

# XRF 光谱法研究城市工业区的土壤环境污染

李小平, 黄春长

(陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

**摘要:** 利用 X 射线荧光光谱法 (XRF) 对某城市工业区周围的土壤环境进行了研究。根据对土壤中 Pb、Zn、Cu、Cr、Ni、Mn、S、N、P 9 种元素含量, 土壤的 pH 值以及 TOC 的测定和利用内梅罗综合污染评价指数法对重金属污染评价的结果, 表明工业区电池厂的生产活动是土壤环境污染的主要因素, 建立了重金属 Pb 与土壤性质间的回归预测模型, 提出了造成土壤环境污染的原因。且 XRF 法是对土壤重金属检测和污染评价的快速有效的方法。

**关键词:** 重金属; 城市环境; 污染评价; 铅; X 射线荧光光谱法

**中图分类号:** X53

随着工业化和城市化的发展, 大量的污染物进入城市中的土壤环境, 重金属污染就是其中之一。由于土壤是极为复杂的体系, 重金属元素在土壤中所经过的一系列物理化学过程, 会改变重金属的离子形态, 从而对城市的土壤-水-大气和人的健康造成一系列的影响。多年来, 诸多学者对 Pb 等重金属的研究多见于利用 AAS、AES、ICP-AES 等分析测试技术和手段<sup>[1-9]</sup>, 但仅仅限于对重金属和稀有金属的测定, 而忽略了与污染有关的重要的非金属和其他指标的分析。而且, 许多研究把城市土壤环境中 Pb 的污染源归属为城市中汽车尾气的排放<sup>[10-14]</sup>, 并且对 Pb 等重金属的污染报道也多见于矿山等地区的土壤环境<sup>[15-19]</sup>。然而, 在日益发展的城市化进程中, 城市功能分区日益显著的情况下, 首先应考虑城市工业区的工业生产对城市环境带来的显著影响。本文采用具有试样制备简单, 多样品、多元素同时分析, 分析速度快, 重现性好和非破坏性测定等优点的 X 射线荧光光谱法 (XRF) 研究报道了城市工业区的土壤环境, 并根据分析结果对该区的重金属污染进行了评价。为城市环境保护和进行城市工业区土壤污染综合治理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器和测量条件

Philips PW2403 X-射线荧光光谱仪(荷兰), 3.0 kW 高功率、薄铍窗, 超尖锐端窗铑靶 X 光管, PW2540VRC 样品交换器。选用 GSD01-12、GSS01-16 和 GBW070041-070046 标准样品(地球物理地球化学勘查研究所, 河

北廊坊); TAS-990 原子吸收分光光度计(谱析通用); ETHOS PLUS MILESTONE 微波消解系统(意大利); High-TOC Elementar (德国); PHSJ-4A 型 pH 酸度计(上海雷磁)。所有的试剂均为分析纯。各被分析元素的测量条件见表 1。

### 1.2 样品采集

在调查某蓄电池厂(全国较大的生产铅酸蓄电池的厂家之一)的基础上, 把工业区分分为 A、B、C、D、E 5 个区, 在距蓄电池厂 D 的不同区域 A、B、C、E 分别采样, 土壤样品采样深度 0~10 cm, 采用多点取样组合分析, 每个区域的代表性土壤混合样品均由该区域的 20~25 个分样品组成, 采集的土壤样品按照区域的划分标记为 SA、SB、SC、SD 和 SE。

### 1.3 分析样品的制备

土壤样品经风干后, 去除砂砾、植物碎屑等后, 用玛瑙研钵研磨, 过直径为 2 mm 的土筛, 再研磨全部通过 100 目筛, 以四分法取 250 g 样品保存备用, 称取样品 4 g 放入模具中用硼酸镶边垫底, 在 30 t 压力下, 压成试样直径为 32 mm 的样片

## 2 结果与讨论

### 2.1 WD-XRF 法精密度与准确度

采用粉末压片法, 对 GSS-05 标样样品重复制备 11 个样片, 按表 1 的测量条件, 分别对 11 个样片进行测量; 将所得的结果进行统计。并将此标准样品在微波消解系统消化处理后, 利用原子吸收分光光度计对重金属元素按照国标方法进行测定。由表 2 中的数据

