

新材料与应用技术丛书

NEW MATERIALS AND APPLIED TECHNOLOGY

环境材料

孙胜龙 编著



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

新材料与应用技术丛书

环 境 材 料

孙胜龙 编著

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境材料 / 孙胜龙编著. — 北京: 化学工业出版社, 2002 5
新材料与应用技术丛书
ISBN 7-5025-3709-0

I. 环… II. 孙… III. 环境科学: 材料科学 IV TB39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 020316 号

新材料与应用技术丛书

环境材料

孙胜龙 编著

责任编辑: 宋向雁 田 桦

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 13¼ 字数 357 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3709-0/X·146

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版者的话

材料是社会技术进步的物质基础与先导。现代高技术的发展，更是紧密依赖于材料的发展。一种新材料的突破，无不孕育着一项新技术的诞生，甚至导致一个领域的技术革命。

新材料是指那些新出现或已在发展中的、具有传统材料所不具备的优异性能和特殊性能的材料。其范围主要是：电子信息、光电、超导材料；生物功能材料；能源材料和生态环境材料；高性能陶瓷材料及新型工程塑料；粉体、纳米、微孔材料和高纯金属及高纯材料；表面技术与涂层和薄膜材料；复合材料；智能材料；新结构功能助剂材料、优异性能的新型结构材料等。

新材料的应用范围非常广泛，发展前景十分广阔。当前，新材料产业已渗透到国民经济、国防建设和人民生活的各个领域，对电子信息、生物技术、航空航天等一大批高新技术产业的发展起着支撑和先导的作用，同时也推动着诸如机械、能源、化工、轻纺等传统产业的制造和产品结构的调整。因此，世界各国对新材料的研究、开发和产业化都给予了高度重视。我国也将新材料列为各重大科技开发和产业化计划重点支持的技术领域，这些计划的实施，已有力地推动了中国新材料产业的发展。

由于新材料是近几十年才快速发展起来的领域，国内这方面的图书较少，为了配合新材料的发展，满足我国广大读者的需要，我社组织国内有关专家编写了《新材料与应用技术丛书》。这套丛书包括以下几个分册：《新型薄膜材料》、《环境材料》、《现代功能材料》、《功能陶瓷材料》、《新型碳材料》、《新型高分子材料》、《绿色建筑材料》、《功能复合材料》、《功能橡胶及橡胶制品》、《储氢材料》、《光电子材料》和《稀土功能材料》等。

丛书力求充分体现“新材料”的特点，选择了一些科技含量

高、未来发展空间大、实现产业化基础较好的且对我国国民经济有重要支撑作用的新材料。内容上以材料性能和应用技术作为重点，具有一定的先进性、技术性和实用性，适当体现前瞻性。我们希望这套丛书的出版对于我国新材料领域的科研生产、应用推广和技术进步起到一些推动作用，从而提高新材料行业的整体发展水平。

化学工业出版社

2002 年 4 月

前 言

材料是社会文明程度的象征，也是人们生产技术和生活水平提高的一个物质基础。当人类文明发展面临瓶颈时，新材料的发明就带动了文明的一次突破。随着人类追求文明程度欲望的增高，也随着地球上人口的增多，人们使用的资源、能量、材料也越来越多，其结果是给环境带来的压力也越来越大，造成的环境污染也越来越严重。如何能很好地使用材料，又不会给环境带来灾难，使之达到可持续发展的目标，这就需要研究环境材料的问题。

“环境材料”研究的是与环境友好相关的材料，环境材料之所以成为环境材料，首先这些材料不论在使用过程中或是在生产这种材料时，都会考虑到节约能源和节约资源的问题。因此，在生产过程中应着重考虑少有污染物排放，尤其尽量减少那些对全球环境至关重要的污染物的排放量，如减少造成温室效应的气体 CO_2 的排放量、与酸雨有关的 SO_2 、 NO_x 的排放量及能够造成臭氧消耗的氟氯烃类 (FCICs) 化合物的排放量等；其次，要使环境材料能够回收，做到循环利用。这意味着两方面的问题，其一是环境材料本身要具有回收循环使用的功能，其次，环境材料在生产、设计过程中必须具有绿色环保的思想，即在材料的生产过程中应考虑到易于拆卸、处理，少用难以分选的材料（如复合材料）及生产工艺等。

