

# 石墨资源及材料产业高质量发展战略研究

孙传尧<sup>1,2</sup>, 申士富<sup>1,2\*</sup>, 王文利<sup>3</sup>, 袁国辉<sup>4</sup>, 黄正宏<sup>5</sup>, 张以河<sup>6</sup>

(1. 矿物加工科学与技术国家重点实验室, 北京 100160; 2. 矿冶科技集团有限公司, 北京 100160; 3. 中国非金属矿工业协会, 北京 100022; 4. 哈尔滨工业大学化工与化学学院, 哈尔滨 150001; 5. 清华大学材料学院, 北京 100084; 6. 中国地质大学(北京)材料科学与工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 天然石墨是一种由新制备及应用技术引领发展的新技术矿产, 是支撑我国战略性新兴产业发展的重要原材料。本文分析了石墨资源及材料产业高质量发展的需求, 总结了我国石墨资源及材料产业的发展现状, 分析了我国石墨产业高质量发展的潜力和面临的主要问题, 提出了我国石墨资源及材料产业下一步发展的目标。在此基础上, 本文提出了石墨资源及材料产业高质量发展的举措, 包括以石墨精深加工为中心布局技术创新体系; 优化资源配置, 加快发展绿色石墨企业及绿色石墨矿山; 加强平台能力建设, 夯实产业链供应链技术创新基础; 重点突破石墨烯独特物性的专属应用, 避免过度宣传。研究建议, 健全我国石墨全产业链及供应链数据库, 建立长期支持我国石墨产业高质量发展的政策机制, 加快资源整合及“国际石墨谷”建设, 规划布局创新能力平台和加强人才培养。

**关键词:** 石墨; 石墨深加工; 石墨精矿; 石墨烯; 氟化石墨

**中图分类号:** T-1 **文献标识码:** A

## High Quality Development of Graphite Resource and Graphite Material Industry

Sun Chuanyao<sup>1,2</sup>, Shen Shifu<sup>1,2\*</sup>, Wang Wenli<sup>3</sup>, Yuan Guohui<sup>4</sup>,  
Huang Zhenghong<sup>5</sup>, Zhang Yihe<sup>6</sup>

(1. State Key Laboratory of Mineral Processing, Beijing 100160, China; 2. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China; 3. China Non-Metallic Materials Industry Association, Beijing 100022, China; 4. School of Chemistry and Chemical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 5. School of Materials Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 6. School of Materials Science and Engineering, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Natural graphite is a new-technology mineral resource led by new mineral preparation and application technologies and an important raw material that supports the development of China's strategic emerging industries. This paper analyzes the demand for high-quality development of graphite resources and the graphite material industry, summarizes the development status, unveiled development potentials and major challenges, and puts forward goals for next stage development. Furthermore, this paper proposes the following measures: (1) establishing a technology innovation system that focuses on the deep processing of graphite; (2) optimizing the allocation of resources and boosting the development of green graphite plants and mines; (3) strengthening the capacities of platforms to consolidate the technological innovation foundation for industrial and supply chains; and (4) focusing on breakthroughs in the

**收稿日期:** 2022-03-25; **修回日期:** 2022-04-22

**通讯作者:** \*申士富, 矿冶科技集团有限公司教授级高级工程师, 研究方向为选矿及固废资源综合利用; E-mail: shenshifu@bgrimm.com

**资助项目:** 中国工程院咨询项目“石墨产业结构与技术提升发展战略研究”(2019-XY-14); 中国工程院咨询项目“国家关键矿产及材料产业链供应链高质量发展战略研究”(2020-XY-01)

**本刊网址:** www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

exclusive application of graphene's unique physical properties and avoiding excessive marketing. Additionally, it is necessary to set up a sophisticate database that covers the entire industrial and supply chains of graphite, establish a long-term policy mechanism that supports the high-quality development of China's graphite industry, accelerate resource integration to construct an international graphite valley, and improve innovation platforms to enhance talent training.

**Keywords:** graphite; graphite deep processing; graphite concentrate; graphene; fluorinated graphite

### 一、前言

石墨是碳的单质，为六方晶系层状结构，具有良好的导电性、导热性、润滑性、耐高温性、抗热震性及化学稳定性。石墨不仅广泛应用于传统工业，还广泛应用于新能源、电子信息、航空、航天、核能、军工等行业，被誉为21世纪支撑我国战略性新兴产业发展的重要原料，被欧盟、美国、澳大利亚等国家和地区列为关键资源。国际能源署预测，在可持续发展情景中，到2040年石墨需求量将比2021年增长约25倍 [1]。石墨分为晶质石墨和隐晶质石墨两种类型，在目前技术经济条件下，晶质石墨的用途更广阔，资源价值及战略性地位更高。我国是石墨资源大国，是世界少数几个既有晶质石墨又有隐晶质石墨的国家。2016年，我国《全国矿产资源规划（2016—2020年）》将晶质石墨列为战略性矿产之一 [2]。

近年来，我国天然石墨产业结构不断优化，生产技术水平显著提高，石墨精矿及初加工产量长期处于世界首位，已经建设了全球最完善的产业链和供应链，但也面临以资源开发及原材料生产为主、大部分产品产能过剩、高端产品有效供给不足、创新驱动力量薄弱、抵御风险能力不强等诸多挑战 [3]；另外，石墨产业存在企业整体实力偏弱、产品档次低、产业链较短、精深加工比例较低、生产设备落后、生产要素成本较高等问题 [4]。

全球石墨资源丰富，资源保障能力较强，未来随着石墨在战略性新兴产业中的消费比例快速增加，高端石墨产业发展面临新机遇，我国应在高端石墨材料领域提前布局 [5]，不断提升科技创新能力 [6]；更加重视石墨资源安全，加快行业核心竞争力建设 [7]，防范市场安全对石墨供应风险的影响 [8]。此外，在新制备技术引领下，石墨的高端应用将不断拓展，被称之为新技术矿产，并提出了“以碳减碳”发展天然石墨锂离子电池负极材料（简称负极材料）的发展思路 [9,10]。

