

# 珠江三角洲地区地下水锰的分布特征及其成因

梁国玲<sup>1</sup> 孙继朝<sup>1</sup> 黄冠星<sup>1</sup> 荆继红<sup>1</sup>  
刘景涛<sup>1</sup> 陈 玺<sup>1</sup> 张玉玺<sup>1</sup> 杜海燕<sup>2</sup>

(1.中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北 石家庄 050061;2.广东省地质调查院,广东 广州 510080)

**摘要:**为了解珠江三角洲地区地下水中锰的含量及其成因,笔者采集并分析了 352 组地下水样和 13 组地表水样。结果表明:珠江三角洲地区地下水的锰含量在未检出至 8.32 mg/L 之间,平均浓度为 0.34 mg/L,超标率达 49.4%。在该区 9 个地级市范围都存在地下水锰超标现象。区内地下水的锰含量与总溶解固体(TDS)、化学需氧量(COD)以及  $\text{HCO}_3^-$  都呈极显著的正相关关系,而与 Eh 呈极显著的负相关关系。珠江三角洲地区地下水中锰含量的分布与该地区的工业化程度以及所处的补、径、排条件密切相关。影响该地区地下水锰含量分布的因素主要有氧化还原环境、酸碱条件、地下水的总溶解固体、上覆盖层性质、地下水径流条件以及含水层介质等。

**关键词:**地下水;锰含量;分布特征;成因;珠江三角洲

**中图分类号:**P595 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)04-0899-08

珠江三角洲地区作为改革开放的前沿阵地,高速的经济发展带来了严重的环境污染问题。广东省 2004 年公布的水资源公报表明<sup>[1]</sup>,珠江三角洲地区大部分河段的水质已经超过了《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),广州、佛山以及东莞三地区的各水系尤为严重。这些水环境污染问题导致目前珠江三角洲地区出现了“水质型缺水”问题。为缓解可利用水资源短缺问题,有关部门开始组织人员进行了地下水水质调查,希望能通过利用部分优质的地下水资源补充不足的可利用地表水资源。目前,有关资料表明中国地下水中锰是比较常见的超标组分<sup>[2-3]</sup>,而锰超标会影响人的中枢神经,过量摄入对智力和生殖功能都有影响。为此,本文开展珠江三角洲地区地下水中锰的分布特征及其成因研究,对于促进珠江三角洲地区居民饮用水安全具有十分重要的意义。

## 1 研究区概况

珠江三角洲地区位于广东省中南部,濒临南海,毗邻港澳。区内地下水分为松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类裂隙溶洞水、基岩裂隙水 3 类。其中松散岩类孔

隙水主要分布于西江、北江、潭江、流溪河等河流冲积平原。含水层岩性以粗中砂及卵砾石为主,厚度一般为 3~40 m,水量中等—丰富,西北部丘陵山区水质一般较好,沿海及近珠江口一带水质较差(咸水或受三废污染)。碳酸盐岩类裂隙溶洞水主要分布于广花盆地、高明盆地、肇庆、从化等地,岩性以灰岩、白云岩、大理岩、泥灰岩为主,水量贫乏—丰富不等,变化较大。特别是广花盆地、高明盆地等地岩溶裂隙普遍发育,水量较丰富。基岩裂隙水主要分布于开平—恩平、肇庆市南部和北部等地,含水层以粉砂岩、细砂岩、砂砾岩、泥质粉砂岩、石英砂岩等为主,富水性贫乏—中等。另外,珠江三角洲地区还分布多个大型、特大型水源地,如广花盆地岩溶特大型水源地、肇庆岩溶水特大型水源地、三水龙江特大型水源地、园洲—石滩特大型水源地等,水量非常丰富。

受气象、水文、地貌、岩性、地质构造等因素影响,珠江三角洲地区地下水补给、径流、排泄具有明显的地域性特点。松散岩类孔隙水主要补给来源为降雨形成地表漫流通过表层砂性土直接入渗补给,循环交替由中游向下游逐渐变弱,水平排泄入河;三

