

普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

生态环境材料学

北京工业大学 聂祚仁 王志宏 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

生态环境材料学

主编 聂祚仁 王志宏
参编 毛倩瑾 龚先政
主审 左铁镛



机械工业出版社

全书共九章。第一、二章，系统地介绍了生态环境材料学的产生背景、材料与生态环境的关系；第三、四章，重点讲述了材料的环境协调性评价、材料及产品的生态设计；第五~九章，分别讨论了金属、无机非金属、高分子、天然矿物与天然有机高分子材料的环境材料学基础理论，并介绍了研究与发展的最新动向，最后讨论了重要的环境治理功能材料。

本书可作为材料科学与工程专业本科生专业基础课教材；并可供有关科技人员与管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

生态环境材料学/聂祚仁, 王志宏主编. —北京: 机械工业出版社, 2004.5

普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

ISBN 7-111-14223-3

I. 生… II. ①聂…②王… III. 材料科学—环境生态评价—高等学校—教材 IV. ①TB39②X826

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 023046 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张祖凤 责任编辑: 冯 铤 版式设计: 霍永明

责任校对: 王 欣 封面设计: 张 静 责任印制: 闫 焱

北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·7.375 印张·287 千字

定价: 19.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

生态环境材料 (Ecomaterials) 的发展, 与生态设计和生命周期评价 (LCA) 相联系, 强调所有材料的环境属性, 最重要的是, 应该从环境材料的观点重新看待所有的材料及其性能。生态环境材料学作为一个新的学科概念和新兴交叉领域, 已在世界范围内得到发展。国内许多大学近年已先后开设了有关生态环境材料的专业教育课程。本书是在编者多年来讲授生态环境材料学课程的基础上, 并结合国内外近年来科学研究和工程实践的成果编撰而成。

全书共九章, 分为生态环境材料基础、材料环境协调性评价及其应用、环境协调的材料与工程三大部分。第一部分包括第一、二章, 系统地介绍了生态环境材料学的产生背景、材料与生态环境的关系; 第二部分包括第三、四章, 重点讲述了材料的环境协调性评价、材料及产品的生态设计; 第三部分包括第五到第九章, 分别讨论了金属、无机非金属、高分子、天然矿物与有天然机高分子材料的环境材料学基础理论, 并介绍了研究与发展的最新动向, 最后讨论了重要的环境治理功能材料。本书可作为材料科学与工程专业本科生专业基础课教材, 也可供有关技术和管理人员参考。

“生态环境材料学”作为材料科学与工程专业的专业公共基础课, 在引导认识材料产业发展与人类生存环境关系的基础上, 把环境意识引入材料科学与工程, 介绍近年来发展形成的环境材料新概念和基本内涵、主要研究内容及方法, 对学生全面了解和把握材料学科发展趋势、建立材料科学与工程发展的新观念有重要意义, 是培养面向 21 世纪的新型材料专业人才和保证材料产业可持续发展所必不可少的基本教学内容, 也是材料科学与工程学科教育体系发展的产物。本课程的主要教学目的是使同学掌握环境材料的基本概念和基本分析研究方法, 熟悉环境材料学的基本理论框架体系, 了解材料环境负荷评价方法 (MLCA) 及其应用, 同时认识材料及物质的再生利用以及与生态系统协调的材料与工程。要求同学具有初步的材料科学与工程知识基础, 以及初步的材料工程问题的分析能力, 应该是在材料科学与工程学导论、材料科学基础、材料工程学等专业基础课程教学之后安排本课程学习。通过对本课程的学习, 不仅是学习课程要求的教学内容, 更重要的是使同学树立环境协调发展的新观念, 运用材料专业课程和基础课程知识, 提高和加强解决可持续发展的材料工程实际问题的能力和知识水平。

本书由聂祚仁、王志宏主编, 由左铁镞院士主审。聂祚仁教授编写第一、

IV

二、三、五、八、九章，王志宏教授编写第四、六章，毛倩瑾讲师编写第七章，龚先政副教授编写第三、八、九章部分内容，狄向华、袁宝荣、高峰参加了有关编写资料的收集、整理等工作。

