



第六期全球环境展望 亚太工业版



© 联合国环境规划署版权所有，2019 年

第六期全球环境展望（亚太工业版）

ISBN: 978-92-807-3874-2

Job No: DEW/2372/BA

免责声明

本出版物所用名称及其材料的编排格式并不意味着联合国环境规划署对任何国家、领土、城市或其当局的法律地位、或对其边界或界线的划分表示任何意见。有关在出版物中使用地图所涉事项的一般性指南，请访问<http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>

本出版物中提及商业公司或产品，并不意味着其得到联合国环境规划署的认可。

本中文翻译版本由亿利公益基金会资助翻译，文本由刘奕劼女士翻译。翻译人员对翻译的准确性负责，任何疑问将由翻译人员处理。

转载

在注明出处的前提下，可以不经版权所有者特别许可，以任何形式转载本出版物的全部或部分内容用于教育或非盈利目的。联合国环境规划署欢迎向其提供使用本出版物作为资料来源的任何出版物的副本。

未经联合国环境规划署事先书面许可，不得将本报告用于转售或任何其他商业目的。申请此许可时，应说明转载的目的和范围，并致函联合国环境规划署传播和新闻司司长，地址：P.O.Box 30552, Nairobi 00100, Kenya。

禁止将本出版物中的信息用于宣传或广告。

引用本文件时可以将其称为：

联合国环境规划署（2019 年）。第六期全球环境展望（亚太工业版）。内罗毕，肯尼亚。

图片版权

© 地图、照片和插图版权如内容所示。

封面设计

pixabay.com

第六期全球环境展望 (亚太工业版)

编写单位



联合国环境规划署



日本全球环境战略
研究所 (IGES)

支持单位



The Energy and Resources Institute

印度能源与资源研究所



清华大学



越南自然资源与环境
战略政策研究所

目 录

前 言	4
引 言	5
第一部分 快速工业化及其环境影响	
1. 气候与工业能效	8
2. 亚洲空气污染管控：走向具有多重效应、应对多种来源的策略	20
3. 水资源短缺与水质	30
4. 生物多样性与工业	46
第二部分 新出现工业污染物	
5. 电子废物	58
6. 微塑料与纳米材料	70
7. 药品及个人护理产品	84
8. 结语	92
致 谢	95

前言

亚太地区持续的工业发展一直以来是该地区及其他地区数十个国家经济增长的推动力。这种转变带来了更大的繁荣、城市化进程的加快和人口的持续增长。

然而，随着亚太地区地区成为“世界工厂”，除了工业发展带来的益处之外，越来越多的人意识到了随之而来的挑战。这些挑战在自然界中经常是涉及到环境的。

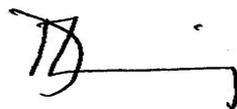
今年早些时候发布的第六次《全球环境展望》(GEO-6) 向我们诠释了可持续发展正受到多种因素的威胁。其中最重要的一个因素是不可持续的消费和生产模式以及资源使用的大量增加。作为GEO-6的一个特别报告，本报告进一步探讨了这些环境问题是如何由该地区的快速工业化引起的，并且这些问题是可以得到解决的。

健康的环境和富有复原力的生态系统是经济繁荣、人类健康和福祉的基础。然而目前，工业上自然资源的使用仍然是不可持续和低效的。工业污染是气候变化、生物多样性丧失及其所带来弊端的一个驱动因素。

好消息是，亚太地区许多国家已经认识到核心问题，并且在行业调控、控制工业污染和遏制资源浪费方面取得了进展。但是，与许多环境挑战一样，我们必须加大努力，加快行动。

而且，除了大型环境问题外，还有更多需要发现的问题。关注度较低但是同样重要的新出现的问题有制药污染、过度使用抗生素、微塑料、基因改造和纳米技术等。亚太地区的政策制定者应当更加警醒注意上述新出现挑战及其带来的不同的政策影响。

本版报告由亚太地区多个前沿环境政策智库联合编写，以识别挑战，并帮助指明前进的方向。我希望这一分析强调了继续该地区工业化对环境影响研究的重要性，也希望报告结论可以加强往往由亚洲及太平洋国家开创的创新方法、政策和做法，这对可持续发展目标的实现至关重要。



德钦茨仁 (Dechen Tsering)

联合国环境规划署
亚太区域主任

引言

联合国环境规划署（联合国环境署）在亚太地区的核心使命是密切关注地区环境，具体途径包括：

- 《全球环境展望（GEO）亚太区域评估》：亚太地区五年一度的综合评估，报告地区环境状况并为《全球环境展望》评估充实内容。¹
- 环境署实况平台：一个在线开放平台，分享环境数据及其他知识产品，并支持评估与研究。²
- 全球环境预警服务（GEAS）：对区域内发生的环境变化以及迫切需要关注的新出现环境与威胁进行简短报告。³
- 主题评估：区域及次区域层面开展的主题评估，以支持政府关于重大或新出现环境问题的决策。
- 环境现状（SoE）能力建设及其他环境相关报告，如区域内可持续发展目标与多边环境协定。⁴
- 促进其他全球项目的实施，如为区域内可持续发展目标的指标以及全球环境监测系统水监测开发统计方法。⁵
- 科学与政策的相互作用及不同措施的政策影响。

2016年公布的第六次《全球环境展望亚太区域评估》指出，亚太地区快速的城市化与工业化是环境变化的关键原因，对空气、水、土壤和生物区系造成不同程度的影响。政策制定者对于评估所指出的新出现问题关注不多，这些问题可能“悄无声息”地产生影响，直到难以预防、无法避免时才会被意识到。这份简短的电子报告深入探讨了亚太地区快速发展的工业化对区域环境造成的影响，不仅从传统的历史趋势视角和已知环境影响视角出发，还对人们关心的新出现环境问题进行详细探讨。

本报告第一部分采用《全球环境展望》传统的环境现状和趋势分析结构，涵盖了工业化对气候变化、空气、水和生物多样性的影响，但更强调新出现问题，而非历史趋势。本报告从广义上探讨工业化，不仅包括制造和能源部门，还包括养猪场和家禽养殖场等对环境造成重大影响的集约农业。

第一章关注气候变化，重点探讨将工业能效作为减少温室气体排放的关键途径。气候变化的相关探讨中有很大一部分围绕通过推广可再生能源减缓气候变化，而提高能效也许对于工业部门更容易实现，能快速获得回报。

¹ <http://www.unep.org/geo/assessments/regional-assessments/regional-assessment-asia-and-pacific>

² <http://environmentlive.unep.org/>

³ <http://www.unep.org/asiapacific/regional-initiatives/resource-efficiency>; <http://www.unep.org/asiapacific/regional-initiatives/climate-change>; <http://www.unepfi.org/regions/asia-pacific/>

⁴ <http://www.unep.org/geo/assessments/thematic>

⁵ <https://www.unep.org/gemswater/>

第二章关注空气，同样涵盖气候变化，但主要关注研究较少的温室气体，如碳黑、颗粒物（PM2.5）、甲烷和碳氟化合物，以及应对这些气候变化成因能带来的协同效应。进而探讨亚太地区现有安排及措施是能够充分应对这些污染物，还是这些问题依然未得到足够重视。

第三章围绕水资源短缺和水质这两个相互交织的问题，特别关注地下水枯竭、对压裂的新兴关注、地表及地下水工业污染、集约农业和水产养殖业营养物污染以及水质处理和环境监测项目往往处理不到的低浓度污染物。进而探讨用于缩小现有措施和国家水质或水量目标之间差距的不同政策选项。

第四章关注生物多样性，探讨工业化对生物多样性丧失的直接和间接影响——直接影响是由于工业化对生物多样性丰富地区的资源需求，间接影响是由于转基因生物等工业体系的新兴产物。报告认为，CRISPR（“成簇规律间隔短回文重复序列”）技术的应用，以及经过基因强化的粮食和动物产品可能投放市场，被视为能带来巨大效益也有可能造成损害的双刃剑。这些“强化”物种的社会和环境影响以及对新应对政策的需求是尚在“沉睡”的问题，仍有待深入挖掘。

本报告第二部分关注不远的将来需要应对的新出现工业污染物。尽管这些污染物目前尚未成为燃眉之急，但有可能造成难以解决的重大问题。因此，政策制定者必须提高对这些新出现问题的意识，并在这些问题构成重大环境挑战之前做好必要准备。

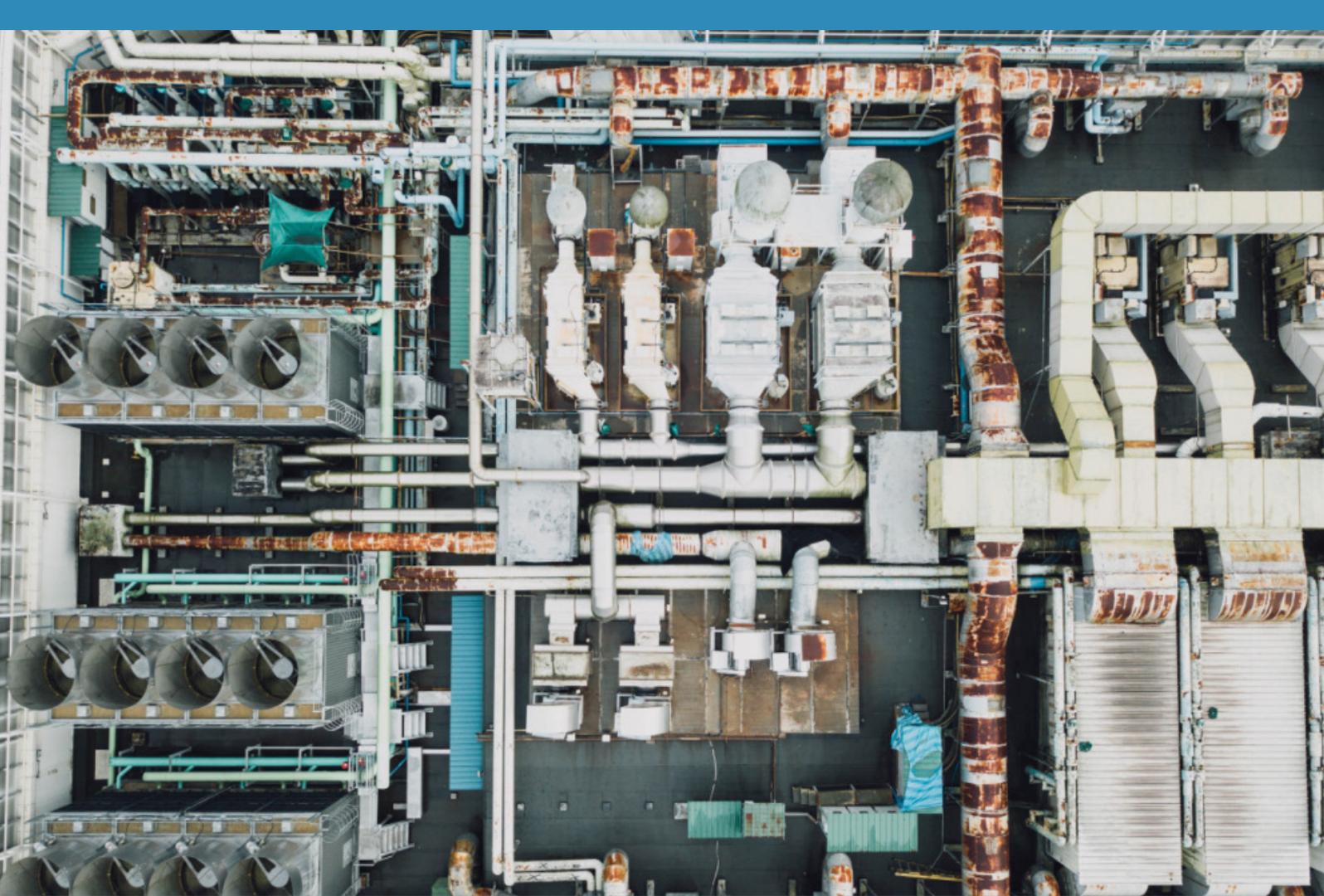
第五章围绕的电子废物问题吸引了更高的关注

度，而且由于多个亚太国家将禁止进口电子废物，该问题也具有区域影响。消费者追求最新电子产品，旧产品还能使用却早早遭到淘汰，第五章还探讨了在这种趋势下3R（减量、再利用、回收）面临的挑战。废旧太阳能电池和电池板数量骤增，回收难度增大，这也是政策制定者在不久的将来要面对的新出现问题。

第六章拓展了目前对塑料污染的忧虑，进一步考虑进入海洋和淡水环境中的大量微塑料，以及这些微塑料颗粒将有毒化学物质传递至鱼类及其他海洋生物并最终传至人类的可能性。第六章还将简要探讨相关的纳米材料问题，并提供政策选项建议。

第七章是与技术有关的最后一章，探讨与药品、抗生素和个人护理产品相关的新出现环境问题，海洋环境和饮用水中已测得低浓度的以上物质，对生物区系造成不良影响，并有可能危害人类健康。第七章还突出对食用动物过量使用抗生素的问题，以及抗生素耐药细菌传播给人的可能性，并就抗生素的使用及处理机制提出政策建议。

第八章结语探讨了上述新出现环境问题对研究、政策和监管的影响，目的在于让亚太地区政策制定者更清楚地意识到上述威胁，并做好采取预防措施的准备。



第一部分

快速工业化及其环境影响

第一章

气候与工业能效

作者: Ajay Mathur, Girish Sethi, N. Vasudevan (印度能源与资源研究所)



Photo by Robin Sommer on Unsplash

关键问题

- 提高工业能效如何促进减少温室气体排放、实现《巴黎协定》目标？
- 不同部门的能效提高商业方案是什么？关注跨部门技术和最佳运营实践有什么益处？提高能效对工业有哪些影响？
- 让提高能效变得真正容易的能效相关技术进步有哪些？机器人的普遍使用对实现能效提高有什么影响？
- 能源审计有什么作用？实施强制能源审计的国家有哪些经验？
- 新建工厂采用“环境化设计”对保障最优能效的实现有哪些重要作用？有哪些例子？
- 能效提高带来的环境和社会协同效应有哪些？
- 对政府来说有哪些政策影响？

亚太地区占世界能源消耗的很大一部分，其中工业部门能耗比例很高。亚太地区包括58个经济体，人口占世界总人口的60%（UNESCAP 2013）。按购买力平价计算，亚太地区的国内生产总值（GDP）的份额从2000年的30.1%增长至2017年的42.6%（ADB 2018）。2017年，亚太总产出的70%以上来自中国、印度、日本三个国家。亚太地区的能源消费占世界总量的一半以上，2014年亚太地区能源消费增速约为全球增速的两倍，燃烧燃料产生的排放占世界总量的55%（UNESCAP 2017）。亚太地区的工业部门与地区内各国的总体发展密切相关，在各国经济中发挥着关键作用。工业部门消费不同形式的能源，如煤炭、石油、天然气和电力，占亚太地区总量的比例从1990年的32.7%上升至2014年的38.1%，反映出工业化进程的发展及温室气体排放的相应增加。然而，亚太地区主要国家的工业排放强度近期表现出值得期许的下降趋势，例如中国（-20%）、印度（-9.8%）、日本（-2.7%）和韩国（-11.7%）（Climate Transparency 2018）。

工业能效提高有助于带来实质效益。钢铁、水泥、铝、化学品、化肥、造纸、纺织等能源密集型工业部门占工业能源消费总量的比例很高。能源密集型产业意味着每生产一单位产品，都需要投入大量不同形式的能源。工业部门为达到工艺要求并运行其他相关设施，需要

消耗热能和/或电能。工业部门的增长促进了国家经济发展，但是同时也导致了能源消费和温室气体排放增加。如图1.1所示，工业中可以采取不同的节能措施。提高能效还带来其他的效益，包括保障能源安全、改善工作环境、新增就业、催生能效相关的商业机会和改善产品质

量。在某一产业中采用节能技术时，系统可靠性是最重要的因素，直接影响着生产力。保障系统可靠性的方法有很多，如供应商为技术或设备提供担保、独立认证和第三方监测和核实等。



图 1.1 节能措施

来源：作者

在所有部门中，工业部门可能在提高终端能源使用效率方面的潜力最大。关于印度能效的一项近期研究发现，到2031年，印度工业部门节能潜力为4020万吨油当量，居所有终端能源使用部门之首（TERI 2018）。工业部门有多种提高能效的可行方法，包括：

- (1) 特定工艺技术；
- (2) 跨部门技术；
- (3) 燃料转换；
- (4) 回收再利用并使用二次材料（图1.1）。

特定工艺节能技术有助于提高能源效率，即减少生产单位产品所需的能源，由此减低整体能源消费（IRENA 2018）。这类技术需要巨额投资，而且回报周期相对较长，例如在水泥产业中采用干法生产技术替代低能效的湿法生产技术。燃料转换措施有助于采用更清洁的燃料，能带来相关的能源与环境惠益（IFC 2018）。回收再利用是工业减少能源相关排放的最突出选项之一。回收过程对质量稳定的废旧产品或是废弃物再次加工，所需能源仅为生产新的最终产品所需能源的一小部分。回收再利用有助于减少能源消费，也有利于保护自然资源（US Department of Energy 2015）。提高能效也符合可持续发展目标的要求（可持续发展目标7）。

跨部门技术选项和最佳运营实践对降低能源消费水平十分重要。工业不同子部门所用设备不同。许多产业的低能效的设备可以替换为节能设备。例如，许多产业的锅炉和熔炉、泵送系统、传送机等设备中的风扇、鼓风机等都使用电动机。国际能源机构（IEA）的一项研究估算结果，仅电动机用电量就占工业用电总量的2/3，占世界用电总量的45%。

专栏 1.1 UJALA 项目：印度节能设备与照明案例研究（IEA India's UJALA Story）

2015年，印度政府启动了“UJALA项目”，是印度节能项目的组成部分，目标是为所有人提供经济适用的设备与照明。项目内容包括在印度各邦分发节能日光灯、LED灯泡及节能电扇。UJALA项目仍在进行之中，已经取得了巨大成果。截至2018年11月，印度政府已经通过多种分配渠道下发了3.13亿个LED灯泡、670万个节能日光灯和200万台节能风扇。UJALA项目国家层面的量化成果为：

1. 节能：414亿千瓦时/年
2. 财政效益：22.9亿美元/年
3. 减少峰时用电：8377兆瓦
4. 温室气体减少：3350万吨二氧化碳/年

（能源效益服务有限公司2018）

用于工业部门的其他重要的跨部门技术包括空气压缩系统、蒸汽系统、制冷与空调系统、照明系统等，这些技术都为能效提高提供了良好条件。成功的跨部门技术措施包括在电动机中采用变频器、减少空气压缩系统泄漏、改善冷热界面之间的隔热、使用LED照明等。各产业还可以探索尽可能采用废热发电，用于区域供暖和制冷。

小工业是独特部门，需要创新方法带来改变。小工业是许多亚太地区经济体的中流砥柱（Asia Pacific MSME Trade Coalition 2018）。从社会经济角度来看，小工业极其重要，为数以百万

计人提供了就业，然而往往在发展和现代化进程中受到忽视。例如，90%的泰国企业是中小企业，为60%的劳动力提供就业岗位（Yamuna Rani Palanimally 2016）。2013年，中国约有1170万家中小企业，占工业企业总数的97%、GDP的60%及城市就业的80%（OECD iLibrary 2016）。印度的中小企业超过6300万家（其中1960万家为制造企业），贡献了GDP的29%，从业人数超过1.07亿（MoMSME 2018）。铸造、制砖、锻造、化工等中小企业属于能源密集型产业，但缺乏技术进步。许多小工业以集群形式存在，生产类似的产品，在能效和运营实践方面表现出很强的共性，包括：

1. 大部分中小企业由于缺乏获取新技术和节能技术的渠道，只能采用老旧技术；
2. 中小企业缺乏采用节能技术或进行研发所需的资金和技术能力；
3. 中小企业缺乏进行工艺和产品自主创新的能力；
4. 中小企业普遍节能意识薄弱。

因此，小工业部门在节能方面拥有巨大潜力。亚太地区国家的成功案例表明，传统小工业要实现升级改造，走上节能发展道路，必须克服技术可得性、服务交付系统、内部能力、融资等壁垒。

无论是地方还是全球层面，能源费用和竞争都在增加，因此**提高能效对中小企业部门的可持续发展至关重要**。提高能效有助于中小企业

1. 减少能源支出；
2. 改善工作环境，如加强熔炉隔热能降低车间温度；
3. 减少本地污染，推动温室气体的总量减少；
4. 提高竞争力。

专栏 1.2 转危为机：尼泊尔制砖业“气候和清洁空气联盟”项目经验（Climate & Clean Air Coalition 2016）

2015年，尼泊尔地震造成大量建筑物及砖窑损毁。约有350座砖窑在地震中完全损毁或部分受损，其中105座砖窑位于加德满都谷地，导致震后重建用砖极度短缺。气候和清洁空气联盟（CCAC）开展的项目以节能砖窑替代损毁砖窑。项目采用了具有抗震设计的新锯齿形砖窑，并在尼泊尔砖窑普及技术手册（是南亚地区第一个此类技术手册）。共有九间砖窑采用了新设计，其他砖窑则采用了砌砖和烧制技术。重建费用由砖厂全部自费承担。采用新设计和烧制技术后，排放减少了60%，省煤约20%。

来源：气候和清洁空气联盟 2016

各国政府及不同机构开展技术研发与示范、能力建设与培训、融资等项目和干预措施，首要目的是提高竞争力，改善生计机会。可持续发展目标8侧重推广包容、可持续经济增长，促进就业和人人获得体面工作。促进中小企业发展能直接推动该目标的实现。

能源审计是实现工业节能的工具。能源审计是协助工业部门识别运营中的低能效环节（包括工艺领域和各类设施）的工具（Kimura 2016）。能效审计协助企业管理层识别并优先实施节能措施，实现节能目标。减少泄漏、改善冷热界面隔热、增强自然照明系统等容易落实的措施

有助于以极低成本在许多领域实现节能。其他措施则需要较大规模的投资来减少工厂多个部门的能耗。印度等国家规定高能耗产业必须定期进行能源审计，旨在识别并实施节能措施。

能源审计具有多重效益。在产业中开展能源审计有助于：

1. 识别工艺操作及连接设施或辅助设备中的低能效环节；
2. 预计运营中的能源损失；
3. 对节能进行量化；
4. 识别工厂层面的节能机会；
5. 优先实施节能措施，实现节能目标（UNDP 2018）。

通过能源审计识别的节能措施可分为以下几类：

1. **良好的管理措施：**这类措施通常不需要额外投资，或只需要低水平投资，能实现小幅节能，例如减少空气压缩系统泄漏、强化自然照明和随手关灯等。
2. **改造或用节能系统替换低能效系统：**例如在多泵送系统中安装变频器、改善熔炉隔热、用节能电动机替换低能效电动机、采用在线氧气分析控制系统来尽量减少锅炉中的过量空气等。这类措施需要中等水平投资，能实现中度节能。
3. **翻新系统：**例如，化工产业安装节能锅炉，或电解铝生产企业从索德伯格（Soderberg）工艺改为预焙工艺等。这类措施需要较大规模投资和规划工作，有时需要工厂停工。

新建工厂的设计应采取最高能效标准。不同工业子部门的新增产能在设计阶段就必须采用尖

端技术和能效解决方案。工业部门对工艺与技术的选择主要取决于最终产品种类、获取合适的原材料和能源渠道以及环境合规性。还有一个重要考虑因素是建厂所需资本投入。工业部门往往优先考虑资本成本，尽量减少工厂和机器投资而忽视低能效生产系统（Oyedepo 2012）。有些产业还倾向于收购旧工厂，以尽量减少初始投资。

系统整体能效普遍得不到应有重视，导致工厂生命周期内的低能效和高能耗。尽管原材料和能源是工业的外部因素，但首选还是在工厂设计阶段就将能效因素纳入考虑范围（European Commission 2009）。选择尖端技术包括使用节能设备，并依据工厂需求采用节能措施。例如，水泥产业可将安装“废热回收”系统作为技术方案的一部分，利用生产工艺产生的废热。废热回收系统包括用于产生蒸汽的废热回收锅炉以及功率适宜的涡轮发电机。尽管废热

专栏 1.3 无须投资的空气压缩最佳实践助力实现节能

印度的一家小型锻造厂为满足生产要求，使用的空气压缩机额定功率3.5千瓦，设计容量为22立方英尺/每分钟。空气压缩机的工作压力设定为10巴（bar），进行不间断工作。然而，该生产工艺所需压力仅为4.5-5巴。依据能源审计提出的建议，工厂将产生的压缩空气压力进行优化，设定为5巴，实现每年节能6800千瓦时。

来源：TERI 2015

回收系统需要较高的初期投资，但是能带来多重效益。系统自主发电能用于满足工厂部分用电需求，减少对电网供电的依赖。

废热再利用这一机会往往没有得到应用。应当探索建立创新区域能源系统，利用工业废热为附近区域供暖制冷。建立节能、具有气候复原力、经济适用的现代区域能源系统是减少温室气体排放和一次能源需求最划算、最高效的措施之一。向区域能源系统过渡，加上其他节能措施，最多能为能源部门贡献2050年前所需二氧化碳减排量的58%。区域制冷在减少空调和冷却装置的骤增电力需求方面拥有巨大潜力，后者在用电峰时造成许多问题，需要对输电系统进行昂贵的升级改造，增加发电产能，并分散备用发电设备来应对时间更长的断电（UNEP 2015）。

生产工艺和关键设备的能效标杆管理是一项重要活动，有助于各产业采取措施提高自身能效（UNEP 2016）。该措施有助于：

1. 理解工厂与实力竞争对手的能效水平差异；
2. 比较平行生产线或公司群之间的能效水平；
3. 找出需要提高能效的具体领域；
4. 采取补救措施提高能效，向能效标准靠近。

