

霾天气下南京 PM_{2.5} 中金属元素污染特征及来源分析

杨卫芬¹, 银燕^{1*}, 魏玉香², 陈魁¹ (1.南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210044; 2.南京市环境监测中心, 江苏 南京 210013)

摘要: 2007年6月13日至2008年5月29日期间,对南京大气中PM_{2.5}进行了连续采样,并利用电感耦合等离子体质谱分析法测定了PM_{2.5}中K、Al、Ca、Pb等30种元素的质量浓度,对比分析了这些元素在霾日与非霾日的污染特征.结果表明,PM_{2.5}污染水平较高,年质量浓度均值达103μg/m³.霾日PM_{2.5}质量浓度水平是非霾日的2.35倍.春季霾日前后PM_{2.5}中元素变化特征不明显,秋冬季节霾日元素浓度基本大于非霾日.平均而言,整个采样期间Cu、Se、Hg、Bi等人为污染元素的富集因子均较高,且霾日明显大于非霾日.因子分析结果表明,南京市霾日PM_{2.5}主要来源于土壤尘、冶金化工尘、化石燃料燃烧、垃圾焚烧及建筑扬尘,贡献率依次为29.21%、20.15%、27.15%、7.09%和5.10%.

关键词: 南京; 霾; 大气细颗粒物(PM_{2.5}); 元素; 因子分析

中图分类号: X131.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2010)01-0012-06

Characteristics and sources of metal elements in PM_{2.5} during hazy days in Nanjing. YANG Wei-fen¹, YIN Yan^{1*}, WEI Yu-xiang², CHEN Kui¹ (1.Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2.Nanjing Environmental Monitoring Central Station, Nanjing 210013, China). *China Environmental Science*, 2010,30(1): 12~17

Abstract: Fine particulate matter (PM_{2.5}) was continuously sampled with a TEOM-1400a (tapered element oscillating microbalance) ambient particulate monitor (Rupprecht and Patashnick Corp.) in Nanjing from 13 June 2007 to 29 May 2008. Thirty metal elements, including K, Al, Ca and Pb etc., were determined using an inductive coupled plasma-mass spectrometry(ICP-MS), and characteristics of these components were analyzed and compared between hazy and non-hazy days. The annual mean concentration of PM_{2.5} in Nanjing was around 103μg/m³, quite higher than that in clean cities, and that the PM_{2.5} concentration in hazy days was 1.35 fold higher than that in non-hazy days. It was also found that the concentration of metal elements in hazy days was higher than that in non-hazy days in autumn and winter, but there was no significant difference between hazy and non-hazy days in spring. Enrichment factor (EF) analysis for metal elements showed that metal components from anthropogenic origins (Cu, Se, Hg and Bi) were highly enriched in PM_{2.5}, especially in hazy days. A source analysis further revealed that PM_{2.5} in hazy days in Nanjing mainly originated from soil dusts, metallurgic emissions, the combustion of fossil fuel, refuse incineration and emissions from construction industries, which contributed 29.21%, 20.15%, 27.15%, 7.09% and 5.10%, respectively, to the total mass of PM_{2.5}.

Key words: Nanjing; haze; PM_{2.5}; elements; factor analysis

近年来,随着工业化和城市化发展,南京发生霾的日数逐年增加,能见度呈下降趋势^[1].霾日下,大气中细粒子浓度升高,大量极细微的干性尘粒、烟粒、盐粒等均匀地悬浮在空气中^[2],严重危害人体健康.目前对霾的研究主要集中在与其他天气现象的特征区别^[3-4]、危害^[5-6]、颗粒物的污染及气候特征分析^[7]等方面,对霾日颗粒物化学组成及来源的研究^[8-11]仅有少量报道,对细颗粒物化学成分的长时间观测分析则更少.

