

论我国钢铁等材料产业的可持续发展战略

On the Sustainable Developmental Strategy of Material Industry in China

顾海澄

(西安交通大学材料科学与工程学院,教授

西安 710049)

材料、能源和信息是现代社会的三大支柱。材料不仅是标志人类进步的里程碑,也是现代化建设的物质基础。如何落实材料领域的可持续发展,是摆在材料工作者面前的重要课题,本文就这个问题提出一些初步看法。

一、出发点和立足点

“十五大”提出,21 世纪的第一个 10 年实现国民生产总值比 2000 年翻一番,这就对材料提出了新的要求。在可预见的未来,钢仍将是诸种材料中的“脊梁”。在 80 年代末,我国就进行过 2000 年钢产量的预测。当时就有有识之士预言,不到 2000 年我国钢产量便可超过 1 亿吨,1996 年我国果然产钢 1 亿吨。

根据当时的预测,2000 年钢的基础需求量为 1.2~1.47 亿吨左右。现在完全可以相信,到 2000 年钢是有保证的;除安排国内生产 1.1 亿吨,不足部分可从进口解决。

现在要估算 2010 年和 2020 年钢的基础需求量。日本和亚洲“四小龙”的经验证明,连续几十年的经济快速增长是可能的。我们更有充分的理由相信,下世纪上叶我国生产总值年均增长率保持 8% 是可行的。现在连一些外国预测专家也都宣称,到下一世纪,在香港和台湾两支火箭助推下,中国经济将会高速度腾飞。根据 80 年代的实际数据,国民生产总值年均增长率为 9%,钢材消费量(国内生产量+进口量-出口量)的年均增长率为 8.99%(其中国内钢产量的年均增长率为 5.90%)。在此 10 年中共进口钢材 1.06 亿吨,占全部消费量的 20.57%,又进口矿石 1.07 亿吨。

以上数据是根据文献[1]所列表推算出来的。这就有根据假定,从 2001 年到 2020 年,国民生产总值和钢的基础需求量将以 8% 的年均增长速度同步增加。由此可求得 2010 年需钢 2.94 亿吨,2020 年需钢 6.34 亿吨。有专家估计,到 2020 年全国人口将达 15 亿,但人均占有钢仅 423 公斤,仍小于发

达国家在 1970 年的水平(美、前苏联、英、法、前西德、日本各为 596、477、490、468、732、903 公斤)。根据对“经济合作与发展组织”(OECD)16 个国家的综合统计资料,钢的消费强度(吨钢/百万美元)将随国民生产总值增加而增加,只有到人均产值超过 2 000 美元(按 1963 年不变价格)以后,钢的消费强度才开始回落^[3]。考虑到我国要大力建设中西部,各项基础设施对钢材需求量较高,估计我国的需求预测与此相仿。

这就引出一个问题,从现在起到 2020 年,我国累计钢的基础需求量为 73 亿吨,这简直是一个天文数字。首先我国将面临矿石和燃料短缺的困难。根据 1987 年底的资料,当时我国保有的铁矿储量才 500 亿吨,而且 90% 以上为贫矿;也不能依靠进口。据德国国际经济所预测,若每年铁矿石的消耗量以 3~4% 的速度递增,世界上现已探明且可开发的储量仅可供应到下个世纪中叶;燃料的短缺情况可能更为严重。据文献[2]的资料,以我国可开采储量除以 1991 年的产量求得的可开采年限,煤为 93 年,石油为 14 年,天然气为 49 年,都大大短于别的国家,考虑不断增加的远景储量,实际情况可能比上述估计相对乐观;但大自然赋予我们的资源毕竟是有限的,开采一点就减少一点。

表 1 列出了重要金属原料的地区分布情况^[3]。国名后面括弧中的数字表示该国蕴藏的原料量占全球原料量的百分数。在 13 种金属中只有锡和钼两种我国榜上有名。如果考虑人均占有的原料量,则我国在全世界中的排序处在更后面,对此我们必须有清醒的认识。我们千万不能再把地壳中的元素含量都算作矿产资源了。

可以相信,随着勘探技术的进步,今后将发现新的资源,实际情况会比上述好一些,但我们不能把未来的事算在今天的帐上。我们的后代会比我们强,他们会去太平洋底下捞取锰瘤,会到月球上开矿,会到太空捕获金属星球,这是他们的能耐,不属于可持续发展范畴。世界环境与发展大会所定义的可持续发展是指“在不损害将来几代人满足其需要

