


# 饮用水中的 微塑料

原著 世界卫生组织  
主译 黄振烈 隋海霞



 中国质量标准出版传媒有限公司  
中国标准出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

饮用水中的微塑料 / 黄振烈, 隋海霞主译. —北京:  
中国质量标准出版传媒有限公司, 2022.10  
ISBN 978-7-5026-5041-4

I. ①饮… II. ①黄… ②隋… III. ①饮用水—  
塑料垃圾—研究 IV. ①X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 ( 2021 ) 第 275729 号

世界卫生组织于 2019 年出版

《饮用水中的微塑料》

© 世界卫生组织 2019

本译著并非由世界卫生组织翻译, 世界卫生组织不对译文的内容或准  
确性负责。

《饮用水中的微塑料》英文原版, 日内瓦: 世界卫生组织; [ 2019 ].  
许可证: CCBY-NC-SA 3.0 IGO 应为具有约束力和真实性的版本。

中国质量标准出版传媒有限公司 出版发行  
中国标准出版社  
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 ( 100029 )  
北京市西城区三里河北街 16 号 ( 100045 )

网址: [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室: ( 010 ) 68533533 发行中心: ( 010 ) 51780238

读者服务部: ( 010 ) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

\*

开本 880 × 1230 1/32 印张 5.375 字数 106 千字

2022 年 10 月第一版 2022 年 10 月第一次印刷

\*

定价: 38.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: ( 010 ) 68510107

# 编委会

主 译：黄振烈      隋海霞

副主译：梁博萱      杨道远

参译人员（按所在单位及参译者姓氏笔画排序）：

南方医科大学

王传暄      田京立      史文婷      朱 栩      朱晓祺

孙麒祺      李浩南      李智明      汪 波      沈宇阳

陈绮菲      罗豫钦      钟怡洲      陶桂贤      黄煜基

谭兆晴

国家食品安全风险评估中心

朱 蕾      张 泓      高 洁      李建文      潘 峰

主 审：杨杏芬      刘兆平

# 序 言

水是生命之源，世界各国对于饮用水的安全保障都极为重视。随着社会的发展，各种化学物质通过饮用水进入人们生活的概率越来越大，而新型水污染物的安全性也受到世界各国的广泛关注。饮用水中的微塑料（microplastics）是近年来政府部门和科学界十分重视的问题。

微塑料是指粒径小于 5 mm 的塑料碎片，主要是废弃塑料在物理、化学、生物等因素的作用下不断碎片化造成的。微塑料在环境中长期存在，被广泛发现于海洋、河流中，人类通过饮用水等途径暴露于微塑料的情况相当普遍。然而，对于这些微塑料进入人体后的代谢和对健康的影响还了解不多。有的动物试验表明，微塑料可能引起肠道、肝脏、神经和生殖发育等器官产生毒性。但是，还缺乏在实际生活情况下，人们通过饮水和食物摄入的微塑料对健康影响的确凿证据。为了给世界各国政府和科学家提供指导性信息，世界卫生组织于 2019 年出版了《饮用水中的微塑料》一书，介绍微塑料在全球饮用水中的污染情况。

为了帮助中国有关各界认识微塑料这种新型污染物在饮用水中的存在情况，引起对饮用水中微塑料污染现状的广泛关注以及探讨适当应对、管控方式，南方医科大学和国家食品安全风险评估中心

的专家共同将这本世界卫生组织的出版物翻译成中文出版。中译本秉承遵照原著的原则，力求做到“信、达、雅”。全书内容丰富，数据翔实，期望相关领域研究人员和公众都能从本书中获得有益信息，也期望本书能对相关政策制定、宣传教育、日常生活发挥参考作用，共同助力实现我国“健康中国 2030 规划纲要”和“碳达峰和碳中和”目标。

中国工程院院士



2022 年 10 月于北京

# 摘要

## 背景

近年来，一些研究报告在自来水和瓶装水中检测到微塑料，引起人们对饮用水中微塑料可能影响人类健康的疑问与担忧。本报告概括了有关的证据、主要发现、建议、研究需要，是世界卫生组织（WHO）在评估暴露于环境中微塑料对人类的潜在健康风险方面的首份报告。本报告重点关注微塑料经饮用水途径暴露对人类的潜在健康影响。此外，人类其他暴露途径的资料也作为背景有简要涉及。