收稿日期:2008-09-16;改回日期:2008-12-15

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(2010534807)资助。

作者简介:梁国玲,女,1958年生,副研究员,主要从事信息技术研究;E-mail:huangguanxing2004@126.com。

角洲海冲积层地段地下水、地表水之间水力关系复杂,丰、枯期多呈互补排特征;局部受潮汐顶托影响;滨海海积砂堤、砂地地下水受当地降水和凝结水补给,径流途径短,直接向附近海域或低洼地排泄。广大基岩出露区断裂构造发育,地表浅部岩石破碎,节理裂隙发育,有利于大气降水的渗入补给。第四纪松散岩类分布区,因地形平缓,雨后地表径流缓慢,且地表非连续分布弱透水粘土层,亦有利于地表径流入渗补给。

## 2 样品采集与分析

笔者于 2005 年和 2006 年共采集水样 23 批次,获取地下水样 352 组、地表水样 13 组。取样井为一些民井和现场挖坑,对于这些民井,先进行抽水,然后等水位恢复后于水下 50 cm 左右定深取样,(若民井日用水量较大,则无需抽水,直接取样);而对于这些挖坑,一般都挖到潜水位以下 50 cm 左右,先将最初渗出的水基本排出,然后等坑水位稳定、水变清,再进行取样。所用采样瓶为 2.5L 的白色塑料瓶(测碳酸氢根、总溶解固体等)和加酸的 1L 白色塑料瓶(测锰等重金属)。在取完样后,贴上标签,并用胶带对瓶盖处进行缠绕、密封。地表水样采自平、枯水期。

样品均在国土资源部广州矿产资源监督检测中心测试。执行标准参照 GB/T 8538-95,锰、碳酸氢根、化学需氧量以及总溶解固体的检测方法分别为原子吸收法、酸碱容量法、重铬酸钾法以及重量法。现场测试指标 pH、DO、Eh 等采用德国制造的多功能便携式测试仪——Multi-340i/SET。

## 3 结果与讨论

### 3.1 分布特征

珠江三角洲地区所分析的地下水样中锰含量在未检测到 8.32 mg/L 之间,平均含量为 0.34 mg/L。对比中国 2006 年颁布的生活饮用水卫生标准<sup>①</sup>显示,352 组地下水样中超标的达 174 组,其超标率为 49.4%,在该区 9 个地级市范围都存在地下水锰超标现象(表 1),表明该区地下水锰污染比较普遍。其中,佛山市地下水的锰污染最为严重,其超标率和平均浓度分别达 66.2%和 0.67 mg/L,为 9 个地区中的最高值(表 1)。按其超标率大小,珠江三角洲地区各市的地下水锰污染程度如下:佛山>东莞>江门>中山>广州>肇庆>惠州>珠海>深圳(表 1)。根据各市地下水锰平均含量显示,佛山市地下水锰的平均含量最高,达 0.67 mg/L,而肇庆市地下水锰的平均含量最低,只有 0.07 mg/L,两市地下水锰的平均含量相差一个数量级,表明珠江三角洲地区地下水中锰的分布极不均匀。结合珠江三角洲地区的地形地势、水文地质等资料,珠江三角洲地区地下水中高锰含量主要出现在佛山东部、广州中南部、东莞西北部和东南部、惠州西南部以及中山北部等工业相对发达的平原区以及地下水系统的排泄区,而在广州北部、惠州东北部、中山中北部以及深圳等丘陵区 and 地下水系统的补给区的锰含量明显偏低,只有少数几个锰含量超标的水样位于地下水系统的补给区(图 1)。即珠江三角洲地区地下水中锰含量的分布与该地区的工业化程度以及所处的补、径、排条件密切相关。

表 1 珠江三角洲地区地下水中锰含量

Table 1 Manganese contents of groundwater within the Zhujiang River delta

地区	样品数(组)	超标数(组) <sup>①</sup>	超标率(%)	最大值(mg/L)	最小值(mg/L)	平均值(mg/L) <sup>③</sup>
广州市	101	34	33.7	7.9	ND <sup>②</sup>	0.29
佛山市	71	47	66.2	8.32	ND	0.67
东莞市	37	18	48.6	3.41	0.003	0.39
惠州市	68	22	32.4	2.28	ND	0.19
中山市	20	7	35.0	1.96	0.006	0.38
深圳市	16	2	12.5	0.73	ND	0.09
珠海市	10	33	30.0	0.24	0.003	0.08
江门市	20	8	40.0	1.82	0.005	0.27
肇庆市	9	3	33.3	0.33	0.005	0.07
珠三角	352	174	49.4	8.32	ND	0.34

