

西安市城市灰尘微量元素环境异常研究

田 晖¹, 杜佩轩², 梅 琳³

(1. 杭州职业技术学院, 杭州 310002; 2. 长安大学, 西安 710054; 3. 中国地质科学院, 北京 100037)

摘 要: 通过对西安市城市灰尘中部分微量元素背景值和富集程度的研究, 圈定了环境异常区。对各异常区元素特点进行分析, 指出异常区城市灰尘中主要污染元素为 Hg、Ag、Sb、Zn, 其余元素在不同异常地段也有不同程度的富集。在此基础上, 分别对不同异常地段中微量元素的分布状况作了评价。

关键词: 城市灰尘; 微量元素; 背景值; 富集系数; 环境异常

中图分类号: X820.1

文献标识码: A

西安市城市灰尘微量元素富集系数与环境异常研究主要沿穿越西安市区的东西向纺南路—红光路和南北向长安路—草滩路两条主要街道开展工作。

1 城市灰尘

1.1 城市灰尘污染

城市灰尘的来源有自然因素和人为因素^[1]。本文所及“灰尘”实际指城市垃圾“尘土”, 城市灰尘和大气颗粒物污染有密切的成因演化关系, 大量的城市灰尘在风和大气流体的作用下, 扬起、沉降往复交替循环, 含有大量微量元素的灰尘久而久之对环境造成持续污染。灰尘是在气候和环境等因素共同作用下, 通过不同途径、方式进入城市环境中的物质。通过对城市灰尘研究, 可以掌握灰尘中微量元素的富集情况, 发现和圈定环境异常区, 长期对污染区域进行监控和预测预报, 及时发现城市污染源^[2]。

1.2 城市灰尘微量元素效应

城市灰尘中的颗粒物本身具有极大的危害^[3], 据研究, 大气颗粒物中的化学成分随粒径的变化差异加大^[4], 细粒物质表面积大、吸附力强, 易吸附微量元素, 进而造成环境污染。微量元素的危害在于能在生物体内富集(生物累积效应)或变成其它毒性更强的化合物^[5], 通过食物链微量元素会最终聚集在人体内, 对人体形成潜在的威胁, 因此, 对城市灰尘富集程度和环境异常的研究, 有利于对污染的及时跟踪, 采取有效治理措施。

1.3 城市灰尘微量元素平均值

土壤、地壳、水系沉积物中元素背景值^[6]与西安市城市灰尘元素平均含量比较, 可以再

收稿日期: 2005-01-28

基金项目: 国家 305 科技攻关项目 (85-902-07-06) 资助。

作者简介: 田晖 (1972-), 女, 讲师, 硕士, 现从事生物环境科学教学与研究。通讯地址: 上海市上中西路 925 弄 35 号 602 室; E-mail: tianhui_lucky@163.com

现城市灰尘微量元素含量偏离各背景值的程度, 预测预报城市灰尘微量元素的来源及污染趋势, 为富集程度和环境异常研究提供依据^[7]。经过对分析测试数据进行统计分析, 西安市城市灰尘样品 10 种元素的环境地球化学平均值和相关的统计有如下特征:

①西安市城市灰尘微量元素平均含量与地壳克拉克值比较, 其中铜、铅、锌、铈、银、汞、砷在城市灰尘中的含量普遍高于地壳克拉克值, 变化幅度比较大, 最高达 10 倍左右; 锰、铬、镍低于地壳克拉克值, 变化不太大; 应该说在城市灰尘中的铬、镍含量更接近于陕西省地壳背景值。

②西安市城市灰尘微量元素平均含量和水系沉积物背景值比较, 在城市灰尘中, 除铬平均值接近水系沉积物背景值和镍元素平均值低于其水系沉积物背景值外, 其它元素平均值均高于水系沉积物背景值, 特别是 Pb、Zn、Ag、Hg 元素增高幅度达 5~10 倍。

