

新疆焉耆盆地平原区地下水溶解性总固体时空演化

赵江涛^{1,2}, 周金龙^{1,2,3*}, 高业新³, 曾妍妍^{1,2}, 李 巧^{1,2}, 杜明亮^{1,2}

(1.新疆农业大学水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2.新疆水文水资源工程技术研究中心, 乌鲁木齐 830052;
3. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061)

摘 要: 为研究新疆焉耆盆地平原区地下水污染现状, 2014 年在焉耆盆地平原区设置 42 个采样点, 采集 42 组地下水样本, 测定样本中溶解性总固体 (total dissolved solids, TDS) 及阴阳离子含量, 并利用 SPSS 软件及 MAPGIS 地理信息系统分析其时空动态。结果表明, 1999 年与 2014 年地下水 TDS 总体存在显著差异性; 对地下水中 TDS 与宏量阴、阳离子组分及 pH 值之间的关系进行分析, 地下水 TDS 与 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 K^+Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 具有显著相关, 相关系数在 0.717~0.964 之间, 与宏量阴离子 SO_4^{2-} 、 Cl^- 相关性明显大于阳离子, 相关系数分别为 0.963 及 0.964。在时间尺度上, 1983—2014 年地下水 TDS 均值整体呈现先升高再有所降低而后又升高再降低的趋势, 均值由 1983 年 305.0 mg/L 上升至 1999 年 1773.1 mg/L 后又降低至 2014 年 589.44 mg/L; 在空间尺度上, 1999—2014 年地下水 TDS < 1 g/L 区域面积变化呈增加的趋势, 面积由 1999 年 2 011.7 km² 增加至 2014 年 2 229.3 km², 与 1999—2014 年地下水 TDS 均值呈下降趋势相对应。研究区地下水 TDS 变化主要原因有 2 方面: 一是地下水水位由 2000 年 4.98 m 下降至 2014 年 7.34 m, 地下水水位下降促使土壤及其下层沉积物中的钙、镁易溶盐、难溶盐及交换性钙镁由固相向水中转移使更多的钙镁离子进入地下水中, 使地下水 TDS 增高, 同时地下水水位下降导致水中溶质浓缩也会造成 TDS 增高; 二是生活及工业污水的排放导致大量 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和部分 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 进入地下水中, 造成 TDS 升高, 这与 TDS 中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 占主导地位相吻合。

关键词: 地下水; 污染; 化学特性; TDS; 焉耆盆地平原区; 时空变异

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.017

中图分类号: S273.4; P641.12

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-05-0120-06

赵江涛, 周金龙, 高业新, 曾妍妍, 李 巧, 杜明亮. 新疆焉耆盆地平原区地下水溶解性总固体时空演化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 120—125. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.017 http://www.tcsae.org
Zhao Jiangtao, Zhou Jinlong, Gao Yexin, Zeng Yanyan, Li Qiao, Du Mingliang. Spatial-temporal evolution of total dissolved solids of groundwater in plain area of Yanqi Basin, Xinjiang[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(5): 120—125. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.017 http://www.tcsae.org

0 引 言

地下水超采和地下水污染^[1]引起的一系列环境问题是制约城市发展的一个重要因素。焉耆盆地是新疆重要的绿洲农业区, 但是生态环境较脆弱, 对地下水资源十分依赖^[2]。随着城市发展, 地下水资源大规模开采和废物大量排放, 导致焉耆盆地平原区地下水溶解性总固体 (total dissolved solids, TDS)、总硬度 (total hardness, TH)、 Cl^- 等常规无机组分均呈逐年递增的趋势, 地下水水质逐年恶化, TDS 是研究区主要的超标指标之一, 研究平原区地下水 TDS 时空演化对受人类干扰严重、生态系统脆弱的干旱地区地下水资源开发具有重要意义。

溶解性总固体指地下水中所溶解物质的总量, 主要包括宏量阴离子和宏量阳离子, 是表征地下水无机污染物的一个重要指标^[3-4]。王水献等^[5-6]分别对研究焉耆盆地浅层地下水埋深与 TDS 及开孔河流域浅层地下水矿化度时空变异、水化学的演化特征及特征进行了分析; 彭李晖等^[7]研究焉耆盆地开都河北岸灌区地下水水化学演化规律; 赵江涛等^[8]将 TDS 作为地下水质量与污染评价的重要指标, 对焉耆盆地平原区地下水进行评价; 在已有的研究中, 对 TDS 的研究主要体现在水盐运移或者作为辅助指标进行地下水评价, 对其本身离子间的相关关系研究相对较少。因此, 本研究分析了新疆焉耆盆地平原区地下水 TDS 时空演化以及 TDS 与宏量组分间的关系, 有助于深入了解地下水 TDS 演化规律, 为焉耆盆地地下水开发利用与保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

