

# 秦岭地区石墨资源分布与成矿主控因素

张晨<sup>1</sup>, 冯杨伟<sup>1,2\*</sup>, 贾灿灿<sup>1</sup>, 于会丽<sup>1</sup>

<sup>1</sup>南阳师范学院地理科学与旅游学院, 河南 南阳

<sup>2</sup>东华理工大学地球科学学院, 江西 南昌

Email: \*2005130009@163.com

收稿日期: 2021年7月12日; 录用日期: 2021年8月18日; 发布日期: 2021年8月25日

## 摘要

秦岭地区是我国石墨矿资源丰富的主要分布区之一, 目前该地区石墨资源分布及成矿机理的研究尚较薄弱。以秦岭造山带已发现的数十处石墨矿床/点/远景区的基础资料为依据, 通过典型矿床野外地质调查及测试分析, 运用地质综合分析方法, 研究结果表明: 秦岭地区石墨资源分为晶质石墨矿床和隐晶质石墨矿床两大类, 呈三大矿带展布。在秦岭地区多期构造运动叠加下, 区域变质作用控制形成了鳞片晶质石墨矿床; 在岩浆热力与构造应力双重作用下, 煤、碳质泥页岩变质形成隐晶质石墨矿床。

## 关键词

秦岭, 石墨, 分布特征, 成矿机理, 主控因素

# Distribution and Main Controlling Factors of Mineralization of Graphite Resources in Qinling Area

Chen Zhang<sup>1</sup>, Yangwei Feng<sup>1,2\*</sup>, Cancan Jia<sup>1</sup>, Huili Yu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Geography and Tourism, Nanyang Normal University, Nanyang Henan

<sup>2</sup>School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang Jiangxi

Email: \*2005130009@163.com

Received: Jul. 12<sup>th</sup>, 2021; accepted: Aug. 18<sup>th</sup>, 2021; published: Aug. 25<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Qinling area is one of main repository distribution provinces of large scale graphite resource. At present, the research on the distribution and metallogenic mechanism of graphite resources in

\*通讯作者。

this area is still weak. Based on the basic material of dozens graphite deposits, spot, play discovered in Qinling orogen, by means of outdoors geologic survey and specimen examination with analysis of some typical deposits, applying geologic multidisciplinary analysis method. The results show that the graphite resources in Qinling area can be divided into crystalline graphite deposits and cryptocrystalline graphite deposits, which is distributed in three ore belts. Under the superposition of multiple tectonic movements in Qinling area, regional metamorphism controlled the formation of large scale crystalline graphite deposits. Under the dual action of magmatic heat and tectonic stress, coal and carbonaceous shale metamorphosed to form cryptocrystalline graphite deposit.

## Keywords

Qinling, Graphite, Distribution Characteristics, Metallogenic Mechanism, Main Controlling Factors

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

石墨是一种新兴矿产资源[1] [2] [3]。天然石墨是工业化制备新型碳材料石墨烯的首选原料，全球已发现石墨矿床主要分布于北纬 30°~50°，集中在中国、朝鲜、墨西哥、澳大利亚、俄罗斯和欧洲等地区。中国石墨储量全球第一[4]，近年全球石墨产量前三甲为中国(67%)、印度(14%)和巴西(8%) [5]，石墨是中国出口量最大的非金属矿产品之一。

秦岭地区矿产资源丰富[6]，是我国石墨矿资源的主要分布区之一[4]。王力等(2017) [7]、Sun *et al.* (2018) [8]对中国石墨矿床分布进行过划分，认为秦岭地区是一个重要的石墨矿床聚集区；Feng *et al.* (2015) [9]研究了秦岭地区石墨矿床的基本特征，尝试对石墨矿床进行初步划分。目前秦岭造山带非金属石墨矿床的研究程度较浅，研究工作的开展大都在上世纪 60~90 年代。已发现石墨矿床/点/远景区数十处，类型涉及晶质鳞片状石墨和隐晶质石墨，大多数石墨矿仅开展过初步调查，有的甚至仅仅是群众举报的矿点，研究范围小且呈孤立点状研究，亟需开展区域性矿床分布特征、石墨矿床成矿机理与主控因素等方面的研究工作，服务于秦岭地区石墨资源摸底和企业整装勘查与开发。

