



国际水文地质学家协会

战略概论系列

# 水安全与地下水

## 关键信息

- 水资源安全这一概念阐明了水资源短缺如何在不同地理尺度、不同社会经济领域产生影响，进而引发分配冲突和环境风险。
- 大多数地下水系统具有巨大的天然储水量，能有效抵御干旱，为广大用水者提供水资源安全保障。
- 为了可持续地发挥地下水系统的作用，需要更好的数据和分析来指导水资源管理和有效的污染保护

## 定义水安全与水短缺的基本准则是什么？

2013年，“水安全”由联合国水机制定义为：

“在和平与政治稳定的环境下，人类能够保障持续获取足量、优质的水资源，以维持生计、人类福祉和社会经济发展，确保免受水传播污染和水相关灾害的威胁，并保护生态系统的能力。”

然而，自20世纪80年代“法肯马克水资源压力指数”提出以来，“水资源短缺”的相关概念已发生显著演变。该指数将“绝对水资源短缺”定义为：当地水资源量相当于人均年可用水量不足1000立方米的情况。

在现实中，水资源短缺的概念化需要考虑：

- 可再生淡水资源与淡水取用量的比率。
- 自然储水能力（特别是地下水）的可用性——其在地表水严重短缺时期能彻底改变水资源状况；
- 大多数降雨体制的季节性特征——该因素同样未被纳入考量。

