

国外石墨矿产开发利用趋势^{*}

杨卉芃^{1,2,3}, 张亮^{1,2,3}, 刘磊^{1,2,3}

1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 河南 郑州 450006;
2. 国家非金属矿产资源综合利用工程技术研究中心, 河南 郑州 450006;
3. 西北地质科技创新中心, 陕西 西安 710054

中图分类号: TD875⁺.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2019)06-0014-08
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.06.003

摘要 未来石墨资源需求巨大,天然石墨的需求将会随着电动汽车的爆发式增长进入高速增长期。本文研究了国外24个新增石墨项目的资源、产能、产品、生产成本和项目进展等特点,总结得出:(1)近年国外新上石墨项目数目多,新上项目资源储量大,矿石资源量超过亿吨的有5个,预计新增鳞片石墨精矿产能172.3万t,远远超过了2018年全球天然石墨产量93万t;(2)矿石品质好,石墨矿石C品位超过9%的项目达到10个;(3)开发成本低,整体精矿生产成本低于500美元;(4)产品深加工程度高,24个项目中有17个项目将产品目标设定为电池材料或膨胀石墨等深加工产品。国外新开发项目将会对中国和世界的石墨产业产生深远的影响。结合国外石墨开发项目和市场发展趋势,提出了我国石墨产业发展的相关对策建议。

关键词 石墨资源;典型矿山;鳞片石墨

引言

石墨是一种性能优异、用途广泛的无机非金属材料,是国家战略新兴矿产之一,对国民经济全局和长远发展具有重大引领作用。近年来,随着新能源汽车和电子行业等一系列新兴产业的发展,使得石墨的用途、市场供需、产品种类等发生了明显的变化,越来越多的资金也逐渐投入到石墨产业中来,新上了一大批新开发项目,形成了新一轮石墨产业发展势头。我国是传统的石墨生产大国,大量资金介入和新上项目势必会对我国石墨产业造成一定影响,因此,通过对国外石墨矿产开发项目的资源特点、产能、产品和生产成本的研究,提出我国石墨产业发展的对策建议。

1 石墨用途及市场发展趋势

石墨具有特殊的原子晶体和分子晶体混合晶体结构,这一晶体结构特点决定了石墨具有耐高温、导

电、导热、润滑和化学稳定等优异性能,石墨的优异性能使其在冶金、电池、化工、国防和航空等领域得到广泛应用。近年来,锂离子电池在计算机、通讯和消费类3C电子产品中的使用迅速增长。随着全球市场混合动力汽车和纯电动汽车的迅速增长,锂离子动力电池也迎来了爆发式增长。一般而言,制造锂离子电池所需的石墨质量是锂质量的10至20倍,每辆混合动力电动汽车使用大约22 kg石墨,而一辆全电动汽车大约使用50 kg石墨(表1)。这也使得锂离子动力电池行业成为石墨需求增长最快的领域,决定着未来全球石墨市场需求的增长速度。此外储能电池、燃料电池和核能等领域也对石墨需求有巨大的增长潜力,如图1和图2所示。

基于各国政府发布的节能减排计划、新能源汽车发展规划以及全球汽车厂商的电动汽车发展规划(表2和表3),众多研究机构对未来全球石墨市场需求做出了各种预测。尽管目前锂离子电池负极材料更多

^{*} 收稿日期:2019-10-25

基金项目:中国地质调查局地质矿产调查评价项目(DD20190186)

作者简介:杨卉芃(1962-),男,新疆疏附人,研究员,主要从事矿产经济研究。

表 1 不同类型电动汽车使用的电池规格、阳极材料和天然石墨需求量

Table 1 Battery specifications, anode materials and natural graphite requirements for different types of electric cars

类型	2017 全球销售量 (千辆)	锂离子电池规格 /kWh	单位产品阳极材料 (天然鳞片石墨和人工合成)/kg	单位产品天然鳞片石墨用量/kg (阳极材料产率约为 40% ~ 50%)
插电式电动汽车	400	5 ~ 20	5 ~ 20	10 ~ 30
全电动汽车	400	30 ~ 45	30 ~ 45	35 ~ 50
电动卡车	120	40 ~ 70	40 ~ 70	40 ~ 80
优质电动汽车	150	75 ~ 100	75 ~ 100	40 ~ 50
电动公共汽车	105	150 ~ 350	150 ~ 350	150 ~ 380

注:在制作阳极材料时天然鳞片石墨实际消耗量为表中数值的 40% ~ 50%, 阳极材料生产中的 60% ~ 40% 的副产品仍可作为细粒石墨产品使用。

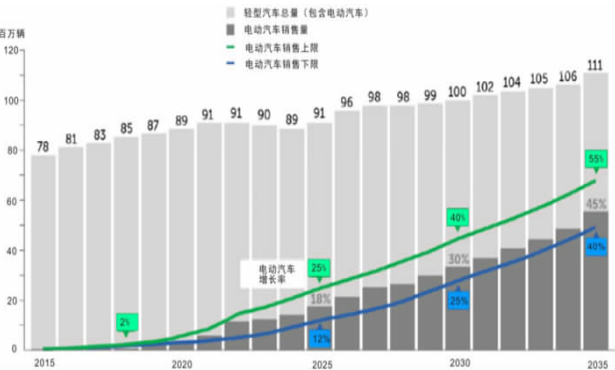


图 1 全球电动汽车增长预测 (源于 Buildingasustainable eco-friendly global graphite business, kibarán, informa lithium & battery metals conference presentation)

