




学科发展战略研究报告

(2006年~2010年)

金属材料科学

国家自然科学基金委员会
工程与材料科学部

 科学出版社
www.sciencep.com

学科发展战略研究报告

金属材料科学

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是学科发展战略研究报告系列之一。全书从社会发展、经济建设和材料科学与工程的形成等方面阐述了金属材料科学的战略意义与地位,综合分析了金属材料科学的发展趋势,并结合我国金属材料科学的研究发展现状,在预测本学科中期发展机会的基础上,提出了近期金属材料科学的战略目标。书中着重描述了钢铁,有色金属,金属间化合物,金属基复合材料,金属纳米材料,金属功能材料,非晶与准晶,相图与相变,表面与界面,金属加工工艺,使役性能,金属材料设计,检测与表征等分支学科。本书对近期金属材料科学的优先发展领域、自然科学基金资助等政策与措施,提出了相应的建议,这对我国金属材料科学的基础研究将会产生重要影响。

本书为国家自然科学基金委员会工程与材料科学部遴选“十一五”优先领域提供参考,同时也可供有关决策部门、科研院校及社会公众参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料科学/国家自然科学基金委员会工程与材料科学部. —北京:科学出版社, 2006

(学科发展战略研究报告)

ISBN 7-03-017493-3

I. 金… II. 国… III. 金属材料-材料科学-发展战略-研究报告-中国
IV. TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 069775 号

责任编辑:田士勇 于宏丽/责任校对:朱光光

责任印制:安春生/封面设计:王浩

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年9月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2006年9月第一次印刷 印张: 15 1/2

印数: 1—3 000 字数: 283 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部
学科发展战略研究报告组织委员会

主任：周孝信

副主任：黎明 高瑞平

委员：车成卫 陈克新 苗鸿雁 马劲 朱旺喜

雷源忠 王国彪 刘涛 纪军 黄斐梨

茹继平 李大鹏 李万红 张亚南 王之中

编辑：田士勇

金属材料科学学科发展战略研究报告评审委员会

(按姓氏拼音字母顺序排列)

陈皓明 陈国良 褚武扬 靳达申 沈保根
宋家树 王 燚 颜鸣皋 张兴黔 朱 静

金属材料科学学科发展战略研究报告编写组

(按章节作者顺序排列)

翁宇庆 崔建忠 张新明 杨 锐 曹春晓 仲增镛 徐永波
王亚平 郑福前 周 廉 严纯华 周邦新 张志东 韩雅芳
陈国良 徐 坚 王仁卉 卢 柯 张 荻 梅良模 李 卫
潘 峰 徐惠彬 胡 征 王成建 金展鹏 徐祖耀 闻立时
董 闯 黄卫东 张济山 付正义 王仲仁 陈怀宁 王中光
王福会 李 曙 陈难先 李殿中 李斗星 车成卫 叶恒强

序 一

未来十五年是我国科技事业发展的重要战略机遇期。胡锦涛同志在全国科学技术大会上指出，我们必须围绕建设创新型国家的奋斗目标，进一步深化科技改革，大力推进科技进步和创新，大力提高自主创新能力，推动我国经济社会发展切实转入科学发展的轨道。

把科技创新作为国家战略，走创新型发展道路，就是要实现经济增长方式从要素驱动型向创新驱动型的根本转变，使得科技创新成为我国经济社会发展的内在动力和全社会的普遍行为，最终依靠制度创新和科技创新实现经济社会持续协调发展。当代科学技术的发展趋势、世界主要发达国家的战略选择以及我国的基本国情，决定了我国不可能选择资源型发展模式或技术依附型的发展模式，必须提高自主创新能力，走建设创新型国家的发展道路。提高自主创新能力，最关键的还是原始创新，而加强基础研究是提高自主创新能力的措施之一。“十一五”期间，国家自然科学基金应结合国家发展的战略目标和社会发展与经济进步的重大需求，准确把握国家自然科学基金“支持基础研究，坚持自由探索，发挥导向作用”的战略定位，完善和发展中国特色科学基金制，着力营造有利于源头创新的良好环境，推动学科均衡、协调和可持续发展，培养和造就一批具有国际影响力的杰出科学家和进入国际科学前沿的创新团队，提升基础研究整体水平和国际竞争力，力争在若干主要领域取得突破，为繁荣科学事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

