

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.03.006

# 黄陵断穹核部鳞片石墨矿床石墨矿物学研究

边敏<sup>1</sup>, 陈松林<sup>2</sup>, 刘林<sup>1</sup>, 程林<sup>1,\*</sup>, 刘海<sup>1</sup>, 范玖琳<sup>1</sup>, 李小伟<sup>1</sup>, 陈晨<sup>1</sup>, 兰绿灯<sup>1</sup>, 姚敬劬<sup>1</sup>

(1. 湖北冶金地质研究所(中南冶金地质研究所), 湖北 宜昌 443003; 2. 湖北省地勘基金管理中心, 湖北 武汉 430071)

**摘要:** 笔者研究黄陵断穹核部鳞片石墨矿床中石墨的矿物学特征, 分析石墨生成的世代与石墨片径的关系, 指出寻找大鳞片石墨矿的方向。本区石墨有序化程度高、结晶完好, 具有高中级区域变质的成因特点; 石墨有 3 个矿物世代, 分别形成于绿片岩相、角闪岩相及麻粒岩相; 石墨片径随变质程度提高而增大。碳质沉积岩原岩的角闪岩相及麻粒岩相分布区是寻找大鳞片石墨的目标区。

**关键词:** 黄陵断穹核部; 鳞片石墨; 矿物学研究

中图分类号: P619.252

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)03-0076-10

## Mineralogical Study of Crystalline Flake Graphite Ore of Huangling Faulted Dome-shaped Core

BIAN Min<sup>1</sup>, CHEN Songlin<sup>2</sup>, LIU Lin<sup>1</sup>, CHENG Lin<sup>1,\*</sup>, LIU Hai<sup>1</sup>, FAN Jiulin<sup>1</sup>, LI Xiaowei<sup>1</sup>,  
CHEN Chen<sup>1</sup>, LAN Lüding<sup>1</sup>, YAO Jingqu<sup>1</sup>

(1. Hubei Institute of Metallurgical Geology (Central South Institute of Metallurgical Geology), Yichang 443003, Hubei, China; 2. Hubei Geological Exploration Fund Management Center, Wuhan 430071, Hubei, China)

**Abstract:** The authors studied the Mineralogical characteristics of crystalline flack graphites in Huangling faulted dome-shaped core and analyzed the relationship between graphites generations and diameters of graphites, indicating the target areas for prospecting larger crystalline flake graphite deposits. The graphites in this area have perfect ordering and crystallization, and generated in middle and high ranking metamorphism. The graphites have three mineral generations of greenschist, amphibolite and granulite facies. The diameters increase along with metamorphic grades. The target areas for prospecting large crystalline flake graphite deposits are where amphibolite and granulite facies of the carbonaceous original rocks exist.

**Keywords:** Huangling Faulted Dome-shaped core; crystalline flake graphite; mineralogical study

黄陵断穹核部是中国鳞片石墨矿的重要产区, 区内石墨矿以品位高、片径大、可选性好而知名。已探明三岔垭、二郎庙等一批中大型石墨矿床, 另有龚家河-青茶园等多个石墨矿正在勘查之中, 资源前景

可观。本区石墨矿地质特征已有田成胜(2011)、邱凤(2015)、廖宗明(2016)的论述, 阐明了石墨矿的赋存层位、矿体特征和矿石性质, 并对成因进行了分析。笔者则对石墨矿床中的石墨进行了矿物学专题

收稿日期: 2019-11-03; 修回日期: 2020-03-31

基金项目: 湖北省国土资源厅科技计划项目“黄陵背斜核部晶质石墨矿矿物岩石地球化学及成矿作用的研究”项目(ETZ2017A07)资助; 湖北省自然科学基金重点项目[2015(FA143)]

作者简介: 边敏(1967-), 女, 高级工程师, 从事矿物岩石地球化学研究。E-mail: 1193417311@qq.com

\* 通讯作者: 程林(1985-), 男, 助理研究员, 注册测绘师, 从事地质研究。E-mail: 407970142@qq.com

研究,阐明了石墨的基本矿物学特征,分析了石墨的矿物世代及其与片径的关系,为探讨石墨成矿机制和寻找大鳞片石墨矿提供矿物学依据。

## 1 地质概况

黄陵断穹位于湖北省宜昌市北部,大地构造位置为扬子陆块、扬子克拉通基底、黄陵基底。断穹呈椭圆形穹窿形式,周缘为断裂围割。断穹核部出露中太古代至新元古代各类表壳岩和变质深成侵入岩。石墨矿主要分布在核北部元古代黄凉河岩组中( $pt_1h$ )。黄凉河岩组由石墨片岩、含石墨黑云斜长片麻岩、含砂线石榴片麻岩及大理岩和钙硅质岩组成,为一套典型的沉积变质孔兹岩系(姜继圣,1990)。

石墨矿呈层状、似层状、透镜状产于黄凉河组下部和中部的石墨片岩和石墨云母斜长片麻岩中。

石墨矿床属沉积变质型,矿床形成经历了沉积和区域变质2个成矿阶段。沉积成矿阶段,碳质以微体古植物的形式聚集、沉积、富集(刘云勇,2017)。变质成矿阶段,随着温压的升高经历了绿片岩相、角闪岩相及麻粒岩相3个时期,使沉积的有机碳裂解、碳化、有序化,最终形成鳞片石墨(边敏,2018)。

