

中国东部海域大气气溶胶入海通量的研究*

刘 毅

(中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

周 明 煜

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘 要 根据中国东部海域气溶胶浓度及分级采样资料, 计算得出黄海、东海及日本以南海域沙尘气溶胶的代表元素铝 (Al) 每月干沉降通量分别为 42.8、18.3、5.2 mg/m^2 ; 其中各海域春季的干沉降通量均占全年干沉降通量的 40% 以上. 相应每月总沉降通量分别为 54.1、29.8、10.5 mg/m^2 . 渤海、黄海、东海及日本以南海域每年沙尘气溶胶总沉降通量分别为 26.4、9.3、5.1、1.8 g/m^2 . 东海污染元素总沉降通量以春季最大, 夏、秋季次之, 冬季最小. 日本以南海域锑 (Sb) 元素总沉降通量的季节分布为冬季最大, 夏、秋季次之, 秋季最小; 硒 (Se) 元素总沉降通量的最大值出现在夏季, 其他季节分布比较均匀.

关键词 气溶胶 干沉降速度 沉降通量 中国东部海域

1 引言

大气气溶胶不仅通过改变气候系统的辐射平衡对气候产生直接影响和间接影响, 而且在许多地球物理和地球化学过程中也起着重要作用. 它可通过大气输送并沉降于海洋, 影响海水的化学组成和 pH 值, 从而对许多海洋生物及地球化学系统产生影响. 西北太平洋深海沉积物中矿物质的记录表明, 其矿物组成主要由陆地经长距离输送而沉降于海洋的各种矿物颗粒物决定, 与矿物颗粒结合在一起的某些微量元素与污染元素对海洋生物过程也起着重要作用. 根据 Duce 等^[1]的研究, 每年从亚洲大陆输入到北太平洋的矿物尘土高达 480×10^{12} g. 陆源气溶胶在长距离输送过程中, 在重力作用下较大颗粒首先会在近海沉降, 因此研究中国近海大气气溶胶的入海通量对评价陆源气溶胶全球入海通量和研究中国近海地壳元素的生物化学循环有着重要意义. 本文利用中国东部海域 10 个航次的气溶胶分级采样资料计算得出不同季节

本文于 1998-07-29 收到, 修改稿于 1998-10-27 收到.

* 国家自然科学基金重点资助项目(编号: 4973620)和中国科学院重大资助项目(编号: KZ951-A1-403).

第一作者简介: 刘 毅, 男, 37 岁, 副研究员, 现从事大气气溶胶物理、化学特性及输送过程方面的研究.

的干沉降速度,并以实测气溶胶浓度计算得出中国东部海域气溶胶的干湿沉降通量。

2 气溶胶的采样与分析

2.1 海上气溶胶的观测与分析方法

海上气溶胶采样使用国产KB-120单级采样器采集气溶胶总量,所用滤纸为90 mm国产新华滤纸。采样器在海上的采样时间一般为6~8 h,流量速率为80 dm³/min。同时采用KA-200 Anderson多级采样器作分级采样,分级采样器共有9级,其粒径范围依次为>11、7~11、4.7~7、3.3~4.7、2.1~3.3、1.1~2.1、0.65~1.1、0.43~0.65、<0.43 μm。采样时间为30~50 h,流量速率为30 dm³/min。为了避免船体排放的污染物对采样的影响,将采样器安装在船前舱顶板上,采样器离海面约20 m,采样器安放在木制百叶箱内,而且只有在行船或确认船头处于迎风位置时才开机取样。采用中子活化方法分析气溶胶中的化学元素含量。由亚洲大陆向中国东部海域输送的大气气溶胶主要由地壳元素和污染元素组成,根据文献[2]和文献[3]对陆地和中国东部海域气溶胶中锑(Sb)和硒(Se)元素的研究得出,这两种元素主要来源于陆源燃煤排放。在地壳源气溶胶中铝(Al)元素的相对含量稳定在7%左右,是地壳源气溶胶的代表元素,因此本文重点研究了Al、Sb和Se的干湿沉降通量。

