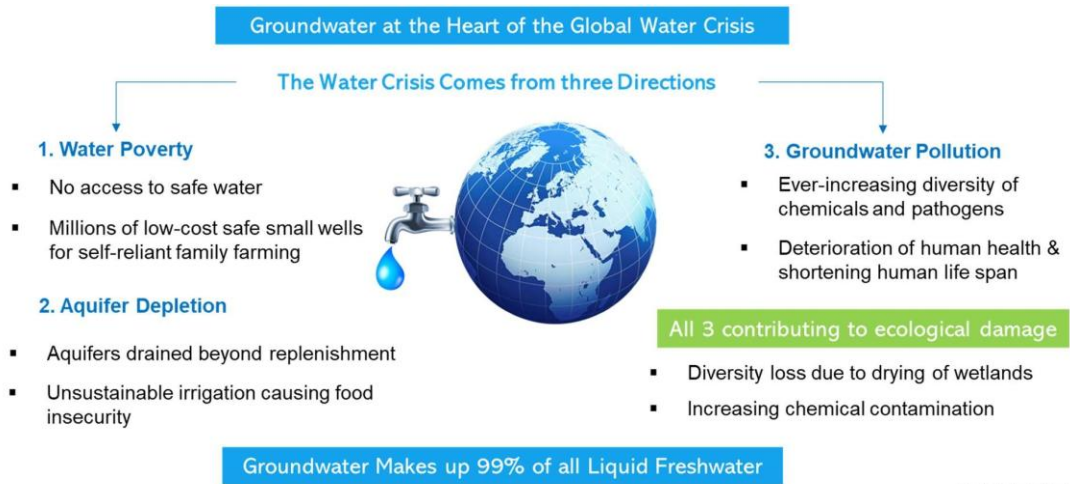


一篇论述文：

全球地下水危机——源自三个方向的“完美风暴”：水资源贫困、含水层枯竭与污染

John Cherry, 地下水项目的负责人, 2023 年 7 月 30 日

全球淡水危机威胁着我们的粮食供应和社会稳定。地下水是这场危机的核心所在，因为其占液态淡水总量的 99%，而在某些旱情严峻的地区，干旱发生时地下水更成为 100% 的淡水来源。根据联合国教科文组织（UNESCO，2020 年）的报告，地下水为实现联合国十七项可持续发展目标中的八项奠定了重要基础。2022 年被联合国指定为“地下水之年”，同年 12 月在巴黎举行的联合国地下水峰会更是将地下水认定为全球水危机的根本症结。2023 年世界银行发布的报告《国家隐藏的财富：气候变化时代的地下水》进一步确立了地下水对人类社会的重要性。但既已存在危机，人类为何仍应对乏力？复杂性正是症结之一。鲜少有人意识到，来自三个方向的危机正汇聚成一场完美风暴：水资源匮乏、含水层枯竭与地下水污染——这些因素共同导致人类生存困境、生态破坏及生物多样性丧失。本文根据文末列出的资料来源对最新研究发现进行综述。



水资源匮乏被定义为缺乏安全饮用水或需长途取水用于家庭生活的现象，通常仅被视为农村地区的问题。然而水资源匮乏的问题正在持续加剧，已影响到全球 80 亿人口中的约 40%。尽管干旱使留守人群面对水资源匮乏的处境更为艰难，但长期以来农村人口向特大城市的迁移，在一定程度上缓解了农村地区的水资源匮乏。如今，超过 80% 的大型城市主要依赖地下水作为水源。特大城市使迁入的

贫困人口面临着另一种形式的水资源困境，其中包括水资源短缺，也包括污染与洪涝。因此，进一步的人口迁移并非解决农村水资源贫困的良策。在发展中国家沿海地区的特大城市，洪涝已变得司空见惯。全球 48 个最大城市中，有 44 个城市的洪涝灾害源于沿海含水层地下水过度抽取导致的陆地沉降，其影响比气温上升导致的海平面上升所带来的影响要小得多。

全球地下水枯竭的速度令人担忧，因为农业消耗了全球淡水用量的 70%，其中 73% 用于灌溉粮食生产。这一比例包含了从含水层直接抽取的水量（43%）与依靠地下水补给河流基流的抽取量（30%）。然而，在所有关于全球粮食对地下水依赖程度的官方统计中，均使用了存在误导性的 43% 这一数据而不是 73%。位于美国高平原下方的巨大的奥加拉拉（*Ogallala*）含水层正在大规模枯竭，且未见缓解迹象。这将对全球产生深远影响，因为全球每年约六分之一的粮食产量依赖该含水层支撑。世界绝大多数人口所在的国家，其主要作物进口几乎完全依赖那些正消耗地下水进行生产的地区，这凸显出全球粮食与水安全面临的巨大风险。美国、墨西哥、伊朗和中国等国家特别容易受到这些风险的影响，因为它们生产和进口的粮食都是由枯竭的含水层中的地下水灌溉的。而沙特阿拉伯等国的含水层已近乎完全枯竭，如今完全依赖粮食进口。这种依赖模式是岌岌可危的，因为对进口粮食的依赖会进一步加剧全球地下水含水层的枯竭。当前全球粮食体系正陷入前所未有的不安全状态，其中最受忽视且难以逆转的危机，正是地下水枯竭与土壤退化这两大相互依存的问题，这些问题已然成为引发社会动荡乃至战争（如叙利亚）的诱因。

