

# 城镇化区域滨海地下水重金属污染特征研究

戴伯英

广州市增城区供排水管理中心

**摘要:** 地下水资源是支撑经济社会可持续发展的重要战略资源, 随着城镇化的快速推进和工业化的不断发展, 土壤和地下水的重金属污染问题日益凸显。以深圳市某滨海区域含水层为研究对象, 通过野外采样、实验室监测、化学计量分析、污染指数评价, 开展地下水重金属污染特征研究, 揭示在人类活动影响下, 地下水重金属随着时空推移污染呈现愈来愈严重的趋势。

**关键词:** 城镇化; 地下水; 水化学; 重金属

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.13.111

地下水是我国水资源的重要组成部分, 占全国水资源总量的1/3, 是支撑经济社会可持续发展的重要战略资源。随着我国社会经济的发展, 我国地下水污染问题日益凸显, 地下水污染正从点状到条带状, 再向面状发展, 由浅层向深层渗透。近年来, 由于垃圾渗滤液、农药化肥使用、石油及化工工业污染等原因, 重金属污染从地面渗透到地下含水层中, 对区域的地下水造成了严重的污染。以深圳市某滨海区域含水层为研究对象, 探讨区域地下水重金属污染时空分布特征研究, 为地下水污染防治工作提供基础保障。

## 一、研究背景

水体的重金属污染已成为全球性的地下水污染问题。国内外学者为此也展开了大量的研究工作。国外最先开展水体重金属研究的河流有欧洲的莱茵河、以色列和约旦交界的死海、美国的洛杉矶湾等<sup>[1]</sup>。随着20世纪爆发的几宗因重金属污染而导致的群体性疾病如日本的水俣病和骨痛病, 和英国威尔士南部港口城市斯旺西的重金属污染等欧洲范围内的重金属污染危害问题, 引起了越来越多学者对重金属的环境问题的深入研究。而这些重金属的环境来源主要是地质风化作用、城市地表径流、工业废水、采矿废水、生活污水以及农业面源污染<sup>[2]</sup>。臧星华<sup>[3]</sup>研究发现浑河流域沈抚段区域地下水中As、Cd、Pd浓度较低且可能来源于自然源, Cr、Ni重金属污染可能来源于农牧业的生产加工; 魏兴等<sup>[4]</sup>研究发现喀什地区西部地下水重金属Mn、Fe超标区域呈面状分布且范围大。

## 二、技术路线

研究区域地形呈东北高西南低, 地貌上属于低山丘陵滨海区, 气候属亚热带季风气候, 地下水类型包括第四系孔隙水与基岩裂隙水。区域内重点污染源有工业污染源62个, 加油站21个, 垃圾填埋场1个、高尔夫球场1个、危险废物处置场1个。选取有代表性和控制性的地下水类型(包括饮用水源地地下水、居民生活区地下水、工业园区地下水、垃圾站周边及加油站周边地下水)共57口现有水井进行采样检测。利用地下水调查数据, 通过化学计量分析、时空变化分析和污染指数评价等方法探讨了研究区地下水重金属污染现状和成因。

## 三、地下水重金属污染特征分析

随着电镀、冶炼、采矿、化工等工业行业的发展, 产生含有大量重金属的废水、粉尘、废渣, 水文循环过程中重金属进入到向地下水。为此, 本次调查选取生物毒性显著的砷(As)、铬(Cr)、铅(Pb)、镉(Cd)、铁(Fe)、锰(Mn)、镍(Ni)7种重金属作为主要分析指标, 对其开展浓度测定、时空分布研究和污染评价。

### (一) 总体特征

7种重金属元素在样本中均有检出, 表3显示地下水重金属浓度平均值大小: Fe>Mn>Cr>As>Ni>Pb>Cd。Cd在各检测点的含量均较低; Cr在不同检测点位浓度差别相对较大, 浓度范围是3-9 μg/L; Ni和Pb在不同检测点位的浓度差别不大; As在不同点位浓度差别相对较大, 主要浓度范围是0-10 μg/L。地下水中Fe和Mn的平均含量较高, 区域差别较大, 其中Fe度范围是3-300 μg/L, Mn浓度变化范围是1-200 μg/L。

