

钢铁材料与钢铁工业未来发展分析

Development Analysis of Steel Materials and Industry

供稿|冯凯 / FENG Kai

内
容
导
读

近年来随着材料科学的发展各种新材料的研发和问世层出不穷。对于已经使用上千年的钢铁材料来说，是即将被新型材料所取代，还是依然会作为最主要的工业基础材料继续占据主要地位呢？面对类似问题的还有钢铁工业。在国内环境保护和产业结构调整的压力下，我国钢铁工业产业规模是会慢慢萎缩或转移到其他亟需发展的国家呢，还是会继续保有目前的规模产能，甚或继续扩张呢？本文将用工程思维和工业思维分析和预判这两个问题未来的发展趋势，使人们从全新的角度认识钢铁材料和钢铁工业未来的发展。

近年来，随着各种新材料的问世，如：塑料、铝合金、陶瓷、纳米材料等，哪种材料未来有可能替代钢铁材料成为下一代新的工业基础材料，一直是工业材料领域热议的话题之一。同样，自二十多年前中国粗钢产量突破 1 亿 t，成为世界上最大的钢铁生产国以来，中国钢铁工业产能是否过剩，是否即将下滑，也一直是钢铁行业热议的话题之一。时至今日，钢铁材料依然是最主要的工业基础材料，中国粗钢产量已经接近 10 亿 t，针对这两个问题的讨论依然在继续。

钢铁材料未来发展分析

各类新型材料的发现为各个领域发展的材料需求提供了更多的选择。在很多领域，如：航空航天、氢能储备、生物医学等，正是因为新型材料的

应用，从而推动了这些领域有了重大发展和进步。但是，要想成为工业社会的基础材料，能够被所有行业广泛使用，必须满足特殊的条件和要求。

工业基础材料的必备条件

工业社会基础材料必须具备的三个条件：(1) 原材料易开采，且广泛存在；(2) 主元素或主成分可以回收再生产，实现循环；(3) 潜在性能要足够宽，例如既可以做成高强度材料，又可以做成韧性材料。

第一条是为了满足规模性和经济性的要求，这是成为基础材料被广泛使用的前提；第二条是为了满足可持续使用的要求，如果无法循环再利用，势必会形成资源恐慌和枯竭，进而不满足第一条；第三条是为了使基础材料可以在各个行业各种场景下都会被使用，不同应用场景下对材料性能的要求往往天差地别，具备足够宽泛的潜在性能是使其被广

泛使用的必要条件^[1]。

不同类型材料的对比筛选

如果把目前所有已经被开发的或正在被研究的新材料按照材料性能原理进行分类,则总体可以分为基材型材料和结构型材料。

基材型材料是以某种元素或化合物为基材,通过掺杂其他元素或化合物,实现不同的材料性能,金属类、陶瓷类等都属于这一类;结构型材料是由于某种特定结构而使材料达到某种特定的性能,石墨烯^[2]、纳米材料^[3]等都属于这一类,其本身的元素构成并不特殊,但可以通过特殊的微观结构实现特殊的性能。

对照工业社会基础材料的必要条件,基本上可以认定,结构型材料是很好的功能材料,在特定场景下会发挥很好的作用,却无法成为广泛使用的工业社会基础材料,原因是其不满足第三条,由于其某一方面功能的强大和特异性,使其成为这个应用方向上的“霸主”,但代价是牺牲了其他方面性能的可能,丧失了宽泛的潜在性能。

如果把基材型材料按照基材组成继续分类,则可以分为单质基材和化合物基材。单质基材型材料是以单一元素作为基材,例如:钢铁(钢铁材料本身也是一种铁基材料的合金,不过与通常认为的铁合金的概念不同)、铝合金等;化合物基材型材料是以化合物作为基材,例如:陶瓷、水泥等。

通过这个分类,对照基础材料的要求,基本上可以认定,化合物基材型材料虽然有一定可能性拓展其潜在性能,但由于其化合物基材的特点,决定了其难以实现循环再利用。化合物作为基材要求其必须具有极高的稳定性,因而极大地增加了回收利用的难度。

通过对工业社会基础材料的两步粗选,最后只剩下单质基材型材料具备成为工业社会基础材料的条件。那么,在这一类材料中,哪种材料有可能代替钢铁材料呢?

