

新疆于田绿洲地下水化学性质的数理统计分析^{*}

黄璟焱^{1,2,3}, 海米提·依米提^{1,4}, 胡小韦^{1,3}, 古丽格娜·哈力木拉提^{1,3}, 张丽娜^{1,3}

(1. 绿洲生态系统安全与可持续发展实验室, 乌鲁木齐 830046; 2. 西北核技术研究所, 西安 710024; 3. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 4. 干旱半干旱区可持续发展国际研究中心, 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 根据于田绿洲地下水水质分析结果, 应用统计分析方法分析地下水化学特征, 提取出对水质影响较大的离子为 HCO_3^- 、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 和 Cl^- ; 地下水水质为碱性、弱硬水- 极硬水, 淡水、弱矿化水和中等矿化水在研究区内均有分布; 研究区的地下水可划分为淡- 弱矿化的 $\text{HCO}_3^- \text{Na}$ 型水和弱- 中等矿化的 $\text{HCO}_3^- \text{Na}$ 型水两种类型; 建立了地下水的主成分分析模型和总溶解固体与离子含量的回归模型。

关键词: 于田绿洲; 水化学特征; 主成分分析; 回归分析

中图分类号: P641.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)03-0255-05

Regression Analysis of the Chemical Characteristics of Groundwater in Yutian Oasis, Xinjiang

HUANG Jing-yan^{1,2,3}, HAMID · Yimit^{1,4}, HU Xiao-wei^{1,3}, GULIGUINA · Halmurat^{1,3}, ZHANG Li-na^{1,3}

(1. Key Lab of Oasis Ecology and Sustainable Development, Urumqi 830046, China; 2. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China; 3. Resources & Environmental College of Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 4. The International Center for Desert Affairs Research for Sustainable Development in Semi-arid and Arid Land, Urumqi 830046, China)

Abstract: The chemical characteristics of groundwater are analyzed by the method of statistics based on the results of chemical properties in Yutian Oasis. The important ions which affect the groundwater quality are selected. They are bicarbonate, sodium, potassium and chlorine. The quality of the groundwater is alkaline, slightly hard to ultra-hard. Fresh, and slight to neutral mineral water are found in the research area. There are two kinds of water in the research area which are fresh to weak mineral sodium bicarbonate water and slight to neutral mineral sodium bicarbonate water. The principal components analysis model, and the regression analysis model for Total Dissolved Solid and content of ions have been set up.

Key words: Yutian Oasis; chemical characteristics of the groundwater; principal components analysis; regression analysis

新疆于田绿洲地处我国西北极端干旱地区, 降水稀少, 地下水贫乏。绿洲内部以农牧业为主^[1], 农业生产依赖于对地下水资源的开发, 而农作物的生长状况与地下水水质关系十分密切^[2]。因此, 研究绿洲地下水化学特征, 评价地下水水质分布状况^[3-4], 对合理使用地下水、有效利用水资源、防止绿洲生态环境的恶化都具有重要意义。

本文根据 2007 年 9 月在于田绿洲采取的地下水

水样分析结果, 提取出对水质影响较大的离子成分, 并建立了主成分模型和总溶解固体与离子含量间的回归模型, 对地下水水质监测具有一定的参考价值。

1 自然地理概况

新疆于田县位于新疆维吾尔自治区南部, 塔克拉玛干沙漠南缘, 昆仑山中段北麓, 东经 $81^{\circ}09' - 82^{\circ}51'$, 北纬 $35^{\circ}14' - 39^{\circ}29'$ 。和田地区第二大河流克里

^{*} 收稿日期: 2008-11-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(40661002); 新疆维吾尔自治区高校重点研究项目(XJEDU 2006109)

作者简介: 黄璟焱(1967-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 干旱区水资源与环境。E-mail: hjyxju@126.com

通信作者: 海米提·依米提(1960-), 男, 新疆喀什人, 教授, 博士生导师, 从事干旱区水资源开发利用及其环境效应研究。E-mail: hylimit@yahoo.com.cn

