

宁夏固原东山坡井水位异常分析

王晓涛, 贺嘉伟

宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川

收稿日期: 2025年6月9日; 录用日期: 2025年7月18日; 发布日期: 2025年7月30日

摘要

文章通过井点背景资料、观测系统检查、水温梯度实验、地下水类型定量诊断分析、井水位频谱分析、同位素与水化学组分分析、地下水运移及影响因素分析、含水层参数计算、降雨荷载影响因素分析、区域应力背景分析等方法, 对宁夏固原东山坡井水位2024年7月22日出现的快速上升变化异常进行分析论证。结果显示, 此次异常与2024年7月中旬当地出现的集中、雨量充沛的降雨活动有关, 综合确认为干扰异常, 而非地震前兆异常。

关键词

水位, 异常分析, 固原东山坡井, 水化学组分特征

Analysis of Water Level Anomaly in Dongshanpo Well, Guyuan, Ningxia

Xiaotao Wang, Jiawei He

Earthquake Agency of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia

Received: Jun. 9th, 2025; accepted: Jul. 18th, 2025; published: Jul. 30th, 2025

Abstract

This study investigates the rapid water level rise anomaly observed at the Dongshanpo Well in Guyuan, Ningxia, on July 22, 2024, through multiple analytical approaches. These include: Background well data review, Observation system inspection, Water temperature gradient experiments, Quantitative diagnostic analysis of groundwater types, Well water level spectral analysis, Isotope and hydrochemical composition analysis, Groundwater migration and influencing factor analysis, Aquifer parameter calculation, Rainfall loading impact analysis, Regional stress background analysis. The results demonstrate that the anomaly is associated with intensive and abundant rainfall

events concentrated in mid-July 2024 in the local area. Comprehensive analysis confirms this event as an interference anomaly, rather than a seismic precursor anomaly.

Keywords

Water Level, Anomaly Analysis, Dongshanpo Well, Guyuan, Hydrochemical Composition Characteristics

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地下水位观测是捕捉地震前兆特征的有效手段,其作为地壳中普遍存在的活跃组分,其动态变化能较灵敏地反映地震和构造活动的信息,因此,水位观测成为地震前兆重要观测手段。当地下水动态出现异常变化时,异常干扰的分析工作显得尤为重要,它同时也是准确识别地震前兆异常信息的必要前提[1]-[4]。

固原东坡井水位受区域季节性降雨影响显著,每年丰水期(7~9月份)降雨时水位出现大幅上升变化,11月份又转折下降。2024年7月22日14时起,东坡井水位出现快速上升变化,至24日09时到达最高点,之后转为水平趋势,整体上升幅度约7.6 cm(图1),同井水温该时段正常。鉴于宁夏南部及邻近地区较为复杂的震情形势,该异常变化是地震前兆异常,还是由其他干扰因素所致?针对这一问题,本文分别从观测系统检查、水化学分析、频谱分析、潮汐参数计算、卫星储水量分析、地下水运移及影响因素分析、区域应力背景分析、降雨荷载影响分析等方面进行详尽分析。

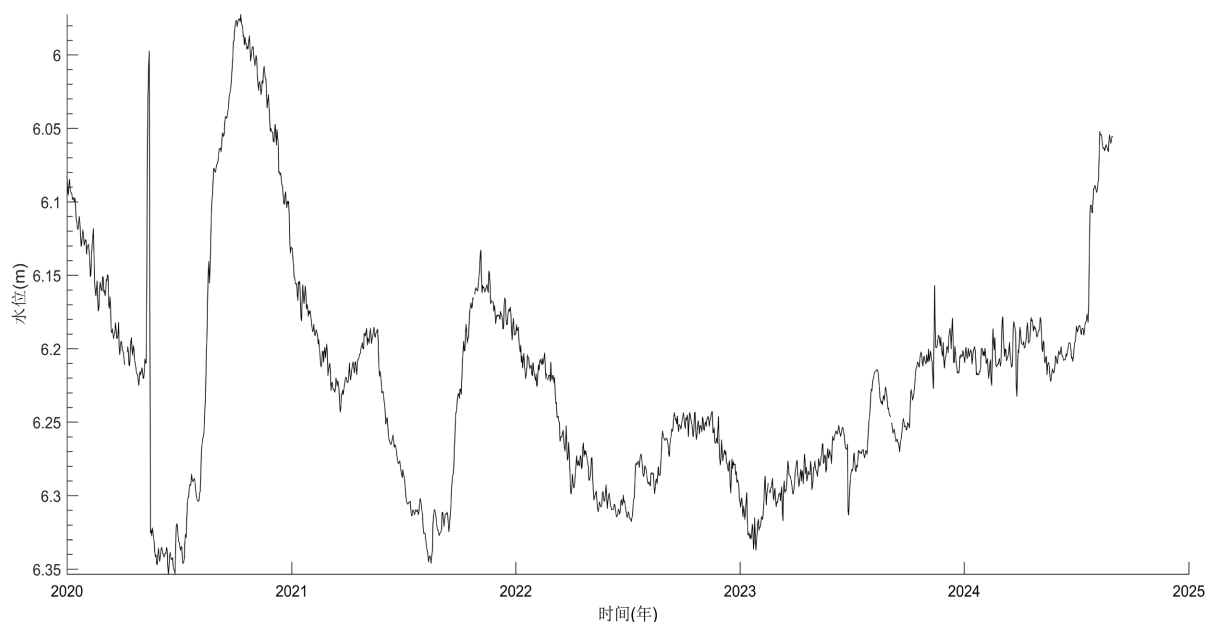


Figure 1. Time-series chart of water level in Dongshanpo Well

图 1. 东坡井水位时序图

2. 区域背景资料

固原东山坡井位于宁夏固原泾源县境内,地理位置为东经 106.28°, 北纬 35.60°, 海拔高度为 2028 m。境内六盘山山地包括两列南北走向的山脉。西列为六盘山主山脉,即狭义的六盘山,又谓大关山,海拔一般在 2500 m 以上,主峰 2928m,位于和尚铺西北。东列称小关山,海拔 2000~2400 m。大、小关山之间,是一条宽 5 km 的断陷盆地,观测井就位于该区内地势低洼处。整体上该区域西高东低,南高北低,向北东倾斜。该区域多年平均降雨量为 634 mm。降雨季节分配不均,降雨多集中在 7~9 月,7、8、9 月平均降雨量在 100 mm 以上;12 月降雨最少,属半阴湿地区。另外,该区域也是泾河的上游,为泾河源头的发源地。观测井西 100 m 处,有两条小溪流过,该处小溪海拔高度为 2020 m,小溪从西南向东北流,宽约 1.2 m。小溪水从此地流入甘肃平凉汇入到泾河。小溪水的源头在距该村西边 5 km 六盘山里的大海子,高程 2247 m,为基岩裂隙水。

井点位于六盘山新生代断陷谷地内,在两活动断层带附近,即井西约 1.2 km 处的六盘山东麓逆断层带和井东约 10 km 处的小关山逆断层带。其中又以六盘山东麓逆断层的规模最大。其中以六盘山东麓逆断层的规模最大。六盘山东麓逆断层带北起硝口以南(固原硝口是海原断裂带东端的终止地),沿六盘山东麓延伸,总体走向北北西,倾向南西西,向南止于陕西宝鸡,长度近 200 km。小关山断层沿小关山背斜的东翼展布,总体走向 10°,长约 60 km。断层面向西倾,倾角 78°~88°。构造条件和地震活动特点方面,该井点位于六盘山地震区的次一级固海地震小区内,该区包括宁夏西海固地区的大部分及毗邻地区。自 1920 年海原 8.5 级大地震后,该区中强地震依然十分活跃。