2.2 观测的时间和范围

1987~1992年利用“向阳红09”号调查船,共进行了10个航次海上气溶胶观测,历时6 a。各航次观测时间和范围见表1。为便于分析,将观测海域划分为黄海、东海和日本以南海域。

表1 观测的时间和范围

航次	观测时间(北京时)	观测范围	采样个数	
			KB-120	KA-200
1	1987-07-22~08-26	27°~36°N, 121°~132°E	31	4
2	1987-12-02~1988-01-23	28°~35°N, 122°~142°E	36	4
3	1988-04-25~06-07	28°~36°N, 121°~144°E	26	4
4	1988-10-19~11-17	27°~35°N, 122°~133°E	23	4
5	1989-04-09~04-20	29°~36°N, 121°~129°E	19	4
6	1989-10-18~11-08	28°~34°N, 123°~139°E	26	4
7	1990-07-26~08-25	28°~35°N, 121°~136°E	20	4
8	1990-12-07~12-20	29°~32°N, 125°~129°E	8	2
9	1991-10-24~11-18	28°~33°N, 125°~129°E	8	2
10	1992-04-24~04-29	29°~31°N, 127°~129°E	6	1

3 大气气溶胶的干沉降速度

海上气溶胶的沉降(清除)过程包括干沉降过程和湿沉降过程,其中干沉降过程是指与降水作用无关的气溶胶从大气向地表面(或海面)作质量转移的过程。干沉降通量定义为

$$F_d = C_{\text{air}} V_d, \quad (1)$$

式中, C_{air} 为空中某气溶胶浓度; V_d 为干沉降速度,它反映各种机制对干沉降贡献的总效应。

由于通过直接测量来确定气溶胶干沉降速度的方法受到一些限制,文中采用 Slinn [4]提出的一个两层模式计算气溶胶的干沉降速度.该模式主要考虑了重力沉降、湍流运动、碰并增长和布朗运动对于沉降过程的影响.具体方案为

$$\frac{1}{V_d} = \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_d} - \frac{V_g(a_d)}{K_c \cdot K_d}, \quad (2)$$

式中, $1/K_c$ 为常通量层阻力,其中 $K_c = K'_c + V_g(a_d)$; $1/K_d$ 为沉积层阻力,其中 $K_d = K'_d + V_g(a_w)$; K'_c 表示在常通量层中大气湍流运动对于干沉降的影响; K'_d 表示粒子的增长、碰撞和布朗扩散对于干沉降的影响; $V_g(a_d)$ 是由重力引起的半径为 a_d 的粒子沉降速度; $V_g(a_w)$ 是由重力引起的湿半径为 a_w 的粒子的沉降速度.

根据 Slinn 和 Slinn^[4]的研究,在上层(约 10 m 的常通量层)干沉降速度主要由大气湍流(K'_c)和重力沉降($V_g(a_d)$)所决定;而在下层(约 1 cm)粒子的干沉降速度不仅取决于重力沉降,而且同粒子的增长、碰撞以及布朗扩散有关.对沙尘气溶胶而言,由于粒径较大,重力沉降是主要控制因子,而且沙尘气溶胶具有非吸湿性,粒径变化很小,如仍保留碰撞和布朗扩散的影响,沙尘气溶胶的干沉降模式可简化为

$$V_d = K'_d + V_g(a_g), \quad (3)$$

式中, $K'_d = (1/k)C_d u [Sc^{(0.6)} + 10^{(-3/St)}]$; $V_g(a_d) = C \cdot D^2 \cdot \rho \cdot g / (18\eta)$; k 为卡门常数(0.4); u 为平均风速(单位: cm/s); C_d 为阻力系数; Sc 为粒子的斯密特数; St 为粒子的斯托克斯数; C 为计算重力下降速度时的订正系数; D 为气溶胶的直径(单位: μm); ρ 为气溶胶的密度(2.5 g/cm^3); g 为重力加速度(981 cm/s^2); η 为空气的绝对粘性($1.789 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$).

