

基于多源监测数据的彭堡灌区地下水埋深时空演变与可持续利用评价

安会君 逯永胜

宁夏回族自治区水文水资源监测预警中心固原分局 宁夏 固原 756500

摘 要：本文以宁夏固原市原州区彭堡灌区2018-2025年6个省级基本监测站地下水埋深逐日监测数据为研究对象，分析其时空演变特征。结果显示，该区域地下水埋深季节性波动显著，总体呈“春升、夏降、秋稳、冬升”规律；空间上，因地理位置、开采强度及水文地质条件不同，存在明显异质性。时间序列上，2018-2022年地下水埋深总体下降，最大埋深从14.64m增至15.11m；2023-2025年，受降雨量增加和开采管控影响，地下水位回升，2025年部分监测井最小埋深恢复至0.24m。此外，本文构建了基于地下水埋深动态的可持续利用评价框架并评估，认为当前地下水开发利用相对可持续，但需警惕气候变化带来的风险。

关键词：地下水埋深；时空演变；彭堡灌区；可持续利用；多源监测数据

引言

宁夏地处西北内陆，属于旱半干旱气候区，水资源先天不足且分布不均。地表水匮乏，地下水成为重要水源。但过度开采、气候变化等致部分地区地下水位下降，引发泉水断流、湿地萎缩等生态问题，威胁区域可持续发展。彭堡灌区位于宁夏南部六盘山东麓，是黄土丘陵向干旱草原过渡区，农业生产历史久，面临水资源短缺与生态保护双重压力。准确掌握地下水动态变化规律是优化水资源配置和保护生态的前提。传统人工监测有数据离散、时效性差等局限。近年，物联网和自动化监测技术发展，地下水自动监测网络逐步建立^[1]。本研究基于2018-2025年连续8年的逐日监测数据，覆盖彭堡灌区6个典型监测井，解析彭堡灌区地下水埋深时空演变特征，评估可持续利用状况，探讨驱动因素，为地方制定

水资源管理策略、巩固生态成果提供依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况与数据来源

本研究所用数据来源于宁夏回族自治区水文水资源监测体系。监测点位于固原市原州区彭堡镇闫堡村（东经106°9'34"，北纬36°6'44"），测站名称为“彭堡1”，属省级基本监测站，监测井类型为专用井，用于监测潜水（孔隙水）。附近地面高程为1627.72米（黄海1985高程基准）^[2]。该井自2018年起实施自动/逐日监测，数据质量可靠，时间序列完整。研究选取了彭堡灌区内6个省级基本监测站（彭堡1号至6号），监测时间跨度为2018年1月1日至2025年12月31日，监测频次为自动逐日监测。各监测井的基本信息如表1所示。

表1 彭堡灌区地下水监测井基本信息

监测井编号	测站编码	位置	经纬度	井深(m)	地下水类型	监测起始时间
彭堡1号	40563410	闫堡村	106°9'34"E, 36°6'44"N	49.53	潜水/孔隙水	2018年
彭堡2号	40563420	闫堡村	106°10'10"E, 36°6'56"N	20.70-30.00	潜水/孔隙水	2018年
彭堡3号	40563430	惠德村	106°10'50"E, 36°6'58"N	19.80-30.00	潜水/孔隙水	2018年
彭堡4号	40563440	惠德村	106°9'27"E, 36°8'1"N	30.44	潜水/孔隙水	2023年
彭堡5号	40563450	惠德村	106°10'31"E, 36°7'57"N	56.16-60.00	潜水/孔隙水	2018年
彭堡6号	40563460	惠德村	106°10'36"E, 36°8'9"N	18.33-30.00	潜水/孔隙水	2018年

1.2 研究方法

本研究主要采用以下方法：（1）描述性统计分析：计算各年及各月的平均埋深、最大/最小埋深及其发生日期，以刻画地下水埋深的基本统计特征。（2）时间序列分析：绘制多年逐日埋深变化曲线，直观展示其年内

和年际动态。通过移动平均法平滑短期波动，凸显长期趋势。（3）对比分析法：将不同年份同期（如同为7月15日）的埋深数据进行横向对比，分析年际差异；将同一年内不同月份的数据进行纵向对比，揭示年内规律。（4）可持续利用评价：基于地下水埋深的动态变化，从