当前全球石墨产业正处于产业链供应链重塑

期，发展面临新机遇，我国石墨产业需抓住高质量发展的重要关口。为此，本文以我国石墨资源及产业高质量发展为目的，分析其高质量发展需求，总结发展现状及存在的主要问题，提出我国石墨产业结构优化、技术提升及产业链供应链高质量发展的政策建议等。

### 二、石墨资源及材料产业高质量发展需求

#### （一）天然石墨产业链结构分析

天然石墨产业链主要包括石墨资源开发、深加工、产品应用及废弃物管理4个阶段，对应原料级产品、材料级产品、应用类产品、资源综合利用产品链。图1为天然石墨产业链及产品链图谱。

石墨产品链的上游为资源端，主要指通过采矿和选矿得到可以直接利用或者可以加工再利用的石墨精矿。石墨初加工是以石墨精矿为原料，经过不太复杂的物理或化学方法制备的、需要再加工才可以作为材料应用的加工过程。石墨初加工产品包括高碳石墨（不包括选矿得到的高碳石墨）、高纯石墨、可膨胀石墨、球形石墨、炼钢增碳剂等。石墨深加工是以石墨精矿或者初加工产品为原料，经过较复杂工艺制备的，为终端设备、器件、工艺等提供材料的加工过程。石墨深加工产品包括前沿产品、高端产品、中低端产品等材料级产品。石墨应用端产品是以石墨初加工或深加工产品为原料制备的器件、装置、工具、材料等。石墨废弃物管理主要指对含石墨废弃物的回收利用等。

#### （二）石墨资源及材料产业高质量发展需求

##### 1. 发展绿色矿业、建设绿色矿山的需要

在“两山”理论指导下，大力发展绿色矿业、建设绿色矿山是时代发展的必然要求。我国年开采石墨矿石超过 $1 \times 10^7$  t，现有选矿企业50余家，建设绿色石墨矿山是实践“两山”理论的必然举措。2008年，我国提出了发展绿色矿业的明确要求，确定了2020年基本建立绿色矿山格局的战略目标 [11]。

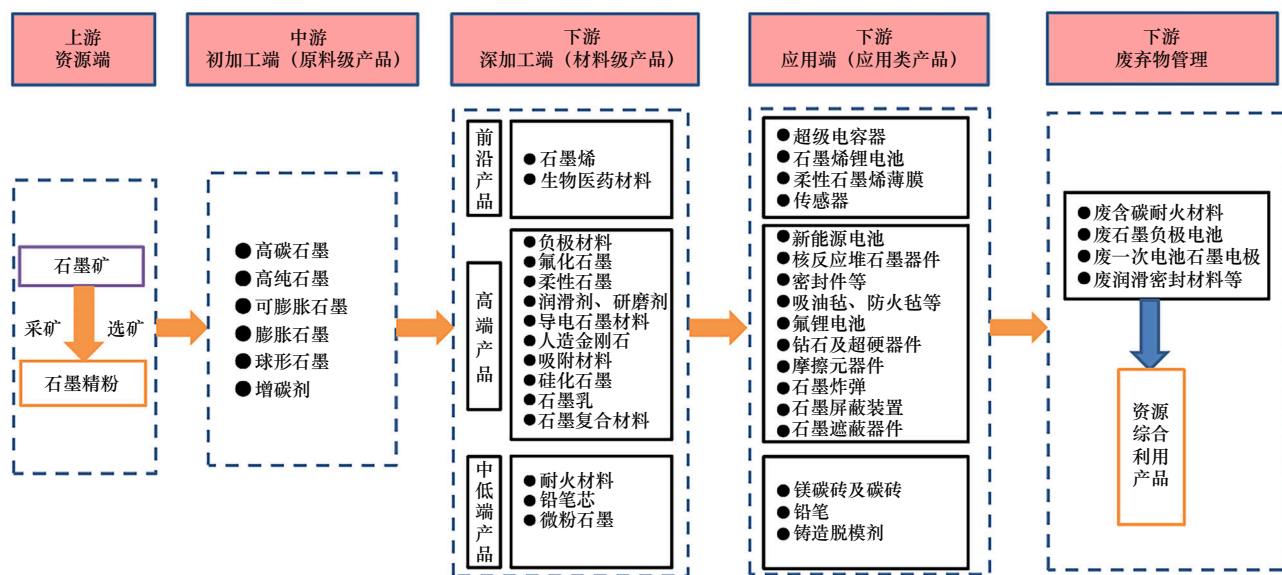


图1 天然石墨产业链及产品链图谱

2010年,我国发布了发展绿色矿业、建设绿色矿山的指导意见[12],要求将发展绿色矿业、建设绿色矿山作为保障矿业健康可持续发展的重要抓手,通过绿色矿山建设促进矿业发展方式转变。2018年,自然资源部发布了《非金属矿行业绿色矿山建设规范》(DZ/T 0312—2018)[13],这是当时全球发布的第一批国家级绿色矿山建设行业标准,标志着我国绿色矿山建设进入了新阶段,对我国矿产行业绿色发展起到有力的支撑和保障作用。据不完全统计,目前我国可以达到绿色矿山建设标准的石墨矿山企业还很少,整个行业的绿色矿山建设情况尚未完全符合国家高质量发展要求,仅有南方石墨有限公司取得了国家级绿色矿山建设试点单位资质,中国五矿集团(黑龙江)石墨产业有限公司正在开展绿色矿山建设。为此,石墨矿山行业亟需进一步提升绿色矿业、绿色矿山建设的水平与能力,实现高质量发展。

