

寻隐者而知其显赫
让地下水不再隐身

中国矿业大学（北京）总务处能源管理中心
国家自然科学基金，科技活动项目支持
科学传播类：地下水、地面沉降与联合国2030可持续发展目标

走近地下水系列科普9

地下水与自然灾害

地下水与自然灾害之间存在着复杂的关系，地下水与岩石的相互作用及地下水的变化可能带来多种自然灾害的发生。

01 地下水与岩石圈相互作用

物理作用

- 润滑作用：地下水的存在可以降低岩石颗粒之间的摩擦力，从而改变岩石的力学性质。
- 蚀化和溶化作用：地下水可以使一些坚硬的岩石变成松软的物质，这个过程称为溶化。这通常发生在含有易溶矿物的岩石中，如粘土矿物含量较高的岩石。

- 结合水的物理作用：结合水是指吸附在矿物颗粒表面的一层水膜。它与矿物颗粒通过分子吸引力紧密结合。

化学作用

- 离子交换：岩石中的离子与水中的离子相互交换位置。
- 溶解作用：地下水通过溶解和矿物颗粒接触时溶解这些物质的过程。
- 水化作用：无水矿物吸收水分子形成水合矿物的过程。

- 水合作用：在水解作用中，地下水中的某些离子与水反应，产生新的化合物。

- 溶蚀作用：地下水对可溶性岩石（如石灰岩）的溶蚀作用。

- 氧化还原作用：地下水中的某些元素（如铁、锰、硫）可以在氧化条件下转变为不同的价态，而在还原条件下则可能转变为还原状态。

力学作用

- 静水压力：指在静止状态下，地下水对周围介质（如岩石、土壤等）施加的压力。

- 动水压力：指在地下水流动过程中，由于水流的速度和方向而产生的附加压力。

02 地下水与自然灾害

地面沉降

过度抽取地下水会导致地面沉降，从而引起地面沉降。这种现象在一些城市和农业区特别明显。长期的地面沉降会增加洪水的风险，并对建筑物和基础设施造成损害。



土壤液化

在地震发生时，地下水和土壤可能会经历液化现象，即固体土壤颗粒被水包围并失去承载力，导致建筑物倒塌或滑坡等灾害。



干旱

在干旱期间，地下水是许多地区重要的水源。如果地下水得不到有效补充，干旱情况可能会加剧，影响人类生活、农业生产以及生态系统健康。



走近地下水系列科普2

地下水的分类

01 地下水是什么

地下水是指存在于地壳岩石裂缝、孔隙或土壤空隙中，位于地表以下的水体。

它是水资源的重要组成部分，广泛分布于世界各地的地质结构中。



02 地下水的分类

地下水的分类依据多种因素，可以按照不同的标准进行划分。以下是一些主要的分类方式：

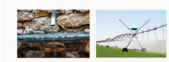
按起源和形成过程

- 渗入水：降水在地表下渗入形成。
- 凝结水：空气中的水汽在地下冷凝形成。
- 埋藏水：古代残留在地下的水体。
- 原生水：与岩石同时形成的地下水，通常存在于深部地壳中。
- 构造水：由于地质作用从矿物中释放出来的地下水。



按矿化程度

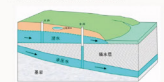
- 淡水：矿化度小于500毫克/升。
- 微咸水：矿化度在500毫克/升至3,000毫克/升之间。
- 咸水：矿化度在3,000毫克/升至10,000毫克/升之间。
- 卤水：矿化度在10,000毫克/升以上。
- 高矿化度水：矿化度极高的地下水。



淡水、微咸水、咸水、卤水、高矿化度水

按埋藏条件

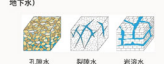
- 包气带水：位于潜水面以上，未饱和的岩石孔隙中的水。地上层潜水。
- 潜水：位于潜水面以下、潜水顶板以上的地下水。不承压（静水压力）。
- 承压水：位于两个潜水面之间的地下水。受到静水压力，可以从井中自动喷出。



地下水埋藏结构示意图

按空隙性质

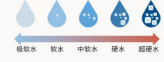
- 孔隙水：存在于松散沉积物颗粒间的地下水。
- 裂隙水：存在于岩石裂隙中的地下水。
- 岩溶水：存在于溶洞、暗河等岩溶结构中的地下水。



