

# 环境质量评价导论

(航空工业环境保护培训班讲义)

中国科学院  
地球化学研究所 万国江 编著

第三机械工业部环境保护办公室印

一九七九年九月

## 说 明

第三机械工业部举办环境质量评价训练班，本人应邀介绍环境质量评价的方法原理。但当前尚无一本全面阐述环境质量评价的书籍，以致对一些概念性的问题还存在分歧意见。鉴于此情况，仅据个人从事环境工作几年来的体会和探索，结合一些参考资料编写了这本小册子，以期起到抛砖引玉的作用。由于水平所限，其中不妥乃致错误之处，祁能获得大家的批评指正。由于时间关系，在文字上未作很好的推敲，以致参考文献也未来得及编排，谨致歉意，并借此机会向提供资料的同志致以谢意！

万 国 江

7 9 . 6 于北京

# 目 录

## 第一章 概 论

第一节 环 境	1
一、环境概念	1
二、地球环境	2
第二节 人与地球环境	7
一、人体与地球环境化学组成的同一性	7
二、人类影响地球环境的基本特征——巨大的能量释放	8
三、人类对地球环境的化学侵害	10
四、人类对地球环境基本结构的影响	13
第三节 环境质量	14
一、区域性的环境质量问题	14
二、全球性的环境质量问题	16
第四节 环境质量评价	17
第五节 环境质量评价研究进展	19
一、经典的环境质量评价	19
二、环境质量评价的指数化	20
三、环境质量影响分析	22
四、战略环境分析	22
五、环境质量评价的探索性研究	23

## 第二章 环境质量评价基础工作

第一节 环境背景调查	24
一、区域环境自然特征	24
二、环境物质的区域背景值	24
第二节 人为活动情况调查	25
第三节 环境采样	31
一、等间距网格布点法	31
二、非等距重点布设法	31
第四节 环境物质运移	32
一、烟气扩散	32
二、河道水体中的污物扩散	35
三、污灌土壤中的污物残留	36

第五节 环境危害效应的调查	37
---------------	----

### 第三章 评价环境污染的基本原理

第一节 几个基本术语	38
第二节 基础模式	39
一、地球环境物质演化程序模式	39
二、环境污染过程	39
第三节 污染度	40
第四节 污染方程	41
第五节 实际的污染方程	43
第六节 函数误差简介	44

### 第四章 环境质量评价指数系统

第一节 单一指数	46
一、幂函数型 ( $I = KC^n$ 型)	46
二、标准型 ( $I = \frac{C}{C_{\text{标}}}$ 型)	48
三、等级型	50
第二节 分类指数	51
一、权值问题	52
二、极值问题	53
第三节 综合指数	55

### 第五章 环境有害物质释放分析

第一节 污染源释放分析方法	57
第二节 实用举例	59
一、制定规划治理对策的依据	59
二、衡量控制方案的利弊	59
三、环境质量监测评价的基础工作	60
四、环境质量影响分析的第一步	61

### 第六章 环境质量监测评价应用实例

第一节 大气质量指数的应用	62
一、评价大气质量逐日变化的指数应用	92
二、可兼评价大气质量长期变化和逐日变化的几种指数的应用	62
三、评价大气质量长期变化的指数应用	65
第二节 水质质量指数的应用	67
一、英国克鲁德河指数系统	67
二、苏联建议的水质指数	69

<b>第三节 总环境质量指数评价</b>	70
一、具体点位评价单元的环境质量综合评价	70
二、区域总环境质量指数	70
三、广义的总环境质量评价	72

## 第七章 环境质量影响分析

<b>第一节 环境影响分析的一般程序</b>	74
<b>第二节 大气汚物扩散影响分析</b>	74
<b>第三节 耗氧有机物污染分析</b>	74
<b>第四节 区域性污染物环境影响分析</b>	78
一、模式结构	78
二、实    例	80
<b>第五节 工业区建设的环境预测分析</b>	80
一、大气污染控制	82
二、水体污染控制	85
三、热废水污染控制	86
<b>第六节 区域环境影响分析模型</b>	86
一、区域环境影响分析模型的结构	86
二、日本近畿区的评价实例	90

## 第八章 环境战略分析

<b>第一节 图案模式</b>	95
一、SEAS 的组成	95
二、SEAS 基础案例	95
<b>第二节 矩阵模式</b>	97
<b>第三节 环境质量变异分析</b>	98
一、组分环境变异分析	99
二、环境变异的熵变分析	101

## 主要参考资料

### 附：国内环境质量评价研究述评

# 第一章 概 论

## 第一节 环 境

### 一、环境概念

环境是一泛指名词。环者绕、回绕，境者疆，疆土。所以“环境”应该泛指某一主体周围的地域、空间、介质。这与英语所用的“Environment”和俄语所用的“Окружающая Среда”含意基本相近。由“环境”基本含义所引伸，在各学科领域或工农业生产中经常有各种提法，诸如医学上常提人体的内环境、外环境，地质学上常提到某种矿产的成矿环境，工业生产中常提到某种部件生产的工艺环境或某种产品的适应环境等等。

