

SYMPOSIUM PROCEEDINGS OF C-MRS



'97中国材料研讨会论文集

**能源材料，智能材料
和梯度材料新进展**

Advance in Energy Sources Materials,
Intelligent Materials and Gradient Materials

中国材料研究学会

C-MRS

冶金工业出版社

133-13
200
'97 中国材料研讨会论文集

能源材料、智能材料 和梯度材料新进展

**Advance in Energy Sources Materials,
Intelligent Materials and Gradient Materials**

中国材料研究学会(C-MRS)

北 京

冶金工业出版社

1998

图书在版编目(CIP)数据

能源材料、智能材料和梯度材料新进展: '97 中国材料研讨会论文集/中国材料研究学会. - 北京: 冶金工业出版社, 1998.10

ISBN 7-5024-2248-X

I . 能… II . 中… III . 工程材料, 新型 - 研究 - 中国 - 文集
IV . TB3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 18091 号

'97 中国材料研讨会论文集

能源材料、智能材料和梯度材料新进展

出 版 人: 卿启云(北京沙滩高祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

编 者: 中国材料研究学会

责任编辑: 张 卫 易文君

美术编辑: 王耀忠

正文设计: 张 青

责任校对: 王永欣

责任印制: 牛晓波

印 刷: 北京新兴胶印厂

发 行: 冶金工业出版社

经 销: 各地新华书店

版 次: 1998 年 10 月第 1 版

印 次: 1998 年 10 月第 1 次印刷

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 25.25

字 数: 610 千字

册 数: 800

定 价: 50.00

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

'97 中国材料研讨会论文集
编辑委员会

顾 问: 师昌绪 李恒德
主 任: 李成功 吴人洁
副主任: 吴建生 张允什 张联盟 韩雅芳 吴伯群
委 员: (按姓氏笔画)
李成功 吴人洁 吴建生 吴伯群 汪根时
杨大智 张 卫 张允什 张联盟 洪时藏
侯静泳 钟家湘 韩雅芳

前 言

《'97 中国材料研讨会论文集》是中国材料研究学会(C-MRS)组织编写的。能源材料、智能材料和梯度材料是与国民经济和国防建设有密切关系的新型材料,也是材料科学与工程中非常活跃的研究领域,不仅具有重要的理论意义,而且对促进高新技术在材料领域的产业化也具有积极意义。经中国材料研究学会常务理事会决定,1997 年中国材料研讨会以上述内容作为本次年会的主题,以推动我国在该材料领域的科技进步和发展。'97 中国材料研讨会于 1997 年 10 月 27~31 日在上海交通大学举行。

中国工程院副院长师昌绪教授、中国科学院院士徐祖耀教授、南开大学袁华堂教授及美国佛罗里达国际大学吴光熙教授做了大会学术报告。此次大会分能源材料、智能材料和梯度材料三个分会进行学术交流。能源材料包括能源转化与高级储能材料、清洁能源材料、核电材料和各种类型二次电池电极材料;智能材料包括形状记忆合金、电(磁)致伸缩材料、新型阻尼材料、机敏材料的合成与制备;梯度材料涉及热应力和功能、生物渐变功能、光学渐变功能以及热障和热-电变换功能等五个方面。会上交流的论文基本上反映了我国在这些领域的研究水平和现状。本书共收集论文 86 篇,所有论文均按照规定的编审程序和正式出版要求进行了审查。

本书对从事材料开发和研究的科学家、工程技术人员、大专院校师生以及有关领导机关的管理人员均有重要的参考价值。

本书成书时间紧迫,不足之处恳请各界同仁鉴谅并予以指正。

目 录

特邀报告

- 材料与可持续发展..... 师昌绪(3)
形状记忆材料与阻尼材料 徐祖耀(13)

