

21 世纪高等院校教材

环境类

环境材料基础

左铁镛 聂祚仁 编著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

环境材料基础

左铁镛 聂祚仁 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

环境材料学涉及材料的生产、使用、废弃、回收等各个环节,是材料科学、环境科学、生物学等多学科交叉的产物,也是一个复杂的系统工程。本书的重点放在环境材料的材料学基础内容上,包括环境材料概念的建立、内涵的理解、基本理论框架和研究内容,以及材料环境负荷分析研究方法和应用。主要目的是使读者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,了解环境负荷评价方法及其应用,同时初步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。全书内容可分为三大部分:环境材料基础,材料环境负荷评价与应用,材料和产品的环境协调性设计、环境协调的材料与工程。

本书可作为材料、环境及相关专业的本科生、研究生教材,也可供有关技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境材料基础/左铁镞,聂祚仁编著. —北京:科学出版社,2003

(21世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-011601-1

I. 环… II. ①左… ②聂… III. 环境科学-材料科学-高等学校-教材
IV. ①TB39②X38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 051923 号

责任编辑:周巧龙 杨向萍/文案编辑:彭 斌 姚 晖/责任校对:朱光光

责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2003年8月第一次印刷 印张:25 1/2

印数:1—3 000 字数:507 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

生态环境材料或环境材料(ecomaterial)作为一个新的材料概念在世界上出现至今已超过10年,并已在世界范围内得到认可。在较早的阶段,仅认为材料的功能特点对环境问题有影响,因材料的功能特性(如催化剂的净化作用)而促进环境保护。近10年来,环境材料概念的发展与生态设计和生命周期评价相联系,强调所有材料,包括结构材料和特殊功能材料的环境属性。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。例如,如何在降低环境负荷的条件下满足所需要的性能,如何改善材料的循环再生性,或者如何用最少的材料消耗来得到最好的性能。环境材料由末端治理材料转化为优异的全生命周期环境协调的材料。许多研究提出了材料科学与工程技术的新问题,如有害元素的功能替代元素,不仅通过元素替代而且通过微观结构来控制微观性能,对杂质的不敏感特性、可成型性的改进、对材料潜在能力的迅速提升,以及材料应该在使用时有更高的资源利用率等等。环境材料学的研究涉及材料的生产、使用、废弃、回收等各个环节,是材料科学、环境科学、生物学等多学科交叉的产物,也是一个复杂的系统工程。近年来,环境材料的相关研究在金属、冶金、无机非金属、有机、高分子、木材、天然矿物等各学科都取得不少新的进展,各类环保型功能材料、节约能源或降低排放的材料和生命周期设计的环境材料是材料科学与技术对全球环境问题的重要贡献。随着各国实施的环境贸易保护策略,环境材料及制品的研究和相关技术开发不仅成为基础研究的热门课题,也是当今市场竞争中最为激烈的商品贸易战略之一。

环境材料学为材料设计者用生命周期内具有更低环境负荷的材料替代其他材料的战略方法开辟了新的领域。但是,环境材料学作为一个材料学科的新概念,仍处在研究发展的初期,其科学和技术体系仍尚未成熟;同时还有一个教育的问题,全民特别是材料界的观念意识改变,全社会的宣传和教育,以及立法、立规与评价标准等,环境材料学还有许多需要研究的课题。国内许多大学近年已先后开设了有关环境材料的专业教育课程,开始培养该领域的学位研究生,发展环境材料学科及其应用的知识。

如何将环境材料概念和分析方法融于各类材料的基本原理并指导实际应用,一直是编著者及其梯队多年来努力探索和实践的方向。编著者以近年在北京工业大学为材料专业开设的环境材料学课程讲义为基础,总结国内外有关最新进展,也充分融入本书编著者的相关研究积累,编写了这本《环境材料基础》。全书共9章,首先概述了环境材料的产生背景和基本概念、材料与环境的关系,接着重点介绍了

材料的环境协调性评价、材料及产品的环境协调性设计,然后分章讨论了金属冶金类材料、无机非金属材料、高分子材料等主要材料类别的环境材料学基础理论和应用,最后介绍了主要的环境治理功能材料。本书可作为材料及相关专业本科生、研究生的环境材料学教材,也可供有关技术和管理人员参考。

