

电镀厂下游水体中重金属的分布特征及其风险评价

杭小帅^{1,2}, 王火焰¹, 周健民^{1*}

(1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:以苏南某电镀厂下游地表水和浅层地下水为研究对象, 探讨电镀厂废水对其造成的影响, 采用 ICP-AES 分析了地表水与地下水样品中重金属 Zn、Mn、Cr、Cu 和 Ni 的含量. 结果表明, 电镀厂向河流中排放 Zn、Mn、Cr、Cu 和 Ni 等酸性污染物, 浓度分别达到 1.34、3.77、28.1、6.40 和 9.37 mg·L⁻¹, pH 为 2.32, 除 Zn 外皆超过国家污水综合排放标准, 是构成下游河流中重金属沿程分布的主要原因. 重金属在井水中的分布特征, 未能说明其受到河水重金属的影响, 表明重金属在土壤中迁移率较低. 风险评价结果显示, 地表水水质明显下降, 河水中 Ni 和 Mn 超标严重, Cr 和 Cu 也有部分样点不同程度地超过Ⅲ类标准限值. 以 14 口井水为地下水中, 除 Mn 元素有 4 个样点属于Ⅳ类地下水之外, 其它重金属皆达到生活饮用水标准.

关键词:电镀厂; 重金属; 地表水; 地下水; 分布特征; 风险评价

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)10-2736-07

Heavy Metals Distribution Characteristics and Risk Assessment of Water Below an Electroplating Factory

HANG Xiao-shuai^{1, 2}, WANG Huo-yan¹, ZHOU Jian-min¹

(1. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Surface water and shallow groundwater within the flow of an electroplating factory was analyzed in order to study the resulting impact. The analysis method of ICP-AES was used to analyze content of zinc, manganese, chromium, copper and nickel in surface water and groundwater samples. The results indicate acidic pollutants of zinc, manganese, chromium, copper and nickel were discharged from the factory with concentrations of 1.34, 3.77, 28.1, 6.40 and 9.37 mg·L⁻¹, respectively; and pH was 2.32. They all exceeded permissible levels according to Integrated Wastewater Discharge Standard except zinc. Factory discharge is responsible for the longitudinal distribution characteristics of heavy metals in the stream water downstream from the factory. Heavy metals variations in the well water do not suggest they were affected by heavy metals in the stream, indicating that the migration rates of heavy metals in soils were relatively low. Risk assessment shows surface water quality significantly deteriorated. Nickel and manganese in the stream water exceeded the standard levels seriously, and chromium and copper in some samples were also above Grade III standard levels according to Environmental Quality Standard for Surface Water. Moreover, all studied heavy metals in 14 groundwater samples measured within drinking water standard, except manganese in 4 groundwater samples, which were Grade IV according to Quality Standard for Ground water.

Key words: electroplating factory; heavy metals; surface water; groundwater; distribution characteristics; risk assessment

长江三角洲是我国经济高速发展地区之一, 同时也是水污染严重地区, 其中, 重金属污染是导致水质下降的一个重要影响因素. 因重金属具有易通过生物积累和食物链进行传递等特点, 其污染已显得尤为突出^[1]. 水体中重金属的分布特征不仅可以反映其污染状况, 而且可在一定程度上反映重金属源的输入^[2], 因此, 对重金属分布特征的研究是该领域的热点.

电镀厂是长江三角洲地区较为常见的企业, 也是产生重金属废水的主要产业之一. 电镀生产过程中可产生大量含有高浓度、毒性较强的重金属废水^[3,4], 如 Cr、Ni、Zn 和 Cu 等重金属废水. 由于经济和技术上的原因, 这些富含重金属的污水未经有效处理就直接排放到附近水体, 给水环境带来巨大的

压力, 导致临近地区水质不同程度的下降, 严重时甚至可能引起污染事故. 但电镀厂废水对其周围水环境影响的研究目前仍鲜有报道.

