

Views & Comments

水安全问题——我们需要全球性的解决方案

Roger A. Falconer

^a Hydro-environmental Research Centre, School of Engineering, Cardiff University, Cardiff CF24 3AA, UK^b Yangtze Institute for Conservation and Development, Hohai University, Nanjing 210024, China

1. 水安全挑战

在过去的二三十年里，国际社会对全球水安全的关注不断增加，同时人类也需要采取更全面的方法来提供可持续的解决方案，以应对水管理方面日益严峻的挑战。尽管在此期间有一系列备受瞩目的关于全球水安全的报告得以发布（例如，文献[1]），但挑战依然存在，而且——如果有的话——正变得更加严峻。我们的地球淡水资源有限：全球总水量为 $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$ ，其中淡水只占 $3.5 \times 10^7 \text{ km}^3$ ，而且大部分以冰的形式存在。因此，只有 $1.05 \times 10^5 \text{ km}^3$ 的淡水可以用作水源，目前 70% 的淡水提取量用于农业，大部分用于粮食生产[2]。

对一些水安全相关的挑战（特别是在发展中国家）总结如下：

- 目前世界上有 12 亿人在生活中无法获得安全饮用水。每年有 50 多万五岁以下儿童死于腹泻[3]，主要原因是水质差和卫生设施不足。
- 大约 20 亿人仍然没有基本的卫生设施，如厕所或公厕。其中，6.73 亿人仍然在街道排水沟或开放水域等露天场所排便[4]。
- 发展中国家的妇女和儿童平均每天步行 5 km，取回 20 多升的清洁水供全家使用[5]。
- 洪水经常造成重大生命损失，并摧毁房屋和企业；例如，2004 年印度洋海啸导致 14 个国家约 227 898 人死亡

[6]。此外，洪水过后，水中粪便细菌含量高，可能造成比洪水本身更严重的生命损失[7]。

- 其他与水安全有关的有趣事实包括：全球范围内拥有手机的人数多过有条件使用厕所的人数[8]；据估计，在 2010 年，世界上任何时候都有超过一半的医院床位被与水有关的疾病患者占据[9]。

如果水和环境工程师要提供可持续的水解决方案，以应对上述挑战，保护同胞、动植物、生态系统服务等，那么我们就需要探索全球性的解决方案，以应对洪水、干旱、污染和卫生等挑战。除了这些挑战之外，国际上对以下问题的关注也越来越多：①气候变化，目前预计到 21 世纪末，全球气温将上升 $1.5 \sim 5 \text{ }^\circ\text{C}$ [10]；②人口增长，目前全球人口总数已超过 75 亿，预计到 21 世纪末将稳定在 115 亿左右[11]。如果全球平均气温上升 $2 \sim 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ，那么全球将出现重大的水资源问题，包括更多的极端干旱和洪水，以及海平面大幅上升造成的全球灾难性的沿海洪灾[12]。另外，预计到 21 世纪末，人口增长将导致水、食物和能源的需求分别增加 30%、50% 和 50%。水-食物-能源关系对人类在这个星球上的生存至关重要，而水几乎对一切都至关重要，如能源供应、食物、健康、工业和贸易等。

2. 水循环与虚拟水

首要考虑的事项是水循环，淡水是通过水循环以降雨

和径流的形式提供的。在制定“从云到海岸”的方法来解江河流域的水安全问题时[13]，值得注意的是，如图1[1]所示，落在陆地上的降雨通常只有36%直接到达海岸（称为“蓝水”）。这些降雨的剩余部分被保存在土壤和植被中（称为“绿水”）得到利用。进入河流、湖泊和含水层的蓝水大部分被提取用于家庭消费，因此受到公众最多的关注。最后，“灰水”是排入河流的家庭生活废水，一般都有一定程度的污染。

