



国际水文地质学家协会 战略概论系列 供水机构与地下水

关键信息

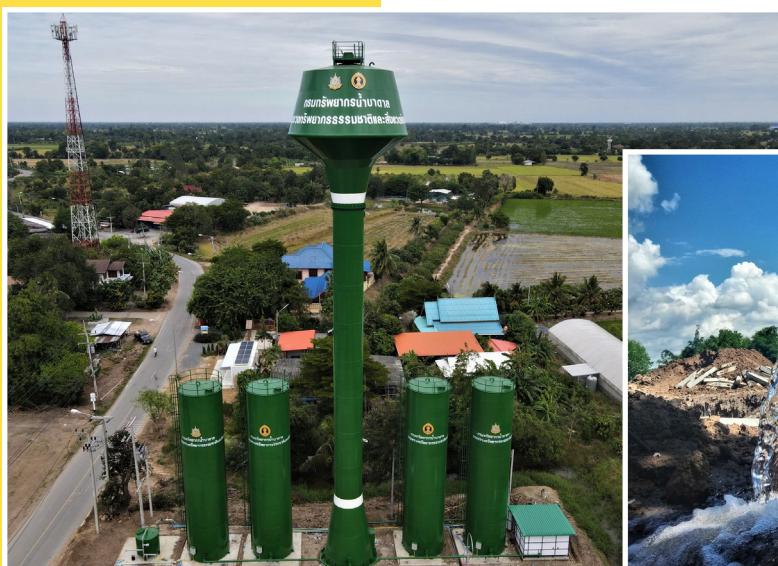
- 地下水为供水机构提供了开发表现更具气候变化韧性、在长期干旱中更为可靠的供水水源的机会，其优势优于地表水水源
- 含水层的广泛分布意味着地下水通常可以在靠近用水需求中心的区域进行开发，从而降低资本性投资和运营成本
- 供水机构需要将地下水水源与地表水水源实行联合管理，以优化供水服务效率并提升环境效益
- 供水机构应关注自身取水井以外的地下水管理，因为有效的地下水保护符合其长期利益，并且需要广泛的协作

为何供水机构应更重视地下水资源？

绝大多数含水层系统拥有巨大的天然储水能力，这使得地下水资源在多年干旱期间不易枯竭，且相较地表水源更能抵御气候变化的影响。因此地下水几乎始终是更为可靠的公共供水来源，在可持续利用限度内，其开发成本通常更低，主要原因在于地下水处理过程远不如地表水复杂。

这一状况在发达城市与发展中城市之间会存在差异，因为随着时间推移，规模更大、历史更久的城市往往会逐步加大对城市外围地下水井群和/或外调地表水水源的依赖。

近年来，一些供水机构在面对干旱危机事件（开普敦2016—2018年、金奈2017—2019年）的实际经验清楚表明，开发本地地下水资源具有关键意义。在这些案例中，供水机构在历史上往往忽视了本地地下水资源开发的潜力，结果在持续性干旱条件下，其地表水库供水出现了极端短缺。