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40471119、40571154)、教育部重点项目 (02069) 和陕西师范大学青年科学基金项目 (2005) 资助。

作者简介: 李小平 (1977—), 男, 陕西陇县人, 博士研究生, 讲师, 主要从事环境分析化学、环境污染与治理和污染生态学领域的研究。E-mail: lixiaoping@snnu.edu.cn

表 1 分析元素的测量条件

Table 1 Conditions for measuring elements

元素	分析通道	分析线	晶体	准直器	探测器	X 光管过滤器	电压 (kV)	电流 (mA)	2 $\theta$ (°)
N	Fixed 1	K $\alpha$	PX5		Flow	None	24	100	35.1800
P	Gonio	K $\alpha$	Ge 111	300 $\mu$ m	Flow	None	24	100	140.9656
S	Gonio	K $\alpha$	LiF 200	300 $\mu$ m	Flow	None	24	100	110.6510
Cr	Gonio	K $\alpha$	LiF 200	300 $\mu$ m	Duplex	None	60	40	69.3506
Cu	Gonio	K $\alpha$	LiF 200	300 $\mu$ m	Duplex	None	60	40	45.0102
Ni	Gonio	K $\alpha$	LiF 200	300 $\mu$ m	Duplex	None	60	40	62.9896
Pb	Gonio	L $\beta$ 1	LiF 200	300 $\mu$ m	Scint.	None	60	50	28.2162
Zn	Gonio	K $\alpha$	LiF 200	300 $\mu$ m	Scint.	None	60	40	41.7670
Mn	Gonio	K $\alpha$	LiF 200	300 $\mu$ m	Duplex	None	60	40	62.9896

表 2 国家标准样品的测定结果

Table 2 Results of the determination of Nation Standard Samples

元素	GSS05				
	标准样品的标准值* ( $\mu$ g/g)	WD-XRF 法		AAS 法 ( 国标 )	
		测定值 ( $\mu$ g/g)	RSD ( % )	测定值 ( $\mu$ g/g)	RSD ( % )
P	390 $\pm$ 34	350.13	1.18	-	-
S	410 $\pm$ 54	400.94	2.05	-	-
N	610 $\pm$ 31	628.40	2.50	-	-
Pb	552 $\pm$ 29	574.53	1.64	567.42	0.57
Cr	118 $\pm$ 7	123.25	0.90	110.00	0.28
Mn	1360 $\pm$ 71	1342.37	1.56	1320.75	0.35
Cu	144 $\pm$ 6	138.47	0.24	139.48	0.03
Zn	494 $\pm$ 25	496.50	1.35	490.78	0.21
Ni	40 $\pm$ 4	43.40	0.31	42.05	0.13

注：\* 标准值的不确定度 ( U )。  $U = t \alpha s / (N)^{1/2}$ ,  $\alpha = 0.01$ ,  $t$  为  $t$  分布表的值,  $s$  为标准偏差,  $N$  为数据数,  $N > 20$  时, 按 20 计算。

对比可知,  $RSD < 5.00\%$ , 结果与标准值符合, 说明 WD-XRF 方法满足分析的要求。

## 2.2 WD-XRF 法测定结果

利用 XRF 方法对所采集的 5 个样品 (SA、SB、SC、SD、SE) 进行测定, 5 次测量的结果见表 3 (  $RSD$  在  $0.07\% \sim 2.5\%$  间 )。由表 3 可知, 各采样点土壤重金属质量分数变化很大, 并且变化以元素不同而异。其中, Pb 的质量分数就为环境背景值的  $108 \sim 3113$  倍, 并且为环境质量标准值的  $9 \sim 257$  倍; Zn 的质量分数为环境背景值的  $2.5 \sim 120$  倍, 并且为环境质量标准值的  $0.7 \sim 33$  倍等。反映了该厂生产活动对土壤环境产生了明显的污染。

