

Ore Body and Ore Characteristics of Paleoproterozoic Graphite Deposits in Yaoping Area, Yangxian County, Shaanxi Province

Fei Liu, Zengxi Zhu

Shaanxi Province 194 Coal Field Geology Limited Company, Tongchuan Shaanxi
Email: liufei194@163.com

Received: Feb. 10th, 2020; accepted: Feb. 28th, 2020; published: Mar. 6th, 2020

Abstract

Through exploration and laboratory test, the occurrence characteristics, mineral composition and micropetrological characteristics of the three crystalline graphite ore belts (SM1, SM2 and SM3) in the Paleoproterozoic Wanniu formation (Pt_{1w}) in the study area were analyzed. The ore grade, thickness and particle size structure of the graphite crystal were calculated. It is considered that the ore body is layered and the ore bearing parent rocks are mainly graphite biotite potassium feldspar gneiss, graphite biotite plagioclase gneiss and graphite bearing quartz schist. They are mainly composed of scaly and grainy crystalloblastic structure, flaky structure and gneissic structure. The grain size of the graphite flake is concentrated between 0.1 mm~0.355 mm, accounting for 51.04%. The three-layer graphite ore bodies have a high level of fixed carbon content and large thickness. The graphite ore in the study area has great potential of development.

Keywords

Graphite Ore, Ore Body Characteristics, Ore Characteristics, Paleoproterozoic

陕西洋县窑坪地区古元古界石墨矿床的矿体与矿石特征

刘 非, 朱增喜

陕西省一九四煤田地质有限公司, 陕西 铜川
Email: liufei194@163.com

收稿日期: 2020年2月10日; 录用日期: 2020年2月28日; 发布日期: 2020年3月6日

摘要

通过勘查和室内实验测试, 本文分析了研究区古元古界湾牛坝岩组(Pt_{1w})中3条晶质石墨矿带(SM1、SM2和SM3)的赋存特征、矿石的矿物组成及其显微岩石学特征, 统计了矿石品位、矿层厚度及石墨晶体粒径结构。本文认为矿体呈层状发育, 含矿母岩主要为石墨黑云钾(斜)长片麻岩、含石墨石英片岩, 以鳞片变晶结构和粒状变晶结构、片状构造和片麻状构造为主, 石墨片晶粒径集中分布在0.1 mm~0.355 mm之间, 占51.04%, 3层石墨矿体的固定碳含量较高, 厚度较大, 研究区石墨矿具有较好的开发潜力。

关键词

石墨矿, 矿体特征, 矿石特征, 古元古界

Copyright © 2020 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

石墨是碳元素的结晶矿物之一, 是一种重要的非金属矿产。随着近年来对石墨结构及性能的深入研究, 石墨有望成为新兴的环保材料、热交换材料、储能、导电材料、石墨烯及新型超级电容器材料等[1] [2]。中国石墨总保有储量居世界第1位, 是中国的优势矿种之一[3]。全国石墨储量约为5500万吨, 其中, 晶质石墨储量占84.5%, 隐晶质石墨储量占15.5%。陕西省晶质石墨矿占全国已探明资源量的3.08%, 隐晶质石墨矿占5.37% [4]。随着矿产资源需求量逐步增大, 有学者指出到2020年我国天然石墨需求规模将达到100万吨, 比2010年增长42.5% [5]。为保障我国经济持续快速发展, 有必要加大对石墨矿勘查、开发的研究程度。

