

文章编号 10258-7106 (2008) 01-0057-07

四平山门 Cu-Ni 矿化辉长岩体锆石 LA-ICP-MS 年龄及其地质意义*

郝爱华¹, 蔡元峰², 葛玉辉¹, 孙国胜³, 李碧乐³

(1 西南石油大学资源与环境学院, 四川 成都 610500 ; 2 南京大学地质系, 江苏 南京 210093 ;

3 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘 要 吉林省四平市山门银矿受伊通-依兰深大断裂的控制, 在矿区范围内除 Ag-Au 矿床外还发现有铜镍硫化物矿床。多年以来, 人们忽视了对该小型 Cu-Ni 矿床的成因研究, 至今未见到有关矿床精确同位素年龄的报道。文章在运用阴极发光技术对锆石晶体结构研究的基础上, 利用 LA-ICP-MS 锆石原位定年方法, 对含矿的龙王辉长岩体进行了年龄测定。结果显示, 岩体形成于 225.1 Ma (MSWD=2.7), 与吉林中部红旗岭含铜镍硫化物矿床的 1 号岩体年龄一致。2 个受不同深断裂控制的红旗岭矿床和山门矿床成矿年代的一致性, 一方面为敦化-密山断裂与依兰-伊通断裂同为郯庐断裂北延分支的观点提供了年代学依据, 另一方面也揭示了区域 Cu-Ni 成矿作用和 Au-Ag 成矿作用是与郯庐断裂不同时期构造演化密切相关的规律。该成果对指导相似类型铜镍硫化物矿床和银金矿床的找寻具有重要意义。

关键词 地球化学; 锆石年龄; 铜镍硫化物矿床; 四平山门; 吉林省

中图分类号 : P618.41 618.63

文献标识码 : A

LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Longwang gabbro of Shanmen silver deposit in Siping City and its geological significance

XI AiHua¹, CAI YuanFeng², GE YuHui¹, SUN GuoSheng³ and LI BiLe³

(1 Faculty of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China; 2 Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 3 College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China)

Abstract

In the mining area of the large-size Shanmen silver deposit in Siping of southern Jilin Province, Ni-Cu sulfide mineralization was also found besides Ag-Au mineralization. However, no reliable isotopic dating result was available for the deposit. Based on the interior structure of zircons from the ore-bearing Longwang gabbro intrusion and the results of CL analysis, the authors performed in-situ zircon U-Pb dating by means of LA-ICP-MS and, as a result, obtained reliable age data. The results show that the gabbro intrusion was formed at 225.1 Ma (MSWD=2.7), consistent with the age of the No.1 intrusion in the Hongqiling Cu-Ni sulfide deposit of central Jilin Province. The comparability of the ages between the Shanmen silver deposit in southern Jilin and the Hongqiling Cu-Ni sulfide deposit in central Jilin provides the evidence for the previous argument that both Dunhua-Mishan and Yilan-Yitong faults are northern extensions of the well-known Tanlu fault zone, and that the two types of mineralization belong to different stages of Tanlu fault evolution. It is concluded that the two types

* 本文为国家自然科学基金项目(编号 : 40572058) 和四川省教育厅自然科学类项目(编号 : 省 504) 的成果
第一作者简介 郝爱华, 女, 1964 年生, 教授, 博士生导师, 矿物岩石矿床学专业。Email : aihuaxi@163.com
收稿日期 : 2007-08-06 ; 改回日期 : 2007-12-07。张绮玲编辑。

of mineralization probably have the same derivation, which could serve as an reliable guide to the exploration of these two types of mineralization in this area.

Key words: geochemistry, zircon isotope age, Cu-Ni sulfide deposit, Shanmen of Siping City, Jilin Province

笔者在从事区域岩浆铜镍矿床成矿研究时发现,以往对吉林省境内许多铜镍硫化物矿床的研究重点都放在敦化-密山深大断裂带(吉林省内被称为辉发河断裂)附近(傅德彬等,1988;秦宽,1995;汤中立,1987;郝爱华等,2002),因为该断裂带北侧分布着以红旗岭矿床为代表的若干铜镍硫化物矿床。目前,许多人将敦化-密山断裂看成是郯庐断裂的北延分支,为华北板块和北部兴蒙造山带的边界断裂(彭玉鲸等,2002;徐嘉伟,1984;荆凤等,2006),其周围的含矿基性-超基性岩体被视为与边界断裂不同期次活动、有成因联系的地幔岩浆的产物。

四平山门银矿是1984年发现的大型银矿,被认为是受伊通-依兰深大断裂严格控制着的、与印支期—燕山期构造-岩浆活动关系密切的中-低温热液矿床(陈子诚,1991;王富宽,1997;冯守忠等,2000;黄文斌等,2006)。近年来,随着矿山勘探程度的不断深入,地质工作者已经发现在该矿区范围内,除了与银矿密切相关的金矿化以外,还有产在辉长岩体内