## 2.3 土壤重金属污染评价与土壤性质的关系

为了全面反映各污染物对土壤的不同作用, 突出高浓度污染物对环境质量的影响, 采用内梅罗综合污染指数法 ( 中华人民共和国环境保护行业标准 HJ/T 166-2004 ), 利用表 3 的测定结果对其污染程度进行了

评价。其计算公式为:

$$P_N = \{ [ (PI_{\text{average}})^2 + (PI_{\text{max}})^2 / 2 ] \}^{1/2} \quad (1)$$

式中,  $PI_{\text{average}}$  和  $PI_{\text{max}}$  分别是平均单项污染指数  $PI_i$  和最大单项污染指数。

$$PI_i = C_i / S_i \quad (2)$$

式中,  $PI_i$  为土壤第  $i$  种重金属污染分指数;  $C_i$  为土壤第  $i$  种重金属实测质量分数;  $S_i$  为土壤第  $i$  种重金属土壤环境标准值。土壤污染指数见表 4。

从表 4 的污染指数可以看出, 在 5 种重金属元素中, Pb 的污染最为严重, 接下来就是 Zn、Ni、Cu, 而 Cr 的污染指数均  $< 1$ ; 而所有样点的综合污染指数  $P_N$  均  $> 1$ , 表明工业区土壤重金属污染已经相当严重。而且根据表 5 可以明显的看出土壤中 Pb 与重金属 Cu、Zn、Ni 和 N、P 间有很显著的相关性。采用逐步回归分析的方法, 确定重金属 Pb 的回归预测模型如下:

$$Y(\text{Pb}) = -5385.4 + 1157.33X_1(\text{Ni}) - 13.06X_2(\text{Zn}) + 1.709X_3(\text{N}) \quad (r = 0.999)$$

表 3 土壤重金属质量分数与土壤性质<sup>a</sup>(mg/kg)  
Table 3 Mass fractions of heavy metals in soil and soil properties

		pH	Ni	Pb	Cu	Zn	Cr
土壤样品	SA	7.51 ± 0.07	39.26 ± 1.43	2682.00 ± 3.78	62.24 ± 1.23	169.30 ± 2.76	100.22 ± 2.50
	SB	7.42 ± 0.02	42.14 ± 1.68	6573.80 ± 4.65	73.04 ± 1.59	305.40 ± 1.35	110.54 ± 1.69
	SC	7.58 ± 0.06	63.68 ± 1.01	31938.12 ± 7.18	117.30 ± 2.27	744.40 ± 2.50	108.12 ± 1.76
	SD	7.49 ± 0.02	179.28 ± 2.27	76979.42 ± 7.80	242.36 ± 1.23	8288.58 ± 3.89	91.96 ± 1.98
	SE	7.29 ± 0.05	36.14 ± 1.98	8729.46 ± 5.20	65.78 ± 1.40	312.92 ± 1.78	101.16 ± 2.57
环境质量标准值 <sup>b</sup>		6.5 < pH < 7.5	50	300	100	250	200
环境背景值 <sup>[20]</sup>		-	25.5	24.73	22.7	69.1	58.0
陕西省关中地区 含量值分布 <sup>[20]</sup>		7.5 左右	24.7 ~ 34.6	16.0 ~ 26.5	17.8 ~ 57.0	67.1 ~ 120.0	46.9 ~ 65.6

		Mn	N	P	S	TOC ( g/kg )
土壤样品	SA	665.38 ± 1.22	7164.22 ± 3.67	1091.10 ± 3.68	1465.8 ± 2.27	33.76 ± 2.7
	SB	607.84 ± 1.01	10376.54 ± 2.50	1298.08 ± 3.32	2814.56 ± 2.35	52.57 ± 3.5
	SC	535.78 ± 1.33	12553.30 ± 3.35	1653.04 ± 3.90	2188.68 ± 1.53	54.32 ± 5.3
	SD	298.24 ± 0.99	18488.80 ± 6.27	1126.36 ± 2.39	3091.64 ± 1.47	43.59 ± 4.7
	SE	536.42 ± 1.29	14118.18 ± 5.69	1145.76 ± 2.76	3851.36 ± 1.21	23.86 ± 2.1
环境质量标准值 <sup>b</sup>		-	-	-	-	-
环境背景值 <sup>[20]</sup>		645	-	647	-	-
陕西省关中地区含 量值分布 <sup>[20]</sup>		544 ~ 724	-	620.0 ~ 878.0	-	-

