

成都市地下水中铁、锰变化规律及成因分析

任陶军¹, 李 晓¹, 周亚芹²

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059; 2. 南京丰源建筑设计有限公司)

摘 要: 特殊的水文地质环境和气候是影响成都地下水铁、锰离子形成分布的主要因素, 对成都市近 10 年的地下水动态监测资料和水文地质勘探资料的分析, 初步探讨了铁、锰离子的分布形成规律及其影响因素。

关键词: 成都市; 水化学特征; 铁、锰; 含水层; 成因分析

中图分类号: P332.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0211-04

The Analysis of Iron and Manganese Ion in Groundwater, Chengdu

REN Tao-jun¹, LI Xiao¹, ZHOU Ya-qin²

(1. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Nanjing Fengyuan Architectural Design Co., Ltd.)

Abstract: The special hydrogeology environmental and climate characteristics is the major factor for the influences of iron and manganese ion, through the development inspect ion information near 10 years of groundwater about Chengdu and hydrogeology exploration informaton research, the distribution law and its influencing factor of iron and manganese ion are discussed.

Key words: Chengdu; hydrochemical characteristics; iron ; manganese; aquifer; origin analysis

成都有丰富的地下水资源, 但是不少地区铁锰过量, 尽管都是构成生物体的基本元素, 但是过量的铁锰会给人们的生活和生产带来不便和危害。我们曾在成都温江金马地区的水文地质调查中, 发现该地区有较大面积的地下水出现加茶变色的现象, 主要分布在金马河沿岸, 其主要原因为该地区地下水中铁含量超标引起的。成都市有关地下水铁锰离子的分布及形成的研究较少, 随着对环境问题的重视, 人们对铁和锰的认识逐步加深, 本文旨在研究成都市地下水铁锰离子的分布、成因规律及其影响因素。

1 区域概况

成都地处龙泉山背斜的西翼, 面积约 418 km², 亚热带湿润季风气候区, 年平均气温 16.2℃, 极端最高气温 37.3℃ (8 月), 极端最低气温 - 5.9℃, 年降水量 947.0 mm。

1.1 主要含水层

第四系松散砂砾石层空隙水, 基岩裂隙水, 为工作区主要地下水类型。区内地下水的补给、赋存、运移, 均明显受控于其所处的地理环境, 地质构造与第四纪地层、地貌等因素。第四系孔隙含水岩组, 可分为上、下两段。上段孔隙含水岩组连续分布于全区。风化泥砂砾卵石层构成含水层主体, 并与叠置于其上的近代 Q₄ 砂砾卵石层, 共同组成区内第四系孔隙含水岩组主要富水层段, 含水层西厚东薄, 有效厚度 10 ~ 30 m。

埋藏于深部的下段极不稳定的潜水含水岩组, 含水层连续分布于上段孔隙含水岩组之下。含水岩组总厚 35~ 185 m, 该含水岩组中, 实际含水段只是一些埋深和厚度不等的透镜状含水层。这些含水层与上部含水岩组之间, 无明显稳定隔水层存在, 但含水层结构与透水性具明显差异, 富水性

极不均一。

1.2 地下水水化学组成及特征

第四系全新统(Q₄)孔隙潜水, 水质类型多以 HCO₃-Ca 型水和 HCO₃·SO₄-Ca 型水为主, 局部受人为影响, 硫酸根、氯离子增高。矿化度普遍较低, 为小于 1 g/L 的淡水, 少数受污染后大于 1 g/L。第四系上更新统(Q₃)孔隙水, 广布于工作区浅部。化学类型多为 HCO₃-Ca·Mg 型和 HCO₃·SO₄-Ca 型水为主。第四系中、下更新统(Q₂、Q₁)孔隙水, 埋藏于深部, 水质类型均为 HCO₃-Ca 型水, 矿化度小于 1 g/L。