## 2 矿物学基本特征

### 2.1 晶体结构

取自三岔垭石墨矿石的X衍射分析谱图见图1。

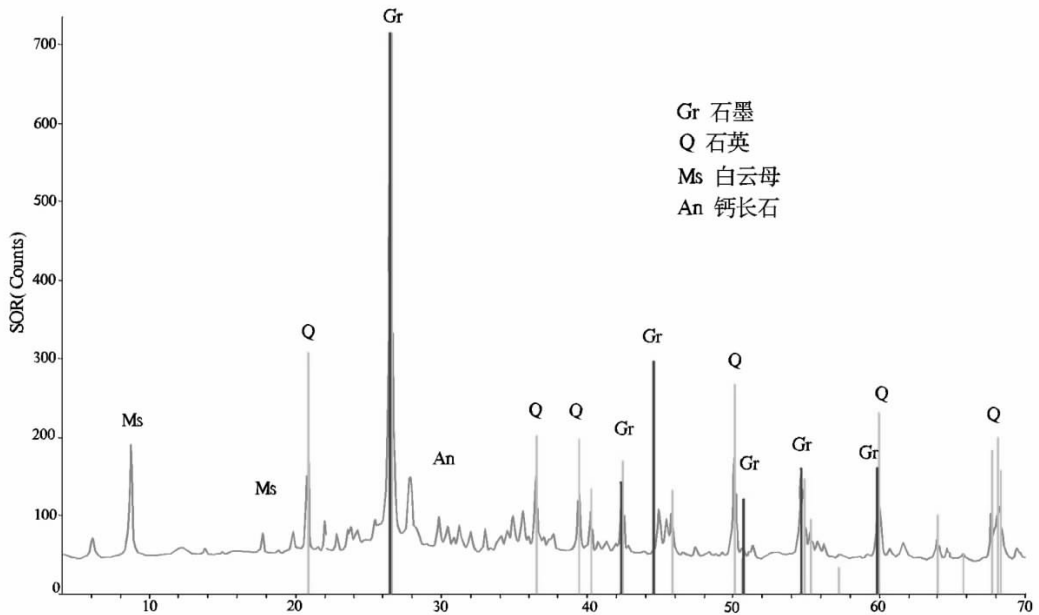


图1 石墨矿X衍射分析谱图

Fig. 1 X-ray diffraction curves of the graphite ore

测试仪器为BrukerD4高速XRD配LyneEye高能探测器测试,Jade软件解译。

测得石墨6个衍射峰,衍射峰窄而高。主要衍射峰有 $d_{002}=0.336$  nm、 $d_{100}=0.211$  nm、 $d_{004}=0.168$  nm、 $d_{110}=0.123$  nm。样品中混入物主要为石英,次为白云母和钙长石。据XRD测定结果,本区石墨为2H型,空间群为 $p63/mmc$ , $a_0 = b_0 = 0.2462$  nm, $c_0 = 0.6711$  nm。根据富兰克林公式(钱崇梁,2001):

$$g = [(0.3440 - c_0/2)/0.0086] \times 100\%$$

其中: $g$ 为石墨化度(%); $c_0$ 为六方晶系石墨 $c$ 轴的点阵常数(nm)。

所谓石墨化度,即碳原子形成密排六方石墨晶体结构的程度,其晶格尺寸愈接近理想石墨的点阵参数,石墨化度就愈高。计算得本区石墨化度为97.67%。

上述石墨的晶体结构特征表明,本区石墨原子

堆积的有序度高,形成于变质程度较高的环境。

## 2.2 光学特征

使用德国蔡司 Axio. Scope. A1 研究级透反射偏光显微镜对石墨矿进行观察。

### 2.2.1 反射光下石墨特征

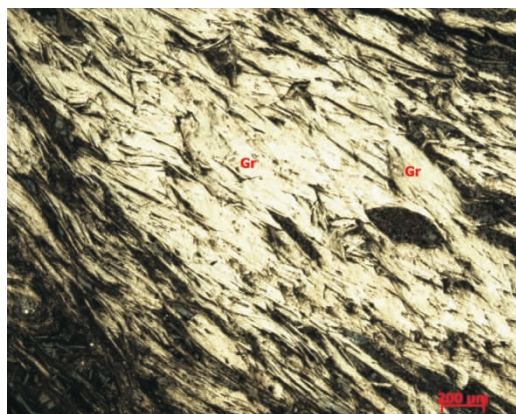
在反射光下观察样品光片,石墨的晶体光学性质得到充分的显示。不同切面石墨形态不同,在平行片理的切片中可见到石墨的底面多为不规则状,有时可见到六边形底面,并且有三角形条纹。与片理垂直的切面,石墨为片状,解理纹细而清晰;石墨反射率较低,但有很强的双反射(图2);石墨的反射率和双反射见表1;Re方向很暗,Ro方向亮,双反射可达10%以上;反射多色性也很明显:Ro亮棕色,Re灰、微带兰色;正交偏光下显示特强非均质性,偏光色为深兰-灰棕。

色,Re灰、微带兰色;正交偏光下显示特强非均质性,偏光色为深兰-灰棕。

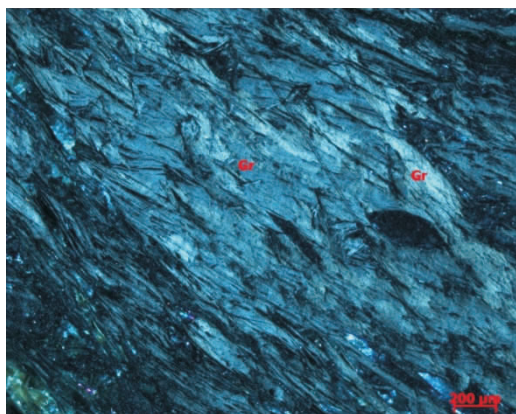
表1 石墨的反射率和双反射表

Tab. 1 reflectivity and bireflectance of the graphites

波长(nm)	反射率(%)		双反射 $\Delta R = \Delta Ro - \Delta Re$
	Re	Ro	
白光	6.0	17.0	11
470	6.6	16.1	9.5
546	6.8	17.4	10.6
589	7.0	18.1	11.1
650	7.3	19.3	12.0