当今环境科学领域里，把环境理解为人类赖以生存的环境是比较一致的。但是主体与客体的范围方面，仍然存在分歧。在主体的范围上，一种是扩大的做法，即由“人”扩展为“生物体”；另一种是把“人”也理解为环境的一部分。在客体的范围上，一种是只包括自然界，第二种是只涉及“三废”排放的所谓污染活动，还有一种更是扩大到整个宇宙……因而在环境的定义上，有以下一些提法：

1. 环境就是指生物体外的一切无生命物质。
2. 环境是指人类生存活动的地球圈层——大气圈、水圈、生物圈及岩石圈的上部（土壤）。
3. 环境分作体内环境、直接环境（空气、水、食物等组成）、一般环境（地球整体乃至宇宙）。
4. 环境指的是环绕于人类周围的所有社会因素、生物因素、化学因素和物理因素的总合。

自 1972 年斯德哥尔摩人类环境会议和 1974 年联合国环境规划理事会之后，环境的概念得到了逐步的统一。比较一致的看法是：环境应包括自然环境和社会环境。自然环境是人类社会未出现之前就已客观存在的，即是常说的大气圈、水圈、岩石圈和生物圈；社会环境则是人类社会为了不断提高自己的物质和文化生活而创造出来的，诸如工业、城市、房屋、交通、娱乐场所、文物古迹及风景区等等。环境问题是以适应于人类健康地生存和美好地生活而提出来的。

就自然环境存在的问题来看，一方面是自然界固有的不平衡性。诸如自然条件的差异；自然物质分布的不均匀性；太阳辐射变化产生的台风、旱灾、暴雨；地球热力和动力作用产生的火山、地震等问题。这就是我们通称的第一类环境问题。

自然环境存在问题的另一方面是人类的社会经济活动造成对自然环境的破坏作用，即是我们通称的第二类环境问题。包括：人类工农业生产活动及生活过程中废弃物的排放造成大气、水体、土壤、食品的物质组分变化；对矿产资源不合理开发造成的气候变化、地面沉降、诱发地震等环境结构破坏；大型工程活动造成的环境结构破坏；对森林的滥砍滥

伐、草原的过度放牧造成的沙漠化问题；不适当的农业灌溉引起的土壤变质问题等。

就社会环境本身存在的问题来看，主要是人口发展、城市化及经济发展而带来的社会结构和社会生活问题。人口无计划地增长带来住房拥挤、燃料和物资供应不足等问题而降低生活质量；城市化带来住房、交通、娱乐等问题而影响生活质量；经济发展中的资源滥用、枯竭；风景区及文物古迹的破坏等。社会环境问题我们可称之为第三类环境问题。显然，第三类环境问题已经是社会科学研究的范畴了。

## 二、地球环境

从自然科学角度出发对人类环境问题研究的着重点在于自然环境及人类活动对自然环境结构的破坏，即是上面提到的第一环境问题和第二环境问题。这样的范畴即称作为人类赖以生存的地球环境（亦称地质环境）。

人类赖以生存的地球环境的基本构成是地壳（岩石圈）及地球外部的圈层——气圈、水圈和生物圈。

### 1. 岩石圈

岩石圈，也称地壳。它是由各种岩石及其风化产物土壤构成。其范围包括大陆表面及海洋底部以下 16 公里的深部。但在不同的地域，其厚度有显著差异，大陆地壳平均 40 公里，而太平洋地区地壳厚度仅 5~6 公里。岩石圈的物质组成也是极不均匀的。岩石圈中储存着人类所需的绝大多数矿产资源，同时岩石圈又是万物生息的基础；构成生命物质的化学成分，除氢、氧、氮、碳可以从空气或水中获得外，其余都来源于岩石圈。元素在岩石圈及土壤的丰度（注）如表 1-1 所列。

表 1-1 化学元素在地球环境中的丰度

（重量 ppm）

Z	元 素	岩 石 圈	土 壤	生 命 物 质	植 物 (灰 中)	洋 水
1	H			$1.05 \times 10^5$		
2	He					$(5 \times 10^{-6})$
3	Li	$3.2 \times 10$	$3 \times 10$	$1 \times 10^{-1}$	$1.1 \times 10$	$1.5 \times 10^{-1}$
4	Be	3.8	6	痕	2	$6 \times 10^{-7}$
5	B	$1.2 \times 10$	$1 \times 10$	$1 \times 10$	$4 \times 10^2$	4.6
6	C	$2.3 \times 10^2$		$1.8 \times 10^5$		$(2.8 \times 10)$
7	N	$1.9 \times 10$		$3 \times 10^4$		$(5 \times 10^{-1})$
8	O	$4.7 \times 10^5$		$7 \times 10^5$		
9	F	$6.6 \times 10^2$	$2 \times 10^2$	5	$1 \times 10$	1.3
10	Ne					$(1 \times 10^{-4})$

注：丰度

源于法兰西和盎格鲁——萨克逊的科学术语“Abundance”，亦称分布度（Распространенность）。系指元素在宇宙个别体系中的含量。通常以元素的重量比率或以硅原子为  $10^6$  的原子比表之。研究元素、同位素及原子核在各自然体系中的丰度，是地球化学、宇宙化学、天体物理学和原子核物理学的共同任务。由地球的外部地圈组成的环境，其各相应自然体系的元素丰度，是研究环境质量的基本参数。

(续)

