

# 全球化石燃料燃烧生成的NO<sub>x</sub>和SO<sub>x</sub> 排放量地理分布的变化(1966—1980)

[美] S. Hameed, J. Dignon

一、统计模型 为了估计燃烧过程中气体污染物的排放量,我们假定排放量是化石燃料耗量的某个函数。各国的燃料耗量都可以从联合国现成的资料(联合国,1981)中查得,而大多数经济合作和发展组织成员国从1966年至今都有非常有用的污染物排放资料。利用这些数据资料,我们发现在相同的排放控制下,排放量可由以下最小二乘方程式很好地表示:

$y = bx + a$  (1a), 这里,  $x$  表示特定年份燃料耗量,  $y$  是应特定年份排放量的预测值。以下我们将采用美国和经济合作与发展组织中其它一些NO<sub>x</sub>和SO<sub>x</sub>年排放量较大的国家的资料,来得到一个与(1a)式类似的方程。当然,也需要对那些燃料耗量相当小的国家进行污染物排放量的估计。对后者的更实际的估计是,令(1a)式中 $a = 0$ 得到的。基于这个原因,将(1a)式修改成以下形式,该形式表示没有燃料消耗也就没有污染物排放。 $y = b'x$  (1b)。

这一假定可以通过对每一回归方程假设:  $H_0: a \neq 0$  进行  $t$  — 检验来证实。如果这一假设不成立,于是,  $a$  和  $0$  间没有显著差异,并且预报数据与原始数据拟合得很好。

对污染物排放量实施控制会对这种统计关系产生影响。也就是说,我们得到的经验关系式(1a)或(1b)仅限于对排放量控制水平较均一的一个区域和时段内成立。因而,有必要将全球分为具有准均一控制水平的几个区域和时段,并且分别寻找燃料耗量与污染物排放量之间的关系。自1970年大气清洁法修正案颁布以后,美国对大气污染包括NO<sub>x</sub>和SO<sub>x</sub>采取了相当严格的控制。在七十年代早期,西欧国家、澳大利亚、加拿大和日本开始实施不太严格和比较渐进的控制政策。东欧国家也消耗了大量化石燃料,非官方资料表明,这些国家由于考虑到控制的价格太昂贵以及实施的困难,所以,排放源一般都缺乏控制。这样的大气污染排放情况也适合于大多数发展中国家。

广义地讲,我们的结论是,1970年以前对NO<sub>x</sub>和SO<sub>x</sub>的排放几乎没有什么控制。自从大气清洁法修正案实施以后,美国的排放率开始下降,其它经济合作和发展组织的成员国(包括西欧国家、澳大利亚、加拿大、日本)也相继对污染物的排放实行了一些不甚严格、地域上不很均一的控制。为了达到简单估计全球排放的目的,我们将全球分为三个区域:(I)美国;(II)经济合作和发展组织中除美国以外的其它成员国(西欧国家、澳大利亚、加拿大、日本);(III)世界的其它国家和地区。运用这些区域主要是可以在下述模型中考虑到不同的国

正如前面所提到的,这将是未来地貌学研究的新课题。构造组构对临界值、异常事件的有效作用和过程机理的影响,还没有确定。很显然,在能有把握地进行地貌灾害和地貌稳定性的预测之前,在未来研究中我们必须对这些关系进行详细的研究。

张祖陆、郭旭升节译自《Landscape analysis and the search for geomorphic unity》——Geological society of America Bulletin, Vol. 100, No. 2, 1988

家政策对大气污染的影响。

**模型 1** 根据美国在控制以前即 1970 年以前的数据资料可以得到年排放量和燃料消耗量之间的统计关系。这一关系可以用来估计没有控制措施时的污染物排放量,也就是说它可以用来计算整个研究时段(1966—1980)内区域 II 和 III 的排放量,因为美国在这些年中有更加详细的排放量估计,所以,在此模拟中对美国分开处理。这个模型对区域 II 中 1970 年以后的排放量可能估计过高;而对东欧和发展中国家则可能估计过低,这是因为这些国家通常不能对机器进行充分保养。