由于生态环境材料学处在不断发展阶段，加之编者学识有限，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

编者

2004年3月

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 材料可持续发展的产物——生态环境材料	1
第二节 生态环境材料的内涵与定义	3
第三节 生态环境材料的研究与应用发展	5
第四节 生态环境材料的发展趋势	8
参考文献	11
第二章 材料产业与生态环境	12
第一节 生态环境基础	12
第二节 环境工程简介	17
第三节 材料对生态环境的影响	21
第四节 材料中主要元素的环境和资源特征	27
第五节 材料流与资源效率 and 环境影响	29
参考文献	32
第三章 材料的环境协调性评价	34
第一节 LCA 方法的起源与发展	34
第二节 LCA 的概念和方法学框架	37
第三节 LCA 目的与范围的确定	40
第四节 生命周期清单分析	41
第五节 生命周期影响评价	43
第六节 生命周期解释	49
第七节 LCA 数据库与 LCA 评估软件	51
第八节 材料生命周期评价方法	55
第九节 LCA 方法的主要问题及其发展前景	57
参考文献	61
第四章 材料和产品的生态设计	63
第一节 生态设计概论	64
第二节 材料的生态设计	71
第三节 生态产品的设计原则与方法	83
参考文献	86
第五章 金属材料 and 冶金流程的环境协调化	88
第一节 金属类生态环境材料	88

第二节 钢铁冶金清洁生产的环境协调性	91
第三节 环境协调的铝电解生产技术	94
第四节 镁工业的环境特征	97
第五节 冶金工业废渣的综合利用	100
第六节 再生金属资源利用	104
参考文献	110
第六章 无机非金属类生态环境材料	113
第一节 概论	113
第二节 环境协调制造技术	119
第三节 长寿命设计	130
第四节 再生循环利用技术	137
第五节 生态化新材料	140
参考文献	150
第七章 高分子环境材料	152
第一节 高分子材料的环境问题	152
第二节 高分子环境材料	155
第三节 高分子工业中的绿色化学	157
第四节 可降解高分子材料	162
第五节 高分子材料的再循环	169
第六节 长寿命高分子材料	179
第七节 二氧化碳树脂新材料	181
参考文献	184
第八章 天然资源环境材料	185
第一节 天然矿物环境材料	185
第二节 天然有机高分子材料	194
参考文献	204
第九章 环境治理功能材料与技术	205
第一节 大气污染治理材料与技术	205
第二节 水体污染治理材料与技术	212
第三节 固体废物治理与土壤中重金属污染治理	220
第四节 其他污染控制材料与技术	223
参考文献	229

第一章 概 论

人类已开始认识到全球环境的恶化,并在努力减轻地球环境的负荷。但仍生活在不可可持续发展的方式之中。材料作为社会经济发展的物质基础,推动着人类文明的进步;同时材料产业又是资源、能源消耗和污染排放大户,严重威胁着人类生存的自然环境。材料与环境如何协调发展的问题日益受到人们的重视。20世纪90年代初出现了“生态环境材料”(Ecomaterials)的概念,要求材料在满足使用性能要求的同时还应具有良好的全寿命过程的环境协调性,赋予材料及材料产业以环境协调功能。发展生态环境材料与技术,实现材料产业的可持续发展,已成为必由之路。

第一节 材料可持续发展的产物——生态环境材料

人类在创造社会物质文明的同时,也在不断地破坏人类赖以生存的环境空间。受人类生存活动的影响,大自然必然会发生重大变化,有些变化我们已经感受到,而有些变化暂时还无法预料。如“刀耕火种”的掠夺性农业生产方式,不合理的开发使用土地,使植被茂盛、土地肥沃的地区竟变成了人烟稀少的荒漠。世界“三大文明”的毁灭,是生态环境破坏的结果,至今仍是人类面临的严重环境问题之一。工业革命给人类带来了更大的物质文明,同时也加速了自然资源和能源的过度消耗,引起生态环境的严重失衡。世界范围内污染源的70%来自于工业。由于工业废料的大量排放,造成了诸如全球气候变暖、酸雨、臭氧层被破坏、生物物种锐减等全球性灾难。