的小型镍矿床。那么,镍矿化与银矿化之间是否存在内在的必然联系?镍矿化与区域上大型铜镍硫化物矿床的形成是否具有成因联系?受不同断裂构造控制的铜镍硫化物矿床时空规律性如何?这些问题至今尚未得到解决。为此,笔者选择了四平山门银矿含小型铜镍硫化物矿床的龙王辉长岩体进行锆石U-Pb法同位素测年,这些年龄数据很好地给出了一些问题的答案。

1 地质背景与样品的采集

四平山门银矿位于吉林省四平市东南约20 km,属兴蒙造山带东段吉黑褶皱区的西南部。区域主体构造线为NE向和NNE向(图1),沈阳-长春-哈尔滨和伊通-依兰两条大断裂将该区分为3个构造单元,从西向东依次为松辽凹陷、大黑山条垒、伊通-依兰地堑。山门银矿赋存在NNE向沈阳-长春-哈尔滨深断裂旁侧,伊通-依兰深断裂与NW向断裂

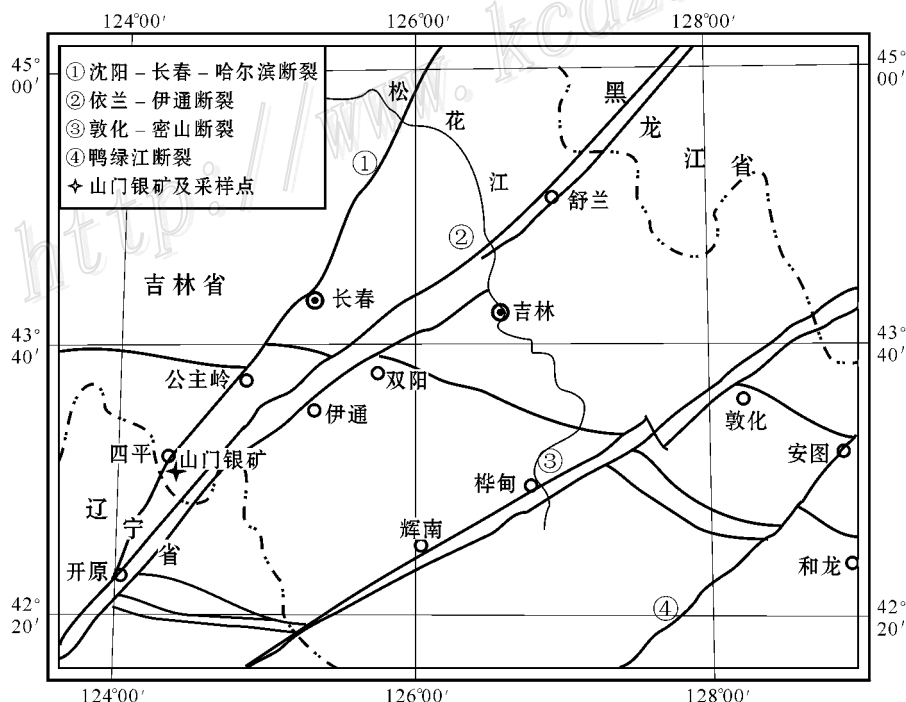


图1 区域主要断裂构造分布图(据张庆龙等,2005修编)

Fig. 1 Distribution of major fault zones in Jilin area (after Zhang et al., 2005)

交汇构造结的北西侧、大黑山条垒南段东缘的断裂带上(吉林省区域地质调查三队,1978^①)。

由于受中生代以来的岩浆活动的改造与破坏,矿区内地层残存较少,仅在局部地方出露部分下古生界的黄莺屯组和西保安组。西保安组分布于矿区北部的龙王屯-山门水库一带,地层走向近东西,岩性主要为绢云母片岩、变粒岩、黑云斜长片麻岩和变质流纹岩;黄莺屯组南起营盘屯,北至龙王屯,呈 NE-NNE 向的条带状分布,主要为一套变质流纹岩、砂岩、板岩、大理岩夹变质粉砂岩。

矿区内岩浆岩以二长花岗岩、黑云母花岗岩为主,还有一些石英闪长岩、花岗斑岩、流纹岩及少量的基性、超基性岩体。前人工作已经证实,花岗类岩石与银矿床的形成有密切的成因联系,而基性辉长岩是小型铜镍硫化物矿床的含矿母岩。