研究表明^[12-13],细颗粒物的一些化学成分是造成能见度下降的主要原因,因此分析霾日气溶胶化学组分的变化特征,对理解霾的形成机制,识别污染物来源及找到行之有效的控制措施具有重要意义.本研究以大气细颗粒物(PM_{2.5})为研究

收稿日期: 2009-06-05

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2006226);南京市环境保护局环保科技项目(200609);江苏省高校优秀创新团队科技计划

* 责任作者, 教授, yinyan@nuist.edu.cn

对象,通过对 1 年采样的分析,探讨了南京霾日和非霾日 PM_{2.5} 中元素的污染特征,并利用富集因子法和因子分析法对元素的来源进行分析。

1 样品采集和分析

2007 年 6 月 13 日至 2008 年 5 月 29 日期间,采用美国 Rupprecht and Patashnick 公司锥形元件振荡微量天平(TEOM1400a)大气颗粒物监测器和 ACCU 专用颗粒物采样器(流量为 15.67L/min)共采集 PM_{2.5} 样品 69 个(霾日样品 31 个),其中 2007 年 6~10 月和 2008 年 4~5 月每周采样 1 次;2007 年 11 月~2008 年 3 月,每隔 3d 采 1 次样,每周采样 2 次。每次采样从当日 13:00 至次日 12:00。采样地点设在南京市环境监测中心楼顶(32.05°N, 118.76°E),距地高度约 18m。实验所用滤膜为直径 46.2mm 的 Teflon 膜(Whatman 公司)。

对所采样品使用 X-7 电感耦合等离子质谱仪(Thermo Elemental Corp.)进行分析。元素分析工作在中国科学院上海应用物理研究所进行。分析的元素包括 Na、Mg、Al、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ag、Ce、W、La、Nd、As、Se、Rb、Sr、Cd、Cs、Ba、Hg、Pb、Bi、U 等 30 种。

2 结果与讨论

2.1 霾日与非霾日 PM_{2.5} 质量浓度的分布

采样期间 PM_{2.5} 的质量浓度均值为(103±56)μg/m³。由于我国尚未制定 PM_{2.5} 的大气质量标准,故以美国国家环保总局(US EPA) 1997 年 7 月发布的颗粒物“国家环境空气质量标准”,即 PM_{2.5} 年日均值不大于 65μg/m³ 为标准,计算得采样期间的日均浓度超标率达 66.7%。若以 US EPA 2006 年发布的标准为准(PM_{2.5} 日均值不大于 35μg/m³),则超标率可达 91.3%,说明南京地区 PM_{2.5} 污染较重。

为了研究不同天气情况下 PM_{2.5} 污染状况,对霾日与非霾日进行分类,并把整个采样时段内(当日 13:00~次日 12:00) 8 个时刻(14:00, 17:00, 20:00, 23:00, 02:00, 05:00, 08:00, 11:00)中有任何 1 次霾现象发生记为一个霾日。

由表 1 可见,霾日 PM_{2.5} 质量浓度有显著的季节变化,冬季最高,秋季次之,夏季最低。非霾日 PM_{2.5} 质量浓度季节变化不大,约为 51.7~59.5μg/m³。各季节霾日 PM_{2.5} 质量浓度值分别为非霾日的 1.41(夏)、2.25(秋)、2.86(冬)和 1.90(春)倍。这与谭吉华^[9]对广州市霾日 PM₁₀ 浓度远高于非霾日的分析结果一致。就整个采样期间平均而言,霾日 PM_{2.5} 质量浓度为 125.59μg/m³,是非霾日(53.44μg/m³)的 2.35 倍。

表 1 南京各季节霾日与非霾日 PM_{2.5} 质量浓度(μg/m³)
Table 1 Mass concentrations of PM_{2.5} in hazy and non-hazy days in different seasons in Nanjing (μg/m³)

天气状况	夏季 (6~8 月)	秋季 (9~11 月)	冬季 (12~2 月)	春季 (3~5 月)
霾日	72.9	116.9	170.1	98.2
非霾日	51.7	52.0	59.5	51.7
平均值	69.8	109.6	152.1	81.2

