

内蒙古大乌淀晶质石墨矿床矿石特征

王利, 王宁, 白骏, 王世超, 谢园宏, 杨拓, 宋学权

(辽宁省化工地质勘查院有限责任公司, 辽宁 锦州 121007)

摘要: 这是一篇工艺矿物学领域的论文。大乌淀晶质石墨矿床位于狼山—白云鄂博裂谷带内, 是特大型石墨矿。为了深入了解矿床矿石及脉石矿物特征, 本文通过 X 射线衍射分析、岩矿鉴定、光谱半定量分析等现代分析测试方法, 对大乌淀晶质石墨矿床进行了系统的矿石特征研究。测试结果显示: (1) 矿石有用矿物为石墨, 脉石矿物主要有石英、长石、白云母、红柱石、黄铁矿等。(2) 矿石石墨片径最大粒径 2.5~3 mm, 最小的为 0.001 mm, 多集中在 0.01~0.05 mm 之间, 属细小鳞片状微晶石墨矿石。(3) 矿石主要有益元素固定碳品位变化范围在 2.50%~11.18%, 一般在 3.00%~7.00%, 平均品位 4.15%, 有害组分含量为 0.16%~4.23%, P_2O_5 含量为 0.05%~0.79%, Fe_2O_3 含量为 3.89%~10.38%, 杂质矿物主要是硅质矿物、粘土矿物等。(4) 矿石除石墨外无其他综合利用价值矿物。

关键词: 矿石特征; 工艺矿物学; 有益有害组分; 石墨片径; 大乌淀晶质石墨矿

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.03.029

中图分类号: TD11 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2023) 03-0171-04

石墨是国民经济发展所需的重要非金属矿产资源, 具有优异的润滑性^[1]、耐高温性^[2]、导电性^[3]、涂敷性、可塑性^[4]等。随着石墨烯的研究和应用, 天然石墨已然成为功能化石墨烯材料制备的重要原料。中国石墨矿产资源分布比较广, 天然石墨按结晶形态可分为晶质石墨和微晶石墨两大类^[5], 晶质石墨分布在 17 个省(自治区), 主要集中在内蒙古、黑龙江、山东、河南和四川等地^[6]。化得钧等^[7]对四川省会理县某地石墨矿产品位、矿物组成、石墨矿物的分布形态、粒度、伴生矿产等进行了阐述; 张志博等^[8]及袁喜岭等^[9]分别对黑龙江省萝北县七马架石墨矿和密山市马来山石墨矿矿石的矿物成分、化学成分、有益有害组分、固定碳含量, 石墨鳞片大小等矿石特征进行了详尽的研究。

内蒙古作为晶质石墨的主要产地之一未进行过系统的矿石特征研究, 本次工作主要是对大乌淀晶质石墨矿床的矿石采集有代表性的 19 个样品, 通过 X 射线衍射分析、岩矿鉴定、光谱半定量分析等现代分析测试方法对矿石特征进行研

究, 为该矿床进一步勘探及矿石选冶提供基础的数据与资料, 同时为其他石墨矿床提供参考。

1 矿床地质背景

大乌淀晶质石墨矿床位于内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特中旗新忽热苏木, 大地构造隶属于华北地台北缘狼山-白云鄂博裂谷带的中西部^[10]。研究区内有两条 NE 向逆断层, 断层内见有强烈褐铁矿化、透闪石化、碳酸盐化、绢云母化等。

