

材料科学与技术丛书

R. W. 卡恩 P. 哈森 E. J. 克雷默 主编

(第8卷)

非铁合金的 结构与性能

〔德〕K. H. 马图哈 主编

科学出版社



材料科学与技术丛书(第8卷)

R. W. 卡恩 P. 哈森 E. J. 克雷默 主编

非铁合金的结构与性能

〔德〕K. H. 马图哈 主编

丁道云 等 译

科学出版社

1999

图字：01-97-1619 号

图书在版编目(CIP)数据

非铁合金的结构与性能 第8卷/[德]K. H. 马图哈主编;
丁道云等译. -北京:科学出版社,1999.7
(材料科学与技术丛书:第8卷)
ISBN 7-03-007116-6

I. 非… I. ①马… ②丁… III. ①非铁金属合金-相结构
②非铁金属合金-性能 N. TG146

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 32966 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1999年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1999年8月第一次印刷 印张:50 1/2

印数:1—3 000 字数:110 000

定价:111.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

Materials science and technology: a comprehensive treatment/
ed. by R. W. Cahn . . . - Weinheim; New York; Basel;
Cambridge; Tokyo; VCH.

Vol. 8. Structure and properties of nonferrous alloys. -1996

Structure and properties of nonferrous alloys/Vol. ed. : Karl
Heinz Matucha. - Weinheim; New York; Basel; Cambridge;
Tokyo; VCH. 1996
(Materials science and technology; Vol. 8)

© VCH Verlagsgesellschaft mbH. D-69451 Weinheim (Federal Republic of Germany),
1996

《材料科学与技术》丛书 中文版编委会

主编

师昌绪 国家自然科学基金委员会
柯俊 北京科技大学
R. W. 卡恩 英国剑桥大学

成员 (以姓氏笔画为序)

丁道云 中南工业大学
干福熹 中国科学院上海光机研究所
叶恒强 中国科学院金属研究所
刘嘉禾 北京钢铁研究总院
朱逢吾 北京科技大学
朱鹤孙 北京理工大学
吴人洁 上海交通大学
闵乃本 南京大学
周邦新 中国核动力研究设计院
柯伟 中国科学院金属腐蚀与防护研究所
施良和 中国科学院化学研究所
郭景坤 中国科学院上海硅酸盐研究所
徐僊 四川大学
徐元森 中国科学院上海冶金研究所
黄勇 清华大学
屠海令 北京有色金属研究总院
雷廷权 哈尔滨工业大学
詹文山 中国科学院物理研究所
颜鸣皋 北京航空材料研究院

总 译 序

20 世纪 80 年代末,英国剑桥大学的 R.W. 卡恩教授、德国哥丁根大学的 P. 哈森教授和美国康乃尔大学的 E.J. 克雷默教授共同主编了《材料科学与技术》(Materials Science and Technology)丛书。该丛书是自美国麻省理工学院于 80 年代中期编写的《材料科学与工程百科全书》(Encyclopedia of Materials Science and Engineering)问世以来的又一部有关材料科学和技术方面的巨著。该丛书全面系统地论述了材料的形成机理、生产工艺及国际公认的科研成果,既深刻阐述了有关的基础理论,具有很高的学术水平,又密切结合生产实际,实用价值较强。

该丛书共 19 卷(23 分册),分三大部分:第 1~6 卷主要阐述材料科学的基础理论;第 7~14 卷重点介绍材料的基本性能及实际应用;第 15~19 卷则着重论述材料的最新加工方法和工艺。

该丛书覆盖了现代材料科学的各个领域,系统而深入地对材料科学和技术的各个方面进行了精辟的论述,并附以大量图表加以说明,使其内容更加全面、翔实,论述也比较严谨、简洁。

有 400 余名国际知名学者、相关领域的学术带头人主持或参加了该丛书的撰写工作,从而使该丛书具有很高的权威性和知名度。

该丛书各卷都附有大量参考文献,从而为科技工作者进一步深入探讨提供了便利。

随着我国科学技术的飞速发展,我国从事与材料有关研究的科技人员约占全部科技人员的 1/3,国内现有的有关材料科学方面的著作远远满足不了广大科技人员的需求。因此,把该丛书译成中文出版,不但适应我国国情,可以满足广大科技人员的需要,而且必将促进我国材料科学技术的发展。