Z	元素	岩石圈	土壤	生命物质	植物(灰中)	洋水
11	Na	$2.5 \times 10^4$	$6.3 \times 10^3$	$5 \times 10^3$	$2 \times 10^4$	$1.035 \times 10^4$
12	Mg	$1.87 \times 10^4$	$6.3 \times 10^3$	$4 \times 10^2$	$7 \times 10^4$	$1.297 \times 10^3$
13	Al	$8.05 \times 10^4$	$7.13 \times 10^4$	$5 \times 10$	$1.4 \times 10^4$	$1 \times 10^{-2}$
14	Si	$2.9 \times 10^5$	$3.3 \times 10^5$	$2 \times 10^3$	$1.5 \times 10^5$	3
15	P	$9.3 \times 10^2$	$8 \times 10^2$	$7 \times 10^2$	$7 \times 10^4$	$7 \times 10^{-2}$
16	S	$4.7 \times 10^2$	$8.5 \times 10^2$	$5 \times 10^2$	$5 \times 10^4$	$8.9 \times 10^2$
17	Cl	$1.7 \times 10^2$	$1 \times 10^2$	$2 \times 10^2$	$1 \times 10^2$	$1.935 \times 10^4$
18	Ar					$(6 \times 10^{-1})$
19	K	$2.5 \times 10^4$	$1.36 \times 10^4$	$3 \times 10^3$	$3 \times 10^4$	$3.875 \times 10^2$
20	Ca	$2.96 \times 10^4$	$1.37 \times 10^4$	$5 \times 10^2$	$3 \times 10^4$	$4.08 \times 10^2$
21	Sc	$1 \times 10$		痕		$4 \times 10^{-5}$
22	Ti	$4.5 \times 10^3$	$4.6 \times 10^3$	8	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^{-3}$
23	V	$9 \times 10$	$1 \times 10^2$	n	$6.1 \times 10$	$3 \times 10^{-3}$
24	Cr	$8.3 \times 10$	$2 \times 10^2$	n	$2.5 \times 10^2$	$2 \times 10^{-5}$
25	Mn	$1 \times 10^3$	$8.5 \times 10^2$	$1 \times 10$	$7.5 \times 10^3$	$2 \times 10^{-3}$
26	Fe	$4.65 \times 10^4$	$3.8 \times 10^4$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^{-2}$
27	Co	$1.8 \times 10$	$1 \times 10$	$2 \times 10^{-1}$	$1.5 \times 10$	$5 \times 10^{-4}$
28	Ni	$5.8 \times 10$	$4 \times 10$	$5 \times 10^{-1}$	$5 \times 10$	$2 \times 10^{-3}$
29	Cu	$4.7 \times 10$	$2 \times 10$	2	$2 \times 10^2$	$3 \times 10^{-3}$
30	Zn	$8.3 \times 10$	$5 \times 10$	5	$9 \times 10^2$	$1 \times 10^{-2}$
31	Ga	$1.9 \times 10$		痕		$3 \times 10^{-5}$
32	Ge	1.4		1		$6 \times 10^{-6}$
33	As	1.7	5	$3 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-3}$
34	Se	$5 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$	$< 1 \times 10^{-2}$		$1 \times 10^{-4}$
35	Br	2.1	5	1.5	$1.5 \times 10^2$	$6.6 \times 10$
36	Kr					$(3 \times 10^{-4})$
37	Rb	$1.5 \times 10^2$	$6 \times 10$	5	$1 \times 10^2$	$2 \times 10^{-1}$
38	Sr	$3.4 \times 10^2$	$3 \times 10^2$	$2 \times 10$	$3 \times 10^2$	8
39	Y	$2.9 \times 10$		痕		$3 \times 10^{-4}$
40	Zr	$1.7 \times 10^2$	$3 \times 10^2$	痕		$5 \times 10^{-5}$
41	Nb	$2 \times 10$				$1 \times 10^{-5}$
42	Mo	1.1	2	$1 \times 10^{-1}$	$2 \times 10$	$1 \times 10^{-2}$
43	Tc					
44	Ru					
45	Rh					
46	Pd	$1.3 \times 10^{-2}$				

(续)

