

# 地下水采样中过滤缺失对金属组分测定误差的影响及机理分析

张威<sup>1</sup>, 韩占涛<sup>2</sup>, 孔祥科<sup>1,3,4</sup>, 刘晓宇<sup>2</sup>, 韩梅<sup>1</sup>

1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 福建 厦门 361021
2. 生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心, 北京 100012
3. 河北省/中国地质调查局地下水污染机理与修复重点实验室, 河北 石家庄 050061
4. 福建省水循环与生态地质过程重点实验室, 福建 厦门 361021

**摘要:**根据《地下水采样技术规程》(DZ/T 0420—2022)及相关文献,地下水样品测试Fe、Mn及其他金属组分时,需先用0.45 μm滤膜过滤,加酸后再送实验室测试。然而在实际采样过程中,不过滤直接将水样加入预装酸溶液的样品瓶中的做法时有发生,使得测试结果中的Fe、Mn、Al等金属元素浓度异常,导致对地下水污染程度的高估,进而造成不必要的修复成本或误导环境政策的制定。为验证地下水样品采集时缺少过滤操作环节而引起的误差问题,笔者设计了一系列对比实验,并按照《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)对结果进行评价。结果表明,在只过滤未加酸的地下水样品中,只有As、Fe、Mn三种金属组分有检出,且检测结果均低于Ⅲ类水质标准限值,而其他金属组分均未检出。在先过滤再加酸的地下水样品中,除Cd和Cu未检出外,其他金属组分均有不同程度的检出,且各组分浓度相对于只过滤未加酸样品均有所升高;Pb、Mn和Al含量超过Ⅲ类水质标准限值,其中Pb超标0.3倍,Mn超标8.8倍,Al超标0.5倍。在未过滤只加酸的地下水样品中,除部分样品中的Cd未检出外,其余组分均有检出,且检测结果显著高于先过滤再加酸的地下水样品;Pb、As、Fe、Mn和Al均超出Ⅲ类水质标准限值,其中Pb超标0.2~0.5倍,As超标0.1倍,Fe超标2.5~23.6倍,Mn超标0.6~2.2倍,Al超标8.3~18.4倍。对于未过滤只加酸的地下水样品,随着加酸后振荡时长的延长,样品中一些金属组分的浓度检测结果持续上升。综上,进行地下水样品采集时,加酸前必须严格使用0.45 μm滤膜过滤,才能保证检测结果的准确性。

**关键词:**地下水;样品采集;金属/类金属

**中图分类号:**X830.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-6002(2026)01-0126-09

**DOI:**10.19316/j.issn.1002-6002.2026.01.11

## Impact of Improper Acid Addition Without Filtration on Metal Component Analysis in Groundwater Samples

ZHANG Wei<sup>1</sup>, HAN Zhantao<sup>2</sup>, KONG Xiangke<sup>1,3,4</sup>, LIU Xiaoyu<sup>2</sup>, HAN Mei<sup>1</sup>

1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Xiamen 361021, China
2. Technical Centre for Soil, Agriculture and Rural Ecology and Environment, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China
3. Key Laboratory of Groundwater Contamination and Remediation of Hebei Province, China Geological Survey, Shijiazhuang 050061, China
4. Fujian Provincial Key Laboratory of Water Cycling and Eco-Geological Processes, Xiamen 361021, China

**Abstract:** According to the *Code of Practice for Groundwater Sampling* (DZ/T 0420-2022) and related literature, when testing groundwater samples for Fe, Mn, and other metallic components, the samples must first be filtered through a 0.45 μm membrane, acidified, and then sent to the laboratory for analysis. However, the method of directly adding unfiltered water samples to sample bottles pre-filled with acid solution occasionally occurs in actual sampling process. It might results in abnormally high concentrations of metallic elements such as Fe, Mn, and Al in the test results, resulting in an overestimation of groundwater pollution levels. Consequently, this can cause unnecessary remediation costs or misguide environmental policy formulation. To

**收稿日期:**2024-12-03; **修订日期:**2025-05-27

**基金项目:**国家自然科学基金面上项目(42077179);国家自然科学基金重点项目(42430718);中国地质科学院基本科研业务费青年英才项目(YK202303);厦门市自然科学基金项目(3502Z20227309)

**第一作者简介:**张威(1984—),女,硕士,高级工程师,ihgzhangwei@163.com。

**通讯作者:**韩占涛, hanzhantao1977@163.com。

verify the errors arising from the lack of a filtration step during groundwater sample collection, this study designed a series of comparative laboratory tests and evaluated the results according to *Standard for Groundwater Quality* (GB/T 14848-2017). The results show that in the groundwater samples with only filtration but not acidified, only three metallic components-As, Fe, and Mn- were detected, and their concentrations were all below the Class III water quality standard limits, while other metallic components were not detected. While in the groundwater samples which were filtered and then acidified, all metallic components were detected to varying degrees except for Cd and Cu, and their concentrations increased compared to the samples that were only filtered but not acidified. The contents of Pb, Mn, and Al exceeded the Class III water quality standard limits, with Pb exceeding by 0.3 times, Mn by 8.8 times, and Al by 0.5 times. In samples that were not filtered but only acidified, all components were detected (except for Cd in some samples), and the detection results were significantly higher than those from the samples that were filtered first and then acidified. Pb, As, Fe, Mn, and Al all exceeded the Class III water quality standard limits, with Pb exceeding by 0.2-0.5 times, As by 0.1 times, Fe by 2.5-23.6 times, Mn by 0.6-2.2 times, and Al by 8.3-18.4 times. For the unfiltered but acidified groundwater samples, as the shaking time after acid addition increased, the detected concentrations of some metallic components continued to rise. In conclusion, during groundwater sample collection, strict filtration using a 0.45  $\mu\text{m}$  membrane before acidification is essential to ensure the accuracy of test results.