3. 异常调查分析

3.1. 干扰因素分析

通过观测系统工作状态检查,该井使用的 SWY-II 型数字水位仪的传感器、数采、通讯及电源等当前的工作状态良好。

从区域气象因素、近年来区域地下水的使用和开采等情况、台站周边存在的施工项目等方面进行实地走访调查,调查结果表明:1) 该井水位受区域季节性降雨影响显著,六盘山山前裂隙水及汇聚而成的溪水在 7 月上旬暴雨后水量明显增加。2) 在枯水期井水位的气压效应和固体潮效应比较明显,而在雨季水位与气压的相关性变差。3) 该井东偏南方向 150 m 处曾有高速公路隧道口施工,但不会对水位造成影响。4) 台站东南方向 8 km 处的秦家沟水库蓄水对东山坡井水位影响不大。5) 原州区“互联网 + 城乡供水”项目对东山坡井水位影响不大。6) 泾源县六盘山地区自 2022 年 10 月以来修建的蓄水厂收集了水源地排泄的泉水,对当地地下水的补给有一定影响,该工程修建完工使用的时间虽与东山坡井水位异常时间有一定吻合,但考虑到引水量不大,对 2024 年 7 月 22 日东山坡井水位出现的上升影响不大,可排除该项目的影

3.2. 水温梯度实验

按照每 3 m 间隔对东山坡井进行了的水温梯度测试,结果显示(图 2、图 3):1) 整体上随着井深的增加水温也增高,表现出明显的正梯度,且线性度也非常好。2) 井下 25 m、60 m、90 m、125 m、170 m 左右,井水温度随深度变化虽以正梯度为主,但井水温度梯度变化幅度相对较大。水温随深度的变化和水温梯度随深度的变化具有一定的同步性,虽然前者表现没有后者明显。3) 结合现场温度梯度测试结果及前述井孔剖面图看,井下 25 m 和 60 m 左右,由于套管止水效果(粘土球止水)和封闭性变差,井孔可能与外界有一定的水力联系;井下 90 m、125 m 和 170 m 左右,分别位于三个含水层中,该段护壁的套管可能由于长年受井水腐蚀,封闭性也有所变差,该深度段内可能与外界也有一定的水力联系所致。4) 由于

水温仪线缆长度不够(小于井深), 井下 182 m 以下没有水温梯度测量结果。

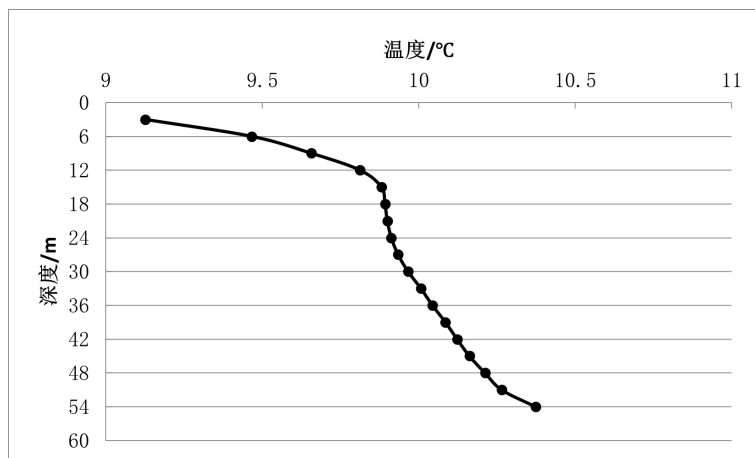


Figure 2. Curve of water temperature changing with depth in Dongshanpo Well
图 2. 东山坡井水温随深度变化曲线

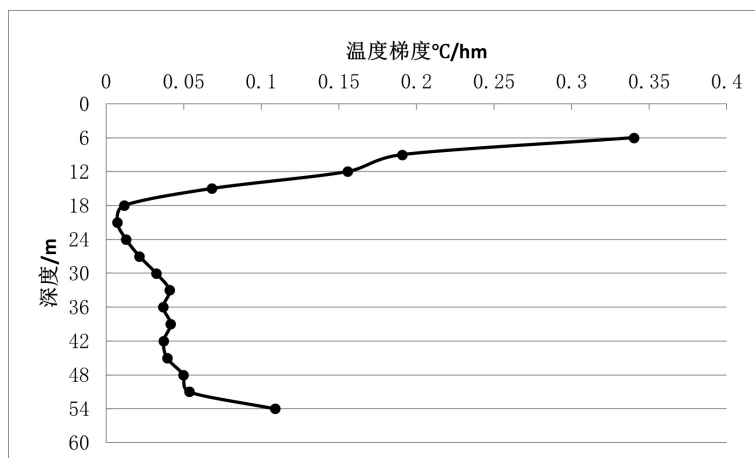


Figure 3. Curve of water temperature gradient changing with depth in Dongshanpo Well
图 3. 东山坡井水温梯度随深度变化曲线

3.3. 滞后时间与阶跃响应函数分析

从东山坡井 2017~2024 年时段的水位对气压的滞后时间(12 h)和水位对气压的阶跃响应函数的关系可以看出(图 4): 二者间存在明显的以 e 为底的指数函数形式, 即 $A(i) = ae^{bi} + c$ 。1) 在第一象限内, 其滞后时间 i (定义域)的范围为 0~12 h, 值域阶跃响应函数 $A(i)$ 的范围为 0~1。2) 随着水位对气压的滞后时间的增大, 该井水位对气压的阶跃响应函数则呈增加趋势。这表明底数 e 前的系数 $a < 0$ 时, 水位对气压的阶跃响应函数, 随着水位对气压的滞后时间的增大而增大, 该井井 - 含水层系统地下水类型为承压水[5]。

3.4. 井水位频谱分析

选取 2020 年以来东山坡井水位整点值数据, 得到水位的频谱结果(图 5), 通过频谱分析发现, 引起东山坡井水位变化的主要潮汐分波主要有 M_2 波、 S_2 波、 K_1 波、 O_1 波。其中, S_2 波和 K_1 波由气压引起。 M_2 波和 O_1 波由日月引潮力引起, 更真实更稳定。另外, 从地下水类型和潮汐波预期响应的关系及东山

坡井原始水位的频谱结果判定来看(表 1), 该井含水层系统地下水类型为承压水。

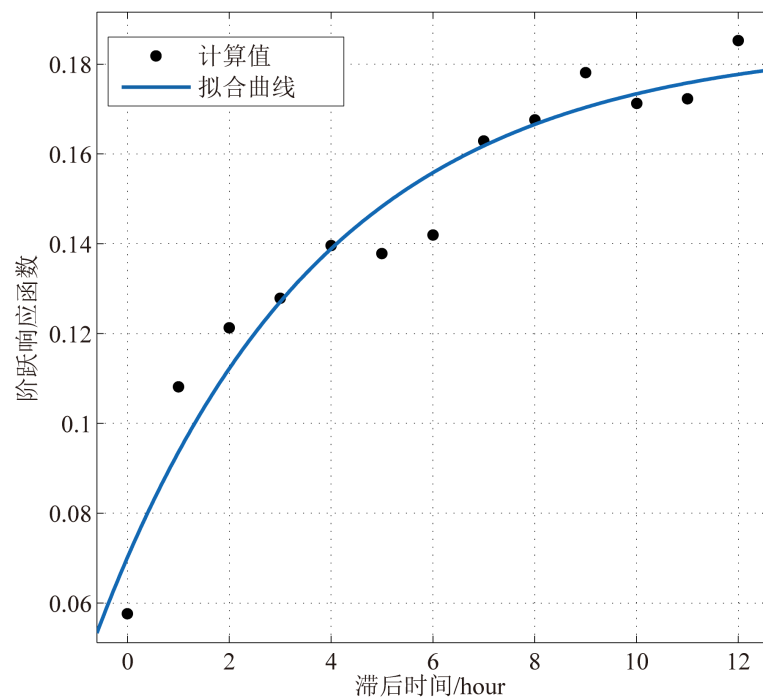


Figure 4. Relationship between the step response function of water level to air pressure and the lag time in Dongshanpo Well

