.3 万亿美元

表 4：塑料生命周期社会成本预估现值（基于塑料产量预测和 2019 年每吨塑料产生的成本）

年度	成本下限	成本上限	成本中位数
2019	2,297,876,557,030 美元	4,392,761,042,731 美元	3,345,318,799,881 美元
2020	2,385,195,866,197 美元	4,559,685,962,354 美元	3,472,440,914,276 美元
2021	2,475,833,309,113 美元	4,732,954,028,924 美元	3,604,393,669,018 美元
2022	2,569,914,974,859 美元	4,912,806,282,023 美元	3,741,360,628,441 美元
2023	2,667,571,743,904 美元	5,099,492,920,740 美元	3,883,532,332,322 美元
2024	2,768,939,470,172 美元	5,293,273,651,728 美元	4,031,106,560,950 美元
2025	2,874,159,170,039 美元	5,494,418,050,494 美元	4,184,288,610,266 美元
2026	2,983,377,218,500 美元	5,703,205,936,412 美元	4,343,291,577,456 美元
2027	3,096,745,552,803 美元	5,919,927,761,996 美元	4,508,336,657,400 美元
2028	3,214,421,883,810 美元	6,144,885,016,952 美元	4,679,653,450,381 美元
2029	3,336,569,915,395 美元	6,378,390,647,596 美元	4,857,480,281,495 美元
2030	3,463,359,572,180 美元	6,620,769,492,205 美元	5,042,064,532,192 美元
2031	3,584,577,157,206 美元	6,852,496,424,432 美元	5,218,536,790,819 美元
2032	3,710,037,357,708 美元	7,092,333,799,287 美元	5,401,185,578,498 美元
2033	3,839,888,665,228 美元	7,340,565,482,262 美元	5,590,227,073,745 美元
2034	3,974,284,768,511 美元	7,597,485,274,141 美元	5,785,885,021,326 美元
2035	4,113,384,735,409 美元	7,863,397,258,736 美元	5,988,390,997,073 美元
2036	4,257,353,201,148 美元	8,138,616,162,792 美元	6,197,984,681,970 美元
2037	4,406,360,563,188 美元	8,423,467,728,490 美元	6,414,914,145,839 美元
2038	4,560,583,182,900 美元	8,718,289,098,987 美元	6,639,436,140,943 美元
2039	4,720,203,594,301 美元	9,023,429,217,451 美元	6,871,816,405,876 美元
2040	4,885,410,720,102 美元	9,339,249,240,062 美元	7,112,329,980,082 美元



1 Parker, L. (2019) “The world’s plastic pollution crisis explained”, National Geographic, 7 June, viewed 6 August 2021,https://www.nationalgeographic.com/environment/article/plastic-pollution.

2 Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law, L.L., (2017) “Production, use, and fate of all plastics ever made”, Science Advances, 3(7).

3 CIEL, 2019. Plastic and Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet.

4 CIEL, 2019. Plastic and Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet.

5 UNEP, 2018. Single-use plastics: A Roadmap for Sustainability.

6 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

7 WWF, 2020. Stop Ghost Gear: The most deadly form of marine plastic debris.

8 Beaumont N.J. *et al.* (2019) “Global ecological, social and economic impacts of marine plastic”, Marine Pollution Bulletin,142, pp 189-195.

9 Deloitte, 2019. Price Tag of Plastic Pollution.

10 作者使用 Drupp, M.A. 等人提出的 2% 的折现率，通过永久净现值公式计算出塑料的生命周期成本。参见 (2018) “Discounting Disentangled”, American Economic Journal: Economic Policy, 10(4), pp 109-34。塑料生命周期成本的 85% 会在塑料产生后的 100 年里出现，成本的 95% 会在塑料产生后的 150 年出现。由于主要塑料废弃物的预期寿命都在 150 年以上，据此可以较准确地估算出塑料的预期寿命。计算方法是，用 2019 年生产的、流入海洋的塑料所产生的年度成本除以 2% 的折现率。

11 这是基于该报告作者的估算，2019 年生产的塑料的最低生命周期成本的中位数为 3.7 万亿美元，上限为 4.8 万亿美元，下限为 2.7 万亿美元。

12 这是基于该报告作者的如下估算，即：2019 年生产的塑料的最低生命周期成本的中位数为 3.7 万亿美元，上限为 4.8 万亿美元，下限为 2.7 万亿美元。同时也参考了 Investopedia Silver, Caleb.,2020. 中提到的各国 GDP 数据。参见 The Top 25 Economies in the World. Investopedia. Available at: <https://www.investopedia.com/insights/worlds-top-economies/> [Accessed 18 August 2021].

13 原生塑料是化石原料（如天然气、原油）被精炼后而得到的东西，这些东西以前从未被使用过，也未被加工过。

14 See Annex 2: Methodology for an overview of how this figure was calculated. All values provided in 2019 US\$.

15 See Annex 2: Methodology for an overview of how this figure was calculated. All values provided in 2019 US\$.

16 See Annex 2: Methodology for an overview of how this figure was calculated. All values provided in 2019 US\$.

17 See Annex 2: Methodology for an overview of how this figure was calculated. All values provided in 2019 US\$.

18 See Annex 2: Methodology for an overview of how this figure was calculated. All values provided in 2019 US\$.

19 这是基于：（1）本报告的作者估计 2040 年塑料的预计成本中位数为 7.1 万亿美元，上限为 9.3 万亿美元，下限为 4.9 万亿美元；（2）根据世界卫生组织 2020 年的一项报告 Global spending on health: Weathering the storm, 2018 年全球卫生支出为 8.3 万亿美元；（3）德国 GDP 为 3.86 万亿美元，加拿大 GDP 为 1.74 万亿美元，澳大利亚 GDP 为 1.4 万亿美元，三国总计 7 万亿美元，这些数据来自 Investopedia Silver, Caleb.,2020. 参见 The Top 25 Economies in the World. Investopedia. Available at: <https://www.investopedia.com/insights/worlds-top-economies/> [Accessed 18 August 2021]。

20 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

21 This is based on limiting warming tounder 1.5 C; the Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

22 Ellen MacArthur Foundation, 2021. Policies for a Circular Economy for Plastic: The Ellen MacArthur Foundation’s perspective on a UN treaty to address plastic pollution.

23 World Economic Forum, 2016. The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics.

24 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

25 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

26 WWF, 2020. The Business Case for a UN Treaty on Plastic Pollution.

27 UN Environment, 2017. Combating Marine Plastic Litter and Microplastics: An Assessment of the Effectiveness of Relevant

International, Regional and Subregional Governance Strategies and Approaches.

28 WWF, 2020. The Business Case for a UN Treaty on Plastic Pollution.

29WWF (n.d.), Ghost Gear- The silent predator, viewed 6 August 2021, <https://wwf.panda.org/act/take\_action/plastics\_campaign\_page/>.

