

一些发达国家发展先进材料的 政策、计划、研究和开发投资

J.M.Marcum*

编者按 本文系欧洲经济合作与开发组织的一名作者对新材料的现状和在发展中存在的问题进行的分析;虽然所引用的数据有的已过时,但有些观点是值得参考的。

一、引言

当前,在技术和竞争方面都处于快速和全面变革的时期。半导体市场,传统上看作所谓的“高技术”市场,现在同其他“高技术”产品相比,表现得更象小麦市场了。用经济术语讲,半导体只是一种日用品。激光束现已在超级市场上用来判读杂货明细表以便迅速结帐,并帮助进行经营管理以维持更严紧的杂货盘存。我们环顾四周,新技术正在改变着我们的传统工作方法,并且正在为只在几年前还不可想象的丰功伟绩敞开各种新的机会。

同时,世界经济结构正在改变。在一些国家和地区,如南朝鲜、巴西和台湾,以及在其前面的日本,由于出口的增加而带动起来的经济增长已经惊人地改变了世界的贸易形势,减小了欧洲以及在较小程度上减小了美国的经济在世界贸易市场中的比例。例如,1960年欧洲共同体生产了全球所消耗钢的28.3%,到1985年他们占有的市场已跌到了只有16.7%。在同一时期,美国占有的市场从26.0%跌到了11.2%。日本占有的市场从1960年的6.4%升到了1980年的15.5%后,在1985年又跌到了14.7%。世界其他国家和地区占有的市场则从1960年的39.3%增到了1985年的57.4%。换句话说,在过去25年中,经济合作和开发组织(OECD)的钢,占有世界市场的比例从接近2/3跌到了小于一半。

每次新的技术突破,总给先进的经济在增长了竞争面前提供改革和适应的机会。这意味着相对的优势同时向三个方向转移,即向那些能够从新技术获得利益的先进国家转移;向享有低劳动价格和低资源价格的发展中国家转移。而那些具有高劳动价格和高资源价格,但没有能力从技术进步中得益的先进国家则逐渐失去优势。近些年的发展表明,在这点上,有5项技术(或技术群)是最重要的,即计算机、电信、机器人技术、生物技术和先进材料。其中,计算机已经是极显而易见的,生物技术和机器人技术结合到现有工业领域中的速度最慢,而新材料的重要性可能是最少得到了了解和最受低估的。因此,在这些新的“核心”技术中,比较详细地讨论一下新材料可能最有意义。

* 经济合作和开发组织(巴黎)

二、新材料对工业的重要性

传统的新材料包括功能陶瓷和工程陶瓷,复合材料(通常用玻璃、石墨或芳纶等纤维增强的聚合物基或金属基材料)和聚合物。因为有了奇异的技术(快速凝固,粉末冶金,等温锻造),现在生产高级的合金和金属有了可能,它们可以成功地与非金属材料相竞争。“新材料”也包括改进了的金属。

作为一个整体,新材料基本上没有被视为现代技术革命的一个主要组成部分。然而,看看它们在各种工业中已经起到的作用,其重要性不容忽视。但所以被忽视,部分原因是新材料的技术进步是渐进的(与计算机比,计算机的变化一直是革命性的);部分原因是它能即刻普遍用于并逐渐增多地合并到现有的和新的产品及工艺中。目前正在应用的新材料的几个例子将有助于说明这个问题。

1.由于重量的增益,使中等容量或大容量客机的成本具有决定性的优势。飞机的机体和关键部件越来越多地用聚合物和复合材料制造(见表1)。

表1 某些飞机的材料重量组成(%)

	轻合金	钢	钛	复合材料
空中客车 A310	76.5	13.5	4.5	5.5
波音 767	81	14	2	3
幻影 2000 ¹⁾	81.5 ²⁾	6.5	5.5	6.5

1) 飞机起落架和飞行控制装置除外。

2) 铝和其他。

来源: Mater. Tech., Paris 10 & 11 (1985)