地下水污染正急剧削弱淡水资源的可利用价值。在依赖地下水作为命脉的大城市，地下水污染通常源于落后的卫生设施（即病原体）、危险液体的不当处置、自然污染物（例如砷），或是因过度抽水导致海水入侵引发的盐碱化。在北部的城市中，还普遍存在道路除冰盐下渗造成的广泛污染。更复杂的是，淡水危机的三个方向（资源贫困、含水层枯竭与污染）每一个都正各自沿着独立轨迹向灾难性方向发展。需要扭转这些向灾难性发展的轨迹，消除水资源贫困需要钻凿数千万口结构安全的低成本私人水井，确保每口井虽出水量有限，但足以满足家庭饮用水、卫生设施与灌溉作物需求。这需要结合雨水收集系统的广泛推广来推进，同时要关注符合当地实际情况的家庭农业发展。为了扭转地下水枯竭的局面，部

分重要粮食产区需大幅减少农业地下水开采量，同时采用高效灌溉技术。要降低地下水污染，则必须减少农用化学品的过量施用与工业化学品的排放，此外还需建设更具防护性的水井、完善卫生设施，并推行可持续的土地利用方式。

目前，全球主要组织尚未宣布任何旨在扭转上述任一趋势的提议。相反，各项政策举措的核心聚焦于通过减少人为温室气体排放来缓解气候变化。尽管全球三分之二乃至更多人口正遭受严重且持续的水资源问题，且受影响人数仍在不断增加，但气候问题仍被视为人类生存的重大威胁，而水资源危机则退居次要地位。当我们将面临水资源匮乏的人群汇总起来时，其规模非常庞大，这一规模的人群包含面临水资源匮乏的人群、沉降城市中缺水的居民、遭受人为地下水污染及天然来源砷氟中毒的人群，以及发展中国家农村家庭农场中因水资源短缺而面临饥饿与营养不良的人群。

所有这些情况（指水资源危机相关问题）的发展速度，远快于气候模型预测的全球平均气温上升速度。对人类福祉而言最紧迫的威胁在于，随着水资源危机不断加剧，面临水资源匮乏的人群能否生存下去。从水资源可利用性来看，全球人口分布与水资源分布严重不匹配，但总体而言，这一现状我们难以改变。我们唯一能做的是改变现有水资源的管理方式。水资源匮乏、枯竭与污染这三大问题，各自有着不同的发展趋势和复杂成因，这使得我们亟需应对前所未有的政策挑战。要想让我们目前所熟知的人类文明得以延续，就必须扭转这三大问题的每一种发展趋势。在政策层面，当人们正遭受水资源困境、肥沃土壤与海洋渔业资源不断消失之际，却仍对水资源问题采取不作为的态度，这无疑是对最显而易见的现实的否认。

我们陷入当前的水资源危机，根源在于政策的失败。例如，过去 100 年间人类已修建了 20 万座水坝（美国 8700 座，中国 8600 座），但在干旱已成为主要威胁时，修建更多水坝无法解决如今的水资源问题。以往几乎所有水资源管理工作都将修建水坝作为核心，却未考虑气候因素及肥沃河谷土壤的流失，而当下最关键的需求实则是对含水层进行水资源储存。该储存方式可避免水资源蒸发损耗与生态系统破坏。鉴于 99% 的淡水是地下水，因此地下水是造成水危机的关键因素，这一事实早已为人所知，但在 2022 年之前就在很大程度上被忽略了。

解决水资源问题，尤其是地下水问题，不利于自上而下的治理。上述三大趋

势中的每一种都只能通过对具体问题的理解和行动来解决，这些行动需纳入结合利益相关方意见制定的总体政策框架，并在地方层面推行，且推行需得到流域、含水层、城市或城镇层面民众意愿的支持。解决方案还与我们对土地用途的选择紧密相关，无论是用于城市化建设、农业生产还是林业发展。政府可在运用补贴推动变革方面发挥关键作用，但要实现这一点，所有利益相关方都需理解这些问题及其趋势。基于所有这些原因，“地下水项目”(www.gw-project.org)至关重要。该项目独特、具有公益性质且富有创新性，旨在帮助社会各群体理解淡水资源问题及解决方案。在地下水知识整合方面，“地下水项目”史无前例，它涵盖了完整的学科体系，且面向所有人免费开放。这是来自 70 个国家的地下水领域专家及相关学科从业者以志愿者身份共同做出的贡献，他们将专业知识整合为数百本著作及其他学习资料，发布于该网站（PDF 格式）。所有资料均经过同行评审，并正被翻译成多种语言。