表1 研究区地下水主要重金属含量统计表

| 金属元素 | 浓度      |      |        |        |      |
|------|---------|------|--------|--------|------|
|      | 最大值     | 最小值  | 平均值    | 中位数    | 检出率  |
| Cd   | 0.38    | 0.00 | 0.04   | 0.03   | 95%  |
| Cr   | 17.07   | 0.73 | 6.33   | 5.64   | 100% |
| Mn   | 569.86  | 0.66 | 89.05  | 44.39  | 100% |
| Ni   | 28.15   | 0.21 | 2.93   | 1.78   | 100% |
| Pb   | 7.86    | 0.00 | 0.30   | 0.11   | 96%  |
| As   | 38.04   | 0.25 | 4.96   | 2.01   | 100% |
| Fe   | 2687.66 | 3.60 | 207.39 | 144.33 | 100% |

### (二) 重金属空间分布特征

重金属空间分布存在差异, 其中As主要分布在西北部和西南部; Cd、Mn和Ni分布规律相似, 主要分布在东北部; Fe主要分布在中部偏东; Cr、Pb主要分布在西北部(图1)。

### (三) 重金属污染特征

对Fe、Mn含量超过地下水Ⅲ类水质标准中规定限值的情况着重分析。在不同类型井中, 铁、锰超Ⅲ类水质比率存在明显差异。山泉井中, 铁、锰均未超Ⅲ类水质标准; Mn在工业井中超Ⅲ类水质比率最大为60%, 农业井和生活井均低于15%; Fe在工业井中的超Ⅲ类水质比率也最大, 为30%, 农业井次之, 为20%, 生活井只有2.94%(图2)。

### (四) 地下水重金属污染评价

采用综合污染指数法对检测水样中7种重金属污染按地下水Ⅲ类水质标准进行综合评价<sup>[5]</sup>。其中, 达到清洁的水质所占比重最大, 为73.68%, 其次是轻度污染10.52%, 中度污染和重度污染比重均小于10%, 警戒线