2.人造卫星。碳-树脂复合材料已完全被肯定,现正在研究引入金属基复合材料。

3.直升飞机。业已广泛采用复合材料(例如旋翼)。

4.航天器中的小尺寸结构,短程导弹,已经主要用非金属了(对于反坦克导弹已大于80%)。航天器还没有达到这种程度,但正在引起变化:尽管 Ariane 火箭的结构现在完全是金属的,但从 Ariane-4 开始,将逐渐转为使用复合材料。

5.汽车。从金属转为聚合物大有进展。预测到1990年,北美小汽车中塑料平均将占30%(重量百分数)。已经有几种“塑料”汽车正在生产中。但这并不意味着特种钢在未来将不起作用。在汽车中高强度钢按重量计的占有额在过去5年中增加了1倍。

6.电信系统。这也是一个传统金属市场显著地受到侵蚀的领域。光导纤维(石英玻璃)正在逐渐替代电缆中的铜。光纤维突出的性质甚至可能使电缆通信系统以一种强大的竞争优势胜过卫星通信系统。

7.半导体。它构成了应用先进陶瓷的一个广阔的领域。而硅是制造集成电路中最主要使用的元素(占总量的95.2%);巨大的希望则寄托在各种砷化镓或磷化镓的化合物上。美国国防部(DOD)已经花费了约1.5亿美元来研究这些新的奇异的半导体。

8.激光器。在为医疗提供所需的激光器方面和在非寻常应用目的的亚微米波长范围方面(例如美国的战略防御倡议(SDI)),稀土金属正日益成为关键。

以上列举的与材料有关的部门和以材料为基础的技术,显示了把新材料推广到许多制造

部门的惊人潜力。现在,材料研究已成为技术改革和经济增长的重要推动力。

三、对新材料及改良材料方面的投资

经济合作和开发组织成员国的材料政策,对大技术规划(航天,核能,电子,等等)有着加倍的影响;反映了由于能源和原材料市场方面的趋向引起的对传统材料方面所要求的变革。这些政策还揭示了公司级和国家级投资的障碍。这些障碍可归纳为:

1. 新产品的高风险和不定市场环境

不定因素包括技术和市场因素。例如,日本精细陶瓷制造者协会估计,发动机陶瓷部件的世界消耗从1983到2000年是在5亿美元和38亿美元之间。这种很大的不精确性反映了我们目前缺乏对技术趋向的了解(例如,汽车发动机中应用陶瓷的前景,将取决于降低脆性,降低制造成本,建立可靠的测试技术以鉴别缺陷,以及改善金属-陶瓷界面等方面所取得的成功)。

2. 与其他产业投资相比,新材料投资的无资金回收期相对较长

工程评价常常是不完善的。例如关于复合材料对损伤、裂缝扩展和修复的敏感性方面知之不多。因而新材料在进入市场之前必须经受长时期的试验。又如,研究金属基复合材料在20年以前就开始了,可是,第一种金属基复合材料经过了10年方出现在市场上,即70年代末在美国航天飞机上所用的硼铝复合材料。此外,如复合材料和陶瓷等,其制造和加工费用都很昂贵。

3. 对新材料的应用前景缺乏了解

其原因是由于:(1)企业和知识源之间联系不佳;(2)老材料传统不易改变(如利用新材料通常要求在产品的设计、生产机械、质量控制和维修系统等方面加以修改);(3)研究的复杂性,这包括多学科的研究队伍和缺乏革新的管理。因此,加速技术进步并持之以恒,以及促进应用新材料和有关的工艺,都要求更丰富的知识以及政府和工业界的更大投资。

四、政策和规划

经济合作和开发组织最近提出了一项有关先进材料技术、工业和政策的重要计划。本文主要反映该计划的一些初步结果。

几年前日本已经认识到先进材料的经济潜力,在适应和开发先进材料方面可能具有最大的能力。日本已经建立了相当庞大的材料科学家和工程师的人才库。同时为了把新材料推广应用到各种各样产品和加工中去,国家和民间部门已经投资了相当大的数额。