## 2. 秦岭地区石墨资源分布

秦岭地区含石墨矿层系主要有新太古界太华群板石山组/水底沟组、元古界秦岭群雁岭沟组与宽坪群、韩舞 - 奥陶系、下志留统、中泥盆统和上石炭统。秦岭地区石墨矿床类型有区域变质型晶质石墨矿床和接触变质型隐晶质石墨矿床，大鳞片晶质石墨矿床主要分布在调查区的东部，分布范围较广，以豫西南朱阳关 - 柳泉铺大型石墨矿为其典型代表；隐晶质石墨矿床主要分布在调查区西部，以陕西省凤县煤沟 - 贯沟石墨矿为其典型代表。受秦岭东西向区域性构造的控制，秦岭地区石墨矿产资源划分为三大矿带，大致呈近东西向展布(图 1)。

### 2.1. 华北板块南缘基底型晶质石墨成矿带

主要赋矿岩石主体为新太古界 - 元古界华北板块的结晶基底。

① **新太古宙太华群板石山组/水地沟组石墨矿群**西起陕西蓝田，经临潼历山、华县太华山、潼关，东入河南，经灵宝、萧山、熊耳山、鲁山至舞阳。一般构成东西西北弧形古变质岩带，长约 450 千米，

宽约 50 千米。包括小秦岭区(包括太华山、老牛山)板石山组和鲁山区水底沟组两套岩石组合, 主要赋矿岩石为石墨片岩、石墨混合片麻岩、含石墨透辉斜(二)长片麻岩、含石墨黑云斜(二)长片麻岩等(表 1)。

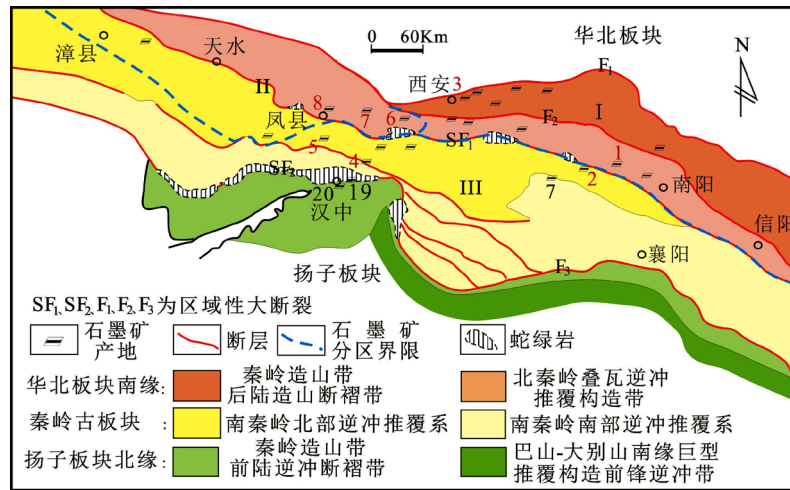


Figure 1. Tectonic framework and distribution of major graphite deposits in Qinling orogenic belt

图 1. 秦岭造山带构造格架与主要石墨矿分布

Table 1. Geological characteristics of key graphite deposits in Qinling area (The deposit location can be seen in Figure 1)

表 1. 秦岭地区重点石墨矿床地质特征表(矿床位置见图 1)