按空隙性质分类示意图

按硬度或其他化学成分特性

- 硬水：含有较多的钙离子的地下水。
- 软水：钙离子含量较低的地下水。



按硬度或其他化学成分特性分类示意图

走近地下水 系列科普1

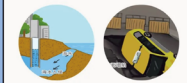
为什么要进行地下水科普

01 提高公众意识

地下水是地球上淡水资源的重要组成部分，对于人类生活、农业灌溉、工业生产等方面具有不可替代的作用。然而，由于地下水的储存和流动较为隐蔽，普通公众对其价值和脆弱性往往认识不足。通过科普，可以增强大众对地下水保护和合理利用的重视程度。

02 环境教育

地下水过度开采会导致地面沉降、水质恶化、生态系统破坏等一系列严重问题。科普能够帮助人们理解地下水超采的危害，以及地下水与地表水、生态环境之间的紧密联系，从而促进水资源的可持续管理。



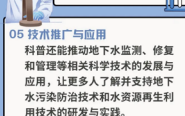
03 政策倡导与支持

普及地下水知识有助于推动相关政策法规的制定和完善，让社会各层面都认识到地下水治理和保护的重要性，形成全社会共同参与地下水保护的良好氛围。



04 科学决策与行动

只有当公众了解地下水的基本属性、分布特征及开发利用的影响后，才能在日常生活中做出有利于地下水保护的决策，如节约用水、减少污染源排放等。



05 技术推广与应用

科普还能推动地下水监测、修复和管理等相关科学技术的发展与应用，让更多人了解并支持地下水污染防治技术和水资源再生利用技术的研发与实践。

总结

地下水科普是实现水资源可持续利用、保障国家水安全、维护生态平衡和社会经济可持续发展不可或缺的一环。

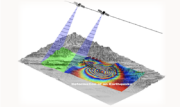


走近地下水 系列科普10

卫星雷达监测地面沉降与地下水

01 什么是雷达干涉测量？

合成孔径雷达干涉测量（InSAR）是一种通过卫星雷达信号探测地表微小形变的技术。卫星向地面发射微波信号，通过分析两次观测的反射波相位差异，可精准捕捉到毫米级的地面升降变化。



02 地下水如何影响地表形变？

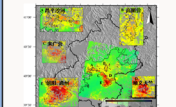
抽取地下水
过度开采地下水会导致含水层孔隙水压力减小，土壤压缩、地面发生沉降。
回补地下水
人工回灌或雨水补给地下水时，含水层孔隙增大，土壤膨胀，地表抬升。
自然变化
干旱或雨季交替时，地下水储量波动也会引发地表发生季节性的周期形变。

03 InSAR 的技术优势

大范围覆盖
卫星传感器单次可扫描数百平方公里范围（如Sentinel-1卫星幅宽250公里），相比传统地下水监测水井的“点状分布数据”，InSAR能生成连续的地表形变信息，适合大范围水文监测。
监测精度高
通过相位解算技术，可以探测到毫米级的地面沉降信号，对于微小形变的特征提取具有不可替代的优势。
非接触式观测
无需地面设备，通过卫星遥感获取数据，减少人力物力的投入，尤其在危险区域，如地形复杂的偏远山区，保障人员安全。

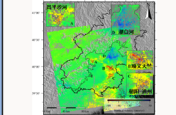
04 北京 InSAR 监测案例

地下水超采阶段
北京市1980年-2015年地下水水位下降高达20m，由地下水开采导致的地面沉降面积为1225平方公里，最大累积沉降量达1.1m。



利用ENVISAT雷达卫星观测2003年-2010年北京市平原区的地面沉降，可以发现北京市形成了5个地面沉降漏斗，分别为昌平沙河、高丽营、来广营、顺义天竺、朝阳区。

地下水回升阶段
自南水北调中线工程全面通水10年来，这个世界上最大的调水工程从湖北丹江口水库，累计调水约800亿立方米。北京市地下水位连续9年累计回升13.68米，地下水储量增加70亿立方米。



