

我国典型晶质石墨产区鳞片石墨的特征及其开发利用*

郭佳^{1,2}, 张作伦^{1,2}, 江伟华^{1,2}, 王文利^{1,2}, 朱进^{1,2}, 向琦^{1,2}, 周起忠^{2,3}

(1. 中国非金属矿工业协会, 北京 102300; 2. 国土资源部国土资源战略研究重点实验室, 北京 100812; 3. 国土资源部信息中心, 北京 100812)

摘要: 石墨是我国 24 种战略性矿产资源之一, 是重要的非金属矿种。结合我国典型晶质石墨产区鳞片石墨特征及采选技术指标, 计算得出我国大鳞片 (>0.15 mm) 石墨平均产出率为 14%。近三年, 我国晶质石墨产量保持在 60~70 万 t, 但产品结构正逐步转型优化, 耐火、铸造等传统领域用石墨产品比重逐年降低, 新能源和新材料等新兴领域用石墨产品比重不断增加。晶质石墨中大鳞片石墨主要应用于可膨胀石墨和柔性石墨等领域; 细小鳞片石墨主要应用于冶金材料、电池材料、胶体石墨和高分子复合材料等领域。

关键词: 鳞片石墨; 大鳞片; 鳞片特征; 开发利用

中图分类号: TD875⁺.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2018)05-0028-04

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2018.05.035

Feature and Development of Flake Graphite in Typical Graphite Deposits in China

GUO Jia^{1,2}, ZHANG Zuolun^{1,2}, JIANG Weihua^{1,2}, WANG Wenli^{1,2}, ZHU Jin^{1,2}, XIANG Qi^{1,2}, ZHOU Qizhong^{2,3}

(1. China Non-metallic Minerals Industry Association, Beijing 100831, China; 2. Key Laboratory for the Land and Resources Strategic Studies, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China; 3. Information Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China)

Abstract: Graphite is one of the 24 strategic mineral resources in China. It is important non-metallic mineral species. It is calculated the averaging production rate of large flake graphite (>0.15 mm) was 14% basing on flake features, ore recovery rate and mineral recovery rate of typical deposits of China. In the last three years, the production of flake graphite in China has been maintained at 600,000 to 700,000 tons. The consuming structure of graphite is gradually being transformed and optimized in China. The consuming ratio of traditional fields are decreasing, such as fire resistance and casting; and the consuming ratio of new fields are increasing continuously, such as new energy and new materials. The large flake graphite is mainly used in the fields of expandable graphite and flexible graphite; the small flake graphite is mainly used in metallurgical materials, battery materials, colloidal graphite, polymer composite materials and other fields.

Key words: flake graphite; large flake; flake features; development

石墨是我国重要的非金属矿种, 广泛应用于冶金、化工、机械、核工业、电子、航空航天、国防军工等多个领域^[1-3]。晶质石墨的鳞片特征与其应用方

向、市场价值密切相关, 研究我国晶质石墨矿床鳞片特征, 可为有针对性地开发石墨资源提供数据支持, 为优化我国石墨产业布局奠定基础。

* 收稿日期: 2018-05-08

基金项目: 国土资源部国土资源战略研究重点实验室开放课题 (DD20160357)

作者简介: 郭佳, 女, 博士, 主要从事矿床勘查评价工作, E-mail: guojia1116@163.com。

1 我国石墨资源的分布

据国土资源部全国矿产资源储量通报,截止2016年底,我国查明石墨矿物资源储量3.6亿t,其中晶质石墨矿物资源储量近3亿t,晶质石墨主要分布在黑龙江、内蒙古、四川、山西和山东等省区。其中黑龙江查明资源储量12 884.78万t,占比43%;内蒙古8 202.60万t,占比27%;四川2 095.43万t,占比7%;山西1 956.22万t,占比近7%;山东1 619.11万t,占比5%,此五省查明资源储量约占全国的89%,其他地区占比约11%。