本试验立足于苏南某排放含有重金属废水的电镀厂, 研究其废水的排放对下游地表水和地下水构成的影响. 通过对废水、河水和井水的 pH 与重金属含量的分析, 揭示重金属在河水与井水中的分布规律, 探讨重金属通过土壤迁移到地下水的可能性, 并根据有关标准进行相应的风险评价, 对研究此类工业废水对水环境带来的影响具用一定的借鉴

收稿日期: 2007-09-18; 修订日期: 2007-12-19

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB410810)

作者简介: 杭小帅(1980~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为重金属的环境行为及其风险评价, E-mail: xshang@issas.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: jmzhou@issas.ac.cn

意义.

1 材料与方法

1.1 样品采集与保存

以途经苏南某电镀厂的河流下游及其两侧村庄农户水井中的水体为对象,进行相关研究.样点分布如图 1 所示,电镀厂已有 30 多年的历史,在生产过程中通过位于上游的排污口向所研究河流排放废水.为了能较系统地反映电镀厂废水对河流与地下水的影 响,结合该河道和地貌特征与村庄的分布,选取有代表性的断面进行布点取样,另在附近农户水井中进行取样分析.样品采集均为同一时段进行,采样时间为 2005 年 7 月,根据当地的气候以及水文学,确定该时段为丰水期,表现为河水补给地下水.在河流中共采集 8 个河段的河水,并在与该河流交叉的河流上游取一无污染的河水作为对照,分别用取样器依次从下游向上游进行多点取样混合,取表层水(距表面 20 cm 处);共采集 14 口井的水样,取样位置约为地下 5 m 深处的浅层地下水;另在排污口处收集到工厂所排放的废水样.样品密封在事先用硝酸洗液浸泡过的干燥聚乙烯瓶中,分成 2 份,其中 1 份用来快速测定 pH;另 1 份经 0.45 μm 滤膜过滤,用硝酸酸化至 pH = 2.0,迅速送至实验室,以供分析重金属的含量.所有水样皆保存在 4℃ 条件下,整个过程力求无外来重金属污染.

1.2 分析方法

pH 值采用 pH 计测定;重金属 Zn、Mn、Cr、Cu 和 Ni 含量采用 ICP-AES 测定^[5-7],上述元素的检测限分别为 0.2、0.1、1、1.5 和 1 μg•L⁻¹.

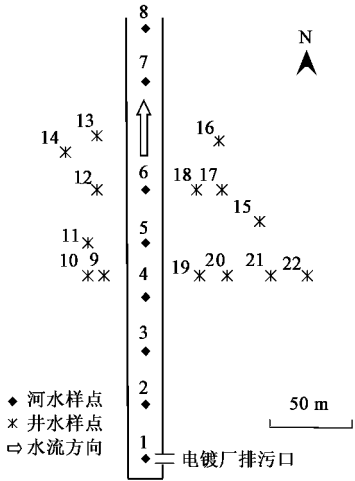


图 1 样点分布示意
Fig.1 Distribution of the sample sites

2 结果与讨论

2.1 分布特征

2.1.1 地表水

(1) pH 沿程变化特征 采样点距排污口的距离和水样 pH 值的关系见表 1.电镀厂排放的废水 pH 明显低于河流的 pH 值,而河流中不同样点水体的 pH 值基本一致,都接近 8.00 左右.可见,电镀厂排出酸性废水,pH 值约为 2.3.但由于丰水期大量河水的稀释作用,以及 H⁺ 与河水中的 OH⁻ 的中和作用、其它离子的结合作用和底泥沉积物中阳离子的交换作用,H⁺ 浓度大大降低,继而 pH 值基本上升至 8.00 左右,与对照的 pH 值 8.03(表 2)相似.所以在河水中已看不出 pH 的沿程变化趋势.