本文的锆石样品取自龙王屯西侧-山门水库一带分布的龙王辉长岩体。该岩体地表出露宽约 200~300 m,长约 1 km,总体呈近东西向展布,空间上与暗色闪长岩相伴生,围岩为寒武系至下奥陶统的西保安组黑云斜长片麻岩、黑云母片岩和部分变质流纹岩。岩相学显示黑云斜长片麻岩中除了片状矿物定向排列外,石英、长石等浅色矿物也具有定向拉长等韧性变形特点。辉长岩体部分遭受韧性剪切转变成角闪片岩,未受韧性剪切的部分岩体,辉石已部分蜕变成绿泥石,斜长石普遍发生绢云母化。地质资料显示,该韧性剪切带平行于依兰-伊通断裂,并且韧性剪切带中多硅白云母的 K-Ar 年龄为 (155 ± 2) Ma(冯明等,1995;王振中等,1996;王富宽,1997)。

2 样品制备与分析方法

分析所用锆石样品在河北省廊坊市区地质调查研究所实验室,从重于 5 kg 的辉长岩中分选得到。在双目实体显微镜下挑选出无色透明、无歪晶和连生体、无裂痕、结晶形态好的锆石约 60 粒粘在双面胶上,用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后抛光,使锆石抛掉一半成光滑的平面后制成样品靶。

将样品靶进行锆石阴极发光图像分析,观察锆石内部结构。选择晶粒大、表面光滑、无裂痕及歪晶的锆石颗粒,利用 LA-ICP-MS 对锆石的微区进行原

位同位素定年。锆石的阴极发光图像分析在该重点实验室进行。U-Pb 年龄测定是在西北大学教育部大陆动力学重点实验室的 Elan6100DRC 型 ICP-MS、德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器和 MicroLas 公司的 GeoLAS200M 光学系统的联机上进行。激光剥蚀深度 20~40 μm ,束斑直径 30 μm 。实验中采用 He 气作为剥蚀物质的载体,采用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃 NIST610 进行仪器最佳化校正,采样方式为单点剥蚀,每完成 4~5 点的样品测定,加测标样一次。在所测锆石样品分析点前后各测 2 次 NIST610。

锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标校正,元素含量采用 NIST610 作为外标, Si 作为内标。同位素测定时,普通铅根据 Andersen Tom 的 3D 坐标法进行校正,样品的同位素比值和元素含量计算采用 GLITTER 软件处理,锆石的谐和曲线和加权平均年龄的计算采用 Isoplot 3.2 等程序完成。

3 分析结果

3.1 锆石的阴极发光图像(CL)特征

龙王辉长岩体锆石多呈无色透明的四方柱和四方双锥的聚形体,少数锆石柱体发育,晶体长宽比大于 4,多数锆石锥体发育,晶体长宽比小于 2。阴极发光图像(CL)显示晶体生长环带清晰,少数颗粒具有规则的环带结构,多数颗粒环带宽窄不一,或者呈平行晶体长轴方向的条带状(图 2)。所有锆石晶体均未见典型的核边结构,只在局部可见暗色固态包裹体,显示锆石为典型的岩浆成因。

锆石的粒径一般在 50~100 μm 之间,在 30 μm 直径的激光束斑条件下,测点一般选择在锆石的中心部位,束斑面积可包含若干生长环带。

3.2 锆石 U-Pb 定年

所选 25 粒锆石各测点的 U-Pb 法定年测试结果见表 1。数据显示,锆石中 ^{206}Pb 相对含量明显大于 ^{207}Pb ,放射性成因的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值丰度仅为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的 1/14~1/20,相对而言, ^{207}Pb 测量误差大于 ^{206}Pb ,由此计算的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄值通常不能很好反映岩石真实的形成年龄。因此,对于放射性成因组分积累较少的年轻锆石而言, $^{206}\text{Pb}/$

①吉林省区域地质调查三队,1978. 吉林省区域地质调查报告(长春市幅). 长春:吉林省地质局.

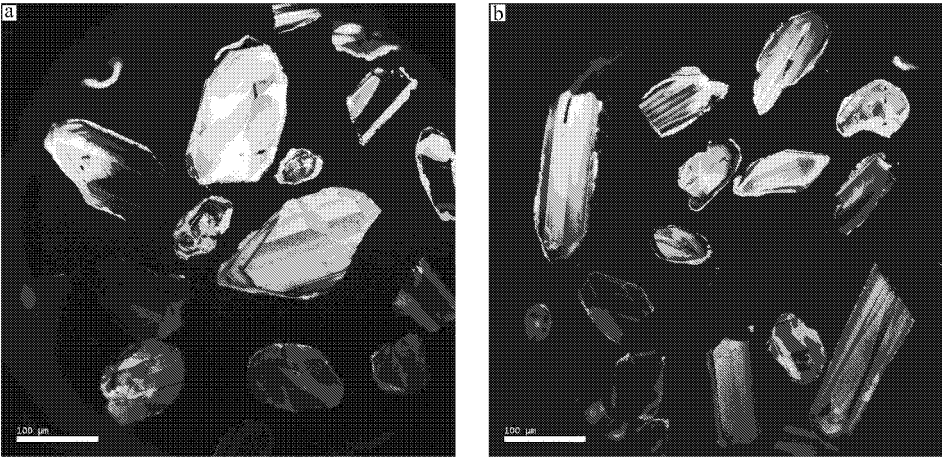


图 2 龙王辉长岩体锆石阴极发光图像

a. 多数锆石晶体呈短柱状晶形 ; b. 少数锆石晶体呈长柱状晶形

Fig. 2 CL images of zircon from the Longwang gabbro intrusion

a. The majority of zircon crystals assume short columnar form ; b. A few zircon crystals assume long columnar form