从严格的意义上讲，在材料使用过程中，既体现出材料的使用功能，同时又对环境不产生任何负面影响，这几乎是不可能的。环境材料是指那些对环境相对影响较少的材料。这就需要一种评价方法，来评价材料对环境的影响程度。评价材料对环境影响大小的方法目前虽然也有很多种，但每一种方法都有它的局限性，目前还没有哪一种方法是令人十分满意的，仍需要进一步完善。

本书的目的在于比较系统全面地介绍环境材料的类型，如绿色

包装材料、绿色建筑材料、环境净化材料、环境降解材料、环境替代材料、天然岩石矿物材料等，使读者较系统地了解材料在开发、应用、制备、加工、再生等过程中对环境造成了哪些方面的影响，从而达到两个目的，一是自觉地去研究和开发环境材料，二是积极主动地去使用环境材料，从而达到保护环境的目的。如果本书在这些方面能有所作用的话，这将是作者十分欣慰的事情。

有些材料，如新能源材料、纳米材料和某些复合材料，如果单是从制造过程去考察，虽然它们不是严格意义上的环境材料，但它们的确代表着未来环境材料的方向。将来通过工艺改进等，也可变为理想的环境材料，对此，我们也在本书中进行了简单介绍。有些环境材料要想充分发挥其功能作用，是离不开技术与工程的支持的，需要一定的技术作为基础，因此，有些章节结合材料特点，也简要介绍了一些与材料有关的技术与工程特点。

在编写过程中，东北师范大学环境科学系王宁副教授、王海军高级工程师等给予很大支持。另外，也要诚挚地感谢有关的研究生和本科生同学们，他们在材料的收集、整理、校对等多方面都给予了极大的帮助与支持。他们是刘丽丹、李润琴、彭玉丹、叶雅杰、张丽敏、田雨艳、刘红艳、郝苗、边红枫、李恭臣、李娟、毕成良、胡婵娟、蔡浩、李光华和杜加强等。

环境材料是 20 世纪 90 年代新兴的一门学科，其体系还没有完全建立起来，有些内容还很很不成熟，目前仍处于探索阶段，再加上作者学识有限，本书难免有些错误，欢迎广大读者斧正。

作者 2002 年 1 月于东北师范大学

内 容 提 要

环境材料科学是 20 世纪末发展起来的一门新兴学科,它是环境科学与材料科学相互渗透、相互结合的边缘学科。环境问题的最终解决离不开环境材料。本书系统地介绍了当前不同领域中形成的不同环境材料,包括绿色包装材料、环境降解材料、绿色建筑材料、环境净化材料、环境替代材料、微生物环境材料、废弃物利用材料、能源及新能源材料、自然岩石(矿物)材料、仿生保健材料、纳米材料和环境修复材料等。书中对每种环境材料的概念、类型、不同领域中应用的前景、国内外未来发展趋势与动向进行了详细介绍,同时也介绍了环境材料的分类、评价方法以及未来环境材料科学领域研究中的某些重大问题。

本书内容丰富,结构严谨,资料新颖,语言流畅。可作为从事环境、材料、包装、塑料、建筑、化工、生物、能源、医保、岩矿等领域的科技工作者、大(中)专师生的参考书,也可供政府部门管理干部及广大关心环境问题的社会各阶层人员阅读。

目 录

第 1 章 环境、材料与社会	1
1.1 概述	1
1.2 环境材料	4
1.3 环境材料研究中的几个基本关系	9
1.4 环境材料的研究历史	11
1.5 研究环境材料应当注意的几个问题	12
参考文献	13
第 2 章 环境材料评价方法与标准	14
2.1 环境材料的判据	14
2.2 生命周期评价方法	18
2.3 其他评价法	24
2.4 LCA 评价方法与实例	26
2.5 LCA 评价方法的局限性	31
参考文献	33
第 3 章 绿色包装材料	34
3.1 包装与环境概述	34
3.2 绿色包装材料的类型	37
3.3 绿色包装材料发展的新方向	44
3.4 绿色包装材料开发与设计原则	50
3.5 包装材料的法规与政策	54
参考文献	56
第 4 章 环境降解材料	57
4.1 概述	57
4.2 降解塑料的主要类型	59
4.3 塑料降解的机理及制备	66
4.4 降解塑料的应用	71
4.5 淀粉基塑料生产与研究	73