雅河由南向北贯穿全境,形成了东西宽 30~ 120 km,南北长 466 km 的长条形地带,土地面积 4. 03 万 km²[5];深居内陆腹地,地势南高北低,东临民丰县,北邻塔克拉玛干大沙漠,西与策勒县相毗邻,南依雄伟的昆仑山与西藏自治区相接。海拔 1 300~ 6 962 m,境内河流 11 条,年径流量 9. 61 亿 m³[6]。

主要研究区域位于冲- 洪积平原带,地形平坦,田园遍布,植物茂盛。区内河流均发育于昆仑山北坡,以接受冰雪消融水为主,又受季节降雨和基岩裂隙水补给,属混合补给型河流,除克里雅河以外的其它河流流程均较短,出山口后于山前砾质倾斜平原消失殆尽,补给地下水或耗于蒸发[7]。

2 实验方法和数据分析

2.1 样品采集和现场测试

于 2007 年 9 月 20- 30 日在于田绿洲选取当地的机井、压井采取地下水水样,在无机井、压井且地下水埋深较浅地段通过打井、挖探坑等手段采取水样;用 150 Conductivity Meter 现场测量水样的电导率、总溶解固体、含盐量等指标。

2.2 室内分析

水质分析在新疆大学绿洲生态安全重点实验室

完成。分析的项目有: Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ + Na⁺, HCO₃⁻, CO₃²⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ 等离子含量和 pH 值。Ca²⁺, Mg²⁺ 用 0. 01 mol/L EDTA 二钠盐滴定法测定;HCO₃⁻, CO₃²⁻ 采用双指示剂滴定法;用滴定碳酸盐和重碳酸盐后的溶 0. 025 mol/L 的 AgNO₃ 标准溶液来继续滴定 Cl⁻; SO₄²⁻ 用 EDTA 间接络合滴定;Na⁺ 和 K⁺ 采用差减法; pH 值用酸度计法测定[8]。

本文应用 SPSS 13. 0 统计软件完成数据的检验、分析。

2.3 数据分析

利用非参数检验法检验所取得的数据是否服从正态分布,结果表明:仅碳酸氢根、钾+ 钠和 pH 值等几项指标服从正态分布,其余指标的双尾渐进显著性概率均小于 0. 05[9];从各指标的标准偏度系数看,测试的数据与平均值均存在偏离情况,其中 pH 值负偏,其余均为正偏;正偏指标中偏离程度最小的是 SO₄²⁻,最大为钙离子;标准峰度系数则显示取得的数据分布状态并非标准正态分布,其中 SO₄²⁻ 的集中程度低于标准正态分布,而其它指标高于标准正态分布[10]。结果见表 1,因此,数据需进一步整理,以期获得较好的分析效果。

表 1 理化指标描述性统计分析及单样本正态分布检验结果

项 目	平均值	标准差	最小值	最大值	标准偏度 系数	标准峰度 系数	正态检验 统计量	双尾渐进 概率 p 值
碳酸根/(g·L ⁻¹)	0. 421	0. 587	0. 000	3. 306	3. 640	15. 360	1. 649	0. 009
碳酸氢根/(g·L ⁻¹)	5. 771	4. 119	0. 840	18. 544	1. 011	0. 639	1. 134	0. 153
氯离子/(g·L ⁻¹)	0. 784	0. 792	0. 124	3. 222	1. 620	1. 871	1. 559	0. 015
硫酸根/(g·L ⁻¹)	0. 2185	0. 198	0. 004	0. 725	0. 893	- 0. 404	1. 369	0. 047
钙离子/(g·L ⁻¹)	0. 0844	0. 127	0. 010	0. 710	3. 832	15. 875	2. 302	0. 000
镁离子/(g·L ⁻¹)	0. 185	0. 120	0. 055	0. 712	2. 653	8. 668	1. 521	0. 020
钾+ 钠/(g·L ⁻¹)	2. 817	2. 088	0. 475	8. 143	1. 036	0. 312	1. 127	0. 158
硬度/(mmol·L ⁻¹)	9. 705	7. 173	3. 50	36. 55	2. 720	7. 602	1. 930	0. 001
pH 值	8. 507	0. 383	7. 46	9. 28	- 0. 765	0. 876	0. 910	0. 379
电导率/μS	3977. 395	3971. 306	761. 00	21400. 00	2. 410	7. 856	1. 564	0. 015
含盐量/%	2. 367	2. 781	0. 400	12. 70	2. 451	6. 657	1. 734	0. 005
总溶解固体/(mg·L ⁻¹)	1840. 56	1606. 213	368	6810	1. 321	0. 898	0. 005	0. 027

