

• 2050中国新工业化论坛(7) •

# 2050中国新工业化材料发展战略研究

□山东社会科学院新工业化发展战略研究课题组

本报告主要研究和阐述2050中国新工业化材料发展战略的基本理论、战略任务和战略举措。

目前,资源短缺以及资源使用带来的环境污染形成了严重的全球性问题,我国的现代化建设也面临着资源短缺和环境污染形成的严峻挑战。因此,我国的新工业化发展战略必须十分重视资源问题,其中包括材料资源问题。我们必须认真制定和积极实施既切实可行又富有远见的2050新工业化材料发展战略。

## 一、树立科学的材料资源观

### (一)工业化资源的本质、局限与危机

工业化生产是一种“采掘和利用天然化学物质资源的生产”,目前人类使用的95%以上的能源、80%以上的工业原材料和70%以上的农业生产资源都来自于矿物资源。但是,这也进一步决定了工业化生产的历史局限性。天然化学资源虽然是丰富的,但始终是有限的,当工业化生产高度发达之后,天然化学资源必然会出现短缺,工业化生产必定会出现危机。工业化生产还是一种极具危害性的生产方式。伴随工业化生产必然会出现大量化学性质的废弃物(包括固体、液体和气体),这又必然进一步造成环境污染,对生态环境带来毁灭性的破坏。工业化生产的这两大历史局限,决定了它必然是一种不可持续的生产方式。从工业化进程的经验看,在资源变革中,能源革命发生在先,原材料革命发生在后。这告诉我们,新工业化革命可能也将首先在能源领域兴起,最早发生的将是能源危机,新能源革命将首先发生,新材料革命要来得晚一些,这具体表现在材料资源危机要比能源危机发生得轻一些晚一些。但材料资源的短缺也会很快出现,新材料革命也会很快发生,只是它要比能源危机及其革命晚一些而已,我们必须对材料资源革命有充分的准备,必须积极参与新材料革命。

### (二)资源深化是当代科技革命产业革命的大趋势

比工业化生产更深层次的生产方式是新工业化生产。目前,一场新科技革命正在世界范围兴起,同时,由资源环境危机形成的工业危机也已经出现,新科技革命和工业危机必然导致新工业革命。新工业化作为比工业化更高级的生产方式,其最根本的特点就在于它的“深层次”。新工业化是更深层次的生产力,它把人工生产向自然物质深层推进,不论是其物质生产原材料还是其主导能源都比工业化生产处于更深层次。

在工业生产中作为劳动的前提和开端的是天然化学物质(矿物质),而在新工业化生产中,由于生产的链条向前推进,作为生产开端的原材料上则是自然元素物质。这显示了新工业化生产比工业化生产的深化,也是新工业化生产资源的深化。新工业化时代在一定意义上就是一个人工材料时代,依赖人工新材料,人类就能生产出无穷无尽的结构和性能都非常优异奇异的新产品,人类社会生活就会更加丰富多彩,物质财富就会无限充裕。因此,新工业化生产是比工业化生产更大发展空间和更高发展阶段的人类物质生产。

## 二、中国材料资源的问题与原因

中国材料资源的问题不是孤立的,它是当今世界资源匮乏、环境污染严重的一部分,属于工业危机的范畴。

### (一)矿产原材料严重短缺

中国矿产资源总量虽然比较丰富,但由于人口众多,人均占有量不到世界水平的一半。据测算,我国45种主要矿产中,多数矿产资源供需形势严峻,一些关系国民经济命脉的、用量大的大宗矿产中,贫矿和难选矿多,富矿少,质量差,后备储量严重不足,供需矛盾相当突出。当然,在当今世界上没有一个国家尤其是主要经济大国能做到矿产自给自足,中国的矿产进出口贸易也是进大于出。问题的要害是,世界的矿产资源也是极其有限的,它并不能成为中国经济发展的可靠支撑。

主要矿物原材料日益短缺,势必影响经济持续发展。主要矿物原材料的供需缺口将更加突出,大宗支柱性矿产数量不足,品质较差,供需矛盾加剧。在目前及今后相当长一个时期,由中国、印度等新兴经济体主导的世界性矿产需求增长将持续提高,矿产供需矛盾将不断加剧,势必影响全球经济发展态势。这也将直接影响中国经济的持续稳定发展。

### (二)矿物原材料的使用造成严重的环境污染

当前,矿物原材料(包括矿物能源)的使用造成了十分严重的环境问题,已经制约我国经

济发展,威胁公众健康,影响社会生活。(1)大气污染。(2)水污染。(3)工业固体废弃物的大量堆放对环境造成很大危害。(4)环境问题造成巨大经济损失,危害公众健康和公共安全。

