

内蒙古中部地区石墨矿专题地质填图进展与思考

李以科¹, 董晓杰², 柯昌辉¹, 姜高珍³, 李瑞萍¹

LI Yike¹, DONG Xiaojie², KE Changhui¹, JIANG Gaozhen³, LI Ruiping¹

1. 中国地质科学院矿产资源研究所/国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037;

2. 吉林大学,吉林 长春 130023;

3. 中国地质大学(北京),北京 100083

1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Jilin University, Changchun 130023, Jilin, China;*

3. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*

摘要:在内蒙古中部地区开展接触变质型石墨矿1:5万专题地质填图试点工作,查明了接触变质石墨矿成矿要素和找矿标志。白云鄂博群尖山组一段炭质地层是石墨矿化的主要层位,经历低程度的区域变质作用,叠加了晚古生代岩浆活动的强烈接触变质改造,发生了大规模的石墨矿化。通过石墨矿专题地质调查,圈定了3处石墨找矿靶区,3处成矿远景区,预测远景资源储量大于2000×10⁴t。不同于传统的矿产地质调查,以成矿作用为核心的专题地质调查工作,是以石墨成矿关键问题为导向,开展石墨成矿作用研究,构建成矿模型和找矿标志,从而指导矿产地质调查填图,可以快速圈定矿化异常,开展异常查证和评价,提高了找矿工作效率。

关键词:石墨矿;沉积-接触变质;专题填图;华北陆块北缘;内蒙古

中图分类号:P619.25⁺²

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2018)02/03-0262-09

Li Y K, Dong X J, Ke C H, Jiang G Z, Li R P. Geological mapping for graphite deposits and its prospecting significance in the central of Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(2/3):262-270

Abstract: The thematic geological mapping for graphite deposits was conducted in the Xinhure area, middle of Inner Mongolia. Through this work, the essential minerogenic factors and prospecting criteria for graphite deposits were confirmed. The lower part of Jianshan Formation of the Bayan Obo Group consists of carbonaceous slate, which is the key strata of the graphite deposits. After a lower degree of regional metamorphism, it experienced thermal contact metamorphism caused by the magmatic activity in Late Paleozoic, which resulted in a large-scale graphite mineralization in this formation. According to the thematic geological mapping, the authors detected that there are 3 prospecting target areas and 3 mineralization prospective areas of graphite. The total predictive resources of the 3 targets have reached over 20 million tons. Compared with the traditional geological mapping, the thematic geological mapping is concentrated on the key geological problems of graphite metallogeny in this area, and emphasizes the important role of the pre-research on the typical deposit, which guides the thematic geological mapping from the beginning to the end. With this means, the prospecting target can be delineated quickly, and the efficiency of prospecting work can be improved.

Key words: graphite deposit; sedimentary-thermal contact metamorphism; thematic geological mapping; the middle northern margin of North China Craton; Inner Mongolia

收稿日期:2017-05-20;修订日期:2018-01-09

资助项目:中国地质调查局项目《内蒙古浩尧尔忽洞-赛乌素整装勘查区专题填图与技术应用示范(编号:12120114077201)》、《白云鄂博矿集区外围铁、稀土找矿突破选区研究》(编号:1212011220870)、《重要矿种关键问题调查与矿产地质专题填图试点》(编号:DD20160124)和中央公益性院所基金项目《滇西金顶铅锌矿成矿流体成因研究》(编号:K1327)

作者简介:李以科(1983-),男,博士,高级工程师,从事金属成矿规律与找矿预测研究工作。E-mail:like430@qq.com

内蒙古中部地区(北纬 $40^{\circ}40'$ 、东经 $109^{\circ}05'$),连续发现了大乌淀($1775 \times 10^4\text{t}$)、查干文都日($850 \times 10^4\text{t}$)、高勒图($1580 \times 10^4\text{t}$)3个超大型石墨矿床(图1)。矿床均产出于中元古界白云鄂博群尖山组,岩性为一套低绿片岩相变质砂砾岩、变质长石英砂岩、黑色板岩、炭质千枚岩^[1]。石墨矿成矿特征明显有别于内蒙兴和等地的区域变质石墨矿(黄土窑石墨矿),与典型的煤系地层接触变质石墨(湖南鲁塘石墨矿)也存在巨大差异^[2-4]。该类石墨矿床规模大,品位中等,鳞片偏小,但石墨单矿物纯度高,在石墨负极材料等方面可能具有独特的资源优势。本文选择《新忽热幅》(K49E015005)开展石墨矿专题矿调试点填图,查明该类型石墨矿成矿机理、矿石品质、成矿远景,对于石墨资源开发利用与找矿评价具有重要意义。同时对指导石墨成矿作用专题填图具有一定的示范作用。

1 工作思路与技术路线

1.1 早期地质矿产调查存在的问题

本区工作程度较高,1:5万区域地质调查(区调)、矿产地质调查(矿调)均已完成。1979—1982年,内蒙古自治区第一地质大队在开展“内蒙古乌拉特中后旗新忽热一带1:5万区调普查”工作时,首次在中元古界白云鄂博群尖山组一岩段中发现含石墨红柱石炭质板岩^①,由于石墨鳞片小、品位低,判定这些石墨矿在当时的经济技术条件下不具备经济价值,没有对其进行评价。2006—2008年,内蒙古有色地质矿业开发有限公司开展“内蒙古自治区乌拉特中旗角力格太地区1:5万区域地质矿产调查”^②,以区域变质石墨为找矿方向,只关注太古代高级变质地层中大鳞片石墨矿,忽略了这类石墨资源。可以说,由于石墨质量和找矿方向的原因,前人进行1:5万矿产调查时,未对本区石墨资源加以重视,因此无法了解这类石墨矿成矿的关键控制要素及其成矿过程,对其找矿潜力更无从谈起。