## 2. 发展战略性新兴产业需要

进入21世纪,随着石墨材料加工及应用技术的不断发展,石墨的物化电热等特性得到充分发挥,核石墨、球形石墨、高纯石墨、膨胀石墨、柔性石墨、石墨烯、纳米石墨等高性能石墨产品在核能、新能源、储能、节能环保、航空、航天、生物医药、电子信息、新材料、高端装备等战略性新兴产业中的使用量逐年增加,石墨材料正成为电子产

品、电动产品、航空、航天、高端机械、核反应堆等不可或缺的重要材料。表1总结了石墨在我国战略性新兴产业领域的主要应用。从表1分析可知,石墨在信息技术、高端装备、新材料、生物医药、新能源汽车、新能源和节能环保等领域具有广阔的应用前景,是以上领域发展不可或缺的材料。我国战略性新兴产业高质量发展和石墨产业高质量发展形成了互相推动及制约的关系,战略性新兴产业亟需石墨产业高质量发展。

## 3. 供给侧结构性改革的需要

在当前国家供给侧结构性改革快速推进的背景下,石墨产业需要高质量发展,提高产品质量,实现产品类型高端化,解决“卡脖子”技术与产品,更好满足国民经济发展的更高需求,彻底改变我国石墨产品低出高进,部分产品严重受制于人,行业处于价值链中低端的状况;同时,石墨产业需要进一步提升环保技术,提高劳动生产率,降低能耗和物耗,提高“自动化代人、机械化减人”水平,加强技术创新。

此外,全球石墨供给侧正发生结构性变化,全球石墨产业正处于产业链供应链重塑期。欧美等国家和地区普遍重视石墨资源及材料的发展。欧盟宣布将石墨烯列入“未来新兴旗舰项目”,在未来10年内计划投入10亿欧元;日本将石墨作为重要战略资源进行储备;美国将石墨列为高新技术产业

表1 石墨在我国战略性新兴产业领域的主要应用

产业类别	关键发展领域	石墨相关应用
信息技术	构建网络强国基础设施	散热器件、密封材料
	推进“互联网+”行动 实施国家大数据战略 做强信息技术核心产业	散热器件、密封材料 散热器件、密封材料、数据探矿 石墨烯、等静压石墨坩埚、电池负极、锂离子电池电解液、散热器件、显示件
高端装备及新材料	发展人工智能	散热器件、超级电容器、显示器等
	打造智能制造高端品牌	耐高温材料、耐磨材料、润滑材料、密封材料、电磁屏蔽材料等
	实现航空产业新突破	耐高温材料、耐磨材料、润滑材料、密封材料、高强碳纤维等
	做大做强卫星及应用产业	耐高温材料、密封材料
	强化轨道交通装备领先地位	润滑材料、导电材料、密封材料、高强碳纤维等
	增强海洋工程装备国际竞争力 提高新材料基础支撑能力	碳纤维、电池材料、润滑材料、导电材料、密封材料、环保材料
生物医药	构建生物医药新体系	检测材料、病原体分离材料、包覆材料
新能源汽车、 新能源和节能环保	实现新能源汽车规模应用	负极材料、导电剂、润滑材料、密封材料等
	推动新能源产业发展	核电慢化剂、结构材料、储能材料等
	大力发展高效节能产业	自发热材料、高导热材料、节能建筑材料
	加快发展先进环保产业 深入推进资源循环利用	吸附材料、润滑材料、密封材料 石墨材料循环利用

的关键矿物原料，实行立法保护；非洲新发现大量优质石墨资源，全球石墨资源开发重心从中国逐步向非洲转移的趋势明显。我国石墨产业发展面临新的挑战，必须以高质量发展解决我国石墨产业长期存在的低质量发展、低水平建设、创新能力差等问题。

### 三、我国石墨资源及产业的发展现状

#### (一) 我国优质石墨资源概况

美国地质调查局（USGS）的统计显示，2020年全球石墨储量为 $3.2 \times 10^8$  t，其中土耳其为 $0.9 \times 10^8$  t，中国为 $0.73 \times 10^8$  t，巴西为 $0.7 \times 10^8$  t [14]，3个国家的石墨储量合计约占全球储量的72.81%；马达加斯加、坦桑尼亚、莫桑比克3个国家的石墨储量快速增加到 $0.68 \times 10^8$  t，是全球石墨储量增长最快的区域。截至2019年，我国已探明石墨资源储量为 $5.02 \times 10^8$  t，其中晶质石墨资源的探明储量为 $5.29 \times 10^8$  t [15,16]；截至2020年，我国晶质石墨储

量约为 $0.52 \times 10^8$  t [17]。

按照成矿类型，将石墨矿划分为区域变质型、接触变质型、岩浆热液型三类；按照变质程度不同，区域变质型石墨矿床又分为深变质型和浅变质型两个亚类 [18]。区域深变质石墨矿床石墨矿物结晶大，以中-粗石墨鳞片为主，应用性能更优、应用领域更广。我国探明的区域深变质石墨资源储量主要分布在黑龙江、山东、内蒙古、山西、河南等地。截至2019年，主要省（自治区）的区域深变质晶质石墨保有资源量约为 $2.93 \times 10^8$  t（见表2）。近年来新发现的主要大型区域变质晶质石墨矿及其保有资源量情况如表3所示。

#### (二) 我国石墨产业的发展现状

在石墨精矿生产方面，我国是全球最大的石墨精矿生产国，鳞片石墨精矿产量约占全球总产量的60%。目前，我国石墨采选矿企业约有50家，合计精矿产能约为 $1.8 \times 10^6$  t，企业普遍存在生产规模偏小、石墨回收率偏低、大鳞片损失严重、自动化水