**模型 2** 在这个模型中,我们试图考虑区域 II 中 1970 年以后对排放量实施控制的影响。但在这一时段内,区域 II 中并非所有国家都有  $\text{NO}_x$  和  $\text{SO}_x$  的排放量资料。假定区域 II 中的国家进行污染物排放量控制是逐渐的,国家之间也是相互一致的,而且,由现在数据经回归分析得到的模型适用于整个区域。而由美国 1970 年以前排放量资料所得关系模型 1 仍用于估计区域 III 中 1966—1980 年的排放量以及区域 II 中 1970 年以前的排放量。另外,对区域 I 可利用美国已出版的现成资料。由此模型得到的排放量估计要比模型 1 低。

如果有了燃料耗量的数据资料,我们可以利用模型 1 和 2 来估计任何国家、任何年份的  $\text{NO}_x$  和  $\text{SO}_x$  排放量。这里估计了每个国家年污染物排放量,并且在固定的 10 个经度和 8 个纬度的网格上进行了地理参数化。这样的网格分割与 GISS (Goddard 空间研究所)的大气环流模型相一致。如果一个国家跨过了一个网格,可按各网格所代表的人口比例去分割估计出的排放量(这里假定每单位资本所致排放量在全国范围内是均一的)。各国的人口资料来源于大英百科全书(1979),并且假定在研究时段(1966—1980)内其空间分布保持恒定。

**二、氮氧化物的排放量** 自从发现了奇氮\*在大气  $\text{O}_3$  的光化学中的关键作用以后,人们就开始致力于对全球人为  $\text{NO}_x$  排放量的估计。近年来的尝试有:Pratt 等(1977)估计了 1970 年全球排放量为 20Mt(N)/年, Bauer(1982)估计 1975 年的排放量为 18.9Mt(N)/年, Logan(1983)估计了 1979 年的全球排放量为 21Mt(N)/年。另外,还有 Söderlund 和 Svensson(1975)、Böttger 等(1978)也分别作了估计,其值分别为 19Mt(N)/年和  $15 \pm 6.4$  Mt(N)/年。这里, 1Mt(N) = 1 百万吨氮。下面将利用燃料耗量和  $\text{NO}_x$  排放量的统计关系模型 1 和 2 来估计各个国家的排放量。

Dignon 和 Hameed(1985)利用 1970 年以前美国  $\text{NO}_x$  排放量的估计得到了拟合的统计关系:  $y = 0.0095x$  (2), 此方程中,  $y$  是以百万吨( $\text{NO}_2$ )为单位的  $\text{NO}_x$  排放量,  $x$  是全球燃料耗量换算成等效的煤量,以百万吨为单位。最小二乘方程的相关系数为 0.98,  $F$  比值为 109,其统计显著度好于 99%。注意:在此计算中,总燃料耗量是自变量。Cavender 等(1973)指出车辆和静止源的贡献与  $\text{NO}_x$  人为排放量非常接近。我们还得到了统计意义同样好的  $\text{NO}_x$  排放量对液体燃料耗量的回归方程,其数值来源与上述方程数据来源的年份相同,其相关系数为 0.96,  $F$  值为 59。

利用 Dignon 和 Hameed(1985)表 1 中西欧国家和加拿大 1970 年以后的数据所得关系式,可以作为模型 2 中区域 II 的回归方程:  $y = 0.0095x$  (3), 统计结果表明,其相关系数为 0.99,  $F$  值为 238,并且这也代表了好于 99% 的显著度。

最近,我们又获得了区域 II 中几个国家  $\text{NO}_x$  排放量的资料,其来源于经济合作与发展组织的出版物(1979, 1985),并在表 1 中给出。表 1 中还给出了联合国(1981)统计的燃料耗

\* 奇氮(odd N)即  $[\text{NO}] + [\text{N}(\text{O})] + [\text{N}(\text{O})_2]$ 。——译者注。

量数据。把这些数据与Dignon 和Hameed (1985) 表 1 中的数据相结合进行回归分析, 得:  $y=0.0060x$  (4), 比较 (3) 和 (4) 式可以知道, 我们得到的回归关系是非常好的, 利用它可以得到NO<sub>x</sub>排放量的可靠估计。