Z	元 素	岩 石 圈	土 壤	生 命 物 质	植 物 (灰 中)	洋 水
47	Ag	$7 \times 10^{-2}$	$(1 \times 10^{-1})$	痕	1	$3 \times 10^{-4}$
48	Cd	$1.3 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-1}$	痕	$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-4}$
49	In	$2.5 \times 10^{-1}$				$(1 \times 10^{-5})$
50	Sn	2.5	$1 \times 10$	$(5 \times 10^{-1})$	5	$3 \times 10^{-3}$
51	Sb	$5 \times 10^{-1}$		痕		$5 \times 10^{-4}$
52	Te	$1 \times 10^{-3}$		痕		
53	I	$4 \times 10^{-1}$	5	$(1 \times 10^{-1})$	$5 \times 10$	$5 \times 10^{-2}$
54	Xe					
55	Cs	3.7	5	$1 \times 10^{-1}$	n	$3.7 \times 10^{-4}$
56	Ba	$6.5 \times 10^2$	$5 \times 10^2$	$3 \times 10$	$n \times 10^2$	$2 \times 10^{-2}$
57	La	$2.9 \times 10$				$2.9 \times 10^{-6}$
58	Ce	$7 \times 10$				$1.3 \times 10^{-6}$
59	Pr	9				$6 \times 10^{-7}$
60	Nd	$3.7 \times 10$				$2.3 \times 10^{-7}$
61	Pm					
62	Sm	8				$4.2 \times 10^{-7}$
63	Eu	1.3				$1.1 \times 10^{-6}$
64	Gd	8				$6 \times 10^{-7}$
65	Tb	4.3				
66	Dy	5				$7.3 \times 10^{-7}$
67	Ho	1.7				$2.2 \times 10^{-7}$
68	Er	3.3				$6 \times 10^{-7}$
69	Tm	$2.7 \times 10^{-1}$				$1 \times 10^{-7}$
70	Yb	$3.3 \times 10^{-1}$				$5 \times 10^{-7}$
71	Lu	$8 \times 10^{-1}$				$1 \times 10^{-6}$
72	Hf	1		痕		
73	Ta	2.5		痕		
74	W	1.3		痕		$1 \times 10^{-1}$
75	Re	$7 \times 10^{-4}$		痕		
76	Os			痕		
77	Ir			痕		
78	Pt			痕		
79	Au	$4.3 \times 10^{-3}$		痕	1	$4 \times 10^{-6}$
80	Hg	$8.3 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$	$n \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-5}$
81	Tl	1		痕		$1 \times 10^{-5}$
82	Pb	$1.6 \times 10$	$1 \times 10$	$5 \times 10^{-1}$	$1 \times 10$	$3 \times 10^{-5}$

(续)

Z	元素	岩石圈	土壤	生命物质	植物(灰中)	洋水
83	Bi	$9 \times 10^{-8}$		痕		$2 \times 10^{-4}$
84	Po					
85	At					
86	Rn					$6 \times 10^{-16}$
87	Fr					
88	Ra		$8 \times 10^{-7}$	$n \times 10^{-8}$	$2 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-10}$
89	Ac					$2 \times 10^{-16}$
90	Th	$1.3 \times 10$	6	痕		$1 \times 10^{-5}$
91	Pa					$5 \times 10^{-11}$
92	U	2.5	1	$< 1 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-8}$

注：岩石圈、土壤，据 A. II. 维诺格拉多夫，1962年

生命物质，据 A. II. 维诺格拉多夫，1954年

植物，据 I. II. 马留加，1963年

洋水，据 A. II. 维诺格拉多夫，1967年

## 2. 水 圈

水圈包括海洋、湖泊、沼泽、河流、小溪、地下水及浸透在岩石圈上部的岩石水。水域面积约占地球总面积的 70% 以上，平均厚度 3.8 公里，总体积约 13.7 亿立方公里，总质量约  $1.41 \times 10^{18}$  吨。世界水资源分布如表 1-2 所列。地球表面的水通过降水和蒸发有 52 万立方公里参加循环。(据 M · N · 利沃维奇，1966)。海水的化学成分列于表 1-1。

水是一切生命机体的重要组成部分，也是生物生存的必备条件。人体总重的 70% 是水分，血液含水量达 83%；正常人每天约需饮水 2.5 公斤，当人体缺少相当于体重 20% 的水分时，生命就有危险。

表 1-2 世界水资源分布

(A · H · Раимонда 资料)

水 资 源 类 型	分 布 面 积 $\times 10^6$ 平方公里	体 积 $\times 10^6$ 立方公里	占世界水 资源 %
淡 湖 水	0.860	0.125	0.009
盐湖和内海	0.700	0.104	0.008
河流(平均)		0.00125	0.0001
土壤水和渗透水		0.067	0.005
潜 水(至 0.8 公里深)		4.170	0.31
深部潜 水		4.170	0.31
地表径流		8.637	0.635
雪 和 冰	18.0	29.2	2.15
大 气 水		0.013	0.001
世界海洋	360.0	1,322.0	97.2

### 3. 大气圈

从地球表面到 2000~3000 公里的高空的大气层质量为  $5 \times 10^{15}$  吨，约占地球质量的千万分之九。大气圈的成分应包括恒定成分组和可变成分组。前者几乎占地球大气圈的 100%，后者除水和水蒸汽外，一般微不足道。臭氧、甲烷、二氧化碳等都属第二组。合理地表示大气圈的化学成分应将水分分开。B. A. 米尔多夫 (1961) 认为表 1-3 的资料最精确地表示了近地面的大气成分。大气圈杂质含量如表 1-4 所列。此外，大气圈还存在着尘埃。

表 1-3 大气圈平均化学成分 (干燥空气)

(据 F. 帕内特, 1937 年; B. A. 米尔多夫, 1961 年详细说明)

气 体	组 成		总 量 $n \times 10^{20}$ 克
	体 积 %	重 量 %	
N <sub>2</sub>	78.0900	75.5100	38.648
O <sub>2</sub>	20.9500	23.1500	11.841
Ar	0.9300	1.2800	0.655
CO <sub>2</sub>	0.0300	0.04600	0.0233
Ne	0.0018	0.00125	0.000636
He	0.00052	0.000072	0.000037
CH <sub>4</sub>	0.00022	0.00012	0.000062
Kr	0.0001	0.00029	0.000146
N <sub>2</sub> O	0.0001	0.00015	0.000077
H <sub>2</sub>	0.00005	0.000003	0.000002
Xe	0.000008	0.000036	0.000018
O <sub>3</sub> *	0.000001	0.000036	0.000031

