

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20231043

引黄灌溉入渗条件下的地下水化学演变特征

王成文¹, 方 磊¹, 杨丽虎², 李 英^{3,4}, 马 波¹, 徐兆祥¹, 李洪波¹

(1. 宁夏回族自治区水文环境地质调查院, 宁夏 银川 750011;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

3. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083; 4. 宁夏回族自治区地质局, 宁夏 银川 750021)

摘要: 研究引黄灌溉入渗引起的地下水化学变化特征, 对区域地下水水质调节和改善有着积极的指示作用。通过田间原位入渗试验, 进行水田、旱田回灌过程中回灌水—地下水监测和分析, 利用 AquaChem 水化学分析和 SPSS 数理统计揭示地下水化学演变规律。由试验可知, 地下水化学变化特征呈现“前期骤变活跃带—中期渐变过渡带—后期平缓稳定带—停灌潜在回升带”四个演变过程, 主要受回灌水的物理混合作用, 伴随着水—岩物理吸附离子交换、化学溶解和溶滤等作用, 特别是水田的回灌水量大, 回灌水决定了地下水化学演变方向; 同时, 受水—岩溶滤作用, 地下水化学组分 Na^+ 、 Cl^- 浓度有较好的线性变化, 相关系数在 0.93 以上, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 浓度有一定的线性相关性; 在停灌后, 地下水蒸发浓缩作用强烈, 水中各离子呈增加趋势, 特别是 Na^+ 、 Cl^- , 停灌后需及时排水、降水。研究表明引黄灌溉不仅丰富了地下水水源, 而且可以改善地下水水质。

关键词: 引黄灌区; 原位试验; 水化学特征; 水—岩作用; 相关性

中图分类号: P641 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)11-0043-05

1 引言

银川平原地处黄河上游, 平原区利用渠系引黄河水灌溉, 沟渠成网, 是典型的引黄灌区和人工灌溉绿洲^[1]。在引黄灌溉过程中, 回灌水自身水质特征和回灌入渗引起的水岩作用、溶滤作用及混合作用等, 均会对土壤和地下水化学特征产生重要影响, 甚至引起地下水环境变化。因此, 厘清回灌水引起的地下水环境变化过程, 研究引黄灌溉入渗条件下的地下水化学演变特征, 对区域水资源系统和水环境保护有着重要意义。在引水回灌过程中, 回灌水引起的地下水化学特征变化常常是综合的, 伴随着各种理化反应, 这就使地下水的水化学变化十分复杂^[2]。回灌过程中地层矿物成分对地下水水质变化的影响已有较多研究^[3]; 杜新强等^[4]利用水文地球化学模拟预测了回灌对地下水岩作用的过程; 林学钰等^[5]利用室内回灌试验模拟地下水的水质变化趋势; 刘立才等^[6]通过室内土柱试验模拟了南水北调水源回灌入渗引起

的地下水水质变化; 崔瑜等^[7]运用 Modflow 和 Hydrus-1D 模拟、预测回灌入渗补给过程发生的水化学变化; 刘泽等^[8]通过原位试验分析了人工回灌水量和水质对地下水的影响。但目前研究多集中在室内试验和数值模拟方面, 原位试验和原位场地物理模拟方面研究较少。鉴此, 本文通过原位试验, 对回灌引起的地下水化学变化特征进行分析, 研究了引黄灌溉引起的地下水化学变化过程, 引黄灌溉既可增加地下水水源, 又改善了地下水水质。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

研究区内田块实施“水旱轮作”种植模式, 分别选取一块水田(水稻田)和一块旱田(玉米田)开展原位田间回灌入渗试验, 试验区海拔 1 106 m。对研究区地层进行分层取样, 取原状样进行颗分筛选测试, 主要类型分层见表 1。

2.2 试验方法

在田间开展回灌试验, 水田是持续灌溉补给,

收稿日期: 2023-06-26, 修回日期: 2023-08-02

基金项目: 宁夏自然科学基金项目(2021AAC03449, 2021AAC03450); 宁夏地质局项目(NXCZ20220201)