**Keywords:** ground water; sample collection; metals and metalloids

世界上大约 10% 的淡水供应来自地下水<sup>[1]</sup>。地下水在保障居民生活用水、促进社会经济发展等方面发挥着重要作用<sup>[2]</sup>,特别是在我国北方干旱半干旱地区,地下水是重要的供水水源<sup>[3-4]</sup>。但随着环境质量的恶化,许多地下水源中的 Fe、Mn 浓度超标<sup>[5]</sup>,重金属污染问题逐渐显现<sup>[6-9]</sup>。地下水样品采集是地下水水质监测过程中非常重要的环节,采集过程的操作规范性是保障水质评价结果准确性的重要前提,操作失误会严重影响检测及评价结果。

根据《地下水采样技术规程》(DZ/T 0420—2022)及相关文献<sup>[10]</sup>,在地下水水质调查过程中,对于 Al、Fe、Mn、Cu、Zn、As 等金属/类金属组分(下文统称金属组分),在进行测试样品采集时,要先用 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤水样,加入硝酸(1:1)使其含量达到 1% 或水体样品 pH  $\leq 2$  后,再送实验室进行检测<sup>[11-13]</sup>。但在野外采样过程中,采样人员往往会简化操作流程,不过滤直接将水样加入预装酸溶液的样品瓶中<sup>[14-17]</sup>。地下水中的金属组分主要来源于土壤中的可交换态物质,而土壤中可交换态金属组分的含量与 pH 具有显著相关性,pH 越低越有利于金属有效态的溶出<sup>[18]</sup>。例如,Al 主要以铝土矿、铝硅酸盐矿石、冰晶石的形式存在,酸性环境可引起 Al 的溶出,导致水体 Al 浓度增加<sup>[19]</sup>。Mn 是地壳中普遍存在的元素,地下水中的 Mn 通常是岩石和矿物中 Mn 的氧化物、硫化物、碳酸盐、硅酸盐等在酸性条件下溶解所致<sup>[20]</sup>。因此,不过滤直接加酸会使水样中的悬浮颗粒物在酸性条件下溶解,引起 Fe、Mn、Al、As、

Cu、Zn 等金属组分浓度偏高,从而导致错误的检测结果。

近年来,随着我国地下水水质调查工作的深入,地下水样品采集测试的工作量不断加大,进行金属组分测试的地下水样品在采集过程中不过滤直接加酸问题的出现频率有所升高<sup>[21]</sup>,这可能使得测试结果出现异常,从而影响水质检测结果。为验证这一情况,笔者通过一系列对比实验分析了水样不过滤直接加酸引起的金属组分浓度检测结果升高的问题,一方面提醒地下水样品采集人员注意规范操作,另一方面为受此影响的评价单位提供参考。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验仪器

电感耦合等离子体质谱仪(美国 Agilent, 7850),电感耦合等离子体发射光谱仪(美国 PerkinElmer, Optima 8000),原子荧光分光光度计(北京海光, AFS-3100),酸度计(德国 Sartorius, PB-10),电子分析天平(瑞士 Mettler Toledo, MS105DU,  $d = 0.0001 \text{ g}$ ),恒温振荡器(上海世平, SPH-100B)。

### 1.2 实验试剂

各金属元素标准储备液:Al(GSB 04-1713-2004)、As(GSB 04-1714-2004)、Cd(GSB 04-1721-2004)、Cu(GSB 04-1725-2004)、Fe(GSB 04-1726-2004)、Pb(GSB 04-1742-2004)、Zn(GSB 04-1761-2004)、Mn(GSB 04-1736-2004),浓度均为 1 000

mg/L,均购自中国计量科学研究院。浓硝酸,优级纯,购自北京化工厂。体积比为1:1的硝酸溶液,用去离子水稀释浓硝酸制成。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 实验样品

如果地下水采样井筛网网眼过大,周围含水层中的微小颗粒就可能穿过网眼进入水井,从而混入采集的地下水样品中。考虑到地下水中的含水层颗粒主要是细颗粒,也就是黏土组分,因此选用黏土与湖泊底泥制作实验样品。

第一组地下水样品取自黑龙江省齐齐哈尔市龙江县文固达村,编号为H。采样点地处嫩江平原,周围500 m范围内均为农田和村庄,无工业污染源,其含水层为第四系砂层和黏土互层。第二组水样的制备过程是从取自河北某地48 m深度处的钻孔岩心样品中采集黏土样品,将其置于烘