美国政府采取的方式和日本政府不同,但国家和民间确实作了一系列努力,并具有象日本那样的能力,这使美国比欧洲稍稍领先一步进入了先进材料时代。特别是,美国的航空航天,微电子和电信工业十分发达,并且在新材料方面有很长的经验历史。最近几年,国防部和能源部(DOE)又在材料研究和开发方面投资很大数额(见表2)。表2中列出的每一机构投资重点可能不同,但却对有实质性创新动力的一些重点领域有着共同期望。这些领域就是陶瓷、高温合金、烧结金属材料、非晶金属、特种聚合物、半透性材料、复合材料和催化剂。由于有了战略防御倡议,所谓的“东方快车”和最近采取的若干较小的努力,现在这些投资都已增长到大大超过表2中所示的数字。

在欧洲,不论是工业界还是政府对发展新材料的行动都比日本和美国慢得多,并且是从落后于他们很远的起点开始的。欧洲在这个领域很象在微电子事件中一样,将遇到一些意想不到的事情。当 64K 随机存取存储器(RAM)的芯片在 1981 年左右冲击市场时,欧洲没有一个可以进行竞争的存储器芯片制造商。从那时以来,在欧洲各国政府的鼓励下,欧洲的一些公司打了一场不可能取胜的仗,加入了计算机的竞争。尽管这样,当美国电话电报公司(AT&T)在高速开关端钮中已经使用了 1 兆字位随机存取存储器很多年时,西门子公司和飞利浦公司才利用东芝的技术帮助,以及利用西德政府和荷兰政府的财政帮助,正在努力生产 1 兆字位芯片。但是到他们“赶上”其所设想的目标时,他们可能发现砷化镓芯片,有机芯片,甚至光存储芯片已经完全代替了传统的硅芯片。

表 2 1983 年美国一些部门提供的材料研究和开发基金

提供基金机构	研究和开发基金数额(亿美元)
能源部 (DOE)	3.68 (1982 年)
国防部 (DOD)	2.96
国家科学基金会 (NSF)	1.00 (1984 年)
国家航空航天局 (NASA)	0.75
矿务局 (BOM)	0.32
国家标准局 (NBS)	0.12

来源:总预算办公室报告 GAO/RCED 85.63, 1985 年 9 月 9 日

表 3 估计的政府基金

	年份	对主要项目的年支助 / 万美元	长期规划 / 亿美元
美国 ¹⁾	1983	100000	
日本	1984 每年+28% (1981-1985 年)	1275	1981-1991, 10 年 1.86
西德	1985	2770	10 年 3.86
法国	1983	2100	1983-1986, 3 年 1.15 材料工作团申请
英国	1985	6600	5 年 1.60 Collyear 申请
瑞典	1983 / 1984	850	
欧洲经济 共同体	-	-	BRITE ²⁾ 最后合同 4 年 1.30

1) 政府总资助。

2) 在光亮雷达指示塔设备(BRITE)规划下,从多国的科学家和工业家小组提交的投标中,选出先期竞争项目的一半由欧洲经济共同体预算投资。

来源:经济合作与发展组织秘书处和各国的资料。

数据的不易获得,研究和开发基金来源的多样性以及定义的不同,大大限制了进行国际对比的范围。而且,在统计学的术语上,材料的概念常常不是一致的。这意味着,定量分析主要是建立在非常不精确的估计基础上。因此,表 3 远远不是令人满意的。再者,因为数字都转换成了美元,从而引进了另一个不稳定因素(汇率),情况就越发如此。在一定程度上,这些数据的经济意义同样可能是有疑问的,例如日本未来工业基础技术规划所表明的 1270 万美元,与

类似的美国投资相比,低得出奇。根据某些资料,事实上由日本通商产业省(MITI)投资的材料研究和开发的基金超过2.7亿美元。这使人想到,材料资金是通商产业省向工业主动倡导的主要部分之一。许多国家已经认识到需要扩大材料研究和开发的投资,但其实施则是各式各样的。在日本,早在1981年就由通商产业省提出了一项重要的规划。该规划建立在三条主要工作路线的基础上,其中两条路线主要与新材料有关:①新材料(陶瓷,聚合物,复合材料);②新型的半导体。该规划下的研究和开发工作将延续8到10年时间,所以它体现了一种协同的和长期的努力。

