

# 贵州务川—正安—道真地区铝土矿碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

金中国<sup>1</sup>, 周家喜<sup>2</sup>, 黄智龙<sup>2</sup>, 谷 静<sup>2</sup>, 刘 玲<sup>1</sup>, 代龙省<sup>3</sup>

1. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局, 贵州 贵阳 550005
2. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002
3. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093

JIN Zhongguo<sup>1</sup>, ZHOU Jiayi<sup>2</sup>, HUANG Zhilong<sup>2</sup>, GU Jing<sup>2</sup>, LIU Ling<sup>1</sup>, DAI Longsheng<sup>3</sup>

1. Guizhou Nonferrous Metal and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau, Guiyang 550005, China
2. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China
3. School of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China

JIN Zhongguo, ZHOU Jiayi, HUANG Zhilong, et al. Detrital zircon U-Pb dating and its geological significance for the bauxite in Wuchuan-Zheng'an-Daozhen Al metallogenic province, Guizhou, SW China. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(6): 226-239

**Abstract:** Bauxite deposits in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen district, an important part of the south Chongqing-north Guizhou Al metallogenic province, are the main Al-enrichment region in Guizhou Province. The bauxite deposits are hosted in the Middle Permian Liangshan Formation, which lies on the erosion surface between Permian Qixia Formation and Carboniferous Huanglong Formation or Silurian Hanjiadian Formation. Four detrital zircon samples from three typical bauxite deposits were analyzed by Secondary Ion Mass Spectrometry(SIMS) for U-Pb dating. The results show that the range of <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U ages are large, almost all of the data are plotted on the U-Pb concordant curve and can be divided into five groups: i. e., 433-591 Ma, 740-1000 Ma, 1031-1442 Ma, 1700-1800 Ma and 2300-2400 Ma, of which the age groups of 433-591 Ma, 740-1000 Ma and 1031-1442 Ma are related to Silurian-Cambrian, Neoproterozoic Qingbaikouan and Mesoproterozoic undetermined periods, respectively. It implies that the ore-forming near source materials of the bauxite deposits are mainly detrital rocks in the Lower Silurian Hanjiadian formation, which were derived from the original distant sources—mainly metamorphosed volcanic sedimentary rocks in the Neoproterozoic and the Mesoproterozoic, which are related to the breaking of the Rodinian supercontinent, to the collision between Yangtze block and Cathaysia block, and to the Gvenille orogeny in the Mesoproterozoic. In this research, the youngest U-Pb age from the four samples is 303.1 Ma, which suggests the records of the crustal uplift, the denudation and the regional magmatism in the Late Carboniferous-Early Permian caused by Guizhou-Guangxi Movements.

**Key words:** detrital zircon; SIMS zircon U-Pb age; bauxite deposits; source characteristics; Wuchuan-Zheng'an-Daozhen district

**摘 要:** 位于黔北—渝南铝土矿带上的务川—正安—道真铝土矿成矿区, 是贵州省重要的铝土矿富集区。该区铝土矿产于中二叠统栖霞组与上石炭统黄龙组或中-下志留统韩家店组间的侵蚀面上, 即中二叠统梁山组。矿石中碎屑锆石十分发育, 借助二次离子探针(Cameca IMS-1280), 对选自不同矿床的 4 件锆石样品进行了

收稿日期: 2013-06-14; 修回日期: 2013-06-27

基金项目: 中国地质大调查项目([2006]004-06); 贵州省公益性、基础性研究项目([2007]-172); 国家科技支撑计划项目(2011BAB04B04)

作者简介: 金中国(1965—), 男, 博士, 研究员, 矿床地质学专业。E-mail: gzkjygz@sina.com

<http://www.earthsciencefrontiers.net.cn> 地学前缘, 2013, 20(6)

U-Pb 年代学研究,结果显示锆石 U-Pb 年龄变化范围较大(303.1~2 962.5 Ma),但绝大部分位于锆石 U-Pb 年龄谱和线上,可分为 5 个年龄组,分别为 433~591 Ma,740~1 000 Ma,1 031~1 442 Ma,1 700~1 800 Ma 和 2 300~2 400 Ma,显示铝土矿物源复杂,其中 433~591 Ma,740~1 000 Ma 和 1 031~1 442 Ma 分别对应志留纪—震旦纪、新元古代青白口纪和中元古代待建纪,暗示铝土矿成矿近源物质主要为下志留统韩家店组碎屑岩,初始远源物质主要为新元古界和中元古界变质火山沉积岩,与新元古代 Rodinia 超大陆裂解,扬子地块与华夏地块碰撞及中元古代 Gvenville 造山运动有关。研究获得 4 件锆石样品 U-Pb 年龄最小值为 303.1 Ma,可能是黔桂运动导致晚石炭世—早二叠世区域地壳隆升、遭受剥蚀及区域岩浆活动的记录。

关键词:碎屑锆石;SIMS 锆石 U-Pb 年龄;铝土矿床;物源特征;务川—正安—道真地区

中图分类号:P618.45;P597.3 文献标志码:A 文章编号:1005-2321(2013)06-0226-14

黔北务川—正安—道真地区是贵州省重要的铝土矿富集区,区内已发现铝土矿床(点)20 余处,业已探明务川瓦厂坪、大竹园,正安新木—晏溪和道真新民 4 个大型铝土矿床,提交铝土矿资源储量约 2 亿吨,预测本区总资源量超 5 亿吨,显示成矿潜力巨大。

由于务—正—道地区在铝土矿找矿方面取得了重大突破,引起了众多学者的广泛关注<sup>[1-10]</sup>。许多学者分别从矿床地质<sup>[1-4]</sup>、含矿岩系<sup>[5]</sup>、矿床地球化学<sup>[4,6]</sup>、成矿时代<sup>[7]</sup>、物质来源<sup>[7-10]</sup>、岩相古地理<sup>[8]</sup>和成矿规律与预测<sup>[1-7]</sup>等诸多方面对本区铝土矿床开展了大量研究,取得丰硕的研究成果。前人研究表明,黔北铝土矿床的含矿岩系形成时代为早二叠世,其成矿母岩为志留系韩家店组和石炭系黄龙组<sup>[8]</sup>,且铝土矿床的形成经历了多个阶段<sup>[9-10]</sup>。然而,一些迹象显示,韩家店组和黄龙组可能不是铝土矿形成的初始物源<sup>[5]</sup>。

近年来,碎屑锆石 U-Pb 定年在指示沉积物源区特征和示踪沉积矿产的成矿物质来源方面<sup>[5,10-16]</sup>显示了巨大的应用潜力。本文对黔北务正道铝土矿集区内具有代表性的务川瓦厂坪、道真新民和正安新木—晏溪 3 个大型铝土矿床探槽进行取样,挑选了 4 组矿石样品的碎屑锆石,开展全面而系统的二次离子探针碎屑锆石 U-Pb 年龄测定,以期揭示黔北务正道铝土矿床形成的初始物源区特征,并探讨其可能的地质意义,为总结区域成矿规律和认识铝土矿成矿作用提供新的信息。