注：a 表中的数据表示形式为：平均值 ± 标准偏差 (S.D.) S.D. = [(Xi-Xmean)<sup>2</sup>/n-1]<sup>1/2</sup>, (n = 7); b 土壤重金属污染的环境质量标准 (GB15618-1995)。

表 4 土壤中重金属污染指数  
Table 4 Pollution index of heavy metals in residential soils

土壤样品	PI <sub>Ni</sub>	PI <sub>Pb</sub>	PI <sub>Cu</sub>	PI <sub>Zn</sub>	PI <sub>Cr</sub>	P <sub>N</sub>
SA	0.79	8.94	0.62	0.68	0.50	6.53
SB	0.84	21.91	0.73	1.22	0.55	15.90
SC	1.27	106.46	1.17	2.98	0.54	76.94
SD	3.59	256.60	2.42	33.15	0.46	186.22
SE	0.72	29.10	0.66	1.25	0.51	21.07

表 5 土壤中各重金属元素含量及其与土壤性质间的相关性  
Table 5 Correlation coefficients of heavy metals with soil properties in residential soils

	pH	Ni	Pb	Cu	Zn	Cr	N	P	S	TOC
pH	1	0.294	0.351	0.343	0.193	0.046	-0.146	0.516	-0.784	0.667
Ni	0.294	1	0.977	0.993	0.992	-0.726	0.799	-0.161	0.190	0.215
Pb	0.351	0.977	1	0.995	0.950	-0.643	0.845	0.024	0.210	0.284
Cu	0.343	0.993	0.995	1	0.972	-0.665	0.820	-0.044	0.189	0.283
Zn	0.193	0.992	0.950	0.972	1	-0.777	0.806	-0.273	0.251	0.122
Cr	0.046	-0.726	-0.643	-0.665	-0.777	1	-0.565	0.657	-0.182	0.479
N	-0.146	0.799	0.845	0.820	0.806	-0.565	1	-0.037	0.688	0.011
P	0.516	-0.161	0.024	-0.044	-0.273	0.657	-0.037	1	-0.205	0.712
S	-0.784	0.190	0.210	0.189	0.251	-0.182	0.688	-0.205	1	-0.327
TOC	0.667	0.215	0.284	0.283	0.122	0.479	0.011	0.712	-0.327	1

$$Y(\text{Pb}) = -20117.4 + 405.711X_1(\text{Cu}) \quad (r = 0.995)$$

$$Y(\text{Pb}) = -62018.0 + 6.221X_1(\text{N}) + 7.432X_2(\text{P}) \quad (r = 0.847)$$

$$Y(\text{Pb}) = -18403.1 + 9.885X_1(\text{N}) - 10.146X_2(\text{P}) - 25.113X_3(\text{S}) \quad (r = 0.847)$$

从表 3 可知, 所有样品的 pH 值大约在 7.50 左右。根据文献<sup>[20]</sup>此处属于第四系黄土堆积为主的亚干旱气候区内, 成份上为普通碳酸盐型土壤和不饱和硅铝型土壤, 为碳酸盐-硫酸盐为主的淡水-微咸水带, 土壤环境处在碱性半干旱氧化环境, 且 Pb、Zn、Cu、Cr、Ni 等在土壤中的主要存在形态是: 残渣晶格态、铝铁锰氧化物结合态、有机结合态等, 它们的化学性质也比较稳定<sup>[21-24]</sup> (Pb 有很高的负电性, 被认为是弱 Lewis 酸, 易与 Fe、Al、Mn 氧化物、有机质和碳酸盐形成共价键), 当土层中有机质和黏粒等增加时, 重金属元素在氧化环境下就会被强烈吸附并聚集, 故土壤中重金属与 TOC 间存在有显著的正相关性。其 TOC 值与土壤中重金属元素 Pb、Zn、Cr、Ni 的含量之间的关系可采用逐步回归分析的方法, 确定的回归预测模型如下:

$$Y(\text{TOC}) = -21.15 + 0.152X_1(\text{Ni}) - 7.6 \times 10^{-5}X_2(\text{Pb}) - 0.002X_3(\text{Zn}) + 0.19X_4(\text{Cr}) \quad (r = 1.000)$$