作者简介: 王成文(1991-), 男, 硕士、工程师, 研究方向为环境与水文地质, E-mail: 1120694441@qq.com

表 1 研究区土层分层物理特性

Tab. 1 Physical characteristics of stratified soil

layer in the study area					
土壤分类	分布深度/cm	重度	含水率/%	土壤中不同粒径颗粒含量比例/%	
				<5 μm	5~75 μm
粉土	0~30	1.39	17.42	11.90	65.78
粉质黏土	30~120	1.38	18.55	21.33	66.70
粉砂	120~160	1.45	15.81	7.17	34.12

注:重度单位为 g/cm³。

面积约 78.8×114.3 m²,旱田是周期性灌溉补给,面积约 36.6×68.5 m²,灌溉用水来自黄河水,由西干渠水系引水、调水^[9]。在回灌试验中,控制试验田灌溉入口处的进水孔面积和边界条件,进行入口式漫灌,通过三角堰法控制引水灌溉量,利用多普勒流量计实时监测流入量。按照田间需水进行灌溉,水田共灌溉 7 次,平均灌溉量 950.25 m³/次,灌溉量共计 6 651.81 m³;旱田灌溉 2 次,平均灌溉量 519.11 m³/次,见表 2。设置地下水监测井,监测地下水位变化并取样,利用 Diver 水位仪进行长期监测,频率为 15 min/次。

表 2 回灌入渗测算参数值

Tab. 2 Parameter value of recharge infiltration measurement

农作类型	次数	灌溉开始时间	灌溉量/m ³	回灌流量/(m ³ ·s ⁻¹)	灌溉历时/h
水稻田	第 1 次	2021-05-08	1 086.65	0.018 6	16.23
	第 2 次	2021-05-20	932.26	0.014 0	18.45
	第 3 次	2021-06-11	762.95	0.009 5	22.21
	第 4 次	2021-06-24	856.78	0.012 3	19.40
	第 5 次	2021-07-09	1 023.97	0.013 4	21.28
	第 6 次	2021-08-03	952.25	0.011 3	23.34
	第 7 次	2021-08-20	1 036.95	0.013 0	22.18
	均值		950.25	0.012 9	20.44
玉米田	第 1 次	2021-04-24	534.56	0.021 3	13.80
	第 2 次	2021-06-20	503.66	0.016 3	10.80

2.3 试验数据处理

表 4 不同埋深处土层理化数值

Tab. 4 Physical and chemical values of different buried depths

埋深/cm	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	有机质	全盐量	pH 值
20	286.52	64.55	200.74	65.01	738.57	564.59	901.00	6.32	24 008.29	3 490.40	8.67
80	268.98	51.40	235.21	79.96	703.56	632.92	538.28	8.50	9 927.80	3 264.61	8.70
150	193.70	46.25	163.29	64.58	757.65	393.95	733.65	6.87	3 663.61	2 401.20	8.91

注:离子浓度单位为 mg/kg;pH 值除外。

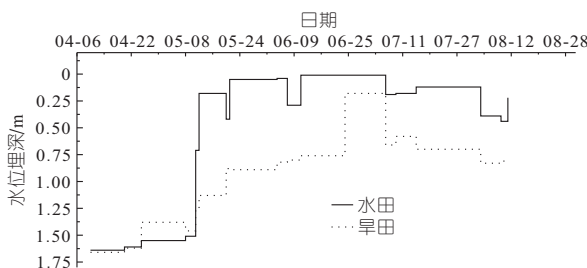


图 1 地下水水位变幅历时曲线

Fig. 1 Duration curves of groundwater level variation amplitude

试验前对回灌水、地下水进行取样,主要分析水样中宏量离子组分,即阳离子 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺,阴离子 HCO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻,以及 TDS、pH 值(表 3),严格按照《地下水质量标准》GB14848-2017^[10]和《土壤农业化学分析方法》和土壤农化分析(第 3 版)^[11-12]等方法执行(表 4)。

表 3 回灌水与地下水离子浓度初始值

Tab. 3 Initial value of ion concentration in recharge water and groundwater

分类	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TDS	pH 值
回灌水	1.50	53.90	27.05	16.41	14.18	118.43	140.56	301.8	7.58
水田地下水	4.33	134.72	86.31	95.0	168.36	210.85	549.68	974.38	7.65
旱田地下水	1.93	272.25	76.80	50.51	369.56	265.62	226.88	1 150.08	8.13