本报告是对水循环中微塑料的丰度、微塑料暴露对健康的潜在影响以及污水和饮用水处理过程中微塑料去除的文献综述。在本报告中，WHO 专家审查了上述文献的研究质量和相关性。本报告还参考了几个主要机构的相关调查，这些在整个报告中都有涉及。

作为一个大类，微塑料包含了一系列不同化学成分、形状、颜色、粒径、密度的材料，其定义大多数集中于其化学成分和粒径上，但是并没有一个科学上公认的微塑料定义。

## 水中的微塑料

微塑料在环境中普遍存在，现已在海水、污水、淡水、饮用水

(包括瓶装水和自来水)、食物和空气中检测到微塑料。

微塑料能够以多种方式进入淡水环境，主要通过地表径流和污水(已处理和未处理)排放，也通过合流污水溢流、工业排放、塑料垃圾降解、气体沉积等方式进入。然而，用于定量其各种进入方式及其上游来源的数据有限，并且有限的证据表明饮用水中某些微塑料也有可能来自自来水和/或瓶装水灌装的处理和运输系统。

一篇近期发表的系统文献综述分析了 50 篇检测淡水、饮用水或污水中微塑料的研究(Koelmans 等, 2019)，但因缺乏对环境中微塑料采样和分析的标准方法意味着难以进行不同研究间的比较。此外，很少有研究是完全可信的。尽管如此，我们还是可以从中得出一些初步结论。

在淡水中，按聚合物类型划分的微塑料颗粒检出的频率与塑料产品的产量和密度一致。研究发现了各种不同形状和粒径的微塑料颗粒。其中 9 篇文献分析了饮用水中的微塑料，报告微塑料的主要形状是碎片和纤维。最常检测到的多聚物种类是聚对苯二甲酸乙二醇酯和聚丙烯。

在淡水和饮用水的研究中，能检测到的最小颗粒通常由采样时筛网的网孔尺寸决定，这在不同的研究间存在显著的不同。淡水中的颗粒数为  $0\sim 10^3$  个/L。饮用水检测采用更小网孔尺寸的筛网，单个样本中颗粒数为  $0\sim 10^4$  个/L，均值为  $10^3\sim 10^3$  个/L。由于当前检测方法的限制，现可检测到的最小颗粒粒径为  $1\ \mu\text{m}$ 。大多数情况下，对淡水中微塑料的研究以较大的颗粒为主，使用筛网的网孔尺寸比用于饮用水研究的筛网网孔尺寸大一个量级。因此，不能

对淡水研究的数据和饮用水研究的数据进行直接比较。

## 饮用水中微塑料对人类的潜在健康风险

饮用水中的微塑料对人类造成的健康风险由微塑料危害和微塑料暴露构成。微塑料通过 3 种方式造成潜在危害：产生物理性危害的微塑料颗粒本身、化学物（未结合的单体、添加剂和自环境中吸附的化学物）、微塑料表面附着和定居的微生物（称为生物膜）。根据已掌握的有限证据，饮用水中微塑料携带的化学物和病原微生物对人类的健康影响较小。虽然没有充分的信息明确纳米颗粒的毒性，但是也没有可靠的信息表明这是一个值得关注的问题。

### 微塑料颗粒

微塑料颗粒毒性取决于一系列的物理性质，包括微塑料颗粒尺寸、表面积、形状、表面特征以及化学构成等。微塑料颗粒被摄入后在人体内的转化、转运和对健康的影响尚未得到充分研究，目前尚缺乏关于微塑料被摄入后的流行病学研究或人体研究。然而，粒径在 150  $\mu\text{m}$  以上的微塑料颗粒不易被人体吸收。此外，更小粒径的微塑料颗粒的吸收估计也会受到限制。人体对包括纳米塑料在内的极小微塑料颗粒的吸收和分布可能更高，但相关数据极其有限，且动物研究中证明有微塑料吸收的情况发生在极高的暴露量下，而饮用水不会出现这种极高暴露量的情况。有限的几个关于大鼠和小鼠摄入微塑料的毒理学研究的可靠性和相关性存疑，因为观察到的效应只在能够克服生物清除机制非常高的浓度下存在，并不能准确

反映微塑料低浓度暴露下的潜在毒性。基于这些有限的证据，尚不能确定通过饮用水摄入微塑料颗粒的风险，且目前没有数据表明通过饮用水的微塑料颗粒暴露与明显的健康问题有关。

