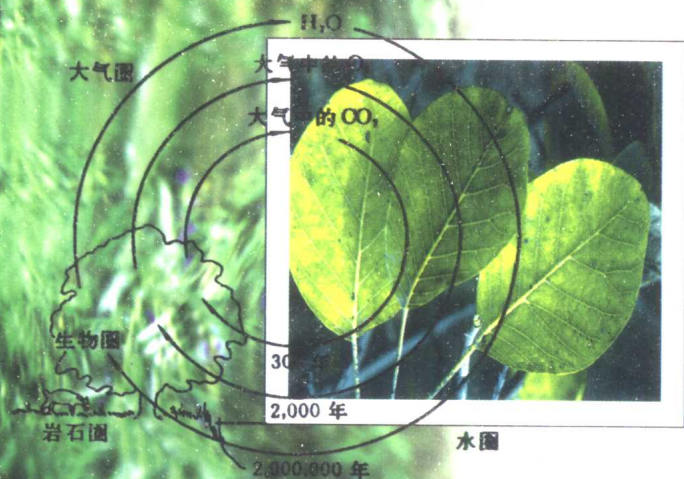


环境材料 导论



刘江龙 著

冶金工业出版社

环境材料导论

刘江龙 著

北 京

冶金工业出版社

1999

内 容 简 介

本书主要介绍环境材料科学与技术及其发展方向,内容包括:材料对环境的影响,环境与材料的相互作用关系,材料的环境负荷及其评价方法和应用,环境材料的基础及其分类。全书共分5章:1. 导论(环境与材料);2. 化学元素的环境特征;3. 材料的环境负荷;4. 材料的环境影响综合评价方法;5. 环境材料基础及其分类。

本书可供金属材料、无机材料、高分子材料、材料工程、材料加工、汽车、机械制造、工模具、铸造、锻造、焊接、热处理等行业从事科研或生产一线的科技、管理等工程技术人员参考,也可供大学相关专业的高年级学生、研究生参考。本书的观念新颖,所有关心地球资源、环境问题及可持续发展问题的人都有可能成为其热心的读者。

图书在版编目(CIP)数据

环境材料导论/刘江龙著. - 北京:冶金工业出版社,
1999.7 ISBN 7-5024-2327-3

I. 环… II. 刘… III. 工程材料-关系-环境
IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 07679 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 杨盈园 美术编辑 李心 责任校对 杨力 责任印制 李玉山
北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1999 年 7 月第 1 版,1999 年 7 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32;8.5 印张;227 千字;263 页;1-2000 册

18.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64013877

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

环境材料是 90 年代初开始形成的一个新的材料科学与工程学的研究方向。本书作者在国内较早开始从事该领域的教学和研究工作,因而有义务将我们的研究工作及国内外的研究成果较系统和全面地介绍给广大读者,使读者获得较系统的知识和以新的视野来观察人类的材料研究、开发、应用、制备、加工、再生的实践,以推动该研究的发展和应用,同时主动地、积极地、有效地参与保护环境和保证人类文明社会的可持续发展的实践活动。

物质材料与地球环境、资源、能源有着十分密切的关系。作为人类文明社会存在和发展的支柱——物质材料将来应该以怎样的模式发展和存在下去呢?材料科学家正是在深刻反思和考虑这些问题的基础上提出了环境材料这一概念。环境材料是人类保护环境、走可持续发展道路的意识在材料科学与工程学科的具体体现和实践。显然,环境材料是一个涉及材料科学、材料工程学、环境科学、环境工程学、管理学等多学科的一个综合和交叉的新领域。

这里要强调指出的是,环境材料的研究不同于其它材料的研究。它具有两重性。一方面,环境材料是一大类具体的物质材料,其研究与开发有助于减轻材料对环境的不良影响。另一方面,环境材料涉及到材料的环境负荷评价体系与方法,其研究与应用有助于人们客观地评价材料,为发展新材料和改造传统材料提供新的思路。

本书的目的在于向广大读者介绍环境材料的基础和相关知识,力求做到在内容上具有一定的深度和系统性,同时具有较强的可读性、通俗易懂,使读者在读完本书之后有所收获、有所悟、有所思,这将使作者感到欣慰。本书适合于关心、从事这一新兴领域及其相关领域的科研、教学、管理、工程技术人员及高年级大学生和