2.2 PM_{2.5} 中元素的质量浓度分布

采样期间,所分析的 30 种元素占 PM_{2.5} 的质量百分比在 2.34%~14.80%之间,平均为 7.55%;各季节百分比相差不大,均在 7%左右。由表 2 可见,南京市 PM_{2.5} 中金属元素主要由 Na、Mg、Al、K、Ca、Fe、Zn、Pb、Ti 等 9 种元素组成。这 9 种元素的总质量浓度约占所分析元素总质量浓度的 90.40%~97.11%。微量元素主要是 As、Mn、Cu 等元素。该结果与苏南农村地区大气 PM_{2.5} 元素组成类似^[14],不同的是,南京市 Pb 浓度较高,大气 Pb 浓度主要来源于化石燃料燃烧及地面扬尘中 Pb 的积累,有报道称燃煤中的灰铅约占燃煤总量的 20%,其中约 1/3 Pb 排入大气中形成飘尘^[15]。

虽然霾日 PM_{2.5} 质量浓度高于非霾日,但在夏季浓度>100ng/m³ 的元素在非霾日要高于霾日,其原因还有待进一步研究。秋冬季节结果和夏季相反,除个别元素如 Cd、V 外,霾日各元素浓度均高于非霾日,且各元素浓度在霾日和非霾日之间的差异程度不同,这与谭吉华^[9]对广州地区的研究结果相类似。与其他元素相比,Hg 在秋冬季节

霾日与非霾日之间的差值最大, Bi、Mn、Zn、W、Fe、Ca、La、Nd 等元素的质量浓度在霾日均有不同程度的增加. 春季霾日与非霾日之间元素浓度的差异较小.

表 2 南京各季节霾日和非霾日 PM_{2.5} 中元素的质量浓度(ng/m³)

Table 2 Mass concentrations of elements in PM_{2.5} under hazy and non-hazy days in different seasons in Nanjing(ng/m³)

元素	夏季		秋季		冬季		春季	
	霾日	非霾日	霾日	非霾日	霾日	非霾日	霾日	非霾日
K	1251.56	1480.08	3116.88	1896.29	4836.24	2212.81	2494.74	2089.05
Fe	449.69	484.89	1077.35	314.74	1596.29	370.39	710.11	954.80
Na	477.07	764.66	1010.76	473.54	1124.28	661.00	947.50	857.88
Al	250.44	451.23	591.92	283.96	1241.70	838.19	627.94	517.39
Ca	187.92	574.85	737.44	195.28	605.36	172.33	339.65	335.24
Zn	290.49	304.55	570.70	225.64	771.47	136.58	413.32	445.47
Pb	142.64	202.90	290.40	133.44	581.98	165.08	182.89	254.26
Mg	75.45	128.34	205.47	50.06	569.03	391.08	179.36	188.09
Ti	70.61	110.26	111.85	55.87	176.22	162.76	130.02	147.14
Mn	42.22	50.82	108.57	31.92	186.46	50.19	56.18	89.70
Ba	9.22	22.00	17.89	8.15	188.06	191.44	17.29	15.83
As	47.24	64.28	56.88	34.96	84.81	56.78	80.49	50.68
Cu	21.17	23.49	45.97	27.58	71.29	28.43	52.76	43.82
Sr	1.78	2.78	5.04	2.16	40.66	35.80	6.78	4.84
Rb	8.06	9.85	17.57	14.38	18.54	4.40	10.98	9.63
Cr	6.30	6.47	10.90	7.20	17.44	7.36	9.04	9.48
Bi	8.03	5.84	14.73	2.48	15.93	3.45	4.28	6.57
Cd	10.33	21.39	7.44	16.10	8.15	1.14	3.91	3.98
Se	4.61	3.44	7.01	3.52	14.05	4.38	7.96	5.56
Ni	6.32	3.73	7.60	4.17	10.68	2.58	6.44	10.28
V	2.36	2.00	2.91	3.04	6.25	1.67	6.08	2.70
Ag	4.32	4.69	3.86	1.58	1.80	0.60	0.60	0.92
Cs	1.20	1.55	2.25	1.91	2.86	0.57	1.52	1.44
Co	1.03	1.00	1.56	0.87	2.35	2.03	2.28	2.58
Ce	1.05	0.69	1.80	0.64	2.45	0.80	1.31	2.02
W	0.95	2.14	1.78	0.57	1.95	0.25	1.43	0.73
La	0.65	0.26	1.16	0.24	1.52	0.44	0.67	1.19
Hg	0.16	0.19	0.74	0.10	0.67	0.03	0.30	0.17
Nd	0.11	0.15	0.26	0.09	0.53	0.20	0.36	0.34
U	0.09	0.09	0.22	0.11	0.29	0.10	0.21	0.16