表 1 龙王辉长岩体 LA-ICP-MS 定年结果

Table 1 LA-ICP-MS data of Longwang gabbro intrusion

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄
				/Ma	/Ma	/Ma
Sm-1-1	0.05384 ± 0.00128	0.25816 ± 0.00572	0.03477 ± 0.00029	364.20	233.20	220.30
Sm-1-2	0.05263 ± 0.00112	0.25495 ± 0.00501	0.03513 ± 0.00028	313.00	230.60	222.60
Sm-1-3	0.06980 ± 0.00153	0.33041 ± 0.00665	0.03433 ± 0.00029	922.60	289.90	217.60
Sm-1-4	0.05353 ± 0.00145	0.25731 ± 0.00659	0.03486 ± 0.00030	351.30	232.50	220.90
Sm-1-5	0.05357 ± 0.00153	0.25327 ± 0.00687	0.03429 ± 0.00031	352.90	229.20	217.30
Sm-1-6	0.05513 ± 0.00231	0.26713 ± 0.01079	0.03514 ± 0.00040	417.50	240.40	222.60
Sm-1-7	0.04936 ± 0.00106	0.25671 ± 0.00507	0.03771 ± 0.00030	165.10	232.00	238.60
Sm-1-8	0.05424 ± 0.00184	0.23849 ± 0.00771	0.03188 ± 0.00032	381.10	217.20	202.30
Sm-1-9	0.04941 ± 0.00118	0.25131 ± 0.00558	0.03689 ± 0.00030	167.10	227.60	233.50
Sm-1-10	0.05833 ± 0.00178	0.28522 ± 0.00824	0.03546 ± 0.00034	541.30	254.80	224.60
Sm-1-11	0.04824 ± 0.00173	0.23928 ± 0.00826	0.03597 ± 0.00035	110.90	217.80	227.80
Sm-1-12	0.05165 ± 0.00116	0.25743 ± 0.00537	0.03615 ± 0.00029	269.70	232.60	228.90
Sm-1-13	0.05304 ± 0.00166	0.25593 ± 0.00765	0.03499 ± 0.00033	330.50	231.40	221.70
Sm-1-14	0.04847 ± 0.00087	0.31416 ± 0.00508	0.04700 ± 0.00035	122.40	277.40	296.10
Sm-1-15	0.04997 ± 0.00122	0.24739 ± 0.00563	0.03590 ± 0.00030	193.60	224.50	227.40
Sm-1-16	0.05103 ± 0.00112	0.25605 ± 0.00521	0.03639 ± 0.00029	242.00	231.50	230.40
Sm-1-17	0.06229 ± 0.00195	0.31196 ± 0.00929	0.03632 ± 0.00036	684.10	275.70	230.00
Sm-1-18	0.05337 ± 0.00201	0.2622 ± 0.00948	0.03562 ± 0.00038	344.50	236.40	225.70
Sm-1-19	0.05147 ± 0.00265	0.25551 ± 0.01277	0.03600 ± 0.00046	261.90	231.00	228.00
Sm-1-20	0.05525 ± 0.00145	0.26956 ± 0.00667	0.03537 ± 0.00031	422.40	242.30	224.10
Sm-1-21	0.05196 ± 0.00123	0.25492 ± 0.00565	0.03558 ± 0.00029	283.40	230.60	225.30
Sm-1-22	0.07165 ± 0.00229	0.35936 ± 0.01087	0.03636 ± 0.00038	976.00	311.70	230.30
Sm-1-23	0.05326 ± 0.00075	0.35214 ± 0.00415	0.04794 ± 0.00034	339.80	306.30	301.90
Sm-1-24	0.06067 ± 0.00241	0.30954 ± 0.01182	0.03699 ± 0.00042	627.70	273.80	234.10
Sm-1-25	0.06055 ± 0.00245	0.30129 ± 0.01171	0.03608 ± 0.00042	623.20	267.40	228.50

^{238}U 年龄不受 ^{207}Pb 的影响,通常能更好反映锆石的结晶时间。所有 25 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于

202.3~301.9 Ma 之间,在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图上(图 3),有 15 个测点的数据聚集在一个较小