表2 2019年我国主要省(自治区)区域深变质晶质石墨保有资源量估算

省区	保有资源储量/ $\times 10^4$ t	占比/%
黑龙江	23 263	85.71
山东	1500	3.57
内蒙古	800	1.90
山西	1700	4.05
河南	1600	3.81
湖北	400	0.96
合计	29 263	100.00

平低、装备水平差、环境污染依然较为严重、劳动生产率等问题。

在石墨初加工方面,我国是石墨初加工产品的主要生产国,产量约占全球总产量的80%,初加工企业生产规模较大、技术较为先进,可膨胀石墨、球形石墨等的制备技术处于世界领先水平。据不完全统计,2020年我国球形石墨产量约为 $1.1 \times 10^5$  t、可膨胀石墨产量约为 $5 \times 10^4$  t、膨胀石墨产量约为 $5 \times 10^4$  t、高纯石墨产量约为 $5 \times 10^4$  t、高碳石墨产量约为 $5 \times 10^4$  t、炼钢增碳剂产量约为 $2 \times 10^5$  t。

在石墨深加工方面,深加工产品种类多样,产量较大的产品有负极材料、金刚石、柔性石墨、氟化石墨、石墨乳、微粉石墨、铅笔芯、润滑剂、研磨剂、导电材料、石墨烯等。我国是负极材料、金刚石、柔性石墨、微粉石墨、石墨烯等的全球主要生产国,其中负极材料产量占全球总量的70%以上,金刚石产量占全球总量的95%,含石墨的镁碳砖、碳砖产量约占全球总量的60%。据不完全统计,2020年,我国石墨深加工产品的负极材料产量约为 $6 \times 10^4$  t、金刚石产量约为 $4 \times 10^3$  t、柔性石墨产量约为 $2 \times 10^3$  t、微粉石墨产量约为 $5 \times 10^3$  t、含碳耐火材料产量约为 $2 \times 10^6$  t。

在石墨应用端产品方面,我国是应用端产品的重要生产国。我国的锂离子电池产量居世界首位,2021年产量为324 GW·h(约14%的产品用天然石墨作为负极材料),约占全球总产量的70%,锂电池全产业产值突破6000亿元[18];我国石墨类密封润滑摩擦材料发展历史长,产品可以自给;我国当前已具备氟锂碳电池的生产能力,但是难以满足高端应用需求;燃料电池、燃料电池双极板、可穿戴设备等正处于初创期。

在石墨废弃物管理方面,我国重视含石墨废弃物如炼钢用镁碳砖、连铸用铝-石墨耐火材料、石墨保温砖、负极材料、刹车片、隔热材料等的循环利用价值。我国大部分废石墨类耐火材料已经回收再进行低价值利用;废旧动力电池循环利用正处于产业化初期,其中的废旧石墨回收也着手进行但尚未产业化。总体来看,我国石墨废弃物管理的水平综合利用水平还较低,亟需进一步提高。

此外,我国仍存在一些受国外“卡脖子”的石墨技术与产品,在资源端主要是大鳞片石墨、致密块状石墨,在材料端主要是超纯石墨、高性能氟化石墨等。

### (三) 我国石墨产业发展水平分析

现阶段我国石墨产业的发展水平如表4所示。综合评价表明:①石墨资源端的综合指标较好,资源安全性较高;绿色发展指标较低,综合能耗、固废排放量等较高;国际竞争力指标较高,产业集中度得分较低;采矿技术水平较低,选矿技术水平处于世界领先水平。②石墨材料产品制造端综合指标较差。高端产品进口主要集中在美国、日本、德国等国家;单位产品的能耗、废水排放量等较高;国际竞争力指标低、国际化水平低;研发投入低、核心专利少。③循环利用端综合指标较低。主要回收

表3 我国近年来新发现的主要大型区域变质型晶质石墨矿及其资源量

矿区名称	探明资源储量/ $\times 10^4$ t	平均品位/%
黑龙江林口西北楞石墨矿	3500	7.04
黑龙江双鸭山市西沟石墨矿	2338	6.97
黑龙江勃利县佛岭石墨矿	2895	11.00~15.00
黑龙江萝北县石墨矿	18 000	11.00
内蒙古阿拉善盟查汗木胡鲁石墨矿	700	5.45
河南省淅川县柳树沟石墨矿	1298	8.90
福建武夷山桃棋石墨矿	143	2.50~3.78

表4 中国石墨产业高质量发展水平指标体系

产业链环节	二级指标	三级指标	指标或指标值	
资源端	安全	储消比	60	
		对外依存度	10%	
		通道安全	非常安全	
		可替代性	不可替代	
		国际市场垄断程度	25%	
		“卡脖子”程度	10%	
	绿色发展	单位产值废水排放量	≈0	
		单位产值废气排放量	720 kg/万元国内生产总值	
		单位产值固废排放量	46 t/万元国内生产总值	
		单位产值能耗	250 kgce/万元国内生产总值	
	国际竞争力	单位产值CO <sub>2</sub> 排放水平	680 kg/万元国内生产总值	
		储量占世界比例	22.50%	
		产量占世界比例	65%	
		资源品质	3%~15%（鳞片石墨）、40%~70%（隐晶质石墨）	
		产业集中度（前3大企业产量占全球产量）	25%	
		盈利能力（前3大企业销售利润率）	<15%	
		出口量占世界贸易量比例	65%	
		国际化水平（出口产量占全球产量比例）	30%	
		科技水平	勘查技术水平	世界领先水平
			采矿技术水平	全国较差水平
选矿技术水平	世界领先水平			
产品对外依存度	5%			
材料产品制造端	安全	进口集中度	60%	
		可替代性	少量产品可替代	
		国际市场垄断程度	25%	
		关键产品被“卡脖子”程度	少量被“卡脖子”	
		绿色发展	单位产值废水排放量	20 t/万元国内生产总值
			单位产值废气排放量	150 kg/万元国内生产总值
	单位产值固废排放量		200 kg/万元国内生产总值	
	单位产值能耗		200 kgce/万元国内生产总值	
	国际竞争力	单位产值的CO <sub>2</sub> 排放水平	130 kg/万元国内生产总值	
		产量占世界比例	85%	
		国际优势度	90%	
		产品质量	较高	
		企业集中度（CR3）	15%	
		产品毛利率	10%~25%	
		出口量占世界贸易量比例	70%	
		国际化水平（海外产量占全球产量比例）	≈0	
		科技水平	高端产品产值占比	20%
			研发投入占行业产值比例	2%
	核心专利占比		10%	
	科技水平国际地位（领跑、并跑、跟跑）		并跑	
循环利用端	政策支持	国家政策支持	较支持	
		地方政策支持	较支持	
	回收率	回收率（回收量/产量）	50%	
	科技水平	研发投入占行业产值比例	0.5%	