箱内,在50℃条件下烘干,研磨后过0.14 mm筛,取0.5 g加入到500 mL去离子水中,制成浓度为1 g/L的黏性土悬浊液作为第二组地下水样品,编号为P。第三组水样的制备过程是将取自内蒙古自治区某地的湖泊底泥置于烘箱内,在50℃条件下烘干,研磨后过0.14 mm筛,取0.5 g加入到500 mL去离子水中,制成浓度为1 g/L的悬浊液作为第三组地下水样品,编号为Q。

#### 1.3.2 实验设计

将3组地下水样品各分为5份,分别进行不同处理,每种处理对应的样品量均为100 mL,样品编号和处理步骤见表1。为控制测量误差,每种处理均设置平行样。处理结束后,将样品送实验室测试Cd、Pb、As、Zn、Fe、Mn、Cu和Al八种金属组分的浓度,并根据《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)对测试结果进行评价<sup>[22]</sup>。

表1 实验方案  
Table 1 Experimental scheme

样品号	样品量/mL	处理步骤	振荡时长/h
H1(P1、Q1)	100	只过滤不加酸,然后在120 r/min、25℃条件下振荡	24
H2(P2、Q2)	100	用0.45 μm滤膜过滤后,加入1:1硝酸溶液,调节pH至2,并记录硝酸溶液用量,然后在120 r/min、25℃条件下振荡	24
H3(P3、Q3)	100	加入与H2(P2、Q2)等量的1:1硝酸溶液,然后在120 r/min、25℃条件下振荡	4
H4(P4、Q4)	100	加入与H2(P2、Q2)等量的1:1硝酸溶液,然后在120 r/min、25℃条件下振荡	8
H5(P5、Q5)	100	加入与H2(P2、Q2)等量的1:1硝酸溶液,然后在120 r/min、25℃条件下振荡	24

### 1.4 分析测试与质量控制

#### 1.4.1 分析测试

Cd和Pb采用电感耦合等离子体质谱仪测定,Zn、Fe、Mn、Cu和Al采用电感耦合等离子体发射光谱仪测定,As采用原子荧光分光光度计测定。

#### 1.4.2 质量控制

以每组实验的所有样品为一个批次,在每批次样品中加入空白样和空白加标样,确保空白样

和空白加标样中目标物含量的检测结果均低于检出限。采用内标法测定各组分的标准曲线,得到的决定系数( $R^2$ )均在0.999以上,证明测试方法准确可靠。根据检出限计算公式,得出Cd、Pb、As、Zn、Fe、Mn、Cu、Al的检出限分别为0.000 2、0.000 5、0.000 5、0.004、0.005、0.005、0.006、0.02 mg/L。每个样品平行测定两次,各样品测定结果的相对标准偏差(RSD)见表2。

表2 样品测定结果的相对标准偏差  
Table 2 The relative standard deviation of sample assay results

元素	H1	H2	H3	H4	H5	P1	P2	P3	P4	P5	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Cd	—	1.60	4.50	—	—	—	5.30	—	—	1.20	—	7.10	—	1.90	7.10
Pb	—	1.90	1.60	0.80	1.10	—	1.30	1.80	1.00	0.10	—	0.80	0.80	0.80	1.00
As	2.30	5.31	3.78	2.24	0.28	—	1.68	1.55	1.07	5.39	1.30	6.56	2.33	2.28	5.60
Zn	—	1.62	0.77	1.09	1.82	—	5.50	1.94	0.93	0.74	—	4.71	1.88	1.60	2.88
Fe	—	0.27	0.50	0.69	1.09	1.07	0.33	0.96	2.16	1.38	—	0.82	1.36	0.01	0.53
Mn	—	0.20	1.41	1.07	1.94	0.58	0.70	2.08	0.00	1.69	0.32	1.48	0.64	2.60	0.69
Cu	—	2.57	0.60	1.14	1.37	—	—	5.53	0.50	1.41	—	—	4.07	1.56	4.35
Al	—	1.69	0.28	0.59	0.33	—	0.69	0.53	2.50	1.24	—	0.56	0.33	0.64	0.79

注:“—”代表测定结果小于检出限,不存在RSD。

## 2 结果与讨论

### 2.1 只过滤未加酸的测试结果

只过滤未加酸的地下水样品(H1、P1和Q1)的测试结果如表3所示。由表3可以看出,只有As、Fe、Mn有检出,但浓度极低,均低于Ⅲ类水质

表3 只过滤未加酸的地下水样品(H1、P1和Q1)中金属组分的含量

样品号	Cd	Pb	As	Zn	Fe	Mn	Cu	Al
H1	ND	ND	0.002	ND	ND	ND	ND	ND
P1	ND	ND	ND	ND	0.005	0.009	ND	ND
Q1	ND	ND	0.001	ND	ND	0.008	ND	ND

注:“ND”表示未检出。

### 2.2 先过滤再加酸的测试结果

先过滤再加酸的地下水样品(H2、P2和Q2)的测试结果如表4所示。需要特别说明的是,先过滤再加酸的实验设计符合《地下水采样技术规范》(DZ/T 0420—2022)的采样要求。

由表4可以看出,除P2中的Cu以及Q2中

表4 先过滤再加酸的地下水样品(H2、P2和Q2)中金属组分的含量

Table 4 Concentration of metal components in groundwater samples filtered first and then acidified (H2, P2 and Q2)