### (三)原材料资源匮乏以及环境污染严重的原因

第一,作为工业化原材料的矿产资源是有限的。第二,中国工业化发展的具体国情限制。中国是一个后发展人口大国,其工业化发展所需要的资源不仅数量巨大,而且遇到了发达国家的遏制,困难是必然的。第三,新工业化理念和政策相对落后,不能运用新工业化方法开拓资源的利用。第四,新材料科技和新材料产业落后,不能积极开发替代材料,材料供给不能适应经济快速发展的需要。第五,经济全球化导致工业转移,加重了中国资源环境问题。

由上述种种趋势的综合作用所决定,中国的未来发展势必会出现两大重要态势。其一,由资源和环境所限定,作为人口超大国家的中国已不可能建立发达的工业化(其他发展中的人口大国也是这样)。其二,中国在21世纪20年代基本实现工业化之后,在向2050年的现代化挺进中,由于全球矿产资源的短缺等国内外资源环境问题急剧恶化,中国陷入工业危机的危险性将会迅速增大。如不给予充分关注和采取有效应对战略,中国经济就可能在这个时期陷入资源环境危机,并进一步导致严重的政治社会安全问题。

## 三、2050中国新工业化材料发展战略的主要构想

材料问题与能源问题一样,都是工业化生产发展到一定阶段必然要遇到的问题,是工业危机的表现,它们的解决,最终要靠开拓新工业化道路。新工业化的材料发展战略,最终是要建立起新工业化的材料体系,需要一个逐步的发展过程,需要一些中间过渡环节和措施。最终,新工业化的材料体系将构成新工业化产业体系和经济体系的重要支柱。

### (一)矿产资源合理开发与高效节约战略

严格地讲,在新工业化材料体系中,原材料应以资源元素化为主体,次级材料应以人工材料为主体,都不再以天然矿物资源为主体。但是,材料资源的革命要晚于新能源革命,在新工业化变革初期材料资源还不可能马上转型,传统的工业化矿物原材料还会延续一段时间。所以,面对日益严峻的资源匮乏问题,必须对矿产资源给予合理开发和保护,实施资源高效节约战略。(1)从中国的国情出发,要十分珍惜各种矿产资源,不能简单模仿发达国家的生活方式,要大力提高资源利用率,坚决克服各种资源浪费现象,从保障资源安全的战略高度坚持不懈地抓好矿产资源合理开发和保护。(2)在继续合理利用国内矿产资源的同时,积极利用国外资源,提高资源的优化配置和合理开发水平。(3)在加强地质勘探和开发的同时,必须尽力减少矿产开发造成的环境代价。(4)对矿产资源要坚持适度开发、适度生产、适度消费,以延长矿产资源的利用时限,避免因矿产资源匮乏而招致的工业危机,并利用这个时机积极开拓新工业化,因此要同时大力推进非金属矿物的开发利用,大力推进循环利用,大力推进物质微观深层资源的开发。

### (二)材料资源循环利用战略

目前世界再生资源利用发展迅速,再生资源占消费的比重越来越大,正在抑制对一次矿物原材料需求的增长。有些国家金属回收利用价值已超过这些金属的开采价值。所以,对原材料的单向开发是根本不可能满足需求的,必须积极实施循环利用战略。在有限的地球资源范围内,只有凭借资源循环利用才可以最大限度的提高资源利用量和利用率。另外,循环利用有层次性,逐步做到微观深层循环才是彻底的循环利用。对原材料的深层循环利用属于新工业化的材料资源,在新工业化生产中材料资源的深层循环利用率最低限度要达到60%以上,并逐步提高。所以,要做到深层循环并不是一件容易的事,需要新材料科技的突破性发展,如纳米材料科技、3D打印材料科技、生物材料科技的发展。务必认识到,我国现代化建设所需要的材料资源必须走深层循环利用的道路才能较好地得到解决。同时,由于深层循环利用可以把废弃物当作资源,这也会加速解决对环境的污染问题。但是,必须认识到循环利用的局限性,因为这不可能大幅度的扩大物质资源的利用总量。新工业化生产的根本特点就是实现全元素物质进入生产利用,所以,循环利用必须是微观元素层次的循环利用,而能达到微观元素层次的循环,实际上也就可以把所有元素物质都纳入物质生产。较大比重的循环利用的主要作用在于减少废弃物,减低环境污染。为了提高物质生产能力和水平,我们必须把深化