机器人、自动化和物联网方案的节能作用正在显现。工业化进程包括从劳动密集型生产工艺转向机器生产，包括从半自动化系统转向全自动化系统，再到计算机控制系统，主要发生在大中型产业的一系列工业应用之中。然而，亚太地区大多数中小企业仍然在进行劳动密集型生产，这是劳动成本低廉、难以获取高端技术以及自动化投资高昂等因素造成的。

使用机器人和实现工业自动化具有潜在益处，例如：

1. 提高生产力，缩短生产周期；
2. 提高产品质量和精密制造水平；
3. 减少浪费；
4. 减少工人劳动强度，特别是在靠近熔炉等艰苦环境中工作的工人。

工业流程自动化有助于控制并管理关键流程或操作参数，使其接近设计目标，这可能是人工操作无法实现的（European Commission 2016）。工业需要采用尖端控制系统，如在制造业中的神经网络或“模糊逻辑”，并与反应器温度、碳水平、氧气控制等工艺参数实时监测与控制相结合。自动化流程与机器人的应用视具体产业而定，需要量身定做的技术方案。物联网（IoT）也在不同产业中获得广泛应用。物联网有助于制造部门拓宽获取知识与信息的途径，减少交易成本，优化决策过程，不仅局限于制造业，而且会延伸价值链。为利用自动化和机器人产生的效益，工业部门需要进行大量投资，并提高内部技术能力。各产业还必须将雇佣工人的重新培训及技能升级课程与上述措施并举。

亚太地区及区域内国家设定了广泛的高标准节能目标，《巴黎协定》进一步推动着这些目标。

《巴黎协定》的中心目标是增强全球应对气候变化威胁的行动。协定要求所有缔约方尽大努力，落实就各国2020年后气候行动进行说明及沟通的“国家自主贡献”（NDC），并定期报告本国温室气体排放量及落实措施。许多国家已经出台旨在减少不同终端用能部门能源强度的法律法规，如中国《节约能源法》、印度《能

源节约法》、日本《节约能源法》等。这些法规重点关注能源的合理利用、增强节能管理、制定并实施节能规划和技术措施、减少能源消费等。以日本1979年《节约能源法》为例，重点关注工厂等终端用能部门，目标是为建立针对不同行业的能源管理体系做准备，将节能落实到企业的基本生产活动之中（Institute for Industrial Productivity 2018）。为支持《节约能源法》的实施，日本又进一步制定了面向终端用户的《节约能源指南》。日本各级政府的关键政策协助实现既定的能效目标，逐渐摆脱遵循现有做法的情境。

亚太地区的许多国家都已出台鼓励节能的国家政策。印度2001年《能源节约法》重点关注减少不同终端用能部门的能源强度（Gazette of India 2001）。《能源节约法》框架下启动的“履行、实现与交易”（PAT）机制针对不同产业提出能效目标，重点关注大型产业、火电站和商业机构等。继日本《节约能源指南》之后，2018年，印度也出台了《能源节约指南》，涵盖大、中、小、微型产业（Bureau of Energy Efficiency 2018）。中国1997年发布的《节约能源法》目标是推动全社会节约能源，提高能源利用效率，保护和改善环境，促进经济社会和民生发展。该法旨在加强用能管理，采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施，从能源生产到消费的各个环节，降低消耗、减少损失和污染物排放、制止浪费，有效、合理地利用能源。该法还鼓励、支持开发和利用新能源、可再生能源（Energy Conservation Law 2018）。泰国1992年《促进能源节约法》规定了关键用能部门的通用范围、要求和责任。上述法律都规定降低不同终

端用能部门的能源强度。

必须加大对“减排难”部门的关注。有些工业子部门在从化石燃料向其他低碳技术的转换或长期过渡中面临重大挑战。这些挑战在钢铁、水泥、石油化工、化肥等“减排难”部门中尤为突出——即使是国际上采用的最好的技术仍然以化石燃料为基础。

专栏 1.4 日本领跑者项目

日本1999年启动的“领跑者项目”是在《节约能源法》框架下提高用能产品能效的主要项目。项目包含一系列面向家用电器和发动机等高能耗产品的能效目标。到2014年，项目已覆盖23个产品大类。是否将产品纳入项目范围取决于产品是否高能耗或获得广泛使用，或是产品是否能大幅提高能效。以市场上能效最高产品为基础制定的节能目标必须在限定时间内实现。

“领跑者项目”受到不同产品制造产商的一致支持。制造商直接参与能效目标的制定，将节能视为领先于其他制造商的竞争优势。制定目标时考虑到了能效提高潜力的限制，制定能效标准时则考虑到了技术创新和扩散因素。项目分别在2005年、2009年和2013年进行了针对目标产品的一系列修订。

来源：Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan 2015



图 1.2 “减排难”部门脱碳的六个创新领域
来源：Energy Transition Commission 2018

在这些部门中，即便是国际通行的现有最佳技术依然以化石燃料为基础。这一挑战对于发展中国家来说尤其严峻。发展中国家每年经济增长率有望达到8%-10%，并计划在不久的将来新建许多钢铁厂和水泥厂，以满足日益增长的基础设施建设和住房需求。例如，印度钢铁政策计划将其装机产能从目前的每年1亿吨增长到2030年的约每年3亿吨。

“减排难”部门要成功实现能源转型，需要现行可用、经济适用、规模合适的低碳技术。然而，目前的技术都不具备商业可行性，有些技术还停留在概念或研发阶段，有些技术则是单纯地无法使用。低碳技术的开发及商业化需要进行根本性（甚至是颠覆性）创新、长期研发和广泛试验或示范，均需要大规模投资，发展

中国家的工业部门可能没有能力或意愿进行这种投资。要促成低碳转变，需要采取涵盖产、学、研、政府及国际机构之间的合作模式。这种模式可能会要求政策和融资方式做出重大改变并成立新项目。能源转型委员会（Energy Transition Commission）的一项近期报告提出有助于“减排难”部门完成脱碳的六个创新领域，如图1.2所示（Energy Transition Commission 2018）。

工业影响。

尽管亚太地区内的一些国家已经就提高工业能效进行立法，依然需要扩大和加深国家和地区层面不同项目和机制的有效实施。工业部门在亚太地区能源消费和排放总量中所占比例高，这就要求工业部门和政府采取相应措施，保障工业发展不会对环境带来长期危害。要实现钢铁、水泥和塑料等“减排难”部门的“脱碳”，开展长期研发合作和适当的联合行动最为重要。

政策影响。

尽管节能是能够轻松实现的目标，但是许多工业部门并不会自愿采用节能技术。发展中国家的工业部门正在快速发展，许多工厂重点关注如何扩大生产规模，即生产更多产品，以在竞争中维持自己的市场份额，却很少关注节能技术和设备的使用。政府可以启动结构化项目，大规模推广并采用工厂自动化等节能技术及最佳实践。应当制定针对小工业的项目，重点进行技术示范、能力建设和培训，辅之以合适的融资方案。另外，还需要适当的新设备和新工厂能源审计和能效标准等工具，以及整体市场的监管和合适的商业模式。

参考文献

- ADB (2018) Key indicators for Asia and the Pacific (49th Edition). <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/443671/ki2018.pdf>
- Asia Pacific MSME Trade Coalition (2018) Micro revolution: The new stakeholders of trade in APAC. <http://tradecoalition.org/wp-content/uploads/2018/02/MSME-Report-APAC-final.pdf>
- Bureau of Energy Efficiency (accessed on November 21, 2018). <https://www.beeindia.gov.in/sites/default/files/Energy%20conservation%20guidelines%20for%20industries.pdf>
- BP Statistical Review of World Energy (2018) 67th edition, Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
- Climate & Clean Air Coalition (2016). <http://ccacoalition.org/en/news/bricks-success-story-nepal-building-back-better>
- Climate Transparency (2018) Brown to green – The G20 transition to a low-carbon economy
https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2018/11/Brown-to-Green-Report-2018_rev.pdf
- Energy Conservation Law of the People’s Republic of China (accessed on November 21, 2018). <http://www.asianlii.org/cn/legis/cen/laws/ecloproc501/>
- Energy Efficiency Services Limited, (2018) National Ujala Dashboard. <http://www.ujala.gov.in/>
- Energy Transition Commission (2018) Mission possible report summary: Reaching net-zero carbon emissions from hard-to-abate sectors by mid-century
- European Commission (2009) Reference document on Best Available Technique. <http://www.prtr-es.es/data/images/Eficiencia-energ%C3%A9tica.pdf>
- European Commission (2016) A study on energy efficiency in enterprises: Energy audits and energy management systems - Library of typical energy audit recommendations, costs and savings. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/EED-Art8-Energy%20audits%20recommendations-Task%205-report%20FINAL.pdf>
- IEA (2018) India’s Ujala story <http://eesindia.org/content/dam/doitassets/eesl/>

- pdf/programmes/UJALA/UJALA%20Case%20Studies%20(1).pdf
- IFC, Financial markets sustainability – Energy efficiency finance (accessed on November 21, 2018). <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/4e76820049585ecb9d9abd19583b6d16/FMS-EO-EEF-FS.pdf?MOD=AJPERES>
 - Institute for Industrial Productivity, Industrial Efficiency Technology Database (accessed on November 21, 2018). <http://ietd.iipnetwork.org/content/energy-conservation-law-japan>
 - International Copper Association, Energy Efficient Motors (accessed on November 21, 2018). <https://copperindia.org/energy-efficient-motors/>
 - IRENA (2018) Global energy transition – A roadmap to 2050. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf
 - Kimura, O. (2016) Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan-Promoting energy efficiency in industrial/commercial sector: Japanese Experience. http://www.gispri.or.jp/wp-content/uploads/2016/10/Mr_Kimura.pdf
 - Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan (2015) Top runner program: Developing the world’ s best energy efficient appliance and more. http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/data/toprunner2015e.pdf
 - Ministry of Micro, Small and Medium Enterprises (MoMSME, 2018), Annual report 2017-18
<https://msme.gov.in/sites/default/files/MSME-AR-2017-18-Eng.pdf>
 - OECD iLibrary (2016), Financing SMEs and Entrepreneurs
https://www.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/financing-smes-and-entrepreneurs-2016/china-people-s-republic-of_fin_sme_ent-2016-12-en
 - Oyedepo (2012) Energy efficiency and conservation measures: Tools for sustainable energy development.
 - TERI (2015) Report on “Financing energy efficiencies at MSMEs in India” prepared under GEF-WB-SIDBI project.
 - TERI (2018) Report on energy efficiency potential in India prepared for Bureau of Energy Efficiency and Indo-German Energy Forum Support office.
 - The Gazette of India (accessed on November 21, 2018). <https://powermin.nic.in/sites/default/files/uploads/ecact2001.pdf>
 - UNDP (2018) Guidebook for energy auditing in industry (accessed on November 21,

2018).

- <http://eemo.govmu.org/English/Documents/Final-Audit-Guidebook-Industry.pdf>
- UNEP (2015) District energy in cities: Unlocking the potential of energy efficiency and renewable energy. Global initiative on district energy in cities, United Nations Environment Programme, Paris
- UNEP (2016) Best practices and case studies for industrial energy efficiency improvements – An introduction to policy makers. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- UNESCAP (2013) Population trends in Asia and the Pacific. <https://www.unescap.org/sites/default/files/SPPS-Factsheet-Population-Trends-v3.pdf> (accessed on 12.11.2018)
- UN Economic and Social Council for Asia Pacific (UNESCAP) (2017) Economic and social commission for Asia and the Pacific, Committee on Energy. https://www.unescap.org/sites/default/files/pre-ods/CE_1_1_Energy%20Scene%20and%20Trends.pdf
- US Department of Energy (2015) Barriers to industrial energy efficiency – Report to Congress.
- https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f23/EXEC-2014-005846_6%20Report_signed_v2.pdf
- Waide, P. and Brunner, C., International Energy Agency (2011) Working Paper, Energy efficiency policy options for electric motor driven system.
- Yamuna Rani Palanimally (2016) The growth of small and medium enterprises in Malaysia: A study on private limited companies in Perak Malaysia, <http://www.iosrjournals.org/iosr-jef/papers/Vol7-Issue3/Version-3/G0703035560.pdf>

第二章

亚洲空气污染管控：走向具有多重效益、应对多种来源的策略

作者：Matthew Hengesbaugh, So-Young Lee, Nobue Amanuma, Tetsuro Yoshida, EricZusman (IGES)



Photo by Ishan @seefromthesky on Unsplash

关键问题

- 过去 40 多年来，大气污染一直是关键的环境问题，为何如今再度成为关注焦点？
- 空气污染带来的重要影响有哪些？这些影响为何重要？
- 传统的污染防治方法依然有用吗？是否需要采用全新方法？
- 制造业和火电厂一直是空气污染的主要固定来源，是否存在需要关注的新出现空气污染源？
- 治理空气污染可以带来哪些协同效应？
- 大气污染管控需要落实哪些重大治理变革？

亚太地区许多地方，空气污染重新出现，对健康和福祉构成严重威胁。过去数年中，空气污染问题在亚洲各国政府政策议程中获得高度关注。当前的空气污染防治战略通常侧重治理单个部门的点源污染，不过空气综合治理措施正在受到越来越多的关注（van Vliet 等2012）。亚太地区的许多决策者都相信，必须果断快速地减少多种来源的排放，无论是火力发电厂还是大规模农业生产。目前的研究强调减排的紧迫性——亚太地区仅有8%的人口呼吸的空气达到世界卫生组织制定的PM2.5标准（全年平均10微克/立方米）（UNEP和APCAP CCAC, 2019）。其他研究指出，最易受空气污染影响的人群包括老年人、儿童和贫困人口（由于后者住处靠近污染源）（Kan等2012）。还有迹象表明空气污染造成作物减产，威胁粮食安全，加剧气候变化。总而言之，采取空气污染综合管控策略能带来多重效益（UNEP APCAP CCAC, 2019）。

许多广为人知的方案已经证实有效。所幸，尽管关于空气污染的担忧日益增长，但人们也努力改善对污染影响的预期并找出解决方案。联合国环境规划署（UNEP）、气候和清洁空气联盟（CCAC）和亚太清洁空气伙伴关系（APCAP）

近期联合发布的一份报告列出25种解决方案，若能得到妥善实施，到2030年能让更多人得以呼吸符合世卫组织标准的清洁空气。上述目标的实现能使过早死亡人数减少1/3，同时减少45%的作物损失（包括玉米、水稻、大豆和小麦）。上述行动还能使二氧化碳排放减少20%、甲烷排放减少45%，并大大促进《巴黎协定》所述将气温上升幅度限制在1.5摄氏度以内的各项努力（IPCC 2018; UNEP APCAP CCAC. 2019）。

要实现多重效益，必须采取多重解决方案。污染综合管控策略必须针对发电厂和重工业等典型空气污染源，此外还要解决露天焚烧垃圾问题，更高效地管理畜牧业粪便，并支持更广泛的可再生能源转型。与此相应，一些研究表明，通过关注多个产业和部门的配套行动来促进减少传统和非传统空气污染源，仍存在空间（Rogge和Reichardt 2016）。

新的治理安排对推动上述解决方案必不可少。对空气质量项目来说，不同机构之间和内部的协调，加上国家与地方当局之间以及其他利益攸关方的强化合作，正在变得愈发重要。随着各国继续规划未来12年的发展道路，这种基于共识的策略将尤其重要，12年后便是《巴黎协定》和新的《2030年可持续发展议程》到期之时。

本章首要目标是展示亚太地区如何在不同产业实施不同的空气污染解决方案组合。本章将参照《亚洲及太平洋空气污染：基于科学的解决方案》（UNEP APCAP. 2019）上述报告将解决方案分为以下三大类：

1. 传统管控手段：包括长期以来历经时间考验的安装在发电厂和机器上的末端处理设备。
2. 下一阶段管控手段：包括对传统空气污染不关注的污染源进行监管，如农场和新兴工业等。
3. 发展优先措施：包括引入并扩大新技术规模，催生能源结构变革。

对于发电厂和工业的传统管控措施需要更严格的执行。多国政府已强化环境标准，并落实工厂层面标准，大幅减少大型能源和工业污染源的排放。这种成果往往需要通过国家规划要求采取末端控制技术才能实现。例如，中国为实现其“十一五”及“十二五”规划设立的二氧化硫减排目标，大规模推广使用烟道气脱硫设备，促进二氧化硫减排。烟道气脱硫也成为泰国、韩国等国的一项常见措施（Simacha 2015; Wang等 2014）。亚太地区其他国家也通过政策或法律改革，启动或推广这些管控措施。例如，日本《颗粒物和氮氧化物法》促使其针对氮氧化物扩散早期采取管控措施，领先于其他许多发达国家（Popp 2006）。

政策改革也带来排污产业的结构性变化。中国空气质量也得益于产业整合和小规模工业关停。以水泥产业为例，预分解窑能力 ≥ 4000 吨/天的大型企业比例从33%上升至60%（Zhao等 2013）。同时，印度收紧了环境标准，关停能效不合格的发电厂，促进燃料转换（Patel, 2019）。印度首都德里正在逐步推行严格标准，关停发电厂或是向天然气使用转型。日本采取的方法略有不同，侧重于工厂制定并提交节能规划、进行经常性检查并对小企业提供污染减轻技术的资金支持（Energy Conservation

Centre of Japan 2011)。

传统管控手段仍有很大进步空间。例如，脱氮技术的使用一直落后于烟道气脱硫和静电除尘器 (MEP 2011)。促进排放管控措施实施的政策也仍有强化的空间。印度面临的挑战之一是缺乏针对排放污染源的标准，难以促进火电厂采取并推广管控措施 (Guttikunda 和 Jawahar 2014)。此外，我们有理由担心发展迅速的国家将新建更多火电厂并投入使用。

露天焚烧是一种受到低估的空气污染源。露天焚烧包括故意焚烧废弃材料和垃圾，包括生物质、纸、塑料、纺织物、油、危险废物和其他物质，也包括不合格焚烧设施中类似物质的不完全燃烧。上述种类的燃烧都会产生空气污染物，造成空气质量恶化，加剧短期和长期气候变化。此外，露天焚烧还释放出持久性有机污染物 (如多环芳烃、二恶英、呋喃)，这些物质可能有毒、致癌并导致基因突变，会对土壤、水、食物链和人类健康造成严重威胁。

露天焚烧主要来自不恰当的废物收集和处理。地方废物管理当局通常负责这方面的管控。成功经验证明，通过扩大废物收集服务范围，提高废物回收和处理能力，能实现对露天焚烧的管控。通常，这些地方管控措施首先需要适当的废物管理方法和技术，例如改善废物源头分类，更有效地调动环卫工人，并评估废物处理的不同措施。要实现这些行动的最佳结合，应将这些行动纳入与国家规划相联系的长期策略以及关于减少废物产生、改善资源利用的目标。实现减少露天焚烧及城市垃圾填埋的其他重要因素包括基层技术合作和地区公私合作。上述因素都具备时，往往能节省政府预算并创

造就业。

废物焚烧发电厂不一定是放之四海而皆准的最佳方案。有些国家已经向废物焚烧发电等资本密集型废物处理技术转型。然而，大量证据指出，在正在进行工业化的国家，废物焚烧发电系统并不一定能实现预期目标，因为固体废物大部分是有机物，热值低，焚烧效果不佳 (Rand et al. 2000)。与此类似，焚烧是否会对重复利用、回收和预防行为造成意外的负面影响，长久以来一直存在争议 (Malinauskaite

专栏 2.1 缅甸曼德勒市案例

缅甸曼德勒市是通过改善废物管理体系实现空气污染管控的指导性案例。曼德勒面临日益严峻的垃圾危机，因此地方当局采取积极措施解决露天焚烧问题。除严禁露天焚烧行为外，措施还包括强制开展废物源头分类的新政策，以及在定点社区和学校逐步推行废物分类回收系统。这些措施是曼德勒市2017-2030年废物管理战略与行动方案所描绘的长期愿景的一部分。该战略的关键特点是强调公众参与，鼓励社区、民间团体和企业 (包括非正规废物回收商) 开展合作，共同发现挑战并设计解决方案。基层技术合作和地区公私合作将大大促进减少露天焚烧行为及城市垃圾填埋总量。据估计，如果曼德勒市顺利实施该战略，到2030年能将废物相关排放量减少60%以上。

(IGES-CCET 2018)

等 2017)。一些研究指出，焚烧可能会限制劳动密集型废物管理方法的潜在就业机会 (European Commission 2018)。

畜牧业粪便是管控空气污染中的新出现问题。畜牧业粪便管理包括对牲畜的排泄物、尿液和渗漏进行正确处理，日益被视为管控空气污染的关键领域。家畜粪便会产生氨，导致二次空气污染颗粒的形成。妥善处理家畜粪便能减少尿素沉淀。改善后的管理措施还可能产生其他有益的连带作用，如减少非点源水污染，并利用液体消化残渣产生高质量有机肥料。

一些解决方案能减少牲畜尿液中的氮含量。放牧草场和牛群饲料的多样化能够降低氮浓度水平 (Edwards 等 2015)。其他解决方案主要使用土壤氮抑制剂，改变氮转化为尿素的化学过程 (Li 等 2014)。这类解决方案仍停留在“概念证明”阶段，尚未在农场或农村社区中使用 (Selbie 等, 2015)。其他解决方案包括加大力度进行牲畜粪便的资源化利用，由此对动物粪便进行更系统的管理。此举对于大型养牛场来说尤为重要，因为养牛场通常无法像一般农业活动那样将粪便作为肥料。

另一项粪便管理技术是厌氧分解。可以通过开发生物煮解器来实现厌氧分解，如北海道鹿追町案例所示。鹿追町高度依赖乳畜业发展。然而，乳畜业会带来一系列负面环境影响。为应对这些挑战，鹿追町将沼气厂和堆肥设施相结合，利用现有污泥处理技术，对附近农场产生的牲畜粪便进行厌氧发酵，产生沼气。所产生的沼气中含有甲烷(CH₄)、二氧化碳(CO₂)、水分和微量硫化氢(H₂S)，能用作发电燃料。

可再生能源具有多重效益。太阳能和风能等可再生能源可有效减少能源贫困，保障能源安全，抑制温室气体排放，减轻空气污染。可再生能源的良好市场趋势促使亚太地区各国政府出台支持清洁能源发展的相关政策。尽管可再生能源电力上网及配电仍有待进一步发展，不过许多国家的可再生能源电力配额标准、上网电价补贴及其他法规要求和市场项目的规模都得到扩大，反映出向非化石能源发电的逐步转型 (见图2.1)。在此背景下，亚太地区若干正

专栏 2.2 日本北海道鹿追町案例

改善粪便管理措施，包括使用封闭储罐，处理后将粪便快速与土壤混合，能有效减少氨损失。计划每日处理量为94.8吨，相当于1300头成年乳牛产生的粪便量。每日发电量约为4,500千瓦时，能满足459户家庭的用电需求。此外，还安装了三个热水锅炉(100,000千卡)和一个蒸汽锅炉(1000千克/小时)。沼气产生的电力和热能用于维持工厂的运作。盈余电力通过并网设备出售给北海道电力公司，充分利用上网电价补贴制度。液体消化残余用于农田施肥，促进了环境友好型回收利用。2009年，沼气设施每日实际生产沼气3,036立方米。尽管粪便原料少于计划量，但每吨粪便产生的沼气体积超过了预期值。2016年，鹿追町第二家生物质发电厂——瓜幕(Urimaku)生物质发电厂成立，处理能力达每日210吨，总发电容量达1,000千瓦。

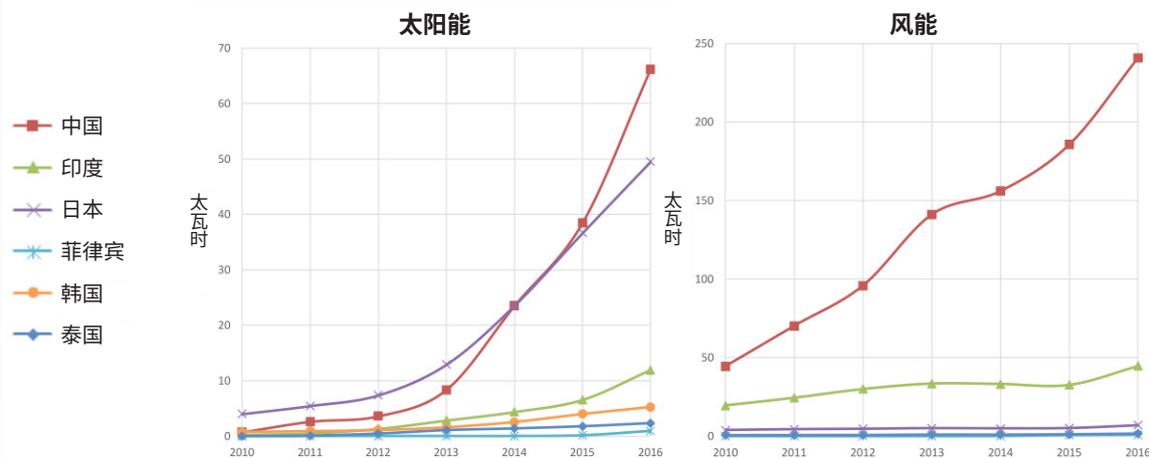


图 2.1 亚洲国家太阳能和风能发电量, 2010-2016

来源: BP 2017

在进行工业化的较小国家也率先提高能源结构中的可再生能源比例。马来西亚实施上网电价补贴, 辅之以净计量电价政策, 支持屋顶太阳能的大规模应用; 而文莱则更进一步, 实施可再生能源电力配额制度, 建立可再生能源绿色电力证书交易系统, 并支持保障可再生能源供应的其他措施 (IRENA 2018)。