矿带	序号	矿床名称	地理位置	矿床类型	含矿地层	矿层时代	矿石类型	矿体形态
华北板块南缘基底型晶质石墨成矿带	1	豫西南朱阳关-柳泉铺大型石墨矿	河南省内乡县	晶质石墨矿	秦岭群雁岭沟组、宽坪群	古元古代	宽坪群为钙质晶质石墨片岩、黝帘石晶质石墨片岩, 雁岭沟组含石墨铁质石英岩、二云石英片岩	矿体呈透镜状、层状、似层状, 矿体沿走向及倾向变化大, 连续性差产状与围岩一致, 随地层褶皱而弯曲。平均品位 4%左右, 厚度 1.33~38 m, 一般在 10~34 m 左右。
	2	潼关善车峪石墨矿	陕西省潼关县	晶质石墨矿	太华群	新太古代	含石墨斜长片麻岩、含石墨长石石英岩	矿体呈似层状, 有 5 个矿体, 长 35~200 m, 厚 20~87 m。品位 3%~5%。
	3	西安骊山石墨矿	陕西省西安市	晶质石墨矿	太华群板石山组	新太古代	石墨片麻岩、石墨片岩	矿体呈似层状, 矿体呈不规则长条状, 出露长 1500 米, 宽 50~300 米; 矿体为一透镜体, 延深 150~300 m; 矿体总体产状倾向 310°~340°, 倾角 40°~85°, 品位 3%~15%。
南秦岭中部晶质石墨成矿带	4	十亩地-秧田坝石墨矿	陕西省佛坪县-洋县	晶质石墨矿	上流水店组	早志留世	含石墨黑云母石英片岩、含石墨二云石英片岩、石墨黑云母石英片岩(石墨矿)	矿化带长 18.3 Km, 宽 100~400 m, 属变成矿床。共圈定矿体 129 个, 呈凸镜体。矿体平均品位 3.5%~4.5%。
	5	留坝县青桥河石墨矿	陕西省留坝县	晶质石墨矿	三河口组	泥盆纪	含石墨大理岩	赋存于大理岩与侵入岩接触带, 矿体及矿化体 17 个, 矿体规模小, 呈条带状, 单个矿体长 25 米, 厚 0.2~1 米, 平均固定碳 20.34%。
西秦岭山间盆地群隐晶质石墨成矿带	6	户县涝峪银洞沟石墨矿	陕西省西安市户县	隐晶质石墨矿	草凉驿组	石炭纪	石墨片岩、含石墨泥灰质绢云母片岩	矿体呈透镜状, 沿北东东-南西西方向继续出露, 四个矿体。长 51~253 m, 厚 0.74~2.4 m。固定碳含量 66.5~80%, 含硫 0.022~0.918%。
	7	眉县齐镇石墨矿	陕西省眉县	隐晶质石墨矿	草凉驿组	石炭纪	黑色石墨片岩	呈透镜体状, 厚约 2 米, 长度不明, 固定碳含量约 80%左右。
	8	凤县煤沟-贯沟石墨矿	陕西省凤县	隐晶质石墨矿	草凉驿组	石炭纪	石墨板岩、黑色碳质板岩夹石墨板岩	石墨矿呈层状、似层状、透镜状等, 矿体沿走向、倾向变化较大, 厚度较不稳定变化较大, 石墨矿厚度 0.4~2.3 m。品位 76.88%~89.31%, 平均为 84.64%。

② 古元古代秦岭群雁岭沟组石墨矿群分布于天水、宝鸡唐藏张家庄、太白县沪家垣、西峡县、内乡青山、马山口及桐柏县老湾等地区。雁岭沟组以富含石墨为其主要标志,岩性主要为石墨片麻岩、含石墨铁质石英岩、二云石英片岩夹钙质晶质石墨片岩、含石墨条带大理岩、含石墨厚层状大理岩,锤击具有极明显的银灰色痕迹,手搓表面光滑,污手严重。以朱阳关-柳泉铺大型石墨矿为典型代表。

③ 古元古代陡岭岩群大沟组石墨矿目前仅见于河南省淅川县五里梁,矿石以含石墨片麻岩、石墨片岩为主,矿体(层)形态多为层状、似层状,产状与围岩片理及区域构造线一致。

④ 新元古代宽坪(岩)群石墨矿群石墨矿群分布在河南省西峡、内乡、镇平等县,矿石以钙质晶质石墨片岩、黝帘石晶质石墨片岩为主,矿体呈层状、似层状、透镜状,矿体沿走向及倾向变化大。

