

# 沂水南小尧金矿锆石 U-Pb 同位素特征及其地质意义

李洪奎, 杨永波

(山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013)

**摘要:**沂水南小尧金矿产于沂沭断裂带汞丹山凸起上, 赋矿围岩为古元古代花岗岩。通过对南小尧金矿矿石中的锆石采用 LA-CPMS 法进行单颗粒锆石微区 U-Pb 同位素年龄测定, 获得锆石谐和年龄  $(2438 \pm 13)$  Ma 的结果, 为赋矿围岩的形成年龄; 而下交点  $(116 \pm 20)$  Ma 大致为金矿的形成年龄。结合南小尧金矿石中钾长石矿物 K-Ar 年龄为  $(94.29 \pm 1.38)$  Ma 的结果分析, 本区金矿的形成时代应在早白垩世中-晚期。

**关键词:** U-Pb 同位素年龄; LA-CPMS 法; 单颗粒锆石; 南小尧金矿; 山东沂水

中图分类号: P597

文献标识码: A

沂水南小尧金矿位于沂水县城东 7 km 处, 产于沂沭断裂带汞丹山凸起上。区内太古宙及古元古代花岗岩分布广泛, 且具多期多次侵入之特点, 总体上表现为片麻岩-花岗岩穹窿<sup>[1]</sup>。中生代岩体规模较小, 脉岩发育。

## 1 矿床地质特征

### 1.1 矿区地质概况

#### 1.1.1 地层

出露中太古代沂水岩群和第四系。沂水岩群呈大小不等的包体产于变质变形侵入岩中, 其岩性为二辉麻粒岩、紫苏黑云变粒岩、斜长角闪岩等, 变质程度达麻粒岩相。第四系沿沟谷分布, 为砂砾层及黏土质砂。

#### 1.1.2 岩浆岩

大面积出露古元古代二长花岗岩和花岗闪长岩, 花岗闪长岩侵入于二长花岗岩中, 二者均具弱片麻状构造。中生代岩脉发育, 主要有闪长玢岩脉、煌斑岩脉、石英脉和伟晶岩脉等, 多数呈 NNE 向延伸, 部分呈 EW 向、NW 向、SN 向展布。

#### 1.1.3 构造

表现为断裂构造, 呈近 EW 向、NE 向和 NNE 向。

南小尧-前梭庄断裂呈近 EW 向舒缓波状展布, 倾向 S, 倾角  $56^\circ \sim 70^\circ$ , 变化较大; 出露宽度 10 ~ 80 m, 东段被第四系覆盖。具多期活动特点。带内赋存金矿体, 为南小尧金矿床的容矿构造。

大尧-王家庄断裂, 走向 NE, 倾向 SE, 倾角  $56^\circ \sim 75^\circ$ , 断续延伸 3 km 以上, 出露宽度 2 ~ 8 m。带内由角砾岩构成, 普遍具硅化、黄铁矿化、绢云母化, 并伴有方解石、重晶石脉穿插。

南小尧-院上断裂, 走向 NNE, 倾向 NW, 倾角  $60^\circ \sim 70^\circ$ , 延伸 4 km 以上, 出露宽度 2 ~ 10 m, 切穿南小尧-前梭庄断裂。裂面上具明显擦痕, 带内由角砾岩构成, 其力学性质为张扭性。

### 1.2 矿体特征<sup>①</sup>

南小尧金矿床位于南小尧-前梭庄断裂的西端, 由 2 条近 EW 向的矿化带组成, 北部为 I 号矿化带, 南部为 II 号矿化带, 两者相距 55 m。

#### 1.2.1 I 号矿化带

为一含金绿泥石化糜棱岩带, 呈 SEE-NWW

\* 收稿日期: 2008-05-16; 修订日期: 2009-03-07; 编辑: 游文澄

基金项目: 山东地质勘查研究项目, 编号 20070018。

作者简介: 李洪奎 (1962-), 男, 山东昌乐人, 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的。

①临沂地区地质勘探队, 山东省沂水县南小尧金矿区详查地质报告, 1990 年。

向展布,倾向S,倾角一般为 $65^{\circ} \sim 72^{\circ}$ ,浅部较陡,自+100 m向下渐缓。矿体严格受南小尧-前梭庄断裂控制,自上而下赋存3个较大矿体。

