

编号: 0258-7106(2011)03-0497-07

# 沂南县铜井金矿床锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义\*

李洪奎<sup>1</sup> 耿科<sup>1</sup> 李逸凡<sup>2</sup> 嵇传源<sup>1</sup>

(1 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013; 2 山东大学土建与水利学院, 山东 济南 250061)

**摘要** 通过对山东省沂南铜井金矿矿石中的锆石进行 SHRIMP U-Pb 同位素年龄测定, 获得了 2 组谐和年龄, 其中 7 个测点构成的谐和线上交点年龄数值为  $(2\ 500 \pm 15)$  Ma (MSWD=5.0), 有 5 个测点构成的谐和线年龄数值为  $(128.6 \pm 3.6)$  Ma (MSWD=0.89)。研究认为, 前者基本代表了新太古代二长花岗岩的形成年龄, 而后者则代表了燕山晚期岩浆结晶的年龄, 从而推断铜井金矿的形成时代在 120 Ma 左右。从区域成矿规律分析, 鲁西地区存在有 120~100 Ma 的金矿成矿事件, 金矿的形成与中生代岩浆活动关系密切。

**关键词** 地质学; SHRIMP U-Pb 年龄; 金矿; 成矿时代; 沂南铜井; 山东

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

## Zircon SHRIMP U-Pb age of Tongjing gold deposit in Yinan County, Shandong and its geological significance

LI HongKui<sup>1</sup>, GENG Ke<sup>1</sup>, LI YiFan<sup>2</sup> and ZHUO ChuanYuan<sup>1</sup>

(1 Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Jinan 250013, Shandong, China; 2 Civil and Hydraulic Institute, Shandong University, Jinan 250061, Shandong, China)

### Abstract

Zircon SHRIMP U-Pb dating of ores from the Tongjing gold deposit in Yinan County has yielded two concordant ages of  $(2\ 500 \pm 15)$  Ma (MSWD=5.0) and  $(128.6 \pm 3.6)$  Ma (MSWD=0.89). The upper intersection age of  $(2\ 500 \pm 15)$  Ma is made up of seven measuring points, while the concordia curve age of  $(128.6 \pm 3.6)$  Ma is made up of five measuring points. It is considered that the former can represent the formation age of late Archean adamellite, whereas the latter might represent the age of magmatic crystallization at late Yanshanian stage. The authors have thus reached the conclusion that the Tongjing gold deposit was formed at 120 Ma. On the basis of analyzing regional ore-forming regularity, it is thought that there was an gold ore-forming event in 120~100 Ma in Luxi area, and the formation of gold deposits had close relationship with magmatic activities in Mesozoic.

**Key words:** geology, SHRIMP U-Pb age, gold deposit, ore-forming age, Tongjing in Yinan County, Shandong

成矿时代和成矿物质来源一直是萦绕成矿理论和找矿靶区优选的关键地质问题之一, 对于矽卡岩型金矿来说, 成矿母岩体的成岩时代对金矿形成时代起制约作用。孔庆友等(2006)认为沂南县铜井金

\* 本文得到全国矿产资源潜力评价之山东省矿产资源潜力评价(编号: 1212010813014-01)的资助

第一作者简介 李洪奎, 男, 1962年生, 博士, 研究员, 主要从事区域地质调查、矿产资源勘查评价和管理工作。

收稿日期 2010-07-27; 改回日期 2010-12-19。张绮玲编辑。

矿属典型的矽卡岩型金矿,其形成时代为燕山晚期;宋明春等(2003)对铜井地区的铜汉庄、花山岩体测年,获得了黑云母 K-Ar 年龄 121.6 Ma、127.14 Ma、129.51 Ma,并结合区域地质特征将其划为燕山晚期;山东省地矿局地质八队<sup>①</sup>在山东省沂南县金厂、铜井地区金及有色金属综合普查总结报告中认为铜井金矿的成矿时代是燕山早期;万天丰<sup>②</sup>认为铜井金矿应属斑岩-矽卡岩复合型金矿床,在铜井及金厂一带的一些矿段内多显示出这种复合型的矿化特征,其成矿时代为燕山早期。总之,前人均认为区内金矿的形成时代是燕山期,但有早、晚之分。本文通过对沂南铜井金矿的矿石进行锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年龄测定,探讨了该区中生代岩浆活动与金矿的形成时代问题。