③西安市城市灰尘微量元素的平均含量和土壤背景值比较, Cu、Pb、Zn、Mn、Sb、Ag、Hg 都比陕西省或全国土壤背景值高; Cr、Ni、As 低于陕西省或全国土壤背景值, 但差距很小。

④在城市灰尘中, Pb、Zn、Ag、Hg 显示出强富集 (这几种微量元素的富集都对环境有较大危害); Cu、Mn、Sb 在城市灰尘中一般富集; Cr、As 变化不明显; Ni 在城市灰尘中趋于亏损。

⑤西安市城市灰尘中微量元素平均值和地壳、水系沉积物、土壤背景值比较, Pb、Zn、Ag、Hg、As 明显增高, 而且增高幅度非常大。例如: Ag 达到 $0.5\mu\text{g/g}$, Hg 达到 $0.45\mu\text{g/g}$, Pb 达到 $111\mu\text{g/g}$, Zn 达到 $280\mu\text{g/g}$, Sb 达到 $5.66\mu\text{g/g}$, 这已经达到地质找矿中的明显异常范围。

从以上分析可看出, 城市灰尘中微量元素的平均值与土壤背景值更接近, 有可比性, 说明城市灰尘主要来自地层表面土壤; 通过和土壤、地壳、水系沉积物中元素背景值的比较, 城市灰尘中分析的多数微量元素明显高于这些背景值, 也说明城市灰尘中微量元素的富集主要是人为因素造成的, 自然来源不占主导地位^[1]。

2 城市灰尘环境异常

2.1 环境异常研究计算方法

环境地球化学异常辨析是环境地球化学工程中的一个重要问题, 正确圈定异常为科学防治和治理环境提供依据。西安市城市灰尘环境地球化学异常划分, 使用了 EGMA 系统^[8], 即以圈定污染目标区为目的, 对所分析的 10 种微量元素提供的信息综合考虑, 进行累加累乘后计算其异常下限, 以异常下限圈定西安市城市灰尘环境地球化学异常^[9]。使用如下方法:

①计算微量元素标准化衬度值, 衬度值 (HZ) = 含量值 (X_i) / 平均值 (X)

②累加各个采样点多元素衬度值, 得多元素累加衬度值 ($\sum HZ_i$), ($i: 1 - 10$)。

③计算累加衬度值的平均值 ($\sum X$)、标准离差 (S),

$\sum X = \sum HZ_i / n$ $S^2 = (1/n - 1) [\sum (HZ_i - \sum X)^2]$ ④环境异常下限为平均值加 1.5

倍标准离差, 环境异常下限 (T) = $\sum X + 1.5S$

⑤异常分带按照 T 、 $1.2T$ 、 $1.4T$ 分为外带、中带、内带。

2.2 城市灰尘环境异常分区

计算西安市城市灰尘 10 种微量元素衬值、累加衬值、累加衬值平均值、累加衬值标准离差、环境异常下限，见表 1、表 2。绘制的异常区见图 1 和图 2。

表 1 西安市长安路—草滩路环境地球化学异常数据表

Table 1 Data of environmental geochemical anomalies of the Chang'an Road-Caotan Road, Xi'an City