图 4. 东山坡水位对气压的阶跃响应函数与滞后时间的关系

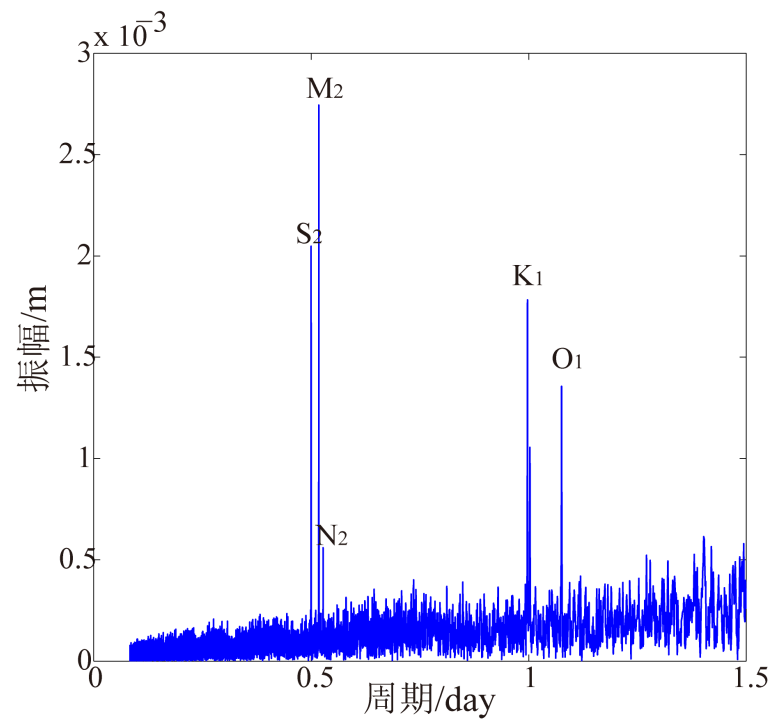


Figure 5. Amplitude spectrum of main tidal components of water level in Dongshanpo Well

图 5. 东山坡水位的主要潮汐分波振幅谱

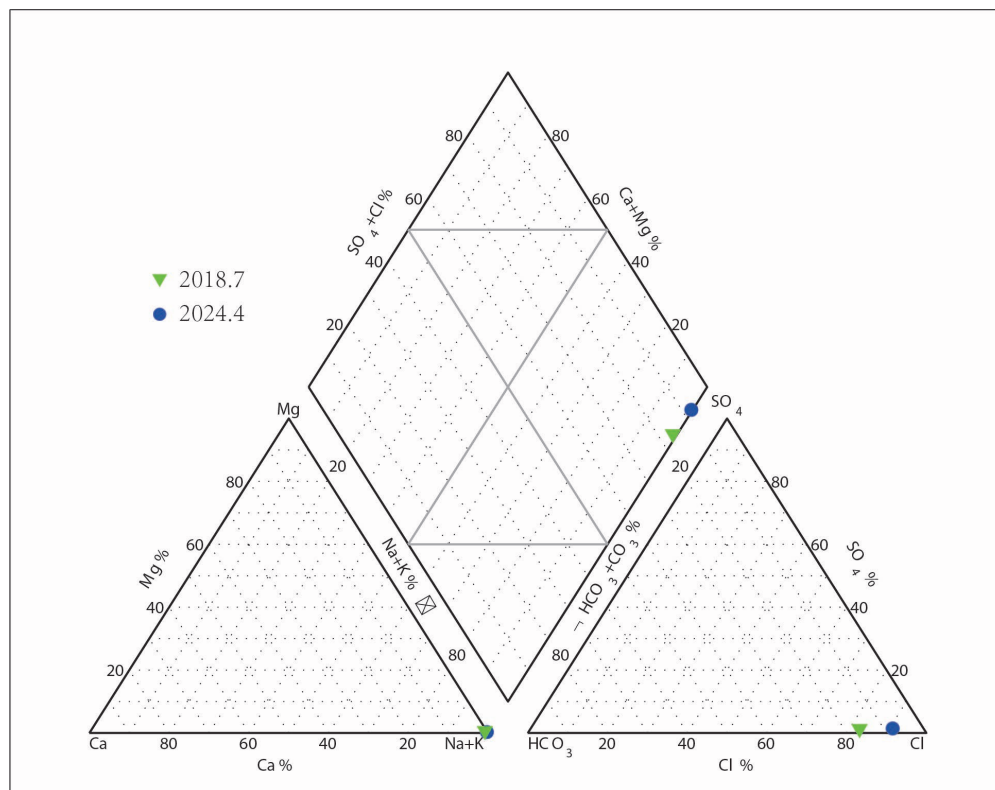
Table 1. The relationship between groundwater types and the expected response of tidal waves, and the determination results of the Dongshanpo Well.**表 1.** 地下水类型和潮汐波预期响应的关系及东山坡井判定结果

序号	潮汐波分量	地下水类型和潮汐波预期响应			东山坡井结果
		承压水	半承压水	非承压水	
1	O ₁	有	可能有	没有	有
2	K ₁	有	有	可能有	有, 较显著
3	M ₂	有, 且显著	有	没有	有, 较显著
4	S ₂	有	有, 且显著	可能有	有, 较显著
5	N ₂	有	可能有	没有	有

3.5. 水化学组分分析

对东山坡井近几年水化学离子样品测试结果进行分析, 根据舒卡列夫分类, 东山坡井 2018 年 7 月与 2024 年 4 月 2 期水样都属于 $\text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-} - \text{Na} + \text{K}$ 型水, 且井水的阴阳离子差异不大, 说明今年与往年水化学类型变化不大(图 6)。

Na-K-Mg 三角图用于将地下水分为完全平衡, 部分平衡和未成熟水三种类型, 可以较好地用于解释水的起源。将样品数据点投到 Na-K-Mg 三角图中, 结果表明, 东山坡井 2 期数据均处于“部门平衡水”范围内(图 7), 表明该井地下水除了大气降水的补给外, 还有较深层地下水的混入, 水-岩之间尚未达到离子平衡状态, 水岩作用仍在进行。

**Figure 6.** Three-line diagram of hydrochemical ions in each period of Dongshanpo Well**图 6.** 东山坡井各期水化离子三线图

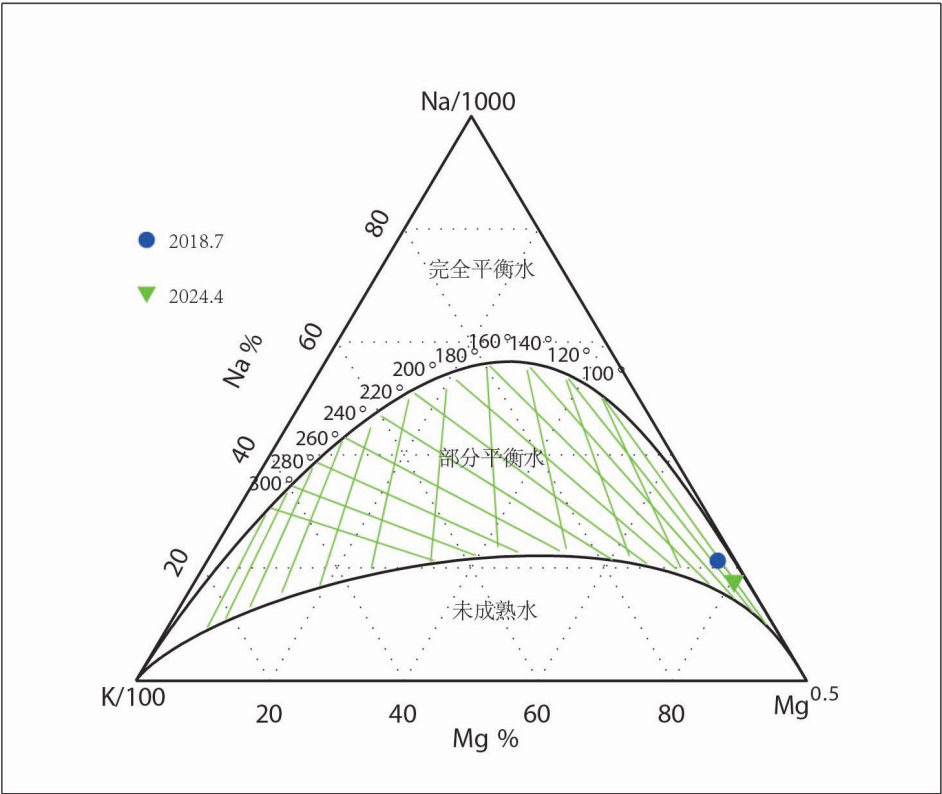


Figure 7. Trilinear diagram of hydrochemical ions in each period of Dongshanpo Well
图 7. 东山坡井各期水化离子三角图