利用Sentinel-1雷达卫星观测2017年-2023年的北京市平原区的地面沉降变化情况，随着地下水位的升高，原先的地面沉降均有缓解，其中三处已经完全消失。在潮白河地区，地面发生回弹。

走近地下水 系列科普3

地下水从哪里来

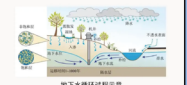
地下水的形成是一个复杂的动态过程，受到气候、地形地貌、地质结构、植被覆盖等多种因素的影响，并且在一定区域内，地下水系统通常与地表水系统相互联系、相互转化。

01 大气降水

这是地下水补给的主要来源，包括雨水、雪水、冰雹等。当这些降水到达地面后，一部分会随地表径流，通过土壤和岩石的孔隙、裂隙向下渗透，逐渐补充到地下含水层中。

02 地表水入渗

河流、湖泊、水库、沼泽等地表水体在与地下水连通的情况下，会通过过盈或侧向的渗透作用为地下水提供补给。



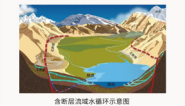
03 冰雪融水

高山地区的积雪和冰川融化后，部分水分也会通过土壤和岩石渗透到地下形成地下水。



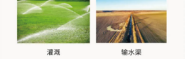
04 地下水间交流(越流)

不同含水层之间的水体可以通过地质构造中的断层或裂隙相互交换，形成地下水的再分布和补充。



05 人工补给

农业灌溉时过量的灌溉水会渗入地下；渠道输水时发生的渗漏；以及专门的人工回灌工程，将处理过的水注入地下含水层以增加地下水储量。



06 凝结水

大气中的水汽在适宜条件下可以直接在土壤或岩石空隙中凝结成水滴，进而成为地下水的一部分。



07 地质过程

地下水还可能来自溶蚀作用（如石灰岩地区的喀斯特溶洞系统）、地下水位以上土壤的水分蒸发后重新凝结、滑坡或土壤盐渍化过程中释放出的水分等。



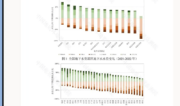
走近地下水 系列科普8

地下水监测

地下水监测是对地下水含水层中水位、水质以及相关环境参数进行定期或连续的观测和分析的过程。它旨在通过科学手段获取地下水系统的实时状态信息，以便于了解地下水的变化趋势、健康状况及其对人类活动与自然环境变化的响应。

01 地下水监测的内容

地下水监测内容不同地点、不同时期地下水水面的深度变化，以评估地下水储量、补给量、开采量及地下水污染等。



图例：《国家地下水监测报告(2022)》
地下水监测通过长期的地下水监测站，可以及时了解地下水水量的动态变化，这对于地下水的开发、保护以及防治水污染和地质灾害等方面具有重要意义。

地下水水质监测测定地下水中的各种化学成分（如溶解性、pH值、硬度、总溶解固体、电导率、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐等）和物理指标（如温度、浊度、色度、放射性等），以及微生物指标，确保地下水符合饮用水标准或满足其他用途要求，及时发现和预防地下水污染。



图例：《国家地下水监测报告(2022)》
生态环境监测是指对地下水地质环境对生态环境的影响，比如地面沉降、土壤盐渍化、地质灾害风险等。

生态环境监测是指为了解地下水地质环境对生态环境的影响，比如地面沉降、土壤盐渍化、地质灾害风险等。

生态环境监测是指为了解地下水地质环境对生态环境的影响，比如地面沉降、土壤盐渍化、地质灾害风险等。

02 地下水监测的方法(部分)

地下水位动态监测

水位计法
在井内安装水位计（如气压式、压力式、浮子式等），实时监测地下水水位动态变化。

人工观测法
通过人工下井观测或井口水表读数，读取水位深度数据。

遥测法
利用现代遥测设备，如超声波水位计、雷达水位计等进行远程自动监测，并通过无线传输系统数据发送到数据中心。



地下水水质监测

直接取样分析
直接从地下水监测井、天然露头或其他地下水露头点采集水样，运回实验室进行物理、化学分析，包括但不限于pH值、溶解氧、电导率、硬度、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐等指标的测定。

原位监测
使用便携式或固定式的水位分析仪器直接安装在地下水中进行实时检测，例如电极法测定pH、ORP（氧化还原电位）等参数，或者采用光谱分析、传感器技术监测特定水质指标。