注:离子浓度单位为 mg/L;pH 值除外。

使用水文地球化学模拟软件 AquaChem2014.2 和 SPSS 25.0 软件对数据进行统计分析^[13],综合运用 ArcGIS desktop 10.7、Origin Pro 2020 等软件进行空间数据分析和图件制作。

3 结果与分析

3.1 回灌历时地下水化学变化

在水田回灌试验中,第 1 次回灌量最大,时间最长。结合图 1、2 可知,回灌全过程分为前期(0~18 d)、中期(18~60 d)、后期(60~100 d)和末期(100~118 d)四个时期。在回灌前期,地下水中阴离子 SO₄²⁻、HCO₃⁻ 浓度下降,其中 HCO₃⁻ 浓度降幅较大,近 280.0 mg/L;在回灌中期,地下水中阴离子 SO₄²⁻ 浓度持续下降,HCO₃⁻ 浓度呈波动稳定,而 Cl⁻ 浓度由增变减,降幅达 202.58 mg/L,地下水中阳离子 Mg²⁺、Na⁺ 浓度呈缓慢下降;在回灌后期,HCO₃⁻、SO₄²⁻ 浓度小幅波动。

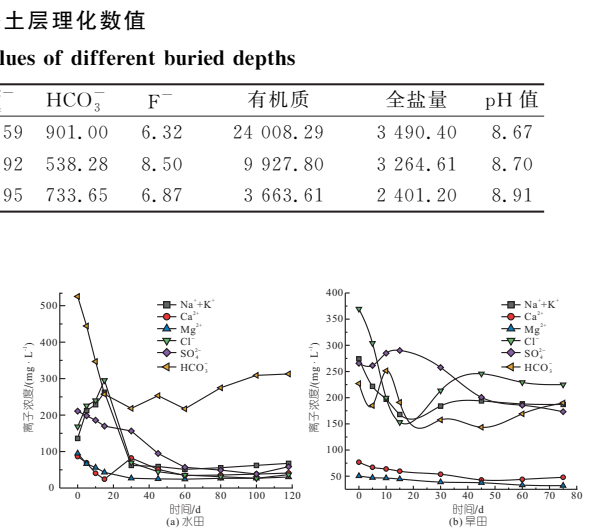
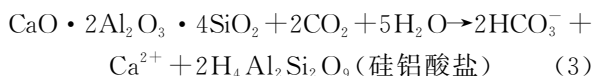
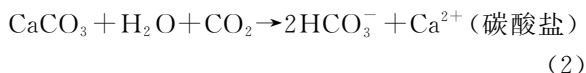
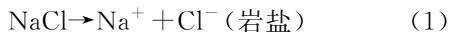


图 2 地下水离子组分浓度历时曲线

Fig. 2 Duration curves of ion concentration in groundwater

分析各离子浓度变化特征,地下水各离子浓度呈下降趋势,在回灌前期,地下水中 Na^+ 、 Cl^- 浓度呈增加趋势^[5],主要是因为地表蒸发浓缩作用强烈,累积了一定的盐分,在前期随回灌水入渗,地表盐分溶解下渗,使地下水中 Na^+ 、 Cl^- 含量增加,但随着回灌进行,回灌水的化学组分起到了主导作用;在回灌中期, HCO_3^- 、 Ca^{2+} 浓度的波动增加,主要是受回灌水中 CO_2 的参与^[13],使土层的碳酸盐类、铝硅酸盐类溶解,释放了 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 。化学过程分别为:



在水田回灌试验过程中,取地下水样 13 组。由图 3 统计可知,地下水中各离子组分浓度均呈下降趋势,TDS 由 974.38 mg/L 下降到 395.76 mg/L,地下水化学类型由原始的 Mg-Na-Ca- HCO_3 -Cl- SO_4 转化为 Na-Mg-Ca- HCO_3 ,回灌水化学类型为 Na-Mg-Ca- HCO_3 ,对地下水化学特征变化有着显著影响。其中,地下水阴离子中 HCO_3^- 最为活跃,变幅达 308.11 mg/L;地下水阳离子中 Na^+ 最为活跃,依次为 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} ; Na^+ 的平均值最高,说明该离子占