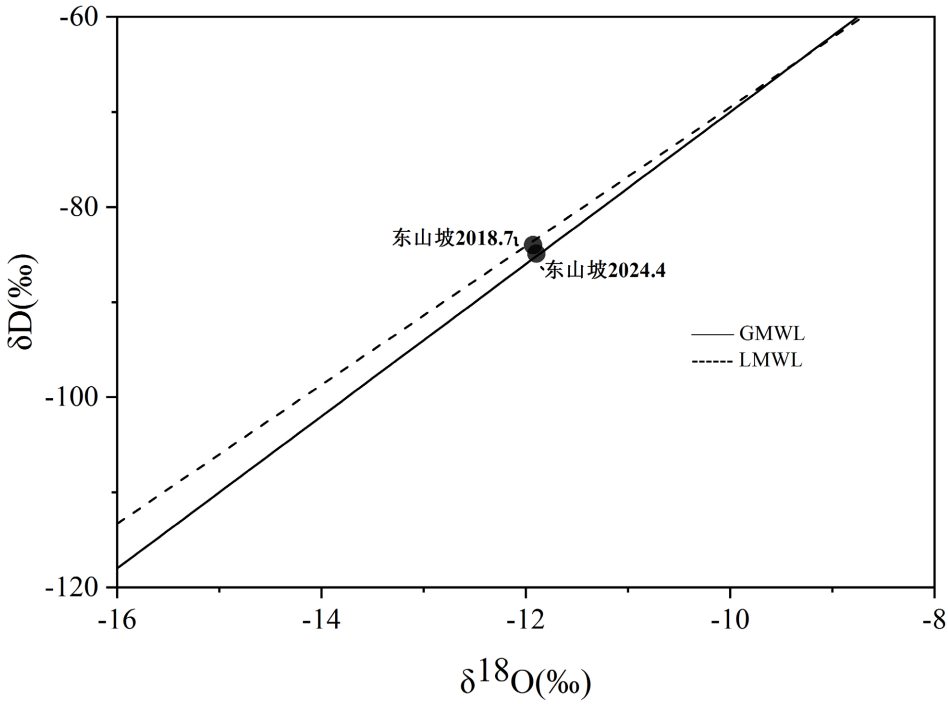


Figure 8. Test results of hydrogen and oxygen isotopes in Dongshanpo Well water in August 2018 and April 2024
图 8. 2018 年 8 月与 2024 年 4 月东山坡井水氢氧同位素测试结果

氢氧稳定同位素的变化特征能表明地下深部热流活动状态。从同位素测试结果来看(图 8), 井水同位素靠近全国大气降水线且偏正下方, 表明该井除受区域降雨影响外, 还受碳氢化合物交换的影响。大气降雨成因, 即主要接受大气降雨补给。东山坡井水氢氧同位素测值偏大气降水线右侧, 呈 $\delta^{18}\text{O}$ 正向漂移, 表明地下水与围岩介质发生了水-岩反应。

3.6. 水位潮汐参数计算分析

潮汐因子变化反应的是介质物性的变化, 通过对潮汐因子的研究发现, 一旦介质物性发生变化, 潮汐因子就会发生明显变化。即井水位固体潮潮汐变化可以在一定程度上能够反映周围区域构造应力应变和含水层的介质参数变化。在潮汐波族群中, M_2 波相对来说占了整个波群中相当大一部分, 而且其变化比较稳定, 所受其他因素的干扰较小, 所以分析潮汐因子变化时我们主要分析半日波群和 M_2 波的潮汐因子变化[5]。

依据前述频谱分析可知, 该井水位的半日波中 M_2 波与 S_2 波的振幅最大, 为此我们利用维尼迪柯夫调和和分析程序获得了东山坡井水位 M_2 波和 S_2 波的潮汐因子和相位滞后等参数。结果表明: 自 2021 年以来, 除 2023 年底受人为干扰导致 M_2 潮汐因子有所下降外, 其余时段没有出现明显的异常变化, 表明今年含水层介质参数变化比较稳定(图 9, 图 10)。

3.7. 基于图解法的部分含水层参数计算与分析

利用前述维尼迪柯夫潮汐调和和分析法得到的潮汐参数(相位滞后、潮汐因子和观测幅度), 通过解析计算和图解法同时求取出导水系数 T 与储水系数 S [6]。具体公式如下:

在已知振幅 A 和相位 η 的情况下, 可以利用以下公式求出 E 和 F 。

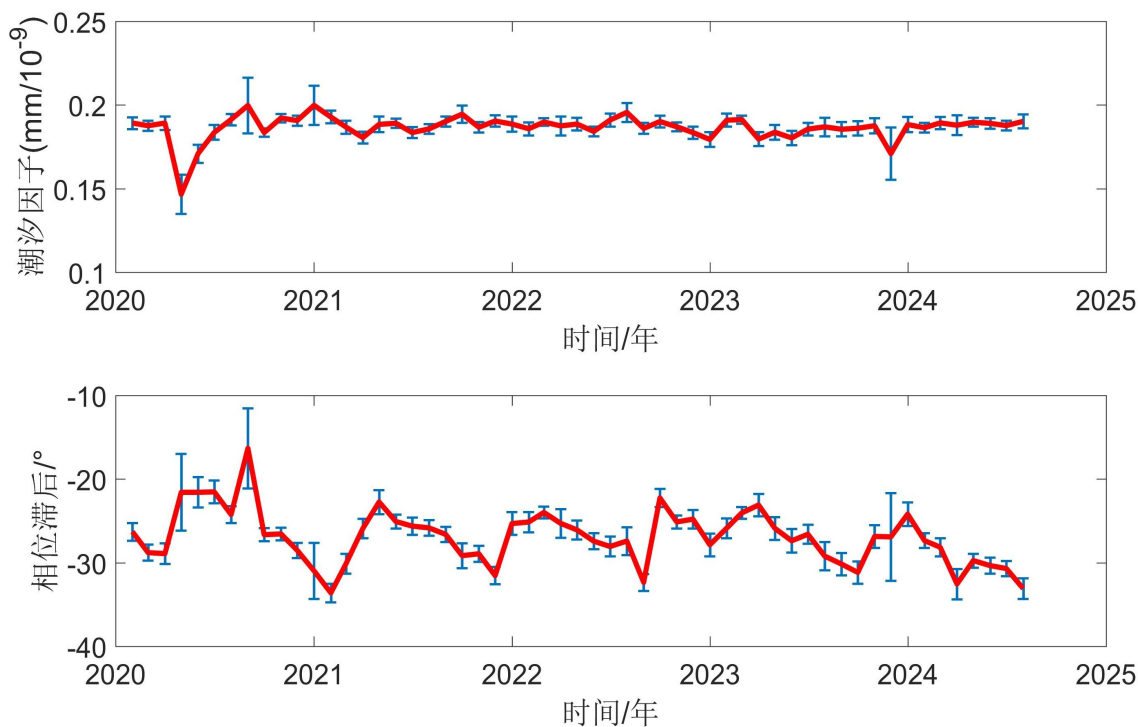


Figure 9. Time-series curves of the M_2 wave tidal factor (upper) and phase lag (lower) of the original water level in Dongshanpo Well since 2020