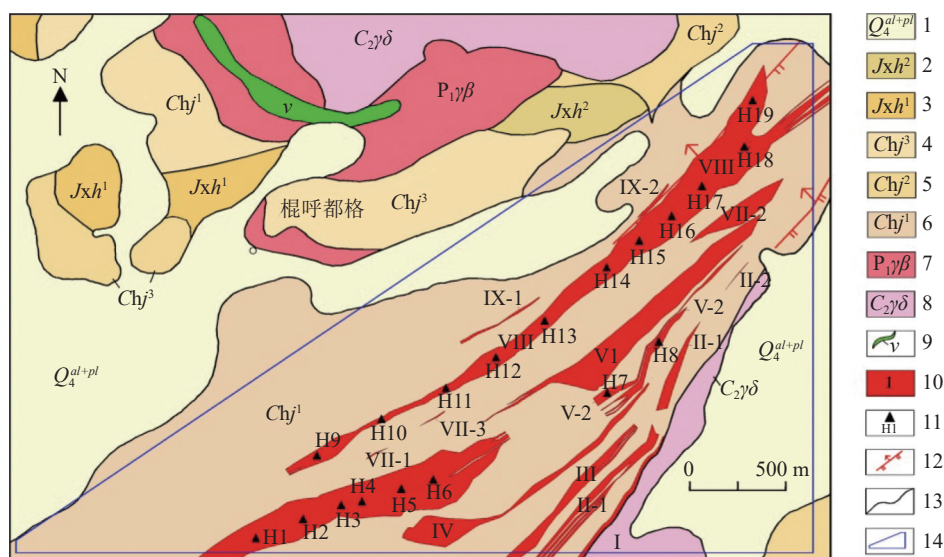
研究区内出露地层由老到新为白云鄂博群长城系尖山组、哈拉霍圪塔岩组和第四系。出露的地层多被钾长花岗岩、花岗闪长岩、辉长岩侵入。尖山岩组一段是石墨矿体主要赋存层位。

根据自然形态、产状等, 将大乌淀石墨矿床划分为 9 条矿体, 其中 II、V、VII、IX 四条矿体尖灭再现, 分成两个或者三个矿体, V 号、VIII 号矿体为主矿体 (图 1)。矿体总体呈层状、似层状、透镜状北东向展布。槽探和钻探资料显示矿体沿倾向延伸较稳定, 沿走向逐渐尖灭后再现、分枝合并明显^[11]。

收稿日期: 2021-10-09; 修回日期: 2021-11-20

基金项目: 中国地质调查局 1: 25 万区域地质调查修测项目 (1212011120707)

作者简介: 王利 (1987-), 男, 高级工程师, 研究方向为固体矿产勘查、基础地质调查。



1. 第四系全新统; 2. 哈拉霍疙特组二段; 3. 哈拉霍疙特组一段; 4. 尖山组三段; 5. 尖山组二段; 6. 尖山组一段; 7. 二叠世钾长花岗岩; 8. 石炭世花岗岩闪长岩; 9. 辉长岩脉; 10. 石墨矿体及编号; 11. 取样位置及编号; 12. 逆断层; 13. 地质界线; 14. 研究区范围

图1 内蒙古大乌淀晶质石墨矿床地质及矿体(底图据荆友广等^[12])

Fig.1 Geological and ore body of Dawudian crystalline graphite deposit, Inner Mongolia

2 样品及研究方法

本次实验样品采集于矿区代表性较强的V和Ⅷ号石墨矿体共19件。X射线衍射分析由中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所完成;光薄片鉴定及化验分析等由化工地质矿山第三实验室完成。测试结果较为真实可靠。

3 矿石特征分析

3.1 原矿 XRD 分析

早在上世纪40年代国外学者就曾采用X射线衍射手段对石墨的矿物成分等进行研究^[13],对本矿区矿石进行X射线衍射分析结果显示,矿石矿物为石墨,脉石矿物主要有石英、云母、长石、红柱石、黄铁矿、褐铁矿和少量绿泥石等^[11]。

3.2 岩矿鉴定

3.2.1 矿石矿物特征

研究区石墨以细小鳞片状微晶石墨为主。最大粒径2.5~3 mm,最小的为0.001 mm,一般为0.01~0.05 mm,嵌布在石英和白云母等混杂交生的脉石基底中。细小的鳞片状石墨在样品中呈较密集分布,呈稀疏分散浸染状、树枝状、叶片状、微块状分布(图2)。石墨嵌布特征与巴彦淖尔哈日楚鲁矿区相近^[14]。