全书由左铁镛(第1,5章)和聂祚仁(第1~5,8,9章)编著,参加本书编写工作的还有王志宏(第4,6,8章)、毛倩瑾(第7,8章)、狄向华和龚先政(第3,4,8章),袁宝荣、周和敏、李贵奇和庞汉威参加了部分编写和资料收集工作。日本东京大学山本良一教授在本书成稿过程中给予了许多有益的讨论和建议。全书的统稿和审定工作由聂祚仁完成。本书的出版还要感谢科学出版社和周巧龙编辑的支持,也是他们对环境材料的热情和诚挚促使本书早日出版。

左铁镛

中国科学技术协会副主席
中国工程院院士
北京工业大学校长
2002年12月于北京

目 录

1	生态环境材料概述	1
1.1	材料可持续发展的产物——生态环境材料	1
1.2	生态环境材料的内涵与定义	3
1.3	生态环境材料的研究与应用发展	5
1.4	生态环境材料的发展趋势	9
2	材料产业与生态环境	13
2.1	生态环境基础	13
2.2	环境工程简介	22
2.3	材料对生态环境的影响	31
2.4	材料中主要元素的环境和资源特征	43
2.5	材料流与资源效率 and 环境影响	52
3	材料的环境协调性评价	58
3.1	LCA 方法的起源与发展	58
3.2	LCA 的概念和方法学框架	64
3.3	LCA 目的与范围的确定	67
3.4	生命周期清单分析	68
3.5	生命周期影响评价	71
3.6	生命周期解释	82
3.7	LCA 数据库与 LCA 评估软件	87
3.8	材料的生命周期评价方法	97
3.9	LCA 方法的主要问题及其发展前景	102
4	材料和产品的生态设计	110
4.1	生态设计概论	111
4.2	金属材料的生态设计	122
4.3	无机非金属材料生态设计	127
4.4	有机聚合材料的生态设计	131
4.5	复合材料的生态设计	133
4.6	包装及其材料生态设计	137
4.7	生态产品的设计原则与方法	140
5	金属材料和冶金流程的环境协调化	145

5.1	金属类生态环境材料	145
5.2	钢铁冶金清洁生产的环境协调性	151
5.3	环境协调的铝电解生产技术	166
5.4	镁工业的环境特征	172
5.5	冶金工业废渣的综合利用	176
5.6	再生金属资源利用	184
6	无机非金属类生态环境材料	197
6.1	概述	197
6.2	无机非金属类材料环境负荷与生态化改造的基本原则和对策	200
6.3	环境协调制造技术	207
6.4	长寿命设计	229
6.5	再生循环利用技术	240
6.6	生态化新型无机非金属新材料	245
7	高分子环境材料	267
7.1	高分子材料的环境问题	267
7.2	高分子环境材料	271
7.3	高分子工业中的绿色化学	275
7.4	高分子材料的再生循环	284
7.5	可降解高分子材料	304
7.6	长寿命高分子材料	313
7.7	二氧化碳树脂新材料	317
8	天然资源环境材料	322
8.1	天然矿物环境材料	322
8.2	天然有机高分子材料	331
9	环境治理功能材料与技术	343
9.1	大气污染治理材料与技术	343
9.2	水体污染治理材料与技术	361
9.3	固体废物治理与资源化技术	382
9.4	重金属污染治理材料与技术	386
9.5	噪声污染控制材料与技术	392
9.6	电磁波防护材料	397

1 生态环境材料概述^[1~5]

尽管近年来人类社会已意识到全球环境的恶化,并努力减轻地球环境负荷,但国际社会仍然没有能力控制这一日趋严重的变化。据统计,当今世界在每1秒钟内:人口增加2.4人、化石燃料的CO₂气体排放762t、使空气中CO₂浓度增加250t、空气中的氧减少690t、温度升高0.000 000 000 348℃、热带森林减少6 000m²、中国的沙漠化扩大78m²、主要金属生产量28.6t、伴随主要金属生产的总物质移动203t、世界产品总值增加148万美元。作为人类社会物质基础的材料生产,如何满足人们生活水平不断提高的需求、同时又满足世界环境状况改善的迫切要求?发展生态环境材料,实现材料产业的可持续发展,已成为必由之路。

1.1 材料可持续发展的产物——生态环境材料

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课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”(ecomaterial)的概念,要求材料在满足使用性能要求的同时还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。

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,由日本材料科学家和工程师提出来,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 ecomaterial,由 environmental conscious material 或 ecological material 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”(优化生态环境的)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;ecomaterial 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的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小;

(3) 可再生循环利用、容易回收;