研究生选用。

作者期望本书的出版对推动环境材料的基础研究和应用研究具有积极的作用。另外,由于所涉及的科学领域发展的不平衡,以及作者的个人兴趣所造成的片面性,这难免使本书存在一些缺陷,欢迎读者予以斧正。

最后,作者要感谢重庆大学的丁培道教授。正是在与他无数次的讨论和漫谈中,作者获得了启迪。

刘江龙

1998年7月22日

于重庆大学东林村

目 录

1 导 论	(1)
1.1 环境与材料	(1)
1.1.1 环境对材料的约束	(1)
1.1.2 材料对环境的作用	(4)
1.1.3 环境与材料的关系	(8)
1.2 环境材料	(8)
1.2.1 环境材料的概念	(8)
1.2.2 环境材料的几个基本关系	(11)
1.2.3 环境材料的判据	(13)
1.3 环境材料学	(17)
1.3.1 环境材料学的概念	(17)
1.3.2 环境材料学的作用与框架	(19)
2 化学元素的环境特征	(23)
2.1 化学元素的环境分布特征	(25)
2.1.1 普遍性	(25)
2.1.2 富集性	(28)
2.1.3 共生性	(29)
2.2 化学元素在环境中的迁移	(30)
2.2.1 三个重要的物质循环	(30)
2.2.2 金属元素在环境中的迁移特征	(35)
2.3 化学元素的生物、植物效应	(39)
2.3.1 生物效应	(39)
2.3.2 植物效应	(41)
2.4 金属资源的储量及其寿命	(41)

2.4.1	储量及寿命	(41)
2.4.2	影响寿命的因素	(43)
3	材料的环境负荷	(47)
3.1	能源	(47)
3.1.1	能源界定	(47)
3.1.2	热力学约束	(52)
3.2	资源	(55)
3.2.1	资源界定	(55)
3.2.2	再生资源	(59)
3.3	排放物	(65)
3.3.1	气体污染	(66)
3.3.2	水体污染	(78)
3.3.3	固体污染	(87)
4	材料的环境影响综合评价方法	(90)
4.1	材料的寿命全程评价方法	(90)
4.1.1	寿命全程评价的概念	(90)
4.1.2	寿命全程评价中应注意的问题	(95)
4.1.3	材料的寿命全程评价实例	(98)
4.1.4	材料的寿命全程评价的方法论	(103)
4.1.5	综合评价的权重系数	(110)
4.2	材料的其它评价方法	(115)
4.2.1	线性规划法	(115)
4.2.2	逆矩阵法	(120)
4.3	材料的再生评价方法	(124)
4.3.1	废钢的再生过程评价	(124)
4.3.2	再生过程的能量评价	(128)
4.4	过程的环境质量评价	(131)
4.4.1	环境质量指数评价模型	(132)

4.4.2	环境质量的分级聚类模型	(134)
4.5	金属材料的环境负荷	(146)
4.5.1	材料生产过程的输入输出参数	(146)
4.5.2	典型金属材料的环境因子量	(158)
5	环境材料基础及其分类	(188)
5.1	环境材料基础	(188)
5.1.1	材料的强化理论	(188)
5.1.2	材料的循环再生设计	(200)
5.1.3	材料的评价理论	(205)
5.1.4	材料的生产模式	(211)
5.2	环境材料的分类	(214)
5.2.1	天然材料	(214)
5.2.2	循环再生材料	(224)
5.2.3	低环境负荷材料	(234)
5.2.4	环境功能材料	(246)
附 录		(249)
附录 1		(249)
附录 2		(251)
附录 3		(257)
参考文献		(262)

1 导 论

1.1 环境与材料

1.1.1 环境对材料的约束

人们通常所说的环境是指围绕着人群的空间及其中可以直接或间接影响人类生活和发展的各种自然因素和社会因素的总体。其中自然因素的总体称为自然环境,社会因素的总体称为社会环境。目前将自然环境认为是以大气、水、土壤、地形、地质、矿产等一次要素为基础,以植物、动物、微生物等作为二次要素的系统的总体。环境材料所研究的对象主要是自然环境。