30 WWF (n.d.). Global Plastic Navigator [Online]. Available at: https://plasticnavigator.wwf.de/#/en/stories/?st =0&ch=0&layers=surface-concentration(Accessed: 12 August 2021).

31 Risko*et al.* (2020) “Cost-effectiveness and return on investment of protecting health workers in low- and middle-income countries during the COVID-19 pandemic”, PLoS ONE,15(10), pp 1-10.

32 Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law,L. L., (2017) “Production, use, and fate of all plastics ever made”, Science Advances, 3(7).

33 WWF, 2020. The Business Case for a UN Treaty on Plastic Pollution.

34 Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law,L. L., (2017) “Production, use, and fate of all plastics ever made”, Science Advances, 3(7).

35 UNEP, 2018. Single-use plastics: A Roadmap for Sustainability.

36 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

37 Calculations based on a 21.59 cm long straw, with an assumption that the circumference of the world is 40,075 km.

38 This proportion refers only to municipal solid and microplastic waste as per the Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

39 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

40 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

41 CIEL, 2019. Plastic and Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet.

42 Deloitte, 2019. Price Tag of Plastic Pollution.

43 Babbage, N. (2019) “New publication out: Consumer response to plastic waste”Kantar, 9 October. Results based on global survey of over 65k people in 24 countries.

44 Ryan, P.G. (2015) “A Brief History of Marine Litter Research”. In: Bergmann,M., Gutow, L. and Klages, M. (eds), Marine Anthropogenic Litter. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3.

45 WWF, 2020. The Business Case for a UN Treaty on Plastic Pollution.

46 Lebanc, R., (2021) “The Decomposition of Waste in Landfills”, The Balance Small Business, January 16, Accessed 20 August2021, <https://www.thebalancesmb.com/how-long-does-it-take-garbage-to-decompose-2878033>.

47 Nauendorf, A. *et al.*, (2016) “Microbial colonization and degradation of polyethylene and biodegradable plastic bags in temperatefine-grained organic-rich marine sediments”,Marine Pollution Bulletin, 103, pp 168-178.

48 See Annex 2: Methodology for an overview of how these costs were estimated. All values provided in 2019 US\$.

49 这是基于该报告作者估计的 2019 年生产的塑料最低生命周期成本（中位数为 3.7 万亿美元，上限为 4.8 万亿美元，下限为 2.7 万亿美元）以及各国的 GDP 数据，数据来源于 Investopedia Silver, Caleb.,2020. 参见 The Top 25 Economies in the World.Investopedia.Available at: <https://www.investopedia.com/insights/worlds-top-economies/> [Accessed 18 August 2021].

50 这是基于该报告作者估计的 2019 年生产的塑料最低生命周期成本（中位数为 3.7 万亿美元，上限为 4.8 万亿美元，下限为 2.7 万亿美元）以及各国的 GDP 数据，数据来源于 Investopedia Silver, Caleb.,2020. 参见 The Top 25 Economies in the World.Investopedia.Available at: <https://www.investopedia.com/insights/worlds-top-economies/> [Accessed 18 August 2021].

51 See Annex 2: Methodology for an overview of how these costs were estimated. All values provided in 2019 US\$.

52 Nielsen, T. *et al.* “Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic lifecycle”, Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 9(1).

53 这是基于：（1）按本报告模型估算，2019 年温室气体排放成本估计为 1710 亿美元（见附录 2）；（2）按 Bloomberg 提供的数据，2020 年全球能源转型支出为 5013 亿美元，参见 Bloomberg NEF, 2021. “Energy Transition Investment Trends Tracking global investment in the low-carbon energy transition.” [PowerPoint presentation] 19January. 按 2019 年美元价值进行换算，该报告作者最终得出 2020 年全球能源转型支出大概为 4690

亿美元。

54 Zheng, J. and Suh, S. (2019) “Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics”, Nature Climate Change, 9, pp374-378. 1.8Gt is the estimate of emissions excluding the displacement of virgin polymer production from recycling.

55 UNEP, 2020. Emissions Gap Report2020.

56 这是基于不包括土地利用变化在内的温室气体排放情况。中国、美国、印度和俄罗斯联邦将超过塑料的排放值。欧盟 27 个成员国以及英国的温室气体排放也会超过塑料的排放，但该报告将这些国家排除在排名之外，因为他们是一个集体，而不是一个单一国家。参见 UNEP, 2020. Emissions Gap Report 2020.

57 NASA. (n.d.) The Effects of Climate Change, viewed 13 August 2021, < https://climate.nasa.gov/effects/>.

58 European Commission. (n.d.) Climate Change consequences.

59WWF. (n.d.) Effects of Climate Change,viewed 13 August 2021, < https://www.worldwildlife.org/threats/effects-of-climatechange>.

60 National Resources Defence Council,2008. The Cost of Climate Change: What We’ll Pay if Global Warming Continues Unchecked.

61 Zheng, J. and Suh, S. (2019) “Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics”, Nature Climate Change, 9, pp 374-378.

62 Zheng, J. and Suh, S. (2019) “Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics”, Nature Climate Change, 9, pp 374-378.

63 CIEL, 2019. Plastic and Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet.

64 Zheng, J. and Suh, S. (2019) “Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics”, Nature Climate Change, 9, pp 374-378.

65 Reyna-Bensusan, N. *et al.* (2019) “Experimental measurements of black carbon emission factors to estimate the global impact of uncontrolled burning of waste”,Atmospheric Environment, 213, pp 629-639.

66 Royer, S.J, *et al.* (2018) “Production of Methane and Ethylene from Plastic in the Environment”, PLoS ONE, 13(8), pp 1-13.

67 See Annex 2: Methodology for an overview of how these costs were estimated. All values provided in 2019 US\$.

68 The Pew Charitable Trusts and

SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

69 Based on data collected by the Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ; the Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave (see Annex 2:Methodology for more detail on how these figures were calculated. All values provided in 2019 US\$).

70 Brooks, A.L., Wang, S. and Jambeck, J.R. (2018). “The Chinese import ban and its impact on global plastic waste trade”, Science Advances, 4(6), pp 1-7.

71 McCormick, E. *et al.* (2019) “Where does your plastic go? Global investigation reveals America’s dirty secret”, The Guardian, 17 June.

72 这个计算是基于：（1）美国人均产生的塑料废弃物数量 0.1062 吨，参见 Holden, E. “US produces far more waste and recycles far less of it than other developed countries”, The Guardian, 3 July, accessed 6 August, <https://www.theguardian.com/us-news/2019/jul/02/us-plastic-waste-recycling>; （2）美国平均家庭规模 2.53 人，参见 Statista, (2020), “Average number of people per household in the United States from 1960 to 2020”, viewed

6 August 2021, <https://www.statista.com/statistics/183648/average-size-of-households-in-the-us/>; （3）将人均塑料废弃物产量乘以美国平均家庭规模，得出美国每户家庭塑料废弃物产量（0.269 吨）。再用出口到越南的 8.3 万吨塑料废弃物总量除以每户塑料废弃物产量，计算出约有 30 万个这样的美国家庭。

73 IUCN-EA-QUANTIS, 2020. National Guidance for plastic pollution hot spotting and shaping action, Country report:Vietnam.