## 1 区域及矿床地质概况

### 1.1 区域地质简述

务川—正安—道真铝土矿集区位于贵州省北部,是黔北—渝南铝土矿带的重要组成部分之一。大地构造位置处于扬子地块西缘遵义断拱凤冈北北东向构造变形区<sup>[1]</sup>。本区出露自寒武系至三叠系地

层,其中上志留统、泥盆系和下石炭统缺失,侏罗系地层零星分布(图 1)。中二叠统梁山组为含矿岩系,岩性上部为碳质页岩、钙质页岩及铝土质页岩,中部为铝土矿层,由铝土矿和铝土岩组成,下部为绿泥石岩或铁绿泥石岩、铝土质页岩<sup>[1-6]</sup>。沉积相及层序特征显示,本区铝土矿形成于陆相河湖盆地环境,其含矿岩系各岩性段为连续沉积。区内主体构造格架呈北北东向展布,断裂构造以逆冲断层为主,多形成于背斜轴部和向斜两翼;褶皱构造常以复式背、向斜形式出现,背斜多呈宽缓状,而向斜多为紧密状(图 1 和图 2)。

### 1.2 矿床地质概况

本区铝土矿均产于古风化壳之上的二叠系中统梁山组含矿岩系中,呈层状、似层状产出,产状与围岩一致(图 2 和图 3)。含矿岩系梁山组与上覆二叠系中统栖霞组地层呈整合接触,而与下伏石炭系上统黄龙组或志留系中、下统韩家店组呈假整合接触,厚约 0~16 m,一般 5~8 m<sup>[4-7]</sup>。黄龙组在区内断续分布,与上覆及下伏地层均呈假整合接触。铝土矿矿石矿物主要为一水硬铝石,具有粒屑泥晶、泥晶—微晶、复粒屑、重结晶结构以及土状、半土状、碎屑状、豆状、鲕状和致密块状构造<sup>[1-2]</sup>。目前,本区已发现铝土矿矿床(点)20 余处,具有代表性的有瓦厂坪、新民、新木—晏溪和大竹园等。本文从矿区构造、矿体特征及矿化品位等几个方面,简要阐述瓦厂坪、新民和新木—晏溪 3 个大型矿床地质特征。瓦厂坪大型矿床位于研究区东侧,矿体露头线沿鹿池向斜南西扬起端呈“U”字型展布,产状与围岩一致(图 2A)。在向斜轴部矿体受断层破坏,分为东、西两个矿段,矿体地表长均大于 4 km,最大延伸 1.5 km,平均厚度约 2 m,矿石 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量大于 65%,Al/Si 比大于 7,圈定 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 资源量约 4 400 万 t<sup>[4]</sup>。新民大型矿床位于研究区北侧的龙桥向斜南端,主矿体地表走向长约 6 km,倾向延伸 0.8~1.5 km

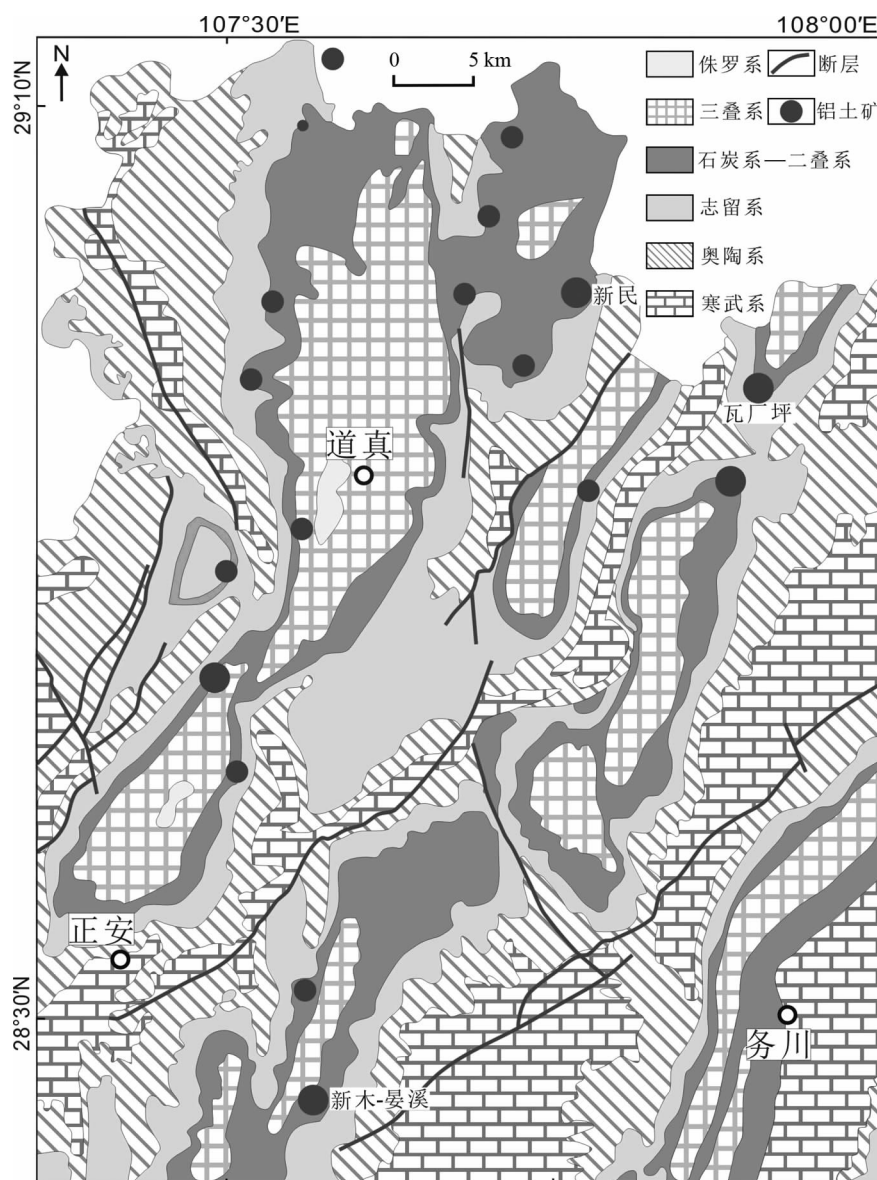


图1 务川—正安—道真铝土矿集区地质略图

Fig.1 Sketch geological map of the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen Al metallogenic province, Guizhou Province