产品为废耐火材料；科技水平指标较低，鲜有研究涉及石墨资源的二次回收。

#### 四、我国石墨产业高质量发展潜力及面临的主要问题

##### （一）我国石墨产业高质量发展潜力分析

当前全球石墨产业处于产业链供应链重塑期，主要表现是非洲石墨资源开发量快速增加，对我国石墨资源开发形成巨大威胁；新应用领域及产品改变了石墨的消费结构；欧洲、美国、日本、澳大利亚、韩国等国家和地区将石墨列为关键材料，在全球范围内加快资源布局和产业布局。新形势下，我国石墨产业必须走高质量发展之路，并具有巨大发展潜力。

（1）我国石墨资源丰富，特别是区域深变质类型大鳞片石墨矿资源储量大，具备高质量发展的资源优势及资源保障能力。

（2）我国石墨产业基础好，是全球唯一拥有完整石墨产业链的国家，选矿技术、初加工技术、主要产品深加工技术处于世界领先水平，石墨精矿、初加工产品、深加工产品的产量皆处于全球首位，具备高质量发展的产业基础。

（3）石墨消费重心向新能源领域转移，我国在新能源领域发展迅猛，具备引导石墨产业高质量发展的内生动力。

（4）在新技术领域，我国具有较强的研发能力，并在高纯石墨、柔性石墨、氟化石墨、医用石墨材料、核用石墨等方面取得了进步，研究基础较好。

（5）我国已将石墨列为战略性矿产资源，自“十二五”以来持续支持相关技术的研发，国家及地方政府持续支持石墨产业高质量发展，为石墨产业高质量发展奠定了良好政策基础。

##### （二）我国石墨产业高质量发展面临的主要问题

1. 石墨产业整体上还处于价值链中低端，对战略性新兴产业的支持力度不够

我国石墨产品主要是石墨精矿、初级加工产品，虽然近年来负极材料增长量较快，但其应用性能尚未满足动力电池等的实际应用要求，如天然石墨基负极材料主要用于低速电动产品及小容量电动产品中，在锂离子电池负极材料中的占比逐年降

低；天然石墨在环保、生物医药、航空、航天等领域的应用大多处于研究阶段，高性能氟化石墨、低硫可膨胀石墨、高端石墨乳等还严重依赖进口，新产品开发严重滞后。在材料技术发展方面，大部分石墨产品依然处于中低端并应用于传统产业，石墨的物化特性还没有充分发挥，其对战略性新兴产业的支持力度不足，特别是对智能科技及材料的贡献较少。

2. 石墨采选行业距离高质量发展还有较大差距

21世纪以来，我国石墨采选业逐步走向良性发展之路，但依然存在产能过剩严重、资源回收率低、资源价值利用不充分、劳动生产率低、绿色矿山体系建设严重滞后等问题。目前我国石墨选矿产能利用率约为50%，大部分企业开工率不足。虽然这与我国的主要石墨矿山位于高寒地区有关，但也与我国石墨产业恶性竞争严重、规划设计不合理、国家及地方缺少石墨产业长期发展规划有关。此外，我国石墨采选业石墨回收率不足80%，大鳞片石墨损失率约为50%，部分石墨矿尾矿库建设不规范，绿色矿山建设基本处于空白，采选过程自动化、智能化控制水平处于国内采选业较低水平，环境污染依然较为严重，整个产业距离高质量发展还有较大差距。

3. 科技创新能力差

我国虽然已经涌现了一批从事石墨研发、生产和应用的机构和企业，但还没有以石墨资源开发技术、石墨深加工技术等为主要研究方向的科研机构（石墨烯除外），也没有具有较强、较系统研发能力的石墨生产企业，整个行业的技术创新能力分散、创新能力差。专业研究机构欠缺是造成我国石墨行业整体技术水平不高、高附加值产品严重依赖国外、产业链延伸速度慢的关键问题。

4. 石墨企业外向发展的步伐不坚决

与金属矿产业相比，我国石墨产业“走出去”发展的步伐不坚决。由于国外石墨项目大部分存在电力资源、技术工人短缺、远离产品应用地等问题，我国大部分石墨生产企业存在外向发展惰性。目前，国内仅有一家民营企业实质参与了非洲石墨资源开发项目。然而，欧美发达国家采取优先开发和利用国外石墨资源、保护本国资源的政策，如美国虽然石墨资源很丰富，但一直没有开发。我国石墨精矿贸易量长期占全球的80%，石墨精矿产量占