表 1 河水样点位置与 pH¹⁾
Table 1 Sites and pH values of stream water samples

指标	S	采样点编号							
		1	2	3	4	5	6	7	8
距排污口距离/m	—	0	50	100	150	200	250	350	400
pH	2.32	8.11	8.21	8.20	8.00	8.15	7.85	8.08	8.07

1) 废水编号为 S

(2) 重金属沿程分布特征 重金属的横向空间变化如图 2 所示,第 0 m 处 Cu 和 Ni 的含量分别为 4.50 mg•L⁻¹ 和 3.80 mg•L⁻¹,明显高于其它各点,与对照相比,0 m 处 Cu 和 Ni 的含量分别是对照的 112 和 21.0 倍.从 0 处到 50 m 处含量皆急剧下降,继而到 250 m 处基本保持不变,随后从 350 m 到 400 m 处有一缓慢下降过程,其中 400 m 已基本接近对照水平(表 2). Zn、Mn 和 Cr 也都表现出相同的空间变化

关系,它们在 0 m 处的含量分别为 0.354、0.459 和 0.854

表 2 废水与对照中重金属含量¹⁾/mg•L⁻¹
Table 2 Contents of heavy metal in wastewater and control water samples/mg•L⁻¹

样品	Zn	Mn	Cr	Cu	Ni	pH
S	1.34	3.77	28.1	6.40	9.73	2.32
CK	0.009	0.109	0.010	0.040	0.181	8.03

1) S 为废水样,CK 为对照

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 同样与对照相比, 它们分别是对照的 39.3 倍、4.21 倍和 85.4 倍。

根据重金属在河水中沿程分布特征(图 2), 将河道分为 4 段: 第 1 段(0 ~ 100 m)重金属含量急剧下降, 第 2 段(100 ~ 250 m)重金属含量基本不变, 第 3 段(250 ~ 400 m)重金属含量下降缓慢, 第 4 段(> 400 m)重金属含量基本接近对照。这是由重金属污染源和重金属扩散机制决定的, 因重金属和酸性物质主要来自电镀厂, 所以呈现为距电镀厂排污口近的水样中重金属的含量要高于距离较远的水样。

第 1 段急剧下降, 是由于电镀厂向河流中排放电镀废水, 引起排污口处重金属含量为整个河道最高值, 但是由于大量的河水稀释作用, 以及沉积和底泥的吸附作用^[8]之后, 导致从排污口处到距排污口 50 m 这段河道重金属含量大幅度下降, 同时也说明在此河道中重金属的移动性较差, 所以表现为 50 m 处的河水重金属的浓度已远远低于排污口处的浓

度; 在距排污口 50 ~ 100 m 河段重金属仍维持一定的浓度, 受到河水的进一步稀释, 重金属浓度下降也较明显。第 2 段基本不变, 主要是由于该段河面较窄、水流速度较慢, 并且与底泥的吸附解吸已达到平衡, 重金属在河水中迁移主要是通过自由扩散的方式, 故 100 ~ 250 m 段重金属浓度表现为无差异, 使该段河水中重金属的含量保持相对平衡, 基本维持无梯度水平, 且浓度已为较低水平。第 3 段下降缓慢, 是因为 250 ~ 400 m 这段河流较宽且又有交叉, 河水较深, 流速较快, 另外由于沉积和底泥吸附的影响, 使得本来已浓度较低的重金属又进一步缓慢下降, 此时下降后的浓度已基本上达到河流的对照浓度。第 4 段保持稳定, 400 m 河段河水中的重金属浓度已达到很低水平, 且与河水重金属本底浓度相接近, 而此处又无其它污染源的存在, 所以随着距排污口距离的增加和河流本身因素的变化, 重金属浓度不再呈现变化的趋势, 基本上已保持稳定。

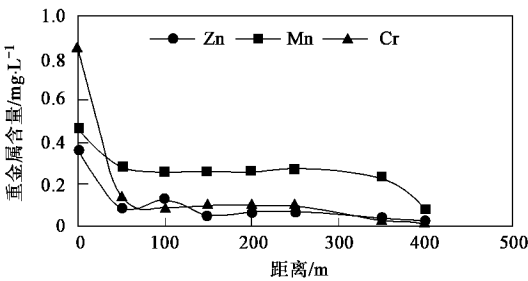
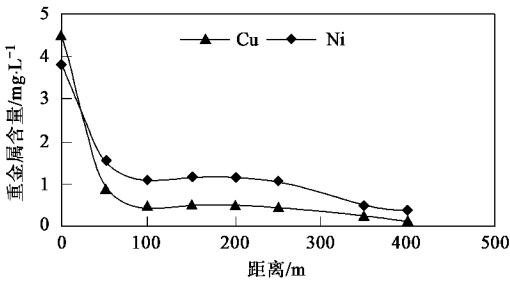


