

# 甘肃省不同流域地下水动态及水化学特征分析

陈瑞娣 李学武

甘肃省地质矿产勘查开发局水文地质工程地质勘察院 甘肃 张掖 734000

**摘要:** 利用监测区已有监测井开展水位动态特征、地下水水化学、水质及氢、氧、氦同位素等特征进行分析。分析结果显示: 黄河流域监测区地下水水位以上升为主, 局部下降, 上升区分布于兰州监测区大部分区域及庆阳监测区北部; 下降区主要分布在庆阳监测区南部; 黄河流域上游基岩山区地下水化学类型以重碳酸型为主; 长江流域地下水化学类型以重碳酸型、重碳酸型-硫酸型为主; 甘肃黄河流域兰州以上区和长江流域地下水主要来源于现代雨水; 黄河流域中游区和兰州至河口区地下水主要为受蒸发分馏作用出现混合水现象。研究成果可对甘肃省不同流域地下水水资源差异化保护、开发利用等方面做出支撑。

**关键词:** 地下水动态特征; 水化学特征; 环境同位素

**引言:** 近年来, 在气候变化与人类活动双重影响下, 区域水资源供需矛盾突出, 地下水作为重要的供水水源和生态支撑要素, 其动态变化与水化学特征深刻影响着区域水资源安全与生态健康。因此, 系统厘清甘肃省黄河流域与长江流域地下水的时空演变规律及水质特征, 对于实现水资源可持续利用与区域协调发展具有重要的现实意义。

本研究旨在通过收集甘肃省黄河流域与长江流域长期地下水监测数据, 综合运用统计分析、水化学图解、环境同位素分析等方法, 系统刻画两大流域地下水动态的时空差异, 解析其水化学类型<sup>[1]</sup>。重点解决当前研究中缺乏跨流域系统性对比、人为影响机制辨析不足的问题, 以揭示自然背景与人类活动叠加作用下地下水系统的响应特征, 对保障区域水安全与生态屏障功能具有重要实践价值。

## 1 研究区概况

黄河流域主要分布在甘肃省中部和东部, 总面积约14.28万km<sup>2</sup>。长江流域则位于甘肃省南部, 面积约3.83万km<sup>2</sup>。两个流域的地理位置具有重要的战略意义, 既是连接中国东部和西部的桥梁。黄河、长江流域降水量水平地带分布由南部和东部向北部和西部递减, 实测最大点年降水量1504.0mm, 发生在1967年太子山北麓大草滩站; 黄河流域、长江流域平均蒸发量均处于减少趋

势, 其中黄河流域变幅为-3.99mm/10a、长江流域变幅为-9.17mm/10a; 本研究选取资料详实、以往水文地质工作开展较多的兰州市和庆阳2个监测区作为研究典型区域进行地下水动态特征分析, 同时, 基于收集的地下水样品检测数据对甘肃省黄河、长江流域水化学特征进行分析<sup>[2]</sup>。

## 2 数据来源与处理方法

本研究基于收集的黄河、长江流域已建成地下水监测井489眼, 其中国家级监测井279眼、占57.06%; 省级监测井210眼, 占42.94%。其中兰州市监测区98眼监测井, 庆阳监测区84眼监测井, 对各监测区2023年4月至2024年4月315眼监测井水位开展潜水水位动态区域分布特征分析; 基于2025年甘肃省水资源基础调查项目中采集的黄河、长江流域地下水水化学、水质及氢、氧、氦同位素样品792组, 其中黄河流域采集水化学样品601组, 占75.88%; 长江流域采集水化学样品191组, 占24.12%, 对甘肃省不同流域地下水水化学类型、分布、变化等特征进行分析<sup>[3]</sup>。