I-①号矿体:呈薄板状产于矿化带下部,赋存标高+180 ~ -50 m,矿体产状与矿化带基本一致。矿体长300 m,延深240 m,厚度0.18 ~ 9.32 m,平均厚度为3.21 m,厚度变化系数为82.05%。金品位 $1.09 \times 10^{-6} \sim 38.54 \times 10^{-6}$ ,平均品位 $3.30 \times 10^{-6}$ ,品位变化系数达145.37%,属较均匀型。

I-②号矿体:产于矿化带中部,位于I-①号矿体之上3 ~ 5m处并与其平行展布。赋存标高+170 ~ 0 m,为隐伏矿体。矿体长220 m,延深145 m,厚度0.47 ~ 1.18 m,平均厚度0.99 m,金品位 $2.00 \times 10^{-6} \sim 4.81 \times 10^{-6}$ ,平均品位 $2.59 \times 10^{-6}$ 。

I-③号矿体:产于矿化带上部,位于I-②号矿体之上3 ~ 7m处并大致与其平行展布。赋存标高+170 ~ 0 m,为隐伏矿体。矿体长270 m,延深180 m,厚度0.3 ~ 1.20 m,平均厚度为0.98 m。金品位 $1.42 \times 10^{-6} \sim 19.00 \times 10^{-6}$ ,平均品位 $3.01 \times 10^{-6}$ 。

上述各矿体与围岩界线不清,呈渐变关系,其边界依据化学样品分析结果圈定。

### 1.2.2 II号矿化带

为一含金黄铁矿化、硅化碎裂花岗岩带,分布于I号矿化带南侧55 m处并与其平行,倾向S,惟其倾角陡达 $85^{\circ} \pm$ 。该矿化带中矿体长90 m,延深58 m,厚度0.23 ~ 2.8 m,平均厚度1.06 m,金品位 $1.92 \times 10^{-6} \sim 22.5 \times 10^{-6}$ ,平均品位 $6.72 \times 10^{-6}$ 。

## 2 样品采集及分析

### 2.1 样品采取与加工

为解决南小尧金矿的成矿时代问题,本次研究采集了同位素年龄样品。样品采自南小尧金矿深30 m处的矿石中(图1)。矿石为黄铁矿化硅化花岗岩闪长岩质碎裂岩,在碎块裂隙中呈充填状的黄铁矿粒度较大,为1 ~ 2 mm;而在碎块内部呈浸染状黄铁矿粒度较小,为0.005 ~ 0.5 mm。

将采集的矿石破碎到40目后进行粗淘,经精淘后再对样品进行强磁选、电磁选和重液分离。获得的重矿物在双目镜下挑选单颗粒锆石2 g,在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行单颗粒锆石微区U-Pb同位素年龄测定。

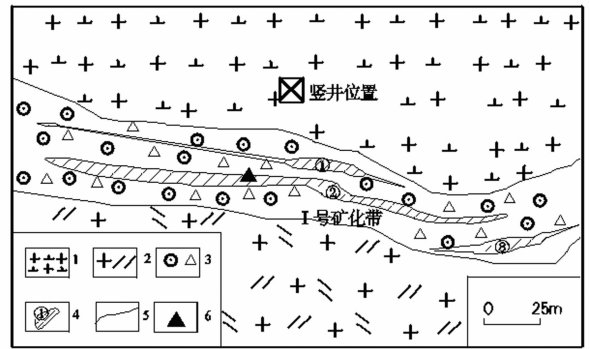


图1 沂水县南小尧金矿+30m中段平面图

1—古元古代花岗岩;2—古元古代二长花岗岩;3—破碎蚀变带;4—金矿体及编号;5—地质界线;6—采样位置

### 2.2 分析方法

锆石样品靶的制备,先将锆石单矿物粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定<sup>[2]</sup>,待环氧树脂充分固化后抛光至锆石露出一个平面,将数个锆石样品和标准锆石样品粘在同一块样品靶上,以提高激光剥蚀池的空间利用率<sup>[3]</sup>。

