

济南市大气降尘地球化学特征及污染端元研究

庞绪贵¹ 王晓梅² 代杰瑞¹ 郭瑞朋¹ 喻超¹ 崔元俊¹ 董健¹

(1.山东省地质调查院, 山东 济南 250013; 2.中国地质科学院, 北京 100037)

摘要:在济南市城区对大气降尘及不同污染端元样品进行采集,系统分析了大气降尘和污染端元元素含量特征,并对大气降尘空间分布及污染来源进行研究。结果表明:不同污染端元中元素含量差别明显,燃煤尘中As、Cd、F、Pb是汽车尾气尘的3倍以上,是交通尘、冶炼尘、建筑尘等其他端元尘的1.26~2.35倍,对环境影响较大;汽车尾气尘中Cr、Ni、S、Zn含量最高,冶炼尘中Co、Ni、Pb、F含量偏高,而建筑尘中多数元素含量为所有端元尘中最低。与土壤背景值相比,济南市大气降尘中Cr、Cu、Pb、Zn、Cd、F、S富集程度较高,受到不同程度人为污染;相关分析和因子分析结果表明,Cd、Cu、Hg、Pb、As主要来源于企业燃煤,大气降尘中这些元素高含量区与热电厂、冶炼厂、化工厂等燃煤污染源空间分布相一致;F、S可能与汽车尾气排放有关,而As、Cr主源于交通污染,这3种污染源是济南市大气降尘污染的主要来源,对降尘的贡献约占60.42%。研究表明,工业燃煤排放已逐渐代替汽车尾气成为大气降尘中Pb元素的主要来源。

关键词:污染端元;大气降尘;富集程度;因子分析;济南

中图分类号:P595;X513 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)01-0285-09

大气降尘指大气中重力作用下自然降落于地面的颗粒物,其粒径多在10 μm 以上,是大气污染监测的重要指标^[1]。随着城市化和工业化的快速发展,人为源成为大气降尘中有毒有害元素的主要来源^[2-8],降尘携带的污染物化学成分也更为复杂,除含有多种重金属、有机污染物外,还有氮氧化物、碳氢化合物等。大气降尘不仅对人们的生活环境产生影响,而且其携带的污染物在沉降后会对土壤、植物、水体等造成二次污染,危害人体健康。因此掌握城市大气降尘的分布特征和变化规律,研究影响降尘的主要污染因子,对于改善城市大气环境质量以及保障人类健康等具有重要的意义。

济南市是山东省政治、经济、文化、科技、教育和金融中心,它南依泰山,北跨黄河,地势从北到南分为临黄带、山前平原带和丘陵山区带,属于暖温带大陆性季风气候,年平均气温13.6 $^{\circ}\text{C}$,年平均降雨

量614 mm,全市总面积8177 km²,市区面积3257 km²。济南市为山东省工业大市,也是中国重要的工业城市。在“工业立市”政策的指导下,济南市已初步形成了门类齐全、结构完整的工业体系,其中冶金、机械、轻纺、化工、电子、建材、医药、食品等行业在全国具有举足轻重的地位。随着近30年来快速城市化和工业化发展,石油化工、钢铁冶炼、热电等企业规模不断扩大,近10年来建筑业也发展迅速,机动车保有量急剧增加,燃煤、工业粉尘、交通扬尘、汽车尾气尘等对城市大气质量影响严重。近年来有不少学者对济南市土壤环境质量以及大气质量进行了研究评价^[9-13],但对市区大气降尘中重金属分布及污染特征的研究未见报道。笔者在对济南市污染源及大气降尘污染特征进行研究的基础上,采用相关分析和因子分析法,对大气降尘可能来源以及污染源对降尘的贡献进行了初步探讨,这

收稿日期:2013-05-02;改回日期:2013-11-20

基金项目:中国地质调查局项目(1212010310306)资助。

作者简介:庞绪贵,男,1962年生,研究员,从事地球物理地球化学勘查与研究;E-mail:sdsddyxcb@sohu.com。

为改善济南市大气环境质量、防治降尘污染具有重要的意义。

1 样品采集与分析

1.1 污染端元样品采集

详细调查济南市工业、交通、建筑等分布状况,对废气排放量大、污染严重的交通尘、建筑尘、燃煤尘、冶炼尘和汽车尾气尘等进行布点,每种降尘布设5个采样点(图1)。交通尘选择在市区汽车交通流量大的地段,建筑尘选择城市规模较大的建筑工地,燃煤尘、冶炼尘考虑主导风向,在燃煤企业、冶炼厂的下风地段布置采样点;采集样点周围1.5~2.0 m高人工平台、建筑物等上部的浮降尘;对燃煤尘、冶炼尘也可以在烟囱内壁及周围采集样品;汽车尾气尘选择市区中大型停车场、长途车站、加油站布置采样点,用毛刷、竹签轻刮附着在尾气排气管内的尾气尘,避免将排气管金属刮入样品中,相同类型的汽车尾气尘合并成1个样品,详细记录汽车类型和所用汽油型号;以上样品量在20~50 g,均满足分析量及保存备用量要求。