当前人类经济和社会发展正处于一个紧要的历史关头,以扩大开发自然资源和无偿利用环境作为主要标志的经济发展方式,一方面创造了空前巨大的物质财富和前所未有的文明社会,另一方面也造成了全球性的自然环境的破坏。这从根本上削弱和动摇了现代经济社会赖以存在和继续发展的基础,因而目前人类所面临的环境现状是严峻的。这主要表现在以下几个方面:

(1)金属材料是人类赖以生存的重要的物质基础。但随着高新技术的发展和世界范围内人们物质文化水平的提高,无论是机电产品还是人们的日常用品,都越来越追求高性能化和高附加值化。伴随而来的是这些产品和材料的大量生产、大量消费和大量废弃。例如在 1900 年到 1950 年的这 50 年间,世界金属总产量仅为 40 亿 t;而在 1980 年到 1990 年这 10 年间,世界金属总产量高达 58 亿 t 之多。前者年产金属 0.8 亿 t,后者年产金属 5.8 亿 t。两者相差 7.25 倍。金属材料的大量生产和消费导致了地球上的有限的一次金属资源量锐减。例如 Cu、Mn 金属已开采了全球总储存量的 50%;Zn、Au、Ag 等金属已开采了其总量的 70% ~ 80%;

Co、Fe、Ni、W 等金属已开采了总储存量的 30% ~ 40%。人类文明社会目前所依赖的许多金属资源预计还能开采 20 ~ 50 年。

另一方面,目前可供开采的金属资源的品位越来越低,如铜矿石的可开采品位已从 1900 年的 3% 下降到现在的 0.5% 左右。矿石的品位越低意味着同样生产 1t 金属材料所要求投入的矿石量和能量量更多,与此同时,产出的废弃物亦越多。图 1-1 绘出了生产 1t 金属所产出的矿渣量与金属品位的关系。图 1-2 给出了每生产 1t 钢所需的各种原材料和能源,以及产出的各种副产物。

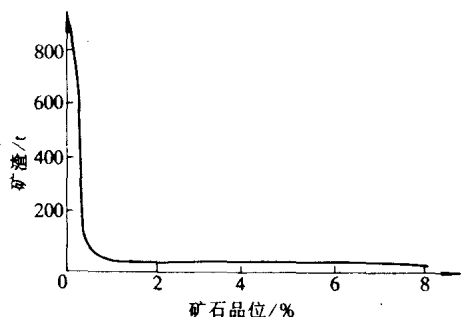


图 1-1 生产 1t 金属时,矿石品位与矿渣的关系

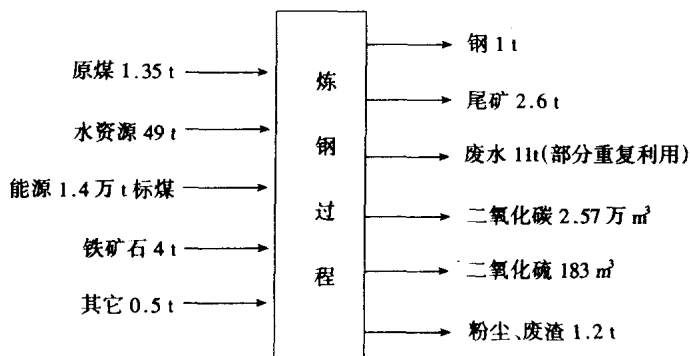


图 1-2 冶炼出 1t 钢时,各种输入和输出参数

(2)引起金属资源枯竭的原因,除了大量开采和无限度使用之外,金属材料的回收利用率较低也是一个重要的原因。仅以生产量和消费量很大的汽车、家用电器等几类产品为例,除了消费大量的钢铁、铜、铝等金属外,还使用了镍、铬、钨、钼等 20 多种稀有金属,如表 1-1 所列。大量的产品废弃之后,许多稀有金属很少或几乎没有得到回收。由此造成的稀有金属资源的浪费十分惊人。

表 1-1 几类机电产品中所含的稀有金属

产品名称	稀 有 元 素	元素种类
汽 车	Ni, Cr, W, Mo, Mn, V, Sr, Sb, Pt, Pb, Ti, Be, In, Te, Ba, Tl	16
彩色电视机	Ni, Cr, Mn, Nb, Sr, Sb, Ta, Ge, Ga, B, In, Ba, Bi, Re	14
家用电器	Ni, Cr, Sr, Sb, Ta, Pb, Ti, Be, Ga, B, In, Ba, Re, Bi	14
光学仪器	Nb, Sr, Ta, Ge, Be, Ga, B, Rb, Zr, Te, Cs	11