随着社会生产力的飞速发展,人类社会活动规模和深度的不断扩大,向自然索取的能力和对自然界干预的能力越来越大,资源消耗和废物排放量与日俱增,加之人类认识上的局限性和主观上的松懈性,致使环境问题越来越严重,污染事件频频发生,对人类生命和财产安全以及社会经济的正常发展构成了严重的威胁,20世纪后半叶发生的一系列世界著名公害事件已引起全球的极大关注。1972年,联合国人类环境会议宣言指出:“人类既是他的环境的创造物,又是他的环境的创造者,环境给予人以维持生存的东西,并给他提供了在智力、道德、社会和精神方面获得发展的机会。”自1992年里约热内卢大会上100多个国家通过了《里约宣言》和《21世纪议程》等重要文件之后,各国一致承诺把走可持续发展的道路作为国际社会未来长期共同发展战略。从那之后,人类虽已开始把减轻地

球环境负荷作为共同努力目标,但人们仍生活在日益危险以致难于持续发展的世界中:人口(尤其是贫困人口)加速增长,资源进一步消耗和废弃,而生物物种、森林面积、可利用水资源、可耕地却更加减少,臭氧层甚至出现空洞。

21 世纪的经济仍然是建立在物质基础之上的经济。随着世界经济的快速发展和人类生活水平的提高,现代社会对材料及其产品的需求增长得更加迅猛。1980 年全世界的能源消费量约为 1900 年的 10 倍。在 1900 年至 1950 年间,有 40 亿 t 普通金属用于制造业;但在 1980 年至 1990 年的仅 10 年内,就用掉 58 亿 t 金属。绝大多数金属用于汽车和家用电器等的制造,而许多稀有金属没有利用就废弃了。随着高科技的发展,电子产品、家用电器更新换代的周期越来越短,被淘汰的废旧电子产品、元器件等电子垃圾也将会大量产生。这些电子元器件含有大量的铅、汞、镉、铬、钽、聚氯乙烯塑料、溴化阻燃剂和各种化合物等上百种对人体有害的物质,这些元素如果进入土壤随雨水渗到地下污染水源,最终将危害人类、植物和微生物;如果把废弃的电器焚烧处理,会产生大量的有毒气体,对空气造成污染,最终形成酸雨;废弃物会透过皮肤、细胞渗透,少量便可造成过敏,引起哮喘,破坏 DNA。这些有毒有害的物质加大了电子产品回收再利用的难度。

生态环境材料的出现,不仅是材料本身发展的需求,而且是从整个地球环境、社会发展、人类生存出发,对材料产业提出的要求。生态环境材料概念的最早提出时间是 1990 年 10 月,在一次关于材料服务于人类生活、行为的未来状况与环境关系的讨论会上,由日本学者提出,目前已在世界范围内得到普及。东京大学的山本良一教授等提出了生态环境材料的英文名称 Ecomaterials,由 Environmental Conscious Materials 或 Ecological Materials 缩写而成,按英文字面含义可理解为环境意识的材料或生态材料,也即环境友好型材料或环境协调性材料。近年来,“eco-friendly”(环境友好)已成为既简洁明了、又符合西方人表达习惯而令人感觉亲切,体现当今社会重视生态重视环保的流行用语;Ecomaterials 一词的出现也展示出材料领域适应社会可持续发展的时代潮流,为世界所接受。从改善环境的角度出发,具有环境改善功能的材料、高效率利用和低耗能材料、全寿命环境协调材料、零排放的制备技术等生态环境材料与技术是材料科学与技术对全球环境的重要贡献。

从材料本身性质来看,生态环境材料的主要特征应该是:

- 1) 无毒无害、减少污染,包括避免温室效应和臭氧层破坏等。
- 2) 全寿命过程对资源和能源消耗少。
- 3) 可再生循环利用、容易回收。
- 4) 材料的高使用效率等。

地球是人类赖以生存的共同家园。保护资源、保护环境是全人类的共同使

命。人口膨胀、资源短缺和环境恶化是当今人类社会面临的三大问题。这些问题的积累加剧了人类与自然的矛盾，并已对社会经济的持续发展和人类自身的生存构成新的障碍。材料产业的发展必须走与资源、能源和环境相协调的道路才是可持续发展的。“生态环境材料”概念，是材料科学与工程研究发展的必然趋势。

第二节 生态环境材料的内涵与定义

从材料的生产—使用—废弃的过程来看，可以说是将大量资源提取出来，又将大量废弃物排回到自然环境中的循环过程。传统的材料研究、开发与生产，往往过多地追求良好的使用性能，而对材料的生产、使用和废弃过程中需消耗大量的能源和资源，并造成严重的环境污染，危害人类生存的严峻事实重视不够。作为人类社会和经济发展物质基础的材料将来应该以怎样的模式发展下去？材料工作者都在认真思考、探索这个问题，而且材料学科科学技术的发展使人们有能力解决材料设计、生产、使用、废弃、回收全过程的环境问题。