元素 样点	Cu	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Sb	Ag	Hg	As	$\sum HZ_i$
1	0.768	0.847	0.657	0.829	0.769	0.945	1.063	1.08	0.867	1.207	9.032
2	0.896	0.847	0.446	0.925	0.769	1.732	0.389	1.34	0.544	0.747	8.636
3	0.839	0.703	0.518	0.861	0.769	1.575	0.558	1	0.7	0.977	8.500
4	1.024	0.910	0.718	0.988	0.961	1.575	0.597	1.72	0.622	0.966	10.08
5	1.195	1.171	1.029	0.829	0.865	1.417	0.746	1	0.844	1.115	10.21
6	0.982	1.108	0.761	0.829	0.961	1.181	0.447	0.94	1.778	0.759	9.809
7	1.152	1.225	0.85	1.084	0.961	1.181	0.645	1.28	1.156	0.919	10.45
8	0.953	1.180	0.943	0.94	1.154	1.181	0.565	1.24	1.122	0.988	10.27
9	1.280	1.189	0.861	1.067	1.058	1.575	0.601	1.04	1.167	0.954	10.79
10	1.337	1.018	1.121	1.148	1.154	2.362	0.406	1.6	1	0.931	12.08
11	1.038	1.477	1.053	1.02	1.346	1.339	0.433	1.08	1.389	0.874	11.05
12	1.053	1.153	0.982	0.971	1.154	9.449	0.565	0.94	1.956	1.138	19.36
13	1.124	1.505	0.943	0.971	0.673	0.945	0.521	1.2	1.056	1.115	10.05
14	1.536	1.153	0.993	1.259	0.962	1.181	1.104	1.08	0.622	1.046	10.94
15	1.138	1.604	1.014	0.908	1.154	1.181	1.258	0.88	1.667	1.172	11.98
16	2.532	1.694	0.804	0.925	1.346	1.181	1.104	8.6	0.567	1.052	19.80
$\sum X$	10.28			S	1.0802			T	11.89		

注：文中原始数据分析由陕西省国土资源厅测试中心进行（原子分光光度计法）， $\sum X$ 、S、T 均以 $\sum HZ_i$ 为标准计算，表 2 类同。

3 异常解释方法与评价

使用 EGMA 系统在研究区定位预测圈定 EGMA 异常六处（图 1 和图 2），分别为西五路、龙首村、纺织城、东大街、钟楼、红光路西段（图 3）。各异常区样品以粘土和细砂物质为主，通过对各异常区周围环境的调查，在采样区车流量较大，商业活动繁忙，各采样区周围未见其它明显的偶然因素引起的环境污染。异常区采样辐射范围大约 500m。

3.1 异常解释方法

根据全国土壤背景值计算各异常区微量元素富集系数和环境污染级别（即超出背景值的倍数）。

富集系数计算使用公式^[3]：

环境灰尘富集系数 = 街道灰尘平均值 / 全国土壤背景值

表 2 西安市纺南路—红光路环境地球化学异常数据表

Table 2 Data of environmental geochemical anomalies of the Fangnan Road-Hongguang Road, Xi'an City

元素 样点	Cu	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Sb	Ag	Hg	As	$\sum HZ_i$			
1	0.754	0.523	0.607	1.263	1	0.709	1.131	1.02	0.6	0.792	8.398			
2	0.626	0.568	0.596	1.224	0.615	0.551	1.343	0.54	0.496	1.398	7.957			
3	1.309	1.306	1.393	1.122	1.269	0.866	1.643	0.62	1.011	0.879	11.42			
4	0.526	0.387	0.311	1.020	0.885	0.945	0.928	0.56	1.317	1.280	8.160			
5	0.597	0.387	0.382	1.084	1.115	0.866	1.272	0.34	0.487	1.124	7.656			
6	0.754	0.856	0.757	1.275	1.115	0.709	1.378	0.54	0.593	0.684	8.662			
7	0.967	0.595	0.725	1.198	1.308	0.866	1.608	0.62	0.889	1.124	9.900			
8	0.939	0.829	1.571	0.918	1.115	0.945	1.272	0.88	0.936	1.183	10.59			
9	1.095	1.018	1.146	0.893	1.154	0.866	1.678	1.36	1.329	0.821	11.36			
10	1.494	1.477	1.825	0.893	1.212	0.787	1.396	3.16	1.3	1.026	14.57			
11	1.152	1.369	1.386	0.918	1.212	0.709	0.512	0.62	2.227	0.821	10.93			
12	1.181	0.928	1.15	0.714	0.769	0.551	10.57	0.88	2.913	1.329	20.99			
13	0.953	0.793	1.271	0.842	0.615	0.394	1.034	1	1.338	0.792	9.03			
14	1.095	0.883	0.989	0.969	0.885	0.551	1.776	0.7	0.822	1.222	9.892			
15	1.067	0.901	0.979	1.173	0.538	0.709	0.918	1.08	1.242	0.987	9.595			
16	1.010	0.955	0.925	1.033	0.615	0.551	1.178	0.96	3.324	0.968	11.52			
17	0.939	0.946	1.257	0.867	0.769	0.472	1.696	0.88	0.964	0.703	9.495			
18	0.768	0.973	2.339	1.403	1.769	0.551	1.231	1	0.504	0.831	11.37			
19	0.455	0.658	7.14	0.944	2.212	0.866	0.972	1.02	0.42	1.124	15.81			
$\sum X$	10.35			S			2.176			T			13.62	