陕西地区的石墨矿床具有多种类型和赋存特征, 例如宝鸡铜峪地区的隐晶质石墨矿赋存于古元古界, 矿体赋存于炭质片岩中, 而宝鸡贯沟地区的土状隐晶质石墨矿体分布于石炭系地层中[6] [7] [8]。陕西丹凤、汉中勉县等地区处于秦岭构造带, 成矿条件优越, 区域变质作用以及伴随较强烈的岩浆活动为成矿提供热源和动力, 对石墨及金属矿的空间分布具有重要的控制作用[9]。其中勉县庙坪石墨矿的原岩形成于缺氧还原的近陆浅海沉积环境, 矿源层为富含碳质的泥质岩、碎屑岩及碳酸盐类岩石, 经区域变质作用和混合岩化作用, 使含碳岩石富化成矿[10]。古老地层中产出区域变质型的石墨矿床在国内外多有报道, 如华北晶质石墨主要产于新太古代-古元古代孔兹岩系或与之类似的中深变质岩系[11] [12], Henderson和Kendrick, Bergh等研究的挪威西特洛姆瑟石墨矿为太古代-元古代角闪岩相杂岩[13] [14]。

本文通过研究区样品的矿石成分鉴定, 矿物显微观测, 石墨矿片晶粒度、矿石石墨含量的统计与计算, 分析了研究区石墨矿床的矿体与矿石特征, 可为类似地区石墨矿的勘查提供参考。

2. 研究区地质概况

研究区位于陕西省南部洋县窑坪乡, 区内主要地层有古元古界的低庄沟组(Pt_{1d})、沙坝岩组(Pt_{1s})、湾牛坝岩组(Pt_{1w}), 下古生界, 中生界的三叠纪天华山单元(T_{mT})和木河单元(T_{mM}), 新生界第四系中更新统(Q_p)。研究区主要褶皱为茅坪-石槽河复向斜, 总体走向约 290° , 轴向NW-SE倾伏, 核部为湾牛坝岩组,

