内蒙古大井矿区及外围岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及其对成矿时间的约束*

江思宏 梁清玲 刘翼飞 刘妍
JIANG SiHong, LIANG QingLing, LIU YiFei and LIU Yan

中国地质科学院矿产资源研究所,国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037
MLR Key Laboratory of Metallogeney and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, *China*
2011-10-08 收稿, 2012-01-10 改回.

Jiang SH, Liang QL, Liu YF and Liu Y. 2012. Zircon U-Pb ages of the magmatic rocks occurring in and around the Dajing Cu-Ag-Sn polymetallic deposit of Inner Mongolia and constrains to the ore-forming age. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2):495-513

Abstract Located in eastern Inner Mongolia, the Dajing Cu-Ag-Sn polymetallic deposit is a large-scale deposit. The ore bodies occur in Permian Linxi Formation as vein-like, and are controlled by the NW or NWW trending faults. The studies on geochronology and geochemistry of the main intrusive and volcanic rocks occurring in and around the Dajing Cu-Ag-Sn polymetallic ore district were conducted in this paper. In order to constrain the emplacement ages of the intrusive rocks and the eruption ages of the volcanic rocks, the zircons of ten samples from the intrusive and volcanic rocks were dated by using the LA-MC-ICP-MS method. Two reliable weighted mean $^{206}Pb/^{238}U$ ages of 170.7±1.4Ma (MSWD=1.9) and 170.7±1.1Ma (MSWD=1.3) were obtained from the altered felsite dyke close to the No. 1 ore-vein in the Dajing ore district. The zircons from biotite-monzonitic granite in Maanzi, porphritic-like biotite-monzonitic granite in Dasiduan village and andesite porphyry near Tangjiayingzi yield three weighted mean $^{206}Pb/^{238}U$ ages of 279.7±1.3Ma (MSWD=0.74), 252.0±1.8Ma (MSWD=1.6) and 242.8±1.7Ma (MSWD=1.7), respectively. The volcanic rocks of rhyolitic crystal ignimbrite, rhyolitic breccia lava and crystal tuff from south Daba have the zircon U-Pb ages of 143.5±0.7Ma (MSWD=0.38), 144.3±0.7Ma (MSWD=1.2) and 145.3±1.0Ma (MSWD=2.5), respectively. The zircons from quartz porphyry dyke and andesite porphyry in south Xiaochengzi village give two U-Pb ages of 146.1±0.9Ma (MSWD=1.7) and 133.2±0.7Ma (MSWD=0.96), respectively. It indicates that there were four times of magmatic activities taking place in and around the Dajing Cu-Ag-Sn polymetallic ore district, i.e. Late Hercynian, Early Indosinian, Early Yanshanian and Middle Yanshanian, respectively. The geochemical analyses show that the all the intrusive and volcanic rocks are characterized by the high SiO_2, enriched alkali, meta-/peraluminum and calc-alkaline, and are all ploted in the "high K calc-alkaline series" in the diagram of SiO_2 vs. K_2O. All the samples in this study have the features of LREE differentiation, and are enriched in LILE elements, characterized by relatively depleted Ba, Nb, Sr, P and Ti, and enriched Rb, Th, K, Ce, Nd, Hf, Sm, Y and Yb. Combined with the dating results of the intrusive and volcanic rocks in this paper, the biotite-monzonitic granite in Maanzi and porphritic-like biotite-monzonitic granite in Dasiduan village were formed under collisional setting possibly related to the closure of the ancient Asian ocean. The Early Yanshanian magmatic activity was not developed in the study area, and its tectonic setting is not clear yet. It may be related to the consumption of the Okhotsk Ocean between Siberian Plate and Mongolia-North China Plate and post collision. The large-scale Middle Yanshanian magmatic intrusion and eruption may be caused by the lithosphere thinning leading to the regional extention. Based on the studies on the intrusive and eruptive rocks occurring in or around the Dajing ore district, combined with ore deposit geology and the results of former studies, it is suggested that the ore-forming of the Dajing Cu-Ag-Sn polymetallic deposit was related to the Late Jurassic-Early Cretaceous (146~133Ma) magmatic activity, and was the product of the magmatism under the regional extension setting.

Key words Zircon LA-MC-ICP-MS dating; Magmatic rocks; Cu-Ag-Sn polymetallic deposit; Dajing; Inner Mongolia

摘 要 大井是内蒙古东部地区的一处大型铜银锡多金属矿床,矿体呈脉状产出在二叠系林西组地层中,受 NW 或 NWW 向断裂控制。本文对大井矿区及其外围主要侵入岩体和火山岩开展了年代学和地球化学研究。LA-MC-ICP-MS 锆石测年结果表明,大井矿区内靠近 1 号矿脉产出的 2 件霏细岩脉样品的锆石年龄分别为 170.7±1.4Ma(MSWD=1.9)和 170.7±1.1Ma

* 本文受国家自然科学基金重点项目(41030421)、全国危机矿山项目(20089948)和地质大调查项目(1212010911029)联合资助.
第一作者简介: 江思宏,男,1968 年生,博士,研究员,主要从事金属矿床成矿规律研究,E-mail:jiangsihong1@163.com

(MSWD = 1.3);矿区外围马鞍子黑云母二长花岗岩体的锆石年龄为 279.7 ± 1.3Ma(MSWD = 0.74);唐家营子附近安山玢岩脉的锆石年龄为 252.0 ± 1.8Ma(MSWD = 1.6);大四段村似斑状黑云母二长花岗岩体的锆石年龄为 242.8 ± 1.7Ma(MSWD = 1.7);采自大坝南部的流纹质晶屑熔结凝灰岩、流纹质火山角砾熔岩和晶屑凝灰岩的锆石年龄分别为 143.5 ± 0.7Ma(MSWD = 0.38),144.3 ± 0.7Ma(MSWD = 1.2)和 145.3 ± 1.0Ma(MSWD = 2.5);小城子村南部石英斑岩脉的锆石年龄为 146.1 ± 0.9Ma(MSWD = 1.7),安山玢岩脉的锆石年龄 133.2 ± 0.7Ma(MSWD = 0.96)。反映本区至少存在四期岩浆活动,分别是海西晚期、印支早期、燕山早期和燕山中期。岩石地球化学分析结果表明,大井矿区及外围主要侵入岩(黑云母二长花岗岩、似斑状黑云母二长花岗岩、霏细岩、安山玢岩和石英斑岩)均为富 SiO_2、富碱、准铝的钙碱性岩石,在 SiO_2-K_2O 图解上均落入"高钾钙碱系列"区。所有的岩石样品具有轻稀土分异明显、富集大离子亲石元素(LILE)的特征,其中 Ba、Nb、Sr、P、Ti 相对亏损,而 Rb、Th、K、Ce、Nd、Hf、Sm、Y 和 Yb 相对富集。侵入岩和火山岩的年代学与岩石地球化学特征表明,马鞍子黑云母二长花岗岩和大四段村似斑状黑云母二长花岗岩的侵位可能与古亚洲洋的碰撞闭合有关,形成于挤压的构造环境;燕山早期侵入岩在本区并不发育,其形成环境还有待进一步查明,可能与西伯利亚板块和蒙古-华北板块之间的鄂霍茨克洋消亡及后碰撞造山有关;而燕山晚期大规模的侵入-火山喷发活动可能是由岩石圈减薄,区域大规模伸展所引起。根据本文对矿区内及外围侵入岩与火山岩的年代学研究,结合矿区地质和前人研究成果,认为大井铜银锡矿床的成矿主要与晚侏罗世-早白垩世岩浆活动(146~133Ma)有关,是区域伸展构造背景下岩浆活动的产物。

关键词 锆石 LA-MC-ICP-MS 测年;岩浆岩;银铜锡多金属矿床;大井;内蒙古

中图法分类号 P588.1; P597.3

大井铜银锡多金属矿床是大兴安岭金属成矿省南段的一个大型矿床。它位于内蒙古自治区林西县东北 21km 处,处于大兴安岭南段黄岗-甘珠尔庙成矿带(锡和铅锌)与林西-天山成矿带(铜)的接合部位(赵一鸣和张德全,1997)。铜银锡多金属矿体产于二叠系林西组灰黑色砂页岩与含磷质结核碎屑岩段内。前人对大井多金属矿床开展了较为深入的研究,张德全(1993)、冯建忠等(1994)、赵一鸣等(1994)、赵一鸣和张德全(1997)、芮宗瑶等(1994)、储雪蕾和刘伟(1999)、储雪蕾等(2002)和郑波(2009)等认为大井是一个与次火山岩岩浆活动有关的热液裂隙充填脉型矿床。然而,陈旭瑞等(2000)根据矿石的层纹结构、角砾构造、近平行于地层的矿脉产状和围岩蚀变弱等提出了同生矿床的看法,指出它是晚二叠纪同生-准同生沉积的海底喷流(即 SEDEX)型矿床,后又经过燕山期次火山岩-热液的叠加和改造,最终在中生代形成。刘建明等(2001)又根据层纹结构等认为这是典型的沉积构造,将铜矿体附近的流纹斑岩定为一种新的热水沉积岩-菱铁绢云硅质岩,并指出它与锡铜铅锌银复合元素组合的多金属矿床密切共生。他们强调,锡、铜、铅锌和银等成矿元素主要由同生沉积提供(陈旭瑞等,2000;刘建明等,2001)。关于成矿物质来源,冯建忠等(1994)通过稳定同位素研究认为,矿床硫铅为单源,来源于深部岩浆,成矿与次火山岩空间关系密切;任耀武和曹倩雯(1996)强调地层是主要物质来源;王莉娟等(2003)发现大井锡铜矿体萤石中存在中高温、低盐度含 Sn 和中低温、中等盐度含 Cu 两种流体包裹体,认为锡铜矿体可能是两种不同来源(铜来自幔源,锡来自壳源)的成矿流体在同一空间上的叠加成矿;刘伟等(2002)认为成矿与大气降水和富含 CO_2 的岩浆流体的混合有关,岩浆流体可能来源于深部隐伏岩体。其他学者对大井矿床的控矿构造、主要矿石矿物和蚀变矿物等进行了较为深入的研究(艾永富和刘国平,1998;Wang YW *et al.*, 2001;赵利青等,2002;王玉往等,2002a, b, c, 2006;李如满和康利祥,2004;王永争等,2005;王荣全等,2007)。尽管矿区内未见大的侵入岩体,但是多数学者认为成矿与深部隐伏岩体有关(冯建忠等,1994;储雪蕾等,2002;刘伟等,2002)。总之,很多学者都对大井矿床做了非常深入细致的研究。但是,大井铜银锡多金属矿床关于成岩成矿年代方面的研究相对比较薄弱,前人在距矿区最近的马鞍子岩体黑云钾长花岗岩中获得的 Rb-Sr 等时线年龄为 155.4Ma(张德全,1993),在矿区内出露的浅成-超浅成岩脉中获得的 K-Ar 同位素年龄为 155.3~177.2Ma,获得的 Ar-Ar 成矿年龄为 133~138Ma(转引自 Wang JB *et al.*, 2001,原文艾霞和冯建忠(1992)中未见此年龄数据)。本次在前人工作基础上,对矿区及其附近的主要侵入岩与火山岩开展了锆石 LA-MC-ICP-MS 测年研究,一方面通过对岩浆岩的精确测年,来查明本区岩浆活动的时间;另一方面,通过岩浆岩的形成年代来大致限定大井铜银锡多金属矿床的成矿时代,从而为区域找矿勘查工作的部署提供理论依据。

1 地质概况

大井矿区位于大兴安岭南端,所处大地构造位置为中亚造山带东部,其南侧紧邻华北板块,位于西拉沐伦河深断裂的北侧(图 1)。

区域上,出露的一套最古老地层为其南侧紧贴西拉沐伦河深断裂分布的前寒武系片岩和片麻岩(图 1),呈近东西向的带状产出。在紧靠其北侧出露一套面积不大的志留系,主要岩性为灰黑色板岩夹灰岩;北部零星出露下二叠统黄岗梁组,岩石类型主要为变质粉砂岩夹泥灰岩透镜体,区域中西部大面积出露的是上二叠统林西组湖相细碎屑岩(黑色板岩、砂岩)夹泥灰岩组合,总厚近 3000m,是大井矿床的赋矿

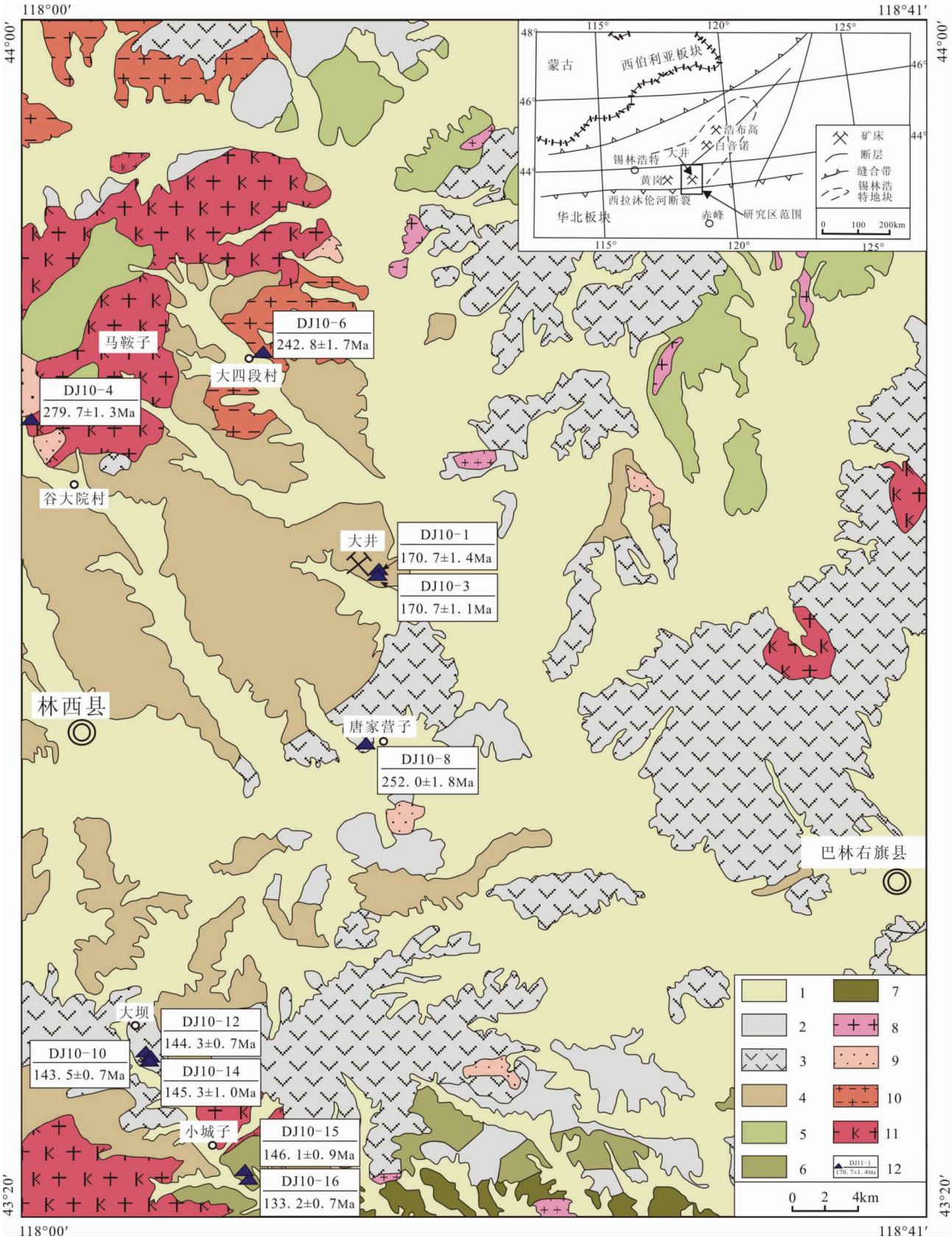


图 1　大井矿区外围地质简图(据 Wang JB *et al.*，2001；辽宁省第二区域地质测量队,1971[①]改编)

① 辽宁省第二区域地质测量队. 1971. 中华人民共和国区域地质矿产报告书(地质部分) 1/20 万白塔子庙幅和林西幅(内部报告). 1－61

1-第四系沉积物;2-上侏罗统安山岩、流纹岩和角砾熔岩;3-中侏罗统砂砾岩; 4-上二叠统板岩、砂岩夹泥灰岩;5-下二叠统变质粉砂岩夹泥灰岩透镜体;6-志留系板岩夹灰岩;7-前寒武系片岩和片麻岩;8-燕山晚期花岗岩;9-燕山早期闪长岩;10-印支期花岗岩;11-海西期花岗岩;12-取样位置(样品编号/测年结果)

Fig. 1 Simplified geological map around the Dajing Cu-Ag-Sn polymetallic deposit (after Wang JB *et al.*, 2001)

1-Quartanary sediments; 2-Upper Jurassic andesite, rhyolite and breccia lava; 3-Middle Jurassic sandy conglomerate; 4-Upper Permian slate, sandstone intercalated with muddy limestone; 5-Lower Permian metamorphic siltstone intercalated with muddy limestone lens; 6-Sillurian slate intercalated with limestone; 7-Precambrian schist and gneiss; 8-Late Yanshanian granite; 9-Early Yanshanian diorite; 10-Indosinian granite; 11-Hercynian granite; 12-Sampling location(sample number/age dating result)

围岩。围绕二叠系东部和南部外围产出的是中侏罗统紫色砂砾岩和大面积的上侏罗统兴安岭组火山岩(包括安山岩、流纹岩和角砾熔岩等)。在地势低洼和沟谷处分布有第四系的风成砂、黄土、红土层及冲洪积层等。