焉耆盆地位于新疆天山中段南麓, 新疆巴音郭楞蒙古自治州 (简称“巴州”) 境内, 面积 13 612 km², 平原区面积 8 075 km² (无资料区面积 2 003.4 km², 包括军事用地及戈壁荒漠), 包括和静县、和硕县、焉耆县、博湖县 4 个

收稿日期: 2015-08-10 修订日期: 2016-01-10

基金项目: 中国地质调查局项目 (1212011220982); 新疆自治区水文学及水资源重点学科基金 (XJSWSZYZDXK20101202); 新疆自治区地方公派出国留学成组配套项目 (XJDF201307)

作者简介: 赵江涛, 男, 甘肃天水人, 博士生, 主要从事地下水水质演化与保护研究。新疆 新疆农业大学水利与土木工程学院, 830052。

Email: 420334025@qq.com

*通信作者: 周金龙, 男, 浙江龙游人, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事地下水与环境的科研与教学工作。新疆 新疆农业大学水利与土木工程学院, 830052。Email: zjzhoujl@163.com

县和新疆生产建设兵团第2师21团等8个团场。

焉耆盆地具有第四纪岩性结构, 土壤以砂砾石、中粗砂、中细砂、黏性土为主, 自西北向东南逐渐变细; 从洪积扇顶部到冲洪积平原, 地形由高到低, 坡降由陡变缓, 岩性颗粒由粗变细, 致使从西部、西北部山前冲洪积平原到下游冲积平原依次形成了单一潜水、上部潜水-下部多层承压水和上部潜水-下部多层承压自流水含水层, 地下水埋深 5.0 m 左右^[9-10]。盆地的气候特征表现为热量充足, 日照长, 温差较大, 且凉爽湿润, 平均降水量 50.7~79.9 mm, 相对湿度 50%~60%, 蒸发量为 2 000.5~2 449.7 mm, 属于南北疆过渡的大陆荒漠性气候^[5]。

1.2 样点设置与样本采集

本文按照《地下水污染调查评价规范》^[11]中统一的技术要求, 针对焉耆盆地平原区进行 1:25 万精度地下水污染调查。地下水采样点控制面积为 6 072.4 km², 遵循区域控制与重点区结合污染源的分布特点, 进行样点布设。2014 年在焉耆县、博湖县、和静县及和硕县分别布设了 10、6、12 及 14 个采样点, 共计 42 个采样点, 如图 1 所示。

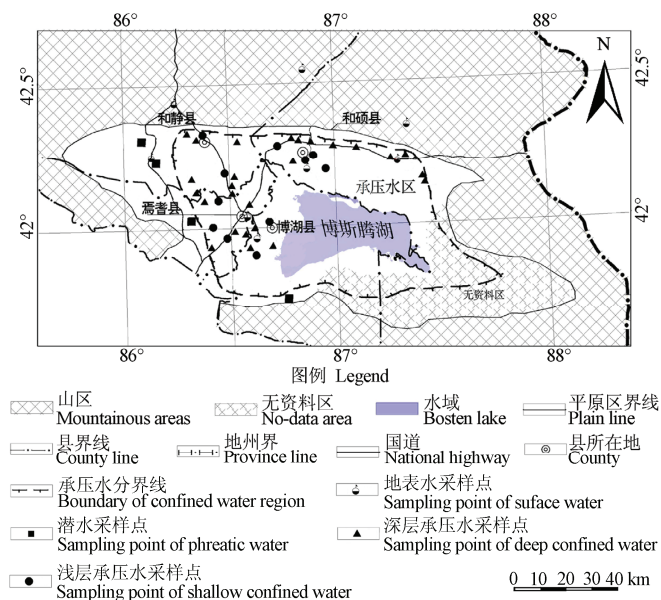


图 1 研究区水样采样点类型及分布图

Fig.1 Types and distribution of water sampling sites in study area

1983—1996 年巴州环境监测站对焉耆焉耆盆地 4 县地下水进行监测 (监测 pH 值、TDS、TH、SO₄²⁻、Cl⁻、K⁺+Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺等指标, 监测的目的是对巴州环境质量进行评价), 以当地生活用水机井作为监测井, 水样为混合水, 布点尽量以平均分布为原则; 1999 年新疆农业大学依托世界银行贷款项目“开都河流域地下水水盐监测”, 采集平原区地下水水样 178 组, 监测 TDS、TH、SO₄²⁻、Cl⁻、K⁺+Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺等指标, 开展对焉耆盆地水盐监测及水均衡参数试验的水环境演变规律研究; 新疆农业大学于 2011 年 10—2012 年 1 月采集焉耆盆地地下水样品 14 组, 于 2014 年 6—7 月采集焉耆盆地地下水样品 42 组、地表水样品 8 组, 监测 pH 值、TDS、TH、SO₄²⁻、Cl⁻、K⁺+Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺等指标; 地表水、