2.3 霾日和非霾日 PM_{2.5} 中元素的组成

从霾日和非霾日 PM_{2.5} 中主要元素的质量浓度可知, 采样期间 Pb 和 Ti 占所分析 30 种元素的百分比最为稳定, 分别为 2% 和 4% 左右. Na 变化不显著, 除冬季霾日浓度偏低(9%) 外, 其余采样期间均在 14% 左右. Zn 浓度除冬季非霾日偏低(2%) 外, 采样期其余时间均在 6%~7% 之间(表 3).

下面将霾日和非霾日分开讨论. 由表 3 可见, 元素组分在各季节霾日相类似. 秋季 Ca 所占 30

种元素的百分比偏高, 约达 9%, 比其他季节均高 4% 左右; 另外, 春冬季 Al 浓度(10%) 多于夏秋季(7%). 其余元素如 K、Fe、Zn、Mg 等分别占 30 种元素总质量的 39%、12%、7% 和 3%, 并且在各季节分布基本一致, 说明各季节霾日元素的来源基本一致.

与霾日相比, 元素组分在非霾日的百分比在不同季节变化较大, 尤以 K 最为明显. Fe、Al、Ca、Mg 等元素含量均有不同程度变化.

表 3 南京市各季节霾日和非霾日 PM_{2.5} 中元素的组成
Table 3 Percentages of various elements in PM_{2.5} in hazy and non-hazy days in different seasons in Nanjing

元 素	夏季(%)		秋季(%)		冬季(%)		春季(%)	
	霾日	非霾日	霾日	非霾日	霾日	非霾日	霾日	非霾日
K	38	32	39	51	40	41	40	35
Na	14	16	13	13	9	12	15	14
Fe	13	10	13	8	13	7	11	16
Al	7	10	7	7	10	15	10	9
Zn	9	6	7	6	6	2	7	7
Ca	6	12	9	5	5	3	5	6
Pb	4	4	4	4	5	3	3	4
Ti	2	2	1	1	1	3	2	2
Mg	2	3	3	1	5	7	3	3
其他 元素	5	5	4	4	6	7	4	4

为了解同一季节霾日与非霾日元素的污染特征,以秋季霾日与非霾日的元素组成为例作了详细比较.除 K 和 Fe 外,秋季霾日与非霾日所测元素的组成特点基本一致,说明秋季霾日与非霾日元素的来源基本一致.由表 3 可见,秋季霾日 Fe、Zn、Mg、Ca 在所分析的 30 种元素中的比例略高于非霾日,分析元素中只有 K 所占比例低于非霾日,且其占 PM_{2.5} 的质量比例也低于非霾日.其他元素在霾日占 PM_{2.5} 的质量比例均高于非霾日,说明霾天气下稳定的大气造成了低层污染物质的积累.

2.4 霾日元素来源解析

2.4.1 元素的富集因子(EF) EF 定义为:

$$EF = \frac{(C_i / C_n)_{\text{气溶胶}}}{(C_i / C_n)_{\text{地壳}}} \quad (1)$$

式中: C_i (气溶胶)为颗粒物中某元素浓度; C_n (气溶胶)为参比元素在颗粒物中的浓度; C_i (地壳)为地壳中该元素浓度; C_n (地壳)为参比元素在地壳中浓度值.关于参比元素的选择,由于没有统一的定论,通常选用地壳中普遍存在的元素.本研究取 Al 为参比元素,其他元素取中国 A 层土壤背景平均值^[16].主要结果见表 4.