注:①引用中国 2006 年生活饮用水卫生标准,即大于 0.1 mg/L 为超标;②“ND”表示未检出,即浓度小于 0.001 mg/L;

③计算中把未检出的作为零来处理。



### 3.2 成因分析

#### 3.2.1 人为污染

虽然珠江三角洲地区工业化程度较高,但是该地区许多中、小企业的废水处理能力却较差,其废水大多未经处理就直接排入地表水体或就地排放,造成该地区部分地下水受到相应的污染。根据本次所检选的地表河流水质显示(表 2),佛山地区的地表水和地下水中的锰平均含量都明显高出珠江三角洲其他地区,表明珠江三角洲地区地表水的锰含量分布特征与其地下水的锰含量分布特征存在明显的相关性。从平均含量上来看,佛山地区地下水的锰含量明显高于其地表水的锰含量,结合该地区部分剖面的锰含量分布来看(表 3),佛山地区地表水锰含量可能受附近地下水锰含量影响,而不是地表水锰含量影响其附近的地下水锰含量。野外调查则显示,佛山地区剖面 1 附近有多家金属粉末回收处理厂和金属制造厂,其废水大多直接就地排放或滞留原地通

过蒸发排泄,而剖面 2 的 3 号井附近填埋有一废坑(小型金属厂废弃物被填埋该处),表明金属粉末回收处理厂等不合理排放废水以及废金属不经处理直接填埋等人为污染是导致这些地区局部地下水锰含量明显偏高的重要原因之一。结合污染源调查资料表明,珠江三角洲丘陵区地下水锰含量超标地区大部分不存在工业污染,如,惠州西南部的大部分锰含量超标点附近无明显的工业污染源,这些高锰含量地下水应该是自然因素所造成,而非人为污染所导致。综上所述,珠江三角洲地区地下水的锰含量分布可能影响其附近地表水锰含量的分布,人为污染仅影响珠江三角洲局部地区地下水锰含量的分布。

#### 3.2.2 氧化还原环境

从珠江三角洲地区地下水的锰含量分布来看,在平原区和地势低洼处的锰含量超标频率明显高于丘陵区的锰含量超标频率(图 1)。这不仅与该地区的平原区地面污染严重、人类活动影响大于丘陵区

表 2 珠江三角洲地区部分地表水体的锰含量

Table 2 Manganese contents of surface water in part of the Zhujiang River delta

样品编号	地理位置	Mn(mg/L)	平均值(mg/L)
1	佛山市南海区盐步镇岳利沙村	0.20	
2	佛山市南海区盐步镇佛山水道	0.15	
3	佛山市南海区盐步镇佛山水道北 50 米的污水沟	3.04	
4	佛山市南海区狮中花卉苗圃场	0.17	0.58
5	佛山市南海区大沥镇县化肥厂	0.43	
6	佛山市南海区水泵厂	0.23	
7	佛山市南海区桂城镇筒池村	0.35	
8	佛山市三水区大塘镇大南山水库	0.04	
9	惠州市惠阳区陈江镇苏屋村	0.35	
10	东莞市中堂镇袁家涌村	0.16	
11	广州市花都区石井镇潭村	0.22	0.25
12	东莞市厚街镇溪头西村	0.24	
13	东莞市石龙镇东引运河峡口村	0.30	

表 3 佛山地区两个剖面中各水体的锰含量<sup>①</sup>

Table 3 Manganese contents of surface water and groundwater along two sections in Foshan area

剖面	河流(mg/L)	井 1(mg/L)	井 2(mg/L)	井 3(mg/L)	井 4(mg/L)
1	0.15	3.68	1.59	3.19	1.88
2	0.20	0.66	0.97	8.32	0.02