石墨(Gr)横切面的片状晶形 光片(-)



石墨(Gr)特强非均质性 光片(+)

图2 反射光下的石墨图

Fig. 2 The graphites of reflective light observation

石墨的产出形式大致可分为2类(图3):①平行片理、片麻理排列,密集分布,与云母紧密交生,嵌生于云母解理间或两者平行连生。②不规则排列分布于长石、石英间,或切穿长石、石英。由于受应力作用,石墨片晶常弯曲成弧形,甚至S形。

### 2.2.2 透射光下石墨特征

由于石墨的吸收系数大,在薄片标准厚度0.03 mm的情况下,石墨是不透明的。但是在薄片中能清楚地见到其轮廓、边界特征和分布规律(图4)。

图4左显示大鳞片石墨边界很不规则,呈“毛刺”状,这些“毛刺”为微细的石墨鳞片,垂直大鳞片石墨的边界生长。这一现象生动地记录了在变质作用中碳质运移、聚集,附着在先结晶的石墨鳞片表面,进而使石墨鳞片“再生加大”的过程。图4右表明,石墨矿石受韧性剪切作用,石墨作木筏状“S”形

排布,形成S-C面理组构(苗培森,1995)。

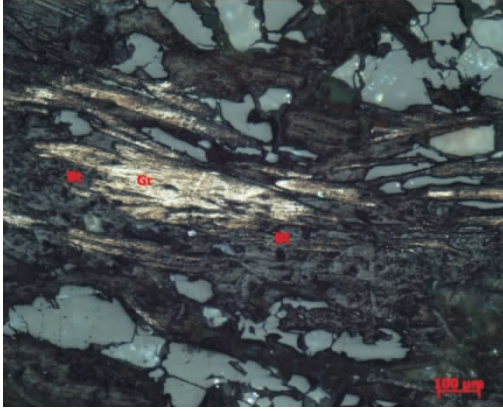
同时,只有在薄片中能准确辨认与石墨共生的脉石矿物种类,分析两者相互关系,确定矿物共生组合,获得与成矿作用有关的信息。本区与石墨共生的透明矿物见表2。

与石墨共生矿物组合及结构构造反映本区石墨矿床为区域变质型,并且变质程度达到高角闪岩相。

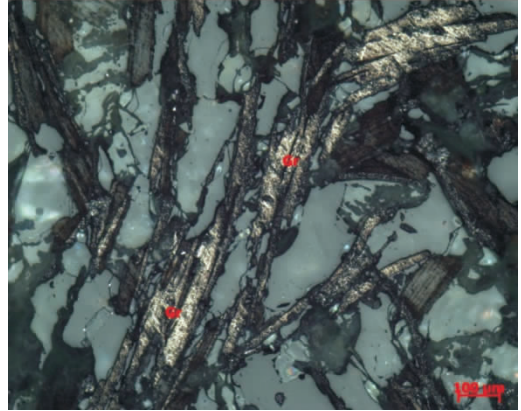
## 2.3 扫描电子显微镜下石墨精矿特征

在扫描电子显微镜下,石墨的形貌十分清楚(图5)。石墨以大小不同的鳞片产出,较小的石墨鳞片常叠层密集堆积,片径较大的石墨鳞片边缘规整,浑圆状,晶面上附着许多小石墨鳞片。小石墨鳞片放大后形貌清晰,可见六边形底面,干净而规整,解理清楚,有薄片顺解理剥开。石墨沿云母解理嵌生在云母中。

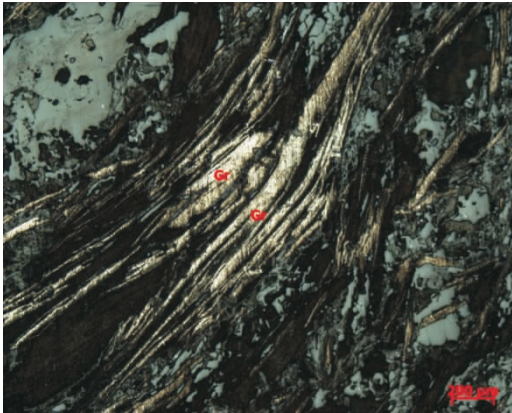




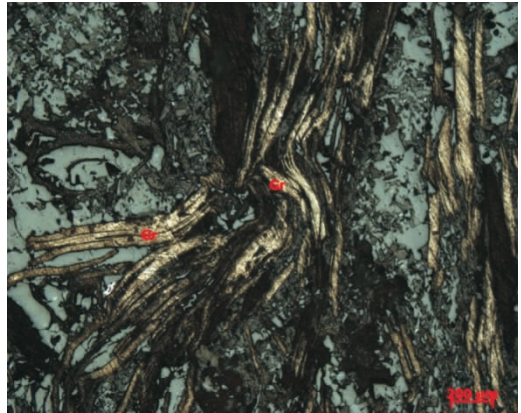
黑云母 (Bt) 和石墨 (Gr) 紧密共生沿片理平行排列或穿插石英、长石 光片 (-)



石墨 (Gr) 鳞片不规则排列产于石英长石间, 光片 (-)