2 典型晶质石墨产区鳞片石墨特征

我国石墨资源总量丰富,但分布不均,各省份资源量和资源质量差异较大。为促进石墨资源分级利

用,优质优用,本文对黑龙江、内蒙古、四川、山东和山西等五个石墨资源大省的典型矿床鳞片石墨特征总结分析。

2.1 黑龙江

黑龙江省晶质石墨资源极为丰富,主要分布在萝北和鸡西等地。黑龙江矿石固定碳品位高,全省固定碳平均品位在8.56%左右,矿石结构简单,主要为鳞片状结构。通过实地调研,结合多个矿床资料^[4-7],可知黑龙江鸡西地区矿石固定碳平均品位在4%~10%之间(表1),鳞片片径>0.15mm以上)占比平均达到40%~45%左右。黑龙江萝北地区矿石固定碳平均品位普遍接近10%,局部大者可达14%左右,但矿石以小鳞片为主,鳞片片径大多数<0.15mm。

表1 我国主要晶质石墨矿床鳞片特征及大鳞片(>0.15mm)产率

Table 1 Flake feature and production rate of large flake graphite (>0.15mm) in the main crystalline graphite deposits in China

地区	典型矿床	固定碳含量/%	片径分布	资料来源	查明资源储量(矿物)/万t	大鳞片平均分布率/%
黑龙江	萝北云山石墨矿	9.87	0.045~0.15mm,56%~72% <0.045mm,28%~44%	实地调研	12 884.78	10
	萝北某石墨矿	13.27	>0.15mm,16.08%	实地调研;文献[4]		
	鸡西柳毛石墨矿	9.7	0.3~1.0mm居多	文献[5]		
	鸡西东沟石墨矿	6.33	0.15mm,43.70%~78.09%	文献[6]		
	牡丹江穆棱光义石墨矿	16.26	0.2~0.6mm居多	文献[7]		
内蒙古	兴和瑞盛石墨矿	3.0~5.0	>0.3mm,30% 0.15~0.3mm,25%	实地调研	8 202.6	20
	阿拉善左旗查汗木胡鲁石墨矿	5.45	>0.15mm,几乎100%	文献[8]		
	包头达茂旗查干文都日区石墨矿	5.61	>0.02mm,5.66% <0.02mm,94.34%	文献[9]		
四川	攀枝花中坝石墨矿	6.21	>0.075mm,14.2%~38.15% <0.075mm,42.46%~73.8%	实地调研	2 095.43	4.4
	巴中市南江县尖山石墨矿	7.89	>0.3mm,5.84% 0.01~0.3mm,75.59% <0.01mm,18.57%	文献[10]		
	巴中市南江县庙坪石墨矿	5.12	0.05~0.5mm居多	文献[11]		
	巴中市南江县坪河石墨矿	13.5	0.2~0.5mm	文献[12]		
	阿坝州某晶质石墨矿	5.0~10.0	0.01~0.1mm居多	文献[13]		
山西	大同镇县白羊口石墨矿	3.49	>0.15mm,63.37%	文献[14]	1 956.22	25
	大同新荣区七里村石墨矿	3.7	>0.15mm,产率38.52%	文献[15]		
	大同新荣区白山-弘赐堡石墨矿	3.93	>0.15mm,96%	文献[16]		
山东	莱西南墅石墨矿	5.18	0.1~0.4mm居多	实地调研,文献[17]	1 619.11	12
	平度市刘戈庄石墨矿	3.34	<0.5mm,95%	实地调研,文献[18]		
	平度阎鑫石墨矿	3.5	>0.30mm,8%~12%	实地调研		