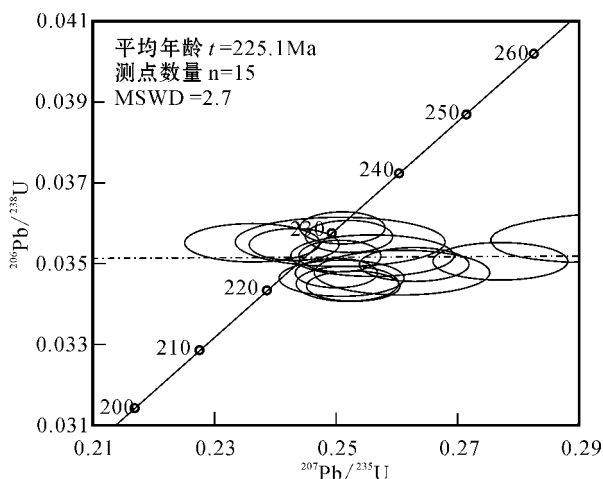


图 3 龙王辉长岩体锆石样品 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图

Fig. 3 U-Pb concordia diagram of zircons from Longwang gabbro in the Shanmen orefield

的区域,位于谐和线上或分布在谐和线附近。对这 15 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 值加权平均,在 MSWD = 2.7, 信度 95% 条件下,得到 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 平均年龄为 225.1 Ma。

4 龙王辉长岩体的年龄及其年代学意义

4.1 辉长岩体的年龄数据讨论

前人研究成果表明,若锆石成因单一,自形成以来, U-Pb 体系始终保持封闭,没有发生放射成因的 Pb 丢失或 U 获得,则 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 3 组年龄应该完全一致,或者在误差范围内完全一致。但在大多数情况下,3 组年龄通常不一致。若出现 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} > ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} > ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$,表明有放射成因 Pb 丢失或 U 获得,若 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} > ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} > ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$,则反映有 U 的丢失或放射成因 Pb 获得(赖东梅,2004;李志昌等,2004)。龙王辉长岩体 25 个测点数据整体上具有 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 值较低、分析误差大、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 视年龄误差大、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 与 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 视年龄误差小、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} > ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} > ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的特点,表明在岩体形成和演化过程中体系没有保持绝对的化学封闭状态,局部有少量放射成因 Pb 的丢失或有 U 的获得。

忽略几个由固态包裹体存在引起的异常年龄,225.1 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄应代表山门铜镍硫化物矿床龙王辉长岩体的结晶年龄。这一年龄与受敦化-密山断裂控制的红旗岭铜镍硫化物矿床

的形成年龄一致(郝爱华等,2005)。

4.2 龙王辉长岩体年代学意义

综合分析本次研究及前人研究成果,225.1 Ma 的龙王辉长岩体锆石 U-Pb 年龄具有以下重要地质意义:

(1) 四平山门矿区银矿床和铜镍硫化物矿床形成于不同的地质时期。前人工作已经证实,银矿床的形成与燕山期花岗质岩浆作用关系密切,空间上受依兰-伊通断裂控制(冯明等,1995;王振中等,1996;王富宽,1997;冯守忠等,2000;黄文斌等,2006),而龙王辉长岩体形成于 225.1 Ma 前后,表明铜镍硫化物矿床的成矿作用早于银矿床,是印支期岩浆作用的产物。

(2) 与区域上著名的吉林红旗岭铜镍硫化物矿床对比,可发现龙王辉长岩体与红旗岭含铜镍硫化物矿床的 1 号岩体形成年龄一致。红旗岭铜镍硫化物矿床空间上受控于敦化-密山断裂,而山门龙王辉长岩体受控于依兰-伊通断裂。这 2 个深及地幔的断裂带所控制的基性-超基性岩体形成于相同时代,暗示了早中生代它们具有同时活动的特点。

(3) 龙王辉长岩体的形成年龄为厘定郯庐断裂北延分支及其形成时间提供了年代学依据。

郯庐断裂是纵贯中国东部的规模巨大的 NNE 向断裂带,它对中国东部乃至亚洲东部的地质历史演化、矿产分布和地震活动等都有重要影响。所以,它的空间展布特点和形成时间问题一直是地质学者关注和工作的热点。但是,关于郯庐断裂的北延分支及其形成时间,却有不同看法,主要集中于以下几种:一种观点认为郯庐断裂进入东北后分为 3 支:敦化-密山断裂、依兰-伊通断裂、沈阳-长春-哈尔滨断裂(黄汲清等,1977;张庆龙等,2005);第二种观点认为它的北延只分为敦化-密山断裂和依兰-伊通断裂(徐嘉炜,1984;荆凤等,2006);第三种观点则认为只有依兰-伊通断裂才是郯庐断裂的北延部分(陈丕基,1988)。至于郯庐断裂的起源及形成时间,部分研究成果显示它具有发展上的长期性和阶段性的特点(贾东等,1993),可能形成于中生代早期的 230 Ma 同造山阶段,并由此产生一些构造模式(Zhang et al., 1984; Xu et al., 1987; Watsson et al., 1987; 万天丰等,1995;1996a;1996b;Gilder et al., 1999;朱光等,2002),或在后期叠加左行走滑(窦立荣等,1996;郭孟习等,2000;朱光等,2004)。但是,也有人认为它形成于 140 Ma 左右的燕山期,是左行平移、走滑