物质生产的材料层次即元素化和拓展物质生产的材料范围作为重点,而不是仅仅局限于循环利用。

### (三)原材料资源元素化开发战略

物质资源的存在是有层次性的,对物质资源的开发利用又是有历史性的,人类在一定的历史发展时期只能开发一定层次的物质资源。工业化生产开发的是天然化学资源,而新工业化生产将开发更深层次的物质资源,这就是小分子原子层次物质资源,主要是元素层次物质。如果从这样的微观层次看,世界上还有什么物质不能成为生产的原材料呢?物质资源还会短缺吗?所以,我们进行新工业革命的一项重要任务就是开拓出物质资源的更深层次,创造出物质生产的新产品。新工业化将打开物质资源更深更新的层次,拓展物质资源的范围,工业化形成的资源匮乏将得到彻底解决。我们看到,由于纳米技术、3D打印技术、生物技术等微制造技术的发展,人类已经能够进行原子操作和分子的设计制造,这不仅打开了物质生产的深层次,也打开了材料资源的深层次。随着人类微制造技术的迅速发展,物质深层次的原材料也将迅速打开,我们不仅要从事的视角把握微制造技术的作用,还必须从材料开发的视角把握微制造技术的作用,在大力研发微制造技术的同时大力开拓深层材料资源。

材料的元素化主要表现在三个方面。第一,元素化的微观制造成为一种新的主导生产方式。新工业化生产的主体应从元素操作和分子设计制造开始,也就是微观制造应成为新工业化生产的主导方式。但这不等于说新工业化没有宏观制造,而是说新工业化的生产是从微观到宏观的多层次的全生产,而不再只是表面的宏观的生产。只有这样,新工业化的材料资源才能完全彻底地实现元素化。第二,元素材料广泛进入生产过程,物质生产成为全元素生产。工业化生产主要是利用金属材料的生产,20世纪后期非金属矿物质逐步进入生产领域,但占地球主要组成部分的许多非金属物质还没有进入物质生产。在新工业化的元素化生产中,没有无用之物,这像在自然化中没有无用之物一样,对于全元素生产的新工业化生产,二氧化碳等许多在工业化生产中没有发挥作用的物质都会成为重要的生产原材料。第三,向下深层分解、向上多级合成以及无限循环生产,既保证了生产过程的材料资源元素化也保证了生产过程的产品高级化。

对于新工业化的材料深层开发战略,我们必须予以充分关注。这是因为,一定的历史时代与一定的材料资源是有相关性的,农业时代有农业化的材料资源,工业时代有工业化的材料资源,新工业时代也必定有新工业化的材料资源,在材料资源选择上滞后必然会影响到社会生产的整体发展水平。只有对更深层次的物质施加改造作用,才能显示出更高水平的物质生产力和物质生产方式。所以,随着现代化进程的发展,即使某些工业化矿物资源不发生短缺,也应积极利用新工业化深层资源而不是拘泥在传统工业化表层资源的狭隘范围中。例如在能源发展中,农业时代的薪柴就不及工业时代的煤炭所处的物质层次深,前者是生物资源,后者则是化学资源,即使薪柴能够满足供应,也不可能依靠薪柴来实现工业化而必须采用煤炭。新工业化则不可能依靠矿物资源来建立,在能源上必须依赖太阳能、核能等物理能源而不是煤炭等化学能源,在原材料上也是如此,从元素物质开始的生产肯定要比从大块矿石、大块钢铁、大堆原油开始的生产复杂得多高级得多,纳米级的生产肯定比厘米级的生产复杂得多高级得多,最终,其多级人工材料制成的产品也要复杂得多高级得多。

### (四)人工新材料开发战略

人工新材料,指的是利用元素原材料生产的多级材料,它是人工生产的而不是自然存在的。在工业化生产中,矿物资源是大自然提供的生产原材料,它就是工业生产的起点,经过冶炼就可进入零部件和成品的加工制造。所以,工业化生产本质上是单级材料的物质生产。但在新工业化生产中,元素物质是生产的最初原材料,只有经过精细的加工制造生产成多级的人工新材料,才能利用它进一步加工制造出宏观物质成品。所以,完整的新工业化生产是多级材料的物质生产。当然,在工业化发展中,人工新材料就已开始大量涌现,它们大都是利用矿物资源生产的。但只有在新工业化时期,才会利用元素物质精细制备大量人工新材料,各种物质成品的生产将直接依赖对新材料的加工制备,而不再是对天然材料的直接利用,人类也将因此而创造出无数的奇异的物质新产品。现在,新材料的发明创造已经成为一个国家科技经济发展水平的重要标志,今后将会更加如此。我国已经成为一个材料大国,但在新材料领域与发达国家仍有较大差距,如何赶超并实