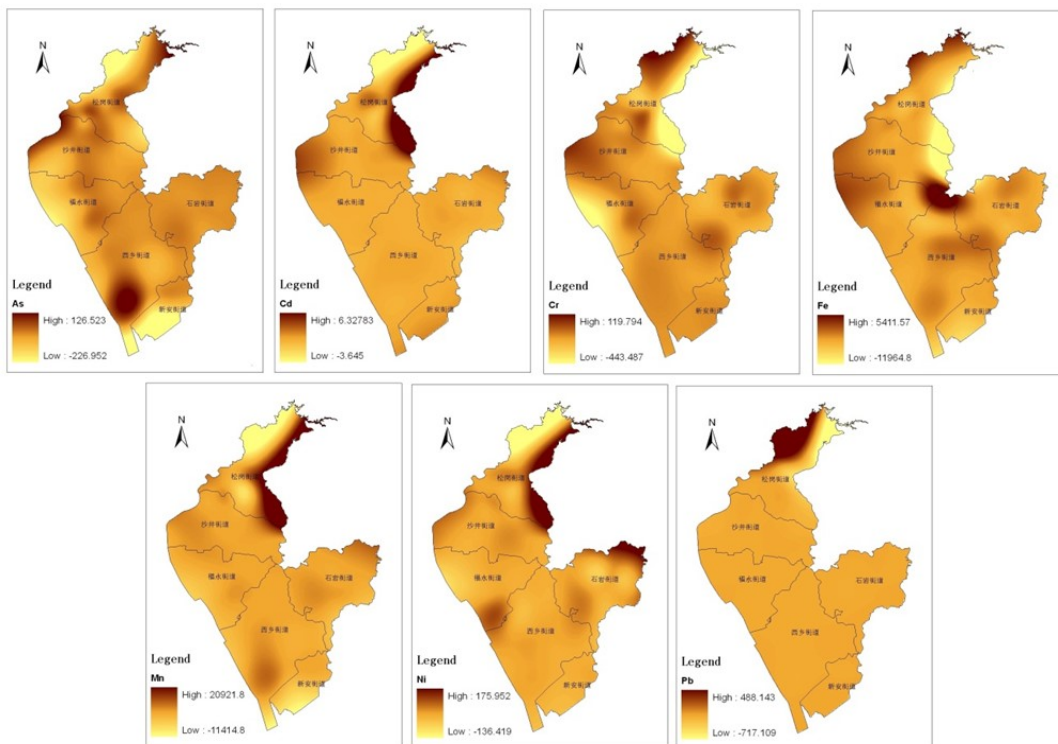


图1 研究区域地下水7种重金属分布插值图

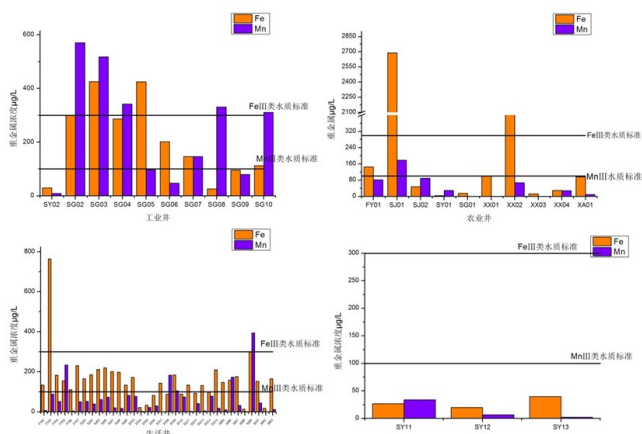


图2 不同类型地下水Fe、Mn分布图

最低为1.75%。在不同类型井中，山泉井达到的清洁的比例为100%，其次为生活井和农业井，约为80%，工业井达到清洁的比重最低仅有30%。工业井的重度污染的比重最大为20%，农业井为10%，生活井仅有2.94%。工业井的中度污染比重也最大，为30%，农业井为10%，生活井仅有2.94%。可见，受重金属污染最大的是工业井，其次是农业井和生活井，山泉没有受到重金属污染。

#### 四、地下水水质时空变化分析

##### (一) 时间变化特征

在地下水形成过程当中，受水文、气象以及人为因素影响，地下水的化学组分含量随着时间推移而变化。通过比较不同时期和不同地区和该区域地下水水质状况，研究人类活动对地下水水环境的影响。选

取八十年代区域水文地质普查资料，对该区域地下水TDS、Fe、Mn指标的时间差异性进行比较分析（图3）。与八十年代相比，溶解性总固体TDS略有增长；而重金属离子Fe、Mn均出现浓度减小的现象，且Mn的减小倍数大于Fe。

##### (二) 区域间差异特征

选取受人类干扰少的对岸新区进行区域间地下水水质的对比分析（图4）。结果表明，除Cd、Pb、Se外，研究区其他重金属含量均高于新区，尤其是Fe、Mn、Cu、Mo、Ni，分别为新区该三种重金属浓度的376.1、27.4、23.4、13.6、13.3倍。这些结果表明受人类活动影响，研究区地下水重金属浓度显著增大。

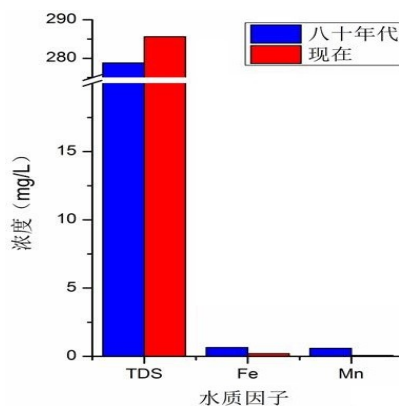


图3 水质指标时间变化对比图

此外，选取受人类活动干扰较少的北部水库周边林地中井水、东部重金属含量低区域山泉水井作背景，通过与其他区域工业井、农业井和生活井地下水平均值做

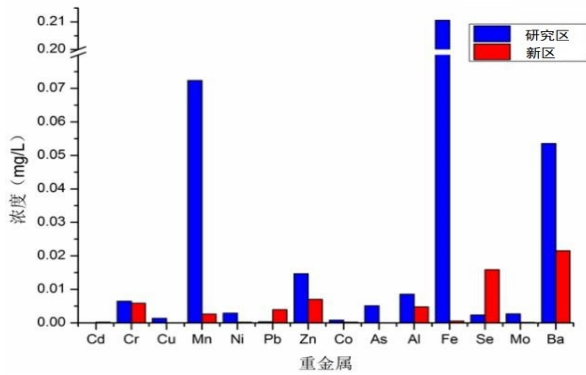


图4 研究区与新区地下水重金属含量对比图

对比, 研究人类工农业活动对局地地下水水质的影响(图5)。结果表明, 其他区域地下水中重金属含量明显高于背景值, 其中Cd、Cr、Mn、Ni、Pb、As、Fe含量是背景值的2.57、2.51、8.70、5.52、1.56、7.98、6.83倍。