(图2B),矿体平均厚约2.25 m,矿石 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 平均含量为66.91%, $\text{SiO}_2$ 平均含量为10.78%,Al/Si比平均为6.21,圈定 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 资源量约3240万 $\text{t}^{[9]}$ ;新木—晏溪大型矿床(图2C)位于研究区南部,由3个矿段组成,自北而南依次为张坝林矿段、高粱窝矿段、晏溪矿段,含矿露头线单翼长约17 km,矿段之间相距约3 km,主矿体长1~2.5 km,倾向延伸一般1 km左右,矿体厚度多在1.5~2.5 m,平均1.81 m,矿石 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 平均含量为56%, $\text{SiO}_2$ 平均含量为10.3%,Al/Si比平均为5.5,圈定 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 资源量约2800万 $\text{t}^{[10]}$ 。

## 2 样品采集及分析方法

基于显微观察和电子探针分析所发现的大量碎屑锆石,本文从黔北务川—正安—道真铝土矿集区内3个代表性大型铝土矿矿床中共采集4件矿石样品(均为探槽大件样品,其取样的层位如图3所示),具体来源为:1号和2号样品采自务川瓦厂坪,3号样品采自道真新民,4号样品采自正安新木—晏溪。锆石分选在河北廊坊诚信地质服务公司完成,分选后的样品在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国

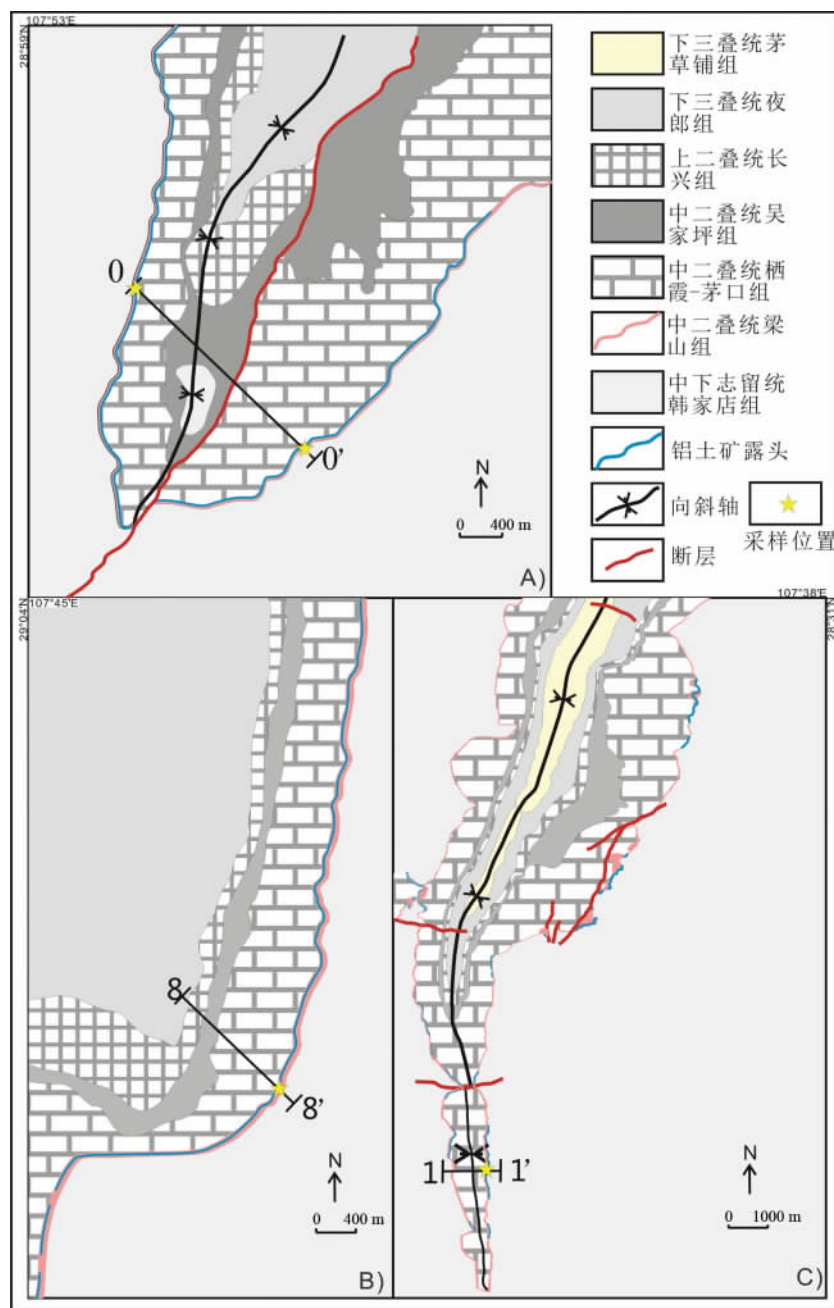


图 2 瓦厂坪(A)、新民(B)和新木—晏溪(C)矿床地质略图  
 Fig. 2 Ore deposit geological map of the Wanchangping (A), Xinmin (B) and Xinmu-Yanxi (C) Al deposits

家重点实验室进行透反射光显微观察,确保用于年龄测试的样品均为锆石。碎屑锆石 U-Pb 定年在中国科学院地质与地球物理研究所离子探针实验室的 Cameca IMS-1280 型二次离子质谱仪上进行,用强度为 10 nA 一次 O<sup>2-</sup> 离子束,通过 -13 kV 加速电压轰击样品表面,束斑约为 20 μm × 30 μm。二次离子经过 60 eV 能量窗过滤,质量分辨率为 5 400。每个样品点分析 7 组数据,测量时间约 12 min,详细

的分析流程见相关文献<sup>[17]</sup>。锆石样品的 Pb/U 比值用标准锆石 TEM<sup>[18]</sup> (417 Ma) 的 ln(<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U) 与 ln(<sup>238</sup>U<sup>16</sup>O<sub>2</sub>/<sup>238</sup>U) 之间的线性关系校正<sup>[19]</sup>; Th 和 U 含量用标准锆石 91500 (Th, 29 × 10<sup>-6</sup>; U, 80 × 10<sup>-6</sup>) 计算<sup>[20]</sup>。普通 Pb 用测量的 <sup>204</sup>Pb 进行校正。由于测得的普通 Pb 含量非常低,可以认为普通 Pb 主要来源于制样过程中带入的表面 Pb 污染<sup>[21]</sup>,用现代地壳的平均 Pb 同位素组成作为普通 Pb 组成