首先,按照基础材料的必要条件第一条进行筛选,查阅地球上各元素的含量^[4]。若依质量分数来排序地壳中元素含量的丰富程度,前8位分别是氧(46.6%)、硅(27.7%)、铝(8.1%)、铁(5.0%)、钙

(3.6%)、钠(2.8%)、钾(2.6%)、镁(2.1%);若考虑包括地幔及地核的整个地球进行排序,则含量最丰富的元素前8位分别是铁(32.1%)、氧(30.1%)、硅(15.1%)、镁(13.9%)、硫(2.9%)、镍(1.8%)、钙(1.5%)、铝(1.4%)。将二者取并集,有可能作为单质基材的元素有氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁、硫、镍共10种元素。日常广泛存在的碳元素并不在其中,这也间接决定了通过石油化工或煤化工生产的碳化工材料难以作为被整个工业社会广泛使用的基础材料。

然后,通过元素周期表,对这10种元素进行第二步筛选,可以将其分成三类。

第一类是硅、铝、钙、钠、钾、镁。这6种元素具有较强还原性,以至于生产过程以电解法为主,或者需要以更强的还原剂置换还原。这一类元素只能进行还原操作的提炼工艺,决定了此类单质基材型材料一旦掺入其他元素则在重复利用的过程中几乎无法分离。这也是为什么铝合金、镁合金的综合性能比钢铁材料要好,并且已经被很多领域使用,但依然难以成为循环材料,进而完全代替钢铁材料的原因。

第二类是氧、硫。这两种元素本身无法制作成基材材料,在常温常压下,一个是气态,一个是固态粉末状或块状,可以直接排除。

第三类是铁、镍。从基础材料的必要条件来看,镍是唯一有可能代替钢铁材料的金属材料,三个条件都满足,只可惜储量有限。从储量数据可以看出,地球上大量的镍主要储存在地球深层,地表矿非常稀缺,真正可采储量仅占总储量的10%。由此看来,在发明太空采矿和地心采矿之前,镍元素也并不满足工业社会基础材料要求的第一条。

钢铁材料的未来

通过以上分析可以看出,在现有材料研发体系和工业社会需求的前提下,不管是哪种研发思路开发的新型材料都很难替代钢铁材料成为大规模使用的工业社会基础材料。在可预见的未来,钢铁材料作为最主要的工业社会基础材料的地位依然无法撼动,而新型材料的研发则更多的是面向特定领域和特定需求的功能材料,成为钢铁材料的有益补充。

钢铁工业未来发展分析

既然钢铁材料无法被替代，那么钢铁工业就是社会发展的必然需要。对于中国来说，钢铁工业合理的产业规模应该是多少呢？这是一个典型的社会经济领域问题，需要通过对比的方法进行分析。

发达国家钢铁工业发展规律

中国作为发展中国家，正在进行工业化进程，要想判断中国钢铁工业未来发展的走势，对比分析已经完成工业化进程的发达国家十分必要。

世界上主要的钢铁生产国家或地区主要有美国、欧洲、日本、俄罗斯、印度和中国。判断和分析钢铁工业规模的最重要指标是粗钢产量。对上述几个国家或地区在 1871—2015 年间的粗钢产量^[5]绘制变化规律曲线，如图 1 所示。图 1 中所显示的欧洲钢产量是英国、德国和法国三个核心国家钢产量之和，与真实的欧洲总产量有所差异，但总体规律是一致的；所显示的俄罗斯钢产量，前期是前苏联的粗钢产量数据，前苏联解体后是俄罗斯国家的粗钢产量数据。

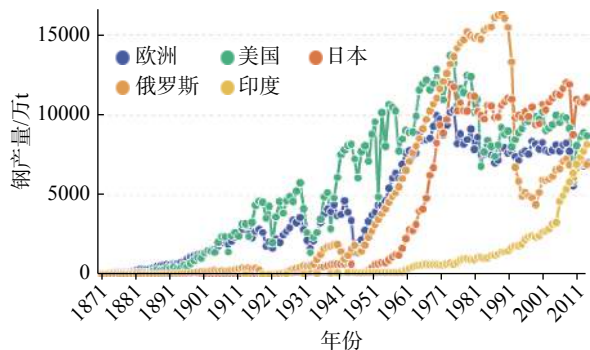


图 1 1871—2015 年世界主要产钢国粗钢产量

通过图 1 可以看出，除了前苏联由于联邦解体导致经济大崩溃钢铁产量急剧下滑外，欧洲、美国、日本的钢铁产量的规律是：在 20 世纪 70 年代先后出现峰值，之后不再增长，而是在一个产量区间内震荡，保持总体稳定。

