

银川平原北部高砷地下水水文地球化学特征

郭琦^{1,2)}, 郭华明^{1,2)}

1) 中国地质大学(北京)地下水循环与环境演化教育部重点实验室, 北京, 100083;

2) 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京, 100083

砷是地下水中常见的污染物, 当今世界有数亿人口受到原生高砷地下水的影响^[1]。原生高砷地下水引起的地方性砷中毒, 受到了国际水文地球化学界的广泛关注。长期暴露高砷地下水(>50 μg/L)会引发人体细胞癌变、心血管疾病并抑制儿童大脑发育^[2]。

银川平原属我国西北典型干旱内陆盆地, 是我国高砷地下水分布区域之一。研究区位于宁夏石嘴山市, 由西至东分为三个区域, 区域一为山前洪积扇, 北部、西部毗邻贺兰山东麓, 南部至石嘴山北郊, 东部至简泉农场。区域二、三位于东部的黄河西岸, 为冲积泛滥平原, 以昌渠为界, 北部旱田, 南部水田。本文以 2012 年野外调查、实验室分析结果为基础, 结合水文地球化学特征分析, 旨在探究银川平原北部高砷地下水成因。

1 样品采集与分析方法

2012 年 7 月, 采集地下水样品 92 组(山前洪积扇 40 组, 旱田 28 组, 水田 24 组)。水样现场过 0.45 μm 滤膜。现场测定水温(T)、电导率(EC)、pH、ORP 等不稳定水化学指标。碱度测量参照 Gran titration 方法。采集的水样放入便携冰箱低温保存, 送往实验室冷藏, 两周内进行测试分析。阳离子利用 ICP-AES (Thermo iCAP6000) 检测, 阴离子利用 IC (Dionex ICS2000) 检测, 砷形态利用 HPLC-AFS 检测。

2 结果与讨论

山前洪积扇 40 组地下水样品中, 仅一组水样砷含量达到 18.4 μg/L, 其余水样砷含量均低于 1.0 μg/L。旱田 28 组地下水样砷含量范围为 <1.0 μg/L ~ 105.0 μg/L, 平均值 40.2 μg/L, 检出率

97%。水田 24 组地下水样砷含量范围为 <1.0 μg/L ~ 45.2 μg/L, 平均值 26.4 μg/L, 检出率 96%。研究区地下水中砷含量, 山前洪积扇普遍低于仪器检出限, 旱田高于水田(图 1-b)。

研究区高砷地下水化学类型, 山前洪积扇以 Ca-Mg-SO₄ 型为主, 位于黄河西岸的旱田和水田以 Na-HCO₃ 为主。三个区域的地下水 pH 值(≈7.7)基本相同, 山前洪积扇地下水中砷含量较低, Ca、Mg、SO₄²⁻ 含量较高(图 1-a), ORP 值较高, 约为 50~200 mV(图 1-b)。黄河西岸的旱田和水田地下水中砷含量较高, Na 含量较高, SO₄²⁻ 含量较低(图 1-a), ORP 值较低, 约为 -25~-125 mV(图 1-b), 此外, 其地下水中 NO₃⁻ 与 SO₄²⁻ 含量较低, 而 NH₄⁺ 与 S²⁻ 及 Fe²⁺ 含量却维持在较高水平。地下水中砷含量与 ORP 值具有较好的负相关关系(图 1-b)。

山前洪积扇位于地下水补给区, 地形坡度大, 沉积物以砂砾石等粗粒结构为主, 径流条件好, 地下水流动速度快。潜水埋藏深度大, 蒸发作用较弱, 地下水的化学成分形成主要是溶滤作用。由于长期溶滤作用, 补给区易溶性盐含量较低, 阳离子主要以 Ca、Mg 为主。由于降水补给, 山前洪积扇地下水中溶解氧含量较高, 地下水处于氧化环境。随着地下水向东北部黄河方向径流, 地形坡度由陡变缓, 沉积物由砂砾石渐变为砂、亚砂土、亚粘土, 地下水径流滞缓, 在阳离子交换吸附作用以及岩盐溶解情况下, 水岩相互作用强烈, Ca、Mg 含量降低, Na 含量逐渐增高。随着氧气的消耗, 地下水环境由氧化环境逐渐变为厌氧还原环境, NO₃⁻、Fe³⁺、As(V)、SO₄²⁻ 相继被还原。As(III) 相对 As(V) 具有较活泼水文地球化学性质, 所以当地下水处于还原环境时, 更有利于砷的释放。