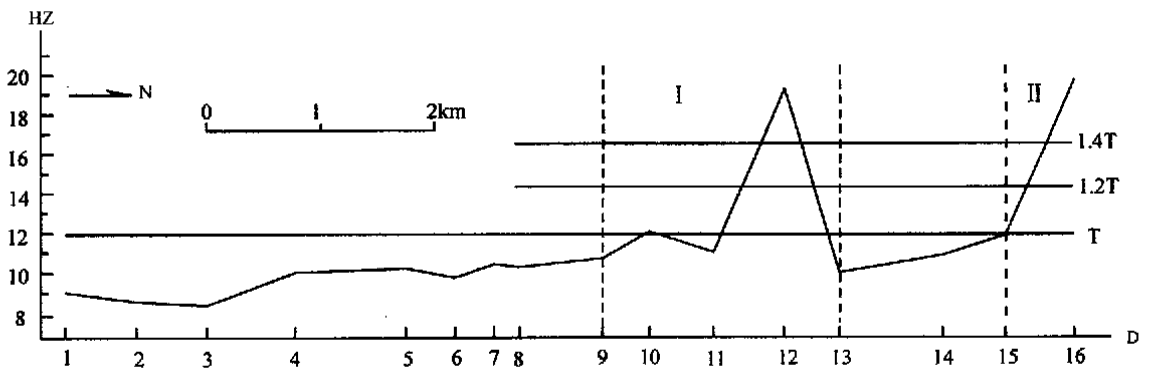


图 1 西安市长安路—草滩路环境地球化学异常图

Fig.1 Section showing the environmental geochemical anomalies of the Chang'an Road-Caotan Road, Xi'an City

(注: 横坐标 D 为采样点, 纵坐标 HZ 累加衬值, 图 2 同)

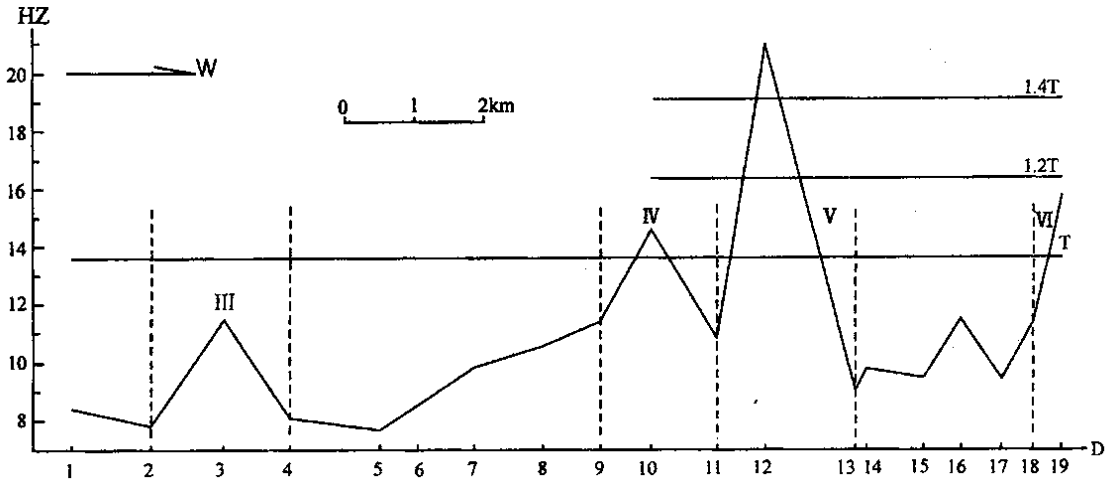


图 2 西安市纺南路—红光路环境地球化学异常图

Fig.2 Section showing the environmental geochemical anomalies of the Fangnan Road-Hongguang Road, Xi'an City