图 9. 2020 年以来, 东山坡井原始水位的 M_2 波潮汐因子(上)和相位滞后(下)时序曲线

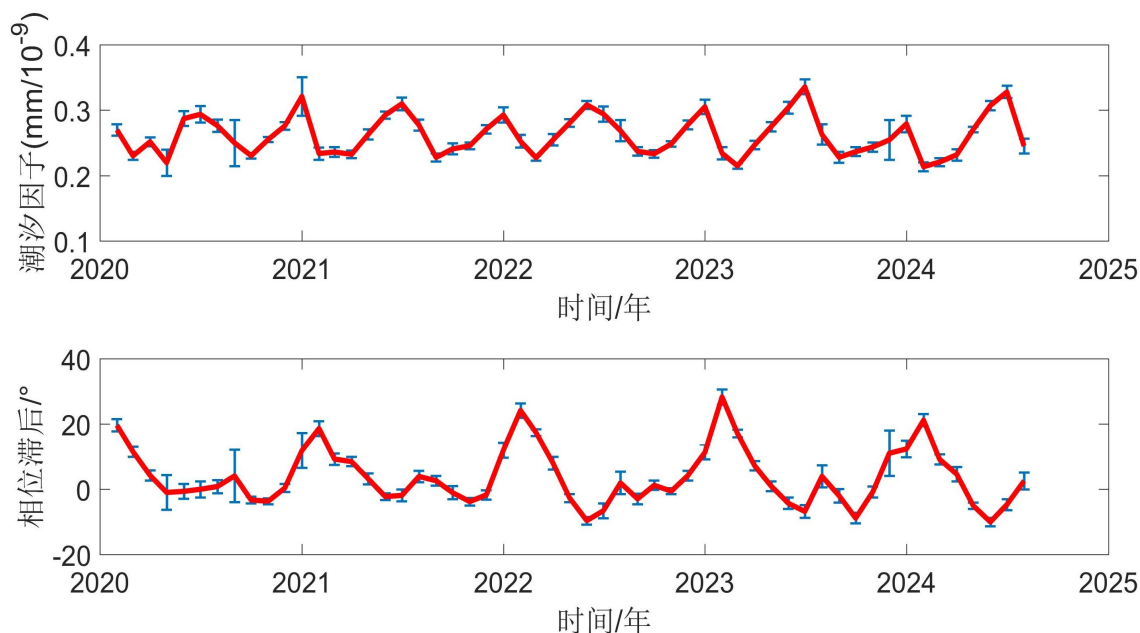


Figure 10. Time-series curves of the S₂ wave tidal factor (upper) and phase lag (lower) of the water level in Dongshanpo Well since 2020

图 10. 2020 年以来, 东山坡井水位的 S₂ 波潮汐因子(上)和相位滞后(下)时序曲线

$$E = \sqrt{\frac{1}{A^2 [1 + \tan^2(-\eta)]}} \quad (1)$$

$$F = \tan(-\eta) \sqrt{\frac{1}{A^2 [1 + \tan^2(-\eta)]}} \quad (2)$$

然后依据 a_w 和 $W(a_w)$ 的曲线关系, 使用以下函数反求 a_w 的数值。

$$W(a_w) = -\frac{\psi \text{Ker}(a_w) + \phi \text{Kei}(a_w)}{\phi \text{Ker}(a_w) - \psi \text{Kei}(a_w)} = \frac{E-1}{F} \quad (3)$$

接着, 再利用 a_w 和 $J(a_w)$ 的关系曲线及以下函数获得导水系数 T 。

$$J(a_w) = -[\psi \text{Ker}(a_w) + \phi \text{Kei}(a_w)] = \frac{2T(E-1)}{\omega r_c^2} \quad (4)$$

$$T = \frac{\omega r_c^2}{2(E-1)} J(a_w) \quad (5)$$

进一步根据 a_w 的定义, 得到储水系数 S 。

$$S = \left[\frac{a_w}{r_w} \right]^2 \frac{T}{\omega} \quad (6)$$

图解法计算的东山坡井 2020 年以来的导水系数 T 与储水系数 S 结果表明(图 11、图 12): 两者在 2023 年底分别出现了低值下降与高值凸跳变化, 分析认为该变化与人为更换仪器有关。其余时段自 2021 年以来总体变化较为稳定, 未见明显异常显示, 由此表明近期地下含水层应力变化稳定, 该结果与上述水位潮汐参数计算相一致, 由此表明, 此次出现的水位异常与含水层应力变化无关。

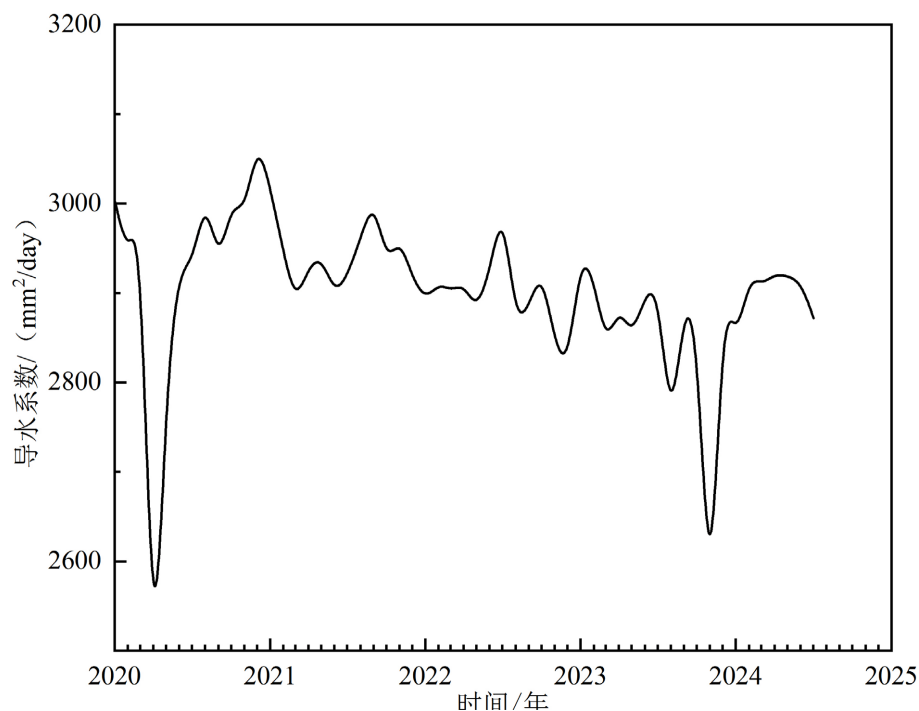


Figure 11. Time-series curve of the transmissivity of Dongshanpo Well since 2020

图 11. 2020 年以来, 东山坡井导水系数时序曲线图

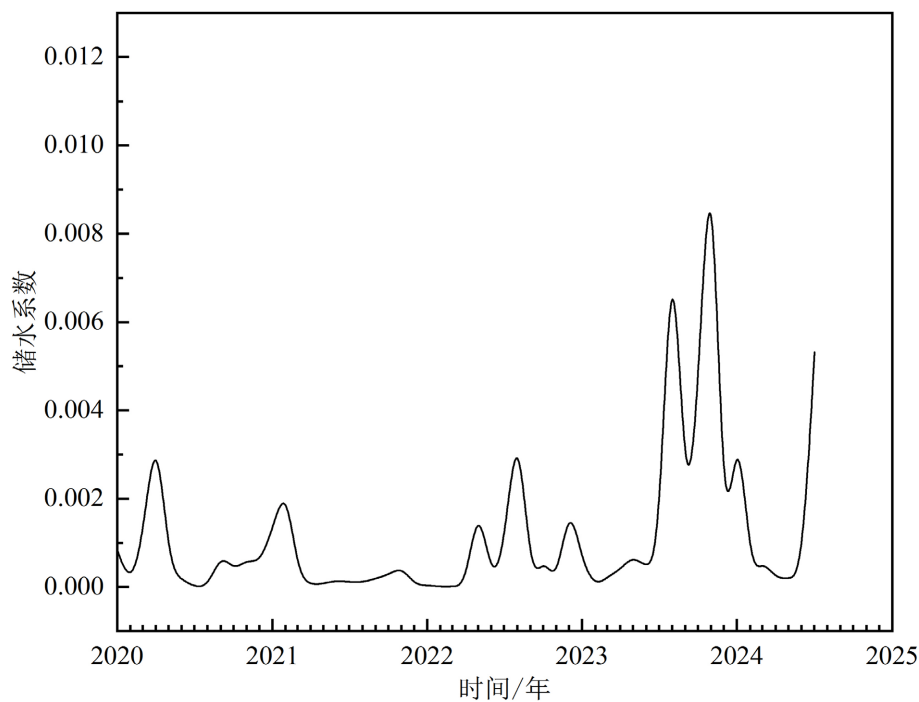


Figure 12. Time-series curve of the storage coefficient of Dongshanpo Well since 2020

