

doi: 10.12029/gc20180301

颜玲亚, 高树学, 陈正国, 焦丽香, 孙莉, 刘艳飞, 周雯. 2018. 中国石墨矿成矿特征及成矿区带划分[J]. 中国地质, 45(3): 421–440.

Yan Lingya, Gao Shuxue, Chen Zhengguo, Jiao Lixiang, Sun Li, Liu Yanfei, Zhou Wen. 2018. Metallogenic characteristics and metallogenic zoning of graphite deposits in China[J]. *Geology in China*, 45(3): 421–440(in Chinese with English abstract).

中国石墨矿成矿特征及成矿区带划分

颜玲亚¹ 高树学¹ 陈正国² 焦丽香¹ 孙莉³ 刘艳飞¹ 周雯¹

(1. 中国建筑材料工业地质勘查中心山东总队, 山东 济南 250010; 2. 中国建筑材料工业地质勘查中心, 北京 100035;
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 石墨广泛应用于冶金、机械、航空、航天、电子信息、新能源汽车等领域, 已成为高新技术领域中的重要原料。近年来陆续发现了内蒙古查汗木胡鲁、四川南江等大型区域变质型石墨矿, 尤其在新疆黄羊山地区发现了特大型岩浆岩型晶质石墨矿, 为石墨成矿规律研究提供了新的方向。本文在广泛收集和以往石墨成果的基础上, 结合野外实地调研和最新石墨勘查成果, 系统总结了石墨时空分布规律、成矿地质作用, 划分了石墨成矿区带。中国石墨矿床类型以区域变质型为主, 成矿期以前寒武纪为主, 其形成的石墨鳞片大, 结晶程度高, 经济意义大; 岩浆岩型晶质石墨矿赋矿围岩为海西期碱性花岗岩, 成矿时代与岩浆侵入时代一致; 接触变质型石墨矿赋矿层位较集中在二叠—侏罗纪, 其成矿作用与燕山期—海西期中酸性岩浆活动密切相关。稳定隆起区的大型复式褶皱构造翼部及转折端是石墨成矿有利的构造单元。初步划分了石墨成矿区带 21 个, 提出佳木斯—兴凯(地块)石墨成矿带、华北陆块北缘中段石墨成矿带、胶北隆起石墨成矿带、准噶尔地块石墨成矿带、华北陆块南缘—秦岭等石墨成矿带较为重要。本次石墨成矿规律总结及成矿区带初步划分对指导石墨找矿勘查部署具有一定意义。

关键词: 石墨矿床; 地质特征; 成矿规律; 成矿区带

中图分类号: P619.25+2 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2018)03-0421-20

Metallogenic characteristics and metallogenic zoning of graphite deposits in China

YAN Lingya¹, GAO Shuxue¹, CHEN Zhengguo², JIAO Lixiang¹,
SUN Li³, LIU Yanfei¹, ZHOU Wen¹

(1. Shandong General Party of Geological Surveying Center of China Building Materials Industry, Jinan 250100, Shandong China;
2. China National Geological Exploration Center of Building Materials Industry, Beijing 100035, China; 3. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Graphite is widely used in such fields as metallurgy, machinery, aviation, aerospace, electronic information, and new

收稿日期: 2017-07-11; 改回日期: 2018-05-04

基金项目: 中国地质调查局“中西部地区晶质石墨等特种非金属矿产调查 2016—2018 项目(DD2016058)”及“全国矿产资源潜力动态评价(121201103000160910)”联合资助。

作者简介: 颜玲亚, 女, 1968 年生, 高级工程师, 主要从事非金属矿产资源潜力评价工作; E-mail: 845476235@qq.com。

<http://geochina.cgs.gov.cn> 中国地质, 2018, 45(3)

energy vehicles, and has become an important raw material in the high technology. In recent years, Chahanmuhulu deposit in Inner Mongolia, Nanjiang deposit in Sichuan and some other large-sized metamorphic graphite ore deposits have been found, especially the discovery of the Huangyangshan magmatic type crystalline graphite deposit in Xinjing has indicated a new direction for the study of the metallogenic regularity of graphite deposits. Based on the extensive collection and study of the past graphite achievements, combined with field research and latest graphite exploration results, the authors systematically summed up temporal and spatial distribution regularity and metallogenic factors of graphite deposits, and divided the metallogenic zone of graphite deposits. In China, the graphite ore deposits are dominated by regional metamorphic type, and the main metallogenic period is Precambrian; the deposits formed in this period have large graphite scale, high crystallinity and great economic significance. The host rock of magmatic rock type graphite deposit is Hercynian alkaline granite, whose metallogenic age is the same as the age of magma invasion; the contact metamorphic graphite ore deposits are mainly concentrated in the Permian Jurassic period, and their mineralization was closely related to the intermediate acid magmatism of the Hercynian period. The large fold structure and the transitional end of the large fold structure in the stable uplift area are favorable structural units for the formation of graphite. The authors preliminarily divided the country into 21 graphite metallogenic zone, and pointed out that Jiamusi – Xingkai (massif) graphite metallogenic belt, middle northern margin of North China block graphite metallogenic belt, Jiabei uplift metallogenic belt, Junggar massif metallogenic belt, southern margin of the North China continental block, Qinling and some other graphite metallogenic belts are especially important. The summary of the metallogenic regularity of the graphite deposits and the preliminary division of metallogenic belts are of significance for guiding the prospecting and exploration of graphite deposits.

Key words: graphite deposit; geological characteristics; metallogenic regularity; metallogenic zoning

About the first author: YAN Lingya, female, born in 1968, senior engineer, mainly engages in the evaluation of the potential of non-metallic mineral resources; E-mail: 845476235@qq.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey "The investigation of special non-metallic minerals such as crystalline graphite in the central and western regions 2016–2018 project (No. DD2016058)" and "Dynamic evaluation of mineral resources potential in China" (No. 121201103000160910)".

1 引 言

石墨是碳元素的结晶矿物之一,根据石墨的结晶程度,分晶质石墨和隐晶质石墨两类。片径大于 $1\ \mu\text{m}$ 的为晶质石墨(也叫鳞片石墨),片径小于 $1\ \mu\text{m}$ 为隐晶质石墨(也叫土状石墨)(莫如爵等, 1989)。晶质石墨一般品位较低,固定碳含量 $2.34\%\sim 34.55\%$,平均 $7.4\%\pm$,但由于鳞片大、易选,具有较高的工业价值,主要用于电子信息、密封、航空航天等领域。隐晶质石墨固定碳含量为 $60\%\sim 80\%$,但可选性差,主要用于铸造等领域。根据石墨的成因可分为区域变质型、接触变质型和岩浆热液型(莫如爵, 1989)。中国以区域变质型石墨矿为主,约占资源储量的 82% (国土资源部, 2016)。关于石墨形成的碳质来源,根据已有石墨典型矿床和最新的 $\delta^{13}\text{C}$ PDB 分析结果,由碳同位素显示的成矿物质来源主要为沉积地层中的有机碳(李超等, 2015),只有少量碳为无机成因。中国区域变质型石墨形成与前寒武纪中深变质岩系密切相关,主要成矿期为古元

古代;接触变质型石墨矿主要形成于二叠纪到三叠纪,由燕山期—海西期中酸性岩体侵入含煤地层引起接触变质,煤层中的炭质发生接触变质形成隐晶质石墨矿床;岩浆岩型石墨矿主要形成于石炭纪,由海西中期岩浆活动,在侵入过程中同化了石炭纪地层中含碳高的岩石(张国新等, 1996),形成成因独特的岩浆岩型球状晶质石墨矿床。

2 中国石墨资源现状

石墨是中国优势矿产,资源储量居世界第一,截止 2016 年,查明石墨矿床共 181 处(国土资源部, 2016),保有石墨资源储量 $3.65\ \text{亿 t}$,其中晶质石墨矿床 147 个,晶质石墨(矿物量) $3.00\ \text{亿 t}$,占资源储量的 82.19% 。晶质石墨主要分布在黑龙江、内蒙、四川、山西、山东、河南、湖北等 20 个省份,其中黑龙江省晶质石墨资源储量 $1.29\ \text{亿 t}$,居全国第一,占全国晶质资源储量的 42.98% ,隐晶质石墨矿床 34 个,隐晶质石墨(矿石量) $0.65\ \text{亿 t}$,占 17.81% 。隐晶质石墨主要分布在内蒙古、湖南、广东、吉林、陕西等 10

个省份。其中内蒙古隐晶质石墨资源储量(矿石量) 3759.8 万 t, 占 57.98%; 湖南 953.08 万 t, 占 14.70%。

中国石墨资源储量总体呈增长趋势, 其中晶质石墨资源储量由 2008 年的 1.96 亿 t 增加到 2016 年的 3 亿 t。隐晶质石墨资源储量, 由 2008 年的 0.55 亿 t 增加到 2016 年的 0.65 亿 t (图 1)。2015 年查明了内蒙古大乌淀、高勒图、查干文都日、查汗木胡鲁等一批大型晶质石墨矿, 辽宁锦州市北镇发现了杜屯大型晶质石墨矿, 四川米仓山地区也发现特大型晶质石墨(肖克炎等, 2016), 2016 年内蒙古扎鲁特旗板子庙矿区隐晶质石墨矿勘查新增 2220.0 万 t。2016—2017 年, 中国建筑材料工业地质勘查中心新疆总队, 在新疆黄羊山一带开展石墨调查评价工作时发现了超大型岩浆型晶质石墨矿, 提交了预测的晶质石墨矿物资源量 7264 万 t (张小林等, 2017), 是中国发现的首个超大型岩浆同化混染型晶质石墨矿, 改变了中国无岩浆型石墨大矿的历史。东准噶尔、华北陆块北缘中段成为石墨矿重要成矿潜力区。

3 石墨时空分布特征

3.1 大地构造位置

中国石墨矿床在各个构造板块均有分布, 但主要分布在华北陆块、扬子陆块周缘, 天山—兴蒙造山系, 秦祁昆造山系。较集中分布于天山—兴蒙造山系的佳木斯—兴凯地块、准噶尔地块; 华北陆块的狼山—阴山陆块、阿拉善隆起、胶北隆起, 辽吉裂谷; 华北陆块南缘与秦祁昆造山系的结合部, 扬子

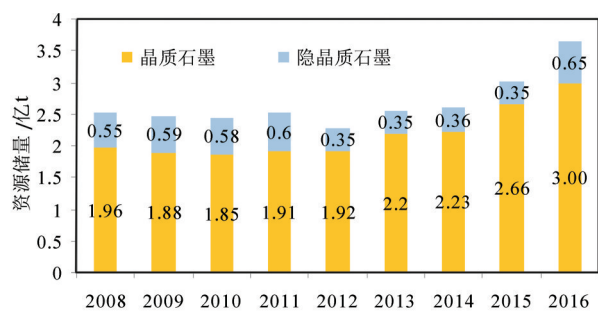


图1 2008—2016年我国晶质和隐晶质石墨资源储量统计
(资料来源于2008—2016年全国矿产资源储量通报)

Fig.1 Reserves of crystalline and amorphous graphite from 2008 to 2016 in China

Source of information: National reserves of mineral resources from 2008 to 2016

陆块的康滇基底断隆、龙门—大巴台缘拗陷中段、黄陵断穹; 武夷—云开—台湾造山系的湘中南—粤北拗陷。

区域变质型石墨矿床主要形成于中国前寒武纪古陆内部相对稳定的陆核区(张天宇等, 2014), 与我国太古界—元古界地层出露范围一致(图2)。在佳木斯地块、胶北隆起、华北陆块北缘形成的石墨矿变质作用深, 陆块褶皱构造发育, 混合岩化作用强烈, 常形成超大型、大型石墨矿, 如: 黑龙江鸡西柳毛和萝北云山特大型石墨矿床分别位于佳木斯地块的南缘和北缘, 结晶基底为麻山岩群和兴东群; 内蒙古查汗木胡鲁晶质石墨矿分布于华北陆块北缘中段的狼山—渣尔泰山隆起, 结晶基底为中太古界乌拉山群, 含矿岩性为含石墨斜长片麻岩; 山东南墅、刘戈庄石墨矿床产于胶北隆起, 组成基底的含矿岩系为古元古界荆山群陡崖组大理岩、片麻岩和斜长角闪岩、透辉岩段。在扬子陆块及秦祁昆造山系形成的石墨矿一般分布于前寒武纪古陆及相邻的造山带板块缝合线上, 以秦岭祁连一带及康滇隆起、龙门山—大巴台缘褶皱带、黄陵断穹构造为代表, 如四川坪河活动带型石墨矿床, 位于秦岭褶皱构造带与扬子陆块北缘的交接部位, 属龙门山—大巴台缘褶皱带米仓山台穹的一部分, 含矿岩系为中元古界火地垭群变质杂岩; 陕西丹凤县蔡凹石墨矿位于华北陆块南缘与秦岭褶皱构造带交汇处, 赋矿地层为古元古界秦岭岩群雁岭沟岩组, 湖北三岔石墨矿位于上扬子台坪鄂中褶断区黄陵断穹。活动带型成矿环境形成的石墨矿以中型及小型石墨为主。岩浆岩型石墨矿, 目前只在中国西部新疆、西藏等地有所发现。具有工业意义的岩浆岩型石墨矿分布于准噶尔板块谢米斯台—库兰卡兹中古生代复合岛弧带与唐巴勒—卡拉麦里古生代复合沟弧带的结合部位。接触变质型石墨矿床主要分布在中国东部活动大路边缘地区, 一般形成于早期挤压—中酸性岩浆活动阶段。