目前人类社会所生产的相当多的金属产品很少考虑其循环再生利用。例如我国金属制品的循环再生利用率相当令人不满意,如 Cu、Al、Pb、Zn 的循环再生利用率分别仅为 30%、2%、15%、4%。大量的有价值废物成为无价值的弃物。

(3)按目前世界人口每秒钟增加 3 人的增长速度计算,到 2050 年,世界人口将达到 100 亿人左右。这 100 亿人的生存需要大量的资源、能源和材料。若按现在每人每年产 0.1160t 金属材料的速度计算,到 2050 年,则需年产 11.6 亿 t 金属。这意味着将消耗更多的金属资源、化学物质、煤、石油和天然气。这必然导致世界范围内的大规模的自然环境的变化,例如全球性的温升现象,酸雨加剧,臭氧层破坏,良田沙漠化,野生动植物种类和数量剧减。目前,引起温室效应的二氧化碳气体以每年 $(1 \sim 1.5) \times 10^{-6}$ 的速度增加;氯氟烷烃以每年 5% 的速度增加,甲烷以每年 1.1% 的速度增加, N_2O 以每年 0.2% ~ 0.3% 的速度增加。由于温室效应,在本世纪内,地球的平均气温已上升了 3℃。上述现象反过来将影响材料生产。

1.1.2 材料对环境的作用

在材料的提取、制备、生产、加工以及制品的使用与废弃的过程中,一方面大量消耗资源和能源,另一方面又大量排放废气、废水和废渣,从而对自然环境造成了极大的破坏作用。表 1-2 和表 1-3 分别列出了我国在材料生产和制备过程中的能耗和污染物排放量。

表 1-2 1994 年我国主要材料生产的能源消耗

材料种类	能耗折合标煤量/万 t	占工业总能耗比重/% ^①
黑色金属采选业	282.63	0.3217
有色金属采选业	487.33	0.5547
非金属矿采选业	553.61	0.6302
其它矿采选业	252.24	0.287
化学纤维制造业	993.13	1.130
橡胶制造业	630.43	0.7176
塑料制造业	541.16	0.6160
非金属矿物制造业	12556.14	14.29
黑色金属冶炼	15338.62	17.46
有色金属冶炼	2555.12	2.908
金属制品业	926.86	1.055
合计	35117.27	39.97

①工业能耗总量:87853.40 万 t 标准煤。

表 1-3 1994 年我国材料制造业的污染排放量统计

材料种类	工业废水		工业废气		工业废渣	
	数量/万 t	比重/%	数量/亿 m ³	比重/%	数量/万 t	比重/%
矿 业	140448	6.52	3287	2.90	26377	42.76
化学纤维工业	52040	2.42	2219	1.96	256	0.42
橡胶制品	15389	0.71	567	0.50	102	0.17
塑料制品	6659	0.31	205	0.18	38	0.06
建筑材料及非金属矿物制品	61010	2.83	14067	12.40	1078	1.75
水泥制造业	27045	1.26	10186	8.98	285	0.46

续表 1-3

材料种类	工业废水		工业废气		工业废渣	
	数量/万 t	比重/%	数量/亿 m ³	比重/%	数量/万 t	比重/%
黑色金属冶炼	304645	14.14	15141	13.34	10812	17.53
有色金属冶炼	50742	2.36	4524	3.99	2124	3.44
金属制品	9795	0.45	305	0.27	69	0.11
合 计	667773	31.00	50501	44.50	41141	66.70
占工业排放总量/%	31.0		44.5		66.7	

由表可见,因材料的生产加工所消耗的能源约占工业总能耗的 40%,而因材料的生产加工造成的环境污染约占整个工业污染的三分之一。其中固体废弃物的排放约占整个工业固体废弃物排放总量的三分之二。

各种统计表明,从能源、资源消费的比重和造成环境污染的根源分析,材料及其制品生产是造成全球性的能源短缺、资源过度消耗乃至枯竭和环境污染的主要原因之一。

表 1-4 至表 1-6 列出了某些材料生产过程中的三废排放情况。上述 3 个表仅列出一些常见例子。由于工艺水平的差异和原材料中物质组成的差异,其实际的排放率波动范围较大。