剪切和伸展等多次活动转化的产物(徐嘉炜等, 1995 朱光等 2001)。

本次工作表明,敦化-密山断裂和依兰-伊通断裂构成的断裂带内同时存在一系列 225 Ma 前后的基性-超基性岩体,并且这些岩体是区域上铜镍硫化物矿床的含矿母岩,一方面,为敦化-密山断裂和依兰-伊通断裂同为郯庐断裂北延分支并形成于中生代早期的观点提供了年代学依据;另一方面,说明山门 Ag-Au 矿体和 Cu-Ni 矿的形成是郯庐断裂不同演化阶段的产物,两者之间具有时间演化联系。

四平山门铜镍硫化物矿床与红旗岭矿床具有相同的成矿时间与相似的成矿条件,暗示了郯庐断裂是区域印支期 Cu-Ni 矿床和燕山期 Ag-Au 矿床形成的必要条件。这一认识对区域成矿远景分析及对相似矿床的找寻具有重要的指示意义。

致 谢 衷心感谢吉林省区域地质调查三队赵明总工程师在样品采集方面、西北大学教育部大陆动力学重点实验室柳小明老师在样品测试及数据处理等方面给予的大力支持和热心帮助。

References

- Chen P J. 1988. Age and pattern of huge parallel move of the Tancheng-Lujiang Fault zone[J]. Chinese Science Bulletin, 33(4): 289~293 (in Chinese with English abstract).
- Chen Z C. 1991. The geological features and metallogenic model of Cu-Ni sulfide deposits in Jilin Province[J]. Geology and Prospecting, 27(10): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Dou L R, Song J G and Wang Y. 1996. Chronology of the formation of the Northern Tan-Lu fault zone and its implications[J]. Geological Review, 42(6): 508~512 (in Chinese with English abstract).
- Feng M, Chen L, Wan T F and Lin J P. 1995. Tectonic evolution and metallogenesis of southern Dabeishan horst, Jilin Province[J]. Jilin Geology, 14(3): 55~59 (in Chinese with English abstract).
- Feng S Z and Feng M. 2000. The geological features and metallogenic model of Shanmen Ag-Au deposit[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 20(4): 319~326 (in Chinese with English abstract).
- Fu D B and Chen E Z. 1988. Metallogenetic regularities of Cu-Ni Sulfide deposits in Jilin Province[J]. Jilin Geology, 7(2): 124~144 (in Chinese with English abstract).
- Gilder S A, Leloup P H, Courtillot V, Chen Y, Coe R, Zhao X X, Xiao W J, Halim N, Cogne J P and Zhu R X. 1999. Tectonic evolution of the Tancheng-Lujiang (Tan-Lu) fault via middle Triassic to early Cenozoic paleomagnetic data[J]. Journal of Geophysics Research, 104: 15365~15390.
- Guo M X, Sun W, Yin G Y and Peng Y J. 2000. North-extension of the Tanlu fracture and geologic-geophysical characteristics[J]. Jilin Geology, 19(3): 35~44 (in Chinese with English abstract).
- Huang T K, Ren C S, Jiang C F, Zhang Z M and Xu Z Q. 1977. An outline of the tectonic characteristics of China[J]. Acta Geologica Sinica, 52(2): 117~135 (in Chinese with English abstract).
- Huang W B and Shen H C. 2006. Isotopic geochemistry evidences for genesis of Shanmen silver deposit, Siping[J]. Geology and Prospecting, 42(4): 46~50 (in Chinese with English abstract).
- Jia D, He Y M, Shi Y S and Lu H F. 1993. Studies on the Shandong Terrane tectonics and its kinematics of terrane collage[M]. Nanjing: Nanjing University Press (in Chinese).
- Jing F, Shen X H, Hong S Y, Chen Z W and Rogozhin E. 2006. A study on Yilan-Yitong fault zone based on Remote Sensing Technology[J]. Earthquake, 26(3): 79~84 (in Chinese with English abstract).
- Lai D M. 2004. Preliminary Analysis of Discordant Reason of Zircon U~Pb Dating[J]. Sichuan Nonferrous Metals, (2): 12~18 (in Chinese with English abstract).
- Li Z C, Lu Y F and Huang G C. 2004. The methods and progresses of radioactive isotope geology[M]. Wuhan: China University of Geoscience Press. 145~203 (in Chinese).
- Peng Y J, Ji Ch H and Xin Y L. 2002. Petrology and geochronology of the paleo-Jilin-Heilongjiang orogenic belt in the adjacent area of China, Russia and Korea[J]. Geology and Resources, 11(2): 65~75 (in Chinese with English abstract).
- Qin K. 1995. Geological features of magmatic sulfide Cu-Ni deposit at the Hongqiling, Jilin Province[J]. Jilin Geology, (3): 17~30 (in Chinese with English abstract).
- Tang Z L. 1987. Type and metallogenetic models of nickel sulfide deposits in China[J]. Acta Geologica Sinica, (4): 350~361 (in Chinese with English abstract).
- Wan T F. 1995. Evolution of Tancheng-Lujiang fault zone and paleostress fields[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 20(5): 526~534 (in Chinese with English abstract).
- Wan T F and Zhu H. 1996a. The maximum sinistral strike-slip and its forming age Tancheng-Lujiang fault zone[J]. Geological Journal of Universities, 21(1): 14~27 (in Chinese with English abstract).
- Wan T F, Zhu H, Zhao L, Lin J P, Cheng J and Chen J. 1996b. Formation and evolution of Tancheng-Lujiang fault zone: A review[J]. Geoscience Journal of Graduate School, China University of Geoscience, 10(2): 159~168 (in Chinese with English abstract).
- Wang F K. 1997. A New understanding on the Mesozoic intrusive rock genesis and its relationship with metallogeny in the Shanmen silver deposit, Siping area[J]. Jilin Geology, 16(3): 9~26 (in Chinese with English abstract).
- Wang Z Z and Hou W. 1996. Genetic mechanism and metallogenic model of Ag-Au deposit in Shanmen, Siping area, Jilin Province[J]. Jilin Geology, 15(1): 1~11 (in Chinese with English abstract).
- Watson M P, Hayward A B, Parkinson D N and Zhang Z M. 1987. Plate tectonic history, basin development and petroleum source rock deposition onshore China[J]. Marine and Petroleum Geology, (4): 205~225.
- Xi A H, Gu L X, Li X J, Ye S Q and Zheng Y C. 2005. Discussion on metallogenic epoch of Hongqiling Cu-Ni sulfide deposit, Jilin