能源材料

- La-Ni-Al 系贮氢材料的结构与性能研究 彭述明 赵鹏骥 姚书久 张小安 罗顺忠(23)
掺杂元素(Fe, Si)对贮氢合金 $M1(Ni-Co-Mn-Ti)_5$ 电化学性能影响 陈立新 雷永泉(28)
Ti-Fe-Ni 系贮氢合金的显微组织与性能 张金龙 平信义 王德双 方守狮 周自强(32)
过渡族溶质元素在钛合金中的最大固溶度 周自强 张金龙 平信义 方守狮 沈建荣(37)
放电温度对 $A(Ni_{3.5}Co_{0.8}Mn_{0.4}Al_{0.3})$ 合金电化学行为的影响 贺维勇 高国忠(41)
贮氢合金表面处理初探 钱德祥 李辛 刘守兴 王耀武(44)
固体氧化物燃料电池阴极材料 $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ 研究 符晓铭 唐春和 唐亚平(49)
氙在某些金属表面的吸附现象的研究 杨本福 曹小华 谈华锦 万竞平 蒋昌勇(56)
辐照考验用 $Gd_2O_3-UO_2$ 芯块的研制 朱树明 邹从沛 邱邦臣 杨静 代胜平 梅晓辉
潘英 高棣华 何长清 江志全 左国平 黎国荣(61)
反应堆控制棒驱动机构 Si_3N_4 滚轮材料的研究 邹红 邹从沛(66)
冲击波作用下 PZT 陶瓷电击穿机制 袁万宗 张林 林其文(70)
 $LaNi_5$ 在制备氙氙玻璃微球靶工艺中的应用 姚书久 张小安 彭述明(75)
锂离子二次电池正极材料 $Li_xMn_2O_4$ 的微波合成及其性能研究 卢祥军 刘韩星 欧阳世翕(79)
锂离子电池阴极材料 $Li_{1+x}Mn_2O_4$ 的合成与特性 崔万秋 杨丽芬(84)
快速凝固含锡 $LaNi_5$ 基贮氢合金电极材料——显微组织及元素分布 刘红 陈廉 佟敏 龙瑞斌 陈德敏 古可成(89)

快速凝固含锡 LaNi ₅ 基贮氢合金电极材料——P-C-T 曲线与热力学函数	佟敏 陈廉 陈德敏 刘红 龙瑞斌 孙文声 杨柯 李依依(94)
快速凝固含锡 LaNi ₅ 基贮氢合金电极材料——晶体结构及吸氢体胀率	陈廉 陈德敏 佟敏 龙瑞斌 刘红 孙文声 杨柯 李依依(98)
纳米多孔电极材料碳气凝胶	张拴勤 王珏 朱基千 周斌 赖珍荃 陈玲燕 桂永胜 郑国珍(105)
作为粘结剂的镍粉含量对储氢电极电化学容量的影响	陈德敏 杨柯 陈廉 张绥生 邓庆洲 刘实 李依依(110)
高效光电转换薄膜的制备与特性研究.....	蔡珣 彭珉 许青川 周平南(113)
还原-扩散法制备 TiNi 系合金及电化学性能研究.....	刘应亮 马敏庄 冯德雄 李柯锐(118)
铝及铝合金在熔融钠中的腐蚀	司鹏程 张荻 王健 李细江 饶雄(120)
锆基 AB ₂ 型 Laves 相贮氢合金电极材料——微组织结构与电极特性	陈廉 佟敏 龙瑞斌 陈德敏 刘红 熊良铨 杨柯 李依依(125)