从现场调查和样点布局来看,造成数据分布与标准正态分布存在偏离的原因是:样点分布在冲积- 洪积扇的不同部位,由于地下水埋藏深度、赋存介质的差异以及受人类活动干扰程度的不同,化学性质随之发生变化。

3 结果讨论

3.1 地下水理化性质分析

地下水中离子浓度平均值最高的是 HCO₃⁻, 其

次为 Na⁺ + K⁺, 其平均浓度均超过 1 g/L; 离子浓度值最低的是 Ca²⁺, 其次为 Mg²⁺, 其平均浓度均低于 0. 2 g/L; 地下水的 pH 值平均为 8. 507, 呈碱性反应; 电导率值平均为 3 977. 395 μS; 硬度 3. 50~ 36. 55 mmol/L, 为弱硬水- 极硬水; 总溶解固体为 36~ 6 810 mg/L, 淡水、弱矿化水和中等矿化水在研究区内均有分布[11], 如表 1 所示。

3.2 影响地下水化学特征的因素

根据舒卡列夫分类方法可将研究区地下水划分

为淡-弱矿化的 HCO_3-Na 型水(7-A 型水)和弱矿化-中等矿化的 HCO_3-Na 型水(7-B 型水)两种主要类型^[12]。由于地下水的化学特征与所含离子成分的浓度关系较大,通过主成分分析研究影响上述两种主要类型地下水化学性质的主要因素。

表 2 7-A 型水理化指标描述性统计分析及单样本正态分布检验结果

项 目	最小值	最大值	平均值	标准差	标准偏度系数	标准峰度系数	正态检验统计量	双尾渐进概率 p 值
碳酸根/(g·L ⁻¹)	0.000	0.770	0.255	0.191	1.075	0.827	0.955	0.322
碳酸氢根/(g·L ⁻¹)	0.840	8.287	3.403	1.934	1.015	0.498	0.820	0.513
氯离子/(g·L ⁻¹)	0.124	0.882	0.299	0.158	2.534	8.201	1.064	0.207
硫酸根/(g·L ⁻¹)	0.004	0.576	0.226	0.197	0.569	-1.149	0.783	0.571
钙离子/(g·L ⁻¹)	0.010	0.094	0.050	0.021	-0.221	-0.209	0.509	0.958
镁离子/(g·L ⁻¹)	0.055	0.194	0.132	0.031	-0.387	1.007	0.581	0.888
钾+ 钠/(g·L ⁻¹)	0.475	3.628	1.536	0.856	1.039	0.069	1.378	0.045
pH 值	7.60	8.99	8.513	0.285	-1.518	3.805	0.910	0.379
电导率/μS	761.00	8360.00	2111.652	1953.153	2.778	7.153	1.517	0.020
含盐量/‰	0.40	1.30	0.757	0.264	0.713	-0.329	0.927	0.356
总溶解固体/(mg·L ⁻¹)	368	1300	746.65	260.449	0.672	-0.495	0.898	0.395

根据主成分方差贡献率,前四个主成分综合了整个信息量的 89.605%,累计贡献率已超过 85%,故求出前四个主成分即可,见表 3。图 1 的主成分分析碎石图也显示同样的结果。