学科是科学基金资助和管理的基本单元。根据国家中长期科学和技术发展规划，遵照学科发展的自身规律和基础研究的特点，认真分析和研究学科发展的国际前沿、动态和趋势，总结国内研究状况和未来的发展需求，把握本学科发展在我国科技、经济、社会发展中的地位和作用；从学科发展全局出发，制定学科发展战略规划，明确目标，遴选优先领域和重点研究方向，并对应采取的重大步骤和措施提出建议，是一件十分有意义的工作。制定学科发展战略规划，不仅可以明确科学基金的定位和发挥科学基金的导向作用，而且对实现科学基金资源的优化配置，提高科学基金的资助效益具有十分重要的作用。

作为学科发展战略研究，首先，必须体现前瞻性、前沿性和战略性。学科发展战略报告的撰写应把握科学基金的职责和定位，结合国家科技发展战略目标和遵循科学发展规律，瞄准国际前沿。任何一门学科都有其自身的发展规律和特点。因此，在制定学科发展战略的过程中要处理好全局与局部的关系，既要注意发展战略涵盖的范围，又要做到重点突出，坚持有所为、有所不为，同时也应考

考虑学科的发展状况以及与世界先进水平之间的差距，遴选适合我国国情的学科发展优先领域和重点研究方向。其次，学科发展战略研究还应体现科学基金的基础性。加强基础研究是提升国家创新能力、积累智力资本的重要途径，是跻身世界科技强国的必要条件。材料科学和工程科学是从工程实践和应用的基础上发展起来的技术基础学科，既有系统的理论体系和自身的客观规律，又有很强的交叉性、集成性和应用性。因此，工程科学与材料科学的学科发展战略研究，不仅要体现科学基金的基础性，还应结合社会进步与经济重大需求，体现国家发展的战略目标。另外，学科发展战略研究还要体现科学基金的导向作用。科学基金的导向作用不仅仅体现在基础研究的资助方向上，而且还应体现在营造良好的源头创新氛围、提倡严谨求实的学风和增强自主创新的信念上。在基础研究工作中，要耐得住寂寞，要敢于做难事，敢于做前人没有做过的事，敢于做外国人没有做过的事，切实提高我国的源头创新和自主创新能力。

工程与材料科学部各学科处组织相关领域的专家在研讨的基础上制定了本学科发展战略规划，为“十一五”期间学科的科学基金资助工作打下良好的基础。在学科发展战略规划的制定过程中，专家们站在国家利益和学科发展的高度，认真调研、客观分析、积极建议，体现出了高度的责任感和使命感。科学出版社对工程与材料科学部的学科发展战略研究报告的出版给予了积极支持，并对其撰写和定稿提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

国家自然科学基金委员会副主任

中国工程院院士



2006年1月17日

序 二

我国经济近二十年来进入快速发展时期，作为基础产业的材料对生产起着重要支撑作用。其中金属材料的产值占国民生产总值相当大的比重。我国钢铁材料产量，十种常用有色金属的总产量已连续三年居世界首位。因此，金属材料不仅在整个材料领域中，而且在国家经济发展中处于重要战略地位。虽然金属材料以外的各种材料品种不断涌现、性能不断提高，但 21 世纪内金属材料仍将占十分重要地位，并将得到发展。

经济和社会的发展需求是科学研究的强大推动力，各种材料近年来得到很大发展，金属材料也不例外，并为经济建设做出贡献。传统工程金属材料通过晶粒细化、成分的纯净化和均匀化的系统研究，可大幅度提高性能，如近年来开发出来的新一代超细晶粒钢，可使某些钢种的强度提高一倍；在高技术新材料方面也有很大发展，如研发出高性能的永磁材料、巨磁电阻材料等。但是我国金属材料生产与科研整体水平尚有待提高，以适应经济建设和国防建设快速持续发展的要求。当前，量大面广的金属材料的方面的发展重点在于节约资源、降低能耗、综合利用、注意回收；高技术新材料方面的发展，注意开发新品种、提高性能，以满足不同需求；对我国富有元素要重视进一步开发，在国际上占有重要地位。

及时了解 and 把握学科所覆盖的领域发展趋势以及审时度势地确定本学科未来五年或更长时期的优先资助领域是关乎金属材料学科发展战略的重要问题，是在金属材料领域实现自主创新的必由之路。因而必须长期地、有计划地组织进行。这项工作也是我国培养顶尖人才并在国际材料科学领域占有一席之地的重要举措。

当前，第十一个“五年计划”即将开始，谋划未来几年的学科发展战略、确定优先资助领域恰逢其时。我们需要把握这个时机，未雨绸缪地围绕一些基本问题展开学科发展战略的系列调研和研讨，从而在广泛调研和研讨的基础上，能够科学地、前瞻地确定本学科未来几年的优先资助领域。