依据国际可再生能源机构 (IRENA) 数据, 2017 年全球新增可再生能源发电能力中 2/3 来自亚洲, 主要得益于中国和印度的投资增长 (IRENA 2018)。由于中国和印度的努力, 亚洲总发电能力在过去五年中翻了一番, 2017 年达 918 吉瓦 (IRENA 2018)。这种增幅与远大的清洁能源目标相符——印度的目标是 2022 年清洁能源发电 175 吉瓦 (IRENA 2017), 中国

的目标是到 2030 年可再生能源占全部电力消费的 35% 以上 (IRENA 2018)。在可预见的未来, 太阳能和风能的安装成本预计将进一步下降, 因此可再生能源未来在亚洲能源需求中所占的比例很可能会提高。

为保障亚太地区继续利用可再生能源, 必须解决以下若干挑战。如上所述, 首先是基础设施挑战, 包括进一步改善输配电系统。第二大挑战是经济挑战——政府需要调整政策, 为可再生能源提供更多的财政与金融支持, 包括逐步取消对化石燃料的投资。最后是要克服行为阻碍, 如认为可再生能源会降低电网效率而不是提高电网稳定性的误解。旨在推动可再生能源使用的所有政策项目都应当将这些挑战考虑清楚。

随着政府采取更多涵盖多污染物和多方案的策略，机构之间和内部的合作也愈发重要。这类应对空气污染的策略需要我们重新思考治理和决策过程，特别是地方和部门层面的治理与决策。有人提出，治理正日益超出中央政府的职权范围（Andersson 和 Ostrom 2008；Bulkeley 和 Betsill 2005），与这一观点相一致的是许多城市已经承担起治理空气污染的职责。虽然权力下放可能会对缺乏必要能力和资源的地方政府带来挑战，不过次国家级政府也可以提供富有创意的自下而上解决方案。

对这类战略来说，多个利益攸关方的参与，包括民间团体更广泛的参与，也能成为提供支持的重要来源。事实证明，多个利益攸关方之间的合作不仅能通过更了解地方情况来改善决策的质量和持久性（Fischer 2000；Beierle 2002；Reed 等 2008；Martin and Shrington 1997；Reed 2007），还有助于将更广泛的创意和见解纳入规划和项目设计（Dougill 等，2006），具体途径包括保障信息更加全面和预测潜在的负面结果和应对措施等（Fischer 2000；Beierle 2002；Koontz 和 Thomas 2006；Newig 2007；Fritsch 和 Newig 待出版）。研究还表明，合作式治理方法有助于调和冲突，找到社区之间进行合作的新方法（Stringer 等 2006）。最后，此类参与式进程有望提高地方政府的效率和实效（Richards 等 2004；Reed 2008）。

政府为多部门和多方案战略争取支持的另一途径是直接与众合作。在一些案例中，政府与公众的合作需要建立相应的制度渠道，让公众能够通过这些渠道表达对污染的关注（Jodoin

等 2015）。不过，越来越多的政府选择通过电子工具和媒体来沟通空气污染信息，此类方式可能有助于提高政府问责制度，强化监管合规性。一些国家正从依靠网络和邮件变为依靠智能手机应用、社交媒体和邮件来及时提供污染信息，标志着从电子政务（e-governance）向移动政务（m-governance）的转变。欧洲环境署（EEA）这类机构利用电子媒体识别信息需求，并确保信息得到接收和理解，由此实现与客户之间的双向沟通。然而，亚太地区各国政府在公布空气质量信息和提供改善空气质量的服务方面依然面临许多局限（Lu 和 Zheng 2013）。

另一种有可能提高实施能力和合规性的趋势是公民参与空气质量监测。民间科学工作者日渐使用低成本的监测工具来测量周围的空气质量。这类数据可以对可靠、准确、及时的监测数据提供补充。目前，在发展迅速却缺乏监测设备的中小城市，这类实践还能提供有用数据，反映污染问题的严重程度。

工业影响：总而言之，传统空气污染源可能将面临愈发严格的合规检查。对此，这些污染源产业拥有更多机会采取成熟的污染减轻技术（如烟道气脱硫），或转而采取非技术减排行动，例如通过能源审计带来节能的行为转变。这些措施不仅将改善企业形象，还能节省能源和资金。另外，具有前瞻性思维的产业还将拥有战略性市场机遇——生产更高效的控制技术及遥感技术的公司将更有可能获得更大的市场份额。许多此类机遇不仅限于传统污染源产业。一些新兴产业能够通过改善废物管理和肥料管理，推动废物焚烧的管控和减少。随着政府将

相关解决方案纳入空气污染治理战略，这些新兴产业也将受益。最后，清洁能源的多重效益有望加速向可再生能源的转型，这一转型已经在亚太地区许多地方铺开。

政策影响：正在努力推动空气污染综合解决办法的各国政府有责任与多个污染源产业和部门开展合作。这就需要设计一揽子政策，事先考虑政策实施将带来的潜在影响、效益和利弊权衡。在这方面，利益攸关方的广泛参与将成为保障行动和措施包容普惠、响应及时并服务于既定目标的关键。在此过程中，主体的具体构成和解决方案的种类往往存在差异。本章基于上述认识的指导，强调了近期联合国环境规划署、气候和清洁空气联盟、亚太清洁空气伙伴关系联合报告（UNEP 等 2019）提出的25种空气污染解决方案中的4种，并突出有助于在亚太地区实现多重效益的几个案例。

参考文献

- BP, Statistical review of world energy, 2017.
- NEO 2017 (New Energy Outlook 2017)
- Bogner, J., M. Abdelrafie Ahmed, C. Diaz, A. Faaij, Q. Gao, S. Hashimoto, K. Mareckova, R. Pipatti, T. Zhang (2007) Waste management, In Climate Change (2007) Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Edwards, G., Bryant, R., Smith, N., Hague, H., Taylor, S., Ferris, A. and Farrell, L. (2015) Milk production and urination behaviour of dairy cows grazing diverse and simple pastures. In Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production (Vol. 75, pp. 79-83).
- Energy Conservation Center of Japan (2011) Japan Energy Conservation Handbook 2011, available at <http://www.asiaeec-col.eccj.or.jp/databook/2011/> (last access: 1 October 2013), Energy Conservation Center of Japan, Tokyo, Japan, 145 pp.
- European Commission, Directorate-General for Environment (2018) Impacts of circular economy policies on the labour market. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fc373862-704d-11e8-9483-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-72385040>
- Guttikunda, S.K. and Jawahar, P. (2014) Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India. Atmospheric Environment, 92, pp.449-460.
- Institute for Global Environmental Strategies Collaboration Centre on Environmental Technologies (IGES-CCET) (2018) Summary of Progress Report: Project Activities in PCA 1. United Nations Environment Programme, International Environmental Technology Centre.
- International Renewable Energy Agency (2018) Renewable Capacity Highlights.
- IRENA (2018) ‘Renewable Energy Market Analysis: Southeast Asia’ . IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2017) Renewable Energy Prospects for India, a working paper based on REmap. The International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.
- Kan, H., Chen, R., Tong, S. (2012) Ambient air pollution, climate change, and population health in China. Environment International (Vol. 42, pp. 10-19).
- Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. (2018) What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. Urban Development. Washington, DC: World Bank.
- Li, J., Shi, Y., Luo, J., Zaman, M., Houlbrooke, D., Ding, W., Ledgard, S. and Ghani, A. (2014) Use of nitrogen process inhibitors for reducing gaseous nitrogen losses from land-applied farm effluents. Biology and Fertility of Soils, 50(1), pp.133-145.

- Malinauskaite, J.; Jouhara, H.; Czajczyńska, D.; Stanchev, P.; Katsou, E.; Rostkowski, P.; Thorne, R.J.; Colón, J.; Ponsá, S.; Al-Mansour, F.; Anguilano, L.; Krzyżyńska, R.; López I.C.; Vlasopoulos, A., and Spencer, N. (2017) Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe, *Energy*, 141, (C), 2013-2044.
- Ministry of Environmental Protection of China (MEP) (2011) Bulletin of urban sewage treatment facilities, and flue gas desulfurization/denitrification facilities of coal-fired power plants, http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201104/t20110420_209449.htm (last access: 5 May 2012), 2011 (in Chinese).
- Rand, T.; Haukohl, J.; Marxen, U.; Rand, T. Haukohl, J. Marxen, U. (2000) *Municipal solid waste incineration: a decision maker's guide* (English). Washington, D.C., World Bank.
- Rogge, K.S. and Reichardt, K. (2016) Policy mixes for sustainability transitions: An extended concept and framework for analysis. *Research Policy* 45(8): 1620-1635.
- Selbie, D.R., Buckthought, L.E. and Shepherd, M.A. (2015) The challenge of the urine patch for managing nitrogen in grazed pasture systems. In *Advances in agronomy* (Vol. 129, pp. 229-292). Academic Press.
- The State Council of the People's Republic of China (2011) Integrated Work Plan for Energy Saving and Emission Reduction During the Twelfth Five-Year Plan, http://www.gov.cn/zwggk/2011-09/07/content_1941731.htm (last access: 2 February 2013), 2011 (in Chinese).
- Wang, S.X., Zhao, B., Cai, S.Y., Klimont, Z., Nielsen, C.P., Morikawa, T., Woo, J.H., Kim, Y., Fu, X., Xu, J.Y. and Hao, J.M. (2014) Emission trends and mitigation options for air pollutants in East Asia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(13), pp.6571-6603.
- Weber, M. and Rohrer, H. (2012) Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change; Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures' framework. *Research Policy*, vol. 41, pp.1037- 1047.
- Zakianis, S. and Djaja, I.M. (2017) The importance of waste management knowledge to encourage household waste-sorting behaviour in Indonesia'. *International Journal of Waste Resources*, vol. 7:4.
- Zhao, B., Wang, S. X., Liu, H., Xu, J. Y., Fu, K., Klimont, Z., Hao, J. M., He, K. B., Cofala, J., and Amann, M. (2013) NOx emissions in China: historical trends and future perspectives, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 9869–9897, doi:10.5194/acp-13-9869-2013, 2013c

第三章

水资源短缺和水质

作者: *Pham Ngoc Bao, Bijon Kumer Mitra, Pankaj Kumar, Tetsuo Kuyama (IGES)*



Photo by Ramin Khatibi on Unsplash

关键问题

- 水资源短缺和水质的最新数据和预测如何？
- 造成水资源短缺的主要原因有哪些（农业、过度开采地下水、气候变化、城市化等）？这些因素在过去十年左右有何变化？
- 造成水污染的主要原因有哪些（工业、集约畜牧生产、水产养殖业、执法不力与合规性差等）？这些因素在过去十年左右有何变化？
- 这些变化的社会和环境的影响有哪些？是否存在由于监测不足导致的鲜为人知的隐性健康影响？目前的疾病负担在多大程度上归咎于水质问题？
- 目前和将来受到水资源短缺影响的主要地区和人口有哪些？
- 水资源短缺与水质之间有哪些关键联系？
- 有哪些新兴技术和管理进步能应对水资源短缺和水污染问题带来的双重威胁？这些措施是否足够应对这些威胁？
- 水资源短缺和水质问题对工业有哪些影响？工业部门如何采取稳健的应对措施？
- 对亚太地区各国政府和国际社会有哪些政策影响？

亚太地区的迅速发展对地区水资源造成巨大压力。2016年，亚太地区人口超过46亿，占世界总人口的近60%。亚太地区正在经历快速的人口增长、城市化、工业化和消费模式的显著改变，包括居民膳食中包含更多高耗水量食物，如工业化农场生产的肉类等。粮食生产的需水量显著增加，对亚太地区的水资源基础设施带来了较大压力。亚洲幅员广阔，人口众多，灌溉用水量日益增加，每年采水量约为2500亿立方米，居全球首位。

农业部门是最大的用水部门，占总用水量的70%以上，其次是日益加强的工业开发活动（Visvanathan 2018）。亚太地区内部可再生淡水资源不足全球总量的30%，因此人均水资源可利用量全球最低。南亚地区部分地方水资源可利用量极低，水资源严重短缺。在目前出口导向型经济增长模式下，中国、印度和巴基斯坦的水资源可能不足以兼顾发展与保障粮食及能源安全（China Water Risk 2018）。此外，亚太地区是世界上最易受灾害侵袭的地区，也正在经历气候变化带来的严峻影响，包括蒸发和降水模式的变化、作物减产、高温波动以及用水量、水资源可利用量和水质的变化。气候相关灾害和海平面上升给许多国家带来高风险，让这些国家的淡水资源更加脆弱。

工业化农业和水产养殖业是亚太地区水污染问题的主要因素，特别是强化的工业化畜牧生产、工业化农业和水产养殖业以及其他相关的

工业开发活动。这些开发活动或农场流出的废水没有经过任何处理，直接流入附近地表水提取和土壤。大量的农用化学品、肥料残留、有机物、药物残余和沉积物直接排放到附近的水体中，导致水质下降、水生态系统退化，造成巨大的环境、经济和健康影响，对人类和生态系统健康带来更多威胁和风险（UNEP 2016）。

特别受关注的还有由营养物质、杀虫剂、活性药物化合物、抗生素耐药细菌等非传统污染物或新出现污染物带来的隐性健康影响。亚洲80%的河流已经处于不健康状态（Visvanathan 2018）。以粪大肠杆菌为例，许多河流已经受到人类排泄物细菌的严重污染，含量为世界平均水平的三倍之多，主要来自未经处理的生活污水、牲畜排泄物和工业废水（Evans 等 2012）。以中国为例，尽管过去几年情况有了较大好转，然而2014年，972个监测站中有

9.2%测得地表水水质为劣五类，意味着水污染过于严重，无法用于包括灌溉在内的一切用途（China.org.cn 2015）。在印度尼西亚，依据政府82/2001规定的二级水质标准，受到严重污染的河流比例2008年超过60%，2016年超过70%（MOEJ和IGES 2018）。

亚太地区水资源安全目前在数量和质量上都受到严重威胁。因此，为更切实高效地管理水资源并保障区域水资源安全，必须深刻理解水资源问题的主要因素、造成水资源短缺和水质恶化的压力、水资源的现状和发展趋势、对人类健康和环境可能造成的影响及污染防治的潜在应对措施。因此，本章将探讨水资源质量和数量的关键方面，包括：

1. 水资源短缺的主要因素、压力和现状，特别关注亚太地区地下水短缺和水污染问题，尤其是集约农业、水产养殖业和工业开发活动

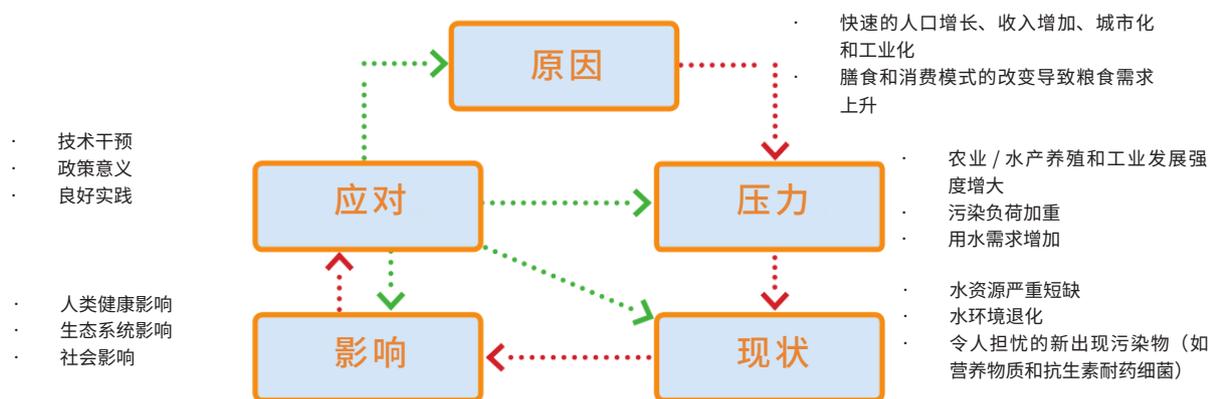


图 3.1 用于调查规模工业农业和水产养殖活动产生的新出现污染物的影响的 DPSIR（原因 - 压力 - 现状 - 影响 - 应对）框架

- 造成的此类问题；
2. 社会、环境和隐性的健康影响或威胁；
 3. 工业部门可以采取的潜在技术和管理干预措施；
 4. 对于亚太地区各国政府和国际社会的政策影响（图3.1）。

亚太地区的水资源短缺和水污染问题由多种因素造成。快速的城市化、工业化、人口增长、气候变化、用水行为和生活方式的转变都对水资源及水生态系统带来了巨大压力，最终造成严重的水质恶化和水资源短缺（Gosling and Arnell 2016；Kumar 等 2018；Mukate 等 2017）。水资源短缺是由于：

1. 水资源可利用量过少，不足以满足人均最低用水需求（往往受到当地地理和气候的影响）；
2. 人均用水量高或是工业用水量高导致的总用水量过高（Rockström 等 2009）。

由于地下水在满足亚洲用水需求中发挥着重要作用，因此保护地下水对于亚洲来说非常重要（Lee 等 2018）。大城市地区的工业活动对地下水的使用通常超过生活用水。地下水灌溉每年对亚洲经济的贡献为150 亿-300 亿美元（WWAP 2017），世界最大的15 个地下水用水地区中有7 个在亚太地区（Margat 和 Van der Gun 2013）。

地下水正面临日益严峻的威胁。亚洲地下水开采占全球总量的70% 以上，东南亚和南亚地区尤其突出，主要是由于规模工业化农业活动和爆炸式人口增长（FAO 2016）。地下水也是亚太许多城市和农村社区的主要供水来源。

例如，印度尼西亚万隆供水量的75%、巴基斯坦拉合尔供水量的100%、老挝万象供水量的92% 都来自地下水；与此同时，柬埔寨60% 的农村人口和孟加拉76% 的农村人口依靠管井供水（WWAP 2015）。亚太许多城市地区的工业部门也是地下水主要用水部门（Kataoka 和 Shivakoti 2013）。不幸的是，为满足用水需求，地下水使用和超采日益严重，导致上述地区出现许多问题，包括地面沉降、地下水位下降、地下水污染、海水入侵地下蓄水层等（WWAP 2015），对亚太地区地下水造成更大威胁。

地下水开采引发地面沉降和地下蓄水层污染。曼谷、胡志明市、马尼拉、加尔各答、达卡、雅加达等许多亚洲沿海城市都已出现地下水过度开采造成的地面沉降。曼谷东部每年测得10 厘米以上的沉降，万隆多个地点的沉降幅度高达每年24 厘米（WWAP 2015）。亚太地区的地下水水质也由于自然和人为污染物的积累而受到影响，特别是含砷、氟化物、铁的污染物降低了地区地下蓄水层的可用性。

工业畜牧生产造成的水污染也是主要问题之一。畜牧业占全球农业总产值的40%，支撑着近13 亿人的生计和粮食安全（FAO 2018a）。过去30 年，收入和经济的快速增长、城市化和生活方式的转变促使人们的饮食习惯发生变化，由此导致亚太地区，特别是南亚、东亚和东南亚的畜牧产品生产和消费急剧增长（FAO 2018b）。亚太地区不同市场的人均肉类消费迥然不同，但都逐年增长。印度的肉类消费量较低（每人每年不到10 千克），因为许多印度消费者食素；中国香港则是全球肉类与海鲜消

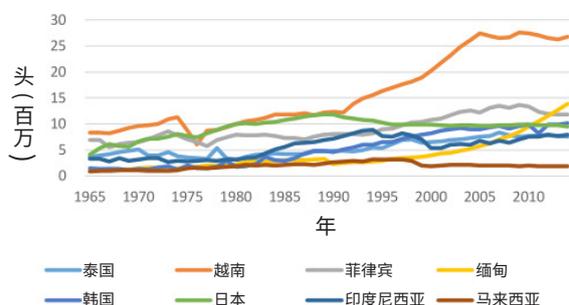
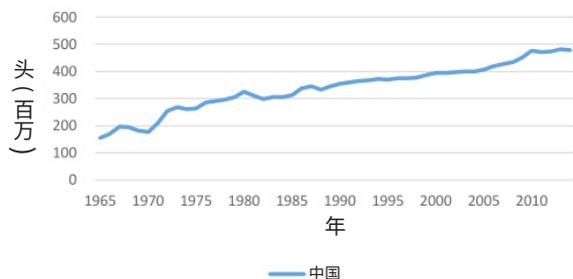


图 3.2 中国及其他一些亚洲国家生猪存栏数的变化

来源: Kuyama 2017

消费量最高的地区。2014年,中国香港人均肉类消费量约为每年100千克,而韩国、新加坡和中国大陆等地的肉类消费量在每人每年45-80千克(Euromonitor International 2018)。快速增长的需求和技术创新是驱动畜牧业结构近来显著变化的最重要因素,这些变化包括从小农耕牧混合模式转变为专业化、工业规模、地理集中的商业大型畜牧生产体系(Robinson等2011)。东亚和东南亚的畜牧业经历了重大转变,特别是为了满足日益增长的猪肉需求(图3.2)。

畜牧生产密集度日益增加,给废物管理带来新的挑战 and 更大压力。猪粪含有营养物质、消耗氧气物质和病原体、药物残留、激素和抗生素,对地表水和地下水造成严重威胁。由于富营养化和气候变化,蓝藻爆发的强度和频率预计将增加(O'Neil等2012),影响人类健康,并导致生物多样性丧失、海洋酸化和生态系统退化(Menzi等2010)。例如,蓝藻爆发所含的微胞藻在全球均有分布,对饮用水和休闲娱

乐水资源造成威胁,可能导致一系列短期和长期健康影响,包括消化道症状、肝脏炎症、致死性肝功能衰竭、肺炎、皮炎甚至结肠直肠癌(Cheung等2013)。

集约畜牧生产污染地表水和地下水。亚太地区的集约工业化畜牧生产,特别是养猪业,在牲畜饮水、卫生和清洗环节消耗大量水资源,这些水以粪液、泥浆和废水形式回到环境之中。集约畜牧生产给东亚和东南亚造成很高的相关环境风险,原因包括牲畜高度集中、缺乏落实到位的监管措施、公众对环境影响认识有限、缺乏安全回收粪液并用于作物的适当措施(Menzi等2010)。因此,在中国、泰国和越南,工业化养猪场产生的废物是影响水道及地下蓄水层的首要污染源,占氮积累量的14-72%及磷积累量的61-94%(Reid等2010)。

抗生素成为令人担忧的新出现污染物。抗生素在医药和农业中的广泛使用造成耐抗生素生物在全球范围内的出现和传播。畜牧业使用抗生素的首要目的是改善牲畜健康,提高生产力,

由此增强粮食安全、食品安全、动物福利和可持续粮食生产。然而，抗生素的长期使用及其水溶性和难降解性对水生和陆生生物造成长期负面影响 (Mili 等 2013)。Boeckel 等 (2015) 的研究首次展示了全球 (228 个国家和地区) 畜牧业抗生素使用情况，据其保守估计，2010 年抗生素使用量达 63,151 吨。这项研究还预计，到 2030 年仅亚洲抗生素使用量的增幅中就有 46% 是生产体系转变导致的。到 2030 年，亚洲抗生素使用量预计将达到 51,851 吨 (主要集中在中国和印度)，相当于 2010 年全球食用动物抗生素使用量的 82%。按照目前农业抗生素使用率，到 2050 年，耐药细菌造成的动物死亡将骤增至 1000 万只 (Barber 和 Sutherland 2017)。抗生素、疫苗和生长促进剂或激素等以兽药形式存在的集约畜牧体系产生的农业污染物，通过农场流出的沥出液和径流及农田中的粪肥和污泥，流入生态系统和饮用水源之中。另一个引起担忧的重大问题是水传播动物传染病病原体 (FAO 和 IWMI 2017a)。

抗生素耐药细菌无处不在。不过抗生素耐药细菌在亚洲发展中国家最为普遍，这是落后的健康基础设施和治理环境造成的。近期，耐药革兰阴性杆菌的增加导致亚洲出现耐甲氧西林金黄色葡萄球菌 (MRSA)、耐大环内酯肺炎双球菌和多药耐药肠道致病菌高发现象 (Kang 和 Song 2013)。仅耐甲氧西林金黄色葡萄球菌就能导致亚洲医院中的大部分常见疾病 (包括肺炎、手术部位感染和血液感染) (Kang 和 Song 2013)。例如，印度 2013 年有超过 5.8 万名新生儿因为感染耐药细菌而丧生 (Harris 2014)。Noharm 2008 年的研究指出，对动物使用抗微生物药与其对人类健康造成的影响

存在显著相关性。抗生素耐药细菌可以通过食物、水、与动物的直接接触等多种不同途径进入人体。此外，用于牲畜的抗生素 75% 以上未经消化吸收，以耐药细菌和基因的形式存在于动物排泄物之中。耐药细菌到人类的主要传播路径是通过作物肥料的动物粪便对土壤、水资源和作物造成的污染 (Sayre 2009)。抗生素耐药微生物 (细菌、真菌、病毒和寄生虫) 同样阻碍了对水生生物和人类都必不可少的其他微生物群落的生长 (Li 等 2017)。除此之外抗生素耐药微生物还会导致死亡率上升、减少、粮食不足和环境恶化，并对全球发展产生重大影响，到 2050 年全球损失预计将高达 100 万亿美元 (Jasovsky 等 2016)。