注:①剖面 1 的 1 号井到 4 号井与河流的距离分别为 37m、47m、65m、86m,剖面 2 的 1 号井到 4 号井与河流的距离分别为 4 m、18 m、22 m、105 m。

有关,还与其所处的氧化还原环境密切相关。因为在丘陵区,即使岩石受强烈的风化、分解以及溶滤作用而释放出大量的锰离子,但是由于所处区域为地下水系统的补给区,其氧化还原环境往往都是些强氧化环境,导致其释放出来的锰离子也以高价的  $Mn^{4+}$  形式存在,最终易形成难溶的氢氧化物沉淀而很难溶入地下水中<sup>[7]</sup>。在平原区和地势低洼处则刚好相反,由于它们所处的区域往往为地下水系统的径流区或排泄区,其氧化还原环境一般都处于过渡环境或还原环境状态,使得该区域中的锰离子主要以  $Mn^{2+}$  形式存在而较容易进入地下水中。这些推理已经在本研究的野外调查中得到了一定的证实——部分平原区的地下水呈黄色、发浑、有异味,其地下水的现场测试指标 DO 明显偏低,往往小于 2 mg/L,其氧化还原电位 Eh 往往接近零或小于零,而这些水样的实验室测试结果都为 COD (大于 3mg/L 为超标<sup>[8]</sup>)、锰含量超标(表 4)。珠江三角洲地区地下水氧化还原电位 Eh 与其锰含量的对应数据显示该

区地下水中锰含量与该区的氧化还原电位呈极显著的负相关关系(表 5)。另外,该区地下水的 COD 和该区的锰含量呈极显著的正相关关系(表 5),在一定程度上也间接地证明了该区地下水的氧化还原环境与锰含量分布的关系(水中的 COD 与 Eh 存在非常明显的正相关关系,氧化环境往往预示着低 COD,而还原环境往往预示着高 COD)。

3.2.3 上覆盖层性质

上覆盖层中有机质和锰含量的多少会影响附近地下水的锰含量。因为上覆盖层有机质越多,就越容易促进盖层中锰络合物的稳定性,也就越容易增强锰的迁移性而随着淋滤作用进入地下水,而相关研究已表明地下水中的锰含量与其上覆盖层中的锰含量呈明显的正相关关系<sup>[8]</sup>。珠江三角洲平原区和地势低洼处的上覆盖层性质与其丘陵区地势较高处相差很大,平原区和地势低洼处的上覆盖层往往广泛分布着粘土或亚粘土,含有丰富的有机物,所处的环境也往往是过渡环境或还原环境,若处于还原环境,

表 4 珠江三角洲地区部分地下水的锰含量

Table 4 Manganese contents of groundwater in part of the Zhujiang River delta

地理位置	锰(mg/L)	DO(mg/L)	Eh(mV)	COD(mg/L)
佛山市禅城区张槎镇筒村	0.78	0.59	-12	11.21
佛山市南海区桂城镇叠南乐东村	0.19	1.35	-1	5.44
佛山市南海区盐步镇岳利沙村	1.22	1.15	-3	7.84
佛山市南海区九江镇南方下东村	0.54	1.53	0	4.91
佛山市南海区里水镇沈村	0.31	1.20	5	14.61
佛山市禅城区上沙中街同德里	0.63	0.72	-18	6.76
东莞市大步镇向路	0.12	0.96	1	3.77
佛山市禅城区山紫街办凿石	0.36	0.71	-5	11.21

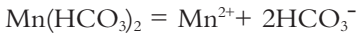
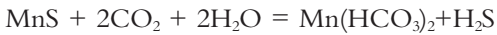
表 5 地下水部分无机组分含量与锰含量的关系

Table 5 Relationship between content of some inorganic components and lead content of groundwater

项目	相关系数 r	回归方程	对应有效数组
$HCO_3^-$	0.3797252▲▲	$y = 102.81x + 134.8$	348
COD	0.4377143▲▲	$y = 1.8572x + 1.9362$	347
TDS	0.4357781▲▲	$y = 300.1x + 366.37$	352
Eh	-0.157501▲▲	$y = -15.05x + 46.43$	335
pH	0.154796▲▲	$y = 0.2536x + 6.035$	331