智能材料

恒温过程中 Ni-50.8% Ti(原子分数)丝的电阻-应变关系研究	吴晓东 吴建生 王征(133)
长期约束弯曲变形下 TiNi 合金记忆效应衰减的影响因素.....	郭锦芳 成玉英 朱明(137)
带有智能属性的摩擦学系统结构设计	徐久军 张会臣 潘新祥 陈非瑕 严立 杨大智(141)
用于智能结构的形状记忆合金丝的综合测试	王征 吴建生 吴晓东(145)
NiTi 基记忆合金中马氏体的组织结构和界面结构.....	郑玉峰 蔡伟 赵连城(150)
铜基形状记忆合金马氏体变体之间的对称联系.....	张建新 郑玉峰 蔡伟 赵连城(155)
时效对 Fe-Mn-Si-Co-Mo 合金的应力诱发马氏体相变与形状记忆效应的影响.....	王中 蔡伟 赵连城(159)
压电陶瓷/形状记忆合金复合膜材料界面结合力研究.....	孟长功 陈非瑕 陈永英 杨大智(163)
形状记忆合金在机敏复合材料中的应用	郑雁军 杨大智 陈非瑕(167)
形状记忆合金的热-机-相变关系的研究进展.....	孙国钧 吴建生(173)
Ni _{62.5} Al _{37.5} 合金热弹性马氏体相变的分子动力学模拟	李斌 张修睦 李依依(177)
离子注入生成 β 型三元 Ni-Fe-Si 硅化物膜的透射电镜研究	董闯 李晓娜 马腾才(182)
Fe-Mn-Si 基合金中的层错几率及对 γ-ε 相变的影响	江伯鸿 漆璇 周伟敏 徐祖耀(186)
Ti ₅₀ Ni ₂₅ Cu ₂₅ 合金相变内耗的研究	石萍 陈非瑕 沈惠敏 杨大智(192)
一种新型 Fe-Mn-Si 系形状记忆合金及其相变的研究	乔志霞 谷南驹(196)

NiTi 形状记忆合金的压缩拟弹性研究	孙宝臣 付华 赵田臣 杜彦良 齐芳娟(200)
Fe-30Mn-6Si 形状记忆合金中热诱发 ϵ 马氏体逆相变的 TEM 原位观察	郭正洪 陈世朴 戎咏华 徐祖耀 洪建明 赵小宁(203)
Fe-30Mn-6Si 形状记忆合金中热诱发 ϵ 马氏体的相变机制	郭正洪 戎咏华 陈世朴 徐祖耀(205)
钛基 B2 形状记忆合金的电子结构与相稳定性关系研究	刘惠军 叶亦英(208)
NiAlMn 高温形状记忆合金的结构稳定性	邹岷 张春玲 刘民治 戴受惠 薛淑娟 彭倩(213)
Fe-Mn-Si 形状记忆合金 ϵ 马氏体应力诱发	张骥华 陈树川 徐祖耀(217)
铁基形状记忆合金与钢异种金属焊接技术研究	齐芳娟 杜彦良 孙宝臣 赵田臣 付华(220)
NiTi 形状记忆合金的耐磨性研究	杜彦良 唐金标 胡东兵 李传玉(223)
NiTi 形状记忆合金的相变与形状记忆效应	文矛 李树河(229)
Sol-Gel 法制备掺 Y 钛酸钡薄膜的 PTC 效应	龚健 符小荣 宋世庚 谭辉 陶明德(231)
TiO ₂ 光催化剂的制备条件对光催化剂活性的影响	孙奉玉 吴鸣 李文钊 李新勇 顾婉贞 王复东(235)
溶胶-凝胶法合成 PTZ 铁电薄膜的研究	刘大格 蔡伟 张洪喜 王中 赵连城(239)
溶胶-凝胶法制备 CdS/TiO ₂ /Pt/Si 薄膜及光催化性能的研究	符小荣 宋世庚 武光明 柴英(243)
硫硒化镉纳米微晶掺杂硅酸盐玻璃的制备和三阶非线性光学性质的研究	向卫东 陈永英 杨大智(247)
压电陶瓷驱动复合材料薄壁腔体的实验研究	陈仁文 陶宝祺 熊克 金江(251)
纳米 InAs 颗粒镶嵌在 SiO ₂ 介质中复合薄膜的光学和电输运性质研究	石建中 朱开贵 向志宏 张立德(255)
压电自适应层合板的形状控制分析	金江 陈勇 陶宝祺(258)
Fe/SiO ₂ 纳米磁性复合粉的制备和结构研究	金燕革 朱力 顾明元(263)
主客体纳米硫化物量子点光电化学特性研究	吴鸣 李文钊 顾婉贞 李新勇 王复东(268)
镶嵌在 SiO ₂ 薄膜中的 InSb 纳米颗粒的制备及其量子限域效应	朱开贵 石建中 张立德(272)
Q-ZnFe ₂ O ₄ /SiO ₂ 量子限域纳米复合材料的合成及表征	李新勇 吴鸣 李文钊 孙奉玉 李纪连(275)
Ti/Al 纳米多层膜的研究	蔡珣 查敏 季益峰 周平南(279)
纳米晶硅/氧化硅复合发光薄膜的研制	林揆训 林璇英 王洪 石旺舟 余楚迎 刘兴胜(283)
过电压抑制材料几个关键问题的研究	李盛涛 刘辅宜 谢峰 李建英(287)
How to Determine the B Values for the Formula: $d = 2\pi(B/\Delta\omega_{T0})^{1/2}$	CHENG Guang-Xu(292)