EF 的计算结果显示,EF 值较高的元素依次为 Cd, Ag, Bi, Se, Pb, Hg, Zn, As 和 Cu,其值均远远大于人为污染判断值 $10^{[17]}$,说明这些元素受人

为污染影响严重.据此,将本研究分析的 30 种元素分为 2 类:一类为主要是由于地面扬尘而富集于 PM_{2.5} 中的元素,包括 Mg、Ca、Ti、V、Fe、Ba、Ce、Sr、La、Nd、U、Al 等 12 种元素;另一类为主要是由于人为污染而富集于 PM_{2.5} 中的元素,包括 K、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、As、Zn、Hg、Pb、Se、Rb、Ag、Cd、Cs、W、Bi、Na 等 18 种元素,其中 Na 可认为既来自地壳物质又来自人为污染.

由表 2 可见,不论是霾日还是非霾日,人为污染元素中浓度最高的是 K,其次是 Na 和 Zn.其他主要污染元素按含量高低依次为 Pb、Mn、As 和 Cu. Na 主要来自土壤,大气中 Zn 浓度较高与汽车密度较大有关^[18],特别是橡胶轮胎的磨损,同时 Zn 也是垃圾和废弃物燃烧的特征元素^[15];Pb、Mn、As 和 Cu 均为冶金化工尘的特征元素.

夏季除 Bi、Se、Ni、V 等元素霾日浓度高于非霾日外,其余多数元素的浓度为霾日低于非霾日.对于秋冬季节,霾日各元素的浓度基本都要高于非霾日.秋冬季节霾日和非霾日差值最大的污染元素为 Hg,其次为 Bi、Mn、W、Zn 等.说明霾天气下部分污染元素相对于地壳元素含量变化更大一些,Bi、Hg、Mn、Zn 等元素更容易在霾日富集.

由表 4 可知,Cu、Se、Hg、Bi 等元素的 EF 值都比较高,且霾日明显大于非霾日.

表 4 采样期间 PM_{2.5} 中显著富集的元素 EF 值

Table 4 Enrichment factors of elements in sampling time

元素	霾日			非霾日		
	均值	最小值	最大值	均值	最小值	最大值
Mg	3.08	0.97	5.89	2.98	1.50	5.77
Ca	3.67	0.73	7.61	2.13	0.73	4.56
V	5.94	1.11	20.65	4.28	1.30	8.59
Mn	18.97	5.30	33.92	14.97	5.14	28.70
Fe	3.63	1.12	5.31	2.91	0.74	7.08
Cu	226.34	69.04	516.85	213.72	40.99	596.53
Se	3131.23	1112.31	5081.05	2488.04	1020.74	5916.83
Hg	897.08	22.43	4294.87	499.64	12.16	2939.53
Ce	2.89	0.72	9.28	2.34	0.81	5.38
Bi	3663.13	547.64	13389.19	1858.89	338.83	4996.97

2.4.2 因子分析 本研究采用 SPSS14.0 软件对各季节所有霾日 $PM_{2.5}$ 样品的元素质量浓度进行最大方差旋转的主因子分析(不包括降水样本),结果如表 5 所示.因子分析共得到 7 个主要因子,其累积贡献率达 88.7%,分析结果较理想.因子 1 与 Mn、Rb、Cd、Pb、Cs 等元素相关性较高,可以认为采样点具有冶金化工及汽车尾气类排放源^[19];因子 2 与地壳元素 Mg、Al、K、Ti 和 Sr 等有很高的相关性,且这些元素的富集因子均小于 10,故可以认为该因子代表土壤类排放源;因子 3 与 W、Se、Ni 和 Cr 相关性高,其主要可代表燃煤类源;因子 4 与 Co、As 和 Nd 等具有高相关性,故可以

认为来自燃煤燃油类燃料的燃烧;因子 5 与镧系元素 La 和 Ce 相关性较好,这 2 种元素富集因子值均在 3 左右,因此可推断它们主要来自自然源,如土壤尘等;因子 6 与 Hg 有较好相关性,相关系数为 0.83,可能与生活垃圾焚烧有关^[20].因子 7 仅与 Ca 存在高相关性,相关系数为 0.71,该元素为建筑扬尘标识元素,可认为来自建筑扬尘.

综上所述,南京市采样期间霾日 $PM_{2.5}$ 主要来源于土壤尘(因子 2 加因子 5)、冶金化工尘、燃煤燃油(因子 3 加因子 4)、垃圾焚烧及建筑扬尘,各自的贡献率依次为 29.21%、20.15%、27.15%、7.09%和 5.10%.