这样对半径为 a_d 的单个气溶胶,可用式(3)计算其相对海面的干沉降速度.早期的研究多采用质量平均半径来计算干沉降速度,由于大粒子对干沉降速度的贡献远大于小粒子,因此在计算气溶胶干沉降速度时必须考虑气溶胶的谱分布.

首先假设沙尘气溶胶服从单一峰值的对数正态分布. Patterson 和 Cillette^[5]的研究表明,地壳源气溶胶基本满足这一假设.其次通过正态分布表查出每一级别上气溶胶浓度累积百分比的正态标准差 Y ,然后由下式拟合:

$$Y = A + B \ln D, \quad (4)$$

式中, D 为粒子的直径.以 $-1/B$ 为拟合谱的标准差, $\exp(-A/B)$ 为质量平均半径.由海上气溶胶分级观测资料即可计算出沙尘气溶胶的谱分布.然后将粒子按粒径依次分为 100 个档次,每一档次代表 1% 的质量,再由下式可以比较准确地计算干沉降通量:

$$F_d = \sum_{i=1}^{100} (C_{\text{air}}/100) V_d(D_i), \quad (5)$$

式中 D_i 为代表第 i 个 1% 质量档次相对应的粒径.将式(3)代入式(5)得:

$$F_d = \sum_{i=1}^{100} (C_{\text{air}}/100) \{ (1/k)C_d u [Sc_+^{(0.6)} 10^{(-3/St)}] + CD^2 \rho g / 18\eta \} (D_i), \quad (6)$$

利用气溶胶浓度和粒子谱,可以导出气溶胶的平均干沉降速度为

$$V_{\text{平}} = F_d / C_{\text{air}}, \quad (7)$$

选取海上气溶胶中 Al 元素为沙尘气溶胶的代表元素,取密度为 2.5 g/cm^3 ,按上述方法计算得出如表 2 所示的干沉降速度.首先从不同海域 Al 元素年平均干沉降速度可见,黄海最

大、东海次之,日本以南海域最小.表中质量平均粒径 MMD 也有类似分布,表明地壳源气溶胶刚离开陆地时,粒子的尺度较大,因而干沉降速度也较大;当气溶胶远离陆地后,随着大粒子的不断沉降,小粒子相对含量增加,干沉降速度逐渐减小.表2中气溶胶浓度是与分级样品同步观测的单级(KB-120)样品中 Al 的平均浓度,从东海的干沉降速度与平均浓度随季节的分布中可看出,干沉降速度与浓度呈现出明显的负相关,即在气溶胶浓度高的季节,干沉降速度小,如春季;而在气溶胶浓度低时,干沉降速度大,如夏季.黄海和日本以南海域由于资料太少,代表性不强,这一特征不明显.产生这种现象的原因可能是夏季亚洲大陆尘暴活动很弱,海上盛行东南风,气溶胶中陆源成分以小粒子为主,而且浓度较低,在空中滞留时间长,同时夏季空气中水汽相对比较丰富,气溶胶可以通过同其他粒子碰并增加或湿增长即成云过程变成较大粒子. Zhou 等(1992)^[6]在对西北太平洋上空气溶胶的研究中发现,海上较大的气溶胶是由许多小粒聚集而成的.其核心元素为 Na 和 Cl,周围聚集着 S、Al、Si、Fe 等各种元素.

