

无人知晓的水质

看不见的水危机

执行概要

作者：Richard Damania、Sébastien Desbureaux、Aude-Sophie Rodella、Jason Russ 和 Esha Zaveri

无人知晓的水质

执行概要

无人知晓的水质

看不见的水危机

执行概要

作者：Richard Damania、Sébastien Desbureaux、
Aude-Sophie Rodella、Jason Russ、和 Esha Zaveri



世界银行集团

© 2019 国际复兴开发银行/世界银行
1818 H Street NW, Washington, DC 20433
电话: 202-473-1000; 网址: www.worldbank.org

本出版物是2019年世界银行出版的报告《无人知晓的水质：看不见的水危机》的执行摘要。完整报告请参见 <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/32245>。如需引用、再创作和修改，请使用完整报告。

本著作原版为世界银行于2019年出版的英文报告。如有不一致的问题，请以原语言为准。

本著作是世界银行工作人员的成果，其中也包括外部人员的贡献。本著作的发现、阐释和结论未必反映世界银行、世界银行执行董事会或其所代表的国家的观点。

世界银行不保证本著作数据的准确无误。本著作所附地图显示的疆界、颜色、名称和其他信息并不表示世界银行对任何地区的法律地位的看法，也不意味着对这些疆界的认可或接受。

权利和许可

本著作中的资料受版权保护。世界银行鼓励传播其知识，因此只要完整标注本作品版权归属，即可全部或部分复制本作品用于非商业目的。

任何关于版权和许可的询问，包括请附属权利，联系世界银行出版部。地址: World Bank Publications, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA; 传真: 202-522-2625; 电子邮件: pubrights@worldbank.org

封面照片: 来自Pixabay的Wietze Brandsma
封面及书籍设计: Studio Grafik, LLC。

目录

致谢	vii
执行概要.....	1

图

图ES.1	应对棘手问题的三种主要方法	5
图ES.2	政策干预阶梯	6

地图

地图ES.1	以生物需氧量、氮和电导率体现的水质风险	2
--------	---------------------------	---

致谢

本书由Richard Damania担任组长、Aude-Sophie Rodella担任副组长、成员包括Sébastien Desbureaux、Jason Russ和Esha Zaveri的团队撰写。本书得益于Jennifer Sara（水务全球发展实践局（Water Global Practice）全球局长）以及的水务全球发展实践局管理层的战略指引和总体指导。我们也感谢陈广哲（基础设施实践局（Infrastructure Practice Group）全球局长和地区局长）在这项工作的早期阶段给予的支持。

除作者完成的研究之外，这项工作还参考了大量的背景论文、笔记、建议和分析，包括以下内容：John Anderson（伦敦大学卫生与热带医学院（London School of Hygiene and Tropical Medicine）、Essayas Kaba Ayana（康奈尔大学（Cornell University）、Kelly Baker（艾奥瓦大学（Iowa University）、Konrad Buchauer（ARAConsult GmbH）、Claire Chase（世界银行）、Yue Chen（世界银行）、Oliver Cumming（伦敦大学卫生与热带医学院）、Jorge Escurra（世界银行）、Florian Heiser（世界银行）、Towfiqua Hoque（世界银行）、Michael Jermen（俄勒冈大学（University of Oregon）、George Joseph（世界银行）、Qiong Lu（世界银行）、Darwin Marcelo（世界银行）、Frédéric Mortier（法国国际发展农业研究中心（CIRAD）、Léa Noyer（巴黎综合理工大学（Ecole Polytechnique）、Daniel Odermatt（联邦供水、废水处理与水资源保护研究所（Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology）、Sheila Olmstead（德克萨斯大学（University of Texas）、Marcus Poeppke（世界银行）、Aditi Raina（世界银行）、Giovanna Ribeiro（评估与结果学习中心（Center for Learning on Evaluation and Results）、Ali Sharman（世界银行）、Anshuman Sinha（世界银行）、Amal Talbi（世界银行）、Michelle van Vliet（瓦赫宁根大学及研究中心（Wageningen University & Research）、Yoshihide Wada（国际应用系统分析研究所和乌得勒支大学（International Institute for Applied Systems Analysis– IIASA & Utrecht University）、Martin Wagner（挪威科技大学（Norwegian University of Science and Technology）、Cheng Xu（华盛顿大学（George Washington University）、Sally Zgheib（世界银行）、Jiameng Zheng（德克萨斯大学（University of Texas）、和Juan Ignacio Zoloa（国立拉普塔特大学（National University of La Plata）。