## 1 地质背景

### 1.1 区域成矿背景

沂南县铜井金矿位于沂南县城北 6 km 处之铜井村东。大地构造位置为华北板块之鲁西陆块区的马牧池穹断东缘,北北东向沂沭断裂带西侧(郯庐断裂之山东段称,李洪奎等,2009b) 郯鄯-葛沟断裂与沂南断裂交汇处。区域上出露新太古代的变质表壳岩、新太古代变质深成岩及古元古代二长花岗岩,寒武系朱砂洞组和张夏组石灰岩是成矿的有利围岩。中生代燕山晚期石英闪长岩、闪长玢岩、二长斑岩与成矿关系密切,岩体与石灰岩的接触带是形成矽卡岩型金矿的有利部位。NNE 向与 NW 向断裂的交汇部位控制了控矿岩浆岩和矿床的分布。

### 1.2 矿区地质特征

矿区内出露地层为寒武系碳酸盐岩夹泥灰岩建造,其主要岩性为灰岩、砂岩、页岩、白云质灰岩等(滕培道,1994)。在铜井村以东,地层倾向东或南东,倾角 10~20°;铜井村以西,倾向西或南西,倾角 15~30°。整个矿区地层在铜井周围构成轴向近南北的穹状背斜构造,是由于铜井杂岩体侵入而致(图 1),灰岩、鲕状灰岩为成矿有利围岩(孔庆友等,2006)。

岩浆岩为铜井闪长岩类杂岩体。呈岩株状侵入于铜井穹状背斜的核部,其边部呈脉状分枝插入围岩,形成株脉联合体。铜井杂岩体侵入期次多,岩性

及岩相变化复杂,分为闪长岩类和闪长玢岩类。闪长玢岩为成矿母岩,矿化矽卡岩带主要赋存于背斜核部和株脉联合体的齿状接触带中(石玉臣等,2002)。

构造除铜井穹状背斜外,断裂构造十分发育。断裂主要分为 3 组:① NW 向断裂组,规模中等,走向 300~345°,倾向 SW,倾角 65~90°;② NNE 向断裂组,规模大,活动时间长,力学性质复杂,主要表现为压性和压扭性,走向 10~40°,倾向主要为 NW,倾角 62~90°。该 2 组断裂均对铜井岩体有一定的控制作用,而其后期活动又破坏矿体;③ 近 EW 向断裂,活动时间晚,切割前 2 组断裂。

### 1.3 矿体特征

铜井矿体主要赋存于闪长玢岩与寒武系灰岩之间所形成的矽卡岩中(孔庆友等,2006)。围绕铜井岩体接触带形成了山子涧、汞泉、龙头旺矿床,其矿体形态、规模等特征见表 1。

矿石中有益组分有 Au、Cu、Fe、S、Ag 等。整个矿床中,Au 品位(质数分数,下同)最高为  $5.51 \times 10^{-6}$ (山子涧矿段),最低为  $0.40 \times 10^{-6}$ (南汞泉矿段),一般为  $1 \times 10^{-6} \sim 3.26 \times 10^{-6}$ ;Cu 品位最高为 3.72%,最低为 0.09%,一般为 0.3%~1%。

## 2 样品及测试方法

### 2.1 样品采取与加工

样品取自铜井金矿汞泉矿段距地表 154 m 的开采处的矿石中。矿石为闪长岩质黄铁矿化硅化碎裂岩,在碎块中充填的黄铁矿粒度较大,为 1~2 mm;而在碎块内呈浸染状黄铁矿粒度较小,为 0.005~0.5 mm。

将所取矿石破碎后进行粗淘,再经过精淘后对样品进行强磁选、电磁选和重液分离。对重矿物在双目镜下挑选单颗粒锆石 2 g,同时还挑出了 23 粒自然金。将在双目显微镜下人工精选出晶形好、裂纹和包体均少的锆石送至中国地质科学院进行 SHRIMP 测年。

### 2.2 测试条件及分析方法

本次研究的锆石 U-Pb 测年工作在中国地质科学院离子探针中心的 SHRIMP-II 型高分辨率离子

① 山东省地矿局地质八院. 1988. 山东省沂南县金厂、铜井地区金及有色金属综合普查总结报告.