2.2 内蒙古

内蒙古晶质石墨资源储量仅次于黑龙江,主要分布在内蒙古兴和、阿拉善和包头等地。兴和地区石墨矿石固定碳品位普遍在3%~5%之间,鳞片片径 $>0.3\text{ mm}$ 占比30%左右,鳞片片径 $>0.15\text{ mm}$ 的占比可达55%以上。阿拉善地区,以查汗木胡鲁石墨矿为例,矿石固定碳平均品位在5.45%左右,绝大多数石墨鳞片片径 $>0.15\text{ mm}$ 。包头地区的达茂旗查干文都日区石墨矿,矿石固定碳平均品位为5.61%,鳞片片径多数 $<0.15\text{ mm}$ ^[8-9]。综上所述,内蒙古自治区晶质石墨矿石固定碳平均品位在3%~6%之间,普遍低于黑龙江省,石墨鳞片片径 $>0.15\text{ mm}$ 的占比达到50%以上。

2.3 四川

四川省的晶质石墨资源主要分布在攀枝花、巴中和阿坝州等地区。攀枝花和中坝地区石墨矿石固定碳平均品位6.21%,矿石以细小鳞片为主,鳞片片径不超过0.15 mm。巴中市南江地区晶质石墨矿石固定碳品位多为5%~7%,高者可达13%,多数石墨鳞片片径 $>0.15\text{ mm}$ ^[10-12]。阿坝州地区石墨矿石固定碳品位多为5%~10%,多数石墨鳞片片径 $<0.15\text{ mm}$ ^[13]。综上所述,四川省晶质石墨矿固定碳平均品位一般在5%~7%之间,以细小鳞片为主。

2.4 山西

山西省已发现具有查明资源储量晶质石墨矿产地8处,主要分布在大同地区。矿床固定碳平均品位在3%~4%之间居多,石墨鳞片片径多数 $>0.15\text{ mm}$ ^[14-16]。选矿试验表明,相应的大鳞片产率大致38%左右,如大同新荣区七里村石墨矿。

2.5 山东

山东省晶质石墨资源主要分布在莱西、平度和莱阳等地。莱西南墅矿固定碳平均品位为5.18%左右,多数石墨片径在0.1~0.4 mm之间^[17]。平度市刘戈庄石墨矿固定碳平均品位为3.34%左右,鳞片片径大多 $<0.5\text{ mm}$ ^[18]。平度闫鑫石墨矿固定碳平均品位3.5%,鳞片片径 $>0.30\text{ mm}$ 的占比8%~12%。综上所述,山东地区石墨矿固定碳平均品位一般在3%~5%之间,鳞片片径 $>0.15\text{ mm}$ 的占比40%~60%。

3 我国晶质石墨矿大鳞片石墨产出率

据中国非金属矿工业协会对我国26家典型石墨矿山及选矿厂采选指标的统计结果:我国晶质石墨矿开采回采率普遍在90%以上。选矿回收率黑龙江地区大部分在80%以上;山东地区大部分在80%以上,但也有个别在50%~60%之间;内蒙古地区70%~80%居多;其他地区普遍在80%左右。

根据我国典型晶质石墨产区采选技术指标,经计算得出鳞片片径 $>0.15\text{ mm}$ 者,黑龙江鸡西地区产率在12%左右,但其他地区以细小鳞片为主,总体上产率10%左右;四川在4.4%左右;山东在12%左右;内蒙古地区在20%左右;山西地区在25%左右。根据各地区查明的资源储量和鳞片产率计算得到的全国大鳞片平均产率约为14%。

2016年我国晶质石墨查明矿物资源量29 981.74万t,经计算,未来大鳞片($>0.15\text{ mm}$)石墨产出量约3 100万t,细小鳞片($<0.15\text{ mm}$)石墨产出量约1.9亿t(表2)。

表2 2016年我国大鳞片石墨精矿产量
Table 2 Large flake graphite concentrate production in 2016

查明资源储量(矿物)/万t	开采回采率/%	选矿回收率/%	大鳞片产率/%	大鳞片产量/万t
29 981.74	92	80	14	3 089.32

4 石墨开发利用

4.1 晶质石墨产量

2015—2017年期间,我国晶质石墨产量总体稳定,基本维持在60~70万t。这些产量主要源自黑龙江鸡西、黑龙江萝北、内蒙古兴和、山东平度等4大晶质石墨生产基地(表3)。