1.2 本次专题填图技术路线

鉴于本区已经完成了传统的1:5万区域地质调查和矿产调查工作,本次任务以石墨矿为主攻矿种开展专题矿产调查。主要工作思路是以石墨典型矿床解剖为指导,查清石墨成矿主要控制条件,研究矿床成因,建立石墨找矿模型,提取找矿标志,开展石墨成矿预测,圈定找矿靶区,进行快速评价,提交石墨远景资源量,总结石墨矿专题填图方法和经验。

2 专题填图

2.1 区域地质背景与矿床成矿模型

大地构造上,本区位于华北陆块北缘西段狼山-白云鄂博裂谷。出露地层主要为新太古界色尔腾山岩群中深变质岩系、中新元古界白云鄂博群浅变质岩系及下二叠统苏吉组火山岩地层。白云鄂博群主要出露尖山组、哈拉霍圪特组、比鲁特组,其中尖山组是石墨矿主要赋存层位。本区经历了拉张-断陷-挤压-褶皱的脉动式多旋回构造演化过程^[5-6],并伴生多期岩浆活动,元古宙-一新近纪均有出露,以晚古生代岩浆活动为主,岩性为花岗闪长岩、黑云母花岗岩、花岗斑岩等,岩浆活动与石墨成矿关系密切。高勒图逆冲构造与石崩大断裂是本区主要的构造系统,在空间上控制了石墨矿的产出。

大乌淀石墨矿床是本区最大的晶质石墨矿,探明资源储量(矿物量) $1775 \times 10^4\text{t}$ ^③,其矿床地质特征已有文献详述^[7]。本文总结矿床成因多个关键证据,构建石墨找矿模型,提取找矿标志。综合分析认为,大乌淀石墨矿床是沉积-接触变质型石墨矿床,主要依据如下:

①本区地层变质程度整体偏低,弱区域变质作用形成不了区域变质型石墨矿化,区域变质石墨需要麻粒岩相或高角闪岩相^[8-10];

②石墨矿化与侵入体空间关系密切,石墨矿石品位远离侵入体变低,石墨鳞片片径随远离侵入体变小(图2-b),接触变质程度与石墨矿化呈正相关关系;

③石墨矿化虽然严格产出于尖山组第一段,但空间分布受本区大型弧形构造高勒图逆冲断裂控制;

④石墨鳞片无定向,常呈团块状分布,鳞片大小变化大,表明不是区域变质成因,而是接触变质作用形成的;

⑤发育一套典型的接触变质矿物组合:石英+石墨+红柱石+白云母(绢云母)+斜长石±堇青石±黑云母,属于接触变质成因的矿物组合。

中元古代华北陆块北缘裂谷带滨岸-湖坪环境^[11]中富集发育的生物有机质经分解^[11-12]、泥炭化并固结到尖山组沉积地层后,经历了漫长的地质演化与区域变质作用,区域变质相达到低绿片岩相^[11]。受早二叠世花岗岩岩浆侵位热烘烤的影响,尖山组一段中含炭质富铝质地层遭受了强烈的热接触变质^[7],其中炭质成分变质重组形成石墨矿化,富铝泥质成

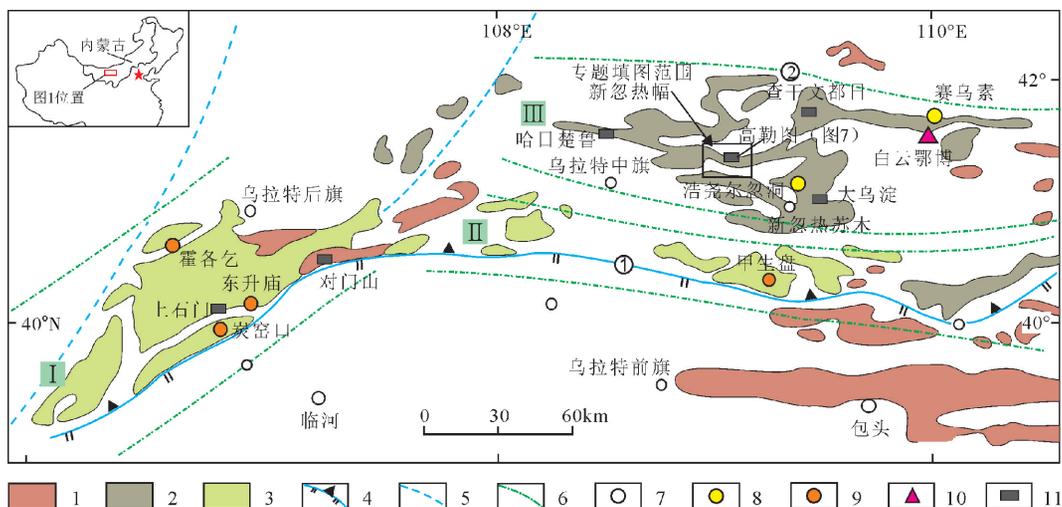


图1 内蒙古新忽热地区区域地质构造简图

Fig. 1 Regional geological sketch map of the Xinhu area, Inner Mongolia

- 1—晚太古界乌拉山岩群; 2—中元古界白云鄂博群; 3—中元古界渣尔泰山群; 4—实测深大断裂;
- 5—推测深大断裂; 6—裂陷带边界; 7—主要城市; 8—金矿床; 9—铜铅锌等矿床; 10—铁稀土矿床;
- 11—石墨矿; I—狼山裂谷带; II—渣尔泰裂谷带; III—白云鄂博裂谷带;
- ①—阴山断裂之狼山-渣尔泰山段; ②—乌兰布拉格断裂

