

地下水超采区综合治理与管控措施研究

何秀文

阜康市九运街镇人民政府

DOI:10.32629/hwr.v10i3.6898

[摘要] 地下水作为全球重要的战略淡水资源,在维持生态系统平衡、保障农业灌溉及支撑工业发展中发挥着不可替代的作用。然而,随着经济社会的快速发展和人口增长,长期过度开采导致全球多地出现地下水位持续下降、含水层疏干、地面沉降、海水入侵及生态退化等严重环境问题。地下水超采区的综合治理已成为水资源管理领域的紧迫任务。本文系统综述了地下水超采的成因机制、生态环境效应及治理理论,深入探讨了“节、引、调、补、管”五位一体的综合治理技术体系。未来,应进一步强化多源数据融合的智慧监管能力,深化地下水-地表水耦合模拟研究,完善生态补偿与市场交易机制,推动地下水管理向精细化、智能化、法治化方向迈进,实现地下水资源的可持续利用与人水和谐共生。

[关键词] 地下水超采; 综合治理; 生态修复; 水源置换; 人工回补; 智慧监管; 长效机制

中图分类号: TU94+3.1 **文献标识码:** A

Study on Comprehensive Management and Control Measures for Groundwater Overexploitation Areas

Xiuwen He

Fukang City Jiuyunjie Town People's Government

[Abstract] As a vital global strategic freshwater resource, groundwater plays an irreplaceable role in maintaining ecosystem balance, ensuring agricultural irrigation, and supporting industrial development. However, rapid socioeconomic development and population growth have led to long-term over-extraction, resulting in severe environmental issues such as declining groundwater levels, aquifer depletion, land subsidence, seawater intrusion, and ecological degradation across multiple regions. Comprehensive management of groundwater over-exploitation areas has become an urgent priority in water resource management. This paper systematically reviews the causative mechanisms, ecological impacts, and governance theories of groundwater over-exploitation, while in-depth exploring the integrated five-pronged management framework encompassing conservation, diversion, regulation, replenishment, and management. Future efforts should focus on enhancing intelligent monitoring capabilities through multi-source data integration, advancing coupled groundwater-surface water modeling studies, refining ecological compensation and market trading mechanisms, and promoting refined, intelligent, and law-based groundwater management practices to achieve sustainable utilization of groundwater resources and harmonious coexistence between humans and water systems.

[Key words] Groundwater over-extraction; Comprehensive management; Ecological restoration; Water source replacement; Artificial recharge; Smart monitoring; Long-term mechanism

引言

地下水是维系生命系统、生态系统和社会经济系统的重要基础资源。由于其具有分布广泛、水质优良、供水保证率高及抗干旱能力强等特点,长期以来被视为应对水资源短缺的“稳定器”和“战略储备”。特别是在地表水资源匮乏或时空分布不均的区域,地下水更是支撑区域发展的核心水源。然而,近几十年来,受气候变化影响及人类活动强度加剧的双重驱动,全球范围

内地下水超采现象日益严峻。在许多主要农业产区和城市群,地下水开采量远超其天然补给量,导致区域性地下水位漏斗不断扩大,引发了地面沉降、地裂缝、海水倒灌、湿地萎缩、植被死亡等一系列连锁生态地质灾害,严重威胁到区域生态安全、粮食安全及基础设施安全。

1 地下水超采的成因机制与生态环境效应

1.1 超采形成的驱动机制与动力学特征

地下水超采的本质是地下水排泄量(主要是人为开采)长期大于补给量(降水入渗、河流侧渗、灌溉回归等),破坏了含水层的天然均衡状态。其驱动机制复杂,主要包括自然因素和人为因素两方面。自然因素方面,气候变化导致的降水减少、蒸发增强直接削弱了地下水的天然补给能力,加剧了供需矛盾。人为因素则是超采的主导力量,主要表现为:一是农业灌溉需求激增,传统粗放的大水漫灌方式导致用水效率低下,迫使大量抽取地下水维持产量;二是快速城镇化与工业化进程使得生活及工业用水需求呈指数级增长,而地表水源开发殆尽或污染严重,不得不转向地下水;三是水资源管理体制不完善,水价机制扭曲,缺乏有效的总量控制与定额管理,导致无序开采和有偿使用意识淡薄^[1]。从动力学角度看,超采过程是一个非线性的累积效应,初期水位下降缓慢,一旦突破临界阈值,含水层结构可能发生不可逆改变,如孔隙塌陷、渗透性降低,形成恶性循环。