基于此,几年前我们就倡议购买该丛书的版权。科学出版社与德国 VCH 出版社经过谈判,于 1996 年 10 月达成协议,该丛书的中文版由科学出版社独家出版。

为使该丛书中文版尽快与广大读者见面,我们成立了以师昌绪、柯俊、R.W. 卡恩为主编,各分卷主编为编委的中文版编委会。为保证翻译质量,各卷均由国内在本领域学术造诣较深的教授或研究员主持有关内容的翻译与审核工作。

本丛书的出版与中国科学院郭传杰研究员的帮助和支持是分不开的,他作为长期从事材料科学研究的学者,十分理解出版本丛书的重大意义,购买本

丛书版权的经费问题就是在他的大力协助下解决的，特此对他表示感谢。另外，本丛书中文版的翻译稿酬由各卷主编自筹，或出自有关课题组和单位，我们对他们给予的支持和帮助表示衷心的感谢。

我们还要感谢中国科学院外籍院士、英国皇家学会会员 R. W. 卡恩教授，他以对中国人民的诚挚友谊和对我国材料科学发展的深切关怀，为达成版权协议做出了很大努力。

材料是国民经济发展、国力增强的重要基础，它关系着民族复兴的大业。最近几年，我国传统材料的技术改造，以及新型材料的研究正在蓬勃展开。为适应这一形势，国内科技界尽管编著出版了不少材料科学技术方面的丛书、工具书等，有的已具有较高水平，但由于这一领域的广泛性和迅速发展，这些努力还是不能满足科技工作者进一步提高的迫切要求，以及我国生产和研究工作的需要。他山之石，可以攻玉。在我国造诣较深的学者的共同努力下，众煦漂山，集腋成裘，将这套代表当代科技发展水平的大型丛书译成中文。我们相信，本丛书的出版，必将得到我国广大材料科技工作者的热烈欢迎。

为了使本丛书尽快问世，原著插图中的英文说明一律未译，各卷索引仍引用原著的页码，这些页码大致标注在与译文相应的位置上，以备核查。

由于本丛书内容丰富，涉及多门学科，加之受时间所限，故译文中难免存在疏漏及不足之处，请读者指正。

师昌绪

柯俊

1998年3月于北京

田7. 非能△金の結晶化状態

• v •

丛书序

材料是多种多样的,如金属、陶瓷、电子材料、塑料和复合材料,它们在制备和使用过程中的许多概念、现象和转变都惊人地相似。诸如相变机理、缺陷行为、平衡热力学、扩散、流动和断裂机理、界面的精细结构与行为、晶体和玻璃的结构以及它们之间的关系、不同类型材料中的电子的迁移与禁锢、原子聚集体的统计力学或磁自旋等的概念,不仅用来说明最早研究过的单个材料的行为,而且也用来说明初看起来毫不相干的其它材料的行为。

正是由于各材料之间相互有机联系而诞生的材料科学,现在已成为一门独立的学科以及各组成学科的聚集体。这本新的丛书就是企图阐明这一新学科的现状,定义它的性质和范围,以及对它的主要组成论题提供一个综合的概述。

材料技术(有时称材料工程)更注重实际。材料技术与材料科学相互补充,主要论及材料的工艺。目前,它已变成一门极复杂的技艺,特别是对新的学科诸如半导体、聚合物和先进陶瓷(事实上对古老的材料)也是如此。于是读者会发现,现代钢铁的冶炼与工艺已远超越古老的经验操作了。

当然,其它的书籍中也会论及这些题目,它们往往来自百科全书、年报、专题文章和期刊的个别评论之中。这些内容主要是供专家(或想成为专家的人)阅读。我们的目的并非是贬低同行们在材料科学与技术方面的这些资料,而是想创立自己的丛书,以便放在手边经常参考或系统阅读;同时我们尽力加快出版,以保证先出的几卷与后出的几卷在时效方面有所衔接。个别的章节是较之百科全书和综述文章讨论得更为详细,而较之专题文章为简略。

本丛书直接面向的广大读者,不仅包括材料科学工作者和工程师,而且也针对活跃在其它学科诸如固体物理、固体化学、冶金学、建筑工程、电气工程和电子学、能源技术、聚合物科学与工程的人们。