全球的65%，长期来看，这种开发方式不利于我国石墨资源的保护。

### 5. 石墨烯产业遇到发展瓶颈

近年来，石墨烯作为一种新型材料引起了世界各国的高度关注。我国也非常关注石墨烯产业发展，快速推进了石墨烯相关的研究和产业技术进步，但也存在一些问题。

(1) 研发平台和研发基地多，但有效运转不足。近年来，各地方政府、企业、研究单位对石墨烯材料发展给予了充分重视，很多地方和单位都把石墨烯产业作为未来发展重点，石墨烯研发基地、研发平台、研发中心、创新中心、产业园区等如雨后春笋在各地出现。据不完全统计，我国这类研发平台、研发基地数量超过50个，但仅有约60%真正开展了实质性的产业化或研发业务，有效运转率不高。

(2) 参与企业多为中小型企业，企业规模总体偏小，石墨烯产业竞争力不足。截至2020年年底，国内从事石墨烯业务的企业超过2万家[19]，主要从事与石墨烯相关的技术研发、设备制造、产品制造、应用推广、投资、检验检测、技术服务等，真正能够持续开展石墨烯相关业务的企业并不多，能够实现规模化生产的企业很少；90%为中小型企业或初创企业，龙头企业少。

(3) 研究成果转化不足，产业化应用受阻。在石墨烯方面，我国是全球发表论文数量及申请专利数量最多的国家，但专利及技术的产业化转化率很低。在石墨烯制备方面，薄膜石墨烯尚没有进入产业化；粉体石墨烯虽然实现了产业化制备，但一般为多层石墨烯纳米片，结晶缺陷多、品质差别大、石墨烯特性表现不明显。目前，虽然石墨烯导电材料、散热材料实现了产业化应用，但社会上对石墨烯大健康产品和加热产品的效果、石墨烯作用和安全性等存在争议。石墨烯超级电容器、传感器、显示材料、复合材料、吸波材料等距离产业化还有很远路程。

(4) 石墨烯领域的产品标准及检测标准不能满足实际需求。尽管近年来国内外加大了与石墨烯相关的产品标准及检测方法标准的研究，出台了一些标准和方法，但是由于石墨烯涉及的研究领域广、产品多，准确检测的技术难度大，目前石墨烯领域的产品标准及检测标准还不能适应实际需求。

(5) 研究过热，过度使用石墨烯概念进行炒作。严格地讲，只有单层石墨烯才能表现出石墨烯的本征性能，“多层石墨烯”的石墨烯性能会大大减弱。石墨烯作为一种新材料，相关认识和应用才刚刚开始，要实现可凸显石墨烯本征性能的石墨烯产品的制备、表征、应用等，突破“杀手锏”级的技术还需要长时间深入研究。目前，我国普遍存在将多层石墨或者纳米石墨称为石墨烯的现象，石墨烯领域的产品、研究、应用、专利等鱼目混杂，存在研究过热问题，也存在政府、产业界、媒体等过度炒作问题。

## 五、我国石墨资源及产业高质量发展的目标及发展举措

### (一) 发展目标

总体目标：加大主要成矿带、优质石墨资源的勘查力度，保障我国石墨资源的长期安全；整合石墨资源，积极培育产业链齐全、创新能力强的具有国际影响力的大型石墨企业集团；提高资源综合利用率及资源价值，大幅度提高绿色矿山保持率；以企业及大型研发平台为创新主体，快速发展我国石墨精深加工技术，满足我国战略性新兴产业的发展需求；在现有石墨基地的基础上，尽快建设3~5家国家级石墨产业园及“国际石墨谷”。

到2030年，石墨资源储消比（储量与消耗量的比值）达到70；整合黑龙江萝北、黑龙江鸡西、内蒙古等地石墨资源，培育2~5家大型石墨企业；资源综合利用率达到90%，绿色矿山占比达到80%；与2020年相比，综合能耗降低20%；攻克一批关键共性技术，建设1~2家省级以上工程技术中心，建设3~5家省级以上石墨产业园；深加工产品产值占比达到70%。

到2035年，石墨资源储消比达到100；培育2~5家具有国际影响力的大型石墨集团；资源综合利用率达到93%，绿色矿山占比达到100%；与2020年相比，综合能耗降低35%；攻克一批关键共性技术，建设1~2家国家级工程技术中心、重点实验室，建设3~5家国家级石墨产业园，2~3处“国际石墨谷”；深加工产品产值占比达到85%，深加工产品达到3000种。



## （二）发展举措

1. 以石墨精深加工为中心，布局技术创新体系。围绕“双碳”战略、增材计划等，以石墨精深加工为产业链中心，以重点石墨企业、大型科研机构为依托，制定中长期石墨产业链供应链技术创新路线图。重点布局新能源材料制备技术、高性能锂氟电池制备技术、生物医药石墨材料制备技术、大鳞片石墨高效回收技术、低污染石墨提纯技术等重点专项及工程；围绕“大国重器”、航空、航天、国防军工等关键装备所需的密封、润滑、耐高温等材料布局重点专项；加大对前沿技术、基础性研究的政策与资金支持，构建从资源端到材料端的技术创新体系。

围绕“国际石墨谷”的建设[20]，需要重点布局及支持国家级黑龙江鹤岗市晶质石墨产业园（区）、黑龙江鸡西市晶质石墨产业园（区）、青岛市石墨新材料产业园（区）等的建设；在生产基地建设基础上，各级政府加大财政、土地、上市等支持，重点培育具有国际竞争力的大型石墨企业群体。

2. 优化资源配置，加快发展绿色石墨企业及绿色石墨矿山

我国石墨矿床主要分布在华北地块、扬子地块周缘、天山—兴蒙造山带和秦祁昆造山带[21]。我国已探明石墨矿储量大，当前应优化勘探资源，划定重点探矿区域，重点加强大型—超大型优质石墨矿产的找矿勘查力度；加快石墨产业供给侧结构改革速度，加快淘汰落后产能，限制中小型产能，整合优质资源，优先支持大型石墨企业发展，积极培育龙头企业；鼓励开发国外石墨矿产，有规划地开发我国石墨资源，避免盲目扩大产能；制定绿色石墨矿山标准和石墨绿色产品标准，加快绿色矿山建设，开展绿色石墨产品认证；组织相关专家对石墨提纯技术进行重点论证，明确可以推广的技术路线，确定重点研发方向。