比也最高,见表 5。

表 5 水田地下水离子组分统计分析

Tab. 5 Statistical analysis of ion components in groundwater of paddy field mg/L

指标	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	TDS
个数数	13	13	13	13	13	13	13
最小值	51.25	24.24	24.31	26.59	38.43	217.17	310.80
最大值	262.66	86.30	95.00	295.36	210.85	525.28	993.90
平均值	116.02	51.82	41.32	112.88	123.83	313.12	602.42
平均值标准误差	20.25	5.25	5.75	25.69	17.21	24.74	72.46
标准偏差	73.02	18.94	20.74	92.65	62.07	89.21	261.28

相比水田,旱田灌溉次数少、水量小,但同样受低矿化度回灌水物理混合作用影响。在回灌前期, SO_4^{2-} 浓度增加可能是受回灌水-岩作用,土层中的硫酸盐类矿物(以石膏为主)氧化溶解所致,而石膏的溶解度较小,限制了 SO_4^{2-} 的增幅^[14]。同时,随着水岩阳离子交换作用,地下水的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 降幅更低;在回灌中期, Cl^- 浓度的增加可能是由于氯化岩类的溶解所致,氯盐溶解度大且不易沉淀析出, Cl^- 浓度历时变化趋于稳定^[15];在回灌后期,地下水的化学特征主要受水岩作用影响,土层中碳酸盐与水(含 CO_2)作用,使得 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 有一定的增加。在回灌周期内,地下水化学变化特征呈现“前期骤变活跃带—中期渐变过渡带—后期平缓稳定带—停灌潜在回升带”四个演变过程。

在旱田回灌中,取地下水样 10 组。通过 SPSS 分析(表 6),结合图 3(b)可知地下水各离子组分有不同程度的变化,回灌结束后地下水 TDS 由 1 150.10 mg/L 降为 760.22 mg/L,地下水化学类型由 Na-Mg-Cl- SO_4 型转变为 Na-Mg-Cl- SO_4 - HCO_3 型。其中,阴离子中 Cl^- 浓度变幅最大,极差 272.17 mg/L;阳离子中 Na^+ 浓度变幅最大;另外, Cl^- 、 Na^+ 浓度的平均值最大,占比最高。

表 6 旱田地下水离子组分统计分析表

Tab. 6 Statistical analysis of ion components of groundwater in dryland fields mg/L

指标	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	TDS
个数数	10	10	10	10	10	10	10
最小值	117.66	37.27	26.99	97.39	142.22	143.45	512.40
最大值	274.18	76.80	50.50	369.56	290.20	251.36	1 150.10
平均值	185.98	54.41	38.9	217.47	227.13	188.38	810.57
平均值标准误差	13.98	3.89	2.49	25.15	16.25	10.88	58.62
标准偏差	44.23	12.31	7.90	79.53	51.39	34.43	185.37

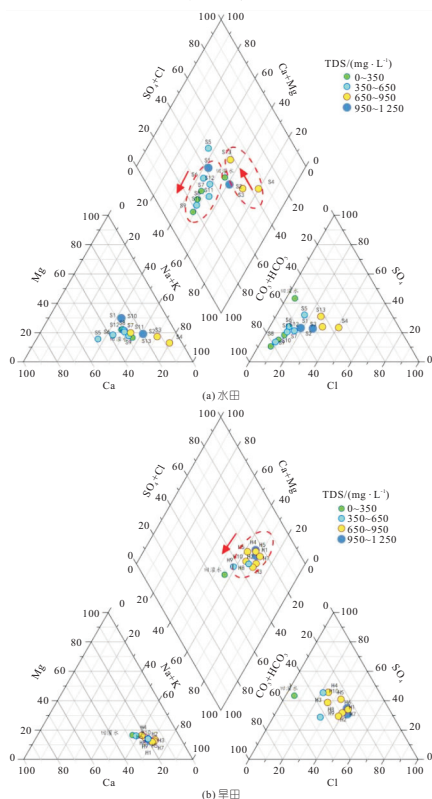


图 3 地下水化学特征 piper 三线图

Fig. 3 Piper triad chart of groundwater chemical characteristics

3.2 地下水化学特征变化规律分析

运用 AquaChem 进行地下水化学特征 Schoeller 指印图分析,可以直观分析不同水体混合之间的宏量离子组分变化过程^[16]。结合图 4,在水田回灌过程中各离子组分浓度总体呈下降趋势,而回灌结束后各离子浓度均呈不同幅度的回