Pb(Li _{1/4} Fe _{1/4} W _{1/2})O ₃ 弛豫铁电体的结构和性质研究	刘希 周和平 张孝文	(296)
多晶 CdTe 薄胶的光吸收与微结构研究	马忠权 郑毓峰 李冬来 罗兰	(301)
碳纤维复合材料单向层合板智能特性的研究	骆心怡 李顺林 朱晓荣 江念南	(305)
交变力场下 γ -Fe ₂ O ₃ /聚丙烯酸锂复合微粒-硅油 ER 液动态力学行为的研究	李秀错 张留成 金日光	(310)
混价锰氧化物中的材料物理	戴闻 高政祥	(315)
具有温度自诊断特性的混凝土研究	孙明清 李卓球 沈大荣 毛起韬	(320)
一种新型有机高分子 ER 流体的性能研究	杨万忠 冷劲松 刘彦菊 王殿富	(323)
叠层热电材料的设计及其转换效率的计算	沈强 张桂芳 张联盟	(326)
高强度阻尼喷射共沉积 SiC _p 增强 6061AlMMC 的阻尼机制	张迎元 乐永康 高灵清 王灿	(330)

梯度材料

等离子喷涂法制备梯度功能材料的性能评价方法	孟祥军	(341)
激光烧结 Al ₂ O ₃ -Ti 系 FGM 的温度场与热应力场分析	张同俊 李臻熙 李克平 李星国	(345)
梯度薄膜材料设计原则的探讨	杨云志 冉均国 郑昌琼	(350)
夹杂相形状对金属-陶瓷梯度材料热应力的影响	倪爱清 王继辉 袁润章	(354)
等离子喷涂梯度涂层的热应力分析	王继军 潘牧 袁润章	(358)
电子束物理气相沉积涡轮叶片热障涂层	高阳 陈孟成 沈文雁 李建平 师昌绪	(362)
激光熔覆的自生梯度涂层及其组织形成特征	裴宇韬	(367)
CdS/CdTe 薄膜的结构和性能	郑毓峰 马忠权 李冬来 赵彦明 罗兰 贾殿增	(372)
离子注入—直流辉光放电等离子体制备 Ti ₆ Al ₄ V-TiN-TiC 生物梯度材料	冉均国 王红卫 郑昌琼	(377)
微波等离子体制备 DLC/SiC 薄膜梯度材料	曹旻 冉均国 芍立 郑昌琼 王方瑚	(382)
射频辉光放电制备硅/类金刚石生物梯度薄膜的组成和性能的研究	陶佰万 冉均国 尹光福 郑昌琼	(385)
离子束辅助沉积(Ti, Al)N 梯度薄膜的结合强度	谢中维 郭薇 贺小明	(389)

特 邀 报 告

材料与可持续发展

师昌绪

(国家自然科学基金委员会,北京 100083)