\* 含量随高度增加而增加。

表 1-4 大气圈杂质平均含量

气 体	体 积 (%)
H <sub>2</sub> O	0.1~2.8
CH <sub>4</sub>	$1.5 \times 10^{-4}$
CO	$6 \times 10^{-6}~1 \times 10^{-4}$
SO <sub>2</sub>	$1 \times 10^{-4}$
N <sub>2</sub> O	$5 \times 10^{-5}$
O <sub>3</sub>	$1 \times 10^{-6}~1 \times 10^{-5}$
NO <sub>2</sub>	$5 \times 10^{-8}~2 \times 10^{-6}$
Rn	$6 \times 10^{-18}$
NO	痕 迹

大气圈在地球生命活动过程中，起着极为重要的作用。表现在：①氮、氧等元素是生命活动所必须的物质；②大气层能减弱紫外线和宇宙线辐射；大气层还起着调节气候的作用；③每人每天还大约吸入15公斤空气。因此，地球大气与人类生存和健康的关系极为密切。

#### 4. 生物圈

生命物质分布的地球外圈称为生物圈。包括水圈的全部、岩石圈的上部、大气圈（至少是对流层）的全部范围。其下界在海洋为海底表面，在陆地上为水准面以下3~4公里；其上界面大约是30~50公里的高空。化学元素在生命物质中的丰度资料是在对6000种以上动物和植物化学分析的基础上获得的。生命物质及地表植物中的元素丰度也附于表1-1。

在过去一些研究中，较多地把人作为生物圈的一部分。笔者认为，在人类环境的研究领域里，将二者分辨开来是很有必要的。其原因不仅在于人与动植物生理结构的差异，更重要的在于“动物仅仅利用外面的自然界，单纯地以自己的存在来使自然界改变；而人则以他所引起的改变来迫使自然界服务于他自己的目的，来支配自然界。”（《自然辩证法》1957年版第145页）所以，动物、植物、微生物的地球化学活动只是一个方面，而人类的地球化学活动则是另一个方面，二者之间存在着原则的差别。此外，人与地球环境研究中，是以人作为矛盾的一方，地球环境作为矛盾的另一方而展开的。

生物圈地球化学作用的基本功能在于它们通过光合作用、呼吸作用以及生命代谢作用等参与能量的交换、物质的循环和生物量的生产。

## 第二节 人与地球环境

通过人类赖以生存的地球环境结构和功能的简单介绍，不难看到地球环境与人类生存发展的关系表现在：

1. 地球环境提供了人体的物质来源。人体通过空气、水和食品的摄入，保持着人体物质组成与地球环境物质组成的统一性关系；

2. 地球环境提供了人类生存和活动的场所。不同地区生活的人群，由于环境条件——岩石条件、土质条件、地貌条件、水质条件、气候条件、生物条件等方面差异，形成了一区域范围人群的特异性；

3. 地球环境提供了人类生存活动所必须的其它基础条件——矿产资源和能源，这样，人类得以衣、住、行和抗御自然作用，进行社会活动的物质基础。

4. 人类活动还不断地作用于地球环境。其生活、生产的代谢产物以地球环境作为必然的归宿地；人类活动还不断地改变着地球的自然面貌。

人类与地球环境的关系是何等的密切啊！自从人类出现的数百万年以来，人类与地球环境保持着相对的动态平衡关系。地球环境控制着人类的发展；人类的活动又作用于环境的各部分，影响环境变化。

下面分几个问题介绍和讨论：

### 一、人体与地球环境化学组成的同一性

人体与地球环境在化学元素组成上的相关性，曾经由英国地球化学家E.汉密尔顿

(Eric Hamilton) 领导的一个小组进行研究。

汉密尔顿所采用的工作方法可能导致这样一个事实，即地球化学是唯一经常全面考虑所有元素的学科。他的实验室独特之处，不在于其拥有别人所没有的仪器设备，而在于他利用这些仪器所解决的问题。在谨慎的取样和资料制图、数据分析中，他的小组已建立了获得稳定结果的标准工作程序，其中各种分析方法之间是可以相互校正的。

他所采用的方法听起来是很浅显易懂的。这确是一件浅显的工作，但却没有人去做。汉密尔顿几乎分析了所有的东西——空中灰尘、自来水、石头、纸、鱼、全膳食、人的血液和大脑……等，检查了这样东西中最常见的 60 种元素。分析精度达  $10^{-9} \sim 10^{-12}$  克。标准方法是用火花源质谱仪分析法，对较难分析的元素，如硒、铯、汞等，用中子活化法。

作为一个地球化学家，汉密尔顿博士很自然地从岩石开始，不同元素的相对原子稳定性决定了他们的宇宙丰度，这一宇宙丰度可以从陨石分析中得到验证。地壳的元素丰度是与宇宙丰度图式相同的；而任何一种人体组织中的元素丰度也是与之相似的。在对数坐标中比较了岩石和人体血液中各元素的丰度。除了原生质中的主要组分（碳、氢、氧、氮）和岩石中的主要组分（硅）外，两种样品中元素丰度的相关是惊人的（图1-1）。排泄器官——肾和肝——基本上呈现与血液相同的丰度图式，只是其曲线中的“峰”和“谷”更尖锐些。在精巢和卵巢中元素丰度的分散程度较小。在脑和肌肉中新陈代谢水平较低，而其元素丰度分散程度也更小。但无论分散程度大小，其图式仍基本沿袭宇宙丰度图式。