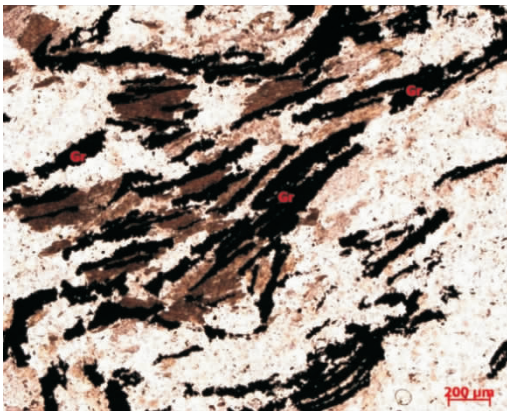
石墨 (Gr) 受应力作用弯曲成弧形 光片 (-)



石墨 (Gr) 受应力作用弯曲成S形 光片 (-)

图 3 石墨的产出形式图

Fig. 3 Occurrences of the graphites



左 混合岩化石墨矿石, 粗粒石墨 (Gr) 边界有许多细小石墨鳞片附着 薄片 (-)



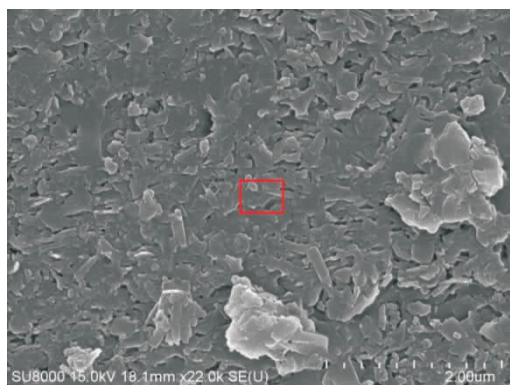
右 石墨矿石, 矿石受韧性剪切作用, 石墨 (Gr) 鳞片呈“S”型排布 薄片 (-)

图 4 透射光下的石墨图

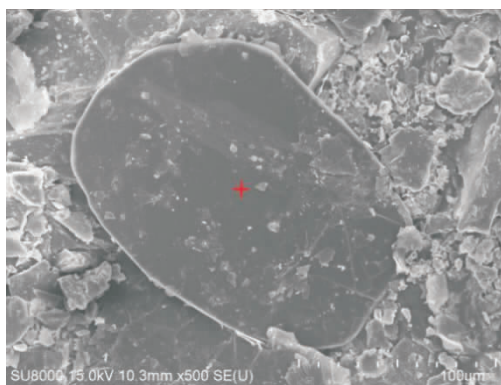
Fig. 4 The graphites of transmission light observation

表 2 与石墨共生的透明矿物表  
Tab. 2 Paragenetic minerals with the graphites

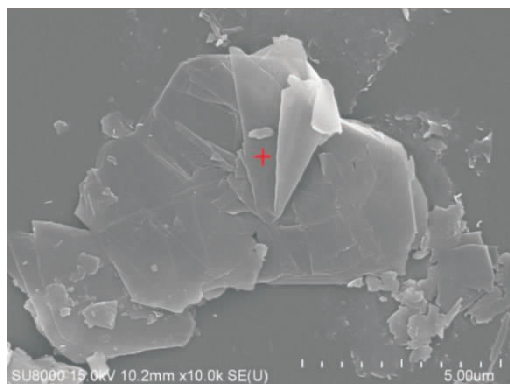
矿石类型	与石墨共生矿物	结构构造
石墨云母片岩型	黑云母、白云母、绢云母、石英、绿泥石、红柱石、蓝晶石、石榴子石、斜长石	鳞片变晶结构
		柱状变晶结构
		粒状变晶结构
		片状构造
石墨云母斜长片麻岩型	黑云母、白云母、石榴子石、矽线石、石英、斜长石、钾长石、电气石、金红石、蓝晶石、十字石、尖晶石	鳞片变晶结构
		柱状变晶结构
		粒状变晶结构
		筛状变晶结构
		片麻构造



