

城市化进程中地下水资源的可持续管理研究

王仲鹏

黄河古贤水利枢纽有限公司 河南 郑州 450018

摘要: 城市化进程深刻改变了地下水资源的补给、径流与排泄条件, 引发了资源超采、地面沉降和生态退化等一系列问题。本文围绕城市化与地下水资源的关联机理展开系统分析, 揭示了城市空间扩张对水文环境的内在作用路径, 并梳理了开发强度与资源存量、建设活动与水文环境、用水需求与自然补给、空间扩张与生态维系之间的四重矛盾。在此基础上, 从空间布局优化、用水结构调整、涵养补给体系构建以及建设保护协同四个维度提出了可持续管理路径, 为城市地下水资源的科学管控提供了理论支撑与实践参考。

关键词: 城市化; 地下水资源; 可持续管理; 含水层; 生态约束

引言: 城市作为人口与经济活动高度集聚的空间载体, 对水资源的依赖程度随发展阶段递进而持续加深。地下水资源因储量相对稳定、水质较优且开发灵活, 长期充当城市供水的重要基础。然而, 大规模硬化地面截断了自然入渗通道, 高强度开采形成了区域性降落漏斗, 地面沉降与海水倒灌等次生灾害接连浮现。城市化与地下水之间的耦合关系已从单向索取演变为双向约束, 如何在城市扩张中守住水资源底线, 成为当代城市治理中无法回避的核心命题。

1 城市化与地下水资源关联机理

1.1 城市化发展的演进特征与水资源需求变化

城市空间从雏形走向成熟的过程伴随着人口密度的急剧攀升与产业结构的持续调整。早期城市以手工业和小规模商贸为主, 用水总量有限且空间分布相对分散, 随着工业化浪潮的推进, 城市人口迅速集聚, 居民生活用水与工业生产用水呈现出倍增态势^[1]。进入后工业时代, 城市功能进一步复杂化, 商业服务业、市政绿化及生态景观对水资源的需求愈发多元化。这种需求演变并非简单的数量叠加, 而是在用水结构、时间分布和空间配置上发生了深刻转型, 城市对水资源的依赖程度随发展阶段递进而不断加深。

1.2 地下水资源的自然存续特征与补给规律

地下水赋存于岩土体孔隙、裂隙和溶隙之中, 运动速度极为缓慢, 循环周期往往跨越数十年乃至数百年。天然状态下, 地下水主要依赖大气降水入渗、地表水体侧向补给以及凝结水补给等途径获得更新, 其中降水入渗是最普遍的补给方式。含水层的储水能力取决于介质的孔隙度和裂隙发育程度, 而地下水位的波动则受控于补给量与排泄量之间的动态平衡。由于地下含水系统的响应存在显著滞后性, 短期内的开采变化不会立刻反映

在水位上, 这种时间延迟特征使得地下水管理的难度远超地表水。

1.3 城市化对地下水资源的内在作用路径

城市扩张过程中, 大量天然透水面被混凝土和沥青覆盖, 降水入渗通道被截断, 地下补给量随之锐减。与此同时, 城市建设中的基坑降水、地铁施工排水以及密集的生活和工业取水井不断抽汲地下水, 形成了补给缩减与开采加剧的双重压力。城市热岛效应还会改变局部水循环过程, 进一步干扰地下水资源的自然补给节奏。硬化地面导致的地表径流增大不仅减少了入渗水量, 还加剧了城市内涝风险, 使得原本可供地下储存的水资源以洪水形式快速流失。城市人口密度的提升与产业集聚度的增加, 进一步放大了这种双重扰动效应, 使得地下水资源的收支失衡问题愈发突出, 形成恶性循环。

1.4 地下水状态变化对城市发展的反馈作用

地下水位持续下降会引发地面沉降、地裂缝等地质灾害, 直接威胁城市建筑物和基础设施的安全。沿海城市还面临海水倒灌问题, 淡水含水层遭受咸化侵蚀后, 可利用淡水资源大幅缩减。地面沉降导致的高程损失会削弱城市排水系统的效能, 形成内涝与沉降相互叠加的恶性循环。含水层枯竭后, 城市不得不寻求更远距离的水源或转向高成本的替代方案, 经济发展的资源约束由此趋于收紧, 地下水资源的退化正在以一种隐蔽但深刻的方式制约着城市的可持续发展。这种反馈作用具有隐蔽性、长期性和不可逆性, 初期往往难以被察觉, 一旦显现便会产生难以挽回的损失, 对城市发展造成长期制约。