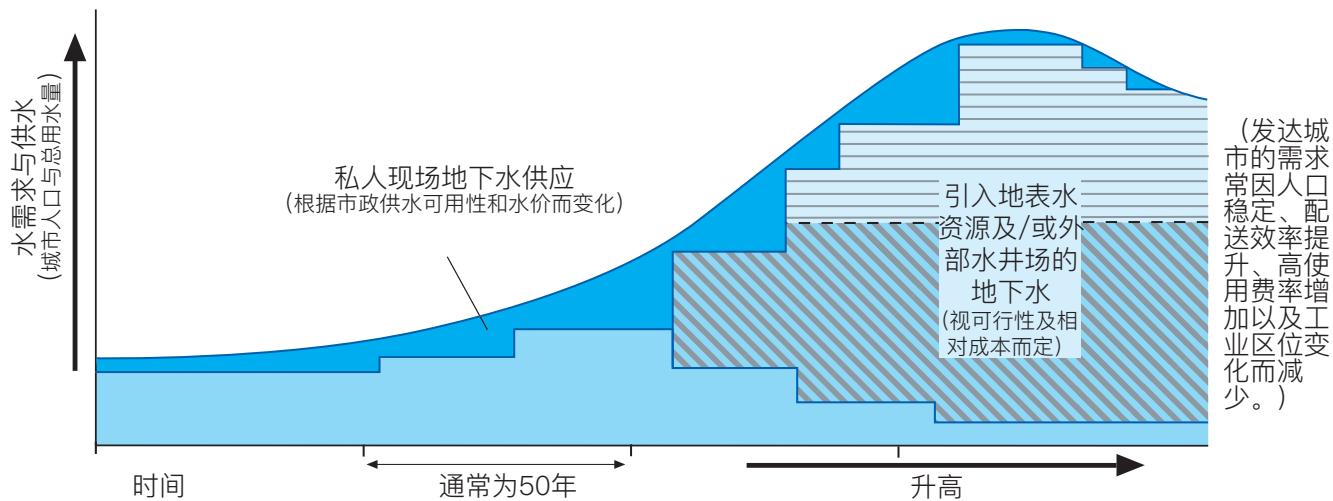


泰国素潘布里供水机构的地下水
供应开发



本系列旨在将有关信息告知与地下水资源和水文地质学有主要关联的其他部门专业人员，并指导国际水文地质学家协会成员与相关部门的外联工作。

地下水利用的演变和对城市人口增长的依赖



相较而言，在对本地地下水资源进行合理开发的情况下，供水机构在应对长期且严重的干旱事件时，表现出显著更强的应对能力。

许多含水层具有广泛的空间分布特征，使得地下水资源往往可在靠近用水需求中心的位置进行开发，从而避免建设长距离输水管网和跨区域调水工程，降低资本成本并减少运营风险。此外，地下水资源开发允许通过分阶段投入来逐步扩展供水能力，避免一次性筹措巨额新水源建设资金。

因此，各地供水机构需要将地下水与地表水及其

他水源进行联合统筹规划、协同管理，以更低的社会成本提供更优质的供水服务。并最大限度地优化环境保护带来的相关效益。

供水机构在地下水资源可持续性方面需应对哪些风险？

为确保水井取水可持续使用（并确保在严重缺水时期仍可供水），需主动管理地下水资源以避免：

- 过度开采导致的永久性枯竭，有时伴随咸水入侵或地下水反涌现象
- 来自无序现场排污、农业土地利用及工业活动造成的地下水污染

作为饮用水供应的主要利益相关方，供水机构应正式认可并承担地下水资源管理与保护方面的共同责任，以避免上述不利影响。不当设计且监管缺位的地下水开发亦可能导致依赖地下水的生态系统严重退化，因此供水机构需与其他地下水相关利益方（尤其是环境或水资源监管机构）协同工作，以避免或最大限度减轻此类影响。

伦敦扩增水源方案的成本比较
(于水资源紧张的英格兰东南地区)

| 供水类型 | 产能 (百万升/天) | 资本成本 (百万美元 / 每日百万升) | 运行成本 (美元/每日百万升) |
|-----------------|---------------|------------------------|--------------------|
| 常规地下水 | 5 | 2 | 33 |
| 管理性含水层 补给地下水 | 10 | 4-6 | 45 |
| 废水回用或 海水淡化 | 100 | 5-12 | 900 |

在此背景下，供水机构有必要加强与其用水用户群体的沟通，使其在环境管理中的关键作用得到更充分的理解，逐步形成社会对相关服务的“支付意愿”。

哪些因素可能促进或阻碍供水机构参与地下水水资源管理？

全球范围内，供水机构的组织形式与规模存在显著差异。主要类型包括：受监管的私营公司、公有并自主运营的企业，以及公有但通过长期特许经营或运行协议与私营企业或公共机构合作运营的企业。供水机构服务人口规模可能从2万人到1,000万人不等。