两翼为沙坝岩组、低庄沟岩组。SW 翼倾角 35°~58°, NE 翼倾角 65°~72°, 次级小褶皱发育。断裂以 NW-SE 走向为主(图 1)。

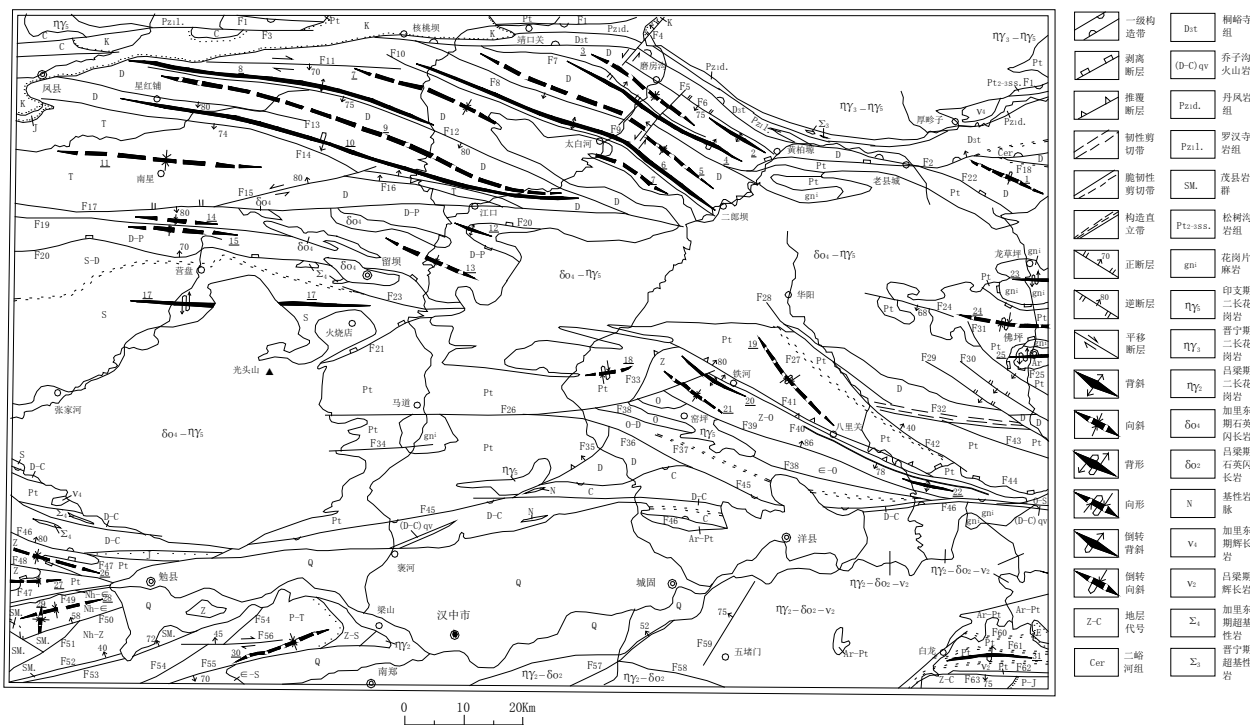


Figure 1. Regional tectonic outline of the study area (According to the People's Republic of China regional geological survey report, Hanzhong, 1:250 thousand, 2004, revised)

图 1. 研究区区域构造纲要图(据《中华人民共和国区域地质调查报告(汉中市幅, 1:25 万)》, 2004, 修改)

控制研究区及周边地区的主体构造为佛坪-留坝隆滑构造, 其基底为太古界-中元古界角闪岩相-麻粒岩相的佛坪变质核杂岩, 震旦系-下古生界沉积盖层构成滑覆系统, 晚古生代表现为多级拆离与基底隆升, 形成隆滑构造系; 印支期-燕山期表现为近南北向挤压收缩、转换走滑, 并伴随侵入岩体广泛发育, 主要为木河侵入体(T_{mM})和天华山侵入体(T_{mT})。

研究区的区域变质岩主要为区域变质岩和接触变质岩, 其中, 区域变质岩主要分布于南部铁河街-茅坪街一带的元古界地层中, 依据岩石类型可分为变粒岩、浅粒岩、石英岩、片麻岩, 其变质程度达到角闪岩相; 热液接触变质岩集中分布在古-中生代几个大型岩基的外接触带, 主要有角岩类、大理岩类和矽卡岩等[15]。

3. 研究区石墨矿体特征

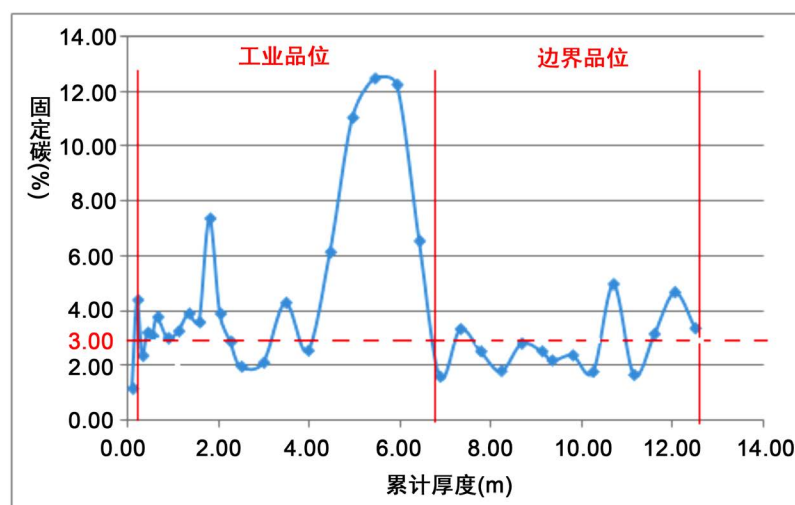
根据国家标准 DZ/T 0207-2002 的规定, 石墨矿的鉴定主要通过化学分析(基本分析项目为固定碳)和晶质(鳞片状)石墨矿片度测定[12]。石墨矿一般工业要求包括矿石品位、可采厚度、夹石剔除厚度等指标(表 1)。