3.2.2 脉石矿物特征

脉石矿物主要有石英、长石、白云母、红柱石、黄铁矿等,与XRD分析一致(图3)。

石英:含量50%~60%,呈微粒-细粒它形不规则粒状,粒径0.05~0.5 mm左右与石墨相间呈大体平行定向排列,其中有一些粗粒状石英,彼此相互嵌晶。

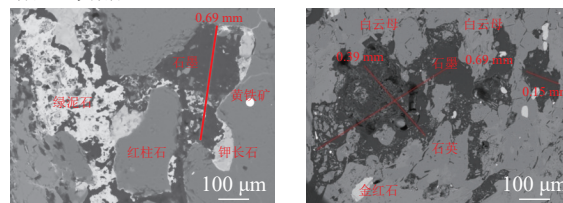
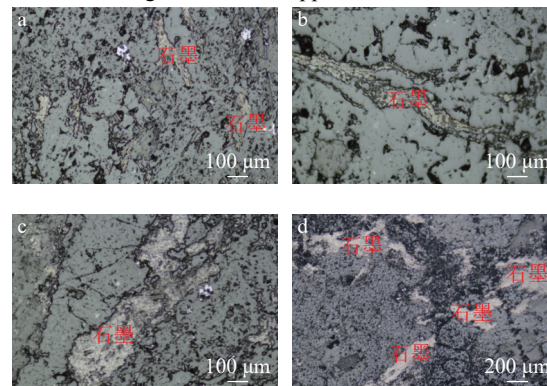


图2 矿石岩矿鉴定结果

Fig.2 Ore rock appraisal results



a.石墨(浅褐灰白)呈分散状分布;b.石墨(浅褐灰白)呈树枝状分布;c.石墨(浅棕灰白)呈微块状分布;d.石墨(浅棕灰白)呈稀疏浸染状分布

图3 石墨晶体嵌布特征

Fig.3 Distribution characteristics of graphite crystal

白云母:含量20%左右,呈片状,粒径0.05~1.5 mm,呈平行定向排列,含量不均匀,有

的零星分布。

长石：含量 6% 左右，呈板粒状，大小多在 -0.2 mm，含量不均匀。

黄铁矿：含量 3% 左右，不规则状、粒状，粒径 0.2 mm 左右。

红柱石：含量 1%~3%，局部含量可达 8%，呈柱状、板柱状或变斑晶，粒径大小不一，大的可达 6 mm，部分红柱石矽线石化，矽线石呈毛发放射状分布于红柱石周边。

另外，可见少量的金红石等矿物。

该矿床有红柱石、黄铁矿、金红石等有用矿物组分，含量均很低，均未达到共伴生矿产综合利用指标，不考虑综合利用。

4 矿石结构及构造

矿石为灰黑色，（显微）鳞（叶）片粒状变晶结构、斑状变晶结构；稀疏—星散浸染状、片状构造^[15]。

5 矿石化学成分分析

对 19 件样品分析，多元素分析结果见表 1，主要矿体固定碳含量见表 2，有害组分 S 含量为 0.16%~4.23%，P₂O₅ 含量为 0.05%~0.79%，Fe₂O₃ 含量为 3.89%~10.38%。从化学元素分析来看，杂质矿物主要是硅质矿物、粘土矿物等。

通过使用非水滴定法测试 V 号、VIII 号主矿体矿石中有用元素（固定碳）含量可知：固定碳分布较为均匀，品位变化范围在 2.50%~11.18%，一般在 3.00%~7.00%，平均品位 4.15%。就固定碳含量来看与内蒙古兴和、阿拉善和包头等地晶质石墨固定碳平均品位在 3%~6% 之间一致^[16]。

6 结 论

（1）矿石有用矿物为石墨，脉石矿物主要有石英、长石、白云母、红柱石、黄铁矿等。

（2）矿石石墨片径最大粒径 2.5~3 mm，最小的为 0.001 mm，多集中在 0.01~0.05 mm 之间，属细小鳞片状微晶石墨矿石。

（3）矿石主要有益元素固定碳品位变化范围在 2.50%~11.18%，一般在 3.00%~7.00%，平均品位 4.15%，有害组分含量为 0.16%~4.23%，P₂O₅ 含量为 0.05%~0.79%，Fe₂O₃ 含量为 3.89%~10.38%，杂质矿物主要是硅质矿物、粘土矿物等。