分重结晶形成红柱石化。石墨矿化的品质受距离岩体的远近、热传导系统的圈闭性、后期变质作用叠加及原岩炭质材料的成分结构与含量等因素影响。此外,尖山组二段变质石英砂岩等高温惯量岩层对石墨矿化储热与保存发挥了重要作用。

这类石墨成矿与国内外典型的热接触变质型隐晶质石墨矿和区域变质型晶质石墨矿均有区别,

矿床发育于中元古界的含炭地层中,而非传统的中新生界煤系地层或太古宇孔兹岩系,所产石墨的品质及固定炭含量也介于区域变质型晶质石墨与典型接触变质型隐晶质石墨之间。属于弱区域变质叠加强烈的接触变质作用形成的石墨矿,可称为沉积-接触变质型石墨矿床(图3),成矿作用主要发生在接触变质过程中。根据成矿模型,建立该类型石

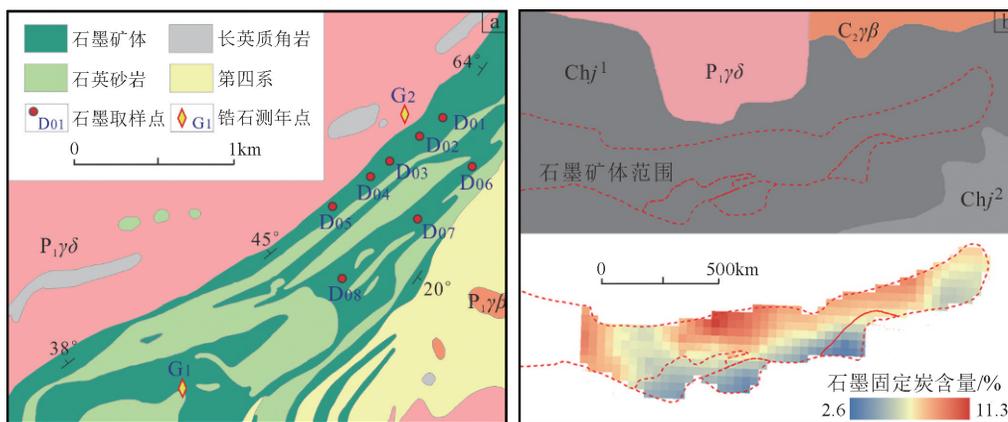


图2 大乌淀矿区及石墨远景区矿体分布特征

Fig. 2 The ore distribution features of the Dawudian graphite deposit as well as prospective areas

a—大乌淀石墨矿地质简图与采样位置;b—石墨远景区矿体的固定炭含量分布图

Chj¹—尖山组一段; Chj²—尖山组二段; C₂γβ—晚石炭世黑云母花岗岩; P₁γδ—早二叠世花岗岩闪长岩

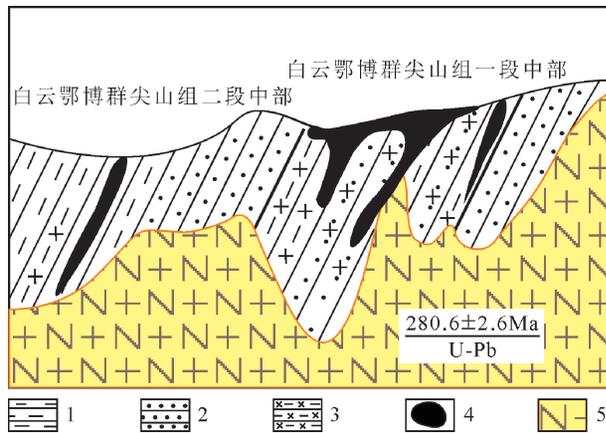


图3 工作区石墨矿矿床模型示意图

Fig. 3 Diagrammatic sketch map of the graphite metallogenic model of sedimentary-thermal contact metamorphism
1—炭质板岩;2—变质石英砂岩;3—角岩化炭质板岩,红柱石斑点板岩;4—石墨红柱石石英角岩(矿体);5—花岗闪长岩

墨矿找矿预测模型,提取了关键找矿标志和填图要素(表1)。

2.2 炭质地层遥感提取方法研究

根据找矿预测模型,接触变质型石墨矿主要受地层、岩浆岩与构造三者的联合控制,化探、重磁、

自然重砂等指示标志不强。因此,白云鄂博群浅变质炭质板岩是石墨成矿的必要条件。如何快速识别这套地层,判定炭质成分多少,对于找矿预测和填图都具有事半功倍的效果。这类地层石墨矿化一般没有特征光谱的矿物,通过普通遥感处理办法很难识别。根据炭质板岩各波段反射率低、波谱曲线平直、波动较小的特点,提出2种识别炭质地层的方法。

①全部波段数据做主成分分析,第一主成分中灰度值较低的部分即符合反射率一致偏低特征;
②构建波段运算准则:a.各波段反射率之和最小;b.各波段反射率标准差最小。这2条准则处理结果相交的部分基本能反映炭质地层的丰度信息,即:

$$C = \min[\text{Sum}(\text{Band1}, \text{Band2}, \dots, \text{Band7}) \& \text{Sqrt}(\text{Band1}, \text{Band2}, \dots, \text{Band7})]$$

以大乌淀石墨矿区为例,利用上述2种方法提取炭质地层相关系数达到0.84,且与矿区地质图的层位吻合较好(图4)。通过遥感识别的炭质地层,基本能定性判断地层炭质含量的高低,图4中颜色越深炭质成分含量越高(橙褐色图斑或条带反映炭质含量高值)。