74 Gaia, 2019. Discarded: Communities on the Frontlines of the Global Plastic Crisis.

75 Tabuchi, H. and Corkery, M. (2019)“Countries Tried to Curb Trade in Plastic Waste. The U.S. Is Shipping More”, The New York Times, 12 March.

76 Interpol, 2018. Strategic Analysis Report: Emerging criminal trends in the global plastic waste market since January 2018.

77 See Annex 2: Methodology for an overview of how these costs were estimated. All values provided in 2019 US\$.

78 Barbier E.B. (2017) “Marine ecosystem services”, Current Biology, 27(11).

79 See Annex 2: Methodology for an overview of how these costs were estimated. All values provided in 2019 US\$.



80 Costanza *et al.* (2014) “Changes in the global value of ecosystem services”, Global Environmental Change, 26, pp 152-158.

81 藻类和细菌是例外。塑料增加了可供殖民化的栖息地范围，并使这些物种能够传播到新的地区，从而增加了它们的栖息地范围和数量。参见 Beaumont, N.J. *et al.* “Global ecological, social and economic impacts of marine plastic”, Marine Pollution Bulletin, 142, pp189-195.

82 Beaumont, N.J. *et al.* (2019) “Global ecological, social and economic impacts of marine plastic”, Marine Pollution Bulletin,142, pp 189-195.

83 Based on Beaumont, N.J. *et al.* (2019)“Global ecological, social and economic impacts of marine plastic”, Marine Pollution Bulletin, 142, pp 189-195.

84 Beaumont, N.J. *et al.* (2019) “Global ecological, social and economic impacts of marine plastic”, Marine Pollution Bulletin,142, pp 189-195.

85 本报告的作者通过使用永久净现值(NPV)公式计算出了这一结果。(see Annex 2:Methodology for more detail into how the authors obtained this estimate).

86 这是基于：（1）本报告的作者估算的最低生态系统服务成本，其中位数为3.1 万亿美元，上限为4.2 万亿美元，下限为2.1 万亿美元；（2）根据世界银行的说法，2019 年的全球教育支出为5 万亿美元。参见 the World Bank, 2021. Education Finance Watch (figure 1).

87 Watson, A.J. *et al.* (2020) “Revised estimates of ocean-atmosphere CO2 flux are consistent with ocean carbon inventory”,Nature Communications, 11(4422), pp 1-6.

88 Basu, S. and Mackey, K.R.M. (2018)“Phytoplankton as Key Mediators of the Biological Carbon Pump: Their Responses to a Changing Climate”, Sustainability, 10(3).

89 Desforges JP.W., Galbraith, M. and Ross,P.S. (2015) “Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean”,Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 69, pp 320-330.

90 Wieczorek, A.M. *et al.* (2019). “Microplastic Ingestion by Gelatinous Zooplankton May Lower Efficiency of the Biological Pump”, Environmental Science &Technology, 53(9), pp 5387-5395.

91 Cole, M. *et al.* (2015). “The Impact of Polystyrene Microplastics on Feeding, Function and Fecundity in the Marine Copepod *Calanus helgolandicus*”, Environmental Science & Technology,

49(2),pp 1130-1137.

92 Cole, M. *et al.* (2013). “Microplastic Ingestion by Zooplankton”, Environmental Science& Technology, 47(12), pp 6646-6655.

93 Deloitte, 2019. Price Tag of Plastic Pollution.

94 Deloitte, 2019. Price Tag of Plastic Pollution.

95 Beaumont, N.J. *et al.* (2019) ‘Global ecological, social and economic impacts of marine plastic’, Marine Pollution Bulletin,142, pp 189-195.

96 Deloitte, 2019. Price Tag of Plastic Pollution.

97 Deloitte, 2019. Price Tag of Plastic Pollution.

98 Deloitte, 2019. Price Tag of Plastic Pollution.

99 Deloitte, 2019. Price Tag of Plastic Pollution.

100 WWF, 2020. Stop Ghost Gear: The most deadly form of marine plastic debris.

101 Gall, S.C. and Thompson, R.C. (2015).“The impact of debris on marine life”, Marine Pollution Bulletin, 92(1-2), pp 170-179.

102 WWF, 2020. Stop Ghost Gear: The most deadly form of marine plastic debris.

103 Seal haul-out sites are locations on land where seals come ashore to rest, moult or breed.

104 Allen, R., Jarvis, D., Sayer, S. and Mills,C. (2012). “Entanglement of grey seals *Halichoerus grypus* at a haul out site in Cornwall, UK.”, Marine pollution bulletin, 64(12), pp 2815-2819.

105 Allen, R., Jarvis, D., Sayer, S. and Mills,C. (2012). “Entanglement of grey seals *Halichoerus grypus* at a haul out site in Cornwall, UK.”, Marine pollution bulletin, 64(12), pp 2815-2819.

106 Karamanlidis, A.A. *et al.* (2008).“Assessing accidental entanglement as a threat to the Mediterranean monk seal *Monachus monachus*”, Endangered Species Research, 5(2), p205-213.

107 NOAA, 2019. Marine Debris Impacts on Coastal and Benthic Habitats.

108 Valderrama Ballesteros, L., Matthews,J.L. and Hoeksema, B.W. (2018). “Pollution and coral damage caused by derelict fishing gear on coral reefs around Koh Tao, Gulf of Thailand.” Marine Pollution Bulletin, 135,pp 1107-1116. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.033>.

109 Airoidi, L., Balata, D. and Beck, M.W.(2008). “The Gray Zone: Relationships between habitat loss and marine diversity and their applications in conservation”,Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, (366), pp 8-15.

110 Richardson, K. *et al.* (2019). “Building evidence around ghost gear: Global trends and analysis for sustainable solutions at scale”, Marine Pollution Bulletin, (138), pp222-229.

111 UNEP, 2009. Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear.

112 Cho, D.O. (2004). “Case Study of derelict fishing gear in Republic of Korea”, paper presented to APEC Seminar on Derelict Fishing Gear and Related Marine Debris, Honolulu, Hawaii, USA, 13-16 January.

113 CIEL, 2019. Plastic and Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet.

114 CIEL, 2019. Plastic and Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet.

115 Jemielita, T. (2015). “Unconventional Gas and Oil Drilling Is Associated with Increased Hospital Utilization Rates”, PLoSONE, 10(7), pp 1-18.