图 2 河水重金属空间分布
Fig.2 Spatial distribution of heavy metal in stream water

(3) 重金属废水的排放 由表 2 可知, 废水中 Zn、Mn、Cr、Cu 和 Ni 的浓度分别是对照的 149、34.6、2 810、160 和 53.8 倍。说明该电镀厂明显排放上述重金属污染物, 存在重金属污染源, 从中也表明了河流中重金属沿程分布特征的原因。通过对废水与河水中各重金属的相关性分析, 结果表明(表 3), 重金属之间都呈极显著正相关, 这与它们相同的来源相

表 3 废水与河水中各重金属之间的相关性¹⁾

Table 3 Correlations between heavy metals in wastewater and stream water samples					
	Zn	Mn	Cr	Cu	Ni
Zn	1				
Mn	0.985 **	1			
Cr	0.978 **	0.998 **	1		
Cu	0.915 **	0.839 **	0.816 **	1	
Ni	0.992 **	0.964 **	0.950 **	0.951 **	1

1) * * 表示 $p < 0.01$

一致。来源方式相同, 可能是河水中各种重金属沿程分布特征相似的主要原因之一。

2.1.2 地下水

(1) pH 分布特征 由表 4 知, 井水样的 pH 基本上都维持在平均值 8.5 左右, 且变异系数较小 (< 5%), 表明与井水样点位置差异无关。由于村庄位于河流距排污口 150 ~ 300 m 处的两侧, 此段河水中 pH 值又基本上无变异性(表 1)。因此, 与该段河水的 pH 值也无明显差异。这可能与地下水本身的 pH、以及土壤质地和 H^+ 移动等因素有关。

(2) 重金属分布特征 井水中重金属含量分析结果如表 4 所示。由于村庄段河道中所研究的几种重金属含量相对稳定(图 2), 因此, 可采用此段河流重金属含量的平均值与地下水进行比较, 进而探讨重金属的迁移规律。由图 2 可知, 此段河流中 Zn、Mn、Cr、Cu 和 Ni 平均值分别是井水样平均值(表 4)

表 4 井水重金属含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Table 4 Heavy metal concentrations in well water samples/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

指标	Zn	Mn	Cr	Cu	Ni	pH
平均	0.040	0.068	0.009	0.007 4	0.003 6	8.52
标准差	0.024	0.059	0.000 8	0.004 6	0.002 9	0.158
最小值	0.013	0.001	0.008	0.002	0 ¹⁾	8.16
最大值	0.091	0.189	0.010	0.019	0.009	8.76
变异系数/%	60.2	86.8	8.72	61.9	78.8	1.86

1) 0 表示低于检测限

的 1.47、3.73、8.32、51.9 和 237 倍.由此可见,井水重金属的含量普遍低于河水,这与 Rattan 等^[9]报道的污灌水重金属含量要明显高于同区域地下水重金属含量相一致.王国贤等^[10]通过对内蒙古东部污灌区土壤的表层剖面不同深度重金属元素进行了研究,结果表明,重金属垂直方向上的浓度逐渐减少,虽然经过十几年的污水灌溉,但地下水仍然没有受到污染.同时,杨军等^[11]也从土柱模拟试验中推断,北京中水灌溉下,重金属对潜层地下水的污染风险不大.因此,重金属在土壤中的迁移随着土层厚度的增加而呈现减弱的趋势,可能是由于重金属在土壤中的迁移率较低^[12]等原因所致.