表2 不同海域 Al 元素的干沉降速度(cm/s)

季节	东 海				黄 海				日本以南海域			
	N	V_d	C	MMD	N	V_d	C	MMD	N	V_d	C	MMD
春	8	0.88	1.2	3.6	1	1.2	2.6	3.6	1	0.69	0.32	3.1
夏	5	1.62	0.13	2.9	1	0.48	2.0	2.8	2	1.46	0.17	2.0
秋	7	1.15	0.48	3.8	1	2.46	0.45	3.9	1	0.4	0.14	3.4
冬	4	1.19	0.29	2.5					2	0.55	0.42	2.8
年平均		1.21		3.2		1.38		3.4		0.78		2.8

N 为资料个数; V_d 为干沉降速度; C 为与 KA-200 同步观测的 KB-120 平均浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$); MMD 为拟合谱的质量平均粒径(μm).

根据文献[7]给出的湿增长达到平衡后的粒径与干粒径之间的关系式,采用与 Al 干沉降速度类似的方法也可以计算海盐元素的干沉降速度.以气溶胶中 Na 元素为例计算得到东海、黄海和日本以南海域的年平均干沉降速度分别为 1.5、1.9、1.5 cm/s;质量平均粒径依次为 3.9、4.6、4.0 μm .从东海和日本以南海域干沉降速度的季节分布看,以冬季的值最大,且冬季日本以南海域的值大于东海的值,结合各海域风速的季节分布可以得出,海盐元素的干沉降速度与风速呈现一定程度的正相关.即风浪大时,海盐元素中大粒子的相对含量有所增加.

4 沉降通量

4.1 干沉降通量

前面的计算得出了地壳元素和海盐元素的干沉降速度.污染元素 Sb、Se 的干沉降速度可采用文献[8]的推荐值 0.2 cm/s.根据式(1)在已知气溶胶浓度^[9]和干沉降速度的条件下,可计算出不同海域的干沉降通量.由表3可以看出,3个海域春季 Al 干沉降通量均在 40%以上,东海、黄海秋季占 20%以上,夏季、冬季各占 15%左右.日本以南海域秋季通量值小于 10%,冬、夏季各约占 25%.年平均干沉降通量以黄海最大,东海次之,日本以南海域最小.

表3 AI元素季平均干沉通量[$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$]

季节	东 海		黄 海		日本以南海域	
	干沉降通量	(%)	干沉降通量	(%)	干沉降通量	(%)
春	34.0	46.6	79.0	46.4	8.3	40.2
夏	10.0	13.2	28.0	16.3	5.0	24.2
秋	21.0	28.8	36.0	21.0	2.0	9.8
冬	8.0	11.2	28.0	16.3	5.3	25.8
年平均	18.3		42.8		5.2	

表4列出东海和日本以南海域气溶胶中污染元素干沉降通量的季节分布,其分布特征与浓度分布相似.东海污染元素干沉降通量在春季达到最大值,夏季达到最小值,秋季浓度略高于冬季,其中春、夏、秋、冬4季浓度占全年总浓度的比例分别为40%、14%、25%、21%.可以看出,亚洲大陆向近东海输送并沉降的污染元素气溶胶主要集中在春季,这同文献[9]中分析得到的污染元素气溶胶浓度的季节分布密切相关.日本以南海域冬季干沉降通量最大,其中Sb元素冬季干沉降通量占全年总量的50%左右,说明该海域冬季气溶胶中污染元素的干沉降通量主要受其上风方向日本排放源的影响.

表4 污染元素季平均干沉降通量[$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$]

季节	东 海				日本以南海域			
	Sb		Se		Sb		Se	
	干沉降通量	(%)	干沉降通量	(%)	干沉降通量	(%)	干沉降通量	(%)
春	12.6	40	18.5	41	7.8	23	6.8	22
夏	4.2	13	6.4	14	4.5	13	5.6	18
秋	8.0	25	11.0	24	4.7	14	7.9	25
冬	7.0	22	9.3	21	16.9	50	10.9	35
年平均	8.0		11.3		8.5		7.8	