本丛书的分类主要基于材料的类型和工艺模式,有些卷着眼于应用(核材料、生物材料),有些卷则偏重于性能(相变、表征、塑性变形和断裂)。有些题材的不同方面有时会被安排在两卷或多卷中,而有些题材则集中于一专卷中(如有关腐蚀的论述就是编在第7卷的一章中,有关粘结的论述则是编在第12卷的一章中)。编者特别注意卷内与卷间的相互引证。作为一个整体,本丛书完成时将刊出一卷累积的索引,以便查阅。

我们非常感谢 VCH 出版社的编辑和生产人员,他们为收集资料并最后出

书,对这样繁重的任务作出了大量而又高效的贡献。对编辑方的 Peter Gregory 博士和 Deborah Hollis 博士、生产方的 Hans-Jochen Schmitt 经济学工程师表示我们的特别谢意。我们亦感谢 VCH 出版社的经理们对我们的信任和坚定的支持。

R. W. 卡恩 (Cambridge)

P. 哈森 (Göttingen)

E. J. 克雷默 (Ithaca)

我们的朋友和主编 P. 哈森教授,在今年五月份生病,并于 10 月 18 日在哥丁根 (Göttingen) 逝世,时年 66 岁。直到临终的最后一段时间,由于意志的驱使和对科学的热爱,他一直从事与我们合作的事业和参与有关的编辑工作。他的逝世对他的深为他热爱的家庭,他的同事们,他的教会,以及对全世界与他有密切联系的、从事金属物理和物理冶金方面研究的同行们是巨大的损失。

哈森博士为哥丁根大学的金属物理教授逾 30 年,直到近来退休,他的名字传遍了大西洋两岸。在他的祖国,他智慧的箴言,在公众界和学生间将会留下巨大的影响。他是《金属材料杂志》(Zeitschrift für Metallkunde) 的编辑,曾是哥丁根艺术与科学院 (Göttingen Academy of Arts and Sciences) 主席,Deutsche Gesellschaft für Metallkunde 理事会的中心人物,欧洲科学院院士,美国工程院院士。

1986 年,他首先倡议而最终导致出版《材料科学与技术》丛书前 18 卷,他亲自编著的关于相变方面的第 5 卷《材料的相变》于 1991 年出版,并获赞誉。我们感谢他对这一伟大事业的贡献,并以成功地完成这一事业作为对他的纪念。

R. W. 卡恩 (Cambridge)

E. J. 克雷默 (Ithaca)

1993 年 10 月

前 言

尽管与铁和钢相比,非铁金属的消耗量较小,但非铁金属及其合金在我们生活中的几乎所有方面都起着重要的作用。缘于它们的本性以及用本丛书其它几卷中描述的方法可以改变它们的某些性能,非铁金属得到了广泛的应用。

这一卷讨论了一些重要的非铁金属的结构和性能以及主要的应用领域。这些金属涉及到人类发展史上首次使用的那些金属材料 and 新的材料种类,即金属间化合物,后者是当今世界范围内研究与发展主题之一。

本书覆盖以下的论题:

- 应用的主要领域,以及可能的定量信息;
- 应用技术的要求;
- 用材料科学与技术的基本原理来满足材料要求的方法,即描述怎样将力学原理(例如见本丛书6卷)和加工规律(本丛书15卷)应用于具体的材料以达到预期的性能;
- 详细描述一些重要合金或合金系列及其应用;
- 应用指南,包括重复利用以及与其它材料竞争的问题。

在这一意义上,填补了标准的物理冶金教科书与具体金属的专题论文间的鸿沟。因此,本卷不仅会引起学生、高等院校的教师以及材料生产者的兴趣,而且它也能成为那些为特定应用而选择材料的工程师们的指南。

因为在一册书中具体地论述所有的非铁金属几乎是不可能的,所以我们必须有所选择。选择不仅基于就使用量而言特定金属所具有的重要性,且基于重要的实践性能,即决定应用范围的特性。

章节的顺序不是按不同金属的产量及消耗量水平来确定的。相反地,金属的熔点才是标准,因为熔点决定了金属的某些性质。总的说来,硬度和弹性模量随熔点升高而增大,而线膨胀系数减小。