通过对井水中重金属含量的统计,结果表明(表 4),井水中重金属含量的变异系数顺序为($100\% > \text{Mn}、\text{Ni}、\text{Cu}、\text{Zn} > 50\%$, $10\% > \text{Cr} > 5\%$).井水中 Cr 变异系数最小,各样点井水中 Cr 浓度基本相似,表明

Cr 浓度与样点位置无关,但其它 4 种重金属都表现出一定的变异性.根据井水样点的分布(图 1),对井水中 Zn、Mn、Cu 和 Ni 的浓度与样点位置距河流距离进行相关性分析,发现 4 种重金属浓度皆与其距河流距离呈现一定的正相关性(Zn 为 0.488; Mn 为 0.586; Cu 为 0.055; Ni 为 0.198).说明了重金属在井水中的分布并没有明显受到河水中重金属的影响,而表现为距河流较近样点的重金属含量低于较远样点的规律.同时,样点 15 处各种重金属(除 Cr)含量相对较高,样点 19 处各种重金属(除 Cr)含量相对较低,并且上述 4 种重金属含量由样点 19、20、21、22 顺序呈逐渐上升趋势(图 3).进一步表明重金属含量存在上述分布特点,即较远样点含量呈现出比较近样点高的特点.由此可知,井水中重金属并非来源于河流的渗析,差异可能是源于成土的本底值和土壤对其吸附能力的不同.

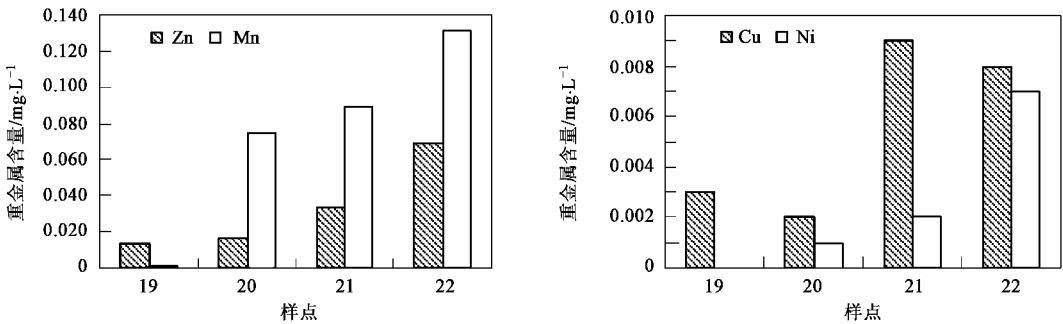


图 3 部分井水样点重金属分布规律

Fig. 3 Distribution of heavy metal in some well water samples

之所以河水重金属没有渗析到地下水,可能主要是由于土壤可通过物理吸附、化学和生物作用及离子交换等方式将重金属固定到土壤中^[13],因此,重金属主要富集在底泥沉积物中^[8],从而有效地降低了重金属在土壤中的移动性.大量研究表明,土壤对不同重金属都有一定的吸附能力.土壤对重金属的吸附能力是由其质地、有机质含量、粘土矿物和 pH 及其他物理化学性质共同决定的,也与重金属离

子的种类有关^[13].符娟林等^[14]研究了长江三角洲典型土壤对几种重金属的吸附与解吸行为,结果表明, pH、有机质和粘粒含量较高的土壤对重金属的吸附能力高于较低的土壤,其中 pH 值是影响土壤对重金属吸附与解吸的最重要因素.通常情况下, pH 与吸附性能成正相关.在本研究的弱碱性(pH 约为 8.5)和有机质较高(约为 3.46%)的条件下,不利于重金属的迁移.Zhao 等^[15]研究发现,可溶性 Zn 的浓

度在与所研究的土壤中 $<0.002\text{ mm}$ 颗粒和 CEC 呈显著负相关,表明土壤中的粘粒也是吸附 Zn 的主要因素之一.而该研究地区土壤为乌栅土,乌栅土是由石灰性湖相沉积物发育而成,粘粒 $<0.001\text{ mm}$ 含量在 $22\% \sim 25\%$,物理性粘粒 $>50\%$ 左右^[16].所以,表现为对重金属元素有较强的吸附性能,因而在一定程度上抑制了重金属在土壤中的移动性.