注:回归方程的 y 表示各无机组分的含量,x 表示锰含量;对应有效数组为锰和其他组分都有一定含量的数组;▲▲表示显著性水平为 0.01(极显著)。

就可能促使该区域上覆盖层中的有机物发生厌氧反应,产生大量的  $H_2S$  和  $CO_2$ ,最终促使覆盖层中的  $Mn^{4+}$ 被还原为  $Mn^{2+}$ ,通过淋滤作用进入地下水中<sup>[2]</sup>,反应过程大致如下:



而丘陵区的地势较高处则刚好相反,其覆盖层往往是一些出露的基岩,所处的环境也往往是氧化环境,很难发生上述反应。本次调查显示研究区地下水锰含量与其  $HCO_3^-$  含量呈极显著的正相关关系(表5),强有力地证明了上覆盖层性质对于研究区地下水锰含量分布的影响程度。

### 3.2.4 地下水径流条件

地下水的径流条件是影响地下水锰元素迁移、富集的重要因素之一。一般情况下,地下水径流条件越好,水中的锰元素就越容易流失而贫乏,反之,则容易富集。珠江三角洲平原区和地势低洼处的地下水径流条件明显差于丘陵区,相应的,平原区及地势低洼处的高锰含量频率普遍高于丘陵区(图1)。

### 3.2.5 含水层介质

含水层介质的岩性也影响地下水锰的迁移和富集。若含水层介质为亚粘土或亚砂土等细颗粒介质,则含水层的地下水径流条件较差,锰元素相对容易在该处富集,反之,若含水层介质为岩溶裂隙或粗砂、砾石等,那么就预示着该含水层的地下水径流条件较好,锰元素相对容易流失。相关研究表明<sup>[9,10]</sup>,地下水锰含量随着含水层介质锰含量的增高而增高。所以含水层介质应是研究区地下水锰含量分布的影响因素之一。

### 3.2.6 地下水的总溶解固体(TDS)

地下水的 TDS 也对珠江三角洲地区地下水的锰含量分布起一定的影响作用。因为 TDS 越高,表明水溶液中有更多的阴、阳离子,若地下水中的阳离子越多,它们就越容易通过离子交换把部分锰离子从含水层的阳离子吸附剂中释放出来进入地下水中<sup>[11,12]</sup>;而地下水中的阴离子越多,也能起相似的作用,如珠江三角洲近海地区的地下水通常受咸潮影响而具有高含量的氯离子,氯离子能通过配合作用<sup>[13]</sup>与阳离子吸附剂竞争锰离子。这些就是所谓的“盐效应”<sup>[14]</sup>。本次调查显示研究区地下水的锰含量分布与 TDS 存在极显著的正相关关系(表5),有力地证明了上述

推理的合理性。

### 3.2.7 酸碱条件

地下水和土壤的酸碱条件对锰元素的迁移、富集起着重要的作用。一般情况下,地下水的锰含量随着 pH 值的增高而减少,土壤的锰含量随着 pH 值的增高而增高。因为随着 pH 值的增高,土壤中锰元素的相对活性就会变小,容易滞留在土壤中而较难进入地下水中。曾昭华等<sup>[8]</sup>对鄱阳湖地区地下水锰含量的研究表明,随着 pH 值的升高,地下水的锰含量相应的减少。王学军等<sup>[15]</sup>对黄河三角洲、长江三角洲以及珠江三角洲的土壤中微量元素的碳酸盐含量的研究表明珠江三角洲土壤 Mn 元素的碳酸盐含量明显低于黄河三角洲和长江三角洲,认为是珠江三角洲土壤的 pH 值偏低所导致。另外,有关原理也表明水中的 Mn 含量与其酸碱条件关系密切。如,  $Mn(OH)_2$  的溶度积  $K_{sp} = [2 \times c(OH^-)]^2 \times c(Mn^{2+})$ ,也就是说,在不考虑其他离子络合及离子强度等因素的条件下,并在 25°C 和一标准大气压下 ( $K_{sp}$  不变),理论上,随着 pH 值每减少 1,  $Mn^{2+}$  在水中的溶解度每次将增大  $10^2$  倍<sup>[16]</sup>。研究区地下水的锰含量分布与 pH 值存在极显著的正相关关系(表5),说明 pH 值也是影响研究区地下水锰分布的重要因素。