图 12. 2020 年以来, 东山坡井储水系数时序曲线

3.8. 卫星储水量分析

本报告获取了东山坡测点所在区域 2018 年 6 月至 2024 年 4GRACE RL06 CSR mascon 陆地等效水高

网格月产品数据, 时间分辨率为 1 个月, 数据形式是陆地水储量异常(Terrestrial Water Storage Anomaly, TWSA)。结果显示, 2018 年至 2022 年 6 月区域水储量主要分布在 0 值以上, 2022 年 6 月以来至今, 水储量呈亏损状态, 2023 年 10 月以来亏损状态有所缓解。东山坡井水位自 2022 年 7 月以来出现了雨季未上升的破年变异常, 通过卫星数据计算结果显示该区域地下储水量也于 2022 年 7 月出现亏损, 由此表明东山坡井 2022 年 7 月以来出现的水位破年变现象与区域地下水量整体下降有关, 该现象与降雨量下降密切相关(图 13)。

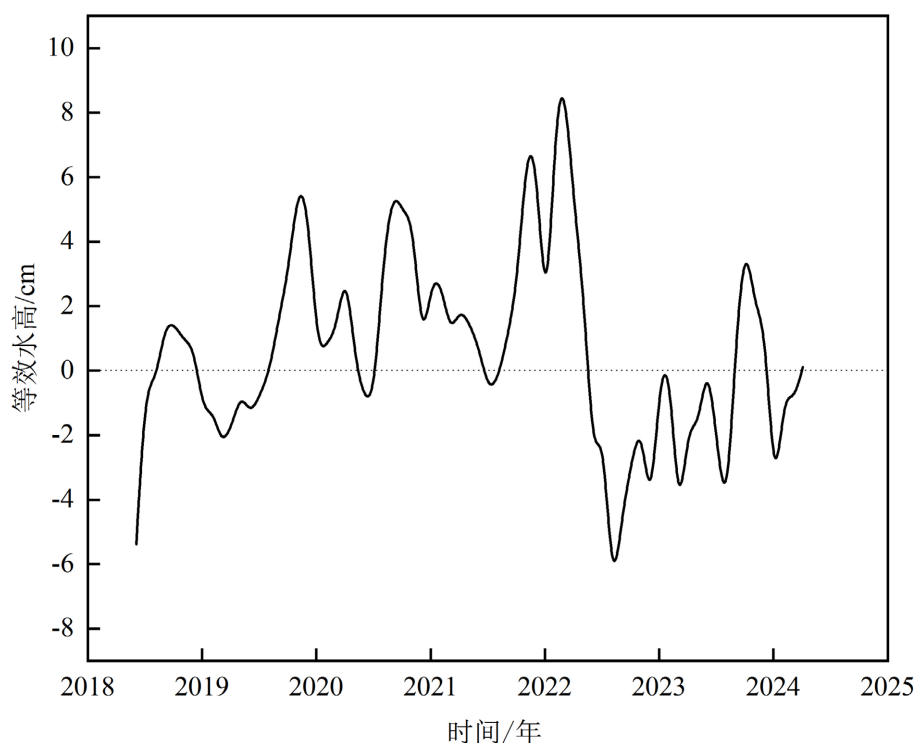


Figure 13. Variation diagram of satellite-measured water storage in Dongshanpo Well since June 2018

图 13. 2018 年 6 月以来, 东山坡井卫星储水量变化图

3.9. 降雨荷载影响分析

多年观测经验表明强降雨会对东山坡井水位观测资料有一定的影响, 从而导致水位形态异常。梳理近年资料发现, 在 2019 年至 2022 年随着雨季降雨量增大, 东山坡井水位也会随之发生不同程度的明显上升变化(图 14)。从 2020 年以来东山坡井水位与降雨量对比资料来看, 2024 年 7 月份泾源县降雨较为明显, 短期来看, 今年以来固原东山坡井水位与降水量的对比图显示, 单日降雨量明显偏大, 与水位上升变化有较好的对应关系。因此初步推测, 此次东山坡井 7 月 22 日水位快速上升变化与 7 月 20 日集中大量降雨有关。

为了消除降雨对水位的影响, 本文采用卷积滤波法消除降雨的影响。卷积滤波可以用来处理一个系统对外来干扰的响应, 尤其是时间滞后“记忆”影响的响应, 它能较好地把干扰对系统的“记忆”影响消除。图 15 为采用卷积滤波法扣除降雨的水位月均值与原始水位月均值对比图(黑色为原始水位, 蓝色为矫正后的水位)。从图中可以看出, 2024 年 7 月, 东山坡井水位月均值出现快速上升, 而扣除降雨后的拟合值明显转平, 由此表明, 2024 年 7 月 22 日东山坡井水位快速上升一定程度受到降雨的影响。

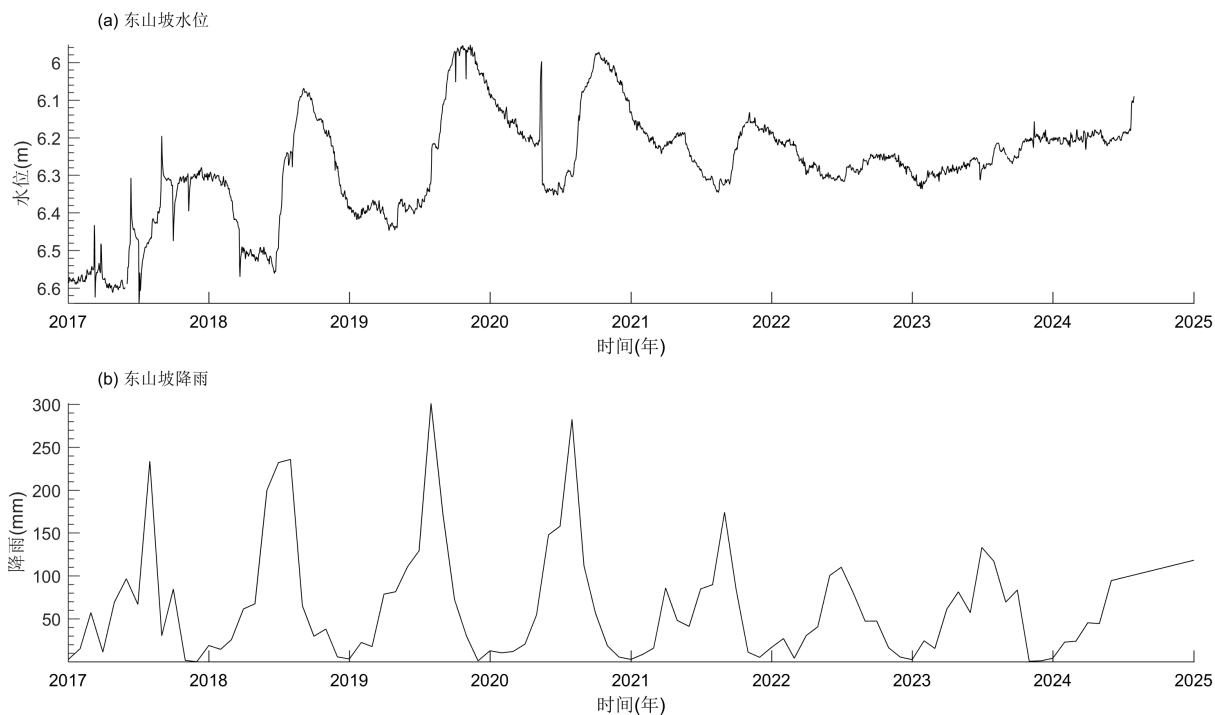


Figure 14. Comparison chart between the daily average water level of Dongshanpo Well and monthly rainfall from 2017 to the present

