

Study on the Dynamic Change Characteristics and Driving Factors of Groundwater in Arid and Semi-arid Region

Fei Liu

Third Hydrogeological Engineering Geological Brigade, Hebei Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development (Hebei Institute of Geothermal Resources Development), Hengshui, Hebei, 053000, China

Abstract

Groundwater serves as the vital water source sustaining regional ecological security and economic development in arid and semi-arid regions. Its dynamic patterns directly impact the sustainability of water resource management. Integrating geological mapping, water level monitoring, and hydrogeological data to analyze groundwater's spatiotemporal evolution and recharge-discharge characteristics is crucial for understanding regional groundwater dynamics and identifying driving factors. This approach enables the establishment of an integrated management system combining monitoring, regulation, and restoration. Through technological innovation, engineering solutions, and institutional safeguards, this framework ensures dynamic equilibrium between groundwater extraction and recharge, alleviates water supply conflicts, and provides practical support for sustainable groundwater development and ecological-geological protection in arid regions. Ultimately, it facilitates effective water resource utilization, ecological conservation, and the achievement of sustainable development goals.

Keywords

arid and semi-arid regions; groundwater; dynamic changes; driving factors

干旱半干旱区地下水动态变化特征及驱动因素研究

刘菲

河北省地质矿产勘查开发局第三水文工程地质大队（河北省地热资源开发研究所），中国·河北衡水 053000

摘要

干旱半干旱地区地下水是维系区域生态安全和经济发展的核心水源，其动态变化规律会直接影响水源的可持续管理效能，整合地质测绘、水位监测以及水文地球化学数据，梳理地下水的时空演化规律和补给排泄特征对于了解这一地区的地下水动态变化状态，进一步分析变化的驱动因素有重要意义。在此基础上，可构建监测、调控和修复为一体的管理体系，通过技术创新、工程治理、制度保障等措施保证地下水的开采与补给维持动态平衡状态，缓解这一区域的水资源供给矛盾，为干旱半干旱地区地下水的合理开发以及生态地质环境保护提供实践支撑。最终助力区域水资源得到有效应用，保护生态环境，实现可持续发展目标。

关键词

干旱半干旱区；地下水；动态变化；驱动因素

1 引言

在我国，干旱半干旱区的国土面积占到47%左右，这一区域的降水稀少，蒸发强烈，地下水成为农业灌溉、工业生产和城乡生活的主要供水来源，其稳定供给直接关系到国家粮食安全和生态屏障建设。从目前的实际出发来讲，由于受到气候变化加剧和人类活动强度逐步提升的影响，区域地下水动态失衡问题逐步凸显，地下水位也有持续下降的趋势，土壤盐渍化、含水层疏干等地质问题的发生频率同步升高，制约了经济社会的高质量发展而目前的政策中，水资源

管理制度与地下水超采区综合治理要求也非常严格，这也需要干旱半干旱区精准掌握地下水动态变化规律，通过水文监测、地质测绘等技术支撑，精准把控水资源的动态变化状态，合理利用水资源，防范生态地质灾害。

2 干旱半干旱区地下水动态变化特征

2.1 时空分异显著，周期波动失衡

这方面的特征主要是针对地下水水位的变化而总结的。在干旱半干旱区，地下水水位呈现出鲜明的时空异质性特征，在时间上受到降水补给和用水需求的影响。形成了雨季回升、空气陡降的周期性变化趋势，多数区域的雨季水位回升幅度可达到1到3m，枯季则因农业集中灌溉以及蒸发损耗^[1]。显著降低水位最大降幅可达2~4m，在部分超采区的

【作者简介】刘菲（1991-），女，中国河北武邑人，本科，工程师，从事水文地质工程地质、地下水环境监测研究。

年际水位累计下降区间达到 0.3 ~ 0.8m。形成稳定的降落漏斗。从空间上来讲,半干旱区的水位变化与地质条件以及开采程度有关。相对来讲,北部地区的下降幅度更大。从地理区间上来讲,城市地下水位的下降速度更快,这主要是由于城市及工业集中区会持续高度开采、水位埋深一般可达到 50m 以上,而偏远的农业区以及生态保护区水位相对稳定,这充分反映出地质结构与水位变化之间的关系。

2.2 补给排泄失衡,盐化污染并存

这方面的特征主要是从地下水的水量维度总结提出的。在干旱、半干旱区水量的变化呈现出补给逐步减少,排泄量逐步增大的失衡趋势,这与气候变化紧密相关。目前干旱半干旱区的年降水量以 15% 左右的比例呈现减少趋势。同时,随着城市化进程的逐步加快,硬化地面面积有所扩大,雨水下渗率的自然状态下降至 5% ~ 15% 这个区间,地下水的补给量也因此萎缩。而农业灌溉、工业用水等人为开采成为排泄的主要途径^[2]。据调查数据,西北地区的内陆年地下水储存量减少幅度为 15 亿立方米,水质方面也有盐化和污染逐步严重的发展趋势,干旱的气候还会导致地下水蒸发浓缩。例如,在河西走廊的部分区域,地下水矿化度显著上升,这使得水源失去了灌溉和饮用的功能。另外,水质还会受到废水泄漏、生活污水排放的影响,导致氨氮等污染物的整体含量超标,水污染问题日益严峻。