可持续发展是指建立节省资源的工业体系及实现清洁生产;提高能源利用效率及开发新能源与再生能源;改进生态环境与持续农业与林业生产;减少环境污染及降低温室效应与提高社会的可持续发展,包括控制生产与改进人口素质。这些都直接或间接地与材料相关。本文重点讨论以下四个方面的内容:

- (1) 要有效地利用自然资源,并重视废物的回收;
- (2) 急需开发材料洁净生产新工艺,减少环境污染;
- (3) 开发基于地球丰富资源材料体系;
- (4) 开发先进材料与先进生产工艺流程是节约资源与减少环境污染的一种主要途径。

1 要有效地利用自然资源,并重视废物的回收

自然资源是材料的重要来源,它主要来源于地球,最后又返回地球。图 1 为一简单的材料循环过程。

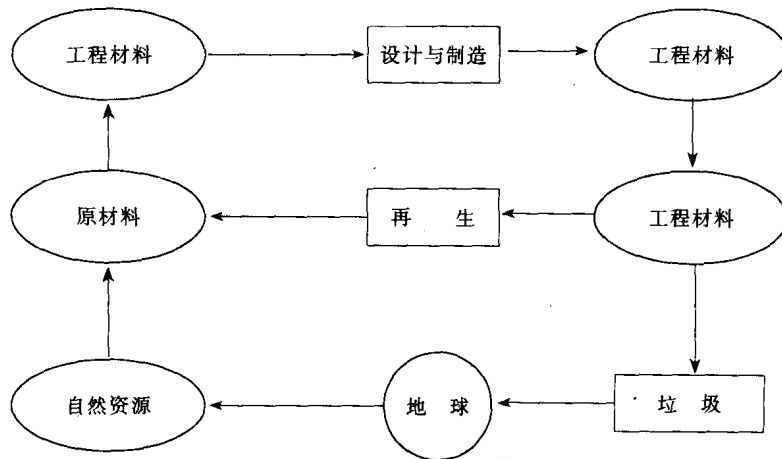


图 1 材料循环全过程简图

矿石资源在地壳中是有限的,以金属资源为例,根据 1985 年的探明储量和当年的消耗计,许多金属能持续的时间只有几十年,如表 1 所示。如果金属年耗量有一定百分数的增加,而矿石 10 倍于现有储量,且有 50% 废金属回收,则可开采的数量有所增加,但多数只在百年左右,最多不过二、三百年,如表 2 所示。

除地表陆上的矿产以外,人们会想到海洋的开发与地球深部开采,但技术难度很大,短期内难以实现。海洋中确实有丰富的资源,表 3 为不同金属溶解在海洋中的数量,可以看出,很多金属溶解在海洋中的含量比地壳矿石还多,但因提取费用过高而不能投入生产。

表 1 世界主要金属资源储量及可开采年限(1985)^[1]

资源名称	储藏形式	储量/t	可开采年数/年
Fe	矿石	153.4×10^9	171
Mn	金属	907.2×10^6	97
Cr	富矿(Cr_2O_3 35% ~ 45%)	1057×10^6	106
Ni	金属	52.6×10^6	68
W	金属	2.8×10^6	60
Mo	金属	5.44×10^6	55
V	金属	4.35×10^6	135
Cu	金属	340×10^6	40
Pb	金属	95×10^6	26
Zn	金属	170×10^6	26
Al	铝矾土	21×10^6	238
Ti	金属	17.2×10^6	53
Sn	金属	3.06×10^6	16
Au	金属	39.8×10^3	25
Pt	金属	31.1×10^3	135
Li	金属	1.9×10^6	487
Nb	金属	4.08×10^6	310
稀土	氧化物	45×10^6	781

表 2 重要金属资源与可开采年限^[2]

金属名称	资源量/t	年增消耗/%	可开采年数(A)/年	可开采年数(B)/年
Fe	1×10^{12}	1.3	109	319
Al	1170×10^6	5.1	35	91
Cu	308×10^6	3.4	24	95
Zn	123×10^6	2.5	18	101
Mo	5.4×10^6	4.0	36	104
Ag	0.2×10^6	1.5	14	117
Cr	775×10^6	2.0	112	256
U	4.9×10^6	10.6	44	-
Ti	147×10^6	2.7	51	152