Fig. 1 Forecast of global electric vehicles growth

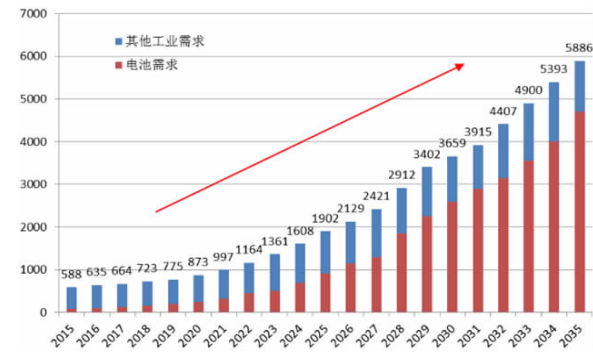


图 2 Benchmark mineral 公司对全球天然石墨需求增长预测 (kt)

Fig. 2 Growth forecast of global natural graphite demand

地使用人造石墨,但是天然石墨具有价格优势,而且石墨提纯和加工技术的进步缩小了天然石墨和人造石墨负极材料的性能差异,天然石墨的需求将会随着电动汽车的爆发式增长进入高速增长期,未来锂离子电池材料需要的合成石墨、天然石墨、针状焦和其他现有碳原料的数量将不断增加^[5-7]。预计 2017—2027 年,对应于电池材料应用的天然石墨需求将增长 17% ~ 23%。Roskill 信息服务公司预计未来 10 年锂离子电池负极材料需求的天然石墨将从 2018 年的 16 万 t 增长到 2028 年的 80 ~ 100 万 t^[1],见图 3。

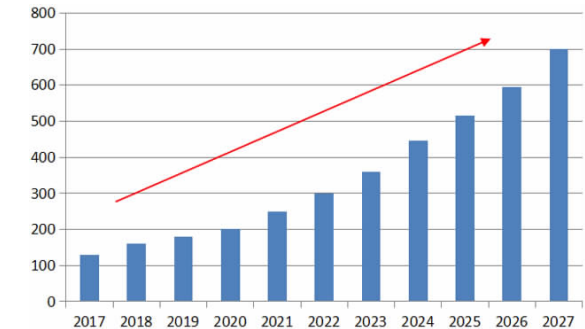


图 3 Roskill 公司对全球电池材料天然石墨增长需求预测^[1] (单位: kt)

Fig. 3 The forecast of global battery material natural graphite growth demand

根据 USGS^[2],全球天然石墨矿产量从 20 世纪初的 10 万 t/a 左右增长到 2018 年的 93 万 t/a,年均复合增长率约为 2%,20 世纪 90 年代开始,中国以丰富的石墨矿产资源优势及低廉的环境和人力成本优势取得了世界天然石墨市场的主导权,30 多年来中国一直是天然石墨生产和出口第一大国,近年产量有所下降,2018 年中国的石墨产量仍然占到全球石墨产量的 68%(图 4)。中国是最大的石墨生产国,也是最大的石墨消费国,中国更是目前全球最大、增长最快的锂离子电池市场,而且世界锂离子电池产业链的几乎所有阶段都集中在中国。