样品号	Cd	Pb	As	Zn	Fe	Mn	Cu	Al
H2	0.004	0.003	0.002	0.048	0.169	0.982	0.014	0.290
P2	0.001	0.013	0.001	0.010	0.049	0.022	ND	0.190
Q2	ND	0.001	0.001	0.013	0.116	0.016	ND	0.190

注:“ND”表示未检出。

### 2.3 未过滤只加酸的测试结果

未过滤只加酸的地下水样品(H5、P5和Q5)的测试结果如表5所示。由表5可以看出,除样品H5中的Cd未检出外,其他大部分金属组分的含量较2.2节中先过滤再加酸的地下水样品均有所升高。其中,样品Q5中的As以及所有样品中的Pb、Fe、Mn和Al均超出Ⅲ类水质标准限值,Pb超标0.2~0.5倍,As超标0.1倍,Fe超标2.5~

表5 未过滤只加酸的地下水样品(H5、P5和Q5)中金属组分的含量

Table 5 Concentration of metal components in not filtered but only acidified groundwater samples (H5, P5 and Q5)

样品号	Cd	Pb	As	Zn	Fe	Mn	Cu	Al
H5	ND	0.013	0.003	0.073	1.140	0.158	0.025	2.030
P5	0.001	0.012	0.001	0.044	1.050	0.268	0.011	1.850
Q5	0.003	0.015	0.011	0.032	7.380	0.317	0.012	3.880

注:“ND”表示未检出。

地下水样品(H3~H5、P3~P5和Q3~Q5)未过滤直接加酸后,不同振荡反应时长的测试结果

标准限值,而其他金属组分均未检出。这是由于样品中没有加酸作为保护剂,虽然加入黏土使得悬浮颗粒物浓度很高,但大部分颗粒物经过滤被去除,残留的颗粒物没有受到硝酸的侵蚀,未溶出有效态金属组分,加之水体样品中原有的金属组分也由于没有受到酸性保护而发生沉淀,从而降低了地下水样品中金属组分的含量。

的Cd和Cu未检出外,其他金属组分均有不同程度的检出,且检出的各金属组分的含量相对于2.1节中只过滤未加酸的地下水样品大多有所增加。其中,H2中的Mn和Al以及P2中的Pb超出Ⅲ类水质标准限值,Mn超标8.8倍,Al超标0.5倍,Pb超标0.3倍。

23.6倍,Mn超标0.6~2.2倍,Al超标8.3~18.4倍。此组地下水样品的实验设计中缺少了过滤环节,与地下水样品采集中常见的不过滤直接加酸的操作方式一致。由此可知,在地下水水质调查过程中,进行地下水样品采集时,如果忽略过滤环节,会导致地下水样品中金属组分的测试值高于实际值,从而影响地下水水质检测结果的准确性。

如表6所示。整体上,随着加酸后振荡时长的延长,水体样品中的金属组分不断溶出(图1)。Cd、

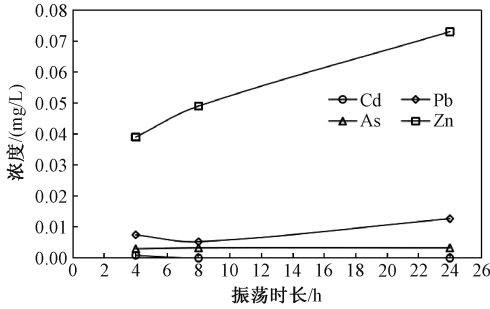
Pb、As、Zn 和 Cu 的浓度随着加酸后振荡时长的延长变化不大。Fe 和 Al 的浓度随着振荡时长的延长而增大,进一步说明加酸后两种金属组分逐渐从黏土颗粒上溶解进入水中。Mn 的浓度随振

荡时长的延长而降低,这可能是由于随着振荡时长的延长,Mn 的价态发生变化,溶液中的溶解氧不断增加,溶解态的  $Mn^{2+}$  逐渐被氧化为  $MnO_4^-$ ,从而使其浓度逐渐降低<sup>[23]</sup>。

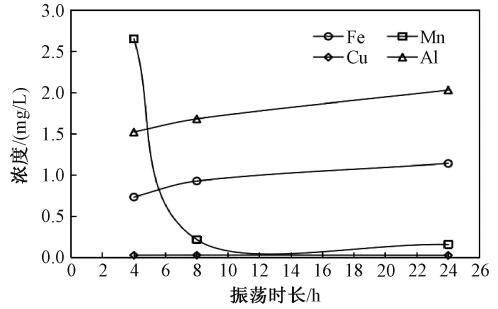
表 6 未过滤只加酸的地下水样品 (H3~H5、P3~P5、Q3~Q5) 中金属组分的含量  
Table 6 Concentration of metal components in not filtered but only acidified groundwater samples (H3-H5, P3-P5, Q3-Q5)