表 1-4 生产 1t 矿物时的废弃物排放情况

矿产名称	废石、废渣	废 水
原 油		0.3m ³ , 含油率 1.2%, 落地油 3kg
煤	矿井开采: 白矸石、黑矸石占采煤 50%, 洗煤矸石占原煤 20% ~ 50%; 露天开采: 剥采比约 5 ~ 10; 开采回收率: 大型 50% 以上, 民窑 10%	大型洗煤场: 洗煤水 2m ³ , 含煤泥 5 ~ 10g/L。 小型洗煤场: 洗煤水 4m ³
铁矿石	废石 2 ~ 3t; 尾矿 0.5 ~ 1t	浮选、磁选排废水 2 ~ 3m ³
汞矿石	废石 200 ~ 300t; 开采回收率: 大型 90%, 民窑 45%	

续表 1-4

矿产名称	废石、废渣	废 水
铝土矿	露天开采:剥采比 12~15; 开采回收率:大型 80%,民窑 10%	

表 1-5 每吨冶金产品的废弃物排放情况

产品名称	废 气	废 水	废 渣
烧结矿	绝大部分已回收利用,仅少量外排 粉尘约 4~5kg, SO ₂ 约 3~5kg	0.5~1m ³ ; 含矿粉尘 5~10g/L; pH>10	
焦 炭	煤尘约 1kg, 硫化氢、氮氧化物、 一氧化碳	2.2m ³ . 含挥发酚 0.1~1kg, 氰化物 0.05~ 0.1kg,油类 0.3~2kg	
生 铁		高炉煤气洗涤水 2~ 13m ³ , 挥发酚 0.001kg, 氰化物 0.04kg,悬浮物 10kg	高炉渣 0.2~0.3t
钢	氧化转炉		钢渣 0.06~0.3t 红泥 0.01~0.02t
	电 炉		钢渣 0.15~0.25t
氧化铝			赤泥 1t
电解铝	粉尘 2~5kg, 氟化物 0.25~1kg	40~70m ³ , 含氟化物 0.2~0.5kg	0.1~0.2t
汞	汞蒸气 4~9kg	1000m ³ , 含汞 3~ 8kg, 砷不定	800~900t. 含汞 40 ~60kg
铜	SO ₂ 与回收率有关。 粉尘 60kg	选矿水 330m ³	尾矿 80~1000t. 炼 渣不定

表 1-6 每吨化工产品的废弃物排放情况

产品名称	废 气	废 水	废 渣
烧 碱	电解法耗汞 50 ~ 370g, 废气含汞为耗量的 8%, 废气含氯视利用情况	盐水 90 ~ 100m ³ , 含氯 40kg, 碱液 3 ~ 4m ³ . 汞为耗量 9% ~ 10%, 冷却水 200 ~ 250m ³	盐泥(干基) 160kg, 含汞为耗量的 80% ~ 90%
硫 酸	二氧化硫 11 ~ 23kg, 有回收利用时约 2kg	酸性水 4 ~ 5m ³ . 含浓硫酸 15 ~ 30kg 砷取决于硫铁矿含砷品位, 冷却水 60 ~ 80m ³	硫铁矿渣 0.7 ~ 0.8t
硝 酸	NO _x 30 ~ 50kg		
红矾钠(钾)		220m ³ , 含 Cr ⁺⁶ 0.1kg	3 ~ 4t. 含 Cr ⁺⁶ 40kg
铬 黄		40m ³ , 含铅 15 ~ 20kg Cr ⁺⁶ 70 ~ 80kg	
炼 油		2.7 ~ 16m ³ /加工 1t 原油 废水含油 0.8 ~ 9kg	
环氧树脂		1500m ³ , 含苯酚 0.3t	
硝酸铵		约 1000m ³ 含氮、硫化氢、铜等	
苯 酚		13m ³ , 含苯酚 0.3t	
硫 磺 (土法)	硫蒸气及 SO ₂ (以硫计) 约 0.6 ~ 1.3t, 相当于硫回收率为 70% ~ 30% 氯 40 ~ 50kg		炼渣 10t, 含铁 10% ~ 20%
洗涤剂		80m ³	
黄 磷	氟 20 ~ 30kg 粉尘 50 ~ 100kg	10 ~ 100m ³ , 含氟 5kg	炉渣 7 ~ 12t, 含氟 150 ~ 240kg. 磷铁 90 ~ 150kg, 磷泥 100 ~ 200kg