地下水采样、保存和送检严格依据《地下水污染调查评价规范》。1983—1996 年采集样品由巴州环境监测站检测; 1999 和 2011 年所采集的样品由新疆地矿局第二水文地质工程地质大队化验室检测; 2014 年所采集的样品由中国地质科学院水文地质环境地质研究所矿泉水检测中心检测。

1.3 数据处理

本文在对新疆焉耆盆地平原区进行地下水污染调查、采样及检测分析的基础上, 通过应用数理统计软件 SPSS 对平原区地下水中 TDS 以及相关阴、阳离子含量及 pH 值的差异性和相关性进行分析, 并与 GIS 相结合对研究区地下水 TDS 空间演化进行分析, 并对其影响因素进行分析探讨。

2 结果与分析

2.1 地下水 TDS 及其与阴阳离子的关系

2.1.1 地下水化学类型

地下水化学类型对于揭示水文地球化学成分和规律起着重要的作用^[12]。用 AquamChem 分别绘制 2011 年和 2014 年地下水化学类型 Piper 三线图, 直观地反映焉耆盆地平原区地下水水化学特征。图 2 表明 2011 年平原区地下水阴离子 HCO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻质量浓度分别为 62.26~234.71、38.60~974.97、15.05~1 035.06 mg/L; 阳离子 K⁺+Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺质量浓度分别为 15.29~853.35、19.65~278.79、10.43~32.01 mg/L。2014 年平原区地下水阴离子 HCO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻质量浓度分别为 88.03~643.60、31.53~901.70、10.50~884.10 mg/L; 阳离子 K⁺+Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺质量浓度分别为 10.44~408.31、15.24~439.80、4.16~114.90 mg/L。可见, 2011—2014 年焉耆盆地平原区地下水化学类型由 HCO₃-Ca 型过渡到 SO₄-Cl-Na 型。2011 年和 2014 年平原区地下水水化学类型均呈现为山前冲洪积扇向博斯腾湖 HCO₃→SO₄→Cl 顺序变化; 由山前倾斜平原的 HCO₃-Ca-Mg 型水过渡到细土平原 SO₄-HCO₃-Na-Ca-Mg 型水, 最终在末端变为 SO₄-Cl-Na-Ca-Mg 型水。

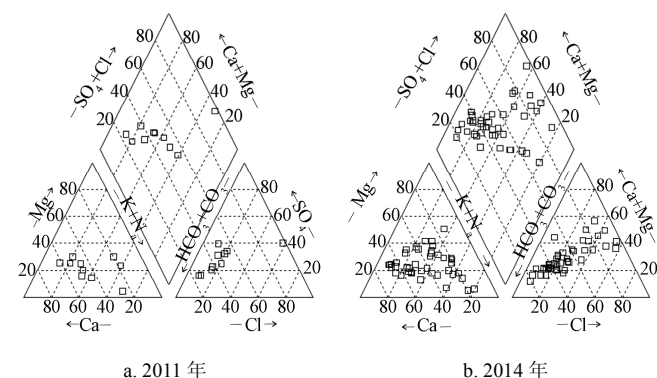


图 2 2011 和 2014 年地下水水化学 Piper 三线图

Fig.2 Piper diagrams of groundwater in 2011 and 2014

2.1.2 地下水 TDS

应用 SPSS 软件对 1999 和 2014 年平原区地下水 TDS 进行描述性统计分析 (表 1), 并对 1999 年及 2014 年地下水 TDS 进行差异性 *t* 检验。结果表明, 1999 年和 2014 年间地下水 TDS 差异极显著 ($P<0.01$)。

表 1 1999 和 2014 年地下水 TDS 统计描述
Table 1 Statistical description of total dissolved solid of groundwater in 1999 and 2014

年份 Year	样本数 Sample numbers	极小值 Minimum/ (mg·L ⁻¹)	极大值 Maximum/ (mg·L ⁻¹)	均值 Mean/ (mg·L ⁻¹)	中位数 Median/ (mg·L ⁻¹)	标准差 Standard deviation
1999 年	178	200.0	213170.0	1773.1	1340.0	19940
2014 年	42	205.7	2831.0	604.4	427.7	500

根据《地下水环境质量标准》(GB/T1484-93)^[13]中 TDS 指标的水质标准分级,由表 2 可知,1999 年平原区共采集检测水样 178 个,其中处于 I 类水平(≤ 300 mg/L)有 7 个,处于 II 类水平(300 mg/L $<$ II 类 ≤ 500 mg/L)的有 28 个,处于 III 类水平(500 mg/L $<$ III 类 $\leq 1\,000$ mg/L)的有 41 个,处于 IV 类水平($1\,000$ mg/L $<$ IV 类 $\leq 2\,000$ mg/L)的有 32 个,处于 V 类水平($>2\,000$ mg/L)的有 70 个,TDS 处于 IV 类、V 类标准水平达到 57.3%;2014 年平原区共采集检测水样 42 个,其中 TDS 处于 I 类水平有 10 个,处于 II 类水平的有 16 个,处于 III 类水平的有 8 个,处于 IV 类水平的有 7 个,处于 V 类水平的有 1 个,TDS 处于 IV 类、V 类标准水平达到 19.1%。