2.2 风险评价

2.2.1 排放的废水

污水综合排放标准如表 5 所示^[17].电镀厂排放的废水中重金属含量顺序为: $\text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Zn}$,其中 Cr、Ni 与 Cu 的浓度较高.调查发现,该电镀厂排污口也是车间处理设施排放口,所以此排污口也可视为第一类污染物采样点,并且该电镀厂为传统的 Cr(VI)电镀工艺,导致废水中 Cr 以六价形式存在.另据地表水环境质量标准^[18],该河水为Ⅲ类水域,因此,第二类污染物均应以一级标准计.评价结果表明,Cr 超标最为严重是排放标准的 56.2 倍;其次是 Ni,为排放标准 9.7 倍;Cu 为 3.2 倍;Mn 也接近排放标准的 1.9 倍;pH 也大大超标;Zn 没有超过排放标准,但已达到一定的浓度.这与电镀厂的日常生产有关,电镀厂主要从事 Cr 等重金属方面的电镀,所以废水中 Cr 污染最为严重,同时也伴随有 Ni、Cu 和 Mn,及 H^+ 的排放.由于废水未经或不完全处

表 5 污水综合排放标准限值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 5 Permissible levels of Integrated Wastewater Discharge Standard / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$				
污染物类型	序号	污染物	适用范围	最高允许排放浓度
第一类污染物	1	铬(六价)	一切排放单位	0.5
	2	总镍	一切排放单位	1.0
第二类污染物 (一级标准计)	3	总铜	一切排放单位	0.5
	4	总锌	一切排放单位	2.0
	5	总锰	其他排放单位	2.0
	6	pH	一切排放单位	6~9

表 6 地表水环境质量标准值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 6 Values of Environmental Quality Standard for Surface Water/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$						
序号	项目	分类				
		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
1	pH 值(无量纲)	6~9	6~9	6~9	6~9	6~9
2	铜	≤ 0.01	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0
3	锌	≤ 0.05	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 2.0
4	铬(六价)	≤ 0.01	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.1

河水重金属评价结果显示,河水中重金属 Ni 超标最为严重,其次为 Mn, Cr 和 Cu 也出现部分样点不同程度地超过Ⅲ类水标准限值;重金属 Zn 与 pH

理后直接排放,导致排污口中重金属和 H^+ 的含量较高,不同程度地超过有关排放标准.

2.2.2 地表水

地表水(河水)样中重金属含量平均值顺序为 $\text{Ni} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Zn}$. Ni、Cu、Mn 和 Cr 含量相对较高,与电镀厂排放废水中重金属的含量基本一致.唯有 Cr 的顺序发生了变化,表明 Cr 较其它重金属元素浓度下降速度快.Zhang 等^[19]对 6 种重金属在中国东南部城市土壤中吸附和移动性能进行了研究,结果表明,土壤对 Cr 的吸附能力要较 Pb、Cu、Cd、Zn 和 Ni 强.由此可见, Cr 较其它重金属元素更易被底泥沉积物和土壤吸附固定,这可能与 Cr 化学性质有关.

根据地表水环境质量标准^[18],该河水为Ⅲ类水质,其标准限值如表 6 所示.可以看出,河水中 Cr(以六价计)有 6 个样点超标,即在距排污口 $0 \sim 250\text{ m}$ 之间全部超标;Cu 仅排污口 1 处超标;Zn 没有超标点;pH 在正常范围之内.同时,对其进行水质变化评价.根据对照重金属的含量,该河流水体中 Cu 为Ⅱ类水质;Zn 和 Cr 分别为Ⅰ类水质.但在电镀厂废水影响情况下,Cu 在排污口处含量达到劣Ⅴ类水质,其它仍为Ⅱ类水质;Zn 有 6 个样点,即在距排污口 $0 \sim 250\text{ m}$ 之间水体已降到Ⅱ类水质;Cr 在距排污口最近 2 个样点含量达到劣Ⅴ类水质,并有 4 个样点($100 \sim 250\text{ m}$)降到Ⅴ类水质,距排污口最远 2 个样点($350 \sim 400\text{ m}$)也降到Ⅱ类水质.另根据 Mn 和 Ni 分别在集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值($0.1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和特定项目标准限值($0.02\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)得出,Ni 全部超标,最高超标近 190 倍;Mn 也近乎全部超标,仅有距排污口最远 1 处未超标.并通过对对照中 Ni 和 Mn 的含量进行评价,表明 2 种重金属元素也不同程度地超过限量值,但远较该电镀厂下游水体浓度低.