表 3 主成分方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率%	累计贡献率%
1	2.805	40.065	40.065
2	1.490	21.280	61.345
3	1.098	15.682	77.027
4	0.881	12.579	89.605
5	0.478	6.823	96.429
6	0.248	3.537	99.966
7	0.002	0.034	100.000

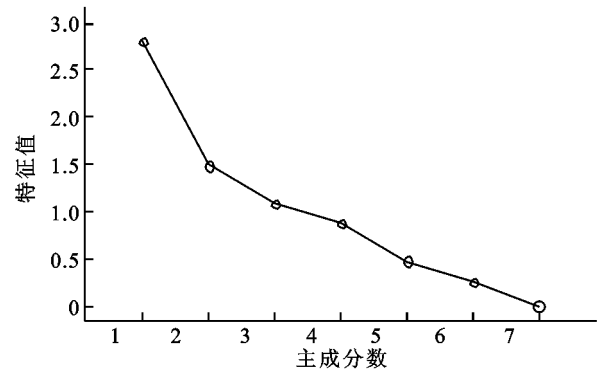


图 1 主成分碎石图

表 4 为主成分载荷矩阵,可看出:第一主成分在 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 、 HCO_3^- 和 Cl^- 上载荷较高,而与 SO_4^{2-}

3.2.1 影响 7-A 型水化学特征的主要因素 首先检验 7-A 型水的数据特征。除钾+ 钠和电导率两项指标外,其余均服从正态分布;标准偏度系数和标准峰度系数都说明提取出的 7-A 型水的数据更接近于标准正态分布,见表 2。

和 Mg^{2+} 呈负相关,代表了地下水中含量最多的化学组分;第二主成分在 CO_3^{2-} 上具有较大的载荷,而在 Ca^{2+} 上具有很大的负载荷;第三主成分在 Mg^{2+} 上具有很高的载荷,氯离子也占有一定权重;第四主成分在 SO_4^{2-} 上具有较高的载荷^[9-10,13]。根据该表可以写出 7-A 型水的主成分分析模型。

表 4 主成分载荷矩阵

变量	主成分			
	1	2	3	4
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	0.969	0.107	-0.018	0.160
HCO_3^-	0.963	-0.050	0.002	0.131
Cl^-	0.832	0.100	0.379	0.054
Ca^{2+}	0.178	-0.839	-0.197	0.056
CO_3^{2-}	0.196	0.757	-0.206	-0.422
Mg^{2+}	-0.190	-0.107	0.925	-0.210
SO_4^{2-}	-0.375	0.420	0.129	0.781

3.2.2 影响 7-B 型水化学特征的主要因素 对 7-B 型水的数据特征分析结果表明:其各项指标均服从标准正态分布,标准偏度系数与标准峰度系数也说明提取出的 7-B 型水的数据更接近于标准正态分布。

7-B 型水的前三个主成分综合了整个信息量的 87.001%,累计贡献率已超过 85%,故求出 3 个主成分即可(如表 5 所示)。

表 5 主成分方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率%	累计贡献率%
1	3.546	50.650	50.650
2	1.562	22.320	72.970
3	0.982	14.032	87.001
4	0.390	5.573	92.575
5	0.367	5.243	97.817
6	0.153	2.180	99.997
7	0.000	0.003	100.000

主成分载荷矩阵中: 第一主成分在 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 、 Cl^- 、 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 上载荷较高, 而与 Ca^{2+} 呈较强的负相关, 代表了地下水中含量最多的化学组分; 第二主成分在 Mg^{2+} 上具有较大的载荷, 说明 7- B 型地下水中存在一定的镁离子; 第三主成分在 SO_4^{2-} 上具有较高的载荷, 见表 6。据此可写出 7- B 型水的主成分分析模型。

3.3 地下水化学特征的回归模型

3.3.1 回归模型分析 首先作总溶解固体与各离子浓度之间的散点图并分析其相关性, 结果表明: 7- A 型水的总溶解固体与 HCO_3^- 、 Cl^- 以及 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 呈极显著相关, 而与其它离子不相关(图 2); 7- B 型水的散点图与各离子间无明显趋势。因此选择 7- A 型水做回归模型分析。