表 5 最大方差旋转因子分析结果($n=21$)

Table 5 Results of factor analysis with varimax rotation ($n=21$)

项 目	因子 1 冶金化工及汽车尾 气	因子 2 土壤尘	因子 3 燃煤 燃油	因子 4 燃煤 燃油	因子 5 自然源 相关	因子 6 垃圾 焚烧	因子 7 建筑 扬尘
特征值	6.25	6.21	4.71	3.70	2.85	2.20	1.58
贡献率(%)	20.15	20.03	15.21	11.94	9.18	7.09	5.10
累计贡献率(%)	20.15	40.18	55.38	67.32	76.50	83.59	88.69

3 结论

3.1 南京市大气细粒子 $PM_{2.5}$ 的污染水平较高,且以冬季最高,秋季次之.非霾日 $PM_{2.5}$ 质量浓度季节变化不大.各季节霾日 $PM_{2.5}$ 浓度均值均大于非霾日.

3.2 本研究所分析的 30 种元素占 $PM_{2.5}$ 的质量百分比在 2.34%~14.80%之间,平均为 7.55%;春季霾日前后元素变化特征不明显,秋冬季节霾日元素浓度基本大于非霾日.

3.3 对 30 种元素的富集因子分析结果显示,Se、Cd、Bi、Ag、Pb、Hg、Zn、As 和 Cu 等元素受人为污染影响较严重,尤其是 Se、Cu、Hg 和 Bi 等人为污染元素的 EF 值较高,并且在霾日的富集程度明显大于非霾日.

3.4 南京市采样期间霾日 $PM_{2.5}$ 主要来源于土壤尘、冶金化工尘、燃煤燃油、垃圾焚烧及建筑扬尘,各自的贡献率依次 29.21%、20.15%、27.15%、7.09%和 5.10%.

参考文献:

- [1] 童尧青,银 燕,钱 凌,等.南京地区霾天气特征分析 [J]. 中国环境科学, 2007,27(5):584-588.
- [2] 王明星.大气化学 [M]. 北京:气象出版社, 1999:156-177.
- [3] 吴 兑.关于霾与雾的区别和灰霾天气预警的讨论 [J]. 气象科学, 2005,31(4):3-7.
- [4] 孙红斌,李 杨,刘克利,等.轻雾、烟、霾、浮尘的判别及对空气质量的影响 [J]. 内蒙古气象, 2007,(6):56.
- [5] 白志鹏,蔡斌彬,董海燕,等.灰霾的健康效应 [J]. 环境污染与防治, 2006,28(3):198-201.
- [6] Nel A. Air pollution-related illness: effects of particles [J]. Science, 2005,308:804-806.
- [7] 周亚军,刘 燕.广州市雾与霾的天气和气候特征 [J]. 广东气象, 2008,30(2):16-18.
- [8] 李丽珍,沈振兴,杜 娜,等.霾和正常天气下西安大气颗粒物中水溶性离子特征 [J]. 中国科学院研究生院学报, 2007,24(5):674-679.
- [9] 谭吉华.广州灰霾期间气溶胶物化特性及其对能见度影响的初步研究 [D]. 广州:中国科学院广州地球化学研究所, 2007.
- [10] Senaratne I, Shooter D. Elemental composition in source identification of brown haze in Auckland, New Zealand [J]. Atmospheric Environment, 2004,38(9):3049-3059.