1.2 大气降尘样品采集

在济南市区设置78个采样点(图1),每个采样

点收集1个样品,采样器为自行加工而成,是内径50 cm、高80 cm的塑料桶。采样器均置于建筑物顶部,远离局部明显的污染源(如烟筒、交通要道、污染工厂等)和高大建筑物。用铁丝结合楼顶附属物固定采样器。接收时间为1年(2006年4月至2007年4月)。大气降尘样品分为可溶部分(混悬液)和不溶部分(沉淀物),由于采集时采样器内没有混悬液或已经很少,因此在样品采集前的处理方法为在屋顶自然晾干或混悬液稍多的采用滤膜过滤,收集的沉淀物或滤膜过滤物装入干净塑料袋,自然风干,称重记录后分取30 g送实验室分析。为与本地土壤对比,以1点/km²的采样密度在公园、绿化带等采集表层土壤样品,采样时除去表面杂物,垂直采集地表至20 cm深的土壤,保证上下均匀采集,并弃去动、植物残留体、砾石等,装入干净布袋,样品原始重量大于200 g,共采集样品400件;土壤样品风干、敲碎、过20目尼龙筛,取80 g送实验室分析。

1.3 样品分析

对所采集的78件大气降尘、400件土壤和25件污染端元样品进行分析。污染端元样品分析As、Al₂O₃、CaO、Cd、Co、Cr、F、Hg、K₂O、MgO、Mn、Ni、Pb、S、Ti、Zn、Se等17项指标;大气降尘样品分析

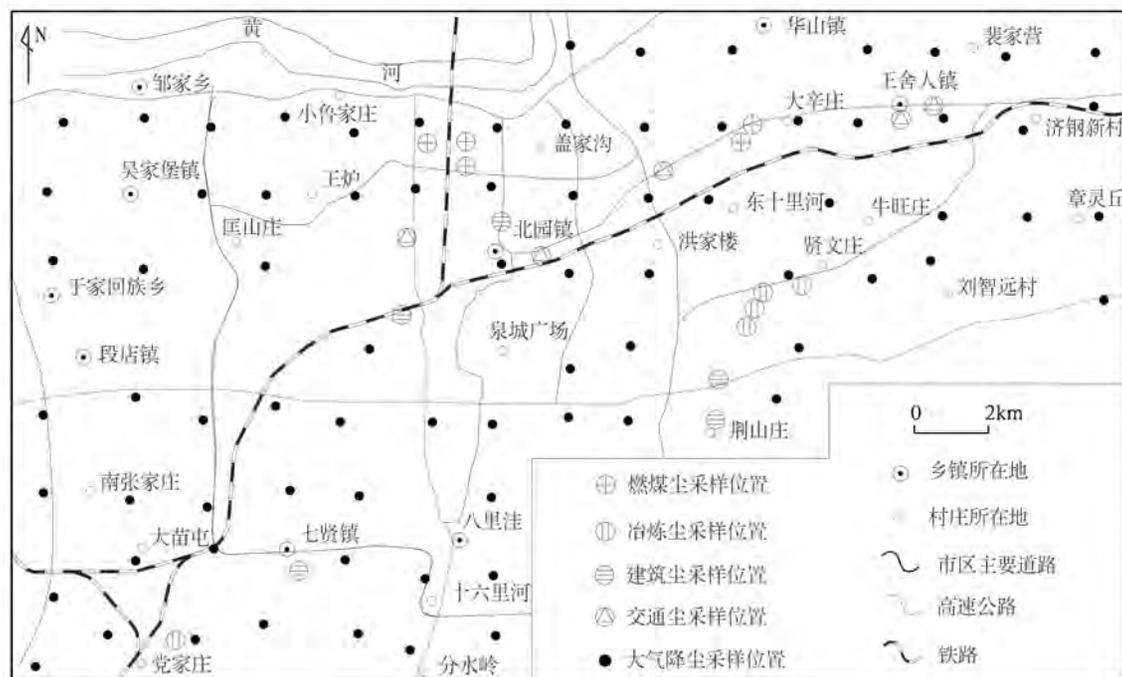


图1 济南市污染端元及大气降尘采样点位图

Fig.1 Sampling positions of the pollution end-members and atmosphere dust-fall in Jinan

As、Cd、Cr、Cu、F、Hg、Ni、Pb、S、Zn等10项指标;土壤样品分析As、Cd、Cr、Cu、CaO、Hg、Ni、Pb、Zn、F、Se等10项指标。

样品测试由山东省地质科学实验研究院完成, CaO、Co、Mn、MgO、Ni、Zn等指标的测定采用HF+HNO₃+HClO₄+王水消解,等离子体发射光谱法分析; Al₂O₃、K₂O、Pb、Cr、Ti等指标的测定先把样品粉末在35 t压力下压制成片,采用X射线荧光光谱法分析; As、Hg、Se等元素的测定采用王水分解,在10%盐酸介质中加入高锰酸钾和草酸进行氧化-还原处理,用原子荧光光谱法分析; Cd元素的测定采用HF+HNO₃+HClO₄+王水消解,加入基体改进剂,用石墨炉原子吸收法分析; F元素的测定是先把样品与Na(OH)在700℃下熔融,用水提取,加入离子强度调节剂,直接用氟离子选择性电极在离子活度计上进行测定; S元素的测定采用管式炉燃烧,用碘量法分析。样品分析数据报出率均为100%;标准试样实测值与标准值之间的 $\Delta \lg C$ (准确度)小于5%,相对标准偏差RSD(精密密度)小于10%;随机选取的5个样品做重复样,平行测定3次,相对双差小于40%。测试质量符合《多目标区域地球化学调查规范(1:25万)》要求。