地表水水化学特征: 区内河流, 除江安河受上游污染外, 入境前水质较好, 多为 HCO₃-Ca·Mg 型水, 矿化度均小于 1 g/L, 硬度小于 17 的软水。

2 地下水中铁、锰含量分布规律及形成环境

2.1 成都市地下水铁离子分布规律

表 1 为 1991~ 2000 年成都市各监测点地下水铁锰离子平均值, 对照图 2 监测点的分布位置, 研究区内东南、西南部的铁离子含量较高, 平均达到 1.69 mg/L, 远高于 0.3 mg/L 的 GB5749-85 规定, 近年来, 由于政府对成都市地下水污染治理的重视和工厂排放污水的控制, 整体上呈逐年减少的趋势(以图 3 W9897 监测点为例)。位于研究区的中部、东北部和西北部地区, 铁离子的含量在 0.15 mg/L 左右, 只有局部地区检测发现结果偏高现象(例如成都市北门的俯河附近的值就达到 1.6 mg/L), 铁离子和地下水 pH 值呈非线性负相关关系(见图 1; 84 至 108 号点位是从成都南部到北方向依次分布), 以上影响因素受影响于成都市地形地貌、地下水赋存的含水层岩性、地下水补给、径流、排泄等特有的水文地质条件。

* 收稿日期: 2006-06-06

作者简介: 任陶军(1980-), 男, 硕士, 研究方向为环境水文地质。

表 1 1991- 2000 成都市地下水铁锰离子浓度各监测点平均值

监测点	监测地点	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	PH
		/(mg·L ⁻¹)	/(mg·L ⁻¹)	/(mg·L ⁻¹)	
W0298	成都市青苏乡百仁七队一队	0.08	0.1	0.05	7.1
W0693	成都市青羊区营门口草堂四组园林科研究所	0.05	0.05	0.03	7.1
W1198	成都市金牛区成彭公路	0.05	0.05	0.01	7.6
W1199	成都市白果林小区水文队宿舍(金牛)	0.05	0.05	0.01	7.3
W1101	成都市凤凰山种牛场内	0.05	0.05	0.1	7
W0001	成都市金牛乡淳风村天成寺小学旁	0.05	0.05	0.04	7.2
W0002	成都市青羊区方正街	0.06	0.17	0.1	7.2
W0799	成都市和平乡新仁二组	0.07	0.07	0.01	6.9
W0796	成都市成华区万年场	0.05	0.11	0.01	7.2
W0601	成都市金牛乡青江三组(金牛)	0.04	0.25	0.01	7.2
W0604	成都市武侯区石羊乡石羊小学校内	2.33	1.37	0.05	7
J0697	成都市九四信箱内(金牛)	0.06	0.05	0.03	7.8
J0698	成都市永丰乡南郊九队电缆厂内(锦江)	0.05	0.05	0.01	7.2
W1186	成都市武侯区桂溪乡永安村	0.1	0.05	0.01	7.2
W0688	成都市簇桥乡六大队二队(武侯)	0.98	2.29	0.31	7
W0689	成都市武侯区簇桥乡十村八组	0.45	1.01	0.01	7.1
J1190	成都市武侯区成都科技大学内	6.62	0.32	0.15	7.2
J1191	成都下沙河堡起重电机厂内(锦江)	0.07	1.21	0.29	7.2
J1191	成都市锦江区牛市口东大路配件厂	1.11	0.95	0.28	7.6
J1395	成都市电子科技大学内	0.05	0.05	0.01	7.6
J1396	成都市东大街 43 号农业银行内(锦江)	0.05	0.05	0.01	7.2
W0292	成都市双流县机投乡五村一组	0.06	0.05	0.01	7.2
W0293	成都市青羊区苏坡乡红碾子	0.05	0.05	0.01	6.9
B0000	成都市黄田坝西口塘角	0.51	0.05	0.07	8.1
B0602	成都市风源机械厂	1.45	0.22	0.09	7.9
J1090	成都市武侯区省财政校	0.05	0.05	0.02	7.1