工业规模水产养殖业造成的水污染也在增加。世界 75% 以上的天然渔业资源已经得到开发甚至是过度开发，天然渔获几无增加空间。因此水产养殖业在保障全球粮食安全及促进经济增长和数以百万计居民的生计中发挥着日益重要的作用。水产养殖业经历了迅速发展，通过产业扩张和集约生产，为日益增多的人口提供水产品。人均鱼类表观消费量从 60 年代的 9.9 公斤增加至 90 年代的 14.4 公斤，2013 年这一数字增长为 19.7 公斤，初步估算 2014、2015 年将继续增加至 20 公斤以上 (FAO 2016)。世界水产养殖产出从 2009 年的 5600 万吨增长至 2014 年的 7400 万吨。其中内陆水产养殖比例接近 62% (FAO 2016)。2014 年亚洲水产养殖产量占全球总产量的近 90%。同年，亚洲水产养殖产量达 6500 万吨，其中仅中国的水产养殖产量就达 4500 万吨。高度依赖水产养殖业的其他亚洲国家包括印度、越南、泰国、印度尼西亚、孟加拉。

亚洲水产养殖业产生环境污染有多重原因。由于缺乏具有法律约束力的措施及监管框架，水产养殖业的粗放发展缺乏规划。因此，中小型水产养殖场迅速增长，并未考虑到潜在的环境影响（World Bank 2017）。发展中国家的水产养殖从业人员缺乏足够的知识和信息，无法判断营养物和抗生素的正确用量，也不清楚什么是对环境负责的使用方式（Ali 等 2016；Pham 等 2015）。而且，亚洲很大一部分中小规模水产养殖场都使用较低成本的自制饲料，不仅质量差，有时候还存在生物安全性风险。

水产养殖业的主要污染物是营养物和抗生素。水产养殖产量的迅速增长来自更多的配方饲料、农用化学品、抗生素等投入以及对更多土地和水资源的占用。发展中国家的许多养殖户在使用饲料和农用化学品、抗生素或其他化学品时不遵从推荐用量，往往相信多多益善。这些过量投入的残余不仅会损害水生态系统中的水和土壤，还会增加周围环境和人类健康的风险。过量饲料的分解物及排泄物都可能产生污染水产养殖系统和周围环境的营养物。在以饲料为基础的水产养殖业中，20-40% 的氮来自饲料中的蛋白质，但其中很大一部分未经使用，释放到水和土壤中。中国的氮利用效率在11.7-27.7% 之间，磷利用效率在8.7-21.2% 之间（Zhang 等 2015）。水产养殖业每生产一吨鱼类排放含氮废物42-66 千克，含磷废物7.2-10.5 千克（Strain and Hargrave 2005）。水生态系统中氮和磷的过量排放可能导致本地水体富营养化问题和蓝藻爆发。

抗生素在水产养殖业中的使用与在畜牧业中的使用一样令人担忧。工业化水产养殖业的鱼苗

和养殖场密度高，造成不卫生且充满压力的环境，增加鱼虾生长过程中发生细菌感染的风险。于是水产养殖业大量使用抗生素来防治疾病。亚洲水产养殖业使用多种抗生素，包括磺胺类、强化磺胺类、四环素、青霉素、喹诺酮类、硝基呋喃类、大环内酯类、氨基甙类、氯霉素等，不同国家使用的具体种类各有不同。四环素是亚洲主要水产养殖国家最常用的抗生素。其中，菲律宾和泰国用于疾病防控的抗生素剂量最大（表3.1）。

加药饲料所含抗生素总量的75% 通过养殖水产的排泄物和过量加药饲料沥出并进入水体环境（Lalumera 等 2004）。一项近期研究指出，

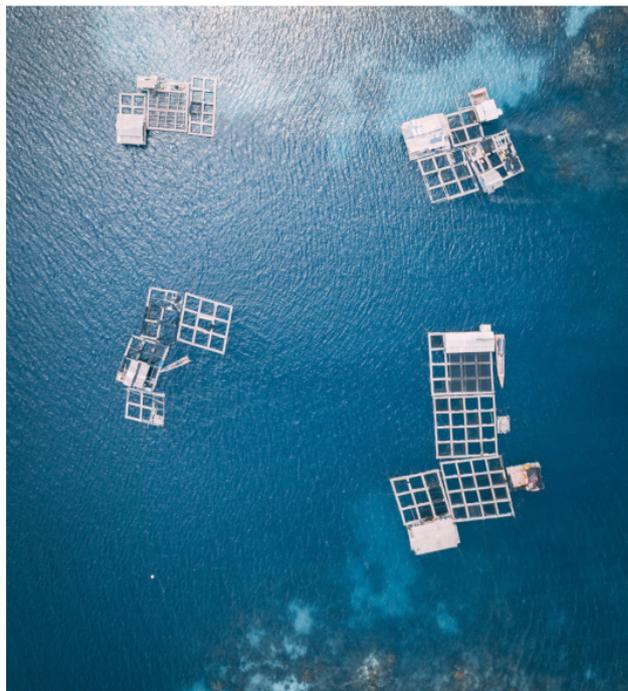


Photo by Hanson Lu on Unsplash

表 3.1 亚洲主要水产养殖国家是否使用抗生素及是否出现抗生素耐药细菌

	孟加拉		中国		印度		印度尼西亚		日本		菲律宾		韩国		泰国		越南	
	使用	ABR	使用	ABR	使用	ABR	使用	ABR	使用	ABR	使用	ABR	使用	ABR	使用	ABR	使用	ABR
磺胺类											✓				✓			
强化磺胺类		✓			✓						✓				✓		✓	✓
四环素	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
青霉素			✓			✓			✓	✓	✓		✓		✓		✓	
喹诺酮类	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
硝基咪唑类			✓			✓	✓				✓	✓			✓	✓		
大环内酯类		✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓		
氨基甙类						✓	✓				✓		✓		✓			
氯霉素	✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓				✓	✓	✓	✓

备注：ABR= 抗生素耐药细菌

来源：依据 Bharathkumar & Abraham 2015; Binh 等 2018; Center for Science and Environment 2016; Sapkota 等 2008; Sivam 等 2015; Sudha 等 2014; Yuan 等 2012 编制

淡水养殖中所含抗生素的种类和浓度均高于海水养殖（Hossain 等 2017）。四环素是亚洲大部分水产养殖业中最常见的抗生素。在印度测得的耐药细菌数量最多，其次是印度尼西亚、孟加拉、日本和泰国。抗生素浓度的提高加大了细菌种群的压力，导致抗生素耐药细菌的普遍存在。出人意料的是，尽管印度水产养殖业只使用了三种抗生素，将细菌隔绝在印度水产养殖业之外，但细菌仍对表3.1中所列的其他抗生素表现出耐药性。在大部分发展中国家，抗生素销售和使用不受监管，或是像印度那样监管力度很弱（Ganguly 等 2011）。Bhushan 等人（2016）研究发现，抗生素遍布西孟加拉邦的水产养殖系统，其中包括禁止使用或不专门用于鱼类养殖的抗生素。

营养物污染对人类健康、环境和生产活动造成影响。农业和水产养殖业带来的营养物污染对环境、生态系统、经济、尤其是人类健康造成负面影响。例如，水中硝酸盐过高会引发高铁血红蛋白血症（又叫蓝婴病），可能导致婴儿死亡。农业水污染造成的环境和社会成本每年超过数十亿美元（FAO and IWMI 2017）。营养物污染对人类健康的潜在负面影响包括：

1. 饮用水质量下降造成疾病负担增加；
2. 沐浴用水质量下降造成疾病负担增加；
3. 水中硝酸盐含量过高导致高铁血红蛋白血症；
4. 受污染的鱼类和蔬菜等不安全食品造成疾病负担增加。

营养物污染对环境的潜在影响包括：

1. 生物多样性减少；
2. 富营养化和水体死区；
3. 景观退化等视觉影响；
4. 粪便等产生的异味；
5. 休闲娱乐机会减少；
6. 温室气体排放增加。

与此同时，农业水污染还会对生产活动造成潜在影响，如农业生产力下降、发现污染现象后收获作物市场价值下跌、污染地区游客数量减少、鱼类和贝甲类水产品减产等（Hernández-Sancho 等 2015）。

水资源短缺和水质问题的潜在解决方案。为解决水资源短缺问题，实现可持续水资源管理，最佳实践包括：

1. 综合利用地表水和地下水，即雨季储存额外水资源，以备旱季使用；
2. 通过地方社区的全面参与，减少无收益水，减少水资源浪费，安装屋顶集雨设备，加强水补给；
3. 提高社会各部门节约水资源的意识和责任。

通过农业和水产养殖活动改进营养物管理。农业和水产养殖业水污染是复杂多面的问题，其有效管理需要综合性一揽子应对措施。因此，十分需要采取综合整体方法，广泛统筹相关方面，包括法规政策、潜在的经济手段、宣传教育、合作协议、研究与创新和技术干预措施等。

必须从源头解决抗生素耐药细菌的感染。由于

人类、动物、生态系统和环境之间相互交织的影响，必须在国际层面上采取跨学科方法减少抗生素耐药细菌的感染风险。此类行动的关键组成部分应当包括通过信息分享、能力建设等措施提高公众意识，密切监测并记录耐药细菌感染情况，尽量减少抗生素使用，严格实施政策法规，以及向更可持续的农业营养强化剂转型。以下四项核心行动将有助于抗击致命的抗生素耐药细菌感染：

1. 预防细菌感染及耐药性的传播；
2. 追踪监测耐药细菌；
3. 改进当前抗生素的使用；
4. 推动新抗生素的开发，开发新的耐药细菌诊断测试。

综合利用监管和其他政策工具。近期分析表明，综合使用法规监管、排放或排污经济激励措施及信息手段等多种方法，比单一的法规监管效果更好（OECD 2008）。例如，由于分散的小企业排污难以通过监管手段减少，中国许多地方的政府正转向经济激励措施，鼓励农民承担起减少非点源污染的责任（Shao 2010）。日本对减少肥料使用的农民给予奖励，旨在改善全国湖水水质。湖水是日本饮用水的重要来源，因此公众也愿意给予农民经济奖励，以保障高质量的水资源（Ngoc-Bao 等 2015）。工业规模农业或水产养殖业营养物污染的应对政策应当纳入国家或流域整体水资源政策框架，综合考虑所有污染物和污染源。污染源头防治的关键是要出台政策鼓励农民改变自身行为，促进他们采取良好做法，例如为农民提供免费咨询建议服务、培训和示范。

扩大研究与创新以及信息分享。亚太地区普遍存在关于工业化农业及水产养殖业水污染的知识鸿沟以及科学有效数据的缺失。特别是在发展中国家，畜牧业及水产养殖业产生的水污染并非众所周知。因此，有必要开展国家清单分析，对上述污染进行定量分析，让各国政府能全面了解问题的严重程度并制定切实高效的应对措施。如果污染源不明确或无法定量，可以采取“谁污染谁付费”原则。因此，必须推动水质监测和模型的研究与创新，才能更好地理解污染物路径和污染因果联系（FAO 和 IWMI 2017）。

工业部门必须对环保技术创新负责。集约畜牧业和水产养殖业的农业措施对进行污染源头防治至关重要。粪便管理是畜牧业生产中的主要问题之一。未利用或经分解的饲料、鱼类排泄

物和鱼类废弃物被认为是水产养殖过程中营养物质污染的主要来源，造成接纳水体环境易爆发蓝藻。

必须在畜牧业生产中对粪便进行妥善储存和处理，如有可能可进行安全重新利用。粪便处理的有效技术包括堆肥和厌氧发酵，能产生有用的有机肥料和土壤改良剂。除粪便管理外，集约工业化畜牧生产中对饲料添加剂、激素和药物的使用应当遵循国家标准和国际准则。从非农业措施来看，可以采取一些简单的技术干预手段，如建立滨岸缓冲带或人工湿地，高效减少流入地表水体的污染物（FAO 和 IWMI 2017）。

水产养殖场应当采取良好管理措施保护周边水生环境。应当基于水体承载力设定适当的生产

表 3.2 减缓水产养殖污染的措施

污染因素	减缓措施
水产养殖业发展缺乏规划	<ul style="list-style-type: none"> 制定包括水产养殖场分区的水产养殖业发展政策、战略和行动方案 建立许可证体系，对未经许可发展水产业养殖的行为进行控制
过量使用营养物和抗生素	<ul style="list-style-type: none"> 制定水产养殖业营养物和药物使用指导规范 管理环境监测 增强渔业拓展服务 为从业人员提供培训
饲料质量差	<ul style="list-style-type: none"> 为中小型水产养殖户提供高质量饲料配方培训



Photo by Markus Spiske on Unsplash

生物质产量，目标是：

1. 通过实施标准化饲料投入，避免饲料投放过量；
2. 正确使用鱼类药物，避免使用禁止类药物；
3. 去除并处理鱼塘中的过量营养物；
4. 推广多营养层次综合水产养殖体系，将一种生物的废弃物作为另一种生物的食物来源（FAO 和 IWMI 2017）。

表3.2 列出了减缓水产养殖业污染的其他措施。

工业影响：应当尽可能建立水产养殖业- 农业综合体系，统筹管理粮、菜、畜、鱼，由此促进生产稳定性、资源利用效率和环境可持续发展。综合农业体系能确保一家企业产生的废弃物成为另一家企业的投入，因此有助于优化资源利用并减少污染（FAO 和IWMI 2017）。

政策影响：应当像对待其他工业一样，将工业规模农业及水产养殖业视为可能产生环境污染物和隐性健康影响的潜在重大污染源。尽管工业规模农业及水产养殖业带来的影响往往是隐性的，但是同样不容政策缺位，并且必须通过技术创新解决上述新出现问题。

参考文献

- Ali, H., Rico, A., Murshed-e-Jahan, K., & Belton, B. (2016) An assessment of chemical and biological product use in aquaculture in Bangladesh. *Aquaculture*, 454, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.12.025>
- Barber, S., & Sutherland, N. (2017) O' Neill Review into Antibiotic Resistance. Retrieved from <http://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/CDP-2017-0074/CDP-2017-0074.pdf>
- Bharathkumar, G., & Abraham, T. J. (2015) Oxytetracycline resistant bacteria in *Clarias gariepinus* and *Clarias batrachus* larvae and the environment. *Journal of Fisheries*, 3(1), 217. <https://doi.org/10.17017/jfish.v3i1.2015.48>
- Binh, V. N., Dang, N., Anh, N. T. K., Ky, L. X., & Thai, P. K. (2018) Antibiotics in the aquatic environment of Viet Nam: Sources, concentrations, risk and control strategy. *Chemosphere*, 197, 438–450. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.061>
- Bhushan, C., Khurana, A., Sinha, R. (2016). Antibiotic use and waste management in aquaculture: CSE recommendations based on a case study from West Bengal, Centre for Science and Environment, New Delhi
- Cheung, M. Y., Liang, S., & Lee, J. (2013) Toxin-producing cyanobacteria in freshwater: A review of the problems, impact on drinking water safety, and efforts for protecting public health. *Journal of Microbiology*, 51(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12275-013-2549-3>
- China.org.cn. (2015) China faces grave water pollution challenges. Retrieved from http://china.org.cn/environment/2015-08/28/content_36437708.htm
- China Water Risk (2018) No water no growth - Does Asia have enough water to develop? Retrieved from <http://www.chinawaterrisk.org/wp-content/uploads/2018/09/CWR-Report-No-Water-No-Growth.pdf>
- Euromonitor International (2018) Meat Consumption Trends in Asia Pacific, and What They Mean For Food-service Strategy. Retrieved from <https://blog.euromonitor.com/meat-consumption-trends-in-asia-pacific-and-what-they-mean-for-foodservice-strategy/>
- Evans, A. E. V., Hanjra, M. A., Jiang, Y., Qadir, M., & Drechsel, P. (2012) Water Quality: Assessment of the Current Situation in Asia. *International Journal of Water Resources Development*, 28(2), 195–216. <https://doi.org/10.1080/07900627.2012.669520>
- FAO (2016) In Brief The State of World Fisheries and Aquaculture. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016.
- FAO (2018a) Animal Production. Retrieved from <http://www.fao.org/animal-production/en/>
- FAO (2018b) FAO Regional Conference for Asia and the Pacific - State of Food and Agriculture in Asia and the Pacific Region, including Future Prospects and Emerging Issues.

- FAO & IWMI (2017a) More people, more food, worse water? A global review of water pollution from agriculture.
- FAO & IWMI (2017b) Water pollution from agriculture: a global review Executive summary. (with contributions from J. B. (formerly F. Javier Mateo-Sagasta (IWMI), Sara Marjani Zadeh (FAO) and Hugh Turrall, Ed.), FAO and IWMI. Food and Agriculture Organization & International Water Management Institute on behalf of the Water Land and Ecosystems Research Program Colombo. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i7754e.pdf>
- Ganguly, N. K., Arora, N. K., Chandy, S. J., Fairoze, M. N., Gill, J. P. S., Gupta, U., ... Laxminarayan, R. (2011) Rationalizing antibiotic use to limit antibiotic resistance in india. *Indian Journal of Medical Research*, 134(9), 281–294. https://doi.org/IndianJMedRes_2011_134_3_281_85559 [pii]
- Gosling, S. N., & Arnell, N. W. (2016) A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x>
- Harris, G. (2014) ‘Superbugs’ Kill India’ s Babies and Pose an Overseas Threat. *The New York Times*. Retrieved from <https://www.nytimes.com/2014/12/04/world/asia/superbugs-kill-indias-babies-and-pose-an-overseas-threat.html>
- Hernández-Sancho, F., Lamizana-Diallo, B., Mateo-Sagasta, M., and Qadir, M. (2015) Economic valuation of wastewater the cost of action and the cost of no action. UNEP. <https://doi.org/ISBN:978-92-807-3474-4>
- Hossain, A., Nakamichi, S., Habibullah-Al-Mamun, M., Tani, K., Masunaga, S., & Matsuda, H. (2017) Occurrence, distribution, ecological and resistance risks of antibiotics in surface water of finfish and shellfish aquaculture in Bangladesh. *Chemosphere*, 188, 329–336. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.152>
- J. Margat and J.V.D. Gun. (2013) *Groundwater around the World - A Geographic Synopsis*. CRC Press - Taylor & Francis Group.
- Jasovsky, D. et al. (2016) Antimicrobial resistance—a threat to the world’ s sustainable development. *Upsala Journal of Medical Sciences*, 121(3), 159–164. <https://doi.org/10.1080/03009734.2016.1195900>
- Kang, C. I., and Song, J. H. (2013) Antimicrobial resistance in Asia: Current epidemiology and clinical implications. *Infection and Chemotherapy*. <https://doi.org/10.3947/ic.2013.45.1.22>
- Kataoka and Shivakoti (2013) *Regional Diagnostic Report Asia & the Pacific Region - Groundwater Governance - A Global Framework for Action*.
- Kumar, P., Masago, Y., Mishra, B. K., and Fukushi, K. (2018) Evaluating future stress due to combined effect of climate change and rapid urbanization for Pasig-Marikina River, Manila. *Groundwater for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.01.004>

- Lalumera, G. M., Calamari, D., Galli, P., Castiglioni, S., Crosa, G., & Fanelli, R. (2004) Preliminary investigation on the environmental occurrence and effects of antibiotics used in aquaculture in Italy. *Chemosphere*, 54(5), 661–668. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.08.001>
- Lee, E., Jayakumar, R., Shrestha, S., & Han, Z. (2018) Assessment of transboundary aquifer resources in Asia: Status and progress towards sustainable groundwater management. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.01.004>
- Li, J., Xie, S., Ahmed, S., Wang, F., Gu, Y., Zhang, C., ... Cheng, G. (2017) Antimicrobial activity and resistance: Influencing factors. *Frontiers in Pharmacology*, 8(JUN), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00364>
- Menzi, H., Oenema, O., Burton, C., Shipin, O., & Gerber, P. (2010) Impacts of intensive livestock production and manure management on the environment. In *Livestock in a Changing Landscape, Drivers, Consequences, and Responses*.
- Milic, N., Milanovic, M., Letic, N. G., Sekulic, M. T., Radonic, J., Mihajlovic, I., & Milorado v, M. V. (2013). Occurrence of antibiotics as emerging contaminant substances in aquatic environment. *International Journal of Environmental Health Research*, 23(4), 296–310. <https://doi.org/10.1080/09603123.2012.733934>
- MOEJ & IGES (2018) WEPA Outlook on Water Environmental Management in Asia 2018.
- Mukate, S., Panaskar, D., Wagh, V., Muley, A., Jangam, C., & Pawar, R. (2017) Impact of anthropogenic inputs on water quality in Chincholi industrial area of Solapur, Maharashtra, India. *Groundwater for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.11.001>
- Ngoc Bao, P., Aramaki, T., Thu Nga, D., Kuyama, T., and Kumer Mitra, B. (2015) A Mixed Approach For Nutrient Management Planning In Southeast Asian Countries. *Journal of Engineering Research and Applications* www.ljra.com ISSN. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2004.06.002>
- Noharm (2008) Menu of Change: A 2008 survey of Healthy Food in Health Care. Retrieved from https://noharm-uscanada.org/sites/default/files/documents-files/881/Menu_of_Change_2008.pdf
- O' Neil, J. M., Davis, T. W., Burford, M. A., & Gobler, C. J. (2012) The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae*, 14, 313–334. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.027>
- OECD (2008) Environmentally Related Taxes and Tradable Permit Systems in Practice. Retrieved from [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=com/env/epoc/ctpa/cfa\(2007\)31/final](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=com/env/epoc/ctpa/cfa(2007)31/final)
- Pham, D. K., Chu, J., Do, N. T., Brose, F., Degand, G., Delahaut, P., ... Wertheim, H. F. L. (2015)

- Monitoring Antibiotic Use and Residue in Freshwater Aquaculture for Domestic Use in Viet Nam. *EcoHealth*, 12(3), 480–489. <https://doi.org/10.1007/s10393-014-1006-z>
- Reid R.S. et al. (2010) Global Livestock Impacts on Biodiversity. In *Livestock in a Changing Landscape (Volume 1)*. ISLANDPRESS. Retrieved from https://books.google.co.jp/books/islandpress?id=lug9AF-wVR8C&printsec=frontcover&dq=livestock+in&cd=1&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
 - Robinson, T., Thornton, P. K., Franceschini, G., Kruska, R. L., Chiozza, F., Notenbaert, A., ... See, L. (2011) Global livestock production systems. <https://doi.org/10.1093/ps/84.11.1785>
 - Rockström, J., Falkenmark, M., Karlberg, L., Hoff, H., Rost, S., & Gerten, D. (2009) Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1029/2007WR006767>
 - Sapkota, A., Sapkota, A. R., Kucharski, M., Burke, J., McKenzie, S., Walker, P., & Lawrence, R. (2008) Aquaculture practices and potential human health risks: Current knowledge and future priorities. *Environment International*, 34(8), 1215–1226. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.04.009>
 - Sayre, L. (2009) The Hidden Link Between Factory Farms And Human Illness. *Mother Earth News*.
 - Shao, W. (2010) Effectiveness of water protection policy in China: A case study of Jiaxing. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.11.019>
 - Simacha, W. (2015) Thailand's Coal-Fired Power Plants. Tokyo: The Institute for Energy Economics.
 - Singh, S., and Prasad, R. (2015, December) Natural gas use may get a boost in Delhi over pollution concerns. *The Economic Times*.
 - Sivam, V., Joseph, T., Vaiyapuri, M., and Lalitha, K. V. (2015) *Journal of Environmental Biology*, (May).
 - Strain, P. M., and Hargrave, B. T. (2014) Salmon Aquaculture, Nutrient Fluxes and Ecosystem Processes in Southwestern New Brunswick. *Handbook of Environmental Chemistry*, 5(December), 29–57. <https://doi.org/10.1007/b136003>
 - Sudha, S., Mridula, C., Silvester, R., and Hatha, A. A. M. (2014) Prevalence and antibiotic resistance of pathogenic Vibrios in shellfishes from Cochin market. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 43(May), 815–824.
 - UNEP (2016) A Snapshot of the World's Water Quality : Towards a Global Assessment.
 - UNESCAP (2001) Air quality in Asia and the Pacific: An analysis in relation to national and international standards. Bangkok.
 - Van Boeckel, T. P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Robinson, T. P., ... Laxminarayan, R. (2015) Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings*

- of the National Academy of Sciences, 112(18), 5649–5654. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503141112>
- Visvanathan, C. (2018) Water quality and security in Asia Pacific : What 3R and Circular Economy can Offer ?
 - Wang, S. X., Zhao, B., Cai, S. Y., Klimont, Z., Nielsen, C. P., Morikawa, T., ... Hao, J. M. (2014) Emission trends and mitigation options for air pollutants in East Asia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 6571–6603.
 - World Bank (2017) *Aquaculture Pollution: An Overview of Issues with a Focus on China, Viet Nam, and the Philippines*.
 - WWAP (United Nations World Water Assessment) (2015) *Facing the Challenges. Case Studies and Indicators*. Paris, UNESCO.
 - WWAP (United Nations World Water Assessment Programme) (2017) *Wastewater: The Untapped Resource. The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
 - Yuan, Xinhua; Chen, W. (2012) Use of veterinary medicines in Chinese aquaculture: current status. In M. G. Bondad-Reantaso, J. R. Arthur, & R. P. Subasinghe (Eds.), *Improving biosecurity through prudent and responsible use of veterinary medicines in aquatic food production* (p. 207). Food and Agriculture Organisation of the United Nations. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382188-1.00003-7>
 - Zhang, Y., Bleeker, A., and Liu, J. (2015) Nutrient discharge from China’ s aquaculture industry and associated environmental impacts. *Environmental Research Letters*, 10(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/4/045002>