- Province[J]. Mineral Deposits, 24(5): 521~525 (in Chinese with English abstract).
- Xi A H, Ren H M, Li B L, Wang Y X and Shi S B. 2002. Petrology and geochemistry of the Ore-bearing intrusions in Hongqiling Cu-Ni sulfide deposit, Jilin Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 32(2): 140~145 (in Chinese with English abstract).
- Xu J W. 1984. The Tancheng-Lujiang wrench fault system[A]. In: Collected papers in structural geology, No. 3[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 18~32 (in Chinese).
- Xu J W, Zhu G, Tong W X, et al. 1987. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northern of the Pacific Ocean[J]. Tectonophysics, 134: 273~310.
- Xu J W, Zhu G, Lv P J, Zheng X X, Sun Sh Q. 1995. Progress in studies on strike-slip chronology of the Tan-Lu fault zone[J]. Geology of Anhui, 5(1): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q L, Wang L S, Xie G A, Du J M, Xu Sh Y, Hu X Zh. 2005. Discussion on northward extension of the Tanlu Fault Zone and its tectonic regime transformation[J]. Geological Journal of China Universities, 11(4): 577~584.
- Zhang Zh M, Liou J G and Coleman R G. 1984. An outline of plate tectonic of China[J]. Geol. Soc. Am. Bull., 95: 295~312.
- Zhu G, Wang D X, Liu G S, Song C Z, Xu J W and Niu M L. 2001. Extension activities along the Tan-Lu fault zone and its geodynamic setting[J]. Chinese Journal of Geology, 36(3): 269~278 (in Chinese with English abstract).
- Zhu G, Liu G S, Niu M L, Song C Z and Wang D X. 2002. Post-Eogene compressive activities on the Tan-lu fault zone and their deep processes[J]. Seismology and Geology, 24(2): 265~277 (in Chinese with English abstract).
- Zhu G, Wang Y S, Niu M L, Liu G S and Xie C L. 2004. Synorogenic movement of the Tan-Lu fault zone[J]. Earth Science Frontiers, 11(3): 169~182 (in Chinese with English abstract).
- 郭孟习, 孙 炜, 尹国义, 彭玉鲸. 2000. 郯庐断裂系的北延及地球物理特征[J]. 吉林地质, 19(3): 35~44.