（4）该矿床为单一石墨矿产，无其他综合利用矿物。

表 1 矿石样品多元素分析结果/%

Table 1 Multielement analysis results of ore samples								
名称	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	S	Fe ₂ O ₃
H1	13.84	2.91	1.10	59.62	0.12	0.59	0.30	6.19
H2	15.00	1.33	0.84	63.38	0.79	0.62	0.20	3.89
H3	12.89	1.18	0.62	58.50	0.10	0.51	0.16	4.59
H4	13.80	1.45	0.44	67.90	0.11	0.48	0.43	5.03
H5	11.75	2.46	0.38	73.50	0.10	0.56	0.24	3.89
H6	10.54	0.98	1.33	54.05	0.13	0.42	2.96	7.50
H7	13.93	1.40	2.35	57.62	0.11	0.59	3.80	10.38
H8	15.87	1.37	2.25	66.86	0.10	0.61	2.73	8.55
H9	14.25	1.27	2.17	65.79	0.12	0.52	2.98	8.29
H10	16.56	1.75	2.69	64.88	0.09	0.64	2.80	9.29
H11	12.37	2.11	2.80	64.31	0.11	0.47	2.95	8.25
H12	12.31	0.99	0.80	75.05	0.18	0.40	0.42	4.88
H13	11.95	0.80	0.70	65.52	0.05	0.50	0.39	4.42
H14	14.21	0.63	1.24	62.69	0.06	0.56	0.25	5.95
H15	14.92	0.91	1.27	66.10	0.06	0.63	0.19	5.45
H16	13.11	1.92	1.23	61.26	0.08	0.53	0.40	7.12
H17	13.65	0.97	1.86	66.43	0.12	0.42	4.23	9.73
H18	14.66	1.45	2.43	59.10	0.09	0.60	3.46	9.25
H19	15.17	2.44	3.24	62.26	0.10	0.60	3.29	8.99

表 2 主要矿体固定碳含量

Table 2 Fixed carbon content of main ore bodies		
矿体号	品位区间	平均品位
V-1	2.50~8.26	3.77
V-2	2.56~9.00	4.11
VIII	2.50~11.18	4.57

参考文献：

- [1] Liu Z, Yang J R, Grey F, et al. Observation of microscale superlubricity in graphite[J]. *Physical Review Letters*, 2012, 108(20):205503.
- [2] 李磊, 魏旭, 遇祯, 等. 安徽省凤阳县焦台陈含金石墨矿物质组份研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(3):126-130.
LI L, WEI X, YU Z, et al. Study on the mineral composition of gold-bearing graphite in Jiaotaichen, Fengyang county, Anhui province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(3):126-130.
- [3] Zhu Z Q, Cheng F Y, Hu Z, et al. Highly stable and ultrafast electrode reaction of graphite for sodium ion batteries[J]. *Journal of Power Sources*, 2015, 293:626-634.
- [4] Zhmurikov E I, Bubnenkov I A, Dremov V V, et al. Graphite in science and nuclear technique [J]. arXiv: 1307.1869, 2015.
- [5] 段佳琪, 孙红娟, 彭同江. 湖南郴州微晶石墨的矿物学特征[J]. *矿物岩石*, 2016, 36(3):7-14.
DUAN J Q, SUN H J, PENG T J. Mineralogical characteristics of microcrystalline graphite in Chenzhou, Hunan[J]. *Mineral Rock*, 2016, 36(3):7-14.
- [6] 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*, 2017, 47(1):13-31.
- RAO J, ZHANG P, HE S, et al. Review of natural graphite utilization and graphite products[J]. *Chinese Science*, 2017,

47(1):13-31.

[7] 化得钧, 黄玉凤, 代启林, 等. 四川省会理县某地石墨矿矿石特征及分析[J]. *矿产综合利用*, 2017(3):79-82.

HUA D J, HUANG Y F, DAI Q L, et al. Characteristics and analysis of graphite ore in a certain place in Huili County, Sichuan Province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2017(3):79-82.

[8] 张志博, 马新春, 陆胜. 黑龙江省萝北县七马架石墨矿矿石特征研究[J]. *科学技术创新*, 2020, 05: 31-32.

ZHANG Z B, MA X C, LU S. Study on ore characteristics of qimajia graphite mine in Luobei County, Heilongjiang Province[J]. *Science and Technology Innovation*, 2020, 05: 31-32.

[9] 袁喜岭, 刘程, 尹文会. 马来山石墨矿矿石品质特征[J]. *决策与信息*, 2015(3): 116-118.