由于微量元素环境污染级别尚无标准，西安市城市灰尘环境污染级别初步认定将环境中微量元素含量高于土壤背景值（富集系数）的 1~5 倍为轻度污染（I 级），5~10 倍为中度污染（II 级），大于 10 倍定为重度污染（III 级）。现根据环境异常区特征元素组合、异常强度、环境效应叙述如下：

3.2 异常评价

西五路异常区（I 号异常）位于北大街过街天桥位置（图 3）。该异常区由 Cu、Pb、Zn、Mn、Cr、Ni、Sb、Ag、Hg、As 这十种元素共同引起。根据表 3，富集系数最大的为 Hg，高达 23 倍，定为 III 级污染；Pb 的富集系数大于 5，为 II 级污染；Ni 在本异常点富集系数为 4.82，未达到 II 级污染，但其在发现的异常中是含量最高点；其它几种元素超过背景值在 1~5 之间，有不同程度的富集，为 I 级污染。因此，西五路异常区对污染贡献最最大的元素为 Hg、Pb；对环境污染有一定贡献的元素为 Cu、Sb、As、Mn、Cr、Zn、Ni、Ag。

龙首村异常区（II 号异常）位于双龙饭店一带，是车流量较大的交通集中区和城乡结合部（图 3）。计算结果见表 4。

表 3 西安市西五路异常区微量元素富集系数和污染级别 (μg/g)

Table 3 Trace element enrichment coefficient and pollution grade of the Xiwu Road anomaly, Xi'an

元素	Cu	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Sb	Ag	Hg	As
含量值	74	128	275	762	60	120	3.2	0.47	0.88	9.9
土壤值	20.7	23.5	68	540	57.3	24.9	1.07	0.10	0.038	9.6
富集系数	3.57	5.45	4.04	1.41	1.05	4.82	2.99	4.7	23.16	1.03
污染级别	I	II	I	I	I	I	I	I	III	I

异常区龙首村异常点由 Cu、Pb、Zn、Mn、Cr、Sb、Ag、Hg 这八种元素引起。富集系数最大的为 Ag，其富集倍数达到 43 倍，为 III 级污染，Ag 地壳克拉克值为 0.075μg/g，而此异常点 Ag 含量值为 4.3μg/g，接近工业可开采品位；Cu、Pb、Hg、Sb 的富集系数在 5~10 之间，为 II 级污染，而 Cu 属所圈异常中含量最高点；对污染有一定贡献的为 Zn、Mn、Cr，为