2.1.1 铁离子分布的地质背景

研究区处于成都平原的东南部,岷江冲洪积扇的东南边缘,区内地势西北高,东南低,地面高程自 516~ 532 m 至 484~ 487 m,最高处于郫县太和场东,高程 532 m,最低处三瓦窑南崩河坎,高程 484 m。沿河地带因河、渠侵蚀,形成北西—南东向低于扇面 1~ 2 m 的条形槽地,使扇行平原呈微有起伏的波状平原地形。

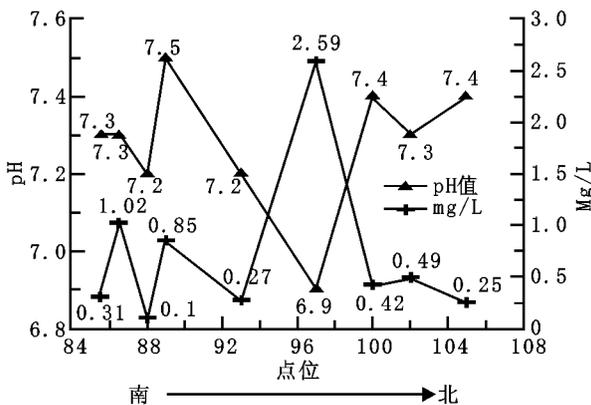


图 1 2002 年地下水铁离子分布及与 pH 相关图

第四系孔隙含水岩组,广布于全区,自上而下为一套透水性差异较大,具有统一水力联系的孔隙含水岩组组成。由于受基底地形起伏与隐伏构造的控制,其含水层岩性结构、厚度与富水程度,浅部与深部,东部与西部差异甚大。地表土层除东郊、南郊分布的上更新统下段(Q₃₁)表层黏土厚度较大,渗透条件较差外,其余大面积砂黏类土,分布区厚度仅 2~ 3 m,下部含水层易于接受降雨,稻田水的渗入。区内自北西而南东共有河流 9 条,其中府河、南河、沙河(简称三河)

斜贯市区。

此外尚有支流及纵横交错、密如蛛网的各级渠道,它们不同程度的切入上部土层或其下的砂砾卵石层,使得河渠与地下水之间具有密切的水力联系,西北部的降雨渗入地下,可以形成良好的径流条件,地下水运移距离长,随着运移过程中的水岩的交互作用,到达成都东南部的的水溶滤了大量的含铁或含锰矿物,这里的铁锰离子就相对较高。密集分布在成都市东南部的工矿企业,排放的工业废水(含铁锰)也正是通过上述渠道扩散。

2.1.2 地下水铁离子形成环境

得天独厚的自然条件,农业发达,地质体中含有丰富的有机质,其含水层中夹有淤泥质亚黏土,使含水层尤其是中层承压水水流滞缓处于强还原环境,有利于含铁矿物的溶解。地下水中 CO₂ 含量较高、pH 值较小的酸性环境也有利于 Fe()还原为 Fe()以及 Fe()化合物的溶解。

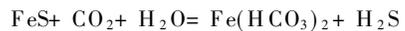
第四系全新统孔隙潜水,埋藏于沿河呈带状分布的近代河流松散堆积砂层、砂砾卵石层孔隙含水层中。地下水埋藏较浅,与地表水水力联系密切,补给排泄条件良好,水质类型多以 HCO₃-Ca 型水和 HCO₃·SO₄-Ca 型水为主,而第四系中、下更新统(Q₂、Q₁)孔隙水埋藏于深部,于上更新统含水层之下,水交替循环条件差,含水层富水性较弱,除原生铁、锰含量略高外,不易直接受外界第二环境污染,因此,水质较好,因此呈酸性的地下水对岩层中二价铁的氧化物起溶解作用,在水的循环中,部分降水由地表渗入地下的过程中,经过富含有机物的表层土壤,含有碳酸的地下水在通过地层的过滤过程中,能逐渐溶解岩层中二价铁的氧化物而生成可溶性的重碳酸亚铁:



第四系地层的松散堆积砂层、砂砾卵石层孔隙中富含的有机质,当有机物发生厌氧反应,产生相当数量的硫化氢、二氧化碳和沼气,地层中的三价铁被还原为二价铁而溶于水中,三价铁的氧化物被硫化氢还原的过程如下:



生成的硫化铁在碳酸的作用下溶于水中:



研究区内地表全被第四系覆盖。第四系上部主要为黏质砂土、砂质黏土,下部主要为砂砾石层。该层局部地段富集铁锰,砂石表面多裹附褐色铁锰膜。这些铁质通过以上途径进入地下水是该地区铁的主要来源之一。

铁、锰的超标率均较稳定,它们除次生污染外,并伴有原生污染,这是由于砂砾石层中含有原生质铁、锰氧化后进入地下水中所造成(表 3)。

2.2 锰的分布规律及形成环境

区内锰离子分布城区高于郊区,东城区高于西城区,在平面方位上东高西低,南高北(东北除外)低(图 4),整体分布上呈逐年增加的趋势(以图 5 W987 监测点为例)。锰离子含量大部分低于 0.1 mg/L,在 0.01~ 0.09 mg/L 之间,只有个别地方达到 1.6 mg/L 左右。由于锰是变价元素,价态的改变可引起离子性质的变化,导致其化学性质发生变化。锰离子随电价增高而离子半径逐渐变小,离子电位和电负性相应增高,引起离子的非金属性增强,表现在锰的氧化物性质上,由碱性(低价态)向酸性(高价态)变化。

在基岩分布区,地下水锰离子的迁移富集规律,除了与含水介质成分,径流条件有关外,主要是受氧化环境控制。这些地区的岩石中含有含锰的物质,当岩石遭受强风化、分解、溶滤作用时,岩石中的锰矿物如锰矿就会释放出锰离子。