注:A表示以现有储量计;

B表示假定 10 倍于现有储量,并有 50%回收。

在海洋中有一种更为诱人的金属资源,就是所谓的锰瘤(锰核)(Manganese Nodules)。这种锰核的储量很大(3×10^{12} t),而且在不断增长,仅太平洋锰核中的 Co 和 Ni 就可供世界用几万年。表 4 为锰核中的金属含量,其成分随地理位置不同而有所不同。看来有发展前景,所以有些国家在探索开采途径,但在短期内是难以找到有商品价值的开采方法,甚至有的学者还怀疑海底是否有那么多的锰核。

表 3 在海洋中所溶解的金属储量^[3]

金属元素	每立哩的含量/t	海洋中的总量/t
Mg	6400000	2.1×10^{15}
Sr	38000	12×10^{12}
Li	800	260×10^9
Zn	47	16×10^{19}
Fe	47	16×10^{19}
Al	47	16×10^{19}
Mo	47	16×10^{19}
Sn	14	5×10^9
Cu	14	5×10^9
U	14	5×10^9
Ni	9	3×10^9
V	9	3×10^9
Ti	5	1.5×10^9
Sb	2	800×10^6
Ag	1	500×10^6
W	0.5	150×10^6
Cr	0.2	78×10^6
Th	0.2	78×10^6
Pb	0.1	4×10^6
Au	0.02	6×10^6

表 4 不同洋区中的锰核成分^[4]

金属元素	等级范围/%	平均等级/%		
		太平洋	大西洋	印度洋
Mn	7.9 ~ 50.1	24.2	16.3	15.4
Fe	2.4 ~ 26.6	14.0	17.5	14.5
Co	0.01 ~ 2.3	0.35	0.31	0.25
Ni	0.16 ~ 2.0	0.99	0.42	0.45
Cu	0.03 ~ 1.6	0.53	0.20	0.15
Pb	0.02 ~ 0.36	0.09	0.10	0.07

至于地壳深层开采难度就更大。假定在 21 世纪仍以地壳表层的金属矿为金属的主要来源,资源的有效利用便十分关键。但是从图 2 来看,矿石各阶段的回收率不能令人满意:如在开采阶段(I)只有 70%~95%^[5];而矿物加工过程(II)的回收率也不太高,Zn 40%~95%,Sn 40%~75%,Fe 60%~85%,Cr 60%~75%,因而有 30%~60%的资源没有开采出来或进入了尾矿。因此,资源的潜力是很大的,但是难度很大,而且愈来愈难,因为很多金属的品位本来就不高,而且愈来愈低。以 80 年代美国的标准为例,矿石的最低品位:

金刚石	7×10^{-8} (0.000007%)
金	10^{-5} (0.01%)
锡	3.0%
铀(U_3O_8)	0.2%

铜	0.3%
锰与铜	0.65%
铅	0.9%
铁	31%

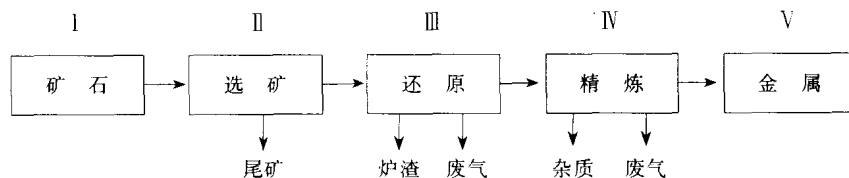


图2 矿石转换为金属的主要流程

矿石的最低品位因地而异,也随时间而变化,如在中国铜矿的平均品位在 20 世纪 50 年代为 1.8%,到 80 年代降至 0.76%,目前 0.2%~0.3%也是可开采的铜矿;锡矿在 50 年代为 1.68%,80 年代降至 0.2%;钨矿则从 3%降到 0.25%^[6]。这说明由于金属矿的过度开采,造成资源加速枯竭。因而从采矿到提炼各个阶段都需要开发更好的流程或方法,提高回收率,降低成本,减少环境污染。近年来,正在开展的微生物浸取法(Bio-leaching)可从低品位矿石或矿渣提取铜便是一例。