### 化学物

在塑料生产过程中，聚合反应通常不会反应完全，这导致一小部分单体，如 1,3-丁二烯、环氧乙烷和氯乙烯，可能会渗入到环境中。塑料的生物降解和风化也可能导致残留单体的产生。然而，这些情况发生的程度尚不确定。在这些情形下产生的未结合单体有可能会渗入环境中，导致在饮用水中有着极低的浓度。

邻苯二甲酸酯类增塑剂和多溴二苯醚阻燃剂等添加剂大多不与聚合物共价结合，更容易迁移到环境中。添加剂的迁移也受其相对分子量的影响，相对分子质量小的添加剂通常比相对分子质量大的添加剂迁移速率更快。塑料的老化和风化可能对添加剂的迁移过程有较大的影响，但其总体作用尚不明确。然而，与添加剂向环境的其他排放途径相比，预期从微塑料中析出的添加剂相对较少。当微塑料经饮用水摄入时，目前对添加剂在胃肠道中从微塑料析出的相对可能性也缺乏了解，并且在目前有限的文献中出现了相互矛盾的结果。值得一提的是，在限制使用许多塑料中受关注的添加剂的法规出台后，添加剂的暴露逐渐减少，但之前的塑料中可能还会有这些添加剂，并可能通过塑料降解而存在于环境中的微塑料中。

微塑料的疏水性意味着微塑料有可能富集疏水的持久性有机污染物 (POPs)，如多氯联苯、多环芳烃和有机氯农药。POPs 可任

意吸附到环境中的有机碳上，因此，相对于沉积物、藻类和水生生物的脂质部分等其他环境介质，吸附到微塑料上的 POPs 的比例较小。现对经饮用水暴露的微塑料在体内析出 POPs 的相对可能性缺乏了解，微塑料中的 POPs 在体内是否析出取决于多种因素，包括微塑料颗粒的相对粒径、所富集化学物的质量、肠道内相对污染水平，以及微塑料颗粒在胃肠道中的停留时间。

为了评估微塑料相关化学物暴露对人类的潜在健康风险，WHO 设计了一个保守的暴露情形，即假定微塑料的高暴露伴随着化学物的高暴露，并使用暴露限值（MOE）法进行评估。被评估的化学物均在微塑料中被检出，具有毒理学意义且有合适的或已被接受的毒性分离点（POD）用于推导 MOE。每种化学物的 MOE 是未观察到不良作用水平或有限不良作用水平与在非常保守的暴露情形下的化学物的估计暴露量的比值。通过比较 MOE 的大小可判断该化学物的安全性。此次风险评估得到的 MOE 被认为有足够的保护作用，表明即使在极端暴露情形下，人类通过摄入饮用水暴露于化学物的健康风险也很低。

## 生物膜

当微生物在饮用水管道和其他表面上生长时，就会在饮用水中形成生物膜。虽然大多数生物膜中的微生物被认为是非致病性的，但有一些生物膜中含有游离微生物和病原体，如铜绿假单胞菌、军团菌属和福氏耐格里阿米巴原虫等，可形成生物膜的微生物在塑料等疏水的非极性物质表面上的附着速度快于亲水表面。环境条件也

会影响塑料和微塑料上生物膜的形成。少量关于淡水中微塑料的研究显示，微塑料有可能实现病原体的远距离运输，促进微生物之间抗药性基因的转移。但是没有证据表明饮用水中与微塑料相关的生物膜会对人体构成健康风险。相关健康风险被认为远小于饮用水源中人畜排泄物污染造成的高浓度的多种病原体所造成的健康风险。而且，淡水中微塑料相对浓度显著低于适宜病原体附着的其他颗粒相对浓度。对于饮用水处理过程中未去除的微塑料，其表面生物膜的相对重要性可以忽略不计，因为相比微塑料，饮用水输水系统的表面积更大，能支持形成更多的生物膜。