1.1.3 环境与材料的关系

事实上,环境问题的根本原因在于现代文明,即人类一直在单方面地消费有限的石油、煤炭、金属和其它资源。从自然环境的角度看,对于人类所需的金属材料而言,实际上存在两个有限性。第一个是地球所含的金属资源是有限的,即金属材料资源不是可以无限开采或取之不尽的。第二个是地球所能容纳的污染物质是有限的,即在制造、提取、使用、再生材料的过程中所形成的废弃物,如二氧化碳、废高炉渣等,地球表层并不是可以无限地容纳和消化它们。

现实要求人类从环境保护的角度出发,重新评价人类过去的开发材料、使用材料、研究材料的活动。在现代文明社会,人类既期望获得大量高性能或高功能的各种材料,又迫切要求有一个良好的生存环境,以提高人类的生存质量,并使文明社会可持续发展。但是大规模地生产人类生存所必需的材料总是意味着在一定程度上损害生态环境,因而研究人类发展和生存所必需的材料及其工程技术与自然环境间的关系已引起材料科学工作者的关注和重视。人们开始更新忽视生存环境,单纯追求高性能、高附加值的材料发展的思路,探索发展既有良好性能或功能,又对资源和能源消耗较低,并且与环境协调较好的材料及其制品。

1.2 环境材料

1.2.1 环境材料的概念

在 1990~1991 年间,日本东京大学生产技术研究所教授山本良一在研究材料与环境间的关系时指出:以前的材料工程学的基本出发点是力求最大限度地发挥材料的潜在性能和功能。从环境的角度出发,山本良一教授提出了环境调和型材料的概念。译成中文为“与环境协调材料”或“环境意识材料”。通常简称环境材料,英文单词为:ecomaterials。

环境材料可以定义为那些具有良好的使用性能和与环境具有

良好的协调性的材料。在这里涉及几个基本概念：(1)所谓与环境具有良好的协调性表现在两个方面，即材料具有低的环境负荷值和材料具有高的可循环再生率。事实上开发或生产一种材料而不产生环境负荷值是不可能的，只能是寻求相对较低的环境负荷值。另一方面，这种材料作为一种资源还应当充分地循环再生，以达到材料资源的综合循环利用。从某种意义上讲，材料具有高的可循环再生率本身就是具有较低环境负荷的表现形式之一。(2)作为一种材料，如果不考虑其性能或功能，仅追求其与环境的协调性，那么这种材料对于人类而言本身没有多大的存在价值。所以在定义环境材料时必须考虑这一基本因素。(3)应考虑材料寿命周期的全过程。这具有非常重要的现实意义。材料的寿命周期是指从原材料获取、生产、加工、使用、再生、废弃这样一个完整过程。如有些高分子材料在其制备过程中，其环境污染相对较小，而在其废弃处置过程中的环境污染很大，如果从这些材料的某一过程来看它们是与环境协调的，但其全程就不一定了。显然环境材料的定义包含了三个内容。它既满足了人类对材料的基本要求，同时也表达了人类对环境的关注和重视。根据定义，环境材料的本质特征在于其寿命周期的整个过程中具有低的环境负荷值。

上述环境材料的定义是由重庆大学首先提出来的。在过去很长一段时间里，环境材料的概念是模糊的，含混的。环境材料的倡导者山本良一教授最早认为环境材料是那些环境负荷减至最低，再生率增至最大的材料(1993年10月)。并进一步指出所谓环境材料，它与传统材料明显不同，它是赋予传统结构材料、功能材料以特别优异的环境协调性的材料，或者说是指那些直接具有净化环境、修复环境等功能的材料(1994年6月)。同年9月，山本再次提出上述观点。但是他又认为环境协调材料是一个指导性的原则，其目的是防止对环境的损伤；在人类活动中对自然资源的保护；和保证材料有较好的性能(1994年10月)。1995年4月山本再次提出环境材料是指那些具有最低环境负荷和最大再生率的材料。作者曾与山本先生进行了两次探讨，他强调环境材料本身是