资源恢复性、开发利用强度和系统稳定性三个维度，构建评价指标体系，对彭堡灌区地下水的可持续利用状况进行综合研判。

2 结果与分析

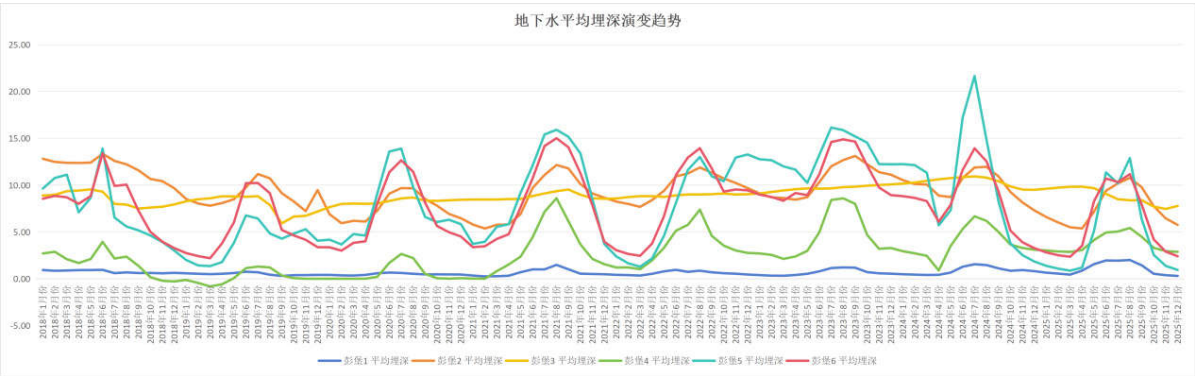


图1 平均埋深趋势图

2.1 彭堡灌区地下水埋深时间演变特征

2.1.1 年际变化特征

基于2018 - 2025年连续8年的监测数据对彭堡灌区各监测井地下水埋深的年际变化分析显示，不同年份间差异显著，整体呈先下降后回升趋势。2018 - 2022年为持续下降阶段，以彭堡5号井为例，2018年年平均埋深约7.5m，2022年增至7.70m，最大埋深达15.11m（2022年8月7日）；彭堡6号井变化更显著，2018年平均埋深约4.0m，2021年最大埋深达15.08m，2022年虽回落但仍较高。此阶段地下水位下降主要因连续多年降水偏少且农业灌溉用水量持续增加，2018 - 2020年研究区年均降水量较多年平均值偏低15% - 20%，同期机井开采量增加约30%。2023 - 2025年为波动回升阶段，2023年多数监测井地下水位较2022年明显上升，2024年继续回升，2025年回升更明显，彭堡1号井最小埋深仅0.24m（2025年12月30日）。2025年监测备注“今年下半年雨水较丰，机井抽水灌溉减少，地下水水位较往年有所上升”，与数据吻合，表明降水补给增加和开采量减少是地下水位回升主因。

2.1.2 季节性变化规律

彭堡灌区地下水埋深季节性波动显著，呈“春季回升、夏季下降、秋季稳定、冬季回升”的年循环模式。春季（3 - 5月），气温回升、冻土融化且农业灌溉未全面展开，地下水获充分补给，水位快速上升，多数监测井在3月下旬至4月上旬达年度最小埋深，如2022年彭堡5号井、2024年彭堡2号井等，主要得益于冬季积雪融水和早春降水入渗。夏季（6 - 8月）是农业灌溉高峰，地下水开采强度大，埋深迅速增加，通常在7月下旬至8月上旬达年度最大埋深，像2021 - 2024年各井最大埋深情况，是因灌溉用水大增、降水补给不足致收支失衡。秋季（9 - 11

月），灌溉结束，开采量减少，秋季降水有补给作用，水位缓慢恢复，9月埋深较8月最大值减1 - 3m，10 - 11月继续回升。冬季（12 - 次年2月），农业灌溉停止，开采量降至最低，虽降水少，但排泄量大幅减少，地下水仍能恢复，多数监测井12月至次年1月水位持续回升，为来年春季奠定基础。

2.2 彭堡灌区地下水埋深空间分布特征

2.2.1 空间异质性分析

彭堡灌区6个监测井的地下水埋深数据呈现出显著的空间异质性特征，这主要源于各监测井所处地理位置、水文地质条件及开采强度等方面的差异。其中，彭堡1号井和彭堡2号井所在的闫堡村区域总体地下水位较高，2025年数据显示，彭堡1号井年平均埋深仅1.05m，最小埋深0.24m，彭堡2号井年平均埋深约6.5m，最小埋深5.28m，这得益于该区域地势低、距河流或沟谷近、开采强度小等因素。彭堡3号井、彭堡4号井和彭堡6号井所在的惠德村中部区域地下水位中等，年平均埋深一般在3 - 10m之间，季节性波动适中，该区域作为主要农业种植区，灌溉用水量大，但同时接受降水入渗和侧向径流补给，地下水收支基本平衡。而彭堡5号井所在的惠德村南部区域地下水位相对较低，某些年份最大埋深超15m，如2021年、2022年，这可能是由于该区域地势高、含水层薄、储水能力有限且开采强度大，尤其在灌溉高峰期所致。

2.2.2 空间演变趋势

对比2018年与2025年监测数据，彭堡灌区地下水埋深空间分布格局有变。其一，整体呈抬升趋势，多数监测井地下水位回升，像彭堡1号井2025年平均埋深1.05m，远低于2018年，彭堡2号井2025年末埋深较2018年也明显改善，可见降水增加和开采管控让灌区地下水