4.2 湿沉降通量

通过雨、雪等各种形式降水的作用而使气溶胶从大气中清除到地表面(或海面)的过程称为湿沉降过程.由湿沉降过程而产生的湿沉降通量可定义为

$$F_w = P \cdot C_r, \quad (8)$$

式中, P 为降水量; C_r 为降水中某一元素的浓度.由于直接测量降水中各元素的浓度比较困难,无法直接使用上式计算.现有研究表明,大气中某种元素的浓度与这种元素在雨水中的浓度保持一定的比例关系.这一关系可定义为冲刷因子:

$$S = \rho_0 \cdot C_r / C_a, \quad (9)$$

式中, C_a 为大气中某种元素的浓度; ρ_0 为空气密度($1.200 \text{ g}/\text{m}^3$).根据式(8)和(9)得:

$$F_w = P \cdot S \cdot C_a / \rho_0, \quad (10)$$

这样由已知的 P 、 S 、 C_a 值,即可计算出 F_w .冲刷因子 S 的值与被冲刷粒子的尺度、粒子的物理和化学性质等因素有关,存在较大不确定性.根据Duce^[1]的研究,认为采用以平均值100,

范围 50~200 作为冲刷因子较为合理. 因此本文冲刷因子 S 取为 100.

中国东部海域 6~8 月平均降水量为 180 mm/month, 12~2 月平均月降水量为 50 mm, 其他月份为 100 mm, 再根据中国东部海域各海域降水的分布特征可知, 降水量南部海域大于北部海域, 东部大于西部^[10], 各海域的降水量如表 5 所示. 表 5 同时给出本文计算得到的 Al 元素湿沉降通量. 其中湿沉降通量除黄海夏季以外均以春季最大, 夏秋季次之, 冬季最小. 从湿沉降通量占总沉降通量的比例看, 黄海、东海及日本以南海域分别为 20.0%、36.7% 及 51.6%, 湿通量所占比例逐渐增加.

表 5 Al 元素湿沉降通量

季节	东 海			黄 海			日本以南海域		
	F_w	P	(%)	F_w	P	(%)	F_w	P	(%)
春	21.2	180	40.1	17.6	90	19.3	8.2	210	49.6
夏	9.7	540	50.1	17.9	300	40.8	6.6	600	56.9
秋	9.8	180	33.3	3.9	90	10.4	3.2	210	61.5
冬	2.2	90	23.1	3.0	45	9.7	3.3	105	38.2
年平均	10.7		36.7	11.3		20.0	5.3		51.6

F_w 为月湿沉降通量(mg/m^2); P 为月降水量(mm), (%)表示湿沉降通量占总沉降通量的比例.

4.3 总沉降通量

由前面计算出的气溶胶中 Al 元素的干、湿沉降通量即可求得黄海、东海及日本以南海域气溶胶中 Al 元素的总沉降通量. 对渤海海域, 可采用文献[8]研究得出的陆源气溶胶浓度随离岸距离的关系计算出渤海 Al 元素的浓度, 同黄海的情况类似(取干沉降速度为 1.38 cm/s, 湿沉降通量占总通量的 20.0%)可以计算出渤海气溶胶中 Al 元素的干、湿沉降通量和总沉降通量.

根据目前常用的 Al 元素占沙尘气溶胶总量 7% 的比例关系, 可通过 Al 元素浓度计算通过大气输入到各海域的沙尘气溶胶总量(表 6). 表 6 中同时给出经过河流进入各海域的矿物质. 由表 6 可见, 由东海至黄海、黄海至渤海沉降通量成倍增加, 即越靠近沙尘源区和沙尘气溶胶输送的主要通道, 沉降通量越大. 由于经黄河与长江输送的沙量均很大, 所以通过大气输入到渤海和东海的矿物质所占比例很小. 即上述海域矿物质输送仍以河流输入为主. 但对远离河流出海口的海域, 例如黄海, 大气输入量占总输入量的 20%, 由于通过大气输入矿物质的 45% 集中于春季, 同时春季降水少、经河流输入的矿物质也较少, 春季通过大气输入的矿物质占黄海总输入量的 40% 以上, 所以经过大气输入的矿物质对黄海海域的海洋环境有着重要影响. 此外对于海洋表层某些微量元素, 大气输送也很重要.