## 3 结果分析与讨论

### 3.1 地下水位动态区域分布特征

根据《地下水监测网运行维护规范》(DZ/T-0307-2017)附录E7, 水位变幅分区主要有五个, 分区原则见表3.1-1)。

表3.1-1 地下水位年内变幅分区原则

序号	水位变幅 ( $\Delta H$ )	水位变幅分区名称	分区类型
1	$\geq 2.0m$	强上升区	水位上升区
2	1.0m ~ 2.0m	弱上升区	
3	0.5m ~ 1.0m		
4	0m ~ 0.5m	基本稳定区	水位下降区
5	-0.5m ~ 0m		
6	-1.0m ~ -0.5m	弱下降区	
7	-2.0m ~ -1.0m		
8	$\leq -2.0m$	强下降区	

3.1.1 潜水水位动态区域分布特征

(1) 丰水期分布特征

根据兰州市监测区98眼监测井监测数据分析, 2023年4月至2024年4月水位动态变化特征, 在七里河区八里窑镇八里窑村局部小范围内水位升幅  $\geq 2.0\text{m}$ 。安宁区怀安乡驿城村、城关区红星巷一带水位处于缓慢下降状态, 降幅 $-1.32 \sim -0.50\text{m}$ , 在七里河区昌宁乡头井子村2队水位降幅最大, 降幅达 $-1.32\text{m}$ 。大多数监测区域地下水位处于基本稳定状态, 水位变幅 $-0.5 \sim 0.5\text{m}$ 。

(2) 枯水期分布特征

根据兰州市监测区98眼监测井2023年7月至2024年7月水位动态变化特征, 七里河区八里窑镇八里窑村一带小范围内水位升幅  $\geq 2.0\text{m}$ , 该区地下水监测井1眼, 地下水位升幅达 $10.39\text{m}$ 。七里河区地下水监测井水位升幅 $0.52 \sim 1.45\text{m}$ 。大多数监测区域地下水位处于基本稳定状态, 地下水监测井水位变幅 $-0.48 \sim -0.49\text{m}$ , 眼监测井中69眼处于基本稳定状态, 占 $70.41\%$ 。

3.1.2 承压水水位动态区域分布特征

(1) 丰水期分布特征

根据55眼环河组承压水监测井2023年4月至2024年4月

动态变化特征, 在华池县乔河乡至温台村、早胜镇南街村一带水位升幅最大, 升幅 $0.5 \sim 1.8\text{m}$ , 处于缓慢上升区。

(2) 枯水期分布特征

根据2023年7月至2024年7月监测动态数据分析, 在华池县五蛟乡上城壕村和宁县早胜镇南街村一带水位升幅  $\geq 2.0\text{m}$ , 最大升幅达 $3.54\text{m}$ , 分布范围较小, 处于快速上升区。华池县柔远镇城关行政村和庆城县玄马乡柏树村一带水位升幅 $0.7 \sim 1.26\text{m}$ , 分布范围较小, 处于缓慢上升区。

从地下水丰枯水期水位变幅来看, 丰水期水位变幅整体比枯水期较小, 丰水期水位升幅大于枯水期, 而丰水期水位降幅小于枯水期。丰水期水位  $\geq 0.5\text{m}$ 的上升区面积大于枯水期水位上升区面积, 水位下降区面积则相反。

3.2 地下水水化学及同位素特征

3.2.1 地下水水化学特征

(1) 水化学平面特征

根据整理统计分析, 黄河、长江流域地下水水化学类型分为6种类型, 分别为重碳酸型、重碳酸-硫酸型、硫酸-重碳酸型、硫酸型、硫酸-氯化物型及氯化物-硫酸型。(表3.2-1, 图3.2-1)。

表3.2-1 各水化学类型所占面积统计表

水化学类型	面积 (万 $\text{km}^2$ )	占比
重碳酸型	10.72	59.17%
重碳酸-硫酸型	2.66	14.70%
硫酸-重碳酸型	0.55	3.06%
硫酸型	0.21	1.14%
硫酸-氯化物型	2.90	16.04%
氯化物-硫酸型	1.07	5.89%
总计	18.11	100.00%