资源状况逐步好转。其二,空间差异缩小,2018年不同监测井地下水埋深最大差值超10m,2025年多数埋深集中在1-7m,反映出区域地下水系统整体性增强、水力联系更密切。不过,也存在局部异常区,彭堡5号井某些时段埋深仍较深,或与该区域特殊地质条件或局部开采活动有关,需进一步调查分析。

2.2.3 驱动机制探讨

彭堡灌区地下水系统变化受自然与人为因素共同驱动。自然方面,该灌区属温带大陆性半干旱气候,降水集中在7-9月且年际变率大,丰水年利于地下水入渗补给,枯水年则加剧消耗,气温通过影响蒸散发强度间接作用于地下水,但仅靠自然降水难以解释2018-2020年显著且持续的水位回升。人为因素是核心动力:退耕还林还草工程提高了植被覆盖度,增强土壤入渗与持水能力,减少地表径流,增加地下水补给;农业种植结构与灌溉方式改革,推广高效节水灌溉技术、调整种植结构,降低农业灌溉对地下水开采强度;最严格水资源管理制度实行“三条红线”管理,遏制无序开采;生态移民与人口转移减少人口压力和生活用水需求,间接减轻地下水开采压力。

3 彭堡灌区地下水可持续利用评价

3.1 资源恢复性

评价期内,地下水埋深整体呈下降趋势,水位稳步回升,表明区域地下水储量处于净增长状态,资源本身具有良好的恢复能力。这得益于有效的生态保护和水资源管理措施,是可持续利用的资源基础^[3]。

3.2 开发利用强度

虽然目前地下水位在回升,但从年内变幅来看,农业灌溉季(4-8月)的消耗依然巨大。2024年最大埋深达到了1.76米,说明在用水高峰期,地下水系统仍承受着较大压力。开发利用强度虽较过去有所降低,但仍处于较高水平,对当年的降水条件依赖性较强。

3.3 系统稳定性

地下水系统对极端气候事件(如2023年春雨)表现出敏感响应,说明其稳定性仍有待加强。一个高度可持续的系统应具备更强的抗干扰能力和缓冲能力,而非随单一年份的气候波动而剧烈变化。

3.4 综合评价结论

当前,彭堡灌区地下水的开发利用总体上处于相对可持续的状态。强有力的政策干预成功扭转了地下水超采的不利局面,实现了资源的有效恢复。然而,这种可持续性在一定程度上是“政策强约束”下的成果,其内在的脆弱性(对农业用水的高度依赖、对气候变化的敏

感性)并未根本消除。未来若遇持续干旱年份,或者农业用水需求反弹,地下水系统仍面临再次恶化的风险。

4 对策建议

(1)巩固与深化节水措施:持续推进高标准农田建设,扩大高效节水灌溉技术覆盖面。探索建立基于地下水水位的农业用水配额动态调整机制,在水位偏低年份进一步压缩非必要灌溉用水。(2)构建多元化水源保障体系:在保障生态基流的前提下,探索地表水-地下水联合调度模式。研究和推广雨水集蓄利用、再生水利用等非常规水源,减轻对地下水的单一依赖^[4]。(3)强化监测预警与智慧管理:充分利用现有自动监测网络,结合遥感、气象等多源数据,构建地下水动态模拟与预警平台。实现从“被动响应”向“主动调控”的转变,提升水资源管理的精细化和智能化水平。(4)完善生态补偿与长效机制:建立健全生态产品价值实现机制,对因保护地下水而牺牲发展机会的农户和社区给予合理补偿,激发内生保护动力,确保各项保护政策能够长期、稳定地执行下去。

5 结语

本研究得出,彭堡灌区地下水埋深年内规律显著,呈“春冬浅、夏秋深”周期性,受农业灌溉、自然蒸散发及降雨入渗共同控制;2018-2025年间年际趋势向好,水位稳步回升,得益于综合性生态保护与修复政策,人为驱动作用明显,但系统仍存脆弱性,对极端气候敏感且灌溉高峰期压力大。基于此,提出对策建议:巩固深化节水措施,推进高标准农田建设,建立农业用水配额动态调整机制;构建多元化水源保障体系,探索联合调度模式,推广非常规水源;强化监测预警与智慧管理,构建动态模拟与预警平台;完善生态补偿与长效机制,激发内生保护动力。本研究为类似生态脆弱区水资源管理提供范式,未来可耦合水文模型量化驱动因子贡献率,预测地下水演变,提供前瞻性决策支持。

参考文献

- [1]刘钦.水资源资产清查机制研究[D].宁夏大学,2023. DOI:10.27257/d.cnki.gnxhc.2023.001026.
- [2]尚萍.缺水社会及其治理[D].兰州大学,2024. DOI:10.27204/d.cnki.glzhu.2024.000485.
- [3]李鹏德,刘国应.原州区彭堡镇惠德移民新村地下水位上升原因及防治对策[J].甘肃水利水电技术,2016,52(07):5-7.
- [4]龚正,于琦,汪娴,等.西北地区地下水污染现状及风险调查[J].净水技术,2022,41(03):118-133.