图 14. 2017 年至今东山坡井水位日均值与月降雨量对比图

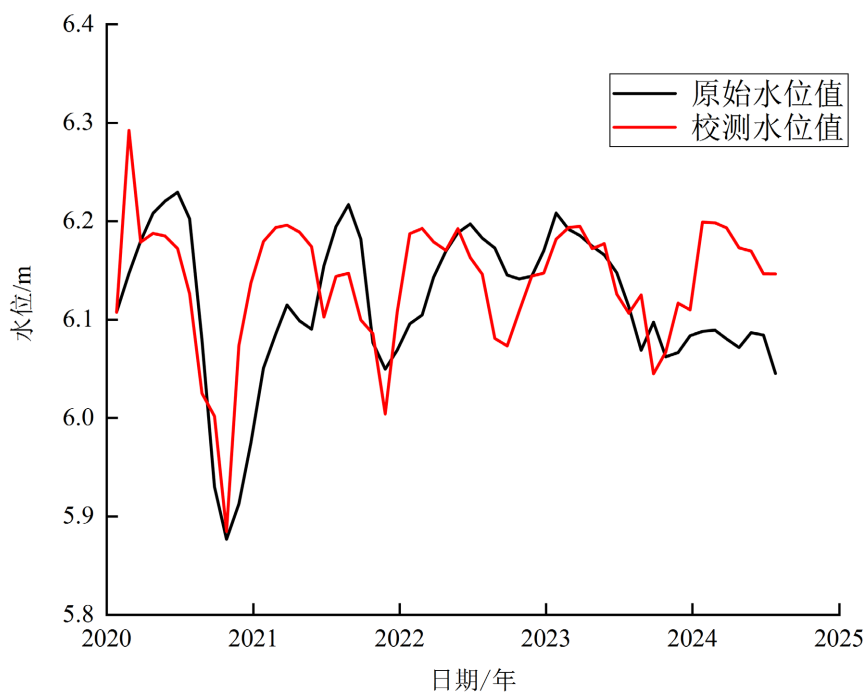


Figure 15. Monthly variation diagram of water level in Dongshanpo Well with rainfall effects eliminated by convolution filtering method

图 15. 采用卷积滤波法消除降雨效应的东山坡井水位月变化图

大气降雨对井水位观测的影响比较复杂, 主要通过降水渗入补给和地表荷载两种作用影响井水位的

变化。降雨入渗补给是指降雨后水分子在重力作用下沿孔隙向下入渗, 补给地下水, 从而使地下水位上升。

对承压含水层而言, 大气降雨的荷载作用主要是指, 大气降雨过程中地表形成“雨被”, 对地面施加了重量荷载, 增加部分的重量荷载以附加应力的形式作用于承压含水层, 使得含水层压缩, 孔隙压力增大, 井水位上升。降雨对井水位的影响比较灵敏, 降雨量对含水层压力的影响总是要滞后一段时间, 雨荷作用对井水位影响的时间远远要比降雨入渗补给的时间短得多[7]。

本文通过滞后时间与阶跃响应函数分析、井水位频谱分析等方法, 综合确定东山坡井含水层系统地下水类型为承压水。另外, 根据东山坡井孔柱状图来看, 该井含水层深度较深, 为古近系砂岩, 岩性主要是泥质砂岩和砂质泥岩互层、半胶结细砂岩, 含水层上部是较致密的砂质泥岩构成了隔水顶板, 承压性较好。加之根据以往观测经验, 强降雨后东山坡井水位在短时内(2~3 h)出现快速上升。因此分析认为, 东山坡井水位主要受到降雨荷载影响。

为了进一步分析降雨荷载对东山坡井水位的影响程度, 本报告下载与收集了东山坡井 2017 年 1 月以来水位月均值与月降雨量资料, 统计了其中每一次集中降雨时段的降雨量、水位变幅, 并根据降雨及影响特征, 计算了月降雨量大于 30 mm 降雨影响系数, 其中降雨影响系数为水位变幅与降雨量之比, 即单位降雨量位的变化幅度。将降水系数大于 0.5 时段对应的月降雨与水位变幅列于表 2 中。

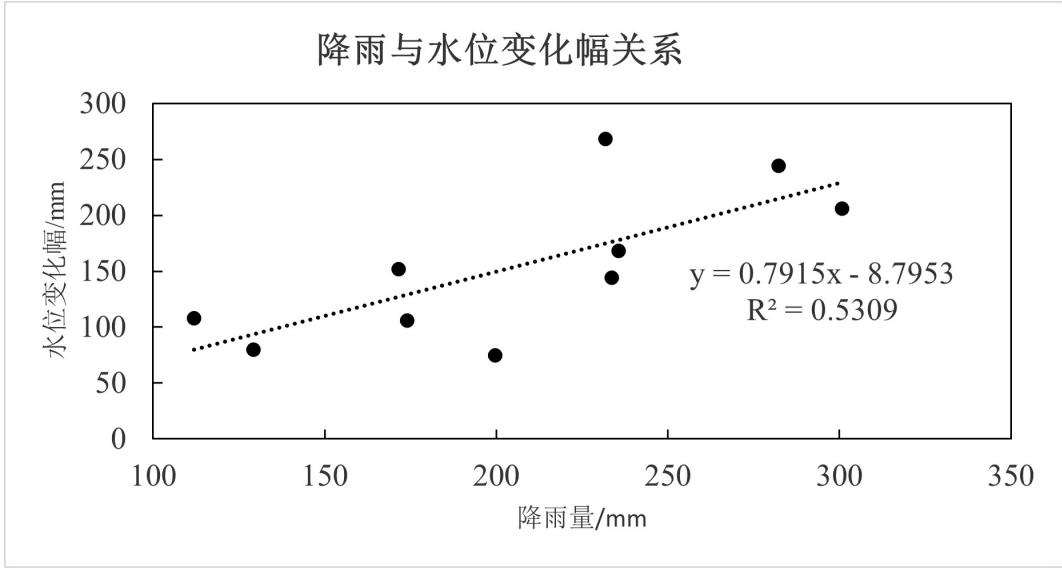


Figure 16. Fitting relationship diagram between water level and rainfall in Dongshanpo Well

图 16. 东山坡井水位与降雨拟合关系图

通过分析发现(图 16), 降雨量加载对东山坡井水位的影响呈明显的线性关系, 降雨时段内降雨量越大, 水位变幅越大, 且降雨系数大于 0.5 时, 东山坡井的水位上升较为明显。从表 2 可以发现, 2021 年 10 月至 2024 年 6 月期间, 东山坡井的降雨系数普遍小于 0.5, 降雨荷载对井水位的影响有限, 从而导致水位上升不明显, 而当降雨系数普遍大于 0.5 时, 水位上升明显, 资料出现大幅上升变化, 即东山坡井降雨影响系数大于 0.5 时, 水位上升较为显著。从这一方面也能解释该井水位 2022 年、2023 年雨季并未出现上升。

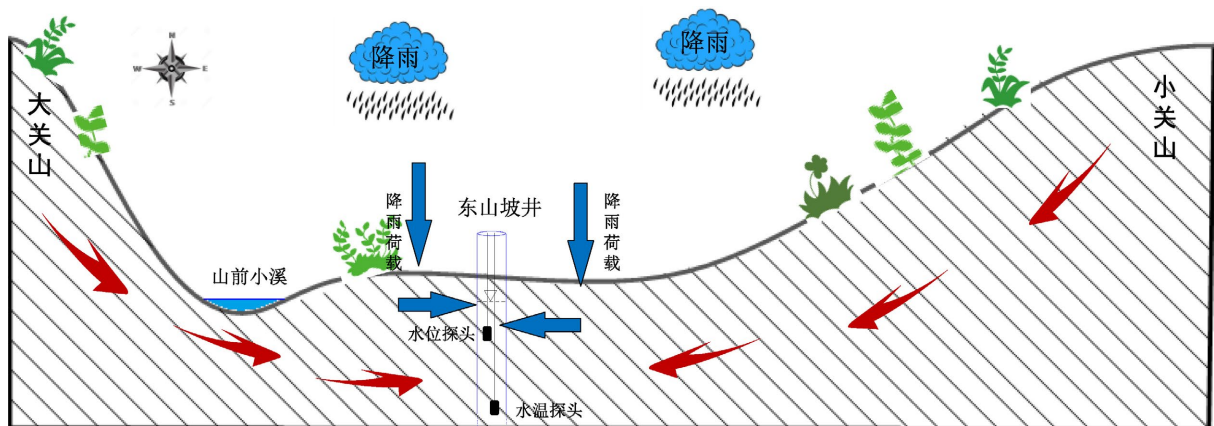
3.10. 地下水运移及井水位上升示意图

结合井孔剖面资料、水文地质资料、气象资料、温度梯度测量结果和环境干扰情况调查结果等分析

Table 2. Monthly rainfall and water level variation amplitude corresponding to the period when the rainfall influence coefficient of Dongshanpo Well is greater than 0.5**表 2.** 东山坡井降雨影响系数大于 0.5 时段对应的月降雨与水位变幅