的能力的前提下,而满足现今需要的那种发展”。我们这一代有责任把前人留下的资源尽可能优化地利用和保护,任何对资源的挥霍与浪费都是对中华民族的犯罪。

表 1 重要金属原料的地区分布

原料	1979 年时的国家及其在全球储量中所占的百分数
铁	苏联(30.2),巴西(17.5),加拿大(11.7),澳大利亚(11.5),印度(5.8)
铜	美国(18.5),智利(18.5),苏联(7.9),秘鲁(7.0),加拿大(6.8),赞比亚(6.4)
铅	美国(20.8),澳大利亚(13.8),苏联(13.2),加拿大(9.5),南非(4.1)
锡	印度尼西亚(23.6),中国(14.8),泰国(11.8),玻利维亚(9.7),马来西亚(8.2),苏联(6.1),巴西(5.9)
锌	加拿大(18.7),美国(14.5),澳大利亚(12.6),苏联(7.3),爱尔兰(5.5)
铝	几内亚(33.9),澳大利亚(18.6),巴西(10.3),牙买加(6.2),印度(5.8),圭亚那(4.1),喀麦隆(4.1)
钛	巴西(26.3),印度(17.5),加拿大(15.2),南非(8.6),澳大利亚(6.6),挪威(6.4),美国(6.0)
铬	南非(74.1),津巴布韦(22.2),苏联(0.6),芬兰(0.6),印度(0.4),巴西(0.3),马达加斯加(0.3)
钴	扎伊尔(30.3),新喀里多尼亚(18.8),苏联(13.9),菲律宾(12.8),赞比亚(7.7),古巴(7.3)
锰	南非(45.0),苏联(37.5),澳大利亚(8.0),加蓬(5.0),巴西(2.2)
钼	美国(38.4),智利(27.8),加拿大(8.1),苏联(6.6),中国(6.0)
镍	新喀里多尼亚(25.0),加拿大(16.0),苏联(13.5),印度尼西亚(13.0),澳大利亚(9.3),菲律宾(9.0)
钒	苏联(74.8),南非(18.7),智利(1.4),澳大利亚(1.4),委内瑞拉(0.9),印度(0.9)

资料来源:“Facing the Future”,OECD,Paris,1979

二、对策和出路

我们要尽量为后代创造良好的生存与发展的条件,这就是可持续发展战略的宗旨;但也不能像守财奴那样,把资源捧在手里而无所作为。

1. 用好 1 亿多吨钢也可使产值翻几番

钢材消费量和当年国民生产总值的比值称为钢材消费强度。从表 2 可见,每亿美元国民生产总值所消耗的钢材,我国是北美、西欧、日本等发达国家的 5~7 倍,也是印度、韩国、巴西等发展中国家的 2~3 倍^[4]。这就表明,只要把钢材消费强度降下来,把现有的 1 亿多吨钢用好,也有可能使国民生产总值翻几番。文献[4]中从产业结构、工业结构、冶金工业、机电工业等论述了降低钢材消费强度的途径,并详细介绍了从设计、工艺和选材诸方面节约金属材料的具体方法。笔者强烈支持发展钢铁工业,但主张遵循可持续发展原则,努力增加国内急

需的品种,追求钢的质量和数量的统一。

表 2 我国与国外国民生产总值钢材消费强度比较

国 家	年份 (年)	国民生产总值 (亿美元)	钢材消费量 (万 t)	钢材消费强度 (万 t/亿美元)
美 国	1985	39 596	9 637	0.2434
	1987	42 729	9 480	0.2219
日 本	1985	15 776	6 672	0.4429
	1987	29 665	6 598	0.2224
联邦德国	1985	7 446	2 934	0.3940
英 国	1985	5 083	1 436	0.2825
法 国	1985	6 207	1 424	0.2294
意大利	1985	4 800	2 066	0.4304
加拿大	1985	3 399	1 194	0.3513
印 度	1984	1 886	1 266	0.6713
韩 国	1985	808	827	1.0235
巴 西	1984	1 220	925	0.7582
中 国	1985	2 677	4 983	1.8614
	1988	3 767	5 798	1.5392
	1989	4 199	5 360	1.2765
	1990	3 686	5 150	1.3972