② 万天丰. 1991. 山东省沂南县铜井、金厂矿田成矿规律与成矿预测.

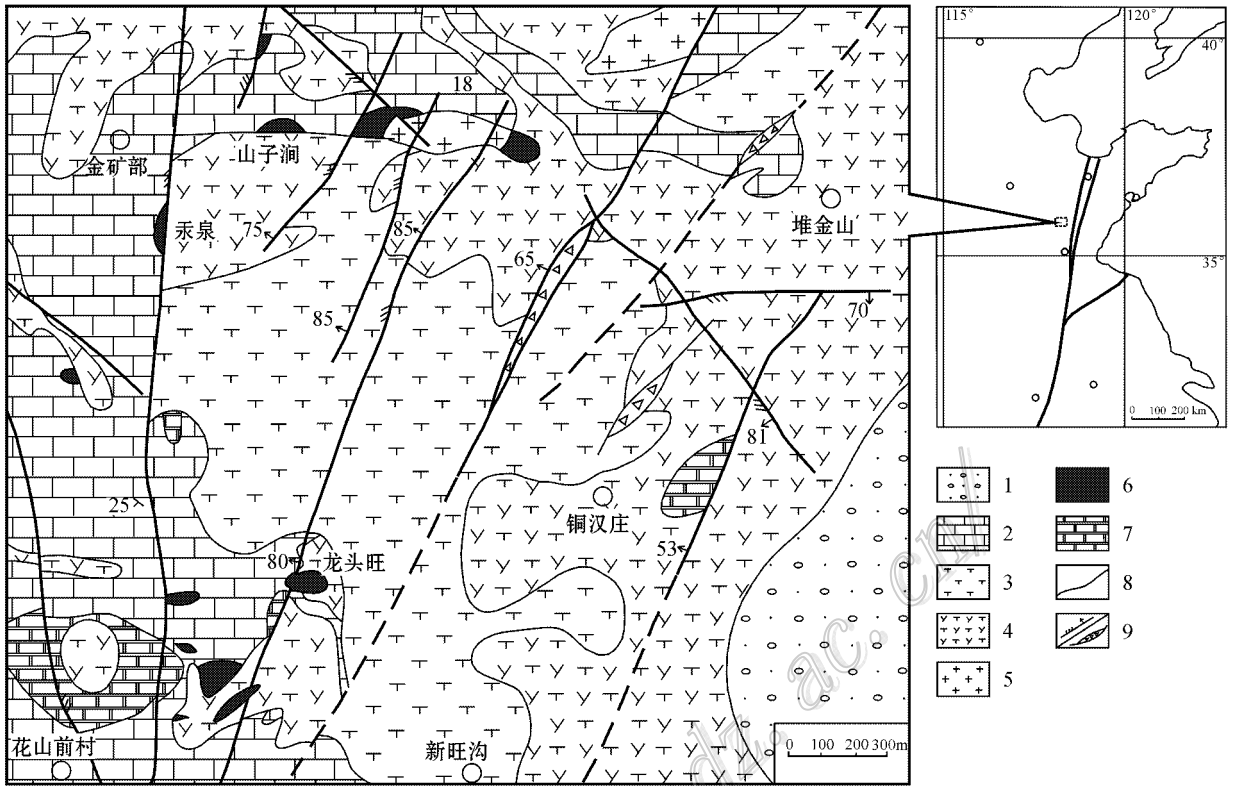


图 1 铜井金矿田地质略图

1—第四系；2—寒武系灰岩；3—燕山晚期闪长岩；4—燕山晚期闪长玢岩；5—燕山晚期花岗岩；6—砂卡岩；7—大理岩；8—地质界线；9—断层及构造破碎带

Fig. 1 Geological sketch showing Tongjiing gold deposit

1—Quaternary；2—Cambrian limestone；3—Diorite of late Yanshanian stage；4—Porphyritic diorite of late Yanshanian stage；5—Granite of late Yanshanian stage；6—Skarn；7—Marble；8—Geological boundary；9—Fault and fractured belt

