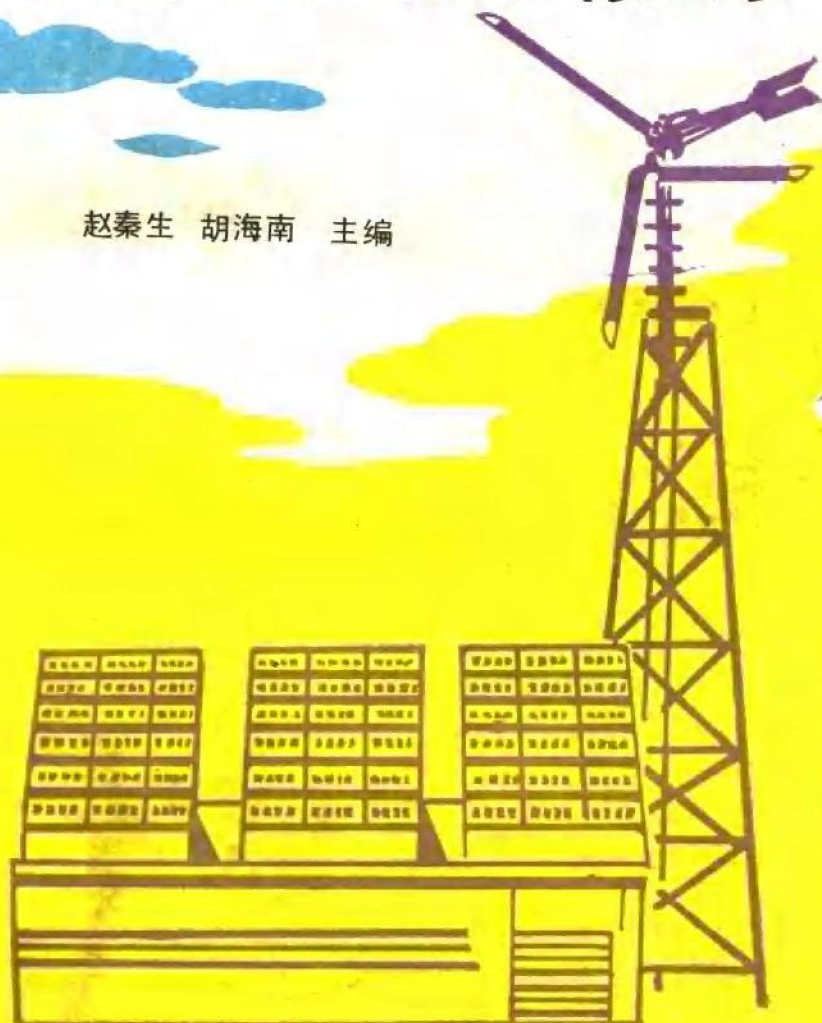


新材料与新能源

赵秦生 胡海南 主编



轻工业出版社

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了当代科学技术和世界文明发展的两大支柱——新材料与新能源的基本概貌、技术现状、开发利用及发展前景。第一篇包括新型金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料等四章；第二篇包括太阳能、地热能、生物质能、海洋能、风能和氢能等六章。

本书内容丰富、取材新颖、深入浅出、通俗易懂，可供各级技术管理干部及具有中等文化程度的生产人员和广大群众阅读，也可供有关院校、科研设计单位的技术人员参考。

新 材 料 与 新 能 源

赵秦生 胡海南 主编

*

轻工业出版社出版

(北京广安门南滨河路25号)

湖南日报附属印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092毫米1/32 印张：17 16/32 字数：390千字