废旧材料的回收是节约资源的另一途径,这对资源与能源的节约有十分显著作用。如 1t 废纸可制成 800kg 再生纸,从而可节省 300~450kg 碱,4m³ 木材,512kW·h 电和 250t 水。总的看可减少 75%的废物。对金属材料来说,除了节约资源、减少污染以外,节能也很明显,表 5 是几种再生金属的节能情况。

当前不同材料的再生比例不同,表 6 为美国一些金属和有机高分子材料在 1992 年的生产量和再生比例。可以看出,金属的回收率不高,有机高分子材料的则更低,只有百分之几,多数国家与之相比要高得多,如西欧为 20%~22%,韩国为 32%,印度为 35%~40%。回收率低的主要原因是将其焚烧或掩埋。近年来我国开发了用废塑料生产汽油的工艺,生产出的汽油质量好,成本也不高,可算是消灭废塑料的一个好办法。

表 5 几种普通再生金属的节能情况

材料	从矿石提取金属的能耗/kWh·t ⁻¹	再生金属能耗/kWh·t ⁻¹	节能/%
Al	51379	2000	96
Cu	13532	1726	87
钢铁	6481	1784	74
Pb	7910	3176	60

表 6 美国不同材料的回收比例(1992)

材料	消耗量/Mt	回收比例/%
钢铁	95	27
Al	6.8	28
Pb	1.3	65
Cu	2.8	24

材料	消耗量/Mt	回收比例/%
Sn	0.04	20
Pt	0.0001	54
Ni	0.14	30
W	0.01	35
聚乙烯	9.1	2.5
聚氯乙烯	3.9	0.2
聚丙烯	3.4	3.0
聚苯乙烯	2.22	0.8

为了减少污染,当前一个热门课题是开发可降解塑料(光,生物),这对我国来说尤其重要,因为不能降解的农膜对我国农业可能造成很大的危害。

2 急需开发材料洁净生产新工艺,减少环境污染

材料生产是一个主要的污染源。美国 80 年代后期所产生的工业固体废物 12×10^9 t 中有 0.75×10^9 t 为有害物质(可烯、腐蚀、活性或有毒)。图 3 为一有害废物的分布图^[7],其中 83% 来自化学、石油、煤及塑料产品,这些都直接或间接与材料生产有关,7% 来自金属初级产品,所以接近 90% 的有害固体废物来自原材料的生产。

中国工业固体废物,包括有毒与无毒废物,在 1993 年共约 6.2×10^9 t,大约 95% 堆放在陆面上,共占地 500km^2 ,其中 40km^2 为农田,对我国来说也是一个严重问题。材料生产过程中的气体排放量也是很大的,特别是 CO_2 对温室效应的影响最大,一方面是其量大,另一方面在空中的停留时间较长,如表 7 所示,尽管 CO_2 对温室效应的相对能力比其他气体(如 CH_4 , O_3 , NO_x , 氟化物)小得多。以水泥为例,全世界 1996 年产量约 1.3×10^9 t,每吨水泥所产生的 CO_2 约 $0.8 \sim 1.0$ t,因而一年就产生十亿吨! 钢的生产除产生 CO_2 以外,还有 SO_2 及其他有害物质的排放。