样品号	加酸后的振荡时长/h	Cd	Pb	As	Zn	Fe	Mn	Cu	Al
H3	4	0.001	0.008	0.003	0.039	0.732	2.650	0.026	1.520
H4	8	ND	0.005	0.003	0.049	0.927	0.217	0.027	1.680
H5	24	ND	0.013	0.003	0.073	1.140	0.158	0.025	2.030
P3	4	ND	0.006	0.001	0.038	0.495	1.440	0.010	1.150
P4	8	ND	0.006	0.001	0.044	0.725	0.330	0.011	1.460
P5	24	0.001	0.012	0.001	0.044	1.050	0.268	0.011	1.850
Q3	4	ND	0.011	0.008	0.022	5.270	0.593	0.010	2.490
Q4	8	0.001	0.013	0.010	0.024	6.710	0.332	0.012	3.290
Q5	24	0.003	0.015	0.011	0.032	7.380	0.317	0.012	3.880

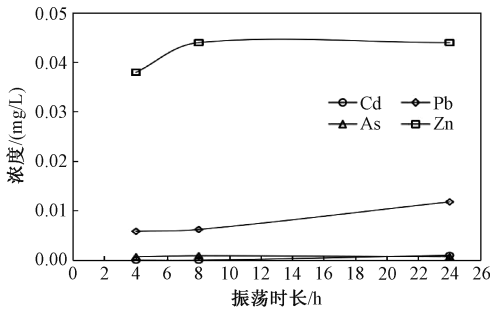
注:“ND”表示未检出。



(a) 样品H



(b) 样品P



(c) 样品Q

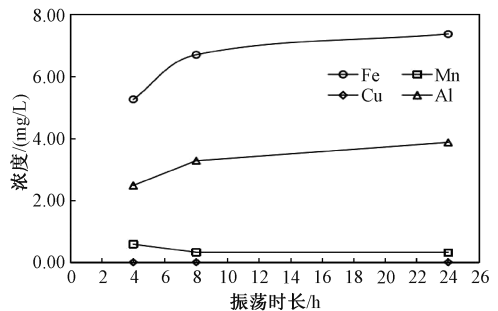
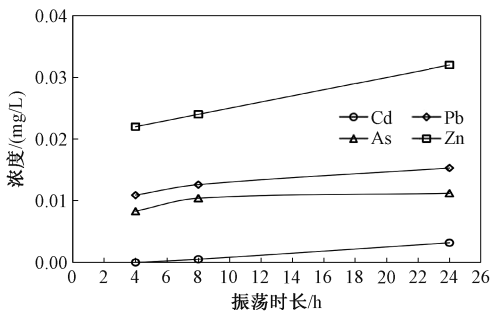
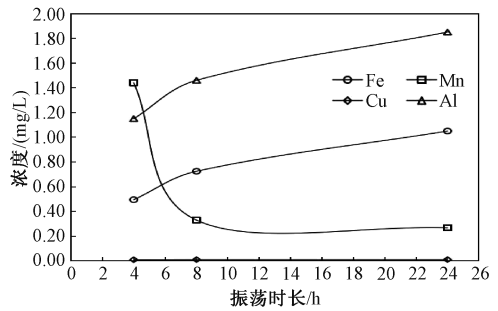


图 1 样品中的金属元素浓度随振荡时长的变化曲线

Fig. 1 Curve of the metal concentration in the sample with the time of oscillation

## 2.4 不同处理条件下检测结果的对比

将经不同方法处理、振荡时长均为 24 h 的地下水样品的测试结果进行对比,结果如图 2 所示。由图 2(b)和图 2(c)可以发现,对于样品 P 和 Q,未过滤只加酸的地下水样品中 Fe、Mn、Al 的含量均远远高于先过滤再加酸的地下水样品。样品 P 中,未过滤只加酸的地下水样品中 Fe、Mn、Al 的含量,分别是先过滤再加酸地下水样品的 21.4 倍、12.2 倍、9.7 倍[图 2(b)]。样品 Q 中,未过滤只加酸的地下水样品中 Fe、Mn、Al 的含量,分别是先过滤再加酸地下水样品的 63.6 倍、19.8 倍、20.4 倍[图 2(c)]。样品 H 中,Fe 和 Al 的含

量也符合此规律,未过滤只加酸的地下水样品中 Fe 和 Al 的含量,分别是先过滤再加酸地下水样品的 6.7 倍和 7.0 倍[图 2(a)]。这进一步说明在进行地下水样品采集时,忽略过滤环节会导致样品中的悬浮颗粒物增多;直接加酸会使颗粒物中的可交换态金属组分溶解进入地下水,使地下水中的金属组分含量增加,尤其是 Fe、Mn 和 Al 等地壳中常见的金属元素,从而导致地下水水质检测结果异常。地下水中的含水层颗粒主要是细颗粒,也就是黏土组分,而黏土的基本组成成分为铝硅酸盐矿物,其中 Al 的含量远高于 Fe,因此 Al 的溶出量远高于 Fe。