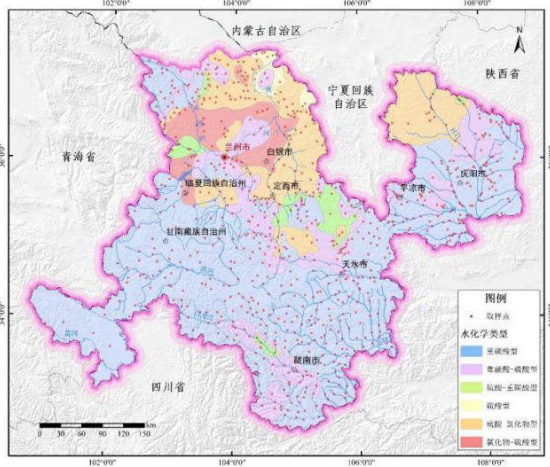


图3.2-1 黄河、长江流域地下水化学类型图

黄河流域水化学类型以重碳酸型为主, 重碳酸型水

样322组, 占黄河流域水样的 $53.58\%$ 。阳离子比较复杂, 以Ca型为主, 占 $25.78\%$ , 其次依次为Na型 ( $17.08\%$ )、Ca•Mg型 ( $13.98\%$ )、Na•Ca型 ( $12.11\%$ )、Ca•Na型 ( $11.80\%$ )、Mg•Ca型 ( $3.42\%$ )、Na•Mg型 ( $3.11\%$ )、Na•Ca•Mg型 ( $3.11\%$ )、Mg•Na型 ( $2.17\%$ )、Ca•K型 ( $1.24\%$ )、Na•K型 ( $0.93\%$ )、Mg型 ( $0.93\%$ )、Mg•Na•Ca型 ( $0.93\%$ )、Ca•Na•Mg型 ( $0.93\%$ )、Na•Mg•Ca型 ( $0.62\%$ )、K•Mg型 ( $0.62\%$ )、Mg•Ca•Na型 ( $0.62\%$ )、Ca•Mg•Na型 ( $0.62\%$ ), 溶解性总固体以小于 $1.0\text{g/L}$ 为主。

长江流域水化学类型以重碳酸型为主, 重碳酸型水样161组, 占长江流域水样的 $84.29\%$ 。阳离子比较复杂, 以Ca型为主, 占 $65.22\%$ , 其次依次为Ca•Mg型 ( $21.74\%$ )、Ca•Na型 ( $6.83\%$ )、Mg•Ca型 ( $1.86\%$ )、Na•Ca型

(1.24%)、Na·Ca·Mg型(1.24%)、Na·Mg型(0.62%)、Mg·Na型(0.62%)、Na·Mg·Ca型(0.62%)溶解性总固体以小于0.87g/L为主。

### (2) 水化学空间变化特征

受水文地质条件、水动力条件的影响,总体上,黄河干流上游补给区水化学类型为HCO<sub>3</sub>型,进入兰州段以后,由于受人类活动(开采、截引灌溉等)影响或其他地质条件(断裂带导水等)影响,水化学类型出现异常;庄浪河水化学类型从上游到下游经历了HCO<sub>3</sub>型→HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>型→SO<sub>4</sub>·HCO<sub>3</sub>型→CL·SO<sub>4</sub>型转化的过程,入黄河后水化学类型变为SO<sub>4</sub>·HCO<sub>3</sub>型;大通河水化学类型从上游到下游经历了HCO<sub>3</sub>型→HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>型→SO<sub>4</sub>·CL型→CL·SO<sub>4</sub>型转化的过程,入黄河后水化学类型变为SO<sub>4</sub>·HCO<sub>3</sub>型;祖厉河从上游到下游经历了HCO<sub>3</sub>型→HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>型→SO<sub>4</sub>·HCO<sub>3</sub>型→SO<sub>4</sub>·CL型→CL·SO<sub>4</sub>型转化的过程;洮河临洮县以上水化学类型均为HCO<sub>3</sub>型,从康乐县-东乡县-永靖县经历了SO<sub>4</sub>·CL型→HCO<sub>3</sub>型→HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>型转化的过程;渭河主干流从上游到下游经历了HCO<sub>3</sub>型→HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>型→SO<sub>4</sub>·CL型→HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>型→HCO<sub>3</sub>型转化的过程;泾河主干流从上游到下游经历了HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>型→HCO<sub>3</sub>型→HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>型→HCO<sub>3</sub>型转化的过程;马莲河主干流从上游到下游经历了SO<sub>4</sub>·CL型→HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>型→HCO<sub>3</sub>型转化的过程<sup>[4]</sup>。