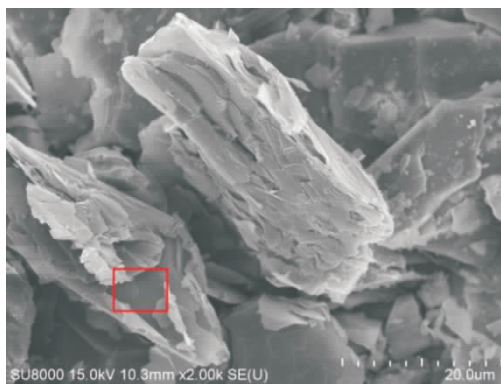
微细石墨鳞片密集层层堆积E<sub>2</sub>



片径较粗的鳞片，边缘规整，浑圆状，晶面上附着有许多小的石墨鳞片S<sub>1</sub>



石墨鳞片结构清晰，六边形底面可见，层面规整，沿解理有剥开S<sub>1</sub>



石墨嵌生在云母片中E<sub>2</sub>

图 5 扫描电镜下的石墨图

Fig. 5 The graphites under SEM observation

扫描电镜获得的石墨形貌比光、薄片观察到的更为直观、真实，同时两者可相互印证。如大鳞片石墨表面附着许多小鳞片石墨的现象与薄片观察到的结果相吻合。

## 2.4 石墨矿化学成分

本区石墨矿化学成分能谱分析结果见图 6、表 3。测试仪器为美国 EDAX 能谱分析仪。



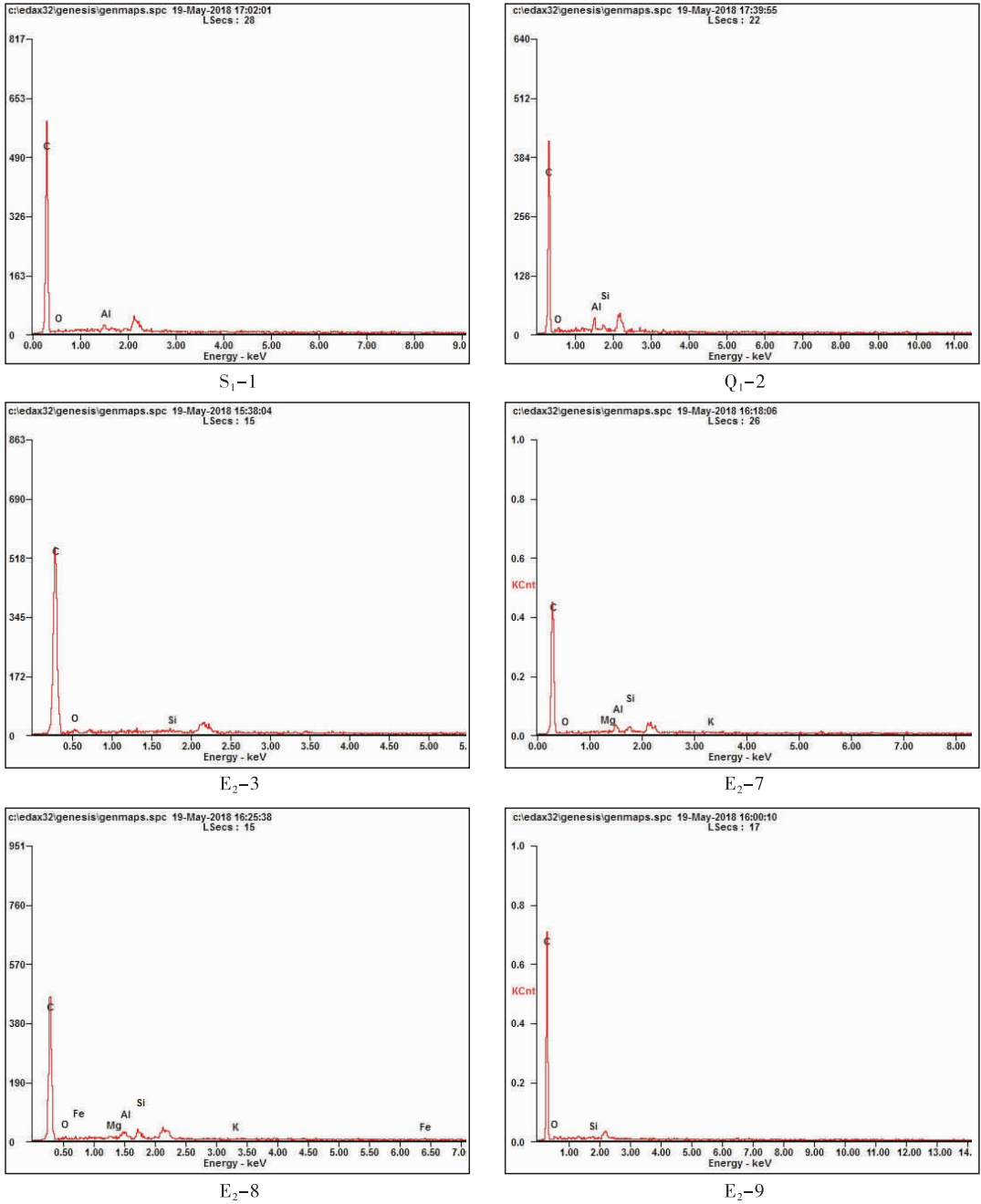


图 6 石墨成分能谱分析谱图

Fig. 6 EDS curves of the graphites

由图 6、表 3 知,本区石墨矿中碳含量(%)为 89.95%~95.01%,原子比(At%)为 92.78%~96.45%,夹有少量 Si、Al、Mg、Fe 等杂质。与国内其他区域变质型石墨矿相比,本区石墨矿含碳较高,这是变质程度高的标志。国内变质程度较低的南江石墨矿、鲁塘石墨矿,其石墨含碳约 85.94%~90.27%,变质程度高的柳毛、南墅石墨矿,石墨中碳

含量才能达到 90%以上(莫如爵,1989)。

石墨矿中杂质据 O、Si、Al、Mg、K、Fe 的含量及原子配比推断应为石英、金云母、黑云母、蓝晶石等。

### 2.5 石墨片度

石墨片度是评价石墨矿石品质的重要指标。根据石墨、碎云母矿产地质勘查规范(DZ/T0326-2018)的要求,石墨片度的测定方法:平行片理切制

光片,按大于 100 目(0.147 mm)、100~80 目

百分比。

(0.175 mm)、80~50 目(0.287 mm)、小于 50

通过对各矿区一定数量光片片度测定,得到各

目的 4 个目级在镜下进行测定,计算各目级所占

矿区片度统计结果见图 7。

表 3 石墨矿化学成分扫描电镜能谱分析结果表

Tab. 3 Chemical components of the graphites

序号	样号	wt(%)							At(%)						
		C	O	Si	Al	Mg	K	Fe	C	O	Si	Al	Mg	K	Fe
1	Q <sub>1</sub> -1	89.9	7.47	2.56					93.07	5.80	1.13				
2	Q <sub>1</sub> -2	90.51	4.84	1.80	2.85				94.10	3.78	0.80	1.32			
3	E <sub>2</sub> -1	94.90	4.07	1.03					96.45	3.11	0.45				
4	E <sub>2</sub> -2	92.45	7.01	0.54					94.39	5.38	0.24				
5	E <sub>2</sub> -3	93.27	5.95	0.79					95.11	4.55	0.35				
6	E <sub>2</sub> -4	95.01	4.41	0.58					96.39	3.36	0.25				
7	E <sub>2</sub> -5	94.93	4.35	0.72					96.37	3.31	0.31				
8	E <sub>2</sub> -6	93.20	2.60	1.26	2.03	0.52	0.39		96.11	2.01	0.55	0.93	0.27	0.12	
9	E <sub>2</sub> -7	91.78	1.89	2.44	2.62	0.53	0.73		95.71	1.48	1.09	1.22	0.27	0.23	
10	E <sub>2</sub> -8	89.95	3.42	2.36	2.35	0.89	0.46	0.13	94.41	2.69	1.06	1.10	0.46	0.15	0.13
11	E <sub>2</sub> -9	93.18	4.98	0.31											
12	S <sub>1</sub> -1	94.69	3.21		2.09				96.59	2.46		0.59			
13	S <sub>1</sub> -2	89.01	6.76	1.54	2.68				92.78	5.29	0.69	1.24			