锆石U-Pb同位素年龄测定在ICP-MS带有动态反应池(DRC)的四极杆ICP-MS Elan6100DRC上进行,该仪器可在标准模式和DRC模式下运行<sup>[3]</sup>。激光剥蚀系统为德国GeoLas 200M光学系统,它具有如下优点:在样品表面形成近乎完美的平顶斑束;对不同斑束可以提供相同的能量密度;对极难剥蚀的高透明度物质,如石英、碳酸盐和氟化物等可进行可控剥蚀<sup>[4]</sup>。

LA-CPMS进行锆石定年的灵敏度和信号稳定性将直接影响最终同位素比值的误差,因此仪器参数优化将直接影响最终的结果,利用深紫外激光易于为样品吸收并且能量较高的优点,在优化仪器各个参数后,本研究中40 μm的激光剥蚀斑径条件下,<sup>238</sup>U的灵敏度一般大于800 cps/μg·g<sup>-1</sup>,而一般的锆石样品中<sup>238</sup>U的含量>50 μg·g<sup>-1</sup>,从而得到<sup>238</sup>U的信号>40 000 cps,四极杆质谱测定此强度能够得到准确度和精度都较好的结果<sup>[4]</sup>。

## 3 测试结果及其形成时代探讨

### 3.1 锆石U-Pb同位素年代测试结果

本次研究采用激光探针质谱(LA-CPMS法单颗粒锆石)技术,完成了30个锆石测点的U-Pb同位素年龄测定工作,测定数据结果见表1。

表1 南小尧金矿区矿石(NX03)激光探针质谱锆石U-Pb同位素年龄测定结果

测点号	同位素原子比率							
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	1σ
NX03-01	0.16248	0.00166	10.56816	0.07076	0.4717	0.00304	0.12646	0.00076
NX03-02	0.15978	0.00162	10.27568	0.06754	0.46642	0.00299	0.13151	0.00083
NX03-03	0.163	0.00174	10.37328	0.07655	0.46157	0.00306	0.13373	0.00112
NX03-04	0.16081	0.00161	10.16286	0.06558	0.4584	0.00292	0.12148	0.00073
NX03-05	0.15862	0.0016	10.00535	0.06539	0.45753	0.00292	0.12876	0.00092
NX03-06	0.15484	0.00158	7.69456	0.05089	0.36016	0.00232	0.12121	0.00077
NX03-07	0.16142	0.00165	10.53272	0.0699	0.47298	0.00305	0.1283	0.00078
NX03-08	0.16224	0.00167	10.45468	0.07109	0.46713	0.00303	0.13059	0.00082
NX03-09	0.16091	0.00164	9.51284	0.06332	0.42858	0.00276	0.11952	0.00073
NX03-10	0.16724	0.00173	10.43542	0.07208	0.45239	0.00294	0.12674	0.0008
NX03-11	0.15876	0.00167	8.95134	0.06465	0.40905	0.00268	0.12398	0.00102
NX03-12	0.15676	0.00157	9.9969	0.06434	0.46266	0.00294	0.1327	0.00085
NX03-13	0.15853	0.00163	9.75944	0.06739	0.44664	0.00289	0.13551	0.00091
NX03-14	0.15951	0.0016	10.40287	0.06749	0.47318	0.00301	0.12719	0.00077
NX03-15	0.15933	0.00167	6.24813	0.04459	0.28453	0.00185	0.07884	0.00057
NX03-16	0.15591	0.00153	8.95711	0.05591	0.41684	0.00262	0.10889	0.00065
NX03-17	0.15885	0.00157	8.58204	0.0541	0.39201	0.00247	0.13359	0.00079
NX03-18	0.15599	0.00155	8.92161	0.05717	0.41497	0.00262	0.11794	0.00073
NX03-19	0.15657	0.00155	9.38425	0.05978	0.43488	0.00274	0.12713	0.00091
NX03-20	0.15811	0.00159	9.78799	0.06425	0.44917	0.00285	0.13178	0.00092
NX03-21	0.15628	0.00159	8.56543	0.05786	0.39766	0.00254	0.10374	0.00071
NX03-22	0.15543	0.00153	9.89119	0.06199	0.46171	0.00289	0.15437	0.00108
NX03-23	0.15516	0.00153	9.74185	0.06209	0.45554	0.00287	0.13338	0.00088
NX03-24	0.16083	0.00166	0.05268	0.06333	0.40837	0.00263	0.11526	0.00076
NX03-25	0.15296	0.00149	9.63912	0.05951	0.45722	0.00285	0.12745	0.00078
NX03-26	0.15743	0.00159	9.08871	0.06111	0.41881	0.00266	0.13197	0.00105
NX03-27	0.15539	0.00152	9.48194	0.05939	0.44265	0.00276	0.14152	0.00102
NX03-28	0.15761	0.00156	9.58749	0.06157	0.44125	0.00277	0.13295	0.00087
NX03-29	0.15519	0.00152	8.44415	0.05283	0.39468	0.00246	0.11037	0.00066
NX03-30	0.15846	0.00155	9.78754	0.06143	0.44802	0.00279	0.13009	0.00081