表 1 铜井矿床矿体产出特征一览表<sup>①</sup>

Table 1 Modes of occurrence of ore bodies in the Tongjiing gold deposit

	永泉矿段(包括南永泉)	山子涧矿段	龙头旺矿段
矿体产出地质环境	产于铜井岩体西部石英闪长玢岩与朱砂铜组地层接触带的砂卡岩中,埋深 11~212 m	产于铜井岩体西北边缘石英闪长玢岩与朱砂铜组地层接触带的砂卡岩中或围岩捕虏体周围,个别产于不整合接触带上,埋深 0~300 m	产于铜井岩体西南及南部边缘石英闪长玢岩与朱砂铜组、馒头组、张夏组地层接触带的砂卡岩中或断裂破碎带中,埋深 0~500 m
矿体形态	似层状或扁豆状,多呈斜列、尖灭再现的形式出现	似层状或扁豆状,在控矿断裂两侧呈囊状	沿层面或层间破碎带产出的似层状或扁豆状
矿体产状	倾向西—西南,倾角 5~15°	倾向以北为主,个别北东,倾角 10~60°	倾向南东,西部受层面控制,倾角 30°,东部受层间破碎带控制,倾角 60°
矿体规模	长 18~200 m,一般 50~100 m 延深 29~202 m,一般 50 m 厚度 0.83~5.39 m,一般 1~2 m	长 15~158 m,一般 50 m 延深 12~150 m,一般 50 m 厚度 0.46~18.45 m,一般 1~3 m	延深 25~50 m,一般 50~100 m 厚度 2~20 m,一般 3~5 m

① 山东省地矿局地质八队, 1981. 山东省沂南县铜井地区铜金矿成矿地质条件及找矿方向.

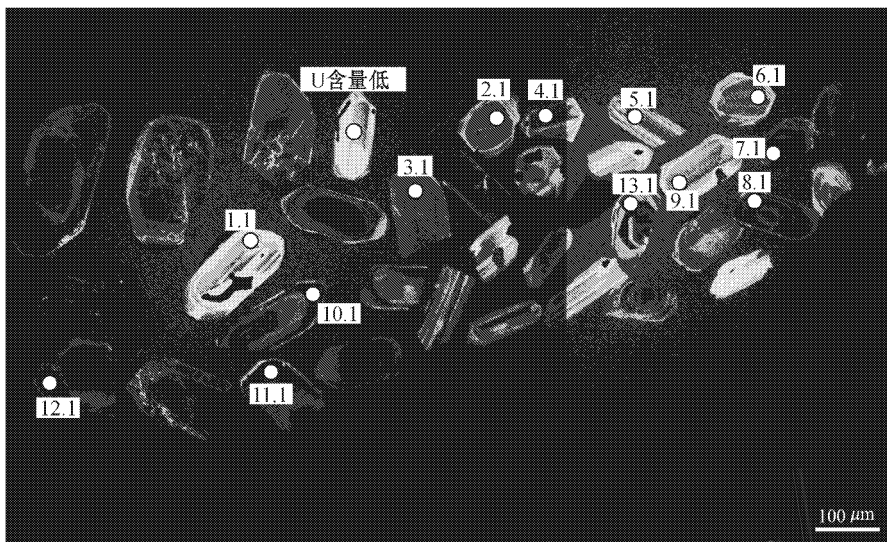


图2 沂南铜井金矿中锆石 CL 图像

Fig. 2 CL image of zircons in the Tongjing gold deposit of Yinan County

探针仪上完成。将选好的锆石(NXO-3、YNG1)和标样(M257)一起粘在玻璃板上,用环氧树脂浇铸,制成薄片并抛光露出锆石颗粒,制成可供测试用的样品靶(宋彪等,2002;袁洪林等,2003)。对样品靶上的待测锆石进行透射光、反射光和阴极发光显微照相(图2)。据此选取锆石样品中环带结构好、无裂纹及无包体的部位作为微区分析的靶位。在SHRIMP-II型离子探针仪上测定所选取样品靶位的U-Th-Pb同位素含量,每3个样品点测试一次标样,本次工作共计测定样品靶位26个。对测定结果用SHRIMP定年标准物质对U-Th-Pb同位素含量及年龄作了校正,普通铅根据实测的 $^{204}\text{Pb}$ 进行校正。数据处理由离子探针中心工作人员协助完成。