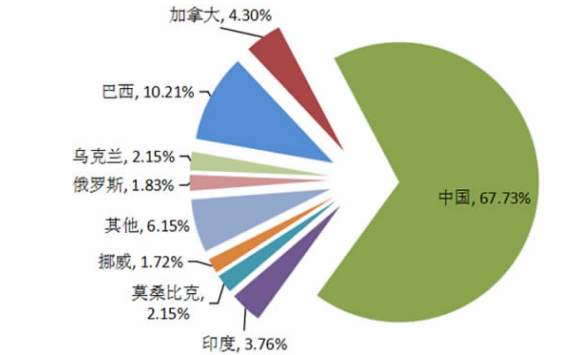


图 4 世界主要石墨生产国产量份额

Fig. 4 The output share of the world's major graphite producing countries

表 2 中国新能源汽车政策回顾
Table 2 Review of China's new energy vehicle policy

2009 年	国务院批准汽车产业调整振兴规划(2009-2011)提出:“着力发展自主品牌,积极发展新能源汽车”,财政部发布《关于开展节能和新能源汽车示范推广试点工作的通知》,明确对试点城市公共服务领域购置新能源汽车给予补助,由此拉开了新能源汽车补贴时代的序幕
2010 年	国务院将新能源汽车列为“国家七大战略性新兴产业”之一
2012 年	国务院印发“节能与新能源汽车发展规划(2012-2020)”,提出“加快培育发展新能源汽车产业,推动汽车动力系统电动化转型”的战略目标
2013 年	财政部、科技部、工信部和发改委等四部委批复在 80 多个城市开展新能源汽车的推广应用工作,对纯电动汽车、插电混动和氢能源汽车进行补贴
2015 年	国务院发布《中国制造 2025》,将“节能与新能源汽车”列为九项战略任务之一,并将新能源汽车列为“重点突破的领域” 财政部关于 2016-2020 年新能源汽车推广应用财政支持政策的通知
2016 年	财政部、科技部、工信部和发改委关于调整新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知
2017 年	财政部、税务总局、工业和信息化部、科技部关于《免征新能源汽车车辆购置税的公告》,公安部交通管理局,在全国分三批推广新能源汽车专用号牌,各地根据实际采取不限号,不排队抽签直接上牌
2018 年	国家发展改革委宣布,2018 年取消专用车和新能源汽车外资股比限制

表 3 世界能源署统计的全球 15 国新能源汽车规划
Table 3 The new energy vehicle planning statistics of IEA

国家(地区)	时限(年)	目标
加拿大	2030	市场的销售份额达到 30%
中国	2020	纯电动汽车和插电式混合动力汽车生产能力达 200 万辆、累计产销量超过 500 万辆
芬兰	2030	电动车保有量达到 25 万辆
印度	2030	电动车占汽车市场的销售份额达到 30%
爱尔兰	2030	电动车市场销售份额达到 100% (禁售燃油车),电动车保有量达到 50 万辆
日本	2030	电动车占汽车市场的销售份额达到 20% ~ 30%
墨西哥	2030	电动车占汽车市场的销售份额达到 30%
荷兰	2025 2030	电动公共汽车的市场销售份额达到 50%;公共汽车的存量全部为电动大巴;轻型乘用车市场销售 100% 电动车(禁售燃油车)
新西兰	2021	电动车保有量达到 64 000 辆
挪威	2025 2030	电动车(轻型乘用车、轻型商用车和城区巴士)的市场销售份额达到 100% (禁售燃油车);长途大巴的市场为 100% 电动,50% 的卡车市场为电动
韩国	2020	电动轻型乘用车保有量达到 20 万辆
斯洛文尼亚	2030	电动车占汽车市场的销售份额达到 100% (禁售燃油车)
瑞典	2030	电动车占汽车市场的销售份额达到 30%
英国	2020	电动车保有量达到 39.6 ~ 41.3 万辆
美国加利福尼亚	2025-2030	零排放汽车的保有量达到 150 万辆,占汽车市场份额的 15%; 零排放汽车保有量达到 500 万辆。

2 国外新增石墨项目概况

2011 年开始,全球掀起石墨烯研究热潮,以特斯拉和比亚迪等电动汽车为代表的新能源汽车产业的快速发展,随着电动汽车产业的高速发展,锂动力电池对石墨材料的需求不断增长,鳞片石墨价格稳定上涨,这也激发了全球天然石墨矿产勘探开发热情,一大批国外石墨矿项目正在加紧推进,这些项目多数完成了可研、正在筹资、审批、或建厂阶段,也有一些处在可研阶段和勘察阶段,少数项目投入试生产,如莫桑比克的 Balama 石墨矿项目已于 2018 年试产,鳞片石墨精矿产量达到 10.4 万 t,该矿设计石墨精矿产能

达到 35 万 t/a,2019 年计划生产 24.5 万 t 石墨精矿。若这些项目在 2025 年前都能顺利投产,将为全球石墨市场带来超过 150 万 t 鳞片石墨精矿的产能,完全可以满足全球电动汽车生产的需要,并将结束中国将近 40 年的全球石墨主要供应商的统治地位。本文总结了国外 24 个新增石墨项目的资源、产能、产品、生产成本和项目进展等,以期为国内石墨项目提供对比与参考,见表 4。

本次统计的国外石墨项目数量达到 24 个,多数为澳大利亚和加拿大公司控制,项目主要分布在非洲莫桑比克等国。多数新上项目资源储量大、品质好、开发成本低,矿石资源量超过亿吨的有 5 个,矿石石墨碳品位超过 9% 的项目达到 10 个。