为此，国家自然科学基金委员会工程与材料科学部组织了有关专家对金属材料科学与工程领域的热点、发展趋势、发展战略、优先资助领域等方面进行了调研并召开研讨会，形成该调研报告。该战略调研报告的编写人员多数是在国内各相关领域的第一线工作的科学技术人员，他们对所从事领域的国际动态和国内目前水平以及今后的需求都有比较深入的了解，因此，该报告在制定我国金属材料科学年度计划中必将发挥重要作用。此外，报告还列举了我国近年来在金属材料

学科方面的科技计划的部署建议、有关 973 项目简介、有关国家实验室及重点实验室简介，以及自然科学奖项等，这些都对金属材料科学工作者和教师有一定参考价值。

中国科学院院士，中国工程院院士

师昌绪

前 言

我国经济建设与社会文明在持续快速发展。材料，特别是金属材料的产量也得以迅猛增长。随之对金属材料提高质量、有效利用资源、减少对环境污染等提出了更高的要求，金属材料科学面临迫切的研究任务。进入 21 世纪，纳米科技、生物、信息、能源等现代科学呈现蓬勃发展的趋势。金属材料科学的地位和发展前景会怎么样？针对我国经济建设和资源环境的情况，金属材料科学的中近期战略目标是什么？在国家中长期科技规划（2005~2020）和“十一五”规划的指导下，金属材料科学在五年内应当优先发展哪些领域？为了回答上述问题，在国家自然科学基金委员会的部署下，开展了“金属材料科学学科发展战略”的研究。2004 年 10 月成立了由叶恒强、梅良模、车成卫为召集人的编写组。编写组认为，在 1995 年出版的由陈南平、庄育智主持编写的《金属材料科学》一书，作为“九五”规划所做的学科发展战略调研报告，在学科整体设计及分学科专题设置等提供了很好的框架。结合近十年的发展，编写组重新归纳了 14 个国家急需重视的基础问题和学科前沿问题，并按相应分支学科专题进行研究分析，于 2005 年 1 月提出各专题报告初稿。2005 年 2 月，编写组召集人在汇总各专题报告的基础上，写出总报告的详细提纲草稿。在将总报告稿送包括 15 名中国工程院、科学院院士在内的 25 名同行和相关学科专家审阅评议的基础上，同年 4 月，在沈阳、北京两地分别召开了研讨会，对该稿进行了认真的讨论并作了修改补充。2005 年 4 月 20 日，编写组将总报告第一稿在基金委工程与材料学部召集的各学科调研报告进展研讨会上作了汇报。其后向各专题负责人通报了科学出版社的编撰要求，请他们对稿件内容及格式进行修改。2005 年 11 月，编写组完成了第二稿（评审稿）。同年 12 月 20 日在北京召开了以颜鸣皋院士、朱静院士为组长的评审会议，评审并通过了调研报告。会后，根据评审修改意见作了进一步修改和定稿。

在编撰过程中，得到同行专家和相关学科专家的指导、支持和帮助；在编写附录材料时，科技部基础司、各相关国家重点实验室和部门开放实验室提供了资料；在组织多次会议时，中国科学院金属研究所科技处佟百运处长承担了会务工作。在此一并表示诚挚的谢意。

社会、经济在发展，科学在进步，金属材料科学虽然历史悠远，但仍然活跃，不断有新的生长点出现。这次调研，希望对我国在本学科基础研究的近期部署有所助益。然而人们的主观认识往往落后于实际，科学的魅力在于发现未知。

祝愿我国金属材料科学研究在“活跃于前沿”与“服务于经济”两方面，都获得丰收。

叶恒强 梅良模 车成卫

目 录

序一
序二
前言

第一部分 金属材料学科的定位与分类

第二部分 金属材料科学的发展现状

第 1 章	金属材料学科发展概述	4
第 2 章	钢铁	12
2.1	钢铁材料的高性能化.....	12
2.2	钢铁材料的长寿命化.....	14
2.3	其他钢材.....	15
第 3 章	有色金属	17
3.1	铝与铝合金.....	17
3.2	钛金属.....	21
3.3	镍基合金.....	25
3.4	镁及镁合金.....	31
3.5	铜合金.....	37
3.6	贵金属.....	40
3.7	超导材料.....	45
3.8	稀土金属及其合金.....	51
3.9	锆合金.....	54
第 4 章	金属间化合物	57
4.1	金属间化合物的功能性材料.....	57
4.2	金属间化合物结构材料	59
第 5 章	非晶态合金与准晶	61
5.1	非晶态合金.....	61
5.2	准晶.....	63
第 6 章	金属纳米材料	67
第 7 章	金属基复合材料	69