表3 2015—2017年我国晶质石墨产量 /万t
Table 3 China's crystalline graphite production in 2015—2017

产区	2015年产量	2016年产量	2017年产量
黑龙江鸡西	22	18	25
黑龙江萝北	20	12	20
内蒙古兴和	3	4	5
山东平度	15	10	10
总计	66	45	67

4.2 晶质石墨应用范围

石墨以耐高低温、耐腐蚀、导电、导热、润滑、表

面能低、重量轻、炭化收率高等多种特性,广泛应用于冶金、化工、机械、核工业、电子、航空航天和国防军工等领域^[19]。从2014年和2017年我国石墨产品结构看(图1),我国石墨产品结构正逐步转型优化。近年我国晶质石墨产量保持在60~70万t,受到钢铁行业去产能等因素的影响,耐火和铸造等传统领域用产品比重逐年降低,新能源和新材料等新兴领域用产品比重不断增加。



图1 2014年和2017年我国天然石墨产品结构对比
Fig. 1 Comparison of China's natural graphite product structure in 2014 and 2017

晶质石墨的应用领域与其鳞片特征具有密切的相关性。晶质石墨中的大鳞片石墨可用于制备可膨胀石墨,经插层、水洗、干燥、高温膨化等深加工过程,可膨胀石墨不仅保留了天然石墨的耐高温、良好的导电导热性、可塑性、化学稳定性等性能,还具有柔软性、回弹性和自粘性等特性,可进一步应用到柔性石墨(导电导热石墨纸、密封材料和双极板)、隐身材料、环保医疗、阻燃材料等领域^[20]。大鳞片石墨还可用于制备石墨烯材料。石墨烯由于极高的机械强度、导电导热率、透光性和化学稳定性等特性,可广泛应用于电子芯片、导电添加剂、导热材料、防腐材料、储能材料、生物材料及环境材料等领域^[21],据中国非金属矿工业协会对全国石墨烯生产情况的调研统计,目前我国石墨烯产业化仍处于起步阶段,2017年我国石墨烯粉体产量约为650t,对应的石墨矿物储量消耗约为1500t,对晶质石墨的产品结构影响较小。

晶质石墨中的细小鳞片石墨目前主要应用于冶

金属材料、电池材料(氟化石墨锂离子电池、锂离子电池负极材料、高能电池正极导电剂)、胶体石墨和分子复合材料等领域。值得一提的是,根据2017年中国非金属矿工业协会的国内石墨烯骨干企业调研发现,在采用天然晶质石墨制备石墨烯时,虽然国内大多数企业采用的是大鳞片石墨(片径 $>0.15\text{ mm}$),但在电池导电剂、润滑油领域采用的多是细小鳞片石墨(片径 $<0.15\text{ mm}$)。

5 结论

(1)我国石墨资源丰富,规模大,质量好,分布广。2016年我国晶质石墨查明矿物资源量29981.74万t,大鳞片石墨($>0.15\text{ mm}$)产出率平均14%。经计算,未来大鳞片($>0.15\text{ mm}$)石墨产出量约3100万t,细小鳞片($<0.15\text{ mm}$)石墨产出量约1.9亿t。

(2)我国石墨产品结构正逐步转型优化。近年来我国晶质石墨产量保持在60~70万t,产品结构逐步优化,耐火和铸造等传统领域用的石墨产品比重逐年降低,新能源和新材料等新兴领域用的石墨产品比重不断增加。

(3)我国不同地区石墨资源禀赋差异大,应根据不同鳞片特征,对石墨资源分类管理,促进石墨资源分级利用和优质优用;鼓励发展石墨在新材料和新能源等领域的应用。

参考文献:

- [1] 杜轶伦,张福良.我国石墨资源开发利用现状及供需分析[J].矿产保护与利用,2017(6):109-116.
- [2] 冯安生,张然,吕振福,等.我国石墨资源开发利用“三率”调查与评价[J].矿产保护与利用,2016(5):36-39.
- [3] 傅明.珍惜保护石墨资源加强开发管理刻不容缓[J].矿产保护与利用,2007(2):23.
- [4] 刘海营,劳德平,李崇德,等.黑龙江萝北鳞片石墨浮选新工艺研究[J].中国矿业,2015,24(S2):182-185.
- [5] 杨培奇,刘敬党,张艳飞,等.黑龙江佳木斯地块典型石墨矿床含矿岩石地球化学特征及成矿时代[J].中国地质,2017,44(2):301-315.
- [6] 巩丽,翟福君.鸡西市东沟石墨矿地质特征及成因[J].黑龙江地质,1998,9(1):17-26.
- [7] 张本臣.穆稷县光义石墨矿地质特征及成因浅析[J].吉林地质,2005,24(4):47-53.
- [8] 郑永涛,高洁,孙莉,等.内蒙古阿拉善左旗查汗木胡鲁晶质石墨矿地质特征及找矿标志[J].地质学刊,2016,40(4):695-700.

- mineral and its mechanical separation from expanded graphite [J]. Particulate science & technology, 2003, 21(4):341 - 351.
- [31] Lu X, Forssberg E. Flotation selectivity and upgrading of woxna fine graphite concentrate[J]. Minerals engineering, 2015, 14(11):1541 - 1543.
- [32] 岳成林. 鳞片石墨大片破坏及磨浮新工艺研究[J]. 非金属矿, 2002, 21(1):36 - 37.
- [33] 孙小旭. GJM 型棒式搅拌磨机工业试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2017(3):66 - 69.
- [34] 程忠理, 刘敬国. 南墅石墨矿选矿工艺改进探讨[J]. 非金属矿, 1995(5):21 - 23.
- [35] 任京成, 王建利. 石墨浮选精矿单体解离特性研究[J]. 济南大学学报(自然科学版), 1994(3):74 - 76.
- [36] 刘凤春. 用常规浮选法获得高碳石墨研究[J]. 非金属矿, 2000, 23(4):27 - 28.
- [37] 岳成林. 鳞片石墨再磨工艺改进研究[J]. 化工矿物与加工, 2001, 30(8):8 - 10.
- [38] 岳成林. 鳞片石墨快速浮选试验研究[J]. 非金属矿, 2007, 30(5):43 - 44, 62.
- [39] 佟红格尔, 孙敬锋, 王林祥, 等. 预先选别法保护鳞片石墨选矿工艺研究[J]. 矿产保护与利用, 2010(6):37 - 39.
- [40] 劳德平, 申士富, 李崇德, 等. 鳞片石墨矿阶段磨浮—预先分目工艺流程研究[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2014(6):32 - 35.
- [41] Sun K, Qiu Y, Zhang L. Preserving flake size in an african flake graphite ore beneficiation using a modified grinding and pre - screening process[J]. Minerals, 2017, 7(7):115.
- [42] 何培勇, 张凌燕, 邓成才. 非洲某大鳞片石墨矿选择性磨浮试验研究[J]. 硅酸盐通报, 2016, 35(9):2826 - 2831.
- [43] 刘海营, 劳德平, 李崇德, 等. 黑龙江萝北鳞片石墨浮选新工艺研究[C]//中国石墨产业发展研讨会暨 2015 年石墨专业委员会年会, 2015.
- [44] 刘渝燕, 刘建国, 魏健. 某晶质石墨矿提高精矿大片产率及品位的选矿工艺研究[J]. 非金属矿, 2003, 26(1):50 - 51.
- [45] 屈鑫, 张凌燕, 李希庆. 保护石墨大鳞片的分级磨浮新工艺研究[J]. 非金属矿, 2015(2):53 - 55.
- [46] 方和平. 鳞片石墨浮选速率的试验研究——减少尾矿中大鳞片石墨损失初探[J]. 非金属矿, 1987(6):29 - 33.
- [47] В · Б · Чижевский, А · Н · Бехтерев, 唐德身. 鳞片状石墨难浮的原因[J]. 矿产综合利用, 1987(2):85 - 86.
- [48] 袁树礼. 分目精选获得高碳石墨的再磨及浮选工艺试验研究[J]. 中国矿业, 2017, 26(s1):368 - 371.
- [49] 肖伟丽. 某石墨矿提高精矿大片产率及品位的浮选工艺研究[J]. 硅谷, 2012(8):110 - 111.
- [50] 程忠理, 刘敬国. 南墅石墨矿选矿工艺改进探讨[J]. 非金属矿, 1995(5):21 - 23.
- [51] 潘世显. 山东石墨矿选矿若干问题的探讨[J]. 非金属矿, 1984(2):24 - 29.