研究区石墨矿主要赋存于古元古界湾牛坝岩组(Pt_{1w})中, 已发现晶质石墨矿带 3 条, 依次为 SM1、SM2 和 SM3, SM1 石墨矿带赋存于湾牛坝岩组第一岩性段(Pt_{1w}^1), SM2、SM3 石墨矿带均赋存于湾牛坝岩组第三岩性段(Pt_{1w}^3), 矿带呈条带状分布, 岩性主要为石墨黑云钾(斜)长片麻岩, 夹层有大理岩、片麻岩等, 偶见石英片岩。

Table 1. General industrial index of graphite ore (According to Ref. [16])**表 1.** 石墨矿一般工业指标(据文献[16])

类型		矿石品位(固定碳含量)%		可采厚度 m	夹石剔除厚度 m	剥录比 m ³ /m ³
		边界品位	工业品位			
晶质(鳞片状)石墨矿	风化矿石	2~3	2.5~3.5	露天开采 2~4	露天开采 1~4	不大于 3:1 至 4:1
	原生矿石	2.5~3.5	3~8			
隐晶质(土状)石墨矿		≥55	≥65	地下开采 0.7~1.4	地下开采 1~3	

根据探槽样品测试结果进行了分矿层统计, 得到矿层工业品位的固定碳含量和真厚度、边界品位的固定碳含量和真厚度, 其中工业品位与边界品位的划分是根据探槽样品数据进行的, 以 23[#]探槽的采样序列为例(图 2), 固定碳含量大多高于 3% 的部分, 划为工业品位; 固定碳含量小于 3% 的部分, 划为边界品位。同时统计样品真厚度, 得到探槽位置的矿体真厚度。类似的, 共统计了研究区 30 余个探槽样品的固定碳含量和矿层真厚度数据(表 2), 统计显示 SM1、SM2、SM3 号矿体固定碳含量较高且较稳定, 矿体厚度较大, 厚度变化中等-较大, 总体而言, 研究区石墨矿具有较好的开发潜力。

**Figure 2.** Classification of industrial grade based on sampling sequence and test results of trench (Take No. 23 trench as an example)**图 2.** 根据探槽采样序列及测试结果划分工业品位(以 23[#]探槽为例)**Table 2.** Statistical table of ore sample grade and ore bed thickness of each exploration trench**表 2.** 探槽矿石样品的品位与矿层厚度统计表

矿体编号	样品固定碳含量(%)	加权平均值(%)	变异系数	揭露真厚度(m)	加权平均值(m)	变异系数
SM1	4.15~9.62	6.26	0.31	2.67~18.59	7.44	0.69
SM2	4.05~7.33	5.65	0.21	1.08~11.70	7.47	0.52
SM3	4.57~11.63	7.89	0.30	1.62~7.22	4.09	0.43

通过分析研究区构造特征, 结合探槽揭露的石墨矿条带状出露特征(图 3), 判定石墨矿体呈层状发育。通过石墨矿带露头的标高统计, 绘制了石墨矿体底板等高线的趋势面, 并根据其展布特征和构造特征,