第 8 章 金属功能材料	72
8.1 金属磁性材料	72
8.2 金属能源材料	75
8.3 形状记忆合金	78
8.4 金属催化材料	80
8.5 金属电子材料	81
第 9 章 相图与相变	84
9.1 相图	84
9.2 固态相变	90
第 10 章 表面和界面	94
10.1 表面和界面的研究	94
10.2 表面技术	95
第 11 章 制备与加工新工艺	101
11.1 凝固	101
11.2 金属粉末冶金	106
11.3 金属材料焊接技术	115
11.4 自蔓延高温合成技术	127
11.5 超塑性与超塑性成型	129
第 12 章 使役性能	134
12.1 疲劳与断裂	134
12.2 腐蚀与防护	138
12.3 摩擦学材料	140
第 13 章 计算材料学-金属材料的计算设计	148
13.1 电子结构计算	148
13.2 金属材料行为的原子模拟	153
13.3 微观组织及其演化模拟	156
13.4 材料成型工艺与服役过程模拟	159
13.5 发展趋势和展望	161
第 14 章 金属材料评价与表征	163
14.1 简介	163
14.2 发展前沿	165
14.3 国内发展现状	171
14.4 主要科学问题及重点研究方向	172

第三部分 我国金属材料科学发展战略

第 15 章 战略地位和各科技计划的部署	178
-----------------------------------	-----

15.1	金属材料的重要作用	178
15.2	我国近年在金属材料学科方面的科技计划的部署	181
第 16 章	我国金属材料科学发展总体趋势及基本学科问题	185

第四部分 国家自然科学基金金属材料学科 “十一五”战略部署建议

附录 1	1995~2005 年国家自然科学基金重大、重点项目简介	188
附录 2	与金属材料科学有关的 973 项目简介	205
附录 3	有关国家实验室、国家重点实验室、部门开放研究实验室简介	217
附录 4	在 1995~2005 年间国家科技奖与金属材料科学有关项目	224

第一部分 金属材料学科的定位与分类

材料是人类用于制造生活和生产工具赖以生存和发展的重要物质基础，人类的文明时代曾以其主导材料来命名，如石器时代、铜器时代、铁器时代和现在的硅时代（或称电子材料时代）。这是因为材料表明了人类的创造力与财富。以美国工程荣誉协会 2001 年 8 月评出的 20 世纪影响人类生活十大工程杰作为例，阿波罗登月、飞机、晶体管、可控核反应、积层电路、喷气发动机和通信卫星等七个都主要依赖于材料的支持。其他三个，即数字计算机、电视、巴拿马运河也从优良的材料中得到很大的好处。

金属材料学科是各分门类材料学科中最早建立的分支。19 世纪八九十年代由于金相显微镜的发明和 X 射线发现并用于材料晶体结构分析后，对金属材料的成分、组织结构和性能的研究逐渐系统和深入，得到许多规律性的认识，形成金相学热处理（后称金属学）、物理冶金等学科。20 世纪初由于量子力学的出现，固体物理等学科的发展推动了对金属材料物性的深入了解，形成金属物理学科。20 世纪中叶喷气式飞机的兴起、原子能的开发应用以及航天器的发展，加速了金属与陶瓷和高分子聚合物材料的复合与学科交融，推动了 20 世纪 60 年代形成材料科学与工程学科。

材料科学与工程定义为：关于材料成分、制备与加工、组织结构与性能以及材料使用性能诸要素和它们之间相互关系的有关知识的开发与应用的科学。金属材料学科的定位从学科意义上与上述定义是一致的，只不过研究对象限于金属材料。金属材料学科属于应用科学基础范畴，它以凝聚态物理和物理化学、晶体学为理论基础，结合冶金、机械、化工等学科知识，去探讨金属材料的成分、工艺、组织结构、性能及使用性能之间的内在规律，并联系具体器件或构件的使用功能要求，力求能用经济合理的办法制备出来^[1]。

按物理化学属性，材料分为金属、无机非金属、高分子、复合材料等；按其成熟程度和在传统产业的应用，分为传统材料（或称工程材料）和新型材料。图 0-1 是若干典型工程材料的比强度与价格跟比强度之比的对照图，可见钢材具有价格低的优势^[2]。金属材料在比强度方面不如陶瓷及碳纤维。但由于金属材料矿藏丰富，有长期生产工艺积累，价格便宜，因此在工程材料中按使用重量来说是最大的。