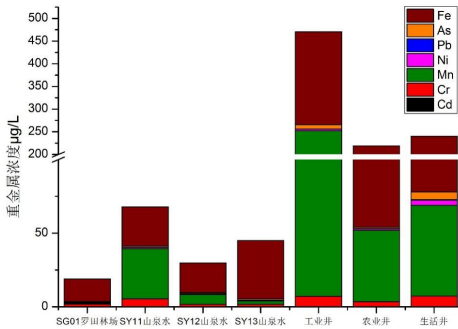


图5 不同类型地下水中重金属含量对比

### (三) 地下水重金属污染成因分析

电镀类工业是造成地下水重金属As、Cr、Ni含量增加的重要原因。地下水重金属总量具有明显区域差异性, 北部地区地下水重金属含量高, 而西南部地区地下水重金属含量低。对重金属进行主因子分析(如图6), 本3组泉水均位于东侧山区, 属于降雨形成山泉水, 泉水中7种重金属均重金属含量低, 而工业井地下水明显受As、Cr、As、Ni、Mn重金属污染, 工业活动和工业污水排放是造成地下水重金属含量增加的主要原因。

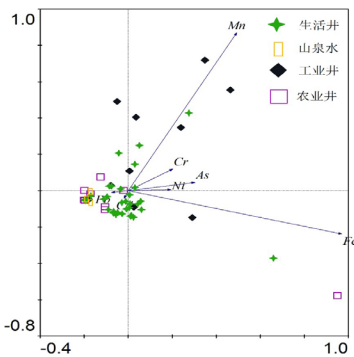


图6 研究区地下水重金属含量CCA分析图

将调查重点污染源清单和地下水重金属含量插值图叠合(如图5), 电镀类工业区周边是地下水重金属As、Ni、Cr浓度高值区。本次调查的工业污染源有97%属于印刷电路板制造或金属表面处理及热处理加工行业, 主要污染物电镀工艺中产生的Ni、Cr等重金属以及氰化物, 而这些工业污染源主要分布在西北部地区(检测点位共53个), 工业企业集中分布区周边地下水也是As、Ni、Cr重金属和总重金属浓度高值区。这些结果表明, 电镀类工业生产和工业污水排放可能是浅层地下水As、Ni、Cr重金属浓度增高的主要原因。

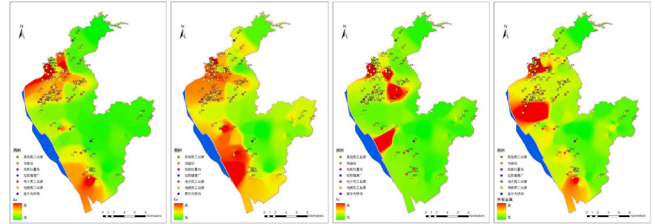


图5 地下水重金属含量插值与主要污染源分布图

### 五、结语

(1) 总体而言, 该区域地下水重金属污染较重, 主要原因是工业污染特别是电镀类工业的污染, “三废”的排放量不断增加, 使区域内的河流不同程度地受到污染, 进而影响到其附近的第四系潜水。

(2) 该地区地下水重金属总量分布呈现出北高南低的态势, As主要分布在西北部和西南部; Cd、Mn和Ni主要分布在东北部; Fe主要分布在中部偏东; Cr、Pb主要分布在西北部。

(3) 地下水重金属浓度平均值大小依次是:  $Fe > Mn > Cr > As > Ni > Pb > Cd$ , 其中Fe、Mn含量超地下水质量标准III类水标准值最为严重。

(4) 地下水重金属综合污染评价显示该地区地下水主要以清洁为主, 但西北部部分存在重度重金属污染的区域; 地下水健康风险评价表明, 该区域地下水无论是作为饮用水源还是与人体进行皮肤接触, 重金属锰(Mn)、镍(Ni)、铅(Pb)、铁(Fe)的非致癌风险均较小, 可接受范围; 但是砷(As)和铬(Cr)存在致癌风险, 需加强防范, 不宜饮用, 减少接触。

### 参考文献

- [1] 吴兴让. 珠江广州段水体微表层与次表层中多环芳烃和重金属分布规律的研究[D]. 暨南大学, 2010.
- [2] 张芳. 农村地下水重金属特征及健康风险评价研究[D]. 河北师范大学, 2013.
- [3] 臧星华. 城镇化进程中典型金属的污染特征及其风险评价. [D]. 北京交通大学, 2017.
- [4] 魏兴, 周金龙, 曾妍妍, 等. 喀什地区西部地下水重金属空间分布特征及成因分析[J]. 环境化学, 2017, 36(8): 1802-1811.
- [5] 雷鸣, 曾敏等. 某矿区土壤和地下水重金属污染调查与评价[J]. 环境工程学报, 2012, 6(12): 4687-4693.

作者简介: 戴伯英(1989—), 女, 研究生, 工程师, 主要从事给排水管理等工作。