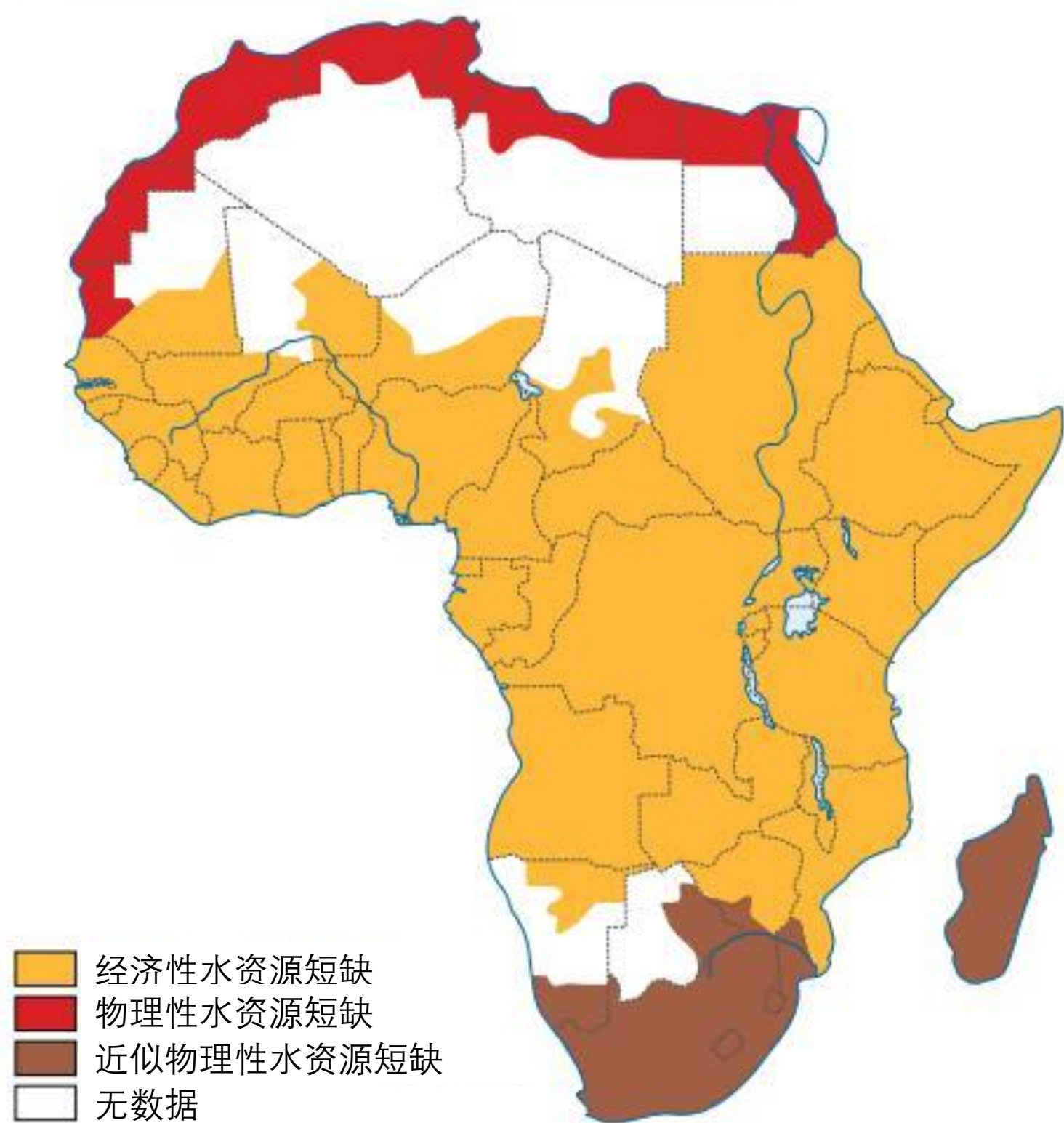
开普敦水危机期间生活用水配给排队现象



本系列旨在向其他领域的专业人士介绍地下水资源与水文地质科学的关键相互作用，同时也为国际水文地质学家协会（IAH）成员在面向相关领域开展科普与交流时提供指导。



2007年非洲流域层面的物理性与经济性水资源短缺状况



明确区分“物理性水资源短缺”与“经济性水资源短缺”至关重要。这一点在非洲大陆表现得最为明显——仅北部和南部边缘区域存在物理性水资源短缺，而目前非洲大部分热带地区由于缺乏对地下水和地表水资源开发管理的投资，正遭受着经济性水资源短缺的困境。

总而言之，水资源短缺指标需要明确界定水资源可利用量的临界值——低于该数值将引发严重的资源分配问题和环境风险。这些问题可能在不同层面产生影响（个人、组织、州省和国家），涉及不同地理尺度和社会经济部门，尤其会对人口生存、环境保护、粮食生产和工业活动造成显著影响。

## 地下水的存在如何影响水安全？

全球变暖可能会增加多种环境中严重干

旱的发生频率，并造成不断加剧的人为压力，这些压力影响水安全格局，导致激进的政治立场，并加剧地方冲突甚至暴力事件的可能性。

全球范围内，地下水是最丰富的淡水资源（占非冰冻水体的97%），也是水循环的重要组成部分——它在地下含水层中流动，以稳定径流形式回归地表，注入河流与泉眼，也可通过水井开采利用。含水层天然储存着巨量淡水，对于拥有水井的各类用水户而言，其存在显著提升了多年干旱期间的区域水安全水平。全球水井开采量尚未有最新统计，但2010年地下水提供了36%的饮用水供应、42%的灌溉用水及24%的工业供水，且在长期干旱期间占比更高。

地下水系统在大多数情况下表现出卓越的抗旱能力，能够有效提升多类用水户的用水安全。然而，若要持续发挥这一作用，需满足以下条件：

- 基于充分可靠的数据，充分识别水文地质条件，以指导地下水管理
- 审慎管理资源开采——许多国家已存在大量非法水井，这严重制约了管理成效
- 有效防治污染——农业用地实践和城市原位卫生设施造成的广泛性显著扩散污染是目前重大隐患

不可再生的地下水资源的存在与利用进一步加剧了复杂性，这需要明确认知并制定专项规定以规范该资源的时效性利用。



可用地下水的水质直接影响人类健康，进而影响人类安全。局部地区的地下水可能含有对人体健康有害的天然元素，

也可能因农业活动与工业废水污染而无法作为安全饮用水源使用。

水安全——核心要素  
(联合国水机制，2013)

## 什么是 水安全？

### 良好管理

完善的法律体系  
机构设置、  
基础设施  
及能力建设  
均已到位。

### 跨界合作

主权国家讨论和协调行动，  
以满足不同的、有时是  
相互竞争的利益，  
以实现互利。

### 饮用水与人类福祉

民众能获取安全、充足且负担得起的用水  
以满足饮用、环境卫生和个人卫生  
的基本需求，从而保障  
健康与福祉  
并实现基本  
人权

### 经济活动 与发展

充足的水供应可用于粮食和能源生产、  
工业、运输和旅游业

### 生态系统

生态系统得以保存并发挥其作用，  
自然、人类以及淡水供应  
都依赖于此

### 与水有关的灾害 和气候变化

人类对洪水、干旱和污染等与水  
相关的灾害具有适应恢复能力。

### 和平 与政治 稳定性

避免冲突带来的负面影响，  
包括水质下降和/或水量减少、  
水利基础设施受损、人力资源匮乏、  
相关治理体系以及社会或政治系统遭受破坏等问题。

### 融资

创新性融资渠道，  
包括私营部门投资、  
微型融资计划，  
与公共部门资金形成互补。





### 能否从历史的地下水冲突中汲取经验教训？

近几十年来，尽管地下水资源的争端并未引发大规模冲突，但各种地方性争端因试图剥夺民众获得饮用水的权利而进一步加剧，而这是国际法所禁止的。其中较为突出的是：

- 苏丹——2003至2004年内战期间，某些地区的水井遭到蓄意轰炸，意图剥夺少数族裔获得供水的机会
- 肯尼亚与埃塞俄比亚——2004至2006年间，水井周边爆发数十起冲突事件，其中一方试图剥夺另一方的饮用水供应