### 3 测定结果及其地质意义

#### 3.1 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年龄测定结果

从铜井金矿矿石中分选出的锆石多为自形柱状、长柱状和椭圆状,相应透射光图像显示,锆石发育环带结构(图2),属岩浆结晶成因锆石,但常见锆石发育深灰色边缘,构成核-幔结构。锆石有2种,一是灰色锆石,二是浅色新生锆石。灰色锆石晶形多不完整,且碎裂纹较多;而浅色锆石具有清晰的结晶环纹和 $\{111\}$ 、 $\{110\}$ 、 $\{100\}$ 和 $\{311\}$ 之聚形,与中生代岩浆成因锆石具相似性。本次研究在SHRIMP-II型高分辨率离子探针仪上共完成了26个锆石测点的U-Pb

同位素年龄测定,测定结果见表2。由表2可知,3.1、7.1、8.1、10.1、11.1、12.1、13.1各测点皆位于谐和线上(图3),其中所有谐和线上7个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $(2\,507.9 \pm 50.8)$  Ma,相应所有测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄加权平均值为 $(2\,493.3 \pm 8.4)$  Ma。而所有测点构成的不一致线上交点年龄数值为 $(2\,500 \pm 15)$  Ma(MSWD = 5.0),以上各年龄结果在误差范围内一致,但所有测点的不一致线上交点年龄和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄加权平均年龄计算过程的MSWD值较小,因而年龄计算结果更具代表性,因此,本文选取其中的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 不一致线上交点年龄 $(2\,500 \pm 15)$  Ma作为基底片麻状花岗岩锆石的形成时代。

图4为中生代浅色锆石激光探针质谱法锆石U-Pb同位素年龄谐和图,该不一致线由1.1、2.1、4.1、5.1、6.1等测点构成,其中所有谐和线上5个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $(129.0 \pm 4.2)$  Ma,所有测点构成的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 不一致线上交点年龄数值为 $(128.6 \pm 3.6)$  Ma(MSWD = 0.89),此可代表中生代花岗岩的形成年龄。

#### 3.2 地质意义讨论

本次研究对铜井金矿矿石中的锆石SHRIMP U-Pb同位素年龄测定中,获得了2组差异悬殊的年龄数据,一组是 $(2\,500 \pm 15)$  Ma,另一组是 $(128.6 \pm 3.6)$  Ma。

(1)灰色锆石SHRIMP U-Pb不一致线上交点年

表 2 铜井金矿区矿石 SHRIMP 离子探针质谱锆石 U-Pb 同位素年龄测定结果

Table 2 Zircon U-Pb age dating results of ores in the Tongjing gold deposit by ion microprobe mass spectroscopy

点号	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	$w_{\text{Pb}}/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$			$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	同位素原子比率		
		$^{206}\text{Pb}^*$	U	Th				$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^* \pm \%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} \pm \%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm \%$
YNG1-1.1	5.56	2.61	141	144	1.06	130.6 ± 5.5	60 ± 1.2	0.047 ± 52	0.133 ± 52	0.02046 ± 4.2
YNG1-2.1	4.08	2.99	168	00	1.23	127.4 ± 4.2	150 ± 2.4	0.022 ± 63	0.062 ± 63	0.01996 ± 3.3
YNG1-3.1	0.10	105	270	214	0.82	2404 ± 50	2467 ± 11	0.1611 ± 0.64	10.04 ± 2.6	0.452 ± 2.5
YNG1-4.1	2.72	3.96	231	324	1.45	124.2 ± 3.6	690 ± 7.7	0.062 ± 36	0.168 ± 36	0.01946 ± 2.9
YNG1-5.1	0.68	4.30	237	365	1.59	133.9 ± 3.9	205 ± 2.1	0.0502 ± 9.0	0.145 ± 9.4	0.02098 ± 3.0
YNG1-6.1	0.00	2.85	164	206	1.30	129.1 ± 3.7	693 ± 1.2	0.0626 ± 5.5	0.174 ± 6.3	0.02023 ± 2.9
YNG1-7.1	0.03	329	809	347	0.44	2499 ± 50	2519.2 ± 6.0	0.16615 ± 0.35	10.85 ± 2.5	0.473 ± 2.4
YNG1-8.1	0.03	410	983	126	0.13	2550 ± 51	2507.0 ± 5.1	0.16495 ± 0.30	11.04 ± 2.4	0.485 ± 2.4
YNG1-10.1	0.20	239	564	188	0.34	2578 ± 52	2499.4 ± 9.3	0.16422 ± 0.55	11.13 ± 2.5	0.492 ± 2.4
YNG1-11.1	0.10	173	419	125	0.31	2529 ± 51	2490.9 ± 7.8	0.16338 ± 0.46	10.82 ± 2.5	0.481 ± 2.4
YNG1-12.1	0.04	174	422	183	0.45	2527 ± 51	2480.8 ± 7.6	0.16240 ± 0.45	10.75 ± 2.5	0.480 ± 2.4
YNG1-13.1	0.18	116	288	134	0.48	2468 ± 51	2489 ± 12	0.1632 ± 0.69	10.50 ± 2.6	0.466 ± 2.5