2 结果与讨论

2.1 污染端元元素含量特征

济南市污染端元元素含量参数统计见表1。由表可见,交通尘、建筑尘、燃煤尘、冶炼尘污染源各项指标含量基本稳定,而汽车尾气尘各项指标含量的变化范围较大,如Cr含量最大值是最小值的905倍,Se含量最大值是最小值的116倍,这可能与汽车性能和油品质量有关,但数据均值仍能反映汽车尾气排放元素污染的整体水平。

与大气降尘对比,交通尘中的Se、Hg、Cr、Ni、As,燃煤尘中的Se、As、Cr、Hg、Ni,冶炼尘中的Se、Ni,尾气尘中的Cr、Ni、S、Se、Zn含量偏高;其中燃煤尘Se含量均值是降尘的5.82倍,尾气尘Cr含量均值是降尘的91.12倍,其余元素平均含量与降尘的比值在1.21(交通尘As)~2.79(尾气尘S)之间,表明污染端元中这些元素可进入大气增加降尘的重金属积累。建筑尘中除CaO、Se、As与降尘接近外,其余元素含量均偏低,对降尘影响较小。

不同污染端元间部分元素含量对比见图2,为方便对比,图2采用标准化成图,即元素含量乘 10^n (n 为整数),数据结果控制在20以内。结合表1可

表1 济南市污染端元元素含量参数统计

Table 1 Parametric statistics of the contents of pollution end-member elements in Jinan

指标	交通尘		建筑尘		燃煤尘		冶炼尘		尾气尘		降尘 均值
	含量范围	平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值	
As	6.51~21.78	11.49	6.76~12.47	9.01	13.30~29.40	21.18	5.91~16.22	8.53	2.12~8.25	6.30	9.46
Cd	0.21~0.95	0.41	0.12~0.46	0.22	0.40~1.47	0.81	0.37~0.78	0.50	0.02~0.89	0.24	2.08
Co	10.86~20.74	15.04	4.40~13.09	9.12	10.82~16.81	12.86	7.59~16.73	13.20	1.62~15.29	9.34	--
Cr	110~459	185	43~108	71	175~377	279	79~184	151	41~37111	12388	135.95
F	423~889	602	423~544	499	726~1085	942	697~787	745	84~567	309	1230.58
Hg	129.5~525.4	313.1	34.6~494.5	150.6	195.8~446.9	296.7	121.5~183.9	148.6	21.6~55.5	37.4	218.63
Mn	565~1740	1015	381~709	518	573~956	700	529~2201	1850	122~1847	1070	--
Ni	27.57~48.88	38.68	11.74~30.41	21.86	32.41~64.54	41.34	25.02~66.90	53.21	15.4~212.28	108.35	31.47
Pb	31.33~127.53	57.48	19.40~128.93	50.75	70.11~160.99	104.92	33.62~125.66	66.39	13.18~57.56	30.13	110.78
S	0.20~0.53	0.40	0.12~0.55	0.29	0.36~0.69	0.58	0.20~0.45	0.29	0.62~5.04	1.71	0.58
Se	0.62~2.36	1.68	0.31~1.11	0.74	1.72~8.52	4.54	0.93~3.54	1.53	0.05~5.80	1.66	0.78
Zn	115~271	201	49~183	103	157~600	352	222~329	248	135~2363	718	380.22
Al ₂ O ₃	8.87~11.94	10.34	8.92~12.18	10.45	10.63~15.15	12.37	4.56~8.73	6.18	0.04~9.05	4.56	--
CaO	9.90~18.05	13.94	9.79~15.52	12.61	9.93~13.64	11.37	8.85~20.52	12.85	0.57~6.39	3.59	--
K ₂ O	0.85~1.63	1.19	1.66~1.96	1.86	1.28~1.56	1.42	0.65~1.24	0.83	0.05~0.44	0.23	--
MgO	2.16~3.10	2.60	1.46~2.42	1.98	1.95~2.32	2.10	1.78~3.53	2.32	0.12~2.05	1.01	--
TiO ₂	0.34~0.83	0.46	0.26~0.56	0.41	0.45~0.89	0.60	0.18~0.41	0.27	0.01~0.50	0.20	--

注:“--”表示未测试,Hg的含量单位为 10^{-9} ,S、Ti、Al₂O₃、CaO、K₂O、MgO为 10^{-2} ,其余元素含量单位为 10^{-6} 。