如果发现某种元素有与标准丰度曲线的明显偏离，那就有理由怀疑发生了污染。汉密尔顿认为只有当沾污环境的物质进入人体，并干扰正常人体作用时，才能叫做“污染”(Pollution)，否则只算是对环境的“沾污”(Contamination)。从这个人为定义来看(许多生态学家不一定能接受)，有些污物虽被人食入，但不为胃肠吸收或很快排出，这些都不算是污染物质。

E. 汉密尔顿等人的进一步工作，阐明了化学元素在人体组织中的选择性分布。当元素通过肠胃道、肺和皮肤进入人体后，被血液（血浆）输送时，在各组织中具有明显的选择性。例如：

脑组织：Cd、Sr、Br、Al；

肾组织：Bi、Pb、Cd、Se、As、Si；

肝组织：Pb、I、Sm、Se、As、Zn、Cu；

肺组织：Sb、Sn、Se、Cr、Al；

淋巴结：U、Tb、Sb、Mn、Al、Li。

这就意味着是否因地球环境中某个或某些元素的过量或缺乏而导致器官组织病变的可能性。

由此可见，地球环境从基本组成上影响着人体和人体的各部分。

## 二、人类影响地球环境的基本特征——巨大的能量释放

人类对地球环境能动作用的力能是通过自然能源的转换。其中，大体上可分为两类，即自然储存积蓄能源的转换和自然能源的直接利用。前者约占总能源的 98% 以上，如各种矿物燃料即是地球历史发展过程中长期累积储存的能源；又如核燃料即是物质固有的内能。直