作者还获得了世界银行同事的深刻而很有帮助的建议和评论，包括Aleix Serrat Capdevila（高级水资源管理专家）、Genevieve Connor（实践经理）、Alexander Danilenko（资深供水和卫生专家）、Marianne Fay（首席经济学家）、Martin Gambriell（水务和卫生领头专家）、Pier Mantovani（供水和卫生领头专家）、Pratibha Mistry（资深供水和卫生专家）、Ernesto Sanchez-Triana（环境领头专家）、Pieter Waalewijn（资深水资源管理专家）和Marcus Wijnen（资深水资源管理专家）。

此外，本团队非常感谢Hartwig Kremer（联合国环境规划署）对研究的建议和支持，以及Carter Brandon（世界资源研究所（World Resources Institute）、Dustin Garrick（牛津大学）和Bruce Gordon（世界卫生组织）的有益反馈。

世界银行的水资源通讯、知识和出版团队，包括Erin Barrett、Meriem Gray、Martin Hall、Li Lou和Pascal Saura，为将手稿转化为最终报告提供了宝贵的支持。

Finally, Georgine Badou provided impeccable administrative support for which the team is grateful. 最后，Georgine Badou提供了完美的行政支持，本团队对此表示感谢。

这项工作是由世界银行集团水务全球发展实践局的全球水安全和卫生合作机制（Global Water Security and Sanitation Partnership）（参见<https://www.worldbank.org/en/programs/global-water-security-sanitation-partnership>）提供的资金支持而完成的。

执行概要

1969年的夏天，凯霍加河（Cuyahoga River）着火了。那已不是这条位于俄亥俄北部的河第一次着火了——甚至也不止是第十次。每隔几年，一个意外的火花就会把河面点燃，并威胁附近的建筑物或过往船只。1969年的火灾造成的损失和持续时间并不是特别引人注目。但它确实点燃了已经在全国闷燃的环境动荡这个火药桶。在那次火灾发生后六个月内，美国国会通过了《国家环境政策法案》（National Environmental Policy Act），成立了美国环境保护署（EPA）。美国环境保护署最初采取的行动之一是实施1972年的《清洁水法案》（Clean Water Act）。该法案规定，到1983年，所有水道的水质必须达到足以保证游泳和水生生物安全的水平。

50年过去了，水质问题仍然是一个挑战。就像1969年的凯霍加河一样，许多其他的水体也“着火”了——有些是真的着火了，比如中国东部的梅屿河，或者印度班加罗尔的贝兰杜尔湖（Bellandur Lake），这些大火产生的灰烬落到了六英里外的建筑物上。然而，大火多数是在不知不觉中燃起来的，细菌、污水、化学物质和塑料吸收了水溶解后释放出的氧气，然后把河面变成一片火海，把水变成了人类和生态系统的毒药。由于缺少信息，以及问题经常超越学科界限的复杂性（涉及环境科学、医疗卫生、水文学和经济学，且每个学科都有不同的见解），对这个问题的理解受到了限制。