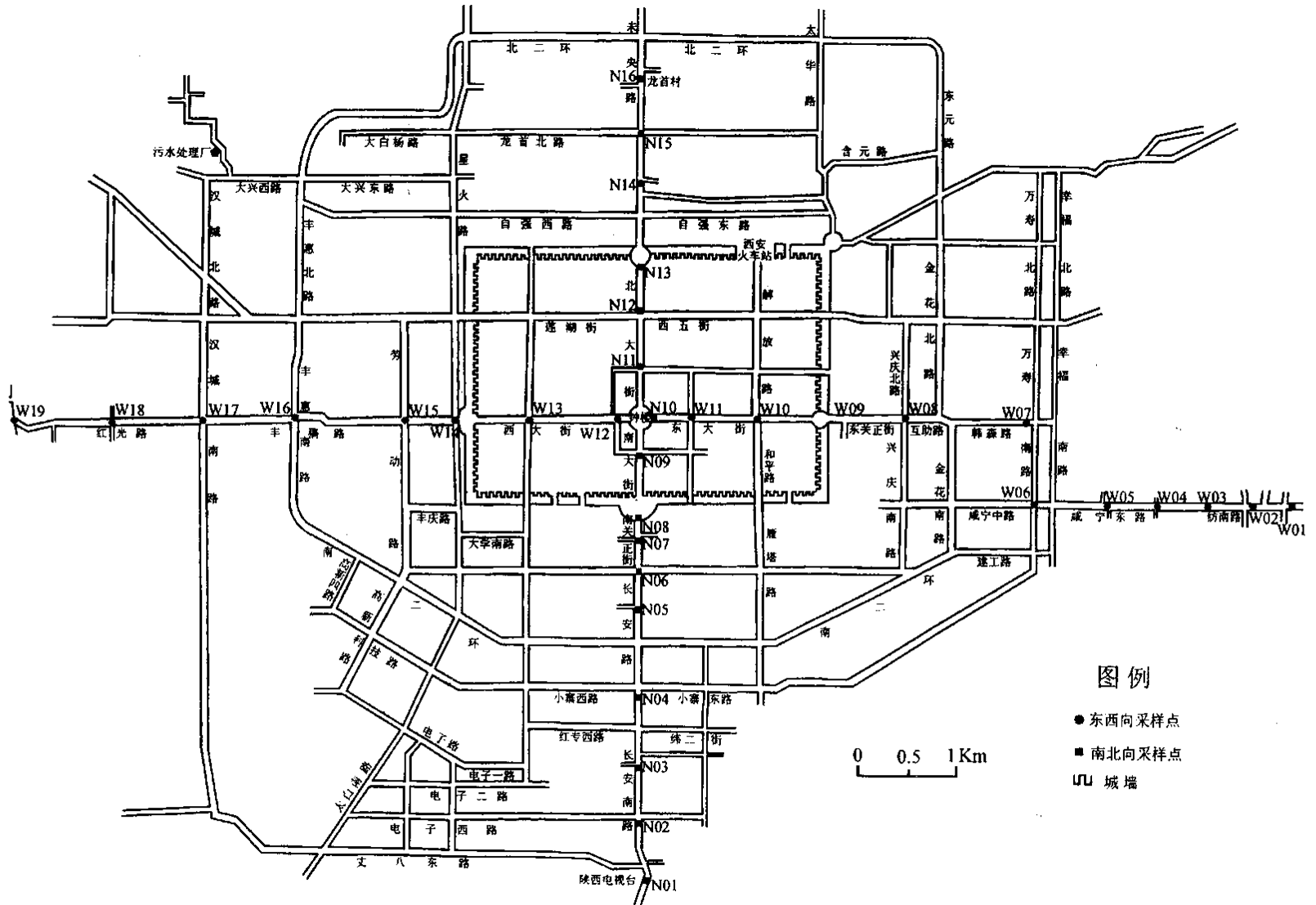


图3 西安市城市灰尘采样点分布图

Fig.3 Sample location of urban dust in Xi'an

I 级污染。

表 4 西安市龙首村异常区微量元素富集系数和污染级别 ($\mu\text{g/g}$)

Table 4 Trace element enrichment coefficient and pollution grade of the Longshoucun anomaly, Xi'an

元素	Cu	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Sb	Ag	Hg	As
含量值	178	188	225	725	70	15	6.25	4.3	0.255	9.15
土壤值	20.7	23.5	68	540	57.3	24.9	1.07	0.10	0.038	9.6
富集系数	8.60	8.00	3.31	1.34	1.22	0.60	5.84	43	6.71	0.95
污染级别	II	II	I	I	I		II	III	II	

纺织城异常区 (III号异常) 位于咸宁东路到纺南路一带 (图 3), 属于内带以内, 由于采样区是车流量较大的交通集中区、商业区、工业企业分布区及城乡结合部, 予以考虑。计算结果见表 5。

表 5 西安市纺织城异常区微量元素富集系数和污染级别 ($\mu\text{g/g}$)

Table 5 Trace element enrichment coefficient and pollution grade of the Fangzhicheng anomaly, Xi'an