第四章

生物多样性与工业

作者: *André Mader, Henry Scheyvens (IGES)*



Photo by Slavena Peneva on Unsplash

关键问题

- 我们正在经历第六次生物大灭绝，导致生物多样性丧失的原因有哪些（滥砍滥伐、气候变化、过度开采、土地利用变化、人类与自然失去联系、偷猎及狩猎）？预计亚太地区的情况如何？
- 生物多样性丧失若不改变，会对人类产生什么影响？
- 原地保护和迁地保护（自然公园、基因库、动物园等）能在多大程度上改善不可逆转的物种减少？
- 基因编辑、CRISPR 技术、人造组织、实验室培养肉类、人工光合作用等新技术纷纷涌现。这些新技术在应对生物多样性丧失中可以发挥什么作用？这些技术带来哪些潜在危险和机遇？
- 对工业有什么影响？我们能否设想这样的未来：由新兴产业复制（也许甚至改善）原本由大自然提供的许多生态系统服务？
- 对政府有什么影响？我们是否该开始设想一个 50/50 的世界（即自然环境占全球面积一半），还是应该接受工业替代某些因生物多样性丧失而消失或减少的生态系统服务？
- 要采取什么措施才能保障工业对环境负责，支持而非危害生物多样性？
- 工业生产如何与反映生物多样性关切的负责任消费联系起来？

本章中的“工业”大多指狭义上的工业，即：“在工厂中处理原料与加工制造产品的经济活动”（OUP 2018）。正如全球其他地区一样，亚太地区的工业对自然和生物多样性造成重大影响。工业尤其通过其产生的空气、水、土壤污染对生物多样性产生影响，还有其他一些新的影响途径，都将在本章进行阐述。与此同时，工业又依赖生物多样性提供的产品和服务。自然提供的上述许多贡献被发现并研究后可以进行人工复制。创新也催生出越来越多可能惠及生物多样性的设计方案。然而，依照目前的趋势发展下去，在自然对工业的潜在贡献完全消失之前，工业和技术很难完全取代这些贡献。

工业是生物多样性丧失的原因之一。全球范围内，生物多样性丧失的速度比起没有人类影响的预计背景速度快了一个数量级。人们认为，目前生物多样性丧失的速度堪比地球亿万历史前的五次生物大灭绝（Barnosky 等，2011 Leakey and Lewin 1992）。

亚洲各经济体正在迅速增长，仅中国、日本、韩国和印度就占全球研发投资的40%以上（Industrial Research Institute 2016）。亚太地区的陆地、淡水和海洋环境已经严重恶化，而且依照目前的发展趋势，环境将进一步恶化（Omar 2018）。依据照常情境，每年生物多样性和生态系统服务丧失可能造成5万亿美元损失（Omar 等 2018）。生物多样性丧失的主要直接原因是土地退化和改造、气候变化、污染、过度开发和外来入侵物种（Bustamante 等 2018）。在上述原因中，有些间接或部分与工业相关，有些则直接由工业造成。快速工业化带来的土地利用和土地覆被变化造成污染与

水土流失，导致土地资源退化（Bustamante 等 2018）。工业化地区燃烧化石燃料造成空气污染，导致森林损害。工业化已经造成大气氮含量增加，威胁一些地区的海洋环境（Busamante 等 2018）。水污染的主要来源是金属、造纸、纺织、食品和饮料生产、采矿业等工业部门（Busamante 等 2018）。仅在东南亚，水泥制造业的采石活动就威胁着约 30 个物种的存续（Clements 等 2006）。受塑料废物污染最严重的十条河流中，八条位于亚洲（Lebreton 等 2017）。然而，科学文献中反映社会和工业从自然非凡的多样性中获取材料和创意的医药和技术领域案例也比比皆是。

新的威胁正在显露。不幸的是，威胁生物多样性的不仅有既有问题，还有新的问题正在显露，如纳米材料的工业规模制造和使用。一些纳米材料可能会在植物和微生物中发生生物积累，也可能在食物链中积累（IPBES 2018; CDC-NIOSH 2014; Kwazo 等 2014; Scrinis 2006）。生物技术是另一项被认为威胁生物多样性的现代产物。生物技术虽已得到长足发展，但当前的迅猛发展加深了人们的忧虑。不过，生物技术的支持者认为，生物技术能为解决生物多样性面临的最严峻挑战提供方案，本章将就此进行详细探讨。

我们依然依赖生物多样性。生物多样性包括生态系统多样性、物种多样性和遗传多样性。生态系统及构成其生物组成部分的物种和基因为人类提供多种服务。这些服务通常称为“生态系统服务”，近期也称为“自然对人的贡献”（IPBES 2018）。这些服务，或者说贡献，包括原材料，例如建筑使用的加工木材，以及亚太许多发展中地区用于产生热量和能量的原木。还包括

水资源的供给和流量调节。水在所有工业制造过程中都不可或缺。水体为水生植物提供生长环境，后者有助于净化受工业污染的水资源。由于生活用水、制造业和火电产量不断增加，预计亚太地区的用水需求将增长 55%（IPBES 2018; ADB 2016）。

药物进步有赖于生物多样性。生物多样性中包含的遗传资源不断推动制药业产生更多、更好的药物。据估计，1982-2007 年全球推出的小分子新药中，至少 70% 来自自然来源，或受到自然来源的启发（WWF 2018; Newman 和 Cragg 2007）。

模仿自然的另一项有趣案例是人造光合作用。传统光合作用是指植物在水和阳光的作用下将空气中的二氧化碳转化为碳水化合物和氧气的过程。人工光合作用则是模仿传统光合作用的人工过程，通常是为了将阳光中的能量转化为燃料，是一种颇具前景的新技术（Fukuzumi 等 2018; El-Khouly 等 2017）。

动员工业的可持续发展转型是一项紧迫挑战。可持续发展转型作为应对生物多样性丧失并实现联合国可持续发展目标（SDG）的必由之路获得广泛认可。可持续发展转型的定义是社会技术体系为实现可持续发展而发生的根本性改变（Bijker 等 1987）。由于社会技术体系由各经济体的硬件、软件、社会、心理、政治、政策和法律体系等支柱构成（Whitworth 和 de Moor 2009），工业显然在可持续发展转型中具有关键作用。

技术转型极为复杂。从帆船到蒸汽轮船这样的技术转型的历史研究发现，创新技术要获得广

泛接受，不仅需要技术本身，还需要用户行为、监管、工业网络、基础设施和文化等因素的转变 (Geels 2002)。要促进可持续发展转型，需要改变不可持续的既有制度、发展先进的绿色市场并推动其成为主流的政策组合 (Smith 等 2010)。为促进工业进行可持续发展转型，机会、激励措施、管控措施、支持机制和跨部门政策协调都很重要。

可持续发展认证可以将负责任生产和消费联系起来。工业流程可持续发展的自愿认证有多种机制。例如，林业部门的多种认证机制能够减少天然林的大规模工业采伐对生物多样性和生态系统服务造成的损害，因此获得大力推广。有些认证机制要求对具有高保护价值的地区进行划定并保护，同时允许在其他地区进行“影响较小”的采伐。有证据显示，这些机制可以促进生物多样性的改善 (Dasgupta 2017)。有些认证机制通过产品标志让消费者能区分出哪些产品来自可持续发展来源，从而将负责任生产和负责任消费（可持续发展目标12）联系起来。

可持续发展的自愿认证机制已经有几十年历史，然而进展一直很缓慢，特别是在发展中国家。这在林业部门尤其明显，非洲、拉丁美洲、亚洲和大洋洲获得认证的森林面积仅占全球的15% (UNECE/FAO 2018)。认证制度发展缓慢的原因包括缺乏有吸引力的产品溢价从而难以抵消高额认证费用 (UNECE/FAO 2009)，以及对可持续发展没有需求的新市场持续存在并保持增长 (Scheyvens 等 2015)。

新技术能促进可持续发展认证。要让认证促进可持续发展转型向实现负责任消费和生产推进，必须重新思考其中的技术因素和认证概念本身。

在技术改进方面，因加密货币比特币而闻名的区块链技术也许能替代当前认证机制中用于管理并记录材料流动的产销监管链 (Figorilli 等 2018)。区块链是一种分散的分类账，因此任何人都能获得交易记录。这就让材料和产品的追踪能得到公开仔细检查，无需第三方监督。政府支持也有助于充分发挥认证机制的潜力。认证机制有助于政府在特定部门实现生物多样性与经济可持续发展目标，因此政府有动力推广认证机制。政府可以探索通过不同激励措施鼓励企业进行认证的可能性，如税收减免政策和对可持续材料和产品的公共采购政策。

废物和“培养建筑材料”可以用于建筑用途。亚太地区的废弃物产生量正在上升，废物管理不当已经导致生物多样性受损和生态系统退化 (Davies 等 2018)。与此同时，由于人口增长、城市化发展和财富增加，亚太地区的住房和其他建筑需求也在增长 (UNEP 2016)。将残渣作为建筑材料投入有助于减少废物对生物多样性的损害，同时应对住房问题。

生物质残渣是新型建筑材料的潜在来源。特别是粮食作物收获和农业产业流程中产生的残渣可能是纤维的重要潜在来源，能用于生产环境友好型建筑材料 (Hebel 和 Heisel 2017)。这一理念也得到多项生物复合材料研究的支持，研究证实生物复合材料能作为更环保、高质量的新型建筑材料。例如，在欧洲地区发展基金的资金支持下，材料科学家、建筑师、产品设计师、生产制造技术人员和环境专家开展合作，开发出一种用农业纤维原料制成的建筑立面包层新型材料。其中农业纤维原料来自小麦、玉米、水稻、燕麦、大麦和黑麦秸秆，最

多可占最终产品重量的90% (Dahy 和 Knippers 2017)。该项目开发出一种生物塑料颗粒，能够压制成板材并进行进一步加工。这种生物塑料板材能够用于制造灵活、可回收、可分解的高密度建筑纤维板。另一个例子是诺贝尔环境技术公司用森林废弃物、农业纤维、牛粪处理所得纤维、废弃纸张和纸板制造的亿歌 (ECOR) 复合板材。亿歌复合板材已经推向市场，许多全球品牌将这种板材广泛应用于一系列产业和领域中，希望借此促进品牌自身的环保认证。面板的应用领域包括宽幅印刷、家具设备和建筑内墙等 (<https://ecorglobal.com/>)。生产这种生物复合材料不需要高度依赖以石油为基础成分和添加剂，这就意味着这种材料在促进健康生活环境的同时，还能减少制造业和建筑物拆除产生的有害废物。

“培养建筑材料”也具有很多优势。“培养建筑材料”不仅指树木的生长，还包括建立专门育种场，微生物近来才发现能用于建筑业 (Hebel 和 Heisel 2017)。使用回收农业纤维和培养建筑材料有助于建筑产业摆脱对不可持续材料开采、损害生物多样性的开放系统，走向利用可再生可回收材料的闭环系统 (Hebel 和 Heisel 2017)。不同学科的科研人员、产品开发者和从业人员进行合作，可能是对回收农业纤维和培育建筑材料开展进一步研究最有成效的方法。要让生物复合材料促进建筑产业的可持续发展转型，除新产品的突破之外，还需要改良现有工业条件，以接受新材料和建筑方法。

合成生物多样性也在迅速发展。生物技术的迅速发展及其对生物多样性构成的潜在威胁促使各国政府通过了《生物多样性公约》卡塔赫纳生物安

全议定书 (CBD 2000)，旨在确保对凭借现代生物技术获得的、可能对生物多样性的保护产生不利影响的改性活生物体 (LMO) 进行安全转移、处理和使用，同时顾及对人类健康所构成的风险。最近，基因编辑和CRISPR 技术的发展再度引发此类担忧，最近三届《生物多样性公约》缔约方大会通过了关于合成生物学的一系列决定 (CBD 2014; 2016; 2018)。

合成生物学既带来极大希望，也引起重大忧虑。合成生物学的定义是“现代生物技术的进一步发展和新的层面，包括科学、技术和工程学，目的是促进和加快了解、设计、重新设计、制造和(或)改变基因物质、活生物体和生物系统” (CBD 2016)。合成生物学包括通过极其精准的编辑改变自然基因组 (Piaggio 等 2017)。一方面，合成生物学带来了对自然生物体进行“调整……以形成超越国家主权或土著民族的专利垄断”的可能性 (ETC Group 2010)。另一方面，合成生物学具备解决入侵物种等环保痼疾的潜力。例如，某些啮齿类物种造成数以百计的鸟类物种灭绝，特别是在动物物种更容易受到入侵新物种影响的岛屿上 (Blackburn 等 2004)。现有方法效果十分有限，而且已经证明会带来副作用。因此，正在进行的可行性研究将老鼠Y 染色体上的一个基因插入17 号染色体 (常染色体)，造成老鼠仅产生雄性后代，从而让岛上鼠类种群最终无法繁殖的可行性 (Piaggio 等 2017)。合成生物学的另外一项更具争议性的应用是灭绝物种复活 (de-extinction)，即对灭绝物种的相似物种进行基因编辑，加入灭绝物种的基因序列，从而“复活”灭绝物种 (Piaggio 等 2017; Redford 等 2014; Sutherland 等 2014)。

实验室培养肉类是应对畜牧业过度发展的潜在解决方案。实验室培养肉类是生物多样性为威胁自身的问题提供解决方案根源的一个例子。肉类生产，尤其是全球肉类需求推动的大型工业化农业生产，仅仅是其用地需求就对生物多样性造成重大影响。全球范围内，牲畜牧场的土地面积是人类直接消费作物面积的两倍。此外，畜牧业饲料消费占饲料作物产量的1/3 (Alexander 等 2017; Machovina 等 2015; FAO 2006)。土地使用的变化和畜牧业生产的其他方面都导致温室气体排放的显著增加 (FAO 2006)。由于上述因素，肉类消费成为重大环境问题，同时也是道德和健康问题。创新解决方案之一是用原物种的细胞在实验室里生产肉类。这种方法能带来土地使用量的显著减少及其他益处 (Stephens 和 Ruivenkamp 2016; Tuomisto 和 Teixeira de Mattos 2011)。实验室培养肉类的成本依然过于昂贵，生产一个汉堡肉饼的成本约为600美元。然而，仅仅五年前，这个数字还是34万美元 (Stephens 和 Ruivenkamp 2016)。在不远的未来，成本有望进一步降低至5美元。另一项意料之中的挑战是传统规范对于这种不同寻常的肉类替代品表现出的保守态度。不过，随着这种可负担替代品与不可持续且存在道德争议的食用动物养殖和屠宰行为日益形成鲜明对比，这种保守态度有望逐步改变。

工业影响：尽管成本的外部效应能够改善工业部门的短期“底线收益”，却减少了研发活动利用生物多样性的可能性，由此对工业乃至整个社会造成长期风险。生物多样性的“行星边界”可能已经被突破，如果工业生产体系和消费模式不发生根本性转变，脆弱的生态系统基本功能将开始分崩离析。全球气温上升幅度可能超过工业化前

水平1.5摄氏度 (IPCC 2018) 就是超过“行星边界”而造成严重后果的一个著名宏观例子。

政策影响：亚太地区人口数量和贫困人口数量分别占世界总量的60%和52%，地区经济增长速度是全球平均速度的两倍，亚太地区对于地球未来的重要性不容小觑。技术进步和经济发展若忽视生物多样性和生态系统保护，就难以带来人类福祉的改善和高品质的生活 (IPBES 2018)。政策制定者和工业部门需要携手合作，共同向更令人满意的发展情境转型。一方面，工业既会导致生物多样性丧失，也能产生有利于生物多样性保护的创新措施。另一方面，生物多样性推动工业创新，也为工业提供资源基础。二者之间相辅相成的重要关系及随之而来的风险和惠益都值得我们特别关注。

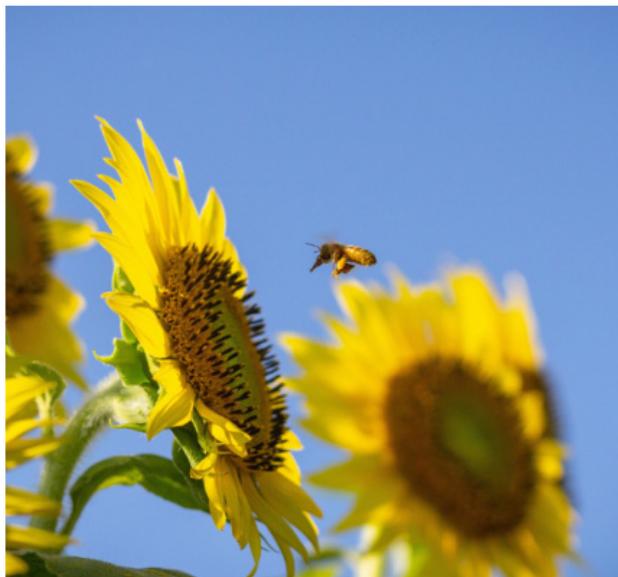


Photo by Bonnie Kittle on Unsplash

参考文献

- Alexander, P., C. Brown, A. Arneith, C. Dias, J. Finnigan, D. Moran, and M. D. A. Rounsevell. (2017) Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Global Food Security* 15:22–32. Elsevier. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912417300056> (accessed December 10, 2018).
- Asian Development Bank (2016) Asian Water Development Outlook; Strengthening Water Security in Asia and the Pacific. Asian Water Development Outlook.
- Barnosky, A. D. et al. (2011) Has the Earth’s sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471:51–57.
- Bijker, W. E., T. P. Hughes, and T. Pinch. (1987) *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Blackburn, T. M., P. Cassey, R. P. Duncan, K. L. Evans, and K. J. Gaston. (2004) Avian extinction and mammalian introductions on oceanic islands. *Science* 305:1955–1958.
- CBD (2000) Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity.
- CBD (2014) Decision XII/24: New and emerging issues: synthetic biology.
- CBD (2016) Decision XIII/17: Synthetic biology.
- CBD (2018) CBD/COP/14/L31: Synthetic biology.
- CDC-NIOSH (2014) Filling the Knowledge Gaps for Safe Nanotechnology in the Workplace. Available from <http://www.cdc.gov/niosh>.
- Clements, R., N. S. Sodhi, M. Schilthuizen, and P. K. L. Ng. (2006) Limestone Karsts of Southeast Asia: Imperiled Arks of Biodiversity. *BioScience* 56:733–742.
- Dahy, H., and J. Knippers. (2017) Biopolymers and Biocomposites Based on Agricultural Residues. Pages 116–123 *Cultivated Building Materials: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction*. Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, Switzerland.
- Dasgupta, S. (2017) Does forest certification really work?
- Davies, K. et al. (2018) Chapter 2: Nature’s contributions to people and quality of life. Page in M. Karki, S. Senaratna Sellamuttu, S. Okayasu, and W. Suzuki, editors. *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Asia and the Pacific*. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem services, Bonn.
- El-Khouly, M. E., E. El-Mohsnawy, and S. Fukuzumi. (2017) Solar energy conversion: From natural to artificial photosynthesis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 31:36–83.
- ETC Group (2010) Synthetic biology: creating artificial life forms. Briefing and

- recommendations for CBD delegates to COP 10. Available from http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/pdf_file/ETC_COP10SynbioBriefing081010.pdf.
- FAO (2006) Livestock's Long Shadow - Environmental Issues and Options. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
 - Figorilli, S. et al. (2018) A Blockchain Implementation Prototype for the Electronic Open Source Traceability of Wood along the Whole Supply Chain. *Sensors* 18:1–12.
 - Fukuzumi, S., Y.-M. Lee, and W. Nam. (2018) Mimicry and functions of photosynthetic reaction centers. *Biochemical Society Transactions:BST20170298*. Available from <http://www.biochemsoctrans.org/content/early/2018/10/06/BST20170298.abstract>.
 - Geels, F. W. (2002) Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes; a multi-level perspective and a case-study.pdf. *Research Policy* 31:1257–1274.
 - Gundimeda, H. et al. (2018) Chapter 5: Current and future interactions between Nature and Society. Page in W. Karki, M., Senaratna Sellamuttu, S., Okayasu, S., Suzuki, editor. The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Asia and the Pacific. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem services, Bonn.
 - Hebel, D. E., and F. Heisel. (2017) *Cultivated Building Materials: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction*. Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, Switzerland.
 - Industrial Research Institute. (2016) 2016 R&D trends forecast: Results from the Industrial Research Institute's Annual Survey.
 - IPBES (2018) Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Asia and the Pacific of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Page (M. Karki et al., editors). IPBES Secretariat, Bonn, Germany.
 - IPCC (2018) Summary for Policymakers. In: *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*. Page (V. Masson-Delmotte et al., editors). World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
 - Joy, M. (2017) Our deadly nitrogen addiction. *The New Zealand Land and Food Annual*:119–130.
 - Kwazo, H. A., M. U. Muhammad, G. Tafida, and S. Mohammed. (2014) Environmental Impact of Technologies. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies* 3:83–86.
 - Leakey, R., and R. Lewin. (1992) *The Sixth Extinction: Patterns of Life and the Future of Humankind*, 6th edition. Doubleday.
 - Lebreton, L. C. M., J. van der Zwet, J.-W. Damsteeg, B. Slat, A. Andrady, and J. Reisser. (2017)

- River plastic emissions to the world' s oceans. *Nature Communications* 8:15611. The Author(s). Available from <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>.
- Machovina, B., K. J. Feeley, and W. J. Ripple. (2015) Biodiversity conservation: The key is reducing meat consumption. *Science of The Total Environment* 536:419–431. Elsevier. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715303697> (accessed December 10, 2018).
 - Newman, D. J., and G. M. Cragg. (2007) Natural Products as Sources of New Drugs over the Last 25 Years. *Journal of Natural Products* 70:461–477. American Chemical Society. Available from <https://doi.org/10.1021/np068054v>.
 - Oxford Dictionaries (2018) Available from <https://en.oxforddictionaries.com/definition/industry>.
 - Piaggio, A. J. et al. 2017. Is It Time for Synthetic Biodiversity Conservation? *Trends in Ecology & Evolution* 32:97–107. Elsevier Current Trends. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534716301975> (accessed December 10, 2018).
 - Redford, K. H., W. Adams, R. Carlson, G. M. Mace, and B. Ceccarelli. (2014) Synthetic biology and the conservation of biodiversity. *Oryx* 48:330–336. Cambridge University Press. Available from http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0030605314000040 (accessed December 10, 2018).
 - Scheyvens, H., F. Lopez-Casero, and T. Fujisaki. (2015) Sustainable management of natural forests in the Asia-Pacific region: Implications of regional economic integration and measures to avoid potential environmental harm. Pages 79–98 in IGES, editor. *Greening Integration in Asia: How Regional Integration Can Benefit People and the Environment*. IGES, Hayama.
 - Scrinis, G. (2006) Nanotechnology and the Environment: The Nano-atomic Reconstruction of Nature. *Chain Reaction* 97:23–26.
 - Smith, A., J. Voß, and J. Grin. (2010) Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges. *Research Policy* 39:435–448.
 - Stephens, N., and M. Ruivenkamp. (2016) Promise and Ontological Ambiguity in the In vitro Meat Imagescape: From Laboratory Myotubes to the Cultured Burger. *Science as culture* 25:327–355. Routledge. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27695202>.
 - Sutherland, W. J. et al. (2014) A horizon scan of global conservation issues for 2014. *Trends in Ecology & Evolution* 29:15–22. Elsevier Current Trends. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534713002772> (accessed December 10, 2018).
 - Tuomisto, H. L., and M. J. Teixeira de Mattos. (2011) Environmental Impacts of Cultured Meat Production. *Environmental Science & Technology* 45:6117–6123. American Chemical Society. Available from <https://doi.org/10.1021/es200130u>.

- UNECE/FAO (2009) Forest products annual market review 2008-2009. United Nations Economic Commission for Europe, Geneva.
- UNECE/FAO (2018) Annual Market Review 2017-2018 Forest Products. United Nations Economic Commission for Europe, Geneva.
- UNEP (2016) GEO-6 Regional Assessment for Asia and the Pacific. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- Whitworth, B., and A. de Moor. (2009) Handbook of Research on Socio-Technical Design and Social Networking System.
- Wu, N. et al. (2018) Chapter 4: Direct and indirect drivers of change in biodiversity and nature's contributions to people. Page in W. Karki, M., Senaratna Sellamuttu, S., Okayasu, S., Suzuki, editor. The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Asia and the Pacific. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem services, Bonn.
- WWF (2018) Living Planet Report 2018.