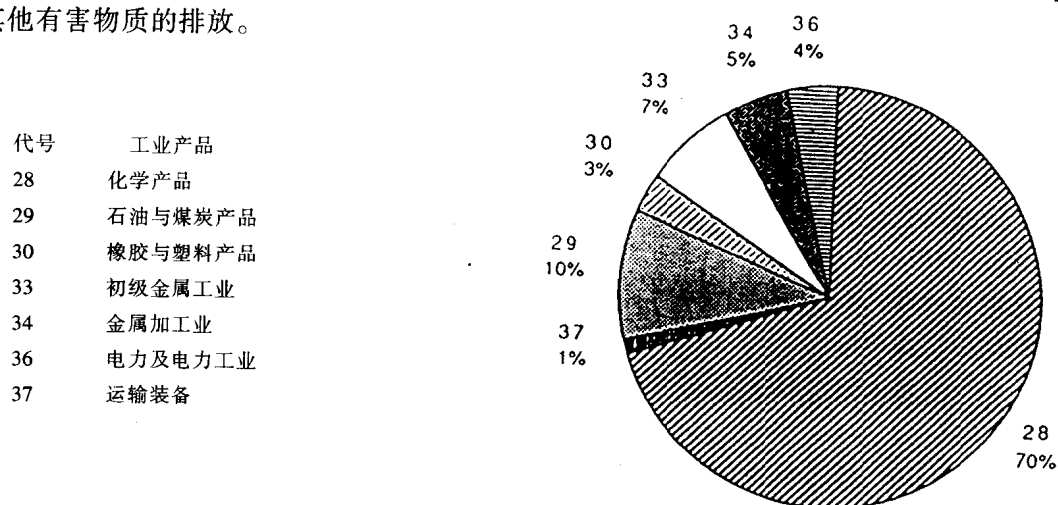


图 3 美国工业有害废物来源分布图

表 7 不同气体对温室效应的影响

造成温室效应气体	持续时间/年	温室效应所占份额/%	温室效应相对值 ^①
CO ₂	50 ~ 200	50	1
CH ₄	10	13	58
O ₃	2 ~ 3	7	1800
N ₂ O	130 ~ 150	5	206
氟化物	65	5	3970

①每单位质量 kg 与 CO₂ 当量。

为了减少环境污染,材料的洁净生产成为当前最重要的手段。洁净生产的含义主要包括以下几方面:

(1) 清洁能源。

- 1) 化石能源的清洁燃烧;
- 2) 开发低污染的新能源如核能、可控聚变能或再生能源如太阳能与水能;
- 3) 能源的有效利用与节能。

(2) 洁净生产流程。

- 1) 少排放或无排放,自循环生产流程;
- 2) 高效率和高安全;
- 3) 无毒排放或无毒副产品。

(3) 洁净产品。

- 1) 最少的原材料及能量消耗;
- 2) 容易回收、再生及再循环;
- 3) 令人满意的性能和适当的寿命。

为了实现洁净生产,首先要解决存在的技术问题;其次是管理与人员培训。通过高效、高收益与产品质量的改进以加强市场竞争能力。最重要的是洁净生产为人类提高生活质量、延长生存期提供了一个最佳途径。

3 开发基于地球丰富资源材料体系

根据以上分析,可以认为在地壳的金属资源是有限的,有些金属在 21 世纪内可能会枯竭,所以应探索基于地表丰富资源材料体系。对功能材料来说,由于功能器件的小型化与多功能化,材料的消耗少,资源问题似乎不像结构材料那样关键,因而本文所谈材料体系主要指的是结构材料。

表 8 为地壳的元素组成,可以看出,对金属元素来说,在铝、铁之后,镁的储量位于第三位,它主要以白云石(MgCO₃·CaCO₃)及菱镁矿(MgCO₃)等形式存在。在海水中更有大量的镁(MgCl₂)存在,其含量为 0.14%,相当于每立方公里有 1.4 × 10⁶t 镁金属,可以说是一种取之不尽用之不竭的金属资源。但是,镁的用途至今仍不很广泛,1984 年全世界镁的用量为 2.2 × 10⁵t,而其中一半以上为铝合金的组成元素。镁的最大特点是密度低(1.74g/cm³),在结构金属材料中是最轻的。但熔点不太高(649℃),不能用于高温(≤300℃),且抗