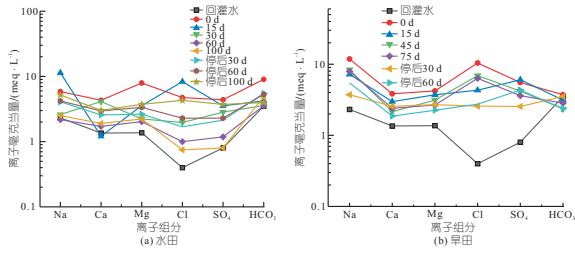


图4 离子浓度回灌历时 Schoeller 指印图

Fig. 4 Schoeller fingerprinting of ion concentration with recharge duration

升趋势,回灌前期对地下水的离子组分影响最大,这是因为在前期回灌水—岩土—地下水发生了一系列物理混合、化学溶解作用,使得该时段内地下水化学组分浓度变化较大。在回灌停止后,水田地下水离子组分浓度变化较早田更大,这是由于在干旱地区地下水的极限蒸发水位约为 1.05 m^[17],回灌停止后水田的地下水位较高,受蒸发浓缩作用影响显著,使得地下水中各离子增加,其中 Na⁺、Cl⁻ 增幅最大,表现为土层中盐分进一步增加,HCO₃⁻ 浓度的增加也使土壤 pH 值增大,导致土壤盐碱加剧恶化,故在回灌后需及时排水、降水^[18]。

3.3 地下水化学组分相关性分析

在回灌研究中,各离子浓度变化呈现一定同步性和规律性,主要表现为阳离子 Na⁺ 和阴离子 Cl⁻ 浓度变化呈一致性,阳离子 Ca²⁺ + Mg²⁺ 和阴离子 HCO₃⁻、SO₄²⁻ 呈一定相关性。运用 SPSS 进行 Pearson 相关性分析(表 7),结合图 5、6,发现水田地下水 Na⁺ 与 Cl⁻ 浓度呈线性变化,相关性较高(R²=0.945),Ca²⁺ + Mg²⁺ 的浓度变化分别与 HCO₃⁻、SO₄²⁻ 浓度变化呈线性相关(R²>0.65);同样,在旱田地下水 Na⁺ 与 Cl⁻ 浓度变化呈线性变化趋势,相关系数 R² 高达 0.966,Ca²⁺ + Mg²⁺ 的浓度变化同 HCO₃⁻ 浓度变化有一定相关性,相关系数为 0.787。这进一步证明了回灌过程中地下水离子不仅与回灌水发生回灌物理混合作用、粘性土吸附和阳离子

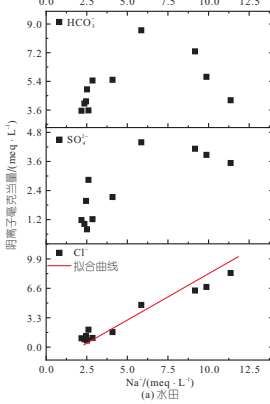
表 7 地下水化学组分离子相关性分析

Tab. 7 Ionic correlation analysis of groundwater chemical components

离子	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	TDS	pH
K	1.000								
Na	-0.100	1.000							
Ca	0.831	0.460	1.000						
Mg	-0.133	0.933**	0.533	1.000					
Cl	0.000	0.933**	0.333	0.917**	1.000				
SO ₄	0.333	0.733*	0.433	0.733*	0.750*	1.000			
HCO ₃	-0.167	0.600	0.450	0.667*	0.467	0.133	1.000		
TDS	-0.067	0.967**	0.433	0.983**	0.950**	0.717*	0.683* 1.000		
pH	-0.050	0.600	-0.100	0.500	0.533	0.633	0.067	0.517 1.000	