## 2.2. 西秦岭山间盆地群隐晶质石墨成矿带

包括西秦岭区域一系列沿商丹缝合带近东西向断续分布的上石炭统煤系隐晶质石墨矿床,重要的煤系石墨矿床有西秦岭凤县煤沟-贯沟石墨矿、眉县铜峪石墨矿、户县涝峪银洞沟石墨矿、太白县靖口油房沟石墨矿、武山县石墨矿等。含矿地层主要为石墨板岩、石墨片岩等。为隐晶质石墨,矿体呈似层状,透镜状,含固定碳一般 65%~90%,属变成石墨矿床(表 1)。

## 2.3. 南秦岭中部晶质石墨成矿带

① 寒武-奥陶系石墨矿群主要分布在陕西省佛坪一带,矿石主要为含石墨透闪长英变粒岩、含石墨黑云母二长片麻岩,矿体呈似层状产出,平均固定碳含量 4.41%。

② 下志留统上流水店组石墨矿群主要分布在佛坪县十亩地-洋县秧田坝一带,矿石主要以含石墨黑云母石英片岩、含石墨二云石英片岩、石墨黑云母石英片岩(石墨矿)为主。矿体呈凸镜体,平均固定碳含量 3.5%~4.5% (表 1)。

③ 中泥盆世三河口组石墨矿群主要分布在留坝县青桥河,矿石主要为片状含石墨石英岩、含石墨黑云斜长片麻岩、含石墨大理岩,矿体赋存于大理岩与侵入岩接触带,矿体呈条带状,矿体规模较小,平均固定碳含量 20.34%。

## 3. 秦岭地区石墨矿产成矿主控因素

### 3.1. 多期构造运动叠加区域变质作用控制大鳞片晶质石墨矿床形成

自太古代秦岭地区经历了多期构造运动的叠加改造,多次区域变质作用下发育了晶质石墨矿床,经改造的次数越多,石墨晶体发育相对较好。赋矿岩石来自华北板块结晶基底的往往发育基底型大鳞片晶质石墨矿,赋矿岩石来自古生代盖层的常形成细鳞片晶质石墨矿。

秦岭地区区域变质晶质石墨矿石原岩为含碳质沉积建造[10][11]。无机来源的碳质以为来自原岩中的碳酸盐矿物主,碳酸盐经漫长区域变质作用使其中碳酸盐主要发生  $\text{CaCO}_3$  (方解石)  $\rightarrow$   $\text{CaO}$  (硅灰石) +  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$  (白云石) +  $2\text{SiO}_2$  (石英)  $\rightarrow$   $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  (透辉石) +  $\text{CO}_2$  而脱碳形成碳气。生成的以  $\text{CO}_2$  为主的碳气,被  $\text{H}^+$  还原,与其结合,主要经  $\text{CO}_2 + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$  反应转变成单质的碳。Kreulen (1987) [12]指出流体包裹体中  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  的混合物并不稳定,会发生  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2\text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$  化学反应形成石墨,直到两种成分中的一种被完全消耗。Ortega 等(2010) [13]通过研究英国 Borrowdale 石墨矿床矿化通道中与石墨结晶相关的石英晶体内的流体包裹体,发现石墨形成于富含蒸汽的  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$  流体。

研究表明,在涉及  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  的反应中,石墨从 C-O-H 流体中形成,可能有几种方式: ①  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2\text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ ; ②  $\text{CO}_2 + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ ; ③  $\text{CO}_2 \rightarrow \text{C} + \text{O}_2$ ; ④  $\text{O}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。经历上述水化反应后,流体从  $500^\circ\text{C}$  冷却到  $400^\circ\text{C}$ ,流体中的碳过饱和而析出[13] (图 2)。后期岩浆侵入引起围