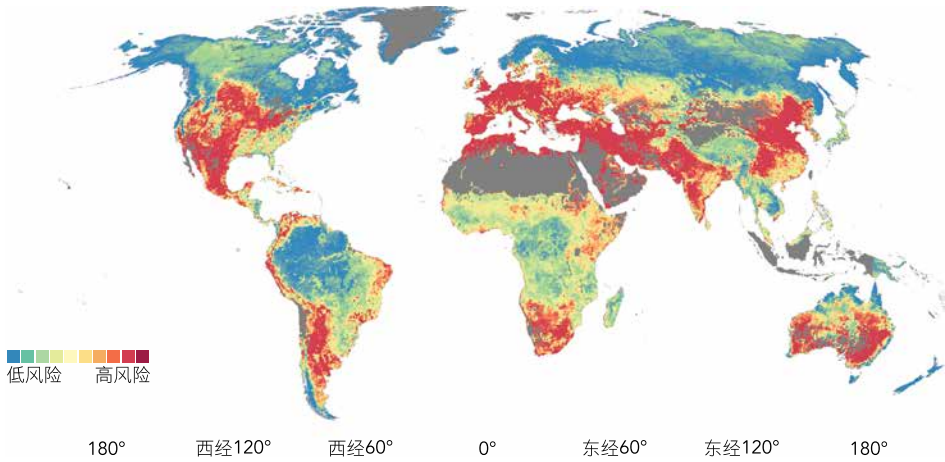
本报告带来新的成果，阐明了隐藏在水面下的危险的影响，并阐明了抗击这些危险的战略。主要的（但不是唯一的）重点是水质可持续发展目标（SDG）6.3.2中跟踪的参数，其重点是水体的营养负荷、水盐平衡和整体环境健康。本报告表明，可持续发展目标6.3.2中确定的参数所产生的影响比以往已知的范围更广、更深、更大，表明有必要更广泛地关注水质，而不是局限于粪便大肠菌群和大肠杆菌等与卫生相关的污染物指标。认识到问题的范围、确定其影响的程度、并制定解决这些问题的方法，对在整个21世纪改善公共卫生、保护生态系统和保持经济增长至关重要。

了解问题的严重程度

水质问题很复杂，需要跟踪的参数众多，这至少在一定程度上说明了全球水质监测如此棘手的原因。为了阐明这个问题，这项研究建立了一个庞大的——也许是最大的——水质数据库。有些数据是利用来自现场监测站或样本的信息从地表以下收集的。有些数据是卫星利用遥感技术从空中收集的。其他数据则是由计算机利用机器学习模型生成的。后者特别有趣，因为监测站和遥感提供了空间和时间上有限的点的数据，而模型生成的数据可以填补空白，更全面地反映水质状况。充分挖掘所有这些证据提供了一些鲜明的洞见。

富国和穷国都面临严重的水污染。地图ES.1显示了可持续发展目标6.3.2的三大主要水质指标面临的总体全球水质风险：氮

地图ES.1: 以生物需氧量、氮和电导率体现的水质风险



注：此图显示的是水质指数，概括了全球生物需氧量、电导率和氮的预测数据。每个数值都按比例缩放到共同支撑条件，以便具备可比性，然后将其相加。显示的数据是2000年10月（2000-10）的平均值。灰色区域缺少一个或多个参数的数据。关于索引构建的更多细节请参见附录（可通过以下链接打开：www.worldbank.org/qualityUnknown）。

（硝酸盐-亚硝酸盐）——在规模、范围、趋势和影响方面都是一种超级污染物（outlier pollutant）；电导率——测量水的盐度的方法；生物需氧量（BOD）——一种广泛使用的水质综合指标。从地图ES.1中可以清楚地看出，进入高收入国家行列并不能免受水质问题的影响。这与基于环境库兹涅茨曲线（Kuznets curve）假说——认为污染最终将随着经济繁荣而减少——的假设相矛盾。污染不仅不会随着经济增长而减少，而且污染的范围往往会随着经济的繁荣而扩大。仅美国每年就会收到向环境中排放超过1000种新化学品的通知——或者说每天大约有3种。即使在拥有大量资源的国家，应对这种日益扩大的风险范围也极为困难，而发展中国家几乎不可能做到这一点。