表 6 年平均大气输入与河流输入矿物质(沙尘)的比较

海 域	面积/ $\times 10^4 \text{km}^2$	沉降通量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	大气输入量/ $\times 10^{10} \text{g}$	大气输入占 总输入量的 比例/%	河流输入量/ $\times 10^{10} \text{g}$	河流输入占 总输入量的 比例/%
渤 海	7.8	26.38	202.9	0.2	120 000	99.8
黄 海	41.2	9.27	376.6	20.3	1 500	79.3
东 海	77.0	5.00	382.6	0.6	63 000	99.4
日本以南海域		1.79				

河流输入量来源于文献[11].

同气溶胶中 Al 元素湿沉降通量和总沉降通量的计算方法类似也可以求出气溶胶中 Sb 元素和 Se 元素的湿沉降通量和总沉降通量. 表 7 给出东海及日本以南海域的计算结果. 从中得出东海污染元素总沉降通量以春季最大, 夏、秋季次之, 冬季最小. 与东海干沉降季节分布略有不同的是夏季湿沉降通量的增加使得夏季总沉降通量有所增加. 日本以南海域 Sb 元素总沉降通量的季节分布为冬季最大, 夏、春季次之, 秋季最小; Se 元素总沉降通量值夏季最大, 其他季节分布比较均匀, 这一分布特征可能与夏季 Se 元素存在较强的海洋源有关.

表 7 污染元素湿沉降通量和总沉降通量 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$]

季节	东 海				日本以南海域			
	Sb		Se		Sb		Se	
	F_w	F_t	F_w	F_t	F_w	F_t	F_w	F_t
春	12.2	24.8	17.9	36.3	8.8	16.5	7.7	14.5
夏	12.2	16.4	18.5	24.8	14.5	19.0	18.0	23.6
秋	8.3	16.3	12.5	23.4	5.3	9.9	8.9	16.9
冬	3.4	10.4	4.5	13.8	9.5	26.5	6.1	17.0
年平均	9.0	17.0	13.3	24.6	9.5	18.0	10.2	18.0

F_w 、 F_t 分别为湿沉降通量和总沉降通量.

5 结论

5.1 运用两层模式结合海上气溶胶分级观测资料计算得到黄海、东海及日本以南海域气溶胶中 Al 元素的年平均干沉降速度分别为: 1.38、1.21、0.78 cm/s. 拟合谱的质量平均粒径分别为: 3.4、3.2、2.8 μm . 4 季中, 夏季干沉降速度最大, 干沉降速度同气溶胶浓度呈现一定程度的负相关.

5.2 黄海、东海、日本以南海域气溶胶中每月 Al 元素的干沉降通量分别为 42.8、18.3、5.2 mg/m^2 , 其中各海域春季的干沉降通量均占全年总通量的 40% 以上. 东海污染元素 Sb 和 Se 的干沉降通量的季节分布同 Al 元素分布类似, 最大值出现在春季, 占全年总量的 40%, 而日本以南海域污染元素 Sb 和 Se 的干沉降通量最大值出现在冬季, 其中以燃煤排放为主的 Sb 元素冬季干沉降通量达到全年总量的 50%.

5.3 黄海、东海、日本以南海域气溶胶中每月 Al 元素的湿沉降通量分别为 11.3、11.5、5.3 mg/m^2 ; 湿沉降通量占总沉降通量的比例分别为 20.0%、36.7%、51.6%, 越靠近沿岸海域, 湿沉降通量的贡献越小. 4 季中, 夏季的湿沉降通量最大, 冬季最小.