误差为 1σ,  $\text{Pb}_c$  和  $\text{Pb}_s$  分别指示普通铅和放射性成因铅;所有同位素比率已对测得的 $^{204}\text{Pb}$ 进行了校正。

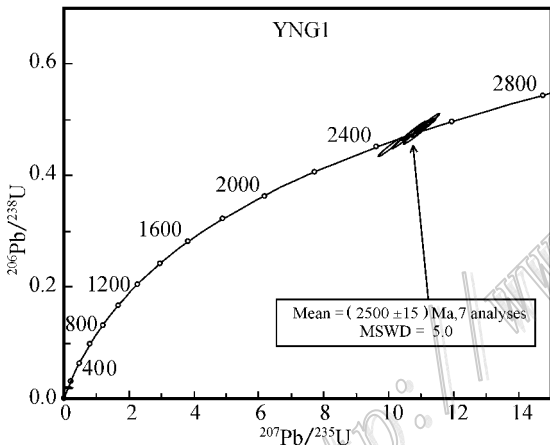


图 3 铜井金矿(YNG1)激光探针质谱法锆石 U-Pb 同位素年龄谐和图

Fig. 3 Concordia diagram of zircon U-Pb age in the Tongjing gold deposit(YNG1) by laser microprobe mass spectroscopy

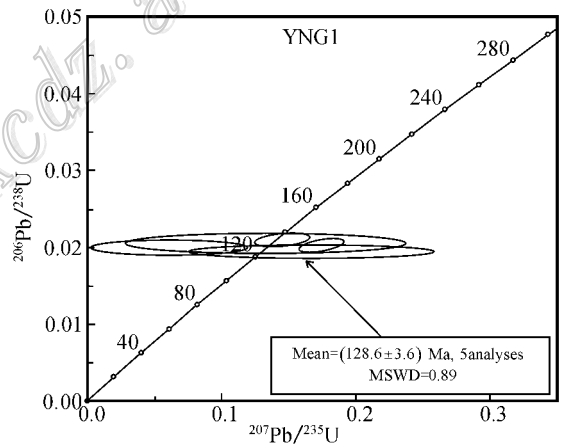


图 4 铜井金矿(YNG1)激光探针质谱法锆石 U-Pb 同位素年龄谐和图

Fig. 4 Concordia diagram of zircon U-Pb age in the Tongjing gold deposit(YNG1) by laser microprobe mass spectroscopy

龄(2 500 ± 15) Ma, 指示了新太古代继承锆石的存在(李洪奎等, 2004; 2009a; 胡华斌等, 2002)。沂南铜井地区结晶基底有泰山岩群和新太古代 GMS 系列深成侵入岩, GMS 岩系分布广泛, 为花岗闪长岩-二长花岗岩组合。沈其韩等(2004)对蔡峪花岗闪长岩 22 个锆石颗粒测定了 29 个数据点, 加权平均年龄为(2 562 ± 14) Ma; 大量的研究资料表明傲来山二长花岗岩岩浆锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(2 521 ± 9) Ma, (2 536 ± 97) Ma(陆松年等, 2008; 侯贵廷

等, 2005; 沈其韩等, 2007)。上述年龄数据与本次 SHRIMP U-Pb 年龄基本一致, 实测锆石样品多呈短柱状, Th/U 比值较大, 显示了岩浆成因的特点, 说明铜井金矿中大量继承锆石来源于新太古代 GMS 岩系, 显示了鲁西结晶基底的信息(胡华斌等, 2002; 庄育勋等, 1997)。