表 4 国外新增石墨项目概况
Table 4 Overview of new graphite projects in foreign countries

矿山	国家	公司	矿石储量/ 资源量/万 t	固定碳 品位/%	产能 /(万 t·a ⁻¹)	产品	成本/ (美元·t ⁻¹)	项目进展
Lac Guéret	加拿大	Mason Graphite	4 741 ~ 8 315	27.8 ~ 17.2	5	鳞片球形包覆、高纯	370	2019 年建厂 13 ~ 16 个月
Balama	莫桑比克	Syrash Resources	11 329 ~ 142 300	16.36 ~ 10.0	35	鳞片、锂电材料	286	2018 年调试 10.4 万 t
Lindi Jumbo	坦桑尼亚	Walkabot Resources	551 ~ 4 180	17.9 ~ 10.8	4	鳞片	347	2020 年投产
Lac Knife	加拿大	Focus Graphite	785.7 ~ 1 210	15.1 ~ 14.6	4.4	鳞片、球形包覆、膨胀	441	2020 年建厂
Montepuez	莫桑比克	Battery Minerals	4 220 ~ 11 960	9.3 ~ 8.1	2021 年 5 2023 年 10	鳞片、球形包覆、高纯	361	2021 年投产后陆续扩产
Balama Central	莫桑比克	Battery Minerals	1 970 ~ 3 290	11.1 ~ 10.2	2022 年 5.8 2024 年 11	鳞片、球形包覆、高纯	425 (前 8 年 363)	2019 年采矿申请 2022 年投产
Molo	马达加斯加	NextSoureMaterials	716 ~ 14 128	8.1 ~ 6.1	2020 年 1.7 2021 年 3.4	鳞片	433 (出厂) 567 (到港)	2017 可研 2020 投产
Nachu	坦桑尼亚	MagnisEnergy Technoloies	7 630 ~ 17 400	4.8 ~ 5.4	24	高品质鳞片、锂电材料	559	2016 年可研, 2019 年采矿申请
Bunyu	坦桑尼亚	Volt Resources	281.5 ~ 7 680	6.3 ~ 5.4	2.4	鳞片、膨胀、球形	664	2019 筹建
Matawinie	加拿大	Nouveau Monde	5 980 ~ 10 980	4.4 ~ 4.3	2020 年 0.1 2022 年 10	鳞片、球形	382	2019 年示范 2020 年建厂
Bissett Creek	加拿大	Northern Graphite	2 830 ~ 6 980	2.1 ~ 1.7	2.5	大鳞片、球形	675	2020 年投产
Vittangi	瑞典	Talga Resources	约 1 230	约 25.5		鳞片、石墨烯、电池材料、复合材料		2019 年完成预可研; 采矿申请
Jalkunen	瑞典	Talga Resources	约 3 150	约 14.9		同上		预可研
Raitajarvi	瑞典	Talga Resources	约 430	约 7.1		同上		预可研
Epanko	坦桑尼亚	KibaranResources	1 170 ~ 3 070	8.3 ~ 9.9	6	鳞片、球形	572	2019 年融资、审批开工建
Lola	几内亚	SRG Graphite	约 1 220	约 5.6	5	鳞片	502	2019 年可研、审批、筹建
Santa Cruz	巴西	South Star Mining	约 1 856	约 2.7	1.6	鳞片、球形	413	2020 年完成可研试产 0.5 万 t/a
Malingunde	马拉维	Sovereignmetals	950 ~ 6 500	9.5 ~ 7.2	5.2	鳞片	32	2019 年可研环评筹建
Ancuabe	莫桑比克	Triton	2 490 ~ 4 610	6.2 ~ 6.6	6	鳞片	634	2020 年投产
Nicanda Hill	莫桑比克	Triton	约 144 300	约 11.11	13 ~ 17	鳞片	338	2019 年可研, 融资
McIntosh	澳大利亚	Hexagon Resources	约 2 380	约 4.5	8.8	鳞片、电池材料、电极材料、膨胀	727	2019 年可研 2021 年投产
Munmlinup	澳大利亚	MRC	约 340	15.9	5.6	鳞片、膨胀、球形包裹	396	2019 年可研筹建
Graphite Creek	加拿大	Graphiteone Resources	约 8 156	7	6	鳞片、球形包裹	498	2019 年可研资金筹措

由国外新上项目及世界石墨市场变化分析可知, 2018 年是世界石墨市场一个重要的转折年。最近几年, 中国政府执行了更加严格的环境保护政策, 关闭和停产了一批不符合环境和安全标准的石墨矿山, 石墨矿产品产量有所下降, 中国的人力成本也在上升, 造成了中国石墨精矿的生产成本上升。作为世界最大的锂离子电池生产基地, 中国需要消耗更多的石墨资源, 2017 年中国进口了 5.5 万 t 鳞片石墨, 2018 年中国进口了 6.03 万 t 鳞片石墨^[3]。2019 年中国将会进口更多的磷片石墨精矿。事实上, 在严格的环境执法检查下中国石墨矿山的关停和非洲地区大量新建石墨项目的投产, 中国有可能在不远的将来首次成为

石墨的净进口国。

3 典型国外石墨项目概况

为了使读者更好地了解国外石墨新上项目的发展概况, 本文选择了 5 个典型国外石墨矿山项目, 对其投资、石墨储量和品位、主要采选工艺参数、生产成本和精矿产品规格等进行了详细介绍。