注:表中国民生产总值均按当年现值和美元汇率折算。我国 1985、1988、1989、1990 年 1 美元分别合人民币为 3.20、3.72、3.76、4.72 美元。

2. 节约资源,途径甚多

(1)节材 这是个老话题。某柴油机厂开发了新产品,体积和重量不变,但其功率却比老产品成倍地提高,从而占领了市场,也节约了材料。现在原材料费用占机电产品总成本的 70%,如果通过节材技术使产品成本降低一二十个百分点,将能帮助一些国有企业更快地走出困境。

(2)延寿 即延长机械、设备、装置等的使用寿命,使一台顶几台用。一座核电站的设计寿命为 30 年。核压力容器受到辐照后会发生脆化从而影响安全,所以隔一段时期就要从反应堆中取出监督试样,用冲击试验测定其韧度;如脆化超过一定限度,核电站就要报废。研究表明:只要把钢核容器中铜和磷的含量分别降低到 0.08%和 0.008%以下,就可以大大延缓辐照脆化进程,使核电站的使用寿命延长到 50 年。

(3)修复 一个大型装置中只要有一个关键零部件损坏,就会使整个装置瘫痪。损坏一般都发生在表面,如腐蚀、磨损、开裂等,多数能够修复。如某电厂的发电机转子表面被电弧击伤,若从国外进口要 1 000 万元,还要等待 1 年时间才能交货,但后来自己采用热喷涂技术修复,避免了 5 亿元的产值损失。

(4)再生 矿产资源用一点就少一点,不可能再生,但废金属可以回收再生,称为“第二矿业”。易

拉罐、牙膏皮、废电池都是很好的再生资源。美国矿冶、金属、材料学会主办的 JOM 期刊连篇累牍地讨论各种废金属的再生技术。美、日等国铜和铝的消费量中有一半靠再生。废弃的塑料饭盒被称为“白色污染”，埋在地下 100 年也不会降解。葛洲坝水电厂每年不得不化 300 万元从长江捞饭盒，以免卡住水轮机的转轮。如果能配制塑料合金，成为再生资源，就能变废为宝。

(5)代用 在有些应用场合金属可为非金属材料代用。突出的例子是光导纤维通讯，铺设 1 000 公里的光缆代替电缆，可节省铜 1 100 吨、铅 3 700 吨。根据不同的要求，陶瓷、玻璃钢、石墨制品、高分子材料等都用来代替金属。

3. “把好钢用在刀刃上”

在目前科技投入不可能大幅度增加的条件下，更加要把有限的人力物力财力投放到影响国计民生和民族未来的关键材料上，形成研究—开发—应用一条龙。本文在此仅举一些例子。

(1)水电 长江三峡和黄河小浪底已实现截流，这是举世瞩目的大事。我国可开发的水能资源达 3.78 亿千瓦，年发电量可达 1.9 万亿度，相当于 11 亿吨原煤的发电量，但水力资源的实际利用率不到 4.7%。我国河流夹带泥沙量很大，黄河年输沙量 16 亿吨，长江 5.26 亿吨。水、沙、气的联合作用使水轮机过流部件发生空蚀、磨损和腐蚀疲劳，被称为水机的癌症。为此，各水电厂不得不保持庞大的检修队伍，频繁停机修补。如能应用材料技术来防止失效，其社会经济效益将十分巨大。

(2)火电 火电仍然是我国电力的主力军。90 年代我们已建立一批单机容量为 30 万千瓦到 60 万千瓦的火电机组；但就全国平均而言，单机容量只有 4.5 万千瓦，热效率也较低，平均仅为 29%，而发达国家已达 35~40%。要提高热效率就要提高蒸汽的温度和压力，国外已发展超临界和超超临界机组。关键是要有合适的耐热钢，我国在这方面是一个薄弱环节。热效率低而又大量直接燃烧原煤，既浪费能源，也造成城市环境污染，而煤洁净燃烧技术也受到材料的制约，这种局面必须尽快改变。