遥测法
在实际应用中，对水质进行化学测定以验证其成分信息，如硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮等。

原位监测
对于复杂或地下水循环缓慢及污染源复杂，可以采用原位监测、稳定同位素等高级分析手段。



走近地下水系列科普7

保护地下水的办法

01 预防性管理

加强立法和政策制定。严格执行水资源保护法律法规，对可能造成地下水污染的活动进行严格审批和监管。

建立和完善地下水监测网络，定期开展水质检测，及时发现并处理污染源。



国家地下水监测网

对工业废水、农业污水等进行有效治理，达标排放，防止污染物渗入地下。

02 水源保护

划定地下水保护区，尤其是饮用水源地，严禁在保护区内进行可能污染地下水的活动。



饮用水源保护区标识牌设置

在城市规划中，合理布局工业区、居民区以及垃圾填埋场等，避免其位于地下水补给区或敏感区域。

03 农田灌溉与农药化肥管理

推广节水灌溉技术，减少因灌溉导致的地下水过度开采。提倡科学施肥用药，减少农药化肥对地下水的污染，推广有机肥和生物防治技术。



节水灌溉设备

04 防渗措施

实施渠道防渗工程，减少输水过程中的渗漏损失，控制地下水位过快下降。对化工厂、加油站、垃圾填埋场等潜在污染源实施严格的防渗处理，防止有害物质泄漏进入地下。



化工厂、加油站、垃圾场均可提高防渗水平

05 生态修复与涵养水源

恢复和保护湿地、森林等生态系统，提高土壤对雨水的吸收和存储能力，增加地下水的自然补给量。



亚洲第一湿地鄱阳湖生态恢复区

种植具有较强水土保持功能的植被，以改善土壤结构，减少径流，促进地下水补给。

走近地下水系列科普4

地下水到哪里去

01 自然循环

地下水是水文循环的一部分，通过地下水向地表水体（如河流、湖泊、湿地等），补充地表水资源。这个过程可能是因为地下水位上升至地表或通过泉水等形式自然排出。



泉水涌出：当地下水位高于地表时，地下水会以泉水的形式涌出地表。泉水的涌出量取决于地下水位与地表水体的水位差以及地层的透水性。泉水涌出后，通常会形成地表径流，最终汇入河流或湖泊。

02 蒸发蒸腾

地下水通过土壤孔隙上升至地表，在太阳辐射作用下直接蒸发成水蒸气进入大气，或者植物根系吸收地下水并通过光合作用和蒸腾作用将水分释放到大气中。



叶面上蒸腾的水汽

03 人工开采利用

农业灌溉：大量地下水被用于农田灌溉，满足农作物生长所需的水分。工业生产：在一些干旱地区或工业集中区域，地下水被开采用于工业生产活动，如冷却、洗涤、加工等。城市供水：部分城市的饮用水源自地下水，通过井等方式抽取供给居民生活用水。