### 3.2.2 地下水同位素特征

黄河、长江流域环境同位素样品792组,根据整理分析结果的统计,黄河、长江流域δD和δ<sup>18</sup>O值分别为-96.01~-20.83‰和-13.45~-3.21‰,平均值分别为-66.38‰和-9.57‰;黄河流域δD和δ<sup>18</sup>O值分别为-96.01~-20.83‰和-13.45~-3.21‰,平均值分别为-67.06‰和-9.55‰;长江流域δD和δ<sup>18</sup>O值分别为-80.98~-50.59‰和-11.96~-7.66‰,平均值分别为-64.13‰和-9.61‰。δD和δ<sup>18</sup>O在空间分布上分带明显,低值主要分布在黄河上游玛曲县及环县、平川区、永登县的局部区域,表现出比较贫乏;高值主要分布在庄浪河流域西侧、湟水河、大夏河、西汉水和洛河流域,表

现出比较富集。黄河流域兰州以上区和长江流域样品的δD和δ<sup>18</sup>O值主要落在全球和西北降水线左上方,说明主要来源于现代雨水;黄河流域中游区和兰州至河口区样品的δD和δ<sup>18</sup>O值大多数落在全球降水线和西北降水线两侧,表现为受蒸发分馏作用出现混合水现象,主要由于该区降雨相对较少,地层岩性以黄土为主,地下水径流缓慢,蒸发浓缩强烈,表现出混合水现象<sup>[5]</sup>。

### 4 结束语

(1) 根据2018年12月至2024年12月地下水监测数据分析,黄河流域各监测区地下水水位以上升为主,局部下降,上升区分布于兰州监测区大部分区域及庆阳监测区北部;下降区主要分布在庆阳监测区南部。

(2) 黄河流域上游基岩山区地下水化学类型以重碳酸型为主,溶解性总固体小于1.0g/L,北部黄土丘陵区渐变为氯-硫酸型,以溶解性总固体大于1.0g/L的咸水为主。

(3) 长江流域地下水化学类型以重碳酸型、重碳酸型-硫酸型为主,溶解性总固体小于1.0g/L的淡水为主。

(4) 甘肃黄河流域兰州以上区和长江流域地下水主要来源于现代雨水;黄河流域中游区和兰州至河口区地下水主要为受蒸发分馏作用出现混合水现象。

### 参考文献:

- [1]康利刚,辛存林,杨羽帆,等.甘肃省生态环境质量遥感评价及其驱动因子定量识别[J].环境科学,2025,46(06):3730-3746.
- [2]武磊,高祖桥,谢旭红,等.甘肃省黄河流域土壤侵蚀及其驱动机制[J].水土保持通报,2024,44(03):221-230.
- [3]姚莹莹,郑春苗.青藏高原地下水研究进展[J].水文地质工程地质,2025,52(05):24-33.
- [4]叶桂琦,季文兵,杨忠芳,等.氧同位素技术在土壤-植被-生态-环境研究中的应用进展与展望[J].中国地质,2025,52(02):527-573.
- [5]刘心彪,周斌,魏玉涛.基于环境同位素的陇东盆地地下水分析[J].干旱区研究,2009,26(6):804-810.