(2) 本区金矿床是在花岗-绿岩带的基础上活化改造长期演化的结果, 新太古代泰山岩群和变质变形的花岗岩共同构成花岗-绿岩地体, 可作为区内金

矿的初始矿源层<sup>①</sup>。中生代由于受太平洋板块的影响,诱发了区内强烈的构造岩浆活动,形成了中酸性-中性侵入杂岩体,富含金的流体在接触带等构造有利部位成矿。

(3) 浅色锆石 SHRIMP U-Pb 不一致线上交点年龄(128.6±3.6)Ma,代表了燕山晚期岩浆结晶的年龄。根据岩体的形成年龄可间接推断铜井金矿的形成时代,金矿的形成要稍晚于岩体的形成时代,大致滞后约5~10 Ma,因此推断铜井金矿的形成时代在120 Ma左右。结合在沂南县铜井地区测定的20件全岩及单矿物 K-Ar 测年数据,年龄值在110~126 Ma间,另外有一组 Rb-Sr 等时线测年数据为113.4 Ma(李洪奎等,2009c),均指示了早白垩世早期的成矿信息。李洪奎等对沂水龙泉站金矿、南小尧金矿和牛家小河金矿石获得的 K-Ar 年龄值平均为110.71 Ma,认为金矿的形成应在早白垩世中-晚期(李洪奎等,2004,2009c),而120~100 Ma则代表了鲁西区域金矿的成矿事件。

## 4 结论

(1) 沂南县铜井金矿中大量继承锆石来源于新太古代 GMS 岩系,显示了鲁西结晶基底的信息。(2 500±15)Ma基本代表了新太古代二长花岗岩的形成年龄,这与鲁西基础地质资料的研究成果相吻合。

(2) 浅色锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(128.6±3.6)Ma,代表了燕山晚期岩浆结晶的年龄。根据岩体的形成年代推断铜井金矿的形成时代在120 Ma左右。

(3) 从区域成矿规律分析,鲁西地区存在有120~100 Ma的金矿成矿事件,金矿的形成与中生代岩浆活动关系密切。

## References

Hou G T, Liu Y L, Li J H and Jin A W. 2005. U-Pb SHRIMP geochronology of basic dike swarm: Setting Laiwu diabase dike in west Shandong as an example[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 24(3): 179-185 (in Chinese with English abstract).

Hu H B, Mao J W, Liu D Y, Niu S Y, Wang T and Li Y F. 2002. Zircon SHRIMP U-Pb age and its geological significance of Tongshi in-

trusion in west Shandong [J]. Earth Science Frontiers, 11(2): 453-458 (in Chinese with English abstract).

Kong Q Y, Zhang T Z, Yu X F, Xiu J X, Pan Y L and Li X S. 2006. Deposits in Shandong province [M]. Shandong: Science and Technology Publishing House in Shandong. 902p (in Chinese with English abstract).

Li H K, Yang Y B, Tian J X, Li X Z, Chen Y G, Li Y P and Liu H D. 2004. Geological characteristics of gold deposits in middle part of Yishu fault belt in Shandong Province [J]. Geology and Prospecting, 40(4): 27-31 (in Chinese with English abstract).

Li H K, Yang Y B and Wang Y L. 2009a. Isotopic geochronological characteristics and implications of Nanxiaoyao gold deposit in Yishui [J]. Geological Survey and Research, 33(1): 1-7 (in Chinese with English abstract).

Li H K, Yang Y B and Yang F J. 2009b. Tectonic evolution and mineralization in Yishu fault belt in Shandong Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-135 (in Chinese with English abstract).

Li H K, Yue C L, Yang F J and Yang Y B. 2009c. Genesis of Longquanzhan gold deposit in Yishui County of Shandong Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 27 (Supp.): 25-27 (in Chinese with English abstract).

Lu S N, Chen Z H and Xiang Z Q. 2008. Age of Archean intrusions in Taishan geological park [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-88 (in Chinese with English abstract).

Shen Q H, Song B, Xu H F, Geng Y S and Shen K. 2004. SHRIMP zircon chronology of Archean intrusions in Caiyu and Dashan in Yishui County of Shandong Province [J]. Geological Review, 50(3): 275-284 (in Chinese with English abstract).

Shen Q H, Zhao Z R, Song B and Song H X. 2007. Study on geological, petrochemistic characteristics and SHRIMP zircon chronology of Mashan and Xueshan rock in late Archean in Yishui County of Shandong Province [J]. Geological Review, 53(2): 180-186 (in Chinese with English abstract).