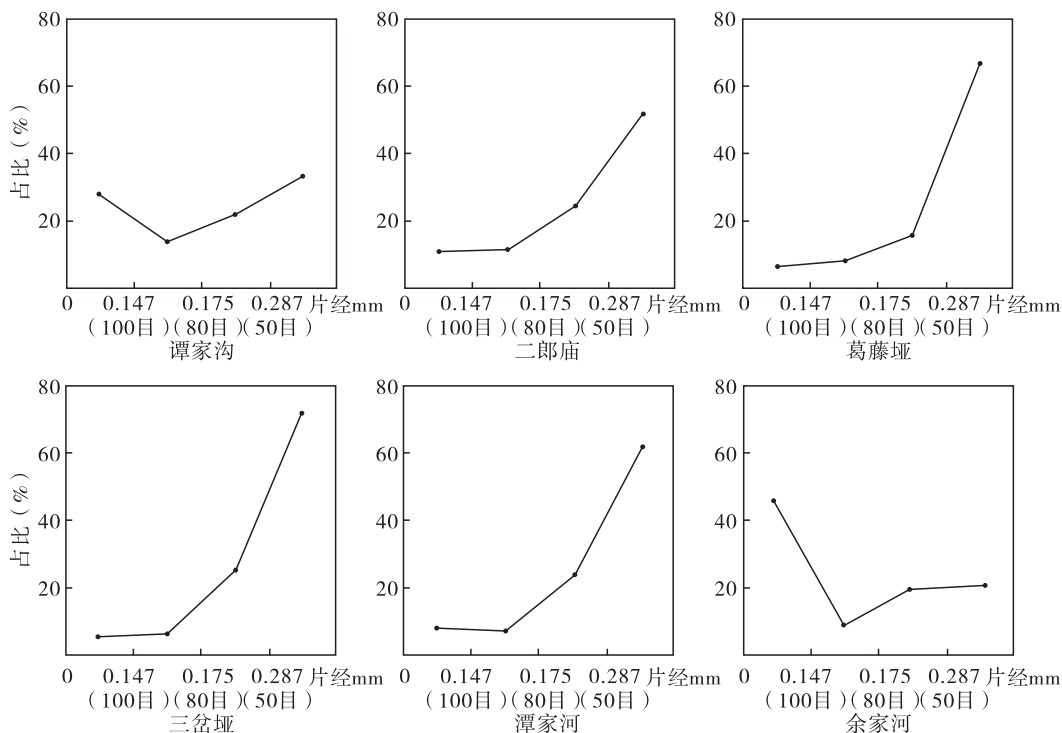


图 7 石墨片径分布图

Fig. 7 Diameter distribution of the graphites

由图7知,本区石墨矿中石墨鳞片片径较大,80目以上的占70%~90%,小于100目的除个别矿区外,一般不足10%。对比各矿区石墨片度曲线形态,可分为2种类型:一种为单纯上升型,随颗粒变粗,颗粒数频率一直上升,石墨以粗颗粒为主(二郎庙、葛籐垭、潭家河、三岔垭);另一种为V字型,细颗粒和粗颗粒频率高,而中颗粒的频率低,石墨总体片度不及第一种类型,属于这种类型的矿区有谭家沟、余家河矿区。片度曲线形态不同是由于各矿区石墨形成世代发育程度的差异造成。

### 3 石墨生成世代与石墨片径的关系

#### 3.1 石墨形成的变质作用阶段划分

根据含矿岩系中不同世代矿物组合和构造变形面理关系分析(韩郁菁,1993),推定本区石墨形成的

变质过程经历4个阶段(表4),分别命名为M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>、M<sub>4</sub>阶段。

早期升压升温变质阶段(M<sub>1</sub>):压力由0.2GP升至0.5GP,温度由300℃升至560℃,形成的变质矿物组合为:石榴石+黑云母+绿泥石+石英,含蓝晶石及红柱石,相当于绿片岩相温压条件。峰期等压升温变质阶段(M<sub>2</sub>):温度由560℃升至750℃,压力保持在0.5~0.6GP,变质矿物组合为石榴子石+矽线石+石英组合,蓝晶石、红柱石被矽线石交代,相当于角闪岩相阶段,为本区主成矿阶段。晚期减压升温变质阶段(M<sub>3</sub>),压力由0.5GP减至0.3GP,温度由750℃继续升高至850℃,超过了水饱和的花岗岩固相线,长英质局部熔融,发生强烈混合岩化,温压达到麻粒岩相。后期退化变质阶段(M<sub>4</sub>),使与石墨共生的矿物组合由高温类型变成低温类型。