即使在高技术产业，如微电子的铝、铜导线；笔记本电脑的镁合金外壳；移

动通讯的磁体；生物医学材料的人工骨；卫星飞船的结构件等，也离不开金属材料。显然在“十一五”或更长的时间，金属材料的主导地位是不会改变的。

我们还可以从另一个角度看待金属材料的重要作用。曾号称世界财富象征的美国纽约世界贸易大厦，是全钢构架，把水泥的使用减少到最低程度。马来西亚吉隆坡高达452m的国油双子座大厦（Petronas），外面全部用不锈钢作外饰，在热带阳光下绚烂的反射，成为亚洲四小龙崛起的标志。中国大剧院（北京）使用钛合金的外罩，充分显示中国经济腾飞的富丽堂皇的一面。保卫我国国土安全的枪械、坦克、飞机、舰船、导弹，也是主要用金属材料构成的。

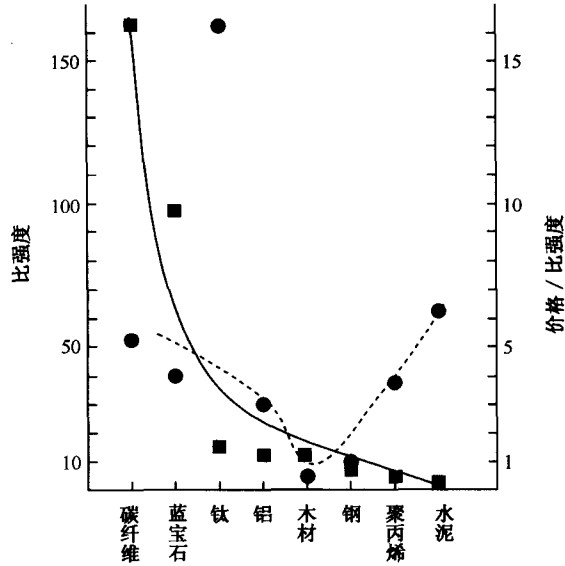


图 0-1 各类材料的比强度及价格与比强度之比的对照图

如果将金属材料按使用性能分类，可分为结构和功能两大类。金属结构材料是利用它的力学性能，所制备的各类器件或构件是为了承受各种形式的载荷，起支撑作用。例如，大到海洋平台、飞机框架、压力容器，小到一个轴承、一枚螺钉，这些构件或器件所需材料，主要考虑承载能力。金属结构材料的用量很大。另一类是金属功能材料，即利用它的物理或化学性能，如声、光、电、磁、热及化学反应特性，例如，硬盘读写磁头采用金属多层膜巨磁阻材料，手机中磁铁采用永磁材料，高效电池的金属电极，高温测试用的热电偶金属丝等。当然也有不少材料既是结构材料，又希望具有一定功能，例如，在海水腐蚀环境中工作的金属结构材料，既要承载，同时又要具有防腐功能。另外，像有的机械传动部件，也是既要承载，又希望具有一定的阻尼功能，能吸收机械振动以降低噪声。这些材料因首先要承载，所以还算是结构材料，但要兼有一定功能。

金属材料按其发展历程也可分为传统材料和新型材料两大类。传统材料是指

已有悠久生产与使用历史的材料，如钢铁、铜、铝等，这类材料的大量生产工艺已基本成熟，但在新技术推动下，对生产工艺、质量控制、材料性能的改进也在不断发展。由于用量大，与国民经济发展的关系密切，也可称其为基础材料。新型材料是指以新制备工艺制成的或正在发展中的材料，这些材料比传统材料具有更优异的特殊性能。例如，快（急）冷技术带动出来的非晶态金属软磁薄带，比传统的取向冷轧硅钢片具有更高的高频导磁特性和低铁损，气相沉积技术促进了各种类型的金属薄膜的研制，纳米科技催生了一批金属的纳米棒、带、块体纳米晶材料。材料科学的基础是在传统材料的发展过程中建立的，新型材料的研究代表了本学科发展的某些前沿。因此传统材料所积累的知识是发展新材料的基础，新材料在学科前沿的进展又反过来丰富和拓展了金属材料学科基础。

金属材料学科还有另外分类的方法，即按学科问题分类，如相图与相变、结构与缺陷、表面与界面、形变与断裂、腐蚀与磨损等；还有一种是按材料的形式分类，如块体、薄膜，多孔、微粒、纤维等。现在看来，难以只用一种分类贯彻到底，在不同场合会侧重于其中的一种。下面使用的是按金属材料类型和学科问题混合分类，这照顾到历年来自然科学基金中金属材料学科中的分类目录及有关指南导引。

参 考 文 献

- 1 陈南平，庄育智. 金属材料科学. 北京：科学出版社，1995
- 2 冯端，师昌绪，刘治国. 材料科学导论. 北京：化学工业出版社，2002