(3)火车 从 60 年代起，国外就发展高速列车，被誉为“第二次交通革命”。其好处是运输能力大、速度快、能耗低、污染轻、占地少。日本新干线高速列车时速为 210~250 公里；法国为 270~300 公里，最高试验速度达 515 公里。车轮会因发生磨损、剥离和断裂等失效，影响安全运行。应研制能适应高速、重载的耐磨性好、强韧性高的车轮。车轮、钢轨、车轴和车闸组成一个系统，不能顾此失彼，应该统筹解决。

(4)汽车 汽车的发展方向是节省能源、控制废气和噪声、提高安全性。降低车辆自重是提高汽

车燃油经济性的重要措施。轿车每减重 10%，燃油消耗可降低 8~10%。美国曾对燃油消耗作出规定，1978 年要求轿车耗油量 7.2 公里/升，到 1985 年就要求达到 11.0 公里/升；如达不到节油标准，每辆罚款 500~3 850 美元。我国也应大力发展汽车用的轻量化材料。

(5)建筑 为了保护耕田，今后建筑要向高层发展，要开发抗地震、抗火灾和防噪声的建筑用钢和 H 型钢。

(6)电子产品 我们正面临信息社会，计算机和通讯技术正极大地改变人类的工作和生活方式。在信息技术中，电子和光电信息材料起到关键的作用。

(7)国家安全 战争的技术革命也对材料提出了严酷的要求。能适应现代化战争的常规武器和战略防御系统均要求材料技术有相应的发展。

(8)人民健康 到下一世纪，我国将逐步进入老龄化社会。骨折和“老掉牙”是老年人的常见病。要发展与人体有良好相容性的人造骨骼和人造齿根材料。

4. 迎接迟到的材料革命

(1)材料革命是从传统材料开始的^[5,6]

国际上从 50 年代开始在各工业领域发生了重大的技术革命，对材料提出了更高的要求。例如，因开发海上油田发生了厚钢板的层状撕裂，从而发展了 Z 向钢；建设极地远距离输气管，发生了长达几英里的开裂，从而发展了专用管线钢。在航空、宇航、核电、化工等领域也都有类似的例子。钢材的需求量也大增，从 1950 年到 1988 年，世界钢的年产量从 1.9 亿吨猛增到 7.8 亿吨，即增加了 4 倍多。这就促使钢铁生产技术发生革命性的转变，纯氧顶吹、连续浇注和炉外精炼是其中突出的 3 大成就；特别是炉外精炼，又称作二次冶金，可把钢中 C, S, P, O, N, H 等元素总量降低到 70ppm 以下，把传统的钢铁材料提高到精细钢的新水平。国外在 50 到 70 年代就完成了这次革命，由于众所周知的原因，我国错过了这次历史机遇。

另一方面，从 50 年代后期起美国实施“全国材料规划”，并在一批大学设立材料研究实验室。在汇合冶金、陶瓷、高分子以及物理、化学等成果的基础上，形成了材料科学与工程大学科^[7]，国外的学术期刊、学会组织和大学院系都相继把“冶金”扩大为“材料”。我国在这方面也相对滞后。

(2)四面体的两个新顶点

原来的物理冶金研究金属和合金的成分、组织、性能及三者之间的相互关系。以后从海洋平台层状撕裂等事例认识到，材料在服役条件下的实际行为是至关重要的，甚至是判定材料是否合用的决定性因素，这就总结出“服役行为”这一概念。而要

防止层状撕裂,就要尽量减低钢中硫的含量,就要采用炉外精炼技术,由此就认识到制备工艺的极端重要性。目前国际上公认的材料科学与工程的定义如下^[8]:“材料科学与工程是关于材料成分组织、制备工艺、性能、服役行为之间有关的知识和应用的科学”。材料科学与工程的研究对象不局限于金属,还包括陶瓷、塑料、电子和光学材料等。材料科学与工程的研究内容也有所扩大,包容了服役行为(performance)和合成制备(synthesis/process)。现在大家习惯于用一个四面体来描述材料科学与工程,其中服役行为和合成制备是两个顶点,也是学科的新生长点。

(3)“社会满意度”^[9]

优选或评定材料可以有几个判据。如上所述,首先要看服役行为,而这往往同材料质量和性能密切相连,其次要看经济性。从可持续发展的角度来看,还必须考虑资源是否充足,能源可否节省,对环境是否有污染,材料本身能否再生利用。这最后一点也很重要,如不能自然降解或再生利用则废弃后就成为永久性垃圾。某些复合材料得不到推广,其原因即在于不能再生利用。上述诸方面综合起来即为“社会满意度”(Social Satisfaction)。