除了金属的技术方面的问题外,考虑一些经济方面的问题也是有价值的。因此,在可得到的统计材料的基础上,在前言中谈到了自1978年以来一些重要非铁金属的生产、消耗以及废料再生的进展。对过去的这些研究可用来导出一些涉及非铁金属未来的结论。

在大量非铁金属的结构、性能和应用方面的信息群以外,读者会有兴趣知道不同作者是怎样不同地对待“他们的”金属的。对我而言,编辑此卷的另一引人之处也在于此。

最后,感谢作者们的贡献,感谢他们的宽容与谦逊。同时要感谢我学术上

的导师、已故的哈森教授和卡恩教授的鼓励和指导。与哈森教授合作对我而言
实属快事，感谢他的教导。

K. H. 马图哈
Frankfurt, 1995 年 7 月

目 录

0	前言:非铁金属的一些经济见解	(1)
1	锡	(23)
2	铅合金	(64)
3	锌	(82)
4	镁基合金	(101)
5	铝基合金	(190)
6	铜基合金	(246)
7	镍基合金	(310)
8	钛、锆及铪	(351)
9	贵金属及其合金	(413)
10	难熔金属及其合金	(518)
11	金属间化合物	(565)
	索引	(705)

0 前言:非铁金属的一些经济见解

Karl Heinz Matucha

Metallgesellschaft AG, Frankfurt am Main, Germany

(丁道云 译)

目 录

0.1 冶炼产品	2
0.2 消耗与废料回收	3
0.3 选择金属的详细思考	5
0.3.1 铝	5
0.3.2 铜	9
0.3.3 锌	13
0.3.4 铅	15
0.4 产量和消耗量变化的原因	16
0.5 废料回收和再利用	19
0.6 非铁金属的未来	20
0.7 参考文献	22

符号与缩语表

p_{μ}	利用潜力
x	重复利用比率

0.1 冶炼产品

铁和某些非铁金属的冶炼产品在 1880 年到 1980 年之间总的来说产量都呈增加趋势 (图 0-1)。然而值得注意的是,铁的产量比图 0-1 中的所有的非铁金属的总产量还要大得多。非铁金属中,镍、铝、镁和钛的产量增长率最高 (Matucha 和 Wincierz, 1986)。尽管高合金钢和超合金的研究及生产开发导致了镍的需求不断增长,而低密度金属 (铝、镁、钛) 的日益增长的重要性是基于它们的特性。自 1960 年以来,铝成为最重要的非铁金属,其次分别是铜、锌和铅。

除了技术上的原因外,世界范围内的生产、加工和消耗也取决于总的经济形势。因此,几乎所有金属的冶炼产量在 1928 年到 1933 年间都有所下降。另一方面来讲,二战结束时,冶炼产量也有下降,尤其是铁、铝和镁的产量。随后,年复一年产量又高速上升。

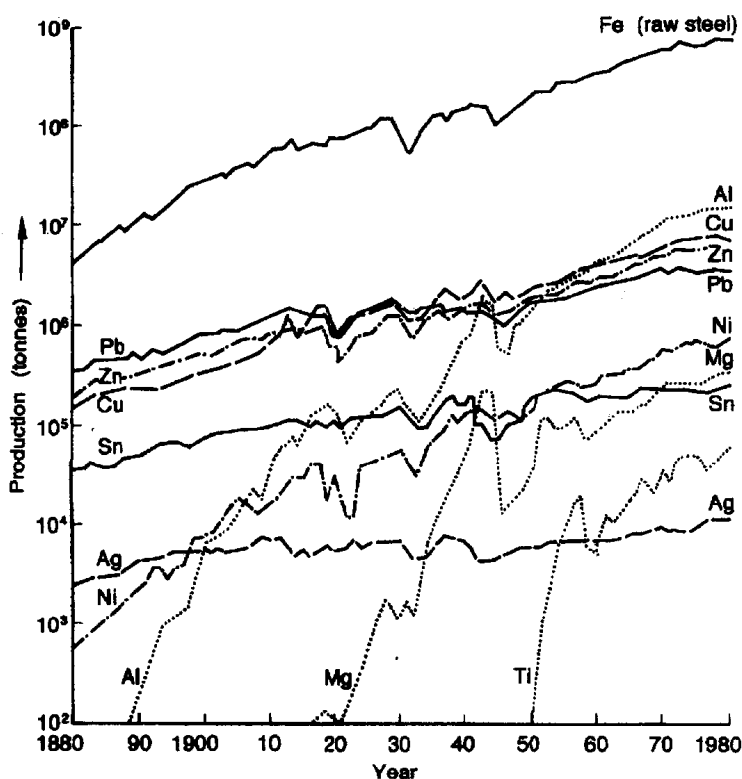


图 0-1 1880 年至 1980 年全世界重要金属的冶炼产量
(Matucha 和 Wincierz, 1986)