农业灌溉 工业生产 城市供水

04 地下储存

未被开采或排走的地下水继续留在含水层中储存，维持地下水位稳定，并为未来使用提供储备。

05 跨含水层排泄

在地质构造复杂地区，地下水可以从一个含水层通过渗透转移到另一个含水层，进而可能通过上述各种方式间接排泄。

走近地下水系列科普7

保护地下水的办法

01 预防性管理

加强立法和政策制定。严格执行水资源保护法律法规，对可能造成地下水污染的活动进行严格审批和监管。

建立和完善地下水监测网络，定期开展水质检测，及时发现并处理污染源。



国家地下水监测网

对工业废水、农业污水等进行有效治理，达标排放，防止污染物渗入地下。

02 水源保护

划定地下水保护区，尤其是饮用水源地，严禁在保护区内进行可能污染地下水的活动。



饮用水源保护区标识牌设置

在城市规划中，合理布局工业区、居民区以及垃圾填埋场等，避免其位于地下水补给区或敏感区域。

03 农田灌溉与农药化肥管理

推广节水灌溉技术，减少因灌溉导致的地下水过度开采。提倡科学施肥用药，减少农药化肥对地下水的污染，推广有机肥和生物防治技术。



节水灌溉设备

04 防渗措施

实施渠道防渗工程，减少输水过程中的渗漏损失，控制地下水位过快下降。对化工厂、加油站、垃圾填埋场等潜在污染源实施严格的防渗处理，防止有害物质泄漏进入地下。



化工厂、加油站、垃圾场均可提高防渗水平

05 生态修复与涵养水源

恢复和保护湿地、森林等生态系统，提高土壤对雨水的吸收和存储能力，增加地下水的自然补给量。



亚洲第一湿地鄱阳湖生态恢复区

种植具有较强水土保持功能的植被，以改善土壤结构，减少径流，促进地下水补给。

走近地下水系列科普4

地下水到哪里去

01 自然循环

地下水是水文循环的一部分，通过地下水向地表水体（如河流、湖泊、湿地等），补充地表水资源。这个过程可能是因为地下水位上升至地表或通过泉水等形式自然排出。



泉水涌出：当地下水位高于地表时，地下水会以泉水的形式涌出地表。泉水的涌出量取决于地下水位与地表水体的水位差以及地层的透水性。泉水涌出后，通常会形成地表径流，最终汇入河流或湖泊。

02 蒸发蒸腾

地下水通过土壤孔隙上升至地表，在太阳辐射作用下直接蒸发成水蒸气进入大气，或者植物根系吸收地下水并通过光合作用和蒸腾作用将水分释放到大气中。



叶面上蒸腾的水汽

03 人工开采利用

农业灌溉：大量地下水被用于农田灌溉，满足农作物生长所需的水分。工业生产：在一些干旱地区或工业集中区域，地下水被开采用于工业生产活动，如冷却、洗涤、加工等。城市供水：部分城市的饮用水源自地下水，通过井等方式抽取供给居民生活用水。



农业灌溉 工业生产 城市供水

04 地下储存

未被开采或排走的地下水继续留在含水层中储存，维持地下水位稳定，并为未来使用提供储备。

05 跨含水层排泄

在地质构造复杂地区，地下水可以从一个含水层通过渗透转移到另一个含水层，进而可能通过上述各种方式间接排泄。

走近地下水 系列科普5

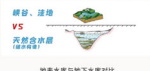
地下水的优点

01 水质稳定可靠

地下水经过土壤和岩石的自然过滤，通常含有较少的悬浮物和微生物，因此水质相对洁净、稳定，适合长期饮用。

02 水源充足持久

地下水如同地下水库，即使地表水源受到季节性变化的影响，地下水仍能提供较为稳定的供水量，尤其在干旱或半干旱地区，是居民生活用水的重要保障。



地表水与地下水水质对比

03 减少污染风险

相较于地表水，地下水受外界污染影响较小，不易受到工业废水、农业径流以及生活垃圾等直接排放的污染，有利于保障饮水安全。



洁净的地下水样品

04 特殊用途广泛

某些特定条件下，地下水因其特殊的化学成分（如富含矿物质）或温度（如温泉），可以用于医疗保健、热源供应、矿泉水生产等方面，丰富了人们的生活资源。



天然温泉

05 供水设施简单

开采地下水所需的基础设施（如井、泵）建设和维护成本相对较低，为偏远地区和农村社区提供了便捷的供水方式。



水井取自地下水示意图

06 灾害应对能力强

地下水不易受季节性气候变化的影响，旱季时也能保持一定的供水能力，有助于应对自然灾害（如洪水、干旱）对地表水源的影响。

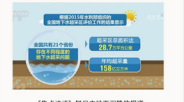
走近地下水 系列科普6

地下水的危机

上一期介绍到地下水有诸多优点，但如过度开采和污染问题等，地下水也面临着一些列天然、人为的问题，本期将介绍地下水的危机。

01 过度开采

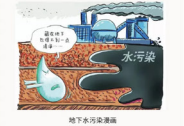
随着人口增长、工业化进程加速以及农业灌溉需求增加，许多地区对地下水的的需求大幅上升，导致过度开采。长期超采地下水不仅会使得地下水资源枯竭，还可能引发地面沉降等严重的地质灾害，影响建筑物安全和城市基础设施。