4.6 生物降解性塑料评价方法	78
4.7 存在问题与发展趋势	81
参考文献	83
第5章 绿色建筑材料	84
5.1 概述	84
5.2 常见的传统建材	88
5.3 绿色涂料	98
5.4 新型生态建筑材料	105
5.5 绿色住宅与建筑	119
参考文献	123
第6章 环境净化材料	124
6.1 工业与城市污水、废水处理材料与技术	124
6.2 饮用水净化处理技术与材料	135
6.3 气态污染物去除技术与材料	149
6.4 新型净化材料	157
参考文献	171
第7章 环境替代材料	172
7.1 氟里昂替代品	172
7.2 石棉替代品	176
7.3 含磷洗涤剂替代品	179
7.4 铝合金替代材料	183
参考文献	183
第8章 微生物环境材料	185
8.1 微生物在环境中的应用	185
8.2 微生物处理污水的材料与技术	193
参考文献	199
第9章 废弃材料的利用	200
9.1 排烟脱硫石膏的资源化	201
9.2 低硅尾矿的资源化	202
9.3 废塑料制备绿色建材	204
9.4 废干电池的资源利用技术	205
9.5 废旧家用电器的资源化	208
9.6 煤矸石、粉煤灰、高炉渣的利用	210

9.7 废弃物复合材料的利用	210
9.8 国外垃圾变宝的几种方法	216
参考文献	219
第10章 能源材料	220
10.1 太阳能与材料	220
10.2 其他自然能源	226
10.3 沼气材料与技术	229
10.4 核能材料及核发电	231
10.5 地热能及其利用	235
参考文献	241
第11章 新能源材料	243
11.1 概述	243
11.2 新型二次电池	245
11.3 太阳能电池材料	266
11.4 燃料电池材料	275
11.5 节能绿色照明稀土荧光粉	285
参考文献	286
第12章 自然岩石与矿物材料	287
12.1 麦饭石	287
12.2 矿水	290
12.3 普通陶瓷	295
12.4 玻璃	311
12.5 水泥	313
12.6 石材	316
12.7 复合材料	318
参考文献	321
第13章 仿生保健材料	322
13.1 生态服装	322
13.2 生物医学材料	329
参考文献	342
第14章 纳米材料	343
14.1 概述	343
14.2 纳米材料的制造	344

14.3 纳米材料的应用	346
14.4 目前开发的纳米材料产品	360
14.5 纳米材料的发展方向	364
参考文献	365
第 15 章 环境修复材料	366
15.1 植物对环境的修复作用	366
15.2 非金属矿物对环境的修复作用	376
15.3 其他修复材料与技术	386
参考文献	390
第 16 章 环境材料的发展趋势	391
16.1 合金材料的发展方向	391
16.2 开展绿色化学工业	394
16.3 绿色工艺设计与研究	398
16.4 优先关注的几大类环境材料	408
参考文献	410

第 1 章 环境、材料与社会

材料与能源是推动社会文明进步的车轮，是社会发展的标志。当代社会所使用的材料、能源太多，其结果给环境带来的压力越来越大，对环境造成的污染也越来越严重。如何既能很好地使用材料、能源，又不会给环境带来灾难，这就需要研究环境、材料、社会之间的关系，充分利用环境材料，使人类社会实现永续发展的目的。

1.1 概述

人类社会的进步，总是离不开材料的。材料是国民经济和社会发展的基础和先导，它与能源、信息并行，视为现代高科技的三大支柱。从社会历史发展的角度看，材料是社会文明进步的标志。如人类社会早期依据所用材料的不同，可分为石器时代、青铜器时代、铁器时代等；而到了近代，依据所用材料的不同而又进一步分为半导体材料时代、能源材料时代、高分子材料时代、精陶瓷材料时代、塑料时代、生物材料时代、复合材料时代等。在不远的将来，人们可能很快进入纳米材料时代。因此，社会的发展与进步，都与材料的发展密不可分。可以这样讲，人类的文明进程在某种程度上是由材料所决定的，当人类文明进展面临瓶颈时，新材料的发明就带动了文明的又一次突破。