年月	降雨(mm)	水位变幅(mm)	降雨影响系数
201708	233.6	144	0.62
201806	199.7	75	0.38
201807	231.9	268	1.16
201808	235.6	168	0.71
201907	129.3	80	0.62
201908	300.8	206	0.68
201909	171.6	152	0.89
202008	282.3	244	0.86
202009	111.9	108	0.97
202109	174	106	0.61
202407	218.9	114	0.52

认为: 1) 东山坡井井下 25 m、60 m、90 m、125 m、170 m 左右, 井水温度随深度变化虽以正梯度为主, 但井水温度梯度变化幅度相对较大(这些部位井孔的封闭性变差, 可能与外界有较强的水力联系)。2) 由于观测井位于大、小关山之间的断陷谷地内, 较低的地形条件, 成为地下径流汇集的有利地带, 利于地下水向井水汇集。井水补给主要为东、西、南基岩山区的侧向径流补给和大气降水补给。该观测井东北的地势更低, 地下水通过井区向东北方向流。3) 东山坡井水位主要受降雨荷载影响, 雨季时, 降雨在地表形成降雨荷载, 这一荷载对含水层产生了垂直向应力变化, 致使含水层发生压缩, 孔隙水压增高从而使得水位上升(图 17)。

**Figure 17.** Schematic diagram of groundwater migration and well water level rise around Dongshanpo Well**图 17.** 东山坡井周围地下水运移及井水位上升示意图

3.11. 区域应力背景分析

利用 GNSS 测站时间序列数据, 计算了东山坡井附近 GNSS 基线变化, 分析了单站和周边 GNSS 基线时间序列异常基线分布(图 18, 图 19)。结果显示固原 - 彭阳站自 2021 年 6 月起 N 向转折上升, 呈 N

向运动, E 向转折下降, 呈 W 向运动, 即呈 NW 向运动, 其余基线均无异常, 表明六盘山断裂带附近短期内应力应变状态未发生改变。

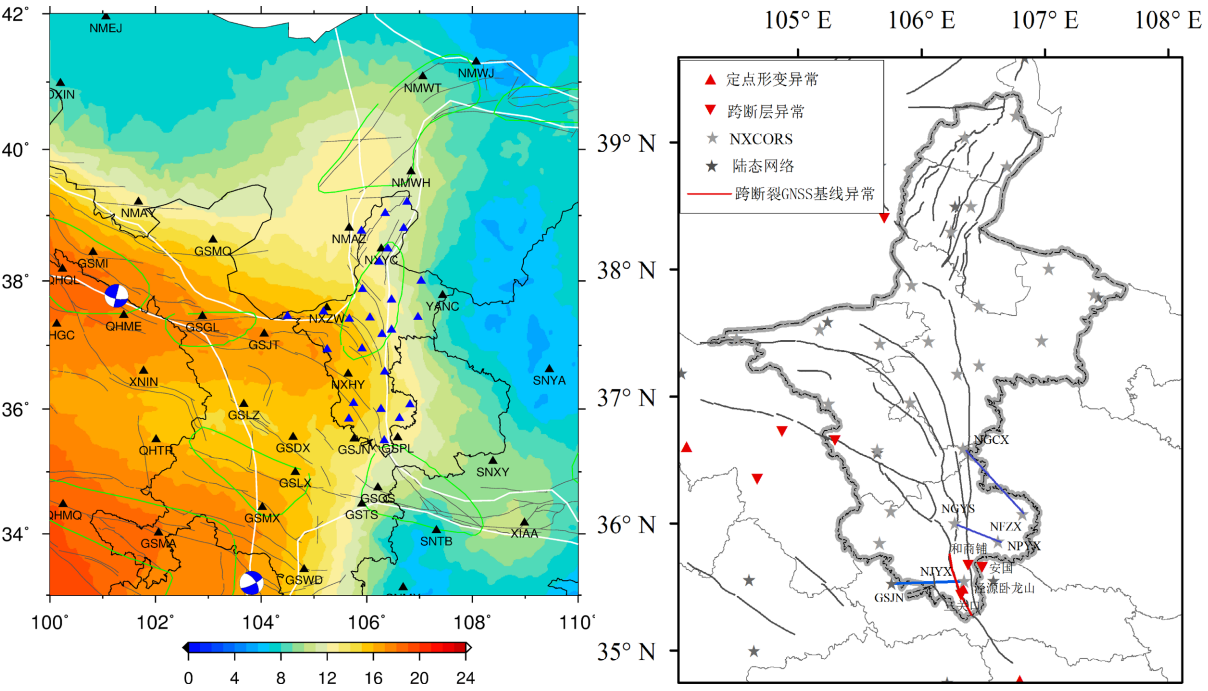


Figure 18. Distribution map of GNSS continuous observation stations in Ningxia and its surrounding areas
图 18. 宁夏及周边 GNSS 连续观测站分布图

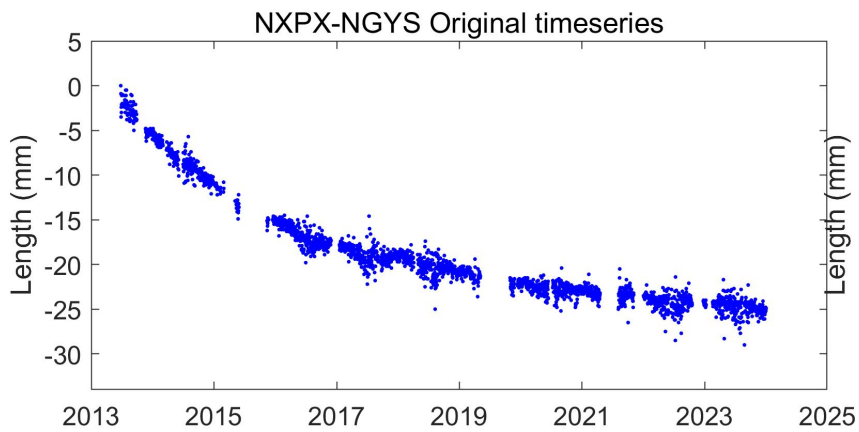


Figure 19. Time-series diagram of the cross-fault GNSS baseline (Guyuan-Pengyang)
图 19. 跨断层 GNSS 基线时序图(固原 - 彭阳)

4. 结论

通过井点历史资料、现场对观测系统工作状态检查、环境干扰情况调查、地下水类型定量诊断分析、同位素与水化学组分分析、同井水温资料对比分析、地下水运移及影响因素分析、含水层参数计算、降雨荷载影响因素分析、区域应力背景分析和区域其他前兆异常对比分析等, 固原东坡井水位 2024 年 7 月 22 日出现的快速上升变化与当年 7 月中旬出现的集中、雨量充沛的降雨活动有关, 综合确认为干扰异常。后续需密切跟踪和做更深入的分析。

基金项目

宁夏自然科学基金项目(2023AAC03814)。

参考文献

- [1] 车用太, 鱼金子, 刘成龙, 等. 判别地下水异常的干扰性与前兆性的原则及其应用实例[J]. 地震学报, 2011, 33(6): 800-808.
- [2] 孙宇飞, 任佳, 张帆, 等. 2020 年河北唐山 M5.1 地震前地下流体典型异常特征分析[J/OL]. 地震, 1-17. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1893.p.20250326.1621.004.html>, 2025-06-24.
- [3] 刘序俨, 郑小菁, 王林, 等. 承压井水位观测系统对体应变的响应机制分析[J]. 地球物理学报, 2009, 52(12): 3147-3157.
- [4] 中国地震局. 地震及前兆数字观测技术规范[M]. 北京: 地震出版社, 2001.
- [5] 张昭栋, 郑金涵, 冯初刚. 井水位的固体潮效应和气压效应与含水层参数间的定量关系[J]. 西北地震学报, 1989(3): 47-52.
- [6] 丁风和, 范雪芳, 戴勇, 等. 井-含水层系统地下水类型定量分析和判别[J]. 地震学报, 2017, 39(1): 78-84.
- [7] 车用太, 鱼金子, 张大维. 降雨对深井水位动态的影响[J]. 地震, 1993(4): 8-15.