这个问题为何如此重要？

本报告的结果显示了水质在多个部门的重要性，及其对几乎所有可持续发展目标的影响。水量方面的挑战受到开发领域的高度重视，但水质方面的影响可能同样重要，甚至更加重要。本报告描述了新的分析结果。这些分析发现，水质对健康、农业和环境的影响比以往所知的更大。当这些行业所受的影响汇总时，它们会导致经济增

长显著放缓。众所周知的污染物，如粪便污染物，以及新的污染物（包括营养物、塑料和药品）都带来巨大挑战。氮是农业生产所必需的，但也具有挥发性和不稳定性。通常超过一半的氮肥会渗入水中或挥发到空气中。在水中，它可能会导致缺氧和形成死亡区（dead zone）——由于水中缺少溶解氧而产生的问题，可能需要几个世纪才能恢复。在空气中，它可能会形成一氧化二氮——一种温室气体，其捕获热量的能力是二氧化碳的300倍。这就是为什么一些科学家认为，世界上的氮可能已经超过了安全的地球边界，而且它是世界上最大的外部性问题，甚至超过了碳。

虽然众所周知，氧化氮对婴儿可能是致命的，但本报告显示，那些幸存下来的人可能会终生面临创伤——因为它会影响其发育和晚年收入。水中的氮是造成蓝婴综合症的罪魁祸首，蓝婴综合症使婴儿缺氧。本报告发现，那些幸存下来的人在他们的的一生中都承受着长期创伤。出生在印度、越南和33个非洲国家的婴儿在出生后的头三年暴露在高水平的硝酸盐环境中，他们的个子比正常情况要矮一些。这个结果之所以引人瞩目，原因有三个：首先，它意味着婴儿时期暴露在硝酸盐环境中会抵消人类身高在过去半个世纪的大部分增长（一个众所周知的健康和生产力指标）；其次，它表明硝酸盐对身高和其他发育指标的影响可能与粪便大肠菌群相似或者更加严重；最后，即使是在硝酸盐含量低于安全水平的地区也发现了受影响的人群。

这些新发现表明，将氮作为化肥（对农业有益）与节约使用氮肥以保护健康之间存在着明显的矛盾。一个简单的计算可以量化这种矛盾：在全球范围内，每公顷土地每增加一公斤化肥可以增产4% - 5%。然而，随后的化肥径流和硝酸盐释放到水中的风险大到足以使儿童发育迟缓的比例增加11% - 19%，并使其晚年收入下降1% - 2%。对这一发现的保守解释表明，对化肥的大量补贴可能对人类健康造成的损害与其给农业带来的好处一样大，甚至更大。

盐——自古以来一直是困扰全世界的最基本污染物——在全世界的土壤和水中呈上升趋势。本报告介绍了新的研究项目，这些研究项目记录了盐对农业生产的影响程度。苏美尔（Sumer）文明给我们带来了车轮、犁和文字，也是灌溉农业的先驱。但灌溉导致盐在土壤中累积，破坏了农业的潜力，并导致这一伟大文明的衰落。今天，咸水和盐碱化土壤正在世界大部分地区蔓延——尤其是低洼的沿海地区、灌溉旱地和城市周边地区——对农业产量产生了巨大的影响。本报告量化了对产量的影响，发现产量几乎随着水中盐浓度的增加而直线下降。总的来说，每年由于咸水而损失的食物足以养活1.7亿人，相当于孟加拉国那么大的国家。含盐饮用水对人类健康有害，特别是在生命周期的脆弱阶段——婴儿期和妊娠期——并危及人类发展。在咸水泛滥的孟加拉国受影响最严重的沿海地区，死亡婴儿中有高达20%都是由咸水造成的。暴露在高盐环境中的孕妇更容易流产，患子痫前期和妊娠高血压的风险也更大。但新的研究发现，盐度水平低于孟加拉国的地区也受到明显影响。在孟加拉国，含盐地区的胎儿死亡率的上升幅度高达4%。当暴露在高盐环境下的婴儿存活下来后，