如图1所示，从河流、地下水和土壤中抽取的蓝水和绿水可用于生产食品和其他商品（通过作物种植和/或制造加工）。根据当地经济状况，这些产品可以供给国内市场或出口到其他国家。用于生产产品的水被称为“虚拟水”，形成水足迹，这与碳足迹类似。文献[14]中给出了生产食品和其他商品所消耗的水总量的典型值。例如，生产1 kg小麦需要消耗1300 L水，而生产1 kg牛肉需要消耗15 000 L水，也就是说，生产相同重量的牛肉需要消耗10倍以上的水。再看其他商品，生产一杯咖啡需要消耗140 L的虚拟水；这些水主要由一个国家（如巴西或肯尼亚）消耗，但咖啡可能在另一个国家（如英国）被饮用。同样，生产一条棉质牛仔褲通常需要消耗73个浴池的水（浴池容积为150 L），用于生产棉花和染料；这类水资源主要由印度、乌兹别克斯坦、巴基斯坦、土耳其和埃及等国家消耗，生产的棉花产品则供应至欧洲国家[15]。

此处以棉花制品为例，解释为何必须从全球范围的角度考虑水安全以实现可持续的水资源管理。西方国家以英

国为例，英国每年的水足迹通常包括38.6 Gm³的内部用水（用于家庭消费、农业和工业），此外典型的外部水足迹为63.6 Gm³·a⁻¹。因此，英国是全世界最大的虚拟水进口国之一。英国国内不生产棉花作物，因此几乎所有棉花水足迹都来自进口。传统的西方文化进一步加剧了这种情况，在这种文化中，男人可以在一周内每天都穿同样颜色的西装（如灰色）和衬衫（如白色）上班，而从事同样工作的女人在一周内大部分时间都要穿不同颜色的裙子或衬衫和长裤。假设这些服装中有一部分是由棉花制成的，那么一个典型的职业女性在棉花消耗方面的虚拟水足迹要比其男性同行大得多。他们服装中使用的棉花主要来自上述大型棉花出口国，许多这样的棉花生产商在将污水排放回河流域之前要么不处理被污染的水，要么进行最低限度的处理。这种被污染的废水会使下游居民面临潜在的严重健康风险，特别是对脆弱的婴儿和幼儿。棉花生产排放的污染物是对水生生态系统危害最严重的有害污染物之一；世界银行估计，17%~20%的工业水污染来自纺织品染色和织物精整[16]。如图2所示，作物生产产生的废水通常未经处理直接排入河流流域系统[17]。

鉴于在一个国家购买产品会对另一个国家的水污染产生影响，解决虚拟水问题的关键挑战之一与定价有关。例如，在英国，一个家庭用户每天使用约150 L水，然后通常由当地水务公司收取约6美元·m⁻³的费用。然而，虽然这一收费包含了净水输送费和废水收集费，但不包括其他国家为维持良好的河流域生态所需的虚拟水处理（例