表 2 1999 和 2014 年基于 TDS 的地下水水质分级
Table 2 Based on groundwater quality grading of total dissolved solid in 1999 and 2014

分级 Grade	总溶解性 固体 Total dissolved solid/(mg·L ⁻¹)	各级样本数 Sample numbers in each grade		各级样本所占比例 Percentage of samples in total of each grade/%	
		1999 年	2014 年	1999 年	2014 年
I	≤ 300	7	10	4.0	23.8
II	$>300\sim 500$	28	16	15.7	38.1
III	$>500\sim 1\,000$	41	8	23.0	19.0
IV	$>1\,000\sim 2\,000$	32	7	18.0	16.7
V	$>2\,000$	70	1	39.3	2.4

2.1.3 地下水 TDS 与阴阳离子相关性分析

对 2014 年地下水 TDS 与阴阳离子含量进行 Pearson 相关分析,见表 3。

表 3 各组分 Pearson 相关系数统计表
Table 3 Pearson correlation coefficients between major ions

项目 Item	TDS	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺ +Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	pH
TDS	1.000							
HCO ₃ ⁻	0.004	1.000						
SO ₄ ²⁻	0.963**	-0.161	1.000					
Cl ⁻	0.964**	-0.166	0.919**	1.000				
K ⁺ +Na ⁺	0.919**	-0.158	0.912**	0.913**	1.000			
Mg ²⁺	0.717**	0.499**	0.644**	0.607**	0.527**	1.000		
Ca ²⁺	0.871**	0.015	0.801**	0.855**	0.653**	0.564**	1.000	
pH	-0.186	-0.707**	-0.039	-0.057	-0.016	-0.316*	-0.317*	1.000

注: *和 **显著性水平分别为 0.05 和 0.01。

Note: * and ** indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively.

由表 3 可知,TDS 与 HCO₃⁻不相关,这是由于焉耆盆地平原区地下水的 pH 值大部分处于中性和弱碱性范围(pH 值为 7.0~8.5),根据 O.A.阿列金的碳酸衍生物各种存在形式间的比例与水中 pH 值的关系以及水体碳酸形态的分布图^[14],在这一 pH 值范围内的碳酸衍生物主要是以 HCO₃⁻离子形式存在。但是随着 pH 值的升高,碳酸衍生物会由 HCO₃⁻会逐渐转变成 CO₃²⁻,因此,HCO₃⁻的含量会随着 pH 值的升高而降低,两者存在极显著的负相关关系

($r=-0.707$, $P<0.01$),最终影响水体中 HCO₃⁻含量,导致 TDS 与 HCO₃⁻不相关;HCO₃⁻-Mg²⁺、SO₄²⁻-Cl⁻、SO₄²⁻-K⁺+Na⁺、SO₄²⁻-Mg²⁺、SO₄²⁻-Ca²⁺和 Cl⁻-K⁺+Na⁺、Cl⁻-Mg²⁺、Cl⁻-Ca²⁺呈极显著相关且相关系数 >0.39 ($P<0.01$);TDS 受阴离子 Cl⁻影响最显著,与阴离子密切程度依次为 Cl⁻ $>$ SO₄²⁻ $>$ HCO₃⁻;TDS 受阳离子 K⁺+Na⁺影响最显著,与阳离子密切程度依次为 K⁺+Na⁺ $>$ Ca²⁺ $>$ Mg²⁺。

由表 3 可以看出,地下水中 TDS 与宏量阴离子 SO₄²⁻、Cl⁻相关性明显大于阳离子,这是由于岩层及土体中主要成分是由 SiO₂、Al₂O₃ 和部分带负电荷的胶粒组成,比较容易吸附地下水中带正电荷的阳离子,易被土壤表面吸附、发生离子交换^[15]。

2.2 地下水 TDS 时空变化特征

根据 1983—2014 年地下水水质监测资料,TDS 年均值见表 4。由表 4 可以看出,焉耆盆地平原区 31 a 间地下水 TDS 年均值变化整体呈现先升高再有所降低而后又升高再降低的趋势,最大均值出现在 1999 年达到 1773.1 mg/L 且在 1999 年以前所布设监测井检测 TDS 均未达到地下水 III 类水质标准(1 000 mg/L),但在 1999—2014 年布设监测井检测的 TDS 部分已超过地下水 III 类水质标准,甚至达到 V 类水质标准。

表 4 1983—2014 年地下水 TDS 均值
Table 4 Mean of total dissolved solid of groundwater from 1983 to 2014

年份 Year	均值 Mean/(mg·L ⁻¹)	年份 Year	均值 Mean/(mg·L ⁻¹)
1983 年	277.3	1992 年	413.3
1985 年	321.3	1993 年	395
1986 年	321.3	1994 年	401.3
1987 年	283.4	1995 年	379.3
1988 年	306.8	1999 年	1773.1
1989 年	332.8	2003 年	630.7
1990 年	446.8	2014 年	604.4
1991 年	443.3		