注:** 在 0.01 级别(双尾),相关性显著。* 在 0.05 级别(双尾),相关性显著。

方程	y=a+b*x	残差平方和	4.377 27
绘图	B	Pearson's r	0.972 61
权重	不加权	R平方(COD)	0.945 96
截距		调整R平方	0.939 96
斜率	1.040 94	0.082 93	



方程	y=a+b*x	残差平方和	4.388 60	
绘图	B	Pearson's r	0.986 54	
权重	不加权	R平方(COD)	0.965 87	
截距	-2.169 34	0.645 23	调整R平方	0.958 74
斜率	1.040 94	0.082 93		

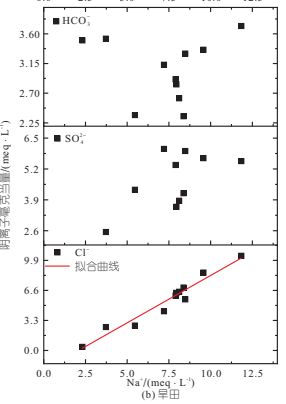


图5 钠离子与各阴离子相关性散点图

Fig. 5 Scatter diagram of the correlation between sodium ion and each anion

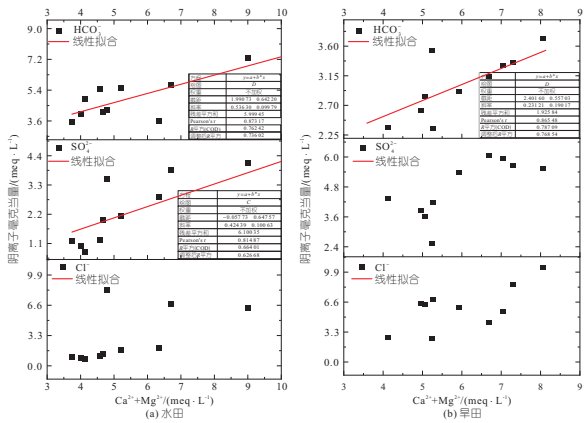


图6 钙镁离子与各阴离子相关性散点图

Fig. 6 Scatter diagram of correlation between calcium & magnesium ions and each anion

交换作用,还伴随着一系列水—岩的化学作用,如氯盐的溶解使 Na、Cl 浓度变化呈一致性,岩土中的石膏、芒硝和白云岩类等矿物溶解与沉淀作用,以及地下水温度环境变化,导致 Ca²⁺、Mg²⁺ 和 SO₄²⁻、HCO₃⁻ 浓度较协调的变化^[7-8]。

4 结论

a. 在引黄灌区,根据地下水离子组分变化特征,将地下水化学变化特征分为“前期骤变活跃带—中期渐变过渡带—后期平缓稳定带—停灌潜在回升带”四个过程,直观地阐明了受回灌入渗影响的地下水演变过程。

b. 回灌水是影响区域地下水水量和水质的主要因素,地下水的水化学特征逐步趋同于回灌水。受回灌影响,地下水化学特征变化主要受回灌水—地下水物理混合作用影响,地下水被混合稀释,TDS 下降;停灌后地下水位较高,易发生浓缩

蒸发作用,使地表盐分和碱分积聚,建议停灌后及时排水、降水。

c. 分析地下水化学变化规律,发现地下水 Na^+ 、 Cl^- 浓度变化有较好的线性相关,水田相关系数 0.945,旱田相关系数 0.966,其次是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 变化有一定的线性相关性。

参考文献:

[1] 王凌芬,胡伏生,于艳青,等. 水化学特征分析银川平原地下水的补给与排泄[J]. 地下水,2015,37(1):6-8.

[2] 杜新强,路莹,冶雪艳,等. 地下水人工回灌过程中介质堵塞与水质变化研究进展[J]. 黑龙江大学学报,2018,9(2):1-6,103.

[3] PAVELIC P, DILLON P J, BARRY K E, et al. Hydraulic evaluation of aquifer storage and recovery (ASR) with urban stormwater in a brackish limestone aquifer[J]. Hydrogeology journal, 2006, 14(8):1544-1555.

[4] 杜新强,齐素文,廖资生,等. 人工补给对含水层水质的影响[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2007(2):293-297.