2.3 接触变质晕带分布规律

通过专题地质填图和大比例尺实测地质剖面

表1 沉积-接触变质型石墨矿找矿预测地质模型

Table 1 Prospecting criteria of the graphite deposit of sedimentary-thermal contact metamorphism

要素		描述内容
基本要素	典型矿床 品位吨位	乌拉特中旗新忽热苏木大乌淀晶质石墨矿 固定炭7%~11%,鳞片片径0~20 μm ,石墨矿物量700 $\times 10^4\text{t}$,特大型
成矿要素	地质环境	构造背景 华北陆块北缘狼山-渣尔泰山-白云鄂博裂谷系
		成矿环境 华北地台北缘西段金、铁、钨、稀土、铜、铅、锌、银、镍、铂、钨、石墨、白云母成矿带
		成矿时代 中元古代预富集,主成矿期为华力西晚期
		成因类型 热接触变质型小鳞片状晶质石墨矿
控矿要素 与找矿标志 (成矿作用相关主要填图单元)	控矿地质要素	控矿构造 深大断裂、次级断裂外围,褶皱翼部,矿区尺度复杂的变形、片理化、糜棱岩化等动力变质活动。本区高勒图大断裂、哈布斯太倒转向斜是主要控矿断裂
		赋矿地层 白云鄂博群富炭质浅变质碎屑沉积地层,主要为尖山组一段,少量位于都拉哈拉组、比鲁特组等
		岩体岩脉 华力西晚期规模性的侵入岩体,如花岗闪长岩、黑云母花岗岩、辉绿岩等,含部分侵入地层的岩枝
		围岩蚀变 红柱石化、绢云母化
	接触变质晕带 石墨片岩-红柱石角岩-斑点板岩相(离岩体由近及远)	
遥感标志	构造解译 线性断裂形迹,岩浆侵入造成的环形机构与褶皱带	
	蚀变解译 在真彩色影像中显示墨绿偏黑的颜色,与富炭质、富铁质地层有关,微弱铁染和羟基异常	

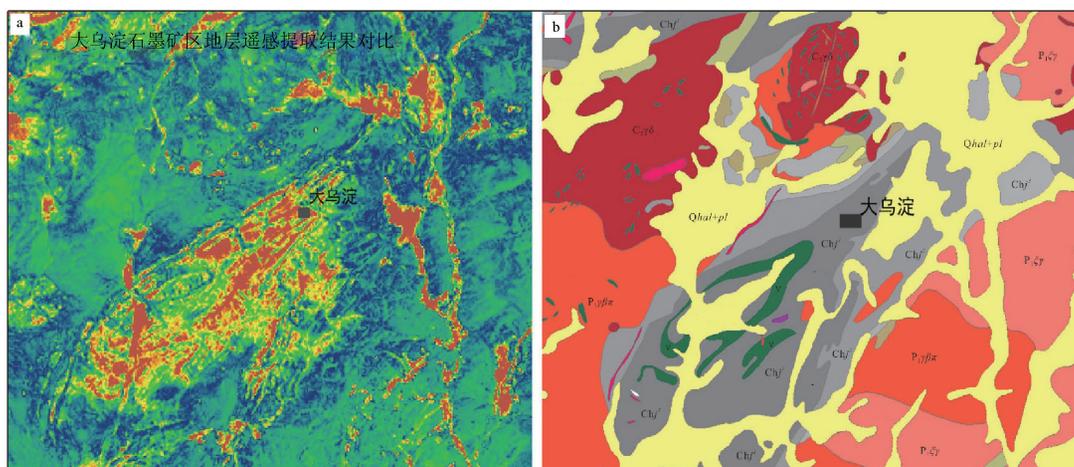


图4 大乌淀石墨矿区炭质板岩地层信息提取结果对比图

Fig. 4 The spatial distribution of the carbonaceous slate resulting from remote sensing data, Dawudian area
 a—遥感提取炭质地层, 红色系代表提取的炭质地层, 颜色越深表示炭质含量越高; b—大乌淀矿区地质图。
 Ch₁¹—尖山组一段; Ch₂²—尖山组二段; Ch₃³—尖山组三段; C₂γδ—晚石炭世灰色花岗闪长岩、黑云母花岗闪长岩;
 P₁γδ—早二叠世花岗闪长岩; P₁ξγ—早二叠世钾长花岗岩; P₁γβπ—早二叠世斑状黑云母花岗岩;
 v—辉绿辉长岩脉; Qhal+pl—洪冲积层+砂砾石

发现,石墨矿化主要发生在白云鄂博尖山组一段中部,空间上与花岗岩脉和辉绿辉长岩枝关系密切(图5),一般与大规模岩体距离50~100m。尖山组二段变质石英(砂)岩对热量具有强烈的封闭作用(图5),有利于石墨矿化。表明石墨矿化发生于一定的温度和压力环境。受岩浆高温烘烤作用影响,区内的石墨矿体随距离侵入岩的远近出现一定的变质分带现象。其中,靠近侵入体的一侧呈现出角岩化强烈、富含红柱石等热接触变质矿物的特征,岩石呈致密块状,矿物组合为石英+石墨+红柱石+白云母(绢云母)+斜长石±堇青石±黑云母,对应的接触变质相为普通角闪石角岩相。远离岩体的一侧岩性渐变为钠闪石-绿帘石角岩相的红柱石斑点板岩,石墨矿化质量不佳,岩