依据 1999 年和 2014 年的调查结果,利用 MAPGIS 软件绘制地下水 TDS 分区图(图 3),焉耆盆地平原区地下水总体径流方向与地表水流向大致相同,均流向平原区地势最低点博斯腾湖。由图 3 可以看出,地下水 TDS 呈现出山前到平原区地下水具有水平演变的规律,地下水 TDS 由上游向下游不断升高,受地形及水文地质条件的影响,由强径流溶滤作用逐渐过渡为缓慢径流蒸发浓缩作用。因此,平原区地下水 TDS 是以博斯腾湖及局部沼泽区为中心,由四周向其呈逐渐升高的趋势,TDS 由 <1 g/L 的淡水过渡到 $\geq 1\sim 3$ g/L 的微咸水,最终变为 ≥ 10 g/L 的咸水。

不同地下水 TDS 分区面积统计结果见表 5。从表 5 可以看出,焉耆盆地平原区 TDS <1 g/L 的面积在逐渐增大,从 1999 年的 33.1%增加到 2014 年的 36.7%; $\geq 1\sim 3$ 和 $\geq 3\sim 10$ g/L 的分区面积逐渐减小,分别从 1999 年的 26.3%和 23.0%减小到 2014 年的 24.9 %和 20.8%; $\geq 10\sim 50$ g/L 的分区面积并未出现明显的变化。整体上看,1999—2014 年焉耆盆地平原区地下水高 TDS 区域面积呈现明显下降的趋势,与 1999—2014 年地下水 TDS 均值呈下降趋势相对应。

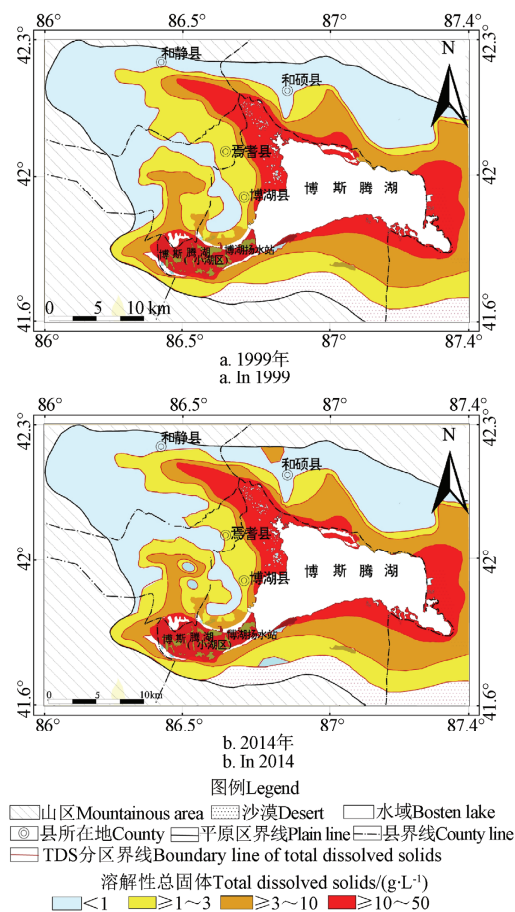


图 3 1999 和 2014 年地下水溶解性总固体分区图
Fig.3 Distribution of total dissolved solids of groundwater in 1999 and 2014

表 5 不同地下水 TDS 分区面积统计表

Table 5 Areas of different zones based on total dissolved solids of groundwater

矿化度 Salinity/ (g·L ⁻¹)	1999 年		2014 年		变幅 Change range/km ²
	面积 Area/km ²	比例 Proportion/ %	面积 Area/km ²	比例 Proportion/ %	
<1	2011.7	33.1	2229.3	36.7	217.6
≥1~3	1596.3	26.3	1511.8	24.9	-84.5
≥3~10	1395.3	23.0	1262.2	20.8	-133.1
≥10~50	1069.1	17.6	1069.1	17.6	0
合计 Total	6072.4	100.0	6072.4	100.0	0

3 讨 论

焉耆盆地平原区 TDS 均值由 1999 年 7 170.0 mg/L 后降低至 2014 年 589.44 mg/L，虽然 2014 年相比 1999 年 TDS 呈明显下降的趋势，但是在 1999 年以前所布设监测井检测 TDS 均未达到地下水 III 类水质标准（1 000 mg/L），1999—2014 年布设监测井检测的 TDS 部分已超过地下水 III 类水质标准，甚至达到 V 类水质标准，TDS 已成为平原区地下水水质的主要影响因子。一般而言，影响地下水 TDS 变化的因素主要包括自然因素（地表水水质、包气带岩性、地下水位埋深等）和人为因素（工业与生活污染源）2 大类。