YUAN X L, LIU C, YIN W H. Ore quality characteristics of malashan graphite mine[J]. *Decision and Information*, 2015(3): 116-118.

[10] 姜高珍, 李以科, 王安建, 等. 内蒙古乌拉特中旗大乌淀石墨矿成因特征分析[J], 2017, *地学前缘* 24(5): 306-316.

JIANG G Z, LI Y K, WANG A J, et al. Analysis of genetic characteristics of dawudian Graphite Deposit, wulatzhong banner, Inner Mongolia [J]. *Geoscience Front*, 2017, 24 (5): 306-316.

[11] 张艳飞, 梁帅. 内蒙古大乌淀石墨矿地质特征与成因探讨[J]. *地质找矿论丛*, 2018, 33(2):205-213.

ZHANG Y F, LIANG S. Discussion on the geological characteristics and genesis of graphite deposits in dawudian, Inner Mongolia[J]. *Geological Prospecting Cluster*, 2018,

33(2):205-213.

[12] 荆友广, 张艳飞, 侯建军, 等. 内蒙古自治区乌拉特中旗大乌淀矿区晶质石墨矿详查报告[R]. 2015.

JING Y G, ZHANG Y F, HOU J J, et al. Detailed investigation report on crystalline graphite ore in dawudian mining area, wulatzhong banner, Inner Mongolia Autonomous Region 2015 [R]. 2015.

[13] Bacon G. The powder diffraction intensities of graphite for X-rays and neutrons[J]. *Acta Crystallographica*, 1952, 5(4):492-499.

[14] 张旭东, 张凌燕, 管俊芳, 等. 内蒙古巴彦淖尔地区石墨矿选矿实验研究[J]. *硅酸盐通报*, 2018, 37(10):3060-3065.

ZHANG X D, ZHANG L Y, GUAN J F, et al. Experimental study on the beneficiation of graphite ore in Bayannur area, Inner Mongolia[J]. *Silicate Bulletin*, 2018, 37(10):3060-3065.

[15] 李洪卫. 白云鄂博群石墨矿成因探讨——以大乌店石墨矿为例[J]. *黑龙江科技信息*, 2015(30):104.

LI H W. Discussion on the genesis of graphite ore in Baiyunebo group-taking dawudian graphite ore as an example[J]. *Heilongjiang Science and Technology Information*, 2015(30):104.

[16] 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 J, ZHANG Z L, JIANG W H, 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.

Ore Characteristics of Inner Mongolia Dawudian Crystalline Graphite Deposit

Wang Li, Wang Ning, Bai Jun, Wang Shichao, Xie Yuanhong, Yang Tuo, Song Xuequan

(Chemical Geological Prospecting Institute of Liaoning Province Co., Ltd, Jinzhou, Liaoning, China)

Abstract: This is a paper in the field of process mineralogy. Dawudian crystalline graphite deposit is a extra large graphite deposit which located in the Langshan Mountain lying in the Bayan obo rift zone. To get some insight into the characteristics of Dawudian crystalline graphite deposit ore and its gangue minerals, this paper systematically studies the ore characteristics of Dawudian crystalline graphite deposit. Some modern analysis and testing methods were used. Such as X-ray diffraction analysis, rock ore identification, spectral semi quantitative analysis. The results show that: (1) The useful mineral of the ore is graphite, and the gangue minerals are mainly quartz, feldspar, muscovite, andalusite, pyrite, etc. (2) The maximum particle size of ore graphite flake is 2.5 ~ 3 mm, and the minimum is 0.001 mm, which is mostly concentrated between 0.01~0.05 mm. It is a fine flake microcrystalline graphite ore. (3) The fixed carbon grade of the main beneficial elements of the ore varies from 2.50% to 11.18%, generally from 3.00% to 7.00%, the average grade is 4.15%, the content of harmful components is 0.16%~4.23%, the content of P_2O_5 is 0.05%~0.79%, and the content of Fe_2O_3 is 3.89%~10.38%. The impurity minerals are mainly siliceous minerals and clay minerals. (4) The ore has no other comprehensive utilization value mineral except graphite.

Keywords: Ore characteristics; Process Mineralogy; Beneficial and harmful components; Graphite sheet diameter; Dawudian crystalline graphite ore