

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2020.06.03

引用格式: 张兴康,樊玉朋,靳松,等.冀西北后坊子石墨矿地质特征及矿床成因[J].中国地质调查,2020,7(6): 20-26.

# 冀西北后坊子石墨矿地质特征及矿床成因

张兴康,樊玉朋,靳松,贾正海

(河北省地质调查院,石家庄 050081)

**摘要:**后坊子石墨矿位于华北陆块北缘石墨成矿带中部,属区域变质型石墨矿床。通过岩矿鉴定、激电中梯剖面及探槽工程等手段,探讨了后坊子石墨矿的矿床地质特征、矿体特征,分析了矿床成因。结果表明:后坊子石墨矿的矿体主要赋存于红旗营子群东井子岩组的厚层含石墨大理岩中;矿体受地层控制明显,呈似层状,走向NE,倾向NNW;激电中梯剖面显示,后坊子石墨矿异常呈现“中低阻、高极化”的特征;矿石的固定碳含量为1.42%~3.28%,矿体稳定,成矿规模较大,具有成为大型石墨矿床的潜力。研究认为,含矽线石榴黑云二长变粒岩和含石墨大理岩为后坊子石墨矿的矿源层,区域变质是后坊子石墨矿床的主要成矿作用,后期的岩浆活动及混合岩化作用使得石墨晶体增大、富集。

**关键词:**地质特征;矿床成因;激电中梯剖面;后坊子石墨矿;冀西北

**中图分类号:** P619.252

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2020)06-0020-07

## 0 引言

近年来,石墨由于特殊的性质,一直是军工与现代工业及高、新、精技术发展不可或缺的重要战略资源<sup>[1-2]</sup>。在2013年的石墨烯产业发展趋势及投资论坛上,国际业内专家预言“20世纪是硅的世纪,21世纪将是碳的世纪”。华北陆块北缘中段石墨成矿带是我国重要石墨矿成矿区带<sup>[3-4]</sup>。该石墨成矿带横跨内蒙古西部至河北北部。冀北地区位于华北陆块北缘石墨成矿带的东部<sup>[5-6]</sup>。近年来冀北地区石墨资源勘查开发突飞猛进,先后发现了张北县义哈德大型石墨矿、尚义县松树沟石墨矿以及康保县的后大兴德石墨矿、万隆店石墨矿、后坊子石墨矿等多个石墨矿<sup>[7-9]</sup>。

后坊子石墨矿是近两年在冀西北地区康保县土城子一带新发现的一区域变质型石墨矿。前人对后坊子石墨矿的研究程度较低,主要集中在地质特征的研究<sup>[10]</sup>,而对后坊子石墨矿的矿体特征、矿石特征、成矿物质来源和矿床成因方面研究较少。

本文通过总结分析前人的研究成果并利用岩矿鉴定、激电中梯剖面测量及探槽工程等手段,探讨了后坊子石墨矿的成矿地质特征和矿体特征,分析了矿床成因,为查明冀西北地区石墨矿的矿床成因和成矿规律提供了一定的参考。