2 城市化背景下地下水资源现存内在矛盾

2.1 地下水开发强度与资源存量承载的失衡

城市快速扩张阶段, 地下水开采量长期维持在高位运行状态, 远远超出天然补给速率所能支撑的合理阈

值^[2]。许多城市的年均超采量已占到天然补给量的数倍，部分含水层的储存量在数十年间急剧萎缩。这种高强度开发并非源于单一因素，而是人口增长、工业扩张和市政建设多重压力叠加的结果。含水层作为一种储量有限的矿产资源，天然更新极为缓慢，一旦开采速率超越补给能力，水位将持续走低，形成难以逆转的降落漏斗。资源存量的刚性约束与开发需求的刚性增长之间，由此产生了深刻的结构性失衡。

2.2 城市建设与地下水水文环境的相互冲突

高层建筑的深基坑施工需要持续抽取地下水以降低水位，地铁隧道掘进过程中遭遇富水层段时也必须进行大量排水作业。这些工程活动在短期内造成局部地下水位剧烈波动，打破了原本趋于稳定的水文格局。城市道路和广场的大面积硬化处理阻断了降水向下渗透的自然通道，使得原本可以转化为地下水的雨水迅速转化为地表径流排走。建筑密集区的地下空间开发进一步压缩了含水层的有效储水空间，整个城市建设过程在客观上构成了对地下水水文环境的持续扰动。

2.3 城市用水需求与地下水自然补给的时序错位

城市用水高峰集中在白昼时段和夏秋季节，而地下水的天然补给主要依赖降雨入渗，降水在时间上呈现明显的季节性和间歇性特征。这种供需节奏上的错位导致城市不得不长期依赖地下水的存量来填补时间缺口，尤其在枯水期，补给几乎停滞而用水需求依然旺盛，含水层只能持续消耗自身储备。

2.4 城市空间扩张与地下水生态维系的对立

城市向外蔓延不断吞噬周边的自然渗透区域，湿地、林地和农田等具有良好入渗功能的地表被逐步替换为不透水面。地下水位的持续下降导致依赖浅层地下水维持的植被群落退化，土壤含水量降低进一步削弱了地表的生态服务功能。城市扩张追求的是空间增量和经济产出，地下水生态维系需要的是稳定的水位和充足的补给，两种诉求在本质上存在方向上的对立。当扩张速度超过生态系统的自我修复能力，地下水资源的可持续基础便遭到根本性侵蚀。

3 地下水资源可持续管理的影响要素

3.1 城市空间布局对地下水管理的影响

城市功能分区的疏密程度直接决定了地下空间开发的深度与广度，进而影响含水层的完整性^[3]。高密度核心区往往集中了大量深基础工程，施工降水频繁扰动浅层地下水，而低密度外围区域则因地面硬化率差异导致入渗条件截然不同。空间布局中绿地、水体与透水铺装的配置比例，从根本上调节着降水向地下转化的效率。紧

凑型城市形态虽然节约了土地资源，却压缩了雨水自然下渗的空间，导致管理方不得不依赖人工回灌等工程手段弥补自然补给的不足。城市轴线的走向与地势高差同样左右着地下水的径流方向，合理的空间规划能够引导水流在地下系统中有序运动，而失序的布局则会造成局部含水层过载或枯竭。

3.2 城市产业结构对地下水消耗的影响

重工业和化工产业的用水强度远高于服务业和高新技术产业，产业结构中高耗水行业所占比重越大，地下水开采总量便越趋膨胀。制造业生产过程中冷却水、清洗水和工艺用水的需求量巨大，许多工厂长期依赖自备井抽取地下水以降低用水成本。产业转型升级过程中，淘汰落后产能虽然能减少直接取水量，但新兴产业园区的建设本身又会带来新一轮的地下水需求。产业布局的集中度也不容忽视，工业集聚区附近的地下水降落漏斗往往最为显著，而以服务业为主导的城区用水压力相对平缓，产业结构的调整方向实际上预设了未来地下水消耗的基本走势。

3.3 城市人居生活用水对地下水的影响

居民生活用水虽然单户消耗量不大，但城市人口基数庞大，总量累积效应十分可观。生活用水具有明显的日内波动特征，早晚高峰时段管网压力骤增，迫使供水系统加大地下水源的调取力度。随着居民生活水平提升，人均日用水量持续攀升，绿化浇灌、景观补水和家庭洗车等非刚性需求进一步推高了地下水的消耗。老旧城区管网漏损率偏高，大量自来水在输送途中渗入地下反而造成了浅层水质的二次污染，使得原本可作为应急水源的地下水品质恶化。人口净流入城市的地下水管理压力远超人口流出城市，人居规模的变化始终是地下水资源管理中最敏感的变量之一。

3.4 生态环境维系对地下水管理的约束作用

维持河流基流、湿地水位和植被蒸腾所需的地下水阈值构成了开发利用的硬性底线。城市周边的河流湖泊依赖地下水侧向补给维持生态水位，一旦过度开采导致水力联系断裂，地表生态系统将迅速退化。浅层地下水的变动直接控制着土壤含水量，进而影响城市绿地和行道树的存活状况。生态用水被长期挤占后，地面沉降、地裂缝和植被大面积枯死等连锁反应会显著增加城市治理成本。地下水管理方案必须在经济用水和生态留水之间寻找平衡点，生态约束的刚性特征决定了任何以牺牲环境为代价的开发模式都难以持续。