国际材料界在审视材料发展与资源和环境关系时发现：过去的材料科学与工程是以追求最大限度发挥材料的性能和功能为出发点，而对资源、环境问题没有足够重视，这反映在 1979 年美国材料科学与工程调查委员会给“材料科学与工程”所下的定义：“材料科学与工程是关于材料成分、结构、工艺和它们性能与用途之间的有关知识的开发和应用的科学。”这一传统的材料四要素体系没有充分考虑材料的环境协调性问题，或者说环境协调性在当时还没有那么尖锐突出。

在 20 年后的今天，人们认为在理解上述定义的内涵时应予拓宽乃至修订补充，应该更明确地要求材料科学与工程工作者认识到：① 在尽可能满足用户对材料性能的要求的同时，必须考虑尽可能节约资源和能源，尽可能减少对环境的污染，要改变片面追求性能的观点；② 在研究、设计、制备材料以及使用、废弃材料产品时，一定要把材料及其产品整个寿命周期中，对环境的协调性作为重要评价指标，改变只管设计生产，而不顾使用和废弃后资源再生利用及环境污染的观点；③ 这个定义的拓宽将涉及多学科交叉，不仅是理工交叉，而且具有更宽的知识基础和更强的实践性，不仅讲科学技术效益、经济效益，还要讲社会效益，把材料科学技术与产业的具体发展目标和全球、各国可持续发展的大目标结合起来。

生态环境材料正是在这样的背景下提出来的，是 20 世纪 90 年代国际上材料科学与工程发展的最新趋势之一，这已在世界各国达成共识，并已逐渐兴起了全球性的生态环境材料的研究、开发和实施热潮。这是时代赋予我们的义不容辞的历史责任，是人类社会进步到一定时期的自然产物，是时代的需求。

有关生态环境材料的范围和定义，国际上目前还没有形成统一的说法。从

1993年以来,每两年举行一次的生态环境材料国际会议(The International Conferences on Ecomaterials)已开过五届。另外,生态环境材料的专题研讨会也在世界范围内召开过数次。按照有关的研究报道和生态环境材料的要求,可将有关材料特征分为十类:

1) 节约能源。材料能降低某一系统的能量消耗。通过具有更优异的性能(如轻质、耐热、绝热性、探测功能、能量转换等)实现提高能量效率,即改善材料的性能可以降低能量消耗达到节能目的。

2) 节约资源。材料能降低系统的资源消耗。通过更优异的性能(强度、耐磨损、耐热、绝热性、催化性等)可降低材料消耗,从而节省资源。如能提高资源利用率的材料(催化剂等)和可再生的材料也能节省资源。

3) 可重复使用。材料的产品收集后,允许再次使用该产品的性质,仅需要净化过程如清洗、灭菌、磨光和表面处理等即可实现。

4) 可循环再生。材料产品经过收集,重新处理后作为另一种新产品使用的性质。收集产品视为原材料。

5) 结构可靠性。材料使用时具有不会发生任何断裂或意外的性质,是通过其可靠的力学性能(强度、延展性、刚度、硬度、蠕变等)实现的。

6) 化学稳定性。材料在很长的使用时间内通过抑制其在使用环境中(暴风雨、化学、光、氧气、水、土壤、温度、细菌等)的化学降解实现的稳定性。

7) 生物安全性。材料在使用环境中不会对动物、植物和生态系统造成危害的性质。不含有毒、有害、导致过敏和发炎、致癌和环境激素的元素和物质的材料,具有很高的生物学安全性。

8) 有毒、有害替代。可以用来替代已经在环境中传播并引起环境污染的材料。因为已经扩散的材料是不可收回的,使用具有可置换性的材料是为了防止进一步的污染。如氟氯甲烷的替代材料、生物降解塑料等都有很高的可置换性。

9) 舒适性。材料在使用时能给人提供舒适感的性质。包括抗振性、吸收性、抗菌性、湿度控制、除臭性等。

10) 环境清洁、治理功能。材料具有的对污染物分离、固定、移动和解毒以便净化废气、废水和粉尘等的性质。也包括探测污染物的功能。

对于生态环境材料的合成与加工工艺(也称作绿色工艺),根据其特征,可分为四类:

1) 能源节约工艺。能够通过提高能源效率或降低能量消耗但又不损害生产率来节省能量的加工方法。也包括热能循环。

2) 资源节约工艺。能够通过提高材料的效率或降低材料的消耗但不损害生产率来节省资源的加工方法。

3) 降低污染的加工技术。能够降低污染物(如废气、废液、有毒副产品和

废渣等)排放但又不损害生产率的加工技术。

4) 净化环境的加工技术。能够净化有害物质(如废气、废液和有毒副产品)以及净化已经污染的空气、河流、湖泊和土壤等的加工技术。

通过十多年的研究,材料工作者较为普遍接受的观点认为,生态环境材料应是同时具有满意的使用性能和优良的环境协调性,或者是能够改善环境的材料。所谓环境协调性,是指对资源和能源消耗少、对环境污染小和循环再生利用率高。

这类材料对资源和能源消耗少、对生态和环境污染小、再生利用率高或可降解化和可循环利用,而且要求从材料制造、使用、废弃直到再生利用的整个寿命周期中,都必须具有与环境的协调共存性。因此,所谓生态环境材料,实质上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,它是由材料工作者在环境意识指导下,或开发新型材料,或改进、改造传统材料所获得的。我们之所以强调它并非仅特指新开发的新型材料、并不是排它的新材料体系,是因为实际上,任何一种材料只要经过改造达到节约资源并与环境协调共存的要求,它就应视为生态环境材料。这种定义、概念有助于调动更广大的材料工作者的积极性,鼓励和支持他们结合本职工作,对量大面广的材料产品进行生产技术改革,实现节能、降耗和治理污染的目的。生态环境材料与量大面广的传统材料不可分离,通过对现有传统工艺流程的改进和创新,以实现材料生产、使用和回收的环境协调性,是生态环境材料发展的重要内容。同时,要大力提倡和积极支持开发新型的生态环境材料,取代那些资源和能源消耗高、污染严重的传统材料。还应该指出,从发展的观点看,生态环境材料是可持续发展的,应贯穿于人类开发、制造和使用材料的整个历史过程,随着社会发展和科技进步,以新产品取代旧产品是个不断进步的过程,从科学上讲是一个广泛的概念。其实生态环境材料是材料发展的必然结果,其概念是发展的,也是相对的,还需进一步研究和探讨。

生态环境材料的研究进展,将有助于解决资源短缺、环境恶化等一系列问题,促进社会经济的可持续发展。另外,生态环境材料的研究还与政治、经济、贸易等领域的国际竞争相联系,如许多发达国家已将环境保护列入贸易往来的条件,环境问题已直接关系到我国履行国际公约的责任和义务。

第三节 生态环境材料的研究与应用发展

围绕生态环境材料这一主题,国际上开展了广泛的研究,日本和欧洲的一些国家相继成立了相关的研究学会,组织专门的学术和政策研究,多次召开国际性的研讨会,探讨材料与地球资源、环境问题,推动生态环境材料研究与开发,其中已定期召开的学术会议有自1993年开始、每两年一次的Ecomaterials国际会议

和 1994 年开始、每两年一次的 Ecobalance 国际会议等。近年国内外生态环境材料与技术的研究和应用可以划分为材料的环境协调性评价技术和具体的生态环境材料的设计、研究与开发两大方面。

一、材料的环境协调性评价技术及其应用

日本于 1995 年开始对一些典型材料进行了环境协调性评估,指导和推进全日本材料及其制品产业的环境协调化发展。德国利用物质流分析的方法研究了国家、地区以及典型材料和产品如铝、建材、包装材料等的物质流动和由此产生的环境负荷,用于指导工业经济材料及产品生产的环境协调发展。奥地利、加拿大、法国、德国、北欧国家、荷兰、美国等许多国家和欧盟、世界经济与合作组织、国际标准化组织等国际组织都将环境协调评价作为制定标志或标准的方法。在评价中已涉及的材料有:交通运输材料(如汽车材料)、包装材料、建筑材料、自行车材料以及其他工程材料和功能材料。