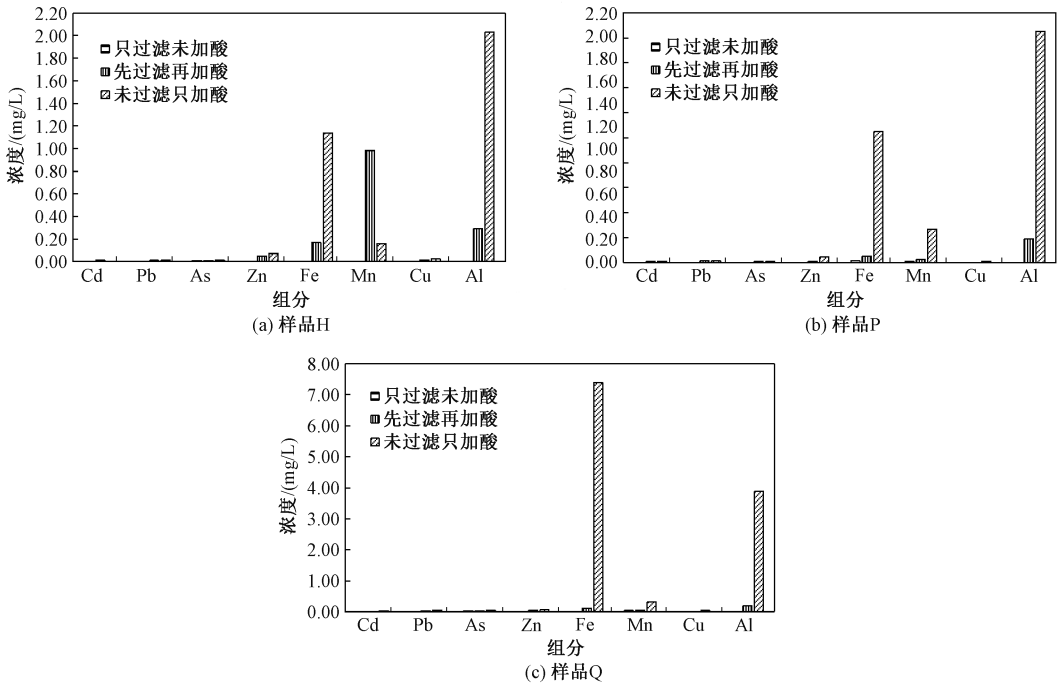


图 2 不同实验条件下各样品中金属组分的含量  
Fig. 2 Content of metal components of the samples under different experimental conditions

## 2.5 地下水中悬浮颗粒物的酸溶机理分析

粉土颗粒的粒径在 0.002~0.05 mm 之间,黏土颗粒的粒径一般小于 0.002 mm,两者均极为细小。其进入地下水中后可保持悬浮,这是引起地下水样品浊度的主要因素。粉土和黏土的矿物组分以高岭石、蒙脱石、伊利石、铁锰氧化物为主,这些矿物组分易吸附 As、Cu、Zn、Pb 等金属元素<sup>[24-25]</sup>,加之高岭石、蒙脱石、伊利石均为硅铝比在 1:1~2:1 之间的硅铝酸盐矿物<sup>[26-29]</sup>,因此,当粉土和黏土颗粒处于酸性环境中时,Al、Fe、Mn 及 As 等金属元素就会溶出,使地下水中的金属组分含量增加。由于上述溶出过程并非环境污染所

致,故如果采集样品时存在不规范操作,就会使得这些金属组分的检测结果过高甚至超标,尤其是地壳中含量丰富的 Al 元素,其超标倍数会更高。

对样品 P 和 Q 中的黏土进行全岩分析,结果如表 7 所示。由表 7 可知,两组样品中的黏土矿物主要是伊蒙混层和伊利石,还有少量高岭石和绿泥石。金属氧化物中,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量较高(图 3),Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在 P、Q 两组样品中的含量分别为 16.09%、11.51%,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量分别为 8.45%、8.99%;其次是 MnO,其在两组样品中的含量均为 0.22%;除 CdO 以外,其他金属氧化物在两组样品中均有检出。这进一步验证了上述地

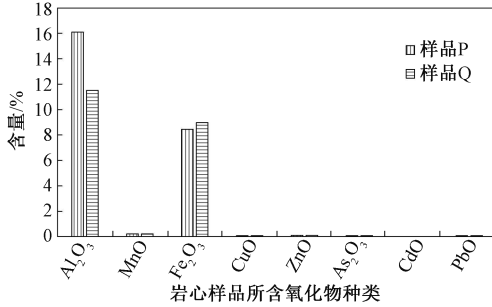
下水中悬浮颗粒物的酸溶机理分析结论。各组分的含量有所不同,说明岩心黏土与湖泊底泥的矿

物组分存在差异,证实了实验样品的选择具有很好的代表性和合理性。

表7 样品黏土矿物 X-射线衍射定量分析结果  
Table 7 Quantitative analysis results of clay minerals in samples by X-ray diffraction %

样品号	黏土矿物相对含量					
	蒙皂石类	伊蒙混层	伊利石	高岭石	绿泥石	绿蒙混层
样品 P	ND	43	33	9	15	ND
样品 Q	ND	40	32	10	18	ND