测点号	同位素原子比率							
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	1σ
NX03-01	2481.6	17.11	2485.9	6.21	2491	13.31	2406.9	13.63
NX03-02	2453.4	17.01	2459.9	6.08	2467.8	13.13	2497.3	14.77
NX03-03	2487.1	17.88	2468.7	6.83	2446.5	13.48	2536.9	19.9
NX03-04	2464.2	16.84	2449.7	5.97	2432.5	12.91	2317.4	13.24
NX03-05	2441	16.97	2435.3	6.03	2428.7	12.92	2448.1	16.48
NX03-06	2400.1	17.21	2196	5.94	1982.9	10.99	2312.5	13.86
NX03-07	2470.5	17.11	2482.8	6.15	2496.6	13.34	2439.9	13.96
NX03-08	2479.1	17.27	2475.9	6.3	2471	13.31	2480.9	14.7
NX03-09	2465.3	17.13	2388.8	6.12	2299.3	12.46	2281.9	13.11
NX03-10	2530.3	17.3	2474.2	6.4	2405.8	13.07	2411.9	14.29
NX03-11	2442.5	17.75	2333.1	6.6	2210.6	12.26	2362.3	18.34
NX03-12	2421	16.85	2434.5	5.94	2451.3	12.94	2518.5	15.12
NX03-13	2440.1	17.35	2412.3	6.36	2380.3	12.87	2568.6	16.12
NX03-14	2450.5	16.84	2471.3	6.01	2497.5	13.16	2420	13.79
NX03-15	2448.5	17.64	2011.2	6.25	1614.1	9.27	1533.8	10.75
NX03-16	2411.8	16.61	2333.6	5.7	2246.1	11.91	2089.2	11.81
NX03-17	2443.4	16.62	2294.7	5.73	2132.1	11.43	2534.4	14.15
NX03-18	2412.7	16.79	2330	5.85	2237.6	11.94	2253.4	13.18
NX03-19	2419	16.72	2376.3	5.84	2327.7	12.32	2418.9	16.24
NX03-20	2435.6	16.9	2415	6.05	2391.5	12.69	2502.1	16.39
NX03-21	2415.8	17.15	2292.9	6.14	2158.3	11.72	1995.1	12.97
NX03-22	2406.6	16.59	2424.7	5.78	2447.1	12.76	2901.6	18.87
NX03-23	2403.6	16.71	2410.7	5.87	2419.8	12.69	2530.6	15.61
NX03-24	2464.4	17.33	2343.3	6.4	2207.5	12.06	2204.8	13.82
NX03-25	2379.2	16.51	2400.9	5.68	2427.3	12.61	2424.7	13.96
NX03-26	2428.2	17.02	2347	6.15	2255.1	12.11	2505.6	18.71
NX03-27	2406.1	16.53	2385.8	5.75	2362.5	12.35	2675.3	18.1
NX03-28	2430.2	16.66	2396	5.9	2356.3	12.4	2523	15.43
NX03-29	2403.9	16.51	2279.9	5.68	2144.5	11.37	2116.1	12.04
NX03-30	2439.3	16.46	2415	5.78	2386.4	12.44	2471.9	14.44