石具板状构造、变余结构,主要矿物包括石英、红柱石、白云母(绢云母)、黑云母、绿泥石等。红柱石斑晶也从靠近岩体的巨斑状渐变到斑状、蠕虫状及斑点状,对应的石墨矿化品质也逐渐变差,其中大鳞片、高品位的石墨矿石多出现在红柱石斑晶较大且晶型完整的岩段。图2-b展示了毫牙石墨靶区的石墨固定炭品位变化规律,在靠近岩体的一侧,石墨固定炭品位异常偏高,而远离岩体的尖山组一段岩性仍为炭质板岩或含炭质片状石英岩,未发现石墨矿化。

——倒转向斜——

尖山组二段(Ch₂²):
 28.粉砂质板岩 11.3m
 27.变质长石砂岩 2.7m

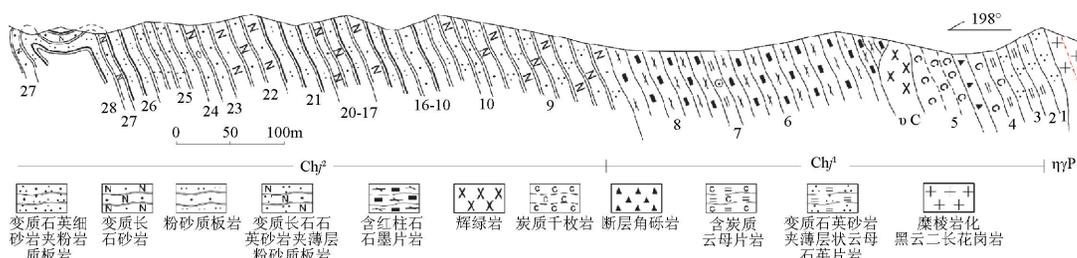


图5 高勒图达拉东实测剖面

Fig. 5 A measured geological profile at Dala of Gaoletu area

- 26. 粉砂质板岩 24.6m
- 25. 变质石英细砂岩夹粉砂质板岩 41.3m
- 24. 含砾变质长石石英砂岩, 呈透镜状产出 6.8m
- 23. 灰黑色变质细砂岩 15.3m
- 22. 灰黄色变质长石砂岩, 在板岩中呈大透镜体 41.4m
- 21. 灰黄色粉砂质板岩 28.3m
- 20. 变质长石砂岩夹透镜状粉砂质板岩 5.3m
- 19. 灰黑色粉砂质板岩 4.2m
- 18. 中厚层变质长石石英砂岩 3.5m
- 17. 中部薄层粉砂质板岩夹中厚层变质长石砂岩 10.4m
- 16. 中厚层变质长石砂岩夹薄层粉砂质板岩 18.5m
- 15. 粉砂质板岩夹变质细砂岩, 发育递变层理 43.4m
- 14. 中厚层中粗粒变质长石石英砂岩 2.8m
- 13. 变质粉砂质板岩 7.6m
- 12. 变质长石石英砂岩与变质细砂岩互层 3.9m
- 11. 中粗粒变质长石石英砂岩夹薄层变质细砂岩, 发育斜层理 12.3m
- 10. 薄层变质细砂岩夹变质中粗粒长石石英砂岩 6.6m
- 9. 变质长石石英砂岩夹薄层粉砂质板岩 113m
- 尖山组一段(Ch¹):
- 8. 灰黑色含红柱石石墨片岩 80.3m
- 7. 深灰色含石榴子石云母片岩 8.3m
- 6. 灰黑色石墨红柱石片岩 141.1m
- 5. 灰黑色炭质千枚岩 11.3m
- 断层
- 4. 含炭质云母片岩 16.6m
- 3. 灰黑色变质石英砂岩夹薄层状云母石英片岩 14.1m
- 2. 灰白色白云母石英片岩夹薄层变质石英砂岩 25.9m
- 1. 灰白色石英岩 8.3m

——— 侵入接触 ———
下伏地层: 二叠纪糜棱岩化黑云二长花岗岩

2.4 石墨找矿靶区圈定和资源储量预测

本次专题填图发现高勒图、豪牙、哈拉此佬、那日图、那日图西、高勒图霍布 6 处矿化线索(图 6)。石墨矿化异常均产出在白云鄂博群尖山组一段, 石墨矿化稳定, 层状、厚层状产出。通过 200m×80m 网度地表捡块采样分析, 石墨固定炭平均含量均达到工业品位, 石墨鳞片中等偏小(图 2-b)。选择豪牙和哈拉此佬 2 处靶区进行了激光扫描和三极电磁测深异常检查。本次专题填图使用 3 种电法仪器, 分别是重庆地质仪器厂产大功率激电仪(DJF-2 10kW)、北京勘察技术工程有限公司生产的 KGR-1B 型抗强干扰电法仪、德国 Metronix 公司生产的 GMS-07e 综合电磁法仪。经对比分析, KGR 抗干扰电法仪解决炭质地质低阻屏蔽影响效果最好^[13]。结果显示, 豪牙石墨靶区石墨矿化东西向展布, 长 3.35km, 呈厚层状, 视电阻率异常连续性较好, 低阻异常极值为 1.7~30Ω·m, 异常宽度 140~680m, 宽窄不一, 与地质填图范围吻合, 岩性为红柱石石墨石英片岩(图 7-a)。根据测深剖面, 石墨异常深度可达 300m, 厚度变化较大; 哈拉此佬石墨异常呈北西向展布, 以电阻率 30Ω·m 圈定的视电阻率异常为主, 长 1.01km, 宽度最窄处 180m, 北部未圈闭, 极低阻连续性好, 阻值范围 0.6~30Ω·m, 与地质填图结果吻合。