他们面临更高的健康并发症风险。尽管如此，目前还没有以健康为基础的饮用水含盐量标准。

微型塑料和药物等新出现的令人担忧的污染物体现了水质问题的复杂性：它是一个多面性问题，没有直接或明显的解决办法。塑料和药品的用途难以估量，然而，这些意想不到的副产品产生的后果是广泛存在的，且难以量化和控制。微型塑料是消费品、塑料袋和其他高分子材料的分解产品，在全世界无处不在。尽管这个问题的严重程度还不确定，但一些研究已经在全世界80%的淡水资源、81%的城市自来水、甚至93%的瓶装水中检测到它们。尽管人们越来越担心摄入微型塑料和纳米塑料可能对人类健康有害，但关于安全临界值的信息仍然有限。塑料一旦进入水中，就很难去除，而且成本高昂。自愿减少、重复使用和回收塑料的方法虽然很受欢迎，但也只能做到这一步了，而且如果没有适当的法规和激励措施相结合，这个问题就无法得到解决。因此，预防是关键，更好地了解这些危害、以及将暴露和危害评估方法标准化的必要性也是关键。

考虑到污染物的范围，是否有可能确定不良水质对经济活动造成的总经济成本？污染物数量众多、测量的复杂性和影响的不确定性使得这个问题无法获得答案。但是，可以利用最近获得的以国内生产总值（GDP）、水质和其他相关参数衡量的经济活动的在空间上不连贯的数据集，来测量上游水质和下游经济活动之间的关系。上游释放的污染抑制了下游地区的经济增长，使下游地区GDP增长率的下降幅度高达三分之一。虽然许多水质参数可能影响经济增长，但考虑到生物需氧量能够代表多种污染物，因此，生物需氧量也许是测量上游水质与下游GDP之间关系的最适当指标。当地表水的生物需氧量水平达到河流被认为是严重污染的水平（每升超过8毫克），下游地区的GDP增长率就会下降三分之一。这是又一个明显的迹象，表明经济生产的利益和环境质量之间经常存在矛盾，经济生产所产生的外部性可能是循环性的，并降低了下游地区的经济增长。

解决这一棘手问题的政策

随着经济的发展和新的污染物的出现，水质问题变得越来越复杂。污染物增加的范围因行业、地理位置和发展水平而异。关于安全水平、以及对人类和生态系统所产生影响的大小和类型，仍然存在很大的不确定性。水质问题的解决不仅没有灵丹妙药，而且就连提出一个适当的应对方法也是一个挑战。测量、了解和调节水质构成了“棘手问题”的要素，“棘手问题”是设计理论家Horst Rittel和Melvin Webber创造的一个术语，用来描述没有最佳解决方案的复杂问题。

面对这些棘手的挑战，政策制定者有三种可用的方法：被动的不作为方法，主动的预防方法，或者应对式的污染物治理方法（图ES.1）。政策上不作为在低收入国家或污染物影响存在不确定性的

图ES.1: 应对棘手问题的三种主要方法



国家很常见。将对感知的危险作出反应的任务留给个人，例如，他们可能会迁移到一个更安全的地方，或者通过私人的规避行动来避免影响。在监管能力较强的地方，政策制订者可以主动采取行动，设法在源头防止或减少污染。或者，它们可能采取应对式措施，并试图处理有毒排放物，通常的方法是投资各种类型的水处理设施。

前进的道路需要这些方法的组合使用，并根据当前水质挑战的特殊性量身定制。首先，它需要获得有关问题的规模和范围的更多信息，并以公开和透明的方式向受影响的各方提供这些信息。其次，它需要更好的激励措施来防止污染进入环境。俗话说，一盎司的预防胜过一磅的治疗，考虑到影响的高度不确定性，预防往往是最安全的选择。最后，由于防止所有污染的成本高昂，必须进行明智的投资，以有效地治理污染。图ES.2描述了其中的每一个路径，该图总结了一个干预措施的阶梯，这些干预措施从效果相对较低的开始，但更容易实施，然后干预措施的复杂性和影响逐步增加。