(4)从试行到设计

直到目前为止,无论是老材料的改进还是新材料的研制,基本上还是采用“试行法”,形象地说就像“炒菜”。其基本过程如下:先参照以往的经验确定材料的成分和工艺,然后把制备出来的材料进行试验,或放到实际运行中进行考核;再根据从试验或考核反馈回来的信息进一步调整成分和工艺,如此循环进行。这种方法的缺点是周期太长、耗费太大。人们一直企求用“设计法”来取代“试行法”,即是根据指定的用途来设计所需的材料,在材料制备出来以前就可预知其性能。由于材料的行为决定于电子、原子、晶体结构、微观缺陷、组织状态、制备质量、服役条件等多层次因素,而各个层次又分属于不同的学科,虽已取得不少分散的成果,但尚不能将其系统集成。现在可以比较粗糙地预报材料的强度和韧度,但尚不能预报塑性,特别是对于复杂工况和极端条件下材料的服役行为,如何预报是一个十分重要的课题。

(5)有所赶有所不赶

我国钢铁工业的发展走过了曲折的道路。开放改革以来,特别是1992年后,钢铁工业有了很大发展,终于使我国跻身于世界钢铁大国之列。但是我们必须清醒地看到,我国要成为钢铁强国,还要付出艰巨的努力。从纵向比较成就很大,从横向比较差距不小。不仅钢铁如此,机械、电力、交通、通讯等也无不如此。其原因就在于我们耽误了从50年代开始的世界性的技术革命。从某种意义上来说,今

天我们要补这次技术革命的课,以逐步缩小同世界先进水平的差距。除了总结自身的经验,还可以借鉴世界各国的经验,包括成功的经验和失败的教训。资本主义社会的物质文明是以挥霍世界资源为代价建立起来的;与其相反,我们必须十分珍惜资源,实行可持续发展战略。前苏联和美国对钢铁工业都犯过历史性的错误^[10],而资源一无所有的日本则相对好些。这些值得我们深思。

我们必须瞄准一些制高点,选择一些对长远、对全局起重大作用的项目,集中力量加以突破,而不要分散兵力。第一个五年计划建设重点在东北,以后几个五年计划建设重点在内地,开放改革以来又着重建设“黄金海岸”,今天我们已取得了比较全面的经验。说到基础设施,除了像高速铁路重轨、严寒地区大口径输油气管、超临界火电机组等对材料提出了严格的要求,其它大部分则是建筑钢和结构钢,属于大路货,虽依然存在着提高质量、降低成本、增加品种等问题,但毕竟困难少些。很多专家已就如何发展钢铁工业提出很好意见,本文不在此展开。

由于材料涉及各个部门和各个地区,建议国家制订统一的材料可持续发展战略及实施规划,同时要建设一批节约资源、能源的示范工程。多年来我们已经积累了不少节材、节能技术成果,这是一笔巨大的国家无形资产,应该通过宏观调控和市场机制加以推广,以利于推动经济增长方式的转变,提高国有企业的竞争力。

参考文献

- [1]殷瑞钰,90年代的钢铁工业,钢铁,1992(10),p1
- [2]张群、武德昆、马国强,论自然资源与钢铁工业,钢铁,1995(7),p80
- [3]D. Altenpohl, Materials in World Perspective, Springer-Verlag, 1980
- [4]顾海澄、何家文主编,节约金属材料手册,机械工业出版社,北京,1995
- [5]H. W. Paxton, The Changing Scene in Steel, Met. Trans. 1979, 10A, p1815
- [6]陆达,在全国炉外精炼会议上的讲话,钢铁,1989(11),p1
- [7]Peter A. Psaras 等编,杨柯等译,发展中的材料研究,辽宁科学技术出版社,沈阳,1994
- [8]COSM AT, Materials Science and Engineering for the 1990 s — Maintaining Competitiveness in the Age of Materials, National Academy Press, Washington D. C. 1989
- [9]Rober to C. Villas Boas, Sustainable Development and the Advanced Materials; The Brazilian Case, CETEM, 1995
- [10]周传典,从美国钢铁工业的衰退中吸取教训,科技导报,1993(1),p38

(责任编辑 王宏章)