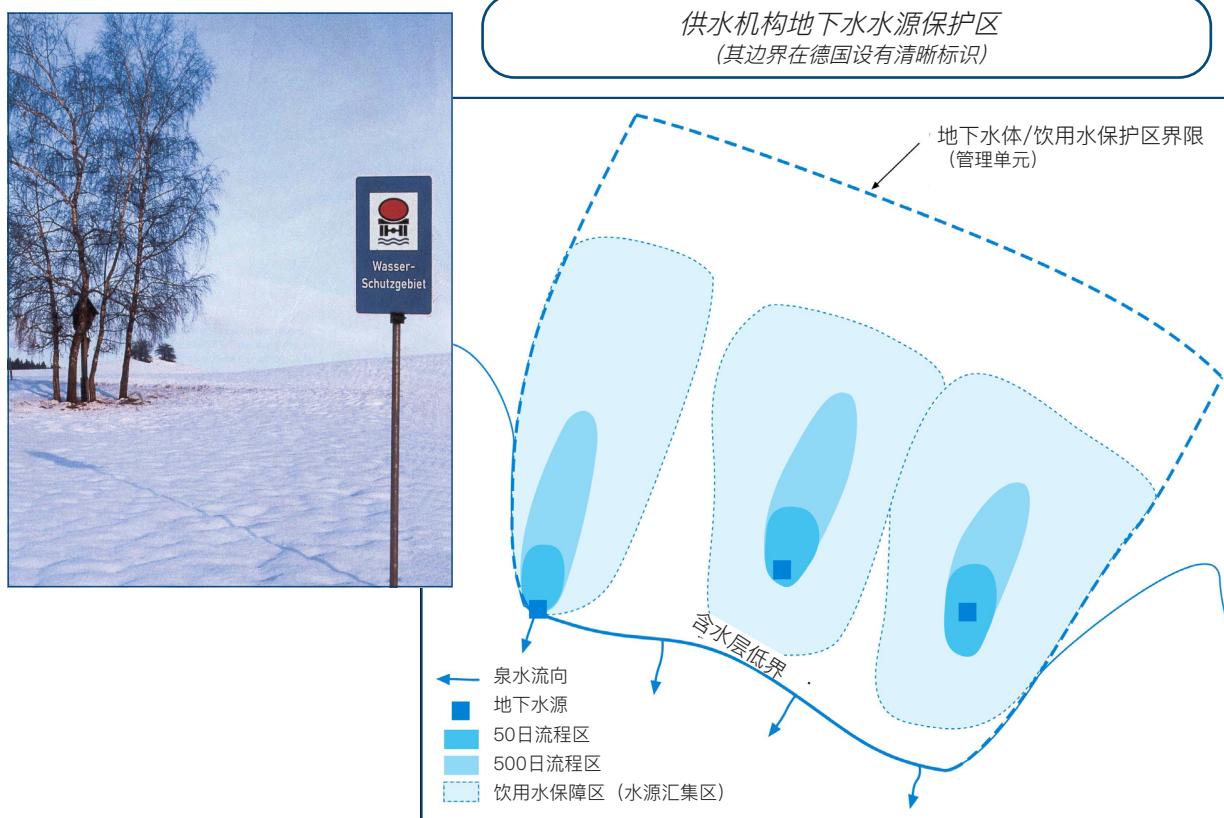
限制部分供水机构更广泛参与地下水水资源管理的因素主要包括：

- 法律和监管授权的局限性
- 对地下水系统行为缺乏足够的内部专业能力与认知。

某些供水机构规模较小且服务范围有限，可能并不覆盖相关含水层的分布区域，这不可避免地影响其对自身角色的认知——是仅作为“服务提供者”，还是与其他地下水利益相关方共同承担“资源守护者”职责。尽管参与程度会因规模和组织形式不同而有所差异，但即便是较小的供水机构，也仍有一些可发挥重要作用的领域。

促进供水机构更多参与地下水水资源管理的因素包括：

- 作为主要利益相关方的明确监管授权
- 社会公众对水环境的普遍关注并提升供水系统应对全球变暖韧性的需求压力。





供水机构有必要在内部推动关于其水资源管理职能的讨论，并向政府水务监管机构明确自身立场，以争取在水资源治理，特别是在地下水集水区管理和污染防治方面承担更为广泛的责任。这无疑将在长期内产生回报。此外，若供水机构在地下水资源保护中承担了重要职责，水务监管机构在制定水价时应予以认可。