116 CIEL, 2019. Plastic and Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet.

117 Tait, P.W. *et al.* (2019). “The health impacts of waste incineration: a systematic review”, Australian and New Zealand Journal of Public Health, 44(1), pp 1-9.

118 Tait, P.W. *et al.* (2019). “The health impacts of waste incineration: a systematic review”, Australian and New Zealand Journal of Public Health, 44(1), pp 1-9.

119 White, S.S. and Birnbaum, L.S. (2010).“An Overview of the Effects of Dioxins and Dioxin-like Compounds on Vertebrates, as Documented in Human and Ecological Epidemiology”, J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev, 27(4), pp197-211.

120 Zhang, Y. *et al.* (2016). “Leaching Characteristics of Trace Elements from Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash”,Geotechnical Special Publication, 273, pp168-178.

121 Zhang, Q. *et al.* (2020). “A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure”,Environmental Science & Technology, 54(7),pp 3740-3751.

122 Masantes, M.D., Consea, J.A. andFullana, A. (2020) “Microplastics in Honey,Beer, Milk and Refreshments in Ecuador as Emerging Contaminants”, Sustainability,12(14), pp 1-17.

123 Hossain, M.S. *et al.* (2020). “Microplastic contamination in Penaeid shrimp from the Northern Bay of Bengal”,Chemosphere, 238.

124 Schwabl, P. *et al.* (2019) “Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series”, Annals of Internal Medicine, 171(7).

125 Ragusa, A. *et al.* (2021) “Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta”, Environment International, 146.

126 CIEL, 2019. Plastic and Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet.

127 WHO, 2019. Microplastics in Drinking Water.

128 Prata, J.C. *et al.* (2020) “Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects”, Science of the Total Environment, 702.

129 World Health Organization, 2019. Microplastics in drinking-water.

130 Bucca, K., Tulio, M. and Rochman,C. M. (2019) “What is known and unknown about the effects of plastic pollution: A meta-analysis and systematic review”, Ecological Applications, 30(2).

131 Zhao, S., Zhu, L. and Li, Daoji. (2016)“Microscopic anthropogenic litter interrestrial birds from Shanghai, China: Notonly plastics but also natural fibers”, Science of the Total Environment, 550, pp 1110-1115.

132 Omidi, A., H. Naeemipoor, and M.Hosseini. (2012) “Plastic debris in the digestive tract of sheep and goats: An increasing environmental contamination in Birjand, Iran”, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 88(5), pp691-694.

133 MacIvor, J.S. and Moore, A. (2013)“Bees collect polyurethane and polyethylene plastics as novel nest materials”, Ecosphere,4(12).

134 Piehl, S. *et al.* (2018) “Identification and quantification of macro-and microplastics on an agricultural farmland”, Scientific reports,8(1), pp 1-9.

135 Sanders L.C. and Lord E.M. (1989)“Directed movement of latex particles in the gynoecea of three species of flowering plants”,Science, 243(4898), pp 1606-8.

136 Boots, B., Russell, C.W. and Green,D. S. (2019) “Effects of Microplastics in Soil Ecosystems: Above and Below Ground”,Environmental Science and Technology,53(19).

137 Steinmetz, Z. *et al.* (2016) “Plastic mulching in agriculture. Trading short-

term agronomic benefits for long-term soil degradation?”, Science of the Total Environment, 550, pp 690-705.

138 Tishman Environment and Design Center, 2019. U.S. Municipal Solid Waste Incinerators: An Industry in Decline.

139 Fernández-Llamazares, A. *et al.* (2019)“A State-of-the-Art Review of Indigenous Peoples and Environmental Pollution”,Integrated Environmental Assessment and Management, 16(3), pp 324-341.

140 UNEP, 2021. Neglected: Environmental Justice Impacts of Marine Litter and Plastic Pollution.

141 CIEL, 2019. Plastic and Health: The Hidden Cost of a Plastic Planet.

142 Zhao, Q. *et al.* (2016) “The Effect of the Nengda Incineration Plant on Residential Property Values in Hangzhou, China”,Journal of Real Estate Literature, 24(1), pp85-102.

143 Auler, F., Nakashima, A.T. and Cuman,R.K. (2013) “Health Conditions of Recyclable Waste Pickers”, Journal of Community Health, 39(1).

144 Velis, C.A. and Cook, E. (2021)“Mismanagement of Plastic Waste through Open Burning with Emphasis on the Global South: A Systematic Review of Risks to Occupational and Public Health”,Environmental Science & Technology, 55(11),pp 7186-7207.

145 Zolnikov, T.R. *et al.* (2021) “A systematic review on informal waste picking:Occupational hazards and health outcomes”,Waste Management, 126, pp 291-308.

146 Kistan, J. *et al.* (2020) “Health care access of informal waste recyclers in Johannesburg, South Africa”, PLoS One,15(7).

147 International Monetary Fund.(2017) “The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: How Can Low-Income Countries Cope?” in Seeking Sustainable Growth: Short-Term Recovery, Long-Term Challenges, pp 117-184.

148 International Monetary Fund.(2017) “The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: How Can Low-Income Countries Cope?” in Seeking Sustainable Growth: Short-Term Recovery, Long-Term Challenges, pp 117-184.

149 Islam S.N. and Winkel, J. (2017) Climate Change and Social Inequality. UN Department of Economic and Social Affairs DESA Working Paper No. 152. Available at:[https://www.un.org/esa/desa/papers/2017/wp152\\_2017.pdf](https://www.un.org/esa/desa/papers/2017/wp152_2017.pdf)

150 See Annex 2: Methodology for an overview of how this figure was calculated. All values provided in 2019 US\$.

151 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

152 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

153 Walpole, S.C. *et al.* (2012) “The weight of nations: an estimation of adult human biomass”, BMC Public Health, 12(439).

154 See Annex 2: Methodology for more details on how these figures were estimated. All values provided in 2019 US\$.

155 这是基于：（1）本报告作者估算的2040年生产的塑料的生命周期成本，中位数为7.1 万亿美元，上限为9.3 万亿美元，下限为4.9 万亿美元；（2）根据世界卫生组织的数据，2018 年全球卫生支出为8.3 万亿美元。参见 the World Health Organization, 2020. Global spending on health: Weathering the storm.

156 这是基于：（1）本报告作者估算的2040年生产的塑料的生命周期成本，中位数为7.1 万亿美元，上限为9.3 万亿美元，下限为4.9 万亿美元；（2）德国的GDP 3.86 万亿美元，加拿大GDP 1.74 万亿美元，澳大利亚GDP 1.4 万亿美元，合计7 万亿美元，这些数据来源于 Investopedia Silver, Caleb.,2020. The Top 25 Economies in the World.Investopedia. Available at: <<https://www.investopedia.com/insights/worlds-topeconomies/>> [Accessed 18 August 2021].