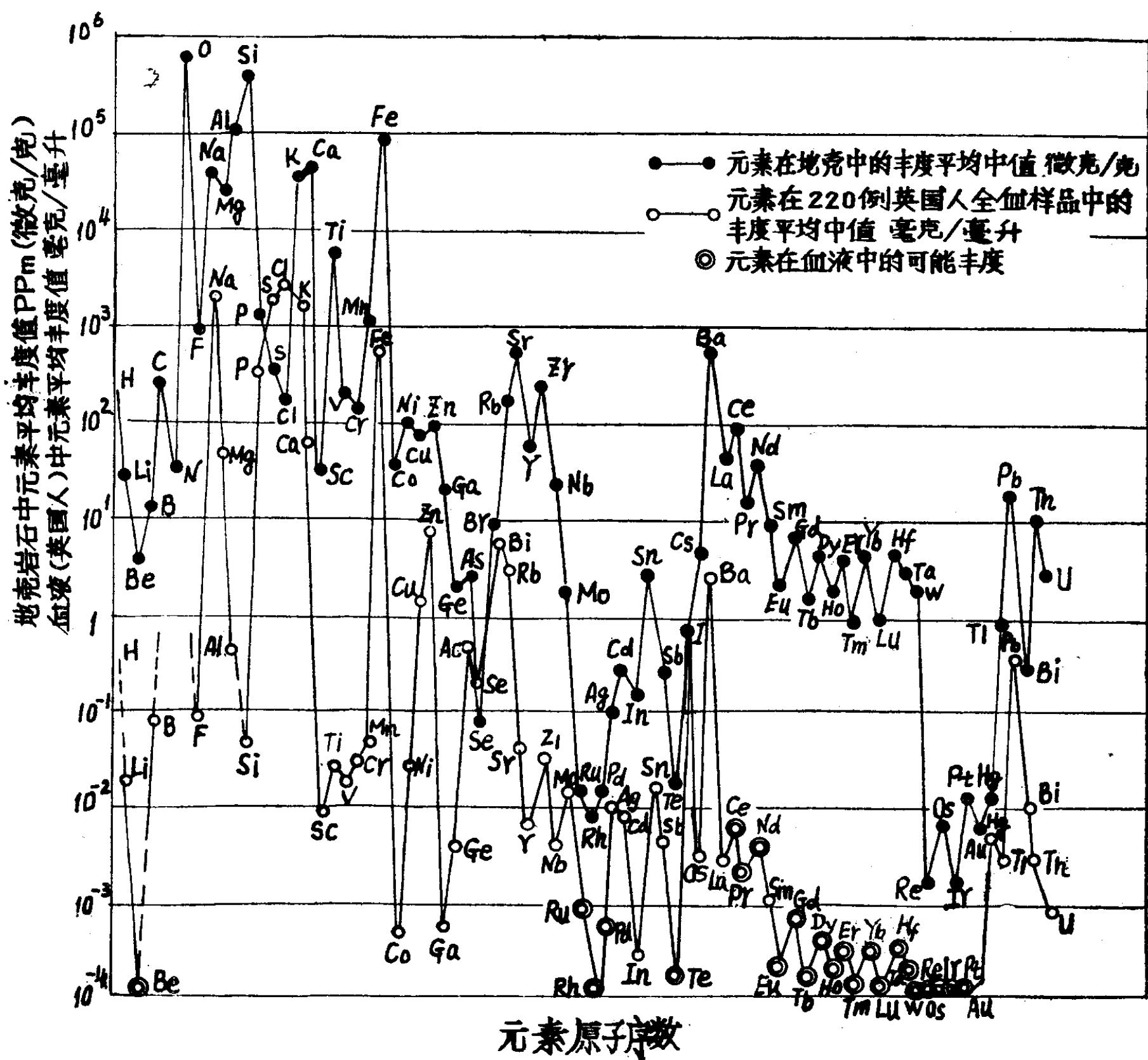


图1-1 人体血液和地壳中的稀有元素丰度显示出明显相关性

接利用的自然能源，比例是很少的，不足总能源的2%，如太阳能、地热能、风力、水力、潮汐等。

人类使用能源的发展，无论从数量上，还是质量上，都反映了人类能动作用的剧烈程度。在十九世纪中叶以前，每一世纪人类大约耗能 $0.3\text{--}0.5$ 库（1库 $=1.05\times10^{21}$ 焦耳，相当于约360亿吨煤的蕴热量）。十九世纪中叶到二十世纪中叶的一百年间，全世界耗能达到了4库。而当前全球的四十亿人口，一年竟耗能0.22库，约相当于 $5.5\times10^{19}$ 卡，并正以6%的速度递增。从能源使用的形式上，过去大多为一次能源，随着技术的发展，通过发电转换的二次能源比例逐渐增长。目前世界发电量为每年六万多亿度，约占全部能源的1/3，预计十年后将达1/2，三十年后将达60%，而火力发电的热效率仅达30%~40%。

这样大的能量释放，已经可以与地表太阳辐射相比了。太阳辐射是地球表面许多地球化学作用所需能量的主要来源。整个地球每年接受的辐射能为 $1.29\times10^{24}$ 卡，可见人为能量释放已达地表面辐射平衡量的十万分之四以上。而地表辐射能中，约55%被大气圈、植被、土壤吸收，经过一系列变化之后，部分蓄积在绿色植物中，部分离开地球，剩余的直

接反射到宇宙空间。

更值得注意的是人为能源消耗具有明显的区域特征。目前地表面的热辐射平均值为67瓦/米<sup>2</sup>，我国地表辐射平衡量最大值为70~80千卡/厘米<sup>2</sup>·年(93~106瓦/米<sup>2</sup>)，最小值地区为30~40千卡/厘米<sup>2</sup>·年(40~53瓦/米<sup>2</sup>)。在世界上，某些地区的人为能量已相当于自然辐射的能量。全球人为耗能若以0.05瓦/米<sup>2</sup>的速度增长，发展下去将是十分惊人的。如按西欧、中欧每年增长5.5%的速度，到2000年人为能源耗量将达3.8瓦/米<sup>2</sup>，2050年将达5瓦/米<sup>2</sup>。当然，人为能量的转化正如太阳辐射能一样，只有一部分引起地壳物质的运移。但一些区域性的高水平耗能情况，不能不使得地壳物质流的运移转化在局部区域的极为强烈，即表生地质地球化学作用的激烈进行。

特别是某些局部范围内，人为能量以极大的量瞬时释放(如核爆炸等)，则更有可能导致地球环境的激烈变化。杯利(Wylie C.C.)在对阿里佐纳的巴林格陨石坑(Barringer Crater)研究时，曾估算产生那个直径为1200米、原地岩坑底深度320米的陨石坑大小相当的爆炸坑约需 $1.1 \times 10^8$ 公斤甘油三硝酸脂炸药，那么百万吨级( $10^9$ 公斤)的核爆炸影响就不言而喻了。

如果再将人为能源消耗与地表热流及火山活动比较一下，也是令人惊奇的。地表热流测定结果，按阿伦(Allan D.W.)和伯奇(Birch F.P.)资料，平均值约为 $1.2 \times 10^{-6}$ 卡/厘米<sup>2</sup>·秒；按W·李和S·克拉克等人1966年资料，平均值为 $1.44 \times 10^{-6}$ 卡/厘米<sup>2</sup>·秒。以后者计，全球通过热传导的总热能损失是 $2.3 \times 10^{20}$ 卡/年，这几乎仅为全球人为耗能的四倍。还应特别通过比较指出的是地球热流本身即是一巨大的热量损失。维尔胡金估计自寒武纪以来因喷溢熔岩而使地球散失的总热量为 $4 \times 10^{25}$ 卡，而相应时期地表热流损失即使按 $1.1 \times 10^{-6}$ 卡/厘米<sup>2</sup>·秒的低值估算，也损失达 $7.5 \times 10^{23}$ 卡，所以火山作用的能量散失与地表热流相比也是不足为奇。但是，当今的人为能量消耗竟可与地表热流相比，也就足以显示人类对地球环境能动作用的可能规模。

### 三、人类对地球环境的化学侵害

在自然环境条件下，由于宇宙能、地能、生物能、化学能的作用，其中特别是太阳能的作用，在岩石圈、水圈、生物圈和大气圈之间进行着复杂的物理和化学作用，即风化作用。其产物又经水体和大气搬运而发生沉积作用。在人类技术活动频繁的今天，由于人类社会的生产和生活活动，创造了大量的在自然界中没有的化学物质；还分解出各种纯净的化学元素。经过人类的加工利用，这些物质中有的达到了极高度的富集、有的又出现重新的分散，最终回到了自然界。人为活动造成环境物质的重新分配——集中和分散。