3 干旱半干旱区地下水动态变化驱动因素

3.1 自然禀赋驱动

自然环境因素具有一定的客观性,对干旱半干旱地区的地下水动态变化会产生非常直接的影响。干旱半干旱地区的自然环境因素主要来源于温、湿度和气候特征三个方面,分析自然禀赋的驱动作用能够明确这一地区地下水动态变化的驱原理,并进一步明确地下水的变化规律。从本质上来讲,气候因素是地下水动态变化的基础影响因素。降水的量级、强度和时空分布会直接影响入渗补给量。例如,均匀的小雨入渗补给效率一般可达 80% 以上,而暴雨则容易引发地表径流实际的入渗率一般会低于 20%。另外,气温升高会加剧蒸发消耗。例如,西北内陆地区的地下水蒸发量就有长年不断增加的趋势,增加幅度达到 8% ~ 12%,这进一步加剧了水量亏空。另外,地质水文条件也会影响地下水的储运和移动能力^[3]。具体来讲,孔隙含水层的渗透性较强,水位对降水响应迅速。因此,会发生较大幅度的水位变化,而基岩裂隙含水层的渗透性相对较弱,水位变化的趋势平缓,但补给滞后。断层、褶皱这类地质构造由于复杂性强,会影响地下水的流动路径,改变局部水量平衡,这些自然环境状态都会不同程度地影响地下水动态变化趋势。

3.2 人为活动驱动

人为活动具有一定的持续性和动态性特征,而地下水开采是改变动态平衡的人为因素。农业灌溉具有非常显著的

季节性特征,以小麦主产区为例,灌溉高峰期就会出现集中开采水源的现象,水位在短期内有快速下降的风险。而工业与生活用水长期稳定地开采则会形成区域性的降落漏斗。除此之外,城市化及水利工程建设也会在一定程度上影响地下水动态变化。例如,城市硬化下垫面减少补给,跨流域调水工程通过渠道渗漏,可补充地下水,但不合理的工程布局可能破坏原有水力联系。另外,农业生产过程中还存在过量使用化肥、农药的现象。灌溉水源也有受污染的问题,部分区域还可能由于垃圾填埋场的渗漏作用,影响地下水的水质,使整个地下水运行系统的平衡遭到破坏^[4]。

3.3 技术管理驱动

这方面的驱动因素主要是指,监测技术的精确度和覆盖范围会对地下水的动态监测效果产生一定的影响,传统的监测手段不仅点位稀疏,数据传输也有滞后的现象,无法精准捕捉时空变化规律。现阶段,数字化技术以及多源数据融合支持技术,可对含水层参数和储量变化进行高精度量化评估,水资源管理制度的完善程度也会影响人为干预的合理性。一旦缺乏刚性约束,容易造成超采问题,用水总量的控制和定额管理措施也无法有效落实。如何借助先进技术辅助地下水动态管理工作,保证水源合理利用是需要思考的一个关键问题。

4 干旱半干旱区地下水有效利用策略

4.1 构建多源数据融合监测网络

构建多源数据融合的监测网络是干旱半干旱区地下水有效利用的关键策略。这一地区可利用测绘与地质技术优势,将地面监测、空中遥感、地下勘探三个维度的监测设备全面联动,实现全方位、高精度的数据监测。首先,在地面监测中,应当合理布置地下水位、水质自动监测站点,覆盖超采区、生态敏感区和主要的含水层,全面收集相关数据。在此基础上,结合土壤墒情、气象数据构建多要素联动监测数据库,在空中层面,可应用无人机监测技术对区域地面沉降和地下水储量变化进行监测,从而为开采管控工作提供数据支持。在地下层面,可应用地面电阻率断层扫描技术和地震反射剖面分析等地球物理手段对含水层的分布状态、断层结构和水力联系进行分析,构建三维地质水文模型,对地下水实际情况进行全面分析。在此基础上,构建数据共享平台,整合数据和模型分析结果对水位进行预警,对水质进行溯源,保证通过智能化、全方位的管理,为进一步科学用水,精准开发水利工程项目提供依据。