表 6 主成分载荷矩阵

变量	主成分		
	1	2	3
钾+ 钠	0.964	0.143	0.085
钙离子	- 0.824	- 0.140	- 0.248
氯离子	0.818	- 0.358	- 0.019
碳酸氢根	0.789	0.534	0.029
碳酸根	0.725	- 0.567	0.049
镁离子	0.187	0.789	- 0.478
硫酸根	- 0.291	0.407	0.825

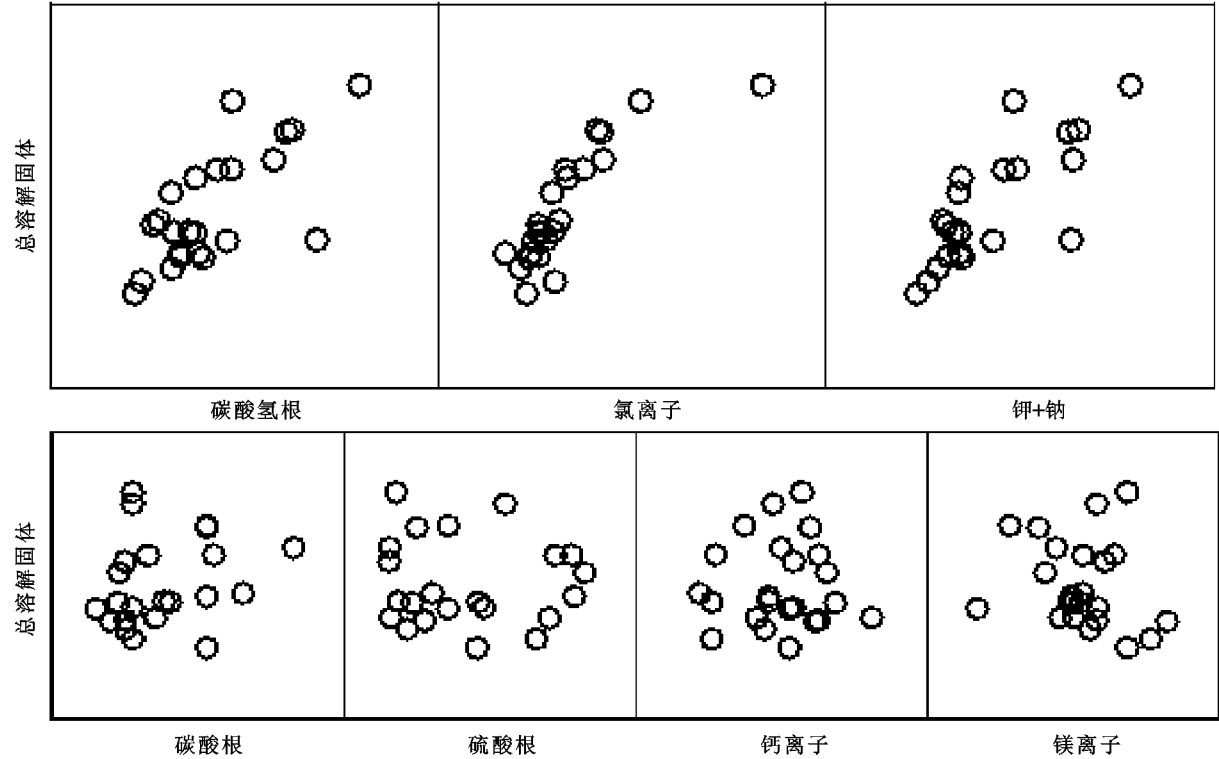


图 2 7- A 型水总溶解固体与各离子的散点图

表 7 为 7- A 型水总溶解固体与氯离子、碳酸氢根、钾+ 钠的逐步回归模型, 其复相关系数 R 为 0.915, 说明自变量与因变量之间有很高的相关性。判定系数 R^2 为 0.837, 即在因变量的变异中, 有 83.7% 可由自变量的变化来解释。