[5] 林学钰,张文静,何海洋,等. 人工回灌对地下水水质影响的室内模拟实验[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2012,42(5):1404-1409,1433.

[6] 刘立才,郑凡东,李炳华,等. 南水北调水源在密怀顺水源地回灌的地下水水质变化试验[J]. 水文地质工程地质,2015,42(4):18-22,55.

[7] 崔瑜,吴泰然,周磊,等. 基于数值模拟的再生水对地下水水质影响实例[J]. 地质通报,2018,37(7):1365-1373.

[8] 刘泽,张翼龙,李潇瀚,等. 人工回灌条件下回灌水水量及水质对地下水化学特征的影响[J]. 干旱区资源与环境,2020,34(10):171-178.

[9] 王凌芬,胡伏生,于艳青,等. 水化学特征分析银川平原地下水的补给与排泄[J]. 地下水,2015,37(1):6-8.

[10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 地下水质量标准:GB/T 14848-2017[S]. 北京:中国质检出版社,2017.

[11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.

[12] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京:中国农业出版社,1999.

[13] HERCZEG A L, RATTAY K J, DILLON P J, et al. Geo-chemical processes during five years of aquifer storage recovery[J]. Ground water,2004,42(3):438-445.

[14] 刘立才,郑凡东,张春义. 南水北调水源与北京地下水混合的水质变化特征[J]. 水文地质工程地质,2012,39(1):1-7.

[15] 杨海娇,魏加华,任倩慧. 柴达木盆地典型流域地表水—地下水转化关系及水化学特征[J]. 干旱区研究,2022,39(5):1543-1553.

[16] 郭清海,王焰新. 典型新生代断陷盆地内孔隙地下水地球化学过程及其模拟:以山西太原盆地为例[J]. 地学前缘,2014,21(4):83-90.

[17] 马稚桐. 鄂尔多斯盆地风沙滩区土壤—地下水蒸发研究[D]. 西安:长安大学,2019.

[18] 母浩坤. 氢氧稳定同位素在银川平原地表水蒸发强度及水循环模式研究中的应用[D]. 吉林:吉林大学,2020.

Variability Characteristics of Groundwater Chemical Under Condition of Yellow River Diversion and Recharge

WANG Cheng-wen¹, FANG Lei¹, YANG Li-hu², LI Ying^{3,4}, MA Bo¹, XU Zhao-xiang¹, LI Hong-bo¹

(1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750011, China; 2. Key Laboratory of Land Water Cycle and Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. School of Water Resources & Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4. Geological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The study of groundwater chemical varieties has a positive indicator effect on the regulation and improvement of regional groundwater quality caused by infiltration in the Yellow River Irrigation Area. The field in-situ infiltration test was carried out to monitor and analyze the recharge water-groundwater during the recharge process of paddy field and dry field, and the groundwater chemical evolution law was revealed by AquaChem hydrochemical analysis and SPSS mathematical statistics. Under the condition of infiltration, the characteristics of groundwater chemical change show four evolution processes: "rapid change and active zone in the early stage, gradual transition zone in the middle stage, gentle and stable zone in the late stage, and potential recovery zone after stopping irrigation". It can be seen from the experiment that the groundwater is mainly affected by the physical mixing of recharge water, accompanied by the water-rock physical adsorption ion exchange, chemical dissolution and leaching, etc. especially, the amount of recharge water in paddy field was large, and the water quality of recharge determined the direction of groundwater chemical evolution. At the same time, the concentrations of Na^+ 、 Cl^- of groundwater chemical components showed a good linear change, and the correlation coefficient was above 0.93, and the concentrations of Ca^{2+} 、 Mg^{2+} showed a certain linear correlation with SO_4^{2-} 、 HCO_3^- . After stopping irrigation, the evaporation and concentration of groundwater was strong, and the ions of groundwater showed an increasing trend. Especially for Na^+ 、 Cl^- , the drainage and precipitation are timely needed after the irrigation. The research shows that the water supply of groundwater not only enriched groundwater sources, but also improved groundwater quality.

Key words: Yellow River Diversion Irrigation Area; in situ test; hydrochemical characteristics; water-rock interaction; correlation