元素	Cu	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Sb	Ag	Hg	As
含量值	92	145	390	880	66	11	9.3	0.31	0.455	7.65
土壤值	20.7	23.5	68	540	57.3	24.9	1.07	0.10	0.038	9.6
富集系数	4.44	6.17	5.74	1.63	1.15	0.44	8.69	3.1	11.97	0.79
污染级别	I	II	II	I	I		II	I	III	

纺织城异常区由 Cu、Pb、Zn、Mn、Cr、Sb、Ag、Hg 这八种元素引起。根据富集系数, 富集系数最大的为 Hg, 其富集倍数接近 12 倍, 为 III 级污染, 其中 Hg 的这种高富集性应该引起注意; Sb、Pb、Zn 的富集系数在 5~10 之间, 为 II 级污染; 对异常区污染有一定贡献的元素为 Ag、Mn、Cr、Cu, 为 I 级污染, 其中 Mn 在所属各异常区中此点富集系数最大。

东大街异常区 (IV号异常) 位于东大街中段以东 (图 3), 计算结果见表 6。

异常区东大街由 Cu、Pb、Zn、Mn、Cr、Sb、Ag、Hg 这八种元素引起。富集系数最大的为 Ag、Hg, 都超过了 15, 表现为强富集, 为 III 级污染; Sb、Zn、Pb、Cu 的富集系数在 5~10 之间, 均为 II 级污染, 在各异常区中, Pb 在本异常区中含量最高; Mn、Cr 对异常区污染贡献较小, 为 I 级污染。

表 6 西安市东大街异常区微量元素富集系数和污染级别 ($\mu\text{g/g}$)

Table 6 Trace element enrichment coefficient and pollution grade of the Dongdajie anomaly, Xi'an

元素	Cu	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Sb	Ag	Hg	As
含量值	105	164	511	700	63	10	7.9	1.58	0.585	8.93
土壤值	20.7	23.5	68	540	57.3	24.9	1.07	0.10	0.038	9.6
富集系数	5.07	6.98	7.51	1.30	1.10	0.40	7.38	15.8	15.39	0.93
污染级别	II	II	II	I	I		II	III	III	

钟楼异常区 (V异常) 位于以钟楼为中心的 500m 范围内 (图 3), 计算结果见表 7。

表7 西安市钟楼异常区微量元素富集系数和污染级别 ($\mu\text{g/g}$)

Table 7 Trace element enrichment coefficient and pollution grade of the Bell Tower anomaly, Xi'an

元素	Cu	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Sb	Ag	Hg	As
含量值	83	103	322	560	40	7	59.85	0.44	1.311	11.56
土壤值	20.7	23.5	68	540	57.3	24.9	1.07	0.10	0.038	9.6
富集系数	4.01	4.38	4.74	1.04	0.70	0.28	55.93	4.4	34.5	1.20
污染级别	I	I	I	I			III	I	III	I

该区异常由 Cu、Pb、Zn、Mn、Sb、Ag、Hg、As 这八种元素引起。富集系数最大的为 Sb 和 Hg，达到 55.93 和 34.5，为 III 级污染，因此，这两种元素对钟楼污染贡献最大，这两种元素的超常富集应该引起注意；Cu、Pb、Zn、Ag、As、Mn 对异常区的污染贡献应为 I 级污染，在个异常区中，As 在本区含量最高。钟楼异常区和其它异常区相比，Hg、Sb、As 为最高含量点，其次 Cu、Pb、Zn、Ag 接近 II 级污染。因此，钟楼异常区为重点污染区。

异常区 (VI 号异常) 位于以红光路西段为主，是车流量较大的交通集中区、商业区、工业企业分布区及城乡结合部。附近有西郊热电厂、西安钢铁厂和起重机厂。计算结果见表 8。

表8 西安市红光路异常区富集系数和污染系数 ($\mu\text{g/g}$)

Table 8 Trace element enrichment coefficient and pollution grade of the Hongguang Road anomaly, Xi'an