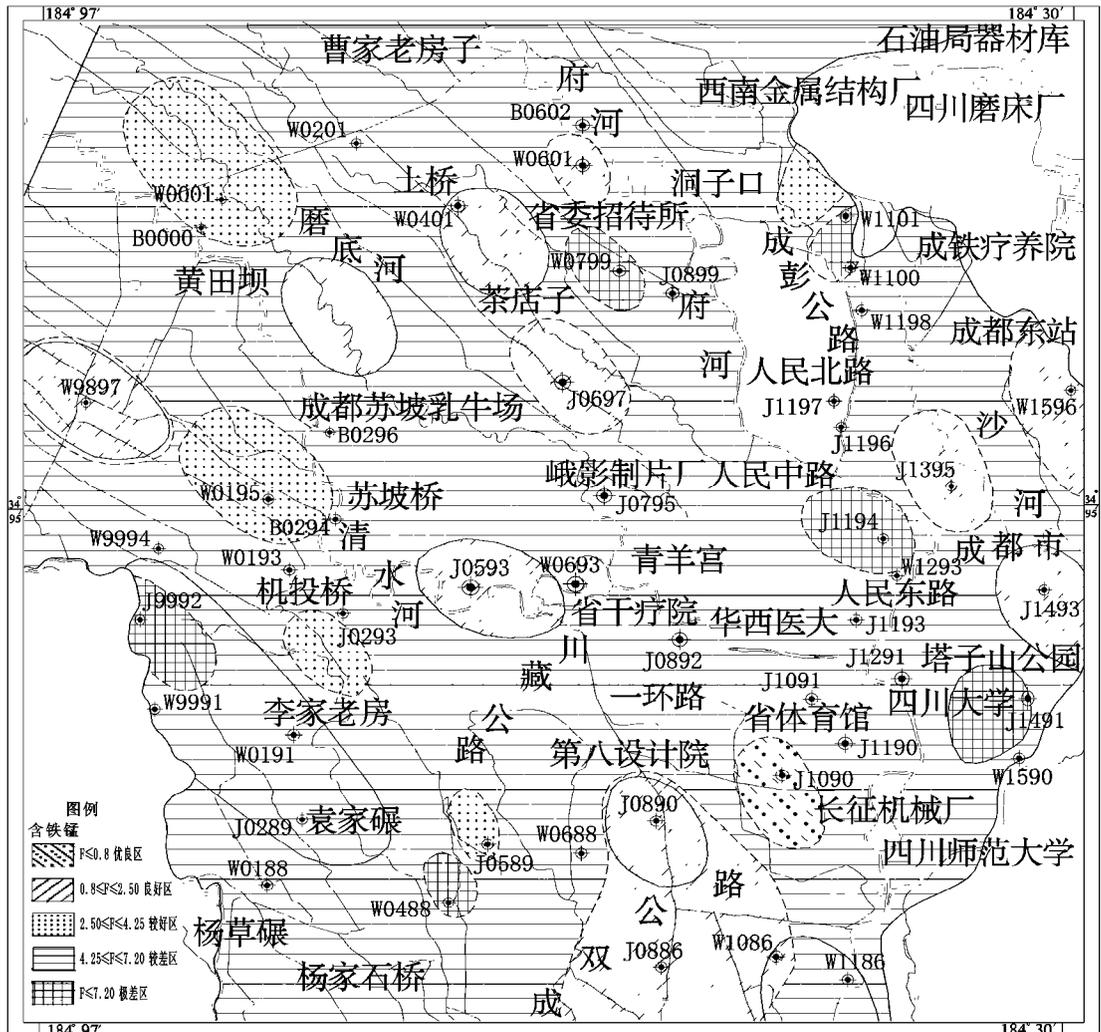


图 2 成都市 1991~ 2000 年地下水各监测点铁锰含量均值分布图

表 2 监测点 W9897 各参数年际值表

时间	Fe ³⁺ /(mg · L ⁻¹)	Fe ²⁺ /(mg · L ⁻¹)	Mn /(mg · L ⁻¹)	pH
1989-03-11	0.05	0.45	0.02	6.9
1990-08-20	0.03	0.26	0.02	6.9
1991-08-17	0.09	0.72	0.02	7.3
1992-03-23	0.07	1.54	0.178	6.9
1993-08-12	0.08	2.12	0.049	7
1993-08-14	0.08	2.12	0.049	7
1994-03-23	0.8	0.51	0.01	7.2
1995-03-15	0.19	0.92	0.01	7.1
1995-07-14	0.34	1.25	0.016	7.3
1996-03-12	0.07	0.72	0.017	7.2
1998-03-25	0.05	0.05	0.334	7.4
1999-03-10	0.05	0.05	0.591	7.5
1999-08-04	0.05	0.93	0.788	7.1
2000-03-15	0.12	0.05	0.08	7.2
2001-07-25	0.05	0.05	0.878	7.4

区域浅部均为第四系堆积属松散工程地质岩土, 下伏基岩为白垩系灌口组 K_{2g} 紫红色砂质泥岩, 泥岩粉砂岩和泥岩, 不等厚互层, 顶部半风化或强风化, 强风化带 2~ 5 m, 加上大气降雨补给条件较好, 属氧化环境, 特别是碳酸盐岩和

碎屑岩分布区, 氧化作用更为强烈, 因此, 即使地下水中锰离子有大量的来源, 但在强烈的氧化作用下, 主要以高价的 Mn⁴⁺ 形式存在并易形成难溶的氢氧化物沉淀。总体来说, 研究区中锰离子的含量较低。