改善水质测量是至关重要的第一步。几乎没有发展中国家对水质进行充分监测。新技术和技巧提高了测量的可行性和可靠性。最近的试验表明，涉及多方的多层次监测系统可以提高所收集数据的可靠性。这些数据进而可与遥感和机器学习互为补充，以提供一个额外的独立验证层。虽然区块链技术在水务部门的使用仍处于试验阶段，但它可以以较低的成本提供一种有希望的附加验证层和透明度，并通过包含新收集的数据来提高可靠性。

信息披露是政策组合的重要组成部分。在存在较大不确定性的情况下，信息具有很高的经济价值。正如本报告的分析所表明的那样，世界各地普遍存在的主要水污染物的安全临界值具有相当大的不确定性。在这种情况下，就现有证据和所涉及的不确定性提供明确和可理解的指引，将使消费者具备作出更好选择的能力。信息披露最有力的成果之一是它能够激发社会运动，并为政策改进创造必要的支持。如果公民不知晓或不了解情况，他们就无法采取行动。支持并提供这些信息是被管理者和管理者之间存在的社会契约的基础，也是控制这一棘手问题的关键。

只有与设计良好的法规相结合，为公司和个人提供遵守水质指引的激励措施，水质测量才会有效。但监管的管道越长，泄露、寻租和腐败的机会就越大。

因此，监管能力有限的发展中国家在执行方面的缺陷特别大。幸运的是，在这种情况下，可以利用新技术来改善制度的

图ES.2: 政策干预阶梯



执行。例如，智能合同——用嵌入到区块链中的计算机代码编写的规则，当条件满足时会自动执行——可以用来自动强制污染者付款。这种自动执行在一定程度上增加了强制执行过程中经常缺少的透明度。为了使预防措施行之有效，监测系统需要有防篡改功能，而且不可能逃避对违反行为实施的制裁。通过适当关注激励措施和设计，这种制度可以激励污染者采取行动。

对污水处理基础设施的长期假定需要改变——投资必须扩大，但也需要更加有效。世界上超过80%的污水——在一些发展中国家超过95%——仍然未经处理就排放到环境中。因此，迫切需要加大对污水处理厂的投资，特别是在人口稠密地区。但本报告发现，对污水处理设施的投资有时几乎不会导致水质的显著改善，这是对稀缺公共资金的浪费。这清楚地表明，投资必须伴随着适当的激励机制，以监督业绩，惩罚浪费，并奖励成功。此外，公共部门资源的巨大缺口表明，需要新的模式来吸引私人投资。

最后，更好的土地利用政策和明智的空间规划对于保护供水水源（water supplies）至关重要。森林和湿地是吸收过量养份的天然缓冲带，否则，水道会被污染。本报告发现，全球范围内，陆地面积的扩张——城市扩张和农业用地扩张——是环境水质的最大威胁之一。它大大增加了缺氧（死亡区）的风险，这对生态系统和人类健康都是一个巨大的威胁。因此，保护重要森林、湿地和自然生物量的土地利用政策，特别是在价值高的水资源附近的土地利用政策，是保护供水水源的关键。

需要采取行动：水质问题需要成政治上优先目标，并应被视为公共卫生、经济和生态系统的紧迫关切。本报告发现的结果表明，长期成本被低估，拨款也不足。水质差造成的威胁在很大程度上是难以察觉的，因此，政策的不作为和拖延往往是对一个无形问题的便捷应对方式。但这意味着人们在不知情或未经他们同意的情况下遭受危险。随着人口的增长和气候的变化，水资源的短缺预计会加剧，世界不能浪费和污染其宝贵的水资源。