表1 区域 II 中一些国家的燃料耗量与NO<sub>x</sub>排放量数据

国家	年份	燃料耗量*	NO <sub>x</sub> 排放量**
加拿大	1976	226.1	1.93
日本	1975	414.1	2.22
澳大利亚	1971	70.9	0.85
奥地利	1974	29.3	0.11
丹麦	1974	25.8	0.045
芬兰	1975	23.4	0.25
法国	1975	225.2	1.32
德国	1975	355.2	1.91
意大利	1972	160.0	0.92
荷兰	1975	83.7	0.41
挪威	1975	20.2	0.10
葡萄牙	1975	0.93	0.19
西班牙	1975	78.0	0.22
瑞典	1975	48.0	0.31
瑞士	1975	22.8	0.015
英国	1975	288.5	1.68

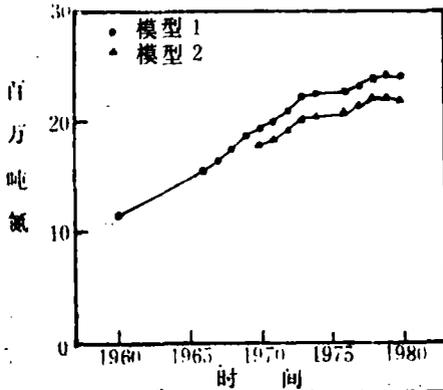


图1 由模型 1 和 2 估计的每年全球由于化石燃料燃烧产生的NO<sub>x</sub>排放量, 以百万吨氮为单位。

\* 燃料耗量以百万吨等价煤为单位。  
\*\* NO<sub>x</sub>排放量以百万吨等价NO<sub>2</sub>为单位。

图 1 给出了利用模型 1 和 2 估计全球总体NO<sub>x</sub>排放量随时间变化的结果。图 2 (a) 和图 2 (b) 分别给出了利用模型 1 算出的 1966 年和利用模型 2 算出的 1980 年的NO<sub>x</sub>排放量地理分布。从这些图中我们可以看出, 虽然北半球大部分排放量仍集中在中纬度地区, 但随时间的最大增长率却出现在热带地区。图 2 (c) 给出了从 1966 到 1980 年排放量增长与 1966 年排放量的百分比, 最大的增长率处在北非和中东, 主要的增长也出现在印度尼西亚、墨西哥和巴西。苏联的排放量增长比美国大四倍。西北欧以及包括越南、柬埔寨在内的区域排放量估计有净减少。

	17.5W	15.5W	13.5W	11.5W	9.5W	7.5W	5.5W	3.5W	1.5W	5E	13E	35E	55E	75E	95E	115E	135E	165E	175E	17.5W																	
86N																																					
78N						14	30																														
70N					41	33	14	30																													
63N	9	6	4	1																																	
55N	1	8	23	2	41	50	44	33	11	30	57	5			231	512	484	428	123	333	291	332	92	63	112	72	59	59	59	31	20	30	12	2			
47N					20	56	4	226	220	304	268	121	35			2262	3539	3978	897	376	865	335	260	117	186	97	55	41	79	69	72			1			
39N					1001	217	70	53	250	397	1995	42				86	762	1098	819	397	152	331	391	310	82	16	9	63	342	121	616						
31N					889	952	317	148	148			1				46	90	74	68	54	99	48	54	113	8	9	123	467	696	596	772						
23N					119	558	599	367								8	14	9	4	95	19	69	40	121	200	111	202	505	380								
16N	52					99	40	76	62	36						1	1	3	1	13	7	14	1	61	199	26	74	209	34								
8N						18	15	19	49								2	8	10	18	1	4	3	3		16	103	23	32	41				1			
0						29	114	68	13								2	6	9	3	7	8			11		16	18	31								
8S						319	44	33	30	18								2	6	6	6						19	21	14	6	18						
16S	1					258	37	28	36	27								1	7	14	4								15	5							
23S							13	10	30	15									29	99	45	1	1	2					40	45	40	5			6	1	
31S							46	53	30										7	196	120						10	61	61	61	40						
39S							68	80	3											56	19							25	15	50	35				6	9	
47S							90	6																												43	8
55S							66																														
63S																																					
70S																																					
78S																																					
86S																																					

图 2 (a) 根据模型 1 估计的 1966 年由于化石燃料燃烧产生的 NO<sub>x</sub> 排放量的地理分布, 以千吨等价的 NO<sub>2</sub> 为单位。