3.3.2 回归模型的显著性检验 表 8 为多元回归的方差分析表。模型中 F 统计量的观察值为 32.428, 概率 P 值为 0.000, 在显著性水平为 0.001

的情形下, 认为总溶解固体与所选变量之间具有线性关系。

表 7 模型摘要

回归模型	复相关系数 R	判定系数 R^2	调整判定系数 R^2	估计值的标准误差
1	0.915	0.837	0.811	113.285

表 9 为回归模型的系数列表, 模型在显著性水平 0.25 的情形下具有显著意义。据此建立的多元

回归方程为:

$y = 1112.300 - 92.452x_1 + 298.242x_2 + 391.575\ln x_3$

式中: y ——总溶解固体(mg/L); x_1 ——碳酸氢根含量(g/L); x_2 ——钾钠和量(g/L); x_3 ——氯离子含量(g/L)。

表 8 方差分析表					
	平方和	自由度	均方	F 检验 统计量	显著 水平
回归	1248501.092	3	416167.031	32.428	0.000
剩余	243836.125	19	12833.480		
总离差	1492337.217	22			

表 9 回归分析的系数					
回归模型	非标准化		标准化偏 回归系数	T 统计量	显著水平
	偏回归系数	标准误差			
常数项	1112.300	181.431		6.131	0.000
碳酸氢根	- 92.452	65.383	- 0.687	- 1.414	0.174
钾+ 钠	298.242	161.988	0.980	1.841	0.081
氯离子对数函数	391.575	93.673	0.627	4.180	0.001

(3) 研究区对地下水水质影响较大的离子为 HCO_3^- 、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 和 Cl^- 。

(4) 总溶解固体与离子含量的回归模型为: $y = 1112.300 - 92.452x_1 + 298.242x_2 + 391.575\ln x_3$

致谢: 本文在撰写过程中得到了余潇工程师、陈剑杰副研究员的帮助, 在此表示感谢!

参考文献:

[1] 瓦哈甫, 塔西甫拉提· 特依拜, 海米提· 依米提, 等. 新疆于田绿洲土地利用变化的人文驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(6): 1-6.

[2] 胡小韦, 海米提· 依米提, 艾尼瓦尔· 买买提, 等. 塔里木胡杨自然保护区地下水理化特性相互关系研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(5): 293-295.

[3] 苏春利, 王焰新. 大同盆地孔隙地下水化学场的分带规律性研究[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(1): 83-89.

[4] 许美辉, 夏红艳. 福建东部浅层地下水地球化学[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(2): 92-94.

4 结 论

基于于田绿洲地下水化学分析结果和多元统计分析的理论, 应用 SPSS 软件分析的于田绿洲地下水化学性质, 结果表明:

(1) 于田绿洲地下水呈碱性; 按硬度划分, 为弱硬水- 极硬水; 淡水、弱矿化水和中等矿化水在研究区内均有分布。

(2) 研究区的地下水可划分为两种类型: 淡- 弱矿化的 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型水和弱矿化- 中等矿化的 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型水。

[5] 塔西甫拉提· 特依拜. 干旱区环境演变与遥感应用研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 2001: 128-139.

[6] 于田计划委员会. 于田县经济、社会综合发展规划[R]. 乌鲁木齐: 新疆科技出版社, 2000: 1-2.

[7] 中国人民解放军 00 九二四部队. 中华人民共和国区域水文地质普查报告. 于田幅 努尔幅(1: 200000) [R]. 1977: 8-10.

[8] 鲍士旦. 土壤农化分析(3 版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 178-200.

[9] 张红兵, 贾来喜, 李潞, 等. SPSS 宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 226-229.

[10] 徐建华. 现代地理学中的数学方法(2 版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.

[11] 伍光和, 田连恕, 胡双熙, 等. 自然地理学(3 版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 171-172.

[12] 王大纯, 张人权, 史毅虹, 等. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 61-62.

[13] 高惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005: 265-290.