1987年7月 第一版第一次印刷

印数：1—8,000 定价：3.50元

统一书号：15042·2262

ISBN7—5019—0034—5/N·005

《新材料与新能源》

作者（按章节先后为序）

刘让苏	王者生	于风云
张纬斌	谭树松	王明豪
官泽斌	易敏瑜	肖爱英
赵秦生	肖著珏	李玉书
陈行琦	王兴业	雷燕波
魏 群	陈福星	胡海南
邓继良		

统编定稿

赵秦生 胡海南

前 言

材料和能源是现代文明的两大支柱。

材料是人类社会进化的重要里程碑，它是一切物质生产和日常生活不可缺少的要素。一种新材料的出现，有时会引起生产工具和生产方式的变革，从而带来生产力的巨大发展。

能源是人类赖以生活和生产的重要资源。它的开发和利用情况是衡量一个时代、一个国家的科学技术和经济发展水平的重要标志。能源历史上一次又一次的重大突破，实际也就是人类社会发 展进程中的一个又一个里程碑。

为了帮助广大读者了解当今世界正在开发的新材料与新能源，我们组织编写了这本书。本书以技术性科普读物的形式，比较系统、广泛地介绍这两大领域的技术水平现状和发展动态，目的在于引起材料、能源界的重视。如果本书能对广大科技工作者增加知识，扩大视野，开拓思路有所裨益的话，那就算未负我们的心愿。另外，本书对于领导决策部门确定长远规划，选择产业方向，决定科研新产品项目，也有一定参考作用。

在编写本书过程中，得到了唐羽章、杜海清、杨祝华和陈存中四位教授及崔炳燊、方俊人两位高级工程师的热心支持，他们为本书审阅了其中部分章节，在此谨向他们致以衷心的感谢。

再有，本书在组稿撰写、审稿改稿和定稿的两年中，始

终得到木梓和于宇两位同志的关心和指导，本书能与读者见面，是与他们大力帮助分不开的，编者谨向他们致以衷心感谢。

本书虽经多次易稿，但因涉及面太广，加之材料、能源技术日新月异，科研成果层出不穷，因此难免出现错误或不足，恳请批评指正。

编著者

目 录

第一篇 新材料

第一章 新型金属材料

- 1.1 非晶态金属——金属王国的佼佼者…………… (4)
- 1.2 超塑性合金——口香糖似的金属…………… (31)
- 1.3 超高温合金——结构合金的精髓…………… (46)
- 1.4 形状记忆合金——能恢复原状的合金…………… (63)
- 1.5 贮氢合金——贮存氢气的金属仓库…………… (72)
- 1.6 超导材料——电阻为零的世界…………… (84)
- 1.7 减振合金——敲打不响的合金…………… (111)
- 1.8 超微粉——黑如烟灰的多功能金属…………… (130)

第二章 新型无机非金属材料

- 2.1 材料世界中一支令人瞩目的生力军…………… (143)
- 2.2 耐热、高强、高硬的结构材料…………… (147)
- 2.3 取其特殊性能的功能材料…………… (168)
- 2.4 展望…………… (200)

第三章 新型高分子材料

- 3.1 为人类带来福音的生理材料…………… (205)
- 3.2 奇妙的生物膜暨人工膜…………… (217)
- 3.3 神通广大的功能高分子材料…………… (224)
- 3.4 与钢铁并重的工程塑料…………… (242)

3.5 其它高分子材料的新进展.....	(252)
----------------------	-------

第四章 复合材料

4.1 什么是复合材料.....	(264)
4.2 复合材料族谱.....	(269)
4.3 当前常用的原材料.....	(279)
4.4 多种多样的成型工艺.....	(295)
4.5 复合材料的广泛应用.....	(311)

第二篇 新能源

第一章 用之不竭的金色能源——太阳能

1.1 人类生命活动的源泉.....	(323)
1.2 太阳能的收集——集热器.....	(329)
1.3 初显威力的太阳能热水器.....	(343)
1.4 前景诱人的太阳池.....	(349)
1.5 太阳能在建筑中的热利用.....	(360)
1.6 太阳能热发电.....	(368)
1.7 人类未来的主要动力——太阳能光电系统.....	(377)

第二章 地球内部的巨大能源库——地热能

2.1 什么是地热能.....	(387)
2.2 地热能的开发利用历史.....	(390)
2.3 地热发电.....	(393)
2.4 地热能的直接利用.....	(404)
2.5 地热能的发展与未来.....	(411)

第三章 绿色的能源——生物质能

3.1 以沼气为代表的生物质能源.....	(421)
3.2 沼气发酵过程的三个阶段.....	(424)