(4) 材料的高使用效率等。

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。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先进的物质文明,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,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 亿吨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 亿吨金属。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。

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。

1.2 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,人类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以拓宽乃至修订补充,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,与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的交叉,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 Ecomaterial)已开过5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10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(如质轻、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,是通过其可靠的机械性能(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。如氯氟甲烷的替代材料、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)、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、并不是排他的新材料体系,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。

1.3 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、每两年一次的生态环境材料国际会议和 1994 年开始、每两年一次的生态平衡国际会议等。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。

1.3.1 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材料生命周期评价(material life cycle assessment, MLCA)数据库和生命周期评价发展促进会(Society for Promotion of Life-cycle Assessment Development, SPOLD)数据交换格式以及评价软件等,由于 MLCA 和材料流分析(materials flow analysis, 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的概念阐述和方法的研究,力图建立一个普遍适用的生命周期评价(life cycle assessment, 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。

1.3.2 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(green purchasing network, GPN),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”,Chevront 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“ECOLOGO”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,如丰田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、松下公司的银合金、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),在先进材料可持续发展中具有重要地位,已在国际上引起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。很多国家政府,包括发达国家和经济高速发展的国家,都十分重视发展这一技术。总部设在日内瓦的零排放研究组织经过研究和实践,认为在生产过程中实施零排放是提高资源效率、改善环境污染的有效措施之一,特别是对材料的再生产,将所有原料充分利用,达到零废物、零排放,是 4 倍因子或 10 倍因子理论的具体实践。该组织已在全世界几十个国家实施了 40 多个研究和示范项目,证明零排放的技术上是可以实现的。

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。开发建筑节能技术也已引起世界各国的普遍关注,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是较先进的技术发展方向。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。用于卫生陶瓷表面的涂层材料,不但具有普通陶瓷表面釉质的一般性能如耐磨、光亮,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,众多的材料科学工作者在研究具有净化环境、防止污染、替代有害物质、减少废弃物、利用自然能、材料的再生循环利用及固体废弃物的资源化等方面做了大量的工作,并已取得了重要进展。如无石棉特种防火材料,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筑材料。

6. 天然资源环境材料

许多天然矿物及其改性产物组成的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。例如可替代石棉的云母矿物材料的研制,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

合成高分子材料带来的“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,比起聚乙烯等传统的

合成树脂,对环境的影响小,以包装材料和食品容器为主,其使用量在逐步增加。目前这类树脂是用玉米等植物发酵后制作的乳酸为原料,其成本仍为聚乙烯等传统合成树脂的数倍,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。

二氧化碳共聚物的应用属世界领先的技术,具有巨大的应用前景。不仅可消除二氧化碳的环境影响,而且由于二氧化碳共聚物可以制成透明薄膜,具有全生物降解性能,焚烧时只产生二氧化碳和水,在医学中的应用具有解决长期困扰医疗行业聚氯乙烯问题的重要前景。目前国外的产品主要用于一次性食品包装薄膜。

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,禁止2008年以后使用铅、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材料的法案。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钨电极材料。

电子器件中的禁铅运动在许多国家和地区已展开,应用非铅基电子陶瓷、无铅焊料、无铅玻璃等材料新体系,免清洗焊料、去除氟里昂清洗工序,降低焊料成本等社会需求和市场呼声日益高涨。IBM、AT&T、Bell、Motorola、 α -Metal、松下、千住金属等大公司和科研机构都积极开展无铅电子产品的研究,力图占据无铅电子产品的世界市场。目前研发的主要有非铅基压电、铁电陶瓷体系和无铅焊料 Sn-Ag-Cu、Sn-Zn-Al 等合金系列。

1.4 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及与之相关的材料生命周期评价(MLCA)和材料流分析(MFA)系统已有所共识,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。在这方面政府起着关键的作用,世界各国政府及地方政府都有不少成功的经验和失败的教训,在未来提高全球的资源效率和环境保护方面,它们的作用日益突出。到目前为止,许多国家制定了有关的法规,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。金融界目前也关注世界资源的效率问题,银行在环境和资源方面的贷款问题上比较主动。另外,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。

1.4.1 关于生态环境材料及其学科的基本问题研究

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。

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、材料及其产业的可持续发展理论等等都属于生态环境材料研究的基础问题。

1.4.2 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、使用直到废弃整个寿命周期或某个环节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,是世界各国研究的热点。但是,国际上关于 LCA 的方法及应用尚有许多局限性,关于 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