人类社会发展到今天，世界各国都将可持续发展作为 21 世纪的发展战略。可持续发展是指，既可满足当代人的需要，又不损害后代人需求的发展，就是说，经济建设与人口、资源和环境要协调发展，既能达到发展经济的目的，又能保护人类赖以生存的自然资源和环境，使人类能够连续不断地发展。但是，人口膨胀、资源短缺和环境恶化是当今世界可持续发展所面临的三大主要问题。资源

与能源又是制造材料和推动材料发展的两大支柱，由于材料和能源的不合理开发和利用，直接导致了资源短缺和环境恶化。因此，材料与可持续发展之间的问题已引起世界各国的高度重视。

人们日常所用资源主要来源于地球表层。例如煤、石油、天然气、金属矿石、稀有元素等，它们并不是取之不尽，用之不竭的，现在自然资源正面临着前所未有的危机。1985年，世界有关组织曾经做过一次全球金属矿产资源储量及使用年限预测的调查（见表1-1），其中，用途较广的铁矿储量为153.4亿t，预测使用年限为171年；金属铜储量为3.4亿t，预测使用年限为40年；金属铝储量为21亿t，预测使用年限为238年。即使是那些储量比较丰富的资源最多也不过使用200多年。那么，200多年以后人类又将使用什么呢？据有关资料报道，现在世界上每年金属消耗量有增长的趋势，如1750~1800年为0.192亿t，1800~1850年为1.0亿t，1850~1900年为9亿t，1900~1950年为40亿t。由以上数据可以看出，金属消耗量正在加速增长，但开采的矿石品位却不断下降，如20世纪50年代，铜矿为1.80%，锡矿为1.68%，钨矿为3.0%。20世纪80年代，其品位分别降为0.76%、0.20%和0.25%。到20世纪90年代，铜矿仅为0.2%~0.3%。而对于地壳深处和海洋的资源开发由于技术难度大，人力、物力投入巨大，目前很难获取。

表 1-1 世界主要金属矿物资源储量与预测使用的年限

矿物质	资源/t	预测使用年限	矿物质	资源/t	预测使用年限
Fe	153.4×10^9	171	Pb	95.0×10^6	26
Mn	907.2×10^6	97	Zn	170.0×10^6	26
Ni	52.6×10^6	68	Al	21.0×10^9	238
W	2.8×10^6	60	Sn	3.06×10^6	16
Cu	340.0×10^6	40	Au	39.8×10^3	25

注：以1985年的产量为依据。

对一些矿物能源的调查也不乐观。据美国矿物局和农业局调查，1972年，美国每人所用矿物原材料总量为19.295t，其中非金

属材料为 8.966t, 矿物燃料为 8.081t, 金属 0.6084t, 有机物 0.0272t, 林业产品 1.2485t。如果按此数计算, 全球 50 亿人每年消耗的矿物原材料数量是相当可观的。按照 1992 年的统计 (见表 1-2), 主要能源矿物的可采年限也是极为有限的, 如石油、天然气等仅为几十年, 煤炭只有 200 多年的开采量。

表 1-2 世界矿物能源储量、产量及其开采年限预测

年 限	石 油	天 然 气	煤 炭	铀
确认储量	1368 亿 t	1380000 亿 m ³	10392 亿 t	低品位铀约 139 万 t, 高品位铀约 61 万 t
1992 年产量	6800 万 t	21600 亿 m ³	45.5 亿 t	2.7 万 t (不包括发 展中国家)
按 1992 年需求预 计可开采年限	46	64	219	74
按 2000 年需求预 计可开采年限	25	56		
按 2010 年需求预 计可开采年限	15			

按照 1999 年的统计, 我国的自然资源产量是: 钢铁 1.16 亿 t; 水泥 5.76 亿 t; 煤炭 17 亿 t; 平板玻璃 2.3 亿 t; 有色金属 695 亿 t, 这些资源按总量可以名列世界前茅, 但人均量则远落后于世界平均水平。

虽然材料给人类社会带来了文明与进步, 但在材料的采矿、提取、制造、生产、加工、运输、使用和废弃的过程中, 都要消耗大量的资源和能源, 并排放出大量的废气、废水和废渣, 污染了人类生存环境, 并带来其他环境问题。以 CO₂ 为例, 自 20 世纪 50 年代以来, 其排放量始终处于增长的势态 (见图 1-1), 结果造成了诸如全球气候变暖、臭氧层被破坏、生物物种锐减等全球灾难性问题。