1.2超采引发的多维生态环境灾害

地下水超采带来的生态环境效应具有隐蔽性、滞后性和灾难性。首先,水文地质环境恶化是最直接的后果,表现为地下水位持续下降,形成大面积降落漏斗,导致浅层含水层疏干,机井出水量减少甚至报废,增加了取水成本和能耗。其次,地质灾害频发,过量开采改变了土体有效应力,引起土层压密固结,导致大范围地面沉降,进而诱发地裂缝,严重破坏铁路、公路、桥梁、建筑物及地下管线等基础设施,造成巨大的经济损失。在沿海地区,地下水位下降破坏了淡水与咸水的动力平衡,引发海水入侵,导致地下水咸化,丧失使用功能,并造成土壤盐渍化,破坏耕地资源。再次,生态系统退化显著,地下水是维持河流基流、湖泊湿地及植被生存的关键水源。超采导致河流断流、湖泊干涸、湿地面积缩减,依赖地下水生存的天然植被因根系无法触及水位而枯死,生物多样性锐减,土地荒漠化加剧,区域小气候恶化。最后,水质污染风险增加,水位下降可能改变地下水流场,加速周边污染源(如垃圾填埋场、化工厂)的污染物迁移扩散,或因越流补给引入劣质水体,导致地下水水质恶化^[2]。

2 地下水超采区综合治理技术体系

2.1农业节水增效与种植结构调整

农业是地下水消耗的最大领域,因此农业节水是治理超采的根本之策。综合治理首先聚焦于工程节水与技术节水的深度融合。一方面,大规模推广高效节水灌溉技术,如滴灌、喷灌、微灌及管道输水,替代传统的大水漫灌,大幅降低田间灌溉定额,提高灌溉水利用系数。另一方面,加强农艺节水措施,推广覆盖保墒、深松深耕、水肥一体化等技术,减少土壤无效蒸发,提升作物水分生产率。此外,实施种植结构调整是关键的非工程措施。根据水资源承载能力,压缩高耗水作物(如水稻、普通小麦)种植面积,改种耐旱、低耗水作物(如杂粮、豆类、牧草)或雨养农业,实行“适水种植”。通过建立“以水定地、以水定产”的约束机制,从源头上减少农业地下水取用需求,实现农业发展与水资源保护的协调统一。

2.2水源置换优化与地表水配置重构

水源置换是缓解地下水压力的直接手段,核心在于“能用地表水就不用地下水”。这要求构建多水源联合配置格局。首先,加快重大引调水工程建设,将外流域水源或区域内富余地表水引入超采区,替代原有的地下水水源,用于城市生活、工业及部分农业灌溉。其次,优化现有地表水工程调度,挖掘水库、塘坝的调蓄潜力,通过河道生态补水、灌区续建配套改造,提高地表水供水保证率和利用率,扩大大地表水灌溉面积^[3]。同时,非常规水源利用也是重要补充,加大再生水(中水)、微咸水、矿坑水等的处理与利用力度,将其用于工业冷却、市政杂用、生态景观及特定农业灌溉,进一步置换出优质地下水资源。通过构建“本地水+外调水+非常规水”的多源互补供水网络,逐步削减地下水开采指标,实现水源结构的根本性优化。

2.3人工回补修复与含水层储能技术

对于已经受损的地下水系统,实施人工回补是恢复水位、修复生态的关键举措。人工回补技术主要包括地表入渗法和井灌法。地表入渗法利用河道、渠道、坑塘、洼地等天然或人工设施,将处理达标的雨水、洪水、再生水或富余地表水引入地下,通过土壤渗滤净化后补给含水层。该方法成本低、规模大,但受地质条件和水质要求限制较大。井灌法则是通过专门的建设回灌井,将水直接注入深层或浅层含水层,适用于渗透性差或急需补给的区域,效率高但成本相对较高。在实施回补时,需开展精细化的水文地质勘察与数值模拟,科学选定回补场地,优化回补工艺,防止堵塞和二次污染。此外,结合含水层储能技术(ATES),在冬夏季节进行冷热源的季节性储存与提取,既实现了能源的高效利用,又起到了调节地下水水位的作用,实现了资源利用与生态修复的双赢。

3 管控机制创新与政策保障体系

3.1法治化管控与总量红线约束

健全的法律法规与严格的制度约束是治理超采的根本保障。首先,应完善地下水管理法律法规体系,明确地下水的资源属性、产权归属及保护责任,划定地下水禁采区、限采区及保护区,实行分区分类管控。在禁采区内,除应急供水等特殊情形外,一律禁止新建、改建、扩建取水井,现有水井限期封闭;在限采区内,严格限制开采量,逐步核减开采指标^[4]。其次,实施最严格的水资源管理制度,确立地下水开发利用总量控制红线和水位控制红线。将地下水管控指标逐级分解落实到行政区、流域及取水户,纳入政府绩效考核体系,实行“一票否决”制。建立取水许可电子证照制度,规范取水审批流程,严厉打击无证取水、超计划取水等违法行为,确立“无证不得取水、超限必须受罚”的法治导向。

3.2市场化机制与水价杠杆调节

发挥市场在资源配置中的决定性作用,利用价格杠杆倒逼节约用水。深化农业水价综合改革,建立反映供水成本、体现水资源稀缺程度的农业水价形成机制。推行农业用水精准补贴和节水奖励制度,在提高水价的同时,对农民进行定向补贴,确保农民负担不增加,同时激励主动节水。在非农业领域,全面实施