1) 焉耆盆地平原区地表水主要发源于山区，向盆地最低处博斯腾湖汇集，且平原区地下水主要依靠地表水

的补给。根据 2014 年焉耆盆地平原区地表水检测结果，8 组地表水样 TDS 均值为 214.13 mg/L（175.40～294.90 mg/L），地表水由山区进入平原区以后由于降水减少、蒸发量增大、沿程损失大等，同时河水与灌区地下水、农田排水相混合，导致平原区主要河流开都河 TDS 沿程不断升高，由上游处 195.50 mg/L 升高至下游处 206.20 mg/L；平原区地下水 TDS 在 209.10～1 811.00 mg/L 之间，平均值为 598.44 mg/L，地下水 TDS 平均值远大于地表水，说明焉耆盆地平原区部分地下水中 TDS 偏高并不是由于地表水的补给所致。

2) 平原区深层承压水水质劣于潜水水质的原因是焉耆盆地平原区地下水开采一般为混合开采，即使是分层开采，止水效果一般也不佳，因此会导致不同含水层间相互干扰，由于原生地层结构遭到破坏，沟通了水质不同的含水层，对上部易受污染的潜水或浅层承压含水层的机井未进行止水或不完全止水，造成多层混合取水，水质不好的潜水或浅层承压水不断向深层承压含水层补给，导致地下水污染物向深层运移；焉耆盆地平原区地下水 TDS 超标点共计 8 个且大部分分布在包气带岩性为砂砾石（采样点 15 个，超标点 4 个，检出率 26.7%）的区域，由于砂砾石颗粒间孔隙较大，易于污染物垂向渗透和迁移。

3) 焉耆盆地多年平均降水量 47.3～75.0 mm，多年平均蒸发量为 1 887～2 777 mm^[16]。2000 年地下水开采量 1.25×10⁸ m³，2011 年地下水开采量 6.92×10⁸ m³，由于开采量的逐年增加，导致地下水水位由 2000 年 4.98 m 下降至 2014 年 7.34 m，地下水降幅达到 2.36 m^[16]。地下水埋深与 TDS 变化规律在一定程度上关系密切^[17-18]，主要是由于地下水位埋深下降不仅引起水动力场和水文地球化学环境的改变，也使地下水承载力能力与环境均衡系统发生改变，地下水水位下降使含水层变薄，使其对盐分的稀释能力逐渐减弱，从而造成水中离子总量增加，离子强度显著增强，使地下水中 TDS 增加，在强电解质作用下水中碳酸钙、碳酸镁的溶解度增加，使更多的钙镁离子进入地下水中，使地下水 TDS 增高，这些作用主要有碳酸溶滤作用、盐效应及盐污染^[15,19]；同时地下水埋深下降呈负均衡状态，导致水中溶质浓缩造成 TDS 增高^[20]。

4) 城市化对地下水系统有着重要的影响，它改变了原有下垫面条件，进而改变地下水循环系统^[21-22]，并且随着城镇化的发展，工业废水及居民生活污水排放量逐年增加有可能渗入含水层污染地下水^[23]。根据《新疆巴音郭楞蒙古自治州环境质量报告书（2006—2010）》，在 2010 年焉耆盆地平原区废污水排放总量达到 1251.0×10⁴ m³，其中工业废水排放总量为 751.0×10⁴ m³，主要靠企业自带污水处理设施处理，处理技术落后或不处理进行排放，致大量 SO₄²⁻进入地下水中；生活污水排放总量为 500.0×10⁴ m³，主要依靠各县污水处理厂进行处理，但是由于处理设施的不完善，导致部分污水通过排水沟就近排出或者就地入渗；产生生活垃圾 9.345×10⁴ t，主要处理措施以卫生填埋为主，垃圾填埋场多是在废弃的沙石坑基础上形成，底部为渗透性能较好的砂石层或

砂层, 由于垃圾渗滤液向地下入渗很容易污染地下水, 并带入大量的 Cl^- 和部分 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 造成 TDS 升高^[8]。因此, 焉耆盆地平原区地下水 TDS 升高的主要原因之一是来自生活及工业污染, 这与 TDS 中 Cl^- 和 SO_4^{2-} (相关系数分别为 0.964 和 0.963) 占主导地位相吻合。

4 结 论

1) 1999 和 2014 年平原区地下水 TDS 差异性 t 检验结果表明, 1999 年和 2014 年间地下水 TDS 差异极显著 ($P < 0.01$); 宏量阴阳离子相关性分析结果表明 TDS 受宏量阴离子中的 Cl^- 及宏量阳离子中的 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 影响最为显著, 与阴离子密切程度依次为 $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$, 与阳离子密切程度依次为 $\text{K}^+ + \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 。