3.1 澳大利亚 Syrash Resource (SYR) 公司莫桑比克 Balama 石墨项目

SYR 公司是一家在澳大利亚股票交易所上市的工业矿物技术开发公司, 公司总部位于澳大利亚墨尔本。

SYR 公司完全拥有莫桑比克 Balama 石墨矿的开采权,2018 年公司完成了 Balama 石墨矿项目建设,正式开始调试生产,Balama 石墨矿项目情况见表 5。这一年公司共生产了 C 品位 95% 的石墨精矿 10.4 万 t,石墨精矿规格见表 6,公司生产情况见表 7。Balama 石墨矿是全球储量最大的高品位天然鳞片石墨矿,公司设计产能达到 350 kt/a,矿山寿命超过 50 年,Balama 石墨矿将成为全球产量最大的天然鳞片石墨生产企业,并对全球石墨市场产生最大影响。Balama 石墨矿中还含有钒矿资源,V₂O₅ 品位达到 0.23%,钒可以在石墨选矿尾矿中回收,未来将进一步提升公司效益。SYR 公司目前正在美国路易斯安那州建设电池正极材料(BAM)生产厂,公司的目标是快速取得 BAM 材料用户品质认证,成为亚洲区外的电池正极材料的供应中心。2018 年年底,公司已开始为多个客户提供了生产球形石墨产品的品质认证。

表 5 Balama 石墨项目概况	
Table 5 Overview of Balama graphite project	
概况	内容
位置	莫桑比克 Cabo Delgado 省
资源	资源量 14.23 亿 t,品位 10.0%,石墨矿物量 1.42 亿 t 储量 1.13 亿 t,品位 16.36%,石墨矿物量 1 853 万 t
采矿	露采,低采剥比 0.04 : 1,挖掘机 - 装载机 - 卡车 - 选厂
选矿工艺	传统工艺,破碎 - 磨矿 - 浮选 - 干燥 - 筛分 - 包装
选矿厂 处理能力	矿石量 200 万 t/a
产品	固定碳 94% ~ 98% 各规格石墨精矿
产能	精矿 35 万 t/a;2019 年目标 20.5 ~ 24.5 万 t 精矿;根据市场调节
成本	设计矿石成本 286 \$ /t,2019 年底 400 \$ /t,达到产能后降低至 330 \$ /t 以下
矿山寿命	50 年以上
潜力	资源量巨大,根据市场需求扩产潜力大;尾矿 V ₂ O ₅ 回收可以带来巨大效益
采矿权	莫桑比克政府与签署的采矿许可具有法律约束力

表 6 Balama 石墨精矿(固定碳 94% ~ 98%)规格				
Table 6 The specification of Balama graphite concentrate(固定碳 94% ~ 98%)				
规格	尺寸/μm	说明	占比/%	用途
+ 50 目	+ 300	超大鳞片	8	炼钢、铸铁、耐火材料、汽车部件、润滑剂
+ 80 目	- 300 + 180	大鳞片	12	炼钢、铸铁、耐火材料、汽车部件、润滑剂
+ 100 目	- 180 + 150	中鳞片	12	炼钢、铸铁、耐火材料、汽车部件、润滑剂
- 100 目	- 150 + 106	细鳞片	68	球形石墨、增碳剂

表 7 Syrash Resource 公司 2018 生产情况			
Table 7 Production status of Syrash Resource company			
生产指标	2018	4 季度	3 季度
采矿量(C > 9%) / 万 t	135.6	41.6	40.8
采矿量(C 2% ~ 9%) / 万 t	47.8	13.3	13.3
废石采出量 / 万 t	20.5	2.9	2.2
选矿给料量 / 万 t	112	25.2	42.4
给矿品位 C/%	17	18	16
选矿回收率/%	53	70	53
精矿产量 / 万 t	10.42	3.32	3.87
精矿 C 品位/%	95	95	96

3.2 澳大利亚 Battery Minerals(BAT)公司莫桑比克 Montepuez 和 Balama Central 石墨项目

Battery Minerals 是一家在澳大利亚交易所上市的澳大矿业勘探开发公司,总部设在西澳珀斯市,公司正致力于公司拥有的莫桑比克的 Montepuez 和 Balama 两个石墨项目的开发工作,这两个石墨矿储量巨大,原矿品位也都在 10% 以上,公司资源优势明显。

在完成莫桑比克 Montepuez 石墨项目的融资后,公司计划每年生产 5 万 t TGC(总石墨碳)含量 96% 的石墨精矿,并在今后 5 年内将产量提高到 10 万 t/a。公司在 2018 年完成了 Balama Central 石墨项目的概略研究工作,计划 2021 年开始每年生产 5.8 万 t 总石墨碳含量 96% 的石墨精矿,2024 年扩产到 11 万 t/a,可研指数见表 8、表 9。使公司的总产能在 2025 年前达到 21 万 t。

随着世界转向使用电动汽车(机动车辆、客运和重型运输)、储能设施等清洁能源技术,全球对环保高效的储能电池的需求推动着鳞片石墨市场的不断增长。

表 8 第一阶段 Montepuez 石墨项目可研报告参数	
Table 8 Montepuez graphite project parameters in the first stage	
参数	指标
投资总额	3 950 万美元
前 10 年精矿生产成本	361 美元/t
给矿品位	11% ~ 12% TGC
选厂年处理量	50 万 t/a
投资回本期	< 2 年
风化矿选矿回收率	80%
原生矿选矿回收率	85%
矿山寿命	> 50 年
产品平均售价	1 064 美元/t
精矿品位	> 96% TGC
资源量(矿石)	1.19 亿 t (TGC 品位 8.1%)
储量(矿石)	4 220 万 t (TGC 品位 9.3%)