目前世界上有十多个有影响的 MLCA 数据库和 SPOLD 数据交换格式以及评价软件等。由于 MLCA 和 MFA 数据存在很大的地域局限性、时空差异、主观性以及实用性问题等,各个国家或地区都需要建立自己的数据库和评价标准,在实际应用与研究中不断走向完善。这是一项需要国家政府部门给予支持、发挥导向和宏观调控作用,必须长期积累的工作。

目前材料环境协调性评价技术的研究和应用主要在以下三方面开展:①关于 MLCA 的系统框架和评价方法的研究。着重于环境协调性评价(LCA)的概念阐述和方法的研究,力图建立一个普遍适用的 LCA 执行体系。②发达国家以及许多跨国公司根据自身的要求提出了各自的环境负荷评价指标,并针对具体的实际过程建立了环境影响数据库,国家层次上最具代表性的是日本从 1998 年启动的国家 MLCA 计划,目前已进入第二阶段实施之中。③将 LCA 方法应用到实际的材料或产品的设计和生产过程中,用于指导开发及筛选新的环境协调性的材料和产品以及国际贸易。

二、生态环境材料的设计、研制与开发

环境协调设计(Eco design)和环境协调制造在市场和绿色购买的压力下受到影响,日本在 1996 年成立的绿色购买网(GPN, Green Purchasing Network),有 1 910 家主要公司、228 个地方政府和 179 个环境和消费组织参加,还包括日本环境协会和环境机构的协调专家。国际上的一些著名公司都在实施相应的研究发展计划。如 IBM 公司的“环境设计计划”,道化学公司的“减少废弃计划”,Chevrolet 公司的“节约资金,减少毒气计划”等;一些国际知名的大企业像日本的佳能、东芝、日立、富士、索尼,德国的西门子等从产品和技术的开发等角度一直关注生态效率和资源环境效率,使其开发的新产品不仅具有经济效益,还要具有环境效益,以保持未来的市场竞争力。德国“蓝天使”计划,加拿大“ECOL-

OCO”计划,美国“健康建材”计划,丹麦“室内气候标志系统”已实施多年。出现了许多环境协调产品,如 TOYOTA 公司的混合燃料汽车、YOKOGAWA 公司的便携式示波器、DAIKIN 公司的房间空调器、EBARA 公司的无汞泵、National/Panasonic 公司的银合金、Misawa Home 公司的 100% 可再生房屋、日本铁路公司的子弹头火车等等。

近年世界各国无论是在量大面广的现用材料与技术的环境协调性改造升级方面,还是在新型环境工程材料的研制和开发方面,都取得了较大的进展。

1. 清洁生产工艺

材料洁净生产技术,又称为零排放与零废弃加工技术 (Zero Emission and Zero Waste Processing),已引起各行业材料科技工作者的极大关注。其基本出发点是,通过对材料制备加工中各种过程的综合分析,采取有效的综合技术,从技术及经济成本的可行性两方面考虑,尽可能减少乃至最终避免在材料制备加工中废弃物和污染物向生态环境中的排放,实现材料制备加工技术洁净化。

2. 冶金短流程

钢铁冶金中,直接还原铁工艺与高炉炼铁工艺相比,原料种类比较简单,只用铁矿石、煤和石灰石三种物料,省去了高炉炼铁工艺中的烧结、焦化工序,缩短了炼铁生产工艺流程,大大降低了生产过程中的环境负荷。近终型加工和短流程的开发应用,极大地降低了生产过程中的物耗和能耗。

3. 生态水泥

水泥生产中利用可燃废料,包括废轮胎、废塑料等,替代部分煤来煅烧熟料,可以显著降低水泥生产能耗,也起到了防治污染、保护环境的作用。目前具有广泛应用前景的绿色高性能混凝土,不但节省水泥熟料,更多地掺加以工业废渣为主的活性细掺料,而且更大地发挥高性能优势,减少水泥和混凝土的用量。

4. 环保建材

新型的功能型和环保型建材、废旧建材的再生利用开发异常活跃,如污泥水泥、木材陶瓷、废旧有机物增强混凝土等。还包括节能建筑材料,如利用相变材料具有可以重复吸热、储热、放热的特点,将相变材料用于建筑物的自动调温等。这些较先进的技术将是环保建材的发展方向。在涂料方面,已发展了多种无毒、无污染的水溶性涂料、粉末涂料、无溶剂涂料等,还可具有杀菌、防霉的作用。