区域地层褶皱强烈、断裂发育,主构造线方向呈北东向,控制了地层与岩体的产出。

岩浆侵入岩主要发育在区域二叠系地层的南北两侧,岩性主要为二长花岗岩类,呈岩株状产出。矿区范围内未发现任何深成侵入岩,距矿床最近(9km)的岩体为马鞍子黑云二长花岗岩。矿区内发育大量浅成-超浅成岩脉,以中酸性脉岩最为发育,包括英安斑岩、流纹斑岩、霏细岩和花岗斑岩。

大井铜银锡多金属矿床产于二叠系林西组中,目前控制的矿化范围长约3km,宽约2.5km,已经发现大小690余条矿脉及矿化脉,其中计入储量的约330条(王玉往等,2006)。矿体多为隐伏矿脉,呈NW或NWW走向,北倾,倾角25°~75°。矿体呈不规则脉状,复脉状、交错脉状、网脉状、串珠脉状,充填在北西、北西西向断裂带中,其在平面上常呈"S"型,矿脉较窄,具膨缩和分枝复合及尖灭侧现现象。空间上,多条矿脉密集与围岩界线截然分开,受断裂构造控制明显。矿脉一般与容矿地层斜交,但交角不大(一般<20°)。主矿体一般长300~600m,厚0.2~2.5m,延伸300~400m。矿脉与围岩界线清楚,围岩蚀变不强,范围较窄(仅0.2~2m),一般沿矿体两侧呈线状分布。主要有硅化、绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化,多以细脉、网脉形式产于矿体附近的围岩裂隙中。

根据矿物组合,大井矿床的矿石类型主要有3种:铜锡银矿石(黄铜矿-锡石型)、铅锌银矿石(方铅矿-闪锌矿-银矿物)及二者复合的铜锡铅锌型。矿石以致密块状和浸染状构造为主,并有角砾状、网脉状、条带状、似层状等。主要结构有粒状、胶状、压碎胶结状、嵌晶包含状、固溶体分离结构、交代结构等;主要矿石矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂、锡石等,脉石矿物有石英、碳酸盐(如菱铁矿、方解石、铁白云石、铁方解石等)、粘土矿物(如水白云母、绢云母等)、绿泥石等(姚德等,1990;艾霞和冯建忠,1992;芮宗瑶等,1994)。

根据上述矿石类型和穿插、胶结关系,将大井矿床划分为4个矿化阶段(Wang YW *et al.*,2001):(1)锡石-毒砂-石英阶段;(2)黄铜矿-黄铁矿成矿阶段;(3)无矿黄铁矿阶段;(4)方铅矿-闪锌矿阶段。除主成矿期外,矿床中还存在成矿前的早期石英脉和韧性变形,以及成矿后无矿的石英-方解石(萤石)等流体活动阶段。

矿床主要元素组合为Sn、Cu、pb、Zn、Ag、As、S,并伴生有Co、Bi、In等。Ishihara *et al.* (2007)曾对大井矿床伴生的铟(In)资源进行了估算,认为其资源量大于768t。Sn主要集中于矿区中部,Cu集中分布于矿区中部和西南部,Pb和Zn主要集中于Sn和Cu的外围,Ag的集中分布范围基本与Cu相同,在Pb、Zn的集中分布区亦有富集(王玉往等,2002a)。

2 样品采集及分析方法

2.1 样品采集及镜下特征

本文所研究的样品均采自大井铜银锡多金属矿床内及其附近的侵入岩与火山岩中。其中,DJ10-1和DJ10-3号样品采自大井矿区650m主斜井46线1号脉上盘的霏细岩脉,脉宽1~2m,紧靠1号脉产出。镜下观察表明,霏细岩主要由霏细物质组成,次生矿物为碳酸盐(含量2%~3%,体积百分数,下同)和粘土矿物(含量3%~5%),具有明显的流动构造。

DJ10-4和DJ10-5号样品采自大井矿区外围的马鞍子山岩体,其采样位置坐标为:北纬43°46′31.7″,东经118°00′3.5″。前人曾将该岩体定名为钾长花岗岩(张德全,1993),但是根据镜下特征,本文将该岩体定名为黑云母二长花岗岩。岩石呈二长花岗结构,局部文象结构,主要矿物组成:斜长石(35%~40%)、钾长石(30%~35%)、石英(25%)、黑云母(5%)和角闪石(2%~3%),岩石蚀变微弱,可见少量次生矿物绿泥石、绿帘石和绢云母-粘土矿物。

DJ10-6和DJ10-7号样品自大井矿区北部的大四段村路边采石场,其采样位置坐标为:北纬43°48′21.9″,东经118°10′45.7″,岩性为似斑状黑云母二长花岗岩,似斑状结构,似斑晶为粗大的钾长石晶体,粒径≥10mm,约占岩石体积的10%~15%。基质具二长花岗结构,粒度一般在1~2mm。主要矿物成分:斜长石(30%~35%)、钾长石(30%~35%)、石英(25%)和黑云母(7%~8%),岩石蚀变微弱,可见少量次生矿物绿泥石和绿帘石(含量1%~2%),以及绢云母-粘土矿物(含量2%~3%)。

DJ10-8和DJ10-9号样品采自大井矿区南部唐家营子附近的安山玢岩脉,其采样位置坐标为:北纬43°35′35.4″,东经118°15′46.5″。镜下鉴定结果表明,岩石呈斑状结构,基质具

交织结构。斑晶约占岩石体积的 30%，以中长石为主(15% ~20%)，还有角闪石和少量辉石(总共占 10%)，基质成分也是以中长石为主，其次是角闪石。中长石斑晶呈自形板状，粒度一般在 1 ~2mm，角闪石斑晶的边缘常被绿帘石交代，一般呈自形柱状、长柱状。在角闪石斑晶中心偶见辉石残晶，其长径一般也在 1 ~2mm。基质中的斜长石呈小板条状杂乱分布，其间分布有蚀变角闪石和玻璃质等。

DJ10-10 和 DJ10-11 样品采自大坝南约 100 m，其采样位置坐标为：北纬 43°25′4. 5″，东经 118°5′56. 9″，岩性为流纹质晶屑熔结凝灰岩，晶屑熔结凝灰结构，其中晶屑形态呈棱角状、尖棱角状、阶梯状和不规则状，大小混杂，多在 0. 5 ~3mm 之间，主要为石英晶屑(15% ~20%)、钾长石晶屑(10% ~15%)和斜长石晶屑(7% ~8%)。塑性玻屑和浆屑具有明显的塑性变形，相互熔结定向排列呈假流动构造的特征，约占岩石体积的 65% 左右。

DJ10-12 和 DJ10-13 样品分别采自大坝南约 100 m 和 150m 处，其采样位置坐标分别为：北纬 43°25′4. 5″，东经 118°5′56. 9″和北纬 43°25′7. 4″，118°5′56. 7″，岩性为流纹质晶屑熔结凝灰熔岩，角砾凝灰熔岩结构，由火山碎屑和熔岩物质组成。火山碎屑包括晶屑和岩屑，其中晶屑以蚀变斜长石晶屑为主，其次为钾长石晶屑和石英晶屑，占岩石体积的 10% ~15%；岩屑以变质砂岩岩屑、变质粉砂岩岩屑和安山岩岩屑为主，其次为硅质岩岩屑和变质泥质岩岩屑，占岩石体积的 20% ~25%。火山物质占 60% ~70%，主要由熔岩物质和少量塑性玻屑组成。岩石中的角砾为刚性岩屑，大小 2 ~10mm，约占岩石总量的 10%，其余小于 2mm 的刚性岩屑和晶屑均作为凝灰物质。

DJ10-14 样品采自大坝南约 150m 处，其采样位置坐标为：北纬 43°25′7. 4″，118°5′56. 7″，岩性为晶屑凝灰岩，凝灰结构，晶屑主要为石英(15%)、钾长石(10%)和斜长石(5%)，其形态多呈棱角状和不规则状，大小不一，多在 0. 5 ~1mm 之间。玻屑和浆屑具有一定的塑性变形，分布较为杂乱，约占岩石体积的 70% 左右。

DJ10-15 号样品采自新城子乡小城子村南约 200m 的石英斑岩脉，其采样位置坐标为：北纬 43°21′21. 7″，东经 118°10′31. 7″。镜下鉴定结果表明，岩石具斑状结构，基质具微晶-球粒文象结构。斑晶成分为石英(2% ~3%)和钾长石(1% ~2%)，基质成分约占 95%，主要由石英、长石和少量的霏细物组成。石英斑晶呈自形粒状，晶体边缘常见球粒霏细物或球粒状石英与长石构成的文象所环绕。钾长石斑晶呈自形板状，仅在局部出现，粒径大小在 1mm 左右。基质主要为石英、长石微晶和由石英与长石交生的显微文象所构成。

DJ10-16 号样品采自新城子乡小城子村南约 200m 的安山玢岩脉，其采样位置坐标为：北纬 43°21′10″，东经 118°10′41″。镜下鉴定结果表明，岩石具斑状结构，基质具交织结构，斑晶含量很少，偶见 2 ~5mm 的中长石(2% ~3%)和暗色矿物斑晶(1% ~2%)。基质成分主要为中长石(≧65%)、角闪石和黑云母(20% ~25%)，还有少量石英(2% ~3%)、磁铁矿(2% ~3%)和磷灰石(1% ~2%)。中长石多呈自形-半自形板状，角闪石呈自形长柱状，黑云母呈鳞片状，矿物粒度一般在 0. 5 ~1mm 之间，中长石的三角格架中常见石英充填其中，磁铁矿常呈 0. 1mm 左右的细小颗粒均匀分布。岩石中常见绿帘石交代中长石和角闪石的现象，黑云母被绿泥石交代。

2. 2 样品锆石特点

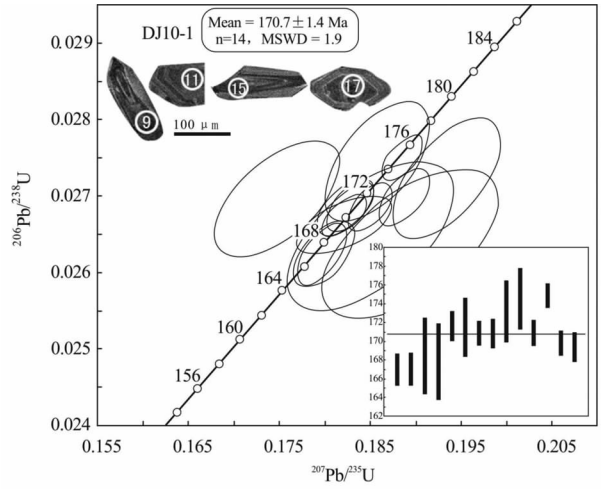
上述岩石样品的锆石挑选工作是委托廊坊科大岩石矿物分选技术服务公司完成的。在开展锆石测年之前，首先将所测样品的锆石颗粒用环氧树脂制靶，并对靶中的锆石作阴极发光和背散射电子相分析。所测样品锆石特征如下：DJ10-1 样品霏细岩中的锆石晶型多不完整，主要呈长柱状(柱长 120 ~200μm)；DJ10-3 样品流纹斑岩中的锆石晶型相对比较完整，长柱状和短柱状均可见及，其柱长从 60 ~120μm；DJ10-4 样品黑云母二长花岗岩的绝大多数锆石晶型完整，呈短柱状，柱长 100 ~200μm；DJ10-6 样品似斑状黑云母二长花岗岩中的锆石晶型完整，主要呈长柱状，柱长 80 ~300μm；DJ10-8 样品安山玢岩中的多数锆石晶型不完整，以短柱状为主，绝大多数锆石的柱长为 80 ~120μm；DJ10-10 样品流纹质晶屑熔结凝灰岩中的锆石晶型相对较为完整，多呈短柱状，柱长多数在 80 ~150μm；DJ10-12 样品流纹质火山角砾熔岩中的锆石晶型相对较为完整，多呈短柱状，柱长多在 100μm 左右；DJ10-14 样品晶屑凝灰岩中的锆石多呈短柱状，柱长多在 80 ~100μm 左右；DJ10-15 样品石英斑岩中的锆石晶型多不完整，一般呈短柱状，柱长多在 70 ~100μm；DJ10-16 样品安山玢岩中的锆石晶型多残缺不全，多为短柱状，柱长 100 ~300μm。上述样品锆石多发育韵律环带，具有岩浆锆石的特征。而且，在锆石的核部常见包裹有呈暗色的残留锆石，一般均较小，小于 LA-MC-ICP-MS 的激光束直径，部分残留锆石较大，达 100μm 左右。上述样品中的部分锆石阴极发光照片请参见图 2。

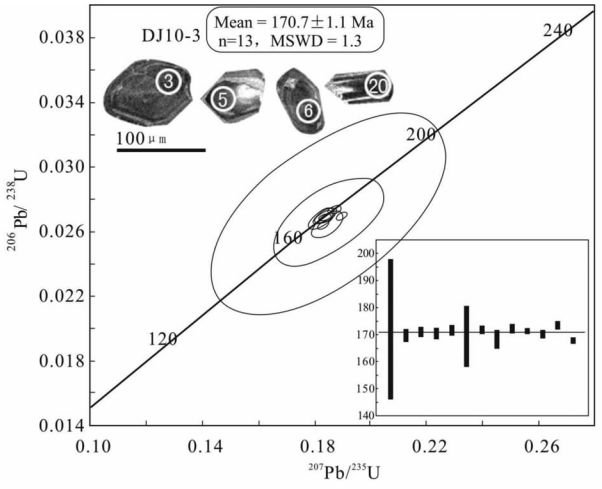
2. 3 样品分析方法

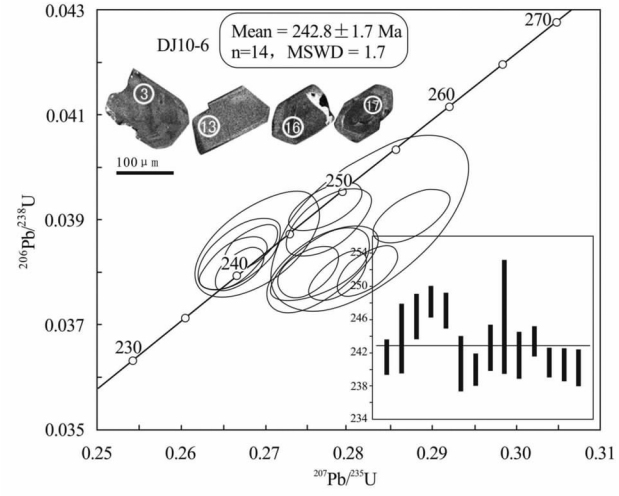
主元素分析采用 X 荧光光谱仪，Ba、Sr 分析采用 ICP-AES，其它元素(包括稀土元素)分析采用 ICP-MS，分析测试工作是由核工业地质分析测试研究中心完成。测试精度：Fe_2O_3 和 FeO 的 RSD < 10%，其它主元素的 RSD < 2% ~8%，微量和稀土元素的 RSD < 10%。

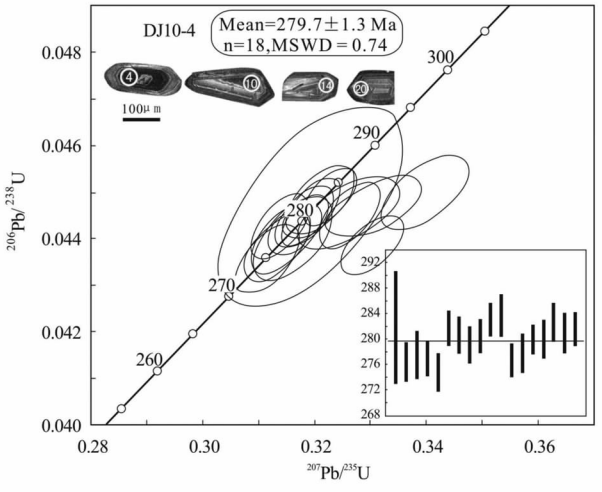
锆石 LA-MC-ICP-MS 测年是在中国地质科学院矿产资源研究所 LA-MC-ICP-MS 实验室完成，锆石定年分析所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。采用单点剥蚀的方式，数据分析前用锆石 GJ-1 进行调试仪器，使之达到最优状态，锆石 U-Pb 定年以锆石 GJ-1 为外标，U、Th 含量以锆石 M127(U：923 ×

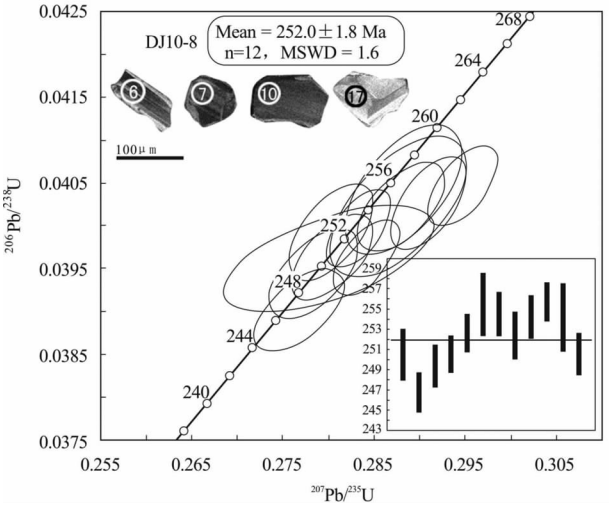
10^{-6}; Th: 439×10^{-6}; Th/U: 0.475 (Nasdala *et al.*, 2008)) 为外标进行校正。测试过程中在每测定 5 ~ 7 个样品前后重复测定两个锆石 GJ1 对样品进行校正,并测量一个锆石 Plesovice,观察仪器的状态以保证测试的精确度。数据处理采用 ICPMSDataCal 4.3 程序(Liu *et al.*, 2008),测量过程中绝大多数分析点$^{206}Pb/^{204}Pb > 1000$,未进行普通铅校正,^{204}Pb 由离子计数器检测,^{204}Pb 含量异常高的分析点可能受包体等普通 Pb 的影响,对^{204}Pb 含量异常高的分析点在计算时剔除,锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序获得。详细实验测试过程可参见侯可军等(2009)。样品分析过程中,Plesovice 标

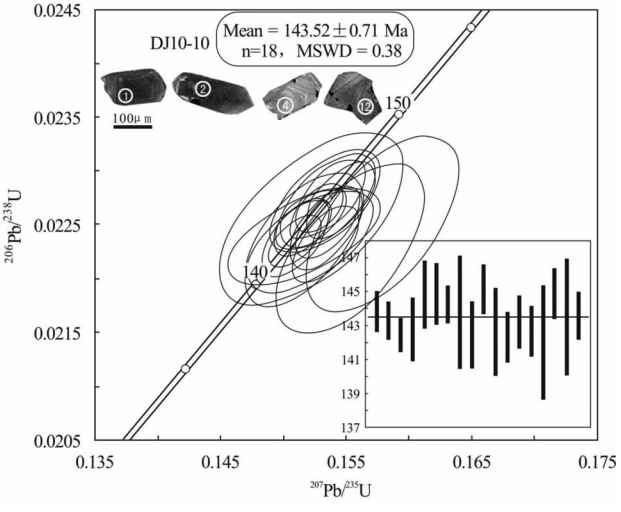












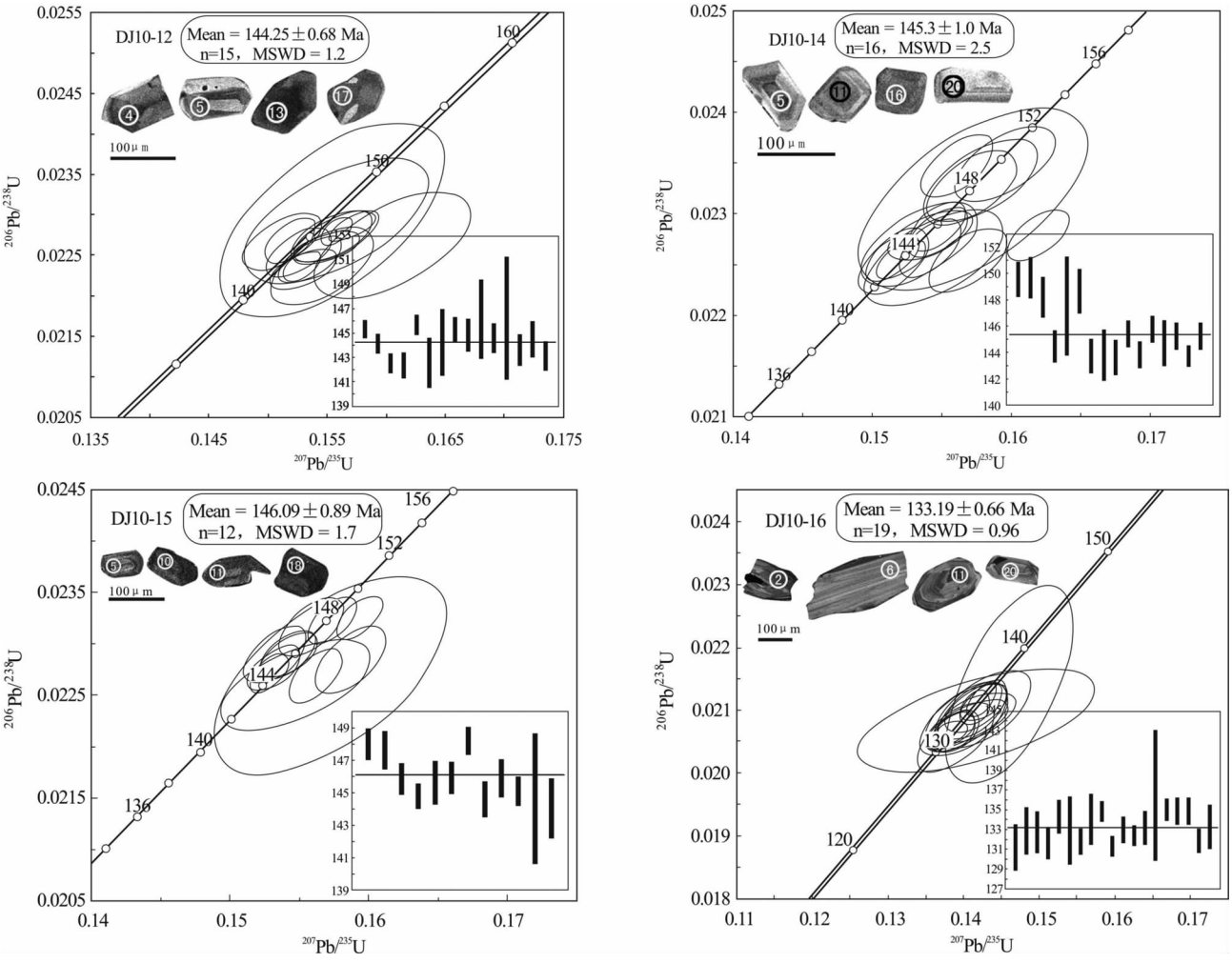


图 2　大井矿区及其附近主要岩浆岩的锆石 U-Pb 一致曲线图

Fig. 2　Concordia plot showing all LA-MC-ICP-MS data points for zircons from the main magmatic rocks occurring in and around the Dajing Cu-Ag-Sn polymetallic ore district

样作为未知样品的分析结果为 338.0 ± 1.5Ma(2σ, n = 16, MSWD = 1.7),对应的年龄推荐值为 337.1 ± 0.4(2σ)(Slama *et al.*, 2008),两者在误差范围内完全一致。

3　分析结果

3.1　锆石测年结果

DJ10-1 样品锆石 Th 的质量分数为 89.60 × 10^{-6} ~ 821.4 × 10^{-6}, U 的质量分数为 370.2 × 10^{-6} ~ 1694 × 10^{-6}, Th/U 比值 0.22 ~ 1.04,绝大多数介于 0.2 ~ 0.7 之间(表 1)。获得的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 140.3 ~ 875.8Ma,绝大多数年龄在 160 ~ 180Ma 附近,在去掉异常偏高或偏低的 6 个测点(1、4、10、13、19、20)年龄值,其他 14 个测点的加权平均年龄值为 170.7 ± 1.4Ma, MSWD = 1.9(图 2),可以代表霏细岩的侵位年龄,为早侏罗世。

DJ10-3 样品锆石 Th 的质量分数为 98.23 × 10^{-6} ~ 1862 × 10^{-6}, U 质量分数为 119.4 × 10^{-6} ~ 1353 × 10^{-6}, Th/U 比值 0.27 ~ 1.45,绝大多数介于 0.2 ~ 0.8 之间(表 1)。获得的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 167.8 ~ 730.3Ma,绝大多数年龄在 160 ~ 180Ma 附近,在去掉异常偏高或偏低的 7 个测点(2、4、7、12、13、15、16)年龄值,其他 13 个测点的加权平均年龄值为 170.7 ± 1.1Ma, MSWD = 1.3(图 2),可以代表霏细岩的侵位年龄,为早侏罗世。

DJ10-4 样品锆石 Th 的质量分数为 131.4 × 10^{-6} ~ 639.9 × 10^{-6}, U 质量分数为 222.2 × 10^{-6} ~ 751.7 × 10^{-6}, Th/U 比值 0.47 ~ 0.85,绝大多数介于 0.5 ~ 0.6 之间(表 1)。获得的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 274.8 ~ 283.7Ma,在去掉 2 个年龄稍低的测点(6、7)年龄值,其他 18 个测点的加权平均年龄值为 279.7 ± 1.3Ma, MSWD = 0.74(图 2),可以代表黑云母二长花岗岩的侵位年龄,为早二叠世。

DJ10-6 样品锆石 Th 的质量分数为 114.9 × 10^{-6} ~ 1415 × 10^{-6}, U 质量分数为 620.3 × 10^{-6} ~ 2659 × 10^{-6}, Th/U 比

表 1 大井铜银锡多金属矿床及其附近岩浆岩的锆石 LA-MC-ICP-MS 测年结果

Table 1 LA-MC-ICP-MS data for zircons from the intrusive and volcanic rocks occurring in and around the Dajing Cu-Ag-Sn polymetallic ore district

测点号	Pb ($\times10^{-6}$)	^{232}Th ($\times10^{-6}$)	^{238}U ($\times10^{-6}$)	Th/U	^{207}Pb/^{206}Pb	^{207}Pb/^{235}U	^{206}Pb/^{238}U	^{207}Pb/^{235}U (Ma)	^{206}Pb/^{238}U (Ma)	Con.
DJ10-1										
DJ10-1.1	63.96	645.38	1693.55	0.38	0.0546 ±1.4	0.3360 ±33.8	0.0447 ±4.3	294.1 ±2.6	281.7 ±2.6	95%
DJ10-1.2	14.84	216.23	778.75	0.28	0.0497 ±2.0	0.1795 ±19.2	0.0262 ±2.7	167.6 ±1.7	167.0 ±1.7	99%
DJ10-1.3	6.45	89.60	370.23	0.24	0.0498 ±3.1	0.1801 ±20.8	0.0263 ±2.7	168.2 ±1.8	167.1 ±1.7	99%
DJ10-1.4	18.38	236.77	506.42	0.47	0.0524 ±2.6	0.2692 ±21.1	0.0373 ±2.6	242.0 ±1.7	236.3 ±1.6	97%
DJ10-1.5	20.51	508.60	486.74	1.04	0.0505 ±6.3	0.1851 ±60.4	0.0265 ±6.4	172.4 ±5.2	168.4 ±4.0	97%
DJ10-1.6	23.92	821.44	864.88	0.95	0.0516 ±7.8	0.1894 ±64.1	0.0264 ±6.5	176.1 ±5.5	167.8 ±4.1	95%
DJ10-1.7	16.53	279.30	838.56	0.33	0.0508 ±2.0	0.1888 ±18.6	0.0270 ±2.5	175.6 ±1.6	171.6 ±1.5	97%
DJ10-1.8	12.53	264.35	679.03	0.39	0.0466 ±3.7	0.1748 ±45.4	0.0270 ±5.0	163.5 ±3.9	171.5 ±3.1	95%
DJ10-1.9	25.13	554.25	818.40	0.68	0.0500 ±2.2	0.1850 ±16.4	0.0269 ±2.1	172.3 ±1.4	170.9 ±1.3	99%
DJ10-1.10	18.20	509.61	909.57	0.56	0.0576 ±4.1	0.1745 ±18.3	0.0220 ±2.2	163.3 ±1.6	140.3 ±1.4	84%
DJ10-1.11	15.99	224.42	879.86	0.26	0.0492 ±2.8	0.1823 ±20.4	0.0269 ±2.5	170.0 ±1.7	170.8 ±1.5	99%
DJ10-1.12	23.36	398.64	1095.62	0.36	0.0515 ±4.1	0.1934 ±39.2	0.0272 ±5.2	179.5 ±3.3	173.2 ±3.3	96%
DJ10-1.13	33.26	217.39	673.22	0.32	0.1100 ±5.2	0.4689 ±46.6	0.0309 ±2.6	390.4 ±3.2	196.3 ±1.6	33%
DJ10-1.14	18.99	412.91	658.02	0.63	0.0491 ±5.3	0.1857 ±37.5	0.0274 ±5.2	173.0 ±3.2	174.5 ±3.2	99%
DJ10-1.15	23.86	516.27	802.84	0.64	0.0494 ±2.3	0.1828 ±17.3	0.0269 ±2.2	170.5 ±1.5	170.9 ±1.4	99%
DJ10-1.16	36.43	700.12	1444.99	0.48	0.0497 ±1.9	0.1885 ±14.7	0.0275 ±2.0	175.4 ±1.3	174.9 ±1.2	99%
DJ10-1.17	19.05	277.04	925.01	0.30	0.0494 ±2.1	0.1820 ±16.8	0.0267 ±2.1	169.8 ±1.4	169.8 ±1.3	99%
DJ10-1.18	28.80	155.80	503.12	0.31	0.0496 ±7.5	0.1822 ±35.0	0.0266 ±2.4	169.9 ±3.0	169.4 ±1.5	99%
DJ10-1.19	73.64	158.48	718.94	0.22	0.0707 ±1.8	1.4180 ±132.5	0.1455 ±12.8	896.5 ±5.6	875.8 ±7.2	97%
DJ10-1.20	12.73	315.45	563.20	0.56	0.0447 ±4.9	0.1653 ±25.1	0.0268 ±3.0	155.3 ±2.2	170.7 ±1.9	90%
DJ10-3										
DJ10-3.1	19.38	379.35	757.30	0.50	0.0496 ±1.2	0.1848 ±276.8	0.0271 ±41.1	172.2 ±23.7	172.1 ±25.8	99%
DJ10-3.2	12.50	158.32	328.86	0.48	0.0521 ±6.5	0.2900 ±65.9	0.0403 ±7.6	258.6 ±5.2	254.9 ±4.7	98%
DJ10-3.3	13.47	190.16	710.34	0.27	0.0495 ±2.1	0.1819 ±26.1	0.0267 ±3.6	169.7 ±2.2	169.7 ±2.3	99%
DJ10-3.4	19.24	126.74	310.91	0.41	0.0650 ±3.6	0.7563 ±148.7	0.0844 ±15.5	571.9 ±8.6	522.2 ±9.2	90%
DJ10-3.5	18.07	397.26	517.25	0.77	0.0494 ±2.9	0.1834 ±25.2	0.0269 ±2.9	171.0 ±2.2	171.1 ±1.8	99%
DJ10-3.6	21.43	350.94	1036.13	0.34	0.0496 ±2.6	0.1834 ±23.8	0.0268 ±3.2	171.0 ±2.0	170.6 ±2.0	99%
DJ10-3.7	16.03	175.22	390.91	0.45	0.0515 ±4.0	0.2942 ±39.9	0.0414 ±5.0	261.8 ±3.1	261.8 ±3.1	99%
DJ10-3.8	21.40	321.17	1056.28	0.30	0.0493 ±1.9	0.1834 ±21.8	0.0270 ±3.0	171.0 ±1.9	171.6 ±1.9	99%
DJ10-3.9	48.46	1259.68	1040.48	1.21	0.0503 ±5.8	0.1851 ±129.5	0.0266 ±17.7	172.5 ±11.1	169.4 ±11.1	98%
DJ10-3.10	45.68	1221.46	1014.39	1.20	0.0496 ±1.9	0.1845 ±16.9	0.0270 ±2.3	171.9 ±1.4	171.8 ±1.5	99%
DJ10-3.11	47.83	1180.43	1353.16	0.87	0.0507 ±3.6	0.1847 ±37.7	0.0264 ±5.4	172.1 ±3.2	168.2 ±3.4	97%
DJ10-3.12	92.00	203.99	221.43	0.92	0.0536 ±13.2	0.3203 ±81.0	0.0434 ±4.8	282.2 ±6.2	274.2 ±2.9	97%
DJ10-3.13	13.24	168.73	257.46	0.66	0.0521 ±3.0	0.3060 ±25.8	0.0426 ±3.0	271.1 ±2.0	269.0 ±1.9	99%
DJ10-3.14	21.96	507.99	621.74	0.82	0.0494 ±3.1	0.1847 ±21.5	0.0271 ±2.5	172.1 ±1.8	172.3 ±1.6	99%
DJ10-3.15	1143.8	1861.56	1281.60	1.45	0.4941 ±86.3	8.4257 ±3514.1	0.1200 ±33.0	2277.9 ±37.9	730.3 ±19.0	-3%
DJ10-3.16	11.64	98.23	119.38	0.82	0.0570 ±3.4	0.6093 ±49.2	0.0776 ±5.3	483.1 ±3.1	482.0 ±3.2	99%
DJ10-3.17	14.56	237.05	708.71	0.33	0.0511 ±2.0	0.1898 ±13.9	0.0269 ±1.6	176.4 ±1.2	171.4 ±1.0	97%
DJ10-3.18	12.78	187.14	672.96	0.28	0.0495 ±2.7	0.1826 ±19.9	0.0267 ±2.1	170.3 ±1.7	170.1 ±1.3	99%
DJ10-3.19	23.39	394.89	1027.23	0.38	0.0498 ±2.3	0.1873 ±16.1	0.0273 ±2.1	174.3 ±1.4	173.5 ±1.3	99%
DJ10-3.20	46.90	1256.79	1171.79	1.07	0.0504 ±1.9	0.1832 ±12.5	0.0264 ±1.6	170.8 ±1.1	167.8 ±1.0	98%
DJ10-4										
DJ10-4.1	19.40	188.72	376.05	0.50	0.0518 ±6.6	0.3193 ±108.2	0.0447 ±14.2	281.4 ±8.3	281.8 ±8.8	99%
DJ10-4.2	14.65	179.44	357.56	0.50	0.0519 ±2.7	0.3132 ±38.5	0.0438 ±4.9	276.7 ±3.0	276.5 ±3.0	99%
DJ10-4.3	22.40	288.50	474.53	0.61	0.0521 ±2.2	0.3163 ±45.7	0.0440 ±6.0	279.0 ±3.5	277.5 ±3.7	99%
DJ10-4.4	18.11	208.09	396.73	0.52	0.0519 ±2.1	0.3141 ±34.6	0.0439 ±4.4	277.4 ±2.7	276.9 ±2.7	99%
DJ10-4.5	15.64	188.17	401.58	0.47	0.0519 ±2.6	0.3115 ±37.8	0.0436 ±4.9	275.3 ±2.9	274.8 ±3.0	99%
DJ10-4.6	9.66	140.55	222.24	0.63	0.0556 ±3.1	0.3360 ±33.1	0.0438 ±3.7	294.2 ±2.5	276.6 ±2.3	93%
DJ10-4.7	44.68	639.85	751.73	0.85	0.0576 ±3.2	0.3516 ±48.2	0.0443 ±5.2	305.9 ±3.6	279.2 ±3.2	90%
DJ10-4.8	18.20	217.51	378.29	0.57	0.0537 ±6.9	0.3307 ±55.6	0.0447 ±4.3	290.1 ±4.2	281.7 ±2.7	97%
DJ10-4.9	14.82	131.43	268.48	0.49	0.0532 ±2.7	0.3263 ±35.8	0.0445 ±4.6	286.7 ±2.7	280.7 ±2.9	97%
DJ10-4.10	25.16	331.71	546.76	0.61	0.0515 ±2.1	0.3138 ±34.2	0.0443 ±4.6	277.2 ±2.6	279.2 ±2.8	99%
DJ10-4.11	24.67	284.25	488.09	0.58	0.0519 ±2.3	0.3182 ±34.5	0.0445 ±4.3	280.5 ±2.7	280.5 ±2.6	99%

续表 1

Continued Table 1

测点号	Pb ($\times10^{-6}$)	^{232}Th ($\times10^{-6}$)	^{238}U ($\times10^{-6}$)	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$ (Ma)	$^{206}Pb/^{238}U$ (Ma)	Con.
DJ10-4.12	20.51	208.52	386.67	0.54	0.0522 ± 2.3	0.3227 ± 31.4	0.0449 ± 4.1	284.0 ± 2.4	283.1 ± 2.6	99%
DJ10-4.13	14.33	179.63	349.16	0.51	0.0547 ± 3.6	0.3399 ± 51.6	0.0450 ± 5.3	297.1 ± 3.9	283.7 ± 3.3	95%
DJ10-4.14	13.40	168.30	312.94	0.54	0.0546 ± 3.0	0.3304 ± 36.7	0.0439 ± 4.2	289.8 ± 2.8	276.7 ± 2.6	95%
DJ10-4.15	15.01	201.17	340.20	0.59	0.0518 ± 2.8	0.3149 ± 41.1	0.0440 ± 4.9	278.0 ± 3.2	277.8 ± 3.0	99%
DJ10-4.16	31.82	425.06	673.78	0.63	0.0520 ± 1.7	0.3183 ± 27.3	0.0444 ± 3.6	280.6 ± 2.1	280.0 ± 2.3	99%
DJ10-4.17	21.16	288.88	473.77	0.61	0.0519 ± 2.8	0.3176 ± 38.9	0.0444 ± 4.8	280.1 ± 3.0	280.0 ± 3.0	99%
DJ10-4.18	17.18	174.74	355.61	0.49	0.0519 ± 2.9	0.3210 ± 40.4	0.0448 ± 4.9	282.6 ± 3.1	282.6 ± 3.0	99%
DJ10-4.19	5.47	183.91	294.28	0.62	0.0531 ± 8.0	0.3262 ± 61.3	0.0446 ± 5.0	286.6 ± 4.7	281.0 ± 3.1	98%
DJ10-4.20	16.12	173.33	313.65	0.55	0.0520 ± 2.9	0.3195 ± 33.6	0.0446 ± 4.3	281.6 ± 2.6	281.5 ± 2.7	99%
DJ10-6										
DJ10-6.1	72.31	819.31	1751.57	0.47	0.0754 ± 3.2	0.3844 ± 38.7	0.0370 ± 3.5	330.3 ± 2.8	234.1 ± 2.2	65%
DJ10-6.2	20.89	326.72	863.62	0.38	0.0550 ± 2.0	0.2416 ± 22.0	0.0319 ± 2.7	219.7 ± 1.8	202.2 ± 1.7	91%
DJ10-6.3	25.45	282.74	889.60	0.32	0.0506 ± 1.8	0.2663 ± 26.2	0.0382 ± 3.4	239.7 ± 2.1	241.5 ± 2.1	99%
DJ10-6.4	29.31	328.13	1012.40	0.32	0.0507 ± 3.6	0.2692 ± 48.8	0.0385 ± 6.6	242.0 ± 3.9	243.8 ± 4.1	99%
DJ10-6.5	53.06	480.61	1933.21	0.25	0.0516 ± 1.8	0.2776 ± 33.0	0.0390 ± 4.3	248.7 ± 2.6	246.4 ± 2.7	99%
DJ10-6.6	23.14	284.84	853.95	0.33	0.0512 ± 3.1	0.2771 ± 29.1	0.0392 ± 3.0	248.4 ± 2.3	248.2 ± 1.9	99%
DJ10-6.7	25.19	261.39	805.44	0.32	0.0534 ± 3.0	0.2875 ± 29.7	0.0391 ± 3.4	256.6 ± 2.3	247.1 ± 2.1	96%
DJ10-6.8	41.51	322.47	1631.34	0.20	0.0527 ± 6.4	0.2763 ± 40.2	0.0380 ± 5.4	247.7 ± 3.2	240.7 ± 3.3	97%
DJ10-6.9	70.04	668.40	2659.07	0.25	0.0533 ± 1.8	0.2787 ± 22.9	0.0379 ± 3.1	249.6 ± 1.8	240.0 ± 1.9	96%
DJ10-6.10	14.03	114.90	620.25	0.19	0.0505 ± 2.8	0.2670 ± 32.4	0.0384 ± 4.5	240.3 ± 2.6	242.6 ± 2.8	99%
DJ10-6.11	29.36	420.41	964.36	0.44	0.0567 ± 3.2	0.2804 ± 43.3	0.0359 ± 5.3	251.0 ± 3.4	227.3 ± 3.3	90%
DJ10-6.12	59.37	604.58	2068.08	0.29	0.0526 ± 2.4	0.2824 ± 77.8	0.0390 ± 11.0	252.6 ± 6.2	246.3 ± 6.8	97%
DJ10-6.13	65.29	791.67	1893.19	0.42	0.0526 ± 2.9	0.2774 ± 39.3	0.0382 ± 4.5	248.6 ± 3.1	241.7 ± 2.8	97%
DJ10-6.14	23.31	239.05	796.28	0.30	0.0506 ± 1.7	0.2682 ± 21.6	0.0385 ± 2.9	241.3 ± 1.7	243.4 ± 1.8	99%
DJ10-6.15	20.43	196.98	651.75	0.30	0.0509 ± 2.0	0.2669 ± 19.4	0.0381 ± 2.7	240.2 ± 1.6	240.8 ± 1.7	99%
DJ10-6.16	96.63	1414.79	1500.71	0.94	0.1323 ± 14.9	0.6028 ± 81.1	0.0330 ± 2.4	479.0 ± 5.1	209.5 ± 1.5	21%
DJ10-6.17	30.04	473.68	1166.82	0.41	0.0621 ± 2.2	0.2528 ± 22.9	0.0295 ± 2.5	228.8 ± 1.9	187.5 ± 1.5	80%
DJ10-6.18	44.87	434.01	1575.10	0.28	0.0538 ± 1.6	0.2821 ± 24.0	0.0380 ± 3.2	252.3 ± 1.9	240.6 ± 2.0	95%
DJ10-6.19	33.88	359.92	1316.75	0.27	0.0569 ± 1.9	0.2856 ± 26.9	0.0364 ± 3.1	255.1 ± 2.1	230.5 ± 1.9	89%
DJ10-6.20	36.28	483.65	1020.11	0.47	0.0524 ± 1.7	0.2747 ± 26.8	0.0380 ± 3.5	246.4 ± 2.1	240.2 ± 2.1	97%
DJ10-8										
DJ10-8-1	8.34	45.65	37.36	1.22	0.0560 ± 22.5	0.4452 ± 270.1	0.0568 ± 5.8	373.9 ± 19.0	356.1 ± 3.6	95%
DJ10-8-2	6.90	52.78	72.06	0.73	0.0533 ± 4.9	0.3936 ± 48.1	0.0536 ± 4.8	337.0 ± 3.5	336.7 ± 2.9	99%
DJ10-8-3	7.08	97.27	92.70	1.05	0.0511 ± 10.7	0.2800 ± 75.9	0.0396 ± 4.1	250.7 ± 6.0	250.5 ± 2.5	99%
DJ10-8-4	11.58	155.62	193.14	0.81	0.0515 ± 4.9	0.2768 ± 32.3	0.0390 ± 3.2	248.1 ± 2.6	246.8 ± 2.0	99%
DJ10-8-5	14.70	190.44	240.67	0.79	0.0512 ± 3.3	0.2783 ± 32.2	0.0394 ± 3.4	249.3 ± 2.6	249.4 ± 2.1	99%
DJ10-8-6	23.55	392.97	418.23	0.94	0.0520 ± 2.1	0.2841 ± 24.1	0.0396 ± 2.9	253.9 ± 1.9	250.6 ± 1.8	98%
DJ10-8-7	44.28	786.36	598.77	1.31	0.0515 ± 1.8	0.2834 ± 23.0	0.0400 ± 3.0	253.3 ± 1.8	252.6 ± 1.9	99%
DJ10-8-8	12.31	203.50	213.48	0.95	0.0518 ± 5.2	0.2882 ± 41.7	0.0404 ± 5.0	257.1 ± 3.3	255.5 ± 3.1	99%
DJ10-8-9	28.52	414.30	560.10	0.74	0.0524 ± 2.1	0.2910 ± 27.4	0.0403 ± 3.6	259.3 ± 2.2	254.5 ± 2.2	98%
DJ10-8-10	15.76	233.19	245.43	0.95	0.0509 ± 3.1	0.2803 ± 30.5	0.0399 ± 3.7	250.9 ± 2.4	252.4 ± 2.3	99%
DJ10-8.11	17.05	254.21	390.55	0.65	0.0519 ± 3.1	0.2881 ± 31.1	0.0402 ± 3.4	257.0 ± 2.4	254.2 ± 2.1	98%
DJ10-8.12	23.81	235.56	317.07	0.74	0.0534 ± 6.8	0.4088 ± 73.3	0.0554 ± 4.9	348.0 ± 5.3	347.8 ± 3.0	99%
DJ10-8.13	16.52	281.15	285.00	0.99	0.0529 ± 2.9	0.2948 ± 25.1	0.0405 ± 3.1	262.3 ± 2.0	255.7 ± 1.9	97%
DJ10-8.14	6.09	1.72	0.89	1.93	0.8481 ± 390.3	119.1056 ± 372116.7	1.1269 ± 3593.5	4862.0 ± 325.3	4865.0 ± 1099.7	99%
DJ10-8.15	13.09	144.99	291.81	0.50	0.0532 ± 3.7	0.3950 ± 73.6	0.0536 ± 6.4	338.0 ± 5.4	336.5 ± 3.9	99%
DJ10-8.16	12.38	167.41	144.43	1.16	0.0519 ± 6.1	0.2876 ± 49.1	0.0402 ± 5.4	256.7 ± 3.9	254.2 ± 3.3	99%
DJ10-8.17	6.76	66.35	162.95	0.41	0.0514 ± 3.7	0.2804 ± 29.5	0.0396 ± 3.3	251.0 ± 2.3	250.6 ± 2.1	99%
DJ10-8.18	5.88	34.74	80.61	0.43	0.0542 ± 5.7	0.3355 ± 44.6	0.0451 ± 5.1	293.8 ± 3.4	284.4 ± 3.1	96%
DJ10-8.19	41.30	61.63	540.83	0.11	0.0663 ± 2.3	1.2152 ± 109.5	0.1328 ± 10.8	807.6 ± 5.0	804.0 ± 6.1	99%
DJ10-8.20	40.17	618.31	678.98	0.91	0.0553 ± 3.7	0.3123 ± 57.0	0.0409 ± 6.4	276.0 ± 4.4	258.5 ± 3.9	93%
DJ10-10										
DJ10-10.1	11.91	238.83	562.06	0.42	0.0489 ± 3.6	0.1522 ± 18.5	0.0226 ± 1.9	143.9 ± 1.6	143.8 ± 1.2	99%
DJ10-10.2	14.01	284.43	647.22	0.44	0.0489 ± 2.6	0.1516 ± 14.9	0.0225 ± 1.8	143.3 ± 1.3	143.3 ± 1.1	99%

续表 1

Continued Table 1

测点号	Pb ($\times10^{-6}$)	^{232}Th ($\times10^{-6}$)	^{238}U ($\times10^{-6}$)	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$ (Ma)	$^{206}Pb/^{238}U$ (Ma)	Con.
DJ10-10.3	9.99	227.22	509.77	0.45	0.0490 ±2.6	0.1509 ±13.7	0.0223 ±1.6	142.7 ±1.2	142.5 ±1.0	99%
DJ10-10.4	5.87	98.52	201.51	0.49	0.0491 ±10.3	0.1516 ±40.2	0.0224 ±2.9	143.3 ±3.5	142.8 ±1.9	99%
DJ10-10.5	8.68	205.75	400.00	0.51	0.0490 ±7.0	0.1533 ±28.8	0.0227 ±3.2	144.8 ±2.5	144.8 ±2.0	99%
DJ10-10.6	7.43	173.81	309.26	0.56	0.0490 ±6.1	0.1535 ±25.3	0.0227 ±2.9	145.0 ±2.2	144.9 ±1.8	99%
DJ10-10.7	8.76	190.02	439.60	0.43	0.0490 ±2.8	0.1527 ±14.1	0.0226 ±1.7	144.3 ±1.2	144.3 ±1.1	99%
DJ10-10.8	16.44	333.50	753.99	0.44	0.0486 ±2.6	0.1522 ±48.6	0.0226 ±5.3	143.9 ±4.3	143.8 ±3.3	99%
DJ10-10.9	263.18	659.06	1022.54	0.64	0.3754 ±136.8	2.7094 ±1996.9	0.0448 ±16.4	1331.0 ±54.7	282.6 ±10.1	−30%
DJ10-10.10	12.02	275.85	510.31	0.54	0.0492 ±6.5	0.1521 ±33.3	0.0223 ±3.1	143.8 ±2.9	142.5 ±2.0	99%
DJ10-10.11	19.65	402.70	857.81	0.47	0.0490 ±2.5	0.1538 ±18.2	0.0228 ±2.3	145.2 ±1.6	145.1 ±1.4	99%
DJ10-10.12	10.83	235.35	522.57	0.45	0.0492 ±5.7	0.1516 ±30.8	0.0224 ±4.1	143.3 ±2.7	142.6 ±2.6	99%
DJ10-10.13	5.50	121.50	266.70	0.46	0.0500 ±3.5	0.1533 ±17.4	0.0223 ±2.4	144.8 ±1.5	142.3 ±1.5	98%
DJ10-10.14	7.38	164.97	339.59	0.49	0.0496 ±3.4	0.1534 ±19.3	0.0225 ±2.5	144.9 ±1.7	143.2 ±1.6	98%
DJ10-10.15	10.22	239.95	539.36	0.44	0.0490 ±2.4	0.1510 ±17.4	0.0224 ±2.3	142.8 ±1.5	142.7 ±1.5	99%
DJ10-10.16	27.03	562.64	1206.44	0.47	0.0506 ±4.9	0.1553 ±38.8	0.0223 ±5.3	146.6 ±3.4	142.0 ±3.3	96%
DJ10-10.17	6.68	300.01	667.85	0.45	0.0423 ±2.6	0.1287 ±16.2	0.0221 ±2.3	122.9 ±1.5	140.7 ±1.4	86%
DJ10-10.18	10.14	206.87	539.65	0.38	0.0493 ±2.7	0.1545 ±18.5	0.0227 ±2.4	145.9 ±1.6	144.9 ±1.5	99%
DJ10-10.19	12.12	235.00	558.56	0.42	0.0509 ±5.8	0.1579 ±40.0	0.0225 ±5.4	148.8 ±3.5	143.5 ±3.4	96%
DJ10-10.20	15.91	337.40	821.82	0.41	0.0494 ±2.1	0.1535 ±16.6	0.0225 ±2.2	145.0 ±1.5	143.6 ±1.4	99%
DJ10-12										
DJ10-12.1	69.10	2199.02	1753.68	1.25	0.0496 ±1.5	0.1558 ±8.7	0.0228 ±1.2	147.0 ±0.8	145.3 ±0.7	98%
DJ10-12.2	9.78	291.04	321.72	0.90	0.0497 ±5.3	0.1549 ±18.5	0.0226 ±1.3	146.2 ±1.6	144.1 ±0.8	98%
DJ10-12.3	102.50	136.85	109.90	1.25	0.1629 ±3.5	10.6398 ±632.6	0.4737 ±26.3	2492.2 ±5.5	2499.8 ±11.5	99%
DJ10-12.4	14.86	329.90	741.70	0.44	0.0495 ±2.6	0.1527 ±11.9	0.0224 ±1.2	144.3 ±1.1	142.5 ±0.8	98%
DJ10-12.5	12.74	343.29	401.17	0.86	0.0497 ±5.1	0.1530 ±18.9	0.0223 ±1.7	144.6 ±1.7	142.4 ±1.1	98%
DJ10-12.6	11.18	252.55	592.06	0.43	0.0497 ±5.5	0.1566 ±19.7	0.0229 ±1.3	147.7 ±1.7	145.7 ±0.8	98%
DJ10-12.7	37.09	1055.54	1055.38	1.00	0.0502 ±8.6	0.1546 ±28.5	0.0224 ±3.2	145.9 ±2.5	142.6 ±2.0	97%
DJ10-12.8	38.96	947.55	1257.33	0.75	0.0514 ±7.2	0.1605 ±43.9	0.0226 ±4.3	151.2 ±3.8	144.3 ±2.7	95%
DJ10-12.9	20.06	614.57	557.70	1.10	0.0500 ±2.9	0.1571 ±13.3	0.0228 ±1.6	148.2 ±1.2	145.3 ±1.0	98%
DJ10-12.10	78.62	118.64	194.57	0.61	0.119651.1	5.1647 ±1169.5	0.3267 ±68.6	1846.8 ±19.3	1822.2 ±33.4	98%
DJ10-12.11	16.39	450.11	452.98	0.99	0.0496 ±5.4	0.1554 ±22.5	0.0227 ±2.2	146.6 ±2.0	144.8 ±1.4	98%
DJ10-12.12	16.39	529.04	503.21	1.05	0.0488 ±6.6	0.1558 ±51.7	0.0229 ±5.1	147.0 ±4.5	146.2 ±3.2	99%
DJ10-12.13	53.51	1703.52	1524.59	1.12	0.0486 ±2.0	0.1519 ±14.0	0.0227 ±1.9	143.6 ±1.2	144.6 ±1.2	99%
DJ10-12.14	28.87	866.06	706.22	1.23	0.0557 ±4.7	0.1839 ±25.6	0.0240 ±2.8	171.4 ±2.2	152.7 ±1.8	88%
DJ10-12.15	15.76	470.30	482.04	0.98	0.0491 ±6.1	0.1554 ±62.9	0.0229 ±7.9	146.7 ±5.5	146.2 ±5.0	99%
DJ10-12.16	14.96	410.55	408.99	1.00	0.0491 ±3.9	0.1526 ±18.1	0.0225 ±2.0	144.2 ±1.6	143.6 ±1.3	99%
DJ10-12.17	11.76	355.95	371.33	0.96	0.0484 ±5.3	0.1512 ±21.9	0.0227 ±2.3	143.0 ±1.9	144.5 ±1.5	98%
DJ10-12.18	228.75	54.76	891.78	0.06	0.1741 ±14.2	6.8226 ±705.8	0.2872 ±41.6	2088.7 ±9.2	1627.7 ±20.8	75%
DJ10-12.19	8.75	186.60	237.21	0.79	0.0500 ±3.3	0.1968 ±19.3	0.0286 ±2.2	182.4 ±1.6	181.7 ±1.4	99%
DJ10-12.20	13.83	400.27	492.87	0.81	0.0497 ±3.3	0.1538 ±16.2	0.0225 ±1.9	145.2 ±1.4	143.2 ±1.2	98%
DJ10-14										
DJ10-14.1	13.13	236.25	563.71	0.42	0.0482 ±2.9	0.1561 ±17.3	0.0235 ±2.1	147.3 ±1.5	149.6 ±1.3	98%
DJ10-14.2	10.26	218.55	379.99	0.58	0.0493 ±5.1	0.1595 ±24.1	0.0235 ±2.5	150.3 ±2.1	149.7 ±1.6	99%
DJ10-14.3	6.67	121.67	274.22	0.44	0.0490 ±4.4	0.1571 ±22.0	0.0233 ±2.4	148.1 ±1.9	148.2 ±1.5	99%
DJ10-14.4	128.29	14.34	655.75	0.02	0.1220 ±6.6	4.4417 ±342.4	0.2644 ±20.8	1720.2 ±6.4	1512.4 ±10.6	87%
DJ10-14.5	15.01	443.06	447.36	0.99	0.0494 ±2.7	0.1542 ±14.8	0.0227 ±1.9	145.6 ±1.3	144.5 ±1.2	99%
DJ10-14.6	10.27	209.75	440.65	0.48	0.0576 ±70.3	0.1572 ±53.8	0.0231 ±5.9	148.3 ±4.7	147.5 ±3.7	99%
DJ10-14.7	9.59	252.56	328.51	0.77	0.0490 ±5.2	0.1579 ±26.8	0.0233 ±2.6	148.8 ±2.4	148.7 ±1.7	99%
DJ10-14.8	67.32	1380.91	1835.38	0.75	0.0810 ±9.9	0.3319 ±93.7	0.0289 ±5.3	291.0 ±7.1	183.9 ±3.3	54%
DJ10-14.9	9.33	130.60	220.42	0.59	0.1082 ±28.5	0.3755 ±124.6	0.0247 ±2.6	323.7 ±9.2	157.6 ±1.6	30%
DJ10-14.10	10.04	263.68	396.21	0.67	0.0505 ±4.4	0.1568 ±19.0	0.0225 ±2.1	147.9 ±1.7	143.7 ±1.3	97%
DJ10-14.11	5.37	98.62	173.06	0.57	0.0494 ±5.5	0.1544 ±33.1	0.0226 ±3.1	145.8 ±2.9	143.8 ±1.9	98%

续表 1

Continued Table 1

测点号	Pb ($\times10^{-6}$)	^{232}Th ($\times10^{-6}$)	^{238}U ($\times10^{-6}$)	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$ (Ma)	$^{206}Pb/^{238}U$ (Ma)	Con.
DJ10-14.12	15.70	357.03	693.39	0.51	0.0487 ±2.5	0.1515 ±16.7	0.0225 ±2.1	143.3 ±1.5	143.6 ±1.3	99%
DJ10-14.13	7.66	199.54	370.80	0.54	0.0492 ±3.2	0.1547 ±14.2	0.0228 ±1.6	146.1 ±1.2	145.4 ±1.0	99%
DJ10-14.14	17.61	433.03	816.88	0.53	0.0487 ±2.4	0.1514 ±12.6	0.0226 ±1.6	143.2 ±1.1	143.9 ±1.0	99%
DJ10-14.15	11.54	248.57	582.01	0.43	0.0541 ±3.0	0.1701 ±15.2	0.0228 ±1.5	159.5 ±1.3	145.3 ±1.0	90%
DJ10-14.16	14.31	303.68	609.93	0.50	0.0490 ±2.8	0.1547 ±13.8	0.0229 ±1.6	146.0 ±1.2	145.8 ±1.0	99%
DJ10-14.17	8.53	227.01	414.65	0.55	0.0488 ±4.3	0.1534 ±27.9	0.0227 ±2.7	144.9 ±2.5	144.7 ±1.7	99%
DJ10-14.18	15.17	321.61	575.30	0.56	0.0515 ±2.8	0.1620 ±14.7	0.0228 ±1.6	152.4 ±1.3	145.2 ±1.0	95%
DJ10-14.19	15.29	342.95	702.34	0.49	0.0489 ±2.7	0.1521 ±12.1	0.0225 ±1.2	143.7 ±1.1	143.7 ±0.8	99%
DJ10-14.20	5.53	96.49	223.97	0.43	0.0491 ±5.4	0.1542 ±20.0	0.0228 ±1.6	145.6 ±1.8	145.2 ±1.0	99%
DJ10-15										
DJ10-15-1	9.08	40.28	58.36	0.69	0.0656 ±5.6	1.1991 ±217.1	0.1322 ±16.0	800.2 ±10.0	800.3 ±9.1	99%
DJ10-15-2	42.12	1197.39	1510.20	0.79	0.0491 ±1.7	0.1573 ±11.8	0.0232 ±1.5	148.4 ±1.0	148.0 ±1.0	99%
DJ10-15-3	44.50	989.99	1766.16	0.56	0.0551 ±3.6	0.1771 ±17.8	0.0233 ±1.7	165.5 ±1.5	148.4 ±1.1	89%
DJ10-15-4	25.30	603.19	1109.80	0.54	0.0488 ±2.2	0.1559 ±15.3	0.0232 ±1.9	147.1 ±1.3	147.6 ±1.2	99%
DJ10-15-5	19.12	446.28	907.61	0.49	0.0489 ±2.6	0.1543 ±13.5	0.0229 ±1.5	145.7 ±1.2	145.9 ±0.9	99%
DJ10-15-6	30.24	344.54	431.07	0.80	0.0535 ±2.4	0.4427 ±59.6	0.0599 ±6.1	372.2 ±4.2	374.8 ±3.7	99%
DJ10-15-7	26.60	128.58	179.44	0.72	0.0657 ±20.1	1.2184 ±515.6	0.1338 ±16.4	809.0 ±23.6	809.8 ±9.3	99%
DJ10-15-8	25.74	663.41	1129.14	0.59	0.0488 ±1.8	0.1528 ±9.2	0.0227 ±1.2	144.4 ±0.8	144.8 ±0.8	99%
DJ10-15-9	31.21	728.05	1302.47	0.56	0.0610 ±5.3	0.1893 ±21.1	0.0225 ±1.3	176.0 ±1.8	143.4 ±0.8	79%
DJ10-15-10	40.59	914.04	1689.29	0.54	0.0504 ±3.1	0.1587 ±16.8	0.0228 ±2.1	149.6 ±1.5	145.6 ±1.4	97%
DJ10-15.11	27.91	863.04	883.98	0.98	0.0488 ±2.2	0.1542 ±13.3	0.0229 ±1.5	145.6 ±1.2	145.9 ±1.0	99%
DJ10-15.12	29.62	729.71	1262.97	0.58	0.0497 ±2.1	0.1594 ±11.0	0.0233 ±1.4	150.1 ±1.0	148.2 ±0.9	98%
DJ10-15.13	35.12	876.49	1478.28	0.59	0.0499 ±2.3	0.1562 ±12.8	0.0227 ±1.7	147.3 ±1.1	144.6 ±1.1	98%
DJ10-15.14	30.12	704.98	1355.17	0.52	0.0485 ±1.8	0.1532 ±14.9	0.0229 ±1.8	144.8 ±1.3	145.9 ±1.2	99%
DJ10-15.15	33.70	807.76	1546.27	0.52	0.0488 ±2.5	0.1531 ±12.6	0.0228 ±1.4	144.7 ±1.1	145.1 ±0.9	99%
DJ10-15.16	8.48	113.40	216.22	0.52	0.0514 ±3.4	0.2891 ±27.7	0.0408 ±3.2	257.9 ±2.2	258.0 ±2.0	99%
DJ10-15.17	26.87	664.39	1315.08	0.51	0.0502 ±5.2	0.1572 ±55.3	0.0227 ±6.4	148.3 ±4.9	144.6 ±4.0	97%
DJ10-15.18	36.82	936.42	1660.05	0.56	0.0496 ±9.2	0.1547 ±36.0	0.0226 ±2.9	146.1 ±3.2	144.1 ±1.8	98%
DJ10-15.19	11.26	137.92	328.44	0.42	0.0513 ±2.5	0.2839 ±27.4	0.0402 ±3.5	253.8 ±2.2	253.9 ±2.1	99%
DJ10-15.20	12.31	282.92	311.34	0.91	0.0524 ±13.8	0.2110 ±60.7	0.0293 ±5.9	194.4 ±5.1	186.3 ±3.7	95%
DJ10-16										
DJ10-16.1	4.58	113.09	97.21	1.16	0.0491 ±8.6	0.1389 ±32.9	0.0206 ±3.7	132.0 ±2.9	131.2 ±2.3	99%
DJ10-16.2	5.45	151.18	238.05	0.64	0.0486 ±6.7	0.1400 ±38.2	0.0208 ±3.7	133.1 ±3.4	132.9 ±2.4	99%
DJ10-16.3	49.55	1890.02	901.09	2.10	0.0486 ±2.2	0.1399 ±24.0	0.0208 ±3.3	132.9 ±2.1	132.8 ±2.1	99%
DJ10-16.4	10.35	300.29	409.85	0.73	0.0488 ±4.0	0.1388 ±20.2	0.0206 ±2.5	132.0 ±1.8	131.6 ±1.6	99%
DJ10-16.5	5.75	197.23	123.39	1.60	0.0489 ±7.1	0.1417 ±27.2	0.0211 ±2.7	134.5 ±2.4	134.3 ±1.7	99%
DJ10-16.6	0.89	60.67	47.17	1.29	0.0499 ±39.1	0.1417 ±103.6	0.0208 ±5.4	134.6 ±9.2	133.0 ±3.4	98%
DJ10-16.7	3.32	106.20	99.41	1.07	0.0488 ±7.2	0.1387 ±23.7	0.0207 ±2.1	131.9 ±2.1	131.8 ±1.3	99%
DJ10-16.8	6.30	146.12	160.09	0.91	0.0492 ±9.6	0.1427 ±41.1	0.0210 ±4.0	135.5 ±3.7	134.1 ±2.5	98%
DJ10-16.9	41.74	1145.71	1711.17	0.67	0.0492 ±1.5	0.1434 ±11.4	0.0211 ±1.6	136.1 ±1.0	134.9 ±1.0	99%
DJ10-16.10	5.80	169.93	197.04	0.86	0.0485 ±5.4	0.1377 ±18.2	0.0206 ±1.6	131.0 ±1.6	131.4 ±1.0	99%
DJ10-16.11	9.58	258.15	353.02	0.73	0.0488 ±5.9	0.1413 ±30.7	0.0208 ±2.1	134.2 ±2.7	133.0 ±1.3	99%
DJ10-16.12	4.97	105.29	88.11	1.19	0.0489 ±7.0	0.1394 ±21.1	0.0208 ±1.6	132.5 ±1.9	132.4 ±1.0	99%
DJ10-16.13	21.22	842.61	424.94	1.98	0.0486 ±5.0	0.1415 ±35.5	0.0209 ±2.6	134.4 ±3.2	133.2 ±1.7	99%
DJ10-16.14	5.15	62.98	106.34	0.59	0.0502 ±21.9	0.2350 ±159.0	0.0332 ±3.1	214.3 ±13.1	210.6 ±2.0	98%
DJ10-16.15	5.42	93.82	212.82	0.44	0.0497 ±15.2	0.1462 ±55.3	0.0214 ±10.4	138.5 ±4.9	136.5 ±6.6	98%
DJ10-16.16	23.81	828.65	653.99	1.27	0.0488 ±2.7	0.1422 ±13.8	0.0212 ±1.8	135.0 ±1.2	135.0 ±1.1	99%
DJ10-16.17	14.47	445.09	408.75	1.09	0.0490 ±2.9	0.1428 ±16.0	0.0211 ±2.1	135.5 ±1.4	134.9 ±1.3	99%
DJ10-16.18	5.92	154.22	175.46	0.88	0.0489 ±4.7	0.1426 ±20.4	0.0211 ±2.2	135.4 ±1.8	134.8 ±1.4	99%
DJ10-16.19	18.02	726.30	335.58	2.16	0.0486 ±4.5	0.1386 ±20.0	0.0207 ±1.9	131.8 ±1.8	131.9 ±1.2	99%
DJ10-16.20	8.76	296.03	450.37	0.66	0.0486 ±6.9	0.1403 ±36.1	0.0209 ±3.5	133.3 ±3.2	133.3 ±2.2	99%

值 0.19 ~ 0.94,绝大多数介于 0.2 ~ 0.5 之间(表 1)。获得的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 187.5 ~ 248.2Ma,在去掉 6 个年龄偏低的测点(1、2、11、16、17、19)年龄值,其他 14 个测点的加权平均年龄值为 242.8 ± 1.7Ma,MSWD = 1.7(图 2),可以代表似斑状黑云母二长花岗岩的侵位年龄,为早三叠世。

DJ10-8 样品除了第 14 号测点有问题,可能不是锆石外,其他锆石 Th 的质量分数为 34.74×10^{-6} ~ 786.4×10^{-6}, U 质量分数为 37.36×10^{-6} ~ 679.0×10^{-6},Th/U 比值 0.11 ~ 1.31,绝大多数介于 0.4 ~ 1.0 之间(表 1)。获得的$^{206}Pb/^{238}U$年龄值变化于 246.8 ~ 804.0Ma,在去掉 7 个年龄偏高的测点(1、2、12、15、18、19、20)年龄值,其他 12 个测点的加权平均年龄值为 252.0 ± 1.8Ma,MSWD = 1.6(图 2),可以代表安山玢岩的侵位年龄,为晚二叠世。

DJ10-10 样品锆石 Th 的质量分数为 98.52×10^{-6} ~ 659.1×10^{-6}, U 质量分数为 201.5×10^{-6} ~ 1206×10^{-6},Th/U 比值 0.38 ~ 0.64,绝大多数介于 0.4 ~ 0.6 之间(表 1)。获得的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 140.7 ~ 282.6Ma,在去掉 2 个年龄偏高或偏低的测点(9、17)年龄值,其他 12 个测点的加权平均年龄值为 143.5 ± 0.7Ma,MSWD = 0.38(图 2),可以代表流纹质晶屑熔结凝灰岩的形成年龄,为晚侏罗世。

DJ10-12 样品锆石 Th 的质量分数为 54.76×10^{-6} ~ 2199×10^{-6}, U 质量分数为 109.9×10^{-6} ~ 1754×10^{-6},Th/U 比值 0.06 ~ 1.25,绝大多数介于 0.4 ~ 1.0 之间(表 1)。获得的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 142.4 ~ 2499.8Ma,在去掉 5 个年龄偏高的测点(3、10、14、18、19)年龄值,其他 15 个测点的加权平均年龄值为 144.3 ± 0.7Ma,MSWD = 1.2(图 2),可以代表流纹质火山角砾熔岩的形成年龄,为晚侏罗世。

DJ10-14 样品锆石 Th 的质量分数为 14.34×10^{-6} ~ 1381×10^{-6}, U 质量分数为 173.1×10^{-6} ~ 1835×10^{-6},Th/U 比值 0.02 ~ 0.99,绝大多数介于 0.4 ~ 0.8 之间(表 1)。获得的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 143.6 ~ 1512.4Ma,在去掉 4 个年龄偏高或者偏离协和线较大的的测点(4、8、9、15)年龄值,其他 16 个测点的加权平均年龄值为 145.3 ± 1.0Ma,MSWD = 2.5(图 2),可以代表晶屑凝灰岩的形成年龄,为晚侏罗世。

DJ10-15 样品锆石 Th 的质量分数为 40.28×10^{-6} ~ 1197×10^{-6}, U 质量分数为 58.36×10^{-6} ~ 1766×10^{-6},Th/U 比值 0.42 ~ 0.98,绝大多数介于 0.4 ~ 0.8 之间(表 1)。获得的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 143.4 ~ 809.8Ma,在去掉 8 个年龄偏高或者偏离协和线较大的测点(1、3、6、7、9、16、19、20)年龄值,其他 12 个测点的加权平均年龄值为 146.1 ± 0.9Ma,MSWD = 1.7(图 2),可以代表石英斑岩的侵位年龄,为晚侏罗世。

DJ10-16 样品锆石 Th 的质量分数为 60.67×10^{-6} ~ 1890×10^{-6}, U 质量分数为 47.17×10^{-6} ~ 1711×10^{-6},Th/U 比值 0.44 ~ 2.16,绝大多数介于 0.5 ~ 1.5 之间(表 1)。获得的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 131.2 ~ 210.6Ma,在去掉 1 个年龄偏高的 14 号测点年龄值,其他 19 个测点的加权平均年龄值为 133.2 ± 0.7Ma,MSWD = 0.96(图 2),可以代表安山玢岩的侵位年龄,为早白垩世。

另外,在上述样品的锆石测年过程中,还获得了一批较老的元古代的年龄数据,如 DJ10-1 样品 19 号测点、DJ10-3 样品 15 号测点、DJ10-8 样品 19 号测点、DJ10-15 样品其中 1、7 号测点都获得了新元古代的年龄数据,分别为 875.8 ± 7.2Ma、730.3 ± 19Ma、804.0 ± 6.1Ma、809.8 ± 9.3Ma 和 800.3 ± 9.1Ma(表 1);DJ10-12 样品 10、18 号测点和 DJ10-14 样品 4 号测点都获得了中元古代的年龄数据,分别为 1822.2 ± 33.4Ma、1627.7 ± 20.8Ma 和 1512.4 ± 10.6Ma(表 1);DJ10-12 样品 3 号测点甚至获得一个晚太古-古元古代的年龄数据,为 2499.8 ± 11.5Ma(表 1)。上述这些元古代的锆石年龄数据可能与残留锆石有关,代表古老基底岩石的年龄,反映本区可能存在元古代的基底。

3.2 元素地球化学分析结果

3.2.1 主量元素

黑云母二长花岗岩的 SiO_2 含量为 72.65% ~ 73.02%(表 2),K_2O 含量为 3.83% ~ 3.85%,Na_2O 为 4.44% ~ 4.48%,K_2O/Na_2O 为 0.86;A/NKC 值为 0.95 ~ 0.97,显示铝略不饱和。似斑状黑云母二长花岗岩的 SiO_2 含量为 70.85% ~ 71.06%,K_2O 含量为 3.94% ~ 4.20%,Na_2O 为 4.07% ~ 4.20%,K_2O/Na_2O 为 0.94 ~ 1.03,A/NKC 值为 0.93 ~ 0.94,显示铝略不饱和。石英斑岩的 SiO_2 含量为 77.98%,K_2O 含量为 4.93%,Na_2O 为 3.87%,K_2O/Na_2O 为 1.27,K_2O 含量大于 Na_2O 含量;A/NKC 值为 0.95,显示铝略不饱和。安山玢岩的 SiO_2 含量为 59.44% ~ 60.50%,K_2O 含量为 2.51% ~ 2.99%,Na_2O 为 4.06% ~ 4.29%,K_2O/Na_2O 为 0.59 ~ 0.74,A/NKC 值为 0.81 ~ 0.95,显示铝略不饱和。霏细岩的 SiO_2 含量为 72.25% ~ 76.39%,K_2O 含量为 3.43% ~ 3.52%,Na_2O 为 0.15%,可能与样品已经发生蚀变有关,造成 Na 的流失。其它火山岩,如流纹质晶屑熔结凝灰岩、流纹质火山角砾熔岩和晶屑凝灰岩等均具有高硅、富碱的特征,A/NKC 都大于 1,显示铝过饱和特征。上述所有岩石样品在 SiO_2-K_2O 图解上(图 3)均落入“高钾钙碱系列”区,里特曼指数显示均为钙性或钙碱性系列。

3.2.2 稀土元素

黑云母二长花岗岩的 REE 总量为 172.0×10^{-6} ~ 207.7×10^{-6}(表 2),δEu 为 0.53 ~ 0.59,Eu 亏损较为明显(图 4)。似斑状黑云母二长花岗岩的 REE 总量为 77.10×10^{-6} ~ 99.83×10^{-6}(表 2),δEu 为 0.78 ~ 0.88,Eu 弱亏损。石英斑岩的 REE 总量为 71.36×10^{-6}(表 2),δEu 为 0.04,Eu 强烈亏损。安山玢岩的 REE 总量为 100.9×10^{-6} ~ 276.9×10^{-6}(表 2),δEu 为 0.87 ~ 1.01,Eu 亏损不明显。霏细岩的 REE 总量为 86.94×10^{-6} ~ 113.2×10^{-6}(表 2),δEu 为 0.49 ~ 0.72,Eu 亏损较为明显。流纹质晶屑熔结凝灰岩、流纹质火山角砾熔岩和晶屑凝灰岩等的稀土元素变化特征相似,其

表 2 大井矿床及其附近岩浆岩的主元素(wt%)、微量和稀土元素($\times 10^{-6}$)分析结果表

Table 2 Major elements(wt%), rare earth and trace elements ($\times 10^{-6}$) analyses of the intrusive and volcanic rocks occurring in and around the Dajing ore district

样品号	DJ10-1	DJ10-3	DJ10-4	DJ10-5	DJ10-6	DJ10-7	DJ10-8	DJ10-9	DJ10-10	DJ10-11	DJ10-12	DJ10-13	DJ10-14	DJ10-15	DJ10-16
岩性	霏细岩		黑云母二长花岗岩		似斑状黑云母二长花岗岩		安山玢岩		流纹质晶屑熔结凝灰岩		流纹质晶屑熔结凝灰熔岩		晶屑凝灰岩	石英斑岩	安山玢岩
SiO_2	76.39	72.25	72.65	73.02	71.06	70.85	59.62	60.50	78.16	77.13	69.58	74.21	77.99	77.98	59.44
Al_2O_3	13.73	13.13	13.05	13.17	14.10	14.17	14.44	14.26	11.34	11.69	12.81	12.82	12.45	11.34	14.31
Fe_2O_3	0.27	0.74	1.45	1.58	0.61	0.62	3.73	3.46	0.85	1.25	2.25	2.06	1.12	0.92	5.11
FeO	2.00	4.60	1.65	1.15	1.95	2.00	2.25	2.40	0.30	0.30	0.45	0.35	0.40	0.20	2.75
MgO	0.30	0.42	0.13	0.17	0.86	0.90	5.90	5.18	0.10	0.13	0.25	0.30	0.48	0.004	2.93
CaO	0.19	0.14	1.29	1.12	2.05	2.20	3.15	3.48	0.33	0.36	3.22	0.51	0.27	0.12	4.32
Na_2O	0.15	0.15	4.44	4.48	4.07	4.20	4.07	4.29	1.60	1.09	3.32	1.90	0.63	3.87	4.06
K_2O	3.43	3.52	3.83	3.85	4.20	3.94	2.60	2.51	5.62	6.16	4.03	5.90	4.27	4.93	2.99
MnO	0.067	0.075	0.067	0.056	0.044	0.045	0.095	0.10	0.022	0.019	0.12	0.025	0.034	0.013	0.099
TiO_2	0.086	0.080	0.20	0.21	0.42	0.44	0.80	0.78	0.13	0.13	0.19	0.19	0.14	0.078	1.47
P_2O_5	0.02	0.018	0.049	0.05	0.12	0.12	0.19	0.18	0.031	0.028	0.038	0.037	0.033	0.015	0.71
烧失量	3.25	4.74	1.03	1.01	0.46	0.46	2.86	2.58	1.32	1.54	3.43	1.56	2.07	0.38	1.64
Total	99.88	99.86	99.84	99.87	99.94	99.95	99.71	99.72	99.80	99.83	99.69	99.86	99.89	99.85	99.83
A/NKC	3.19	3.05	0.95	0.97	0.94	0.93	0.95	0.89	1.22	1.28	0.82	1.23	2.03	0.95	0.81
K_2O+Na_2O	3.58	3.67	8.27	8.33	8.27	8.14	6.67	6.8	7.22	7.25	7.35	7.8	4.9	8.8	7.05
K_2O/Na_2O	22.87	23.47	0.86	0.86	1.03	0.94	0.64	0.59	3.51	5.65	1.21	3.11	6.78	1.27	0.74
σ	0.38	0.46	2.31	2.31	2.44	2.38	2.68	2.64	1.48	1.54	2.03	1.95	0.69	2.21	3.02
La	27.8	20.2	32.8	41.2	14.8	22.7	18.7	20.3	78.9	74.8	94.2	94.4	77.9	9.24	59.9
Ce	50.1	38.2	63.8	79.5	35.1	43.9	39.5	41.4	154	142	173	170	149	26.2	114
Pr	5.34	4.06	7.88	9.61	3.42	4.78	4.90	5.34	19.0	17.7	20.2	21.6	18.6	2.69	14.3
Nd	18.1	14.4	31.2	37.2	13.3	17.3	20.6	22.3	72.3	67.8	75.8	80.6	70.8	10.6	56.6
Sm	2.96	2.38	6.63	7.61	2.52	2.90	4.11	3.96	14.1	13.1	12.0	12.2	14.7	2.80	9.36
Eu	0.619	0.351	1.28	1.28	0.618	0.786	1.21	1.27	0.291	0.257	1.23	1.25	0.724	0.037	2.44
Gd	2.20	1.88	6.67	7.07	2.30	2.50	3.56	3.65	12.8	11.9	10.4	10.3	14.6	3.00	7.50
Tb	0.384	0.339	1.28	1.39	0.369	0.392	0.586	0.604	2.39	2.14	1.71	1.72	2.94	0.762	1.09
Dy	2.27	1.92	7.50	8.56	1.85	2.00	3.30	3.30	12.6	12.0	9.60	9.28	18.3	5.34	5.59
Ho	0.415	0.367	1.54	1.69	0.349	0.362	0.586	0.634	2.36	2.19	1.78	1.71	3.93	1.13	0.922
Er	1.19	1.13	4.75	5.03	1.06	1.02	1.72	1.75	6.77	6.39	5.34	5.11	12.4	3.84	2.46
Tm	0.206	0.183	0.773	0.871	0.173	0.155	0.261	0.250	0.987	1.00	0.831	0.785	1.85	0.674	0.387
Yb	1.43	1.33	5.07	5.75	1.07	0.906	1.60	1.65	5.98	6.27	5.55	5.26	12.1	4.34	2.05
Lu	0.226	0.197	0.813	0.903	0.170	0.128	0.261	0.257	1.00	0.956	0.905	0.921	1.87	0.702	0.331
∑REE	113.2	86.94	172.0	207.7	77.10	99.83	100.9	106.7	383.5	358.5	412.6	415.1	399.7	71.36	276.9
$(La/Yb)_N$	12.81	10.00	4.26	4.72	9.11	16.50	7.70	8.10	8.69	7.86	11.18	11.82	4.24	1.40	19.25
δEu	0.72	0.49	0.59	0.53	0.78	0.88	0.95	1.01	0.07	0.06	0.33	0.34	0.15	0.04	0.87
$(Dy/Lu)_N$	1.00	0.97	0.92	0.94	1.08	1.55	1.25	1.27	1.25	1.25	1.05	1.00	0.97	0.75	1.68
Rb	212	251	92.1	98.3	65.2	123	72.7	70.8	236	234	134	174	193	154	83.8
Ba	327	225	1040	1166	540	552	618	629	116	163	717	1093	804	37.9	1170
Th	11.1	12.0	9.11	10.9	8.72	14.1	6.16	6.36	26.9	23.3	14.9	16.8	31.1	28.7	9.49
U	5.46	5.67	1.21	4.39	0.94	1.75	1.80	1.76	4.13	3.75	0.893	0.921	4.11	5.71	2.22
Nb	8.39	8.11	9.69	10.9	6.56	5.79	4.81	5.12	23.4	22.7	12.2	13.1	23.6	22.3	21.5
Ta	0.975	1.01	0.628	0.738	1.01	0.625	0.366	0.351	2.00	1.79	0.705	0.789	2.13	1.84	1.20
Sr	34.3	14.2	105	111	168	281	590	636	50.3	40.9	113	91	33.9	9.31	635
Zr	101	79.2	138	173	150	150	204	224	342	330	544	499	368	264	475
Hf	3.50	3.36	4.96	5.80	4.38	4.00	5.24	5.65	11.7	11.2	12.7	12.3	13.4	9.8	10.5
Y	12.5	10.6	41.9	45.5	9.64	10.0	16.1	17.1	64.4	61.1	52.9	47.5	119	33.7	25.2
Rb/Sr	6.18	17.68	0.88	0.89	0.39	0.44	0.12	0.11	4.69	5.72	1.19	1.91	5.69	16.54	0.13
Sr/Ba	0.10	0.06	0.10	0.10	0.31	0.51	0.95	1.01	0.43	0.25	0.16	0.08	0.04	0.25	0.54
Nb/Ta	8.61	8.03	15.43	14.77	6.50	9.26	13.14	14.59	11.70	12.68	17.30	16.60	11.08	12.12	17.92
Zr/Y	8.08	7.47	3.29	3.80	15.56	15.00	12.67	13.10	5.31	5.40	10.28	10.51	3.09	7.83	18.85

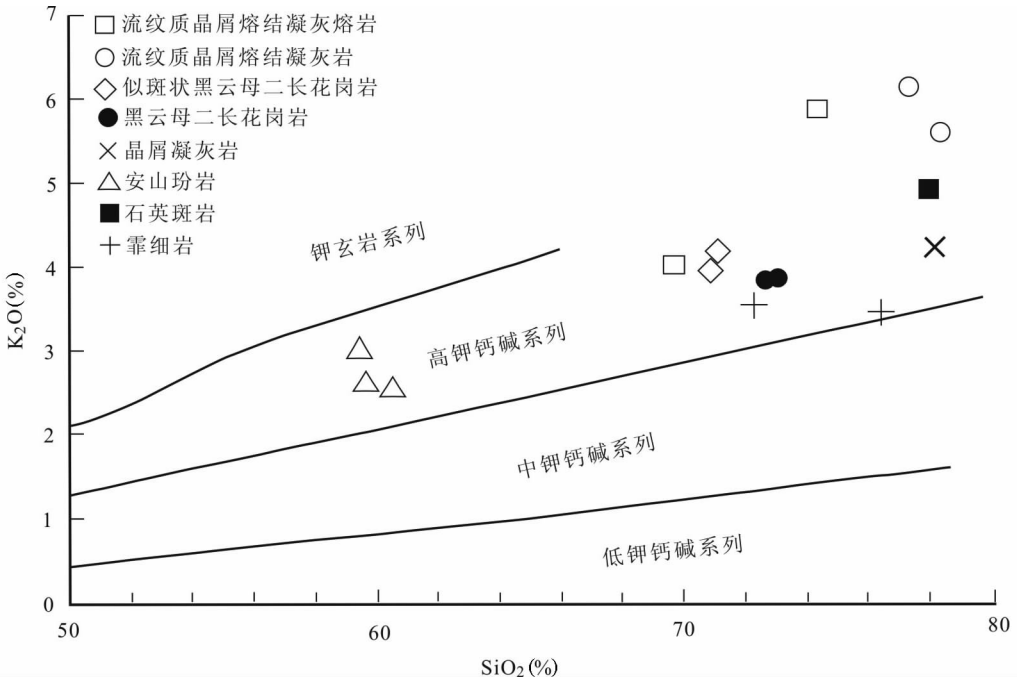


图 3 大井地区主要侵入岩的 SiO_2-K_2O 图解(据 Middlemost, 1985)

Fig. 3 K_2O vs. SiO_2 diagram for the main intrusive and volcanic rocks occurring in and around the Dajing Cu-Ag-Sn polymetallic ore district (after Middlemost, 1985)

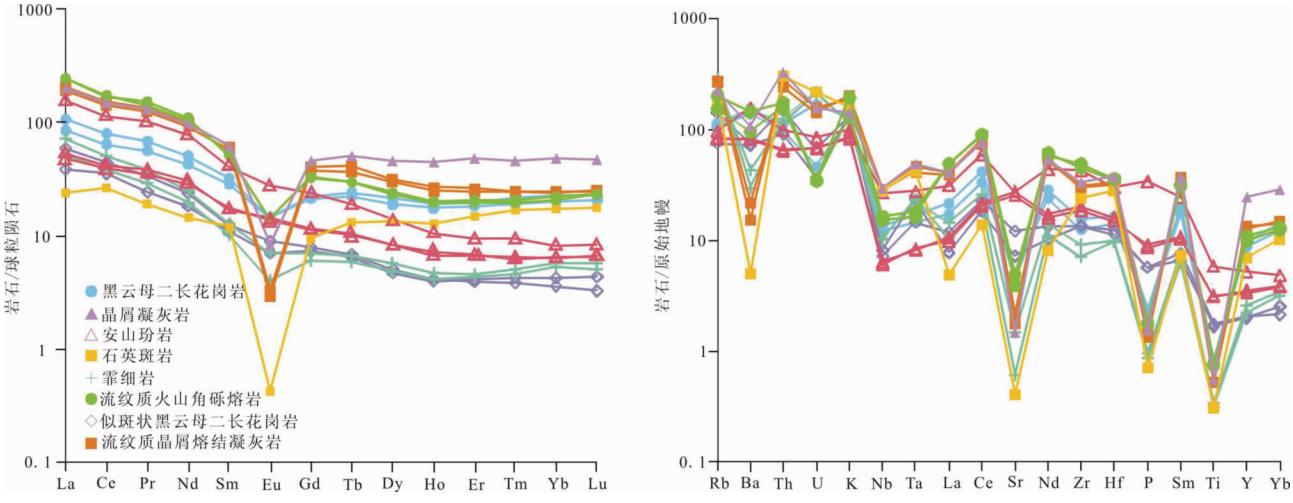


图 4 大井矿区及外围主要岩浆岩的稀土元素配分模式图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)(标准值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 4 Chondrite-normalized rare earth element distribution pattern (a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagram (b) for the main magmatic rocks occurring in and around the Dajing Cu-Ag-Sn polymetallic ore district (normalization values after Sun and McDonough, 1989)

REE 总量为 399.7×10^{-6} ~ 415.1×10^{-6}(表 2),δEu 为 0.06 ~0.34, Eu 亏损明显。

上述岩石在稀土元素球粒陨石标准化图上均表现为具有一定分异特征的稀土元素组成模式,HREE 分馏不明显(图 4a)。

3.2.3 微量元素

所有岩石均以富集大离子亲石元素(LILE)为特征(图 4b),其中黑云母二长花岗岩中 Nb、Sr、P、Ti 相对亏损,而 Ba、K、Ce、Nd、Sm、Y 和 Yb 相对富集;似斑状黑云母二长花岗岩中 Ba、U、Nb、La、Sr、P、Ti 相对亏损,而 Rb、Th、K、Ta、Ce、Nd、

Zr、Sm、Y 和 Yb 相对富集。石英斑岩中 Ba、U、Nb、La、Sr、P、Ti 相对亏损，而 Rb、Th、K、Ta、Ce、Nd、Hf、Sm、Y 和 Yb 相对富集。安山玢岩中 Rb、Nb、Ti 相对亏损，而 Ba、K、Ce、Zr、Sm、Y 和 Yb 相对富集。霏细岩中 Ba、Nb、Sr、P、Ti 相对亏损，而 Rb、U、Ta、Ce、Nd、Hf、Sm、Y 和 Yb 相对富集。流纹质晶屑熔结凝灰岩、流纹质火山角砾熔岩和晶屑凝灰岩的微量元素特征较为相似，它们的 Ba、U、Nb、Sr、P、Ti 相对亏损，而 Rb、Th、K、Ce、Nd、Hf、Sm、Y 和 Yb 相对富集。

4 讨论与结论

4.1 讨论

4.1.1 岩体侵位时代

在大井矿区范围内未见深成侵入岩出露，前人在距矿区最近的岩体马鞍子黑云钾长花岗岩中获得 Rb-Sr 等时线年龄为 155.4Ma（张德全，1993），而本次锆石 LA-MC-ICP-MS 测年结果为 279.7 ± 1.3Ma，显然岩体的侵位年龄要比前人认识的早很多，这么大的年龄差别可能与 Rb-Sr 测年体系受后期构造-热事件干扰有关。另外，由于马鞍子岩体明显侵入到林西组中，因此从形成时间上来说，林西组要早于马鞍子花岗岩体的侵位，根据黑云母二长花岗岩的锆石年龄为 279.7 ± 1.3Ma，可以推断林西组的形成年代要早于 280Ma。而前人认为林西组为上二叠统（Qin *et al.*，2001；王永争等，2001），这有可能是不对的，所以关于林西组的地层形成时代还值得进一步研究。通过对马鞍子岩体的定年，可以间接获得林西组地层形成年龄的上限，即不晚于 280Ma。这一发现对重新认识区域地质演化具有重要意义。

在矿区外围的大四段村出露的似斑状黑云母二长花岗岩，通过本次锆石测年，获得的年龄结果为 242.8 ± 1.7Ma，确定其属于印支期岩浆侵入活动的产物。

本次在矿区内霏细岩中获得的锆石 LA-MC-ICP-MS 年龄分别为 170.7 ± 1.4Ma 和 170.7 ± 1.1Ma，与前人在矿区内获得的浅成-超浅成岩脉 K-Ar 同位素年龄（155.3 ~ 177.2Ma（转引自 Wang JB *et al.*，2001）基本一致。

本次工作通过锆石 LA-MC-ICP-MS 测年，在侏罗系火山岩中获得的晶屑凝灰岩的 U-Pb 年龄为 145.3 ± 1.0Ma，流纹质火山角砾熔岩的 U-Pb 年龄为 144.3 ± 0.7Ma，流纹质晶屑熔结凝灰岩的 U-Pb 年龄为 143.5 ± 0.7Ma，从而把本区侏罗纪火山岩的活动时间限定在晚侏罗世。

总的来说，前人的测年数据集中于燕山早中期（张德全，1993；Wang JB *et al.*，2001）。与前人的测年结果相比，本文的测年数据比较精确地限定了本区岩浆活动的时限，其岩浆活动时间从大约 280Ma 到 133Ma，比前人认为的本区岩浆活动的时限要长很多。从本文获得的 LA-MC-ICP-MS 锆石测年结果来看，本区岩浆活动至少有四期，分别是：海西晚期岩浆侵入活动，主要侵入有马鞍子岩体和安山玢岩，其锆石 LA-MC-ICP-MS 年龄分别为 279.7 ± 1.3Ma 和 252.0 ± 1.8Ma；印支早期岩浆侵入活动，侵入有大四段村似斑状黑云母二长花岗岩，其锆石 LA-MC-ICP-MS 年龄为 242.8 ± 1.7Ma；燕山早期岩浆侵入活动，侵入有大井矿区内的霏细岩，其两件样品的锆石 LA-MC-ICP-MS 测年结果几乎一致，分别为 170.7 ± 1.4Ma 和 170.7 ± 1.1Ma；燕山中期岩浆侵入与喷发活动，侵入有矿区外围的石英斑岩（锆石年龄 146.1 ± 0.9Ma）和安山玢岩（锆石年龄为 133.2 ± 0.7Ma），并喷发形成晶屑凝灰岩（145.3 ± 1.0Ma）、流纹质火山角砾熔岩（锆石年龄为 144.3 ± 0.7Ma）和流纹质晶屑熔结凝灰岩（143.5 ± 0.7Ma）。

由此可见，本区从晚古生代一直到中生代早白垩世，岩浆活动较为强烈，从分布范围来看，显然燕山中期的岩浆活动最为强烈，喷发形成了大面积出露的酸性火山岩。本文获得的上述高精度测年数据为探讨本区岩浆活动及其与成矿之间的关系奠定了基础。

4.1.2 侵入岩形成的构造环境与地质意义

马鞍子岩体黑云母二长花岗岩的锆石 LA-MC-ICP-MS 测年结果为 279.7 ± 1.3Ma，代表了早二叠世的一期构造岩浆活动，在主元素构造环境判别图解中（图 5a）位于同碰撞和造山晚期相邻区域，在微量元素构造环境判别图中（图 5b）显示其形成于火山弧环境，总体显示一种挤压的构造环境。而似斑状黑云母二长花岗岩，尽管其锆石 LA-MC-ICP-MS 测年结果为 242.8 ± 1.7Ma，形成于早三叠世，但是其主元素和微量元素构造环境判别图解（图 5b）与马鞍子岩体相似，也显示一种挤压的构造环境，可能与古亚洲洋的碰撞闭合有关。最近我们在白音诺尔铅锌矿和孟恩陶勒盖矿区陆续获得了一批印支期的侵入岩年代数据，其中白音诺尔与成矿有关的花岗闪长斑岩的锆石 LA-MC-ICP-MS 年龄为 244.5 ± 0.9Ma（江思宏等，2011a），在孟恩陶勒盖矿区花岗岩基中获得的黑云母斜长花岗岩的锆石年龄为 240.5 ± 1.2Ma，白云母斜长花岗岩的锆石年龄为 234.3 ± 3.2Ma，代表了早-中三叠世的一期构造-岩浆活动（江思宏等，2011b）。另外，孟恩陶勒盖花岗岩基的矿物组成和岩石地球化学构造环境判别图解显示其具有碰撞造山型花岗岩的特征，反映在早-中三叠世该区尚处于挤压造山阶段，可能是古亚洲洋闭合碰撞造山的产物（江思宏等，2011b），这与不少学者认为本区亚洲洋的闭合可能持续到三叠纪（Chen *et al.*，2000，2009；Li，2006；Shen *et al.*，2006；李锦轶等，2007；Miao *et al.*，2008；Jian *et al.*，2008，2010；Xiao *et al.*，2009）是相吻合的。

矿区内霏细岩的锆石年龄为 170Ma，这一期岩浆活动在本区并不发育，其形成环境还有待进一步查明，可能与西伯利亚板块和蒙古-华北板块之间的鄂霍茨克洋消亡及后碰撞造山有关（毛景文等，2005）。而矿区外围大面积的石英斑岩、流纹质火山角砾熔岩、晶屑凝灰岩、流纹质晶屑熔结凝灰岩和安山玢岩的形成时代范围从 146 ~ 133Ma，代表晚侏罗世-早白垩世的一次构造-岩浆活动。区域范围内在这个时期出现一套富碱的花岗岩，如苏尼特左旗附近的沙尔塔拉碱长

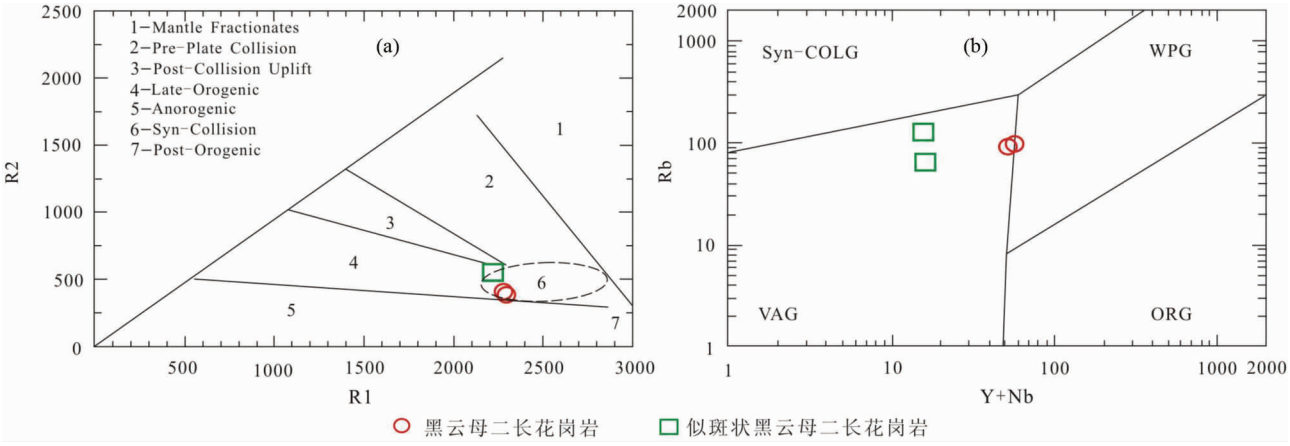


图 5 R1-R2（a，据 Batchelor and Bowden，1985）和 Y + Nb-Rb（b，据 Pearce *et al.*，1984）图解

Fig. 5 Diagrams of R1 vs. R2 (a, after Batchelor and Bowden, 1985) and Y + Nb vs. Rb (b, Pearce *et al.*, 1984)

花岗岩（152Ma），苏-查蛍石矿区钾长花岗岩（138Ma）、林西马鞍子（149Ma）、也拉盖（148 ± 2Ma）、大青山钾长花岗岩（141Ma）（童英等，2010），可能同华北地区其他同时代的中生代花岗岩一样，是由岩石圈拆沉，东北亚地区大规模伸展所引起等（祝洪臣等，2005；王涛等，2007；童英等，2010），并伴有相关的金属成矿作用（盛继福和付先政，1999；邵军等，2003）。

4.1.3 对成矿年代的约束

尽管对大井矿床的成因还存在不同的认识（陈旭瑞等，2000；刘建明等，2001），但是多数学者认为该矿床的形成与岩浆活动有关（张德全，1993；冯建忠等，1994；赵一鸣等，1994；赵一鸣和张德全，1997；芮宗瑶等，1994；储雪蕾和刘伟，1999；储雪蕾等，2002；刘伟等 2002；郑波，2009），这不仅有流体的证据（刘伟等 2002），而且也有稳定同位素方面的证据（储雪蕾等，2002）。从本文的研究可以看出，矿区及外围从晚古生代一直到中生代早白垩世的岩浆活动主要有四期，其中矿区外围两个较大岩体的侵入活动分别发生在海西晚期（马鞍子岩体，年龄 279.7 ± 1.3Ma）和印支期（似斑状黑云母二长花岗岩，年龄 242.8 ± 1.7Ma），而距离矿区最近的马鞍子岩体离矿区至少也有 9km，因此这么远的岩体与大井矿床的形成可能没有什么直接的关系（张德全，1993）。而大四段村似斑状黑云母二长花岗岩因为距离更远，其与大井矿床之间在形成上可能更不会有太大关系。而且，如果矿床的形成确实是与深部的隐伏岩体有关（冯建忠等，1994；储雪蕾等，2002；刘伟等，2002），也不太可能是海西期或者印支期，因为如果是的话，那么后来侵位的燕山早期的霏细岩可能就不会发生蚀变。成矿与燕山早期的霏细岩有关似乎也不太好解释，毕竟大井矿床的规模比较大，仅靠霏细岩脉侵位可能很难提供成矿所需的热、流体和物源。因此，最有可能的成矿时代还是发生在燕山中期的 146 ~ 133.2Ma，一方面该年龄与前人获得的成矿年龄 133 ~ 138Ma（转引自 Wang JB *et al.*，2001）比较一致，另一方面，这一时期岩浆活动十分强烈，在矿区及其附近都有大量的岩浆活动，包括火山喷发活动，非常广泛，本区晚侏罗世火山岩的大面积分布就是很好的例证。这些火山岩和次火山岩不仅可以为成矿提供足够的热源，而且有可能提供部分成矿物质。而这一时期的侵入岩（次火山岩）很可能没有出露，就像不少学者认为的那样，推测成矿岩体位于矿区深部（冯建忠等，1994；储雪蕾等，2002；刘伟等 2002）。区域上，这一时期也是华北板块北缘和大兴安岭地区成矿的高峰期，位于大井矿床西部的黄岗梁铁锡矿也是在这一时期形成的（其 Re-Os 年龄为 135.31 ± 0.85Ma，周振华等，2010）。

4.2 结论

（1）LA-MC-ICP-MS 锆石测年结果表明，大井矿区外围马鞍子二长花岗岩体年龄为 279.7 ± 1.3Ma，大四段村似斑状黑云母二长花岗岩的年龄为 242.8 ± 1.7Ma，安山玢岩的年龄为 252.0 ± 1.8Ma，矿区内霏细岩的锆石年龄为 170.7 ± 1.4Ma 和 170.7 ± 1.1Ma，矿区外围石英斑岩的年龄为 146.1 ± 0.9Ma，安山玢岩年龄为 133.2 ± 0.7Ma，喷发形成的流纹质火山角砾熔岩年龄为 144.3 ± 0.7Ma，晶屑凝灰岩年龄为 145.3 ± 1.0Ma，流纹质晶屑熔结凝灰岩年龄为 143.5 ± 0.7Ma。由此可见，本区从晚古生代到中生代早白垩世，至少发生了四期岩浆活动。

（2）岩石地球化学分析结果表明，大井矿区及外围主要侵入岩（黑云母二长花岗岩、似斑状黑云母二长花岗岩、霏细岩、安山玢岩和石英斑岩）均为富 SiO_2、富碱、准铝的钙碱性岩石，在 SiO_2-K_2O 图解上均落入“高钾钙碱系列”区，具有轻稀土分异明显、富集大离子亲石元素（LILE）为特征，其中 Ba、Nb、Sr、P、Ti 相对亏损，而 Rb、Th、K、Ce、Nd、Hf、Sm、Y 和 Yb 相对富集。

（3）侵入岩和火山岩的年代学与岩石地球化学特征表明，马鞍子黑云母二长花岗岩和大四段村似斑状黑云母二长花岗岩的侵位可能与古亚洲洋的碰撞闭合有关，形成于挤压

的构造环境；燕山早期岩浆岩在本区并不发育，其形成环境还有待进一步查明，可能与西伯利亚板块和蒙古-华北板块之间的鄂霍茨克洋消亡及后碰撞造山有关；而燕山晚期大规模的侵入-火山喷发活动可能是由岩石圈减薄，区域大规模伸展所引起。

（4）根据对矿区内及外围侵入岩与火山岩的年代学研究，结合矿区地质和前人研究成果，认为大井铜银锡矿床的形成主要与晚侏罗世-早白垩世岩浆活（146～133Ma）动有关，是区域伸展构造背景下岩浆活动的产物。

致谢 野外工作得到了林西县国土局和赤峰大井银铜矿的大力支持，在此深表谢意。

References

Ai X and Feng JZ. 1992. Geological feature and ore genesis of the Dajing Sn polymetallic deposit, Inner Mongolia. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals, (2): 82 – 92 (in Chinese)

Ai YF and Liu GP. 1998. The study of chlorite at Dajing deposit in Inner Mongolia of China. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 34(1): 97 – 105 (in Chinese with English abstract)

Batchelor RA and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. Chemical Geology, 48(1 – 4): 43 – 55

Chen B, Jahn BM, Wilde S and Xu B. 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications. Tectonophysics, 328: 157 – 182

Chen B, Jahn BM and Tian W. 2009. Evolution of the Solonker suture zone: Constraints from zircon U-Pb ages, Hf isotopic ratios and whole-rock Nd-Sr isotope compositions of subduction and collision-related magmas and forearc sediments. Journal of Asian Earth Sciences, 34: 245 – 257

Chen XR, Liu JM, Yang SD, Zhang AL and Zeng HR. 2000. Ore-formation of basin fluids in the northern margin of North China Craton: Case studies. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 19(2): 109 – 113 (in Chinese with English abstract)

Chu XL, Liu W. 1999. The relationship between mineralization of the Dajing Cu-Sn polymetallic deposit and magmatic fluid. Geological Review, 45 (Suppl.): 1166 – 1172 (in Chinese with English abstract)

Chu XL, Huo WG and Zhang X. 2002. S, C, and Pb isotopes and sources of metallogenetic elements of the Dajing Cu-polymetallic deposit in Linxi County, Inner Mongolia, China. Acta Petrologica Sinica, 18(4): 566 – 574 (in Chinese with English abstract)

Feng JZ, Ai X, Wu YB and Liu GP. 1994. The stable isotopic geochemistry of the Dajing polymetallic deposit, Inner Mongolia. Jilin Geology, 13(3): 60 – 66 (in Chinese withEnglish abstract)

Hou KJ, Li YH and Tian YR. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion couting-ICP-MS. Mineral Deposits, 28(4): 481 – 492 (in Chinese with English abstract)

Ishihara S, Qin KZ and Wang YW. 2007. Resource evaluation of Indium in the Dajing tin-polymetallic deposits, Inner Mongolia. Resource Geology, 58(1): 72 – 79

Jian P, Liu DY, Kröner A, Windley BF, Shi YR, Zhang FQ, Shi GH, Miao LC, Zhang W, Zhang Q, Zhang LQ and Ren JS. 2008. Time scale of an Early to Mid-Paleozoic orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth. Lithos, 101: 233 – 259

Jian P, Liu DY, Kröner A, Windley BF, Shi YR, Zhang W, Zhang FQ, Miao LC, Zhang LQ and Tomurhuu D. 2010. Evolution of a Permian intraoceanic arc-trench system in the Solonker suture zone, Central Asian Orogenic Belt, China and Mongolia. Lithos, 118: 169 – 190

Jiang SH, Nie FJ, Bai DM, Liu YF and Liu Y. 2011a. Geochronology evidence for Indosinian mineralization in Baiyinnuoer Pb-Zn deposit of Inner Mongolia. Mineral Deposits, 30(5): 787 – 798 (in Chinese with English abstract)

Jiang SH, Nie FJ, Liu YF, Hou WR, Bai DM, Liu Y and Liang QL. 2011b. Geochronology of intrusive rocks occurring in and around the Mengentaolegai Ag-polymetallic deposit, Inner Mongolia. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 41(6): 1755 – 1769 (in Chinese with English abstract)

Li JY. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate. Journal of Asian Earth Sciences, 26: 207 – 224

Li JY, Gao LM, Sun GH, Li YP and Wang YB. 2007. Shuangjingzi Middle Triassic syn-collisional crust derived granite in the east Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between Siberian and Sino-Korean paleo-plates. Acta Petrologica Sinica, 23(3): 565 – 582 (in Chinese with English abstract)

Li RM and Kang LX. 2004. Geological and mineralogenetic characteristics of Dajing tin polymetallic deposit and its prospecting direction. Mineral Resources and Geology, 18(6): 517 – 522 (in Chinese with English abstract)

Liu JM, Ye J, Zhang LA, Wang YW and Jiang N. 2001. A new exhalite type-siderite-sericite chert formed in fault-controlled lacustrine basin. Science in China (Series D), 44(12): 1079 – 1088

Liu W, Li XJ and Tan J. 2003. Fluid mixing as the mechanism of formation of the Dajing Cu-Sn-Ag-Pb-Zn ore deposit, Inner Mongolia. Science in China (Series D), 46(7): 652 – 663

Liu YS, Hu ZC, Gao S, Günther D, Xu J, Gao CG and Chen HH. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. Chemical Geology, 257: 34 – 43

Mao JW, Xie GQ, Zhang ZH, Li XF, Wang YT, Zhang CQ and Li YF. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic setting. Acta Petrologica Sinica, 21(1): 169 – 188 (in Chinese with English abstract)

Miao LC, Fan WM, Liu DY, Zhang FQ, Shi YR and Guo F. 2008. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt, China. Journal of Asian Earth Sciences, 32: 348 – 370

Middlemost EAK. 1985. Magams and Magmatic Rocks. London: Longman, 1 – 266

Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, Mattinson JM, Corfu F, Dörr W, Kamo SL, Kennedy AK, Kronz A, Reiners PW, Frei D, Kosler J, Wan Y, Getze J, Heger T, Kröner A and Valley J. 2008. Zircon M257: A homogeneous natural reference material for the ion microprobe U-Pb analysis of zircon. Geostandards and Geoanalytical Research, 32: 247 – 265

Pearce JA, Harris NBW and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25: 956 – 983

Qin GJ, Kawachi Y, Zhao LQ, Wang YZ and Ou Q. 2001. The Upper Permian sedimentary facies and its role in the Dajing Cu-Sn deposit, Linxi County, Inner Mongolia. Resource Geology, 51(4): 293 – 305

Ren YW and Cao QW. 1996. Rediscussion on the origin of Inner Mongolia Dajing tin-copper polymetallic ore deposit. Jilin Geology, 15(2): 45 – 51 (in Chinese with English abstract)

Rui ZY, Shi LD and Fang RH. 1994. Geology of Non-ferrous Metallic Deposits in the Northern Margin of the North China Landmass and Its Adjacent Area. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 576 (in Chinese with English abstract)

Shao J, Wang SC, Ma XL, Fu XY, Zhang JF, Zhao ZY and Zhu HC. 2003. Regional metallognetic characteristics of gold and multimetal deposits in northern Daxing'anling Mountain. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 33(1): 32 – 36 (in Chinese with English abstract)

Shen SZ, Zhang H, Shang QH and Li WZ. 2006. Permian stratigraphy and correlation of Northeast China: A review. Journal of Asian Earth Sciences, 26: 304 – 326

Sheng JF and Fu XZ. 1999. Geological Setting and Copper-polymetallic Deposits in the Central Part of the Da Hinggan Mountains. Beijing: Seismological Press, 1 – 216 (in Chinese)

Sláma J, Kosler J, Condon DJ, Crowley JL, Gerdes A, Hanchar JM, Horstwood MSA, Morris GA, Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, Schoene B, Tubrett MN and Whitehouse MJ. 2008. Plesovice zircon: A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. Chemical Geology, 249: 1 – 35

Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). Magmatism in Oceanic Basins. Geol. Soc. Spec. Publ., 42: 313 – 345

Tong Y, Hong DW, Wang T, Shi XJ, Zhang JJ and Zeng T. 2010. Spatial and temporal distribution of granitoids in the middle segment of the Sino-Mongolian border and its tectonic and metallogenic implications. Acta Geoscientica Sinica, 31 (3): 395 – 412 (in Chinese with English abstract)

Wang JB, Wang YW, Wang LJ and Uemoto T. 2001. Tin-polymetallic mineralization in the southern part of the Da Hinggan Mountains, China. Resource Geology, 51(4): 283 – 291

Wang LJ, Wang JB, Wang YW and Zhu HP. 2004. Ore-forming fluid and mineralization of Caijiaying and Dajing polymetallic ore deposits. Science in China (Series D), 47 (2): 97 – 107

Wang RQ, Wang GZ, Cao SW and Chen XJ. 2007. Discovery of diorite at the depth of the Dajing tin polymetallic deposit and its significance for exploration. Mineral Resources and Geology, 21(2): 169 – 171 (in Chinese withEnglish abstract)

Wang T, Zheng YD, Zhang JJ, Wang XS, Zeng LS and Tong Y. 2007. Some problems in the study of Mesozoic extensional structure in the North China craton and its significance for the study of lithospheric thinning. Geological Bulletin of China, 26(9): 1154 – 1166 (in Chinese with English abstract)

Wang YW, Wang JB, Uemoto T and Wang LJ. 2001. Geology and minealization at the Dajing tin-polymetallic ore deposit, Inner Mongolia. Resource Geology, 51(4): 307 – 320

Wang YW, Qu LL, Wang LJ, Yang LY and Zhang AL. 2002a. Study on the mineralization center of Dajing tin-polymetallic deposit, Inner Mongolia. Geology and Prospecting, 38(2): 23 – 27 (in Chinese with English abstract)

Wang YW, Qu LL, Wang JB, Wang LJ, Jiang N and Mao Q. 2002b. Ore minerals in Dajing tin-polymetallic deposit, Inner Mongolia, and their temporal and spatial evolution. Mineral Deposits, 21(1): 23 – 35 (in Chinese with English abstract)

Wang YW, Wang JB, Wang LJ, Mao Q and Jiang N. 2002c. Study on the silver minerals of Dajing deposit, Inner Mongolia. Geological Review, 48(5): 526 – 533 (in Chinese with English abstract)

Wang YW, Wang JB and Wang LJ. 2006. Characteristics of tin minerals from Dajing tin-polymetallic deposit, Inner Mongolia, China. Geology and Prospecting, 42(4): 51 – 56 (in Chinese with English abstract)

Wang YZ, Qin GJ and Ou Q. 2001. A study on the Upper-Permian Linxi Formation on the Dajing copper-tin polymetallic mine, Linxi, Inner Mongolia. Mineral Resources and Geology, 15(3): 205 – 211 (in Chinese with English abstract)

Wang YZ, Qin GJ, Yuan YQ and Ou Q. 2005. Rotational structure system of Dajing copper tin polymetallic deposit in Inner Mongolia. Mineral Resources and Geology, 19(4): 355 – 360 (in Chinese with English abstract)

Xiao WJ, Windley BF, Huang BC, Han CM, Yuan C, Chen HL, Sun M, Sun S and Li JL. 2009. End-Permian to Mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: Implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia. International Journal of Earth Sciences, 98: 1189 – 1217

Yao D, Li HN and Duan GZ. 1990. The mineralization geochemistry and exploration guides of the Dajing tin-bearing polymetallic deposit, in northern Chifeng. Geology and Prospecting, 26 (2): 5 – 9 (in Chinese with English abstract)

Zhang DQ. 1993. The Dajing Ag-Cu-Sn deposit-the characteristics and genesis of an epithermal deposit related to the subvolcanic instrusions. Volcanology and Mineral Resources, 14(1): 37 – 47 (in Chinese with English abstract)

Zhao LQ, Uemoto T, Qin GJ, Sun SH, Wang YW, Wang YZ, Zhang AL and Wang YM. 2002. Distribution of mineralization elements in Dajing tin-polymetallic deposit, China. Geology and Prospecting, 38 (4): 22 – 27 (in Chinese with English abstract)

Zhao YM, Wang DW and Zhang DQ. 1994. Ore-controlling Factors and Ore-prospecting Models for Copper-polymetallic Ore Deposits in Southeastern Inner Mongolia. Beijing: Seismological Press, 1 – 234 (in Chinese)

Zhao YM and Zhang DQ. 1997. Metallogeny and Prospective Evaluation of Copper-polymetallic Deposits in the Da Hinggan Mountains and Its Adjacent Regions. Beijing: Seismonogical Press, 1 – 318 (in Chinese)

Zhen B. 2009. Subvolcanic veins and mineralization of Dajing tin polymetallic deposit in Inner Mongolia. Mineral Resources and Geology, 23(4): 335 – 339 (in Chinese with English abstract)

Zhou ZH, Lü LS, Feng JR, Li C and Li T. 2010. Molybdenite Re-Os ages of Huanggang skarn Sn-Fe deposit and their geological significance, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 26(3): 667 – 679 (in Chinese with English abstract)

Zhu HC, Zhang JF and Quan H. 2005. Two stages of Mesozoic lithogenesis and mineralization in Daxing'anling Mountains. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 35(4): 436 – 442 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

艾霞, 冯建忠. 1992. 内蒙大井锡多金属矿床成矿地质特征及成因探讨. 有色金属矿产与勘查, (2): 82 – 92

艾永富, 刘国平. 1998. 内蒙大井矿床的绿泥石研究. 北京大学学报(自然科学版), 34(1): 97 – 105

陈旭瑞, 刘建明, 杨思道, 张安立, 曾恒荣. 2000. 华北克拉通北缘与盆地流体有关的若干矿床实例. 矿物岩石地球化学通报, 19 (2): 109 – 113

储雪蕾, 刘伟. 1999. 大井铜-锡多金属矿床成矿作用与岩浆流体的关系. 地质论评, 45(增刊): 1166 – 1172

储雪蕾, 霍卫国, 张巽. 2002. 内蒙古林西县大井铜多金属矿床的硫、碳和铅同位素及成矿物质来源. 岩石学报, 18(4): 566 – 574

冯建忠, 艾霞, 吴俞斌, 刘国平. 1994. 内蒙大井多金属矿床稳定同位素地球化学特征. 吉林地质, 13(3): 60 – 66

侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术. 矿床地质, 28(4): 481 – 492

江思宏, 聂凤军, 白大明, 刘翼飞, 刘妍. 2011a. 内蒙古白音诺尔铅锌矿床印支期成矿的年代学证据. 矿床地质, 30(5): 787 – 798

江思宏, 聂凤军, 刘翼飞, 侯万荣, 白大明, 刘妍, 梁清玲. 2011b. 内蒙古孟恩陶勒盖银多金属矿床及其附近侵入岩的年代学. 吉林大学学报(地球科学版), 41(6): 1755 – 1769

李锦轶, 高立明, 孙桂华, 李亚萍, 王彦斌. 2007. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束. 岩石学报, 23(3): 565 – 582

李如满, 康利祥. 2004. 大井锡多金属成矿地质特征及找矿方向探

讨．矿产与地质，18(6)：517－522

刘建明，叶杰，张立安，王玉往，姜能．2001．一种新类型热水沉积岩——产在湖相断陷盆地中的菱铁绢云硅质岩．中国科学(D辑)，31(7)：570－577

刘伟，李新俊，谭骏．2002．内蒙古大井铜-锡-银-铅-锌矿床的流体混合作用——流体包裹体和稳定同位素证据．中国科学(D辑)，32(5)：405－414

毛景文，谢桂青，张作衡，李晓峰，王义天，张长青，李永峰．2005．中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景．岩石学报，21(1)：169－188

任耀武，曹倩雯．1996．再论内蒙古大井锡铜多金属矿床成因．吉林地质，15(2)：45－51

芮宗瑶，施林道，方如恒．1994．华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质．北京：地质出版社，1－576

邵军，王世称，马晓龙，付秀友，张炯飞，赵震宇，祝洪臣．2003．大兴安岭北段金、多金属矿床区域成矿特征．吉林大学学报(地球科学版)，33(1)：32－36

盛继福，付先政．1999．大兴安岭中段成矿环境与铜多金属矿床地质特征．北京：地震出版社，1－216

童英，洪大卫，王涛，史兴俊，张建军，曾涛．2010．中蒙边境中段花岗岩时空分布特征及构造和找矿意义．地球学报，31(3)：395－412

王莉娟，王京彬，王玉往，朱和平．2003．蔡家营、大井多金属矿床成矿流体和成矿作用．中国科学(D辑)，33(10)：941－950

王荣全，王国政，曹书武，陈雪娇．2007．大井锡多金属矿床深部闪长岩体的发现及找矿意义．矿产与地质，21(2)：169－171

王涛，郑亚东，张进江，王新社，曾令森，童英．2007．华北克拉通中生代伸展构造研究的几个问题及其在岩石圈减薄研究中的意义．地质通报，26(9)：1154－1166

王永争，覃功炯，欧强．2001．内蒙古林西大井铜锡多金属矿区上二叠统林西组之研究．矿产与地质，15(3)：205－211

王永争，覃功炯，袁跃清，欧强．2005．论内蒙大井铜-锡多金属矿区旋转构造体系．矿产与地质，19(4)：355－360

王玉往，曲丽莉，王丽娟，杨利勇，张安立．2002a．大井锡多金属矿床矿化中心的探讨．地质与勘探，38(2)：23－27

王玉往，曲丽莉，王京彬，王莉娟，姜能，毛骞．2002b．大井锡多金属矿床矿石矿物成分及时空演化．矿床地质，21(1)：23－35

王玉往，王京彬，王莉娟，毛骞，姜能．2002c．内蒙古大井矿床中银矿物的研究．地质论评，48(5)：526－533

王玉往，王京彬，王莉娟．2006．内蒙古大井锡多金属矿床锡矿物特征．地质与勘探，42(4)：51－56

姚德，李鹤年，段国正．1990．赤峰北部大井锡多金属矿床成矿作用地球化学及找矿方向．地质与勘探，26(2)：5－9

张德全．1993．大井银铜锡矿体——一个潜火山热液矿床的特征和成因．火山地质与矿产，14(1)：37－47

赵利青，上本武，覃功炯，孙世华，王玉往，王永争，张安立，王耀明．2002．大井锡多金属矿床矿化元素分布特征研究．地质与勘探，38(4)：22－27

赵一鸣，王大畏，张德全．1994．内蒙古东南部铜多金属成矿地质条件及找矿模式．北京：地震出版社，1－234

赵一鸣，张德全．1997．大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价．北京：地震出版社，1－318

郑波．2009．内蒙古大井锡多金属矿床次火山岩脉与成矿．矿产与地质，23(4)：335－339

周振华，吕林素，冯佳睿，李超，李涛．2010．内蒙古黄岗夕卡岩型锡铁矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义．岩石学报，26(3)：667－679

祝洪臣，张炯飞，权恒．2005．大兴安岭中生代两期成岩成矿作用的元素、同位素特征及其形成环境．吉林大学学报(地球科学版)，35(4)：436－442