## 1 研究区地质概况

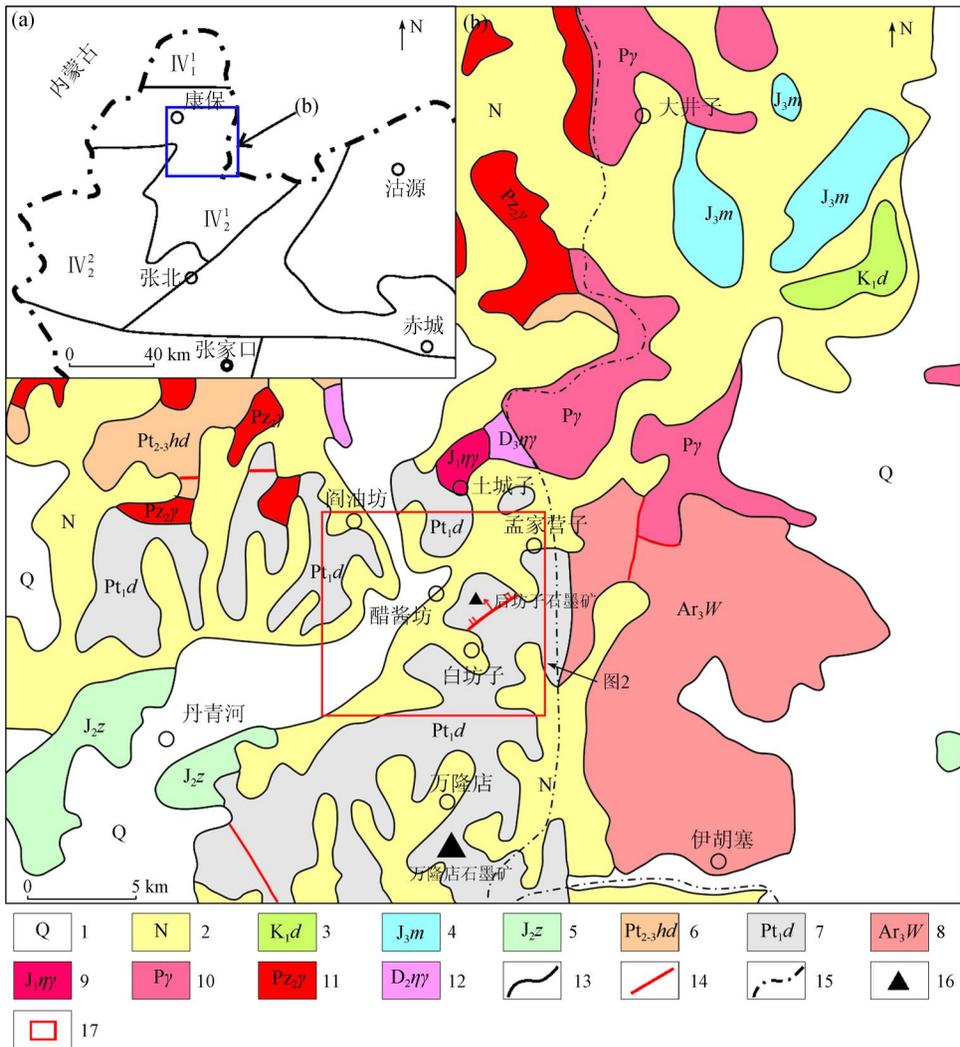
冀西北土城子一带位于华北陆块北缘石墨成矿带中部康保火山-沉积盆地(图1(a))<sup>[10]</sup>,处于中朝准地台(I级)内蒙台背斜(II级)阴山台拱(III级)土城子台凸(IV级)的中北部<sup>[11]</sup>。

区内出露地层主要为新太古界乌拉山岩群变质岩系、古元古界红旗营子群变质岩系、中-新元古界沉积岩系以及新生界第四系松散堆积物等,局部地段发育中生界侏罗系陆相火山沉积建造<sup>[11-15]</sup>(图1(b))。含矿地层主要为古元古界红旗营子群东井子岩组,变质程度达低角闪岩相。地层多被古元古代晚期变质岩体侵入,褶皱构造发育,混合岩化作用以钾交代为特征。

收稿日期: 2020-03-24; 修订日期: 2020-11-03。

基金项目: 中国地质调查局“河北省矿产资源调查成果综合集成及服务产品开发(编号: 12120114006701)”项目资助。

第一作者简介: 张兴康(1988—),男,硕士,工程师,主要从事矿床研究和资源勘查工作。Email: xingkangzhang8023@163.com。



1. 第四系; 2. 新近系; 3. 白垩系大北沟组; 4. 侏罗系满克头鄂博组; 5. 侏罗系张家口组; 6. 中—新元古界化德群; 7. 古元古界红旗营子群东井子岩组; 8. 新太古界乌拉山岩群; 9. 早侏罗世二长花岗岩; 10. 二叠纪花岗岩; 11. 晚古生代花岗岩; 12. 晚泥盆世变质二长花岗岩; 13. 地质界线; 14. 断层; 15. 省界; 16. 石墨矿; 17. 研究区范围; IV<sub>1</sub>. 康保褶皱束; IV<sub>2</sub>. 土城子台凸; IV<sub>3</sub>. 大青沟新台凹