5. 环境工程材料

环境工程材料主要包括对废弃物污染控制和处理的环境净化材料、对已被破坏的环境进行生态化治理的环境修复材料,以及替代有毒有害材料的环境替代材料等。在生态环境材料概念指导之下的环境工程材料,不仅要具有环境治理功能,更强调其本身与环境的协调性。如具有阻燃、低烟雾、消音、隔热、散热、

烟尘过滤、电磁屏蔽、吸收冲击波等功能的特种建材，无石棉特种防火材料等。

6. 天然资源环境材料

许多天然矿物及其改性材料在治理环境污染、水资源利用和污水处理、替代有毒有害材料、制作绿色建材、作为催化剂载体等方面有广阔的应用前景。例如应用矿物的环境属性开发起保水与保肥作用的材料治理土壤沙漠化等。

自然界存在的天然生物高分子是巨大的可再生资源，包括植物的纤维素、淀粉、植物蛋白质和动物的甲壳质，体外分泌物如蚕丝、虫胶和各种蛋白质等，可为人类提供丰富的原材料来源，而且其制品都可以在自然环境中实现生物降解。

还有陶瓷化木材、竹材等，通过碳化、热处理等处理可极大地提高这一类天然材料的利用效率，实现资源的高效利用和可再生循环。

7. 降解树脂

合成高分子材料引起的“白色污染”已经引起了各国政府和产业部门的高度重视，尤其在农用地膜、一次性包装材料等领域已经有使用全降解塑料的强烈要求。生物降解树脂在土壤中可以微生物分解为水和二氧化碳。制备成本可接受的全降解塑料已经成为工业界在该领域研发的焦点课题，其中成本和知识产权的竞争已经国际化，竞争极为激烈。

8. 电磁波防护类材料

随着信息技术的发展，电磁波对人类生存环境的污染越来越受到关注。为了减少电磁波对人体的辐射污染，大量的研究集中在开发有效的屏蔽措施方面，特别是屏蔽材料的加工制备，对不同的电子设备采用不同的防护层，尽量将电磁波屏蔽在机内，最大限度地减少电磁波的机外辐射，则是源头治理的努力方向。

9. 电子功能材料领域的毒害元素替代材料

环境友好的高性能电子材料的系列开发研究已成为世界范围内电子材料产业可持续发展的趋势，某些产品的研究开发已迫在眉睫。欧盟委员会已提出，将在2004年1月1日开始全面实施电子产品无铅化，2008年以后禁止使用铅、汞、镉和溴化阻燃剂等物质制造电器；日本2002年开始含铅材料只在特殊情况下使用，并逐步实现全面禁止；美国国会在电子及其他工业部门中酝酿禁止使用含铅钎料的法案。欧洲各主要厂家迫于环保要求，将从2002年开始停止生产含钎的各种钎电极材料。

第四节 生态环境材料的发展趋势

在全球可持续发展的形势下，世界许多国家的政府、贸易、金融、企业和材料界对生态环境材料已有所共识，并大力促进其研究和发展。围绕生态环境材料研究，国际上从提高资源效率和生态效率的角度开展了全面的工作。除技术开发

外,资源的有效利用和环境保护主要靠政策和管理,健全的法规和制度是资源和生态环境的重要保障。目前许多国家制定了有关的法律,来推动本国环境材料的发展,以求能够推动本国经济的持续发展。各国税收政策的调整也在刺激资源效率的提高。特别需要指出的是,有关材料和产品的环境问题已经渗透到国际政治、经济、贸易和文化各个领域,是当今国际竞争的重要方面。发达国家强烈要求发展中国家提高产品的环境标准,提出将环境保护作为贸易的条件。环境问题与贸易措施相结合,国际贸易中的“绿色壁垒”便应运而生。在材料科学与工程技术领域,各种生态环境材料及其产品的开发将成为材料产业可持续发展的方向。

在我国目前和未来的相当一段时期内,生态环境材料的研究与发展应分为几个层次,主要有全民特别是材料界的观念意识改变,如宣传和教育问题;宏观上的国家行为,如立法、立规等问题;国家就有关生态环境材料的科学计划问题,包括基础研究、高技术研究、攻关等科技和经济发展计划,都需支持生态环境材料的发展,引导大家朝这类材料的研究和开发发展;还有教育、学科建设等方面,培养交叉学科人才,落实上述问题的具体工作;建立相应的组织、学术团体,加强生态环境材料方面的交流合作等。