元素	Cu	Pb	Zn	Mn	Cr	Ni	Sb	Ag	Hg	As
含量值	32	73	2000	740	115	11	5.5	0.51	0.189	9.78
土壤值	20.7	23.5	68	540	57.3	24.9	1.07	0.10	0.038	9.6
富集系数	1.55	3.10	29.41	1.37	2.01	0.44	5.14	5.10	4.97	1.02
污染级别	I	I	III	I	I		II	II	I	I

异常由 Cu、Pb、Zn、Mn、Cr、Sb、Ag、Hg、As 这九种元素引起。富集系数最大的为 Zn，为 29.41 倍，Zn 元素的这种富集可能与采样点周围生产企业的分布有关，锌元素的富集已经对周围环境造成了污染，为 III 级污染；Sb、Ag 为 II 级污染，其富集系数超过 5；其余几种元素 Hg、Cu、Mn、As、Pb、Cr 对异常区污染贡献较小，为 I 级污染。Zn、Cr 在此点的富集系数是所圈异常区中最大的。

4 讨论及结论

(1) 汞为重污染元素，除在龙首村和红光路未达到 III 级污染，其余各异常区富集系数都很高；

(2) 银元素在龙首村和东大街异常区也表现出强富集；

(3) 铈元素与其它元素比较也表现为富集，特别在钟楼异常区为 III 级污染，除龙首村为 I 级污染之外，其余各异常区表现为 II 级污染；

(4) 锌元素在红光路引起的重度污染可能是生产与锌相关的产品的企业引起的；其余元素在不同的异常区都有一定程度的污染，属于轻度到中度污染。

(5) 通过对采样区周围环境的调查，在各采样区 (红光路除外) 周围未见明显的环境污

污染源，但车流辆较大，商业活动频繁，因此，异常区城市灰尘的来源为人为因素造成的。

参 考 文 献

- [1] 田晖. 西安市灰尘来源探析 [J]. 北京地质, 2002, 14 (2): 23~26.
- [2] 杜佩轩, 田晖, 韩永明, 等. 城市灰尘粒径组成及环境效应 [J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21 (1): 94~98.
- [3] 田晖. 西安市城市灰尘微量元素环境地球化学及赋存状态研究 [D]. 西安: 长安大学, 2001, 14~53.
- [4] Kellaway G. A. Environmental geology of Bath, England [J]. Environmental Geology, 1995, 26 (3): 189~191.
- [5] Wolff G T, Kelly N. A., Ferman M. A., et al. Measurements of sulfur oxides, nitrogen oxides, haze and fine particles at a rural site on the Atlantic coast [J]. Journal of the Air Pollution Control Association, 1986, 36: 585~591.
- [6] 薛澄泽, 肖铃, 吴乾丰, 等. 陕西省主要农业土壤中十种元素背景值研究 [M]. 1985. 20~40.
- [7] 马乃喜. 西安生态环境建设研究 [M]. 西安: 西安地图出版社, 1999, 10~20.
- [8] 杜佩轩. EGMA 系统及其应用效果——找矿靶区的定位预测 [J]. 物探与化探, 1998, 22 (5): 371~378.
- [9] 於崇文, 等. 数学地质的方法与应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.

ENVIRONMENTAL ANOMALIES OF TRACE ELEMENTS IN URBAN DUST OF XI'AN CITY

TIAN Hui¹, DU Pei-xuan², Mei Ling³

(1. *Technique College of Hangzhou, Hangzhou 310002, Zhejiang*; 2. *Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi*;
3. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

Abstract: Based on a study of the background values and enrichment degrees of some trace elements in urban dust in Xi'an City, environmental anomaly areas in Xi'an were outlined, and the element characteristics of various environmental anomaly areas were analyzed. The paper points out that the main pollution-producing elements in urban dust in the anomaly areas are Hg, Ag, Sb and Zn, while the other elements in different anomaly areas are also enriched to different degrees. On the basis of these results, the distributions of trace elements in different anomaly areas were evaluated.

Key words: urban dust; trace element; background value; enrichment coefficient; environmental anomaly