注:数据在西北大学大陆动力学实验室测定,误差为1σ。

从南小尧金矿矿石中分选出的锆石多为自形晶长柱状,相应透射光图像显示,其发育环带结构(图2),属岩浆结晶成因,但常见锆石发育深灰色边缘,构成核-幔结构。由图3可见,测年数据95%的平

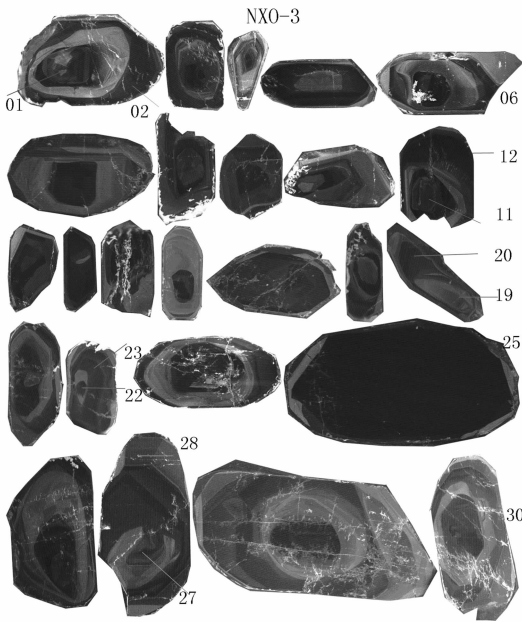


图2 NX03T-5中锆石透射光图像  
(01~30为分析点位置,其顺序同表1)

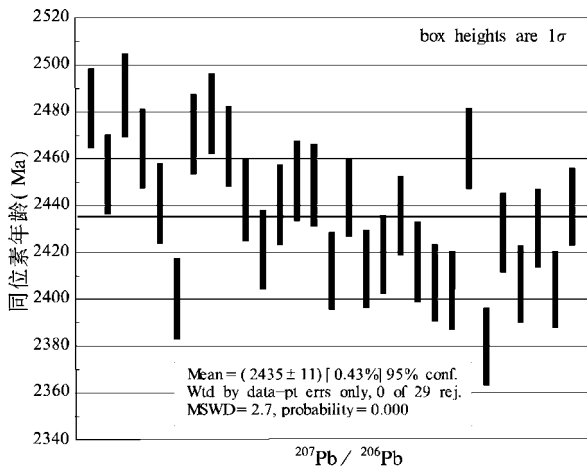


图3 NX03T-5中锆石透射光图像

均值集中于(2 435 ± 11) Ma。图4则显示锆石测点集中于谐和线上,相应的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U表面年龄加权平均统计年龄为(2 438 ± 13) Ma,此年龄可以代表岩石的形成年龄;而下交点(116 ± 20) Ma则可能为后期热事件的改造年龄。

### 3.2 金矿形成时代探讨

对于南小尧金矿的成因与成矿时代,于学峰

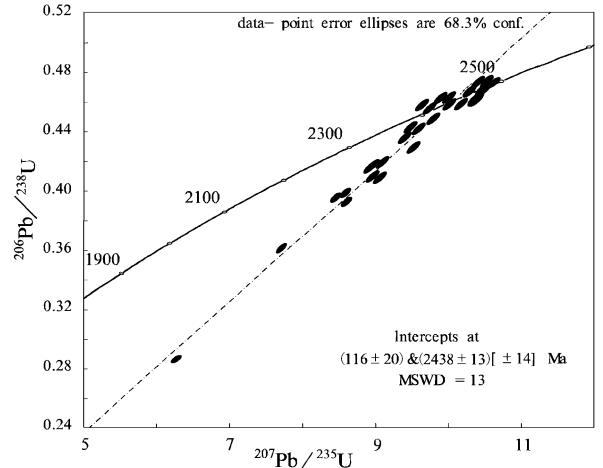


图4 南小尧金矿(NX03)激光探针质谱法锆石U-Pb同位素年龄谐和图

等<sup>[5]</sup>认为是前寒武纪变质热液石英脉型金矿,石玉臣<sup>[6]</sup>、滕培道<sup>[7]</sup>认为是与花岗-绿岩地体有关的广义的绿岩带型金矿,李洪奎等<sup>[8]</sup>则认为是受沂水-汤头断裂控制的产于蚀变花岗岩中的蚀变岩型金矿,其成矿时代为早白垩世。