不受波动的总体经济形势的制约,在近 30 年来,冶炼金属产量的年平均增长率呈下降趋势。1971 年至 1980 年间的年增长率就低于上一个 10 年 (Matucha 和 Wincierz, 1986)。1981 年至 1990 年也呈同样趋势 (表 0-1)。铝、铜、铅、锌、锡和镍的年增长率有相当

1) 为原著页码,仅供参考。——译者注

的下降,导致了铅与锡的“负”增长。

表 0-1 中给出的数据是世界平均值。为了得到一个详细的结论,我们还需了解实际每年的冶炼产量 (Metallgesellschaft, 1989, 1994)。1978 年至 1993 年间铝、铜、锌、铅、镍、锡和镁的产量被总结在图 0-2 中。20 世纪 80 年代初的经济不景气导致了铝、铜、锌、镍和镁冶炼产量的下降,而锡与铅的冶炼产量同时期却相对持平。1982 年以后,冶炼产量有了总体上的上升。自 1989 年以来,铝、铜和锡的产量有少量增加,而镍和镁的产量则略有下降。

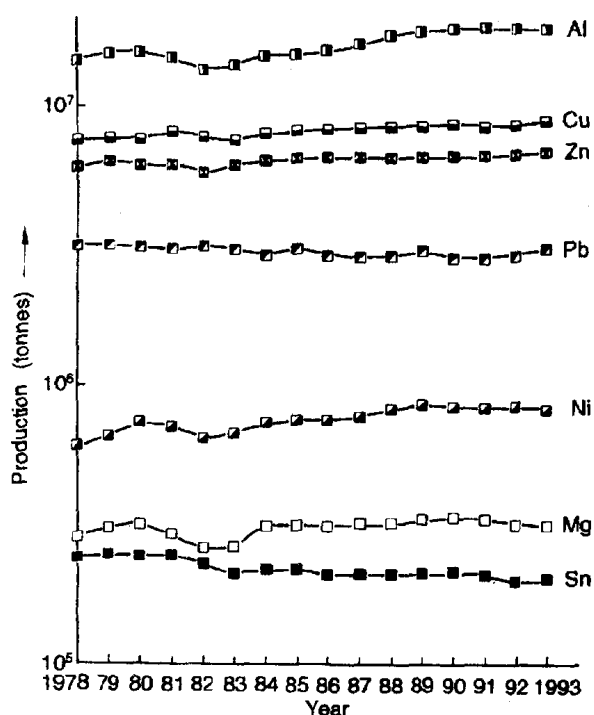


图 0-2 从 1978 年至 1993 年一些重要非铁金属的冶炼产量(世界范围)

表 0-1 消耗、冶炼产量和废料回收的年增长率(发达国家)

	1961— 1971	1971— 1981	1981— 1991
Al: 消耗	+13.2	+4.7	+2.8
冶炼产量	+13.9	+4.5	+1.7
废料回收	+13.3	+8.8	+4.5
Cu: 消耗	+4.1	+3.6	+1.0
冶炼产量	+4.4	+2.8	+0.9
废料回收	+4.2	+1.8	+2.5
Pb: 消耗	+4.4	+3.5	+0.3
冶炼产量	+4.1	+0.5	-0.7
废料回收	+2.7	+6.3	+2.1
Zn: 消耗	+5.5	+2.3	+1.2
冶炼产量	+4.9	+2.6	+1.5
废料回收	+2.5	+5.9	+0.9
Ni: 消耗	+6.1	+2.6	+2.4
冶炼产量	+7.0	+1.6	+2.0
废料回收	n. k. ^a	n. k. ^a	n. k. ^a
Mg: 消耗	+8.3	+1.5	+1.9
冶炼产量	+11.8	+3.1	+1.6
废料回收	+7.7	+22.2	+0.07
Sn: 消耗	+2.0	-1.3	+0.5
冶炼产量	+2.0	+0.3	-0.9
废料回收	-1.4	-1.0	-0.8