注:“ND”表示未检出。



注:样品 P 为岩心样品,样品 Q 为湖泊底泥样品。

图3 样品中金属氧化物的含量

Fig. 3 Content of metal oxides in samples

### 3 结论与建议

本研究通过一系列对比实验证实,采集地下水样品进行金属组分含量测试时,如缺少过滤环节而直接加酸,会引起样品中 Al、Fe、Mn 等金属组分的含量增高。在实际地下水样品采集过程中,由于过滤环节较为烦琐,省略过滤步骤的现象屡有发生,引起部分地下水样品检测结果异常,导致地下水 Fe、Mn 超标甚至 Al 超标的现象增多。这一问题的出现已经影响到我国部分水源、污染源的调查结果,以及后续环境管理措施的制定。因此,建议管理单位加强对地下水采样过程的质控,避免这一问题继续出现;建议采样单位严格按照《地下水采样技术规程》(DZ/T 0420—2022)采集样品,重视样品加酸前的过滤环节,先用 0.45 μm 微孔滤膜过滤样品后再加入硝酸溶液(1:1)酸化;建议技术规程制定单位在技术规程中进一步明确过滤环节可采用的装置(如真空抽滤等),以提高水样的过滤效率,提升地下水样品采集的规范性。

### 参考文献 (References):

[1] FAMIGLIETTI J S. The Global Groundwater Crisis

[J]. Nature Climate Change, 2014, 4(11): 945-948.

[2] PANNO S V, KELLY W R, SCOTT J, et al. Microplastic Contamination in Karst Groundwater Systems[J]. Groundwater, 2019, 57(2): 189-196.

[3] ZHOU T, NIJSSEN B, GAO H L, et al. The Contribution of Reservoirs to Global Land Surface Water Storage Variations [J]. Journal of Hydrometeorology, 2016, 17(1): 309-325.

[4] 阮永健,吴秀芹.基于 GRACE 和 GLDAS 的西北干旱区地下水资源量可持续性评价[J].干旱区研究, 2022, 39(3): 787-800.

RUAN Yongjian, WU Xiuqin. Evaluation of Groundwater Resource Sustainability Based on GRACE and GLDAS in Arid Region of Northwest China[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(3): 787-800.

[5] 周玉娟,马文洁,张博,等.江西省典型区域地下水中铁锰分布特征及综合评价[J].有色金属(冶炼部分), 2023(12): 78-86.

ZHOU Yujuan, MA Wenjie, ZHANG Bo, et al. Distribution Characteristics and Comprehensive Evaluation of Iron and Manganese in Typical Groundwater of Jiangxi Province [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2023(12): 78-86.

[6] 刘琪,涂响,王山军,等.长三角地区饮用水水源地典型重金属污染状况及环境风险评估[J].中国环境监测, 2024, 40(6): 112-121.

LIU Qi, TU Xiang, WANG Shanjun, et al. Pollution Status and Environmental Risk Assessment of Typical Heavy Metals in Drinking Water Sources of Yangtze River Delta Region [J]. Environmental Monitoring in China, 2024, 40(6): 112-121.

[7] JU Q D, HU Y B, LIU Q M, et al. Source Apportionment and Ecological Health Risks Assessment from Major Ions, Metalloids and Trace Elements in Multi-aquifer Groundwater Near the Sunan Mine Area, Eastern China [J]. Science of the Total Environment, 2023, 860: 160454.