- [11] 陈晓秋,俞是聃,傅彦斌.福州市春、冬季霾日与非霾日 PM_{2.5} 及碳气溶胶污染水平与特征 [J]. 中国环境监测, 2008,24(6): 68-72.
- [12] Pratsinis S, Ellis E C, Novakov T, et al. The carbon-containing component of the Los Angeles aerosol: source apportionment and contributions to the visibility budget [J]. Journal of Air Pollution Control Association, 1984,34:643-650.
- [13] Sloane C S, Watson J G, Chow J, et al. Size-segregated fine particle measurements by chemical species and their impact on visibility impairment in Denver [J]. Atmospheric Environment, 1991,25A: 1013-1024.
- [14] 周震峰,刘 康,孙英兰.苏南地区大气 PM_{2.5} 元素组成特征及其来源分析 [J]. 环境科学研究, 2006,19(3):24-29.
- [15] 赵金平,谭吉华,毕新慧,等.广州市灰霾期间大气颗粒物中无机元素的质量浓度 [J]. 环境化学, 2008,27(3):322-326.
- [16] 王 云,魏复盛.土壤环境元素化学 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 1995:28-31.
- [17] 王明星.大气化学 [M]. 2 版.北京:气象出版社, 1999:194-210.
- [18] Huang X, Olmez I, Aras N K, Emissions of trace elements from motor vehicles: potential marker elements and source composition profile [J]. Atmospheric Environment, 1994,28(8): 1385-1391.
- [19] 刘 菁,张建强,吴香尧,等.成都市十里店地区大气气溶胶元素组成及来源解析 [J]. 成都理工大学学报, 2006,33(1):99-102.
- [20] 冯新斌,汤顺林,李仲根,等.生活垃圾填埋场是大气汞的重要来源 [J]. 科学通报, 2004(49):2475-2479.

作者简介: 杨卫芬(1985-),女,江苏常熟人,南京信息工程大学大气物理学与大气环境专业硕士研究生,主要研究方向为大气成分变化与区域气候效应。

从陆地到海洋:追踪金属汞向沿海环境的迁移

自工业革命以来,金属汞的全球平均水平增加了 3 倍,其主要原因是化石燃料的燃烧.长久以来,虽然这种大气沉降被认为是淡水和沿海生态系统广受污染的关键因素,还有一些科学家正关注另一种潜在的影响因素:地面下流动的地下水.《环境科学与技术》发表的一篇报告指出,地下水在加州中部海岸注入海洋时,会携带大量包括甲基汞(MeHg)在内的金属汞,比从当地空气中沉降的还要多.

金属汞在海洋生态系统中的循环机理仍有许多未知数,特别是高毒性 MeHg 的来源.人们普遍认为,在海底沉积物中无机汞通过硫和铁还原菌被转化为甲基汞,再通过扩散与平流过程释放进入水体.然而,研究人员指出,这种细菌转化的发生可能伴随着海洋某一深度有机汞的分解.

另一项最新研究表明,在一些地方,海底排放的地下水中携带了比之前想象多得多的汞.然而,这种形式排放的 MeHg 的数量以及海洋中 MeHg 的量仍然是一个谜.

研究人员在两个典型地点,斯汀森海滩——面向大海,有一个小镇与之相邻;Eldhorn Slough 海滩——一个潮汐冲刷的河口,排空进入蒙特雷湾,分别于 2007 年 10 月和 2008 年 7 月采集了 42 个地下水样品.比较这些样品中镉含量与海水中镉含量,科学家计算出了地下水注入海洋的量.然后,通过分析化学技术,他们估计了每个点位总汞和甲基汞的平均浓度.尽管这些点位浓度各不相同,但处在同一个水平,且浓度出人意料地高.洛杉矶港湾附近,总汞浓度比根据大气沉降计算所得浓度高一个数量级.人们普遍认为沿海海域绝大部分甲基汞来源于表层沉降,研究人员推测斯汀森海滩附近化粪池中细菌是该处甲基汞的主要贡献者,而 Elkhorn Slough 海滩地下水可能将污染物从沉积物和湿地中冲洗出.

“有越来越多的研究者认为,河口和沿海产生的甲基汞,足够沿海渔业的生物富集,甚至能够作用于离岸渔业.”史密森尼环境研究中心微生物生态学家 Cynthia Gilmour 认为.不过,她说:“总面积比地下水排放大得多的沉积物可能意味着在许多沿海生态系统中,沿海沉积物产生的甲基汞贡献较大”.

海底地下水流可能是汞的重要来源,无论地下水中浓度高低、流动量多大.最大的问题是,地下水中汞的含量在多大程度上受人类活动影响,以及其被鱼类和其他海洋生物利用的程度.

刘 芳 译自《Environmental Science and Technology》August, 1,5553(2009)