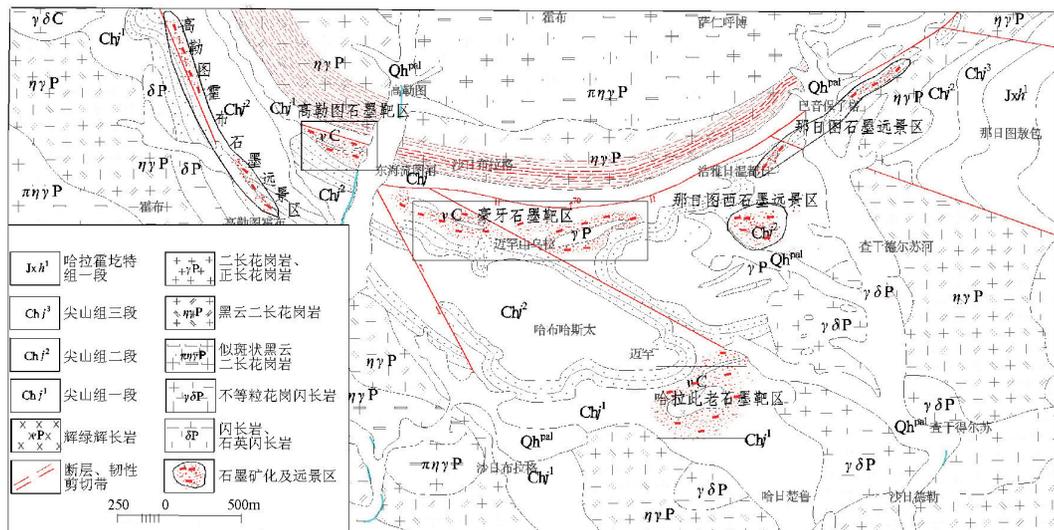


图 6 新忽热幅重点工作区石墨找矿靶区分布

Fig.6 The spatial distribution of graphite prospecting targets of the Xinhu area

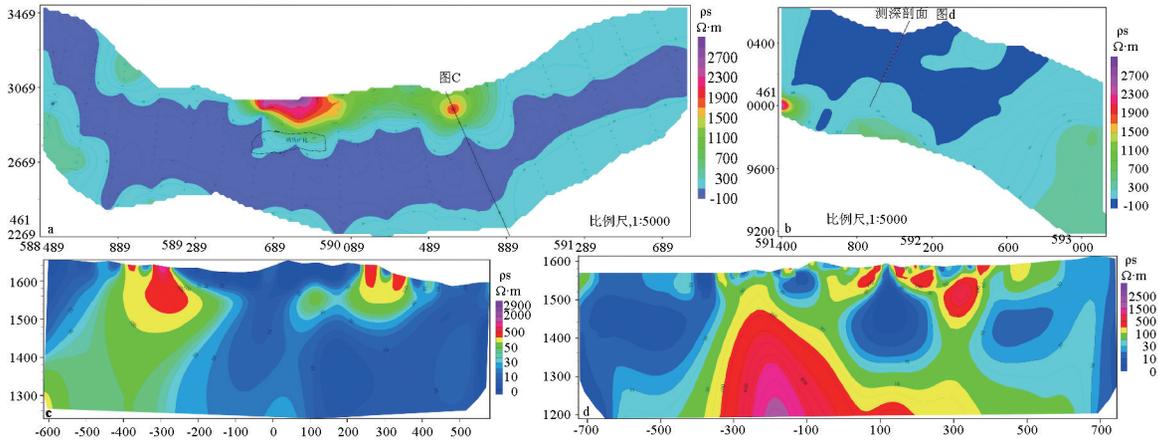


图7 豪牙和哈拉此佬石墨靶区视电阻率平面等值线图 and 测深剖面
(蓝色区域电阻率小于 $30\Omega\cdot m$,可以圈定石墨矿体;测深剖面反演深度 $3\sim 400m$)

Fig. 7 The plane contour map and profile of the apparent resistivity at Haya and Halacilao target area
a—豪牙石墨靶区视电阻率平面等值线图;b—哈拉此佬视电阻率平面等值线图;
c—豪牙石墨靶区第12线三极测深电阻率反演剖面;d—哈拉此佬石墨靶区第3线三极测深电阻率反演剖面

采样分析固定炭含量平均为 $6.37\%\sim 6.52\%$,本次预测取 6.5% 。激电和电磁测深物探剖面表明石墨成锥形或楔形分布,埋深大于 $200m$,本次预测取 $200m$ 。初步估算豪牙和哈拉此佬石墨靶区远景资源量分别为 1026×10^4t 和 921×10^4t ,规模可达超大型,成矿潜力非常可观。

3 讨论与经验总结

3.1 接触变质石墨矿化规模和可利用性

石墨矿化是碳原子进行有序排列、分子结构不断完善的转变过程,自然界的石墨主要通过C-O-H流体的炭质富集沉淀或含有机碳沉积地层、碳酸盐岩变质重组、混合岩化等过程形成^[2,14-15]。

一般来说,古陆边缘石墨矿床均与太古代高级区域变质作用有关^[8-10]。石墨成因与古陆块汇聚、升降过程中的中高级区域变质作用有关,沉积变质地层中的有机碳在高温还原的麻粒岩相或高角闪岩相变质环境中发生裂解重组形成石墨矿。华北古陆块边缘的石墨沿中国北部天山-兴蒙褶皱系的古陆块边缘隆起区分布,产出于黑龙江柳毛麻山岩群、内蒙古兴和集宁群(早称桑干群)、大青山与阿拉善南缘乌拉山岩群等晚太古代-古元古代孔兹岩系^[16-17]。主要找矿标志为高变质岩相地层。