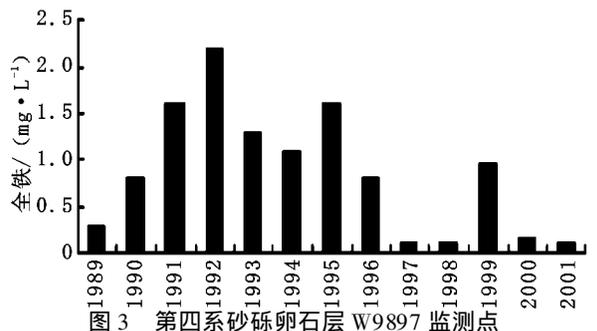


图 3 第四系砂砾卵石层 W9897 监测点

铁离子浓度年际变化图

表 3 铁锰离子超标率一览表

离子	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	多年平均
总铁	25.2	31.4	29.3	27.7	23.6	29.1	25.0	7.2	24.81
锰(Mn)	26.1	41.4	44.7	33.3	41.9	34.8	36.5	26.3	35.62

注: 超标率 = $\frac{\text{超标井数}}{\text{总监测井数}} \times 100\%$ (监测单位 四川省地质矿产局成都水文地质工程地质队)

地层中的含锰质矿物, 在还原条件下转化为 Mn(II), 通过 CO₂ 的作用溶入地下水中。有机物质和硫化氢在地下水中都是较强的还原剂, 使得高价锰还原为低价锰。

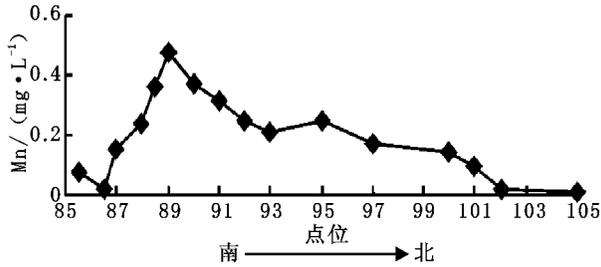


图 4 2002 年成都市地下水 Mn 离子分布图

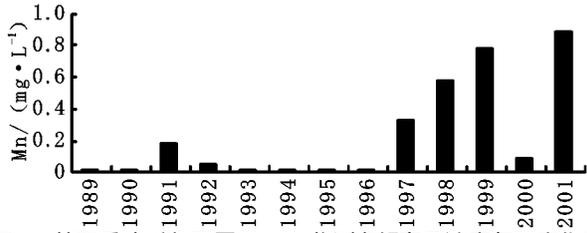


图 5 第四系砂砾卵石层 W9897 监测点锰离子浓度年际变化图

参考文献:

[1] 赵春梅, 齐刚, 等. 大庆市地下水中铁、锰变化规律及形成 [J]. 黑龙江环境通报, 2002, 26(3): 27- 28.
 [2] 李磊, 秦福刚, 等. 宿州市地下水含铁量高浅析 [J]. 地下水, 2004, 26(4): 260- 261.
 [3] 朱礼学. 成都平原西部元素的分布特征及其研究意义 [J]. 四川地质学报, 2000, 20(3): 225- 229.
 [4] 曾昭华. 长江中下游地区地下水中化学元素的背景特征及形成 [J]. 江西地质, 1993, 7(3): 262- 268.
 [5] 沈照理, 等. 水文地球化学基础 [M]. 北京: 地质出版社, 1993. 90- 115.
 [6] 四川省地质矿产局成都水文地质工程地质队. 成都市 1: 2.5 万综合水文地质工程地质勘察报告 [R]. 1990.

(上接第 210 页)

核心依次增大,从 2002~ 2003 年,经过两年封育后固定样地的多样性指数和均匀度指数排序发生变化:边缘> 核心> 外围(对照)。从 2003 年开始到 2004 年,样地内的多样性指数和生态优势度的排序未发生变化,但是均匀度指数明显变化为:边缘> 外围(对照)> 核心。到 2005 年样地内的 SW 指数排序和 2003 年 2004 年相同,但是 SW 比 2003 年又较大幅度的减少,SN 和 Js 指数在 2005 年的排序均变为:核心区> 外围区> 边缘区。到 2005 年为止边缘区的生态优势度和植被均匀度都降低。发生这种状况的主要原因是盐池地区