## 4 结 论

(1)珠江三角洲地区地下水的锰含量在未检测到 8.32 mg/L 之间,平均含量为 0.34 mg/L,超标率达 49.4%。在该区 9 个地级市范围都存在地下水锰超标现象,按其超标率大小显示该区各市的地下水锰污染程度为:佛山>东莞>江门>中山>广州>肇庆>惠州>珠海>深圳。该区地下水中锰含量的分布与该区的工业化程度以及所处的补、径、排条件密切相关。

(2)影响珠江三角洲地区地下水锰含量分布的因素主要有氧化还原环境、酸碱条件、地下水的总溶解固体、上覆盖层性质、地下水径流条件以及含水层介质等。该区地下水的锰含量与 TDS、COD 以及  $HCO_3^-$  都呈极显著的正相关关系,而与 Eh 呈极显著的负相关关系。

(3)工业废水的不合理排放等人为污染仅影响珠江三角洲局部地区地下水锰含量的分布。该地区地下水的锰含量分布可能影响其附近地表水锰含量的分布,而非受附近地表水锰含量分布的影响。

## 参考文献 (References):

- [1] 广东省水利厅. 广东省水资源公报[R]. 2004.  
Water Conservancy Hall of Guangdong Province. Water resources communique of Guangdong Province [R]. 2004(in Chinese).
- [2] 任陶军, 李晓, 周亚芹. 成都市地下水中铁、锰变化规律及成因分析[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1):211-214.  
Ren Taojun, Li Xiao, Zhou Yaqin. The analysis of iron and manganese ion in groundwater, Chengdu [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(1):211-214(in Chinese with English abstract).
- [3] 王岚, 孟宪宪, 徐洪恩. 佳木斯市水源地源水铁、锰含量超标的原因分析[J]. 环境科学与管理. 2006, 31(1):152-153.  
Wang Lan, Meng Xianxian, Xu Hongen. Analysis of causes of superstandard Fe and Mn content in sourcewater of catchment areas in Jiamusi City [J]. Environmental Science and Management, 2006, 31(1):152-153(in Chinese with English abstract).
- [4] 朱锦旗, 王彩会, 陆徐荣, 等. 苏锡常地区浅层地下水铁锰离子分布规律及成因分析[J]. 水文地质工程地质, 2006, (3):30-33.  
Zhu Jinqi, Wang Caihui, Lu Xurong, et al. An analysis of the occurrence and influence factors of  $Fe^{2+}$  and  $Mn^{2+}$  in the shallow groundwater in the Suzhou -Wuxi -Changzhou area [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2006, (3):30-33 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘南发. 湛江市高铁锰地下水成因分析及利用对策探讨 [J]. 西部探矿工程. 2004, (11):217.  
Liu Nanfa. Discussion of origin anlysis and utilization countermeasures of high content of iron and manganese in groundwater in Zhanjiang city [J]. West -China Exploration Engineering, 2004, (11):217(in Chinese).
- [6] GB 5749—2006, 生活饮用水卫生标准[S]. 北京:标准出版社, 2007.  
GB 5749—2006, Standards for Drinking Water Quality [S]. Beijing: China Standard Press, 2007(in Chinese).
- [7] 雷万荣, 唐春梅, 江凌云. 浅谈地下水中铁、锰质的迁移与富集规律[J]. 江西科学, 2006, 24(1):80-82.  
Lei Wanrong, Tang Chunmei, Jiang Lingyun. Discussion on iron and manganese transport and concentrate in underground water [J]. Jiangxi Science, 2006, 24 (1):80-82 (in Chinese with English abstract).
- [8] 曾昭华, 丁汉文, 多超美, 等. 江西省鄱阳湖地区地下水环境背景形成的控制因素[J]. 水文地质工程地质, 1990, 4:36-39.  
Zeng Zhaohua, Ding Hanwen, Duo Chaomei, et al. Controlling factors on the formation of groundwater environment background in the area of Poyang lake, Jiangxi [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1990, 4:36-39 (in Chinese with English abstract).
- [9] 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]. 地质学报, 1996, 70(3):262-269.  
Zeng Zhaohua. The background features and formation of chemical elements of groundwater in the area of the middle and lower beaches of the Yangtze river [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(3): 262-269(in Chinese with English abstract).
- [10] Zeng Zhaohua. The background features and formation of chemical element of Groundwater in the region of the middle and lower beaches of the Yagntze River [J]. Acta Geologica Sinica, 1997, 71(1):80-89.
- [11] 蒋辉. 环境水化学[M]. 北京:化学工业出版社, 2003.  
Jiang Hui. Environment Water Chemistry [M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2003(in Chinese).
- [12] 沈照理, 朱宛华, 钟佐燊. 水文地球化学基础[M]. 北京:地质出版社, 1993:74-77.  
Shen Zhaoli, Zhu Wanhua, Zhong Zuoshen. The Foundation of Hydrogeochemistry [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1993:74-77(in Chinese).
- [13] 戴树桂主编. 环境化学[M]. 北京:高等教育出版社, 2003.  
Dai Shugui. Environment Chemistry [M]. Beijing:Higher Education Press, 2003(in Chinese).
- [14] 曾昭华. 长江中下游地区地下水中 Mn 元素的背景特征及其形成[J]. 上海地质, 2004, (1):9-12.  
Zeng Zhaohua. The background characteristics and formation of Mn element of groundwater in the area of the middle and lower beaches of the Yangtze River [J]. Shanghai Geology, 2004, (1):9-12(in Chinese with English abstract).
- [15] 王学军, 陈静生. 黄河、长江、珠江三角洲土壤中微量元素形态分配及其地理分布趋势[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1993, 29(6):729-735.  
Wang Xuejun, Chen Jingsheng. The partitioning and regional distribution of soil trace elements in Yellow River, Yangtze River and Pearl River Deltas [J]. Acta Scientiarum Naturalum Universitatis Pekinesis, 1993, 29(6):729-735(in Chinese with English abstract).
- [16] 浙江大学普通化学教研组. 普通化学(第四版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2003.  
General Chemistry Research Group of Zhejiang University. General Chemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003(in Chinese).