a. n. k. : 未知。

0.2 消耗与废料回收

• p. 4 •

如表 0-1 所示,在 1961 年至 1971 年间,非铁金属的总消耗量达到了最高的年增长率。1971 年至 1981 年间,增长率总的来说有所下降,并呈现出金属之间有可观的差别。只有西方国家的金属废料回收是有据可查的。表 0-1 中所示的数据表明,金属废料回收率除了锡以外一直在增加。要注意到在近 10 年间(1981—1990 年),铝、铜和铅废料回收的年增长率超过了冶炼产量的增长率。

自 1978 年以来,铝、铜、铅、镍和镁的总消耗量列于图 0-3 中,同时还列出了粗锌和锡的消耗量。与图 0-2 比较,表明消耗量是随着产量的增长而上升的。所有的例子都说明消耗量超过了冶炼产量。其中差距最大的是铅,其次是铜和铝。图 0-4 所示的废料回收量指出,自从 1984 年以来,铝的回收有高的增长速率。下面我们要谈到这种现象的原因以及其它对废料回收有影响的因素。

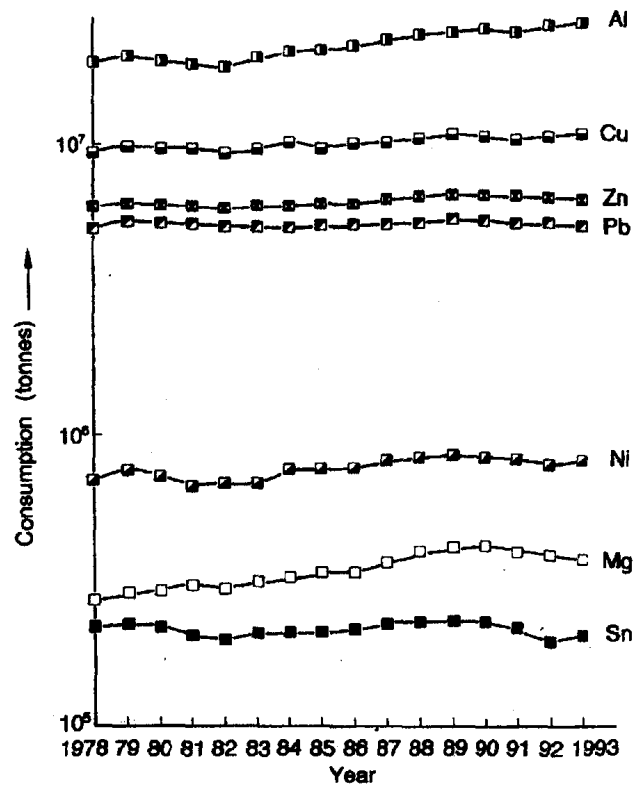


图 0-3 从 1978 年至 1993 年重要非铁金属的总消耗量

• p. 5 •

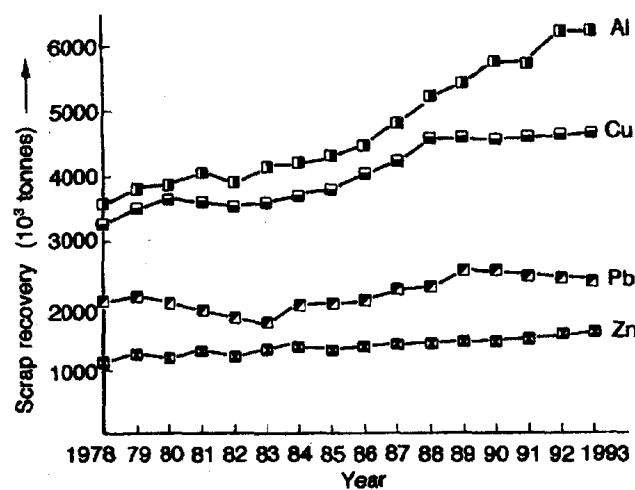


图 0-4 自 1978 年以来发达国家铝、铜、铅和锌的废料回收 (Metallgesellschaft, 1989, 1994)

• 4 •