3. 加强平台能力建设，夯实产业链供应链技术创新基础

重点面向石墨资源高效利用和精深加工，依托我国石墨资源开发利用基地或具有较好研究基础、较强创新能力的大型生产企业和科研单位，建设国家级和省级研发平台。

4. 重点突破石墨烯独特物性的专属应用，避免过度宣传

针对全球石墨烯应用技术尚未实质性突破的难

题，在系统研究石墨烯应用技术发展路线图的基础上，对可以充分发挥石墨烯独特物性的应用技术，高端应用领域、方向和产品等进行重点布局；加快石墨烯产品相关标准及检测标准的制定步伐；聚焦重点，避免低端同质化重复建设；适度宣传，避免过度炒作。

## 六、对策建议

### （一）健全我国石墨全产业链及供应链数据库

统筹国内石墨地质、资源勘探、资源开发、深加工等方面的技术力量，建立基于地质信息、矿床成因、资源量、矿物学特性、可选性、采选信息、深加工信息、主要应用等的数据库。

### （二）建立长效支持我国石墨产业高质量发展的政策机制

建议科学技术部、工业与信息化部等成立国家级的石墨专家委员会等，围绕“双碳”战略、增材计划等制定石墨技术创新路线图，重点攻克石墨鳞片保护技术及高效回收技术、高效节能环保提纯技术、石墨精深加工技术、新能源材料制备技术、生物医药材料制备技术等；围绕“大国重器”等关键装备所需密封、润滑材料、高温材料等所需石墨材料进行制备技术开发。

### （三）加快资源整合及“国际石墨谷”建设

地方政府应加大资源整合力度，支持大型石墨企业发展；国家发展和改革委员会等重点布局及支持建设国家级的黑龙江鹤岗市晶质石墨产业园、黑龙江鸡西市晶质石墨产业园、青岛市石墨新材料产业园，尽快推进“国际石墨谷”建设。

### （四）规划布局创新能力平台，加强人才培养

建议重点布局及扶持建设国家级的重点实验室、教育部重点实验室、国家级工程技术中心等，黑龙江省、山东省、深圳市等建设省市级创新平台，支持和鼓励现有非金属矿高等院校、科研单位、创新平台等培养专职研发队伍。

### （五）加强监督管理，限制低端石墨产品出口

建议工业和信息化部、生态环境部等制定石墨

采选企业资源回收率、产量、环保等的监督管理制度，监督企业按照《石墨行业规范条件》等合规运行；适时提高采选企业准入门槛，制定限制低端石墨产品产能、产量发展制度及方法；商务部、海关总署等出台限制低端石墨产品出口政策。

### 利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

**Received date:** March 25, 2022; **Revised date:** April 22, 2022

**Corresponding author:** Shen Shifu is a senior engineer from BGRIMM Technology Group. His major research field is mineral resource strategies. E-mail: shenshifu@bgrimm.com

**Funding project:** Chinese Academy of Engineering project “Strategic Research on the Graphite Industry Structure and Technology Enhancement” (2019-XY-14), “Strategic Research on the High-quality Development of the Supply Chain of the National Key Minerals and Materials Industry Chain” (2020-XY-01)