在更广泛范围内，印度、中国和美国的部分地区的地下水过度开采导致地下水位严重下降，浅层水井干涸，进而引发地下水用户之间的冲突。

### 地下水如何进入国际水安全问题？

全球范围内存在大量正在开采中的跨界含水层（TBA），这些含水层为人类提供至关重要的供水资源。尽管联合国可持续发展目标6.5.2已明确声明：到2030年亟需就共享水体开展跨界合作，但目前仅有少数跨界含水层建立了沿岸国之间的地下水使用与数据共享国际协议。绝大多数跨界含水层尚未就其地下水资源的共享使用开展任何谈判。

此外还涌现出其他更为复杂的问题。例如某些跨界含水层的主要补给区位于非地下水主要使用国的领土内。有指控称以色列未充分保护加沙含水层的补给区（也未共享其水文地质数据），而该含水层正是巴勒斯坦饮用水的重要来源。全球部分军事顾问与安全部门担忧，地下水争端未来可能引发严重的国际冲突。

### 开普敦水危机概况

开普敦拥有人口约380万，每日公共供水需求约为90万立方米。2016至2018年间该市遭遇极端水危机，尽管给水管网漏损率已降至14%，开普敦供排水部门仍不得不实施严格供水限制。此次危机由2015至2017年连续干旱引发（期间年降水量不足250毫米，远低于600毫米的长期年均值）。2017年6月，当主要地表水水库实际蓄水量跌破15%时，管道供水被迫降至人均每日100升，随后在2017年9月和2018年2月进一步压缩至80升和50升。市政府曾预警“零水日”即将来临：届时所有家庭用水将被切断，市民需前往150个供水点排队领取每日人均25升的配额（相当于每日总供水量仅10万立方米）。所幸2018年6月充沛降雨使危机得以避免。

西开普省公共供水系统几乎完全依赖地表水水库，其最大蓄水能力约为每年9亿立方米，其中70%蓄水量集中于特沃特斯克鲁夫与沃尔维尔两座水坝。未能实现水源多样化是严重的政策失误——尤其考虑到西开普省地下水系统（包括开普平原、桌山及亚特兰蒂斯含水层）已被私营部门大量开发用于自备供水，且已被证实具有可观的开采潜力。尽管仍缺乏充分的资源评估与管理，这些地下水系统似乎有望提供每日超过20万立方米的公共抗旱应急供水储备。



## 不完善的地下水管理策略如何加剧全球城市水资源短缺问题？

近期巴西圣保罗（2016-2019）、南非开普敦（2016-2018）及印度金奈（2017-2019）的供水危机凸显出：主要城市在面对地表水干旱时的脆弱性，以及利用（而非忽视）本地地下水资源的至关重要性——这些资源可为基本供水系统提供更可靠的保障要素。

圣保罗的案例清晰揭示了两种供水模式的鲜明对比：一方面是以大型地表水库为主的公共供水系统受连年干旱严重冲击而显得脆弱不堪；另一方面则是大量私营自备井凭借次要含水层持续供水所展现的较强韧性。尽管这些私井大多不合规，其中一些甚至完全属于非法开采，但它们确实让这座城市得以渡过危机。

## 食品安全是否受到地下水因素的显著影响？

据估算，全球约44%的灌溉用水供应依赖于地下水。许多灌溉井开采的含水层正遭受过度开发利用，水井减产或失效的风险很大，这将直接影响当地粮食生产。

印度半岛和中国华北地区正是如此——两地均极度依赖地下水进行农业灌溉，导致含水层普遍过度开采及地下水位持续下降。在华北平原18万平方公里的区域，需将灌溉冬小麦的种植面积减少30%（改种价值较低的雨养作物），相应含水层才能实现水位稳定。目前正在推行通过补偿金制度实施该计划，并采用卫星监测确保合规性。

更为积极的是，在孟加拉国的巴林德地区，农民正因地下水位下降而从水稻种植转向小麦生产，以此减少地下水消耗量。

## 工业生产是否面临与地下水相关的水安全问题？

据估算，全球约10%的工业用水供应依赖地下水，而在公共供水基础设施普遍欠可靠的发展中国家，这一比例显著更高。许多相关含水层正遭受过度开采和/或污染，进而对当地就业安全构成威胁。