典型热接触变质型石墨矿通常表现为中酸性岩浆沿褶皱隆起端等构造有利部位侵入煤系地层,地层中炭质成分受岩浆热烘烤而脱水重组形成微

表2 新忽热幅石墨找矿靶区

Table 2 The list of the graphite prospecting targets of the Xinhure area

靶区名称	矿化面积/ km^2	石墨矿化形态	块样固定碳平均含量/%	片径/ μm	资源储量预测/ 10^4t
高勒图靶区	0.49	鳞片集合体	5.0	60	1580*
豪牙靶区	0.78	鳞片集合体	8.3	60	1026
哈拉此佬靶区	0.7	鳞片集合体	10.6	95	921
那日图西远景区	0.19	微晶	9.7	50	没有测算
那日图远景区	0.2	鳞片集合体	16.3	141	没有测算
高勒图霍布远景区	0.2	微晶			没有测算

注:*表示高勒图靶区2016年投入勘探,实际勘查面积为 $4km^2$,备案探明资源储量 1580×10^4t (矿物量)^③

晶或隐晶质石墨,如湖南郴州鲁塘、吉林磐石烟筒山等石墨矿。多产于活动大陆边缘的中生代含煤地层中,矿石固定炭含量一般较高,但石墨结晶程度低^[3-4]。主要找矿标志是煤系地层与岩浆岩接触带及相应的接触变质相。

对于白云鄂博群浅变质含炭地层能否找到可以利用的大型石墨矿床,在前两轮地质调查中有很大的分歧。1979年第一轮地质调查时^④,认为该类石墨矿变质程度低、粒度细、杂质含量高,没有工业价值。受第一轮调查结果影响,2006年1:5万矿产地质调查时^④,以金矿为主,石墨矿产仅评价中太古代乌拉山岩群中的巴音温都尔石墨矿点,对白云鄂博群石墨矿化并未关注。引起分歧的焦点在于炭质地层接触变质能否形成大规模石墨矿化,石墨的质量和可利用性如何?近两年勘查和专题填图表明,该区石墨资源潜力非常大,接触变质作用形成大规模石墨矿化完全可能,但这类石墨质量还需要讨论。

通过电子显微镜、扫描电镜、拉曼光谱、X射线粉晶衍射、碳同位素等石墨矿物特征分析手段,证实其石墨矿物已具备完整晶型,晶体片径长度为20~70 μm ,厚度为30~50nm,石墨矿化度在75以上,石墨矿物杂质含量少、纯度高^[7],表明石墨质量较好。大乌淀、高勒图石墨选矿实验表明^{③④},矿区石墨均属较易选矿石。随着石墨负极材料、石墨烯新兴材料的技术突破,超细高纯石墨在新材料领域占据重要的战略地位,该类石墨经济价值越发凸显。

3.2 接触变质石墨矿如何开展矿产调查

专题地质填图是围绕关键问题开展的,填图单位和填图要素根据关键问题而确定^[18]。新忽热幅石墨矿产存在的关键问题是本区石墨矿成因是区域变质还是接触变质,这决定本区石墨矿找矿方向。围绕这个问题,专题填图必须要解决以下几个问题:①石墨矿成因和找矿模型(标志);②建立可写实、可填绘的填图要素;③快速识别(提取)填图要素的技术;④明确异常查证和检查的技术手段。

通过本次专题填图,可以总结针对沉积-接触变质石墨矿产的专题调查方法和技术路线。

(1)填图单元和要素的提取:通过区域上同类的典型石墨矿床解剖,重点开展矿床地质特征、矿石矿物组合、石墨矿物学、晶体化学、碳同位素、年代学等研究,查明成矿要素,主要是成矿岩体和赋矿地层。例如,本区成矿岩体是花岗岩脉和辉绿岩

枝,石墨矿化与大型花岗岩基空间上存在一定距离(50~100m);赋矿地层要详细划分到段(如白云鄂博群尖山组一段),方可指导野外调查;查明矿化标志,便于野外观察。石墨矿化是直接标志(污手),而红柱石化、角岩化可作为间接标志。

(2)查明石墨矿化品质和可利用性,矿产调查是经济地质工作,必须要明确该类矿产可利用、有价值才宜开展专题矿产调查。这方面可借鉴同类矿床的勘查和选矿报告。但由于一般报告不会对石墨矿物学和晶体化学开展工作,因此需要进行石墨拉曼光谱、粉晶衍射、扫描电镜、原位分析等方法研究石墨矿化度、质量等。

(3)野外专题填图:分重点工作区和一般工作区开展2个层面的工作。重点工作区查明石墨矿化分布规律,一般工作区研究石墨成矿背景。重点工作区工作比例尺大于1:5000,一般工作区按1:5万修测。接触变质矿化一般是围绕岩体和一定的层位,因此本次专题填图大量采用追索路线法,控制石墨矿化范围。

(4)关键技术:借鉴遥感和卫星影像,快速识别含炭地层,可以提高工作效率;炭质地层低阻屏蔽对石墨勘查异常查证具有明显影响,本区利用KGR抗干扰电法仪可取得较好的效果。

3.3 存在的问题

经过专题矿调填图,发现了一系列石墨矿化,取得了一定认识,但依然有许多问题需要解决。

(1)大型构造活动与石墨矿化关系:本区一系列石墨矿化除受地层和岩体控制外,在空间上与高勒图弧形断裂、北侧韧性剪切带、哈布斯太倒转向斜关系密切。这些构造与石墨矿化是否为同期,对石墨成矿的控制作用是什么,是否可以作为找矿标志,需要进一步研究。

(2)接触变质石墨成矿的物理化学环境是什么?并不是岩浆活动越强烈石墨矿化越强,例如,在大岩基附近的板岩反而没有矿化。接触变质石墨成矿的温度、压力环境是多少?对认识成矿过程具有重要意义。

(3)石墨的物质来源与古环境。在不到500 km^2 的范围连续产出3个超大型石墨矿床,加上远景区资源量,累计石墨资源储量超过7000 $\times 10^4\text{t}$,占全国石墨总资源储量的1/3,这在世界上是少有的。那么这些石墨的炭质来源是什么,什么样的环境能

提供如此巨量的物质来源,中元古代发生了什么事情?