推断了三层石墨矿体的赋存范围和隐伏地段的等高线趋势, 绘制了 SM1 石墨矿体的底板等高线图(图 4), SM2 和 SM3 矿体的赋存特征与 SM1 类似。

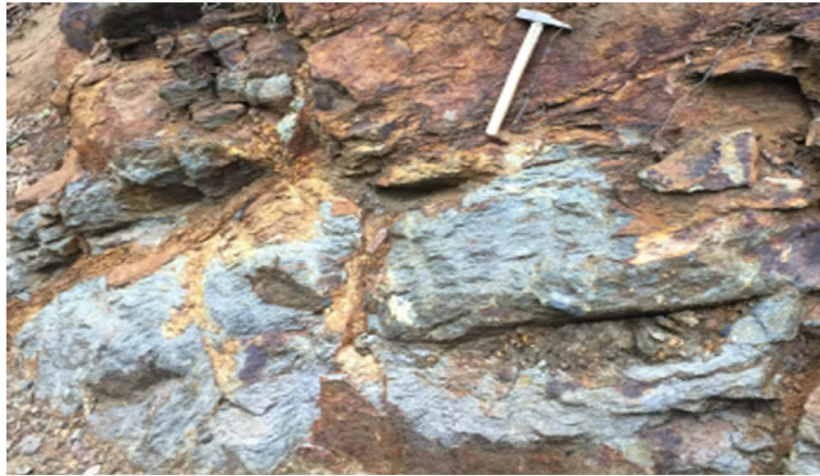


Figure 3. Mineralized outcrop in SM1 graphite ore belt
图 3. SM1 石墨矿带中矿化露头

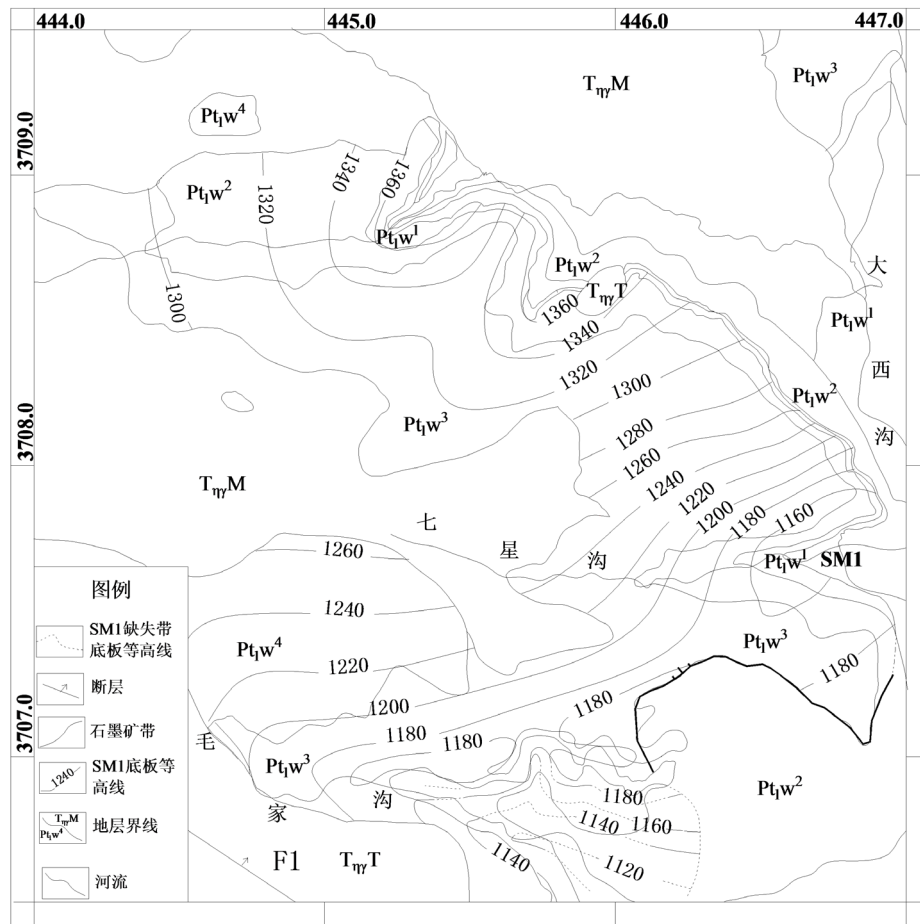


Figure 4. Contour map of SM1 graphite ore body floor
图 4. SM1 石墨矿体底板等高线图

4. 研究区石墨矿石特征

4.1. 矿石的矿物组成及结构特征

研究区石墨矿母岩主要有片岩、片麻岩类和大理岩类。片岩、片麻岩类主要包括石墨黑云钾长片麻岩、石墨黑云斜长片麻岩和含石墨石英片岩；大理岩类主要包括含石墨石英大理岩和含石墨大理岩。

石墨矿石以鳞片变晶结构和粒状变晶结构、片状构造和片麻状构造为主。矿石的矿物成分主要为石墨和脉石矿物两大类，其中脉石矿物主要有石英、黑云母、斜长石，其次为矽线石、红柱石、硬绿泥石、电气石等。