水文地质知识与专业技能如何优化供水水源的设计与运营？

深入理解如何最优利用可获得的地下水资源支撑供水系统，是提升城市供水安全性的关键。发达国家与发展中国家供水机构在该领域的行动能力存在显著地域差异——无论依托内部能力还是聘请专业水文地质或水资源顾问，供水机构都应认识到获取科学、可靠建议所带来的长期效益。

地下水资源的分阶段开发显著降低了供水系统的资本性和运行成本，而运用数值地下水模型等“先进工具”有助于优化生产水井运行效率，并加深对地下水与地下水依赖型生态系统之间相互作用的认识。

划定并实施地下水水源保护区对降低水处理成本风险和提升水量安全性具有至关重要的意义。此外，深入了解影响水井取水的相关因素，也有助于保护供水资产，并更准确界定其维护需求。

为什么供水机构应积极推进本地地下水资源管理与保护？

地下水退化是一个缓慢而隐蔽的过程，须及早采取行动，减少分散型农业污染、遏制工业区化学污染，并避免含水层耗竭，尤其是在沿海地区。

水务公司所承担特殊职能的一些范例

| 国家 | 地点 | 特殊职能 |
|-----|---------|--|
| 巴西 | 累西腓 | 经州政府授权，监管、规范私有水井的使用并收取费用，以避免扭曲市政供水费率结构和影响财政收入 |
| 英格兰 | 东南地区 | 共同管理控制地下水对白垩岩溪流生态状况的影响 |
| 德国 | 慕尼黑 | 为维持大型城市供水井场的高天然地下水水质，通过土地利用管理/共同监管推行生态农业计划 |
| 墨西哥 | 圣路易斯波托西 | 作为社区倡议的主要利益相关方，推动需求管理措施（包括废水回用），以促进战略含水层的稳定 |
| 秘鲁 | 利马 | 代表政府部委设计并实施大型需求管理与联合用水计划，以期在超干旱地区实现战略性城市含水层的恢复 |

例如欧盟《水框架指令》明确倡导“污染预防优先于高级水处理”作为核心理念，而地下水水源保护区建设正是该理念的重要组成部分。

为此，供水机构需要在向水资源监管部门和地方规划机构建言方面发挥主导作用，推动将地下水风险纳入地方规划程序，并与当地农业经营者达成共识，减少或消除农业活动造成的地下水水源污染。若行动滞后，长期供水成本将面临显著上升风险。

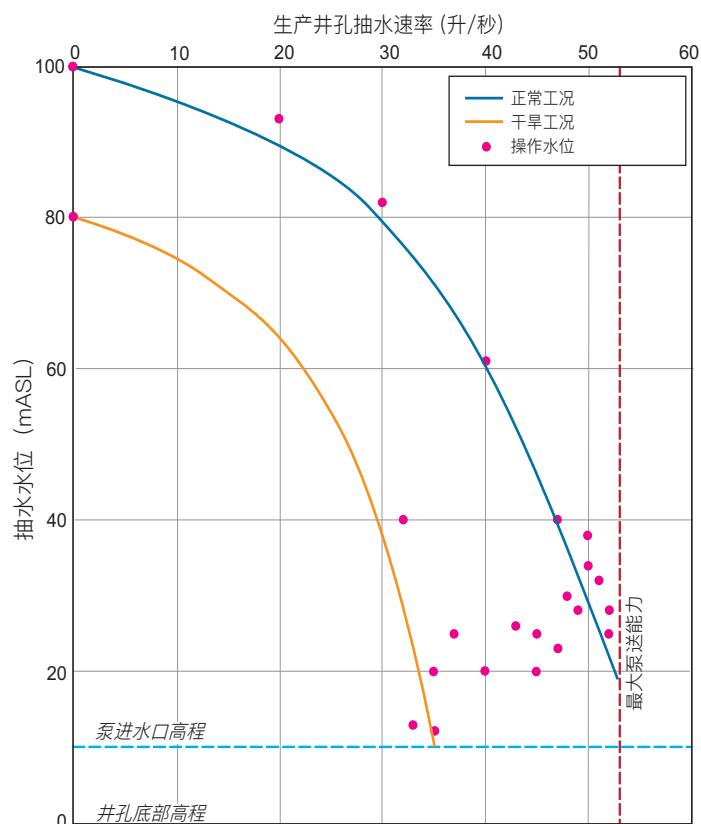
需求侧管理是可持续地下水管理的基本支柱之一，供水机构在其中发挥关键作用，包括在用水用户群体中推广节水措施和合理用水实践。