与土壤中 P 的含量和 pH 值之间的关系可表示为:

$$Y(\text{TOC}) = -35.004 + 0.003X_1(\text{P}) + 4.781X_2(\text{pH}) \quad (r = 0.793)$$

陈晶中等<sup>[11]</sup>研究报道了北京城市边缘区土壤重金属污染物分布特征, 发现重金属 Pb 与其土壤理化性质间也存在着显著的关系, 但其相关系数不大。吴新民等<sup>[25]</sup>报道了南京市城市土壤重金属在城市不同功能区的含量分布、不同功能区各元素间分布格局的差异性, 但是在工矿区 Pb、Cu、Zn 等含量都较高, 相互之间相关关系却不显著; 而本地区重金属 Pb 与土壤性质间有较高的相关性。从表 5 中可以看出, Zn 与 Pb 和 Cu 与 Pb 都具有较高的相关性, 而 Pb 和 Zn 有相似的地球化学行为<sup>[26]</sup>, 且重金属 Pb、Cu、Zn、Cr 等均为典型的人类活动源元素<sup>[27]</sup>, 这就更进一步证明了该区土壤污染具有相似的污染途径和来源 (主要来自蓄电池工厂的生产)。再根据表 3 和图 1 的结果可知, SA、SB、SC 和 SE 区的重金属含量都与工业区电池厂生产区 SD 的重金属含量具有直接的关系。所以, 可以直接推断 SA、SB、SC 和 SE 的污染直接来自 SD 区, 且其变化趋势与风向的变化一致相吻合。而该厂以生产铅酸蓄电池为主, 生产时首先将铅锭在 500 ~ 600 或者更高

的温度下融化, 然后再铸成铅板。这样 Pb 等重金属在高温中容易形成烟、雾扩散, 并随着大气沉降和雨水淋洗等又使得空气中的重金属进入土壤<sup>[28-29]</sup>, 致使土壤表层重金属含量较高。而土壤中存在的 Pb 则以 Pb(OH)<sub>2</sub>、PbCO<sub>3</sub> 等难溶性盐及有机络合态存在, 其化合物的溶解度和降解自由度低, 在土壤剖面向下移动很慢, 大多都累积于 0 ~ 15cm 的土壤层中<sup>[30-32]</sup>。而且, 大量富集于表层土壤中的 Pb 污染物不仅影响土壤微生物、土壤酶活性以及土壤的理化性质, 而且会对城市中植物产生影响, 甚至通过食物链危害人类的健康。且植物吸收 Pb 的量与总 Pb 量呈正相关<sup>[33]</sup>, 在一定条件下, 土壤有机质含量的增加也可使部分呈沉淀态的重金属与柠檬酸和苹果酸络合, 转化为有机吸附态被植物吸收利用<sup>[34]</sup>。而铅蓄电池的生产更离不开酸 (硫酸), 这样更加剧了土壤中 Pb 的富集和传递。所以其表层土中 Pb 的含量与 Zn、Ni、Cu、N、P、S、TOC 才都具有明显的相关性。这样, Pb 又反过来影响着其他元素的含量, 从而导致土壤中污染物浓度的不断积累增大, 造成土壤污染的加重。