在当今的技术条件下，全世界每年从地壳中取出4立方公里的矿石和岩石；生产出各种金属约八亿吨；人工合成有机物五十万种，约六千万吨；施放在田野上的无机肥料达四亿吨以上，其中氮肥四千万吨、各种有毒化学药品四百万吨。在这种生产活动规模下，人为活动释放的环境物质与自然过程的物质运移可以比较了。Goldberg E.D.等人曾用各种方法进行了物质输送的总体估计(表1-5)。可见人为释放的物质输送已达自然循环过程的七分之一左右。

如果以化学元素的迁移来看，仅使用矿物燃料所造成的元素迁移与自然风化过程的元素迁移相比，已经就很壮观了。Goldberg E.D.等人也曾作过对比估计(表1-6)。

表1-5 环境物质的释放和输送估计

自然循环过程中的物质输送:

河流悬浮的固体物质	输送到海洋	$180 \times 10^{14}$ 克/年
河流溶解的固体物质	输送到海洋	$39 \times 10^{14}$ 克/年
大陆岩石和土壤微尘	输送到大气圈	$(1-5) \times 10^{14}$ 克/年
海水中的盐分	输送到大气圈	$3 \times 10^{14}$ 克/年
火 山 灰	输送到平流层	$0.036 \times 10^{14}$ 克/年
火 山 灰	输送到大气圈	$<1.5 \times 10^{14}$ 克/年

人为释放物质的输送:

各种废物（不含矿物燃料）：	进入水、大气、岩石圈	$30 \times 10^{14}$ 克/年
船舶倾注的废物	进入海洋	$1.4 \times 10^{14}$ 克/年
矿物燃料排出的碳和煤灰	进入大气圈	$0.25 \times 10^{14}$ 克/年
一般工业飘尘总量	进入大气圈	$0.54 \times 10^{14}$ 克/年
$< 2 \mu$	进入大气圈	$0.12 \times 10^{14}$ 克/年

表1-6 矿物燃料及自然风化元素迁移比较

（单位  $10^9$  克/年）

元素名称	矿物燃料	自然风化	元素名称	矿物燃料	自然风化
Be	0.41	5.6	Ga	1	3~30
B	10.5	360	Ge	0.7	12
Na	280	57,000~230,000	As	0.7	72
Mg	280	42,000~148,000	Se	0.45	7.2
Al	1,400	14,000~140,000	Sr	70	600~1,800
S	3,400	140,000	Y	1.4	25~60
Ca	1,400	70,000~540,000	Mo	2.3	28~36
Sc	0.7	0.14~10	Ag	0.07	0.03~11
Ti	70	108~9,000	Sn	0.28	11
V	12	32~280	Ba	70	360~500
Cr	1.5	36~200	La	1.4	7.2~40
Mn	7	250~2,000	Ce	1.6	2.2~90
Fe	1,400	2,400~100,000	Er	0.085	1.8~5.0
Co	0.7	7.2~8	Hg	1.6	1.0~2.5
Ni	3.7	11~160	Pb	3.6	21~110
Cu	2.1	80~250	U	0.14	8~11
Zn	7	80~720			

表1-7 几种环境有害物的释放对比  
(单位: 万吨/年)

名 称	全 球 总 量		几 个 国 家 人 为 释 放			
	自 然	人 为	美 国	日 本	苏 联	中 国
烟 尘		10,000	1,808 (1969年)	150 (1969年)	2,000 (1969年)	1,400
二氧化硫	20,000	14,600	2,856 (1966年)	500 (1969年)	2,000 (1969年)	1,500
硫 化 氢	10,000	300				
一氧化碳	1,100	25,700 (1969年)	14,700 (1969年)	600~900 (1969年)	2,500 (1969年)	
二氧化碳	10,000	154万 (1970年)	52万 (1970年)			
二氧化氮	50,000	5,300	2,300 (1970年)	200		
碳氢化合物	48,000	8,800 (1970年)	3,500 (1970年)	110		
氨	590,000	400				
氟		40	12 (1968年)			7.4 <sup>*2</sup>
水	3,000 $\times 10^4$ 万 <sup>*1</sup>	4,200万	1,500万	200万 (1970年)	1,000万	72万 <sup>*3</sup>
多氯联苯		2.5		0.27		
滴滴涕		5				1.7万 <sup>*4</sup>
原 油		100~1,000 (1970年)	900万加仑 (1971年)	30		38

\* 1. 便于人类利用的淡水源  
\* 2. 未包括排水体部分  
\* 3. 未计生活污水和纯冷却水  
\* 4. 未换算有效成分

表1-8 大气中某些微量组分含量的变化  
(单位 ppm)

项 目	平 流 层 浓 度	目前一般城市空气浓度
二 氧 化 硫	0.0002	0.1~0.15
一 氧 化 碳	0.10~0.15	1~10
二 氧 化 碳	270	320
二 氧 化 氮		0.02~0.9
氟		0.001~0.02
甲 烷	1.0~1.2	2
臭 氧	0.05	
三、四 苯 莺 萘		0.01~100 $\mu\text{g}/1,000\text{m}^3$
浮 尘	25~50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40~400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$