根据采集样品分析，结果表明石墨片晶粒径分布主要在 0.054~0.5 mm 之间，且集中分布在 0.1~0.355 mm 之间，占 51.04% (图 5)。

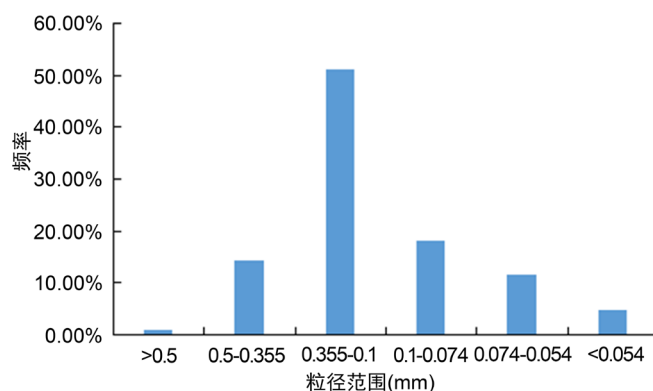


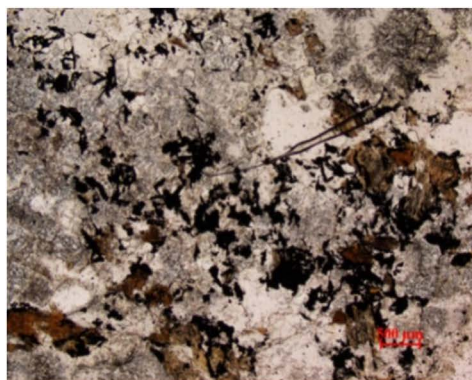
Figure 5. Graphite flake grain size distribution diagram
图 5. 石墨片晶粒度分布图

4.2. 矿石显微岩石学特征

在研究区内采集了石墨黑云钾长片麻岩、含石墨石英片岩和含石墨大理岩等样品，镜下观察了矿石的显微岩石学特征。

石墨黑云钾长片麻岩具片状粒状变晶结构，粒径为 0.5 mm，石墨含量约 30%，黑云母 30%，钾长石和石英 40%，显微镜下具弱片麻状构造，定向性不明显(图 6(A))，可能与样品风化后薄片制作有关。

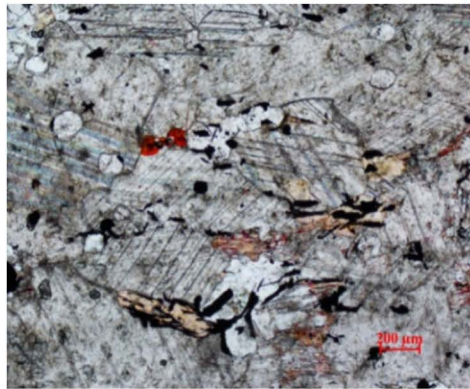
含石墨石英片岩具片状粒状变晶结构，粒径 0.4~1 mm，变化较大。石墨呈长条状，不透明，含量约 20%。石英为粒状，无色透明。黑云母呈褐色，边部失水暗化，部分蚀变(图 6(B))。



A. 石墨钾长片麻岩中的片状石墨，单偏光



B. 含石墨石英片岩的石墨，单偏光



C. 锯齿粒状变晶结构, 粒间为石墨, 单偏光



D. 大理岩中的三边镶嵌平衡结构和石墨, 单偏光

Figure 6. Microstructure of graphite-bearing ores
图 6. 含石墨矿石的显微结构

含石墨石英方解大理岩具粒状变晶结构。石墨呈片状, 长条状, 不透明, 分布于石英和方解石颗粒之间, 含量约 10%。石英分布于方解石的颗粒之间, 或呈石英脉状, 分布不均匀, 总含量 25% 左右。方解石呈锯齿粒状结构, 闪突起, 多组完全解理清晰可见。含量约 65% (图 6(C))。