研究发现地下水中砷与铁、锰含量存在明显的

注: 本文为国家自然科学基金项目(41222020 和 41172224)以及地调项目(12120113103700)的成果。

收稿日期: 2013-03-13; 改回日期: 2013-03-31; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 郭琦。Email: hmguo@cugb.edu.cn。

正相关关系。特别地下水中砷与铁含量的线性相关系数(R^2)达到了 0.59。这表明铁锰氧化物、氢氧化物在含水层中的还原可能影响着砷的释放。在氧化环境中,铁锰氧化物、氢氧化物表面带有正电荷,并且存在大量的吸附位,极易吸附带有负电荷的砷酸根或亚砷酸根离子,使砷不易释放到地下水中,地下水中的砷浓度维持较低水平^[3]。然而,在还原环境中,由于铁锰氧化物、氢氧化物的溶解,吸附在铁锰氧化物、氢氧化物表面的砷将会释放到地下水中^[4]。

总之,银川平原北部高砷地下水的形成主要受氧化还原条件控制,与 pH 值关系不大。铁锰氧化物、氢氧化物的还原性溶解对于砷向地下水中释放起到了至关重要的作用。

参考文献 / References

- [1] Nordstrom DK. Worldwide occurrences of arsenic in groundwater [J]. Science, 2002, 296: 2143-2145
- [2] Fendorf S., et al. Spatial and Temporal Variations of Groundwater Arsenic in South and Southeast Asia. Science, 2010, 328: 1123-1127
- [3] Guo HM, Wang YX, Grigoriy MS, Shilong Y. Natural Occurrence of Arsenic in Shallow Groundwater Shanxi, Datong Basin, China. J. Environ. Sci. Health 2003, A38: 2565-2580
- [4] Polizzotto M, Harvey CF, Sutton SR, Fendorf S. Processes conducive to the release and transport of arsenic into aquifers of Bangladesh. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2005, 102: 18819-18823

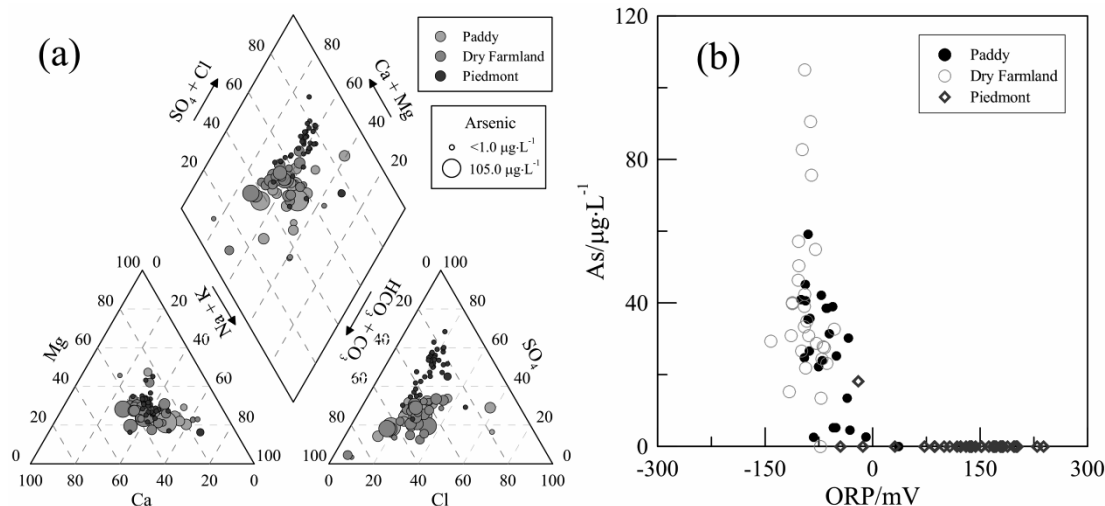


图 1 银川平原北部高砷地下水三线图(a)以及地下水中砷与 ORP 的相关关系(b)