表4 变质作用阶段表  
Tab. 4 Stages of metamorphism

变质作用阶段	早期升压升温变质阶段 M <sub>1</sub>	峰期等压升温变质阶段 M <sub>2</sub>	晚期减压升温变质阶段 M <sub>3</sub>	后期退化变质阶段 M <sub>4</sub>
变质温度与压力	T=300~560℃ P=0.2~0.5GP	T=560~750℃ P=0.5~0.6GP	T=750~850℃ P=0.5~0.3GP	T=850~300℃ P=0.3~0.1GP
变质相	绿片岩相	角闪岩相	麻粒岩相	麻粒岩→低绿片岩相
矿物组合特征	石榴子石+黑云母+绿泥石+石英组合;见蓝晶石、红柱石,由绿泥石、叶腊石、绢云母反应而成	石榴子石+矽线石+云母+石英组合;蓝晶石、红柱石被矽线石交代	矽线石、石榴子石、黑云母发生重结晶,形成粗大针柱状矽线石。长英质局部熔融,混合岩化强烈	先期变质矿物被绿泥石、绢云母、绿帘石交代
石墨矿化特征	石墨结晶,粒细; 0.001~0.01 mm, 半自形至他形	石墨结晶变粗: 0.1~1.0 mm,自形、半自形	微细石墨聚集结晶成粗粒,粒度0.5~3.0 mm	石墨保持不变,共生矿物变为绿泥石、绿帘石、绢云母等

#### 3.2 石墨生成世代及片径特征

与变质阶段相对应,本区石墨有3个世代,形成3种不同片径的石墨(图8)。

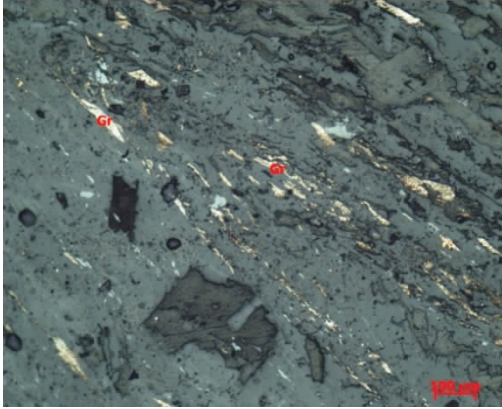
第一世代石墨,形成于早期升温升压变质阶段(M<sub>1</sub>),结晶的石墨片径小( $d=0.001\sim0.01$  mm),半自形至他形,鳞片嵌生于云母粒间。

第二世代石墨,形成于峰期等压升温变质阶段(M<sub>2</sub>),形成石墨片径较粗( $d=0.1\sim1.0$  mm),自形、半自形,与云母交互生长,片度分布中80~50目的石墨主要在这个阶段形成。

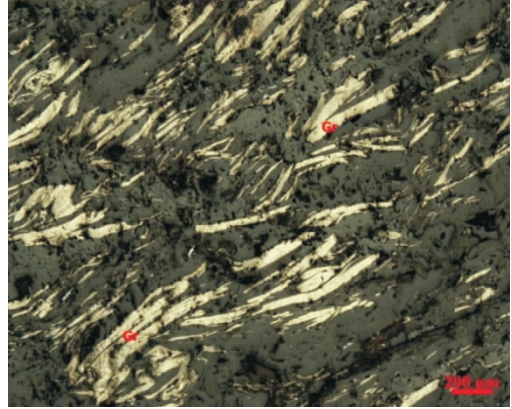
第三世代石墨,形成于晚期减压升温变质阶段(M<sub>3</sub>),此阶段发生强烈而普遍的混合岩化作用,受混合岩化的影响,石墨片径粗大, $d=0.5\sim3.0$  mm,大部分大于50目的石墨形成于这一阶段。

综上所述,决定矿区石墨片径大小的主要因素是石墨生成世代,以第一世代石墨为主的矿区,石墨片径细小,小于100目的石墨可占40%~50%;第二世代石墨发育的矿区,石墨片径以中粗粒为主;第三世代发育的矿区混合岩化强烈,石墨片径粗大,形成大鳞片优质矿石。

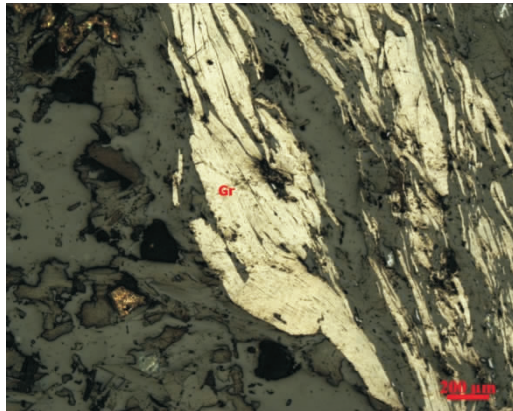




第一世代生成微细片状石墨 (Gr) 光片 (-)



第二世代生成中~大鳞片石墨 (Gr) 光片 (-)



第三世代生成粗大鳞片石墨 (Gr) 光片 (-)

图8 不同世代石墨图

Fig. 8 Graphites morphology in different generations

## 4 结论

(1)本区石墨晶体结构为2H型,空间群为P63/mmc,晶胞参数: $a_0 = b_0 = 0.2462 \text{ nm}$ ,  $c_0 = 0.6711 \text{ nm}$ ;石墨化度为97.67%;反光显微镜下石墨有很强的双反射和特强的非均质性;扫描电子显微镜下石墨形貌清楚,边缘规则,小鳞片呈叠层状,大鳞片晶面上常附生有次生小鳞片石墨;能谱分析确定:石墨含碳89.95%~95.01%(原子比为92.78%~96.45%),包裹杂质数量很少。以上矿物学特征表明,石墨有序化程度高,结晶发育完好,具有中高级区域变质成因特征,属纯净优质鳞片石墨。