157 这是基于：（1）本报告作者估算的2040年生产的塑料的生命周期成本，中位数为7.1 万亿美元，上限为9.3 万亿美元，下限为4.9 万亿美元；（2）根据世界卫生组织的数据，2018 年全球卫生支出为8.3 万亿美元。参见 the World Health Organization, 2020. Global spending on health: Weathering the storm.

158 这是基于：（1）本报告作者估算的2040年生产的塑料的生命周期成本，中位数为7.1 万亿美元，上限为9.3 万亿美元，下限为4.9 万亿美元；（2）德国的GDP 3.86 万亿美元，加拿大GDP 1.74 万亿美元，澳大利亚GDP 1.4 万亿美元，合计7 万亿美元，这些数据来源于 Investopedia Silver, Caleb.,2020. The Top 25 Economies in the World.Investopedia. Available at: <<https://www.investopedia.com/insights/worlds-topeconomies/>> [Accessed 18 August 2021].

159 This is based on limiting warming tounder 1.5 C.

160 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic



Wave.

161 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

162 CIEL, 2019. Plastic and Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet.

163 European Commission, 2020. Draft budget 2020: Statement of Estimates.

164 Ellen MacArthur Foundation, 2021. Policies for a Circular Economy for Plastic: The Ellen MacArthur Foundation’s perspective on a UN treaty to address plastic pollution.

165 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

166 Tyres, textiles, personal care products and production pellets. Source: the Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. Breaking the Plastic Wave.

167 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. *Breaking the Plastic Wave*.

168 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. *Breaking the Plastic Wave*.

169 Ellen MacArthur Foundation, 2017. *The New Plastics Economy: Rethinking The Future Of Plastics & Catalysing Action*.

170 Ellen MacArthur Foundation, 2020. *Perspective on ‘Breaking the Plastic Wave’ study: The Circular Economy Solution to Plastic Pollution*.

171 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. *Breaking the Plastic Wave*.

172 Backhaus, T. and Wagner, M. (2019) ‘Microplastics in the Environment: Much Ado about Nothing? A Debate’, *Global Challenges*, 4 (1900022).

173 Ellen MacArthur Foundation, 2021. *Policies for a Circular Economy for Plastic: The Ellen MacArthur Foundation’s perspective on a UN treaty to address plastic pollution*.

174 WWF, 2020. *The Business Case for a UN Treaty on Plastic Pollution*.

175 WWF, 2020. *The Business Case for a UN Treaty on Plastic Pollution*.

176 WWF, 2020. *The Business Case for a UN Treaty on Plastic Pollution*.

177 Ellen MacArthur Foundation, 2021. *Policies for a Circular Economy for Plastic: The Ellen MacArthur Foundation’s perspective on a UN treaty to address plastic pollution*.

178 Parker, L. (2021) “Global treaty to regulate plastic pollution gains momentum”, *National Geographic (Environment)*, 8 June. Available at: <https://www.nationalgeographic.co.uk/environment-and-conservation/2021/06/global-treaty-to-regulate-plastic-pollution-gains-momentum>.

179 Parker, L. (2021) “Global treaty to regulate plastic pollution gains momentum”, *National Geographic (Environment)*, 8 June. Available at: <https://www.nationalgeographic.co.uk/environmentand-conservation/2021/06/global-treaty-to-regulate-plastic-pollution-gains-momentum>.

180 WWF, 2020. *The Business Case for a UN Treaty on Plastic Pollution*.

181 UNEP-WCMC, 2017. *Governance of areas beyond national jurisdiction for biodiversity conservation and sustainable use: Institutional arrangements and crosssectoral cooperation in the Western Indian Ocean and the South East Pacific*.

182 UN Environment, 2017. *Combating Marine Plastic Litter and Microplastics: An Assessment of the Effectiveness of Relevant International, Regional and Subregional Governance Strategies and Approaches*.

183 UNEP, 2020. *Summary of the analysis of the effectiveness of existing and potential response options and activities on marine litter and microplastics at all levels to determine the contribution in solving the global problem*.

184 WWF, 2020. *The Business Case for a UN Treaty on Plastic Pollution*.

185 WWF, 2020. *The Business Case for a UN Treaty on Plastic Pollution*.

186 Soares, J. *et al.* (2021) ‘Public views on plastic pollution: Knowledge, perceived impacts, and pro-environmental behaviours’, *Journal of Hazardous Materials*, 412.

187 SEA Circular, 2020. *Perceptions on Plastic Waste*.

188 WWF (n.d.), *Ghost Gear-the silent predator*, viewed 6 August 2021, <[https://wwf.panda.org/act/take\\_action/plastics\\_campaign\\_page/](https://wwf.panda.org/act/take_action/plastics_campaign_page/)>.

189 WWF (n.d.). Global Plastic Navigator [Online]. Available at: <https://plasticnavigator.wwf.de/#/en/stories/?st=0&ch=0&layers=surface-concentration>(Accessed: 12 August 2021).

190 这不是对南非成本自下而上的全面估算，而是根据南非所占全球废弃物产量的比重估算的，相关数据参见 Our World in Data (n.d.)，‘Plastic waste generation,2010’，viewed 6 August 2021, <<https://ourworldindata.org/grapher/plastic-wastegeneration-total?tab=chart>>.

国家塑料废弃物总量是由 Our World in Data 根据 J.R. 等人提供的人均塑料废弃物产量的数据计算的。有关 J.R. 等人的数据，参见 Jambeck,J. R. *et al.* (2015). ‘Plastic waste inputs from land into the ocean’. *Science*, 347(6223), pp768-771 and total population data published in the World Bank, World Development Indicators (available at: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-development-indicators>).

191 IUCN-EA-QUANTIS, 2020. *National Guidance for plastic pollution hotspotting and shaping action*.

192 Rodseth C., NottenP. and H. vonBlottniz, (2020) “A revised approach for estimating informally disposed domestic waste in rural versus urban South Africa and implications for waste management”, *South African Journal of Science*, 116, pp 1-6.

193 IUCN-EA-QUANTIS, 2020. *National Guidance for plastic pollution hotspotting and shaping action*.

194 Ryan, P.G. (2020) “The transport and fate of marine plastics in South Africa and adjacent oceans”, *South African Journal of Science*, 116(5/6).

195 Chitaka, T.Y. and von Blottnitz, H.(2018) “Accumulation and characteristics of plastic debris along five beaches in Cape Town”, *Marine Pollution Bulletin*, 138, pp451-457.

196 South African Department of Tourism,2017. *South Africa: State of tourism report*, 2016/17.

197 Balance, A., Ryan, P.G. and Turipe, J.(2000) “How much is a clean beach worth?The impact of litter on beach users in the Cape Peninsula, *South Africa*”, *South African Journal of Science*, 96(5), pp 210-213.

198 South African Government 2014,Fisheries, Department of Agriculture, Forestry and Fisheries (South Africa), viewed3 August 2021.