5.4 按沙尘气溶胶中 Al 元素浓度占总浓度 7% 计算, 渤海、黄海、东海及日本以南海域每年沙尘气溶胶入海通量分别为 26.4、9.3、5.1、1.8 g/m^2 , 黄海通过大气输入的沙尘量占大气和河流输入总量的 20%, 其中春季大气的输入量占总输入量的 40% 以上.

在本文完成过程中, 国家海洋环境预报中心海气室的苏丽荣、吕乃平、郑月明、李诗明、陈陟、钱粉兰、陈景南、兰友昌等同志给予了热情的帮助和指导, 作者在此表示衷心的感谢!

参考文献

- 1 Duce R A, Liss P S, Merrill J T *et al.* The atmospheric input of trace species to the world ocean. *Global Biogeochemical Cy-*

- cles, 1991, 5, 193~259
- 2 周明煜, 曲绍厚, 宋锡铭等. 北京地区一次尘暴过程的气溶胶特征. 环境科学学报, 1981, 1(3): 207~218
 - 3 Zhou M Y, Yang S J, Parungo F P *et al.* Chemistry of marine aerosol over the western Pacific Ocean. J. Geophys. Res., 1990, 95(2): 1 779~1 787
 - 4 Slinn S A, Slinn W G N. Modeling of atmospheric particulate deposition to natural waters. Ann. Arbor Science. Eisenreich S J. ed., Michigan, 1981, 23~53
 - 5 Patterson C C, Gillette D A. Commodities in measured size distributions for aerosols having a soil-derived component. J. Geophys. Res., 1977, 82, 2 074~2 082
 - 6 Zhou M Y, Lu N P, Miller J *et al.* Characterization of atmospheric aerosols of suspended particles in seawater in the western Pacific Ocean. J. Geophys. Res., 1992, 97, 7 553~7 567
 - 7 Fitzgerald J W. Approximation formulas for the equilibrium size of an aerosol particle as a function of its dry size and the ambient relative humidity. J. Appl. Meteor., 1975, 14, 1 044~1 049
 - 8 Gao Y, Arimoto R, Duce R A *et al.* Input of atmospheric trace elements and mineral matter to the Yellow Sea during the spring of a low-dust year. J. Geophys. Res., 1992, 97, 3 767~3 777
 - 9 刘毅, 周明煜. 近中国海大气气溶胶的时间和地理分布特征. 海洋学报, 1999, 21(1): 32~40
 - 10 雷宗友. 中国海环境手册. 上海: 上海交大出版社, 1986, 225~228
 - 11 程天文, 赵楚. 我国主要河流入海径流量输沙量及对沿岸的影响. 海洋学报, 1985, 7(4): 460~471

Atmospheric input of aerosols to the eastern seas of China

Liu Yi,¹ Zhou Mingyu²

1. LAPC, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2. National Marine Environment Forecasting Center, Beijing 100081

Abstract—The atmospheric input of aerosols from the continent of Asia to the eastern seas of China are investigated, using aerosol data collected over the Huanghai Sea, the East China Sea and the sea area south to Japan. The main results are as follows: the monthly mean dry deposition fluxes of aluminium—a representative element of dust over the Huanghai Sea, the East China Sea and the sea area south to Japan are 42.8, 18.3 and 5.2 mg/m² respectively; the corresponding monthly mean total deposition fluxes are 54.1, 29.8 and 10.5 mg/m². The annually mean atmospheric depositions of dust aerosol to the Bohai Sea, the Huanghai Sea, the East China Sea and the sea area south to Japan are 26.4, 9.3, 5.1 and 1.8 g/m² respectively. Over the East China Sea, the seasonal pattern of the total deposition flux for pollution element is the highest in spring, moderate in autumn and winter, and the lowest in summer. Over the sea area south to Japan, the highest total deposition flux of Sb appeared in winter, moderate in summer and spring, and the lowest in autumn; the highest total deposition flux of Se appeared in summer.

Key words Aerosol, dry deposition velocity, deposition flux, East China Sea