第二部分 新出现工业污染物

第五章

电子废物

作者：李金惠，谭全银（清华大学）； Nguyen Trung Thang (ISPONRE)



Photo by Elahe Motamedi on Unsplash

关键问题

- 电子废物（WEEE）作为亚太地区的主要环境问题已经出现了多长时间？亚太地区是如何处理电子废物问题的？这些处理方法带来了哪些环境问题？
- 对电子废物数量的未来预测是多少？回收行业是否能够以无害环境的方式处理这一数量？
- 现有的电子废物处理方法在技术和组织上有哪些替代方案，例如生态设计，可修复产品，进一步小型化，区域加工中心，回收需求，新材料等？
- 对工业有何影响？工业界应该开辟新的业务来翻新旧的电子设备吗？这一行业是否应更改其设计参数来将废弃问题纳入考虑？
- 政府会不会受到牵连？禁止进口电子废物这一措施是否足够？还有其他什么需要政府去落实的？

电子废物的定义与分类。电子废物又称为废弃电器电子产品、报废电子电气设备，是废弃不用的电器和电子设备及其零件。电子废物可分为六类：

- 温度控制设备（冰箱、冷冻库、空调、热泵等）；
- 屏幕与显示设备（电视机、显示器、手提电脑、笔记本电脑、平板电脑等）；
- 灯具（荧光灯、紧凑型荧光灯、高压气体放电灯、LED灯等）；
- 大型设备（洗衣机、干衣机、洗碗机、电炉、大型打印机、复印机、光伏板等）；
- 小型设备（吸尘器、微波炉、通风设备、烤面包机、电热水壶、电剃须刀、电子秤、计算器、收音机、摄影机、电动电子玩具、小型电动电子工具、小型医疗器材、小型监测与控制工具等）；
- 小型信息通信设备（包括手机、GPS设备、便携式计算器、路由器、个人电脑、打印机、电话等）（Baldé等2015）。

亚太地区的快速工业化和中产阶级人口增加导致电子电器设备的消费量增加、使用寿命缩短。随着亚太地区工业化进程提速，中产阶级

人口也同步增长，往往不等旧有产品报废就会更换最新产品。亚太地区是全球最大的电子电器设备生产制造地和市场。例如，印度手机用户人数从2001年的3.1亿增长至2016年的11亿，将近美国手机用户人数的四倍，仅次于中国（13亿）（Herat 2018）。2012年，亚洲消费电子电器设备的总重量达2669万吨，占全球市场的50%（Honda等2016）。信息通信技术的快速发展也导致电子电器设备消费迅速增长及产品使用寿命缩短。电子电器设备平均使用寿命预计为4.5-7.5年，其中手机、智能手机和平板电脑的使用寿命更短，仅为4-5年（表5.1）。

表 5.1 2014 年电子电器设备预计使用寿命

电子电器	平均寿命 (年)
平板电视机	7.4
数码相机	6.5
DVD 播放机或录像机	6.0
台式电脑	5.9
蓝光播放机	5.8
电子游戏机	5.7
笔记本电脑	5.5
平板电脑	5.1
非智能手机	4.7
智能手机	4.6

来源: Kumar 等 (2017)

亚洲产生的电子废物数量居全球首位。GDP 和人均收入更高的国家通常产生的电子废物也更多（Kumar 等 2017）。2014 年，全球电子废物产生量约为4180万吨，相当于人均5.8千克；2016 年增长至4470万吨，相当于人均6.1



备注: 2017-2021 年为估算量

图 5.1 2014-2021 年全球电子废物产生量

来源: Baldé 等 (2017)

千克。预计2018年将增长至总量5000万吨（人均52.2千克），2021年将增长至总量5220万吨（人均6.8千克）（Baldé等2015；Baldé等2017）（图5.1）。2016年，亚洲电子废物总量居全球首位（40.7%），达1820万吨。2016年亚洲人均电子废物产生量（4.2千克）则略低于全球水平。

在亚太地区，中国、日本、印度的电子废物产生量最高，因为这三个国家是电子产品生产大国，2016年电子产品绝对产量分别为720万

表 5.2 亚太地区部分国家电子废物产生量

国家	2016 年产生电子废物 (千克/人)	2016 年产生电子废物 (千吨)
中国	5.2	7,211
日本	16.9	2,139
印度	1.5	1,975

国家	2016年产生电子废物(千克/人)	2016年产生电子废物(千吨)
印度尼西亚	4.9	1,274
韩国	13.1	665
伊朗	7.8	630
澳大利亚	23.6	574
泰国	7.4	507
巴基斯坦	1.6	301
菲律宾	2.8	290
马来西亚	8.8	280
伊拉克	6.1	221
孟加拉	0.9	142
越南	1.5	141
新加坡	17.9	100
新西兰	20.1	95

来源: Baldé 等 (2017)

吨、210万吨和190万吨(Baldé等2017; Modak等2017)。2016年,太平洋地区电子废物产生总量为70万吨,其中澳大利亚最多,共产生57万吨电子废物,人均产生23.6千克(表5.2)。亚太地区电子废物产生量呈增加趋势。东亚和东南亚的电子废物产生量在2010年-2015年间增加了63%,其中中国电子废物总量翻了一番,2015年达670万吨(Honda等2016),预计2020年将达1550万吨,2030年将达2840万吨(Zeng等2015)。

未来二十年,废弃光伏电池板和电动汽车动力电池将成为新出现的电子废物问题。为抗击气候变化和空气污染,全球太阳能光伏电池板和电动汽车经历了迅速增长。国际可再生能源机构(IRENA)数据显示,2015年太阳能光伏装

机容量达222吉瓦,到2050年将达到4500吉瓦(图5.1),装机容量最大的五个国家中有三个位于亚太地区——中国(1731吉瓦)、印度(600吉瓦)和日本(350吉瓦)。随着光伏市场的发展,废弃光伏组件也将增加,而且由于市场主导产品价格越来越低,废弃物产生的时滞也会越来越短。2016年,全球废弃光伏组

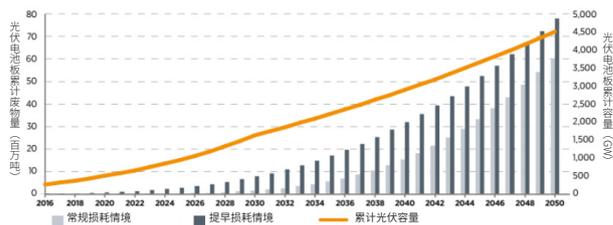


图 5.2 2016-2050 年光伏电池板累积容量及废弃量

来源: IRENA and IEA-PVPS (2016)

件累计约在4.35万至25万吨之间,占光伏电池板累积安装总量(400万吨)的1%-6%。尽管目前废弃光伏组件仅占电子废物总量的一小部分,但是光伏电池板的平均使用寿命为30年并且仍在缩短,因此废弃光伏组件从本世纪30年

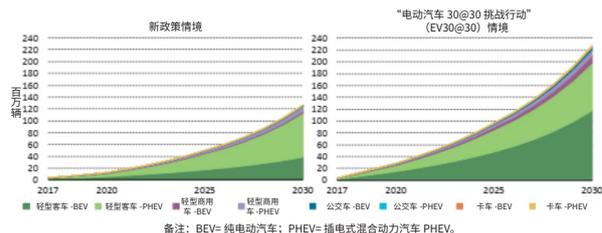


图 5.3 2017-2030 年全球电动汽车保有量的两种情境

来源: IEA 2018

代初起将会成为新出现的电子废物问题。预计2030年废弃光伏组件累计将在170-800万吨之间，2050年增长至6000-7800万吨之间（图5.2）。到2050年年底，中国、日本和印度的废弃光伏组件累计总量将分别达到2000万、750万和750万吨（IRENA和IEA-PVPS 2016），由此成为亚太地区紧迫的电子废物问题。

在电动汽车废弃电池方面，全球电动汽车数量正在日益增加。国际能源机构（IEA）数据显示，全球电动汽车保有量从2013年的约40万辆增长到2017年的超过300万辆。2016年全球电动汽车销售量为75万辆，预计到2030年将达2440万辆，主要集中在中国和美国（Drabik和Rizos 2018）。电动汽车保有量迅速增长，2030年保有量将在1.2-2.2亿辆（图5.3），电动汽车的废弃电池数量也随之迅速增加。据估计，到2020年，必须进行处理或回收的电动汽车废弃电池约为25万吨。然而，电动汽车电池（特别是锂离子电池）的回收技术仍未得到充分发展，不久之后将成为重大问题（Zhang等2018）。

亚太地区是全球电子废物的两大目的地（或者说处理中心）之一。由于劳动力廉价、缺乏监管和执法不力，发达国家产生的电子废物中80%最终流入亚太地区和非洲（Alam和Carandang 2016）。在亚洲，日本和韩国是电子废物出口国，柬埔寨、中国、印度、印度尼西亚、马来西亚、菲律宾、泰国和越南等其他国家是电子废物进口国，往往假借原材料、回收再利用材料、慈善材料和报废材料的名义非法进口电子废弃物（Tran和Salhofer 2018）。这些电子废物进口国已经着手采取措施应对这

一问题。

中国到2018年年底已全面禁止进口用于回收钢、铁、铜、铝的废五金电器（主要包括废电机和废电线电缆）（WRRRA 2018）。在此之前，印度于2015年禁止进口了电子废物（Goel 2015）。这一政策可能倒逼美国、欧盟、日本和澳大利亚等传统电子废物出口国家和地区加强自身回收处理能力和措施。另一方面，与中国邻近的越南、马来西亚、柬埔寨和泰国在打击电子废物非法跨境流动中也面临各自的挑战。

电子废物给人类健康带来有害影响。电子废物含有塑化剂、铅、汞、镉、砷等多种有毒有害物质，对人类健康造成很大危害。非正规电子废物回收使用最原始的回收技术，放大了健康风险，尤其是直接参与回收处理的人员。电子废物处理过程中释放的重金属会导致一系列急性和慢性健康问题，包括癌症、呼吸系统不适、生殖问题以及肺部、心血管和尿道感染或疾病等（Awasthi等2018; Vats和Singh 2014; McAllister 2013）。例如，对中国电子废物回收拆解场（浙江台州、广东贵屿和清远）的研究表明，当地居民的潜在污染物每日摄入量高于控制对照地区居民。当地居民的组织样本中检测出电子废物回收过程中产生的多溴联苯（PBB）、多溴联苯醚（PBDE）、多氯联苯（PCB）、二恶英（PCDD/F）、重金属等污染物（Song和Li 2014a, b）。在越南东梅的铅回收村，所有接受检查的儿童都检测出血铅水平过高，需要进行紧急治疗（Daniel等2015）。应当注意的是，电子废物及其处理过程的危害性的相关知识依然十分有限，存在空

表 5.2 电子产品和矿石中的金属含量

产品	铜 (wt%)	银 (ppm)	金 (ppm)	钽 (ppm)
电视机 电路板	10	280	20	10
印制电路板	20	1000	250	110
手机	13	3500	340	130
废弃便携式 音乐播放器	21	150	10	4
废弃 DVD 播放机	5	115	15	4
电子产品 平均值	13.8	1009	127	51.6
矿石	0.6	215.5	1.01	2.7

备注：ppm= 百万分比浓度

来源：Kumar 等 2017

白 (Ikhlayel 2018)。

电子废物的处理过程还会对环境造成有害影响，回收不当会造成自然资源流失。电子废物及其处理过程释放的有毒排放物与未受污染的土壤和空气混合，对整个生物区系造成直接或间接损害。直接影响包括释放酸性物质、包括重金属在内的有毒化合物、致癌化学物质，间接影响包括重金属的生物放大作用 (Sankhla 等 2016)。

资源的回收利用为电子废物的有效回收提供了动力。电子废物中含有铁、铜、铝、塑料、金、银、铂和钽等材料 and 贵金属。电子废物中的金属含量很多时候远远超过矿石的金属含量 (表5.2)。例如，2014 年电子废物中的含金量约为300 吨，相当于2013 年黄金开采量的

11% (Herat 2018)。2016 年电子废物所含全部原材料的总价值约为550 亿欧元，但未能得到完全回收并在经济中重复利用 (Baldé 等 2017)。到2030 年，从光伏电池板中回收的材料累计价值可达4.5 亿美元 (以2016 年价格计算)，相当于当前新光伏电池板生产所需原材料的60%；到2050 年，累计价值可高达150 亿美元 (IRENA and IEA-PVPS 2016)。电子废物回收还能更好地利用镓和铟等自然界中非常稀有的元素，并且与纯净原材料相比可显著节约能源 (Kumar 等 2017)。因此，电子废物管理不当会导致材料回收率低，从而造成自然资源 (贵金属) 的流失 (Maheshwari 等 2013)。

电子废物存量缺乏数据统计。全球记录在册的电子废物收集和回收量仅有890 万吨，仅占电子废物产生量的20%。其余的80% (3580 万吨) 电子废物没有记录，情况无从知晓，但很有可能被丢弃、交易或是在恶劣条件下进行回收。仅有41 个国家有电子废物的官方统计数据，另外有16 个国家开展研究并对电子废物数量进行估算，其余国家将电子废物作为普通垃圾进行管理 (Baldé 等 2017)。在亚太地区许多发展中国家，电子废物的非法进口导致“统计数据与事实之间仍存在巨大差距” (Tran 和 Salhofer 2018)。此外，许多国家缺乏建立电子废物数据库的标准化估算方法 (Ikhlayel 2018)，导致电子废物清点工作不力或是未进行清点。

发达国家的电子废物处理较为先进，与此同时发展中国家的非正规回收部门在电子废物处理中发挥关键作用，但也造成环境污染。亚太地

区各国的电子废物管理水平不尽相同，可分为四类。日本、韩国等为数不多的几个国家拥有“先进的电子废物管理”，新加坡等一些国家开展“自愿回收处理”，马来西亚、菲律宾、越南等一些国家正处于“转型阶段”，柬埔寨、印度尼西亚和泰国等国家开展“非正规回收处理”（Honda等2016）。

电子废物管理包括收集、回收和处理。发达国家的电子废物收集通常通过正规回收系统开展，发展中国家则往往依靠非正规回收商进行。在日本和韩国这样的发达国家，正规回收系统通过路边回收点、城市回收点、零售商或商业收件服务回收电子废物，然后运送到采用高科技正规处理中心（Kumar等2017）。例如，2016年，日本通过正规回收系统回收了54.64万吨电子废物，澳大利亚12.2万吨废旧电视机中有35%得到回收利用，比例较2008年的9%显著提高（Baldé等2017）。2015年，中国通过正式渠道回收的电子废物（包括电视机、冰箱、洗衣机、空调和微型计算机，TRWAC）共7140万台，占中国大陆废弃总量44%左右。2012年，该数量和百分比分别仅为99万台和6.97%（Tan等2018）。

电子废物的回收技术包括两个处理阶段：

1. 预处理：拆卸拆解设备，移除有害零部件，经过拆解、破碎、机械分离等步骤，将材料分为金属、玻璃、塑料几类；
2. 处理处置：通常使用火法、湿法或生物等冶金处理方法回收铜、金、银、钯等金属（Tran和Salhofer 2018; Kumar等2017）。

发展中国家倾向于依靠非正规回收部门。在中国、印度、巴基斯坦、越南、菲律宾等发展中国家，大部分电子废物由非正规部门进行收集。例如，越南的私人回收商回收电子废物并将其分为以下几类：

1. 重复使用设备；
2. 翻新设备；
3. 回收利用设备。

收集电子废物之后，进行拆解或翻新，把能够重复使用的零部件分离出来，不能重复使用的零部件则送到回收处理厂（Thang和Anh 2016）。电子废物的非正规回收处理普遍在没有资质的作坊或村民家中使用初级技术进行。这些回收处理点往往通过露天焚烧或是土锅炉回收铅和铜，同时使用酸萃取法从印制电路板（PCB）中提取金、铂、钯、银等贵金属（Ikhlayel 2018; Vats和Singh 2014）。这种非正规电子废物回收以小型集群形式集聚在特定城市内部及周围，例如印度德里和班加罗尔，越南Dong Mai、Te Lo、Trang Minh Ngu Xa等回收村和泰国加拉信府农村地区（Tran和Salhofer 2018）。

印度电子废物的95%以上由无组织的非正规回收部门通过不科学的技术进行处理（Herat 2018）。不过，中国近期通过国家级试点项目和自愿集体倡议对电子废物回收进行规范化，截至2018年底，中国有109家废弃电器电子产品处理企业列入基金补贴名单，处理能力1.61亿台（电视机、冰箱、洗衣机、空调和微型计算机）。2017年列入名单的处理企业拆解7990万台（废弃电器电子产品数量达到中国生态环境部，2018年）。2016年太平洋岛国电

子废物正规回收率为0，电子废物管理主要采取非正规渠道。由于地理特点和经济、物流及土地限制，大量电子废物堆积成山，亟待处理（Baldé等2017）。

亚太地区多个国家建立了生产者延伸责任制度，但实施情况不尽相同。全球范围内，对电子废物管理进行专门监管或立法的国家数量近年来有所增加，但还有许多发展中国家尚未制定此类法律法规（Baldé等2017）。生产者延伸责任制度是电子废物管理的有用工具，然而这项制度在发展中国家依然受到有形基础设施不足、意识薄弱和执行不力等因素掣肘（Hotta等2008）。在亚太地区，日本和韩国已经针对关键电子废物流建立起切实有效的生产者延伸责任制度，并通过坚实的监测和执行框架予以支持。中国、印度、越南、印度尼西亚等国开始制定生产者延伸责任项目，但尚未全面实施。马来西亚和泰国也开始实施电子废物的生产者延伸责任，不过通常依靠生产者的自主参与（OECD 2014）。太平洋岛国的生产者延伸责任尚未普及，只有新喀里多尼亚实施了电子废物的生产者延伸责任制度，由非营利性环境组织TRECOCODEC进行管理（Baldé等2017）。

亚太地区尚未充分意识到新出现的废弃光伏组件和电动汽车废旧电池问题。直到2016年，还没有一个亚太地区国家出台针对废弃光伏组件的专门监管法规，废弃光伏组件仍然作为一般废物或工业废物（IRENA和IEA-PVPS 2016）。考虑到不久的将来这些新出现电子废物的庞大数量，目前这种情况必须改变。

工业影响。

发展中国家应当推动环境化设计和正规回收企业。信息通信技术产业应当增强环境化设计，用易于维修和/或回收的产品以及环境友好型材料替代有毒材料。亚太地区应当对所有电子电器设备确立并协调材料使用标准。中国、印度、越南等发展中国家作为电子废物热点地区，应当通过建立现代化回收厂并实施电子废物回收网络，解决电子废物处理系统的规范化问题（Feng等2013）。

政策影响。

废弃物非法进口应当得到管控，与此同时应当推行电子废物目录和生产者延伸责任制度。亚洲发展中国家应当采取更严格措施，管控电子废物等废弃物的非法进口，防范相关的环境风险。应建立国家级电子废物监测或调查统计体系，为政策和战略的制定提供有效支撑。在电子废物估算或调查中，应当综合销量报废法、调查按比例增加法、混合销量报废法、贸易数据法和质量平衡法（Kumar等2017）等方法，并为所有利益攸关方提供关于估算或调查方法的详细指导。

亚太地区各发展中国家的政府应当考虑就电子废物管理进行设计、政策制定及成功立法。应当特别关注生产者延伸责任制度，并考虑以下几条原则：

1. 目标应当聚焦保护环境和人类健康；
2. 应当清晰界定消费者、生产者或进口商、生产者回收机构等利益攸关方的作用和责任；
3. 应当得到有效执行；
4. 制度应当清晰透明，明确收取费用的去向（Perry等2018）。

此外，应当在生产者延伸责任制度或专门政策的框架下出台废弃光伏组件管理的专门规定，并且应当进一步提高电动汽车电池的回收技术。

应当为电子废物处理从业人员提供健康保护。应当开展调查并制定政策措施，保障电子废物处理从业人员的健康保护，并且增强公众对电子废物管理及其健康影响的意识。

应当促进有利于改善电子废物管理的地区合作，特别关注太平洋岛国。中国、印度和越南等发展中国家若要落实最先进的处理技术、最好的管理措施和有效的政策，国际合作将发挥十分重要的作用。应当促进电子废物统计数据全球伙伴关系等地区项目及其他技术转移项目。这些地区项目对于太平洋岛国尤其重要，因为在气候变化、海平面上升的预期下，太平洋岛国的经济、物流和土地利用面临诸多限制。太平洋岛国应当探索并建立移动式回收设施、便携式回收系统和地区回收中心等模式。

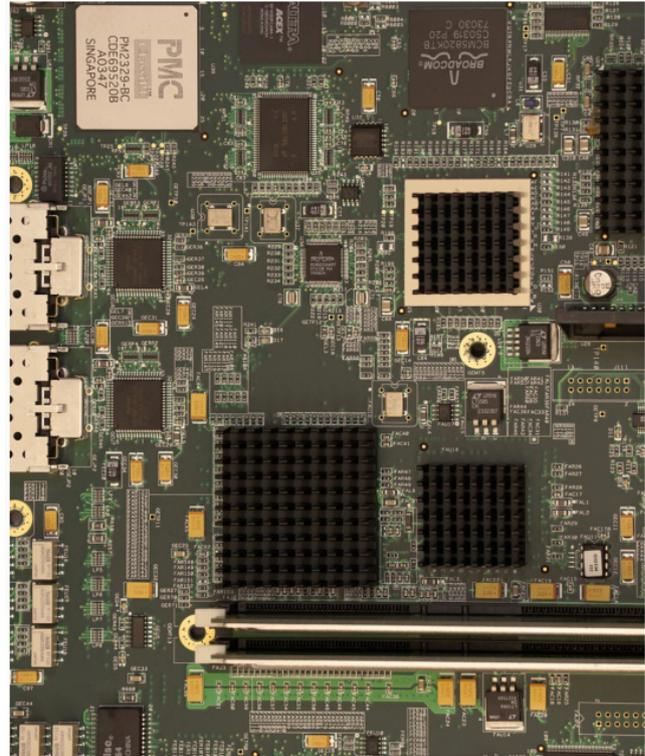


Photo by Bartosz Kwitkowski on Unsplash

参考文献

- Alam Z. and Carandang J. (2016) The impact of e-waste toxicity - An emerging global challenge, International Journal of cell science, volume 1, issue 1, 2016.
- Awasti A., Wang, M., Awasthi, M., Wang, Z., Li, J. (2018) Environmental pollution and human body burden from improper recycling of e-waste in China: A short-review, Environmental Pollution, 243 (2018) 1310-1316.
- Baldé, C., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J. (2015) The global e-waste monitor – 2014, United Nations University, IAS-SCYCLE, Bonn, Germany.
- Baldé, C., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P. (2017) The global e-waste monitor – 2017, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.
- Daniel W., Van Tung L, Wallace R., Havens D., Karr C., Bich Diep N., Croteau G., Beaudet N., Duy Bao N. (2015) Childhood lead exposure from battery recycling in Viet Nam, Biomed Res Int. doi:10.1155/2015/193715.
- Drabik, E. and Rizos, V. (2018) Prospects for electric vehicle batteries in a circular economy, Research Report, No 2018/05, July 2018. https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/circular_economy_impacts_batteries_for_evs.pdf, accessed on November 23, 2018.
- Honda, S., Sinha Khetriwal, D., Kuehr, R. (2016) Regional e-waste monitor: East and Southeast Asia, United Nations University ViE-SCYCLE, Bonn, Germany; <http://ewastemonitor.info/pdf/Regional-E-Waste-Monitor.pdf>.
- Herat, S. (2018) Background paper on 3R technologies for WEEE, VIII Regional 3R Forum in Asia and the Pacific, 9-12 April 2018, Indore, Madhya Pradesh, India.
- Hotta Y., Hayashi, S., Bengtsson, M., Mori, H. (2008) Extended producer responsibility policy in East Asia in consideration of international resource circulation. IGES, Hayama, Japan.
- Ikhlayel M. (2018) An integrated approach to establish e-waste management systems for developing countries, Journal of Cleaner Production 170 (2018) 119-130.
- International Energy Agency (IEA) (2018) Global EV outlook 2018: Toward cross-modal electrification, 2018.
- IRENA and IEA-PVPS (2016) End-of-life management: Solar photovoltaic panels, 2016; http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_ieapvps_end-of-life_solar_pv_panels_2016.pdf
- Kumar, A., Holuszko, M., Espinosa, D. (2017) E-waste: A review on generation, collection, legislations and recycling practices, Resource, Conservation and Recycling, 122 (2017) 32-42.

- Maheshwari R., Rani, B., Singh, U. (2013) Dribble of e-waste: It's impact on human health and management strategies for sustainable development, Research Journal of Chemical and Environmental Sciences Volume 1 Issue 2 (June 2013): 03-16.
- OECD (2014) The state of play on extended producer responsibility (EPR): Opportunities and challenges, Global Forum on Environment: Promoting Sustainable Materials Management through Extended Producer Responsibility (EPR), Tokyo.
- Perry, J., Smit, E., Kuehr, R., Döfnäs, P., Murillo, C., Toorens, B., Gunsillius, E., Hinchliffe, D., Rakowski, M., Linnell, J. (2018) Developing legislative principles for e-waste policy in developing and emerging countries; Solving the e-waste problem, Step White Paper, United Nations University, 21.02.2018.
- Prasad, M., Pariatamby, A., Seadon, J., Bhada-Tata, P., Borongan, G., Thawn, N., Lim, M. (2017) Asia Waste Management Outlook.
- Sankhla M., Kumari, M., Nandan, M., Mohril, S., Singh, G., Chaturvedi, B., Kumar, R. (2016) Effect of electronic waste on environmental and human health; A review, IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT), Volume 10, Issue 9 Ver. I (Sep. 2016), PP 98-104.
- Song, Q. and Li, J. (2014a) A systematic review of the human body burden of e-waste exposure in China, Environment International, 68, 82-93.
- Song, Q. and Li, J. (2014b) Environmental effects of heavy metals derived from e-waste recycling in China: A systematic review, Waste Management, 34, 2587-2594.
- Thang, N. and Anh, D. (2016) E-waste management and resource recovery in Viet Nam, Proceedings of the 6th International Waste Management Conference, Jadavpur University, India, Springer, 11/2018.
- Tran, C. and Salhofer, S. (2018) Analysis of recycling structures for e-waste in Viet Nam, Journal of Material Cycles and Waste Management (2018) 20:110–126
- Vats M. and Singh, S. (2014) E-waste characteristic and its disposal, International Journal of Ecological Science and Environmental Engineering. Vol. 1, No. 2, 2014, pp. 49-61.
- Wang, F., Kuehr R., Ahlquist D., Jinhui, L. (2013) E-waste in China: A country report.
- Washington Refuse & Recycling Association (WRRRA) (2018) Comprehensive list of banned materials under National Sword, 2018. <https://www.wrra.org/wp-content/uploads/2018/04/WRRRA-Comprehensive-China-Ban-List.pdf>, accessed on October 14th, 2018.
- Zeng, X., Gong, R., Chen, W., et al. (2015) Uncovering the recycling potential of 'new' WEEE in China. Environmental Science & Technology 50:1347–1358.
- Zhang, J., Li, B., Garg, A., Liu, Y. (2018) A generic framework for recycling of battery module for electric vehicle by combining the mechanical and chemical procedures, International Journal of Energy Research, 3/2018.