Shi Y C and Yi P H. 2002. Geological characteristic and exploring orientation of gold deposit in greenstone belt in west Shandong Province [J]. Geology of Shandong, 21 (Supp.): 228-231 (in Chinese with English abstract).

Song B, Zhang Y H, Wang Y S and Jian P. 2002. Study on samples making and procedure of SHRIMP dating [J]. Geological Review, 48 (Supp.): 26-30 (in Chinese with English abstract).

Song M C and Wang P C. 2003. Regional geology of Shandong Province [M]. Shandong: Map Publishing House of Shandong. 356p (in Chinese with English abstract).

Teng P D. 1994. Guilaizhuang gold deposit is a stratabound deposit controlled by Cambrian [J]. Geology of Shandong, 10(2): 34-40 (in Chinese with English abstract).

Yuan T L, Wu F Y, Gao S, Liu X M, Xu P and Sun D Y. 2003. Zircon U-Pb age dating and REE analysis of Cenozoic intrusions in northeast

① 山东省地质调查院. 2003. 山东鲁西地区金矿评价报告.

- China [J]. Chinese Science Bulletin, 48 (14): 1511-1519 (in Chinese).
- Zhuang Y X, Wang X S, Xu H L, Ren Z K, Zhang F Z and Zhang X M. 1997. Important geological events and continental crust evolution of Taishan area in Precambrian [J]. Acta Petrologica Sinica, 13(3): 313-330 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献
- 侯贵廷, 刘玉琳, 李江海, 金爱文. 2005. 关于基性岩墙群的 U-Pb-SHRIMP 地质年代学的探讨: 以鲁西莱芜辉绿岩岩墙为例[J]. 岩石矿物学杂志, 24(3): 179-185.
- 胡华斌, 毛景文, 刘敦一, 牛树银, 王涛, 李永峰. 2002. 鲁西铜石岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地学前缘, 11(2): 453-458.
- 孔庆友, 张天祯, 于学峰, 徐军祥, 潘元林, 李献水. 2006. 山东矿床 [M]. 山东: 山东科学技术出版社. 362-367.
- 李洪奎, 杨永波, 田京祥, 李秀章, 陈延景, 李英平, 刘汉栋. 2004. 山东沂沭断裂带中段金矿地质特征[J]. 地质与勘探, 40(4): 27-31.
- 李洪奎, 杨永波, 王岳林. 2009a. 沂水南小尧金矿同位素年代学特征及其地质意义[J]. 地质调查与研究, 33(1): 1-7.
- 李洪奎, 杨永波, 杨锋杰. 2009b. 山东沂沭断裂带构造演化与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社. 1-135.
- 李洪奎, 岳成利, 杨锋杰, 杨永波. 2009c. 山东沂水县龙泉站金矿成因初探[J]. 矿物学报, 27(增刊): 25-27.
- 陆松年, 陈志宏, 相振群. 2008. 泰山世界地质公园古老侵入岩年代格架[M]. 北京: 地质出版社. 2008: 1-88.
- 沈其韩, 宋彪, 徐惠芬, 耿元生, 沈昆. 2004. 山东沂水太古宙蔡峪和大山岩体 SHRIMP 锆石年代学[J]. 地质论评, 50(3): 275-284.
- 沈其韩, 赵子然, 宋彪, 宋会侠. 2007. 山东沂水新太古代马山和雪山岩体的地质、岩石化学特征和 SHRIMP 锆石年代研究[J]. 地质论评, 53(2): 180-186.
- 石玉臣, 伊丕厚. 2002. 鲁西绿岩带型金矿床地质特征与找矿方向[J]. 山东地质, 21(增刊): 228-231.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 5(增刊): 26-30.
- 宋明春, 王沛成. 2003. 山东省区域地质[M]. 济南: 山东省地图出版社. 1-356.
- 滕培道. 1994. 归来庄金矿为受控于寒武-奥陶系的层控矿床[J]. 山东地质, 10(2): 34-40.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 48(14): 1511-1519.
- 庄育勋, 王新社, 徐洪林, 任志康, 张富中, 张锡明. 1997. 泰山地区早前寒武纪主要地质事件与陆壳演化[J]. 岩石学报, 13(3): 313-330.