在英国,去年出版的Collyear报告的主要建议,是确定5年的新材料研究和开发规划资金为1.6亿美元,由工业界和政府各投资一半。同样,在法国,被委任研究新材料和提出该领域建议的材料工作团(Material Mission)提出,制定动员规划以增加政府投资1倍。联邦德国的研究和工业部已经实施大量材料研究规划,作为与原材料有关的早期规划的继续研究。计划到最近10年左右,该规划的目的是在共同设计和执行研究计划的框架中,把大学和国家部门的研究中心的基础研究潜力同工业界的研究和开发能力结合起来。这将有助于更好地传播具有工业革新目的的新材料知识。

因此,各国政府在这广阔而又分散的领域中正在推行三种普遍的战略。

(1) 企图包罗最大领域范围的总战略

这样的战略与强大的工业结构,巨大的研究和开发能力以及有效的协同努力是相符的。

(2) 在采取重点工作路线战略的国家中,政府努力把力量集中在应该集中的某些领域上。例如,由通商产业省提出的预测(表4),日本正在作基础广泛的努力,想在精细陶瓷、碳纤维,

表4 新老材料生产统计对比

		1983年实际数字/亿日元	1990年预测/亿日元	年增长预测1983-1990(%)
新材料	精细陶瓷	3960	15000	21.0
	高聚物(工程塑料)	4300 (2590)	10000 (6500)	13.0 (14.0)
	新金属(非晶金属 ¹⁾)	1700 (30)	5500 (350)	18.0 (4.2)
	复合材料(碳纤维)	250 (150)	1500 (380)	29.0 (14.0)
	总计(A)	10210	32000	18.0
传统材料	钢	160730	190000	2.0
	有色金属	69350	85000	3.0
	陶瓷	86270	105000	3.0
	化学制品	192270	240000	3.0
	织品	80620	95000	2.0
	纸浆和纸	70610	82000	2.0
	总计(B)	659850	797000	3.0
A/B		1.5%	4.0%	

1) 基于部件的总价格。

来源:联合国政府间情报局(IFI);1983年传统材料数字来自日本通商产业省

工程塑料和非晶金属 4 个重要领域进行竞争,把它们作为最有前途的市场部分。英国的 Collyear 报告着眼于复合材料、工程陶瓷,快速凝固技术和电子材料;还考虑了如下一些可能实现的技术:产品性能的保证,表面技术和连接技术,接近最终成型尺寸的制造方法,

(3)采取在市场中占有适当位置战略的国家,这是那些国土大小与其经济结构及资源受限制,迫使选择有限的市场和重点项目的国家。他们特别考虑了现有知识和人才基础的潜力。这里,重要的目的是保证国家研究和开发系统紧跟国际动向,而在一些特殊工业部门保持其技术的先进性和特殊“技术秘密”。例如瑞典政府,把对新材料总投资的 41%专拨给粉末冶金和熔化技术,28%拨给聚合物,12%拨给陶瓷。这反映了瑞典在冶金、化学和汽车方面的工业技术比较优越。在了解本国自然资源的基础上,澳大利亚则致力于氧化锆,稀土和铝的研究。

五、陶 瓷

由于在许多高技术工业(例如电子、计算机、通信、机器人技术、航空航天)的增长中所起的支撑作用,由于在解决能源和资源问题中的效益,以及由于在加工中提高生产率的能力,陶瓷在上述这些战略中属于重要领域。在这个领域中,日本无疑是市场领导者,约占 1980 年世界市场 41.5 亿美元的 50%(Kenney & Bowen 1983),分属于电子方面的电陶瓷(总数的 70—80%)和结构陶瓷。后者中的大多数是切削工具、易磨损件和汽车的催化剂容器。尽管美国的科学和技术领先,但美国陶瓷产品的商品化程度似乎是落后的。在欧洲,总的说来陶瓷长期被政府和工业界所忽视,同美国和日本的差距大,并且现在还在加大。