表 9 Balama Central 石墨项目可研报告参数
Table 9 Balama Central graphite project parameters

参数	指标
精矿年产量	5.8 万 t/a
投资	6 940 万美元
前 8 年精矿生产成本	363/t 美元
给矿品位	12.5% TGC
选厂处理能力	55 万 t/a
投资回收期	~2.3 年
选矿回收率	>93%
矿山寿命	>35 年
精矿产品均价	1,106 美元/t
精矿品位	+96% TGC
矿石资源量	3 290 万 t (TGC 品位 10.2%)
矿石储量	19 707 万 t (TGC 品位 11.1%)

Montepuez 石墨具有高结晶度和独特的片状形貌,Battery Minerals 公司和 Urbix 公司合作进行了 Montepuez 石墨精矿纯化和球形化技术研究,并建设了年产 2.4 万 t 的高纯球形石墨中间试验厂,试验结果表明,可以利用高温纯化技术将 TGC 品位 95% 的石墨精矿提纯到 99.95% (表 10、表 11)球形化石墨工艺的回收率也达到了 75%。公司计划进一步在美国内华达州生产高纯石墨和球形包裹石墨电极材料。

表 10 Montepuez 石墨精矿产品规格
Table10 The specification of Montepuez graphite concentrate

规格	鳞片大小/目	鳞片尺寸/μm	占比/%	精矿 TGC 品位/%
细鳞片	- 100	- 150	57.0	96.0
中鳞片	+ 100	- 180 + 150	11.3	96.0
大鳞片	+ 80	- 300 + 180	20.7	96.0
超大鳞片	+ 50	+ 300	11.0	96.0

表 11 Balama Central 石墨矿精矿产品规格
Table 11 The specification of Balama Central graphite concentrate

规格	鳞片大小/目	鳞片尺寸/μm	占比/%	精矿 TGC 品位/%
细鳞片	- 100	- 150	49.4	96.0
中鳞片	+ 100	- 180 + 150	22.1	96.0
大鳞片	+ 80	- 300 + 180	6.9	96.0
超大鳞片	+ 50	+ 300	21.6	96.0

3.3 加拿大 Focus Graphite 公司 Lac Knife 石墨项目

Focus Graphite 公司是一家总部位于安大略省的矿业发展公司,公司拥有多个石墨和稀土勘探开发项目,公司多年来致力于公司的旗舰项目 Lac Knife 石墨矿开发工作,Lac Knife 石墨矿属于大型高品位石墨矿,从 2014 年完成了项目可研(表 12),2017 年更新了储量并开始融资,2018 年开始石墨正极材料的研究试验工作和销售意向的签订工作,目前正在等待建设审批。

表 12 Lac Knife 石墨项目可研报告参数
Table 12 Lac Knife graphite project parameters

参数	指标
资源量	1 210 万 t (TGC 品位 14.64%)
储量	785.7 万 t (TGC 品位 15.13%)
矿山寿命	25 年
采剥比	1.7 : 1
选矿厂处理量	32.4 万 t/a
给矿 TGC 品位	15.1%
选矿回收率	90.9%
平均年产量	4.43 万 t/a
精矿 TGC 品位	97.8%
精矿生产成本	441 美元/t
年经营成本	2 000 万美元
年毛收入	5 600 万美元
精矿售价(一篮子定价)FOB	1 713 美元/t

表 13 Lac Knife 石墨矿精矿产品规格
Table 13 The specification of Lac Knife graphite concentrate

规格	鳞片大小/目	鳞片尺寸/μm	占比/%	精矿 TGC 品位/%
超大鳞片	+ 48	+ 300	11.1	98.8
大鳞片	+ 80	- 300 + 180	22.4	98.3
中鳞片	+ 150	- 180 + 106	29.8	98.2
细鳞片	+ 200	- 106 + 75	16.6	98.0
细粉	- 200	- 75	20.1	91.1

Lac Knife 石墨矿精矿中回收了部分高附加值的大鳞片石墨.Focus Graphite 公司开展了大量的利用 Lac Knife 石墨选矿精矿生产锂离子电极材料的研究工作,研究结果表明,含碳 96% 的细粒石墨精矿经剥片精选 TGC 含量可以提高到 98.3% (表 13),再通过热法连续净化工艺可以得到纯度为 99.98% 的石墨精矿,经过球形化和包覆工艺处理后,可以得到锂离子电池石墨电极材料,这种电极材料的性能超过了两种人造石墨电池的性能,公司正在积极推进高纯球形石墨包覆电极材料工厂的可研工作,计划利用该地区丰富廉价的电力资源生产电极材料,最快在 2020 年建设电池材料厂。

3.4 加拿大 Next Source Materials 公司马达加斯加 Molo 石墨项目

Next Source Materials 是一家多伦多交易所上市的加拿大矿业公司,公司总部位于加拿大安大略省,公司在马达加斯加南部拥有 Molo 石墨项目 100% 的权益,Molo 位于马达加斯加行政首都图利亚拉东南 160 km 处,交通便利。