本次研究对南小尧金矿矿石中的锆石进行了U-Pb同位素年龄测定,其结果显然是古元古代形成的侵入岩,(2 438 ± 13) Ma基本代表了岩体的形成年龄,该岩体的变质变形特征也表明其为古老的岩体。但从区域成矿地质背景分析,金矿的形成则与中生代岩浆活动关系密切。作者在研究该区金矿成矿时代时,对龙泉站金矿、南小尧金矿和牛家小河金矿中的钾长石矿物进行过K-Ar法测定,其年龄值分别为(141.92 ± 2.06), (94.29 ± 1.38), (95.92 ± 1.40) Ma,本区金矿的形成应在早白垩世中-晚期<sup>[8]</sup>。除此,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<sup>[9]</sup>。而本次锆石U-Pb同位素年龄测定中下交点的年龄值为(116 ± 20) Ma,可能代表了区域成矿的大致时限,亦与上述成果中的年龄基本一致。

## 4 结论

- (1)沂水县南小尧金矿的赋矿围岩为古元古代花岗闪长岩,其形成年龄为(2 438 ± 13) Ma。
- (2)从区域成矿规律分析,金矿的形成与中生代岩浆活动关系密切,其下交点(116 ± 20) Ma的年龄值则大致代表了区内金矿的形成年龄。

## 参考文献:

- [1] 沈其韩,沈昆. 山东沂水杂岩的组成与地质演化[M]. 北京:地质出版社,2000.
- [2] 宋彪,张玉海,万渝生,等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评,2002,5(增刊):26-30.
- [3] 袁洪林,吴福元,高山,等. 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,2003,48(14):1511-1519.
- [4] Gunther D, Frischknecht R, Heinrich C A, et al. CaPabilitiesofan ArF 193 $\mu$ m excimer laser for LAM-ICP-MS micro-analysis of geological materials. Journal of Analytical Atomtc Speetrometry, 1997,12:939-944.
- [5] 孔庆友,张天祯,于学峰,等. 山东矿床[M]. 济南:山东科学技术出版社,2006.
- [6] 石玉臣,伊丕厚,刘长春,等. 鲁西绿岩带型金矿床地质特征与找矿方向[J]. 矿床地质,2002,21(增刊):228-231.
- [7] 滕培道. 归来庄金矿为受控于寒武-奥陶系的层控矿床[J]. 山东地质,1994,10(2):34-40.
- [8] 李洪奎,杨永波,田京祥,等. 山东沂沭断裂带中段金矿地质特征[J]. 地质与勘探,2004,40(4):27-31.
- [9] 李洪奎,岳成利,杨锋杰,等. 山东沂水县龙泉站金矿成因初探[J]. 矿物学报,2007,27(增刊):25-27.

## U - Pb Isotopic Geo - chronological Characteristics and Implications of Zircon in Nanxiaoyao Gold Deposit in Yishui

LI Hong - kui, YANG Yong - bo

(Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Nanxiaoyao gold deposit in Yishui county locates in Gongdanshan uplift in Yishu fault belt. Its ore - bearing country rocks are Paleoproterozoic granite. There has always been many controversy to their forming age. In this study, by using LA - CPMS method and single grain zircon U - Pb micro - dating, it is gained that the concordant age of zircon is  $2438 \pm 13$ Ma and the age of the lower intersection point is  $116 \pm 20$ Ma. From analysis on regional ore - forming condition, it is regarded that the age of upper intersection point is the forming age of its country rocks. Combining with K - Ar age of  $94.29 \pm 1.38$ Ma of potassic feldspar in Nanxiaoyao gold deposit, it is regarded that the lower intersection point age can represent the gold - forming age. The forming time of the gold deposits in this area should be in early and late period of Cretaceous era.

**Key words:** U - Pb isotopic age; LA - CPMS method; single zircon; Nanxiaoyao gold deposit; Yishui in Shandong province