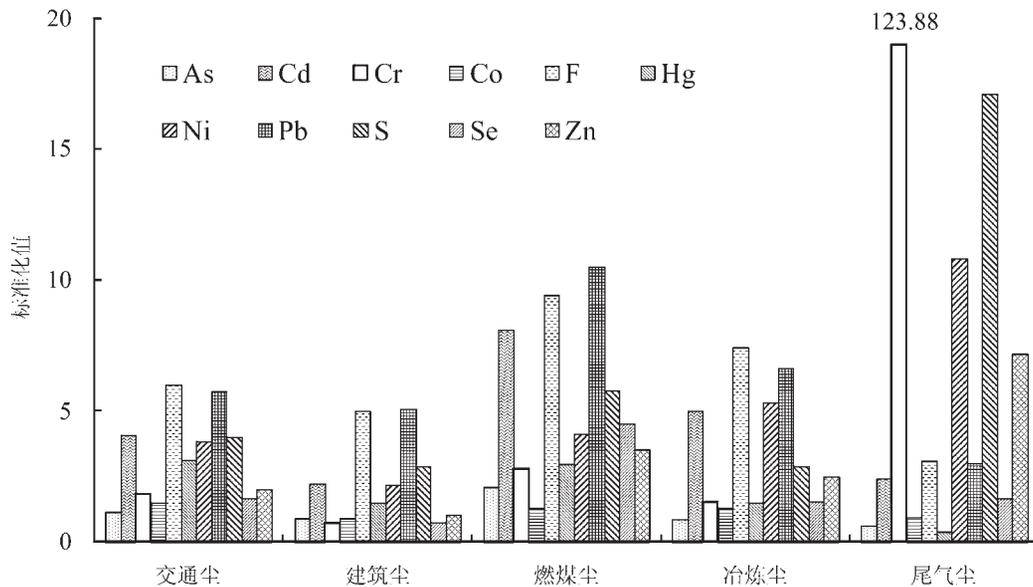


图2 济南市不同污染端元部分元素含量对比图

Fig.2 Comparison of the values of different pollution end-member elements in Jinan

见,燃煤尘中As、Cd、F、Pb、Se、 Al_2O_3 、 TiO_2 与其他端元尘相比含量最高,其中As、Cd、F、Pb是汽车尾气尘的3倍以上,是其他端元尘的1.26~2.35倍,此外Cr、Hg、S、Zn、 K_2O 含量也较高;交通尘中Co、Hg、CaO含量最高,Hg、CaO分别是尾气尘的8.37和3.88倍,是其他端元尘的1.05~2.11倍,As、Cd、Se、Mn含量也较高;汽车尾气尘中元素呈现两极分化的趋势,与其他污染源相比,尾气尘中As、F、Hg、Pb及所有氧化物含量最低,Cr、Ni、S、Zn含量最高,其中Cr平均含量高达 12388×10^{-6} ,是其他端元尘的585(燃煤尘)~1452(冶炼尘)倍,Zn含量是其他端元尘的2.95(燃煤尘)~5.90(建筑尘)倍。冶炼尘中

Mn含量最高,Co、F、Ni、Pb、CaO、MgO含量偏高,而建筑尘中Cd、Co、Cr、F、Ni、S、Mn、Se等多数元素含量是所有端元中最低的,仅CaO、As稍偏高。从整体来看,五尘中燃煤尘(As、Cd、F、Pb、Se、 Al_2O_3 、 TiO_2)对大气环境影响最大,汽车尾气尘(Cr、Ni、S、Zn)、交通尘(Co、Hg、CaO)和冶炼尘(Mn、Co、F、Ni、Pb)居中,而建筑尘(As、CaO)对环境的影响最小,同时这些元素组合可作为不同污染端元的标识性元素。

2.2 大气降尘元素含量特征

由济南市大气降尘元素含量参数统计表(表2)可见,As、Ni含量范围变化较小,变异系数小于0.4,

表2 济南市大气降尘元素含量参数统计

Table 2 Parametric statistics of the content of the atmosphere dust-fall elements in Jinan

元素	含量范围	平均值	中值	标准离差	变异系数	土壤背景值	富集系数
As	3.62~35.02	9.46	8.22	3.00	0.32	12.51	0.76
Cd	0.90~3.96	2.08	1.97	0.67	0.32	0.23	8.84
Cr	35.17~3126.00	135.95	76.22	351.37	2.58	89.50	1.52
Cu	27.15~156.60	65.73	62.29	26.29	0.40	23.20	2.83
F	481~3897	1231	1147	551	0.45	498.17	2.47
Hg	82~1165	219	174	147	0.67	194.40	1.12
Ni	13.49~114.90	31.47	29.35	11.00	0.35	29.34	1.07
Pb	46.14~235.20	110.78	105.95	36.67	0.33	33.87	3.27
S	0.01~1.97	0.61	0.48	0.50	0.82	0.42	1.46
Zn	115~1645	380	325	245	0.64	87.79	4.33

注:降尘数据量为78个,土壤为400个;Hg含量单位为 10^{-9} ,S为 10^{-2} ,其余元素为 10^{-6} 。

表3 济南市大气降尘中元素含量相关系数
Table 3 Correlation coefficients of the element content in atmosphere dust-fall in Jinan

元素	As	Cd	Cr	Cu	F	Hg	Ni	Pb	S	Zn
As	1									
Cd	0.126	1								
Cr	0.695**	-0.021	1							
Cu	0.249*	0.243*	0.264*	1						
F	0.305**	0.358**	0.046	0.221	1					
Hg	0.262*	0.295**	0.154	0.399**	0.118	1				
Ni	0.188	0.238*	0.278*	0.166	0.144	0.174	1			
Pb	0.492**	0.551**	0.238*	0.512**	0.247*	0.434**	0.196	1		
S	0.224*	0.101	0.135	0.181	0.638**	0.066	0.178	-0.024	1	
Zn	-0.031	0.123	-0.038	0.142	0.033	0.139	0.118	0.163	-0.116	1