199 Clark, B.M. *et al.* (2002) “Identification of subsistence fishers, fishing areas, resource use and activities along the South African coast”, *South African Journal of Marine Science*, 24, pp 425-437.

200 WWF, 2020. *Plastics: Facts and futures.Moving beyond pollution management towards a circular plastics economy in South Africa*.

201 South Africa Department of Environmental Affairs, 2018. *State of Waste Report South Africa*.

202 Von Blottnitz, H., Chitaka, T. and C.Rodseth. (2018). “South Africa beats Europe at plastics recycling, but also is a top 20 ocean polluter. Really?” epse.uct.ac.za/sites/default/files/image\_tool/images/363/Publications/SA%20plastics%20MFA%20commentary%20by%20E%26PSE%20rev1.pdf.

203 Center for International Environmental Law, 2019. *Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet*.

204 South African Government, 2021. *Forestry, Fisheries and the Environment on amendments to plastic bag regulations*.

205 South African Government, 2020. *National Environmental Management:Waste Act (59/2008): Regulations regarding extended producer responsibility*.

206 African Ministerial Conference on the Environment, 2019. *Draft Durban Declaration on taking action for environmental sustainability and prosperity in Africa*.

207 African Ministerial Conference on the Environment, 2019. *Draft Durban Declaration on taking action for environmental sustainability and prosperity in Africa*.

208 Vlavianos, C. (2021) “Thousands of South Africans call for stricter plastic regulations from the DEFF Director General”,Greenpeace, 13 April. Available at: <https://www.greenpeace.org/africa/en/press/13506/thousands-of-south-africans-call-for-stricter-plastic-regulations-from-the-deff-director-general/>.

209 Plastic Pollution Treaty, (n.d.). *The business call for a UN Treaty on plastic pollution*.

210 Australian Government, 2021. *National Plastics Plan 2021*.

211 Australian Government Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, 2021. *A circular economy roadmap for plastics, tyres, glass and paper in Australia*.

212 这不是对澳大利亚成本自下而上的全面估算，而是根据澳大利亚所占全球废弃物产量的比重估算的，相关数据参见 Our World in Data (n.d.)，‘Plastic waste generation,2010’，viewed 6 August 2021, <<https://ourworldindata.org/grapher/plastic-waste-generation-total?tab=chart>>.

国家塑料废弃物总量是由 Our World in Data 根据 J.R. 等人提供的人均塑料废弃物产量的数据计算的，有关数据参见 Jambeck,J.R. *et al.* (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), pp768-771 and total population data published in the World Bank, World Development Indicators (available at: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/>

world-development-indicators). IUCN-EA-QUANTIS, 2020. National Guidance for plastic pollution hotspotting and shaping action.

213 Australian Government, 2021. *National Plastics Plan 2021*.

214 O’Farrell, K., (2020). *2018-19Australian Plastics Recycling Survey National report. Envisage works, Melbourne:Australian Government Department of Agriculture, Water and the Environment*.

215 World Wide Fund for Nature Australia and Boston Consulting Group, 2020. *Plastics Revolution to reality-A roadmap to halve Australia’s single-use plastic litter*.

216 Charles, D., Kimman, L. and Saran, N.(2021) ‘The plastic waste-makers index’,Minderoo Foundation.

217 Australian Government, 2021. *National Plastics Plan 2021*.

218 Australian Packaging Covenant Organization, 2020. *Australian packaging consumption and recycling data 2018/19*.

219 World Wide Fund for Nature Australia and Boston Consulting Group, 2020. *Plastics Revolution to reality-A roadmap to halve Australia’s single-use plastic litter*.

220 鉴于成本估算是基于全球总额的按比例估算，作者没有将亚太经合组织的数据作为成本估算的一部分，而是将其作为估算澳大利亚各行业具体成本的依据。参见 APEC, 2020. *Update of 2009 APEC Report on Economic Costs of Marine Debris to APEC Economies*.

221 APEC, 2020. *Update of 2009 APEC Report on Economic Costs of Marine Debris to APEC Economies*.

222 Australian Government Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, 2015. *Inquiry into the Threat of Marine Plastic Pollution in Australia and Australian Waters*.

223 Wilcox, C. *et al.* (2018) “A quantitative analysis linking sea turtle mortality and plastic debris ingestion”, *Scientific Reports*,8(1).

224 Acampora, H. *et al.* (2013). “Comparing plastic ingestion between juvenile and adult stranded Short-tailed Shearwaters (Puffinus tenuirostris) in Eastern Australia”, *Marine Pollution Bulletin*, 78(1-2).

225 Hardesty, B.D. *et al.* (2013). “Understanding the effects of marine debris on wildlife”, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation.

226 Department of Agriculture, Water and the Environment, (2021) “Environment Ministers Meeting 1Agreed Communique”,Australian Government, 15 April, viewed 6August 2021, <<https://www.awe.gov.au/sites/default/files/2021-04/emm-1-agreed-communique.pdf>>.

227 从 2021 年 7 月 1 日起，只有“分类为单一树脂或聚合物”或“用其他材料加工成工程燃料”的塑料才能出口；从 2022 年 7 月 1 日起，只有“分类为单一树脂或聚合物以及（或）进一步加工为碎片或颗粒的塑料”才能出口。参见 *Source: Recycling and Waste Reduction Act 2020. Available at: https://www.legislation.gov.au/Details/C2020A00119*.

228 Australian Government, 2021. *National Plastics Plan 2021*.

229 Australian Government, n.b.d. *Australian Recycling Investment Fund*.

230 Australian Government, 2020. *Budget2020-21: Supporting healthy oceans*.

231 EIA, 2020. *Plastic Pollution Prevention in Pacific Island Countries: Gap analysis of current legislation, policies and plans*.

232 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, 2021. *National Circular economy roadmap for plastics, glass, paper and tyres. Pathways for unlocking future growth opportunities forAustralia*.

233 Hardesty, B, and Wilcox, C. (2011). “Understanding the types, sources and at-sea distribution of marine debris in Australian waters”, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation.

234 Jambeck, J.R. *et al.* (2015) “Plastic waste inputs from land into the ocean”, *Science*,347(6223), pp768-771.

235 这不是对日本成本自下而上的全面估算，而是根据日本所占全球废弃物产量的比重做出的估算，相关数据参见 Our World in Data (n.d.)，‘Plastic waste generation,2010’，viewed 6 August 2021, <<https://ourworldindata.org/grapher/plastic-waste-generation-total?tab=chart>>.

国家塑料废弃物总量是由 Our World in Data 根据 J.R. 等人提供的人均塑料废弃物产量的数据计算的，有关数据参见 Jambeck,J.R. *et al.* (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), pp768-771 and total population data published in the World Bank, World Development Indicators (available at: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-development-indicators>).IUCN-EA-QUANTIS, 2020. National Guidance for plastic pollution hotspotting and shaping action.