### 去除水中微塑料的处理技术

污水和饮用水处理系统被认为在去除具有与微塑料特性相似的颗粒方面非常有效。水处理中与颗粒清除相关的特性包括颗粒的粒径、密度和表面电荷。根据现有数据，污水处理可有效清除污水中90%以上的微塑料，其中以过滤等三级处理技术的清除效果最好。虽然关于饮用水处理过程中微塑料清除效能的数据有限，但事实证明，此种处理能有效清除比微塑料颗粒粒径小得多、浓度高得多的颗粒。在优化常规处理以产生低浊度的处理水时，可以通过混凝、絮凝、沉降或浮选、过滤方法清除粒径小于 $1\ \mu\text{m}$ 的颗粒。深度处理可以清除更小的颗粒，如纳滤可以清除粒径大于 $0.001\ \mu\text{m}$ 的颗粒，而超滤可以清除粒径大于 $0.01\ \mu\text{m}$ 的颗粒。这些事实结合已明确的清除机制，可以得出合理的结论：水处理工艺可以有效地清除微塑料颗粒。

一个需要重点考虑的问题是，许多国家没有污水和饮用水处理技术或未对其进行优化。在低收入和中等收入国家，约有 67% 的人口在没有接通下水道的情况下生活，而约 20% 从下水道排出的家庭污水未经过二级或二级以上的处理。在上述地区，微塑料在淡水来源的饮用水中的浓度可能更高，然而，暴露在未经处理或处理不当的水中存在的病原体带来的健康风险远远高于微塑料可能带来的风险。通过解决暴露于未经处理的水这一较大问题时，可以同时解决表层水和其他饮用水水源中微塑料这一较小的问题。

另一个需要考虑的问题是如何处置水处理过程中的废物。塑料通常不会被破坏，而是从一种形态转化为另一种形态。因此，水处理过程中的废物也可能是环境中微塑料污染的潜在来源。目前关于水处理过程中的废物处理及其对环境可能影响方面的数据有限。

## 环境中的塑料和微塑料污染的管理

不论经饮用水摄入微塑料是否对人类健康构成风险，我们都需要完善塑料管理并减少塑料污染，以保护环境和人类福祉。管理不善的塑料会导致与卫生健康相关的风险和空气污染，影响旅游业和整体生活质量。如果塑料继续以目前的排放量排放到环境中，在一个世纪内，微塑料可能会对水生生态系统造成广泛的危害 (SAPEA, 2019)，同时人类暴露的潜在风险也将增加。

为应对塑料和微塑料污染问题，公众参与度和政府承诺均有所增加。60 多个国家已经对一次性塑料（主要是塑料袋）进行征税或采取禁用措施 (UNEP, 2018)。

降低环境中的塑料排放是减少废弃塑料危害的关键。任何简单低成本的举措，只要能减少环境中的塑料排放，哪怕减少的程度很小，也都将是可取的。例如，改进塑料回收方案、减少丢弃塑料制品、改进循环使用方案、尽可能减少塑料的使用以及减少工业废物排放塑料到环境中。必须注意的是，在考虑缓解战略时必须小心谨慎，防止解决一个问题时又导致新问题的产生。在目前不同粒径（包括尚未能定量的极小颗粒）和类型的微塑料来源的资料有限的情况下，这一点尤其重要。同时，在采取政策和举措前必须考虑到塑料的有益之处，如一次性注射器在预防感染上有重要作用。优先采取的管理措施应是“无悔”的，体现在它们能带来许多好处并且/或者可以节约成本。

### 建议

目前尚不建议对饮用水中的微塑料进行常规监测，因为没有证据表明其会导致人类风险。饮用水中微塑料问题引发的关注不应影响水供应商和监管部门对清除病原微生物投入的资源，病原微生物同其他高优先级的化学物一样，仍是饮用水中对人类健康危害最大的因素。作为水安全计划的一部分，水供应商应确保控制措施有效并优化颗粒物清除和微生物安全相关的水处理技术，此过程也能附带加强对微塑料颗粒的清除。

研究者应当对微塑料开展有针对性的、严谨的和质量受控的调查性研究，以更好地了解淡水和饮用水中微塑料的丰度和来源、不同水处理技术和技术组合的效能，以及微塑料可能通过处理后的废

弃物的流动，如将污泥应用于农用地等方式而返回环境的严重性。

应该采取一定的措施来更好地管理塑料并尽可能减少塑料的使用，以最大限度地减少塑料和微塑料污染。虽然饮用水中微塑料暴露对人类的健康风险较低，但这些措施将给环境和人类福祉带来其他益处。