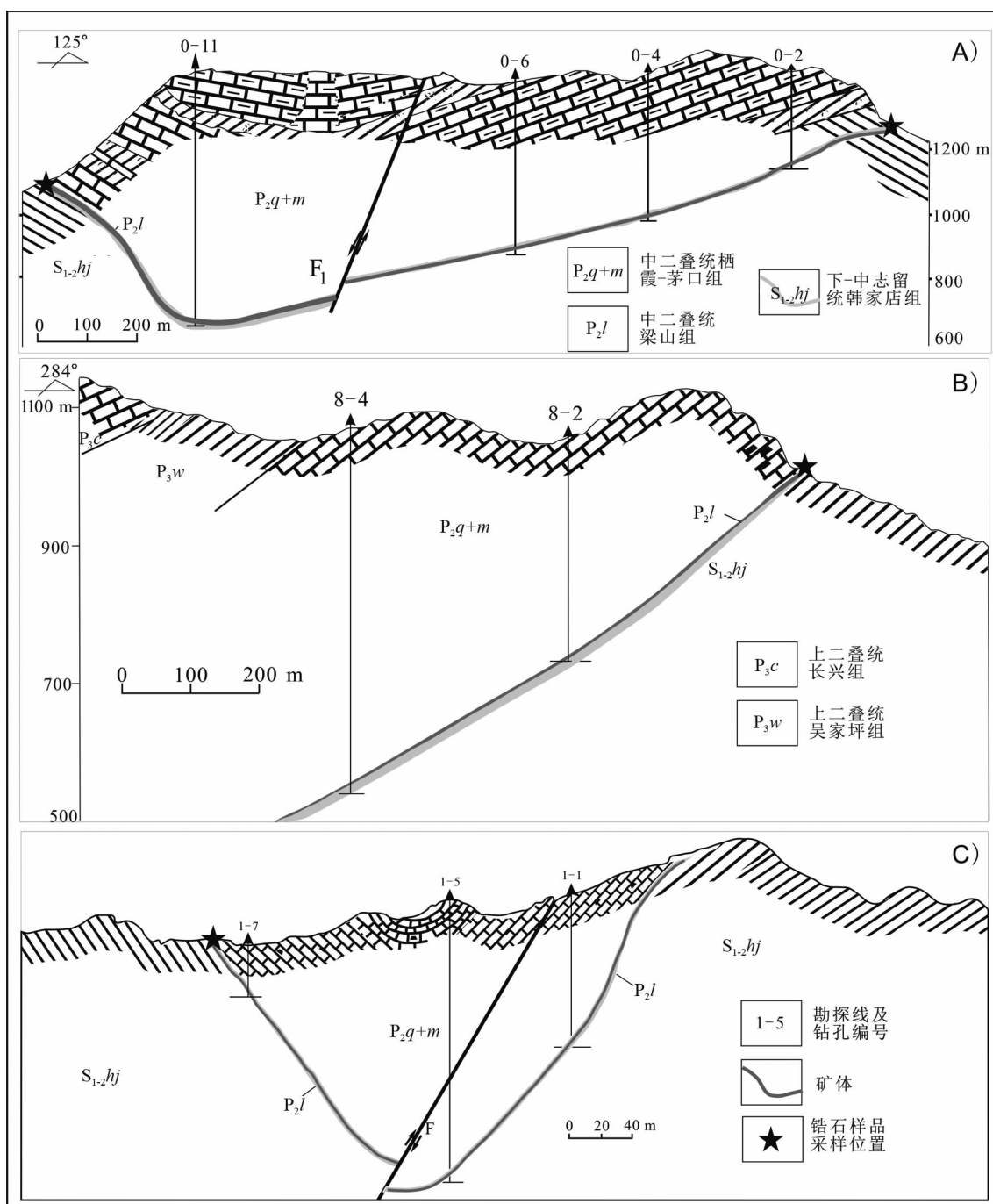


图3 瓦厂坪0号勘探线(A)、新民8号勘探线(B)和新木—晏溪1号勘探线(C)剖面略图  
Fig.3 Prospecting line profile geological map of the Wachangping No.0 prospecting line (A), Xinmin No.8 prospecting line (B) and Xinmu-Yanxi No.1 prospecting line (C) Al deposits

进行校正<sup>[22]</sup>。对于新元古代青白口纪之后形成的锆石(<780 Ma)采用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄,而对于青白口纪之前形成的锆石(>780 Ma)采用<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb年龄。单点分析的同位素比值及年龄误差为1 $\sigma$ ,U-Pb平均年龄误差为95%置信度。数据结果采用ISO-PLOT软件处理<sup>[23]</sup>。

### 3 锆石特征及定年结果

#### 3.1 锆石特征

通常岩浆锆石具有典型六方环带结构,无核幔-边结构,其碎屑锆石颗粒磨圆度较高;变质锆石

晶体自形度较低,无环带或环带特征不明显,具有典型的核-幔-边结构,原岩锆石或继承锆石位于颗粒核部,变质锆石位于颗粒的幔部或边部<sup>[24-26]</sup>。本次分选的锆石多呈不规则状、棱角状-次棱角状,有一定的磨圆度,基本不具完整的晶形,呈无色-浅黄色,在 CL 图像(图 4)上可见,部分锆石发育增生边,但很薄,大部分锆石环带特征明显,属于继承的岩浆锆石,少部分环带特征不明显,为继承的变质锆石,统称碎屑锆石。为保证测试结果的可靠性,测年选择的锆石尽可能覆盖不同成因、不同形态环带结构、不同外形和不同粒度的碎屑锆石,以便能充分反映碎屑锆石群的年龄分布特征,进而全面揭示沉积物

可能的源区。

### 3.2 定年结果

完成的 86 个碎屑锆石 U-Pb 测点数据列于表 1,年龄、Th/U 比等统计结果列于表 2。本次测定的铝土矿矿石中碎屑锆石 U-Pb 年龄( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 或 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ )分布在 303.1~2 962.5 Ma,碎屑锆石 U-Th-Pb 含量、Th/U 比值和 U-Pb 年龄值变化范围均较大,暗示铝土矿物源十分复杂。通常,锆石 U-Th-Pb 含量和 Th/U 比值是判别锆石成因的重要参数,本次获得的全部数据中,除 4 个测点锆石的 Th/U 小于 0.1,属于变质锆石外<sup>[27]</sup>,其余测点 Th/U 比均大于 0.1,属于继承的岩浆锆石<sup>[28]</sup>,与阴极发