- 黄汲清, 任纪顺, 姜春发, 张之孟, 许志琴. 1977. 中国大地构造基本轮廓[J]. 地质学报, 52(2): 117~135.
- 黄文斌, 申浩澈. 2006. 四平山门银矿矿床成因的同位素地球化学证据[J]. 地质与勘探, 42(4): 46~50.
- 贾 东, 何永明, 施央申, 卢华复. 1993. 山东地体构造及其拼贴运动学研究[M]. 南京: 南京大学出版社.
- 荆 凤, 申旭辉, 洪顺英, 陈正位, Rogozhin E. 2006. 基于遥感技术研究依兰—伊通断裂带[J]. 地震, 26(3): 79~84.
- 赖东梅. 2004. 锆石 U-Pb 年龄不一致原因浅析[J]. 四川有色金属, (2): 12~18.
- 李志昌, 路远发, 黄圭成. 2004. 放射性同位素地质学方法与进展[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 145~203.
- 彭玉鲸, 纪春华, 辛玉莲. 2002. 中俄朝毗邻地区古吉黑造山带岩石及年代记录[J]. 地质与资源, 11(2): 65~75.
- 秦 宽. 1995. 红旗岭岩浆硫化铜镍矿床地质特征[J]. 吉林地质, 14(3): 17~30.
- 汤中立. 1987. 中国硫化铜镍矿床类型及成矿模式[J]. 地质学报, (4): 350~361.
- 万天丰. 1995. 郯庐断裂带的演化与古应力场[J]. 地球科学, 20(5): 526~534.
- 万天丰, 朱 鸿. 1996a. 郯庐断裂带的最大左行走滑断距及其形成时间[J]. 高校地质学报, 2(1): 14~27.
- 万天丰, 朱 鸿, 赵 磊, 林建平, 程 捷, 陈 进. 1996b. 郯庐断裂带的形成与演化综述[J]. 现代地质, 10(2): 159~168.
- 王富宽. 1997. 对四平市山门银矿中生代侵入岩成因及与成矿关系的再认识[J]. 吉林地质, 16(3): 9~26.
- 王振中, 侯 威. 1996. 吉林省四平山门银金矿成因机理及成矿模式[J]. 吉林地质, 15(1): 1~11.
- 郝爱华, 任洪茂, 李宝林, 王永祥, 史书宝. 2002. 吉林省红旗岭铜镍硫化物矿床的岩石学和地球化学研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 32(2): 140~145.
- 郝爱华, 顾连兴, 李绪俊, 叶松青, 郑远川. 2005. 吉林红旗岭铜镍硫化物矿床的成矿时代讨论[J]. 矿床地质, 24(5): 521~525.
- 徐嘉炜. 1984. 郯城-庐江平移断裂系统[A]. 构造地质论丛(3)[M]. 北京: 地质出版社. 18~32.
- 徐嘉炜, 朱 光, 吕培基, 郑学信, 孙世群. 1995. 郯庐断裂带平移年代学研究的进展[J]. 安徽地质, 5(1): 1~12.
- 张庆龙, 王良书, 解国爱, 杜菊民, 徐士银, 胡旭芝. 2005. 郯庐断裂北延及中生代构造体系转换问题的探讨[J]. 高校地质学报, 11(4): 577~584.
- 朱 光, 王道轩, 刘国生, 宋传中, 徐嘉炜, 牛漫兰. 2001. 郯庐断裂带的伸展活动及其动力学背景[J]. 地质科学, 36(3): 269~278.
- 朱 光, 刘国生, 牛漫兰, 宋传中, 王道轩. 2002. 郯庐断裂新第三纪以来的挤压活动与深部过程[J]. 地震地质, 24(2): 265~277.
- 朱 光, 王勇生, 牛漫兰, 刘国生, 谢成龙. 2004. 郯庐断裂带的同造山运动[J]. 地学前缘, 11(3): 169~182.

附中文参考文献

- 陈丕基. 1988. 郯庐断裂巨大平移的时代与格局[J]. 科学通报, 33(4): 289~293.
- 陈子诚. 1991. 吉林省岩浆铜镍硫化物矿床地质特征及成矿模式[J]. 地质与勘探, 27(10): 1~10.
- 奚立荣, 宋建国, 王 瑜. 1996. 郯庐断裂带形成的年代学及其意义[J]. 地质论评, 42(6): 508~512.
- 冯 明, 陈 力, 万天丰, 林建平. 1995. 吉林省大黑山条垒南段构造演化与成矿作用[J]. 吉林地质, 14(3): 55~59.
- 冯守忠, 冯 森. 2000. 吉林山门银金矿床地质特征及成矿模式[J]. 桂林工学院学报, 20(4): 319~326.
- 傅德彬, 陈尔臻. 1988. 吉林省铜镍硫化物矿床成矿规律[J]. 吉林地质, 7(2): 124~144.