3.3 沼气发酵微生物·····	(426)
3.4 沼气发酵的工艺·····	(434)
3.5 沼气发酵的操作·····	(443)
3.6 沼气池(沼气发酵装置)·····	(446)
3.7 沼气利用技术·····	(449)

第四章 蓝色的能源——海洋能

4.1 海洋能及其利用概况·····	(456)
4.2 潮汐能·····	(458)
4.3 波浪能·····	(462)
4.4 海流能·····	(470)
4.5 海水温差能·····	(474)
4.6 盐度差能·····	(479)

第五章 古老而年轻的能源——风能

5.1 风能利用的基本形式·····	(483)
5.2 小型风力机及其利用技术·····	(487)
5.3 大型风力机及风力发电装置·····	(495)
5.4 风力的直接热转换·····	(508)
5.5 风能利用的发展前景·····	(514)

第六章 崭露头角的洁净能源——氢能

6.1 什么是氢能·····	(521)
6.2 氢—氘—氚的聚变能·····	(522)
6.3 磁约束·····	(525)
6.4 惯性约束·····	(529)
6.5 等离子体理论和冷核聚变·····	(534)
6.6 常规氢能·····	(536)
6.7 氢能与人类的未来·····	(547)

第一篇 新材料

在浩瀚的材料世界里，人们从不同的角度把材料分成不同的类别。如果按材料的使用特性分，通常分为结构材料和功能材料两大类；如果按材料的化学组成成分，可以分成金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料三大类。如果把两种或两种以上不同性质的材料结合在一起，使它们互相取长补短，相得益彰，便构成了具有几种优良性能的新材料——复合材料。

当前，一些工业发达国家都十分重视新材料的开发，但不同的国家，发展重点有所不同。例如，美国和日本，其钢铁和传统聚合物材料（橡胶、塑料、纤维三大合成材料）的生产对其国内需要来说早已处于过饱和状态，在技术上近期也难有突破性的进展。因此，它们当前着重发展新型材料，以迎接新工业革命的到来。

所谓新材料，一般是指那些具有优异性能或特殊功能，而且正在发展并将逐步达到实用化阶段的材料。新材料开发的显著特点是，正在从结构材料转向功能材料，从单一材料转向复合材料。

现在，就让我们看看瑰丽多彩的新型材料，在开拓未来世界中将发挥何等巨大作用。

第一章 新型金属材料

在享有几千年悠久历史的金属王国中，曾经涌现出许许多多具有各种优异性能的金属材料，为人类光辉灿烂的文明史建立过丰功伟绩。金属的发现和应用开创了人类物质文明的新纪元，加速了人类社会发展的历史进程。当今世界，由金属构成的各种材料，已经成为工农业生产、人民生活和科学技术发展的重要物质基础。

金属是个大家族。在人类迄今为止已经发现的 107 种元素中，除了 16 种非金属元素和 6 种惰性气体元素外，其余 85 种全都是金属元素（其中相当一部分是“人造”的）。由此可见，在材料世界中，金属材料居于统治地位，一直享有盛誉。

随着新技术、新工艺的发展，金属材料发生了巨大变化，出现了多种新型的功能材料和结构材料，其中最典型的金属功能材料有非晶态金属、形状记忆合金、减振合金、超导材料、贮氢合金、超微粉等；新型结构材料有超塑性合金、超高温合金等。这些金属材料性能优异，用途广泛，具有广阔的发展前景。

当然，新型金属材料远不只上面提到的几种，但在金属材料中，它们确是最富魅力、发展最快、竞争激烈的优异金属材料。

1.1 非晶态金属—金属王国的佼佼者

近几十年来，由于无机非金属材料 and 有机高分子材料的迅速发展，在不少地方，金属材料大有被取代之势。正在这紧急关头，20多年前，金属王国又诞生了一位骄子——非晶态合金，又名金属玻璃。由于它具有许多优异的物理性能和化学性能，成为金属王国的后起之秀，有可能肩负起振兴金属王国之责，因而很快成为世界各国材料科学家们所争相瞩目的新领域。