岩温度增高，富含钾、钠、硅质的岩浆溶液交代含矿层，它受到以钾盐和硅化作用为主的混合岩化作用的影响。分散细晶石墨聚集再结晶，形成大鳞片状晶质石墨。

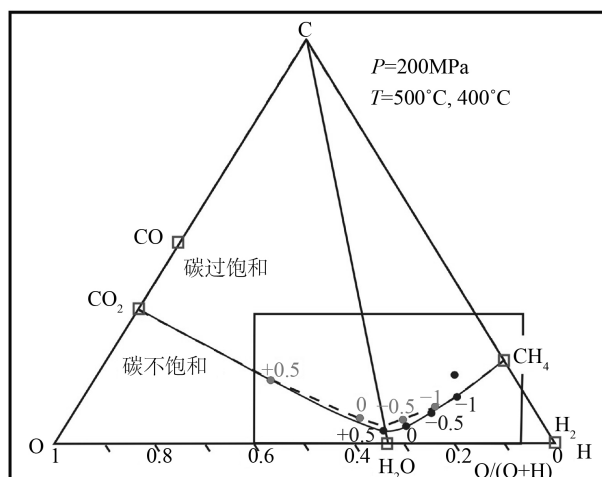


Figure 2. C-O-H fluid system of the Borrowdale Graphite Deposit, UK [13]

图 2. 英国 Borrowdale 石墨矿床的 C-O-H 流体系统[13]

### 3.2. 岩浆热力与构造应力双重作用控制煤变质型石墨矿床形成

#### 3.2.1. 秦岭造山带多次岩浆热侵位为煤层受热变成石墨提供了充足的热动力条件

西秦岭煤系石墨矿石具有它形鳞片变晶结构，呈似层状、透镜状构造，矿层强烈揉皱，内部小构造发育。I 号和 II 号矿层固定碳含量与视密度分别为 67.38% 与 1.87 和 84.64% 与 1.90，热接触变质引起下部矿层固定碳含量升高，视密度增大。岩浆热侵位对煤层受热变质形成石墨的程度具有控制，距离越近石墨的晶体自形程度越高，晶体也越大。距离岩浆岩体较近的贯沟石墨矿石结晶程度较好，接近正六边形；吴家沟石墨矿距离岩体较远，石墨为密集细小鳞片，自形程度较差，少见六边形。

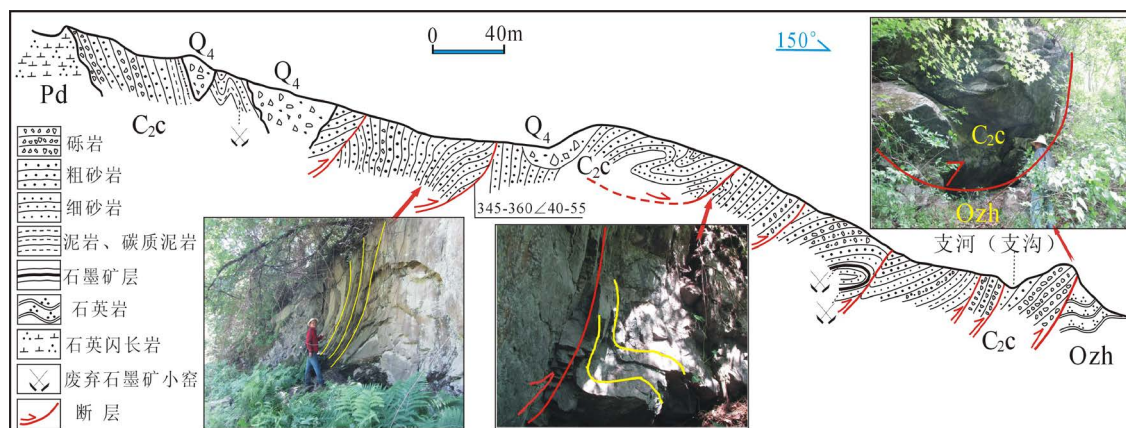
电子探针实验在热接触变质带角岩化岩石中发现大量的代表热接触变质作用的矿物及组合，出现红柱石、硬绿泥石、绿泥石、黑云母、石榴子石等，红柱石具有重要的角岩化指相意义。钻孔资料揭示地下 400 m 左右岩石重结晶现象显著，黑灰色石英砂岩和石英砾岩大多变为灰白色石英岩。西秦岭凤县石墨矿床中石墨的分布和红柱石密切相关，且距离岩体有一定距离。老洞中煤系石墨矿层中热液石英脉发育，石英形成于热液背景自形较差。