Molo 石墨矿是世界储量最大的大鳞片石墨矿之一,公司 2017 年修正了项目可行性报告(表 14),目前正在加紧采矿和选矿工程建设,2020 年建成年产 1.7 万 t 石墨精矿的模块化选矿厂,2021 年扩产到 3.4 万 t,最终扩产到 5.1 万 t。精矿产品大鳞片石墨含量占到 53%,其中特大超大鳞片占到 46%,附加值很高(表 15)。

表 14 Molo 石墨项目可行性报告主要参数[15],[16]

Table 14 Molo graphite project parameters	
参数	指标
资源量	1.41 亿 t (TGC 品位 6.13%)
储量	716 万 t (TGC 品位 8.05%)
矿山寿命	30 年
采剥比	0.52 : 1
选矿厂处理量	24 万 t/a
给矿 TGC 品位	8.1%
选矿回收率	88.3%
精矿年产量	2020 年 1.7 万 t, 2021 年 3.4 万 t, 最终 5 万 t/a
精矿 TGC 品位	97.3%
精矿生产成本	433 \$/t
投资	2 300 万美元
精矿价格	1 014 美元/t
投资回收期	4.8 年

表 15 Molo 石墨项目精矿规格

Table 15 The specification of Molo graphite concentrate				
规格	鳞片大小/目	鳞片尺寸/ μm	占比/%	TGC 品位/%
超大鳞片	+48	+300	23.6	96.9
特大鳞片	+80	-300 + 180	22.8	97.1
大鳞片	+100	-180 + 150	6.9	97.1
中鳞片	+150	-150 + 106	15.5	97.3
小鳞片	+200	-106 + 75	10.1	98.1
细鳞片	-200	-75	21.1	97.5

3.5 澳大利亚 Kibaran Resources 公司坦桑尼亚 Epanko 石墨项目

Kibaran Resources 是在澳大利亚交易所上市的矿产勘探公司,总部位于澳大利亚珀斯,多年来公司一直专注于挖掘东非地区丰富的石墨资源的潜力。公司在坦桑尼亚发现并完全拥有 Epanko 石墨项目产权。

Epanko 石墨矿是一个石墨矿物储量达到 100 万 t,品位达到 10% 的大型鳞片石墨矿,公司已于 2017 年完成了项目可行性报告,可行性报告研究表明,Epanko 项目产出的石墨精矿具有优良的膨胀性能(表 16)。公司已经完成了项目融资,正在加紧推动 Epanko 项目的建设,2019 年 1 月公司在德国完成了选矿中试,并将中试样品分送到韩国、日本、中国、北美和德国的电池电极材料生产商,公司还和 Blue - chip 公司签订了精矿产品销售意向合同。

公司计划尽快实现年产 6 万 t 石墨精矿的 Epanko 项目投产,公司正在推进采用新提纯工艺的年产 2 万 t 球形石墨项目,该项目将使用 Epanko 石墨精矿在澳大利亚奎纳纳生产电池电极材料。

Epanko 石墨精矿中大鳞片石墨含量占到 55.4%,中鳞片占到 30.8%,是名副其实的大鳞片石墨矿,精矿产品的平均纯度可以达到 96.3% (表 17),有很强的市场竞争力。

表 16 Epanko 石墨项目可研报告主要工艺参数

Table 16 Epanko graphite project parameters	
参数	指标
资源量	3 070 万 t (TGC 品位 9.9%)
储量	1 170 万 t (TGC 品位 8.32%)
矿山寿命	18 年
采剥比	0.4 : 1
选矿厂处理量	69.5 万 t/a
给矿 TGC 品位	8.3%
选矿回收率	94.7%
产量	精矿 6 万 t/a;高纯球形 2 万 t/a
精矿 TGC 品位	96.3%
精矿全成本	572 美元/t
投资	采选 8 890 万美元;供电 2 000 万美元;高纯球形 6 600 万美元
精矿价格(一篮子定价)	1 181 美元/t
投资回收期	3.4 年

表 17 Epanko 石墨项目精矿规格

Table 17 The specification of Epanko graphite concentrate				
规格	鳞片大小/目	鳞片尺寸/ μm	占比/%	TGC 品位/%
超大鳞片	+48	+300	20.0	97.1
大鳞片	+80	-300 + 180	35.4	96.7
中鳞片	+150	-180 + 106	30.3	96.2
小鳞片	+200	-106 + 75	7.4	95.3
细鳞片	-200	-75	6.9	92.6

4 结 论

(1)国外新增石墨矿项目数量多,总产能大,足以满足 2025 年全球电动汽车市场需求。

本次统计的国外石墨矿项目数量达到 24 个,多数为澳大利亚和加拿大公司控制,项目主要分布在非洲莫桑比克等国。这些项目均为鳞片石墨项目,部分项目进展很快,有些在 2018 年已经投产,多数项目计划在 2019 年到 2023 年间陆续投产。项目完全投产后可以新增鳞片石墨精矿产能 172.3 万 t/a,远远超过了 2018 年全球天然石墨产量 93 万 t,将会对中国和世界的石墨产业产生深远的影响。