以钢产量看似下滑严重的美国为例，历史最高值出现在 1973 年，当时钢产量 1.36 亿 t，随后经历了 10 年的下滑，并触底反弹，但即使到近几年，美国粗钢产量依然维持在 9000 万 t 左右的规模，这是

经历了布林顿森林体系瓦解、多次能源危机、大量中低端制造业转移到其他国家之后的结果^[6]。如果考虑到美国拥有的 3540 万 t 钢材进口量，则每年美国真实的钢材消费水平与历史峰值相差甚小。同样的方法分析欧洲和日本的钢产量也可以得出相同的结论。因此，一个政治、经济环境相对稳定的国家，随着经济的发展，钢铁产能达到一定水平后并不会严重下滑，而是保持在相对稳定的水平，这是社会工业化完成后维持社会稳定运行所需要的。

对比之下，如果同样的发展规律也适用于中国，那么可以推断，中国正处于工业化进程中，对钢铁材料的需求将持续增长，并在未来某个时段达到峰值，之后稍微下降后开始保持相对稳定。

中国钢铁工业发展主客观条件

中国的工业化进程对钢铁材料的需求是增长后持续稳定的过程。但是，中国钢铁工业是否会按照社会需求进行产业规模扩张呢？这就需要分析中国钢铁工业发展的主客观条件了。

在客观条件方面，钢铁工业发展所面临的最大的外在客观约束就是能源和环境压力。不管是国内环境保护力度的加大（“环境保护法”的严格执行^[7]，还是国际条约的约束（“巴黎协定”对碳排放的限制^[8]），都是对国内钢铁产业规模的极大限制。面对这种情况，对于中国钢铁工业发展来说有两种发展思路：

一种思路是把国内钢铁产业转移到周边亟需发展钢铁工业的国家，同时满足国内钢铁材料的需求。但事实上，对于中国而言，客观上没有这样的条件，主观上也没有这样的愿望。

从客观上分析，目前，英、法、德、美、日、俄、印等国家的粗钢产量之和约占世界总产量的 1/4 左右，中国占了 1/2，全世界剩下的 190 多个国家占了 1/4。因此，从客观的外部环境来看，要想保证钢铁整体供给水平，同时要把中国钢铁产能转移到其他国家，即使只转移一半，也要把全世界剩下的 190 多个国家的钢产量翻一番。这里面涉及到技术扩散、工程建设、市场需求、政治稳定、经济合理等诸多条件才有可能实施，即使有条件实施，需要建设和发展的周期也不会少于三四十年。从这个角度看，希望通过钢铁产业转移来满足中国钢铁材

料的需求是几乎不现实的。

从主观上分析，中国经济发展规划和宏观政策也没有进行产业转移的倾向。对于工业社会而言，钢铁工业作为生产整个社会基础材料的产业是不可或缺的一环。在中国发展过程中，从建国之初至今屡次经历军事围堵和经济制裁，为了保证不受制于人，对构建完整的工业体系和保障充足自给能力的重要性有极为深刻的认识。并且，从当下中美大国博弈来看，完整的产业链的确为持久战提供了足够的战略纵深和缓冲空间，更加坚定了这种“认识”的正确性。

另一种思路是推动钢铁工业产业结构调整，通过面向绿色化的转型升级，在现有约束条件下进一步发展钢铁工业。这既符合“人类命运共同体”的总体规划，又体现中国的大国担当。

钢铁工业的绿色化有两个维度，一是钢铁材料的绿色化，二是钢铁生产的绿色化。

钢铁材料的绿色化是指研制开发性能更好的钢铁品种以减少钢铁材料本身的消耗，从而减少能耗和污染。例如：随着高强钢的品种不断得以研究和开发以及强度的不断提高，在相同环境下使用的钢铁用量会相应减少，生产这些钢铁产生的污染和消耗的能源自然也就减少^[9]。

钢铁生产绿色化包括两个阶段：第一阶段是针对高污染环节增加环保设备，增加废弃物的回收（包括社会废钢的有序回收）；针对高能耗的主要手段是改进生产工艺及采用能源利用效率高的设备代替能源设备利用低的设备。第二阶段是系统层次的节能减排，包括生产过程的高效稳定运行、钢铁生产与能源系统的协同匹配、钢铁产业与化工等相关产业的耦合等。