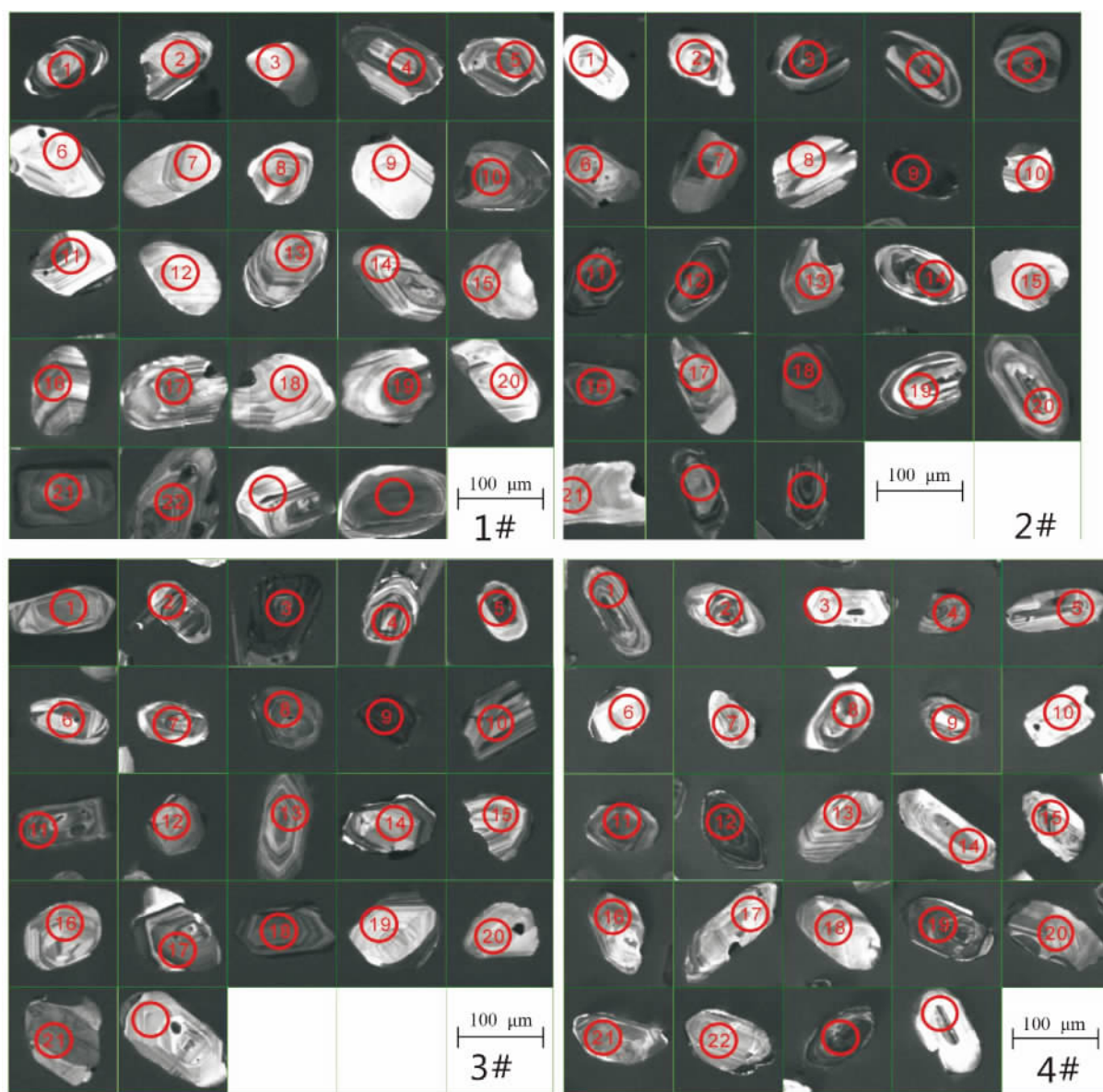


图 4 碎屑锆石阴极发光图像

Fig. 4 CL image of detrital zircon



表 1 务川—正安—道真地区铝土矿锆石 U-Pb 定年分析数据 (1#~4# 样品)

Table 1 Detrital zircon U-Pb dating of the Wuchuan - Zheng'an - Daozhen Al metallogenic province (Samples 1 to 4)

测点号	w(U) /10 <sup>-6</sup>	w(Th) /10 <sup>-6</sup>	w(Pb) /10 <sup>-6</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb / <sup>235</sup> U	<sup>207</sup> Pb / <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb / <sup>238</sup> U	<sup>208</sup> Pb / <sup>232</sup> Th	<sup>207</sup> Pb / <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb / <sup>206</sup> Pb ±2σ	Disc /%	年龄/Ma										
												±2σ	±2σ	±2σ	±2σ							
1@1	93	35	18	0.373	1.581	2.81	0.162	1.50	6.169	1.50	0.070	2.37	2.058	0	950.3	47.8	962.9	17.6	968.5	13.5	945.1	31.6
1@2	90	106	17	1.178	1.149	2.35	0.133	1.50	7.494	1.50	0.062	1.81	17.929	9	691.0	38.2	777.1	12.9	807.4	11.4	833.8	26.9
1@3	258	247	17	0.959	0.343	3.14	0.048	1.50	20.773	1.50	0.051	2.75	9.626	2	277.0	61.9	300.1	8.2	303.1	4.4	300.7	10.3
1@4	54	0	19	0.004	5.073	1.85	0.327	1.50	3.058	1.50	0.112	1.09	-1.074	1	1840.9	19.5	1831.7	15.8	1823.7	23.9		
1@5	188	140	32	0.743	1.195	1.91	0.131	1.50	7.603	1.50	0.065	1.18	-0.939	5	803.7	24.5	798.4	10.6	796.6	11.3	776.4	22.5
1@6	57	19	11	0.328	1.562	2.64	0.160	1.50	6.234	1.50	0.070	2.17	1.285	4	947.7	43.8	955.6	16.5	959.0	13.4	882.2	39.3
1@7	70	89	14	1.275	1.123	2.71	0.133	1.50	7.466	1.50	0.060	2.26	29.569	8	634.1	47.8	764.8	14.7	810.3	11.4	806.8	25.1
1@8	123	81	30	0.658	2.033	1.92	0.190	1.53	5.247	1.53	0.077	1.17	-0.671	5	1131.5	23.2	1126.9	13.2	1124.5	15.8	1107.6	34.3
1@9	77	43	15	0.563	1.444	2.35	0.153	1.50	6.512	1.50	0.068	1.81	5.673	2	874.6	36.9	907.4	14.2	920.9	12.9	899.9	30.3
1@10	195	142	72	0.729	3.953	1.63	0.282	1.50	3.536	1.50	0.101	0.62	-3.014	9	1649.6	11.5	1624.7	13.3	1605.5	21.4	1610.6	45.6
1@11	165	439	41	2.667	1.208	1.91	0.130	1.51	7.672	1.51	0.067	1.16	-6.980	9	845.4	24.0	804.6	10.6	789.9	11.2	800.2	22.5
1@12	66	48	11	0.722	1.213	2.42	0.132	1.50	7.549	1.50	0.066	1.89	-2.475	9	821.0	39.1	807.0	13.6	801.9	11.3	817.2	26.2
1@13	182	122	39	0.673	1.667	1.77	0.167	1.52	5.989	1.52	0.072	0.92	-0.322	1	998.3	18.5	996.3	11.3	995.4	14.0	1028.5	29.2
1@14	130	86	12	0.658	0.541	2.61	0.070	1.54	14.108	1.54	0.055	2.11	2.957	6	429.2	46.4	439.5	9.4	441.5	6.6	464.9	15.3
1@15	159	259	21	1.628	0.644	2.17	0.083	1.50	12.001	1.50	0.056	1.57	13.404	8	457.1	34.4	505.3	8.7	516.0	7.4	520.2	15.0
1@16	172	139	36	0.811	1.521	1.82	0.159	1.50	6.273	1.50	0.069	1.03	5.777	5	905.0	21.1	939.0	11.2	953.6	13.3	965.1	27.2
1@17	270	94	57	0.347	1.815	1.69	0.176	1.50	5.660	1.50	0.074	0.77	-0.674	7	1055.4	15.5	1051.0	11.1	1048.8	14.5	1090.2	32.5
1@18	117	85	10	0.728	0.537	2.65	0.069	1.50	14.394	1.50	0.056	1.21	-5.295	3	456.4	47.9	436.7	9.5	433.0	6.3	437.6	14.2
1@19	517	43	95	0.082	1.676	1.63	0.168	1.50	5.949	1.50	0.072	0.65	0.673	9	995.4	13.1	999.6	10.4	1001.6	13.9	1046.2	34.2
1@20	100	138	43	1.371	3.844	1.73	0.286	1.52	3.491	1.52	0.097	0.83	3.630	2	1573.4	15.5	1602.0	14.1	1623.9	21.8	1659.6	47.9
1@21	126	72	51	0.570	4.735	1.65	0.318	1.50	3.141	1.50	0.107	0.67	1.186	1	1763.7	12.3	1773.6	13.9	1782.0	23.4	1809.7	51.0
1@22	285	137	53	0.479	1.482	1.77	0.151	1.51	6.593	1.51	0.070	0.91	-4.915	2	954.1	18.6	923.2	10.8	910.4	12.8	935.0	26.8