4 城市化进程中地下水资源可持续管理路径

4.1 优化城市空间布局

城市总体规划编制过程中,应当将地下含水层的空间分布和储量特征纳入刚性约束条件。新城区选址应优先避开地下水富集区和生态敏感带,在含水层薄弱地段适度控制开发强度。既有城区改造中,建筑密度过高的区域需要通过功能疏解和绿地补植来恢复部分自然入渗能力^[4]。城市竖向规划应当考虑地下水埋深的空间梯度,浅埋区严格限制深基坑作业,深埋区则可适度拓展地下空间开发的深度。透水铺装、下沉式绿地和雨水花园等海绵化设施的布局应与地下水位等高线走向相协调,使地表径流在重力作用下自然汇入最佳入渗点。空间形态从粗放蔓延转向紧凑集约的过程中,每一寸硬化地面的去留都直接关系到地下补给通道的畅通与否,规划决策者需要在土地利用效率和水文循环保护之间做出审慎权衡。

4.2 调整城市用水结构

城市供水体系应当逐步降低对地下水的依赖比重,将地表水、再生水和外调水纳入主力水源序列。工业用水环节推行分质供水和循环利用技术,冷却水和工艺废水经处理后回用于非饮用环节,从源头削减地下取水总量。农业灌溉在城市近郊区仍占有相当比重,推广滴灌和微喷等节水技术能够显著压缩农业用水对地下含水层的抽取压力。市政杂用和生态补水优先使用再生水,腾出的优质地下水资源留作战略储备应对突发干旱。服务业和居民生活用水通过阶梯水价和智能计量引导节约行为,用水结构从高耗水型向低耗水型转变的速度越快,地下含水层承受的压力就越小。

4.3 构建地下水涵养与补给体系

在城市外围和河流两岸保留足够宽度的自然渗透带,严禁将透水性良好的砂砾质区域全部硬化为建设用地。人工回灌工程应选择地质条件适宜的地段,利用雨季丰沛的地表水或处理达标的再生水通过回灌井注入含水层,以丰补枯修复地下水位。河湖连通工程恢复地表水与地下水之间的水力联系,使河流水体在丰水期自然补给沿岸含水层。地下水库概念的引入为城市提供了一种调蓄手段,将多余水量储存在地下含水空间中,待旱季再行开采。通过植被恢复,搭配深根系植物栽植,能够改良包气带结构,提高降水入渗效率与土壤蓄水能

力,从根本上强化地下水系统的自然涵养作用。

4.4 建立城市建设与地下水保护协同模式

城市各类建设项目的审批流程中应当嵌入地下水环境影响评价环节,施工方案需包含降水回用和水位监测的具体措施。基坑降水抽出的地下水不应直接排入市政管网,而应经过沉淀和水质检测后优先回灌或用于工地降尘。地铁和隧道施工中采用冻结法或注浆封堵等技术替代传统大流量排水,最大限度减少对含水层的扰动^[5]。城市建设投资中划拨专项资金用于地下水监测网络的运行和维护,实时掌握水位、水质和水量的动态变化。规划、建设、水务和环保等部门之间建立信息共享和联合审批机制,避免各自为政导致地下水保护措施在执行层面出现缝隙。城市发展与地下水保护并非零和博弈,二者的协同推进需要制度设计和技术支撑形成合力。

结束语

地下水资源的可持续管理不能仅停留在技术修补层面,更需要将水文规律嵌入城市规划的底层逻辑。从空间布局的源头调控到用水结构的末端优化,从人工回灌的工程补救到制度协同的长效保障,每一个环节都关乎含水层能否维持基本的生态功能。城市管理者应当认识到,地下水位的每一次下降都在累积不可逆的环境代价,而每一寸透水地面的保留都在为长远发展储备战略水源。唯有将水资源约束转化为城市发展的内生变量,才能真正实现人与地下空间的长期共生。

参考文献

- [1]曾琳,战博,王勇.试论城市化进程中土壤与地下水监测的重要性与挑战[J].皮革制作与环保科技,2025,6(7):57-59.
- [2]田睿.当议地下水资源管理及可持续发展模式[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2021(3):716.
- [3]王璐.地下水资源在城市化背景下的可持续利用研究[J].水上安全,2026(1):91-93.
- [4]赵媚.地下水动态监测数据在农业水资源管理中的应用研究[J].水上安全,2026(1):97-99.
- [5]林惠峰.地热型地下水资源可持续利用及生态影响评估[J].水利技术监督,2025(12):161-164,223.