则未出现污染.虽然对照河水中 Ni 和 Mn 已超标,但主要是由于 Cr、Ni、Cu 和 Mn 已不同程度地超过排放标准,导致在距电镀厂排污口 $0 \sim 400\text{ m}$ 之间的河道

重金属含量较高,不仅不同程度地高于对照,而且 Ni 和 Mn 出现严重的污染;此外,有不同类型评价标准的重金属元素已明显引起河水水质的下降.由此可见,电镀厂废水已经对河流生态系统构成了一定的潜在生态风险.

2.2.3 地下水

地下水(井水)样中重金属含量平均值顺序为 Mn > Zn > Cr > Cu > Ni,与河水存在一定的差别,可能是由其来源不同所致.根据地下水质量标准^[20]和

表 7 地下水质量标准值¹⁾/mg·L⁻¹
Table 7 Values of Quality standard for Ground Water/mg·L⁻¹

序号	项目	分类				
		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
1	pH 值	6.5~8.5	6.5~8.5(6)	6.5~8.5	5.5~6.5, 8.5~9(8)	<5.5, >9
2	铜	≤0.01(11)	≤0.05(3)	≤1.0	≤1.5	>1.5
3	锌	≤0.05(11)	≤0.5(3)	≤1.0	≤5.0	>5.0
4	铬(六价)	≤0.005	≤0.01(14)	≤0.05	≤0.1	>0.1
5	镍	≤0.005(10)	≤0.05(4)	≤0.05	≤0.1	>0.1
6	锰	≤0.05(6)	≤0.05	≤0.1(4)	≤1.0(4)	>1.0

1) 括号内数字为达到相应标准的井水样品数,井水样品数共 14 个

3 结论

(1) 重金属 Zn、Mn、Cr、Cu 和 Ni 在河水中沿程分布特征相似,分 4 个阶段,第 1 阶段急剧下降,第 2 阶段基本不变,第 3 阶段下降缓慢,第 4 阶段保持不变.这可能是由同一污染源以及河水稀释结合沉淀和底泥吸附等共同作用引起的.

(2) 重金属 Cr 在井水中分布特征与样点位置无关;而重金属 Zn、Mn、Cu 和 Ni 在井水中分布与样点距河流距离不呈负相关,表明地下水并未受到河水的重金属的影响,原因可能是重金属在土壤中易被吸附,移动性较差.因此,地下水中重金属的分布特征可能是由成土本底值所决定.

(3) 电镀厂向河流中排放 Zn、Mn、Cr、Cu 和 Ni 等酸性污染物, H⁺ 超标也较为严重, pH 值达到 2.32; 废水中重金属含量的顺序为: Cr > Ni > Cu > Mn > Zn, 其中排放超标最为严重的是 Cr, 超标达 56.2 倍; 其次是 Ni、Cu 和 Mn, 也不同程度地超过排放标准; Zn 元素未超过排放标准,但已达到一定的浓度.

(4) 重金属在河水样中含量依次为 Ni > Cu > Mn > Cr > Zn, 与电镀厂排放的废水基本吻合.评价结果表明,河水中重金属 Mn 和 Ni 超标最为严重; Cr 和 Cu 也有部分样点已不同程度地超过 III 类水标准限值; 重金属 Zn 与 pH 未出现污染.

所研究的 5 种重金属含量(表 7). Mn 元素达到 I 类标准的样点有 6 个, III 类水标准的样点有 4 个, IV 类水标准的样点也有 4 个; Cr 若均按六价计,也能 14 个样点全部达到 II 类标准; 其余重金属元素皆属于 I 类或 II 类水; pH 达到 I 类水的有 6 个, IV 类的有 8 个.表明井水从所研究的重金属指标上分析,基本上可作为生活饮用水(达到 III 类或以上水质),但重金属元素和 pH 为 IV 类水的井水需经适当处理后方可作生活饮用水.