现跨越式发展,是我们目前的重要任务。必须制定有力措施,尤其是加大新材料科技投入,选准目标,争取在关键技术和关键领域有所突破有所前进。目前,新材料产业有一个庞大的阵容,如微电子材料、新型光电子材料、稀土功能材料、生物医用材料、先进复合材料、新型金属材料、先进陶瓷材料、高温超导材料、环保材料、能源材料、先进高分子材料、纳米材料、智能材料、3D打印材料等等。在这些新材料的研发和生产中,涉及的物质层次日益深化,大都属于新工业化生产范畴的新材料生产,我们都必须高度重视,从跟踪发展、自我创新发展直到实现超越发展。可以预测,在21世纪的新工业化进程中,首先将发生新能源革命,随后就将发生新材料革命。新材料革命的核心是从元素化资源制备人工新材料,其关键技术是纳米材料技术、3D打印材料技术和生物材料技术等,所以,新材料革命的核心也就是纳米技术革命、3D打印技术革命、生物技术革命等。我们必须积极参与纳米技术革命、3D打印技术革命和生物技术革命,以新材料技术革命来推动材料资源的深化。

### (五)新工业化材料资源发展战略的实施

目前,新材料革命作为新工业革命的一个重要组成部分已经兴起,只是比新能源革命显得缓慢一些,矿物材料危机也没有矿物能源危机显得那么严峻和紧迫。但是,我们也决不能低估新材料革命的兴起,尤其是我国是一个人口超级大国,工业化的迅速发展已经使国内矿物材料供不应求,并极大的冲击了世界矿物材料市场,铁、铜、铝以及石油、煤炭等矿物资源的价格都在猛涨。一方面是矿物材料日益匮乏和环境污染日益加重,另一方面是纳米技术、3D打印技术、生物技术等新材料科技突飞猛进发展,尤其是各门高新技术和产业的发展和推广都亟待新材料的出现,一场主导材料转型的深刻革命已势在必行。我们如不能跟上这场新材料革命,就会陷入矿物资源危机,就会在新科技革命新产业革命中再度落伍。所以,必须认真制定并积极实施2050中国新工业化材料资源发展战略。

从现在到2050年的现代化材料资源发展战略,可分为两个层次、两个阶段来推进和实施。

第一个层次属于适度工业化的材料资源发展战略,主要包括矿产资源合理开发和高效节约战略,材料资源循环利用战略的一部分内容也属于适度工业化的材料资源发展战略。在这个层次的战略中,要把握好适度开发、适度生产、适度消费的尺度,其开发、生产、消费的增长速度都应慢于经济增长速度,不足部分应由新材料的开发利用来补充。第二个层次属于新工业化的材料资源发展战略,主要包括材料资源的深层循环利用、原材料的全元素化开发、人工新材料的大力发展等战略。在这个层次的战略中,要以积极应对矿物资源匮乏和生态环境恶化的严峻挑战的危机意识,努力发挥新材料科技的引领作用,大力推进材料资源的深层次、元素化、循环化、人工化、高级化,并与新能源革命相配合,彻底克服矿物资源危机,提升和转变物质生产方式。

两个阶段,指的是从现在到2050年的30多年可按照两个时间段来安排:(1)2021—2035年,中国材料发展战略应以提高矿物资源的循环利用率、积极开发深层原材料和人工材料为重点,大力推进纳米材料、3D打印材料、生物材料等新材料科技和产业的发展,主要矿物材料的循环利用率应>60%,矿物原材料的开发增速应低于经济发展的增速;(2)2036—2050年,应实现主要矿物材料的全循环利用,非金属矿物材料在生产中的利用比重>60%,纳米材料、3D打印材料、生物材料等新材料的发展增速应与经济发展增速持平,矿物原材料的开发增速下降,矿物资源利用的零增长(或负增长)加上新材料的高速增长满足2050年经济社会发展对材料资源的需求,国家进入世界材料强国行列。最终,在21世纪下半叶,完成主导材料的新工业化转型,经济社会实现工业化向新工业化的飞跃。

### (六)新工业化材料发展战略的保障措施

必须积极采取以下措施:(1)不断加大研发投入,大力推进自主科技创新,努力使我国材料科技居于世界前列,尤其要集中力量推进以纳米技术为核心的新材料革命;(2)充分发挥政府的引领作用和市场的推动作用,政府要通过制定政策框架、市场框架和技术框架来促进新材料的开发利用;(3)实施新材料基地建设工程,积极推进新材料开发利用的产业化、市场化,使新材料产业成为新的经济增长点和支柱产业;(4)积极开展国际合作,包括科技合作、开发利用合作。

(课题主持人唐洲雁,首席专家韩民青,课题组成员杨金卫、张凤莲、孙晶、范玉波、石晓艳)