## Origin and distribution characteristics of manganese in groundwater of the Zhujiang River Delta

LIANG Guo-ling, SUN Ji-chao<sup>1</sup>, HUANG Guan-xing<sup>1</sup>, JING Ji-hong<sup>1</sup>,  
LIU Jing-tao<sup>1</sup>, CHEN Xi<sup>1</sup>, ZHANG Yu-xi<sup>1</sup>, DU Hai-yan<sup>2</sup>

(1. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, Hebei, China;*  
2. *Guangdong Institute of Geological Survey, Guangzhou 510080, Guangdong, China*)

**Abstract:** In order to detect the origin and content of manganese in groundwater of the Zhujiang River Delta, the authors sampled and analyzed 352 groundwater samples and 13 surface water samples. The results show that manganese content varies from the undetected level to 8.32 mg/L in groundwater of the Zhujiang River Delta, with the average manganese content being 0.34 mg/L and the standard-exceeding rate being 49.4%. The manganese content of groundwater that exceeds the standard exists in nine cities of the Zhujiang River Delta. There exists an obvious positive correlation between the manganese content and TDS, COD, and  $\text{HCO}_3^-$  of groundwater as well as a notable negative correlation between the manganese content and Eh of groundwater in this delta area. The distribution of manganese in groundwater is closely related to the extent of industrialization and recharge, runoff and discharge conditions of this area. Redox environment, pH condition, total dissolved solids in groundwater, property of the cover, groundwater flow conditions, and aquifer media are major factors responsible for the distribution of manganese in groundwater of the Zhujiang River Delta.

**Key words:** Zhujiang River Delta; groundwater; manganese content; distribution characteristics; origin

---

**About the first author:** LIANG Guo-ling, female, born in 1958, engages in the research on information technology; E-mail: huangguanxing2004@126.com.