金属玻璃是一种俗称，因为它在化学成分上是金属或合金，在原子结构上是典型的玻璃态，故因之而得名。从科学术语上来看，由于与晶态相比较，玻璃态没有可辨认出来的长程序，即在大于几个原子间距之后，原子的位置就没有规律或周期性了，属于非晶态结构，故又称之为非晶态金属和合金。

一提到玻璃，人们很快就会想到十分熟悉的硅酸盐或硅的氧化物之类的普通玻璃。它们的显著特点是脆而透明。长期以来，人们一直认为金属只能形成晶态，不能形成玻璃态。现在的大量实验证明，在一定的条件下，许多金属和合金都能形成玻璃态。由于金属玻璃的化学成分不同于普通玻璃，它们的基本性质也就完全不同。虽然二者的结构组态相似，金属玻璃却与普通玻璃相反，它是韧而不透明的。

金属玻璃与晶态金属相比，虽然二者的化学成分相似，甚至相同，但由于二者的结构组态不同，因而在性质方面也有许多明显的不同。实验发现，有的金属玻璃具有显著的高强

度、高韧性、高抗腐蚀性等可贵的力学性能和化学性能，有的则具有高电阻率、高导磁率、低铁损等优良的电学和磁学性能，其应用前景非常广阔。美国的金属玻璃专家卢博尔斯基曾估算过，仅美国使用的电力变压器和马达一项，如将目前使用的硅钢片换成金属玻璃以后，由于降低能量损耗，能耗费用就可由每年18亿美元降为8亿美元，节约达10亿美元之巨。可以预言，金属玻璃的出现，必将引起金属材料的一场重大变革。

为了让大家对金属玻璃这一新材料领域有一个比较粗略而全面的了解，我们将从下列三个方面来加以阐述：（1）金属玻璃的制造方法；（2）金属玻璃的微观结构；（3）金属玻璃的特异功能。

一、金属玻璃的制造方法

金属玻璃的基本特征是缺少长程序，即没有三维的长程结构的周期性。因而金属玻璃的各种制备方法殊途同归，均以获得缺乏长程序的固态结构为目的。

从历史上来看，早在30年代，克拉默就宣布过用汽相淀积方法制备出一系列的非晶态金属薄膜（在下面的叙述中，我们也将经常使用非晶态金属和合金这一术语，有时更为方便和准确些）；1947年布雷纳等人又利用电淀积方法获得非晶态Ni-P合金。但是，他们的工作在当时的科学技术界并未引起人们的注意，没有发生多大的影响。真正开始对非晶态合金进行认真研究，是在1959年由杜沃兹等人发明了能以超过 10^6 °C/秒的急冷速度将Au-Si合金熔液制成非晶态金属箔片的工作发表以后。它极大地促进了金属玻璃研究工作的发

表1-1 非晶态金属和合金的制备方法

制 备 方 法		冷 却 速 度	结 构	形 状 及 尺 寸	特 点	
液 态 淬 火 法	单 辊	$10^6 \sim 10^9$ 度 / 秒	液 态 结 构 冻 结	薄 带	1、是目前可以大量制备连续非晶合金材料的方法; 2、只适宜于易于形成非晶合金的成分范围使用; 3、存在应力梯度和化学势梯度及不均匀性。	
	内 圆 法			厚10~80微米		
	双 辊 压 延 法			箔 片		厚10~10 ³ 微米
	锤 砧 法			粉 末		线 径10~20微米
	雾 化 法 电 火 花 法 激 光 上 釉 法			表 面 非 晶 化 (同 成 分) 厚 ~ 几 百 埃		1、可利用静水压或爆炸加工法制备大块非晶合金; 2、非晶粉末硬而锐利。
淀 积 法	蒸 发 法	$10^{12} \sim 10^{15}$ 度 / 秒	原 子 无 规 堆 积	厚0.1~10微米	1、冷却速率高, 可形成更宽成分范围和系列非晶态合金; 2、必须在真空、惰性气体气氛中进行。	
	汽 相 溅 射 法			厚10 ⁻⁴ ~1微米		
	电 淀 积 法			膜		厚0.1~100微米
	液 相 化 学 淀 积 法			薄 膜 或 表 面 非 晶 化 (新 合 金) 厚 < 1微米		1、制备方法简便、经济, 但只能制备少数非晶态合金; 2、形成的非晶薄膜可以厚到不剥落为止。
	高 剂 量 离 子 注 入			晶 格 无 规 畸 变		1、制备参数容易控制, 可以重复; 2、但可配合的靶和注入的离子成份有限; 3、具有高应力密度和位错密度。
注 入 法						