我们曾采用一维光化学模型来确定NO<sub>x</sub>排放量的增加是否对对流层O<sub>3</sub>浓度有影响。结果表明，在1966至1988年间，由于NO<sub>x</sub>排放的增加，北半球对流层中层O<sub>3</sub>浓度增加了8—12%。虽然，NO<sub>x</sub>的增多不是影响O<sub>3</sub>浓度的唯一机制，但这个结果与Angell和Korshover(1983)的观测结果一致，他们的观测结果表明，在1970至1981年间，北半球中纬度O<sub>3</sub>浓度增加了12%。

	175W	155W	135W	115W	95W	75W	55W	35W	15W	5W	5E	15E	35E	55E	75E	95E	115E	135E	155E	175E	175W																
86N						14	31																														
78N					42	34	14	31								12	16	38	49	37	30	16	18	11	1												
70N	14	7	5	1		12	34	11	31				7			1	43	56	58	59	77	67	76	78	80	80	80	80	80	80	76	71	11				
63N	1	10	27	3	42	52	12	34	14	31	59	6			141	311	396	1965	562	550	180	518	151	104	181	120	98	98	98	62	33	49	21	1			
55N				21	633	259	252	312	287	125	37				157	199	408	2967	2288	128	554	429	192	308	161	83	69	131	114	118			2				
17N																																					
39N					1180	290	828	299	4635	2329	44				195	998	1801	566	875	769	517	616	513	136	27	19	108	570	203	365							
31N					1036	118	373	1739	738	2					121	244	132	129	131	260	186	155	190	13	16	205	778	1158	142	1715							
23N					124	602	704	139							27	42	37	31	194	60	320	136	198	294	189	336	811	633									
16N	72				353	137	133	134	115					2	3	4	9	7	25	22	45	7	94	292	56	111	350	60									
8N					38	30	120	100					7	17	29	63	2	6	5	6			23	154	88	28	89						9				
0						61	265	161	30				11	16	32	4	9	13	1						12	191	72	86									
8S						394	101	95	87	52				7	8	9	9									56	71	43	19	57	1			1			
16S	1					268	67	80	101	78				2	11	23	5	1										25	9	2							
23S		1					18	25	87	13				4	153	66	2	3	6								65	73	65	8			7	4			
31S							66	82	87					10	301	184		1								16	98	98	98	65							
39S							99	116	3						86	29											41	24	82	57					9	13	
47S							161	9																											61	12	
55S							95																														
63S																																					
70S																																					
78S																																					
86S																																					

图2(b) 根据模型2估计的1980年由于化石燃料燃烧产生的NO<sub>x</sub>排放量的地理分布，以千吨等价的NO<sub>2</sub>为单位。

	175W	155W	135W	115W	95W	75W	55W	35W	15W	5W	5E	15E	35E	55E	75E	95E	115E	135E	155E	175E	175W																
86N							0	3																													
78N						2	3	0	3																												
70N					2	3	0	3					0																								
63N	56	17	25	0									0																								
55N	0	25	17	33	2	4	2	3	0	3	4	20																									
17N				5	16	15	14	13	7	3	8																										
39N					18	17	17	17	17	5																											
31N					17	17	18	18	18	100																											
23N					256	68	18	20																													
16N	16				256	243	75	116	219																												
8N					110	100	145	104																													
0						110	132	141	131																												
8S						88	130	188	190	189																											
16S	0					4	81	86	189	189																											
23S		0					38	150	190	187																											
31S							13	56	190																												
39S							46	45	0																												
47S							79	50																													
55S							41																														
63S																																					
70S																																					
78S																																					
86S																																					

图2(c) 1966至1980年间由于化石燃料燃烧产生的NO<sub>x</sub>排放量增量百分比。

**三、硫氧化物的排放量** 由于人们很早就知道了SO<sub>2</sub>在大气污染中的作用,相对地说,对全球人为硫排放的估计已有较多的出版资料。然而,这些估计的差异是相当可观的,从Kellogg等(1972)估计的50Mt(S)/年到Danilova和Dergachyova(1977)估计的110Mt(S)/年。对这些估计去进行评判是相当困难的,因为这些研究者很少给出他们所采用的详尽方法。这一节给出了用模型1和模型2对SO<sub>x</sub>估计的结果,并与文献中人为硫排放量进行了比较。

美国国家环保局对1940至1969年来自燃烧的SO<sub>x</sub>排放量进行了估计,并与全部的各年燃烧耗量进行了回归分析,得预测方程:  $y = 0.013x$  (5) 其相关系数为0.92, F值为31, 统计显著度水平达98%。