初步研究表明煤系经受岩浆热侵位发生接触变质作用具有层次性：a. 在岩浆岩体侵位阶段，在岩体一侧发生电气石化、云英岩化以及碱交代活动。在被接触的一侧发生局部熔融并有硼、氟、钾、钠、硅的迁移，产生硅化和电气石化；b. 在紧随其后的岩体释热、煤系围岩受热阶段，煤系围岩中泥质物变成红柱石或堇青石等，煤层则经历构造有序化过程后变成隐晶质石墨。

#### 3.2.2. 构造应力“催化”石墨化进程，并控制石墨富集部位

秦岭造山带内纬向构造及其与其他构造体系复合处，是中生代特别是燕山期岩浆强烈而频繁活动的地方[14] [15] [16]，秦岭受到强大的挤压和多期岩浆冲压作用[17]。陕西凤县草滩沟-煤沟一带构造十分发育[18]，受到华力西运动、印支运动和燕山运动以及喜山运动构造应力影响[19] [20]，产生大量级别不等的断层，内部小断裂和揉皱十分发育，由于矿层较软容易变形且石墨是良好的润滑剂，矿层作为应力的释放点而被强烈改造且往往与断层伴生，石墨矿层在空间上呈现透镜状、鸡窝状或者豆荚状，复式褶

皱系内次级背斜与次级向斜的核部成为石墨矿层富集带(图 3)。



C<sub>2c</sub>: 石炭系草凉驿组; Ozh: 奥陶系张家庄组; Pd: 二叠系石英闪长岩; Q<sub>4</sub>: 第四系。

**Figure 3.** Longwanggou structural ore control profile of Meigou-Guangou coal-bearing Graphite Deposit in Fengxian County, West Qinling Mountains

**图 3.** 西秦岭凤县煤沟 - 贯沟煤系石墨矿龙王沟构造控矿剖面图

## 4. 结论

(1) 秦岭地区发育晶质石墨和隐晶质石墨两大类矿床, 研究首次揭示了秦岭地区石墨矿资源分布特征, 大致呈近东西向的三大矿带。

(2) 秦岭地区晶质石墨成矿主控因素: 多期构造运动叠加, 区域变质作用控制形成了鳞片晶质石墨矿床。

(3) 创新性的提出了秦岭地区煤系石墨的形成主要受温度与压应力力的双重作用控制。秦岭造山带多次岩浆热侵位为煤层受热变成石墨提供了充足的热条件, 构造应力“催化”石墨化进程, 并控制石墨富集部位。

## 致 谢

感谢项目组成员在野外调查、图件绘制等工作的大力帮助。论文外审审稿专家和编辑部老师们给出了建设性修改意见和建议, 论文引用了一些专家、学者的观点和图件, 在此一并表示衷心的感谢。

## 基金项目

本文受江西省自然科学基金资助项目“构造应力与岩浆热力耦合下煤的石墨化作用研究——以赣西萍乡煤系石墨矿为例(20202BABL211019)”的资助。

## 参考文献

- [1] 孙升林, 吴国强, 曹代勇, 宁树正, 乔军伟, 朱华雄, 韩亮, 朱世飞, 苗琦, 周兢, 刘亢, 李聪聪, 陈寒勇, 蔡旭梅. 煤系矿产资源及其发展趋势[J]. 中国煤炭地质, 2014, 26(11): 1-11.
- [2] 高天明, 陈其慎, 于汶加. 中国天然石墨未来需求与发展展望[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 1059-1067.
- [3] 曹代勇, 张鹤, 董业绩, 吴国强, 宁树正, 莫佳峰, 李霞. 煤系石墨矿产地质研究现状与重点方向[J]. 地学前缘, 2017, 24(5): 317-327.
- [4] 颜玲亚, 高树学, 陈正国, 焦丽香, 孙莉, 刘艳飞, 周雯. 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.