图1 冀西北大地构造图(a)和土城子一带区域地质简图(b)<sup>[11]</sup>

Fig.1 Regional geological map of geotectonics (a) and Tuchengzi area of Northwestern Hebei Province (b)<sup>[11]</sup>

区内褶皱构造不明显,断裂十分发育。区内分布多条 NEE—EW、NE—NNE、NW 向断裂,规模一般较小,如孟家营子断层、后坊子断层等。

区域内岩浆岩较为发育,主要有元古宙变质中细粒斑状二长花岗岩,二叠纪中、细粒斑状二长花岗岩和早侏罗世中细粒二长花岗岩、花岗斑岩等。脉岩受断裂构造控制比较明显,多为花岗细晶岩脉、石英脉、闪长玢岩脉和碱性岩脉等。

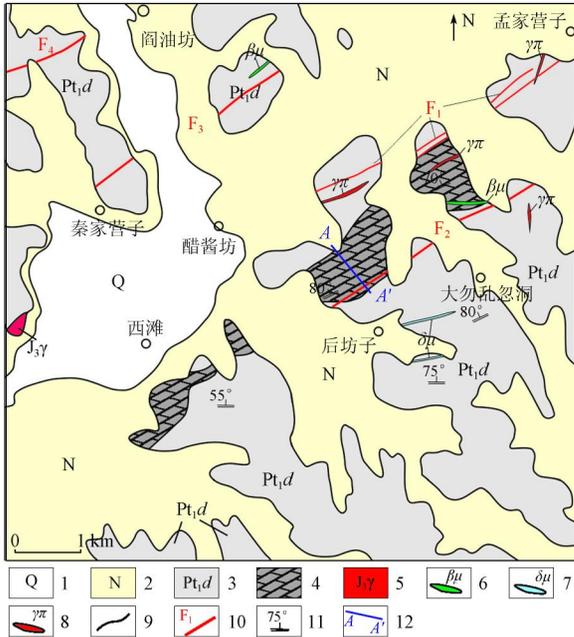
区域内矿产资源比较丰富,已发现的矿种有钨、铅、锌、铜、铬、铌、钽、煤、石膏、萤石和石墨等<sup>[16]</sup>。通过分析区内石墨矿、稀有金属矿、萤石矿和高纯石英矿的成矿条件,认为区内具有优越

的成矿条件<sup>[17]</sup>。

## 2 矿床地质特征

后坊子石墨矿位于康保县东部后坊子村一带,地表矿体的揭露工作显示矿体规模较大。矿区地层主要有古元古界红旗营子岩群东井子岩组和新生代第四纪地层(图2)。东井子岩组主要岩性为石榴斜长浅粒岩、石榴二长浅粒岩、石榴黑云斜长变粒岩,其次是透闪透辉大理岩夹少量石英岩及透镜状含石墨透辉大理岩,为主要的含矿地层。地层

整体走向为 NE 向,倾向 200° ~ 270°,倾角 70° ~ 80°。



1. 第四系; 2. 新近系; 3. 东井子岩组; 4. 石墨大理岩; 5. 早侏罗世花岗岩; 6. 辉绿岩脉; 7. 闪长玢岩脉; 8. 花岗斑岩脉; 9. 地层界线; 10. 断层及编号; 11. 产状; 12. 激电剖面; F<sub>1</sub>. 孟家营子断层; F<sub>2</sub>. 后坊子断层; F<sub>3</sub>. 孟秦家营子断层; F<sub>4</sub>. 阎油坊断层

图2 后坊子石墨矿地质简图

Fig. 2 Geological map of Houfangzi graphite deposit

区内断层发育,主要出露断层有孟家营子断层、后坊子断层、孟秦家营子断层和阎油坊断层(图2)。其中,孟家营子逆断层出露约3.70 km,宽150~350 m,走向为NE,倾向NW;后坊子断层由多个断层面组成,走向NE,倾向NW,出露长6.4 km,宽30~100 m。断层挤压破碎严重,破碎带多发育糜棱岩化片理以及绢云母化、硅化和绿泥石化等。