注:**表示在0.01水平上显著相关,*表示在0.05水平上显著相关。

Ni的平均含量与土壤背景值接近,而As低于土壤背景值;降尘中Hg的平均含量虽然与土壤背景值接近(富集系数1.12),但变异系数达0.67,说明降尘中Hg元素分布不均,局部污染严重。S、Cr、F、Cu、Pb、Zn、Cd含量变化范围较大,与土壤背景值相比,这些元素含量显著偏高,呈现出不同程度的富集。元素富集程度由高到低依次为Cd(8.84)、Zn(4.33)、Pb(3.27)、Cu(2.83)、F(2.47)、Cr(1.52)、S(1.46),暗示这些元素可能受到人类活动污染影响,而Ni可能主要来源于土壤颗粒物(自然来源)。

2.3 大气降尘元素间相关性

元素之间的相关性可以有效指示大气降尘的物质来源或迁移途径。由济南市大气降尘元素含量的相关系数表(表3)可见,在0.01或0.05的显著水平下,上述元素中,只有Zn与其他9种元素不相关。在0.05的显著水平下,Cd、Cu、Hg、Pb元素之间呈显著正相关,表明它们可能具有相同的来源。前面研究表明,Cd、Pb、Hg是燃煤的示踪元素,同时钢铁冶炼也会产生大量的Cd、Cu、Hg、Pb,因而可以认为大气降尘中Cd、Cu、Hg、Pb主要与燃煤活动、钢铁冶炼污染有关。在0.01的显著水平下,Cr仅与As显著正相关,Cr在汽车尾气中含量最高,As在交通尘中含量较高,推测Cr、As可能主要与汽车引起的污染有关;而Ni在0.05的显著水平下仅与Cd、Cr显著相关,且与土壤背景值接近,Ni主要来源于土壤粉尘的可能性较大。元素相关性分析与元素富集系数分析结论相一致,即济南市大气降尘中Cd、F、Hg、Pb、Cu、Cr等明显受到人类活动污染影响,而Ni主要来自土壤粉尘。

2.4 大气降尘的污染来源

主成分分析是将多个具有复杂关系的变量归结为数量较少的几个综合因子,即将原来在高维空间中考察的问题转变为在低维空间中考察,使问题得到简化。为分析济南市大气降尘中元素之间的相互关系,进一步确定其来源与控制因素,通过SPSS软件对数据进行主成分分析得到初始因子负载矩阵,为了消除不同元素含量数量级带来的影响,采用最大方差正交旋转还原得到因子负载矩阵(表4),由表可见,5个因子的累积贡献率为78.45%,即选定了5个污染源类型,其中前3种污染源对大气降尘的贡献约占60.42%。

第一因子中,Cd、Cu、Hg、Pb、As具有较大的因子系数,在0.01的置信水平下,相关系数临界值为

表4 济南市大气降尘元素主成分分析统计结果
Table 4 Factor load matrix of the elements in atmosphere dust-fall in Jinan

元素变量	因子负载				
	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5
As	0.322	0.188	-0.803	-0.113	0.064
Cd	0.716	0.179	0.271	-0.161	0.428
Cr	0.074	0.004	-0.913	-0.008	0.155
Cu	0.613	0.201	-0.278	0.298	-0.158
F	0.247	0.872	0.003	-0.022	0.091
Hg	0.66	0.015	-0.164	0.189	-0.032
Ni	0.061	0.101	-0.229	0.152	0.886
Pb	0.863	-0.003	-0.213	-0.009	0.128
S	-0.069	0.912	-0.147	-0.022	0.045
Zn	0.148	-0.051	0.106	0.907	0.133
特征值	3.103	1.525	1.414	0.961	0.842
成因率/%	31.027	15.253	14.143	9.609	8.421
累计成因率/%	31.027	46.28	60.423	70.032	78.453

0.305,所以这5种元素均与第一因子显著相关,因子贡献率高达31.03%,是大气降尘的主要污染因子。前面研究认为Cd、Hg、Pb、As主要为煤燃烧所排放的标志元素;另外在东北部济南钢铁总厂、济钢二分厂、黄台电厂、开发区热电厂附近的样点具有最高的Hg含量(483×10^{-6})和较高的Pb(207×10^{-6})、Cu(148×10^{-6})、Cd(3.74×10^{-6})含量,因此也进一步证实了这些元素与工业燃煤有关,故认为燃煤是第一污染因子。

据相关研究资料^[14-16],Pb是汽车尾气排放的示踪元素,但本次研究表明,汽车尾气尘中Pb含量最低,并受F1因子控制,这说明随着强制无铅汽油的使用与普及,工业燃煤排放已逐渐成为大气降尘Pb的主要来源。

第二因子与F、S显著相关,因子贡献率为15.25%。前面研究表明,F、Pb是燃煤元素,燃煤释放的S量仅次于汽车尾气。如果S、Pb同时出现,S可能源于燃煤,有S而无Pb,则燃煤不是S的主要来源,研究区 $R_{S,Pb} = -0.024$ (表3);S在汽车尾气中含量最高,是其他端元尘的2.95(燃煤尘)~5.89(冶炼尘)倍,虽然F在汽车尾气中含量最低,但与其他端元尘对比来看,差别不大(燃煤F含量最大也仅为尾气的3.05倍);另外F与S显著正相关($R_{S,F} = 0.638$),二者具有相同来源。以上证实了S、F元素主要来源为汽车尾气排放。