如前所述,模型2中,对除美国以外的经济合作与发展组织成员国在1970年以后需要算出一个回归方程。大部分经济合作与发展组织成员国的硫排放量估计由经济合作与发展组织(1977, 1985a、b)给出。最小二乘回归方程与数据之间的相关系数为0.77。虽然这个相关的统计显著度好于99%,但它只解释了59%的数据方差,这比回归方程(2)和(3)式所得的值要小得多。1970—1980年这十年,经济合作与发展组织各成员国都对SO<sub>x</sub>排放量逐步进行了严格控制,较低的相关系数可能是由于这种变异性造成的。拟合直线通过原点的方程为:  $y = 0.011x$  (6), 方程(5)和(6)用于前述模型2的计算。图3比较了模型1和模型2对于全球年排放量的估计。

正如所预料的那样,用模型2所作的估计比模型1要低。根据模型1,由燃烧产生的SO<sub>x</sub>从1960年的27Mt(S)增至1970年的46Mt(S),至1980年更增至52Mt(S)。根据模型2,排放量从1970年的40Mt(S)增至1980年的50Mt(S)。从图3中可以看出,1970—1980年间的排放增长率比前一个十年要小得多,这是因为1973—1976年的燃料耗量下降,其可能是由于1973年能源价格突然提高引起的。

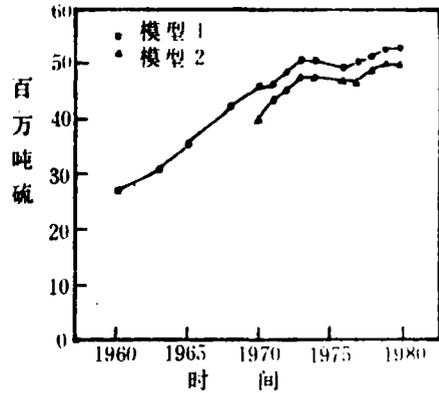


图3 由模型1和2估计的每年全球由于化石燃料燃烧产生的SO<sub>x</sub>排放量,以百万吨硫为单位。

表2 用模型1和模型2对化石燃料生成的SO<sub>x</sub>排放量所作估计与其它作者所估计的全部人为排放量比较表排放量以百万吨等价S为单位。

参考文献	估计年份	估计值	模型1	模型2
Katz (1956)	1943	38.5	14.8	
Eriksson (1960)	1960	40	26.9	
Junge (1963)	1963	30—40	30.6	
Cullis和Hirschler (1980)	1965	74.5	35.4	
Robinson和Robbins (1968)	1968	70	41.8	
麻省理工学院 (1970)	1968	46.5	41.8	
Cullis和Hirschler (1980)	1970	86	45.6	40.1
Kellogg等 (1972)	1972	50	48.4	45.8
Friend (1973)	1973	65	50.6	48.0
Cullis和Hirschler (1980)	1974	94	50.6	48.0
Cullis和Hirschler (1980)	1976	104	49.2	47.3
Granat等 (1976)	1976	65	49.2	47.3
Hallberg (1976)	1976	65	49.2	47.3
Danilova和Dergachyov (1977)	1977	110	50.4	47.0
Davey (1978)	1978	60	51.3	49.1
Garland (1978)	1978	70	51.3	49.1

模型 1 和 2 的计算结果与文献中发现的某些年的全球人为硫排放量估计比较如表 2。当文献的作者没有说明所做估计的年份时,就假定是文献出版那一年的估计。如前所述,用模型 1 和 2 所做估计是建立在化石燃料燃烧的基础上,所以,所估计的排放量只占整个人为  $SO_x$  的 80—85%,余下的部分是由于其它不同的工业过程所致。因我们计算的回归方程是以化石燃料燃烧排放的这一部分  $SO_x$  为依据,所以由模型 1 和 2 所得结果也只是由于化石燃料燃烧所致  $SO_x$  排放部分的估计,全部年  $SO_x$  排放量的估计可期望比表 2 中给出的模型 1 和 2 的结果高 15~20%。考虑到这一点,我们就会注意到 Junge (1963)、麻省理工学院 (1970)、Kellogg 等 (1972)、Friend (1973)、Granat (1976)、Hallberg (1976) 和 Davey (1978) 所得出的估计与模型 1 的估计符合得很好。除 Kellogg 等的估计以外,其它所有估计都比我们的估计要高。图 4 (a 略) 和图 4 (b 略) 分别给出了 1966 年 (模型 1) 和 1980 年 (模型 2) 的化石燃料产生的  $SO_x$  排放量的地理分布。用模型 1 对 1980 年的  $SO_x$  所做估计在文中没有给出。对区域 II 的国家内估计要比图 4 (b 略) 中高约 20%。1966—1980 年间化石燃料燃烧产生的  $SO_x$  排放量增加百分比的地理分布与图 2 (c) 中  $NO_x$  排放的情况相似。