(2)石墨结晶形成于不同变质阶段,与此相对应石墨有3个世代,形成3种不同片径的石墨:第一世代石墨形成于早期升温升压变质阶段,相当于绿片

岩相的温压条件( $T = 300 \sim 560^\circ\text{C}$ ,  $P = 0.2 \sim 0.5 \text{ Gp}$ ),结晶的石墨片径小( $d = 0.001 \sim 0.01 \text{ mm}$ ),半自形-他形;第二世代石墨形成于峰期等压升温变质阶段,相当于角闪岩相温压条件( $T = 560 \sim 750^\circ\text{C}$ ,  $P = 0.5 \sim 0.6 \text{ Gp}$ ),形成石墨片径较粗( $d = 0.1 \sim 1.0 \text{ mm}$ ),是片度中80~50目石墨的主要产出阶段;第三世代石墨形成于晚期减压升温变质阶段,此阶段发生强烈而普遍的混合岩化作用,受混合岩化的影响,石墨片径增大( $d = 0.5 \sim 3 \text{ mm}$ ),大部分粗晶石墨形成于这一阶段。

(3)在黄陵断穹核部寻找大鳞片优质石墨矿的目标区域为:①含碳原岩高角闪岩相变质岩分布区。②混合岩化发育形成混合岩化石墨云母片岩和混合岩化石墨云母斜长片麻岩的地区。这些地区的石墨矿片度曲线为单纯上升型,>50目的石墨分布率为60%~80%,并有较多>1.0 mm的大鳞片石墨产出。

## 参考文献(References):

- 边敏,程林,姚敬劬. 区域变质型晶质石墨矿石生成的热力学分析[J]. 矿产与地质,2018,32(1):97-100.
- BIAN Min, CHENG Lin, YAO Jingqu. Thermodynamics research of graphite foring in regional metamorphic granite deposits[J]. Mineral Resources and Geology, 2018, 32(1):97-100.
- 韩郁菁. 变质作用 P-T-t 轨迹[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1993.
- HAN Yujing. P-T-t Trace of metamorphism [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press,1993.
- 姜继圣. 孔兹岩系及其研究概况[J]. 长春地质学院学报, 1990,20(2):167-177.
- JIANG Jisheng. A Review of researches in Khondalite series [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 20(2):167-177.
- 李光辉,黄永卫,吴润堂,等. 鸡西柳毛石墨矿碳质来源及钍钒富集机制[J]. 世界地质,2008,27(1):19-22.
- LI Guanghui, HUANG Yongwei, WU Runtang, et al. Origin of Carbon and Concentration of uranium and Vanadium from Liumao graphite formation in Jixi[J]. Global Geology,2008,27(1):19-22.
- 廖宗明,姚燕,胡章章. 湖北黄陵断穹核北部东冲河石墨矿地质特征与选矿工艺[J]. 资源环境与工程,2016,30(5):681-685.
- LIAO Zongming, YAO Yan, HU Zhangzhang. Geological characteristics and mineral processing technology of Dongchonghe graphite mine in northern core of Hangling faulted dome[J]. Resources Environment & Engineering,2016,30(5):681-685.
- 刘云勇,姚敬劬. 湖北黄陵断穹北部石墨矿形成机制探讨[J]. 资源环境与工程,2017,31(5):536-540.
- LIU Yunyong, YAO Jingqu. Discussion on the forming mechanism of graphite ore in the north of fault dome in Huangling Hubei[J]. Resources Environment & Engineering,2017,31(5):536-540.
- 马彩凤,彭同江,孙红娟,等. 四川南江坪河石墨的矿物学特征[J]. 矿物学报,2018,38(3):257-262.
- MA Caifeng, PENG Tongjiang, SUN Hongjuan, et al. A study on mineralogical characteristics of Pinghe graphite deposit in Nanjiang county' Sichuan province' China [J]. Acta Mineralogica Sinica,2018,38(3):257-262.
- 苗培森,张振福. 不同构造机制韧性剪切带研究[J]. 中国区域地质,1995,4(1):353-359.
- MIAO Peisen, ZHANG Zhenfu. Ductile shear zone formed by different mechanisms[J]. Regional Geology of China,1995,4(1):353-359.
- 莫如爵,刘邵斌,黄翠蓉,等. 中国石墨矿床地质[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1989.
- MO Rujue, LIU Shaobin, HUANG Cuirong, et al. Graphite ore geology of China[M]. Beijing: China Building Industry Press,1989.
- 钱崇梁,周桂芝,黄启忠. XRD 测定炭素材料的石墨化度[J]. 中南工业大学学报,2001,32(3):285-287.
- QIAN Chongliang, ZHOU Guizhi, HUANG Qizhong. Graphitization measurement of carbon material by X-ray diffraction[J]. J. Cent. South Univ. technol, 2001, 32(3):285-287.
- 邱凤,高建营. 黄陵背斜石墨矿地质特征及成矿规律[J]. 资源环境与工程,2015,29(3):280-285.
- QIU Feng, GAO Jianying. Geological characteristics and metallogenic regularity of Huangling anticlinal graphite ore[J]. Resources Environment & Engineering, 2015, 29(3):280-285.
- 田成胜,黄如生,张清平. 湖北夷陵区石墨矿地质特征及找矿前景分析[J]. 资源环境与工程,2011,25(4):310-312
- TIAN Chengsheng, HUANG Rusheng, ZHANG Qingping. Geological characteristics and prospecting potential of graphite ore in Yiling district Hubei province[J]. Resources Environment & Engineering, 2011, 25(4):310-312.
- HOLLISTER VF. Origin of graphite in the Duluth Complex [J], Econ. Geol. 1980,75:764-766.
- INAGA M. Natural graphite-experimental evidence for its formation and novel applications [J]. Earth Science Frontiers,2005,12(1):171-181.