3.2 成矿层位

中国晶质石墨矿床成矿层位见表1, 其重要层位为: 中太古界乌拉山群、集宁群; 新太古界麻山群麻山组、太华群; 古元古界兴东群大盘道组(佳木斯地块)、荆山群陡崖组(胶北隆起)、水月寺群黄良河组下段(黄陵背斜)、秦岭群雁岭沟组; 中元古界火

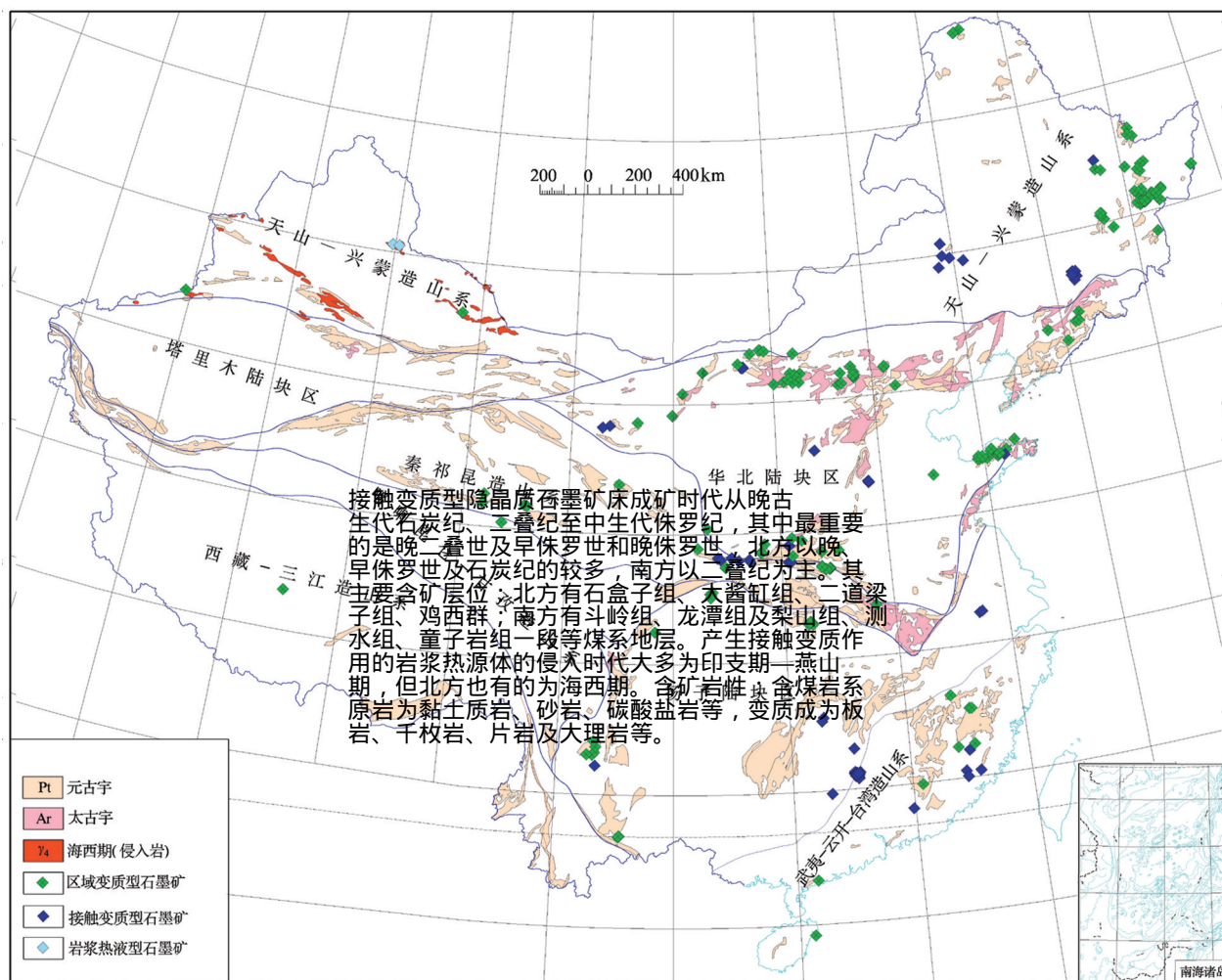


图2 中国石墨矿床与太古宙—元古宙地层分布图

Fig.2 Graphite deposits and the stratigraphic distribution of Archeozoic-Proterozoic strata in China

地垭群麻窝子组、白云鄂博群尖山组、长城系高于庄组；前震旦纪康定群冷竹关组和咱里组。

接触变质型隐晶质石墨矿床成矿时代从晚古生代石炭纪、二叠纪至中生代侏罗纪，其中最重要的是晚二叠世及早侏罗世和晚侏罗世，北方以晚二叠世及早侏罗世的较多，南方以二叠纪为主。其主要含矿层位：北方有石盒子组、大酱缸组、二道梁子组、鸡西群；南方有斗岭组、龙潭组及梨山组、测水组、童子岩组一段等煤系地层。产生接触变质作用的岩浆热源体的侵入时代大多为印支期—燕山期，但北方也有为海西期。含矿岩性：含煤岩系原岩为黏土质岩、砂岩、碳酸盐岩等，变质成为板岩、千枚岩、片岩及大理岩等。

3.3 主要成矿期及成矿作用

石墨矿床是由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(李超等, 2015)，一是地层沉积时富含大量有机质，二是沉积地层发生较为强烈的变质作用或岩浆侵入或接触变质。中国石墨成矿作用和大地构造演化阶段密切相关，主要有3个重要成矿期：中太古代—古元古代区域变质成矿期，中元古代—早寒武世浅变质成矿期，晚古生代—中生代接触变质、岩浆岩成矿期及浅变质成矿期(表2)。其中以中太古代—古元古代区域变质成矿期为主要成矿期。岩浆岩型石墨矿形成与海西期碱性花岗岩和石炭纪含炭质地层密切相关。

经统计，中国区域变质型石墨矿的沉积时代集中在中太古代到前寒武纪，占石墨资源储量的93%，其中主要沉积时代为古元古代，占总资源储量的41.1%(图3)，新太古代形成的石墨矿占资源储量

表1 晶质石墨矿主要成矿时代及成矿层位统计

Table 1 Statistical table of main metallogenic epochs and metallogenic horizons of crystalline graphite deposits

成矿时代	省份	赋存层位	代表性矿床名称	资料来源
石炭纪	内蒙古	臭牛沟组	闫地拉图石墨矿 [*]	梁柯, 2012
	新疆	姜巴套组	孔克热石墨矿 [*]	白建科等, 2017
	新疆	华里西期碱性花岗岩	黄羊山、苏吉泉石墨矿 [*]	张小林等, 2017
泥盆纪	新疆	北塔山组	青河县阿拉托别石墨矿 [*]	夏辉等, 2013
寒武纪	江西	罗峰溪群	金溪县峡山石墨矿 [*]	余仕军, 2012
	陕西	鲁家坪岩组	城固县板凳河石墨矿 [*]	吴培水等, 2016
新元古代	福建	前震旦纪大金山组	武夷山桃棋石墨矿 [*]	林国宣等, 2008
	福建	前震旦纪麻源岩群	建阳县岭根墙石墨矿 [*]	刘敬党等, 2017
	四川	前震旦纪康定群	中坝石墨矿 [*]	王林, 2016
	内蒙古	白云鄂博群尖山岩组	大乌淀石墨矿 [*]	李洪卫, 2015
中元古代	辽宁	长城系高于庄组	杜屯石墨矿 [*]	王立君, 2015
	陕西	峡河岩群	大西沟碾子坪石墨矿 [*]	吴培水等, 2016
	四川	火地垭群麻窝子组	南江县坪河石墨矿 [*]	夏锦胜等, 2017
	湖北	红安群七角山组下段	广水市芦花湾石墨矿 [*]	魏均起等, 2017
	甘肃	秦岭群、龙首山岩群、敦煌岩群、北大山群	唐家鄂博山石墨矿 [*]	张新虎等, 2007
	青海省	金水口岩群、白沙河岩组	查汗达洼特石墨矿 [*]	赵想安, 2015
	黑龙江	兴东群大盘道组、兴化渡口群	萝北云山石墨矿 [*]	赵然然等, 2013
	吉林	集安群荒岔沟组	三半江石墨矿 [*]	刘敬党等, 2017
古元古代	辽宁	辽河群高家峪组和大石桥组	岫岩丰富石墨矿 [*]	周岷等, 2013
	山东	荆山群陡崖组徐村段	莱西南墅石墨矿 [*]	倪振平等, 2016
	陕西	长角坝岩群、秦岭群	洋县铁河乡明崖沟	吴培水, 2016
	河南	陡岭群大沟组、秦岭群雁岭沟组	峡横岭、浙川小陡岭石墨矿 [*]	薛天闯等, 2016
	湖北	水月寺群黄良河组	三岔垭石墨矿 [*]	张清平, 2012
	云南	哀牢山群	海元阳棕皮寨石墨矿 [*]	刘敬党等, 2017
	河北	红旗营子岩群	张北义哈德石墨矿 [*]	齐新国等, 2017
新太古代	陕西	太华群板石山组	潼关县东桐峪石墨矿 [*]	吴培水, 2016
	河南	太华群水底沟组	鲁山县背孜石墨矿 [*]	薛天闯等, 2016
	黑龙江	麻山群西麻山组、余庆组	鸡西柳毛石墨矿 [*]	赵然然等, 2013
中太古代	河北	崇礼岩群下白窑岩组	赤城龙关石墨矿 [*]	宋瑞先等, 2013
	内蒙古	乌拉山群	查汗木胡鲁石墨矿 [*]	郑永涛等, 2016
	内蒙古	集宁群	兴和石墨矿 [*]	王时麒, 1989
古太古代	山西	集宁群	大同新荣区白山石墨矿 [*]	于雷, 2012
	河北	桑干岩群右所堡岩组	怀安县大岔沟石墨矿 [*]	宋瑞先等, 2013

的17.7%。区域变质型石墨矿形成时代总体上北方早于南方。

古元古代是从活动地壳向稳定陆块的过渡时期,在中国其时限介于2.5~1.8 Ga,该时期无论在中国还是世界上都是一个重要成矿期。古元古代是中国大规模晶质石墨矿产出的集中成矿期,这与古元古代构造环境密切相关,古元古代初,在太古宙末形成的古大陆开始裂解,构造体制发生了本质的变化,由太古宙全活动体制转换为活动带和稳定地块并存的构造格局,主要的成矿构造环境有裂谷、稳定陆块被动大陆边缘、陆块边缘活动带和深断裂构造带等(沈保丰等 2010),在上述地区主要形成砂泥质、碳酸盐岩沉积,原岩为含碳和富铝的泥质和

粉砂质岩石,属于稳定大陆边缘的浅海相陆源碎屑岩建造形成孔兹岩系原岩建造。在2.0~1.8 Ga发生陆-陆碰撞,盆地关闭,孔兹岩系卷入下地壳,发生变质、变形形成了以石墨、石榴子石和矽线石的片麻岩、石墨片麻岩、变粒岩、浅粒岩和长石石英岩,常夹有片岩、石英岩、大理岩的孔兹岩系,蕴含着石墨、矽线石、蓝晶石、大理石、磷灰石、滑石、菱镁矿等丰富的非金属矿产。

经统计,接触变质型(隐晶质)石墨矿的沉积时代集中在二叠—侏罗纪,占隐晶质石墨资源储量的94.31%。其中主要沉积时代为二叠纪与侏罗纪,二叠纪占总资源储量的44.68%,侏罗纪占总资源量的44.26%(图4)。接触变质型形成的隐晶质石墨矿与

表2 中国石墨矿主要成矿期
Table 2 The main metallogenic periods of the graphite deposits in China

沉积时代	构造旋回期间	矿床类型	成矿作用
晚古生代 —中生代	海西—燕山期构造 旋回	接触变质型	中、酸性花岗岩、闪长岩侵入二叠—三叠纪含煤地层引起接触变质作用，煤层变质形成隐晶质石墨矿床。如湖南鲁塘
		岩浆岩型	海西期碱性花岗岩浆侵入石炭纪含碳质地层，发生同化混染，形成成因独特的岩浆岩型球状晶质石墨矿床。如新疆苏吉泉、黄羊山石墨矿
		区域变质型 (浅变质)	岩浆侵入(或喷出)与石炭纪、泥盆纪粉砂岩、碳质砂岩、凝灰岩、碳质凝灰岩、碳质页岩接触，引起触变质作用和区域变质作用，形成变质程度较浅的鳞片晶质石墨矿床。如：新疆清河县阿拉托别、孔克热石墨矿，内蒙古闫地拉图石墨矿
中元古代 —早寒武世	晋宁—加里东旋回	区域变质型 (浅变质)	成矿作用发生于中国陆块基本形成并开始解体的早期阶段，多见于褶皱隆起区，如哀牢山褶皱带、金沙江褶皱带、龙门—大巴山褶皱带，武夷山褶皱区，云开大山褶皱区等地，以火地垭群、昆阳群、罗峰溪群、陀烈群、白云鄂博群为代表，由区域变质作用形成浅变质细粒晶质石墨矿床。如：内蒙古大乌淀、江西峡山等石墨矿
中太古代 —古元古	吕梁运动旋回	区域变质型 (中深变质)	成矿作用发生于中国陆块逐步形成阶段的陆核区及陆块发展过程中的一些残块，如佳木斯地块、胶北隆起、鄂尔多斯地块、武当—淮阳地块、黄陵背斜古基底、祁连山隆起区等地，以集宁群、乌拉山群、麻山群、兴东群、荆山群、太华群、秦岭群、水月寺群为代表，这一成矿为主要成矿期。如：鸡西柳毛、萝北云山等石墨矿

注：根据宋叔和等(1996)结合最新石墨勘查成果修编。

燕山期酸性或中酸性岩浆岩、闪长岩密切相关。酸性岩浆稠度低,流动性好,有利于热的传递。同时这种岩浆富含氟和硼等挥发气体,可起到催化和助熔作用,有利于有机碳转化为石墨(莫如爵,1989)。岩体沿石炭—二叠纪地层背斜轴部或倾伏端侵位,封闭条件良好,引起煤系地层接触变质,煤变质成隐晶质石墨。

4 成矿区带划分

4.1 成矿区带划分原则及依据

本次石墨成矿区带划分是在前人工作的基础上,充分考虑全国三级成矿区带划分方案(徐志刚等2008),结合石墨矿的自身特点(区域变质型石墨矿主要依据寒武纪变质建造,接触变质型主要依据已有石墨矿点分布,岩浆型石墨矿主要依据东准噶尔黄羊山碱性花岗岩体)进行圈定。圈定的石墨成矿区带原则上不跨越I级构造单元和成矿省。成矿区

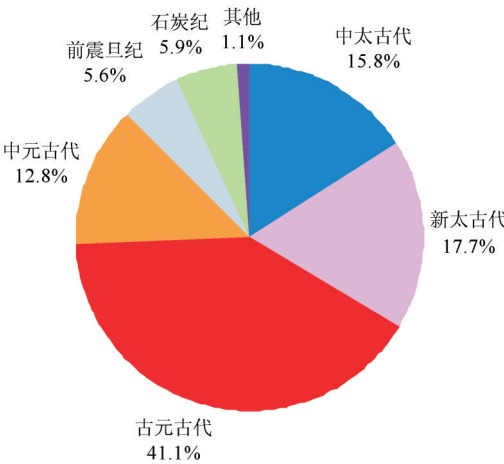


图3 中国不同成矿时代区域变质型晶质石墨矿资源储量分布
(资料来源于各省2016年资源储量通报)
Fig.3 Proportion of resource reserves distribution of crystalline graphite deposits in different metallogenic epochs in China

带命名原则:以构造单元(或地区名)名称和区域成矿作用限定的成矿元素(或地区名)名称予以命名。共圈定21个石墨成矿带(图5),其中隐晶质石墨成矿带4个(图中用蓝颜色表示)分别为:扎鲁特旗隐晶质石墨成矿带、吉中隐晶质石墨成矿带、小兴安岭—张广才岭(造山带)隐晶质石墨成矿带、湘中南—粤北坳陷中生代隐晶质石墨成矿带。

4.2 成矿带主要地质特征

4.2.1 Gph1 准噶尔地块石墨成矿带

位于哈萨克斯坦—准噶尔板块的北缘,共划分北准噶尔、唐巴勒—卡拉麦里、准噶尔南缘吐尔库里3个石墨成矿亚带。

(1) 北准噶尔石墨成矿亚带

位于准噶尔地块的北部,大地构造位于额尔齐斯—富蕴南构造缝合带与可可托海—卡拉先格尔断裂的交汇部位,成矿类型为区域变质型,赋矿地层为中泥盆统含炭质凝灰岩及含炭质凝灰质粉砂岩,代表性矿床为新疆清河县阿拉托别石墨矿(成飞等,2012),该成矿亚带变质程度浅,成矿时代新,为细鳞片石墨成矿带。

(2) 唐巴勒—卡拉麦里石墨成矿亚带

大地构造位于准噶尔地块中部,呈向北突出的弧形展布于准噶尔盆地东西两侧。构造上属唐巴勒—卡拉麦里古生代复合沟弧带。成矿类型以岩浆岩型为主,兼有区域变质型、接触变质型。成矿

时代为中泥盆世到石炭纪。岩浆岩型石墨矿在时间和空间上与海西期(320~270 Ma)含石墨混染花岗岩关系密切,在侵入过程中同化混染地层中含炭岩石炭质在岩浆作用下重结晶形成晶质石墨。代表性矿床如黄羊山、苏吉泉。区域变质型石墨赋矿层位为中泥盆统,含矿岩石以炭质粉砂岩为主,岩石致密、透水性差,对矿液的运移、富集起到良好的屏蔽作用,经沉积变质形成石墨矿床(郭巧玲等2013),代表性矿床为新疆清河县孔克热石墨矿。

(3) 准噶尔南缘吐尔库里石墨成矿亚带

位于准噶尔地块及周缘造山带,西起卡拉麦里山北侧,东至伊吾县吐尔库里,南到吐哈北缘断裂。成矿类型为区域变质型。成矿时代为泥盆—石炭纪,典型矿床有:伊吾县吐尔库里石墨矿床、哈密市下河石墨矿床。

准噶尔地块石墨成矿带共发现晶质石墨矿6处,工作程度以矿产调查、预查为主,其中大型5处,中型1处,预测的晶质石墨(矿物)资源量8636.02万t(表3)。

4.2.2 Gph2 伊犁微板块北东缘(造山带)石墨成矿带

大地构造位于天山—兴蒙造山系的西段,区内由新太古代—元古宙变质岩系组成,石墨矿床产于元古代变质地质体中,含矿围岩主要为一系列不同程度的变质岩类,成矿类型为区域变质型,已发现新疆牙马特南西、博河南岸、苏鲁别珍、库西姆其克、萨瓦甫其北、扎克斯台等多处石墨矿点,提交石墨矿物资源量235.8万t,具有一定的成矿潜力。典型石墨矿地质特征见表4(白建科,2017)。

4.2.3 Gph3 塔里木板块北缘石墨成矿带

大地构造位置位于塔里木板块的北缘,塔里木与准噶尔—哈萨克斯坦两大板块的对接碰撞带。成矿类型为区域变质型,区域变质型石墨矿成矿时代主要为前寒武纪,代表性矿点:新疆吐鲁番市鄯善县玉泉山石墨矿、阿克苏库瓦特等石墨矿。玉泉山石墨矿床,地处库鲁克塔格古老地块北缘,属于区域变质型石墨矿,石墨矿化体总体呈不规则透镜状,圈出5条石墨矿体,石墨片径大于50目(0.3 mm)的占52%,固定碳平均品位为5.38%(白建科,2017)。

4.2.4 Gph4 中祁连隆起石墨成矿带

大地构造位置位于塔里木板块敦煌地块南缘和中祁连山中间隆起带之次级构造单元西宁盆地。

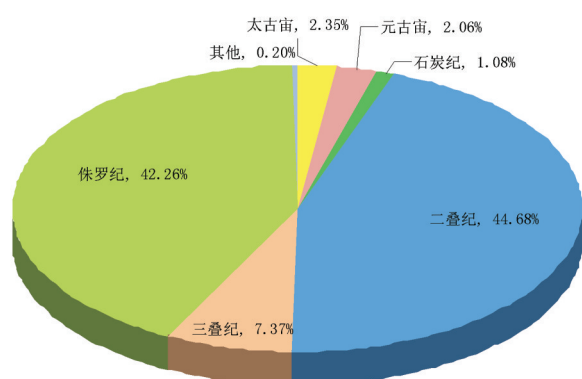


图4 中国不同成矿时代接触变质型(隐晶质石墨矿)资源储量分布比例

Fig.4 Resource distribution of contact metamorphism type (cryptic graphite deposits) in different metallogenic epochs in China

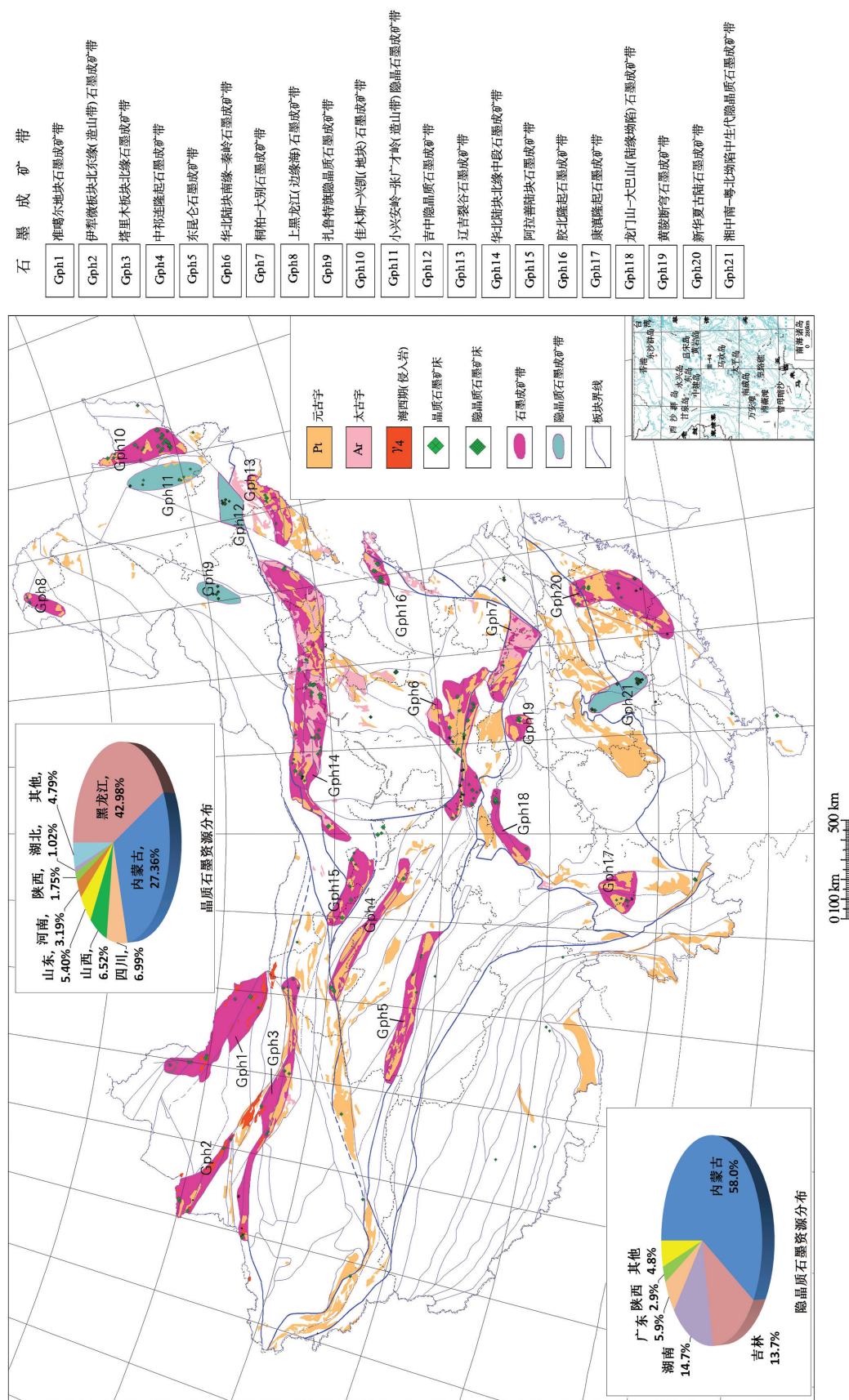


图5 中国石墨成矿带图
Fig.5 Metallogenic belts of graphite deposits in China

成因类型为区域变质型,赋矿层位:新太古界—古元古界敦煌岩群、中元古界蓟县系化石山群、古元古界北大河岩群,代表性矿床为:肃北县拉排沟、肃北县鹰咀山、乐都县大西沟—大路沟石墨矿。共发现石墨矿4处,大型2处,中型1处,小型1处,提交的石墨矿物资源量446.9万t。

4.2.5 Gph5 东昆仑石墨成矿带

大地构造位置位于东昆仑中新元古代—古生代缝合带,成因类型为区域沉积变质型,成矿时代为古元古代,代表性矿床有青海省都兰县看特爾一带石墨矿、查汗达洼特石墨矿、巴勒木特爾石墨矿、泽立坑石墨矿,提交的晶质石墨矿物资源量35.9万t。青海省都兰县查汗达洼特石墨矿赋存于石英闪长岩与古元古界白沙河岩组的接触带中(赵想安,2015),含矿岩性为石墨矿化大理岩。

4.2.6 Gph6 华北陆块南缘—秦岭石墨成矿带

大地构造位置位于华北板块南缘与秦岭—大别山结合处,总体近东西向,成矿带跨越甘肃省、陕西、河南省。在华北陆块南缘,赋矿层位为新太古界太华群,在秦岭一带赋矿层位为古元古界秦岭群、陇山岩、陡岭群、长角坝岩群。其中瓦屋—背孜石墨矿体赋存于太华群水底沟组地层中,含矿岩石为含石墨斜(二)长片麻岩,矿体与大理岩关系较为密切,矿区共发现70个工业矿体(薛天闯等,

2016)。古元古代典型矿床有:陕西省洋县铁河乡大安沟石墨矿,河南镇平县小岔沟石墨矿,浙川县小陡岭石墨矿、浙川县五里梁石墨矿(曹芳芳等2012)。该成矿带累计发现石墨矿19处,提交的晶质石墨矿物资源量3195.17万t。

4.2.7 Gph7 桐柏—大别石墨成矿带

大地构造位置位于桐柏—大别断裂带轴部,成矿类型为区域变质矿床,成矿时代为中元古代、新元古代。赋矿层位为震旦系尚家店组,中元古界红安群七角山组。矿石自然类型以石墨片岩为主。典型矿床为湖北省广水市芦花湾石墨矿,赋矿层位为中元古界红安群七角山组下段,含矿岩系主要由石墨片岩、含石墨白云钠长片岩、含石墨二云钠长片岩组成,固定碳含量3%~4%(魏均起等,2017),查明石墨(矿物)资源量16.60万t。该成矿带石墨变质程度低,为小鳞片石墨成矿带。

4.2.8 Gph8 上黑龙江(边缘海)石墨成矿带

位于黑龙江省最北部,大地构造相当于额尔古纳地块,区内大面积出露下古元古界兴华渡口岩群地层,常以残留体形式存在于花岗岩中。成矿类型为区域变质矿床。赋矿层位为古元古界兴华渡口岩群兴安桥组,代表性矿床有漠河县门都里、霍拉盆石墨矿床,含矿岩石主要为石墨片岩、石墨绢云母石英片岩。漠河县门都里石墨矿固定碳含量

表3 准噶尔地块石墨成矿带石墨矿床地质特征一览
Table 3 A list of geological features of graphite deposits in the graphite metallogenic belt of the Zhungeer block

矿床名称	阿拉托别石墨矿	孔克热墨矿	达布逊石墨矿	吐尔库里石墨矿	黄羊山石墨矿	苏吉泉石墨矿
赋矿地层	中泥盆北塔山组	下石炭统姜巴斯套组	中泥盆统蕴都喀拉组	上志留—下泥盆统红柳沟组	晚石炭世黄羊山碱性花岗岩体	海西中期碱性花岗岩
含矿岩系	含炭质凝灰质砂岩、凝灰岩及片岩	凝灰质粉砂岩、细砂岩、砂岩、炭质泥岩	凝灰质砂岩、凝灰岩、含炭质粉砂岩	含砾岩屑砂岩、长石岩屑砂岩、凝灰质砂岩、绢云母片岩	石墨混染花岗岩	石墨混染花岗岩
岩浆活动	安山玢岩、闪长玢岩、花岗岩	黑云母二长黄岗岩、闪长玢岩、辉长岩	闪长岩、辉绿玢岩、石英斑岩	石英闪长岩	石炭世黄羊山碱性花岗岩体侵入次—石墨混染花岗岩	黑云母花岗岩及混染花岗岩
固定碳品位	7.6%	14.77%	10.37%	10.26%	6.14%~7.04%	4.82%
石墨片径	0.02~0.06 mm	0.001~0.2 mm	0.01~0.15 mm	0.01~0.2 mm	+0.15mm 一般在30%~35%	0.1~0.25 mm
成因类型	区域变质叠加接触变质	区域变质叠加接触变质	区域变质叠加接触变质	区域变质叠加接触变质	岩浆岩型	岩浆岩型
石墨(矿物)资源量/万t	100	214.98	150.94	982.50	7264	23.6

注:资料据白建科,2017;郭巧玲等,2013;成飞,2012;陈隽璐等,2016。

表4 伊犁微板块北东缘(造山带)石墨成矿带石墨矿床特征

Table 4 Characteristics of graphite deposits on the northeast margin (orogenic belt) graphite metallogenic belt of the Yili microplate

矿床名称	扎克斯台石墨矿	苏鲁别珍石墨矿
赋矿地层	中元古界长城纪星星峡群 (ChX)	新元古界温泉岩群 (Pt ₃ W)
含矿岩系	大理岩、黑云母角闪石英片岩、黑云斜长片麻岩、石墨片岩	混合岩、黑云母斜长片麻岩、二云石英片岩、大理岩、变粒岩
特征变质矿物	斜长石、黑云母、石英、角闪石等	矽线石、钾长石、斜长石、角闪石、普通辉石、黑云母等
变质相系	低角闪岩—高绿片岩相	角闪岩相
矿石自然类型	微—细粒晶质石墨	鳞片状晶质石墨
固定碳品位	8%	2.00%~9.89%
石墨矿物特征	微—细粒结构、鳞片粒径0.03~0.25 mm, 呈鳞片状或聚片状, 与片状矿物(如云母)或纤维状矿物紧密共生并定向排列	鳞片—片状结构, 鳞片粒径0.15~0.38 mm, 含量5%~25%, 石墨分布在脉石矿物颗粒间, 呈团块状、条带状、束状分布
成因类型	区域变质型	区域变质型
晶质石墨(矿物)资源量/万t	64.40	171.4

5.25%, 石墨鳞片长0.02~2 mm。石墨矿床的片岩片理中经常见石英细脉及花岗岩细脉的贯入, 混合岩化作用普遍。

4.2.9 Gph9 扎鲁特旗隐晶质石墨成矿带

大地构造位于天山—兴蒙山造山系的中西部, 属大兴安岭成矿省。区内隐晶质石墨矿位于内蒙古自治区扎鲁特旗境内。该成矿带是中国重要隐晶质石墨成矿带, 共发现隐晶质石墨矿4处, 其中大型1处, 中型3处, 资源储量3759.8万t(表5)。代表性矿床为内蒙古自治区扎鲁特旗板子庙矿区隐晶质石墨矿, 规模为大型, 查明资源量2593.8万t, 矿体赋存于侏罗系下统红旗组中, 固定碳平均含量75.23%。

4.2.10 Gph10 佳木斯—兴凯(地块)石墨成矿带

大地构造位于吉黑成矿省佳木斯—兴凯(地块)隆起, 石墨矿主要分布于佳木斯—兴凯地块鸡西、萝北、牡丹江等地, 变质程度较深, 以角闪岩相为主, 局部达麻粒岩相, 混合岩化作用强烈, 属于中压区域热流变质作用类型。成矿时代为新太古代、古元古代。新太古代石墨矿主要分布于麻山陆核的虎林—密山—鸡东—鸡西—穆棱—林口一带, 含矿地层为新太古界麻山群余庆组、西麻山组, 含矿建造为白云质大理岩—大理岩—石墨片岩—黑云斜长片麻岩—均质混合岩。主要矿床包括: 鸡西柳

毛石墨矿、石场石墨矿, 密山市马来山石墨等。古元古代石墨矿主要分布于佳木斯地块东北部的萝北、双鸭山、华南、牡丹江拉古, 赋矿地层为古元古界兴东群大盘道组, 含矿建造为结晶片岩、片麻岩、变粒岩、石英岩等, 代表性矿床有萝北云山石墨矿(李寒滨2012)、双鸭山市羊鼻山石墨矿及双鸭山市岭西灰窑石墨矿(赵然然2013)。代表性矿床见表6。该成矿带已查明的晶质石墨矿24处, 晶质石墨(矿物)资源储量1.28亿t。佳木斯—兴凯(地块)石墨成矿带是我国重要石墨成矿带。也是中国重要石墨矿生产加工基地。

4.2.11 Gph11 小兴安岭—张广才岭(造山带)隐晶质石墨成矿带

位于兴蒙造山系东部, 南邻华北陆块之辽东隆起, 大地构造单元为伊春延寿岩浆弧, 石墨矿主要分布于铁力、尚志一带。成矿时代为: 晚三叠世—早侏罗世(赵然然等, 2013)。成因类型为接触变质型, 划分为神树和尚志两个石墨矿集区。神树一带石墨矿为中二迭统土门岭组炭质板岩, 受晚三叠至早侏罗世花岗岩类侵位所带来热力作用的影响, 发生热变质作用而成, 代表性矿床为神树石墨矿。尚志一带石墨矿为中元古界黑龙江群炭质板岩受晚三叠至早侏罗世花岗岩类侵位所带来热力作用的影响, 发生热变质作用而成, 代表性矿床为: 尚志炮

表5 扎鲁特旗隐晶质石墨成矿带石墨矿床一览
Table 5 A list of graphite deposits in Jarut Banner-crystalline graphite metallogenic belt

矿床名称	赋矿层位	矿床规模	隐晶质石墨(矿石)资源储量/万 t
扎鲁特旗忙哈吐矿区(类)石墨矿	侏罗系	中型	763
扎鲁特旗板子庙矿区隐晶质石墨	侏罗系	大型	2593.8
扎鲁特旗查干诺尔矿区隐晶质石墨矿	侏罗系	中型	131.1
扎鲁特旗敖包营子矿区石墨矿	侏罗系	中型	271.9

注:据内蒙古2016年储量通报。

手营子石墨矿。

4.2.12 Gph12 吉中隐晶质石墨成矿带

吉中隐晶质石墨成矿带属吉黑成矿省,成因类型为接触变质型,成矿时代为三叠—侏罗纪,典型矿床有:吉林磐石仙人洞石墨矿。磐石县仙人洞石墨矿赋存于下侏罗统二道梁子组富碳(煤)黏土岩或板岩中,受印支期花岗闪长岩侵位带来热力的影响,发生接触变质作用,煤中基本结构单元经历芳构化、环聚合、拼叠作用向石墨结构发展,非定向的芳香碳经过一系列的微观结构和化学成分变化最终形成三维有序的石墨晶体。

4.2.13 Gph13 辽吉裂谷石墨成矿带

大地构造位于辽东新元古代—古生代拗陷带,成因类型为区域变质型,赋矿层位:古元古界辽河群高家峪组、集安岩群岔沟组。已探明晶质石墨矿9处,晶质石墨矿物资源量312.8万t。代表性矿床有:辽宁岫岩丰富、桓仁石墨矿,吉林通化县三半江、蜚场晶质石墨矿,吉林集安市双兴、清河晶质石墨矿等。代表性矿床见表7。

4.2.14 Gph14 华北陆块北缘中段石墨成矿带

大地构造位置位于华北陆块北缘中部,石墨成矿带横跨内蒙古、河北省、山西省、辽宁省。石墨矿主要集中分布在内蒙古阿拉善左旗、乌拉特中旗、兴和县、武川、丰镇、呼和浩特,河北张家口,山西大同。成因类型主要为区域变质型,仅在内蒙古乌

拉特中旗乌不浪口地区为隐晶质石墨。成矿时代从中太古代到中元古代。赋存层位为中太古代乌拉山群、集宁岩群,古元古界红旗营子群,中元古界白云鄂群、长城系高于庄组。该成矿带查明石墨矿床30个,晶质石墨资源储量9209.3万t。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。代表性石墨矿见表8。

4.2.15 Gph15 阿拉善陆块石墨成矿带

大地构造位置位于华北陆块北缘的阿拉善隆起区,赋存层位:中太古界乌拉山岩群、古元古界龙首山岩群、新元古界蓟县系墩子沟群二岩组。典型石墨矿床有:甘肃省临泽县西小口子、民勤县红沙梁、民勤县唐家鄂博山、民勤县八浪井石墨矿,内蒙古扎木敖包、档巴井,土默特右旗什石石墨矿。内蒙古扎木敖包石墨矿主要产于中太古界乌拉山岩群白云母石英片岩中,部分产于浅灰白色强硅化透辉石化大理岩夹有云母石英片岩薄层中,与闪锌矿互层(孙青松,2012)。

4.2.16 Gph16 胶北隆起石墨成矿带

大地构造位于华北陆块北缘东段胶北隆起:安丘—莒县断裂以东,即墨断裂和桃村断裂以西,石墨矿集中分布于平度—莱西—莱阳—牟平等地,成因类型为区域变质型矿床,赋存地层为古元古界荆山群陡崖组徐村段,为一套含石墨的变质岩系中,成矿作用与古元古代裂谷型区域动力热流(核部)

表6 佳木斯—兴凯(地块)石墨成矿带代表性矿床
Table 6 Representative deposit of graphite metallogenic belt of Jiamusi-Xingkai (massif)

矿产地名称	成矿层位及赋矿岩性	矿床规模	晶质石墨(矿物) 资源储量/万 t	资料来源
黑龙江萝北云山石墨矿	古元古界兴东群大盘到组石墨黑云斜长变粒岩	超大型	4244	赵然然, 2013
黑龙江鸡西柳毛石墨矿	新太古界麻山群: 石墨透闪石岩、含石墨透闪变粒岩	超大型	3325	赵然然, 2013

变质作用密切相关,变质相为角闪岩相-麻粒岩相,严格受地层层位控制。已发现晶质石墨矿22处。查明晶质石墨矿资源储量(矿物量):1911.8万t,隐晶质石墨矿1处,资源量187.6万t,典型矿床有莱西南墅、北墅,平度刘戈庄、刘家寨等石墨矿。该成矿带石墨固定碳含量约3.7%,但石墨鳞片大,是中国重要大鳞片石墨成矿带。

4.2.17 Gph17 康滇隆起石墨成矿带

大地构造上属扬子陆块西南缘康滇地块东侧,其古一中元古代地层主要由一系列变质沉积岩和变质火山岩组成,成因类型为区域变质型,石墨矿赋存层位前震旦纪康定群冷竹关组,已发现超大型矿床2处,大型1处,中型矿产2处,小型矿床2处。累计探明晶质石墨资源量(矿物)资源储量2938.26万t(表9),是中国重要晶质石墨成矿带。

4.2.18 Gph18 龙门山—大巴山2016年(陆缘拗陷)石墨成矿带

大地构造属于龙门山—大巴山构造中的大巴山台缘拗陷,位于四川巴中地区,区内岩浆岩、变质岩分布广泛,吕梁期和燕山期造山运动使得区内褶皱和裂隙发育,为石墨成矿提供了良好的成矿地质条件,大型造山运动为石墨成矿提供了变质热液。该地区赋存层位为中元界火地垭群麻窝子组,已先后发现南江县坪河石墨矿(包括延伸部分)、南江县

尖山石墨矿、南江县庙坪石墨矿。截止2016年已查明晶质石墨矿物资源量546.2万t。区域内矿床成群出现,成为新的晶质石墨矿资源富集区。

4.2.19 Gph19 黄陵断穹石墨成矿带

大地构造位置位于上扬子中东部(坳褶带)扬子准陆块上扬子台坪鄂中褶断区黄陵断穹北部、圈椅倘穹隆东翼,为一套具孔兹岩特点的片麻岩—麻粒岩建造,成因类型为区域变质型,赋矿层位为新太古代—古元古代水月寺群黄良河组。黄陵背斜石墨矿工业类型为晶质(鳞片状)石墨矿,晶质石墨片径0.15~2 mm者占60%以上,最大片径达4~5 mm(邱凤等,2015),为优质大鳞片石墨成矿带。截止2016年,该成矿带已发现石墨矿7处,其中大型1处,中型2处,小型4处,查明晶质石墨(矿物)资源储量334.79万t(表10),

三岔垭石墨矿床产于古元古界—新太古界水月寺群黄良河组下段:为含石墨黑云斜长片麻岩,夹白云大理岩、石英岩、磁铁石英岩、石墨黑云片岩(张清平等,2011)。

4.2.20 Gph20 新华夏古陆石墨成矿带

新华夏古陆石墨成矿带主要分布在福建,江西、广东等一带。大地构造位置位于中生代华南陆块背斜轴部和中—新生代闽西南—粤东北中弱挤压区。成矿类型为区域沉积变质型和接触变质型,

表7 辽吉裂谷石墨成矿带代表性矿床一览

Table 7 A list of representative deposits in the Liaoji rift valley graphite metallogenic belt

矿产地名称	成矿层位及赋矿岩性	晶质石墨(矿物)资源储量/万t	资料来源
辽宁岫岩丰富石墨矿	古元古界辽河群高家峪组:石墨微斜(斜长)透闪岩	37.37	周岷等, 2013
吉林集安市双兴石墨矿	古元古界集安群荒沟组:石墨黑云变粒岩	63.39	曾庆彬, 2015

表8 华北陆块北缘中段石墨成矿带代表性矿床一览

Table 8 A list of representative deposits in the middle part of the north margin of North China continental block graphite metallogenic belt

矿产地名称	成矿层位及赋矿岩性	晶质石墨(矿物)资源储量/万t	资料来源
内蒙古兴和石墨矿	中太古界集宁群:夕线榴石片麻岩	244.1	王时麒, 1989
内蒙古查汗木胡鲁石墨矿	中太古界乌拉山群:含石墨透辉斜长片麻岩	702.91	郑永涛等, 2016
山西大同石墨矿	中太古界集宁群:石墨黑云斜长片麻岩	--	于雷, 2012
河北义哈德石墨矿	古元古界红旗营子群:石墨斜长片麻岩	206	齐新国, 2017
内蒙古大乌淀石墨矿	中元古白云鄂博群:红柱石墨透闪石英片岩	1775.58	李洪卫, 2015
辽宁省杜屯石墨矿	中元古界长城系高于庄组:红柱石墨黑云母石墨片岩	498	王立君, 2015

接触变质型石墨赋存层位为二叠纪,晶质石墨主要赋矿层位:寒武纪八村群、罗峰溪群,震旦系大金山组和麻源岩组。代表性矿床见表 11。

4.2.21 Gph21 湘中南—粤北坳陷中生代石墨成矿带

湘中南—粤北坳陷中生代石墨成矿带主要分布在湖南冷水江市、郴州市。成因类型:接触变质型。晚古生代煤系地层受中生代燕山期花岗岩热液发展接触变质作用,形成隐晶质石墨,成矿时代为石炭—二叠纪。典型矿床为鲁塘石墨矿、桂阳县荷叶塘石墨矿。是中国重要隐晶质石墨成矿带。共查明隐晶质石墨矿 5 处,其中大型 1 处,小型 4 处,累计查明隐晶质石墨矿石量 3780.4 万 t(表 12)。

5 矿床类型与典型矿床

5.1 石墨矿床类型

根据石墨成因,中国石墨的矿床类型划分为区域变质型、接触变质型及岩浆岩热液型 3 类。按利

用程度,工业类型划分为晶质石墨和隐晶质石墨(表 13),按查明资源储量统计,区域变质型约占 82%,岩浆岩型约占 0.1%,接触变质型约占 17.9%(2016 年新疆黄羊山发现的超大型岩浆岩型晶质石墨矿,晶质石墨(矿物)资源量 7274 万 t,资源量为预测级的,未统计在内)。假以时日,若提高新疆黄羊山石墨矿的工作程度,提高资源量级别,将改变中国石墨矿床类型分布格局,为寻找岩浆岩型石墨矿提供依据。区域变质型形成的晶质石墨矿由于鳞片大,用途广,开发利用程度较高。近年来在内蒙古等地中元古代及石炭纪发现的乌拉特中旗大乌淀、闫地拉图区域变质型石墨矿,储量规模较大、但由于变质程度较低,鳞片较小,尚未开发利用,应加强中元古—石炭纪形成的变质程度较浅的石墨矿的综合评价。

5.2 典型石墨矿床

5.2.1 山东省平度刘戈庄石墨矿

矿区位于平度市城西北 27 km 处,属于胶北隆起石墨成矿带,大地构造位于华北板块(Ⅰ)胶辽隆起区(Ⅱ)胶北隆起(Ⅲ)胶北断隆(Ⅳ)明村—担山凸起(Ⅴ)之栖霞复背斜的南翼西段。石墨矿产于古元古界荆山群陡崖组徐村段(图 6),矿床内含矿带有 3 个,含石墨矿层 29 个。石墨主要矿石类型为透闪透辉片麻岩型,石墨矿石中固定碳(C)含量一般为 2.5%~6.5%,平均品位为 3.34%。经光片鉴定石墨片径为 0.1~1 mm,经生产选矿统计,大于 100 目(0.147 mm)占 48%左右,为大鳞片石墨矿。刘戈庄石墨矿沉积建造时代为古元古代(2381~2478 Ma),变质年龄为 1848~2046 Ma,石墨矿的变质时

表 9 康滇隆起石墨成矿带石墨矿床特征
Table 9 Characteristic table of graphite deposits in Cangdian uplift graphite metallogenic belt

矿产地名称	赋矿层位	规模	晶质石墨(矿物) 资源量/万 t
四川中坝石墨矿	前震旦纪康定群 冷竹关组	超大型	1693.54
四川田坪石墨矿		超大型	739.90
四川大箐沟石墨矿		大型	419.71
四川三大湾石墨矿		中型	40.00
四川新民石墨矿		中型	35.60
四川新开田石墨矿		小型	4.85
四川三道湾石墨矿		小型	4.66
合计			2938.26

注:根据四川省 2016 年储量通报等资料综合整理。

表 10 黄陵断穹石墨成矿带石墨矿床特征一览
Table 10 A list of characteristics of graphite deposits in Huangling fault dome graphite metallogenic belt

矿床名称	赋矿层位	矿床规模	平均品位/%	晶质石墨(矿物)资源量/万 t
湖北宜昌金昌石墨矿	古元古界—新太古界 水月寺群黄良河组	小型	4.84	7.09
湖北省宜昌市夷陵区三岔坪石墨矿		大型	11.47	259.1
湖北省宜昌市夷陵区谭家河石墨矿		中型	7.96	20
湖北省宜昌市夷陵区二郎庙石墨矿		中型	7.49	36.6
湖北省兴山县东冲河石墨矿		小型	5.79	13.3
湖北省宜昌市夷陵区谭家沟石墨矿		小型	4.84	3.3
湖北省远安县韩家河矿铜锡石墨矿		小型	4.94	1.4
合计				340.79

注:数据来自文献(张清平等,2011;2016 年湖北省储量通报)。

表 11 新华夏古陆石墨成矿带石墨矿床一览
Table 11 A list of graphite deposits in the new Cathaysian paleo-continental graphite metallogenic belt

矿床名称	赋矿层位	矿石类型	矿床规模	晶质石墨矿物 资源量/ 万 t
江西金溪县峡山石墨矿	寒武系罗峰溪群含钒白云母 石墨片岩和云母石墨片岩	含钒白云母石墨 片岩和云母石墨片岩	大型	270.8
建省建阳市岭根墙石墨矿东矿区	前震旦系麻源组中段石墨石 英云母片岩及石墨变粒岩	石墨石英云母片 岩及石墨变粒岩	中型	93.2
福建省建阳市岭根墙石墨矿	前震旦系麻源组中段石墨石 英云母片岩及石墨变粒岩	石墨石英云母片 岩及石墨变粒岩	中型	63.7
福建省武夷山市桃棋石墨矿	前震旦系大金山组石墨石英 云母片岩及石墨变粒岩	石墨石英云母片 岩及石墨变粒岩	中型	73
合计				500.7

注:资料来源(福建省2016年储量通报)。

代为古元古代晚期(张增奇,1996)。据核工业北京地质研究院分析测试研究中心测得定的刘戈庄石墨矿稳定碳同位素值: $\delta^{13}\text{C}$ 为-24.7‰~-21.30‰,为有机成因。刘戈庄石墨矿累计查明晶质石墨(矿物)资源储量222万t,规模为大型,该矿已开采多年,设有两个矿山企业,生产中—高碳石墨,可膨胀石墨等产品,出口日本、美国、韩国等国。

5.2.2 内蒙古查汗木胡鲁石墨矿
查汗木胡鲁石墨矿位于阿拉善左旗北东约190 km,属于华北陆块北缘中段石墨成矿带,大地构造位于华北陆块北缘(Ⅰ)北部隶属狼山—白云鄂博台缘拗陷带(Ⅱ)狼山—渣尔泰山褶断束(Ⅲ),南部平原属鄂尔多斯台坳(Ⅱ)之河套新断陷(Ⅲ)。矿区内出露地层主要为中太古界乌拉山岩群的中—

表 12 湘中南—粤北坳陷中生代隐晶质石墨成矿带石墨矿床一览
Table 12 A list of graphite deposits in the Mesozoic cryptocrystalline graphite metallogenic belt in the central-south Hunan-North Guangdong depression

矿床名称	赋矿层位	成矿时代	矿床规模	石墨矿石资源量/万 t
郴州市北湖区白腊水石墨矿	二叠系上统龙潭组统	燕山期	小型	6
郴州市北湖区鲁塘石墨矿	二叠系上统	燕山期	大型	3585
桂阳县荷叶石墨矿	二叠系上统	燕山期	小型	84
宜章县梅田石墨矿	晚二迭世	燕山期	小型	14.6
新化县冷水江矿区寒婆坳石墨矿	下石炭统测水组	燕山期	小型	90.8
合计				3780.4

注:资料来源于(安江华等,2016;湖南省2016年储量通报)。

表 13 中国石墨矿床类型一览
Table 13 The list of graphite deposits types in China

工业类型	矿床类型	资源储量占比	主要成矿期	代表性矿床
晶质石墨	区域变质型	82%	前寒武纪	山东平度刘戈庄
	岩浆岩型	0.1%	海西期	新疆奇台黄羊山
隐晶质石墨	接触变质型	17.9%	燕山-海西期	湖南鲁塘

注:资料来源于2016年国土资源储量通报、各省2016年储量通报、论文等(资料综合整理)。

深变质岩系(郑永涛,2016)。石墨矿体赋存于乌拉山岩群片麻岩段地层内(图7),赋矿岩性主要为含石墨透辉斜长片麻岩,矿体地表出露较好,规模较大,顶底板围岩主要为蛇纹石化大理岩。全矿区石墨固定碳(C)含量3.0%~18.87%,固定碳(C)平均品位5.45%。经光片片度测定:石墨片度大于0.147 mm 约占98%,属于大鳞片石墨矿。含矿岩系中出现石榴石高级变质特征矿物,推断含矿岩系变质程度普遍达到角闪岩相至麻粒岩相,矿床褶皱、断裂构造较发育,多期变质作用叠加影响显著。累计查明晶质石墨(矿物)资源储量702万t,规模为超大型。该矿年产10万吨精矿的生产线正在筹建,是中国航天万源石墨烯与储能技术研究中心石墨资源基地。

5.2.3 新疆奇台县黄羊山石墨矿

奇台县黄羊山石墨矿位于唐巴勒—卡拉麦里石墨成矿亚带,大地构造位于准噶尔板块谢米斯台—库兰卡兹中古生代复合岛弧带与唐巴勒—卡拉麦里古生代复合沟弧带结合部位,石墨矿床产于该区黄羊山碱性花岗岩体内,岩石类型为细粒—中粗粒石墨混染花岗岩及中细粒黑云角闪含石墨混染花岗岩。分①号矿体和②号矿体,①号矿体为隐伏矿体,埋深在125~481 m,长2.1 km,宽250~730 m,平均厚度310 m。固定碳平均含量6.14%,石墨片径+100目平均在10%左右。预测的晶质石墨矿物资源量4704万t。②号矿体直接出露地表,整体呈一“马蹄形”(图8),长1.1 km,宽200~580 m,平均宽380 m,钻孔控制矿体平均厚度383.2 m,固定碳平

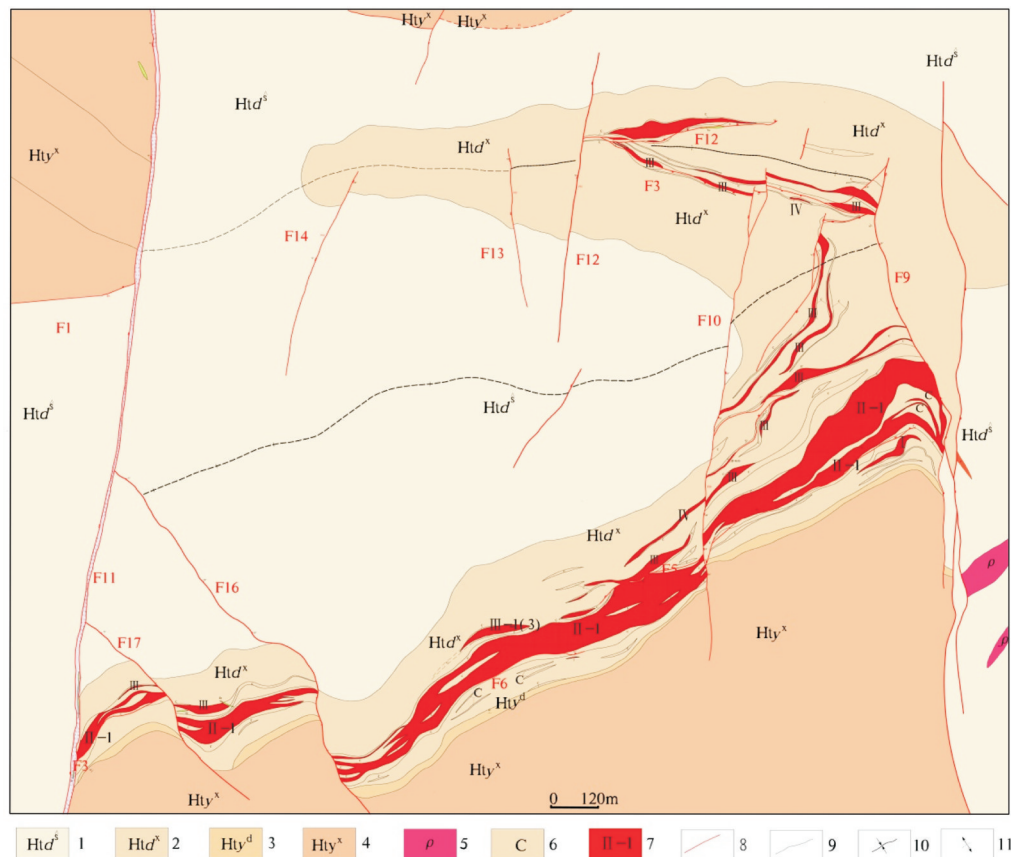


图6 刘戈庄石墨矿地质简图(据颜玲亚等,2012)

1—陡崖组水桃林段;2—陡崖组徐村段;3—野头组定国寺段;4—野头组祥山段;5—闪长岩脉;6—石墨矿化体;7—石墨矿带、矿层及编号;
8—断层;9—地质界线;10—向斜;11—背斜

Fig.6 Geological map of graphite deposits of Liugezhuang(after Yan Lingya et al.2012)

1—Douya Formation Shuitaolin member; 2—Douya Formation Xucun section; 3—Yetou Formation Dingguosi member;
4—Yetou Formation Xiangshan member; 5—Dioritee dyke; 6—Mineralized body of graphite; 7—Ore belt, seam and serial number of graphite;
8—Fault; 9—Geological boundary; 10—Syncline; 11—Anticline

均含量7.04%,石墨片径+100目一般在30%~35%,矿体空间形态为一近似直立的不规则的“半封闭筒状”(张小林等2017)。估算预测的晶质石墨矿物资源量2560万t。根据中科院地质与地球物理研究所对黄羊山晶质石墨矿碳同位素测定结果: $\delta^{13}\text{C}$ 为-17.51‰~-20.16‰,为有机成因,推断石墨碳质来源于石炭纪含碳地层。黄羊山岩体侵位到石炭系姜巴斯套组含碳地层,在同化混染作用下碳质重结晶形成晶质石墨矿。野外少量残留的含碳地层残留体为岩浆同化混染的发生提供了佐证(图9)。经选矿实验,原矿固定碳含量6.15%,石墨片径+0.15mm占23%。石墨精矿固定碳总回收率为94.87%(张小林等,2017),具有较好的开发利用前景。

5.2.4 湖南省鲁塘隐晶质石墨矿

湖南鲁塘石墨矿区位于郴州市西南约40 km处,属于湘中南—粤北坳陷中生代石墨成矿带。位于耒阳—临武南北向构造带上,由上古生界组成的沙田—鲁塘复式向斜东翼(李超,2017),矿体赋存于上古生界上二叠统龙潭组地层中,主要是由于龙潭组原含煤地层在燕山期受到骑田岭岩体侵入带来的大量热能,在岩浆烘烤的作用下,在骑田岭岩体西侧外接触带宽约900 m范围内的地层发生热接触变质,使得靠近骑田岭的原煤岩体变质成石墨,属于含煤碎屑岩

接触变质型石墨矿床。含矿岩系总厚210 m,矿体4个,矿体总厚度3.72 m,固定碳含量75%~80%,探明资源储量3585万t,为一大型隐晶质石墨矿床(王力等,2017)。该矿保有资源储量788.7万t,资源利用率78%,开发利用程度高。

6 成矿规律总结

(1)中国石墨资源较为丰富,分布广泛又相对集中,其中晶质石墨以黑龙江省最多,占42.98%,隐晶质石以内蒙古最多,占57.98%。岩浆岩型石墨矿主要分布在新疆奇台地区。

(2)中国石墨矿床类型多样,分区域变质型、岩浆岩型和接触变质型3类,以区域变质型为主,占查明资源储量的82%。近年来在新疆黄羊山取得了岩浆岩型石墨矿重大找矿突破,为石墨找矿部署和研究提供了新的方向。

(3)中国石墨矿床在各个构造板块均有分布,但主要分布在华北陆块、扬子陆块、天山—兴蒙造山系。本次初步划分了21个石墨成矿区带,其中、佳木斯—兴凯(地块)石墨成矿带、华北陆块北缘中段石墨成矿带、胶北隆起石墨成矿带、准噶尔地块石墨成矿带、华北陆块南缘—秦岭等石墨成矿带最为重要。

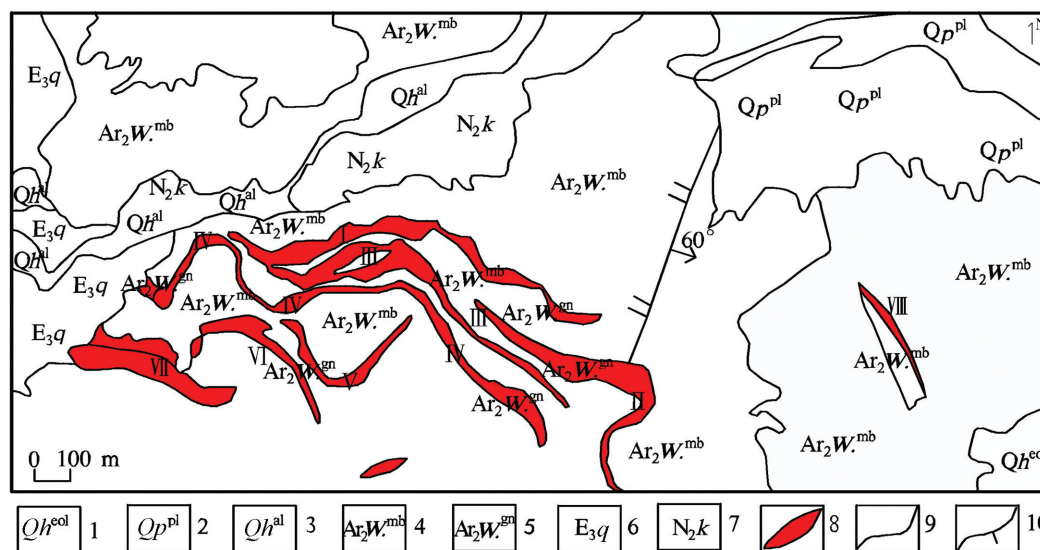


图7 查汗木胡鲁石墨矿床地质简图(据郑永涛,2016)

1—全新统风积砂;2—更新统冲积物;3—全新统洪积物;4—乌拉山群大理岩段;5—乌拉山群片麻岩段;6—渐新世清水营组;7—上新世苦泉组;8—石墨矿体及编号;9—地质界线;10—断层

Fig.7 Geological map of graphite deposit of Chahanmu hulu(after Zheng Yongtao, 2016)

1—Holocene aeolian sand;2—Pleistocene alluvium;3—Holocene floodwater;4—Wulashan Group marble member;5—Wulashan Group gneiss member;6—Oligocene;7—Pliocene Kuquan Formation;8—Graphite orebody and its serial number;9—Geological boundary;10—Fault

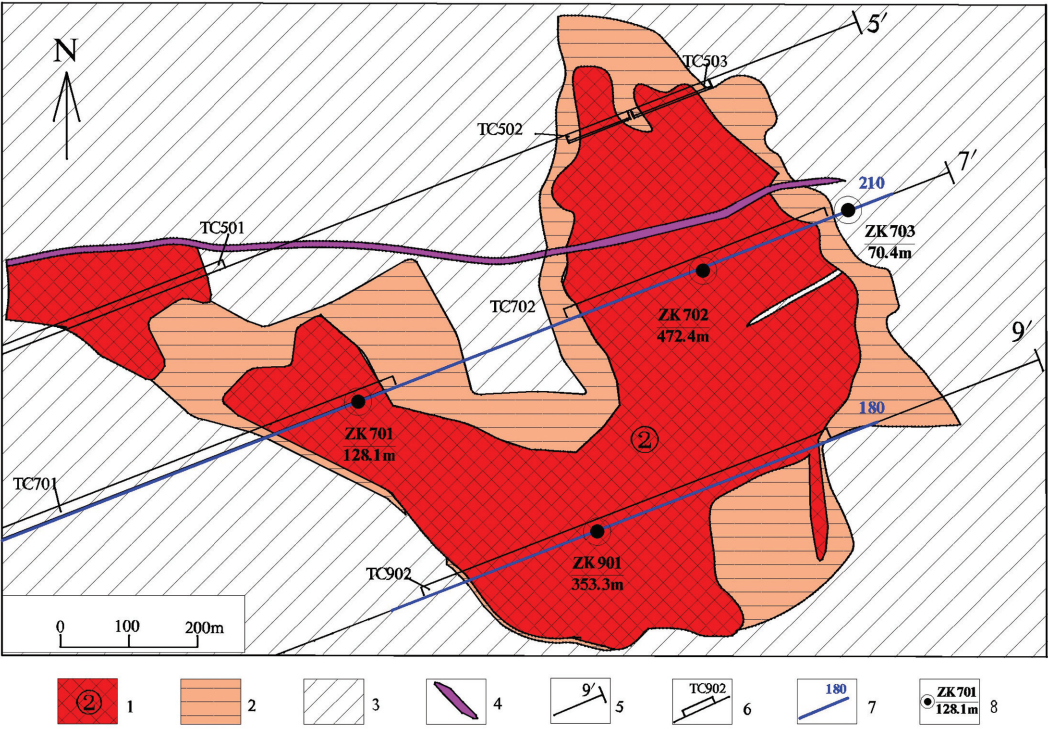


图8 ②号石墨矿体地质简图(据李作武等,2017)

1—石墨矿体及编号;2—细粒黑云母碱长花岗岩;3—中细粒黑云角闪碱长花岗岩;4—细粒花岗岩脉;5—勘探线剖面位置及编号;
6—探槽位置及编号;7—激电测深剖面位置及编号;8—见矿钻孔编号及孔深

Fig. 8 Geological sketch map of No. ② graphite orebody(after Li Zuowu et al., 2017)

1—Graphite orebody and its serial number; 2—Fine-grained biotite alkali-feldspar granite; 3—Medium fine-grained biotite hornblende alkali-feldspar granite; 4—Fine-grained granite dykes; 5—Exploration line section position and its serial number; 6—Trench position and serial number; 7—Excitation sounding section position and serial number; 8—Ore-intercepting drill hole and its serial number and depth



图9 ②号石墨矿体地表石墨构造形态特征(据野外照片)

(资料来源于新疆奇台县黄羊山石墨矿调查评价项目, 2017年)

a—石墨呈豆状、不规则细脉状、球状集合体;b—石墨呈球状、豆状及细鳞片浸染状;c—钻孔中的石墨呈球状、球斑状特征

Fig.9 Structural morphological characteristics of surface graphite of No. ②(after photos in the field)

(Source of information: Research and evaluation project of Huangyangshan graphite ore deposit in Qitai County, Xinjiang, 2017)

a- Lenticular, irregular and fine pulse, globular aggregate of graphite;b- Globular aggregate, lenticular and impregnation of fine scale graphite; c- Globular aggregate and ball-shaped graphite in drill hole

(4)区域变质型石墨矿主要成矿期为前寒武纪,其中古元古代是主要成矿期,形成时代越老,变质程度越深,石墨鳞片越大。岩浆岩型品质石墨矿赋矿围岩为海西期(320~270 Ma)碱性花岗岩,成矿时代与岩浆侵入时代一致。接触变质型石墨矿赋矿层位为集中在二叠纪—侏罗纪,其成矿作用与燕

山期—海西期中酸性岩浆活动密切相关。

(5)各种矿床类型的石墨矿炭质来源主要为有机质,因此,石墨矿的形成一是地层沉积时富含大量有机质,二是沉积地层发生了强烈的构造运动,引起区域变质作用、混合岩化作用、岩浆侵入同化混染作用、岩浆接触变质作用。

(6)稳定隆起区的大型复式褶皱构造翼部及转折端是石墨成矿有利的构造单元。

References

- An Jianghua, Tang Fenpei, Li Jie. 2016. Analysis on the metallogenic regularity and resource potential of graphite in Hunan[J]. Geological Journal, 30(3):434–437(in Chinese with English abstract).
- Bai Jianke, Chen Junlu, Peng Suxia. 2017. Characteristics and metallogenic regularity of graphite resources in Xinjiang[J]. Journal of Geology, 91(12):2828–2840(in Chinese with English abstract).
- Cao Fangfang, Wang Xiliang, Geng Tongsheng. 2012. Geological Characteristics and Genesis Analysis of Wuliliang Graphite Mine in Xichuan[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, (94):43–44 (in Chinese with English abstract).
- Chen Juanlu, Bai Jianke. 2016. The discovery of Large crystalline graphite ore belt in East Junggar region Xinjiang[J]. News of the achievements of China's Geological Survey, 2016(9):15–17.
- Cheng Fei, Liu Xueqing, Huang Jingyu. 2012. Analysis of the causes of tuobie Graphite Deposit of Qinghe County in Xinjiang[J]. West-China Exploration Engineering, (8): 177–178.
- Guo Qiaoling, Wang Deming, Wei Jun. 2013. The geological characteristics and metallogenic conditions of dabsan graphite of Qinghe County in Xinjian[J]. West-China Exploration Engineering, 6:119–122.
- Li Chao, Wang Denghong, Zhao Hong, Pei Haoxiang, Li Xinwei, Zhou Limin, Du Andao. 2015. Minerogenetic regularity of graphite deposits in China[J]. Mineral Deposits, 36(6):1223–1236.
- Li Hanbin, Zhang Bing. 2014. Metamorphism and its significance of Yunshan Graphite Deposit in Heilongjiang[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, (108): 45–46(in Chinese with English abstract).
- Li Hongwei. 2015. Discussion on the genesis of Baiyunebo group graphite deposit – Taking Dawudian graphite deposit as an example[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, (30):104 (in Chinese with English abstract).
- Li Zuowu, Zhang Xiaolin, Guo Zhiyun, Zhang Lei, Wu Yalun. 2017. Report on Prospecting Results of Huang Yangshan Crystalline graphite of Qitai Province in Xinjiang(2015–2017)[R]:78–84(in Chinese).
- Liang Ke, Zhao Qichao, Yuan Yuqiang, Zhao Shengjun, Zhou Xun. 2012. Detailed Investigation Report of Graphite ore, Kaolin Ore and Iron Mine in the Yandiratu Mining Area of Alashan Zuoqi, Inner Mongolia autonomous Region[R].33–37(in Chinese).
- Lin Guoxuan, Lin Zihua, Zhang Ning. 2018. General survey of graphite ore in Taoqi mining area of Wuyishan City, Fujian Province[C]//New Progress of Geological Science and Technology in China and Compilation of New Results of Geological Prospecting in 2008.239.
- Liu Jingdang, Xiao Rongge, Zhang Yanfei, Liang Shuai, Zhao Qing, Bai Fengjun, Zhang Yongxing, Wang Jichun, Yang Peiqi, Liu Jian. 2017. The crystalline graphite deposit in north China[M].Beijing, Science Press, 324–328(in Chinese).
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. 2015. Reserve Bulletin of Mineral Resources, China (2015) [R]. Beijing: Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China,147–148(in Chinese).
- Mo Rujue, Liu Shaobin, Huang Cuirong, Zhang Guangrong, Tan Guangmin, Wang Baoxian, Xiao Xiangzhang.1989. The Geology of Graphite Deposits in China[M]. Beijing :China Building Industry Press, 66–85(in Chinese).
- Ni Zhengping, Tian Jingxiang, Wang Laiming. 2016. Metallogenic Regularity of Important Mineral area in Shandong Province[M]. 234–238(in Chinese).
- Qi Xinguo, Tan Jun, Wang Zhigang, Wang Likao. 2017. Analysis of metallogenic geological conditions of graphite ore in Yi hade of Zhangbei County[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, (2): 33–39(in Chinese with English abstract).
- Qiu Feng, Gao Jianying, Pei Yin, Zhang Meiyun. 2016. Geological characteristics and metallogenic regularity of graphite deposit in Huangling anticline[J]. Resource Environment and Engineering, 29 (3):280–281(in Chinese with English abstract).
- Shen Baofeng, Zhai Anmin, Yang Chunliang. 2010. Paleoproterozoic important metallogenic epoch in China[J]. Geological Survey and Research, 33(4):241–256(in Chinese with English abstract).
- Song Ruixian, Wei Minghui, He Yuqing. 2013. Zhangjiakou Geology and Mineral Resources[M]. Beijing, Geological Publishing House: 5–18(in Chinese).
- Song Shuhe, Kang Yongfu, Zheng Zhi, Tu Guangzhi, Cheng Yuqi, Du Letian, Ye Lianjun, Chen Yuchuan, Tang Jingxuan. 1996. China Deposit(III)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 476–477 (in Chinese).
- Sun Qingsong. 2012. Cause of formation and prospecting sign of TRAMO Oboe Ore deposit in Inner Mongolia. Public Communication of Science & Technology, 2(I):163–164(in Chinese).
- Wang Li, Fan Junlei, Feng Yangwei. 2017. Graphite resources status Quo and distribution of graphite deposits in China[J]. Coal Geology of China, 29(7):5–9(in Chinese with English abstract).

- Wang Lijun. 2015. Geological characteristics and resources of graphite ore in Dutun area, north town, Liaoning Province[J]. *Earth*, (5):106.
- Wang Lin. 2016. Influence of igneous rocks on the quality of graphite ore in the three great bay areas of Panzihua City[J]. *Green Building Materials*, 206:235–236(in Chinese with English abstract).
- Wang Shilin. 1989. Characteristics of ore-bearing construction and genesis of deposit of graphite in Xinghe County Inner Mongolia[J]. *Ore Deposit Geology*, 8(1):85–96.
- Wei Junqi, Lu Li, Bian Zhihong, Zhou Liangliang, Wang Fang, Zhu Dan. 2017. Study on the geological characteristics and mineral composition of the graphite deposit in Luhua bay, Guangshui City, Hubei Province[J]. *Resource Environment and Engineering*, 31(1): 102–115(in Chinese with English abstract).
- Wu Peishui, Ai Peng, Yang Liantao, Shou Li Yong. 2016. The metallogenic characteristics and prospecting direction of graphite deposits in Shanxi province[J]. *China Non-metallic Minerals Industry Guide*, (123):5–6(in Chinese with English abstract).
- Xia Hui, Dai Xiaolong, Liu Xueqing, Xie Mingyong, Zhang Baoguo. 2013. A preliminary study on induced electrical abnormal characteristics and prospecting results of Alatuobie graphite mine in Xinjiang Province[J]. *Western Exploration Project*, (11):150–152 (in Chinese with English abstract).
- Xia Jinsheng, Sun Li, Xiao Keyan, Zhu Yusheng. 2017. Geological characteristics and genetic analysis of graphite deposits in Pinghe, Nanjiang County, Sichuan Province[J]. *Modern Mining*, (573):57–59(in Chinese with English abstract).
- Xiao Keyan, Sun Li, Li Siyuan, Huang An. 2016. Geological characteristics and mineralization potential of graphite resource in China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 37(5):607–614(in Chinese with English abstract).
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui. 2008. Classification Scheme of China Metallogenic Zone[M]. Beijing: Geological Publishing House: 2–5(in Chinese).
- Xue Tianchuang, Yang Shihui, Shen Kun, Qin Xiao. 2016. distribution characteristics of graphite ore deposit and prospecting direction of henan Province[J]. *Zhongzhou Coal*, (429):155–158(in Chinese with English abstract).
- Yan Lingya, Chen Junyuan, Sun Shuxian, Zhou Wen. 2012. Geological characteristics and prospecting criteria of the Liu Gezhuang Graphite Deposit of Pingdu City in Shandong Province[J]. *Land and Resources in Shandong*, 28(2):11–17(in Chinese with English abstract).
- Yu Lei. 2012. Characteristics of graphite deposit in baishan village, Xinrong district, Datong City, Shanxi Province[J]. *Friend of Science Amateurs*, (9):119–120.(in Chinese with English abstract).
- Yu Shijun. 2012. The geological characteristics and prospecting direction of Jiangxi Jinxi area graphite deposit[J]. *Non-Metallic Mines*, 35(3):74–77(in Chinese with English abstract).
- Zeng Qingbin. 2015. Geological characteristics and genesis of the crystal graphite deposit of Shuangxing six team in Jian City[J]. *China Non-metallic Minerals Industry Guide*, (114):42–45(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guoxin, Hu Aiqin, Zhang Hongbin, Zhang Qianfeng, Shen Youlin. 1996. Carbon isotope evidence for ogenesis of graphite deposit of Sujiquan in Xinjiang Province[J]. *Geochemistry*, 25(4): 379–385 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qingping, Tian Chengsheng. 2012. Analysis on geological characteristics and genesis of Sanchaya graphite mine in Hubei Province[J]. *China Non-Metallic Mining Industry Herald*, (90):5–7.
- Zhang Tianyu, Zhang Zhongliang, Li Jinqian. 2014. Review of research on regional metamorphic graphite deposits in China[J]. *China Non-Metallic Mining Industry Herald*, (111):36–38(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiaolin, Fan Wenjun, Li Zuowu, Chen Zhengguo, Chen Junyuan. 2017. Super large crystalline graphite deposit was found in Huangyang mountain, Qitai County, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 44(5): 1033–1034(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xinhui, Tang Zhongli, Liu Jianhong, Ren Shoufeng, Zhao Yanqing. 2012. Study on Mineralization Series in Gansu province[J]. *Gansu Geology*, 16(4):4–5(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zengqi, Liu Mingwei, Song Zhiyong, Zhang Shufang, Luan Hengyan, Chishouxiang, Xu Lijun, Zhao Guanghua, Gao Meixia, Chipeixing. 1996. Rock Formations in Shandong Province[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 58–59(in Chinese).
- Zhao Ranran, Song Shouyong. 2013. Metallogenic condition of graphite ore in Heilongjiang[J]. *Industry and Technology BBS*, 12 (6):64–65.
- Zhao Xiangnan. 2015. Characteristics and genetic analysis of the deposit in the Dulan Province[J]. *China Non-Metallic Mining Industry Herald*, (114):54–55.
- Zheng Yongtao, Gao Jie, Sun li, Hao Peiyao. Geological characteristics and prospecting indicators of the Chahanmuhulu crystalline graphite deposit in Alxa Left Banner of Inner Mongolia[J]. *Journal of Geology*, 40(4):695–700.
- Zhou Di, He Wei. 2013. Geological characteristics and genetic analysis of Xiuyan rich graphite in Liaoning Province[J]. *Groundwater*, 35 (5):151–153 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 安江华, 唐分配, 李杰. 2016. 湖南石墨成矿规律与资源潜力分析[J]. *地质学报*, 30(3):434–437.
- 白建科, 陈隽璐, 彭素霞. 2017. 新疆石墨资源特征及成矿规律[J]. *地质学报*, 91(12):2828–2840.
- 曹芳芳, 王喜亮, 耿同升. 2012. 浙川县五里梁石墨矿区地质特征及成因浅析[J]. *中国非金属矿工业导刊*, (94):43–44.

- 陈隽璐, 白建科. 2016. 新疆东准噶尔地区发现大型晶质石墨矿带[J]. 中国地质调查成果快讯, (9):15-17.
- 成飞, 刘学清, 黄静宇. 2012. 新疆青河县阿拉托别石墨矿床成因分析[J]. 西部探矿工程, (8):177-178.
- 郭巧玲, 王德明, 魏军. 2013. 新疆青河县达布逊石墨矿床地质特征及成矿条件分析[J]. 西部探矿工程, 6: 119-122.
- 国土资源部. 2016. 全国矿产资源储量通报(2016年)[R]. 北京:国土资源部.147-148.
- 李超, 王登红, 赵鸿, 裴浩翔, 李欣尉, 周利敏, 杜安道, 屈文俊. 2015. 中国石墨矿床成矿规律概要[J]. 矿床地质, 36(6):1223-1236.
- 李寒滨, 张冰. 2014. 黑龙江云山石墨矿床变质作用及其意义[J]. 中国非金属矿工业导刊, (108):45-46.
- 李洪卫. 2015. 白云鄂博群石墨矿成因探讨——以大乌店石墨矿为例[J]. 黑龙江科技信息, (30):104.
- 李作武, 张小林, 郭志云, 张磊. 吴亚伦. 2017. 新疆奇台县黄羊山晶质石墨矿找矿成果报告(2015-2017)[R]:78-84
- 梁柯, 赵起超, 员玉强, 赵生俊, 周勋. 2012. 内蒙古自治区阿拉善左旗闫地拉图矿区石墨矿、高岭土矿、铁矿详查报告[R]. 33-37.
- 林国宣, 林子华, 张宁. 2018. 福建省武夷山市桃棋矿区石墨矿普查[C]//2008年中国地质科技新进展和地质找矿新成果资料汇编: 239.
- 刘敬党, 肖荣阁, 张艳飞, 梁帅, 赵青, 白凤军, 张永兴, 王继春, 杨培奇. 刘剑. 2017. 华北显晶质石墨矿床[M]. 北京:科学出版社, 324-328.
- 莫如爵, 刘绍斌, 黄翠蓉, 张光荣, 谭冠民, 王宝炯, 肖祥章. 1989. 中国石墨矿床地质[M].北京:中国建筑工业出版社, 66-85.
- 倪振平, 田京祥, 王来明, 李庆平. 2016. 山东省重要矿产区域成矿规律[M].234-238.
- 齐新国, 谭均, 王志刚, 王立考. 2017. 张北县义哈德一带石墨矿成矿地质条件分析[J].中国非金属矿工业导刊, (2):33-39.
- 邱风, 高建营, 裴银, 张美云. 2016. 黄陵背斜石墨矿地质特征及成矿规律[J]. 资源环境与工程, 29(3):280-281.
- 沈保丰, 翟安民, 杨春亮. 2010. 古元古代——中国重要成矿期[J].地质调查与研究, 33(4):241-256.
- 宋瑞先, 魏明辉, 何宇青. 2013. 张家口地质矿产[M].北京:地质出版社.5-18.
- 宋叔和, 康永孚, 郑直, 涂光炽, 程裕淇, 杜乐天, 叶连俊, 陈毓川, 唐静轩.1996.中国矿床(下册) [M]. 北京:地质出版社, 476-477.
- 孙青松. 2012. 内蒙古扎木敖包矿区矿床成因与找矿标志[J]. 科技传播, 2(上):163-164.
- 王力, 樊俊雷, 冯杨伟. 2017. 石墨资源现状及中国石墨矿床分布[J]. 中国煤炭地质, 29(7):5-9.
- 王立君. 2015. 辽宁省北镇市杜屯地区石墨矿地质特征及资源概况[J].地球, (5):106.
- 王林. 2016. 攀枝花三大湾区岩浆岩对石墨矿质量的影响[J]. 绿色环保建材, 206:235-236.
- 王时麒. 1989. 内蒙兴和石墨矿含矿建造特征与矿床成因[J].矿床地质, 8(1):85-96.
- 魏均启, 鲁力, 边智虹, 周亮亮, 王芳, 朱丹. 2017. 湖北省广水市芦花湾石墨矿地质特征及矿石物质组成研究[J].资源环境与工程, 31(1):102-115.
- 吴培水, 艾蓬, 杨联涛, 寿立永. 2016. 陕西省石墨矿床成矿特征及找矿方向[J]. 中国非金属矿工业导刊, (123):5-6.
- 夏辉, 代晓龙, 刘学清, 谢名永, 张保国. 2013. 新疆阿拉托别石墨矿激电异常特征及找矿效果的初步研究[J].西部探矿工程, (11): 150-152.
- 夏锦胜, 孙莉, 肖克炎, 朱裕生. 2017. 四川省南江县坪河石墨矿床地质特征及成因分析[J]. 现代矿业, (573):57-59.
- 肖克炎, 孙莉, 李思远, 黄安. 2016. 我国石墨矿产地质特征及资源潜力分析[J]. 地球学报, 37(5):607-614.
- 薛天闯, 杨士辉, 沈坤, 秦潇. 2016. 河南省石墨矿床分布特征及找矿方向[J].中州煤炭, (9):155-158.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社, 2-5.
- 颜玲亚, 陈军元, 杜华中, 孙淑贤, 周雯. 2012. 山东平度刘戈庄石墨矿地质特征及找矿标志[J]. 山东国土资源, 28(02):11-17.
- 于雷. 2012. 山西省大同市新荣区白山村石墨矿床特征浅析[J]. 科学之友, (9):119-120.
- 余仕军. 2012. 江西金溪地区石墨矿床地质特征及找矿方向[J]. 中国非金属矿工业导刊, 35(3):74-77.
- 曾庆彬. 2015. 集安市双兴六队晶质石墨矿床地质特征及成因[J]. 中国非金属矿工业导刊, (114):42-45.
- 张国新, 胡霁琴, 张鸿斌, 张前峰, 申佑林. 1996. 新疆苏吉泉石墨矿床成因的碳同位素证据[J]. 地球化学, 25(4):379-385.
- 张清平, 田成胜. 2012. 湖北三岔娅石墨矿地质特征及成因分析[J]. 中国非金属矿工业导刊, (90):5-7.
- 张天宇, 张忠良, 李金钱. 2014. 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, (111):36-38.
- 张小林, 樊文军, 李作武, 陈正国, 陈军元. 2017. 新疆奇台县黄羊山发现超大型晶质石墨矿床[J]. 中国地质, 44(5):1033-1034.
- 张新虎, 汤中立, 刘建宏, 任丰寿, 赵延庆.2012.甘肃省矿床成矿系列研究[J]. 甘肃地质, 16(4):4-5.
- 张增奇, 刘明渭, 宋志勇, 张淑芳, 栾恒彦, 迟守祥, 徐立军, 赵光华, 高美霞, 迟培星. 1996. 山东省岩石地层[M]. 北京:中国地质大学出版社, 58-59.
- 赵然然, 宋守永. 2013. 黑龙江省石墨矿成矿条件探究[J]. 产业与科技论坛, 12(6):64-65.
- 赵想安. 2015. 都兰县查汗达洼特石墨矿床特征及成因分析[J]. 中国非金属矿工业导刊, (114):54-55.
- 郑永涛, 高洁, 孙莉, 郝培琰. 2016. 内蒙古阿拉善左旗查汗木胡鲁晶质石墨矿地质特征及找矿标志[J]. 地质学刊, 40(4):695-700.
- 周岷, 何伟. 2013. 辽宁岫岩丰富石墨矿地质特征及成因分析[J].地下水, 35(5):151-153.