236 Ministry of the Environment



Government of Japan (2021), “The situation of plastics both within and outside Japan”available at: [https://www.env.go.jp/council/03recycle/20210128\\_s7.pdf](https://www.env.go.jp/council/03recycle/20210128_s7.pdf).

237 UNEP. (2018). *Single-use plastics: A roadmap for sustainability*.

238 Isobe, A. *et al.* (2015) ‘East Asian seas:A hot spot of pelagic microplastics’, *Marine Pollution Bulletin*, 101(2), pp 618-623.

239 Kuroda, M. *et al.* (2020) ‘The current state of marine debris on the seafloor in offshore area around Japan’, *Marine Pollution Bulletin*, 161(A).

240 World Travel & Tourism Council. (2021). *Travel& Tourism Economic Impact 2021*.

241 Tanaka, K. and Takada, H. (2016) ‘Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters’, *Scientific Reports*,6(1).

242 OECD, 2021. *Fisheries and Aquaculture in Japan*.

243 Japanese Government, 2000. *The Basic Act for Establishing a Sound Material-Cycle Society*.

244 United Nations, 2018. *The state of plastics: World Environment Day Outlook2018*.

245 Plastic Waste Management Institute,2019. *An Introduction to Plastic Recycling*.

246 Plastic Waste Management Institute,2019. *An Introduction to Plastic Recycling*.

247 Osaka Blue Ocean Vision (2020). *About us*, viewed 2 August 2021.

248 EIA, 2021. *Pressure on Japan grows as poll shows public wants more action on plastic pollution ahead of G7*.

249 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. *Breaking the Plastic Wave*.

250 Deloitte, 2015. *Increased EU Plastics Recycling Targets: Environmental,Economic and Social Impact Assessment Final Report*.

251 Carbon Tracker, 2020. *The Future’s Not in Plastics*.

252 Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law,L. L., (2017) ‘Production, use, and fate of all plastics ever made’, *Science Advances*, 3(7).

253 Drupp, M.A. *et al.* (2018) “Discounting Disentangled”, *American Economic Journal: Economic Policy*, 10(4), pp 109-34.

254 Beaumont N.J. *et al.* (2019) “Global ecological, social and economic impacts of marine plastic”, *Marine Pollution*

*Bulletin*,142, pp 189-195.

255 Costanza, R. *et al.* (2014) “Changes in the global value of ecosystem services”,*Global Environmental Change*, 26(1), pp152-158.

256 Jambeck, J.R. *et al.* (2015) “Plastic waste inputs from land into the ocean”, *Science*, 347(6223), pp 768-771.

257 Jang, Y.C. *et al.* (2015) “Estimating the Global Inflow and Stock of Plastic Marine Debris Using Material Flow Analysis: A Preliminary Approach”, *Journal of the Korean Society for Marine Environment &Energy*, 18(4), pp 263-273.

258 McKinsey, 2015. *Stemming the Tide:Land-based Strategies for a Plastic-free Ocean*.

259 Zheng J. and Suh, S. (2019) “Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics”, *Nature Climate Change*, 9, pp 374-378.

260 Plastics Europe, 2020. *Plastics-the Facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data*.

261 参见 Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018. *Global Warming of 1.5°C An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*.

262 HDPE price based on Statista, (2020), “Price of high-density polyethylene worldwide from 2017 to 2019 with estimated figures for 2020 to 2022”, viewed 10August 2021, <<https://www.statista.com/statistics/1171074/price-high-density-polyethylene-forecast-globally/>>.PET price based on; Statista, (2020),‘Price of polyethylene terephthalate (PET) worldwide from 2017 to 2019 with estimated figures for 2020 to 2022’, viewed 10 August 2021, <<https://www.statista.com/statistics/1171088/price-polyethylene-terephthalate-forecast-globally/>>. PVC price based on; Statista, (2020), “Price of polyvinyl chloride worldwide from 2017 to 2019 with estimated figures for 2020 to 2022”, viewed 10 August 2021, <<https://www.statista.com/statistics/1171131/pricepolyvinyl-chloride-forecast-globally/>>.PS price based on; Statista, (2020), ‘Price of polystyrene (PS) worldwide from 2017 to 2019 with estimated figures for 2020 to 2022’, viewed 10 August 2021, <<https://www.statista.com/statistics/1171105/price-polystyrene-forecast-globally/>>. PP price based on; Statista, (2020), ‘Price of polypropylene worldwide from 2017 to 2021’, viewed 10 August 2021, <<https://www.statista.com/statistics/1171084/price-polypropylene-forecast-globally/>>.

polystyrene-forecast-globally/>. PP price based on; Statista, (2020), ‘Price of polypropylene worldwide from 2017 to 2021’, viewed 10 August 2021, <<https://www.statista.com/statistics/1171084/price-polypropylene-forecast-globally/>>.

263 Statista, (2019) “Distribution of plastic production worldwide in 2018, by type”,viewed 4 August 2021, <<https://www.statista.com/statistics/968808/distribution-of-global-plastic-production-by-type/>>.

264 Plastics Europe, 2020. *Plastics- the Facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data*.

265 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. *Breaking the Plastic Wave*.

266 塑料的收集成本是按比例计算的，因此收集成本只构成塑料废弃物成本的一部分，也高于其他废弃物（如有机废弃物）的收集成本。这种算法是为了反映塑料在收集卡车中所占的相对较高的体积与重量比。

267 皮尤慈善信托基金假定所有的进口废弃物都已被正式分类。进口数据仅涉及原型之间的贸易，不涉及原型内部的贸易，这些数据源于联合国 2018 年综合贸易数据库（United Nations Comtrade database for 2018）。

268 塑料的分类成本是按比例计算的，因此分类成本只构成塑料废弃物成本的一部分，也高于其他废弃物（如有机废弃物）的分类成本。这种算法是为了反映塑料在收集卡车中所占的相对较高的体积与重量比。

269 非正规收集和分类被认为是同时发生的一个过程。

270 皮尤慈善信托基金假定在农村原型中没有非正规的收集或垃圾场收集。这是基于某些专家的判断，他们认为农村废弃物流没有足够的价值和密度让废弃物收集者从收集活动中获利。

271 非正规收集和分类成本是非正规收集和分类过程的资本支出和运营支出的总和。资本支出按年度每吨平均资本支出来计算，用 CAPEX 表示，涉及总资产成本、资产能力和资产持续时间等要素，但不考虑融资成本和贴现（年度资本支出＝资本总支出÷资产能力÷资产持续时间）。运营支出按年度运营支出来计算，用 Opex 表示，涉及劳动力、能源、维护成本等要素，按每吨计算。