中国钢铁工业的未来

中国钢铁工业的发展虽然存在种种阻力和约束，但是社会发展需求和可持续发展路径为未来钢铁工业的发展提供了足够的动力。在这样的条件下，中国钢铁工业产业规模未来会有多大？

这个问题非常难回答，因为不同参数、不同角度的分析，将会得到不同的结论。有些研究通过粗钢产量与经济规模的比较来分析，有些研究通过人均钢材拥有量来比较。本文通过研究发现“电炉钢比

例”更能反映社会对钢铁材料需求的满足程度，从而判断未来的产业规模上限。

钢铁生产主要有两种模式：一种是长流程模式，以铁矿石为原料通过高炉和转炉进行生产；一种是短流程模式，以废钢为原料通过电炉进行生产。废钢主要来自于社会钢铁资源的回收、利用和循环^[10]。

电炉钢占总产量中的比例反映了可回收钢铁在社会积累总量中的比例。当市场对钢铁的需求量中电炉钢比例较小时，意味着社会积累的钢材总量不足，需要以铁矿石为原料进行生产，补充钢铁资源；反之亦然，当社会积累钢材总量达到一定水平，势必会形成一定规模的废钢市场，从而增加废钢回收和循环，提升电炉钢的比例。基于这个指标，可以明显看出中国钢铁工业的年产量距离峰值还有一定的差距。

如果参照国际平均水平的情况，目前全球电炉炼钢比例（不包括中国）占总炼钢产量的40%左右，而中国电炉炼钢比例仅占炼钢量的10%左右。如果以国际平均水平计算，在不增加转炉炼钢产能的情况下还需要增加5亿t电炉钢才能达到目前国际上40%的电炉钢比例。即使考虑到长流程落后产能淘汰和产能置换，也存在3~4亿t的增长潜力。

综上所述，从短期来看（5~10年），中国钢铁工业的规模还会继续扩张，保守估计钢铁年产量将增长到14亿t以上；从中长期来看（10~20年），钢铁年产量会先增长然后回落到12~13亿t的区间开始震荡，从而形成稳定的国内市场。

结束语

通过对工业社会基础材料的要求分析以及不同类型材料的对比，阐述了在现有材料研发体系和工业社会需求的前提下钢铁材料作为最主要的钢铁基础材料的地位依然无法撼动。通过分析发达国家钢铁工业的发展规律以及中国钢铁工业发展的主客观条件，阐述了国内钢铁工业走“绿色化”道路的必然性，并预判未来钢铁工业产业规模具有增长到14亿t以上的潜力。

参考文献

[1] 董瀚. 钢铁材料研发的技术进展. *中国冶金*, 2008, 18(10): 1

- [2] 李丰恺. 石墨烯研究进展. 科研, 2016, 21(1): 5
- [3] 黄惠忠. 纳米材料分析. 现代仪器与医疗, 2003(1): 5
- [4] 黎彤等. 地球和地壳的化学元素丰度. 北京: 地质出版社, 1990
- [5] 杨婷. 全球钢铁工业发展现状及趋势. 冶金管理, 2020(12): 23
- [6] 易大东, 王庆安. 1968年“黄金危机”和“美国世纪”的衰退. 湘潭大学学报: 哲学社会科学版, 2008(3): 96
- [7] 蒋琰, 王逸如, 姜慧慧. 新《环境保护法》, 环境信息披露与价值效应. 中国经济问题, 2020(4): 32
- [8] 何建坤. 《巴黎协定》新机制及其影响. 世界环境, 2016(1): 16
- [9] 王国栋, 刘相华, 吴迪. 节约型钢铁材料及其减量化加工制造//

2006中国科协年会. 北京, 2006

- [10] 张春霞, 上官方钦, 胡长庆. 钢铁流程结构及对CO₂排放的影响. 钢铁, 2010(5): 5

作者简介: 冯凯 (1988—), 男, 博士, 北京科技大学冶金与生态学院讲师, 主要从事数学建模方法和人工智能算法在钢铁行业中的应用研究以及钢铁流程动态运行优化和智能化控制等, 《金属世界》特邀撰稿人。通信地址: 100083 北京市海淀区学院路 30 号, E-mail: fengkai-show@163.com。