Wilson 和 Mohnen (1982) 编辑了一份美国东部  $NO_x$  和  $SO_x$  排放量的区域表。编写的数据来源如下: (1) 多州电力生产所致大气污染; (2) 国家排放数据系统; (3) 联邦电力委员会和 (4) 硫的区域试验。两位编辑者将 1979 年的全部排放量做在 1 纬度  $\times$  1 经度的图中。可以料想, 1979 年美国的排放量较 1980 年的情况差异甚微。所以,我们可以用模型 2 计算 1980 年的分布情形与 Wilson 和 Mohnen 所报告的美国东部的分布情形作一比较, 这个比较在表 3 中给出。我们还可以看到, 在一国之内利用人口分布对排放量分布变化进行参数化与 Wilson 和 Mohnen 所估计的排放量范围一致。而 Wilson 和 Mohnen 的估计是在完全不同的假设下得到的。用模型 2 对  $NO_x$  的估计也在他们的估计范围之内。在中西部对  $SO_x$  的估计偏低, 可能是由于非燃烧类的大量排放, 特别是矿石熔化多集中分布于这些地方, 而这又不包括在我们的估计之内。

表 3. 美国东部 1980 年  $NO_x$  和  $SO_x$  排放量估计的空间分布  
 $NO_x$  排放量以百万吨等价  $NO_2$  为单位  
 $SO_x$  排放量以百万吨等价  $SO_2$  为单位

网 格	Wilson 和 Mohnen (1982)	模型 2
<u><math>NO_x</math></u>		
31—39 N		
75—85 W	1325—3325	1739
85—95 W	1425—4050	1739
39—47 N		
65—75 W	1125—2425	2329
75—85 W	2475—5115	4635
85—95 W	2600—4640	2939
<u><math>SO_x</math></u>		
31—39 N		
75—85 W	2075—4525	1739
85—95 W	4400—7200	1739
39—47 N		
65—75 W	800—2100	2939
75—85 W	4450—6925	4958
85—95 W	2350—4900	2466

#### 四、结 论 本文提出了两个模型,

用来进行全球范围来源于化石燃料燃烧的气体污染物排放量估计。这一研究中的统计分析意味着燃烧过程中的污染物排放量可以用化石燃料耗量的简单函数来表示。图 1 给出的 1960—1980 年间的  $NO_x$  全球排放量估计表明, 来源于化石燃料燃烧的奇氮排放量在这 20 年中几乎增长了 1 倍, 由 12 Mt (N)/年增到 22 Mt (N)/年。对  $SO_x$  的估计在同一时期内也增加了 1 倍, 由 27 Mt (S)/年增至 53 Mt (S)/年 (图 3)。两种污染物的增长在七十年代中期和晚期都出现了微弱的下降, 这可能是由于 1973 年和 1978 年两次能源涨价造成的。

模型对全球排放量的估计与其它作者对个别年份的估计相比较, 结果还是很一致的。虽

# 全球碳循环变化：生物界对大气圈中CO<sub>2</sub>浓度变化反应的勒曼特利埃原理（报导 I）

В. Г. Горшков, К. Л. Кондратьев, С. Г. Шерман

引言 在《全球碳循环的人为干扰》研究中，得出了一组方程，可描述碳的主要同位素和稀有同位素全球周转变化。这组方程不利用生物界和海洋模型，具有以下形式：

$$\Delta \dot{x}_a = -\Delta \dot{X}_f - \Delta \dot{X}_l - k \Delta x_a, \quad (1)$$

$$\Delta \delta^\circ C_a = v_f \Delta \dot{X}_f + v_l \Delta \dot{X}_l - K \Delta \delta^\circ C_a + k v \Delta x_a, \quad (2)$$