《焦点访谈》栏目中地面沉降的报道

02 污染严重

工业废水、农业化肥农药残留、生活垃圾、石油化工产品泄漏等都可能对地下水造成严重污染。地下水一旦被污染，由于其循环更新速度慢，污染物往往难以自然净化，甚至在某些情况下造成永久性损害，严重影响人类饮水安全和生态系统健康。



地下水污染源

03 生态失衡

地下水位下降会导致地表萎缩、河流干涸、湖泊消失等生态环境问题，破坏生物多样性，影响生态系统的稳定性和可持续性。



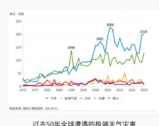
干旱平原的湿地

04 资源不可再生性凸显

虽然地下水总体储量巨大，但可利用的部分有限，并且补给周期长，过度开发实际上是在消耗一种非可再生资源，特别是在干旱和半干旱地区，地下水的脆弱性更为突出。

05 气候变化影响

全球气候变化也可能间接影响地下水系统，例如降雨模式变化会影响地下水的补给量和分布，而温度升高则可能加剧水分蒸发，减少地下水补给来源。



过去50年全球变暖的极端天气记录

走近地下水 系列科普5

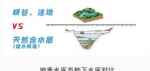
地下水的优点

01 水质稳定可靠

地下水经过土壤和岩石的自然过滤，通常含有较少的悬浮物和微生物，因此水质相对洁净、稳定，适合长期饮用。

02 水源充足持久

地下水如同地下水库，即使地表水源受到季节性变化的影响，地下水仍能提供较为稳定的供水量，尤其在干旱或半干旱地区，是居民生活用水的重要保障。



地表水与地下水水质对比

03 减少污染风险

相较于地表水，地下水受外界污染影响较小，不易受到工业废水、农业径流以及生活垃圾等直接排放的污染，有利于保障饮水安全。



洁净的地下水样品

04 特殊用途广泛

某些特定条件下，地下水因其特殊的化学成分（如富含矿物质）或温度（如温泉），可以用于医疗保健、热源供应、矿泉水生产等方面，丰富了人们的生活资源。



天然温泉

05 供水设施简单

开采地下水所需的基础设施（如井、泵）建设和维护成本相对较低，为偏远地区和农村社区提供了便捷的供水方式。



水井取自地下水示意图

06 灾害应对能力强

地下水不易受季节性气候变化的影响，旱季时也能保持一定的供水能力，有助于应对自然灾害（如洪水、干旱）对地表水源的影响。

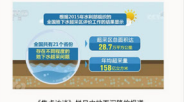
走近地下水 系列科普6

地下水的危机

上一期介绍到地下水有诸多优点，但如过度开采和污染问题等，地下水也面临着一些列天然、人为的问题，本期将介绍地下水的危机。

01 过度开采

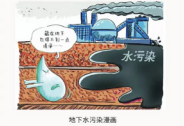
随着人口增长、工业化进程加速以及农业灌溉需求增加，许多地区对地下水的的需求大幅上升，导致过度开采。长期超采地下水不仅会使得地下水资源枯竭，还可能引发地面沉降等严重的地质灾害，影响建筑物安全和城市基础设施。



《焦点访谈》栏目中地面沉降的报道

02 污染严重

工业废水、农业化肥农药残留、生活垃圾、石油化工产品泄漏等都可能对地下水造成严重污染。地下水一旦被污染，由于其循环更新速度慢，污染物往往难以自然净化，甚至在某些情况下造成永久性损害，严重影响人类饮水安全和生态系统健康。



地下水污染源

03 生态失衡

地下水位下降会导致地表萎缩、河流干涸、湖泊消失等生态环境问题，破坏生物多样性，影响生态系统的稳定性和可持续性。



干旱平原的湿地

04 资源不可再生性凸显

虽然地下水总体储量巨大，但可利用的部分有限，并且补给周期长，过度开发实际上是在消耗一种非可再生资源，特别是在干旱和半干旱地区，地下水的脆弱性更为突出。

05 气候变化影响

全球气候变化也可能间接影响地下水系统，例如降雨模式变化会影响地下水的补给量和分布，而温度升高则可能加剧水分蒸发，减少地下水补给来源。



过去50年全球变暖的极端天气记录