http://www.earthsciencefrontiers.net.cn 地学前缘, 2013, 20(6)

(续表 1)

测点号	$w(\text{U}) / 10^{-6}$	$w(\text{Th}) / 10^{-6}$	$w(\text{Pb}) / 10^{-6}$	Th/U	$^{207}\text{Pb} / ^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb} / ^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	Disc / %	年龄/Ma											
										$\pm 2\sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb} / ^{232}\text{Th}$						
2@1	89	35	18	0.396	1.730 42	2.46	0.167 9	1.50	5.957	1.50	0.074 76	1.95	-6.263 48	1 062.0	38.7	1 019.9	15.9	1 000.4	13.9	997.3	31.7
2@2	148	39	30	0.265	1.807 19	2.35	0.175 8	1.50	5.689	1.50	0.074 56	1.80	-1.319 15	1 056.8	35.9	1 048.1	15.5	1 043.9	14.5	1 105.4	33.8
2@3	440	116	132	0.263	3.173 30	1.61	0.255 7	1.50	3.911	1.50	0.090 02	0.57	3.261 46	1 426.0	10.9	1 450.7	12.5	1 467.6	19.8	1 513.7	43.5
2@4	297	147	41	0.496	0.929 61	4.68	0.114 3	1.55	8.752	1.55	0.059 01	4.42	24.176 50	567.4	93.3	667.4	23.2	697.4	10.3	693.8	35.4
2@5	387	5	39	0.013	0.781 95	1.89	0.094 8	1.51	10.545	1.51	0.059 80	1.13	-2.155 95	596.4	24.4	586.6	8.4	584.1	8.4	523.9	59.5
2@6	143	132	24	0.929	1.129 37	2.04	0.126 7	1.50	7.890	1.50	0.064 63	1.37	0.965 67	762.3	28.7	767.5	11.0	769.2	10.9	775.5	22.4
2@7	150	359	24	2.403	0.698 36	2.33	0.087 0	1.50	11.494	1.50	0.058 21	1.79	-0.008 58	537.8	38.6	537.8	9.8	537.8	7.7	545.2	15.4
2@8	142	156	34	1.104	1.696 68	2.16	0.166 2	1.88	6.016	1.88	0.074 03	1.07	-5.299 43	1 042.4	21.5	1 007.3	13.9	991.2	17.3	1 046.8	101.4
2@9	515	241	134	0.467	2.426 13	1.67	0.214 3	1.50	4.667	1.50	0.082 12	0.73	0.275 24	1 248.4	14.3	1 250.4	12.1	1 251.5	17.1	1 219.2	33.7
2@10	76	103	10	1.356	0.691 81	2.68	0.086 2	1.51	11.607	1.51	0.058 24	2.21	-1.155 65	538.7	47.7	533.9	11.2	532.8	7.7	535.9	18.6
2@11	450	354	280	0.787	10.149 56	1.52	0.449 3	1.50	2.226	1.50	0.163 84	0.25	-4.968 50	2 495.7	4.3	2 448.5	14.2	2 392.1	30.1	2 395.5	62.3
2@12	463	181	133	0.390	2.991 05	1.65	0.239 0	1.56	4.184	1.56	0.090 77	0.54	-4.639 67	1 441.7	10.3	1 405.3	12.6	1 381.5	19.4	1 370.2	37.7
2@13	171	114	36	0.669	1.603 37	1.82	0.163 2	1.50	6.129	1.50	0.071 27	1.03	1.034 59	965.1	20.8	971.5	11.4	974.4	13.6	980.6	28.0
2@14	372	239	147	0.642	4.472 28	1.56	0.306 0	1.51	3.268	1.51	0.106 01	0.41	-0.734 93	1 732.0	7.5	1 725.8	13.1	1 720.8	22.8	1 723.7	46.0
2@15	77	93	11	1.206	0.813 79	2.57	0.096 0	1.53	10.416	1.53	0.061 47	2.07	-10.356 19	655.9	43.8	604.6	11.8	591.0	8.6	599.0	19.3
2@16	245	198	99	0.808	4.437 86	1.59	0.302 8	1.50	3.302	1.50	0.106 28	0.52	-2.041 27	1 736.6	9.4	1 719.4	13.2	1 705.4	22.5	1 714.4	50.3
2@17	141	223	18	1.582	0.664 05	2.38	0.082 9	1.51	12.069	1.51	0.058 12	1.85	-4.142 41	534.4	40.0	517.1	9.7	513.2	7.4	514.9	15.0
2@18	333	385	78	1.156	1.634 17	1.93	0.164 3	1.73	6.085	1.73	0.072 12	0.87	-0.931 98	989.4	17.6	983.5	12.3	980.8	15.7	996.9	47.1
2@19	115	211	24	1.846	1.154 85	2.26	0.127 5	1.51	7.841	1.51	0.065 67	1.68	-2.942 40	795.9	34.9	779.5	12.4	773.8	11.0	759.0	21.8
2@20	184	173	38	0.943	1.493 40	1.87	0.156 1	1.50	6.408	1.50	0.069 40	1.11	2.855 91	910.7	22.7	927.7	11.4	934.9	13.1	891.5	34.1
2@21	92	147	12	1.594	0.675 27	2.58	0.082 9	1.52	12.065	1.52	0.059 09	2.08	-10.390 10	570.3	44.7	523.9	10.6	513.3	7.5	520.0	18.2

http://www.earthsciencefrontiers.net.cn 地学前缘,2013,20(6)



(续表 1)