1994 年, 我国工业产生的废弃物排放量见表 1-3, 其中工业固体废弃物 6.17 亿 t, 包括钢铁、废有色金属、废玻璃、废塑料、废橡胶及工业废渣等。工业固体废弃物 (不含乡镇企业) 按部门统计, 其中以采矿、电力、供热、建材和钢铁 5 个工业部门产生的固

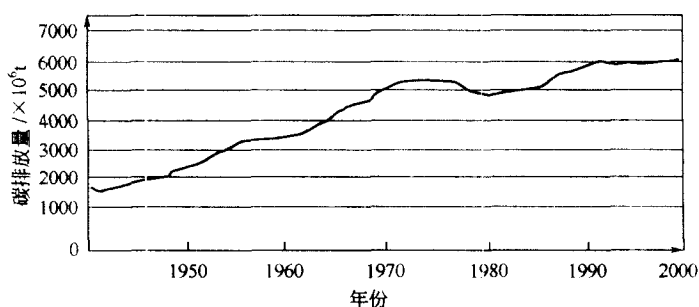


图 1-1 1950~1995 年全世界石化燃气产生的碳排放

体废弃物最多，约占总数的 85%。各种工业固体废弃物的综合利用率约为 41.8%，其余则排放到环境中，直接排入江河湖海的工业固体废物达 691 万 t，占 49.6%。至 1994 年底，工业固体废物排放量已达 64.6 亿 t，这些废弃物占据土地约 5.6 万公顷（表 1-3）。

表 1-3 1994 年全国工业废弃物排放量（不含乡镇企业）

项 目	1993 年	1994 年	比上年增长/%
工业固体废物排放量/亿 t	6.17	6.17	0
工业固体废物综合利用量/亿 t	2.48	2.67	7.76
工业固体废物累计排放量/亿 t	59.66	64.6	8.28
工业固体废物累计占地面积/公顷	52052	55697	7.00
全国废气排放量/亿 m ³	109604	113630	3.67
工业废气排放量/亿 m ³	60041	61800	2.93
燃料燃烧产生的废气量/亿 m ³	93423	97463	4.32
工业 SO ₂ 排放量/万 t	1795	1825	1.67
工业烟气排放量/万 t	1416	1414	-0.14
全国废水排放量/亿 t	355.6	365.3	2.73
工业废水排放量/亿 t	219.6	215.5	-1.82

1.2 环境材料

材料既给人类带来了物质财富并推动了人类文明的进步，但同时在开发与生产新材料过程中消耗大量资源和能源又带给我们环境

污染的负面危害作用，在一定程度上阻止了人类文明的进步，那么，能否找到一种两全其美的方法呢？答案是肯定的，这就是近十几年发展起来的“环境材料”。它是环境科学与材料科学相结合形成的一门新的交叉学科。

日本东京大学以山本良一为首的研究小组在研究了使用的材料与环境之间的关系后，最先提出环境材料的概念，认为环境材料是对环境友好的材料，它不给环境带来太多的负面作用，自此引起许多人的关注。不同的学者从环境角度出发，研究材料的环境问题或材料的环境负荷值及其特征。所谓环境负荷，主要包括资源摄取量、能源消耗量、污染物排放量及其危害、废弃物排放量及其回收、处置的难易程度等因素。

环境材料的倡导者山本良一最早认为，环境材料的概念应该这样理解，它是指那些环境负荷减至最低，再生率增至最大的材料。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材料，或者说是那些直接具有净化环境、修复环境等功能的材料。但是山本良一认为，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害；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等。他也承认环境材料本身是一个不确定的概念，是一个动态和发展的概念。当所有的材料都“环境材料化”了的时候，那么，环境材料这个术语也就完成了它的使命。国内也有不少学者从不同角度讨论了环境材料的概念、特征，也有对此提出异议的。由此看来，目前对环境材料还没有一个确切的定义。

虽然认识上存在不同，但为了促进该学科的研究，还是应该给环境材料一个明确的概念，这样有利于学科的研究与发展，也有利于今后对概念的进一步补充修正，使之更加完善。目前对于环境材料的概念根据大部分人的理解可以概括为：环境材料是指在加工、制造、使用和再生过程中具有最低环境负荷、最大使用功能的人类所需材料。

目前在期刊杂志中关于环境材料的概念也有不同的表达方式，