第三因子与Cr、As显著相关,因子贡献率为14.14%,推断主要来源于交通污染。交通尘取自交通流量大的尘土,主要是土壤颗粒物与汽车尾气尘的混合物。Cr主要源于汽车尾气排放,由降尘中As含量明显小于土壤背景值判断,As在一定程度上来源于土壤,另从As与燃煤元素F、Pb间显著正相关分析,As还可能部分来源于燃煤。来源不同的Cr、As元素间相关系数高达0.695,推断降尘中两元素来源于二次污染的交通尘;另外Cr/As比也可加以证实,大气降尘中Cr/As为14.37,与交通尘(Cr/As为16.10)较为接近,而与建筑尘(7.88)、冶炼尘(17.7)、尾气尘(1966)都相差甚远。故第三因子代表交通尘来源。

第四因子只与Zn显著相关,该因子对大气降尘的贡献率有9.61%。Zn的富集系数达4.33,可断定是人为污染作用,Zn除了作为汽车排放元素外,燃

煤和金属冶炼等也会产生一定浓度的Zn。从Zn与其他元素相关系数来看:Zn与汽车尾气元素S之间的相关性很差,与燃煤和冶炼排放的主要元素Cd、Hg、Pb等相关系数也较小,而与交通污染元素As、Cr之间负相关。鉴于以上原因,认为第四因子是各种污染综合作用的结果,属综合污染因子。

第五因子对大气降尘的贡献率为8.42%,与Ni显著相关,认为代表了自然源。Ni既可能源于土壤,又可能源于汽车尾气或冶炼,但因其富集系数接近1,且Ni在0.01的显著水平下与Cr、Cd、Pb等元素相关性均较差,由此认为Ni主要来源于本地或邻近地区的土壤颗粒物(自然源)。

2.5 大气降尘元素的空间分布特征

济南市不同区域大气降尘中元素含量差别较大,从F1因子得分图(图3)可以看出,与Cd、Cu、Hg、Pb等元素有关的第一因子高分值区与市区企业分布范围极其吻合,充分体现了与污染源地域分布的一致性;特别在济南市北部热电厂、化工厂得分最高,远远高于济南市其他地区,这与企业长期燃煤有关。

第二因子(F、S)在济南市中北部汽车站—化工厂一带得分最高,与该区密集的汽车尾气排放和化工厂、热电厂污染有关;另外降尘中F含量在济钢总厂和北园热电厂附近也比较高。第三因子(Cr、As)在长途汽车总站附近得分最高,降尘中Cr含量最高达 3126×10^{-6} ,并以汽车总站为中心向四周含量逐渐降低,与该地区较大的车流量有关。大气降尘中Zn元素高含量区与市区人口密集区范围较吻合,另外在七贤镇西、济南钢铁总厂附近含量最高,市区其他地区含量相对稳定,郊区含量偏低。

受地质背景影响,虽然不同区域大气降尘中Ni含量没有显著差别,但在济南钢铁总厂和炼油厂附近相对较高,这可能与该地区污染排放有关。

3 结论

本文对济南市大气降尘和不同污染端元元素特征进行了研究,结果表明:

(1)不同污染端元中元素含量差别明显,其中燃煤尘中As、Cd、F、Pb是汽车尾气尘的3倍以上,是交通尘、冶炼尘、建筑尘等其他端元尘的1.26~2.35倍,对环境影响较大;而建筑尘中多数元素含量为

