第91卷 第12期 地 质 学 报 ACTA GEOLOGICA SINICA Vol. 91 No. 12 2017
2017年12月 2828～2840 Dec. 2828～2840

新疆石墨资源特征及成矿规律

白建科[1,2)]，陈隽璐[1,2)]，彭素霞[1,2)]

1）中国地质调查局西安地质调查中心，西安，710054；

2）中国地质调查局造山带地质研究中心，西安地质调查中心，西安，710054

内容提要：石墨是高新技术产业发展中不可或缺的重要战略资源。我国石墨资源虽然储量丰富，但主要集中分布于东部地区。近年来，新疆新发现黄羊山、孔可热、达布逊、吐尔库里等一批大型石墨矿床，查明资源量超过1亿吨，使新疆一跃成为我国石墨大省，有望改变我国石墨资源分布格局。根据矿床成因特征，新疆石墨矿床可以划分为以下3种类型：①区域变质型，主要分布于古老地块周缘元古代深变质岩系中，成矿时代集中于新元古代和早古生代；②接触变质型，主要分布于东准噶尔古生代造山带中，含矿岩系为泥盆－石炭纪碎屑岩，成矿时代主要为晚石炭世－早二叠世；③岩浆热液型，赋矿围岩为海西期（320～270Ma）碱长花岗岩，成矿时代与岩浆侵入时代一致。根据石墨矿床成因类型、控矿因素及典型矿床特征，将新疆石墨成矿区划分为2个成矿区带，6个成矿亚带，为今后新疆石墨找矿提供理论依据。

关键词：石墨矿；矿床类型；成矿规律；成矿区带；新疆

据中国石墨资源调查报告❶，我国石墨资源基础储量丰富，截至2015年底，晶质石墨查明资源储量2.6亿吨，预测资源潜力18.7亿吨，约占世界的33%，仅次于巴西（约占世界的38%），位居世界第二位。但地区分布不均衡，集中产出于黑龙江、内蒙古、山东、四川和山西等省区，占全国的87.6%，其中黑龙江占全国的46.9%，呈现出“东多西少”的分布格局。近年来，随着资源勘查程度的提高，新疆东准噶尔、天山等地区相继发现一批石墨矿床，石墨类型多样，矿床类型齐全，储量丰富，查明资源量超过1亿吨，有望建成我国石墨资源勘查基地。本文将在介绍新疆新发现石墨矿床地质特征、成因类型、控矿因素及相应典型矿床的基础上，合理划分石墨成矿区带，总结石墨矿床成矿规律，为新疆石墨找矿和后续勘探开发提供依据。

1 新疆石墨资源特征

近年来，石墨和其他矿产资源一样，由于地质矿产勘查程度的提高，资源勘查取得了很大进展，新疆石墨资源储量有了很大提高，而且发现了一批大型乃至特大型石墨矿床。截至2016年底，新疆已发现石墨矿产地10余处，主要分布于东准噶尔地区，该地区广泛发育泥盆－石炭纪海陆过渡相含炭质砂岩、粉砂岩、泥岩或页岩，其后演化过程中经历了一系列构造－热事件，为石墨矿床的形成提供了有利条件。石墨赋存于地层或岩体中：①石墨矿体产出于泥盆－石炭纪地层中，代表性矿床有：青河县阿拉托别晶质石墨矿、青河县孔可热和达布逊晶质石墨矿及伊吾县吐尔库里晶质石墨矿等；②石墨矿体产出于晚石炭世碱性花岗岩体中，以奇台县黄羊山和苏吉泉晶质石墨矿为代表。东准噶尔地区查明石墨资源储量和预测资源量占全疆的95%以上，矿床规模达到大型（图1）。其次是前寒武纪古老地块分布区，该区广泛发育太古宙－元古宙变质岩石，石墨矿体呈似层状或透镜体状，“顺层”产出于大理岩或石英片岩夹层中。重要石墨矿床有：温泉县苏鲁别珍石墨矿、和静县扎克斯台石墨矿和鄯善县玉泉山石墨矿等。

2 新疆石墨矿床类型

石墨矿床的成因类型可分为区域变质矿床、接触变质矿床及岩浆热液矿床三类，即：中－深变质岩

注：本文为中国地质调查局地质调查项目（编号：DD20160006，DD20179608，DD20179608）资助的成果。

收稿日期：2017-06-05；改回日期：2017-08-11；责任编辑：黄敏。

作者简介：白建科，男，1983年生，高级工程师，主要从事沉积学、盆地分析与造山带演化。通讯地址：陕西省西安市碑林区友谊东路438号；Email：baijianke2003@163.com。

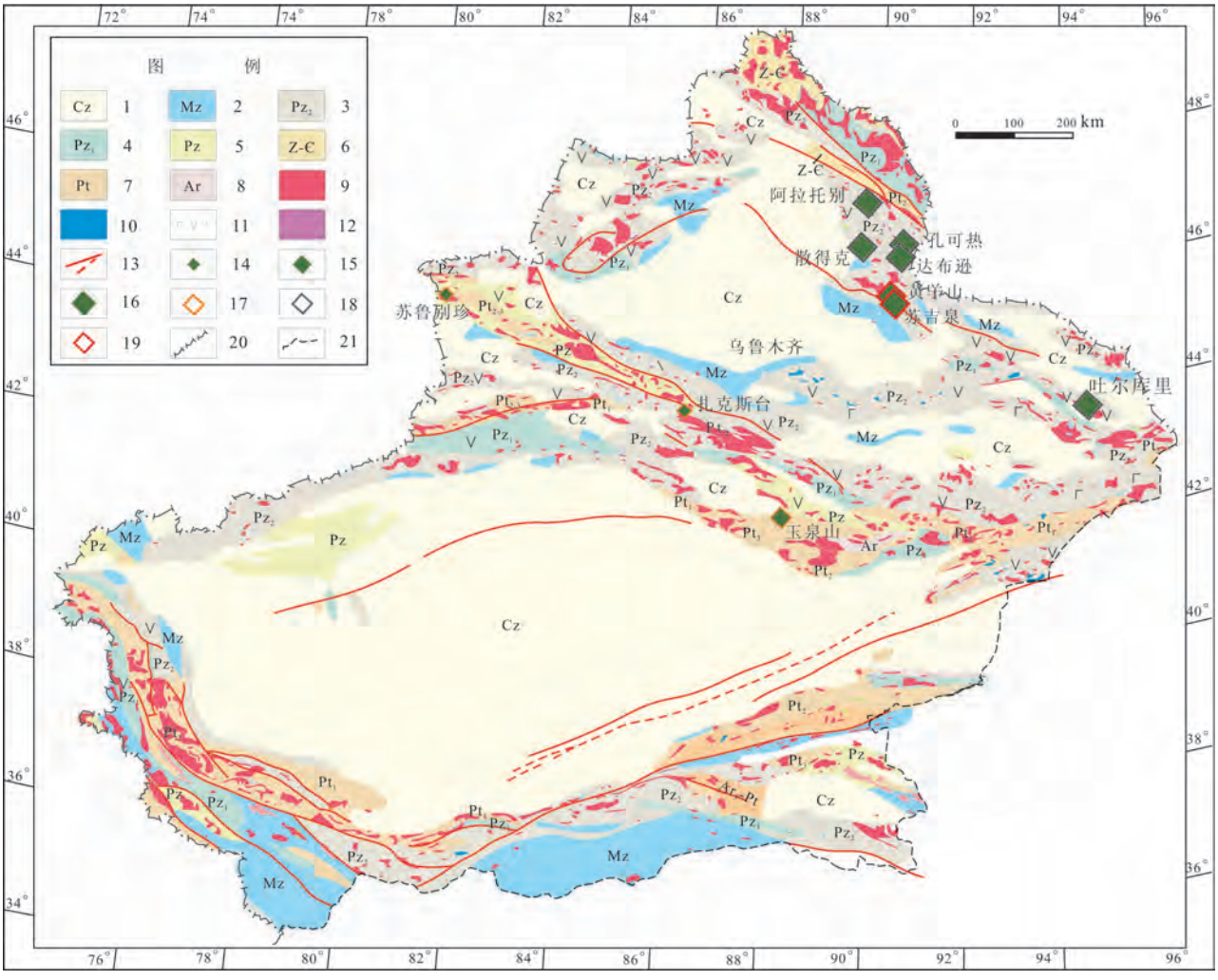


图 1　新疆石墨矿床分布示意图

Fig. 1　The distribution of graphite deposits in Xinjiang

1—新生界;2—中生界;3—上古生界;4—下古生界;5—古生界;6—震旦—寒武系;7—元古界;8—太古界;9—花岗岩;10—中基性岩;11—火山岩;12—蛇绿岩;13—断层;14—小型石墨矿;15—中型石墨矿;16—大型石墨矿;17—区域变质型;18—接触变质型;19—岩浆热液型;20—国界;21—省界

1—Cenozoic; 2—Mesozoic; 3—Upper Palaeozoic; 4—Lower Palaeozoic; 5—Palaeozoic; 6—Cambrian-Sinian System; 7—Proterozoic; 8—Archean; 9—granite; 10—intermediate-basic rock; 11—volcanic rock; 12—ophiolite; 13—faults; 14—small graphite deposit; 15—medium graphite deposit; 16—large graphite deposit; 17—regional metamorphic type; 18—contact metamorphic type; 19—magmatic hydrothermal type; 20—national boundary; 21—province boundary

系中的晶质石墨矿床、变质煤系地层中的隐晶质石墨矿床及与岩浆热液作用有关的石墨矿床三类(Mo Rujue et al., 1989)。传统概念中,将石墨晶体片度大于 1mm 的划分为鳞片状石墨,小于 1mm 的划分为隐晶质石墨;相应的,石墨矿床也可以分为晶石(鳞片状)石墨矿和隐晶质(土状)石墨矿两类(Mo Rujue et al., 1989; Li Chao et al., 2015; Xiao Keyan et al., 2016)。但在实际工作中发现,很多石墨矿床的石墨片度经常(同时包含大于 1mm 和小于 1mm)是混合型的,例如:山东南墅石墨矿岳石矿床矿石类型同时包含晶质和隐晶质石墨矿石;四川坪河石墨矿床也属于晶质和隐晶质石墨混合类型的石墨矿床,晶质石墨和隐晶质石墨比例为 4∶1～5∶1。因此,不能笼统简单地将矿床划分为晶质石墨矿或隐晶质石墨矿,应根据矿石中鳞片状矿石和隐晶质矿石各自所占的比例大小,合理确定石墨矿床类型。

新疆的石墨矿床类型较齐全,根据成矿地质背景、控矿因素及成矿作用特征的不同,划分为:①区域变质型(如温泉县苏鲁别珍、鄯善县玉泉山等)、②接触变质型(青河县阿拉托别、达布逊和孔可热等)和③岩浆热液型(奇台县黄羊山和苏吉泉等)3 类。

3 典型矿床

3.1 区域变质型石墨矿

主要分布于新疆诸多古老地块(赛里木地块、伊犁地块、中天山地块及库鲁克塔格地块等)周缘,这些地块虽然成因与构造属性有所不同,但都由新太古代—元古代变质岩系组成(Shu Liangshu et al., 2013)。石墨矿床产于元古代深变质地质体中,含矿围岩主要为一系列不同程度的变质岩类,如片麻岩、片岩、角闪岩及大理(透辉)岩,原岩建造多为含炭质黏土岩—中基性火山岩—碳酸盐岩(表 1)。扎克斯台石墨矿产于中天山地块长城纪星星峡群(ChX.)石墨片岩中,变质程度为低角闪岩—高绿片岩相,矿石呈微—细粒晶质结构,固定碳平均品位 8%;玉泉山石墨矿床产于库鲁克塔格地块北缘古元古界兴地塔格群辛格尔组(Pt_1X_x)云母石英片岩中,变质程度为绿片岩—角闪岩相,矿石呈鳞片粒状变晶结构、鳞片—片状变晶结构、纤束状变晶结构等,固定碳平均品位 4.32%~4.72%(Chen Gang et al., 2009);苏鲁别珍石墨矿床产于赛里木地块南缘新元古界温泉岩群(Pt_3W.)含石墨大理岩中,变质程度为角闪岩相,矿石主要呈自形—半自形结构、鳞片粒状变晶结构,固定碳平均品位 2.00%~9.89%(Shao Qinguo et al., 2016)。

表 1 新疆区域变质型石墨矿床的地质特征表

Table 1 The geological features of the regional metamorphic graphite deposits in Xinjiang

矿床名称	扎克斯台石墨矿	玉泉山石墨矿	苏鲁别珍石墨矿
赋矿地层	中元古界长城纪星星峡群(ChX.)	古元古界兴地塔格群辛格尔组(Pt_1X_x)	新元古界温泉岩群(Pt_3W.)
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	白云石大理岩、云母石英片岩、石榴石石英片岩	混合岩、黑云母斜长片麻岩、二云石英片岩、大理岩、变粒岩
原岩建造	中基性火山岩及浅海相碎屑岩—碳酸盐岩	滨浅海碳酸盐岩—碎屑岩	浅海相碎屑岩、中基性火山岩夹碳酸盐岩
特征变质矿物	斜长石、黑云母、石英、角闪石等	角闪石、石榴石、紫苏辉石、矽线石、绿泥石、绿帘石等	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	绿片岩—角闪岩相	角闪岩相
矿石自然类型	微—细粒晶质石墨	鳞片状晶质石墨	鳞片状晶质石墨
固定碳品位	8%	4.32%~4.72%	2.00%~9.89%
石墨矿物特征	微—细粒结构,鳞片粒径 0.03~0.25mm,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—片状或星散状结构,鳞片粒径大于 50 目(0.30mm)占 52%,石墨呈条带状、带状、细线状、纤维状—片状分布于造岩矿物颗粒间,沿片理方向定向排列	鳞片—片状结构,鳞片粒径 0.15~0.38mm,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

在区域变质作用过程中,原岩中的有机质在还原条件下发生脱氧、脱氢反应,结晶成鳞片状石墨,主要见于地壳早期有较高热流值的深变质体内(Sanyal et al., 2009)。这些地体的含矿建造沉积于古老地块被动大陆边缘滨浅海环境,石墨矿床成矿作用过程与一定的构造—热事件相联系,且多产出于古老地块的变质岩中(Buseck et al., 2014),受多期变质叠加影响。由于经历变质作用持续时间长、变质程度高,且具多期叠加成矿特点,往往形成鳞片状晶质石墨。在这些区域变质型石墨矿床中,混合岩化作用十分普遍。混合岩化作用主要表现为局部重熔、交代和重结晶作用,以致在片麻岩中产生特殊的长英质伟晶岩(脉体),石墨也随之发生局部迁移且鳞片结晶变大(Mo Rujue et al., 1989; Li Chao et al., 2015)。

玉泉山石墨矿床:位于新疆鄯善县境内,地处库鲁克塔格古老地块北缘,属于区域变质型石墨矿。石墨的主要成矿期与区域 3 期变质作用相对应,第Ⅰ期为低角闪岩相低压相系变质,是主要成矿阶段,形成大量石墨矿物;第Ⅱ期为区域动力热流变质,形成高绿片岩相中压相系变质,继续形成大量石墨矿物;第Ⅲ期为区域低温动力变质,由于四堡期变质作用叠加结果影响,产生低绿片岩相退变质,是最主要的成矿期,之后又叠加韧性剪切变形变质作用,最终形成鳞片状晶质石墨(Li Wei et al., 2009; Chen Gang et al., 2009)。石墨矿化体总体呈不规则透镜状,目前圈出 5 条石墨矿体,其中 L1 石墨矿体规模较大,长 1450m,延深约 129m 以上,厚 46.65 米,石墨片径大于 50 目(0.3mm)的占 52%,固定碳平均品位为 5.38%(Chen Gang et al., 2009)。玉泉山石墨矿与我国典型区域变质型石墨矿床(南墅、柳毛等)(Ma Yubo et al., 2016)成矿模式具可对比性。

3.2 接触变质型石墨矿

该类矿床主要见于活动构造带中,构造—岩浆岩带内富含有机质泥岩、页岩或煤系地层,经过中酸

性岩浆热液接触变质作用重结晶,形成隐晶质－微晶石墨(Mo Rujue et al., 1989)。含矿岩系的时代从石炭－二叠纪至侏罗纪,其中最重要的是以二叠纪及侏罗纪煤系地层为主(Shao Zhifu et al., 1988; Liu Jianan, 2006; Zhang Weiyu, 2010; Xiao Keyan et al., 2016)。新疆东准噶尔地区古生代期间经历了复杂的洋陆转化过程,晚古生代开始,除古陆块边缘仍有海盆存在外,大部分区域泥盆－石炭纪沉积了一套海陆过渡相、浅海相碎屑岩,夹多套含炭质泥岩或页岩(Bai Jianke et al., 2014; Xu Xueyi et al., 2014; Li Zhensheng et al., 2016)。海西期大规模岩浆活动为有机碳变质转化成石墨提供了充足的热源。截至 2016 年,东准噶尔地区已发现与接触变质作用有关的石墨矿床 5 处(图 1,表 2),其中阿拉托别、孔克热、达布逊、吐尔库里等 4 处石墨矿床均达到大型规模。

表 2　东准噶尔地区接触变质型石墨矿床的地质特征表

Table 2　The geological features of the contact metamorphic graphite deposits in Xinjiang

矿床名称	阿拉托别石墨矿	孔可热石墨矿	达布逊石墨矿	吐尔库里石墨矿
赋矿地层	中泥盆统北塔山组(D_2bt)	下石炭统姜巴斯套组(C_1j)	中泥盆统蕴都喀拉组(D_2yd)	顶志留－下泥盆统红柳沟组(S_3D_1h)
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、晶屑岩屑凝灰岩、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
岩浆活动	安山玢岩、闪长玢岩、花岗斑岩	黑云母二长花岗岩、闪长玢岩、辉长岩	钾长花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩及基性岩	石英闪长岩
围岩蚀变	绢云母化、高岭土化、糜棱岩化、黄铁矿化、	绿泥石化、绢云母化	绢云母化、绿泥石化、绿帘石化	绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、褐铁矿化
矿石构造	条带状、脉状、块状、浸染状构造	条带状、脉状、浸染状构造	似层状构造、脉状、浸染状构造	片状、条带状、薄层状、块状构造
固定碳品位	7.6%	14.77%	15.6%	10.26%
石墨矿物特征	半自形－它形板状结构,次为微鳞片状、碎粒状及碎裂结构,片径为 0.02～0.06mm,鳞片呈碎裂化集合体定向分布	鳞片状和叶片状,片径为 0.001～0.2mm,最大可达 0.5mm,石墨呈条带状、带状、细线状分布在脉石矿物颗粒间	细鳞片－显微鳞片状结构,片径为 0.01～0.15mm,石墨呈板状定向分布,石墨普遍碎裂,裂纹很发育	鳞片－显微鳞片结构、碎裂结构,片径为 0.01～0.20mm 之间,定向分布于石英和绢云母间

东准噶尔地区石墨矿床在成因表征上确有许多独特之处,其中最重要的有两点:一是它的沉积变质层控型,孔可热、达布逊、散得克、吐尔库里等矿床均赋存于泥盆－石炭纪细碎屑岩中,层控特征明显(图 2a),并且泥质粉砂岩、炭质板岩和矿体内多见植物化石碎片(图 2b);二是构造－岩浆对成矿的控制作用,这些矿床均处于一系列构造蚀变破碎带中,构造破碎作用强烈,剪切应力作用使得石墨矿体中残留砂岩发生塑性变形(图 2c),形成砂岩透镜体(图 2d),构造控矿作用更重要的是导致酸性或中酸性花岗岩、闪长岩的侵入,酸性岩浆黏稠度低,流动性好,有利于热的传递,同时富含挥发性气体,可起催化剂和助溶剂的作用,有利于有机碳转化成石墨。岩浆热液常沿向背斜轴部或断层等构造有利部位侵入,促使岩体外接触带的富含有机质地层变质成石墨矿体(图 2e),且岩浆分异过程中形成石英细脉,呈枝状或网脉状穿插到石墨矿体中(图 2f)。探槽工程揭露显示(图 2g),散得克石墨矿矿体呈似层状产出,总体走向呈北西－南东向,倾向 72°～80°,探槽控制矿体宽度 4.1～12m,具多层产出特征,受后期酸性侵入岩叠加作用影响,岩浆活动产生的热能使得靠近岩体部位石墨结晶程度较好,晶质石墨片径变大(图 2h,2i)。后期叠加脆性断裂作用,使得矿体较为破碎。

吐尔库里石墨矿:矿床位于东准噶尔卡拉麦里－莫钦乌拉大断裂北侧的马依当复式背斜中,属于接触变质型石墨矿。赋矿围岩为顶志留－下泥盆统红柳沟组(S_3D_1h)含炭粉砂岩、泥岩,有机碳变质转化成石墨,至少经历了 3 期变质作用:①区域变质作用,以强应力和低温条件下形成具有劈理构造(轴面劈理、破劈理)作用为主,形成绢云母－绿泥石变质带;②热液变质作用,石英闪长质热液侵入红柳沟组碎屑岩,发生交代及重结晶作用,接触带部位具角岩化;③动力变质作用,表现为岩石发生破碎、变形、重结晶作用。石墨具两期成矿特征,早期石墨呈微细鳞片－显微鳞片,片径为 0.01～0.15mm;稍晚期石墨片径较早期明显变大,石墨呈条带状、鳞片状分布,结晶较粗,片径在 0.15～2.00mm 之间,碎裂变形明显,且碎裂、位移成阶梯状或条带状展布❷。

3.3　岩浆热液型石墨矿

该类型石墨矿是与火成岩(大洋玄武岩、超基性岩或基性岩、金伯利岩及花岗岩等)有关石墨矿床,

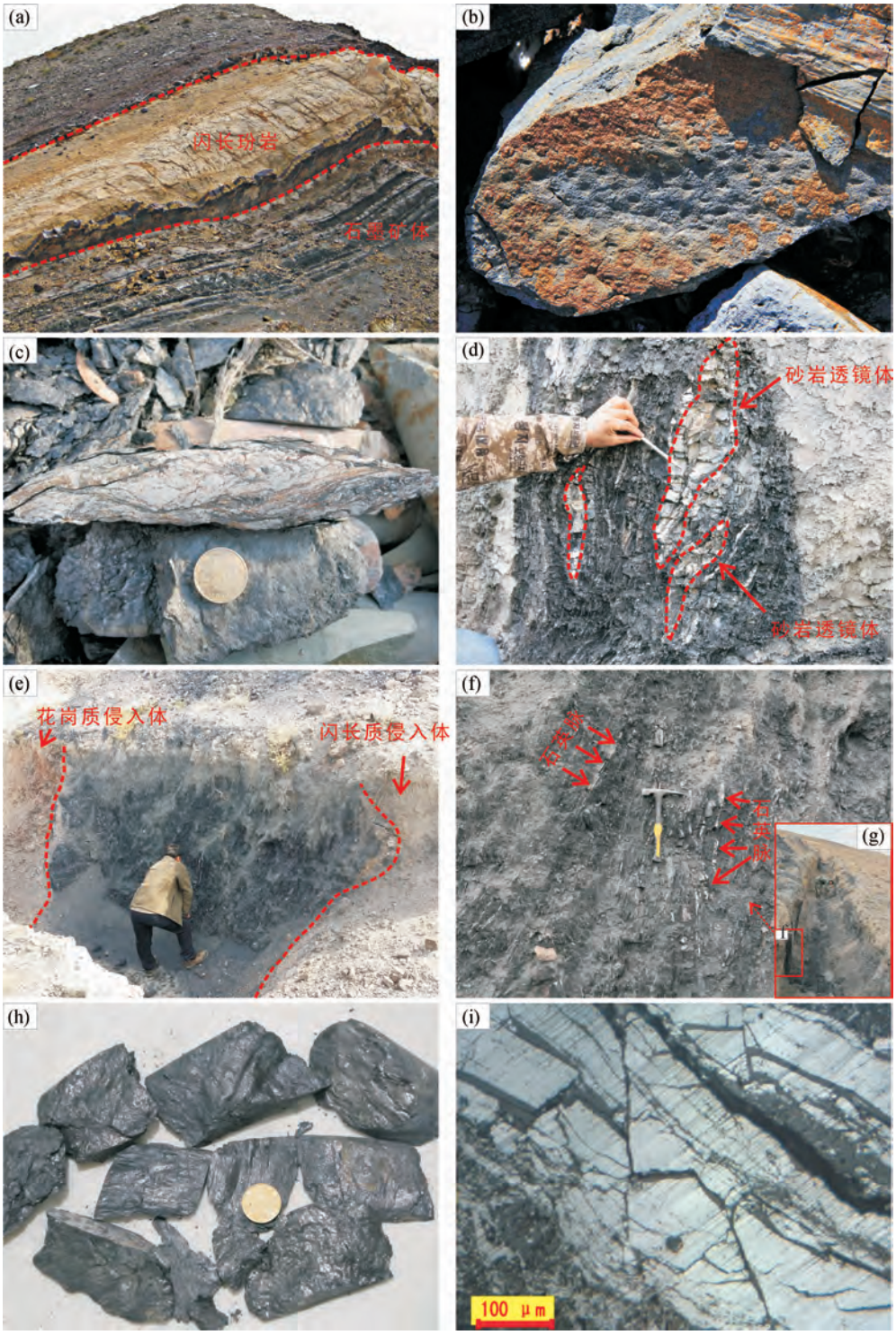


图 2 东准噶尔地区接触变质型石墨矿床典型照片

Fig. 2 Field photos of contact metamorphic type graphite deposits in eastern Junggar

(a)—层状石墨矿体和顺层侵入闪长玢岩;(b)—砂岩中植物化石;(c)—塑性变形砂岩;(d)—残余砂岩透镜体;(e)—侵入体与石墨矿体接触关系;(f)—石英脉呈网状或枝状穿插于矿体中;(g)—探槽工程;(h)—钻孔中石墨;(i)—显微镜下片状石墨(a, b, i 来自孔可热石墨矿;c, d, e, f, g, h 来自散得克石墨矿)

(a)—bedded ore-body and dioritic porphyrite which intruded roughly along the strata; (b)—plant fossils in sandstone; (c)—plastic deformation in sandstone; (d)—residual sandstone lenses; (e)—contact relationship between intrusive rocks and graphite ore body; (f)—quartz veins interpenetrated as network or branch; (g)—graphite in prospecting trench; (h)—characteristics of graphite in the borehole; (i)—flake graphite under microscope (a,b, i from Kongkere graphite deposit; c, d, e, f, g, h from Sandeke graphite deposit)

重要组成部分(Edward et al., 1986)。岩浆热液型石墨矿作为石墨矿床的特殊成因类型,是指与中酸性岩浆有关的石墨花岗岩或石墨长英岩,主要分布在我国新疆地区(Mo Rujue et al., 1989; Yan Zhengfu et al., 1990; Liu Songbai et al., 2001; Li Chao et al., 2015)。目前已发现 2 处岩浆热液型石墨矿床,均位于新疆东准噶尔卡拉麦里地区,石墨赋存于晚石炭世碱性花岗岩体中,以奇台县苏吉泉和黄羊山岩浆热液型石墨矿为代表。矿石由岩浆热液不同阶段的结晶矿物和石墨组成,共生矿物比较复杂,石墨呈大小不等的球状、豆状、球斑状、复球团块状(图 3a)或细鳞片浸染状(图 3b)富集于混染花岗岩的膨大部位。以往研究者认为该类矿床成矿作用有限,一般只能形成一些小型矿床,中型规模实属罕见,以新疆东准噶尔苏吉泉石墨矿为代表(Mo Rujue et al., 1989; Yan Zhengfu et al., 1990; Zhang Guoxin et al., 1996; Liu Songbai et al., 2001)。但最新勘查成果显示,黄羊山石墨矿仅②号矿体石墨矿物资源量就达 2122 万吨,为超大型规模[3],改变了岩浆热液型石墨矿无大矿的传统认识。矿石类型独特,其中的球状石墨世界罕见,仅发现于中国新疆、日本北海道、加拿大魁北克等地,天然球状石墨对新型碳材料的制备有重要实际意义(Chuan Xiuyun et al., 2012)。

东准噶尔地区岩浆热液型石墨矿具独特的"球状"特征,石墨集合体呈大小不一(球径 0.2 ~8cm 不等)的球体(图 3a),根据石墨矿石形态、组成及大小等特点,可以划分出 3 种矿石类型(Zhang Guoxin et al., 1996):①球状构造:石墨鳞片聚集成大小不等的浑圆球体,表面粗糙,球径一般大于 1cm,最大可达 8cm,球体内部包裹花岗岩残留体或其中的析离体,构成所谓"夹心"球体,其中的"夹心"多为长英质或花岗质角砾岩(图 3a);②豆状构造:石墨鳞片构成细粒球体,呈豆状体,球径一般在 1cm 以下,

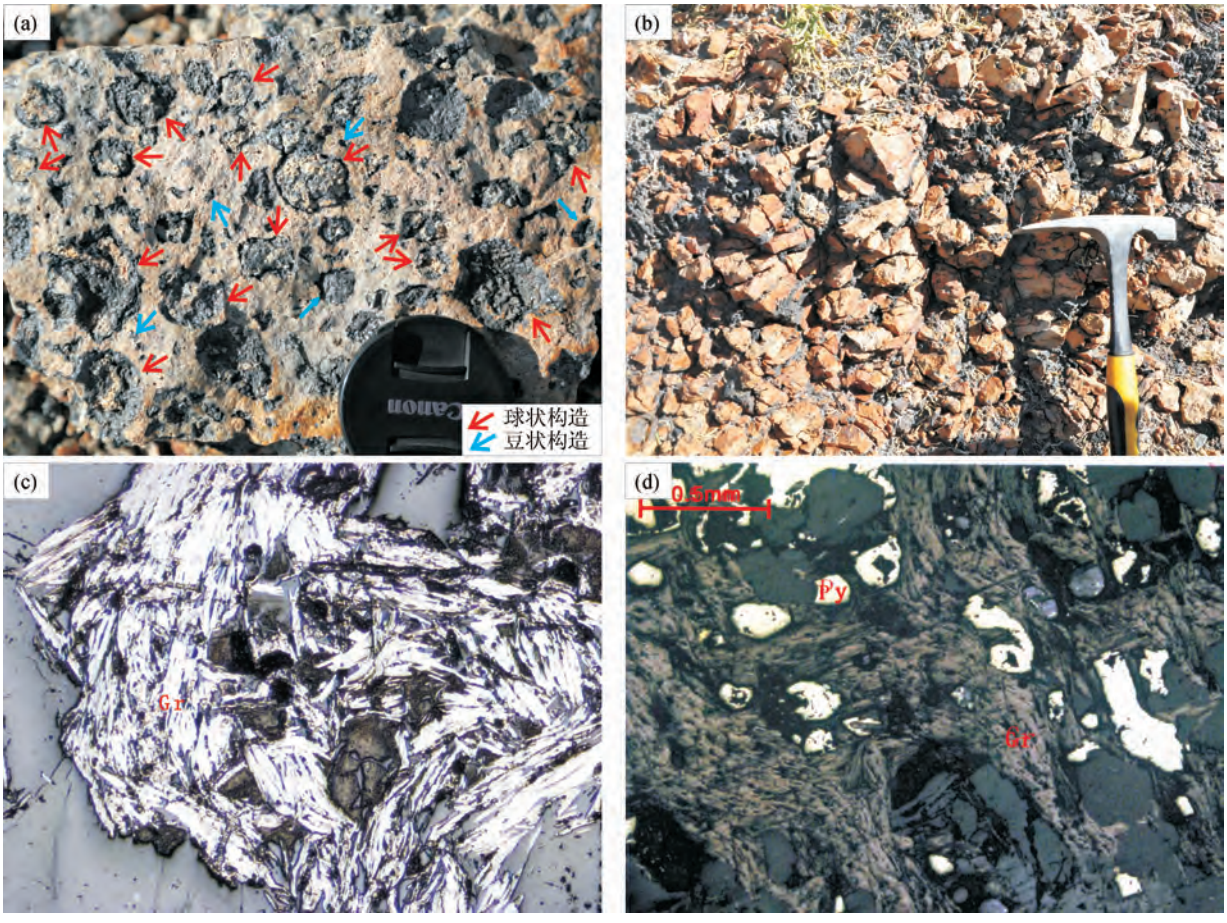


图 3　东准噶尔地区岩浆热液型石墨矿床典型照片

Fig. 3　Field photos of typical magmatic hydrothermal graphite deposits in eastern Junggar

(a)—球状、豆状石墨;(b)—浸染状石墨;(c)—单偏光镜下鳞片状石墨(5×);(d)—单偏光镜下网脉状石墨

(a)—spherulitic and pisolitci graphite; (b)—disseminated graphite; (c)—flake graphite under the polarized light microscope(5×); (d)—net vein-mass graphite under the polarized light microscope

“夹心”很少,石墨含量较高;③浸染状构造:石墨鳞片集合体呈不均匀浸染状分布于混合岩化角闪花岗岩中,常见石墨脉体杂乱散布于花岗岩体内(图3b)。显微镜下,石墨表现为鳞片状—叶片状集合体,呈板条状、网脉状分布,造岩矿物溶蚀成圆形并被包裹(图3c),可见到黄铁矿(Py)矿物颗粒沿石墨集合体间隙分布(图3d)。岩浆上升过程中同化混染石炭纪含炭有机质地层,使其中有机质发生变质而形成石墨,并在岩浆沸腾翻滚条件下形成具有球状构造的石墨矿石(Zhang Guoxin et al., 1996; Liu Songbai et al., 2011)。

黄羊山石墨矿:矿床位于东准噶尔卡拉麦里深大断裂北侧的黄羊山碱性花岗岩岩体内,石墨以球状、豆状及不规则脉状等形态产出。该岩体的侵位受控于卡拉麦里和清水-苏吉泉断裂,具多期次侵入特征,形成同心环状构造,含石墨碱长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 304.6±3.7Ma(另文发表),石墨矿成矿时代,为晚石炭世石墨成矿有利部位为第三、第五及第六期次花岗岩的接触带,该带实际上是一断层破碎带,既是导矿通道,也是容矿场所。黄羊山矿区新发现 8 个石墨矿体,对其中的②号石墨矿体经钻探验证,其厚度可达 351m,矿化均匀且连续见矿,固定碳平均品位 7.01%,石墨片径+100 目(大于 0.147mm)占比 30%~35%,深部可达到 40%~50%,仅②号矿体石墨矿物资源量就达 2122 万吨[3],是迄今为止新疆乃至全国发现的规模最大的岩浆热液型晶质石墨矿。

4 区域成矿规律

4.1 成矿时代

石墨矿床系富含有机质沉积地层受变质作用而形成,是由沉积地质作用和变质地质作用共同作用的结果,因此,其成矿时代包括含碳地层的沉积时代和变质时代。新疆石墨矿床的沉积时代主要集中在元古宙和晚古生代,石墨成矿类型不同,其成矿时代也存在显著差异。区域变质型石墨矿床沉积时代为元古宙;接触变质型和岩浆热液型石墨矿床沉积时代为晚古生代泥盆—石炭纪。

新疆区域变质型石墨矿床赋矿围岩均为元古界深变质岩系,区域分布广泛,变质作用时代主要集中在新元古代和早古生代。由于新疆构造演化复杂性和多阶段性,古老地块经历多期古大陆的聚合—裂解事件,显生宙早期,又通过板块俯冲、增生或碰撞拼贴在一起。这些古老地块上的含碳沉积地层可能会经历多期次区域变质作用和岩浆热事件影响,使得石墨矿床变质时代可能存在多期性。如:扎克斯台石墨矿赋矿围岩为中元古界星星峡群,花岗闪长片麻岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄在 1436~1405Ma 之间,后受到新元古代早期(960~913Ma)(Hu Aiqin et al., 2010)和奥陶纪(475~450Ma)(Huang Gang et al., 2012; Li Ping et al., 2017)变质作用和岩浆活动的改造,形成一些混合岩和花岗片麻岩。玉泉山石墨矿赋矿围岩为古元古界兴地塔格群辛格尔组,沉积时代为 1700~1600Ma,与华北元古代岭沟组—大红峪组碳同位素组成具可比性(Yang Ruidong et al., 2010)。中元古代晚期—新元古代早期(1100~860Ma)发生强烈的构造—岩浆事件,伴随发生地层的变质变形及中酸性岩浆侵入活动(Cao Xiaofeng et al., 2015)。苏鲁别珍石墨矿赋矿围岩为新元古界温泉岩群,其眼球状片麻岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 940~913Ma(Hu Aiqin et al., 2010),同期侵入的混合岩浅色体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 926±12Ma(Li Kongsen et al., 2013),指示经历了与新元古代 Rodinia 超大陆汇聚有关的格林威尔造山作用、地壳增厚事件。晚奥陶世(460~450Ma)期间发生大规模的洋壳俯冲消减作用,形成与俯冲有关的岛弧岩浆岩(Hu Aiqin et al., 2008)。

新疆接触变质型石墨矿赋矿围岩为泥盆—石炭纪含碳碎屑岩系,岩浆热液型石墨矿直接赋存于碱性花岗岩体中。虽然 2 类石墨矿成因类型不同,但矿床成因均与岩浆作用关系密切,其变质时代与岩浆侵入时代一致(Li Chao et al., 2015)。新疆北部准噶尔板块向西伯利亚板块的增生拼贴过程于早古生代末期完成,并于早期强烈碰撞阶段伴随造山带及其毗邻区广泛的岩浆活动(Wang Tong et al., 2016)。晚泥盆—早石炭世开始,北疆地区整体进入后碰撞构造演化阶段,发育大规模后碰撞阶段岩浆活动(图4)。东准噶尔地区后碰撞岩浆活动从晚石炭世一直延续到早二叠世(320~270Ma),峰值在 310~300Ma。这些后碰撞碱性(A 型)花岗岩侵入到泥盆—石炭纪含碳碎屑岩中,使地层中的有机碳转变成石墨。因此,新疆接触变质型和岩浆热液型石墨矿床变质时代主要为晚石炭—早二叠世。

4.2 分布规律

成矿(区)带是指一定时期地质、构造、以及成矿作用上具有共性的地区,多呈狭长的带状分布。成矿带规模大小不等,大成矿带的范围可与全球范围

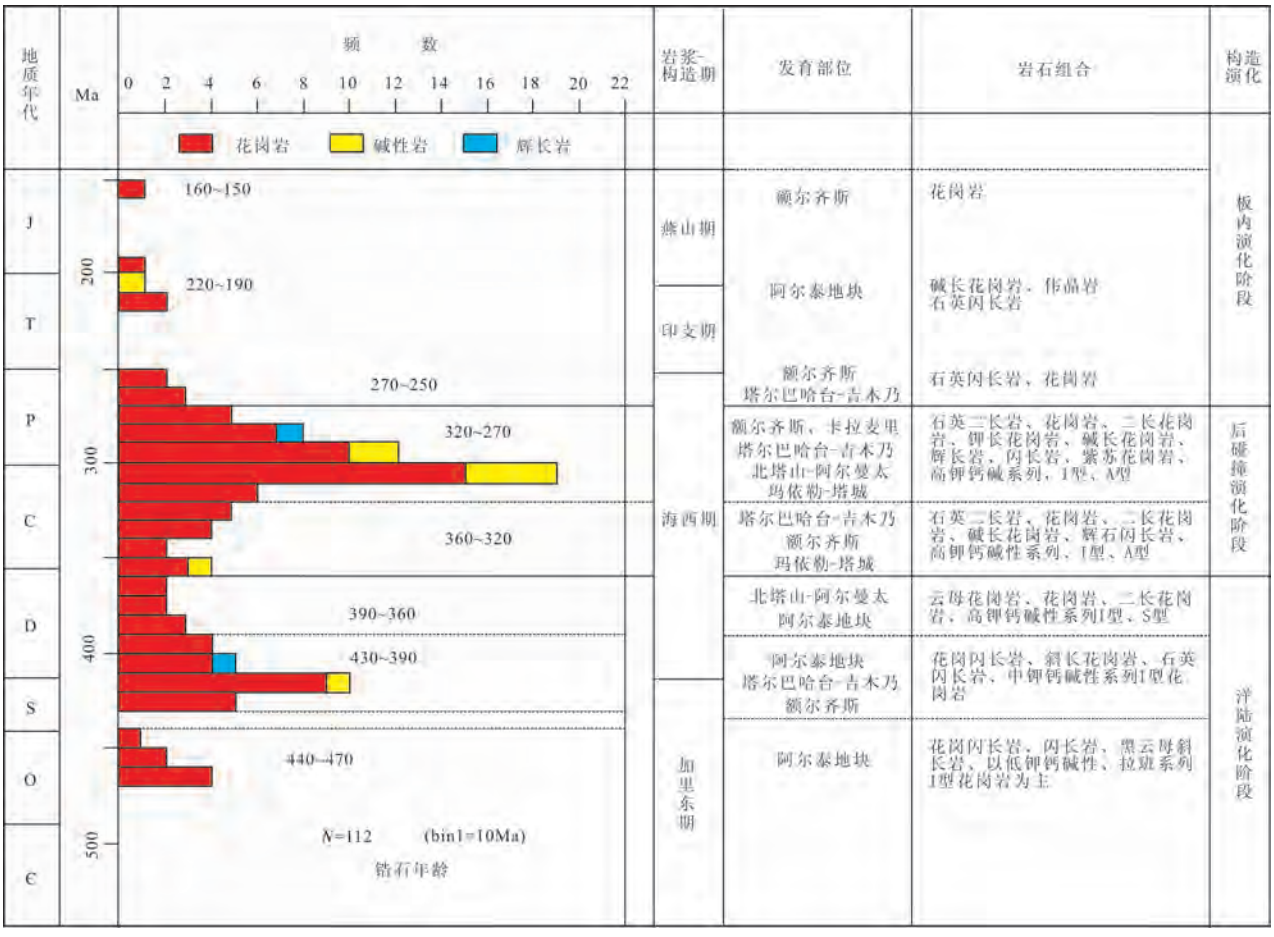


图 4　阿尔泰及准噶尔地区侵入岩锆石 U-Pb 年龄频谱图

Fig. 4　Distribution of zircon U-Pb ages of intrusive rocks in the Alty-Junggar area

一二级构造单元或构造体系一致,小成矿带范围可与地区级的构造单元一致(Zhang Lianchang et al., 2006)。根据石墨矿成因类型、成矿地质背景、主要控矿因素及已发现典型矿床,将新疆石墨成矿区划分为 2 个成矿带:东准噶尔石墨成矿带(Ⅰ)和古老地块周缘石墨成矿带(Ⅱ)(图 5)。

4.2.1　东准噶尔石墨成矿带(Ⅰ)

东准噶尔石墨成矿带(Ⅰ)北邻阿尔泰,南接东天山,向东沿入南蒙古,区域地层主要为泥盆—石炭纪凝灰质粉砂岩、火山岩、火山碎屑岩及沉积地层。区内断裂构造十分发育,由北往南依次分布额尔齐斯、阿尔曼太-北塔山和卡拉麦里-莫钦乌拉等 3 条 NW-SE 向展布的区域性深大断裂。石墨资源分布与区域性大断裂关系密切,目前已发现的石墨矿均出露于这些大断裂的次级断裂褶皱带中,且带内晚石炭世—早二叠世(320～270Ma)后碰撞侵入岩广泛发育。根据石墨成矿地质条件、物化探异常及典型矿床特征,东准噶尔石墨矿带由北向南可进一步划分为 3 个成矿亚带:卡拉先格尔石墨成矿亚带(Ⅰ-1)、阿尔曼太石墨成矿亚带(Ⅰ-2)和卡拉麦里石墨成矿亚带(Ⅰ-3)。

卡拉先格尔石墨成矿亚带(Ⅰ-1):位于额尔齐斯构造缝合带南缘 NW 向断裂与可可托海-卡拉先格尔 NNW 向断裂的交汇部位,赋矿围岩为中泥盆统北塔山组(D_2bt),以基性—中基性火山岩、火山碎屑岩及火山碎屑沉积岩为主,间夹少量碳酸盐岩。火山活动强烈,以爆发相和喷溢相玄武质岩浆为主,砂岩、凝灰质砂岩为石墨矿成矿母岩,控制石墨矿体空间分布。安山岩、安山玢岩为石墨形成提供了充分的热源。已发现 2 条长约 20～30km 的石墨物探异常,具“低重、低磁、低阻、高极化”特征,已发现阿拉托别石墨矿(Cheng Fei et al., 2012)。

阿尔曼太石墨成矿亚带(Ⅰ-2):位于 NW-SE 向阿尔曼太-北塔山区域性大断裂产生的次级断裂破碎带中,赋矿地层主要为石炭纪姜巴斯套组和泥盆纪蕴都喀拉组。已发现达布逊(Guo Qiaoling et al., 2013)、孔克热和散得克石墨矿,达布逊石墨矿受控于北西—南东向的达布逊大断裂(阿尔曼太次

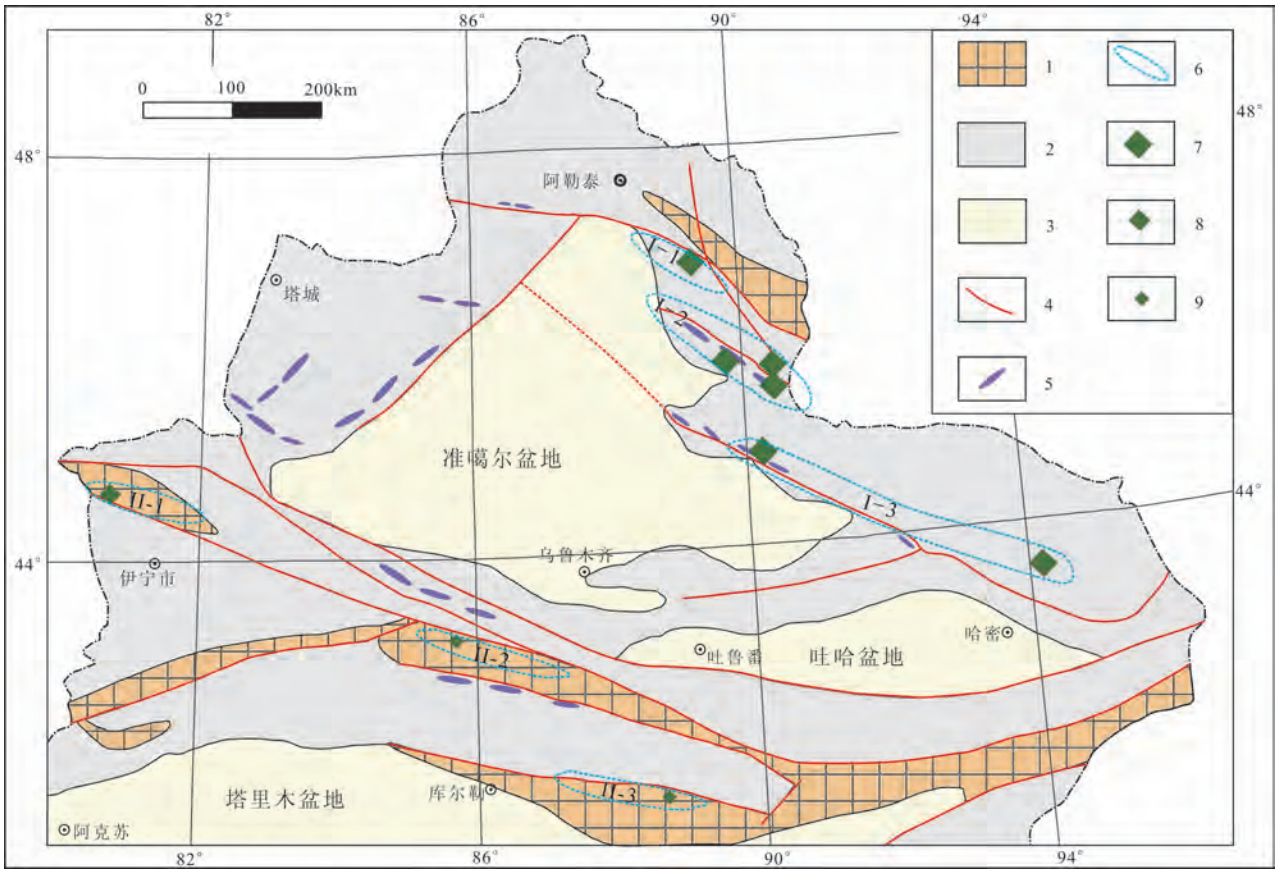


图 5 新疆石墨成矿区带划分图

Fig. 5 Division of graphite metallogenic belt in Xinjiang

1—前寒武纪基底;2—古生代造山带;3—中新生代盆地;4—区域性大断裂;5—蛇绿岩;
6—石墨矿带;7—大型石墨矿;8—中型石墨矿;9—小型石墨矿

1—Precambrian basement;2—Paleozoic orogenic belt;3—Meso-Cenozoic basin;4—regional major faults;
5—ophiolite;6—graphite metallogenic belt;7—large graphite deposit;8—medium graphite deposit;9—small graphite deposit

级断裂),石墨矿化分布于断裂作用产生的破碎带中,矿体富集部位为向斜核部。石墨赋矿围岩为中泥盆统蕴都喀拉组(D_2yd)凝灰质砂岩、晶屑岩屑凝灰岩、含碳粉砂岩和灰岩透镜体。孔可热石墨矿赋存于阿尔曼太 3 号向斜构造核部及两翼(图 6),轴面走向 325°~330°,为歪斜一直立开阔褶皱。赋矿围岩为石炭系姜巴斯套组(C_2j)凝灰质粉砂岩、细砂岩、砂岩、炭质粉砂岩。闪长玢岩顺层侵入,与石墨矿关系密切,多在矿体中有褪色、蚀变等现象。

卡拉麦里石墨成矿亚带(Ⅰ-3):位于准噶尔盆地东北缘,呈 NWW 向延伸,受南部卡拉麦里-莫钦乌拉深断裂影响,次级断裂及褶皱发育。出露地层主要是泥盆—石炭纪凝灰质砂岩、粉砂岩、千枚岩、凝灰岩夹炭质页岩。海西期岩浆活动频繁,以黄羊山岩体规模最大,具多期次侵入特征,其中第 3、5、6 期次的花岗岩接触带控制含石墨混合花岗岩的分布。该接触带实际上是一条规模巨大的构造破碎带,石墨矿(化)展布方向与破碎带一致。莫钦乌拉大断裂北侧已发现吐尔库里石墨矿,赋矿围岩为红柳沟组(S_3D_1h)含砾岩屑砂岩、长石岩屑砂岩、凝灰质砂岩、绢云母片岩。矿区 NW-SE 向的马依当复式背斜控制着石墨矿产出形态和富集程度。

4.2.2 古老地块周缘石墨成矿带(Ⅱ)

古老地块周缘石墨成矿带(Ⅱ)主要产出于赛里木、中天山和库鲁克塔格等 3 个古老地块的变质地层中,这些块体彼此之间缺乏统一的结晶基底,因此形成的石墨矿床规模都不大,目前仅发现少量中小型石墨矿床(表 2)。根据赋矿地层岩石组合、变质程度及所属古老地块构造属性等,将古老地块周缘石墨成矿带划分为 3 个成矿亚带:赛里木石墨成矿亚带(Ⅱ-1)、中天山石墨成矿亚带(Ⅱ-2)和库鲁克塔格石墨成矿亚带(Ⅱ-3)。

赛里木石墨成矿亚带(Ⅱ-1):位于赛里木地块南缘温泉一带,大面积出露上元古界温泉岩群,由角

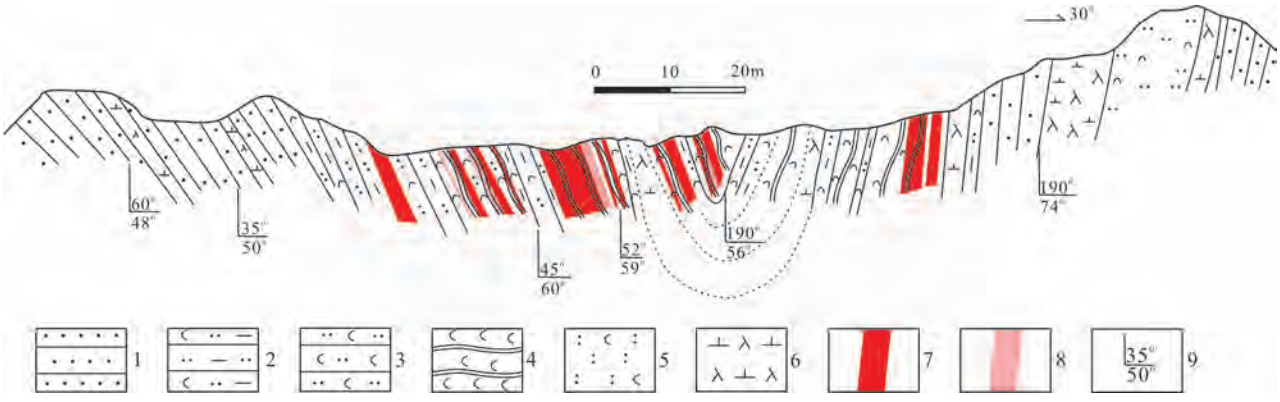


图 6　孔可热石墨矿区地质剖面图

Fig. 6　Geological cross-section of Kongkere graphite deposit

1—细砂岩;2—含碳泥质粉砂岩;3—炭质粉砂岩;4—炭质板岩;5—含碳质沉火山凝灰岩;6—闪长玢岩;
7—工业品位石墨矿体;8—边界品位石墨矿体;9—地层产状

1—fine sandstone;2—carbon-bearing argillaceous siltstone;3—carbon-bearing siltstone;4—carbon-bearing slate;
5—carbon-bearing volcanic tuff;6—dioritic porphyrite;7—industrial grade of graphite;8—cut-off grade of graphite;9—stratigraphic attitude

闪岩、混合岩、片麻岩、花岗片麻岩、角闪片岩夹大理岩组成,代表性石墨矿床为苏鲁别珍石墨矿,矿区共圈出 7 个石墨矿体,呈似层状或透镜状,其中的 Gph-5-3 矿体地表出露长约 1140m,平均厚度 10.37 米。中天山石墨成矿亚带(Ⅱ-2):位于中天山地块北缘和静县一带,广泛出露长城纪星星峡群深变质地层,主要为黑云石英片岩、大理岩、片麻岩、黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩、角闪片岩、混合岩等,以扎克斯台石墨矿为代表,其中 L2 矿带规模较大,分为 5 个矿体,长度约 280～680m,厚度为 5.5～16.12m。库鲁克塔格石墨成矿亚带(Ⅱ-3):位于库鲁克塔格地块北缘,以玉泉山石墨矿为代表,矿体呈似层状分布于透镜状云母片岩矿化蚀变带南北两侧。古老地块周缘石墨矿床含矿建造原岩多为含炭质黏土岩—中基性火山岩—碳酸盐岩,含碳有机质为石墨成矿提供最初物源,经历多期次强烈区域变质作用,叠加后期岩浆混合岩化影响,有机碳变质形成石墨,且变质程度越高,石墨的鳞片片径越大。

5　结论

(1)新疆石墨矿床按照成因类型可划分为:区域变质型(如苏鲁别珍和玉泉山石墨矿床等),主要分布于新疆古老地块周缘;接触变质型(阿拉托别、达布逊和孔可热石墨矿床等)和岩浆热液型(黄羊山和苏吉泉石墨矿床等),主要分布于东准噶尔古生代造山带中。

(2)新疆石墨矿床的沉积时代主要集中在元古宙和晚古生代,其成矿时代存在显著差异:区域变质型石墨矿成矿时代主要集中在新元古代和早古生代;接触变质型和岩浆热液型成矿时代主要为晚石炭—早二叠世。

(3)新疆石墨成矿区可划分为 2 个成矿区带:东准噶尔石墨成矿带(Ⅰ)和古老地块周缘石墨成矿带(Ⅱ),进一步细分为 6 个成矿亚带:卡拉先格尔石墨成矿亚带(Ⅰ-1)、阿尔曼太石墨成矿亚带(Ⅰ-2)和卡拉麦里石墨成矿亚带(Ⅰ-3)、赛里木石墨成矿亚带(Ⅱ-1)、中天山石墨成矿亚带(Ⅱ-2)和库鲁克塔格石墨成矿亚带(Ⅱ-3)。

致谢:项目实施过程中,得到了中国建筑材料工业地质勘查中心新疆总队和新疆地矿局(二区调、第一地质大队、第四地质大队和物化探大队)等单位的大力支持,谨此表示感谢。

注　释

❶ 国土资源部中国地质调查局. 2016. 中国石墨资源调查报告.

❷ 新疆地矿局第一地质大队. 2013. 新疆伊吾县吐尔库里石墨矿普查报告.

❸ 中国建筑材料工业地质勘查中心新疆总队. 2016. 新疆奇台县黄羊山一带石墨矿调查评价项目成果报告.

References

Bai Jianke, Chen Junlu, Xu Xueyi, Yan Zhen, Tang Zhuo. 2014. Volcanic lacustrine tempesitite and its sedimentary tectonic setting of the Middle Devonian in Tuziquan area, east Junggar. Xinjiang Geology, 32(4): 445～450(in Chinese with English abstract).

Buseck P R, Beyssac O. 2014. From organic matter to graphite: Graphitization. Elements, 10: 421～426.

Cao Xiaofeng, Wang Xiangdong, Lv Xinbiao, Yuan Qian, Wang Yifan, Liu Wen, Shen Wen. 2015. Tectonic evolution and formation of major ore deposits in Kuluketage metallogenic belt, Xinjiang. Earth Sicence-Journal of China University of Geoscience, 40(6): 1017～1033(in Chinese with English abstract).

Chen Gang, Li Fengming, Peng Xiangping. 2009. Discussion for geological characteristics and genesis of Yuquanshan graphite deposit of Xinjiang. Xinjiang Geology, 27(4): 325～329(in Chinese with English abstract).

Cheng Fei, Liu Xueqing, Huang Jingyu. 2012. Discussion for genesis of Alatuobie graphite deposit of Qinghe County, Xinjiang. West-China Exploration Engineering, 8: 177～178(in Chinese without English abstract).

Chuan Xiuyun, Sen Yuanwang, Baoying, Wei Chunjing. 2012. Orbicular graphite in Oshirabetsu, Hokkaido, Japan. Acta Geololgy Sinica, 86(2): 241～246 (in Chinese with English abstract).

Edward F. Duke, Douglas Rumble III. 1986. Textural and isotopic variations in graphite from plutonic rocks, South-Central New Hampshire. Contribution to Mineralogy and Petrology, 93: 409～419.

Guo Qiaoling, Wang Deming, Wei Jun. 2013. Discussion for geological characteristics and genesis of Dabuxun graphite deposit of Qinghe County. West-China Exploration Engineering, 6: 119～122 (in Chinese without English abstract).

Hu Aiqin, Wei Gangjian, Zhang Jibin, Deng Wenfeng, Chen Linli. 2008. SHRIMP U-Pb ages for zircon of the amphibolites and tectonic evolution significance from the Wenquan domain in the West Tianshan Mountains, Xinjiang, China, Acta Petrologica Sinica, 24(12): 2731～2740 (in Chinese with English abstract).

Hu Aiqin, Wei Gangjian, Jiang Bomin, Zhang Jibin, Deng Wenfeng, Chen Linli. 2010. Formation of the 0.9 Ga Neproterozoic granitoids in the Tianshan orogen, NW China: constraints from the SHRIMP zircon age determination and its tectonic significance. Geochimica, 39(3): 197～212(in Chinese with English abstract).

Huang Gang, Jia Zhenkui, Li Huaimin, Wang Xinlu, Guo Jun. 2012. Early Ordovician arc magmatite in central Tianshan: evidence of geochronology and geochemical on granitic gnesiss from Sangshuyuanzi area. Xinjiang Geology, 30(3): 243～252 (in Chinese with English abstract).

Li Chao, Wang Denghong, Zhao Hong, Pei Haoxiang, Li Xinwei, Zhou Limin, Du Andao, Ju Wenjun. 2015. Minerogenetic regularity of graphite deposits in China. Mineral Deposits, 34(6): 1223～1236(in Chinese with English abstract).

Li Kongsen, Wang Bo, Shu Liangshu, Wang Fei, Liu Hongsheng. 2013. Geological features, ages and tectonic implications of the Wenquan Group in NW Chinese Tianshan. Geological Journal of China Universities, 19(3): 491～503(in Chinese with English abstract).

Li Ping, Zhu Zhixin, Mu Lixiu, Wang Kezhuo, Wang Zhe, Qu Tao, Feng Jun. 2017. Geochemistry and geochronology of granitoids intrusions from the Baluntai area in Central Mountains, and its tectonic significance. Acta Geologica Sinica, 91(1): 80～93 (in Chinese with English abstract).

Li Wei, Chang Ling. 2009. Deterioration distortion function characteristic and structure evolution of the Xiditage Group of Palaeoproterozoic, House Racing Mountains, Kuruktage. Xinjiang Geology, 27(2): 111～116(in Chinese with English abstract).

Li Zhensheng, Nie Feng, Tian Xiaoli, Shi Yonghong, Niu Hao, Wang Chuang. 2016. Redefinition of formation age of Late Paleozoic strata in the eastern Junggar tectonic zone and its implications for evolution of regional geological structure. Acta Geologica Sinica, 90(3): 569～588 (in Chinese with English abstract).

Liu Jianan. 2006. Geological features and genesis of Qingyang graphite deposit, Anxi. West-China Exploration Engineering, 03: 136～138 (in Chinese without English abstract).

Liu Songbai, Yang Meizhen, Wu Hongen, Zhao Wenping, Zhang Lianlian. 2001. Metallogenic model of graphite deposit from Sujiquan, eastern Junggar. Xinjiang Geology, 29(2): 178～182 (in Chinese with English abstract).

Ma Yubo, Xing Shuwen, Xiao Keyan, Yu Cheng, Tang Chen, Ding Jianhua, Zhang Yong, Ma lukuo. 2016. Geological metallogenic characteristics and mineral resource potential of the Au-Ag-Cu-Mo Metallogenic belt in eastern Jilin-Heilongjiang Provinces. Acta Geologica Sinica, 90(7): 1281～1297 (in Chinese with English abstract).

Mo Rujue, Liu Shaobin, Huang Cuirong, Zhang Gongrong, Tan Guanmin, Wang Baoxian, Xiao Xiangzhang. 1989. Graphite deposit geology in China. Beijing: China Architecture& Building Press, 42～50 (in Chinese without English abstract).

Sanyal P, Acharya B C, Bhattacharya S K, Sarkar A, Agrawal S and Bera M K. 2009. Origin of graphite, and temperature of metamorphism in Precambrian eastern Ghats Mobile Belt, Orissa, India: A carbon isotope approach. Journal of Asian Earth Sciences, 36(2/3): 252～260.

Shao Qinguo. 2016. On Geological features and ore genesis of Sulubiezhan graphite deposit in Wenquan County, Xinjiang. Gansu Metallurgy, 38(4): 33～36(in Chinese with English abstract).

Shao Zhifu, Che Qinjian. 1988. Geological characteristics of Heye graphite deposit of Quiyang County. Hunan Geology, 7(1): 25～30 (in Chinese with English abstract).

Shu Liangshu, Zhu Wenbin, Wang Bo, Wu Changzhi, Ma Dongsheng, Ma Xuxuan, Ding Haifeng. 2013. The formation and evolution of ancient blocks in Xinjiang. Geology in China, 40(1): 43～60 (in Chinese with English abstract).

Wang Tong, Feng Fan, Jiang Tao, Wang Qingwei, Xia Yucheng, Wei Bo, Yang Shuguang. 2016. Fundamental structural framework and cognition of Junggar coal basin, Xinjiang. Acta Geologica Sinica, 90(4): 628～638 (in Chinese with English

abstract).

Xiao Keyan, Sun Li, Li Siyuan, Huang An. 2016. Geological characteristics and mineralization potential of graphite resource in China. Acta Geoscientica Sinica, 37(5): 607～614(in Chinese with English abstract).

Xu Xueyi, Li Rongshe, Chen Junlu, Ma Zhongping, Li Zhipei, Wang Hongliang, Bai Jianke, Tang Zhuo. 2014. New constrains on the Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang area. Acta Petrologica Sinica, 30(6): 1521～1534(in Chinese with English abstract).

Yan Zhengfu, Yang Hao, Gu Lianxing, Guo Jichun. 1990. Geology and genesis of the sujiquan graphite deposit, Xinjiang Province, Jiangsu Geology, (3): 21～24(in Chinese with English abstract).

Yang Ruidong, Luo Xinrong, Zhang Chuanlin, Tian Jingquan, Bao Yafan. 2010. Sedimentation characteristic and carbon isotope composition in Late Paleoproterozoic Xingditage Group in Quruqtagh region of Xinjiang, China. Northwestern Geology, 43(1): 37～43(in Chinese with English abstract).

Zhang Lianchang, Xia Bin, Niu Hecai, Li Wenqian, Fang Weixuan, Tang Hongfeng, Wan Bo. 2006. Metallogenic systems and belts developed on the late Paleozoic continental margin in Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1387～1398(in Chinese with English abstract).

Zhang Guoxin, Hu Aiqin, Zhang Hongbin, Zhang Qingfeng, Shen Youlin. 1996. Carbonisotopic evidence for the origin of the spherical graphite in a granite-hosted graphite deposit, Sujiquan, Xinjiang, China. Geochimica, 25(4): 379～386(in Chinese with English abstract).

Zhang Weiyu. 2010. Geological characteristics and genesis of graphite deposit in Laoyingshan mine in Fujian. Journal of Geology, 34(4):377～381(in Chinese with English abstract).

参　考　文　献

白建科, 陈隽璐, 徐学义, 闫臻, 唐卓. 2014. 东准噶尔兔子泉地区中泥盆统火山湖相风暴岩及沉积构造背景. 新疆地质, 32(4): 445～450.

曹晓峰, 王祥东, 吕新彪, 袁迁, 汪一凡, 刘文, 申文. 2015. 新疆库鲁克塔格成矿带主要矿床类型及成矿系列划分. 地球学报——中国地质大学学报, 40(6): 1017～1033.

陈刚, 李凤鸣, 彭湘平. 2009. 新疆玉泉山石墨矿床地质特征及成因探讨. 新疆地质, 27(4): 325～329.

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. 西部探矿工程, 8: 177～178.

传秀云, 森原望, 鲍莹, 魏春景. 2012. 日本北海道音调津的球状石墨. 地质学报, 86(2): 241～246.

郭巧玲, 王德明, 魏军. 2013. 青河县达布逊石墨矿床地质特征及成矿条件分析. 西部探矿工程, 6: 119～122.

胡霭琴, 韦刚健, 张积斌, 邓文峰, 陈林丽. 2008. 西天山温泉地区早古生代斜长角闪岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石学报, 24(12): 2731～2740.

胡霭琴, 韦刚健, 江博明, 张积斌, 邓文峰, 陈林丽. 2010. 天山 0.9 Ga 新元古代花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地球化学, 39(3):197～212.

黄岗, 贾振奎, 李怀敏, 王新录, 郭俊. 2012. 中天山早奥陶世弧岩浆岩的确定——来自桑树园子一带花岗片麻岩年代学和地球化学证据. 新疆地质, 30(3): 243～252.

李超, 王登红, 赵鸿, 裴浩翔, 李欣蔚, 周利敏, 杜安道, 居文俊. 2015. 中国石墨矿床成矿规律概要. 矿床地质, 34(6): 1223～1236.

李孔森, 王博, 舒良树, 王飞, 刘洪升. 2013. 北天山温泉群的地质特征、时代和构造意义. 高校地质学报, 19(3): 491～503.

李平, 朱志新, 穆利修, 王克卓, 王哲, 屈涛, 风骏. 2017. 新疆中天山巴伦台地区花岗质侵入体地球化学、年代学研究及其构造意义. 地质学报, 91(1): 80～93.

李伟, 常玲. 2009. 库鲁克塔格赛马山古元古代兴地塔格群变质变形作用特征及构造演化. 新疆地质, 27(2): 111～116.

李振生, 聂峰, 田晓莉, 石永红, 牛浩, 王创. 2016. 东准噶尔构造带晚古生代地层时代的厘定及其对区域构造演化意义. 地质学报, 90(3): 569～588.

刘建安. 2006. 安溪青洋石墨矿床地质特征及其成因探讨. 西部探矿工程, 03: 136～138.

刘松柏, 杨梅珍, 吴洪恩, 赵文平, 张练练. 2011. 新疆苏吉泉球状石墨矿床成矿模式. 新疆地质, 29(2): 178～182.

马玉波, 邢树文, 肖克炎, 于城, 唐臣, 丁建华, 张勇, 马路阔. 2016. 吉黑东部 Au-Ag-Cu-Mo-石墨成矿带主要地质成矿特征及潜力分析. 地质学报, 90(7):1281～1297.

莫如爵, 刘绍斌, 黄翠蓉, 张光荣, 谭冠民, 王宝娴, 肖祥章. 1989. 中国石墨矿床地质. 北京: 中国建筑工业出版社: 42～50.

邵勤国. 2016. 新疆温泉县苏鲁别珍石墨矿地质特征及成因浅析. 甘肃冶金, 38(4): 33～36.

邵志富, 车勤建. 1988. 桂阳县荷叶石墨矿床地质特征. 湖南地质, 7(1): 25～30.

舒良树, 朱文斌, 王博, 吴昌志, 马东升, 马绪宣, 丁海峰. 2013. 新疆古地块的形成与演化. 中国地质, 40(1): 43～60.

王佟, 冯帆, 江涛, 王庆伟, 夏玉成, 韦波, 杨曙光. 2016. 新疆准噶尔含煤盆地基本构造格架与认识. 地质学报, 90(4): 628～638.

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. 地球学报, 37(5): 607～614.

徐学义, 李荣社, 陈隽璐, 马中平, 李智佩, 王洪亮, 白建科, 唐卓. 2014. 新疆北部古生代构造演化的几点认识. 岩石学报, 30(6): 1521～1534.

严正富, 杨浩, 顾连兴, 郭继春. 1990. 新疆苏吉泉石墨矿床地质特征及其成因. 江苏地质, (3): 21～24.

杨瑞东, 罗新荣, 张传林, 田敬全, 包亚范. 2010. 新疆库鲁克塔格地区晚古元古代兴地塔格群沉积特征及其碳同位素研究. 西北地质, 43(1): 37～43.

张连昌, 夏斌, 牛贺才, 李文铅, 方维萱, 唐红峰, 万博. 2006. 新疆晚古生代大陆边缘成矿与成矿区带初步探讨. 岩石学报, 22(5): 1387～1398.

张国新, 胡霭琴, 张鸿斌, 张前锋, 申佑林. 1996. 新疆苏吉泉石墨矿床成因的碳同位素证据. 地球化学, 25(4): 379～386.

张蔚语. 2010. 福建老鹰山矿区石墨矿床特征及成因. 地质学刊,

34(4): 377～381.

Characteristics and Metallogeny Regulation of Graphite Resources in Xinjiang

BAI Jianke[1,2], CHEN Junlu[1,2], PENG Suxia[1,2]

1) *Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an* 710054, *Shanxi, China*;

2) *Research Center of Orogenic Geology, CGS, Xi'an Centre of Geological Survey, Xi'an* 710054, *China*

Abstract

Graphite is an indispensable strategic resources in the development of high-tech industries. China is rich in graphite resources, but they are mainly distributed in the eastern part of China. In recent years, Xinjiang was found to host a batch of large graphite deposits in the areas, such as Huangyangshan, Kongkere, Dabuxun, and Tuerkuli. With a total of proven graphite reserves more than 100 million tons, Xinjiang has become an important province for graphite production. This is expected to change distribution pattern of China's graphite resources. According to the genesis of the deposits, graphite deposits in Xinjiang can be divided into regional metamorphic graphite deposits, contact metamorphic graphite deposits and magmatic hydrothermal graphite deposits. The regional metamorphic graphite deposits mainly distributed in regional metamorphism strata around old blocks, with its metallogenic epoch mainly focused on the Proterozoic and Early Paleozoic. The contact metamorphic type graphite deposits are mainly distributed in Devonian-Carboniferous clastic rocks in the Paleozoic orogenic belt of eastern Junggar, with the metallogenic epoch extending mainly from the Late Carboniferous to the Early Permian. The Magmatic hydrothermal graphite deposits occur mainly in Hercynian (320～270 Ma) alkali-feldspar granite, and its metallogenic epoch consistent to that of magma intrusion. Based on the type of graphite genesis, ore-controlling factors and typical graphite deposits, two graphite mineralization zones and six metallogenic sub-zones have been divided. The study will provide a theoretical basis for graphite survey and ore prospecting in Xinjiang.

Key words: graphite deposits; graphite deposit type; metallogenic regularity; metallogenic zones; Xinjiang