一、关于生态环境材料及其学科的基本问题研究

材料的环境性能、材料再生循环过程性能的演变及机制、材料的生态设计理论和方法等都属于生态环境材料研究的基础问题。同时生态环境材料不仅是一个具体的材料研究与开发的问题,也是一个材料科学与工程领域的问题,它的研究与开发涉及自然科学与社会科学问题,涉及多学科知识基础问题,涉及对材料工作者的资源、环境观念和意识的教育与培养问题等。因此,要求对这一新概念、新领域开展深入的基础研究,使其成为指导生态环境材料研究开发及发展相关技术的基础。

二、材料的环境负荷评价方法和标准的建立

开展对材料、产品及其生产、制备、使用直到废弃整个生命周期的环境负荷评估研究,是改造乃至淘汰该材料、产品或生产工艺的基础性工作。目前关于LCA方法及应用尚有许多局限性,有关LCA的数学物理方法、材料环境负荷的表征及其量化指标、LCA的评价范围及生态循环的编目分析、材料生产和使用过程的环境影响评估、环境改善等,还有许多基础性研究工作要做。研究材料的环境负荷评价标准,是ISO14000标准化进程的重要内容,由于各国的地理、资源、工业结构、技术水平间存在很大差异,建立基础数据库和开发实用的软件,配合政府和企业制定相应的标准和方法,已成为各国材料研究及产业发展的一个重要方向。

三、生态环境材料和产品的研究及开发

通过分析材料的环境影响特征,得出环境负荷流动结构。将传统的材料和产

品设计方法与 LCA 方法相结合,从环境协调性的角度对材料 and 产品进行设计(即环境协调性设计),并结合 LCA 思想,从实际生产过程出发,提出切实可行的生产工艺的改进措施。对大量消耗的基础材料产业的生产等过程进行环境协调性改造,从根本上提高资源、能源利用效率,减少和消除污染以实现零排放工程,是材料产业环境协调性发展的治本之道。

另一方面要积极开发治理污染的材料和技术。对已经产生的污染问题,如何避免和减少其对环境破坏,即避害技术和治害补救技术,也可以说是治标之道。针对各类污染的环境治理工程和措施都离不开性能优良的环境工程材料,开发门类齐全的环境净化与治理材料,将进入环境的有害物质转化为无害或减轻危害程度,改善由于人工和自然原因而失衡的生态系统,这其中也包括通过改变人们的生活方式以减少对环境的破坏以及产品替代或重新设计生产工艺流程等。

但从根本意义上说,前者是主动的、积极的,而后者是被动的,属末端治理。

四、制定与实施生态环境材料的教育计划

作为一门学科发展,生态环境材料同时又是一个教育的问题。需要积极制定和实施生态环境材料科学的教育计划。在专门教育方面,使生态环境材料教育融入国家的环境教育体系;同时逐步建立和健全专业化的学位教育,培养高级专业人才,为发展新的生态环境材料、培养适应 21 世纪可持续发展的材料科学工作者创造条件。

除正规教育外,应在已有基础教育、成人职业教育的环境教育的教学内容中,增加普及型“生态环境材料”内容,广泛利用传播媒介普及、提高现有材料工作者和全体人民的环境意识,加强生态环境材料和绿色产品的宣传和教育,尽快建立一个完整的生态环境材料教育体系,为我国的持续发展奠定良好的基础。

五、推进生态环境材料研究与开发的国际合作与交流

“我们共有一个地球”。生态环境材料是一个全球性问题。积极务实地参与环境保护领域的国际合作,推动生态环境材料发展,实现世界范围的数据共享,建立完善的评价数据库、进行各项数据采集,形成与国际接轨的评价标准和方法,以及其他专业活动,都需要大力开展国际间的交流与合作。

生态环境材料作为一门新兴的交叉学科,将促进保持资源平衡、能量平衡和环境平衡,实现社会和经济的可持续发展,把环境性能融入下一世纪所有的新材料开发。完善材料环境协调性评价的理论体系,开发各种环境相容性新材料及绿色产品和降低环境负荷的新工艺、新技术和新方法等,将成为材料科学与技术发展的一个主导方向。