测点号	$w(\text{U}) / 10^{-6}$	$w(\text{Th}) / 10^{-6}$	$w(\text{Pb}) / 10^{-6}$	Th/U	$^{207}\text{Pb} / ^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb} / ^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	Disc / %	年龄/Ma											
										$\pm 2\sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb} / ^{232}\text{Th}$						
3@1	141	214	40	1.520	1.992 08	1.95	0.187 3	1.50	5.340	1.50	0.077 15	1.25	-1.798 64	1 125.1	24.6	1 112.8	13.3	1 106.5	15.3	1 096.2	31.3
3@2	476	258	54	0.542	0.744 44	1.78	0.092 0	1.50	10.874	1.50	0.058 71	0.96	2.001 48	556.5	20.9	565.0	7.8	567.1	8.2	581.3	16.6
3@3	441	361	128	0.817	2.686 26	1.62	0.220 8	1.51	4.528	1.51	0.088 23	0.59	-8.041 90	1 387.4	11.2	1 324.7	12.0	1 286.2	17.6	1 202.9	47.2
3@4	400	295	82	0.738	1.596 61	1.74	0.162 3	1.51	6.163	1.51	0.071 37	0.87	0.140 07	968.0	17.6	968.9	10.9	969.3	13.6	871.8	24.5
3@5	579	108	100	0.187	1.490 46	1.63	0.154 1	1.50	6.490	1.50	0.070 15	0.65	-1.036 62	932.9	13.2	926.5	10.0	923.8	12.9	885.7	27.6
3@6	197	207	55	1.050	2.322 07	3.15	0.197 0	1.51	5.076	1.51	0.085 49	2.77	-13.777 68	1 326.6	52.6	1 219.1	22.6	1 159.2	16.0	1 238.0	39.3
3@7	268	461	57	1.724	1.197 34	1.90	0.132 7	1.50	7.534	1.50	0.065 42	1.17	2.090 15	788.0	24.3	799.4	10.6	803.4	11.3	822.7	22.6
3@8	240	156	95	0.649	4.484 04	1.60	0.304 5	1.50	3.284	1.50	0.106 79	0.54	-2.066 57	1 745.4	9.9	1 728.0	13.4	1 713.7	22.7	1 725.0	47.0
3@9	892	1 316	197	1.476	1.593 02	1.85	0.154 4	1.50	6.476	1.50	0.074 82	1.09	-13.926 13	1 063.7	21.7	967.5	11.6	925.7	12.9	740.4	20.6
3@10	229	35	27	0.154	0.914 77	1.90	0.107 8	1.50	9.277	1.50	0.061 55	1.17	0.244 19	658.4	24.9	659.6	9.3	659.9	9.4	664.2	24.0
3@11	264	451	35	1.711	0.677 23	2.17	0.082 8	1.50	12.074	1.50	0.059 30	1.57	-11.745 62	578.2	33.7	525.1	8.9	513.0	7.4	529.1	14.9
3@12	134	50	32	0.374	2.204 46	2.03	0.203 0	1.75	4.926	1.75	0.078 76	1.03	2.384 19	1 166.1	20.3	1 182.5	14.3	1 191.4	19.0	1 214.0	60.6
3@13	253	169	23	0.666	0.548 17	2.36	0.071 4	1.65	14.000	1.65	0.055 66	1.69	1.395 01	438.8	37.2	443.8	8.5	444.8	7.1	445.1	15.1
3@14	117	37	23	0.318	1.616 39	1.93	0.164 9	1.50	6.063	1.50	0.071 08	1.20	2.758 22	959.6	24.4	976.6	12.2	984.2	13.7	1 038.1	35.0
3@15	148	114	25	0.774	1.196 47	2.02	0.132 2	1.50	7.564	1.50	0.065 64	1.35	0.746 19	794.9	28.1	799.0	11.3	800.4	11.3	789.5	24.2
3@16	125	186	25	1.483	1.183 02	2.19	0.131 7	1.50	7.594	1.50	0.065 16	1.59	2.449 10	779.5	33.1	792.7	12.1	797.4	11.3	799.9	22.8
3@17	204	179	116	0.879	9.514 26	1.65	0.421 0	1.50	2.375	1.50	0.163 91	0.69	-10.979 85	2 496.4	11.6	2 388.9	15.3	2 265.0	28.7	1 736.9	47.0
3@18	251	102	139	0.405	9.826 95	1.83	0.434 9	1.80	2.299	1.80	0.163 88	0.37	-8.027 06	2 496.1	6.2	2 418.7	17.0	2 327.8	35.2	2 272.2	143.5
3@19	27	28	22	1.048	16.670 00	1.79	0.555 9	1.52	1.799	1.52	0.217 50	0.95	-4.703 51	2 962.3	15.2	2 916.0	17.3	2 849.6	35.1	2 603.9	78.9
3@20	67	59	11	0.883	1.064 49	2.83	0.124 9	1.50	8.007	1.50	0.061 82	2.39	14.402 69	667.9	50.4	736.0	14.9	758.6	10.8	746.2	24.6
3@21	172	105	130	0.610	15.340 06	1.55	0.553 8	1.50	1.806	1.50	0.200 90	0.38	0.325 90	2 833.5	6.1	2 836.6	14.9	2 841.0	34.6	2 721.5	71.9

http://www.earthsciencefrontiers.net.cn 地学前缘,2013,20(6)

(续表 1)