在欧洲由于这种忽视造成的最大障碍因素之一,是陶瓷方面人才基础薄弱。如表 5 所示,经济实力比日本大 2.5 倍以上的欧洲,在与先进陶瓷有关的各领域中从事研究的科学家和工程师人数,却只约为日本的 1/4。这意味着,不仅依靠先进陶瓷技术在欧洲经营的那些公司,对它们的美国和日本的对对手来讲是一个对竞争准备不足的集体,而且更重要的是,这些公司在某些领域赶上和超过其对手的机会是很小的。

表 5 从事先进陶瓷研究的人数

	科学家和工程师	技术人员
日 本	2000	2000
美 国	1000	1000-2000
欧 洲	500	未估计
加拿大	50-100	未估计

来源:《先进陶瓷(Advanced Ceramics)》。MKM 咨询国际(Consultans International)的技术情况报告。

根据大多数专家确定的重要先进陶瓷市场潜力(日本和美国先进陶瓷的总市场,1990 年能达到 77 亿—104 亿美元,2000 年能达到 162 亿—243 亿美元(来源:日本通商产业省和美国商业部)),各国政府按照总战略、资源可获量和各公司的竞争能力,小心地计划着国家部门的陶瓷研究工作。美国结构陶瓷的主要计划着重于飞机和汽车的先进燃气轮机发动机以及坦克的柴油机。政府基金的大部分由美国能源部和美国国防部投资,研究和开发工作则在民间和政府的实验室里进行。

在日本,现在已经很好地建立了先进陶瓷工业(见表 6),并且已经开始制造柴油机的某些陶瓷部件。这种成功是民间倡议和政府努力的共同产物。通商产业省的 5 个实验室进行着陶

瓷结构材料和有关领域的研究,科学技术厅(STA)的5个实验室则领导着这个领域的基础研究。除了自始至终直接投资工业基础技术发展的10年计划之外,通商产业省通过它的精细陶瓷办公室正在资助创建工业研究和开发协会以帮助工业界在长期研究和开发工作方面的合作。

表6 先进陶瓷

	工业研究和开发(亿美元)	政府经费(亿美元)
美国	1.0	1.0
日本	1.0-2.5	0.5

来源: MKM 咨询国际

在欧洲,西德最近提出的先进材料计划的重要部分是结构陶瓷。西德的大公司对参加有关先进陶瓷的长期计划的可能性,特别是在车辆应用方面,表现出越来越大的兴趣。其他一些带头的国家有:瑞典在西德之后是这个领域中最积极的;英国在研究阶段保持着良好的地位(例如 Sialon* 专利),正在通过公司的协作和联合制定计划;法国是最后进入这种竞争中的国家。

六、政策问题

在制定政策中的重要问题如下。

1. 大学与工业界的关系

对新材料来说,这些关系显得比对其他领域更为重要,并似乎只对某些企业可能富有成效。这些企业有它们自己的研究和开发实验室,因而它们会有能力评估技术制造操作的可能性和科学局限性。这样一些实验室将因与大学的联合而得到巨大的利益。这种合作的最主要长期利益是,工业界可以帮助大学确定基础研究日程以便解决基础技术问题,并在此过程中帮助大学培养和教育具有多种基础知识材料科学家和工程师以及工业界最迫切需要的熟练工人。

2. 对长期研究投资方法的调整

在大多数国家中,研究基金按年拨款。这种投资方法对各种各样的新材料领域所需的长期类型的研究是不合适的。因此,希望能拟定出一些合同规定的、协调的、长期的研究和开发计划。

3. 大型装置和设备的费用

实验室设备可能是限制材料研究和开发进步的最重要因素。高级精密仪器不仅使它在计算和测量方面,而且在各种元素的特性分析和它们的微观结构分析方面大大前进一步。然而,这种设备的费用常常超出研究组的财政收入。同步加速器光源就是一个好例子,甚至在美国这样的高预算条件下,也越来越认为只有在国家或至少是在地区的基础上才有能力建造这种光源。为了保持投资费用不越出界限,可以重视不同形式的合作,包括共同使用大型装置和仪器。