### 参考文献

- [1] International Energy Agency. The role of critical minerals in clean energy transitions [R]. Paris: International Energy Agency, 2021.
- [2] 中华人民共和国国土资源部. 中国矿产资源规划(2016—2020年) [EB/OL]. (2016-11-30)[2022-04-10]. [http://www.gov.cn/xinwen/2016-11/30/content\\_5140508.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-11/30/content_5140508.htm).  
Ministry of Land and Resources of the People’s Republic of China. Planning of mineral resources in China (2016—2020) [EB/OL]. (2016-11-30)[2022-04-10]. [http://www.gov.cn/xinwen/2016-11/30/content\\_5140508.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-11/30/content_5140508.htm).
- [3] 陈倩. 我国石墨及新材料产业的市场分析及对策研究 [J]. 矿业, 2018 (7): 1–2.  
Chen Q Domestic market analysis and countermeasures of China’s graphite and new material industry [J]. Create Living, 2018 (7): 1–2.
- [4] 左力艳, 张万益, 李状. 全球石墨资源产业现状分析与我国石墨行业发展建议 [J]. 矿产保护与利用, 2020, 12(6): 32–38.  
Zuo L Y, Zhang W Y, Li Z. Current situation analysis of the global graphite resources industry and suggestions for China’s graphite industry development [J]. Protection and Utilization of Mineral Resources, 2020, 12(6): 32–38.
- [5] 安彤, 李建武. 全球石墨资源供需现状及趋势分析 [J]. 中国矿业, 2017, 9(26): 11–20.  
An T, Li J W. Analysis of the present supply-demand situation and the trend of global graphite resource [J]. China Mining Magazine, 2017, 9(26): 11–20.
- [6] 李晓娜, 夏鹏, 朱清. 全球石墨资源开发现状及我国石墨行业发展建议 [J]. 现代矿业, 2021, 2(2): 5–9.  
Li X N, Xia P, Zhu Q. Development status of global graphite resources and China’s graphite industry development proposals [J]. Modern Mining, 2021, 2(2): 5–9.
- [7] 吴小媛, 彭春艳, 袁鹏. 国外天然石墨行业现状及发展战略研究 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2016 (3): 10–11, 37.  
Wu X H, Peng C Y, Yuan P. Research on the current situation and development strategy of natural graphite industry in foreign countries [J]. China Non-Metallic Mining Industry Herald, 2016 (3): 10–11, 37.
- [8] 刘艳飞, 陈正国, 颜玲亚, 等. 全球石墨资源现状、生产、消费及贸易格局 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2019 (S1): 105–108.  
Liu Y F, Chen Z G, Yan L Y, et al. Risk assessment of graphite supply in China [J]. Geological Survey of China, 2019 (S1): 105–108.
- [9] 王炯辉. 从“硅时代”到“碳时代”全球矿业发展的新机遇: 三论新技术矿产 [J]. 中国矿业, 2022, 31(1): 6–10.  
Wang J H. New opportunities for global mining development from silicon age to carbon age: Third discussion on new technology minerals [J]. China Mining Magazine, 2022, 31(1): 6–10.
- [10] 王炯辉. “以碳减碳”——天然石墨负极材料性能优化探讨 [J/OL]. 矿冶, (2022-03-05)[2022-04-12]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3479.TD.20220301.1524.002.html>.  
Wang J H. Reducing carbon by utilizing carbon—Insight into optimization of natural graphite anode materials [J/OL]. Mining and Metallurgy, (2022-03-05)[2022-04-12]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3479.TD.20220301.1524.002.html>.
- [11] 中华人民共和国自然资源部. 全国矿产资源规划(2008—2015年) [EB/OL]. (2009-01-07)[2022-04-12]. [http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/200901/t20090107\\_1989950.html](http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/200901/t20090107_1989950.html).  
Ministry of Natural Resources of the People’s Republic of China. National mineral resources planning (2008—2015) [EB/OL]. (2009-01-07)[2022-04-12]. [http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/200901/t20090107\\_1989950.html](http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/200901/t20090107_1989950.html).
- [12] 中华人民共和国自然资源部. 关于贯彻落实全国矿产资源规划发展绿色矿业建设绿色矿山工作的指导意见 [EB/OL]. (2010-08-23)[2022-04-12]. [http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201008/t20100823\\_1990366.html](http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201008/t20100823_1990366.html).  
Ministry of Natural Resources of the People’s Republic of China. Guiding opinions on implementing the national mineral resources planning, developing green mining and building green mines [EB/OL]. (2010-08-23)[2022-04-12]. [http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201008/t20100823\\_1990366.html](http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201008/t20100823_1990366.html).
- [13] 中华人民共和国自然资源部. 非金属矿业绿色矿山建设规范 [EB/OL]. (2018-06-28)[2022-04-12]. [http://gi.mnr.gov.cn/201806/t2018628\\_1962186.html](http://gi.mnr.gov.cn/201806/t2018628_1962186.html).  
Ministry of Natural Resources of the People’s Republic of China. Code for construction of green mines in nonmetallic mining industry [EB/OL]. (2018-06-28)[2022-04-12]. [http://gi.mnr.gov.cn/201806/t2018628\\_1962186.html](http://gi.mnr.gov.cn/201806/t2018628_1962186.html).
- [14] Donald W O. Graphite (Natural) [EB/OL]. (2021-01-30)[2022-04-12]. <https://pubs.usgs.gov>.
- [15] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告(2019) [R]. 北京: 地质出版社, 2019.  
Ministry of Natural Resources of the People’s Republic of China. China mineral resources bulletin (2019) [R]. Beijing: Geology Press, 2019.
- [16] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告(2020) [R]. 北京: 地质出版社, 2020.  
Ministry of Natural Resources of the People’s Republic of China. China mineral resources bulletin (2020) [R]. Beijing: Geology

- Press, 2020.
- [17] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告(2021) [R]. 北京: 地质出版社, 2021.  
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. China mineral resources bulletin (2021) [R]. Beijing: Geology Press, 2021.
- [18] 中华人民共和国工业和信息化部. 2021 年锂离子电池行业运行情况 [EB/OL]. (2022-02-24)[2022-04-12]. [https://www.miit.gov.cn/jgsj/dzs/gzdt/art/2022/art\\_099414053ca84d2c84ecc9b290cbfaa6.html](https://www.miit.gov.cn/jgsj/dzs/gzdt/art/2022/art_099414053ca84d2c84ecc9b290cbfaa6.html).  
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Operation of lithium-ion battery industry in 2021 [EB/OL]. (2022-02-24)[2022-04-12]. [https://www.miit.gov.cn/jgsj/dzs/gzdt/art/2022/art\\_099414053ca84d2c84ecc9b290cbfaa6.html](https://www.miit.gov.cn/jgsj/dzs/gzdt/art/2022/art_099414053ca84d2c84ecc9b290cbfaa6.html).
- [19] 刘忠范. 从石墨烯新材料实践谈高科技产业发展之路 [J]. 国际人才交流, 2022 (3): 43-47.
- Liu Z F. Discussion on the development of high-tech industry from the practice of graphene new materials [J]. International Talent, 2022 (3): 43-47.
- [20] 杨卉芄, 张亮, 刘磊. 国外石墨矿产开发利用趋势 [J]. 矿产保护与利用, 2019, 12(6): 14-21.  
Yang H P, Zhang L, Liu L. Development and utilization trend of graphite minerals abroad [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019, 12(6): 14-21.
- [21] 黑龙江省科技厅. 黑龙江省将打造国际石墨谷 [EB/OL]. (2012-09-04)[2022-04-12]. [http://www.most.gov.cn/dfkj/hlj/zxdt/201209/t20120903\\_96482.html](http://www.most.gov.cn/dfkj/hlj/zxdt/201209/t20120903_96482.html).  
Science and Technology Department of Heilongjiang Province. An International graphite valley will be built in Heilongjiang Province [EB/OL]. (2012-09-04)[2022-04-12]. [http://www.most.gov.cn/dfkj/hlj/zxdt/201209/t20120903\\_96482.html](http://www.most.gov.cn/dfkj/hlj/zxdt/201209/t20120903_96482.html).