第六章

微塑料与纳米材料

作者: Peter King (IGES); 李金惠, 赵娜娜, 王佳佳 (清华大学); Nguyen Trung Thang (ISPONRE)



Photo by rawpixel on Unsplash

关键问题

- 塑料对现代社会的贡献随处可见，为什么塑料污染和微塑料的使用却成为新出现问题？
- 纳米材料有许多新用途，但是否有证据表明纳米材料可能对环境造成负面影响？
- 微塑料和纳米材料是如何进入环境的？为什么废水处理厂不能去除这些物质？
- 海洋和淡水环境中的微塑料会造成哪些重大环境问题？
- 为控制微塑料和纳米材料可能带来的危害，必须采取哪些控制措施？

塑料很有价值，而且无处不在。现代世界一直以来都是“塑料纪元”，塑料给社会的方方面面带来了许多惠益。不幸的是，正是由于塑料最具价值的主要优势和耐用，塑料也成为世界上最持久的污染物，在垃圾填埋场、农田、森林、溪流、湖泊和海洋中不断累积（Barnes 等 2009）。自从 20 世纪早期塑料的大规模生产出现后，累计生产塑料制品约 83 亿吨，超过大多数其他人造材料（Geyer 等 2017）。每年，塑料制品总产量约为 3.35 亿吨（Plastic Europe 2017），预计到 2035 年产量将翻一番，到 2050 年接近翻两番（World Economic Forum 2016）。石油产量的约 8% 用于制造塑料，其中 1/3 为塑料包装，绝大部分是一次性包装，很容易丢弃（Thompson 等 2009）。1950 年至 2015 年累计产生塑料废物 63 亿吨，其中仅有 9% 得到回收利用，其余大部分进入垃圾填埋场或是累积在海洋等脆弱的生态系统之中（Geyer 等 2017）。每年，从陆地来源流入海洋的塑料制品约为 480 万-1270 万吨（Jambeck 等 2015），每年造成的海洋生态系统损害超

过130亿美元 (Thevenon 等2014; UNEP 2014a, b)。

大型塑料正在杀死许多海洋动物。已经发现数以百计的海洋物种都摄入了塑料颗粒，可能是因为它们误将塑料制品当成食物。由于海洋垃圾与自然捕食猎物的视觉相似性，海龟往往会吃下柔软透明的垃圾。研究发现海龟会进食塑料袋 (Schuyler 等2014)，也许是由于它们误以为塑料袋是水母 (Campani 等2013; Mrosovsky 等2009; Schuyler 等2014; Tourinho 等2010)。随后，这些塑料制品会通过食物链开始生物积累。有些动物吃下的塑料甚至可能造成胃部堵塞或内脏穿孔，最终致死 (Teuten 等2009)。还有些动物的身体被渔网或听装啤酒组合的塑料环缠绕，可能死于窒息、饥饿或溺水 (Ryan 等2009)。

微塑料是新出现问题。一方面，大型塑料制品造成的海上巨型漂浮垃圾带令人忧虑，另一方面，对于海洋、淡水和陆地环境中微塑料的关切也日益增长 (Barnes 等2009; Li 等2016; Wang 等2017; Ng 等2018)。“微塑料”一词最早于2014年提出 (Thompson 等2004)，根据美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 的定义 (Arthur 等2008)，微塑料是指小于5毫米的塑料碎片，包括纳米尺寸范围的颗粒，可能是微型塑料颗粒制品 (初生来源)，也可能是由较大塑料制品分解而成 (次生来源)。这些微塑料可能来自产品中的添加物，例如化妆品中的磨砂成分及用于清理船只的研磨微珠，也可能来自制造业工厂排放，或是由较大的风化塑料制品分解而成 (Teuten 等2009)。

微塑料颗粒无处不在。过去几十年的研究表明，全球从海洋表层水体到次表层水体 (Cozar 等2014; Desforges 等2014)、海岸线 (Browne 等2011; Browne 等2010)、海滩 (Hidalgo-Ruz 等2012)、海底乃至淡水水体 (Besseling 等2017; McCormick 等2016) 的各类栖息地都发现了微塑料，甚至已经侵入最偏远的极地地区 (Lusher 等2015; Bergmann 等2016; Waller 等2017) 和深海 (Taylor 等2016; Van Cauwenberghe 等2013; Woodall 等2014)，包括大西洋 (Cozar 等2017; Law 等2010)、太平洋 (Eriksen 等2013; Goldstein 等2012; Law 等2014) 和北冰洋 (Obbard 等2014)。一般认为微塑料的跨境流动是由其物理特征 (密度、大小、形状和浮力) 及海洋动态条件 (水动力过程、风、浪和洋流) 所决定 (Critchell 等2016; Vermeiren 等2016; Zhang 2017)。微塑料一旦流入海洋，密度就成为决定微塑料在环境中命运的首要因素。密度比海水大的微塑料 (如聚氯乙烯) 最有可能沉降并累积在海底沉积物中，密度较小的微塑料 (如聚丙烯) 则可能漂浮在海洋表层，分散在垂直水体的各层 (Chubarenko 等2016)。然而，添加物、风化、生物淤积过程和微生物集群现象可能会改变微塑料的密度，造成浮力减小，加速下沉速度 (Cole 等2016; Kowalski 等2016; Lobelle 等2011)。潮下带沉积物 (Claessens 等2011)、近岸海底沉积物和深海海底中均有低密度塑料存在的记录 (Shimanaga 等2016; Van Cauwenberghe 等2015; Van Cauwenberghe 等2013)。就连每立方米北极海冰中的微塑料颗粒含量也高达238个，是大太平洋垃圾带的2000倍

(Obbard 等 2014)。在从北冰洋五个不同地区提取的冰芯样本中，每升海冰中的微塑料颗粒含量超过1.2万个 (Peeken 等 2018)。数以亿万计的微小塑料颗粒冻结在北极海冰中，一旦海冰融化，这些塑料颗粒就会释放出来。

摄入微塑料对身体造成的影响尚不明确。微塑料通过图6.1所示的多条路径在海洋中流动，然而似乎没有多少证据证明摄入微塑料会对健康造成直接影响 (Wright, Thompson, 和 Galloway 2013)。不过，多种碎屑食性和沉积食性生物 (片脚类动物、多毛纲环节动物、海参、甲壳纲动物)、食浮游生物动物 (浮游动物)、滤食性生物 (桡足类动物)、悬食生物 (海胆、海星、双壳类软体动物) 等体内都发现了微塑料 (Wright, Thompson, and Galloway 2013)。多项研究揭示了微塑料的潜在有害影响，包括：

1. 浮游植物吸收微塑料后光合作用受到抑制 (Bhattacharya 等 2010)；
2. 浮游动物进食减少 (Cole 等 2013)；
3. 浮游动物繁殖力低下 (Lee 等 2013)；
4. 沙蚕体重下降 (Besseling 等 2013)；
5. 沙蚕能量储备下降 (Wright 等 2013)；
6. 贻贝出现免疫炎症反应 (Von Moos 等 2012)；
7. 牡蛎的卵母细胞数量和直径、精子速度、幼虫产量和发育速度减少 (Sussarellu 等 2016)；
8. 欧洲鲑鱼幼鱼孵化受到抑制，生长速度减慢，对嗅觉威胁提示的反应下降，食物偏好和先天性行为发生改变 (Lonnstedt 和 Eklov 2016)。



图 6.1 塑料在海洋中的命运

来源: Wright, Thompson, and Galloway 2013

微塑料会吸附有毒化学物质。不过，这些微小颗粒可能含有低浓度的有机污染物 (如多氯联苯、多环芳烃、有机氯杀虫剂、多溴联苯酯、烷基酚、双酚A 等)。这些有机污染物可能是塑料制造过程中添加的软化剂或阻燃剂，或是从海水中吸收所得 (Teuten 等 2009)。其中有些化学品有的能穿透细胞，有可能是内分泌干扰物，而较大的微塑料颗粒则被排除在外。微塑料吸附的化学物质还有可能阻碍微塑料的生物降解。海滩上的塑料颗粒中发现了持续性有机污染物、多氯联苯、多环芳烃 (PAH)、二恶英等 (Avio 等 2015)。研究发现，由微塑料传递的上述污染物在沉积食性生物体内含量较高，但可能不会超过单独摄入同样污染程度的沉积物 (Teuten 等 2009)。实验室暴露实验表明，邻苯二甲酸酯 (塑料软化剂) 和双酚A 会影响海洋生物繁殖，其中软体动物和两栖动物对很低浓度的邻苯二甲酸酯和双酚A 也非常敏感

(Thompson 等 2009)。

微塑料可能会将有毒化学物质传递给海洋生物。上述有毒化学物质传递给海洋生物的程度存在很大差异(Browne 等 2013)。实验发现,将滤食性贻贝摄入的聚乙烯和聚苯乙烯小球暴露在将不同浓度的芘(一种常见的多环芳烃)中,7天后贻贝的鳃和消化腺中的芘浓度高于小球中的芘浓度,而且比控制对照样本中的芘浓度高13倍之多(Avio 等 2015)。不过,还需要在自然环境中进行进一步研究,特别是关于生物积累和长期暴露效果的研究(Thompson 等 2009)。

微塑料也会影响淡水生态系统。直到前不久,关于淡水环境的研究还少于海洋生态环境研究。淡水环境中也广泛测得微塑料。微塑料对淡水生态环境的影响大部分与海洋生态环境相同,不过除了海洋中的分解产物之外,淡水生态环境还更接近微塑料的直接来源(如洗衣房和化妆品)(Eerkes-Medrano, Thompson, 和 Aldridge 2015)。对五个大洲的十多个国家(包括美国、乌干达、厄瓜多尔和印度尼西亚等)159处自来水样本的调查发现,83%的自来水样本受到微纤维的污染,也这意味着微塑料已经渗入全球的自来水中(Tyree 和 Morrison 2017)。研究(Wang 等 2017)发现中国湖泊中的微塑料浓度和湖泊与城市地区的距离成负相关,表明存在明显的人为成因。已知的摄入微塑料的淡水物种包括无脊椎动物和鱼类,可能还包括鸟类。还应注意的是,尽管海洋微塑料的来源包括海上垃圾和塑料网,但主要来源还是淡水河流。

废水处理系统无法去除全部微塑料。微塑料进

入海洋的已知渠道包括雨水外流、下水道排放、沿河排放、渔业、水产养殖业设备、船只意外泄漏和大气沉降等(Dris 等 2016)。废水处理厂是微塑料在水生环境中通过的主要渠道之一,但是微塑料释放率取决于废水处理设施的设计及效率和地区差异。废水处理厂在微塑料进入水生环境之前对其进行捕捉的有效性相关研究还十分有限。对欧洲和俄罗斯污水处理厂的研究发现,污水污泥中捕获的微塑料占总量的24%-100%不等(Echelpoel 2014; HELCOM 2014; Leslie 等 2012; Magnusson and Noren 2014),主要取决于微塑料的种类和形状、处理技术以及识别方法。膜生物反应器能将废水处理厂捕捉小型颗粒的数量较未安装反应器时提高90%(Magnusson 和 Wahlberg 2014)。此外,密度也是影响微塑料在水中的行为和运动的重要特性(Besseling 等 2017; Law 等 2010)。漂浮的颗粒更有可能躲过撇沫和沉降流程(Carr 等 2016; Echepoel 2014)。废水处理厂捕捉的微塑料悬浮在污水污泥中,往往用作农田肥料,沥出后进入河流(Ng 等 2018)。个人护理产品和化妆品中的塑料微珠以及纺织品纤维等微塑料体积小,更难看见,能够通过污水预处理筛网(通常粗筛网孔径大于6毫米,细筛网孔径为1.5-6毫米)(Vesilind 2003),最终进入水生环境。例如,德国废水处理厂每年排放的微塑料和合成纤维数量在82亿-930亿之间(Mintenig 等 2014),英国的一家废水处理厂每天释放到受纳水体中的微塑料高达6500万个(Murphy 等 2016)。

微塑料可能会通过海洋或淡水生物将有毒化学物质传递给人类。有毒化学物质从微塑料通过

海洋或淡水生物传递给人类，其程度及可能带来的健康影响尚不甚明确（Eerkes-Medrano, Thompson, 和 Aldridge 2015）。动物模型和生物监测体负荷表明，塑料制造过程中使用的化学物质会带来潜在健康影响，如导致生殖异常（Thompson 等 2009）。不过，这些化学物质更可能来自直接环境来源（如暴露在室内尘埃中），而非因为食用受污染鱼类造成积累。摄入、吸入和皮肤接触都是这些化学物质传递给人类的重要途径。安全暴露水平可能未能充分考虑到多种污染物之间的相互作用或是特别脆弱的儿童和孕妇（Thompson 等 2009）。微塑料可能会在胃肠道中积累，并且已经出现在人类粪便中。已有九种塑料经确认能将有毒化学物质和病原体最终传递到人体。最小的微塑料颗粒能够进入血管、淋巴系统甚至到达肝脏（MacMillan 2018）。

纳米材料也引发更多担忧，但是我们却更不了解纳米材料的环境影响。2003 年一项研究指出，纳米材料使用的增加也会带来更多意料之外的环境后果，但认为“目前暴露在纳米材料之中及其带来的健康影响不太可能对公共健康带来重大风险”（Colvin 2003）。截至2008 年，纳米材料生产量经历了指数式增长，可以分为“纳米碳材料，金属氧化物纳米材料，量子点等半导体纳米材料，纳米零价铁、银、金等纳米零价金属，纳米高分子复合材料”（Klaine 等 2008）。这些纳米材料制作成纳米纤维、纳米线、纳米片等，但是纳米材料的制造并释放到环境中的速度超过了测量或评估其环境影响的速度。最近的综述中发出了更严重的警告：“由于不确定、不规则的形状、大小和化学成分，特定纳米材料可能会对环境和人类健康造

成负面影响”（Kabir 等 2018）。不过，这份最新的综述的结论是“纳米材料的生态作用和环境稳定性还很难下定论”，这意味着必须推广预防原则（Kabir 等 2018）。

工业影响。

生产物降解塑料是解决海洋塑料垃圾问题的措施之一（UNEP 2015）。尽管许多新上市的产品都自称可以生物降解，但是这些产品只有在特定的工业条件下才能实现生物降解，而且可能会释放其他添加剂，可能导致回收更加困难，并造成人们更频繁地丢弃垃圾。此外，这些塑料产品在自然环境中降解时可能形成微塑料，这方面的相关信息还十分有限。化妆品中的微塑料可以用更天然的产品替代，如纤维素、碎核桃壳、咖啡粉、杏仁、蜂蜡等产生的物质（Bhattacharya 2016）。因此，工业部门寻求微塑料替代品尚有很大空间，否则最终将面临对塑料微珠的禁令。尽管纳米材料的益处受到认可，但必须更关注纳米材料在环境中的命运及其可能带来的环境和健康影响。2016 年，韩国 55 家化妆品公司宣布停止在产品中使用塑料微珠。

政策影响。

美国和欧洲正在实施应对海洋塑料的措施（如欧盟委员会海洋战略框架指令海洋垃圾技术小组）。然而，作为微塑料进入海洋环境的渠道之一的淡水河流和/或微塑料在湖泊生态系统中的潜在影响受到的关注依然有限。一项研究（Eerkes-Medrano, Thompson, 和 Aldridge 2015）指出，“必须通过调查、监测、研究和政策等全方位共同努力，才能更好地理解淡

水系统中微塑料带来的新出现威胁，并制定适合、明智的管控策略。”美国国家职业安全与卫生研究所等机构提出了纳米材料的职业暴露限制，并且认为制造方有义务向相关环境机构提供详细信息 (Kabir 等 2018)。2016 年 9 月，韩国食品医药品安全部对《化妆品安全标准法规》进行修订，从 2017 年 7 月起禁止进口或生产含有塑料微珠的化妆品，从 2018 年 7 月起禁止销售上述产品。2017 年 1 月，韩国食品医药品安全部下发了关于修订非医药产品法规的进一步通知，从 2017 年 7 月起禁止进口或生产含有塑料微珠的牙膏和牙齿增白产品，从 2018 年 7 月起禁止销售上述产品。



Photo by Jon Tyson on Unsplash

参考文献

- Arthur, C., Baker, J., Bamford, H. (2008) Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Avio, C., Gorbi, S., Milan, M., Benedetti, M., Fattorini, D., d' Errico, G., Pauletto, M., Bargelloni, L., Regoli, F. (2015) Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental Pollution* 198 (2015): 211-222.
- Barnes, D., Galgani, F., Thompson, R., Barlaz, M. (2009) Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2009) 364, 1985–1998
doi:10.1098/rstb.2008.0205.
- Bergmann, M., Sandhop, N., Schewe, I., D'Hert, D. (2016) Observations of floating anthropogenic litter in the Barents Sea and Fram Strait, Arctic. *Polar Biology* 39: 553-560, doi: 10.1007/s00300-015-1795-8.
- Besseling, E., Quik, J., Sun, M., Koelmans, A. (2017) Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: A modeling study. *Environmental Pollution* 220: 540-548, doi: 10.1016/j.envpol.2016.10.001.
- Bhattacharya, P. (2016) A review on the impacts of microplastic beads used in cosmetics. *Acta Biomedica Scientia* 2016: 3(1):47-52.
- Browne, M., Crump, P., Niven, S., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R. (2011) Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science & Technology* 45: 9175-9179, doi: 10.1021/es201811s.
- Browne, M., Galloway, T., Thompson, R. (2010) Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science & Technology* 44: 3404-3409, doi: 10.1021/es903784e.
- Browne, M., Niven, S., Galloway, T., Rowland, S., Thompson, R. (2013) Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. *Current Biology* 23, 2388–2392, December 2, 2013.
- Campani, T., Baini, M., Giannetti, M., Cancelli, F., Mancusi, C., Serena, F., Marsili, L., Casini, S., Fossi, M. (2013) Presence of plastic debris in loggerhead turtle stranded along the Tuscany coasts of the Pelagos Sanctuary for Mediterranean Marine Mammals (Italy). *Marine Pollution Bulletin* 74: 225-230, doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.06.053.
- Carr, S., Liu, J., Tesoro, A. (2016) Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research* 91: 174-182, doi: 10.1016/j.watres.2016.01.002.
- Chubarenko, I., Bagaev, A., Zobkov, M., Esiukova, E. (2016) On some physical and dynamical

- properties of microplastic particles in marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 108: 105-112, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.04.048.
- Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K., Janssen, C. (2011) Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin* 62: 2199-2204, doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.06.030.
 - Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Clark, J., Lewis, C., Halsband, C., Galloway, T. (2016) Microplastics alter the properties and sinking rates of zooplankton faecal pellets. *Environmental Science & Technology* 50: 3239-3246, doi: 10.1021/acs.est.5b05905.
 - Colvin, V. (2003) The potential environmental impact of engineered nanomaterials. *Nature Biotechnology* 21(10): 1166-1170.
 - Cozar, A., Echevarria, F., Gonzalez-Gordillo, J., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernandez-Leon, S., Palma, A., Navarro, S., Garcia-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernandez-de-Puelles, M., Duarte, C. (2014) Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 10239-10244, doi: 10.1073/pnas.1314705111.
 - Cozar, A., Marti, E., Duarte, C., Garcia-de-Lomas, J., van Sebille, E., Ballatore, T., Eguiluz, V., Gonzalez-Gordillo, J., Pedrotti, M., Echevarria, F., Trouble, R., Irigoien, X. (2017) The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation. *Science Advances* 3: 8, doi: 10.1126/sciadv.1600582.
 - Critchell, K. and Lambrechts, J. (2016) Modelling accumulation of marine plastics in the coastal zone; what are the dominant physical processes? *Estuarine Coastal and Shelf Science* 171: 111-122, doi: 10.1016/j.ecss.2016.01.036.
 - Desforges, J., Galbraith, M., Dangerfield, N., Ross, P. (2014) Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 79: 94-99, doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.12.035.
 - Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., Tassin, B. (2016) Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin* 104: 290-293, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.01.006.
 - Echelpoel, W. (2014) Microplastics in a biological wastewater treatment plant and the surrounding freshwater environment in Flanders: Quantitative assessment, dissertation submitted at University of Ghent.
 - Eerkes-Medrano, D., Thompson, R., Aldridge, D. (2015) Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research* 75 (2015): 63-82.
 - Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., Amato, S. (2013) Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* 77: 177-182, doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.10.007.

- Geyer, R., Jambeck, J., Law, K. (2017) Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* 3, doi: 10.1126/sciadv.1700782.
- Goldstein, M., Rosenberg, M., Cheng, L. (2012) Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect. *Biology Letters* 8: 817-820, doi: 10.1098/rsbl.2012.0298.
- HELCOM (2014) Synthetic microfibers and particles at a municipal waste water treatment plant, Report for BASE Project - Implementation of the Baltic Sea Action Plan in Russia.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R., Thiel, M. (2012) Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology* 46: 3060-3075, doi: 10.1021/es2031505.
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K. (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347: 768-771, doi: 10.1126/science.1260352.
- Kabir, E., Kumar, V., Kim, K-H., Yip, A., Sohn, J. (2018) Environmental impacts of nanomaterials. *Journal of Environmental Management* 225(2018): 261-271
- Klaine, S., Alvarez, P., Batley, G., Fernandes, T., Handy, R., Lyon, D., Mahendra, S., McLaughlin, M., Lead, J. (2008) Nanomaterials in the environment: behaviour, fate, bioavailability, and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry* 27(9): 1825-1851
- Kowalski, N., Reichardt, A., Waniek, J. (2016) Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors. *Marine Pollution Bulletin* 109: 310-319, doi: 10.1016/j.marpolbu.2016.05.064.
- Law, K., Moret-Ferguson, S., Maximenko, N., Proskurowski, G., Peacock, E., Hafner, J., Reddy, C. (2010) Plastic accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre. *Science* 329: 1185-1188, doi: 10.1126/science.1192321.
- Law, K., Moret-Ferguson, S., Goodwin, D., Zettler, E., De Force, E., Kukulka, T., Proskurowski, G. (2014) Distribution of surface plastic debris in the Eastern Pacific Ocean from an 11-year data set. *Environmental Science & Technology* 48: 4732-4738, doi: 10.1021/es4053076.
- Leslie, H., Moester, M., de Kreuk, M., Vethaak, A. (2012) Verkennende studie naar lozing van microplastics door rwzi's, [Pilot study on emissions of microplastics from wastewater treatment plants]. *H2O*: 45-47.
- Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., Shi, H. (2016) Microplastics in mussels along the coastal waters of China. *Environmental Pollution* 214 (2016): 177-184
- Lobelle, D. and Cunliffe, M. (2011) Early microbial biofilm formation on marine plastic debris. *Marine Pollution Bulletin* 62: 197-200, doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.10.013.
- Lusher, A., Tirelli, V., O'Connor, I., Officer, R. (2015) Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Scientific Reports* 5,

- doi: 10.1038/srep14947.
- MacMillan, A. (2018) There's plastic in your poop: study warns microplastics may be hurting us all, from <https://www.health.com/home/microplastics-human-poop>.
 - Magnusson, K. and Noren, F. (2014) Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant. Report.IVL Swedish Environmental Research Institute.
 - Magnusson, K. and Wahlberg, C. (2014) Mikroskopiska skrappartiklar i vatten fran avloppsreningsverk, Report for IVL Svenska Miljainstitutet, August 2014.
 - McCormick, A., Hoellein, T., London, M., Hittie, J., Scott, J., Kelly, J. (2016) Microplastic in surface waters of urban rivers: concentration, sources, and associated bacterial assemblages. *Ecosphere* 7: 22, doi: 10.1002/ecs2.1556.
 - Mrosovsky, N., Ryan, G., James, M. (2009) Leatherback turtles: The menace of plastic. *Marine Pollution Bulletin* 58: 287-289, doi: 10.1016/j.marpolbul.2008.10.018.
 - Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., Quinn, B. (2016) Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental Science & Technology* 50: 5800-5808, doi: 10.1021/acs.est.5b05416.
 - Ng, E-L., Lwanga, E., Eldridge, S., Johnston, P., Hu, H-W., Geissen, V., Chen, D. (2018) An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of the Total Environment* 627(2018): 1377-1388.
 - Obbard, R., Sadri, S., Wong, Y., Khitun, A., Baker, I., Thompson, R. (2014) Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earths Future* 2: 315-320, doi: 10.1002/2014ef000240.
 - Peeken, I., Primpke, S., Beyer, B., Guetermann, J., Katlein, C., Krumpfen, T., Bergmann, M., Hehemann, L., Gerdts, G. (2018) Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nature Communications* 9, doi: 10.1038/s41467-018-03825-5.
 - Plastic Europe (2017) *Plastics—the facts 2017: An analysis of European plastics production, demand and waste data*.
 - https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf.
 - Ryan, P., Moore, C., van Franeker, J., Moloney, C. (2009) Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2009) 364, 1999–2012
 - doi:10.1098/rstb.2008.0207
 - Schuyler, Q., Wilcox, C., Townsend, K., Hardesty, B., Marshall, N. (2014) Mistaken identity? visual similarities of marine debris to natural prey items of sea turtles. *BMC Ecology* 14: 1-7.
 - Shimanaga, M. and Yanagi, K. (2016) The Ryukyu Trench may function as a "depo-center" for anthropogenic marine litter. *Journal of Oceanography* 72: 895-903, doi: 10.1007/s10872-016-0388-7.