$$K = k^* + k_1^*, \quad (3)$$

方程（1）确定主要同位素的变化（无标号v），而方程式（2）确定带标号v=13和14的稀有同位素的变化。下列标号确定碳储库（a——大气圈，f——矿物燃料，l——大陆生物界，s——大洋）， $\Delta X_i$ ——储库中碳含量变化与大气圈中原始碳量（未扰动量）之比， $\Delta x_a = \Delta X_a$ ——大气圈中CO<sub>2</sub>浓度的相对变化。量 $\Delta \delta^\circ C_a = \delta^\circ C_a - \delta^\circ C_{a0} = \Delta x_a - \Delta x_{a0}$ 是大气圈中稀有同位素相对含量对未扰动值（ $\delta^\circ C_{a0}$ ）的变动量（ $\delta^\circ C_a$ ）的变化。在无论 $\Delta x_a \ll \Delta x_{a0}$ 时，还是 $\Delta x_a \sim 1$ 时 $\Delta x_a \ll 1$ 的条件下，该式意义保持不

变。常数R和R\*用通过界面的系数R<sub>12</sub>（交换系数）和碳的大洋无机吸收系数（R<sup>-</sup>）与有机吸收系数（R<sup>+</sup>）来表示：

$$k = (k_{12}^{-1} + k_s^{-1})^{-1}, \quad k_s = k^+ + k^- / \zeta, \quad (4)$$

$$k^* = (k_{12}^{-1} + (k^-)^{-1})^{-1}, \quad \zeta = 10 \pm 1, \quad (5)$$

式中 $\zeta$ ——已知的缓冲因素。系数R<sub>12</sub>\*确定短寿命大陆生物界对碳的吸收。研究表明， $R_{12}^* \ll R^*$ 。值 $v$ 考虑了同位素分馏的影响，具有形式：

$$v = k^* / (k^- k_s) (v^+ k^+ + v^- k^- / \zeta), \quad (6)$$

式中 $v^+$ 和 $v^-$ ——已溶CO<sub>2</sub>（ $\delta^\circ C$ ）中与大洋生物界（ $\delta^\circ C^+$ ）中和已溶CO<sub>2</sub>（ $\delta^\circ C$ ）中与全溶无机碳 $\Sigma CO_2$ （ $\delta^\circ C_2$ ）中的碳同位素相对含量变动量之差，相应为：

$$v^+ = \delta^\circ C - \delta^\circ C^+, \quad v^- = \delta^\circ C - \delta^\circ C_2 \quad (7)$$

除方程（1）和（2）外，还可通过文献[1]中方程（30）和（31）的右部相等的方法，求出大气圈无机碳中和大洋表层中碳稀有同位素相对含量变动量的变化（ $\Delta \delta^\circ C_a$ 和 $\Delta \delta^\circ C$ ）之间的关系：

然这是一种令人满意的特征，但估计的近似本质是不会改变的。我们的统计是以美国各州和经济合作与发展组织成员国对年排放量估计为基础的，准备这些估计资料是一极其复杂的过程，它需要有关排放因子、源的类型等详尽的资料。不同国家的资料不可能具有相同的精确度，不同的年份精确度也不会相同，同样，收集各国年燃料耗量这一繁琐的过程可能导致错误。我们方法的主要优点是用简单的方法能够给出全世界各国一致的估计。可以料想，更多的国家出版了可靠的排放资料，这一方法可进一步改进，能将全球分为更多的区域，并得出其相应的回归关系。

把1966年和1980年源自化石燃料燃烧的NO<sub>x</sub>和SO<sub>x</sub>排放量估计看成是经度和纬度的函数，来表明其全球分布的变化。此结果在图2和图4中给出，并证明了最大的增长率出现在工业发展中国家，如果这一增长率继续保持下去，可以预料在广大的热带地区和南半球，空气和降水的组成将发生实质性的改变，从而与北半球中纬度的观测结果相似。

图2(a)给出了1980年NO<sub>x</sub>源的分布情形，最近已用于建立一个三维化学——输送模型，用来计算对流层NO<sub>x</sub>和HNO<sub>3</sub>的浓度以及全球范围的HNO<sub>3</sub>干、湿沉降分布（Hameed等，1987；Walton等，1987）。

邓峰译自《Atmospheric Environment》，Vol. 22, No. 3, P 441—449, 1988, 周惠君校