

湖北大悟大磊山金矿矿床成因与控矿构造

曹正琦¹, 谢应波¹, 周向辉¹, 李华亮², 蔡逸涛³, 李成凯⁴, 宋 汉¹,
吴 波¹, 李琳静¹

(1. 湖北省地质调查院, 湖北 武汉 430034; 2. 东华理工大学, 江西 南昌 330013; 3. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210026; 4. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘 要: 在翔实的野外地质工作基础上, 对湖北大悟大磊山金矿床进行矿区填图, 并结合前人研究成果, 充分分析大磊山金矿的控矿构造及矿床成因, 认为该金矿导矿、配矿构造是一种新的构造类型, 二者均不是断裂构造, 而是燕山期区域广泛的岩浆活动使得大磊山花岗岩穹窿上隆, 导致围岩沿接触面下滑, 形成剪切带, 该剪切带为后期热液提供了导矿、配矿通道; 新元古代片麻状二长花岗岩为金矿提供了较高的金元素背景值, 燕山期岩浆活动不但使金元素活化、迁移, 也为金矿成矿提供了物质来源, 金矿的矿床成因是中低温岩浆期后热液矿床; 根据含金石英脉充填煌斑岩脉裂隙的地质特征, 利用 LA-ICP MS 锆石 U-Pb 定年法获得了煌斑岩成岩年龄为 126.8 ± 2.0 Ma, 从而限定了大磊山金矿成矿年代。

关键词: 大磊山金矿; 矿床成因; 控矿构造; 花岗岩穹窿; 周缘接触带

中图分类号: P618.51; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)05-0733-10

Origin and ore-controlling structure of the Daleishan gold deposit in Dawu area, Hubei Province

CAO Zheng-qi¹, XIE Ying-bo¹, ZHOU Xiang-hui¹, LI Hua-liang², CAI Yi-tao³, LI Cheng-kai⁴, SONG Han¹,
WU Bo¹ and LI Lin-jing¹

(1. Hubei Institute of Geological Survey, Wuhan 430034, China; 2. College of Earth Sciences, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China; 3. Nanjing Geological Survey Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China; 4. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The authors conducted mapping in the mining area on the basis of detailed field geology and, in combination with the previous research results, fully analyzed gold ore-controlling structures and genesis of the Daleishan deposit. It is held that the ore-guiding and matching structures of the gold deposit belongs to a new type, and both structures are not fault, but belong to the formation of shear zone formed by upward migration of the Daleishan granite dome caused by magmatic activity during the Yanshanian epoch, which provided the channel for late ore-guiding structure and matching structure; Neoproterozoic gneissic monzogranite provided the gold with higher gold element background values for the gold deposit, and magmatic activities not only caused the activation migration of gold element but also provided the gold metallogenic material source. The gold ore deposit was a post-magma low temperature magmatic hydrothermal deposit. According to the geological feature that the gold quartz vein fills in the crack of lamprophyre, the authors used LA-ICP MS zircon U-Pb dating and obtained a lamprophyre diagenetic age of 126.8 ± 2.0 Ma, which confined the mineralization age of the Daleishan gold deposit.

收稿日期: 2016-11-21; 接受日期: 2017-07-31

基金项目: 中国地质调查局资助项目(12120114048301)

作者简介: 曹正琦(1980-), 男, 汉族, 博士, 主要从事区域构造、成矿构造研究, E-mail: czq7651368@163.com。

Key words: Daleishan gold deposit; genesis of mineral deposit; ore-controlling structure; granite dome; peripheral contact zone

Fund support: Project of China Geological Survey(12120114048301)

湖北大悟大磊山金矿位于大别造山带西段南缘,该金矿是近些年来在古老大别变质地体内发现的,其储量已达中型(湖北省鄂东北地质大队,2008^①;杜登文等,2008)。前人对于大磊山金矿田的形成条件、物质来源、矿床成因及控矿构造等方面的研究已取得了一些认识(李江洲等,1990;杜登文等,2008;王粉丽等,2009;曹正琦,2016),但在某些方面存在分歧:有学者认为大磊山金矿的成矿物质来源于古老的大别群(李江洲等,1990;杜登文等,2008),为变质热液矿床(蒋礼贤等,1991);而曹正琦(2016)认为新元古代大磊山花岗岩为该金矿床提供了较高的金元素背景值;刘腾飞(1997)则认为后期的岩浆活动为大磊山金矿成矿提供了金矿物质来源,矿床为岩浆热液矿床。

本次研究以矿区填图为基础手段,结合与石英脉型金矿有交截关系的煌斑岩地质特征,利用 LA-ICP MS 锆石 U-Pb 定年法获取了煌斑岩的成岩年龄,从而准确限定了大磊山金矿的成矿时代,并对其控制条件、形成过程及矿床成因进行归纳总结,为以后在大别山区域寻找同类型金矿床,提供成矿模型和理论依据。

1 矿区地质概况

研究区位于大别造山带西段南缘,西为潯水断裂,东为商城-麻城断裂,北为桐柏-商城断裂构造带,南为新城-黄陂断裂(图1)。在矿区范围内,地层发育不全,长期以来归属不明,划分混乱,在很大程度上制约了人们对本区地质构造现象的认识。直到2003年,湖北省地质调查院以造山带理论为指导,通过地质填图对应划分出构造单元后,对区域构造的认识才取得了突破性进展(湖北省地质调查院,2003)^②。

研究区地层及岩性主要涉及新元古代青白口纪的武当岩群(Qbw)白云绿帘钠长变粒岩、绿帘钠长变粒岩夹白云微斜钠长浅粒岩、白云石英片岩、绿帘石团块等;南华纪耀岭河组(Nhy)钠长绿帘阳起片

岩、绿泥白云钠长片岩、绿帘石英岩、钠长白云片岩、钠长角闪白云片岩、白云钠长片岩等,震旦纪的陡山沱组(Z_1d)白云钠长片麻岩(变粒岩)、石墨片岩、磷块岩、含磷灰石白云母大理岩、白云石英片岩,灯影组($Z_2\in_1d$)厚层状白云石大理岩、硅质条带白云石大理岩、中厚层石英岩、白云石英片岩;古生代早寒武世的乔店(岩)组($\in_1q$)白云钠长片麻岩、白云钠长微斜石英岩、含榴白云钠长片麻岩;寒武-奥陶纪的马吼岭(岩)群($\in_2OM$)白(二)云钠长变粒岩、白云钠长浅粒岩、白云钠长片麻岩、含榴白云钠长石英片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、绿帘斜长角闪片岩,早志留世的新城(岩)组(S_{1xc})钠长石英角闪绿帘片岩、含榴钠长绿泥角闪片岩、绿帘钠长角闪片岩夹绿帘绿泥二云钠长片岩、白(二)云钠长片麻岩(湖北省地质调查院,2003)^②;以及中-新生代白垩-古近纪的公安寨组(K_2E_{1g})紫红色中厚层-薄层中细粒砂岩夹砂砾岩、粉砂质页岩和第四纪砂砾层、网结状粘土、铁锰质粘土。

在矿区范围内,褶皱构造数量不多,但却比较复杂;断裂活动比较强烈,见有多个延伸方向,其中北西西向、北北东向两组尤为突出。

矿区侵入岩较为发育,形成时代有多个时期。按产状分类,既有岩浆岩岩体也有脉岩(图2)。研究区岩浆岩岩体包括4个成岩时期,其中晋宁期的大磊山、龙须湾、夏家畈岩体岩性均为片麻状二长花岗岩;志留纪的乐家冲岩体为变基性超浅成侵入体;侏罗纪的芳畈岩体为斑状石英正长岩;白垩纪的夏店岩体为中粒黑云二长花岗岩、双峰尖岩体为斑状中细粒二长花岗岩。脉岩仅涉及白垩纪时期,主要为煌斑岩、花岗斑岩、石英岩脉。其中,煌斑岩可细分为闪斜煌斑岩、云斜煌斑岩、闪辉正煌岩。

2 矿床地质特征

大磊山金矿(田)产于大磊山背形(穹窿)的核部及东翼,由大坡顶和白云两个矿床构成(图2)。前者

① 湖北省鄂东北地质大队. 2008. 湖北省大悟县大坡顶金矿普查报告.

② 湖北省地质调查院. 2003. 1:20万麻城幅区域地质报告(H50C001001).



图1 研究区大地构造格架(据杨巍然等,2000;曹正琦等,2017)

Fig. 1 Tectonic framework of the study area (modified after Yang Weiran *et al.*, 2000; Cao Zhengqi *et al.*, 2017)

发现于上世纪80年代,后者是本世纪初的新近工作成果。矿床产于大磊山背斜(穹窿)的核部及东翼。矿(化)体主要受北西西向断裂控制,极少数受北东向断裂控制(图2)。

2.1 矿体特征

矿体主要受北西西向断裂控制,极少数受北东向断裂控制。北西西向矿体一般规模较大,以含金为主,含银少;北东向矿体规模小,以含银为主,含金不高。

金矿体由断裂中含金石英脉及含金硅化、钾化岩石共同组成。矿体在断裂带中为脉状、板状、透镜状形态,常呈现侧列、侧伏等现象产出,单个脉体的平均厚度均小于1 m。沿倾向控制的最大斜深为440 m,但矿化并无衰减趋势。到目前为止,大磊山金矿(田)

共发现17条矿脉,金的储量已远远超过中型规模。

2.2 矿石特征

矿石中主要矿石矿物有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿及含金矿物银金矿等;脉石矿物主要有石英、钾长石、斜长石、绢云母、绿泥石、方解石等。矿石中黄铁矿、方铅矿、闪锌矿呈浸染粒状、集合体状,局部见有晶洞。

矿石组合大致可以划分为3种:①黄铁矿化、铅锌矿化石英脉型矿石;②含石英细粒状铅锌矿石;③黄铁矿化、方铅矿化、黄铜矿化、硅化、钾化碎裂岩型矿石。矿区中以第1种矿石类型为主,第2种以及蚀变岩型的第3种矿石类型较少。矿石中金的平均品位为11.63 g/t,最高品位可达131.12 g/t(湖北省鄂东北地质大队,1995)^①。

① 湖北省鄂东北地质大队, 1995. 湖北省大悟县大磊山-芳畈地区金铜成矿地质条件分析及成矿预测.

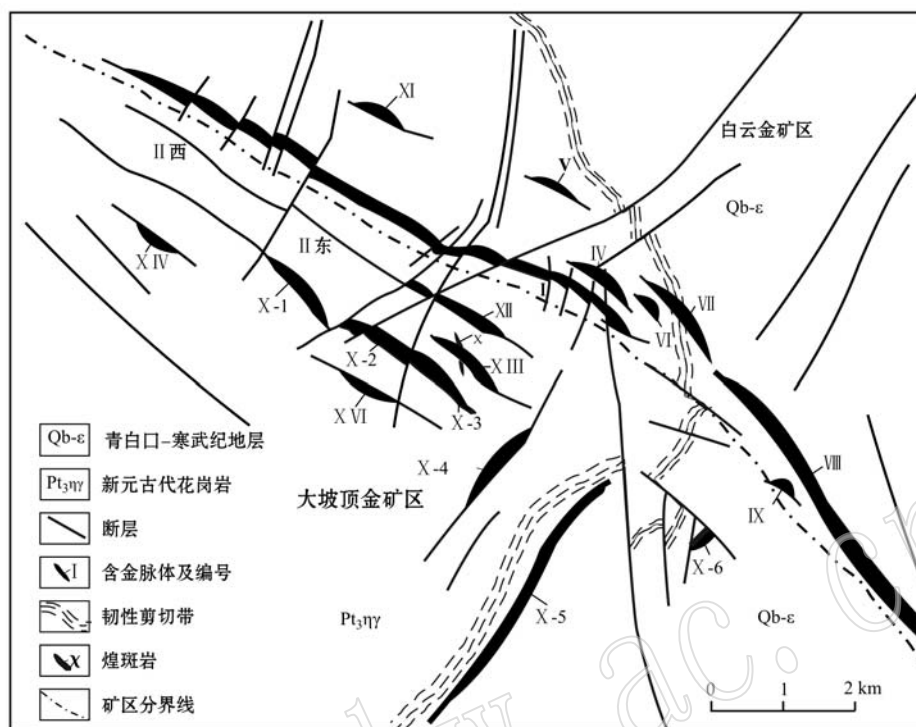


图2 大磊山金矿田含金矿体分布图(据湖北省鄂东北地质大队, 2008^①修改)

Fig. 2 Gold orebody distribution map of the Daleishan gold orefield (modified after Geological Party of Northeast Hubei Province, 2008^①)

2.3 赋矿围岩特征

北西西向金矿床的矿体直接顶、底板围岩主要为晋宁期片麻状含斑二长花岗岩, 少量白云钠长片麻岩; 北北东向金矿床主要岩性为白云二长片麻岩、白云钠长片麻岩, 少量片麻状花岗岩。围岩产状为倾向北东至东, 倾角 $25^{\circ} \sim 38^{\circ}$, 而矿体产状主要倾向南西, 少量倾向北东, 倾角 $33^{\circ} \sim 56^{\circ}$, 金矿体斜交围岩片麻理, 交角约 21° 。

2.4 围岩蚀变与矿化特征

围岩蚀变主要有硅化、钾化和黄铁矿化, 其次是绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化、绢云母化、重晶石化。其中硅化、钾长石化、黄铁矿化与金矿化关系密切; 绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、重晶石化与金的矿化有一定的关系; 碳酸盐化一般出现在矿化的后期, 与矿化关系不甚密切。

矿化沿走向、倾向均具有不均匀到极不均匀的特征。成矿过程分为两个成矿期, 即热液成矿期、表生成矿期。其中, 热液成矿期可分3个成矿阶段, 即

氧化物阶段(石英-长石-黄铁矿阶段), 硫化物阶段(石英-硫化物阶段), 碳酸盐化-硫酸盐化阶段(方解石-重晶石阶段)。

2.5 金的赋存状态

矿石中金以银金矿形式产出, 矿物颗粒大小多在 $5 \sim 100 \mu\text{m}$ 之间; 银金矿颗粒呈液滴状或其他的不规则形状充填黄铁矿、石英颗粒的裂隙或者这些矿物颗粒的间隙, 少量被包裹在硫化物矿物、石英颗粒之中。颗粒细小的黄铁矿是金的主要载体矿物。金矿物成色较低, 平均成色为 784(湖北省鄂东北地质大队, 1995)^②。

3 成矿条件分析

热液脉型矿床的控矿构造总体包括导矿、配矿和容矿构造, 其中: 导矿构造是指运送含矿流体介质进入矿化地带的构造通道(翟裕生等, 1981)。常见的导矿构造是区域性的大断裂或者深断裂; 配矿构

① 湖北省鄂东北地质大队. 2008. 湖北省大悟县大坡顶金矿普查报告.

② 湖北省鄂东北地质大队. 1995. 湖北省大悟县大磊山-芳畈地区金铜成矿地质条件分析及成矿预测.

造是连接导矿构造与容矿构造的中间性构造环节;容矿构造是矿体赋存的构造,它直接控制矿体的形态、产状,并在某些情况下影响矿体的内部结构特点。

在实际工作中,由于控矿构造是多级别的和互相交错的,因而在某些成矿地带不易区别导矿构造和配矿构造,在这种情况下,可将二者统称为运矿构造。容矿构造是矿田构造研究的重要内容和主要对象,对其研究的深入程度,直接影响到找矿勘探的具体效果。

3.1 大磊山金矿导矿、配矿构造

前人认为发育在大磊山南部,距离大磊山穹窿构造 2.5 km 的芳畈断裂,是大磊山金矿的导矿、配矿构造。该断裂是一条区域性的大断裂,其长度超过 50 km,最大宽度达 1.0 km。运动学性质为逆冲断裂,主断裂面走向北西西 $305^{\circ}\sim 325^{\circ}$,倾向南西,倾角 $50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。其形成于印支运动时期,至燕山运动时具明显的复活特征。在复活运动过程中,它沟通了深部燕山期花岗岩的岩浆期后热液,并引导这些热液向大磊山穹窿顶部运动,而构成了大磊山金矿的导矿、配矿构造(湖北省鄂东北地质大队,1995)^①。

本次研究表明大磊山穹窿发育在这条断层的北部,而这条断层的断面却是倾向南西的断面。显然,如果沿着断面倾斜的方向走下去,不但不能到达穹窿的底部,还会背离穹窿构造愈走愈远。因而,认为大磊山金矿的导矿、配矿构造,不是前人认为的芳畈断裂,而是大磊山花岗岩穹窿周缘构造接触带。燕山期区域广泛的岩浆热事件使得大磊山花岗岩穹窿隆升,导致大磊山岩体与其围岩呈构造接触,形成剪切带,从而为后期的气液向背斜顶部或穹窿核部聚集提供了通道。

尽管前人迄今尚未充分认识到花岗岩穹窿构造的周缘接触带,可以构成热液脉型金矿的导矿、配矿构造类型。但是,有关学者却早就注意到穹窿构造与热液矿床具有密切的时、空甚至成因关系。例如,熊成云等(1998)认为黄陵背斜南、北倾末端的两个金矿田,与花岗岩穹窿的形成、演化具有密切的成因联系。

3.2 大磊山金矿容矿构造

受大别碰撞造山带近南北向挤压应力场、区域新城-黄陂断裂带及滢水断裂带影响,研究区断裂构

造十分发育,金矿体严格受断裂构造控制,根据断裂展布方向分为北西西向、北北东向、北北西向、北东-北东东向。

3.2.1 北西西向断裂

北西西向矿断裂带具多期次活动特征,金矿体主要赋存在后期叠加的脆性断裂内。含矿断裂在空间上大致呈平行排列,长数百米至数千米,总体走向 300° 左右,主体倾向北东,运动性质为张剪性,少量倾向南西,倾角 $42^{\circ}\sim 82^{\circ}$,含矿断裂沿走向、倾向均呈舒缓波状。断裂带一般宽 3~8 m,主要由碎裂岩、硅化碎裂岩、硅化钾化碎裂岩等组成;断裂带中常充填有各类脉体,包括石英脉、花岗斑岩脉、煌斑岩脉等,其中石英脉有板脉、复脉、网脉等,脉体宽度变化较大,0.1~1.5 m 不等;断裂带两侧常发育较宽的钾化带,其两侧地层中的主体岩性为片麻岩、变粒岩、浅粒岩等。常被一系列北东向、北北西向断裂切断、错位(图2)。

3.2.2 北北东向断裂

分布于研究区穹窿构造中、北部及其东侧,该方向断裂与北西西向断裂类似,平面上呈平行状,带中每一条规模较大断裂的间隔约 2.5~3 km,除个别断裂延伸较长外,均在北西向断裂附近消失,明显表现出被北西向断裂带限制。断裂长度一般几百米至几千米,走向为 $5^{\circ}\sim 32^{\circ}$,整体具舒缓波状特征,主体倾向南东,少数倾向北西,倾角 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$,运动性质为右行压扭性,破碎带宽 0.5~5 m。其中大部分断裂被煌斑岩脉充填,偶见少量含金石英脉岩同向贯入。断裂带内构造岩主要为碎裂岩、硅化碎裂岩;断裂两侧临断层节理发育,在北北东向和北西西向断裂交汇部位具有金矿化。

3.2.3 北东-北东东向断裂

分布于研究区穹窿构造中北部。断裂带规模较大,长度几百米至几千米不等,走向为 $40^{\circ}\sim 65^{\circ}$,倾向北西,倾角 $48^{\circ}\sim 72^{\circ}$ 。该组断裂水平断距较大,断裂带中构造角砾岩较发育,排列杂乱,棱角发育,表现为张扭性特征,带中无充填物,切割北西西向含金石英脉。

3.2.4 北北西向断裂

分别出露于研究区穹窿构造中北部及其边缘。北北西向断裂形成晚于前述北西向断裂,同时交切前者,使前者在平面上发生一定的位移。两者交角

① 湖北省鄂东北地质大队. 1995. 湖北省大悟县大磊山-芳畈地区金铜成矿地质条件分析及成矿预测.

呈 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。该方向断裂之断面整体较为平直,局部呈舒缓波状,常观察到斜向擦痕,表现为压扭性特征。

通过对上述 4 个不同方向断裂的研究,北西西向断裂($285^{\circ}\sim 305^{\circ}$)是主要控矿断裂,控制了主要含金石英脉矿体的展布及规模,和控制少量含金石英脉的北北东向断裂为矿区内容矿构造,而北北西向、北东-北东东向形成了“ $\times$ ”型断裂,为成矿后构造,切割了早期的北西西向断裂及含金石英矿脉,造成东盘北移,平距为 $1\sim 10$ m,明显是区域晚期构造活动所致。

4 大磊山金矿成矿年代

本次研究锆石挑选工作由河北省廊坊市河北地勘局物化探区域地质调查研究所岩矿实验室完成,在玻璃板上用环氧树脂固定,经过抛光和喷碳后,在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室用 Gatan 公司生产的型号为 MonoCL4+,主机为 Gatan MonoCL4+ 阴极荧光谱仪进行阴极发光照相,用于分析锆石内部结构,如锆石形态、结构,有无环带等;选取锆石微区年代学的合适位置,分析锆石的类型和成因。

同位素锆石 U-Pb 测试在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,利用安捷伦公司生产型号为 Agilent7500a 的激光剥蚀-电感耦合等离子体质谱仪进行微区同位素测试,同位素外标样 U-Pb 为国际锆石标准 91500,元素溶度计算采用 NIST610 作外标,实验中采用 He 气作为剥蚀物质载气,激光束斑为 $30\ \mu\text{m}$ 。具体操作流程、测试方法和原理见 Ludwig(2003)和 Liu 等(2009)。利用软件 Isoplot/Ex-ver3 进行锆石样品 U-Pb 年龄谐和图和年龄权重平均计算(Qi *et al.*, 2000)。利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年法,准确获取煌斑岩的侵位年代,进而探讨金矿成矿时代问题。煌斑岩脉主要呈北东向平行状分布于大磊山岩体及其围岩中,出露宽度一般小于 2 m,连续长度 $1\sim 4$ km,少量达 6.5 km;取样坐标为: $E114^{\circ}12'10.74''$, $N31^{\circ}28'33.32''$ 。手标本呈浅灰黄褐色,煌斑结构,块状构造(图 6a)。斑晶成分为基性斜长石和暗色矿物(图 6b),含量约 15%,基质含量约 85%,基质主要由自形小板条状的基性斜长石构成,该斜长石的三角形空隙格架内充填着大量的暗色矿物及少量的玻璃质、铁质矿物、石英,形成间隐间粒结构,基性斜长石

含量稍多于暗色矿物。基性斜长石具碳酸盐化、硅化并残余柱状假像;暗色矿物具碳酸盐化、绿泥石化及析铁并残余柱状假像,黄铁矿、黄铜矿颗粒呈散状分布,偶见胶状黄铁矿细脉穿插煌斑岩,脉宽约 1 mm。

煌斑岩样品 D3075/1 锆石 CL 图像显示其大部分形态为半自形到它形,局部岩浆锆石环带较宽(图 3),选择其中 21 粒具有基性岩特征的锆石进行 U-Pb 年代学分析。锆石年龄数据多投影在 U-Pb 谐和线上或靠近谐和线(图 4),其中 2 个锆石分析点 D3075/1-2、D3075/1-13 年龄误差过大,没有纳入统计,剩余 19 个点颗粒的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 126.8 ± 2.0 Ma(MSWD=1.2),Th/U 比值均大于 0.8(见表 1),代表了煌斑岩脉的成岩年龄。大磊山

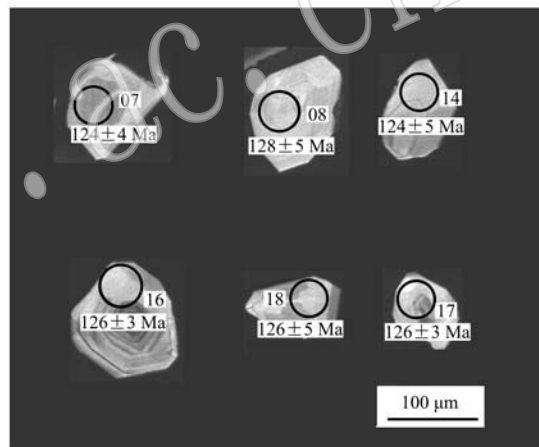


图 3 煌斑岩锆石样品 D3075/1 CL 图及分析位置
Fig. 3 D3075/1 CL image and analysis location of lamprophyre zircon sample

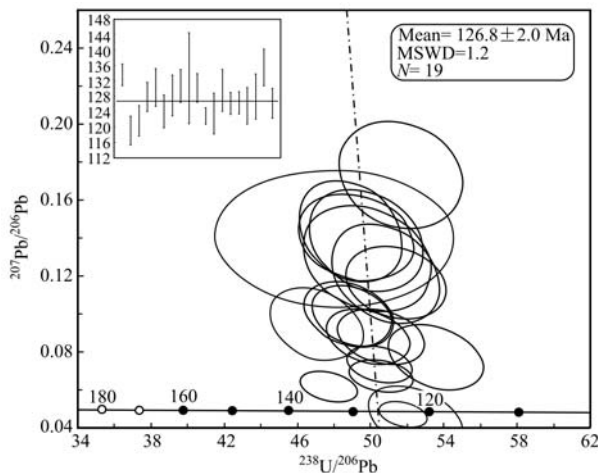


图 4 煌斑岩锆石样品 D3075/1 U-Pb 谐和图
Fig. 4 D3075/1 U-Pb concordia plot of lamprophyre zircon sample

表 1 煌斑岩锆石样品(D3075/1)锆石 U-Pb 同位素组成和表面年龄
Table 1 Zircon U-Pb isotope composition and surface age of zircon samples of the laminate D3075/1

点号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值				表面年龄/Ma				谐和度/%					
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		
D3075/1-1	72.8	88.9	0.82	0.063 0	0.005 8	0.179 2	0.016 4	0.020 9	0.000 4	709	199	167	14	134	3	77
D3075/1-3	55.2	46.3	1.19	0.107 4	0.023 0	0.198 7	0.031 8	0.018 7	0.000 6	1 767	402	184	27	119	4	57
D3075/1-4	45.7	41.2	1.11	0.000 0	0.000 0	0.118 0	0.031 8	0.019 1	0.000 6	—	—	113	29	122	4	92
D3075/1-5	54.8	50.6	1.08	0.096 2	0.014 1	0.243 6	0.029 7	0.020 0	0.000 6	1 551	275	221	24	128	4	46
D3075/1-6	25.8	25.4	1.02	0.165 9	0.027 1	0.403 9	0.055 7	0.020 4	0.000 8	2 517	278	344	40	130	5	9
D3075/1-7	56.5	37.3	1.52	0.135 2	0.018 0	0.312 4	0.038 3	0.019 4	0.000 7	2 166	235	276	30	124	4	24
D3075/1-8	31.5	26.1	1.21	0.360 4	0.150 9	0.383 7	0.055 0	0.020 1	0.000 8	3 752	687	330	40	128	5	12
D3075/1-9	50.0	40.2	1.24	0.120 2	0.021 0	0.282 3	0.035 0	0.020 5	0.000 7	1 961	316	252	28	131	4	36
D3075/1-10	20.0	19.5	1.02	0.000 0	0.000 0	0.400 8	0.078 4	0.020 8	0.0019	—	—	342	57	133	12	11
D3075/1-11	42.3	44.3	0.96	0.106 2	0.013 8	0.278 4	0.032 9	0.020 4	0.000 6	1 736	245	249	26	130	4	37
D3075/1-12	160.0	133.0	1.20	0.048 2	0.004 4	0.123 6	0.010 8	0.019 3	0.000 3	109	200	118	10	123	2	96
D3075/1-14	27.0	23.3	1.16	0.241 0	0.034 9	0.462 2	0.057 3	0.019 4	0.000 8	3 127	233	386	40	124	5	-3
D3075/1-15	56.5	36.8	1.54	0.141 1	0.019 2	0.392 1	0.048 3	0.020 3	0.000 9	2 243	237	336	35	130	5	11
D3075/1-16	124.0	87.4	1.42	0.074 1	0.007 2	0.183 1	0.016 5	0.019 8	0.000 5	1 043	199	171	14	126	3	70
D3075/1-17	90.4	73.6	1.23	0.075 7	0.007 3	0.201 2	0.019 3	0.019 8	0.000 5	1 087	199	186	16	126	3	61
D3075/1-18	26.6	25.4	1.05	0.174 8	0.049 7	0.328 1	0.051 8	0.019 7	0.000 8	2 606	491	288	40	126	5	21
D3075/1-19	23.9	24.1	0.99	0.000 0	0.000 0	0.357 8	0.057 2	0.020 1	0.000 9	—	—	311	43	128	6	16
D3075/1-20	40.5	35.4	1.14	0.114 7	0.019 5	0.277 4	0.041 3	0.021 2	0.000 8	1 876	311	249	33	136	5	41
D3075/1-21	55.7	45.8	1.22	0.096 1	0.013 8	0.239 8	0.028 7	0.019 8	0.000 6	1 550	272	218	24	126	4	46

金矿与邻区河南桐柏地区受北西西向韧性剪切带控制的含金石英脉型老湾金矿存在一定相似之处,后期叠加的脆性断裂为主要控矿构造(林锐华等,2010),该金矿含金石英脉形成年龄为 138~91 Ma(张冠等,2008),而本次研究获得煌斑岩锆石 U-Pb 同位素结晶年龄为 126.8 ± 2.0 Ma,结合大磊山金矿含金石英脉侵位于煌斑岩这一客观地质事实(图 6a),认为本区金矿形成于 126.8 ± 2.0 Ma 之后。

5 矿床成因分析及成矿物质来源

5.1 矿床成因分析

前人认为大磊山金矿的成矿物质来源于古老的大别群,为中低温变质热液矿床(蒋礼贤等,1991)。作者研究发现,中低温热液成因的提法,是一种笼统的说法,岩浆期中低温热液成因是一种不太明确的见解,成矿物质、成矿热液来源是分析厘定热液脉型金矿成因的两大根本因素(闫升好,1998),只有查明该矿成矿物质、成矿热液的来源才能确切地认识到大磊山金矿的实际矿床成因。

5.2 成矿物质与成矿热液来源

5.2.1 成矿物质来源

前人认为白垩纪煌斑岩脉与金矿成矿没有联系(周汉文等,1988),白垩纪花岗岩体和早元古代大别山群片麻岩,是大磊山金矿的成矿母岩(杜登文等,2008)。

本次研究认为,煌斑岩脉与金矿矿脉具有密切的空间关系(图 5),早期煌斑岩脉受构造活动破碎,

角砾被含金石英脉所胶结;晚期煌斑岩脉与贯入其中的含金石英脉再次被构造活动破碎,表现为石英脉呈角砾状、煌斑岩具复合角砾特征(图 6a),根据对发育细粒黄铁矿颗粒煌斑岩脉金元素拣块分析(8 件),金元素含量一般低于 0.5×10^{-6} ,个别达 1.3×10^{-6} (曹正琦,2016)。

本次研究注意到,据含金石英脉氧氢同位素分析结果(湖北省鄂东北地质大队,1995)^①,成矿热液来源于岩浆热液。有学者认为该成矿物质来源于早元古代大别山群片麻岩(李江洲等,1990;杜登文等,2008),与成矿流体氢、氧同位素特征相矛盾。根据锆石 U-Pb 同位素测年结果查明:发育展布在大磊山穹窿内部的物质组成,不是早元古代大别山群片麻岩地层,而是晋宁时期形成的片麻状二长花岗岩,岩体成岩年龄约为 793 Ma(曹正琦,2016)。根据已布置的 3 条构造地球化学剖面,准确获得了大磊山岩体的金元素背景值,金元素最高值为 98.00×10^{-9} ,一般约为 0.46×10^{-9} (曹正琦,2016),进而认为,新元古代时期形成的片麻状二长花岗岩,为大磊山金矿成矿提供初始的金元素背景值。

5.2.2 成矿热液来源

大磊山金矿的黄铁矿微量元素 Co/Ni 值大于 1(湖北省鄂东北地质大队,1995)^①,因此金矿化与深部岩浆作用有关;依据矿石中石英氧同位素、氢同位素测定结果投点成图特征,认为矿液中的水主体是岩浆水,当含矿溶液上升到近古地表时,有部分同生水进入了含矿溶液。

在上述两点认识的基础上,结合矿区岩浆岩发育的实际情况,前人明确指出,大磊山金矿的成矿热液来源于深部岩浆作用。

通过上述两个方面的分析结果可知,大磊山金矿的成矿作用过程为:至燕山运动时期,大磊山穹窿深部含金元素岩浆期后热液(刘腾飞,1997),在浮力和构造应力的驱动下,经过新元古代时期形成的片麻状二长花岗岩向上运移时,淬取了这一花岗岩中析出的金元素,当该成矿热液进入控矿裂隙中沉积成岩后,形成了大磊山金矿。

显然,成矿物质来源于燕山期含金元素岩浆期后热液,经历了淬取围岩中的金元素演化而成;大磊山金矿的矿床成因,应该是中低温岩浆热液成因。

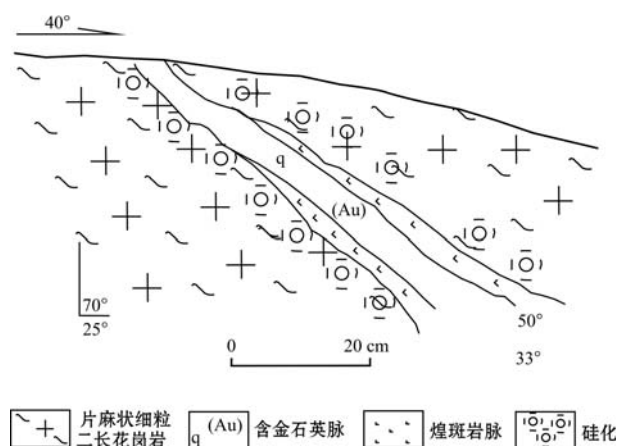


图 5 白云金矿脉体与围岩关系剖面图

Fig. 5 Geological section showing relationship between gold vein body and surrounding rock

① 湖北省鄂东北地质大队, 1995. 湖北省大悟县大磊山-芳畈地区金铜成矿地质条件分析及成矿预测.

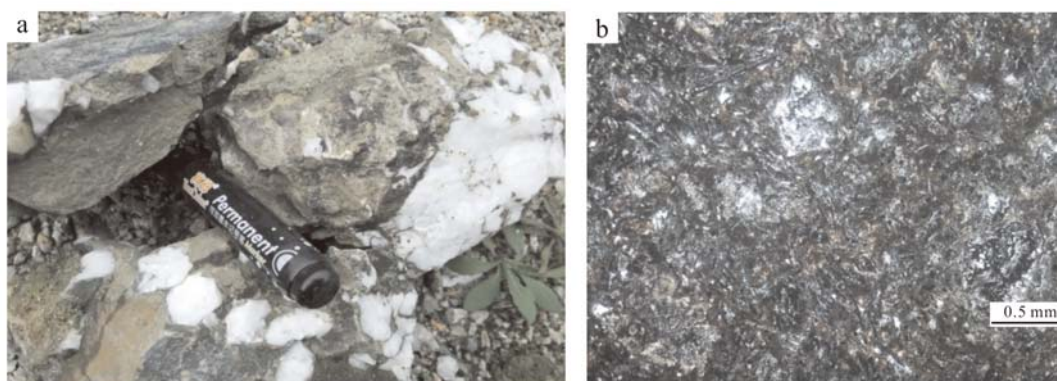


图6 石英脉穿插煌斑岩(a)和煌斑岩显微特征(b, +)

Fig. 6 Lamprophyre cut by quartz vein(a) and microcharacteristics of laminite(b, +)

6 结论

(1) 金矿体主要赋存在受力学性质显压扭性的北西向脆性断裂中, 少量分布在早期张性、晚期压扭性的北东向断裂破碎带中。

(2) 新元古代大磊山岩体具有较高的金地球化学背景值, 说明为金矿成矿提供了初始的金元素背景值, 燕山期含金元素岩浆期后热液为金矿成矿提供了成矿物质。

(3) 煌斑岩脉中裂隙被后期含金石英脉充填特征, 说明大磊山金矿形成晚于煌斑岩脉, 煌斑岩的侵位年龄为 126.8 ± 2.0 Ma, 进而限定了该金矿的成矿上限时代, 认为大磊山金矿属于燕山期岩浆热液的产物。结合前人的氢氧同位素和黄铁矿微量元素特征, 大磊山金矿为中低温岩浆热液矿床。

致谢 衷心感谢审稿专家的指导意见!

References

- Cao Zhengqi. 2016. Late mesozoic dikes and ore-controlling structures of the Dawu region[D]. Hubei Province, Wuhan: China University of Geosciences, 1~138(in Chinese with English abstract).
- Cao Zhengqi, Cai Yitao, Zeng Zuoxun, *et al.* 2017. Discovery of the Neoproterozoic A-Type granite in the Northern Yangtze Craton and its tectonic significance[J]. *Earth Science*, 42(6): 957~973(in Chinese with English abstract).
- Du Dengwen, Hong Hanlie, Xu Zhiqiang, *et al.* 2010. Characteristics of gold-bearing minerals from the Dapoding gold deposit in Dawu, Hubei Province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 27(4): 55~60(in Chinese with English abstract).
- Jiang Lixian and Chen Zhuqing. 1991. Research on minerogenic substance source of gold deposit from Baiyun, Hubei[J]. *Hubei Geology*, 5(1): 75~84(in Chinese with English abstract).
- Li Jiangzhou and Xiao Yiping. 1990. Preliminary researches on geological characteristics and genesis of Baiyun gold deposit[J]. *Hubei Geology*, 4(1): 32~50(in Chinese with English abstract).
- Lin Ruihua, Wang Tiejun, Shi Gewu, *et al.* 2010. Structure control characteristics and genesis of Laowan gold deposit in Henan Province[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 25(4): 342~346(in Chinese with English abstract).
- Liu Tengfei. 1997. Geological characteristics and genesis of Baiyun gold deposit, northeastern Hubei[J]. *Gold Geology*, 3(1): 31~37(in Chinese with English abstract).
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, *et al.* 2009. Continental and oceanic crust recycling induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 51: 537~571.
- Ludwig K R. 2003. ISOPLLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California, 39.
- Qi L, Hu J and Gregoire D C. 2000. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. *Talanta*, 51: 507~513.
- Wang Fenli, Hong Hanlie, Du Dengwen, *et al.* 2009. Geochemical characteristics of trace elements in Dapoding gold deposit of Dawu, Hubei Province[J]. *Gold*, 30(12): 20~24(in Chinese with English abstract).

- Xiong Chengyun, Wei Changshan, Jin Guangfu, *et al.* 1998. Basic characteristics and metallogenetic regularity of the gold ore deposits in the middle core of Huangling anticline, western Hubei Province [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 1: 32~40(in Chinese with English abstract).
- Yan Shenghao. 1998. A review and discussion on epithermal deposits [J]. *Gold Science and Technology*, 6(2): 11~17(in Chinese with English abstract).
- Yang W R, Wang G C and Jian P. 2000. Study on the Tectono-Chronology of the Dabie Orogenic Belt[M]. China University of Geoscience Press, Wuhan, 533(in Chinese).
- Zhai Yushen, Shi Zhunli, Zeng Qingfeng, *et al.* 1981. Construction and Mineralization of Ore Fields[M]. Beijing: Geology Publishing House(in Chinese).
- Zhang Guan, Li Houmin, Wang Chenghui, *et al.* 2008. ^{40}Ar - ^{39}Ar age of muscovite from the Laowan gold deposit in Henan and its significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29 (1): 45~50(in Chinese with English abstract).
- Zhou Hanwen, Suo Shutian, Zhong Zengqiu, *et al.* 1988. Geochemical characteristics of lamprophyres in Baiyun gold deposit district in Dawu, Hubei[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2: 9~14(in Chinese with English abstract).
- 曹正琦, 蔡逸涛, 曾佐勋, 等. 2017. 扬子克拉通北缘新元古代 A 型花岗岩的发现及大地构造意义[J]. *地球科学*, 42(6): 957~973.
- 杜登文, 洪汉烈, 徐志强, 等. 2008. 湖北大悟大坡顶金矿床金矿物特征[J]. *地质科技情报*, 27(4): 55~60.
- 蒋礼贤, 陈竹英. 1991. 湖北白云金矿床成矿物质来源探讨[J]. *湖北地质*, 5(1): 75~84.
- 李江洲, 肖荫萍. 1990. 白云金矿床地质特征及成因初探[J]. *湖北地质*, 4(10): 32~50.
- 林锐华, 王铁军, 史革武, 等. 2010. 河南老湾金矿的构造控矿特征及矿床成因[J]. *地质找矿论丛*, 25(4): 342~346.
- 刘腾飞. 1997. 鄂东北白云金矿床地质特征及成因初探[J]. *黄金地质*, 3(1): 31~37.
- 王粉丽, 洪汉烈, 杜登文, 等. 2009. 湖北大悟大坡顶金矿床微量元素地球化学特征[J]. *黄金*, 30(12): 20~24.
- 熊成云, 韦昌山, 金光富, 等. 1998. 鄂西黄陵背斜核部中段金矿基岩特征及成矿规律[J]. *华南地质与矿产*, 1: 32~40.
- 闫升好. 1998. 成热液金矿成因研究现状与讨论[J]. *黄金科学技术*, 6(2): 11~17.
- 杨巍然, 王国灿, 简平. 2000. 大别造山带构造年代学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 533.
- 翟裕生, 石准立, 曾庆丰, 等. 1981. 矿田构造与成矿[M]. 地质出版社.
- 张冠, 李厚民, 王成辉, 等. 2008. 河南桐柏老湾金矿白云母-铷-钫年龄及其地质意义[J]. *地球学报*, 29(1): 45~50.
- 周汉文, 索书田, 钟增球, 等. 1988. 湖北大悟白云金矿煌斑岩的元素地球化学特征[J]. *华南地质与矿产*, 2: 9~14.

附中文参考文献

- 曹正琦. 2016. 湖北大悟地区晚中生代脉岩及控矿构造研究[D]. 博士学位论文, 武汉: 中国地质大学(武汉), 1~138.