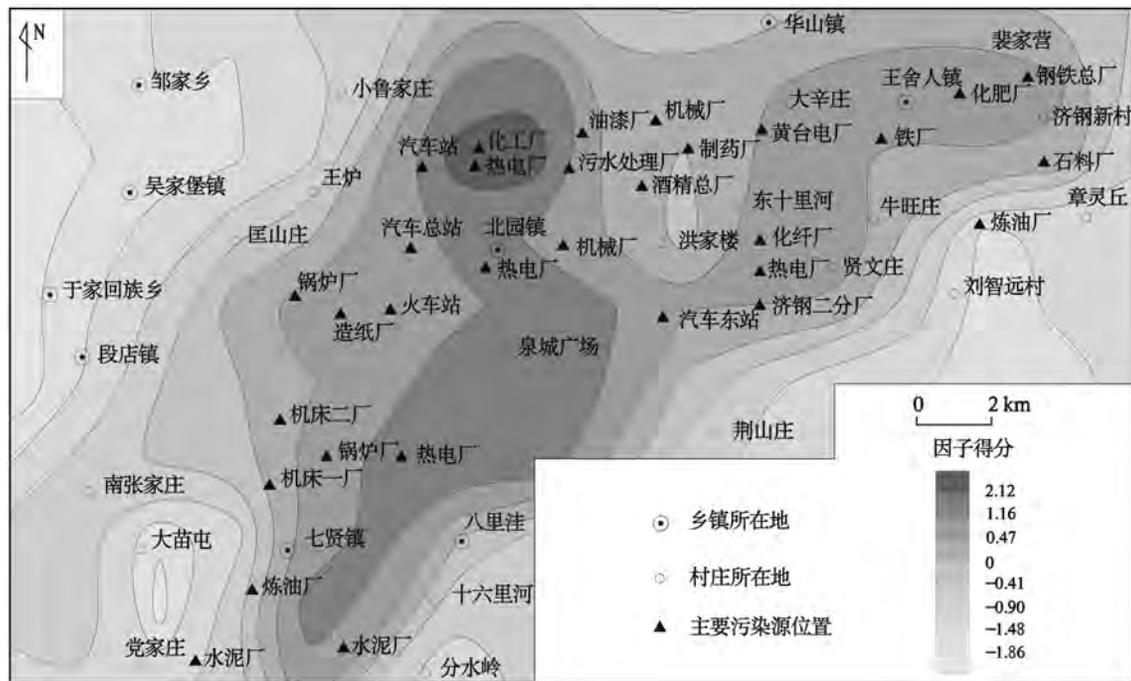


图3 济南市大气降尘F1因子(Cd、Cu、Hg、Pb)得分分布图

Fig.3 Spatial distribution of F1 factor scores in atmosphere dust-fall in Jinan

所有端元中最低,对环境的影响小,其他污染端元对环境的影响居中。在过去Pb是汽车尾气排放的示踪元素,但随着强制使用无铅汽油的普及,工业燃煤排放已逐渐代替汽车尾气成为大气降尘Pb的主要来源。

(2)大气降尘中Cr、Cu、Pb、Zn、Cd、F、S含量明显高于土壤背景值,受到不同程度人为污染。Cd、Cu、Hg、Pb、As主要来源于燃煤,是大气降尘的主要污染因子,在空间分布上,热电厂、冶炼厂、化工厂附近,降尘中这些元素的含量普遍较高,充分体现了与燃煤污染源地域分布的一致性;F、S主要与汽车尾气排放有关,As、Cr主源于交通污染;Zn主要为综合污染,Ni主要来自土壤(自然源)粉尘沉降,前3种污染源是济南市大气降尘的主要来源,对大气降尘的贡献约占60.42%。

(3)通过本次研究认为,城市不同污染端元和大气降尘元素含量分析、相关分析和因子分析是指示城市大气降尘污染元素来源的有效研究方法。鉴于济南市目前的现状,防治煤烟型污染是一项重要的任务;随着汽车保有量的迅速增加,汽车尾气污染也不容忽视。

参考文献(References):

- [1] 奚旦立,孙裕生,刘秀英. 环境监测[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 89-96.
Xi Danli, Sun Yusheng, Liu Xiuying. Environmental Monitoring [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 89-96(in Chinese with English abstract).
- [2] 杨孝智,陈扬,徐殿斗,等. 北京地铁站灰尘中重金属污染特征及健康风险评价[J]. 中国环境科学,2011, 31(6): 944-950.
Yang Xiaozhi, Chen Yang, Xu Diandou, et al. Characteristics of heavy metal pollution and health risk assessment in subway dust in Beijing[J]. China Environmental Science, 2011, 31(6): 944-950(in Chinese with English abstract).
- [3] 林啸,刘敏,侯立军,等. 上海城市土壤和地表灰尘重金属污染现状及评价[J]. 中国环境科学, 2007, 27(5): 613-618.
Lin Xiao, Liu Min, Hou Lijun, et al. Soil and surface dust heavy metal pollution state and assessment in Shanghai City[J]. China Environmental Science, 2007, 27(5): 613-618(in Chinese with English abstract).
- [4] 胡星明,王丽平,毕建洪. 城市大气重金属污染分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(1): 302-303.
Hu Xingming, Wang Liping, Bi Jianhong. Research on the heavy metal pollution in city atmosphere[J]. Journal of Anhui Agricultural