4 结 论

专题矿产填图是动态的,随着经济发展对矿产资源需求的不同随时发生变化。专题矿调填图要寻求高经济效益,体现经济地质工作的特性。通过专题填图,发现了3处石墨靶区,3处石墨远景区,预测远景资源量超过 $2000 \times 10^4 \text{t}$ 。结果表明,沉积-接触变质型石墨可形成规模化、可利用的石墨矿床,具有较好的经济价值。同时,总结了一套专题填图方法,可为同类地区开展填图提供借鉴。

致谢:参加野外工作的有中国地质科学院矿产资源所硕士研究生荣韬、赵鹏、李鹏川、倪培松、程先钰,博士研究生黄玉凤、胡乐、吴宗建;吉林大学博士研究生关庆斌、李长海,中国地质科学院矿产资源研究所李德先教授级高工;野外工作中,吉林大学刘正宏、贾大成教授亲临指导,该项工作还得到乌拉特中期闫永春旗长、乌中旗招商局刘晓平局长及国土资源局有关同志大力协助,在此表示感谢。

参考文献

- [1]肖荣阁,彭润民,王美娟,等.华北地台北缘西段主要成矿系统分析[J].地球科学,2000,4:362-368.
- [2]Luque F J, Pasteris J D, Wopenka B, et al. Natural fluid-deposited graphite: mineralogical characteristics and mechanisms of formation[J]. American Journal of Science, 1998, 298: 471-498.
- [3]Papineau D, De Gregorio B T, Cody G D, et al. Ancient graphite in the Eoarchean quartz-pyroxene rocks from Akilia in southern West Greenland I: Petrographic and spectroscopic characterization[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2010, 74(20): 5862-5883.
- [4]王登红,唐菊兴,应立娟,等.西藏甲玛矿区角闪岩特征及其对深部找矿的意义[J].岩石学报,2011,27(7):2103-2108.
- [5]彭润民,翟裕生,韩雪峰,等.内蒙古狼山造山带构造演化与成矿响应[J].岩石学报,2007,23(3):679-688.
- [6]翟明国,胡波,彭澎,等.华北中-新元古代的岩浆作用与多期裂谷事件[J].地学前缘,2014,21(1):100-119.
- [7]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].地学前缘,2017,24:1-11
- [8]兰心俨.山东南墅前寒武纪含石墨建造的特征及石墨矿床的成因研究[J].长春地质学院学报,1981,3:30-42.
- [9]王时麒.内蒙兴和石墨矿含矿建造特征与矿床成因[J].矿床地质,1989,8(1):85-96.
- [10]Satish K M, Jaszczak J A, Hamamatsu T, et al. Relationship between structure, morphology, and carbon isotopic composition of graphite in marbles: Implications for calcite-graphite carbon isotope thermometry[J]. American Mineralogist, 2011, 96(4): 470-485.
- [11]王楫,李双庆,王保良,等.狼山-白云鄂博裂谷系[M].北京:北京大学出版社,1992
- [12]王玉峰,王建平,李义明,等.内蒙古浩尧尔忽洞金矿赋矿地层有机地球化学特征及成矿意义[J].矿物学报,2011,31(增刊上):405-407.
- [13]罗先中,李达为,彭芳莘等.抗干扰编码电法仪的实现及应用[J].地球物理学进展,2011,29(2):944-951
- [14]Crespo E, Luque J, FernÁndez-Rodríguez C, et al. Significance of graphite occurrences in the Aracena Metamorphic Belt, Iberian Massif[J]. Geological Magazine, 2004, 141(6): 687-697.
- [15]Luque F J, Crespo-Feo E, Barrenechea J F, et al. Carbon isotopes of graphite: Implications on fluid history[J]. Geoscience Frontiers, 2012, 3(2): 197-207.
- [16]季海章,陈衍景,赵懿英.孔达岩系与石墨矿床[J].建材地质,1990,6:9-11.
- [17]陈衍景,刘丛强,陈华勇,等.中国北方石墨矿床及赋矿孔达岩系碳同位素特征及有关问题讨论[J].岩石学报,2002,16(2):233-244.
- [18]王涛,计文化,胡建民,等.专题地质填图及有关问题讨论[J].地质通报,2016,35(5):633-641.
- ①佟万复,黄占起,熊文莹,等.内蒙古乌拉特中后旗新忽热一带1:5万区调普查报告.内蒙古自治区第一地质大队.1982.
- ②聂志勇,邵锦平,等.内蒙古乌拉特中旗角力格太地区1:5万区域地质矿产调查报告.内蒙古有色地质矿业有限公司.2010.
- ③李煜,张俊峰,等.内蒙古自治区乌拉特中旗大乌淀矿区晶质石墨勘探报告.中国冶金地质总局内蒙古勘查院.2015.
- ④齐彦宏,连荣华,等.内蒙古自治区乌拉特中旗高勒图矿区晶质石墨矿勘探报告.核工业208大队.2015.