同时，供水机构也具备良好条件，通过开展含水层人工回灌（MAR）等举措来推动供给侧管理，例如将城市屋面径流导入回灌渗井。这不仅可为其地下水供给提供额外的物理安全保障，也体现了对水环境的负责任管理。

在许多发展中城市，私人水井的无监管（且往往非法）取水现象普遍存在。虽然地下水自给自足在短期内可缓解供水机构的供水压力，并提高城市用水安全性，但这也使城市地下水资源管理变得极其复杂，对供水机构的收入和供水可用性产生负面影响。在监管允许的范围内，供水机构需加大对私人水井使用的排查力度，提供相关监测服务以提升其用水安全性，

并在适当情况下对其向主污水系统排放的相关废水收取费用。

井孔干旱产水量估算



供水机构如何为国家和区域地下水资源治理与管理作出贡献？

供水机构掌握着大量高质量的地下水监测数据，其中部分信息应与国家和区域机构共享，并纳入国家数据库，以提升水文地质认知水平，为改进地下水管理奠定基础。

供水机构可作为社区与政府之间的重要纽带。国家或区域水资源规划通常自上而下制定，但其实



国际水文地质学家协会 战略概论系列 供水机构与地下水



谨此感谢国际水协会 (IWA) 在机构及个人会员层面的通力协作，
共同完成了本概述文件的编撰工作。

施离不开社会层面的沟通与协调，而供水机构正适合承担这一角色。在与其他主体协同的前提下，水资源政策与战略的落实可部分通过供水机构作为执行载体加以推进。

协同推进战略性地下水资源管理举措——如补给汇集区保护、补给增强实践及私人水井取水监测管理——既能为国家目标作出重要贡献，亦将助力供水服务网络的快速扩展。



延伸阅读

- Cassim Z 2018 *Cape Town could be the first major city in the world to run out of water.* USA Today : 19 January 2019.
- DVGW 2008 *Position paper on water resources protection German Association of Water Suppliers (DVGW)* via: www.dvgw.de/english-pages/topics/water.
- Foster S & Sage R 2017 *Groundwater science in water-utility operations : global reflections on current status and future needs,* Hydrogeology Journal 25 : 1233-1236.
- Foster S et al, 2020 *Urban water shortages - is groundwater the answer?* CIWEM - The Environment February 2020: 32-35
- Foster S et al, 2020 *Climate change : the utility groundwater role in supply security* IWA -The Source April 2020 : 50-54
- Nagarajan G et al 2021 *How one of the world's wettest major cities ran out of water.* Bloomberg News : 3 February 2021.
- Olivier D W & Xu Y 2019 *Making effective use of groundwater to avoid another water-supply crisis in Cape Town, South Africa.* Hydrogeology Journal 27, 823–826.
- Tucker J et al, 2010 *A comparative evaluation of public-private and public-public partnerships for urban water services in ACP countries.* European Parliament Directorate-General for External Policies (Brussels) via:www.europarl.europa.eu/activities/committees/studies.do.
- US-EPA 2020 *Adaptation actions for water utilities.* US-Environmental Protection Agency (Washington DC) via:www.epa.gov/arc-x/adaption-actions-water-utilities.
- Yeung J et al, 2019 *India's sixth biggest city is almost entirely out of water.* CNN News Feature : 19 June 2019

优先行动

- 供水机构需在长期气候韧性供水规划中，更清晰地界定并妥善管理地下水及其保护作用
- 供水机构需开展或委托开展地下水水源保护区的科学划定工作，系统评估潜在污染源并制定相应缓解措施
- 供水机构需积极与其他利益相关方（特别是环境或水资源监管机构）协作，推动有利于地下水保护的土地利用方式
- 供水机构需探索在地下水依赖型生态环境保护方面承担更广泛的管理责任，确保供水运营的设计与监测避免对生态系统产生不利影响