## 研究需求

现需填补一些研究空白以更好地评估人类健康风险并及时采取管理措施。在微塑料暴露方面，需要更深入地研究整个水供应链中微塑料的存在情况，使用可保证质量的方法确定微塑料的数量、形状、粒径、构成和来源并更好地表征水处理的有效性。另外需要进行相关研究，更好地了解与处理相关的废弃物流动对微塑料排放到环境中的作用。

需要获得质量有保证的与人类健康风险评估相关的几种常见塑料颗粒的毒理学数据，以支持关于微塑料对人类的潜在健康影响的研究。此外，需要进一步了解微塑料和纳米塑料在被摄入后的吸收、转运与消除等情况。

最后，考虑到人类可以通过各种环境介质（包括食物和空气）接触微塑料，因此，有必要更好地了解在更广泛的环境中微塑料暴露的总体情况。

## 致 谢

WHO 谨向以下所列同仁在内的所有为筹备和编写本报告作出贡献的专家表示感谢。

本报告是 2018—2019 年举行的几次专家会议的成果。首先，WHO《饮用水质量指导标准》(GDWQ)的化学工作组确立了此报告的重要性。随后，GDWQ 化学工作组与微塑料方面的专家于 2018 年 7 月在新加坡和 2019 年 4 月在瑞士协商，回顾关于饮用水中微塑料的重要发现。2019 年 1 月举行的讨论报告中关键章节的电话会议和 2019 年 2 月与几位作者举行的写作会议也为本报告提供了资料。

本报告为微塑料的健康影响和处理技术的相关章节做了文献综述。本报告中关于微塑料丰度的内容基于由 WHO 委派的一次关于饮用水、淡水和污水中微塑料的丰度以及这些研究的质量评估的系统综述 (Koelmans 等, 2019)。本报告还参考了几个主要机构的调查，这些在整个报告中都有涉及。

主要作者：

Pete Marsden

饮用水监察局，英国

Bart Koelmans

瓦赫宁根大学，荷兰

Julie Bourdon-Lacombe	加拿大卫生部，加拿大
Todd Gouin	独立顾问，英国
Lesley D'Anglada	美国环保局，美国
David Cunliffe	南澳大利亚卫生部，澳大利亚
Peter Jarvis	克兰菲尔德大学，英国
John Fawell	克兰菲尔德大学，英国
Jennifer De France	WHO，瑞士

提供见解、撰写文本、提供同行评审和参加会议的专家：

Nick Ashbolt	阿尔伯塔大学，加拿大
Virunya Bhat	WHO 合作中心、国家科学基金会 国际部，美国
Richard Brown	WHO，瑞士
Claus Gerhard Bannick	德国环境署，德国
Ruth Bevan	独立顾问，英国
Allen Burton	密歇根大学，美国
Enrique Calderon	布宜诺斯艾利斯大学，阿根廷
Richard Carrier	加拿大卫生部，加拿大
Joseph Cotruvo	Joseph Cotruvo 公司，美国
Ana Maria de Roda Husman	国家公共卫生与环境研究所，荷兰
Alexander Eckhardt	德国环境署，德国
Gunnard Gerdts	Alfred Wegener 研究所，德国
Bruce Gordon	WHO，瑞士

Francis Hassard	克兰菲尔德大学，英国
Andrew Humpage	独立顾问，澳大利亚
Paul Hunter	东英吉利大学，英国
Pranav Joshi	新加坡食品署，新加坡
Christine Lemieux	加拿大卫生部，加拿大
Stéphanie McFadyen	加拿大卫生部，加拿大
Rory McKeown	WHO，瑞士
Kate Medicott	WHO，瑞士
Gertjan Medema	KWR 水研究所、代尔夫特理工大学，荷兰
Choon Nam Ong	新加坡国立大学，新加坡
Angella Rinehold	WHO，瑞士
William Robertson	水微生物咨询公司，加拿大
Chelsea Rochman	多伦多大学，加拿大
Lisa Scheuermann	WHO，瑞士
Mark Sobsey	北卡罗来纳大学教堂山分校，美国
Shuhei Tanaka	京都大学，日本
Emanuela Testai	圣尼特亚高等研究所，意大利
Richard Thompson	普利茅斯大学，英国
Angelika Tritscher	WHO 前雇员，瑞士
Rhodes Trussell	Trussell 技术公司，美国
Wolfgang Uhl	水研究所和土木与环境工程部，挪威
Annemarie van Wezel	阿姆斯特丹大学，荷兰