区内岩浆岩多为花岗斑岩脉、辉绿岩脉、闪长玢岩脉和二长斑岩脉。在矿区北部外围土城子一带有大面积中粒花岗岩出露。

### 3 样品采集和技术方法

采集了新鲜的后坊子石墨矿中的石墨大理岩。石墨大理岩呈浅灰白色,中—粗粒变晶结构,层状构造,由方解石、白云石、石墨及少量暗色矿物组

成。本次的岩矿鉴定工作由廊坊市诚信地质服务有限公司完成,主要分析了矿石的矿物成分、结构、构造及石墨的片度等。

对红旗营子岩群东井子岩组的含石墨地层进行激电中梯剖面测量及探槽工程揭露等。激电中梯剖面测量使用 DWJ-3 型微机激电仪,供电周期 16 s, 占空比 1:1, 供电脉宽 ± 4 s, 迭加次数 2 次; AB 距 1 200 m, 点距 20 m, 精度要求为背景场区视极化率的均方误差 ≤ ± 0.21%, 异常场区视极化率的均方相对误差 ≤ ± 7%, 视电阻率的均方相对误差 ≤ ± 12%。在工作过程中,应注意供电电极尽量保持点位准确和接收机的一致性标定。利用探槽工程揭露地表基岩,用以观察地质界面产状、矿化蚀变情况,并刻槽取样分析基岩含矿品位。探槽深度以揭露至新鲜基岩 0.3 ~ 0.5 m 深为宜,最大槽深不得超过 3 m,槽底宽不小于 0.8 m,见新鲜基岩不小于 0.3 m。

### 4 激电中梯异常特征

区域内物性标本电参数测试统计结果表明:非矿化岩石的视极化率一般较低,视极化率约为 1%;石墨矿化使区内岩石视极化率明显大于非矿化岩石,视极化率在 4.91% ~ 6.10% 之间。同类岩石石墨化程度不同使其电性产生很大差异,既反映了不同岩矿石的电性特征,也反映了岩石矿化程度<sup>[18]</sup>。

矿区内激电中梯剖面跨越含石墨大理岩层达到围岩,测量结果显示围岩及无矿化大理岩中视极化率( $\eta_s$ )背景值为 1% ~ 2%,以  $\eta_s$  值 4.91% 圈定异常,异常宽度达 240 m,异常值高而且稳定;视电阻率( $\rho_s$ )在 181 ~ 490  $\Omega \cdot m$ ,硅化脉处达 659  $\Omega \cdot m$ 。异常高值段与石墨大理岩完全吻合,地表硅化脉处发育零星褐铁矿化,但规模很小,而石墨矿化强烈、稳定,与激电异常套合较好,石英脉处电阻率明显增高,而两侧急剧降低,这也反映了硅化规模较小,硫化物不成规模。因此,研究区呈现的“中低阻、高极化”特征反映了石墨矿化强烈、稳定且成矿规模较大(图3)。