含石墨大理岩具粒状变晶结构。石墨呈片状, 长条状, 不透明, 分布于方解石颗粒之间, 含量约 5%。方解石呈锯齿粒状结构, 闪突起, 多组完全解理清晰可见, 含量约 95% (图 6(D))。

5. 结论

1) 研究区石墨矿主要赋存于古元古界湾牛坝岩组(Pt1w)第一岩性段和第三岩性段中, 发育 3 条带状分布的晶质石墨矿带(编号 SM1、SM2 和 SM3), 含矿母岩主要为石墨黑云钾(斜)长片麻岩, 综合研究区构造特征和石墨矿带出露特征, 判定石墨矿体呈层状发育。

2) 含石墨矿母岩以鳞片变晶结构和粒状变晶结构、片状构造和片麻状构造为主, 除石墨矿外, 脉石矿物主要有石英、黑云母、斜长石等, 石墨片晶粒径分布主要在 0.054~0.5 mm 之间, 且集中分布在 0.1~0.355 mm 之间, 占 51.04%。

3) SM1、SM2、SM3 号矿体固定碳平均为 6.26%、5.65%、7.89%, 含量较高且较稳定, SM1 号矿体平均厚度 7.44 m, 但变化较大, SM2、SM3 号矿体平均厚度分别为 7.47 m、4.09 m, 变化中等, 总体而言, 研究区石墨矿具有较好的开发潜力。

4) 根据矿石样品的显微结构特征分析, 石墨黑云钾(斜)长片麻岩中石墨含量高, 晶粒较大, 含石墨石英片岩石墨含量次之, 晶粒亦较大, 含石墨大理岩中石墨含量较为稀少。

参考文献

- [1] 尹丽文. 世界石墨资源开发利用现状[J]. 国土资源情报, 2011(6): 29-32.
- [2] 颜玲亚. 世界天然石墨资源、消费及国际贸易[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2014(2): 33-36.
- [3] 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.
- [4] 国土资源部. 全国矿产资源储量通报(2015 年) [R]. 北京: 国土资源部, 2015.
- [5] 高天明, 陈其慎, 于汶加, 等. 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.
- [6] 郑延力, 樊素兰. 非金属矿开发应用指南[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1992.
- [7] 陈二虎, 张选固, 刘萍. 宝鸡地区石墨矿开发利用现状及外围找矿潜力[J]. 甘肃冶金, 2013, 35(5): 88-91.
- [8] 宝鸡市计划委员会. 宝鸡国土资源[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1988.

-
- [9] 崔海洲, 王菊婵, 马晔. 陕西省丹凤县庾家河石墨矿地质特征及成因浅析[J]. 地下水, 2015, 37(4): 181-183.
- [10] 汤贺军, 张宝林, 叶荣, 等. 陕西勉县庙坪石墨矿床地质特征与成因初步探讨[J]. 地质与勘探, 2015, 51(3): 534-544.
- [11] 张天宇, 张忠良, 李金钱. 我国区域变质型石墨矿床研究现状综述[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2014(4): 36-38.
- [12] 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.
- [13] Henderson, I. and Kendrick, M. (2003) Structural Controls on Graphite Mineralisation, Senja. Troms. NGU Report, No. 11, 1-111.
- [14] Bergh, S.G., Kullerud, K., Armitage, P.E.B., Zwaan, K.B., Corfu, F., Ravna, E.J.K. and Myhre, P.I. (2010) Neoproterozoic to Svecofennian Tectono-Magmatic Evolution of the West Troms Basement Complex. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, **90**, 21-48.
- [15] 中华人民共和国区域地质调查报告(汉中市幅, 1:25 万) [R]. 陕西省地质调查院, 2004.
- [16] DZ/T0207-2002. 玻璃硅质原料、饰面石材、石膏、温石棉、硅灰石、滑石、石墨矿产地质勘查规范[S]. 中华人民共和国国土资源部, 2002.