- Science, 2008, 36(1): 302-303(in Chinese with English abstract).
- [5] 李随民, 栾文楼, 宋泽峰, 等. 河北省南部平原区大气降尘来源及分布特征[J]. 中国地质, 2010, 37(6): 1770-1774.
Li Suimin, Luan Wenlou, Song Zefeng, et al. The distribution and source of atmospheric dustfall in the southern plain of Hebei Province[J]. Geology in China, 2010, 37(6): 1770-1774(in Chinese with English abstract).
- [6] 崔邢涛, 栾文楼, 李随民, 等. 石家庄市大气降尘重金属元素来源分析[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 1108-1115.
Cui Xingtao, Luan Wenlou, Li Suimin, et al. An analysis of the sources of heavy metals in atmospheric dustfall of Shijiazhuang City[J]. Geology in China, 2012, 39(4): 1108-1115(in Chinese with English abstract).
- [7] 徐友宁, 张江华, 刘瑞平, 等. 金矿区农田土壤重金属污染的环境效应分析[J]. 中国地质, 2007, 34(4): 716-722.
Xu Youning, Zhang Jianghua, Liu Ruiping, et al. Environmental effects of heavy metal pollution of farmland soils in gold mining areas[J]. Geology in China, 2007, 34(4): 716-722(in Chinese with English abstract).
- [8] 刘海婷, 于瑞莲, 胡恭任, 等. 泉州市街道灰尘重金属污染评价[J]. 矿物岩石, 2010, 30(3): 116-120.
Liu Haiting, Yu Ruilian, Hu Gongren, et al. Assessment of pollution by heavy metal street dust in the Quanzhou City [J]. J. Mineral. Petrol., 2010, 30(3): 116-120(in Chinese with English abstract).
- [9] 张欣, 范仲学, 王丽香, 等. 济南城郊菜园土壤和蔬菜中重金属污染状况调查与评价[J]. 山东农业科学, 2011, 23(5): 68-70.
Zhang Xin, Fan Zhongxue, Wang Lixiang, et al. Survey and evaluation of heavy metal contamination in soils and vegetables in Ji'nan Suburbs[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2011, 23(5): 68-70(in Chinese with English abstract).
- [10] 游其军, 赵玉祥. 济南都市圈生态地质环境质量评价[J]. 山东国土资源, 2011, 25(10): 31-44.
You Qijun, Zhao Yuxiang. Ecological and geological environment quality evaluation of Jinan metropolitan area[J]. Shandong Land and Resources, 2011, 25(10): 31-44(in Chinese with English abstract).
- [11] 王世泰, 张天秀. 济南黄台地区大气污染源的认识及其治理的研究[J]. 山东轻工业学院学报, 1988, 21(1): 38-48.
Wang Shitai, Zhang Tianxiu. Identification and administer of air polluting sources in Huangtai area of Jinan[J]. Journal of Shandong Industries College, 1988, 21(1): 38-48(in Chinese with English abstract).
- [12] 庞绪贵, 姜相洪, 李建华, 等. 济南-济阳地区土壤地球化学特征[J]. 物探与化探, 2004, 28(3): 253-256.
Pang Xugui, Jiang Xianghong, Li Jianhua, et al. Soil geochemical characteristics of Jinan- Jiyang area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004, 28(3): 253-256(in Chinese with English abstract).
- [13] 王存龙, 夏学齐, 赵西强, 等. 山东省小清河沿岸土壤重金属污染分布及迁移规律[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 530-538.
Wang Cunlong, Xia Xueqi, Zhao Xiqiang, et al. Distribution and migration regularity of soil heavy metal pollution along the Xiaoqing watershed, Shandong Province[J]. Geology in China, 2012, 39(2): 530-538(in Chinese with English abstract).
- [14] Lewis J. Leand poisoning: A historical perspective[J]. EPA Journal, 1985, 11: 15-18.
- [15] 杨丽萍, 陈发虎. 兰州市大气降尘污染物来源研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 499-502.
Yang Liping, Chen Fahu. Study on the source apportionment of atmospheric dust pollutants in Lanzhou[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2002, 22(4): 499-502(in Chinese with English abstract).
- [16] 蔺昕, 李晓军, 胡涛, 等. 北方典型城市降尘时空分布特征及影响因素分析[J]. 生态环境, 2008, 17(1): 143-146.
Lin Xin, Li Xiaojun, Hu Tao, et al. Analysis of the temporal-spatial characteristics and affecting factors of dustfall in north typical city[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(1): 143-146 (in Chinese with English abstract).

Geochemical characteristics and pollution sources identification of the atmospheric dust-fall in Jinan city

PANG Xu-gui¹, WANG Xiao-mei², DAI Jie-rui¹, GUO Rui-peng¹,
YU Chao¹, CUI Yuan-jun¹, DONG Jian¹

(1. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250013, Shandong, China;

2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Samples of atmospheric dust-falls and pollution end-members were collected in the urban area of Jinan City. The characteristics of element content in atmospheric dust-falls and pollution end-members were systematically analyzed, and the spatial distribution of atmospheric dust-falls and their pollution sources were studied. The results show that the concentrations of elements vary obviously in different pollution end-members. A comparative study of the concentrations of elements in different pollution end-members shows that the As, Cd, F, Pb content in coal dust are over 3 times that in vehicle exhaust dust, and 1.26–2.35 times that in street dust, smelt dust, building dust and other pollution end-members, thus greatly affecting the environment quality. The concentrations of Cr, Ni, S, Zn in vehicle exhausts are the highest, those of Co, Ni, Pb, F in smelt dust are somewhat higher, whereas the concentrations of most elements in building dust are the lowest. Compared with the background values of soil, the concentrations of Cr, Cu, Pb, Zn, Cd, F, S in atmospheric dust-falls of Jinan city are slightly higher. These data show that the atmospheric dust-falls are polluted by human activities in different degrees. The coefficient and factor analysis suggests that, in atmospheric dust-falls, Cd, Cu, Hg, Pb, As mainly come from enterprise coal consumption, the values of these four elements near chemical factories, steel plants and smeltery plants are generally high, which is consistent with the spatial distribution of the coal pollution sources. F and S might be related to vehicle exhausts, while As and Cr mainly come from traffic discharges. These three kinds of dusts (coal consumption, vehicle exhausts and traffic discharges) are the main pollution sources of atmospheric dust-falls in Jinan City, with the contribution proportion of atmospheric dust-falls up to 60.42%. Studies reveal that industrial coal emissions have gradually replaced the vehicle exhausts and become a major source of Pb in atmospheric dust-falls.

Key words: pollution end-member; atmospheric dust-fall; enrichment degree; factor analysis; Jinan City

About the first author: PANG Xu-gui, male, born in 1962, senior researcher, mainly engages in the study of geophysical and geochemical exploration technology; E-mail: sdsddyxcb@sohu.com.