- Taylor, M., Gwinnett, C., Robinson, L., Woodall LC. (2016) Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Scientific Reports* 6: 9, doi: 10.1038/srep33997.
- Teuten, E., Saquing, J., Knappe, D., Barlaz, M., Jonsson, S., Bjorn, A., Rowland, S., Thompson, R., Galloway, T., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P., Tana, T., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M., Akkhavong, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H. (2009) Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2009) 364, 2027–2045, doi:10.1098/rstb.2008.0284
- Thevenon, F., Carroll, C., Sousa, J. (eds) (2014) *Plastic debris in the ocean: The characterization of marine plastics and their environmental impacts*, Situation Analysis Report, IUCN, Gland, Switzerland.
- Thompson, R., Moore, C., vom Saal, F., Swan, S. (2009) Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2009) 364, 2153–2166
doi:10.1098/rstb.2009.0053
- Thompson, R., Olsen, Y., Mitchell, R., Davis, A., Rowland, S., John, A., McGonigle, D., Russell, A. (2004) Lost at sea: Where is all the plastic? *Science* 304: 838-838, doi: 10.1126/science.1094559.
- Tourinho, P., Ivar do Sul, J., Fillmann, G. (2010) Is marine debris ingestion still a problem for the coastal marine biota of southern Brazil? *Marine Pollution Bulletin* 60: 396-401, doi: 10.1016/j.marpolbul.2009.10.013.
- Tyree, C. and Morison, D. (2017) “Invisibles: The Plastic Inside Us.” *Orb Media*. Accessed November 24, 2018. https://orbmedia.org/stories/Invisibles_plastics.
- UNEP (2014a) *Emerging Issues in Our Global Environment*. Programme, UNEP Year Book. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.
- UNEP (2014b) *Valuing Plastic: The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry*. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.
- UNEP (2015) *Biodegradable Plastics and Marine Litter. Misconceptions, concerns and impacts on marine environments*. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbins, J., Janssen, C. (2015) Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Marine Environmental Research* 111: 5-17, doi: 10.1016/j.marenvres.2015.06.007.
- Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C. (2013) Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution* 182: 495-499, doi: 10.1016/

j.envpol.2013.08.013.

- Vermeiren, P., Munoz, C., Ikejima, K. (2016) Sources and sinks of plastic debris in estuaries: A conceptual model integrating biological, physical and chemical distribution mechanisms. *Marine Pollution Bulletin* 113: 7-16, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.10.002.
- Vesilind, P. (2003) *Wastewater treatment plant design*. Alexandria, VA: Water Environment Federation.
- Waller, C., Griffiths, H., Waluda, C., Thorpe, S., Loaiza, I., Moreno, B., Pacherres, C., Hughes, K. (2017) Microplastics in the Antarctic marine system: An emerging area of research. *Science of the Total Environment* 598: 220-227, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.283.
- Wang, W., Ndungu, A., Li, Z., Wang, J. (2017) Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China. *Science of the Total Environment* 575 (2017): 1369–1374
- Woodall, L., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G., Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, A., Narayanaswamy, B., Thompson, R. (2014) The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science* 1: 8, doi: 10.1098/rsos.140317.
- World Economic Forum (2016) *The New Plastics Economy — Rethinking the future of plastics*, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company.
- Wright, S., Thompson, R. and Galloway, T. (2013) The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution* 178 (2013): 483-492
- Zhang, H. (2017) Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 199: 74-86, doi: 10.1016/j.ecss.2017.09.032.

第七章

药品与个人护理产品

作者: Peter King (IGES)



Photo by Charisse Kenion on Unsplash

关键问题

- 药品和个人护理产品让我们的生活更健康，促进个人和社会福祉，我们为什么应当担心这些产品的环境影响？
- 是否有证据证明药品和个人护理产品及其分解成分正在造成环境问题？
- 这些成分如何直接或间接进入环境？
- 为什么传统污水处理厂没有去除这些化学合成物？
- 为支持针对药品和个人护理产品的特别政策、法规或管控措施，还需要进行哪些额外研究？

化学产品正在扩散。随着世界现代化进程推进和人口增长，人类使用约50万种化学产品（包括4000种药品），实现更充实、方便、健康的生活。总体上看，自70年代以来，这些产品的制造受到越来越多的管控，然而化学物质及其代谢物（分解产品）在使用后通过各种渠道进入环境，进入水、土壤和生物系，最终重新进入人类消费过程，人类对这些过程不仅缺乏管控，也缺乏了解（图7.1）。



图 7.1 化学物质进入环境并回到人类的渠道

来源：参考 Arnold 等 (2014)

我们正在经历又一次“寂静的春天”吗？现代环境保护的开端部分源于蕾切尔·卡逊所著《寂静的春天》(Carson 1962)一书，这部作品为滥用杀虫剂（其中最著名的是DDT杀虫剂）带来的危害对世界敲响一记警钟。与之类似，越来越多的人担忧药品和个人护理产品对人类和牲畜的潜在影响(Arnold等2014)。这个问题首次受到公众关注是在上世纪90年代，当时一些证据表明进入水体环境的雌激素导致鱼类雌性化(Larson 2014)。南亚秃鹰数量骤减99%，原因是牛群使用的抗炎兽药双氯芬酸残留在动物尸体中，进而被秃鹰摄取(Cuthbert等2014)。2006年，双氯芬酸兽药被禁止使用，代之以“对秃鹰安全”的美洛昔康。

制造业依然是污染来源。诚然，制造业产生的污染未能完全杜绝，特别是在发展中国家。例如，印度一家废水处理厂接收来自90家制药厂的废水，检测发现这家处理厂废水中的药物浓度甚至高于服药人群体内的药物浓度(Larson 2014)。其中，广谱抗生素环丙沙星的浓度足以治疗4.4万名病人，并有可能对暴露其中的生物有潜在毒性。与之类似，中国某废水处理厂的已处理出水和受纳水体中都测得较高的青霉素分解产物氧四环素、和炔雌醇浓度(Larson 2014)。不幸的是，这些国家并不要求城市废水处理厂专门控制出水中的上述化学物质浓度。

引发新担忧的污染物。美国国家环境保护局将药品、个人护理产品、激素、病原体等成为“引发新担忧的污染物”，因为这些污染物多年前早已出现，但直到最近才引发人们的担忧。越来越复杂的分析方法让人们得以追踪这些污染

物如何从废水处理厂、化粪池系统、垃圾填埋场和集约型农业生产体系直到流入地表和地下水、沉积物、土壤和生物区系之中。

消费者往往并未意识到化妆品的毒性。尽管食品药品监督管理局警告应限制化妆品的汞含量，许多美白产品为增强美白效果，百万分比汞含量超过了1000 ppm。染发剂中含有疑似神经毒素的醋酸铅。近20%的化妆品中含有已知致癌物甲醛。其他令人担忧的化学物质包括与癌症、生殖问题和儿童大脑发育问题有关的邻苯二甲酸酯、羟苯甲酯和三氯生等物质(Scientific American 2017)。这些化学物质进入废水处理系统，随后进入受纳水体。

水处理系统无法去除污染物。上述引发新担忧的污染物可能正在污染饮用水，因为水处理系统可能无法完全去除这些污染物，从而造成影响人类健康的潜在暴露。针对这一问题，美国国家环境保护局和美国地质勘探局开展了一项大型全国研究。该研究追踪了美国24个州的水源及25家废水处理厂的247种引发新担忧的污染物(Kolpin等2017)。水源中检测到148种污染物，经过处理的饮用水中检测到121种污染物。尽管研究很少检测到药品和“人为废弃物指标”，但是全氟烷基类和多氟烷基类物质(用于地毯、服装、家具装饰、食品纸质包装等日用消费品以及消防泡沫和金属镀层)以及无机物更难通过水处理去除(Glassmeyer等2017; Furlong等2017)。

饮用水中含有药物和毒品。在葡萄牙里斯本进行的一项相似研究对饮用水供应系统中的31种药物进行监测，仅测得16种(浓度从原水中的0.005-46 ng/L到饮用水中的0.09-46 ng/

L 不等)。研究认为，暴露在这些痕量浓度的药物中而造成健康风险的“可能性极小”（de Jesus Gaffney 等 2017）。水处理工艺似乎成功减少了饮用水中潜在的药物污染（Furlong 等 2017）。然而，对南非一家废水处理厂的一项研究在废水进水中发现 8 种非法药物，还在处理厂上下游发现 40 种新出现污染物（Archer, Kasprzyk-Hordern, Wolfaardt 2017）。由于这家废水处理厂的出水流入水库，占城市饮用水供应的 6%，因此上述发现具有重要的健康意义。尽管出水中大部分引发新担忧污染物的浓度都有所减少，但一些污染物依然存在，浓度甚至高于处理前浓度（Archer 等 2017）。

抗生素在农业中的使用日益增加。随着人口增加、收入提高以及肉类消费偏好增强，畜牧业生产扩大的压力也日益严峻。集约型畜牧业生产也让牲畜疾病造成个体农户牲畜或家禽全部死亡的可能性越来越大。抗生素成功将人类疾

病控制在最低水平，因此用抗生素来医治动物以促进畜牧生产，这种倾向是可以理解的。人类抗生素滥用已经证明，动物的抗生素耐药性会产生“溢出效应”，从而蔓延至人类，二者之间存在合理联系，如图 7.2 所示（Chang 等 2015）。

找到平衡至关重要。抗生素耐药性增强和医学上“超级细菌”的出现引发了许多忧虑（Levy and Marshall 2004），于是大量研究都在关注畜牧业实践导致抗生素耐药性问题恶化的可能性。抗生素耐药细菌从动物传递至人类主要有三种途径：

1. 直接感染；
2. 破坏物种屏障；
3. 传递抗药性基因（Chang 等 2015）。

第四种尚未经证实的传递途径是昆虫，如蚊子、苍蝇或蟑螂等，一般发生在人类与动物近距离生活的环境中，亚洲大部分农村地区就是如此（Ghosh 2014）。在增强粮食安全和维系抗击疾病最后一道屏障之间找到平衡，需要大量预防措施、精心制定的政策法规以及更多研究工作。

土壤、水和沉积物中的持久性污染物。土壤、地表和地下水、海洋生态系统和沉积物中已经检测出合成激素、抗炎药、抗抑郁药等能在环境持久存在的药物，这些药物被认为是“假性持久”污染物（Arnold 等 2014）。例如，抗抑郁药“百忧解”（活性成分为氟西汀）在废水处理厂、下水道或土壤里就算历经数月也不会分解。氟西汀在淡水贻贝中的生物浓缩系数超过 1000，而淡水贻贝是许多其他动物的食物。据估计，澳大利亚极具代表性的原生动物鸭嘴

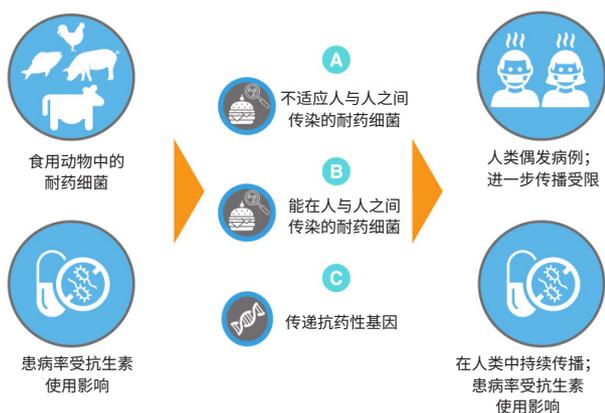


图 7.2 农业抗生素使用和人类疾病之间可能存在的联系

来源: Chang 等 2015

兽每日通过进食城市地区溪流中受到污染的无脊椎动物，摄入的抗抑郁药浓度相当于人类平均日剂量的一半，对水生物区系的影响尚不清楚（Richmond 等 2018）。

海洋生态系统中的内分泌干扰物。引发新担忧的污染物除了对人类健康造成影响外，还发现在低浓度情况下会影响鱼类和其他物种的生殖和甲状腺内分泌系统，从而影响鱼类繁殖与产卵，最终影响鱼类种群数量。鱼类可能通过鳃、皮肤或食物链摄入药物（Arnold 等 2014）。引发新担忧的污染物和生物积累在水生环境中的结合作用造成的影响可能会超过实验室条件下单一污染物的影响，这意味着需要进行更多关于污染水域的生态毒理研究（Archer, Kasprzyk-Hordern, Wolfaardt 2017; Brodin 等 2014）。药物的生物积累还可能导致鱼类发生行为变化，不过不同鱼类产生的变化不一而足（Brodin 等 2014）。

药物引起的行为变化。引发新担忧的污染物可能会引起物种的行为变化，降低物种适应野外生存的能力，从而间接影响野生动物种群数量（Brodin 等 2014）。受到污水污染的地点通常能检测到用于治疗癫痫和躁郁症的药物卡马西平，暴露在这种药物下的捕食者和猎物可能会产生行为变化。近来，欧洲各地鸟类种群数量下降与鸟类在用处理出水或污水污泥灌溉的农田上摄食可能存在联系（Arnold 等 2014）。

亚洲可能会存在潜在的巨大问题？亚洲和非洲对于引发新担忧的污染物的来源、使用和排放的管控措施力度最弱，而这些地区存在的上述问题总体来看尚未得到充分研究（Kookana 等 2014）。在发展中国家，相比废水处理系统，

化粪池系统泄漏或户外大小便可能是引发新担忧的污染物进入环境的更重要渠道。必须开展更多的实地研究，同时提高亚洲饮用水公司和消费者的意识。

工业影响。

工业部门要解决这个问题，最显而易见的办法



Photo by Drew Hays on Unsplash

是防止制造设施的意外排放或故意排放。对工业的第二个影响是产品设计既要考虑盈利，也要考虑环境，如果制造业没有自主进行这种设计，就要对制造业采取额外的监管措施。消费者也应当提高对这些产品处理的意识，因为垃圾填埋场渗滤液可能是水污染的主要来源。对于药物，药房可能需要提供过期或闲置药品回收设施。如果存在非法使用抗生素现象，农业部门可能需要采取额外管控措施，并尽可能使用抗生素替代品。在人与牲畜近距离生活的情况下，必须更注重卫生和昆虫防控。

政策影响。

在南亚秃鹰数量减少的案例中，发展中国家还可能存在未受关注但同样重要的生态毒理影响，这意味着需要围绕这个新出现问题进行比现在多得多的研究。必须有这类研究，才能为潜在的政策措施提供支撑，并且促进环境合规与执法。可能还需要额外的政策法规来控制畜牧业的抗生素使用，同时加强合规与执法。必须向消费者提供未分类处理药物的潜在影响以及美白霜等产品中所含潜在毒物浓度等准确信息。

参考文献

- Archer, E., Petrie, B., Kasprzyk-Hordern, B., Wolfaardt, G. (2017) The fate of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs), endocrine disrupting contaminants (EDCs), metabolites and illicit drugs in a WWTW and environmental waters. *Chemosphere* 174 (2017): 437-446.
- Arnold, K., Brown, A., Ankley, G., Sumpter, J. (2014) Medicating the environment: assessing risks of pharmaceuticals to wildlife and ecosystems. *Phil. Trans. R. Soc. B* 369: 20130569. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0569>
- Benson, R., Conerly, O., Sander, W., Batt, A., Boone, J., Furlong, E., Glassmeyer, S., Kolpin, D., Mash, H., Schenck, K., Simmons, J. (2017) Human health screening and public health significance of contaminants of emerging concern in public water supplies. *Science of the Total Environment* 579(2017) 1643-1648.
- Brodin, T., Piovano, S., Fick, J., Klaminder, J., Heynen, M., Jonsson, M. (2014) Ecological effects of pharmaceuticals in aquatic systems—impacts through behavioural alterations. *Phil. Trans. R. Soc. B* 369: 20130580. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0580>
- Carson, R. (1962) *Silent Spring*. Houghton Mifflin Company; Anniversary edition (October 22, 2002)
- Chang, Q., Wang, W., Regev-Yochay, G., Lipsitch, M., Hanage, W. (2015) Antibiotics in agriculture and the risk to human health: how worried should we be? *Evolutionary Applications* 2015 Mar; 8(3): 240–247. doi: 10.1111/eva.12185
- Cuthbert, R., Taggart, M., Prakash, V., Chakraborty, S., Deori, P., Galligan, T., Kulkarni, M., Ranade, S., Saini, M., Sharma, A., Shringarpure, R., Green, R. (2014) Avian scavengers and the threat from veterinary pharmaceuticals. *Phil. Trans. R. Soc. B* 369: 20130574. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0574>
- De Jesus Gaffney, V., Almeida, C., Rodrigues, A., Ferreira, E., Benoliel, M., Cardoso, V. (2015) Occurrence of pharmaceuticals in a water supply system and related human health risk assessment. *Water Research* 72 (2015): 199-208.
- Ebele, A., Abdallah, M., Harrad, S. (2017) Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants* 3(1): 1-16.
- Furlong, E., Batt, A., Glassmeyer, S., Noriega, M., Kolpin, D., Mash, H., Schenck, K. (2017) Nationwide reconnaissance of contaminants of emerging concern in source and treated drinking waters of the United States: Pharmaceutical. *Science of the Total Environment* 579: 1629-1642 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.128>
- Ghosh, Z. (2014) Insects represent a link between food animal farms and the urban environment for antibiotic resistance traits. *Applied Environmental Microbiology* 2014 Jun

80(12):3562-3567

- Glassmeyer, S., Furlong, E., Kolpin, D., Batta, A., Benson, R., Boone, S., Conerly, O., Donohue, M., King, D., Kostich, M., Masha, H., Pfallera, S., Schenck, K., Simmons, J., Varughese, E., Vesper, S., Villegas, E., Wilson, V. (2017) Nationwide reconnaissance of contaminants of emerging concern in source and treated drinking waters of the United States. *Science of the Total Environment* 581-582 (2017): 909-922.
- Kolpin, D., Furlong, E., Meyer, M., Thurman, E., Zaugg, S., Barber, L. and Buxton, H. (2002) Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999-2000: A national reconnaissance. *Environmental Science & Technology* 36: 1202-1211.
- Kolpin, D., Glassmeyer, S., and Furlong, E. (2017) An introduction to joint research by the USEPA and USGS on contaminants of emerging concern in source and treated drinking waters of the United States. *Science of the Total Environment* 579 (2017): 1608-1609
- Kookana, R., Williams, M., Boxall, A., Larsson, J., Gaw, S., Choi, K., Yamamoto, H., Thatikonda, S., Zhu, Y. and Carriquiriborde, P. (2014) Potential ecological footprints of active pharmaceutical ingredients: an examination of risk factors in low-, middle- and high-income countries. *Phil. Trans. R. Soc. B* 369: 20130586. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0586>
- Larsson, D. (2014) Pollution from drug manufacturing: review and perspectives. *Phil. Trans. R. Soc. B* 369: 20130571. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0571>
- Levy, S. and Marshall, B. (2004) Antibacterial resistance worldwide: causes, challenges and responses. *Nature Medicine Supplement* 10(12): S122-S129.
- Richmond, E., Rosi, E., Walters, D., Fick, J., Hamilton, S., Brodin, T., Sundelin, A., Grace, M. (2018) A diverse suite of pharmaceuticals contaminates stream and riparian food webs. *Nature Communications* (2018) 9:4491.
- Scientific American (2017) The FDA needs more power to regulate toxic chemicals in cosmetics.

第八章

结语

作者：Peter King, Tetsuo Kuyama (IGES)



Photo by Robert Collins on Unsplash

工业化是一把双刃剑。亚太地区的工业化进程发展迅速，在帮助数以百万计的人口摆脱贫困过程中发挥了重要作用。工业化的负面影响是空气、水和土壤污染、自然资源枯竭和气候变化加剧。随着发达国家的工业生产体系从传统的蒸汽机和带轮系统向机器人、人工智能、区块链技术转型，有许多机会能够将工业造成的环境影响降至最低。

亚太地区的工业现代化进程进展缓慢。并非所有国家和公民都从工业部门的现代化中获益。这种不均衡的发展损害了生活质量，助长临时住所和非法移民等。亚太地区许多发展中国家存在巨大的贫富差距，给发展造成阻碍，并且可能发生冲突。

有些现代化目标对于大型企业来说唾手可得，对于中小企业却很困难。提高能效就是唾手可得的现代化目标之一，能为所有国家降低成本并带来环境效益。出于种种原因和实施方面的障碍，并非所有企业都能利用提高能效这个机会，不过可以先从试点做起，然后推广实施，特别是在中小企业集群中。强制能源审计可能是将能效机遇快速转化为资本的渠道之一。

亚太地区大部分地方未来的城市化和城市边缘工业仍有待建设。因此，水泥和钢铁需求将持续增长，道路和铁路等基础设施、楼房、公共设施所需建筑材料的生产和消费将大幅上升。工业废物管理需求也将增长，废物处理能力需要大幅提高。城市固体废物需要当作工业污染源进行处理，并转化为有用的产品。不幸的是，向城市迁移的农村人口往往集中在发展未经规划并且缺乏服务的城市边缘地区，对环境和健康带来严重影响。

亚洲工业化进程在速度和强度上都远远超过西方国家历史上较为漫长的工业化进程。因此，政府法规和管控措施也在努力跟上快速的工业化发展。需要多重惠益、多元治理的一揽子政策，实现财政与治理的双赢。低成本环境传感装置、民间科学和电子政务等治理创新能为制定一揽子政策提供支持。

亚太地区的空气污染作为重大健康风险重新出现。空气污染事件发生的频率和范围都在增加。过去，空气污染很容易看见，然而当今的空气污染不容易看见，却更容易测量。我们对多种污染物和污染源以及空气污染源头治理的潜在协同效益有了更深入的理解。在许多国家，由于日益增加的公众关注和通讯技术，空气污染治理的政治利害关系也愈发重大。

工业生产流程的环境化设计能避免未来的问题。末端处理厂和废水处理厂依然不可或缺，但并非长久之策。新工业和对现有工业的改造必须重点关注工业生产流程的设计，尽可能减少用水量和水污染。对于抗生素耐药性、纳米材料或微塑料等新出现问题，由于一般的废水处理系统不起作用，因此必须实施额外监管措施。同样，农业工业化的监管往往也和其他产业不同，但有可能比一般工业点污染源更难以管理。

自然与工业相互联系。如果能更好地理解自然的运作机制，也许能产生许多环保解决方案。仿生科技、生物勘探和人工光合作用都是我们师法自然从而创新工业解决方案的例证。不过，如果认为工业解决方案能替代自然系统及其对人类的惠益，而且不会产生新的环境问题，这种想法是危险的。退一步说，即便不考

虑其他原因，防止生物多样性丧失至少为未来的人类需求提供了一种故障安全保障。

必须对整体系统进行综合分析，避免仅仅转移问题。废弃太阳能电池板和其他电子废物的回收很好地证明了人类的解决措施往往会带来新的环境问题，由此突出源头环境化设计的必要性。工厂必须从设计上实现“零废弃”，或是使用其他工厂产生的废物进行生产。供水系统设计必须考虑到整体水循环，从上游流域管理到工厂、办公场所、家庭废水的内部循环利用等。

还需要注意其他的新出现问题。本报告未能涵盖全部引发新担忧的污染物。例如，工业部门必须对工业事故有所准备，考虑灾害可能对工厂造成哪些影响，进而对生态系统造成哪些连锁影响。近期的例子是2011年日本地震引发的海啸，从而造成核电厂事故。任何灾害发生之后都有可能引发连锁灾害，正在进行快速工业化的发展中国家发生连锁灾害的风险最高。另一个与工业有关的新成问题是土壤污染问题，是由于大气沉降和直接排放到土地中的工业废水和污水污泥造成的。

监测能力的发展提供了新的解决方案，能够对药品、个人护理产品、纳米材料、微塑料等进行追踪，避免这些物质造成淡水和海洋环境问题。不过，根据预防原则，在将原本不存于自然界的物质释放到环境时，如果没有对其可能造成的环境影响进行谨慎研究，那么必须慎之又慎。

亚太地区对于上述新出现问题缺乏研究，这是主要问题。除上述环境问题外，还可能存在若

干类似的环境问题，却没有引起亚太地区发展中国家的注意。这些问题最相关的研究是在发达国家展开的，但是发达国家引发新担忧的污染物的来源、处理和去向都可能与发展中国家的情况大相径庭。

致谢

联合国环境规划署感谢日本全球环境战略研究所（特别是Tetsuo Kuyama 与Peter King 两位编辑），感谢本报告所有作者以及审阅本报告初稿并提供额外材料的审阅人，感谢环境署亚太区域办公室参与报告编辑、定稿及线上发布的工作人员。他们是：

编辑

- Tetsuo Kuyama
- Peter King

作者

日本全球环境战略研究所 (IGES)

- André Mader
- Bijon Kumer Mitra
- Eric Zusman
- Henry Scheyvens
- Nobue Amanuma
- Matthew Hengesbaugh
- Pankaj Kumar
- Peter King
- Pham Ngoc Bao
- So-Young Lee
- Tetsuo Kuyama
- Tetsuro Yoshida

印度能源与资源研究所 (TERI)

- Ajay Mathur
- Girish Sethi
- N. Vasudevan

清华大学

- 王佳佳
- 李金惠
- 赵娜娜
- 谭全银

自然资源与环境战略政策研究所 (ISPONRE)

- Nguyen Trung Thang

联合国环境署协调团队：

- Pierre Boileau
- Mushtaq Memon
- Dechen Tsering
- Panvirush Vittayaphakul
- Jinhua Zhang

审阅人

- Malini Balakrishnan (印度能源与资源研究所)
- 陈卓伦 (联合国环境规划署 - 丹麦技术大学伙伴关系)
- Lisa Guppy (联合国环境规划署亚太区域办公室)
- Tomi Haryadi (联合国环境规划署亚太区域办公室)
- Sunil Herat (格里菲斯大学)
- Shaofeng Hu (联合国环境规划署亚太区域办公室)
- 黄艺 (北京大学)
- 刘思佳 (联合国环境规划署驻华代表处)
- Liu Ning (联合国环境规划署西北太平洋行动计划区域协调釜山办公室) Guyu Peng (华东师范大学)
- Rula Qalyoubi (联合国环境规划署) 融融 (联合国环境规划署驻华代表处)
- 郑莉霞 (联合国环境规划署驻华代表处)
- 董庆银 (联合国环境规划署巴塞尔公约亚太区域中心)

排版

Chandkachorn John Chandratat (IGES)

致谢

中文版译制

组织协调 涂瑞和、王茜、Panvirush Vittayapraphakul、张金华、刘思佳

翻译 刘奕劼

审校 张金华、刘思佳、董庆银

中文版排版编辑 侯哲闻