引用格式:牛敏,郭珍旭,刘磊. 鳞片石墨选矿工艺进展[J]. 矿产保护与利用, 2018(5):32 - 39.

NIU Min, GUO Zhenxu, LIU Lei. Research on beneficiation process of flaky graphite[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2018(5):32 - 39.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E - mail: kcbh@chinajournal.net.cn

(上接第 31 页)

- [9] 周树亮, 王云佩, 张旭, 等. 内蒙古达茂旗查干文都日区石墨矿地质特征及开发经济意义[J]. 吉林地质, 2015, 34(1):61 - 66.
- [10] 高显忠. 南江县尖山石墨矿地质特征及成因浅析[J]. 四川地质学报, 2015, 12(35):19 - 22.
- [11] 王红军, 侯学文, 岑海涛, 等. 四川省南江县庙坪石墨矿成矿地质特征及成因探讨[J]. 科技创新导报, 2017(6):45 - 46, 48.
- [12] 夏锦胜, 孙莉, 肖克炎, 等. 四川省南江县坪河石墨矿床地质特征及成因分析[J]. 现代矿业, 2017, 33(2):57 - 59, 77.
- [13] 肖亮, 张得彦, 霍加庆. 四川阿坝州某晶质石墨矿的发现及找矿方向[J]. 云南地质, 2017, 36(4):528 - 533.
- [14] 刘婷, 张越. 浅析山西省天镇县白羊口石墨矿矿床地质特征及成因[J]. 华北国土资源, 2014(5):106 - 107.
- [15] 张越, 刘婷. 论山西省大同市新荣区七里村石墨矿矿床地质特征及经济意义[J]. 华北国土资源, 2014(5):108 - 109.
- [16] 吴光存. 浅谈山西省大同市新荣区白山 - 弘赐堡石墨矿地质特征、矿床成因及开发经济意义[J]. 华北国土资源, 2012(6):108 - 110, 114.
- [17] 王克勤. 山东南墅石墨矿床地质特征及矿床成因的新认识[J]. 建材地质, 1988(6):1 - 9, 15.
- [18] 倪振平, 马兆同, 刘福魁, 等. 山东石墨资源潜力预测[J]. 地质学刊, 2016, 40(3):410 - 423.
- [19] 饶娟, 张盼, 何帅, 等. 天然石墨利用现状及石墨制品综述[J]. 中国科学:技术科学, 2017, 47(1):13 - 31.
- [20] 周南, 程秀峰, 高杨. 微波法制备无硫膨胀石墨及表征[J]. 矿产保护与利用, 2015(5):38 - 40.
- [21] 李珍, 杨剑波, 刘学琴, 等. 石墨烯的制备及其在光催化材料中的应用[J]. 矿产保护与利用, 2017(3):84 - 89.

引用格式:郭佳,张作伦,江伟华,等. 我国典型晶质石墨产区鳞片石墨的特征及其开发利用[J]. 矿产保护与利用, 2018(5):28 - 31, 39.

GUO Jia, ZHANG Zuolun, JIANG Weihua, et al. Feature and development of flake graphite in typical graphite deposits in China[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2018(5):28 - 31, 39.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E - mail: kcbh@chinajournal.net.cn