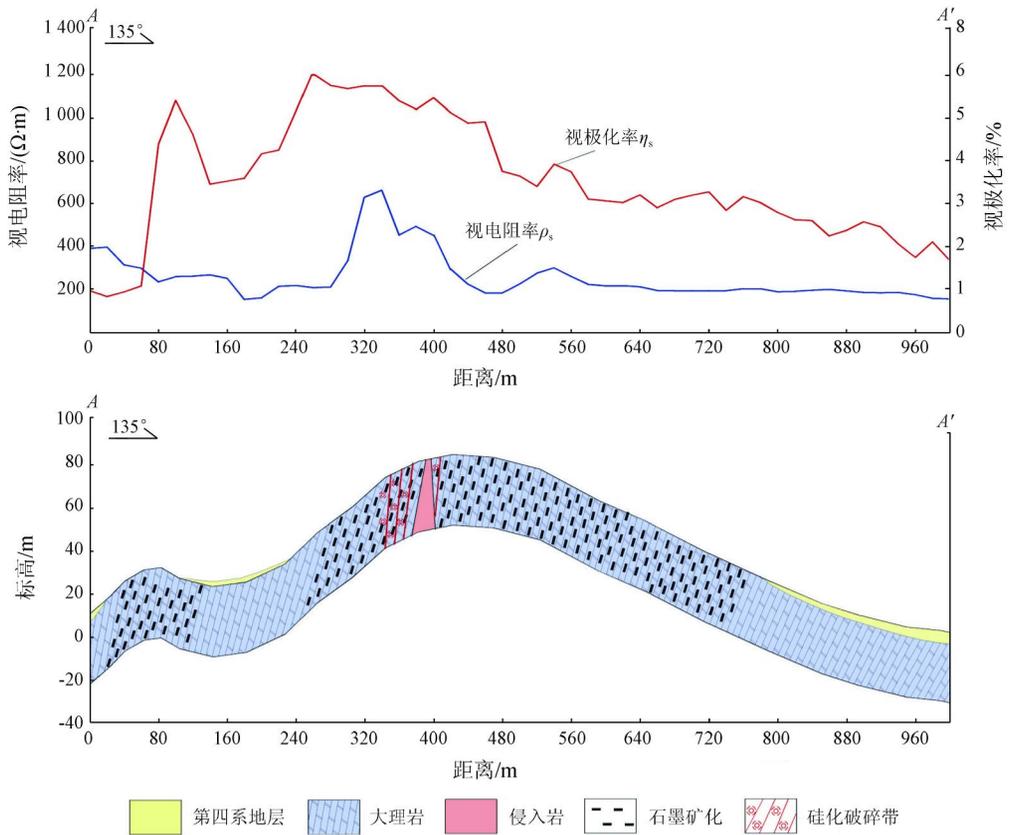


图 3 后坊子石墨矿激电中梯剖面(A—A')

Fig. 3 Induced electric medium gradient section (A—A') of Houfangzi graphite deposit

### 5 矿体特征

矿体主要赋存于东井子岩组的厚层含石墨大理岩中。含石墨大理岩出露长度约 6 km,宽 100 ~ 1 000 m,含矿地层规模较大。矿体受地层控制明显,呈似层状、透镜状产出,产状与围岩基本一致,走向 NE,倾向 NNW,倾角为 75° ~ 80°,局部褶曲。

含石墨大理岩为浅灰色,中—粗粒变晶结构,块状、似层状构造(图 4)。矿石成分主要为方解

石、白云石、石墨、透辉石以及少量暗色矿物等。石墨呈鳞片状,大小 0.2 ~ 2 mm,呈星散状分布在大理岩中,石墨集合体呈条带状,略定向分布,含量为 1% ~ 10%。受到重熔分异作用、混合岩化作用的影响而形成的混合岩化花岗岩、花岗质岩脉、石英细脉(伟晶岩脉)周围,变质程度越高,石墨鳞片往往越大。围岩蚀变主要为碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化,萤石化、高岭土化、黝帘石化和褐铁矿化等。地表具有褐铁矿化的地段,石墨鳞片加大呈块状,同时含量也增高。