2) 1999—2014 年焉耆盆地平原区地下水高 TDS 区域面积呈现明显下降的趋势, 与 1999—2014 年地下水 TDS 均值呈下降趋势相对应。

3) 焉耆盆地平原区地下水水位下降及人类活动 (农业、工业与生活污染源以及地下水不合理开采) 是影响地下水 TDS 变化的主要 2 个因素。

[参 考 文 献]

- [1] 周仰效, 李文鹏. 地下水水质监测与评价[J]. 水文地质工程地质, 2008(1): 1—9.
Zhou Yangxiao, Li Wenpeng. Groundwater quality monitoring and assessment[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2008(1): 1—9. (in Chinese with English abstract)
- [2] 王水献, 吴彬, 杨鹏年, 等. 焉耆盆地绿洲灌区生态安全下的地下水埋深合理界定[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 422—430.
Wang Shuixian, Wu Bin, Yang Pengnian, et al. Determination of the ecological groundwater depth considering ecological integrity over oasis irrigation areas in the Yanqi basin[J]. Resources Science, 2011, 33(3): 422—430. (in Chinese with English abstract)
- [3] Siosemarde M, Kave F, Pazira E, et al. Determine of constant coefficients to relate total dissolved solids to electrical conductivity[J]. International Science Index, 2010, 4(10): 201—203.
- [4] 黄耀裔, 王天宝, 杨琳筠. 晋江市地下水矿化度分布及与离子间关系[J]. 泉州师范学院学报, 2014, 32(2): 40—44.
Huang Yaoyi, Wang Tianbao, Yang Linhang. Total dissolved solid concentration and its influencing factors analysis of groundwater in the shallow aquifer in Jinjiang[J]. Journal of Quanzhou Normal University, 2014, 32(2): 40—44. (in Chinese with English abstract)
- [5] 王水献, 董新光, 刘延锋. 焉耆盆地绿洲区近 50 a 地下水水文时空变异及水盐演变[J]. 地质科技情报, 2009, 28(5): 101—108.
Wang Shuixian, Dong Xinguang, Liu Yanfeng. Spatial-Temporal Variation of subsurface hydrology and groundwater and salt evolution of the Oasis Area of Yanqi Basin in 50 years recently[J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(5): 101—108. (in Chinese with English abstract)
- [6] 王水献, 王云智, 董新光, 等. 开孔河流域浅层地下水矿化度时空变异及特征分析[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 293—296.
Wang Shuixian, Wang Yunzhi, Dong Xinguang, et al. Study on the spatial-temporal variation of shallow groundwater mineralization degree and its characteristic in Kaikong River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(2): 293—296. (in Chinese with English abstract)
- [7] 彭李晖, 刘延锋, 杨霄翼. 焉耆盆地开都河北岸潜水水化学演化规律[J]. 地质科技情报, 2013, 32(6): 123—129.
Pen Lihui, Liu Yanfeng, Yang Xiaoyi. Hydrochemical evolution of phreatic water in the Northern Area of Kaidu River in Yanqi Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(6): 123—129. (in Chinese with English abstract)
- [8] 赵江涛, 周金龙, 曾妍妍, 等. 新疆焉耆盆地平原区地下水质量评价与污染成因探讨[J]. 地球与环境, 2015, 43(6): 628—636.
Zhao Jiangtao, Zhou Jinlong, Zeng Yanyan, et al. Assessment of groundwater quality and pollution causes discussion for the plain area of Yanqi Basin, Xinjiang[J]. Earth and Environment, 2015, 43(6): 628—636. (in Chinese with English abstract)
- [9] 董新光, 周金龙, 陈跃滨. 干旱内陆区水盐监测与模型研究及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1—3.
- [10] Wang Shuixian. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in the Yanqi Basin of Xinjiang Province, Northwest China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185: 7469—7484.
- [11] 中国地质调查局. 地下水污染调查评价规范: 1:50000-1:250000[S]. 北京: 中国地质调查局, 2006: 42—44.
- [12] 张人权, 梁杏, 靳孟贵, 等. 水文地质学基础[M]. 第六版. 北京: 地质出版社, 2011: 52—56.
- [13] 国家技术监督局. 地下水环境质量标准[S]. 北京: 国家技术监督局, 1994: 93—94.
- [14] 董德明, 康春莉, 花修艺. 环境化学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2010.
- [15] 沈照理, 朱宛华, 钟佐桑. 水文地球化学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [16] 秦国强, 董新光, 杨鹏年, 等. 焉耆盆地地下水位下降与灌溉农业关系[J]. 中国农村水利水电, 2015(4): 1—8.
Qin Guoqiang, Dong Xinguang, Yang Pengnian, et al. The relationship between the decline of groundwater levels and irrigated agriculture on Yanqi[J]. China Rural Water and Hydropower, 2015(4): 1—8. (in Chinese with English abstract)
- [17] 胡克林, 陈海玲, 张源沛, 等. 浅层地下水埋深、矿化度及硝酸盐污染的空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊 1): 21—25.
Hu Kelin, Chen Hailin, Zhang Yuanpei, et al. Spatial distribution of shallow groundwater depth, total dissolved solid and nitrate pollution[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(Supp.1): 21—25. (in Chinese with English abstract)