工业部门应制定前瞻性水管理计划，以此助力地下水资源管理，这将促进其更好地融入当地用水圈层。

## 如何将地下水冲突导致水安全问题的风险降至最低？

对于潜在冲突的情况，需要大大提高现场监测和数据分析的水平。这类活动值得投入资金，以获取避免水资源冲突的预期效益。所产生的数据将作为相关方就可持续地下水利用达成协商性理性决策的基础。

这一理念既适用于由多个本地用户开采供水的地下含水层系统，也适用于更易引发沿岸国水资源冲突的大型国际含水层（TBA）。摩洛哥的本地用户社区在地下水数据管理方面提供了优秀范例。





# 水安全与地下水

所采集的地下水数据必须存储于公认数据库，确保未来能向所有利益相关方开放。联合国国际地下水评估中心可为这类地下水数据库的建立与维护提供宝贵建议。

阿尔及利亚、突尼斯和利比亚通过撒哈拉与萨赫勒观测站共享当地承压的西北萨赫勒-撒哈拉含水层系统数据协议，以及巴西、巴拉圭、阿根廷和乌拉圭之间关于开采程度较低的瓜拉尼含水层的协议，均为实现跨界含水层国际公开数据交流提供了良好范例。

### FURTHER READING

- Cook C & Bakker K 2012 Water security : debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change* 22 : 94-102.
- Dankaer S & Taylor R 2017 The measurement of water scarcity: defining a meaningful indicator. *Ambio* 46 : 513-531.
- Döll P, et al 2012 Impact of water withdrawals from groundwater and surface-water on continental water storage variations. *Journal of Geodynamics* 59-60 : 143-156.
- Foster S, MacDonald A. 2014 The 'water security' dialogue : what it needs to be better informed about groundwater. *Hydrogeology Journal* 22 : 1489-1492.
- Foster S, et al 2018 Urban groundwater use in tropical Africa- a key factor in enhancing water security? *Water Policy* 20 : 982-994.
- Foster S, et al 2020 Climate change : the utility groundwater role in supply security IWA : *The Source* April 2020 : 50-54.
- Foster S, et al 2021 Waterwells : how can we make legality more attractive ? *Hydrogeology Journal* 29 : 1365-1368.
- IAH, 2016 *Global Change & Groundwater. International Association of Hydrogeologists-Strategic Overview Series* [www.iah.org](http://www.iah.org) .
- IAH, 2015 *Food Security & Groundwater. International Association of Hydrogeologists-Strategic Overview Series* [www.iah.org](http://www.iah.org) .
- IAH, 2015 *Resilient Cities & Groundwater. International Association of Hydrogeologists-Strategic Overview Series* [www.iah.org](http://www.iah.org) .
- IAH, 2019 *Climate-Change Adaptation & Groundwater. International Association of Hydrogeologists-Strategic Overview Series* [www.iah.org](http://www.iah.org) .
- Konikow L F & Kendy E 2005 Groundwater depletion : a global problem. *Hydrogeology Journal* 13 : 317-320.
- Kreamer D 2012 The past, present and future of water conflict and international security. *Journal of Contemporary Water Research & Education* 149 : 88-96.
- MacDonald A M, et al 2019 Groundwater and resilience to drought in the Ethiopian highlands. *Environmental Research Letters* 14 : 095003.
- Margat J & Gun J van der 2013 *Groundwater around the world : a geographic synopsis.* CRC Press/Balkema (Leiden).
- Richey A S et al 2015 Uncertainty in global groundwater storage estimates in a total ground water stress framework. *Water Resources Research* 51 : 5198-5216
- Taylor R G et al 2013 Groundwater and climate change. *Nature Climate Change* 3:322:329.
- Wada Y & Heinrich L 2013 Assessment of transboundary aquifers of the world – vulnerability arising from human water use. *Environmental Research Letters* 8 : 024003.
- Yeung J, et al 2021 India's groundwater crisis threatens food security for hundreds of millions. *CNN News* 25 February 2021.

## 优先行动

- 多个城市已经经历或正面临严重水安全问题的风险，亟需开展系统性的地下水资源评估以制定抗旱供水战略规划。
- 更多跨界含水层需就地下水使用与数据共享达成国际协议，以确保沿岸国能对其实现有益且可持续的利用。
- 农业部门无疑是最大的地下水消耗者和重要污染源，因此亟需就地下水保护问题展开建设性对话。
- 潜在水安全冲突局势需加强现场监测与数据分析，以推动协商解决。
- 潜在水冲突区域采集的地下水数据需存储于公认数据库，并向所有利益相关方开放访问权限。