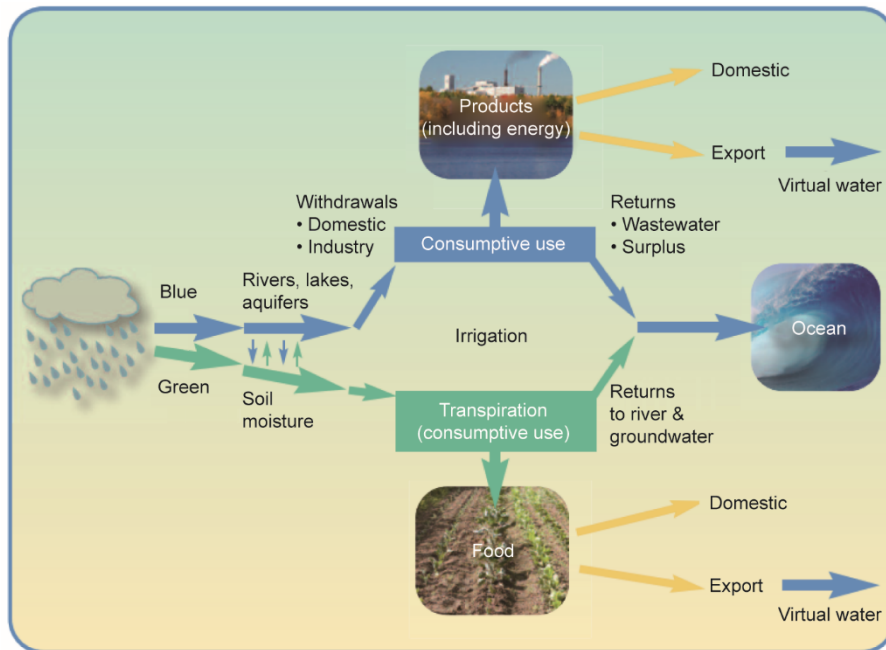


图1. 水循环，展示绿色和蓝水 [1]。



图2. 排入河流域的高度污染的农业废水[17]。

如在作物生产中)的费用。由于在国内生产总值(GDP)较低的国家生产的棉布服装成本往往不包括污水处理费,这就导致生活在污染源下游的居民的健康风险增加。这就引出了一个问题,发达国家的产品(如棉布服装)消费者是否应该为这些产品支付额外的污水处理费?这样不仅可以使产品的国际贸易定价更公平合理,而且可以确保虚拟水的进出口贸易不会加剧生产国的水污染和国民健康风险。这种更公平的定价可能会在实现联合国可持续发展目标(SDG)6:“确保所有人用水和卫生设施的可用性和可持续管理”方面发挥很大作用。

虚拟水只是全球水安全的一个方面,许多其他非技术方面的因素也同样值得关注。在2018年全球水安全会议上, Margaret Catley-Carlson 倡导大家——特别是科学家和工程师——重视非技术因素,因为他们往往专注于讨论和解决技术解决方案。Catley-Carlson提出了一件科学家和工程师经常忘记的事情:只关注技术方面的问题,很少能得到有效的解决方案。因此,会议观点文章[18]强调了几个非技术方面的因素(如虚拟水),并提出以下几点建议:①必须重视社会科学,并将它纳入水资源工程设计、研究、决策和政策制定的各个阶段;②跨学科团队对于有效推进技术解决方案至关重要;③所有相关参与者(如社区领袖、工业、农业和当选官员)必须参与讨论问题和可能的解决方案;④与制定协调一致的公共政策有关的政治层面和制约因素对于有效应用技术解决方案至关重要。由于这些非技术方面的问题很少被完全纳入水资源科学和工程中,因此文献[18]强调和讨论了七个与之相关的重点工作:减少粮食浪费,增加废水回用,提高农业抗灾能力和效率,优化灌溉效率和提高作物水分生产率,改善供水管理,完善水资源基础设施,以及加强水资源决策和政策制定。

3. 全球水安全解决方案工程

在应对实现全球水安全的挑战和确保实现可持续发展

目标6的过程中,水利工程师和科学家可以在以下部分或全部任务中发挥关键作用:

- 宣传在全球范围内解决水安全问题的必要性,特别是在气候变化导致全球水资源压力不断增加的背景下;
- 促进关于水-食物-能源关系和虚拟水概念的教育,即高GDP国家从低GDP国家进口虚拟水(如购买棉花产品)会加剧出口国的水污染和国民健康风险;
- 推动对产品生产中使用的水进行适当定价,以确保因作物种植和产品制造产生的污水在被排回水生系统和污染下游河流之前在源头得到处理;
- 探索低成本的解决方案,让农民和工业界在将废水排回自然水系之前进行处理;
- 推广使用基于自然的解决方案,以帮助冷却地球和恢复退化的生态系统[19];
- 推广最先进的解决方案(如水耕法和垂直耕作法),提高单位水的作物产量,从而减少水和肥料的消耗;
- 依靠多学科团队提供具有成本效益的解决方案以应对全球水安全挑战;
- 提倡在水安全的研究和开发方面进行更多的全球投资,因为相较于其他行业(如汽车制造、信息技术等),水安全方面的投资水平低了很多;