(5) 重金属在井水样中含量依次为 Mn > Zn > Cr > Cu > Ni, 与河水存在一定的差别,可能是由于来源不同所致.评价结果表明,井水中重金属除 Mn 元素有 4 个样点属于 IV 类水之外,其它重金属皆达到 III 类或 III 类以上水质.从重金属指标上进行分析,属于 IV 类地下水的井水需对 Mn 元素作适当的处理之外,其它井水皆达到生活饮用水标准.

参考文献:

[1] Beijer K, Jernelöv A. Sources, transport and transformation of metals in the environment [A]. In: Friberg L, Nordberg G F, Vouk V B, (eds). Handbook on the Toxicology of Metals [C]. Amsterdam: Elsevier, 1986. 68-84.

[2] Cheung K C, Poon B H T, Lan C Y, et al. Assessment of metal and nutrient concentrations in river water and sediment collected from the cities in the Pearl River Delta, South China [J]. Chemosphere, 2003, 52: 1431-1440.

[3] Panayotova T, Dimova-Todorova M, Dobrevsky I. Purification and reuse of heavy metals containing wastewaters from electroplating plants [J]. Desalination, 2007, 206: 135-140.

[4] Chang I S, Kim B H. Effect of sulfate reduction activity on biological treatment of hexavalent chromium [Cr(VI)] contaminated electroplating wastewater under sulfate-rich condition [J]. Chemosphere, 2007, 68(2): 218-226.

[5] Demirak A, Yilmaz F, Tuna A L, et al. Heavy metals in water, sediment and tissues of Leuciscus cephalus from a stream in southwestern Turkey [J]. Chemosphere, 2006, 63(9): 1451-1458.

[6] 秦延文, 孟伟, 郑丙辉, 等. 渤海湾天津段潮间带沉积物柱

状样重金属污染特征[J]. 环境科学, 2006, **27**(2): 268-273.

[7] 刘恩峰, 沈吉, 杨丽原, 等. 南四湖及主要入湖河流表层沉积物重金属形态组成及污染研究[J]. 环境科学, 2007, **28**(6): 1377-1383.

[8] Vdović N, Billon G, Gabelle C, *et al.* Remobilization of metals from slag and polluted sediments (Case Study: The canal of the Deûle River, northern France) [J]. Environmental Pollution, 2006, **141**: 359-369.

[9] Rattan R K, Datta S P, Chhonkar P K, *et al.* Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, Crops and groundwater-a case study [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, **109**: 310-322.

[10] 王国贤, 陈宝林, 任桂萍, 等. 内蒙古东部污灌区土壤重金属迁移规律的研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, **26**(增刊): 30-32.

[11] 杨军, 郑袁明, 陈同斌, 等. 中水灌溉下重金属在土壤中的垂直迁移及其对地下水的污染风险[J]. 地理研究, 2006, **25**(3): 449-456.

[12] 肖正, 何晶晶, 邵立明, 等. 填埋场内重金属总量及其形态分布对迁移性的影响[J]. 环境化学, 2005, **24**(3): 265-269.

[13] 张磊, 宋凤斌. 土壤吸附重金属的影响因素研究现状及展望[J]. 土壤通报, 2005, **36**(4): 628-631.

[14] 符娟林, 章明奎, 黄昌勇. 长三角和珠三角农业土壤对 Pb、Cu、Cd 的吸附解吸特性[J]. 生态与农村环境学报, 2006, **22**(2): 59-64.

[15] Zhao X L, Qing C, Wei S Q. Heavy metal runoff in relation to soil characteristics [J]. Pedosphere, 2001, **11**(2): 137-142.

[16] 常熟市土壤普查办公室, 苏州市农业局, 江苏省土壤普查办公室. 江苏省常熟市土壤志[M]. 常熟: 江苏省常熟市土壤普查委员会, 1985. 130.

[17] GB 8978-1996, 污水综合排放标准[S].

[18] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S].

[19] Zhang M K, Fang L P, Huang C Y. Competitive adsorption and mobility sequence of heavy metals in urban soils of southeastern China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2006, **18**(2): 329-333.

[20] GB/T 14848-1993, 地下水质量标准[S].