[8] PAN H J, ZHOU G H, YANG R, et al. Heavy Metals

- and As in Ground Water, Surface Water, and Sediments of Dexing Giant Cu-Polymetallic Ore Cluster, East China[J]. *Water*, 2022, 14(3):352.
- [9] EBOAGU N C, AJIWE V I E, OCHIAGHA K E, et al. Health Risk Assessment of Heavy Metal Contamination of Groundwater Around Nnewi Industrial Area, Anambra State, Nigeria [J]. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2023, 11(2):24-36.
- [10] 马宝强,王潇,王彩彩,等.地下水环境状况调查中样品采集工作技术要求[J]. *地下水*, 2023, 45(5):60-63.  
MA Baoqiang, WANG Xiao, WANG Caicai, et al. Technical Requirements for Sample Collection in Groundwater Environmental Investigation[J]. *Ground Water*, 2023, 45(5):60-63.
- [11] 余东,周金龙,张杰,等.新疆喀什地区地下水铁锰水文地球化学及演化规律[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(6):2169-2181.  
YU Dong, ZHOU Jinlong, ZHANG Jie, et al. Hydrogeochemistry and Evolution of Iron and Manganese in Groundwater in Kashgar, Xinjiang[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2021, 41(6):2169-2181.
- [12] 穆耶赛尔·麦麦提,麦麦提吐尔逊·艾则孜,李新国.焉耆盆地地下水重金属生态风险评价[J]. *生态学杂志*, 2024, 43(8):2465-2471.  
MAMAT Muyassar, EZIZ Mamattursun, LI Xinguo. Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Groundwater in the Yanqi Basin[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2024, 43(8):2465-2471.
- [13] 常帅,宋圆梦,陈慧,等.华北典型区域地下水重金属来源解析及健康风险识别[J]. *中国环境监测*, 2024, 40(4):172-182.  
CHANG Shuai, SONG Yuanmeng, CHEN Hui, et al. Source Apportionment and Health Risk Identification of Heavy Metals in Groundwater for Typical District in North China[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2024, 40(4):172-182.
- [14] 胡玉福,邓良基,张世榕,等.四川盆地西缘浅层地下水铁、锰含量的空间变异特征[J]. *生态学报*, 2009, 29(2):797-803.  
HU Yufu, DENG Liangji, ZHANG Shirong, et al. Spatial Variability of Iron and Manganese Contents in Shallow Groundwater in the West of Sichuan Basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2):797-803.
- [15] 孟祥菲.地下水水位波动带铁锰含量变化规律研究——以沈阳黄家水源地为例[D].长春:吉林大  
学, 2015.
- [16] 吕晓立,刘景涛,周冰,等.新疆塔城盆地地下水中铁锰分布特征及人类活动的影响[J]. *中国地质*, 2020, 47(6):1765-1775.  
LYU Xiaoli, LIU Jingtao, ZHOU Bing, et al. Fe and Mn Distribution of Groundwater in the Tacheng Basin, Xinjiang and Its Impact of Human Activities [J]. *Geology in China*, 2020, 47(6):1765-1775.
- [17] 张小文,何江涛,黄冠星.石家庄地区浅层地下水铁锰分布特征及影响因素分析[J]. *地质前缘*, 2021, 28(4):206-218.  
ZHANG Xiaowen, HE Jiangtao, HUANG Guanxing. Iron and Manganese in Shallow Groundwater in Shijiazhuang: Distribution Characteristics and a Cause Analysis[J]. *Earth Science Frontiers*, 2021, 28(4):206-218.
- [18] 卢欢,董颖博,林海.降雨 pH 对煤矸石中重金属和  $\text{SO}_4^{2-}$  释放行为的影响[J]. *有色金属(冶炼部分)*, 2023(1):102-109.  
LU Huan, DONG Yingbo, LIN Hai. Effect of Rainfall pH Value on Release Behavior of Heavy Metals and  $\text{SO}_4^{2-}$  from Coal Gangue [J]. *Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy)*, 2023(1):102-109.
- [19] 魏国令,李军旗,陈朝轶,等.溶出条件对铝土矿氧化铝溶出及赤泥中氧化铁富集的影响[J]. *有色金属(冶炼部分)*, 2017(7):26-29.  
WEI Guoling, LI Junqi, CHEN Chaoyi, et al. Influence of Digestion Condition on Bauxite Digestion and Iron Oxide Enrichment in Red Mud[J]. *Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy)*, 2017(7):26-29.
- [20] 庞园,曾慧,张明珠.溪流河中下游地下水中锰时空分布及其影响因素[J]. *人民长江*, 2022, 53(3):61-67.  
PANG Yuan, ZENG Hui, ZHANG Mingzhu. Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Manganese and Its Influencing Factors in Groundwater in Middle and Lower Reaches of Liuxi River [J]. *Yangtze River*, 2022, 53(3):61-67.
- [21] 刘彬,崔邢涛,王学求,等.河北省永清县地下水重金属来源识别及健康风险评价[J]. *生态与农村环境学报*, 2023, 39(6):741-749.  
LIU Bin, CUI Xingtao, WANG Xueqiu, et al. Source Identification and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Groundwater of Yongqing County, Hebei Province [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2023, 39(6):741-749.
- [22] 袁建民.粘土矿物对重金属离子的吸附能力研究[D].石家庄:河北地质大学, 2018.

- [23] 罗鹏. 锰、钴杂多酸盐的设计合成及其在水系液流电池中的应用研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2022.
- [24] CHAI J B, AU P I, MUBARAK N M, et al. Adsorption of Heavy Metal from Industrial Wastewater onto Low-Cost Malaysian Kaolin Clay-Based Adsorbent [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(12): 13 949-13 962.
- [25] 陈涛, 赵子亮, 严春丽, 等. 云南某铅锌冶炼厂土壤重金属污染特征与成因分析 [J]. *中国环境监测*, 2025, 41(2): 133-145.  
CHEN Tao, ZHAO Ziliang, YAN Chunli, et al. Soil Contamination Characteristics and Causes Analysis of Heavy Metals in a Lead and Zinc Smelting Plant in Yunnan [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2025, 41(2): 133-145.
- [26] FRINGS P J. Palaeoweathering: How Do Weathering Rates Vary with Climate? [J]. *Elements*, 2019, 15(4): 259-265.
- [27] ZHAO S H, LIU Z F, COLIN C, et al. Responses of the East Asian Summer Monsoon in the Low-Latitude South China Sea to High-Latitude Millennial-Scale Climatic Changes During the Last Glaciation: Evidence from a High-Resolution Clay Mineralogical Record [J]. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 2018, 33(7): 745-765.
- [28] 方谦, 洪汉烈, 赵璐璐, 等. 风化成土过程中自生矿物的气候指示意义 [J]. *地球科学*, 2018, 43(3): 753-769.  
FANG Qian, HONG Hanlie, ZHAO Lulu, et al. Climatic Implication of Authigenic Minerals Formed During Pedogenic Weathering Processes [J]. *Earth Science*, 2018, 43(3): 753-769.
- [29] 吕华华, 石学法, 杨刚. 黏土矿物对海底热液活动的指示作用 [J]. *矿物学报*, 2011, 31(增刊1): 695-696.  
LYU Huahua, SHI Xuefa, YANG Gang. Indicative Effect of Clay Minerals on Submarine Hydrothermal Activity [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2011, 31(S1): 695-696.