全球社会和主要国际机构必须认识到,水终究是当今地球上最宝贵的资源之一。人在没有汽车等商品的情况下也能在地球上生存,但没有水人就无法存活。因此,我们需要给予水足够的重视,并确保水安全成为全球决策和投资的核心。

References

- [1] The Royal Academy of Engineering. Global Water Security—an engineering perspective. Report. London: The Royal Academy of Engineering; 2010 Apr.
- [2] Khokhar, T. Charts: globally, 70% of freshwater is used for agriculture [Internet]. Washington, DC: The World Bank Group; 2017 Mar 22 [cited 2021 Aug 20]. Available from: <https://blogs.worldbank.org/opendata/chartglobally-70-freshwater-used-agriculture>.
- [3] UNICEF data diarrhoea [Internet]. New York City: United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF); 2021 Apr [cited 2021 Aug 20]. Available from: <https://data.unicef.org/topic/child-health/diarrhoeal-disease/>.
- [4] Sanitation Key Facts [Internet]. Geneva: World Health Organisation [cited 2019 Jun 14]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>.
- [5] World Water Day: how far would you walk for water? [Internet]. Boston: OXFAM; 2019 Mar 21 [cited 2021 Aug 20]. Available from: <https://www.oxfamamerica.org/explore/stories/world-water-day-how-far-would-you-walkwater/>.
- [6] What was the Indian Ocean Tsunami of 2004? [Internet]. St. Laurent: WorldAtlas [cited 2021 Aug 20]. Available from: <https://www.worldatlas.com/articles/what-was-the-indian-ocean-tsunami-of-2004.html>.
- [7] Kay D, Falconer R. Hydro-epidemiology: the emergence of a research agenda. Environ Fluid Mech 2008;8(5-6):451-9.
- [8] More people have mobile phones than toilets [Internet]. Jersey City: Forbes; 2013 Mar 23 [cited 2021 Aug 20]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/timworstall/2013/03/23/more-people-have-mobile-phones-than-toilets/?sh=>

- 619d611d6569.
- [9] Falconer RA, Norton MR. Global water security: engineering the future. In: Fernando H, Klaić Z, McCulley J, editors. National security and human health implications of climate change. NATO science for peace and security series C: environmental security. Dordrecht: Springer. p. 261–70.
- [10] Tollefson J. How hot will Earth get by 2100? *Nature* 2020;580:443–5.
- [11] The 2019 revision of the world population prospects [Internet]. New York City: United Nations; 2019 [cited 2021 Aug 20]. Available from: <https://population.un.org/wpp/>.
- [12] Herring D. Climate change: global temperature projections [Internet]. Silver Spring Maryland: NOAA Climate.gov; 2012 Mar 6 [cited 2021 Aug 20]. Available from: <https://www.climate.gov/news-features/understandingclimate/climate-change-global-temperature-projections>.
- [13] Huang G, Falconer RA, Boye BA, Lin B. Cloud to coast: integrated assessment of environmental exposure, health impacts and risk perceptions of faecal organisms in coastal waters. *Int J River Basin Manage* 2015;13(1):73–86.
- [14] Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM. The water footprint assessment manual: setting the global standard. London: Earthscan Publishing; 2011. p. 224.
- [15] Hoekstra AY, Chapagain AK. Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources. Oxford: Blackwell Publishing; 2008. p. 208.
- [16] Kant R. Textile dyeing industry an environmental hazard. *Nat Sci* 2012;4(1):22–6.
- [17] Water's promise: making every drop count [Internet]. Washington, DC: World Bank Group; 2018 Mar 14 [cited 2021 Aug 20]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=X9H1Z37lmzs>.
- [18] Harmel RD, Chaubey I, Ale S, Nejadhashemi AP, Irmak S, DeJonge K, et al. Perspectives on global water security. *Trans ASABE* 2020;63(1):69–80.
- [19] Girardin CAJ, Jenkins S, Seddon N, Allen M, Lewis SL, Wheeler CE, et al. Nature-based solutions can help cool the planet-if we act now. *Nature* 2021;593:191–4.