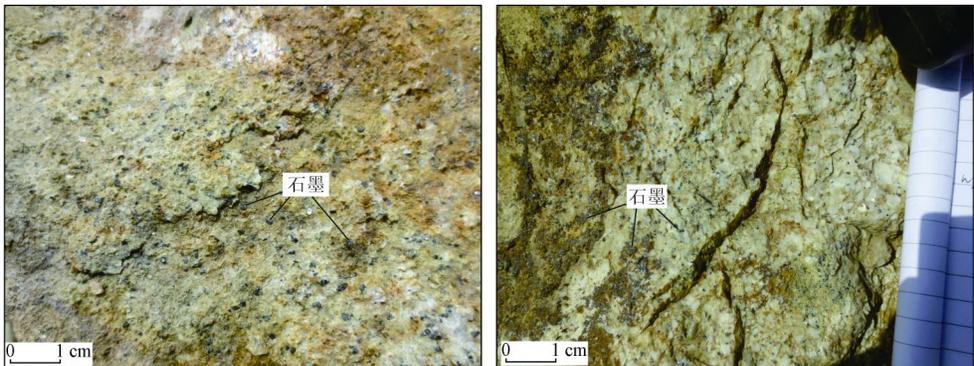


图 4 后坊子石墨矿矿石照片

Fig. 4 Mineral photographs of Houfangzi graphite deposit

在地表施工的探槽中,可见厚度不等的石墨矿体,矿体厚度为15.0~26.9 m,测试的固定碳含量为1.42%~3.28%,矿体延伸约5 200 m,沿走向、倾向的延伸和厚度较大且相对稳定。矿石样品的鉴定结果统计显示:石墨原始片度>0.3 mm的占石墨鳞片的40%~52%;0.19~0.3 mm的占石墨鳞片的13%~26%;0.15~0.18 mm的占石墨鳞片的11%~15%;<0.15 mm的占石墨鳞片的17%~27%(表1)。

表1 后坊子石墨粒度分布频率统计结果

Tab.1 Statistical results for the frequency distribution of graphite particle size

样品号	石墨粒度分布频率/%			
	>100目 (<0.15 mm)	100~80目 (0.15~0.18 mm)	79~50目 (0.19~0.3 mm)	<50目 (>0.3 mm)
B1	19	15	26	40
B2	27	12	13	48
B3	17	11	20	52

综上,后坊子石墨矿矿体稳定,成矿规模较大,具有成为大型石墨矿床的潜力。

## 6 矿床成因

石墨矿床多是富有机质的沉积地层发生变质作用形成的,石墨矿床的形成要具备2个条件<sup>[3,19]</sup>:一是地层沉积时富含大量的有机质;二是沉积地层发生较为强烈的变质作用。

### 6.1 碳质来源

区内石墨矿主要赋存于东井子岩组的石墨大理岩中。东井子岩组的岩性主要为石榴斜长浅粒岩、石榴黑云斜长变粒岩,其次是透闪透辉大理岩夹少量石英岩及透镜状含石墨透辉大理岩。前人对华北陆块北缘石墨成矿带中的石墨矿石进行的原岩建造分析认为,变粒岩、长英质片麻岩、富铝片麻岩等原岩以半黏土质、泥质、粉砂质岩类为主。原岩正变质岩较少反映火山活动微弱,沉积岩中黏土质成分显著增多反映了一种相对宁静的陆棚浅海环境<sup>[6,20]</sup>。区域变质石墨矿的原岩建造多为含碳质半黏土质、泥砂质岩-中基性火山岩-碳酸盐岩建造<sup>[21-23]</sup>。

综合研究可推断,后坊子石墨矿的原始大地构造环境属于相对宁静的陆棚浅海环境,这为后坊子石墨矿的碳质提供了来源。碳质部分来源于含碳

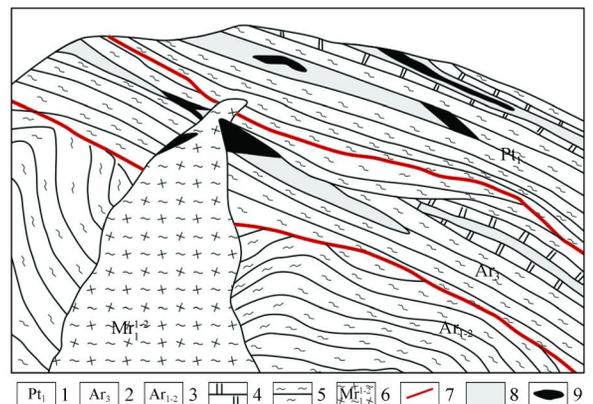
质半黏土质、泥砂质岩-碳酸盐岩建造中。在区域变质由绿片岩相达到角闪岩相过程中,脱碳作用释放出大量CO<sub>2</sub>,CO<sub>2</sub>经过还原作用,析出一部分游离碳,并与原来的有机碳叠加,共同成为石墨矿化的物源<sup>[24-25]</sup>。因此,石榴斜长浅粒岩、石榴黑云斜长变粒岩和含石墨大理岩提供了后坊子石墨矿的物源。