- [5] Robinson, G.R., Hammarstrom Jr., J.M. and Olson, D.W. (2017) Chapter J: Graphite. In: Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Seal, R.R. and Bradley, D.C., Eds., *Critical Mineral Resources of the United States—Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*, U.S. Geological Survey Professional Paper, **1802**, J1-J24.
- [6] 张国伟, 郭安林, 董云鹏, 姚安平. 关于秦岭造山带[J]. 地质力学学报, 2019, 25(5): 746-768.
- [7] 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.
- [8] Sun, L., Xu, C.P., Xiao, K.Y., Zhu, Y.S. and Yan, L.Y. (2018) Geological Characteristics, Metallogenic Regularities and the Exploration of Graphite Deposits in China. *China Geology*, **1**, 425-434. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096519219300576>  
<https://doi.org/10.31035/cg2018044>
- [9] Feng, Y.W., Qu, H.J., Yang, C.Y. and Lv, L.S. (2015) Distribution Characteristics and Metallogenic Regularity of Graphite Deposits in Qinling Orogen, China. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, **89**, 1244-1263. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.12526>
- [10] 姜继圣, 刘祥. 中国早前寒武纪沉积变质型晶质石墨矿床[J]. 建材地质, 1992(5): 18-22. <http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-LGFK199205002.htm>
- [11] 陈衍景, 刘丛强. 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, 2000, 16(2): 33-44.
- [12] Kreulen, R. (1987) Thermodynamic Calculations of the C-O-H System Applied to Fluid Inclusions: Are Fluid Inclusions Unbiased Samples of Ancient Fluids? *Chemical Geology*, **61**, 59-64. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90027-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90027-1)
- [13] Ortega, L., Millward, D., Luque, F.J., Barrenechea, J.F., Beyssac, O., Huizenga, J.M., Rodas, M. and Clarke, S.M. (2010) The Graphite Deposit at Borrowdale (UK): A Catastrophic Mineralizing Event Associated with Ordovician Magmatism. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **74**, 2429-2449. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2010.01.020>
- [14] Zhang, G.W., Dong, Y.P. and Lai, S.C. (2004) Mianlue Tectonic Zone and Mianlue Suture Zone on Southern Margin of Qinling-Dabie Orogenic Belt. *Science in China (Series D)*, **47**, 300-316. <https://doi.org/10.1360/02YD0526>
- [15] 张国伟, 孟庆任, 于在平, 孙勇, 周鼎武, 郭安林. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 1996, 26(3): 193-200.
- [16] 张国伟, 张本仁, 袁学诚. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-729.
- [17] 赵德政. 陕西省的煤种分布及其变质因素[J]. 西安矿业学院学报, 1984(1): 26-37.
- [18] 马健, 吕新彪, 但荣飞, 朱丁云, 卢飞, 袁波, 殷新. 西秦岭左家庄金矿成因研究: 来自黄铁矿微量元素及多元同位素地球化学的制约[J]. 地学前缘, 2019, 26(5): 146-162.
- [19] Dong, Y.P., Liu, X.M., Zhang, G.W., Chen, Q., Zhang, X.N., Li, W. and Yang, C. (2012) Triassic Diorites and Granitoids in the Foping Area: Constraints on the Conversion from Subduction to Collision in the Qinling Orogen, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, **47**, 123-142. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.06.005>
- [20] Mercier, J.L., Vergely, P., Yue, Q.Z., Ming, J.H., Bellier, O. and Yong, M.W. (2013) Structural Records of the Late Cretaceous-Cenozoic Extension in Eastern China and the Kinematics of the Southern Tan-Lu and Qinling Fault Zone (Anhui and Shaanxi Provinces, PR China). *Tectonophysics*, **582**, 50-75. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.09.015>