在这个世界上，数亿水井服务于饮用水、粮食生产和行业的基本需求，一个几乎普遍存在的情况是，地下水的自上而下管理行不通，因为大多数水井为私人所有，这让人们产生了水资源所有权的意识。政府官员未能认识到地下水在消除水资源匮乏、保障粮食安全以及维护人类与生态健康方面的重要作用。地下水危机是一场公共地区的悲剧，因为地下水是一种共享资源，但其共享性却难以被察觉。地下水管理需要所有利益相关方的积极参与，并且需要耐心、毅力与善意来达成共识，以采取集体行动（世界银行，2022 年）。作为起点，需要成立一个应对依赖地下水的淡水资源危机的国际专门小组，其投入力度应与政府间气候变化专门委员会（IPCC）相当。IPCC 的重点是扭转人为温室气体排放的趋势，而这个淡水资源专门小组的重点则应是扭转水资源匮乏、含水层枯竭与污染的趋势。然而，所有利益相关方都必须更好地了解地下水，而在这方面，“地下水项目”正发挥着引领作用。在这个充满困境的世界里，该项目是一种希望的体现。但要满足全球对相关知识与行动的需求，还需要更多支持和更广泛的合作。

本文所引用的事实可在以下出版物中查阅：

1. Alley, William, and Rosemary Alley, 2017, *High and Dry: Meeting the Challenge of the World's Growing Dependence on Groundwater*, Yale University Press, 294 pages.

2. Barth, J. A. C., Geist, J. A., & Cherry, J. A. (2023). Integrate strategies to save biodiversity and groundwater. *Nature, Correspondence*, January. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00216-9>.
3. Cherry, J. A. (2022). The missing educational curriculum [Guest Editorial]. *Groundwater*, 61, 1:1 2. <https://doi.org/10.1111/gwat.13232>.
4. Cherry, J. A. (2022). The Groundwater Project as knowledge philanthropy. *AWRA*, 4, 22 24.
5. Cherry, J. A. (2020). The democratization of groundwater knowledge [Guest Editorial]. *Groundwater*, 58(5), 682 683. <https://doi.org/10.1111/gwat.13029>.
6. Dineen, J. (2022). Most big coastal cities have areas sinking faster than sea level rise. *New Scientist*. <https://www.newscientist.com/article/2338652-most-big-coastal-cities-have-areas-sinking-faster-than-sea-level-rise/>.
7. Gleick, P. H., & Palaniappan M. (2010). Peak water limits to freshwater withdrawal and use. *PNAS*, 107(25), 11155-11162. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004812107>.
8. Gleick, Peter H. et al. 2014, 2018, *The World's Water*, V. 8 and 9, The Biennial Reports on Freshwater Resources, Pacific Institute. Oakland, CA, 475 p, 260 p.
9. International Association of Hydrogeologists. (2015). Food security and groundwater, Strategic Overview Series, 6 pages.
10. McDermid, Sonali, 36 others, 2023, Irrigation in the earth system, *Nature Reviews, Earth and Envir*.
11. Murphy, H., Prioleau, M., & Borchardt, M. (2017). Epidemiological evidence of groundwater contribution to global enteric disease, 1948–2015, *Hydrogeology*, 25, 981 1001. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1543-y>.
12. Ravenscroft, P., & Lytton, L. (2022). *Seeing the Invisible: A Strategic Report on Groundwater Quality*, © Washington, DC: World Bank. 94 pages. <http://hdl.handle.net/10986/37197> Stewart, I.G., Cherry, J. and Harding, M., (2021). Groundwater Contamination Science and the Precautionary Principle. In Abrunhosa, M. et al. (2021). *Advances in Geoethics and Groundwater Management: Theory and Practice for a Sustainable Development*. Cham, SU: Springer Nature. pp. 17-21.
13. UNESCO, *The Role of Sound Groundwater Resources Management and*

Governance to Achieve Water Security (GWSI Series-No. 3, UNESCO Publishing, Paris, 279 pages.

14. Wood, W. W., & Cherry. J. A. (2021). Food insecurity and inaccurate quantification of groundwater irrigation use [Guest Editorial], *Groundwater*, 59(6), 782-783. <https://doi.org/10.1111/gwat.13122>.
15. Wood, W. W., & Hyndman, D. (2018). Sea level rise cut in half, [Guest Editorial], *Groundwater*, 56(6), 845. <https://doi.org/10.1111/gwat.12821>.
16. World Bank, 2023, The hidden wealth of nations: Economics of groundwater in times of climate change, 30 pages.
17. Cherry, J.A., B.L. Parker, 2017, Creating small-capacity, low-cost, safe water wells in bedrock using small portable gasoline-powered rock drills, Oklahoma U Water Conference; also, related Pierce et al., *GWMR* (2018), vol. 38(1), 42-56.