展。20多年来，虽不断发展了各种制备非晶态材料的新方法，但这种由液态淬火制备金属玻璃的方法，至今仍被广泛采用。因此，我们的讨论也将以此法作为主要对象。

到目前为止，我们可以将已有的各种制备非晶态金属和合金的方法粗略地归结如表1—1。由表1—1可见，以液态淬火法所包括的内容最多，淀积法次之。所有方法均各有优缺点，究竟采用何法为佳，需要根据材料的要求和条件而定。

(一) 液态淬火法

虽然要给非晶态没有长程序的“长”字下一个严密的定义是困难的，但至少在一百埃($\text{\AA}$)以上的大范围内，它是处于无周期性的原子排列状态。因此，若在液态合金冷却固化过程中，能有足够快的冷却速度，就有可能绕过通常的结晶过程，而把液态时的原子位形组态（此时是比较理想的、没有长程序的无序原子组态）较好地冻结下来，形成非晶态固体—金属玻璃。如图1-1所示。

要避免在固化过程中结晶的最重要的实验条件是将热量高速传输至冷却介质。而实验表明：高温的液态金属掉落到低温的高导热性衬底板上，其热传导速率可高达 $10^6\text{ }^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以上。

但是与衬底金属板接触的液态合金薄层不能超过一定的厚度，因为离开衬底某一点时的冷却速率随着它与衬底距离的增加而降低。杜沃兹首次制备的液态淬火非晶态合金 $\text{Au}_{75}\text{Si}_{25}$ 的方法正是体现了

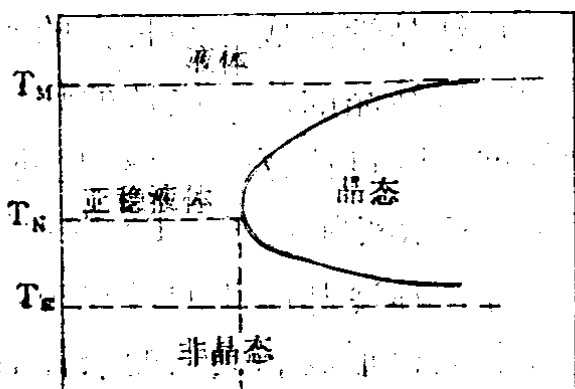


图1-1 时间—温度—相变曲线

这些要求，才获得成功的。后来所发展起来的单辊法、双辊法、锤砧法、雾化法和激光上釉法等，其基本原理皆出于此。

目前用得最多的是单辊法，其基本装置如图1-2所示。

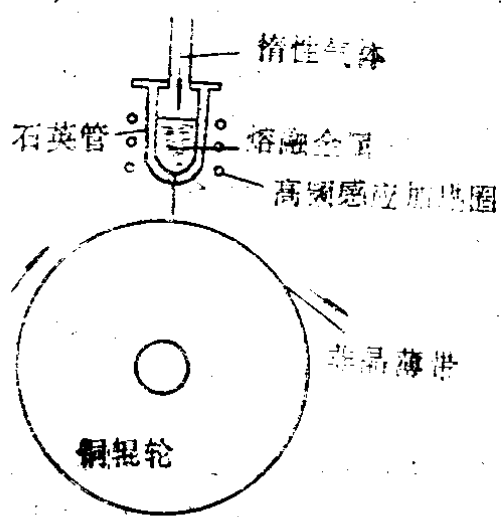


图1-2 单辊制造非晶薄带示意图

将所研究的合金试样放进石英坩埚中，接上高频感应电源，石英管用具有一定压力的惰性气体Ar(或N₂)保护，使合金材料熔融，然后再使气体的压力升高，将熔融合金从石英管底部的扁平口喷出，落在以高速度旋转的装有冷却装置的铜辊轮上，经过急冷立即形成很薄的非晶条带。如果喷射