4. 临界质量

这种概念出现在几个层次上:第一,许多实验室既没有研究与发展新材料所需的足够规

* Sialon 是一种氮化铝-氧化铝-氮化硅陶瓷材料。——译者

模,也没有物质资源;第二,往往受到国家的研究和开发潜力所限;第三,有限的潜在市场规模对技术的发展有影响,并从而使材料研究和开发受到影响。这对小国尤为确切,但同样适用于大国,在这些大国内某些高技术领域并没有足够宽广的研究和开发基础来支持能够开创某些新工业的持续研究工作。

5.材料中心

制度上的安排对促进一些学科和一些实验室之间的合作是有用的。在美国,国家科学基金会资助的设在大学内的材料研究实验室,可以在交叉学科和多种研究工作者的基础上开展工作。这些实验室正在承担独特的研究,承担有风险和高度创新的研究,以及承担不同于大学中个体研究者所能完成的研究。在法国,材料工作团提出,应该由不同学科的实验室来创建材料中心。这些中心的任务是组织“就地”的博士水平的专门培养,形成材料科研项目的研究组,并共同管理研究需要的重要设备。

6.教育和培养

新类型材料的开发,越来越依靠从传统的各独立科学领域(固态物理学,化学,数学)中产生的知识的综合应用。因此,重新考虑教育和培养材料科学研究人员和工程师的规划,以满足以多学科知识为基础的需要。在法国和美国,所谓的工程研究中心的概念就是这个领域的重要创新。

7.性能和使用标准

材料的精确的技术描述要求有一套标准文件,以便比较实验室条件下的性能。材料生产越来越趋向专门化,显然要求在国际一级的标准化要作很大的努力。在这方面,已经采取了建设性的步骤:由美国和英国领导的凡尔赛先进材料和标准化规划(VAMAS)提供了一个框架,来支持在国际基础上产生先进材料的实施规范,并促进关于这些规范的信息交流。正在建立为特殊课题项目负责确定和实行规划的技术工作组。规划的主要目标是促进合作和采用议定的标准。

总之,政府行动的最有力的例证是教育和培养。对科学和技术的所有领域这当然都是正确的,但对先进材料来说,可能更是如此。先进材料研究开发的交叉学科特性,以及应用先进材料到庞大工业的各种产品和解决工艺问题,都使这个任务成为特别困难,但也使它有潜在的巨大利益。

参 考 文 献

- [1] Kenny, G.B. & Bowen, H.K. 1983 High technology ceramics in Japan: current and future markets. *Bull. Am. ceram. Soc.* 62(5), 590-596.
- [2] U.S.General Accounting Office 1985 Support for development of electronics and materials technologies by the Governments of the United States, Japan, West Germany, France and United Kingdom. Report no. GAO / RCED 85.63.
- [3] Materialforschung. Programm des Bundesministers für Forschung und Technologie, BMFT.
- [4] Rapport sur l'État de la technique. La révolution de l'intelligence. Sciences et techniques, Paris, October 1983.
- [5] Collyear Committee DTI 1985 Report on a Programme for the Wider Application of New and Improved Materials and Processes, London.

- [6] Tegart,G.1985 The potential of advanced materials.*Engineers Australia* 57,22-26.
- [7] Gobin.P.-J. 1982 *les matériaux*. Rapport de la mission matériaux demandé par le ministre de la recherche et de l'industrie,ministère de la recherche et de l'industrie,Paris,June 1983.
- [8] Bell, J.1984 The ceramics age dawns.*New scient.*101 (1394), 10-13.
- [9] MKM Consultants International 1985 Advanced ceramics.Technology situation report.Office of Industrial Innovation, Department of Regional Industrial Expansion, Ottawa, September 1985.

(程屏芬译自: Phil.Trans.Roy.Soc.London,
A322,1567(1987): 311—321.(董务民校))

POLICIES, PLANS, AND RESEARCH AND DEVELOPMENT INVESTMENT IN ADVANCED MATERIALS IN THE MAJOR COUNTRIES

J.M.Marcum

(*Organization for Economic Cooperation and Development,Paris,France*)