累进加价制度,对超定额、超计划用水实行高额累进加价,大幅提高超采区地下水水资源税(费)征收标准,使地下水开采成本显著高于地表水,从而引导用户主动置换水源。探索建立地下水权交易市场,允许节约下来的地下水指标在区域内或有条件的区域间进行交易,通过市场流转实现水资源的优化配置,激发全社会节水的内生动力。

3.3 多元化投入与生态补偿机制

地下水治理是一项长期且昂贵的系统工程,需要稳定的资金投入。应构建“政府主导、社会参与、多元投入”的资金保障机制。中央及地方政府应将地下水超采治理纳入财政预算,设立专项治理资金,重点支持监测网络建设、水源置换工程、回补设施建设及封井复绿等项目。同时,创新投融资模式,鼓励社会资本通过PPP(政府和社会资本合作)、EOD(生态环境导向的开发)等模式参与治理工程的建设与运营。建立健全生态保护补偿机制,按照“谁受益、谁补偿,谁保护、谁受偿”的原则,由地下水受益区(如下游城市、工业区)向水源涵养区或超采治理区提供资金补偿、产业扶持或技术援助。通过横向生态补偿,平衡区域发展利益,调动地方治理积极性,形成共建共治共享的良好局面。

4 面临挑战与未来展望

4.1 当前治理面临的主要挑战

尽管地下水超采治理已取得阶段性成效,但仍面临诸多深层次挑战。一是自然补给的不确定性增加,气候变化导致极端干旱事件频发,地表来水减少,使得水源置换和人工回补的水源保障难度加大。二是农业节水潜力挖掘进入瓶颈期,进一步降低灌溉定额的技术难度大、成本高,且种植结构调整受市场需求和农民意愿制约较大。三是深层地下水恢复缓慢,深层含水层补给周期长达数百年甚至上千年,一旦疏干极难恢复,且地面沉降等地质灾害具有不可逆性,治理修复周期漫长。四是跨区域、跨部门协调机制尚不完善,流域上下游、左右岸及不同行业之间的利益博弈依然存在,影响了综合治理的整体效能。五是基层监管能力薄弱,部分地区监测设施运维不到位,执法力量不足,偷采漏采现象时有发生^[5]。

4.2 未来发展趋势与对策建议

面向未来,地下水超采治理应向更加系统化、精细化、智能化的方向发展。首先,强化系统治理思维,坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理,将地下水治理融入流域综合规划与国土空间规划,统筹考虑地表水、地下水、土壤水及生态用水的转

化关系,实施全要素、全过程的综合修复。其次,深化科技创新驱动,加强地下水循环演化机理、多相流运移规律及生态响应机制的基础研究,研发低成本、高效率的回补技术与装备,提升数值模拟的精度与预见性。再次,全面提升智慧监管水平,利用5G、北斗、AI等新一代信息技术,构建全覆盖、全天候、全要素的立体感知网络,实现从“人防”向“技防”、“智防”的转变。最后,完善长效体制机制,健全法律法规,理顺管理体制,深化水权水价改革,构建多元化的生态补偿与市场交易体系,形成政府、市场、社会协同推进的强大合力。只有通过持之以恒的综合治理与严格管控,才能逐步扭转地下水超采局面,恢复地下水生态功能,实现地下水资源的永续利用,为经济社会高质量发展提供坚实的水资源支撑。

5 结语

地下水超采区的综合治理是一项复杂的系统工程,关乎生态安全、粮食安全与社会稳定。通过深入分析超采成因与危害,构建“节、引、调、补、管”五位一体的技术体系,并辅以法治化、市场化及多元化的管控机制,全球多地已探索出行之有效的治理路径。实践证明,只有坚持人与自然和谐共生,遵循水资源客观规律,采取系统施策、标本兼治的策略,才能有效遏制超采势头,逐步修复受损的地下水生态系统。未来,随着科技进步与管理创新的不断深化,我们有信心克服重重挑战,建立起适应新时代要求的地下水保护与利用新格局,让清澈的地下水重新充盈大地,造福子孙后代。

参考文献

- [1]张永杰,王奇,丁志宏.博州地下水开发利用问题与对策研究[J].海河水利,2025,(11):18-21.
- [2]童光泽.民勤盆地地下水动态演变规律研究[D].甘肃农业大学,2025.
- [3]王中雅.地下水环境监测发展的主要技术问题及建议[J].水利技术监督,2024,(06):24-25+44.
- [4]帅官印,崔伟哲,邵景力,等.超采区地下水位控制和考核指标确定方法[J].人民黄河,2024,46(03):64-69.
- [5]陈万贺.区域地下水治理现代化评价方法及应用[D].郑州大学,2022.

作者简介:

何秀文(1974--),男,汉族,新疆阜康市人,大专,水利工程师,研究方向:地下水超采的成因机制、生态环境效应及治理理论。