的熔融合金量较多，或辊轮转动较慢，使得急冷速度达不到形成晶态所需要的临界值，则有可能成为微晶条带。

从结晶学的成核与长大的观点来看，熔融金属显示了较强的阻碍结晶的均匀成核的作用。实验已观察到，在结晶前过冷度 ΔT_r 可达 $1/5 \sim 1/3$ ，此处 $\Delta T_r = 1 - T_r = 1 - (T/T_m)$ ，其中T表示实际温度， T_m 表示熔化温度。

在液体冷却固化的过程中，可在所涉及的较大范围内，把抑制晶核形成和成长的条件看作是非晶态化的条件。

在结晶学中，已知在t时间内晶态物质生成的体积百分比为：

$$x = \frac{\pi}{3} I u^3 t^4 \quad (1)$$

式中，I为晶核均匀形成率，u为晶核生长率（即晶体界面的移动速度）。而且I和u又可分别表示为

$$I = \frac{N_v D}{a^2} \exp(-\Delta G/KT) \quad (2)$$

式中, N_v 为单位体积中的原子数, D 为晶核与晶体表面的扩散系数, a 为平均原子间距, ΔG 为临界晶核形成的自由能, K 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温标的温度。

$$u = \frac{fD}{a} [1 - \exp(\Delta T_r \cdot \Delta H/KT)] \quad (3)$$

式中, f 为晶核生长区域的面积率, ΔH 为熔解潜热。

所以若把熔液急冷后再继续过冷, 则 I 和 u 就会随液体与结晶的自由能差和原子移动度之间的平衡而变化。设粘度为 η , 根据斯托克斯—爱因斯坦关系式又可将 D 写成

$$D = KT/3\pi a\eta \quad (4)$$

$$\eta = A \exp [B/(T_r - T_{rg})] \quad (5)$$

式中, A 、 B 为常数, $T_{rg} = T_g/T_m$, 为约化玻璃转变温度, T_g 为玻璃转变温度。

合理地选择有关参量, 可估计均匀成核率与约化温度 T_r 的关系曲线如图1-3所示。

从图1-3可以看出: 若 $T_{rg} \ll \frac{1}{2}$, 在相当的温度范围内, 成核率达到 $10^{20} \sim 10^{30}$ /厘米³·秒的数量级, 实际上没有获得足够的冷却速率以形成玻璃的可能; 若 $T_{rg} = 2/3$, 成核

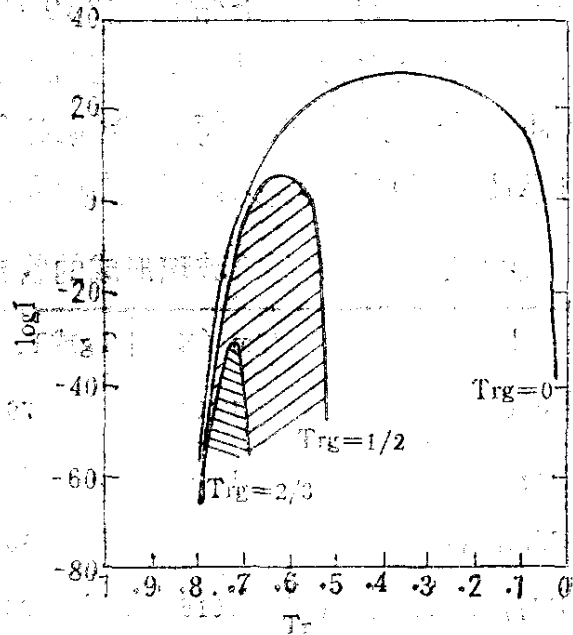


图1-3成核速率 I 与约化温度 T_r 的关系