红旗营子岩群原岩以海相碎屑岩夹碳酸盐岩为特征,遭受了吕梁旋回的构造-热事件影响,发生区域变质作用、混合岩化作用改造。含有碳质的泥质、含砂泥质沉积岩、黏土岩在区域变质作用的高温高压环境下,碳元素结晶形成鳞片状石墨晶体,富含碳质的岩层则形成石墨矿层。区域变质是本矿区石墨矿床的主要成矿作用,混合岩化作用是石墨矿床的补充成矿作用。

### 6.2 成矿模式

华北陆块北缘石墨成矿带上的石墨矿属于区域变质型,区域变质、混合岩化作用是影响成矿的主要因素。华北陆块北缘石墨成矿带的石墨矿是多期变质叠加的结果,主成矿期是吕梁期<sup>[6]</sup>。

关于区域变质型石墨的成因模型一般认为有3个成矿阶段<sup>[1]</sup>:第一阶段原始含碳质半黏土质、泥砂质岩-中基性火山岩-碳酸盐岩建造的沉积阶段;第二阶段构造运动造成原始沉积岩发生区域变质变形作用下,使得有机质变质成石墨;第三阶段是变质地层折返剥蚀到地表并保存下来(图5)。



1. 古元古界; 2. 新太古界; 3. 古-中太古界; 4. 大理岩; 5. 变质岩系; 6. 混合花岗岩; 7. 断层; 8. 石墨矿体; 9. 石墨富矿

图5 后坊子石墨矿成矿模式<sup>[1]</sup>

Fig.5 Metallogenic model of Houfangzi graphite deposit<sup>[1]</sup>

后坊子石墨矿床的形成过程推测为富含有机质的泥质或黏土质沉积岩,在区域变质作用的过程

中,含碳酸盐原岩建造在经过漫长的地质作用的影响下,形成细小鳞片状石墨晶体。在区域变质的过程中,岩石发生重结晶、重组及变形作用进而脱碳,在复杂的物理化学条件下分解成一定数量的游离碳,游离碳与原来的石墨晶体叠加,并促使发生了石墨重结晶,在一定的条件下聚集成鳞片状石墨。后期的岩浆活动及混合岩化作用引起围岩的温度增高,致使石墨晶片随脉石矿物颗粒增大而增大,并在大理岩中迁移富集形成了星点状的石墨矿体。

## 7 结论

(1)后坊子石墨矿矿体受地层控制明显,主要赋存于红旗营子群东井子岩组的厚层含石墨大理岩中,红旗营子群东井子岩组可以作为直接找矿标志。

(2)后坊子石墨矿激电异常呈现“中低阻、高极化”的特征,矿体稳定,成矿规模较大,矿床具有成为大型石墨矿床的潜力。

(3)后坊子石墨矿的成矿物质主要来源于东井子岩组变粒岩和含石墨大理岩,区域变质是后坊子石墨矿床的主要成矿作用,后期的岩浆活动及混合岩化作用使得石墨晶体增大、富集。