(2)多数项目资源储量大、品质好和开发成本低。

统计的 24 个项目中,矿石资源量超过亿 t 的有 5 个,矿石 TGC 品位超过 9% 的项目达到 10 个(我国石墨品质最好的黑龙江地区石墨平均品位大约为 9%),石墨精矿成本低于 500 美元的项目有 13 个。其中莫桑比克 Balama 石墨矿,储量以石墨矿物计高达 1 857 万 t,原矿 TGC 品位达到 16.36%,设计产能达到 35 万 t/a,成为世界产能最大的石墨矿生产巨无霸,足以影响全球石墨产业。

(3)多数项目产品目标明确,指向锂电池材料等高附加值产品。

24 个项目中有 17 个项目将产品目标设定为电池

材料或膨胀石墨等深加工产品,或对精矿进行了电池材料性能测试,多数项目从勘探和可研阶段开始,不仅进行了选矿试验研究,而且进行了提纯和球形化等方面的研究工作,有些甚至进行了包覆和电池性能研究。莫桑比克 Balama 石墨项目、Montepuez 石墨项目已在美国建成了电池材料生产厂和中试厂。瑞典 Vit-tangi 石墨项目在德国进行了电化学剥片法生产石墨烯和鳞片石墨的中间试验。这些石墨项目不仅会向市场提供鳞片石墨产品,而且会向市场提供很大的锂离子电池材料新增产能。

5 对策建议

(1) 提高我国石墨行业准入门槛,制定相应产业发展规划,提高对石墨行业统筹引导。立足于石墨市场需求,优先支持引导竞争力强、附加值高、环境影响小的企业发展,限制和淘汰技术落后、企业规模小、产业链条短的企业。统筹兼顾规划当前和长远的关系,准确把握国际和国内石墨行业市场情况和产业发展方向,合理规划国内石墨产业发展规模和方向,推动石墨资源合理、有序和高效开发。

(2) 加强对新上石墨项目的市场评估,增强我国石墨项目抗风险能力。未来石墨矿市场竞争会更加激烈,国内新上石墨项目应当加强国内外市场状况的研究,加强对国内外石墨的产量、产品、品质、生产成本和产品价格等方面研究,找准市场定位,增强抵御市场风险的能力。

(3) 延伸石墨产业链,研制更加环保和低成本的生产工艺。通过政策支持和引导,通过支持企业创立研发中心,支持国内石墨高精尖科研创新团队的建设等,支持企业发展石墨深加工制品,延伸石墨产业链,提高石墨产品附加值;大力研发更加环保、对环境影响更小的技术,增强企业竞争力。

参考文献:

- [1] Roskill. Natural&Synthetic Graphite Report 2018 [R]. London: Roskill, 2019.
- [2] USGS. Mineral commodity summaries 2018[R]. Virginia: USGS, 2017.
- [3] Roskill. Natural& Synthetic Graphite Outlook to 2028 [R]. London: Roskill, 2019.
- [4] USGS. Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States [EB/OL] [2019 - 11 - 10]. <http://minerals.usgs.gov/>. 2019.
- [5] Syrah Resource, Syrah Resource Annual Report [R]. Melbourne: Syrah Resource, 2018.
- [6] Syrah Resource, Convertible Note and Entitlement Offer presentation [R]. Melbourne: Syrah Resource, 2019.
- [7] Magnis Energy Technoloies, Nachu Bankable Feasibility Study [R]. 31 March Sydney: Magnis Energy Technoloies 2016.
- [8] Next Source Material, Molo Feasibility Study - National Instrument 43 - 101 Technical Report [R]. Toronto: Next Source, 2017.
- [9] Next Source Material, Molo Graphite Project [R]. Toronto: Next Source, 2019.
- [10] Mason Graphite, Ni 43 - 101 Technical Report: Resources Update And Feasibility Study, Lac Guéret Graphite Project [R]. Toronto: Mason Graphite, 2016.

Development and Utilization Trend of Foreign Graphite Mineral Resources

YANG Huipeng^{1,2,3}, ZHANG Liang^{1,2,3}, LIU Lei^{1,2,3}

1. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Zhengzhou 450006, China;

2. China National Engineering Research Center for Utilization of Industrial Minerals, Zhengzhou 450006, China; Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710054, China

Abstract: The market requirements of graphite resources in the future are very large. The requirements of natural graphite will enter a period of rapid growth with the rapid growth requirements of electromobile. This paper summarizes the resources, capacity, products specification, cost of production and project progress of new 24 projects in the world. The new graphite projects' main characteristics are projects' number large, resources large, resources' quality good, development cost low and degree of deep processing of products high. There are 5 projects' resources pass hundred million tones, 10 projects' grade pass 9% Cg and production costs less than \$500. In the future, these projects will influence the world's graphite industry. In line with the graphite project and market tendency, this paper put forward the countermeasure and suggestion of graphite project.

Key words: graphite resources; market tendency; typical mine

引用格式:杨卉芃,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, 39(6): 14-21.

Yang HP, Zhang L and Liu L. Development and utilization trend of foreign graphite mineral resources[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(6): 14-21.

官方网站: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn