

· 专题研究 ·

延边地区九三沟金矿床赋矿围岩的锆石 U-Pb 年龄与成岩成矿时代

柴 鹏¹, 孙景贵¹, 门兰静², 张 勇¹, 韩世炯¹, 白令安¹, 刘勇胜³

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 长春工程学院, 吉林 长春 130021;
3. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 九三沟金矿床是吉林省延边地区一座典型的浅成中高温热液金矿床。为了深入研究其成矿规律, 首次对延边地区九三沟金矿床赋矿围岩蚀变闪长玢岩进行了锆石 LA-ICP-MS 年代学精细研究。实验获得单颗粒锆石 U-Pb 谐和年龄在 103~116 Ma 之间, 其加权平均年龄为 109.3 ± 2.1 Ma (MSWD=7.0, $n=18$), 代表闪长玢岩成岩年龄。谐和年龄可被细分为两段: 112~116 Ma (平均值 = 113.1 ± 1.1 Ma, $n=9$, MSWD=0.55, 置信度为 0.82) 和 103~110 Ma (平均值 = 105.8 ± 1.8 Ma, $n=9$, MSWD=2.2, 置信度为 0.022)。结合年龄数据、锆石晶形和 CL 图像特征, 初步厘定前者应代表闪长玢岩主体结晶年龄, 而后者则代表岩浆演化结束的时代。再结合区域成矿规律和之前取得的成果, 限定九三沟金矿成矿作用应发生在 106 Ma 之后, 成矿环境适宜早白垩世晚期伊泽奈崎板块向古亚洲大陆边缘俯冲消亡、中国东部大陆边缘燕山造山期末的走滑、伸展构造转换过程。

关键词: 锆石 U-Pb 年龄, 成岩成矿时代, 九三沟金矿床, 延边地区

中图分类号: P588.12⁺2; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)05-0633-08

U-Pb dating of zircons from host rocks of the Jiusangou gold deposit in Yanbian area and determination of rock-forming and ore-forming epochs

CHAI Peng¹, SUN Jing-gui¹, MEN Lan-jing², ZHANG Yong¹, HAN Shi-jiong¹,
BAI Ling-an¹ and LIU Yong-sheng³

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. Changchun Institute of Technology, Changchun 130021, China; 3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The Jiusangou ore deposit in Yanbian area of Jilin Province is a typical epithermal-mesothermal gold deposit. In this study, detailed studies were carried out by means of zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the host rock of the Jiusangou gold deposit, i. e., altered diorite porphyrite. The analysis yielded U-Pb concordant ages of single zircons from 103 Ma to 116 Ma, with weighted mean age being 109.3 ± 2.1 Ma (MSWD=7.0, $n=18$), which can be regarded as the rock-forming age of diorite porphyrite. The ages obtained can be subdivided into two groups: 112~116 Ma (Mean = 113.1 ± 1.1 Ma, $n=9$, MSWD=0.55, reliability = 0.82) and 103~110 Ma (Mean = 105.8 ± 1.8 Ma, $n=9$, MSWD=2.2, reliability = 0.022). According to the age of zircons and the crystal form of zircons or CL image characteristics, it is preliminarily determined that the former group

收稿日期: 2012-03-27; 修订日期: 2012-07-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40772052, 41172072); 中国地质调查局地质矿产调查评价项目(资[2011]D2-38-05); 黑龙江省地质矿产局地质调查研究院课题资助项目(3R1101604422)

作者简介: 柴 鹏(1988-), 男, 矿床学专业在读硕士研究生, E-mail: cx001chaipeng@163.com; 通讯作者: 孙景贵(1961-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事岩浆、热液矿床研究, E-mail: sunjinggui@jlu.edu.cn

of ages should represent the crystallization age of the main body of the diorite porphyrite, whereas the latter group of ages should represent the end of the magmatic evolution. According to regional metallogenic regularity and previous achievements, the authors hold that the thermal event of the gold mineralization took place before 106 Ma. The results of this study suggest that the metallogenic environment was the subduction and extinction of Izanaqi plate towards the ancient Asian continent in late Early Cretaceous and the conversion process of slip or extension structures in eastern China continental margin during the Late Yanshanian orogenic movement.

Key words: zircon U-Pb age; rock-forming and ore-forming age; Jiusangou gold deposit; Yanbian area

延边地区处于中国东北部陆缘、天山-兴蒙造山带东端,夹于佳木斯地块、兴凯地块、龙岗地体(属华北板块部分)之间,是一个经历了古亚洲洋演化、兴蒙造山、叠加太平洋板块俯冲的构造区。其多期次的构造、岩浆作用使得本区成为中国内生贵金属矿床发育的地区之一,并以浅成热液金、铜矿床发育而倍受国内外学者的关注。然而,本区域众多浅成热液金、铜矿床研究程度相对而言较低,部分矿床只有矿床地质特征等方面的研究,例如九三沟金矿床(刘斌等,1999,2000;赵海等,2008),而对其矿床成因、流体演化及成矿时代和矿床模型的建立以及成矿动力学背景等问题的讨论与研究尚缺乏精细研究。为了深入揭示该区浅成热液金(铜)矿床的成矿规律,并为矿产勘查选区战略部署提供科学依据,我们对该区域众多浅成热液金(铜)矿床展开了矿床地质、成岩成矿年代学以及矿物流体包裹体等方面的研究。本文选择该区典型浅成中高温热液金矿床之一的九三沟金矿床中与金矿化密切伴生的黄铁绢英岩化闪长玢岩作为研究对象,报道年代学研究成果,以限定该矿床的成矿热事件的时限和成矿动力学背景。

1 区域地质与矿床地质

九三沟金矿床距吉林省汪清县复兴镇东南约 3 km,位于杜荒子-汪清中生代火山断陷盆地的东部,处于北北东向复兴断裂与北西向金仓断裂的交汇处,是闹枝-百草沟-金苍(复兴)东西向火山岩浆带的一部分(图 1a)。矿区出露地层主要是一套下白垩统金沟岭组(K_{1j})陆相火山岩沉积岩以及燕山晚期细粒闪长岩、闪长玢岩、石英闪长玢岩、斜长花岗岩斑岩等侵入岩,主要断裂有东西向、北东向和北西向三组断裂,控矿构造为北东向和北北东向断裂,其次为北北西向断裂。

矿床地质研究表明,九三沟金矿床(图 1b)发育

在(石英)闪长玢岩内接触带及隐爆角砾岩带中,矿体以蚀变岩型为主,与围岩(石英)闪长玢岩、细粒闪长岩呈渐变过渡接触,而在矿区中部可见花岗斑岩切穿金矿体。目前已勘探圈定出 10 个矿体,其中以 1 号、7 号、8 号矿体规模较大,储量占总储量的 90% 以上;矿体品位较高,在 10 g/t 以上,储量约 1.5 t。矿石类型主要是浸染状黄铁绢英岩和黄铁矿脉,矿石构造主要是浸染状,其次是脉状、角砾状、团块状构造等,矿石结构有自形-半自形粒状结构、它形粒状结构、交代熔蚀结构、包含结构、碎裂结构等;矿石矿物以黄铁矿为主,次之为毒砂及微量的黄铜矿、砷黝铜矿、方铅矿、闪锌矿和硫砷铜银矿;脉石矿物有伊利石、水白云母、绢云母、石英、绿帘石、方解石和电气石等;金矿物主要以自然金为主,其次为银金矿,常分布在黄铁矿、毒砂粒间或包裹金产出。围岩蚀变主要类型为黄铁绢英岩化和高岭土化,其次为绿泥石化、青磐岩化、硅化和碳酸盐化等。依据矿石结构和矿物组合规律划分出 4 个成矿阶段:黄铁绢英岩阶段、石英-毒砂-黄铁矿阶段、自然金-多金属硫化物阶段和碳酸盐阶段(刘斌等,1999;赵海等,2008)。

流体包裹体研究表明,该矿床流体包裹体类型主要为气液两相、含子晶多相包裹体以及少量气相及纯液相包裹体。矿床均一温度范围在 140~470℃ 之间,其中主成矿阶段温度在 250~360℃ 之间,矿床的盐度[$w(\text{NaCl})\%$]范围 0.52%~42.2%,主成矿阶段盐度在 30.88%~42.2% 之间。计算得九三沟矿床的成矿压力为 14.08~73.252 MPa,形成深度为 0.54~2.76 km(未发表成果)。

2 实验样品和测试方法

九三沟金矿床中与金矿化密切伴生的黄铁绢英岩化闪长玢岩岩体呈似岩株、岩席状产在火山岩盆地内,岩石新鲜面呈灰绿色,斑状结构(斑晶占 30%

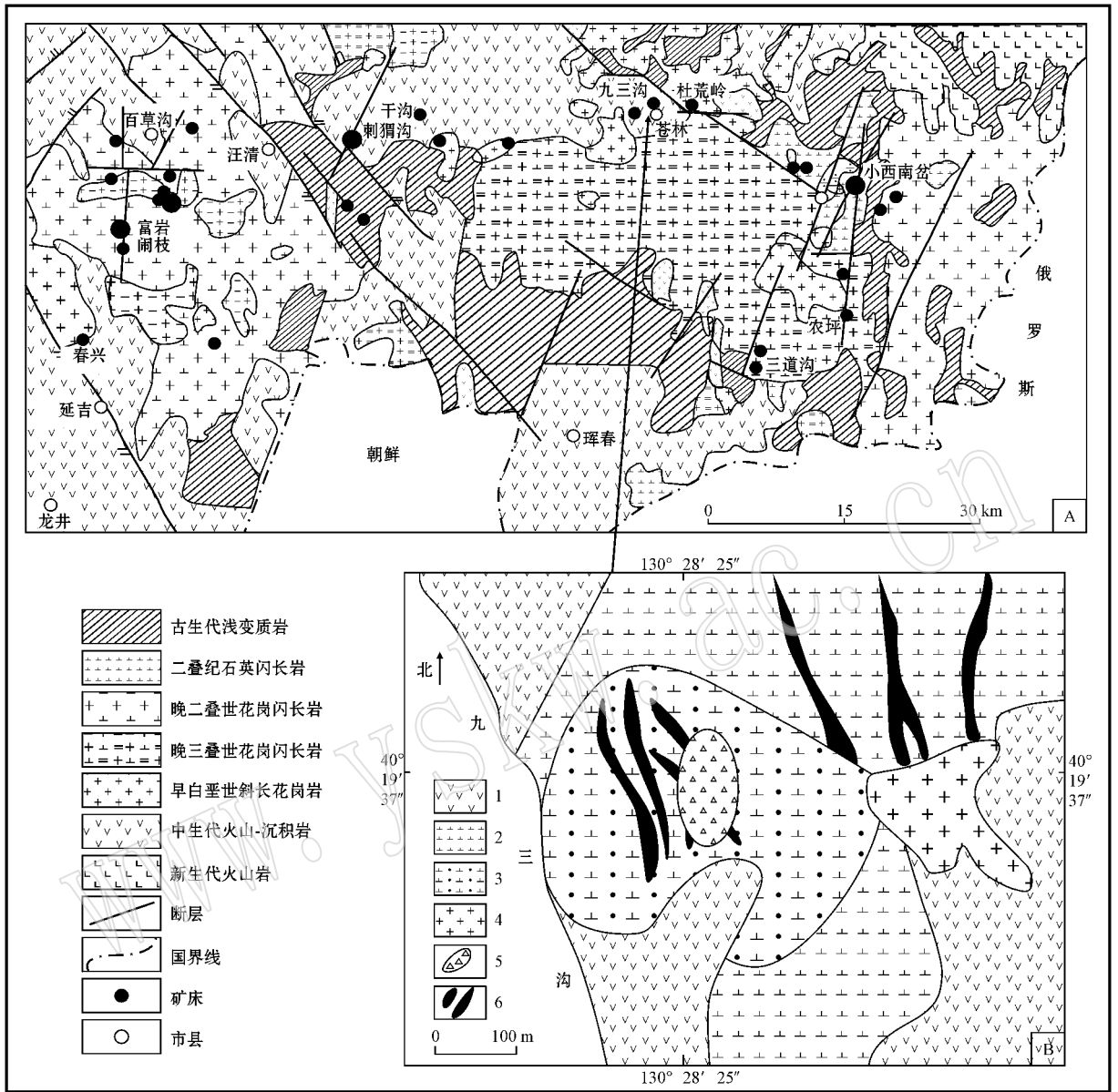


图 1 延边地区区域地质图 a, 据逢伟 (2009) 和九三沟矿区地质图 b, 据刘斌等 (1999) 和赵海等 (2008) 修改]
 Fig. 1 Regional geological map of Yanbian area (a, after Pang Wei, 2009) and geological map of Jiusangou ore district (b, modified after Liu Bin *et al.*, 1999; Zhao Hai *et al.*, 2008)

1—火山岩; 2—细粒闪长岩; 3—(石英)闪长玢岩; 4—斜长花岗岩斑岩; 5—隐爆角砾岩筒; 6—金矿体

1—volcanic rock; 2—fine-grained diorite; 3—(quartz) diorite porphyrite; 4—plagiogranite porphyry; 5—cryptoexplosive breccia; 6—gold ore body

~35%) 块状构造 斑晶斜长石为主 (占 90% ±), 少量角闪石 (10% ±); 斜长石呈自形、半自形长板状, 发育环带结构和熔蚀结构, 可见弱的绢云母化现象; 角闪石呈假像产出, 占斑晶的 10% ±, 蚀变为绿泥石、石英集合体, 局部发育碳酸盐化, 伴有磁铁矿析出, 基质为隐晶质, 可见少量微晶状的斜长石、角闪石以及磁铁矿等, 岩石普遍发育黄铁绢英岩化蚀变。

全岩岩石化学分析结果显示, 该岩石 SiO₂ 含量为 59.06%, Al₂O₃ 为 15.16%, TiO₂ 的含量为 0.48%, MgO 的含量为 2.69%, K₂O 的含量为 3.44%, Na₂O 的含量为 0.50%, CaO 的含量为 3.77%, P₂O₅ 为 0.14%, FeO 的含量为 0.89%, Fe₂O₃ 的含量为 3.91%, MnO 的含量为 0.16%, 烧失量为 8.92% (主量元素分析采用常规湿法在河北省地勘局廊坊

实验室分析完成)。

单颗粒锆石分选是将蚀变闪长玢岩岩块(约 3 kg)经颚式粉碎机粗碎、细磨过筛后,经摇床筛选以及重磁矿物分离,在双目镜下逐颗粒分选完成。锆石制靶、阴极发光图像观察与照相在中国科学院地质与地球物理所完成,LA-ICP-MS U-Pb 同位素测试在中国地质大学完成,激光斑束直径为 $32\ \mu\text{m}$,脉冲 8 Hz。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,每测定 5 个样品点校准 1 次国际标准锆石 91500,每个样品的首尾分析加 NIST610、GJ-1、CHEM 和 YS-1 标样。由 LAM-ICP-MS 获得的铅同位素数据,采用 Andersen(2002)的 3D 坐标法校正普通 Pb 样品的同位素比值及元素含量计算采用 GLITTER 程序,采用 ISOPLT3.0 程序自动完成谐和图解和加权平均年龄值(Luding, 2003)。

3 实验结果

锆石的 CL 图像见图 2,测点和 U-Pb 同位素测试实验结果分别列于表 1 和图 3。由图 2 可知,分选的锆石晶体多呈自形、半自形短柱状,部分锆石呈长柱状、它形粒状,粒径在 $100\sim 250\ \mu\text{m}$ 之间,其 CL 图像显示既有环带结构发育的锆石(如图 2 中 D10),还有部分内部成分环带结构不发育的锆石(如图 2 中样品 D12),普遍具有岩浆锆石的特征。单颗粒锆石 U-Pb 谐和年龄在 $103\sim 116\ \text{Ma}$ 之间,其加权平均年龄为 $109.3\pm 2.1\ \text{Ma}$ (MSWD = 7.0, $n = 18$),代表闪长玢岩成岩时代。依据锆石的形态、内部结构特征和年龄结果,可以将锆石细分为两组,具体概述如下。

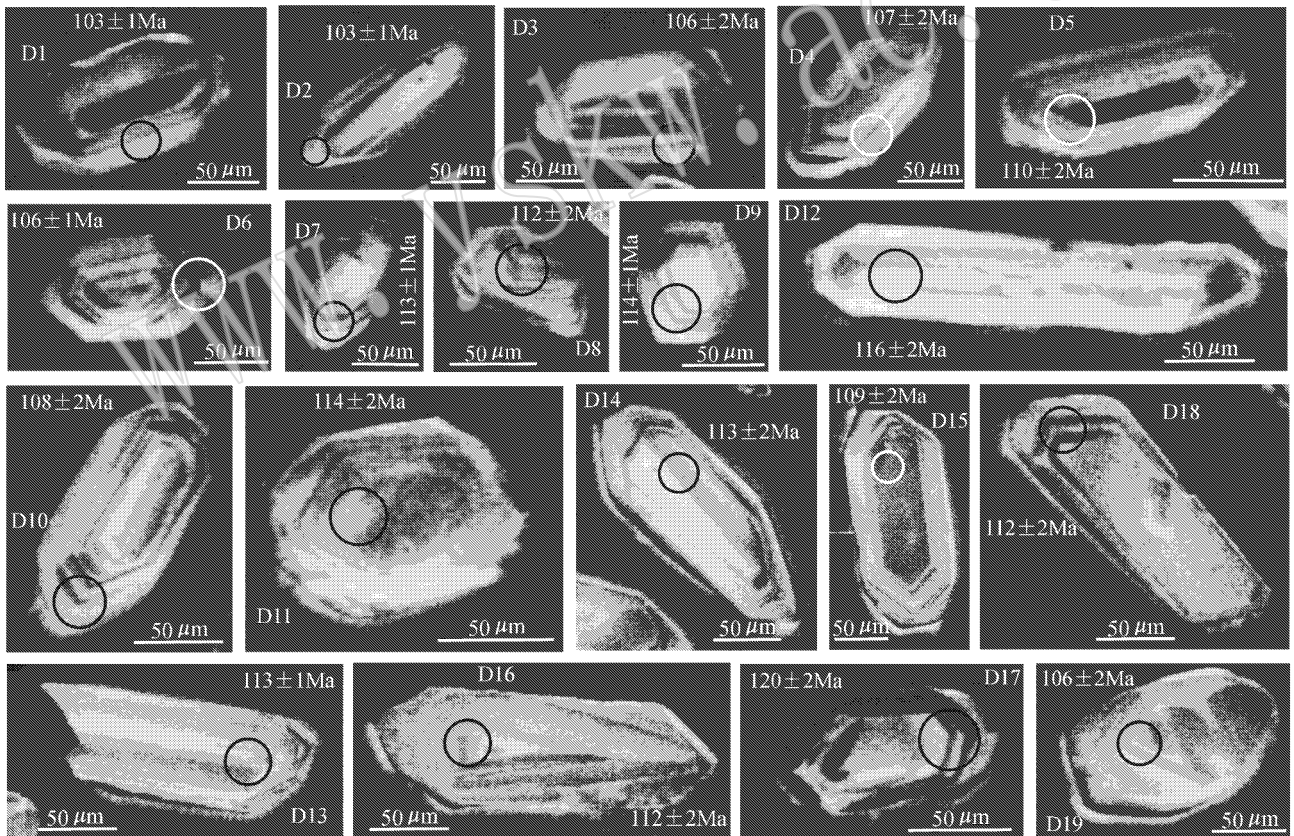


图 2 蚀变闪长玢岩的单颗粒锆石 CL 图像

Fig. 2 CL images of single grain zircon in altered diorite porphyrite

第 1 组:该组锆石晶体形态多为自形、半自形短柱状,少部分锆石呈长柱状、它形粒状,粒径主要分布在 $100\sim 250\ \mu\text{m}$ 之间,长宽比值变化较大(图 2 中样品 D7、D8、D9、D11、D12、D13、D14、D16、D18),多

发育成分环带结构, Th、U 含量分别为 $75.97\times 10^{-6}\sim 294.64\times 10^{-6}$ 和 $120.89\times 10^{-6}\sim 393.75\times 10^{-6}$, Th/U 比值分布在 $0.47\sim 0.77$,具有典型的中酸性岩浆锆石成因的特点(吴元保等, 2004)。U-Pb 表面

表 1 九三沟金矿区与成矿密切的闪长玢岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年数据
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating experimental data of zircons from altered dioritic porphyrite of Jiusanou gold deposit

测点号	$w_B/10^{-6}$		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
	Pb*	U		比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄	1 σ	年龄	1 σ
D-01	5.97	215	0.78	0.0515	0.0027	0.1129	0.0056	0.0162	0.0002	0.0053	0.0002	265	122	103	1	108	3
D-02	5.85	251	0.97	0.0481	0.0033	0.1063	0.007	0.0161	0.0002	0.0053	0.0002	101.9	155.5	103	6	103	3
D-03	8.75	278	0.67	0.0483	0.0021	0.1087	0.0046	0.0165	0.0002	0.0053	0.0002	122	104	105	4	106	3
D-04	4.61	139	0.65	0.0527	0.0035	0.1181	0.0075	0.0167	0.0003	0.0055	0.0002	317	147	113	7	107	4
D-05	4.55	140	0.7	0.0878	0.0060	0.2122	0.0151	0.0173	0.0003	0.0070	0.0003	1389	130	195	13	110	6
D-06	6.45	157	0.5	0.0518	0.0026	0.1172	0.0059	0.0166	0.0002	0.0057	0.0002	280	112	113	5	106	4
D-07	9.11	295	0.77	0.0574	0.0027	0.1396	0.0067	0.0176	0.0002	0.0061	0.0002	509	71	133	6	113	4
D-08	6.1	172	0.63	0.0503	0.0028	0.1193	0.0064	0.0175	0.0002	0.0060	0.0002	209	128	114	6	112	4
D-09	7.43	206	0.62	0.0524	0.0029	0.1268	0.0070	0.0179	0.0002	0.0056	0.0002	302	130	121	6	114	3
D-10	6.07	156	0.54	0.0572	0.0030	0.1294	0.0061	0.0169	0.0003	0.0056	0.0002	502	113	124	6	108	4
D-11	3.59	78	0.47	0.0621	0.0041	0.1483	0.0090	0.0179	0.0003	0.0055	0.0003	676	140	140	8	114	5
D-12	5.58	177	0.77	0.0577	0.0037	0.1392	0.0082	0.0181	0.0003	0.0061	0.0002	517	143	132	7	116	4
D-13	8.87	243	0.62	0.0541	0.0030	0.1307	0.0067	0.0176	0.0002	0.0059	0.0002	376	119	125	6	113	4
D-14	4.92	165	0.76	0.0557	0.0040	0.1334	0.0093	0.0176	0.0003	0.0054	0.0002	443	157	127	8	113	4
D-15	4.21	120	0.61	0.0528	0.0033	0.1206	0.0070	0.0170	0.0003	0.0050	0.0002	320	141	116	6	109	4
D-16	2.74	76	0.63	0.0686	0.0055	0.1594	0.0110	0.0175	0.0003	0.0056	0.0003	887	161	150	10	112	6
D-17	5.51	126	0.58	0.0845	0.0042	0.2185	0.0112	0.0188	0.0003	0.0078	0.0003	1303	66	201	9	120	5
D-18	4.68	113	0.53	0.0676	0.0043	0.1626	0.0106	0.0175	0.0003	0.0067	0.0003	857	134	153	9	112	5
D-19	2.82	64.8	0.47	0.0577	0.0044	0.1247	0.0091	0.0165	0.0003	0.0056	0.0003	520	170	119	8	106	6

实验在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICP-MS)仪器上完成; Pb* 为铅的总含量; $\pm 1\sigma$ 为误差百分数。

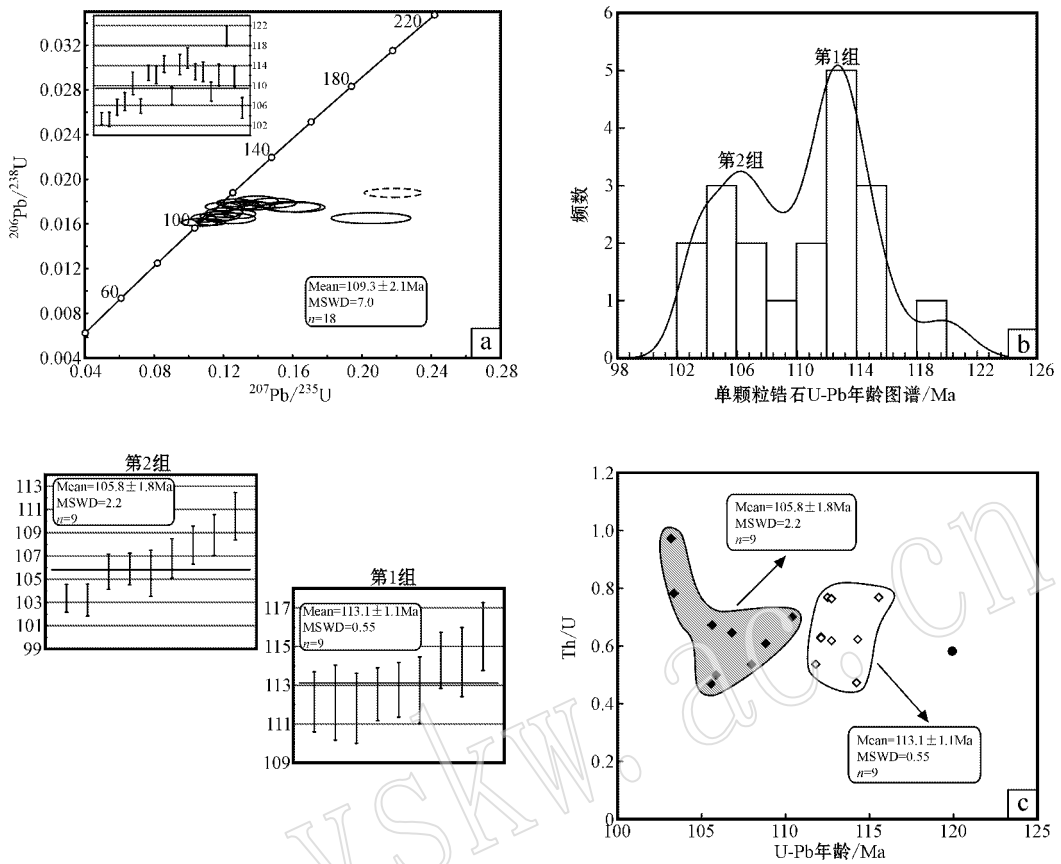


图 3 蚀变闪长玢岩的单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 LA-ICP-MS U-Pb age concordant diagram of single grain zircon from altered diorite porphyrite

a—U-Pb 年龄谐和图；b—U-Pb 年龄频度图；c—U-Pb 年龄与 Th/U 值关系图

a—concordia diagram of U-Pb age；b—frequency diagram of U-Pb age；c—relationship between U-Pb age and Th/U value

剥蚀年龄在 112~116 Ma 之间,其加权平均年龄为 113.1 ± 1.1 Ma, MSWD = 0.55, 置信度为 0.82(图 3)。其中 D12 锆石,长宽比较大,内部成分环带、条纹状结构不发育,表面可见溶蚀、铅沉淀现象, Th/U 比值为 0.77,推测其应为岩浆演化过程中伟晶岩期形成的锆石(Belousova *et al.*, 2002),表面剥蚀年龄为 116 ± 2 Ma。另外,这组锆石中,常见包裹有早期中基性岩浆锆石颗粒(如图 2 中样品 D18),但粒径较小未能测试。

第 2 组:该组锆石晶体形态多为自形、半自形短柱状,少部分锆石呈它形粒状,粒径主要分布在 100~150 μm 之间(图 2 中的样品 D1、D2、D3、D4、D5、D6、D10、D15、D19),长宽比值在 2:1 左右,大部分晶体核部较外侧色调深,外侧环带或条带结构较清楚,部分内部环带结构不发育;Th、U 含量分别为 $64.82 \times 10^{-6} \sim 138.86 \times 10^{-6}$ 和 $278.05 \times 10^{-6} \sim 413.21 \times 10^{-6}$, Th/U 比值分布在 0.47~0.97,部分锆石边

部可见白色增生边(如样品 D1、D2、D3),其 Th/U 比值相对较高,可能具有热液锆石的属性(Watson *et al.*, 1997;瞿伟等, 2006;陈雷等, 2009;陈行时等, 2010),推测其为岩浆结晶晚期形成的锆石。其加权平均年龄为 105.8 ± 1.8 Ma, MSWD = 2.2, 置信度为 0.022(图 3),大部分年龄落在谐和线上,但其中样品 D5 点的年龄值偏离谐和曲线,可能发生过铅的丢失。

此外,在 19 个测点数据中, D17 点较特殊,其晶体形态为半自形短柱状,粒径为 120 μm ,长宽比值为 2:1,锆石晶体环带结构发育, Th/U 比值为 0.58,具典型的岩浆成因锆石特征。其年龄数据为 120 ± 2 Ma 相较前两组差别较大,可能是岩浆演化早期形成的锆石,而且严重偏离谐和曲线。其原因可能是岩浆早期演化过程中受到老的地壳物质混染导致 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值增大,也可能是岩浆上升就位过程中捕获了之前热事件形成的岩浆锆石所致。

4 讨论

延边地区是复杂岩浆、构造活动的复合区,因而九三沟金矿床成岩、成矿时代的测定,对揭示矿区岩浆演化过程、探讨其成矿动力学背景有重要的地质意义。从本文获得的九三沟金矿围岩蚀变闪长玢岩中锆石的 CL 图像和 19 个单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 表面剥蚀年龄来看,所测锆石均具有岩浆结晶形成的属性,其加权平均年龄 109.3 ± 2.1 Ma 可代表闪长玢岩成岩时代,但锆石可细分为 2 组。

第 1 组锆石在晶形、内部结构以及成分等方面,均显示岩浆锆石的特征,U-Pb 表面剥蚀年龄变化范围小,在 112~116 Ma 之间,锆石的 Th/U 比值在 0.47~0.77 之间,表面剥蚀成分点均落在 U-Pb 年龄谐和曲线及其附近,所以锆石 U-Pb 加权平均年龄 113.1 ± 1.1 Ma,代表闪长玢岩主体结晶年龄。

第 2 组锆石也具有岩浆锆石的特征,但与第 1 组锆石有区别之处,部分锆石有白色增生边,而且其年龄相对较新,Th/U 比值相对较高,可能受岩浆期未热液作用影响,因此认为此组锆石可能代表岩浆结晶晚期或接近岩浆演化结束的时代。其加权平均值年龄为 105.8 ± 1.8 Ma,显然成矿时代在其之后。Zhang 等(2010)通过对黑龙江东安金矿的容矿次火山岩及蚀变绢云母年龄研究,认为中生代火山岩的年龄有从西向东变新的趋势。该年龄具有上述特征。

考虑到邻区杜荒岭金矿床和小西南岔富金铜矿床,与该矿床具有相同的区域地质背景与相似的矿床地质特征,属于同一构造成矿带,对该成矿带内金铜矿床成矿年代学的研究,可为限定九三沟金矿床成矿时代提供科学的依据。赵羽军等(2010)测得杜荒岭金矿床脉石矿物石英的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄为 107 ± 6 Ma,由于其测试对象含极少量过剩放射性成因 ^{40}Ar ,因此可以代表杜荒岭金矿床矿化蚀变的年龄,但误差相对较大。Sun Jinggui 等(2008)、孙景贵等(2008a、2008b)通过对延边小西南岔富金铜矿田内花岗岩杂岩及暗色脉岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的测定以及地质体间的时空关系,限定其成矿年龄可能在 104.6~102.1 Ma 之间。再结合本次测年结果,可限定九三沟金矿成矿作用应发生在 106 Ma 之后,其成矿明显滞后于中国东北部晚中生代岩浆热液金矿床大规模成矿峰期 120 Ma(毛景文等,2003,

2005)。

Men 等(2010)通过对该成矿带小西南岔富金铜矿床内与成矿有关的中酸性火成岩研究,认为其稀土元素配分模式及与日本岛弧产出的火山岩相似的($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_t、 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 同位素组成显示其形成与大洋板块俯冲有关;铅同位素的演化年龄(<400 Ma)同样反映了俯冲年轻洋壳形成的熔体、流体与元古代地幔的混合过程。而九三沟金矿床赋矿围岩闪长玢岩的稀土元素配分模式及 Sr-Nd-Pb 同位素组成,未发表成果,如:($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_t = 0.704 58, $\epsilon\text{Nd}(t)$ = 2.74,与小西南岔相似,暗示其形成与大洋板块俯冲有关。

Maruyama 和 Seno 等(1986)对太平洋地区洋、陆板块的相对运动和日本及其周边板块古地理的研究认为,150~70 Ma 期间为伊泽奈崎-库拉(Izanagi-Kula)板块的俯冲运动。因此,该矿床成矿环境适值早白垩世晚期伊泽奈崎板块向古亚洲大陆边缘俯冲消亡、中国东部大陆边缘燕山造山期末的走滑、伸展构造转换过程。

5 结论

基于上述讨论,初步得出以下结论:

(1)与九三沟金矿床成矿密切相关的闪长玢岩的单颗粒锆石 U-Pb 谐和年龄为 103~116 Ma,加权平均年龄为 109.3 ± 2.1 Ma,并可细分为 2 个年龄段:112~116 Ma 和 103~110 Ma,前者代表石英闪长玢岩主体结晶年龄,而后者则代表岩浆结晶晚期或接近岩浆演化结束的时代。其形成应与太平洋板块向中国东部大陆边缘俯冲作用有关;

(2)九三沟金矿成矿作用应发生在 106 Ma 之后,成矿环境适值早白垩世晚期伊泽奈崎板块向古亚洲大陆边缘俯冲消亡、中国东部大陆边缘燕山造山期末的走滑、伸展构造转换过程。

致谢 衷心感谢审稿人对本文的评论和提出的修改意见,使本文避免了不必要的错误。

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192: 59~79.
- Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al. 2002. Igneous zir-

- con: Trace element composition as an indicator of source rock type [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 143: 602~622.
- Chen Lei, Sun Jinggui, Chen Xingshi, *et al.* 2009. Zircon LA-ICP MS U-Pb dating of the Early Paleozoic granite in the district of Yingchengzi gold deposit in the east of Zhangguangcailing area and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(9): 1327~1334 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xingshi, Nie Xitao, Sun Jinggui, *et al.* 2010. Zircon U-Pb dating of associated diabase prophyrite with Yingchengzi hydrothermal gold deposit in Ning'an, Heilongjiang and their geological significance[J]. *Global Geology*, 29(2): 211~217 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bin and Ma Qibo. 1999. The geological characteristics of Jiushisangou gold deposit[J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 8(3): 137~138 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bin, Ma Qibo and Zhang Zhe. 2000. Metallogenic characteristics of gold and copper deposit in Mesozoic volcanic magmatic area in the northeastern Yanbian[J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 9(3): 149~154 (in Chinese with English abstract).
- Luding K R. 2003. Use's for Isoplot 3.00, a geochronological Toolkit for Microsoft Excel [A]. Berkeley Geochronological Center Special Publication [C]. 4: 25~32.
- Maruyama S and Seno T. 1986. Orogeny and relative plate motion: example of the Japanese island[J]. *Tectonophysics*, 127: 305~329.
- Men L J, Sun J G, Zhang Z J, *et al.* 2010. An isotopic (Sr, Nd and Pb) tracer study on Xiaoxinancha gold-rich copper deposit in Yanbian, China: implication for the geodynamic model of diagenesis and metallogenesis[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(1): 175~188.
- Pang Wei. 2009. Metallogenic Model of Epithermal and Low-Sulfidation Gold Deposit, Yanbian Area [Master Degree Thesis] [D]. Changchun: Jilin University, 1~59 (in Chinese with English abstract).
- Qu Wei, Li Zhao lin, Sun Xiaoming, *et al.* 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating of the Hetai gold deposit in western Guangdong, China and geological implications[J]. *Geological Review*, 52(5): 690~698 (in Chinese with English abstract).
- Sun Jinggui, Chen Lei, Zhao Junkang, *et al.* 2008a. Zircon SHRIMP U-Pb chronology and the geological significance of the granitic complex during the late Yanshanian period in gold-copper rich deposit of Xiao xinancha, Yanbian[J]. *Deposit Deposits*, 27(3): 319~328 (in Chinese with English abstract).
- Sun Jinggui, Men Lanjing, Zhao Junkang, *et al.* 2008b. Zircon chronology of melanocratic dykes in the district of the Xiaoxinancha Au-rich Cu deposit in Yanbian and its geological implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(4): 517~527 (in Chinese with English abstract).
- Sun Jinggui, Zhao Junkang, Chen Junqiang, *et al.* 2008. Ore-forming mechanism for the Xiaoxinancha Au-rich Cu deposit in Yanbian, Jilin Province, China: Evidence from noble gas isotope geochemistry of fluid inclusions in mineral[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 51(2): 216~228.
- Watson E B, Cherniak D J, Hanchar J M, *et al.* 1997. The incorporation of Pb into zircon[J]. *Chemical Geology*, 141: 19~31.
- Wu Yuanbao and Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its constraint interpretation of U-Pb age[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(6): 1589~1604 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Hai, Cui Xuewu and Xu Lunxian. 2008. Discussion on geology and isotope characters of Jiushangou gold deposit in Wangqing, Jilin Province[J]. *Gold Science and Technology*, 16(1): 48~51 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yujun, Sun Jinggui, Wang Qinghai, *et al.* 2010. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser probe dating and discussion on metallogenic epoch of epithermal Au-Cu deposit in Yanbian area of Jilin[J]. *Earth Science Frontiers*, 17(2): 156~169 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈雷, 孙景贵, 陈行时, 等. 2009. 张广才岭东侧英城子金矿区花岗岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *地质学报*, 83(9): 1327~1334.
- 陈行时, 聂喜涛, 孙景贵, 等. 2010. 黑龙江宁安英城子热液金矿床与成矿伴生的辉绿玢岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *世界地质*, 29(2): 211~217.
- 刘斌, 马启波. 1999. 九三沟金矿床地质特征[J]. *贵金属地质*, 8(3): 137~138.
- 刘斌, 马启波, 张哲. 2000. 延边东北部地区中生代火山-岩浆岩区金铜矿成矿特征[J]. *贵金属地质*, 9(3): 149~154.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 等. 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[J]. *岩石学报*, 21(1): 169~188.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 2003. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示[J]. *中国科学(D辑)*, 33(4): 289~299.
- 逢伟. 2009. 延边地区浅成低温低硫化型金矿床的成矿模式研究(硕士学位论文)[D]. 长春: 吉林大学, 1~59.
- 瞿伟, 李兆麟, 孙晓明, 等. 2006. 粤西河台金矿锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. *地质论评*, 52(5): 690~698.
- 孙景贵, 陈雷, 赵俊康, 等. 2008a. 延边小西南岔富金铜矿田燕山晚期花岗岩杂岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 27(3): 319~328.
- 孙景贵, 门兰静, 赵俊康, 等. 2008b. 延边小西南岔大型富金铜矿床区内暗色脉岩的锆石年代学及其地质意义[J]. *地质学报*, 82(4): 517~527.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 49(6): 1589~1604.
- 赵海, 崔学武, 徐伦先. 2008. 吉林省汪清九三沟金矿床地质及同位素特征探讨[J]. *黄金科学技术*, 16(1): 48~51.
- 赵羽军, 孙景贵, 王清海, 等. 2010. 吉林延边地区浅成热液金(铜)矿床的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 激光探针测年与成矿时代讨论[J]. *地学前缘*, 17(2): 156~169.