参考文献:

[1] 唐志海,黄少军,周更生,等.封育对宁夏灵武市山沙区荒漠化草原植被恢复作用的研究 [J]. 内蒙古林业科技, 2005, (2): 6- 8.
 [2] 杨持. 生态学实验与实践 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. 91- 92.
 [3] 高贤明,马克平,黄建辉,等.北京东灵山地区植物群落多样性的研究 山地草甸β 多样性 [J]. 生态学报, 1998, 18(1): 24- 32.
 [4] 彭少麟,周厚诚,陈天杏,等.广东森林群落的组成结构数量特征 [J]. 植物生态学与地植物学报, 1989, 13(1): 10- 17.
 [5] 彭少麟,方炜,任海,等.鼎湖山厚壳桂群落演替过程的组成和结构动态 [J]. 植物生态学报, 1998, 22(3): 245- 249.
 [6] 曹成有,寇振武,蒋德明,等.科尔沁沙地丘间地植被演变的研究 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 262- 267.
 [7] 曹成有,蒋德明,阿拉木萨,等.科尔沁沙地沙漠化过程中植被退化的研究 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(suppl): 25- 29.
 [8] 曹成有,南寅镐,骆永明,等.科尔沁沙地典型沙质草甸植被退化特征的研究 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(suppl): 21- 24.
 [9] 曹成有. 科尔沁沙地退化生态系统植被恢复与重建机制的研究 [D]. 北京: 中国科学院沈阳应用生态研究所, 2002. 58- 61.
 [10] 马克平,刘灿然,刘玉明.生物群落多样性的测度方法: β 多样性的测度方法 [J]. 生物多样性, 1995, 3(1): 38- 43.
 [11] Li Xin-rong. Study on shrub community diversity of Ordos Plateau Inner Mongolia, Northern China [J]. Journal of Arid Environments, 2001, 47: 271- 279.
 [12] Bray J R, Curtis J D. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin [J]. Ecological Monographs, 1957, 27: 325- 349.
 [13] Wolda H. Diversity, diversity indices and tropical cockroaches [J]. Oecologia, 1983, 58: 290- 298.
 [14] Magurran A E. Ecological Diversity and its measurement [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988.

3 结论

(1) 铁锰离子的分布有一定的相关性,平面分布上具有相似的增减趋势(图 1、图 4),总体上都是从南向北减少,城区高于郊区,东城区高于西城区,东南部和西南部的铁、锰离子含量较高,中部、东北部和西北部地区含量较低。只有局部地区检测发现结果偏高现象。其中铁离子远高出我国饮用水标准。锰离子含量研究区内大部分低于 0.1 mg/L,仅个别地方达到有超标现象。

(2) 铁锰离子时间分布上却表现为负相关性(图 3、图 5),铁离子基本呈逐年减少,而锰的含量却有递增的趋势。同时铁和 pH 值也存在相反的变化趋势(表 2; 以监测点 W9897 为例)

(3) 研究区地下水铁锰离子主要来源之一是本体母岩的溶滤,以及酸碱性条件改变对铁锰离子的激发。酸性条件、还原环境、HCO₃⁻ Ca 为主的水化学类型以及地下水的补、径、排条件都利于铁离子的富集。

连续两年的春旱。前 3 年的数多样性指数变化表明人工封育是一种有效经济恢复植被的方法,对破坏程度较轻的地段通过人工封育,可使退化植被在较短期内得迅速的恢复。

(3) 盐池 4 年来的数据显示在不遭受极端气候的条件下,封育是一种有效的植被恢复措施,在充分利用其自然恢复能力的前提下,同时辅以人工补植树草种,进行设施围栏、人工管护,封育区内的植被可以得到很好的恢复,物种结构也更加合理,并且可以逐步趋向可以利用的稳定且持久的合理结构。