## 参考文献:

- [1] 肖克炎,孙莉,李思远,等.我国石墨矿产地质特征及资源潜力分析[J].地球学报,2016,37(5):607-614.
- [2] 刘艳飞,陈正国,颜玲亚,等.中国石墨供应风险评价[J].中国地质调查,2019,6(6):105-111.
- [3] 颜玲亚,高树学,陈正国,等.中国石墨矿成矿特征及成矿区带划分[J].中国地质,2018,45(3):421-440.
- [4] 王力,樊俊雷,冯杨伟.石墨资源现状及中国石墨矿床分布[J].中国煤炭地质,2017,29(7):5-9.
- [5] 付茂英.河北省石墨矿床及找矿方向[J].中国非金属矿工业导刊,2014(2):50-52.
- [6] 谭均.蒙西南—冀北石墨矿化带成矿地质特征及矿床成因探讨[J].矿产勘查,2019,10(1):17-32.
- [7] 王登红,郑绵平,王成辉,等.大宗紧缺矿产和战略性新兴产业矿产调查工程进展与主要成果[J].中国地质调查,2019,6(6):1-11.
- [8] 王广,齐新国,付茂英,等.河北省尚义县松树沟石墨矿床地球化学特征及成因分析[J].中国地质调查,2019,6(6):29-34.
- [9] 齐新国,王广,付茂英,等.冀西北坝上地区石墨矿成矿模式及找矿模型[J].中国地质调查,2019,6(6):48-55.
- [10] 河北省地质调查院.河北省康保县马生元—孟家村一带石墨矿调查[R].石家庄:河北省地质调查院,2020.
- [11] 刘燕飞,李文勇,杨冬红,等.冀西北地区土城子航磁异常特征及找矿研究[J].地球物理学进展,2019,34(6):2301-2308.
- [12] 莫如爵,刘绍斌,黄翠蓉,等.中国石墨矿床地质[M].北京:中国建筑工业出版社,1989:65-85.
- [13] 齐新国,谭均,王志刚,等.张北县义哈德一带石墨成矿地质条件分析[J].中国非金属矿工业导刊,2017(2):33-36,39.
- [14] 齐新国,谭均,孙宝臣,等.万隆店一带石墨矿地质特征及成矿规律初探[J].中国非金属矿工业导刊,2018(4):41-45,54.
- [15] 田腾飞,齐新国.河北省康保县浅变质型石墨矿地质特征及找矿标志[J].中国非金属矿工业导刊,2019(1):59-61.
- [16] 河北省地矿局第三地质大队,张家口市国土资源局.张家口地质矿产[M].北京:地质出版社,2013:5-18.
- [17] 樊玉朋,孙志伟,张兴康,等.冀西北康保一带成矿条件分析及找矿方向研究[J].中国地质调查,2019,6(6):63-71.
- [18] 齐新国.电法测量在坝上覆盖区石墨找矿中的应用效果[J].中国非金属矿工业导刊,2016(4):22-25.
- [19] 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.
- [20] 李超,王登红,赵鸿,等.中国石墨矿床成矿规律概要[J].矿床地质,2015,34(6):1223-1236.
- [21] 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.
- [22] 余仕军.江西金溪地区石墨矿床地质特征及找矿方向[J].非金属矿,2012,35(3):74-77.
- [23] 李寒滨,张冰,朱更新,等.黑龙江云山石墨矿床孔兹岩系变质作用特征及其地质意义[J].矿床地质,2014,33(增刊1):99-100.
- [24] 石同雪,孟顺祥,付茂英.东水泉石墨矿床地质特征及成因[J].建材地质,1991(6):21-26.
- [25] 梁帅.华北典型晶质石墨矿床成因研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2015:1-109.

# Geological characteristics and ore genesis of Houfangzi graphite deposit in Northwestern Hebei Province

ZHANG Xingkang, FAN Yupeng, JIN Song, JIA Zhenghai  
(Hebei Institute of Geological Survey, Shijiazhuang 050081, China)

**Abstract:** Houfangzi graphite deposit is located in the middle of the graphite metallogenic belt in the northern

margin of North China Block in Hebei Province , which belongs to regional metamorphic type graphite deposit . In this paper , through rock – mineral determination , IP ladder sections and exploratory trench survey , the authors have discussed its metallogenic geological characteristics and ore body characteristics , and analyzed its ore genesis. The research results show that the ore bodies are mainly in the graphitic marble of Dongjingzi Formation of Hongqiyngzi Group , which are stratified and controlled by layers , with NE trend and NNW inclination. The IP anomaly shows that Houfangzi graphite deposit is characterized by low resistance and high polarization . Ore bodies are stable and of big scale , and their fixed carbon content ranges from 1.42% to 3.28% , which has the potential to be a large graphite deposit. The ore-forming material came from granulite and graphite marble , while the regional metamorphism is the main mineralization of Houfangzi graphite deposit , with the enrichment and increase – ment caused by late magmatic activity and migmatization .

**Keywords:** geological characteristics ; ore genesis ; IP ladder sections ; Houfangzi graphite deposit ; Northwestern Hebei Province

(责任编辑:刘永权)