272 每吨焚烧净成本是根据 Kaza 等人提供的焚烧收入数据核算的，相关数据参见 Kaza *et al.*, 2018, *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, World Bank Publications, Washington D.C. 另外，每吨焚烧净成本的核算也参考了专家组的意

见，有关焚烧成本的数据均来自焚烧厂提供的真实数据，并取得了所有专家的一致认同。这些成本反映了所有原型中相同的操作、安全和环境标准。

273 垃圾填埋总成本是根据世界银行的数据和可持续发展咨询公司 Eunomia 的数据计算出来的。这些成本反映了垃圾填埋工程所带来的资本支出和年度运营支出。

274 为计算每吨闭环回收的净成本，需使用如下参数：（1）回收品的市场价，价格高低取决于高价值塑料（PET，HDPE 和 PP）的构成情况；（2）用于闭环回收的资本支出和运营支出的总和。闭环回收工厂的资本、运营支出会因专家组经验和知识的不同而不同，并通过访谈得到确认。回收品的销售过程成本被认为是一笔不小的损失，所有回收废弃物都被认为会出售。

275 为计算每吨开环回收的净成本，需使用如下参数：（1）回收品的市场价，价格高低取决于高价值塑料（PET，HDPE 和 PP）的构成情况；（2）用于开环回收的资本支出和运营支出的总和。开环回收工厂的资本、运营支出会因专家组经验和知识的不同而不同，并通过访谈得到确认。回收品的销售过程成本被认为是一笔不小的损失，所有回收废弃物都被认为会出售。

276 Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law,L. L., (2017) “Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Science Advances*, 3(7).

277 Plastics Europe, 2020. *Plastics- the Facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data*.

278 为简单起见，我们只纳入 2019 年生产的塑料的废弃物管理第一阶段的成本（我们不考虑回收塑料被利用后再次成为废弃物时所产生的成本）。

279 Costanza, R. *et al.* (2014) “Changes in the global value of ecosystem services”, *Global Environmental Change*, 26(1), pp152-158.

280 Costanza, R. *et al.* (1997) “The value of the world’s ecosystem services and natural capital”, *Nature*, pp 253-260.

281 Beaumont N.J. *et al.* (2019) “Global ecological, social and economic impacts of marine plastic”, *Marine Pollution Bulletin*,142, pp 189-195.

282 Beaumont N.J. *et al.* (2019) “Global ecological, social and economic impacts of marine plastic”, *Marine Pollution Bulletin*,142, pp 189-195.

283 Beaumont 等人 (2019 年) 使用了 Jambeck 等人（2015 年）提供的数据，即每年进入海洋的塑料估计有 480 万吨至 1270 万吨。另外，Beaumont 等人还使用了 Jang, Y.C. 等人（2015 年）提供的数据，即每年进入海洋的塑料有

420 万吨（此为 2013 年的测算数据）。基于上述数据，Beaumont 等人估算出 2011 年海洋塑料的存量为 7500 万吨，比 2013 年少 11 吨。Beaumont 等人（2019 年）对估算数据进行了四舍五入处理，这表明这些数据只是估算值而不是确定值。

284 Beaumont 等人（2019 年）使用了麦肯锡报告中使用过的数据——1.5 亿吨，参见 McKinsey, (2015). *Stemming the Tide: Land-based Strategies for a Plasticfree Ocean*. Beaumont 等人认为这一数据被低估了，他们认为这应该是 2011 年的上限值才对。

285 Drupp, M.A. *et al.* (2018) “Discounting Disentangled”, *American Economic Journal:Economic Policy*, 10(4), pp 109-34.

286 Plastics Europe, 2020. *Plastics- the Facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data*.

287 Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law,L. L., (2017) “Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Science Advances*, 3(7).

288 在大约 20 个潜在的主要微塑料污染源中，皮尤慈善信托基金模拟了四个主要污染源，它们构成了微塑料污染的 75% 到 85%，分别是：轮胎磨损（TWP）、颗粒损失、纺织微纤维以及 PCP 中的微塑料成分（包括所有微型成分）。

289 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. *Breaking the Plastic Wave*.

290 Boucher, J. and Damien, F. (2017)“Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources.” *IUCN*.

291 Arcadis, 2012. *Economic assessment of policy measures for the implementation of the Marine Strategy Framework Directive*.

292 Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law,L. L., (2017) “Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Science Advances*, 3(7).

293 Beaumont N.J. *et al.* (2019) “Global ecological, social and economic impacts of marine plastic”, *Marine Pollution Bulletin*,142, pp 189-195.

294 The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2019. *Breaking the Plastic Wave*.

295 每年遗弃的渔具造成的塑料泄漏量预计达到 60 万吨，参见 Boucher, J. and Damien, F. (2017) “Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources.” IUCN. 另据阿卡迪斯公司提供的数据，渔业带来的塑料泄漏占到海上塑料泄漏来源的 65%，参见 Arcadis, 2012. *Economic assessment of policy*

*measures for the implementation of the Marine Strategy Framework Directive*.

296 Schwarz, A.E *et al.* (2019) “Sources, transport and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study.” *Marine Pollution Bulletin*,143, pp92-100.

297 Zheng J. and Suh, S. (2019) “Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics”, *Nature Climate Change*, 9, pp 374-378.

298 Zheng J. and Suh, S. (2019) “Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics”, *Nature Climate Change*, 9, pp 374-378.

299 CIEL, 2019. *Plastic and Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet*.

300 Zheng J. and Suh, S. (2019) “Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics”, *Nature Climate Change*, 9, pp 374-378

301 参见 Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018. *Global Warming of 1.5°C An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*.

302 Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law,L. L., (2017) “Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Science Advances*, 3(7).

303 Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law,L. L., (2017) “Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Science Advances*, 3(7).

304 Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law,L. L., (2017) “Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Science Advances*, 3(7).

305 Plastics Europe, 2020. *Plastics-the Facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data*.

306 WEF, 2016. *The New Plastics Economy:Rethinking the future of plastics*.

307 International Energy Agency, 2015. *World Energy Outlook 2015*.

308 Plastics Europe, 2020. *Plastics- the Facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data*.

309 Drupp, M.A. *et al.* (2018) “Discounting Disentangled”, *American Economic Journal:Economic Policy*, 10(4), pp 109-34



# WWF 的使命是 遏制地球自然环境的恶化 创造人类与自然和谐相处的美好未来



Working to sustain the natural  
world for the benefit of people  
and wildlife.

together possible™

[panda.org](http://panda.org)

© 2021

Paper 100% recycled

WWF, Rue Mauverney 28, 1196 Gland, Switzerland. Tel. +41 22 364 9111 CH-550.0.128.920-7

WWF® and World Wide Fund for Nature® trademarks and © 1986 Panda Symbol are owned by WWF-World Wide Fund For Nature (formerly World Wildlife Fund). All rights reserved.

For contact details and further information, please visit our international website  
at [www.panda.org](http://www.panda.org)