- [18] 杜军, 杨培岭, 李云开, 等. 河套灌区年内地下水埋深与矿化度的时空变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 26—31.
Du Jun, Yang Peiling, Li Yunkai, et al. Analysis of spatial and temporal variations of groundwater level and its salinity in Hetao Irrigation District[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2010, 26(7): 26—31. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王焰新. 地下水污染与防治[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [20] 魏征. 沙南水源地地下水水位水质演化规律研究[R]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- [21] 危润初, 肖长来, 梁秀娟. 吉林市城区地下水污染时空演化[J]. 中国环境科学, 2014, 34(2): 417—423.
Wei Runchu, Xiao Changlai, Liang Xiujuan. Spatio-temporal evolution of groundwater pollution in the urban areas of Jilin City[J]. China Environmental Science, 2014, 34(2): 417—423. (in Chinese with English abstract)
- [22] Barron O V, Barr A D, Donn M J. Evolution of nutrient export under urban development in areas affected by shallow water table[J]. Science of the Total Environment, 2013, 443: 491—504.
- [23] 闫柏忠, 肖长来, 刘鸿志, 等. 吉林市城区土地利用对地下水空间污染分布的影响[J]. 中国环境科学, 2015, 35(3): 934—942.
Yan Baizhong, Xiao Changlai, Liu Hongzhi, et al. Effect of urban land use on the spatial distribution of groundwater pollution in the Jilin City[J]. China Environmental Science, 2015, 35(3): 934—942. (in Chinese with English abstract)

Spatial-temporal evolution of total dissolved solids of groundwater in plain area of Yanqi Basin, Xinjiang

Zhao Jiangtao^{1,2}, Zhou Jinlong^{1,2,3*}, Gao Yexin³, Zeng Yanyan^{1,2}, Li Qiao^{1,2}, Du Mingliang^{1,2}

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Xinjiang Hydrology and Water Resources Engineering Research Center, Urumqi, 830052, China;

3. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: Yanqi Basin is one of the most important oasis agricultural areas of Xinjiang. But the ecological environment of Yanqi Basin is fragile, which depends on groundwater resources greatly. To study the spatial-temporal evolution of total dissolved solids (TDS) of groundwater is of great significance to groundwater exploitation in arid areas with fragile ecological system seriously affected by human. In order to identify the groundwater pollution status in the plain area of Yanqi Basin, 42 groundwater samples was collected in 2014. TDS and concentration of anion and cationic of the 42 groundwater samples were tested. T test was used based on the observed data of groundwater in the different periods of the plain area to determine the variability of TDS. The relationships between TDS and macro anion, macro cation, pH were analyzed with SPSS software. The results showed that TDS of groundwater was mainly affected by SO_4^{2-} , Cl^- , K^+Na^+ , Mg^{2+} and Ca^{2+} . And the TDS were highly correlated with Cl^- and K^+Na^+ . The correlation between the TDS and macro anion was highest, followed by Cl^- , SO_4^{2-} and HCO_3^- ; the correlation between the TDS and macro cation was also high, followed by K^+Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} . Zone map of TDS was drawn by the MAPGIS software. In the temporal scale, the average of TDS of groundwater was increased then decreased and increased again from 1983 to 2014, and the average value was 305.0, 1773.1 and 589.44 mg/L in 1983, 1999 and 2014, respectively. In the spatial scale, the TDS of groundwater evolved horizontally from piedmont to the plain area. The TDS of groundwater increased from upstream to downstream. Influenced by topography and hydrogeology conditions, the main hydrogeochemistry action changed from strong runoff to slow evaporation gradually. Area of groundwater with $\text{TDS} < 1$ g/L showed an increasing trend but a decreasing trend from 1999 to 2014, which was consistent with downtrend of the mean value of TDS from 1999 to 2014 increased from 2011.7 to 2229.3 km^2 . There were 2 main reasons causing that change of groundwater TDS: 1) The groundwater table dropped from 4.98 to 7.34 m from 2000 to 2014, which prompted the solid phase calcium and magnesium soluble salts, insoluble salts and exchangeable calcium and magnesium in the soil and the lower layer sediments transferred to the groundwater; Meanwhile the increase of the groundwater table in the plain area led to high solutes concentration; 2) Urbanization had the great influence on the groundwater system. It changed the original land use patterns, and then the groundwater circulation system. And with the development of urbanization, industrial and domestic waste water increased year by year and could infiltrate into aquifer. The discharge of living and industrial waste water led to groundwater pollution, which was consistent with the dominant role of Cl^- and SO_4^{2-} in TDS. The study provide valuable information for understanding the condition of underground in Xinjiang.

Keywords: groundwater; pollution; chemical properties; total dissolved solids; plain area of Yanqi Basin; spatial-temporal variability