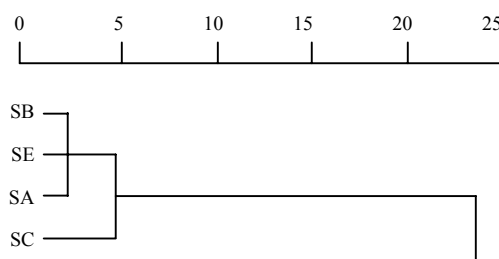


图 1 样点相互关系的树形图

(系统数图使用类间平均连锁法)

Fig. 1 Dendrogram of correlation matrix

### 3 结论

(1) 本城市工业区的土壤环境都不同程度地受到 Pb、Zn、Cu、Cr、Ni 5 种重金属元素的污染, 其中 Pb 的污染最为严重, 且土壤中高浓度的 Pb 与其他金属元素 (Zn、Cu、Cr、Ni)、非金属元素 (N、S、P) 和有机质含量 TOC 间都具有显著的相关性, 这说明它们同时进入土壤 (主要来自蓄电池工厂的生产) 或不同的重金属之间存在相互作用, 从而对土壤环境造成复合型的污染。

(2) XRF 光谱法是一种监测和研究土壤环境重金属污染的有效、快速、简单、准确的方法。

参考文献:

- [1] Ca'rdenas S, Valca'rcel M. Analytical features in qualitative

- analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 2005, 24(6): 477-487
- [2] Brown RJC, Milton MJT. Analytical techniques for trace element analysis: An overview. *Trends in Analytical Chemistry*, 2005, 24(3): 266-274
- [3] Manta DS, Angelone M, Bellanca A. Heavy metals in urban soils: A case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *The Science of the Total Environment*, 2002, 300: 229-243
- [4] Chung Wong CS, Li XD. Pb contamination and isotopic composition of urban soils in Hong Kong. *The Science of the Total Environment*, 2004, 319: 185-195
- [5] Nowka R, Marr IL, Ansari TM, Müller H. Direct analysis of solid samples by GFAAS determination of trace heavy metals in barites. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, 1999, 364(6): 533-540
- [6] Estévez Alvarez JR, Montero AA, Jiménez NH, Muñoz UO, Padilla AR, Molina RJ, de Vera SQ. Nuclear and related analytical methods applied to the determination of Cr, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in a red ferralitic soil and sorghum samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2001, 247(3): 479-486
- [7] Masataka H, Chen ZS, Kohziro S, Hiroshi K. Coprecipitation with tin (IV) hydroxide followed by removal of tin carrier for the determination of trace heavy metals by graphite-furnace atomic absorption spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 1995, 302(1): 103-107
- [8] Panne U, Neuhauser RE, Theisen M, Fink H, Niessner R. Analysis of heavy metal aerosols on filters by laser-induced plasma spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 2001, 56(6): 839-850
- [9] De Miguel U E, Llamas JF, Chac'on E, Mazadiego LF. Sources and pathways of trace elements in urban environments: A multi-elemental qualitative approach. *The Science of the Total Environment*, 1999, 235: 355-357
- [10] 杨金燕, 杨肖娥, 何振立. 土壤中铅的来源及生物有效性. *土壤通报*, 2005, 36(5): 765-772
- [11] 陈晶中, 陈杰, 谢学俭, 毛久庚, 张学雷. 北京城市边缘区土壤重金属污染物分布特征. *土壤学报*, 2005, 42(1): 149-152
- [12] Zhang MH, Ke ZX. Heavy metals, phosphorus and some other elements in urban soils of Hangzhou city, China. *Pedosphere*, 2004, 14(2): 177-185
- [13] 蒋海燕, 刘敏, 黄沈发, 沈根祥, 吴健. 城市土壤污染研究现状与趋势. *安全与环境学报*, 2004, 4(5): 73-77
- [14] 李鱼, 董德明, 吕晓君, 路永正, 花修艺. 汽车尾气中铅对公路两侧土壤的污染. *生态环境*, 2004, 13(4): 549-552
- [15] Sa' nchez J, Marino N, Vaquero MC, Ansorena J, Legorburu I. Metal pollution by old lead zinc mines in urumea river valley (basque country, Spain) soil, biota and sediment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1998, 107: 303-319
- [16] Liu YG, Zhang HZ, Zeng GM, Huang BR, Li X. Heavy metal accumulation in plants on Mn mine tailings. *Pedosphere*, 2006, 16(1): 131-136
- [17] Lee CG, Chon HT, Jung MC. Heavy metal contamination in the vicinity of the Daduk Au-Ag-Pb-Zn mine in Korea. *Applied Geochemistry*, 2001, 16: 1377-1386
- [18] 王广林, 刘登义. 冶炼厂污灌区土壤-水稻系统重金属积累特征的研究. *土壤*, 2005, 37 (3): 299-303
- [19] 崔龙鹏, 白建峰, 史永红, 颜事龙, 黄文辉, 唐修义. 采矿活动对煤矿区土壤中重金属污染研究. *土壤学报*, 2004, 41(6): 896-904
- [20] 潘爱芳, 赫英, 马润勇. 陕西省区域环境地球化学分区. *地球科学进展*, 2004, 19: 339-443
- [21] 刘东生, 卢演涛, 郑洪汉. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985: 238-253
- [22] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤中重金属的化学形态分布. *环境化学*, 2003, 22(3): 131-136
- [23] 李俊莉, 宋华明. 土壤理化性质对重金属行为的影响分析. *环境科学动态*, 2003, 11 (1): 24-26
- [24] 王 新, 周启星. 土壤重金属污染生态过程效应及修复. *生态科学*, 2004, 23(3): 278-281
- [25] 吴新民, 潘根兴. 城市不同功能区土壤重金属分布初探. *土壤学报*, 2005, 42(3): 513-517
- [26] Reimann C, De Caritat P. *Chemical Elements in the Environment*. New York: Springer, Berlin Heidelberg, 1998
- [27] Ratha DS, Sahu BK. Source and distribution of metals in urban soil of Bombay, India, using multivariate statistical techniques. *Environmental Geology*, 1993, 22: 276-285
- [28] Ahmed F, Bibi MH, Monsur MH, Ishiga H. Present environment and historic changes from the record of lake sediments, Dhaka City, Bangladesh. *Environ. Geol.*, 2005, 48: 25-36
- [29] Newman DK, Banfield JF. Geomicrobiology: How molecular-scale interactions underpin biogeochemical systems. *Science*, 2002, 296(10): 1071-1077
- [30] Camo ЫЛ o b a T C. 受重金属污染的土壤中的微生物区系和土壤生化活性. *土壤学进展*, 1987, 15(6): 46-50
- [31] Sutherland RA. Depth variation in copper, lead and zinc concentrations and mass enrichment ratios in soil so far urban water shed. *J. Environ. Qual.*, 2000, 29: 1414-1422
- [32] 杨居荣, 车宇瑚, 刘坚. 重金属在土壤植物系统的迁移、累积特征及其与土壤环境条件的关系. *生态学报*, 1985, 5(4): 312-315
- [33] Li YM, Chaney RL, Angle JS, Chen KY, Kerschner BA, Baker AJM. Genotypical difference in zinc and cadmium hyperaccumulation in *Thlaspi caerulescens*. *Agron. Abstr.*, 1996: 27
- [34] Harter DD. Effect of soil pH on adsorption of lead, copper, zinc and nickel. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1983, 47: 47-51

## Study on the Soil Environment Pollution in City Industry Zone by XRF Method

LI Xiao-ping, HUANG Chun-chang

(College of Environment and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an, 710062, China)

**Abstract:** Impact of manufacturing activities of a battery garage in the industrial zone of a city on soil environment therein was investigated. Concentrations of Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, Mn, S, N and P in the soil were determined with the XRF method and values of pH and TOC were measured. And then environmental impact of heavy metal pollution on city soil environment was evaluated with the Nemero Index Method. Results showed that the prospect of heavy metal pollution is considerably serious, and the activities of the battery garage the main pollution source. A regress model was established for relationship between Pb and soil properties. The XRF method is proved to be a fast, effective analytic method.

**Key words:** Heavy metal, City environment, Pollution assessment, Pb, XRF