4.2 实现补给排泄动态平衡

针对资源补给不足,人类开采过度的现实问题,可采取一系列工程措施,重塑区域水网,优化地下水补给和排泄结构,并且积极推行高效节水灌溉工程建设,应用滴灌、喷灌等先进技术,配合智能灌溉控制系统。同时,考虑土壤墒情和作物需水规律,保证地下水资源和灌溉水源精准供给。

提升水源利用率,减少农业灌溉对地下水的依赖。同时,还可将地表水和地下水进行置换,通过置换工程补充地下水。例如,修建调蓄水池和防渗渠道、收集雨季降水,都是可用的方法。对于严重超采区域,则应实施退地减水、关井压采等一系列措施,修复含水层的功能,实现地下水位回升的目标。针对水质问题,可强化污水资源化利用工程建设力度,针对工业废水、生活污水进行深度处理,用于农业灌溉和生态补水。同时,在农业区应推广应用测土配方施肥技术,减少化肥农药的使用量,避免出现土壤污染。对于已经出现盐化现象的区域,则应当落实排盐工程,降低地下水的矿化程度,恢复水资源的应用功能^[5]。

4.3 健全长效机制

制度保障对于干旱半干旱区地下水的有效利用也是重要的动力。这一地区应当协同政府和基层部门及公众的力量,构建完善的管理体系,利用制度建设规范地下水开发利用行为,保证策略及时执行。首先,应完善水资源刚性约束制度,实行动态总量控制和定额管控措施,根据区域含水层的承载力科学分配明确工业及生活用水指标,对超额用水单位应当额外收费,提高单价,倒逼其提升用水效率。另外,还可建立地下水开采许可制度,严格审批新打井项目,对超采区要提出限制或禁止开采的制度。同时,可借助智能水务平台对取水口进行动态监测,对用水全过程进行实时追溯,保证通过追溯实现同步管控。对超计划用水的情况,也要做好远程控制,保证开采量控制在合理范围内。跨区域协同管理工作也应同步推进,结合地下水的流动性特征建立跨区域管理机制,协调上下游开采活动,避免各自独立开采的现象,减少资源浪费和生态环境破坏。对于公众,也要加强宣传教育,及时普及地下水保护理论知识,鼓励公众参与地下水用水监测和管理工作,形成全员共同参与,守护地下水资源质量的良好格局。

4.4 构建水生态保护屏障

这方面的要求是指,应结合干旱半干旱区的生态脆弱特点,将生态保护与地下水利用全过程融合贯穿,实现水资源利用和生态保护协同发展的目标,划定地下水生态保护红

线,明确生态敏感区、含水层补给区的具体保护范围,避免在红线区域内进行高强度开采,或实施污染性建设活动,维护区域生态系统的稳定性和完整性。另外,还应当加大生态湿地建设力度,利用地下水补给、湿地、林带,构建生态缓冲带,强化水体的自净能力,改善区域生态环境。同时,要通过湿地植被的蒸腾调控作用促进地下水排泄,维持地下水的稳定水位状态。而针对地面沉降、土地荒漠化等生态地质灾害,则应当启动生态修复工程,利用人工回灌、植被恢复相结合的方式缓解沉降。利用合理补给地下水、培育耐旱植被的方式遏制沙漠化范围扩张。还应建立生态补偿机制,为相关区域提供补偿激励,平衡区域发展和生态环境保护之间的关系,实现地下水系统和生态环境的良性互动。

5 结语

总的来讲,干旱半干旱区地下水动态变化容易受到自然环境、人为活动和技术因素的影响,面临排泄与补给失衡,污染与盐渍化现象。合理开发利用水资源需要以人员做支撑,以技术做支持,结合干旱半干旱区的气候条件和地下水位分布情况采取有效的技术措施进行干预,以便保证地下水的动态变化趋势得到精准监测,不同区域的地下水资源能够充分有效地应用。

参考文献

- [1] 迟宝明,李明乾,姜纪沂,王贺,肖长来,梁秀娟.柳河下游地下水—地表水转化模式及对水旱灾害的影响研究[J].防灾科技学院学报,2025,27(04):27-35.
- [2] 郭海云,郭亚军.干旱半干旱区灌溉驱动下水资源转化机制及调控策略[J].农业技术与装备,2025,(11):65-67.
- [3] 李朝毅,杨雨.基于博弈论-物元可拓模型的地下水资源承载力评价[J].水利规划与设计,2025,(12):66-72+96.
- [4] 方杰,徐智敏,程伟,逯梓晗,赵勇强,朱宇豪,陈天赐.北方防沙带干旱半干旱露天矿区水资源保护利用关键技术与途径[J].煤田地质与勘探,2025,53(07):12-26.
- [5] 袁慧,张琪,朱永华,夏必胜,王文发.毛乌素沙地地下水干旱的多尺度分析——基于重力恢复及气候试验地下水储量变化指数[J].生态学报,2025,45(08):3978-3994.