测点号	$w(\text{U}) / 10^{-6}$	$w(\text{Th}) / 10^{-6}$	Th/U	$^{207}\text{Pb} / ^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb} / ^{232}\text{Th}$		Disc / %	年龄/Ma		$^{208}\text{Pb} / ^{232}\text{Th} \pm \sigma$																
				$\pm 2\sigma$	/ %	$\pm 2\sigma$	/ %	$\pm 2\sigma$	/ %		$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb} \pm \sigma$	$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U} \pm \sigma$																	
4@1	234	108	50	0.459	1.790	60	1.75	0.176	4	1.50	5.667	1.50	0.073	60	0.91	1.789	09	1.030	5	18.3	1.042	0	11.5	1.047	5	14.5	1.009	1	29.2
4@2	151	597	32	3.941	0.793	28	2.16	0.094	7	1.50	10.563	1.50	0.060	77	1.55	-7.969	88	631.2	33.1	593.0	9.7	583.1	8.4	576.2	16.1				
4@3	133	69	26	0.523	1.560	45	2.01	0.160	7	1.50	6.223	1.50	0.070	42	1.34	2.287	42	940.7	27.1	954.6	12.5	960.7	13.4	939.1	29.9				
4@4	274	347	37	1.266	0.735	00	2.21	0.092	3	1.50	10.833	1.50	0.057	75	1.62	9.817	39	520.3	35.1	559.5	9.5	569.2	8.2	566.8	16.0				
4@5	212	135	36	0.640	1.226	96	5.43	0.136	2	1.52	7.343	1.52	0.065	34	5.21	5.099	72	785.4	105.8	813.0	30.8	823.0	11.7	804.0	39.0				
4@6	74	51	14	0.692	1.365	17	2.46	0.145	4	1.50	6.877	1.50	0.068	09	1.94	0.478	71	871.3	39.8	874.1	14.5	875.2	12.3	904.6	30.6				
4@7	202	155	35	0.769	1.238	65	1.99	0.134	2	1.50	7.454	1.50	0.066	97	1.31	-3.207	88	836.7	27.0	818.3	11.2	811.5	11.4	821.2	23.5				
4@8	299	34	31	0.115	0.783	57	1.87	0.095	2	1.51	10.507	1.51	0.059	71	1.11	-1.247	10	593.1	23.9	587.5	8.4	586.1	8.4	630.2	23.1				
4@9	250	122	56	0.487	1.882	08	1.71	0.183	4	1.51	5.454	1.51	0.074	44	0.80	3.286	89	1053.5	16.1	1074.8	11.4	1085.3	15.1	1070.8	30.6				
4@10	188	132	49	0.700	2.279	13	1.95	0.198	7	1.60	5.032	1.60	0.083	17	1.13	-8.985	41	1273.2	21.8	1205.8									
4@11	485	182	107	0.375	1.926	30	1.59	0.184	8	1.50	5.412	1.50	0.075	61	0.53	0.831	87	1084.7	10.5	1090.3	13.9	1168.6	17.1	1196.6	38.4				
4@12	847	71	264	0.084	4.147	80	1.55	0.275	2	1.50	3.634	1.50	0.109	32	0.40	-13.920	75	1788.1	7.3	1663.8	10.7	1093.0	15.1	1120.8	30.9				
4@13	248	89	44	0.359	1.441	71	1.82	0.150	8	1.51	6.630	1.51	0.069	33	1.02	-0.346	53	908.5	20.9	906.4	12.8	1567.0	20.9	1496.3	44.1				
4@14	140	165	26	1.180	1.163	98	2.43	0.131	8	1.56	7.588	1.56	0.064	06	1.87	7.801	19	743.5	39.0	783.8	11.0	905.6	12.8	910.4	27.6				
4@15	289	164	78	0.567	2.419	85	1.68	0.213	8	1.51	4.677	1.51	0.082	08	0.74	0.156	96	1247.4	14.5	1248.5	13.4	798.1	11.7	787.8	23.7				
4@16	222	193	39	0.869	1.196	01	2.06	0.133	8	1.52	7.474	1.52	0.064	83	1.40	5.638	77	768.8	29.1	798.7	12.2	1249.2	17.2	1276.4	36.0				
4@17	101	93	18	0.924	1.208	84	2.36	0.135	2	1.50	7.398	1.50	0.064	86	1.82	6.553	90	769.9	37.9	804.7	11.5	809.5	11.6	796.2	22.5				
4@18	266	194	36	0.730	0.896	87	1.82	0.106	0	1.50	9.435	1.50	0.061	37	1.02	-0.449	29	652.2	21.8	650.1	13.2	817.3	11.5	793.6	24.2				
4@19	653	450	137	0.689	1.609	40	1.61	0.163	7	1.50	6.110	1.50	0.071	32	0.58	1.169	49	966.6	11.8	973.9	8.8	649.4	9.3	657.0	18.6				
4@20	135	109	33	0.806	1.958	08	2.08	0.183	8	1.55	5.442	1.55	0.077	28	1.39	-3.946	60	1128.5	27.5	1101.2	14.1	1087.5	15.5	1096.2	31.9				
4@21	212	100	40	0.470	1.473	60	1.75	0.153	5	1.50	6.516	1.50	0.069	64	0.90	0.288	47	917.9	18.4	919.6	10.6	920.3	12.9	934.8	26.8				
4@22	64	96	19	1.493	2.092	91	2.06	0.196	6	1.50	5.086	1.50	0.077	21	1.41	2.951	45	1126.6	27.9	1146.5	14.3	1157.0	15.9	1164.1	33.4				

注:样品由中国科学院地质与地球物理研究所离子探针实验室用 Cameca IMS-1280 测试, 2008。

表2 碎屑锆石 U-Th-Pb 含量及 U-Pb 年龄统计结果

Table 2 U-Th-Pb contents and U-Pb ages statistics of detrital zircon

样品号	测点数	$w(\text{U})$ / $10^{-6}$	$w(\text{Th})$ / $10^{-6}$	$w(\text{Pb})$ / $10^{-6}$	Th/U	年龄/Ma			
						$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$
1#	22	54~517	19~439	10~95	0.087~2.522	277.0~1 840.9	300.1~1 831.7	303.1~1 823.7	300.7~1 809.7
2#	21	76~515	5~385	10~280	0.012~2.436	534.4~2 495.7	517.7~2 448.5	513.2~2 392.1	514.9~2 395.5
3#	21	27~892	28~1 316	11~197	0.155~1.801	438.8~2 962.5	443.8~2 916.0	444.8~2 849.6	445.1~2 721.5
4#	22	64~847	34~597	14~264	0.070~3.593	520.3~1 788.1	559.5~1 663.8	569.2~1 567.0	566.8~1 496.0

注:原始数据据表1。

光(CL)特征相符(图4)。各测点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 年龄区间相近,且大部分测点均位于U-Pb谐和线上(图5),表明铝土矿沉积过程中锆石U-Pb体系未受到破坏。图6显示,测点数据的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (或 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ )年龄在550~1 200 Ma出现峰值,主要集中在740~1 000 Ma区域,在1 400~2 500 Ma时间段还存在1个相对弱的峰值,全部数据中有5个测点年龄大于2 400 Ma,有1个测点为303.1 Ma。依据测点数据的集中分布形式,可以划分出433~591 Ma,740~1 000 Ma,1 031~1 442 Ma,1 700~1 800 Ma和2 300~2 400 Ma 5个碎屑锆石年龄段,其中前3个年龄段测点分布最多。

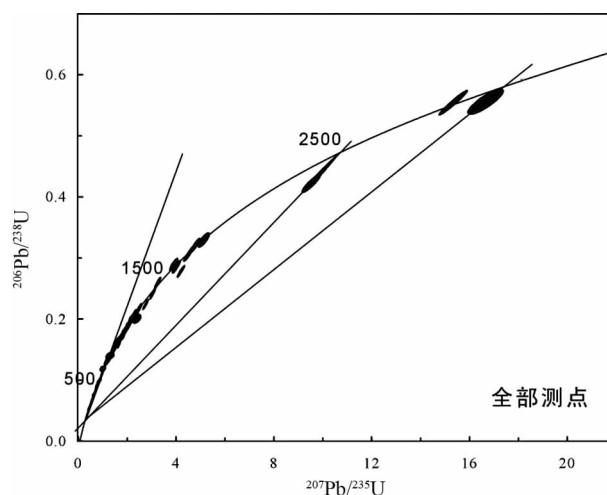


图5 碎屑锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图  
Fig. 5 Concordia plots of detrital zircon  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  ages

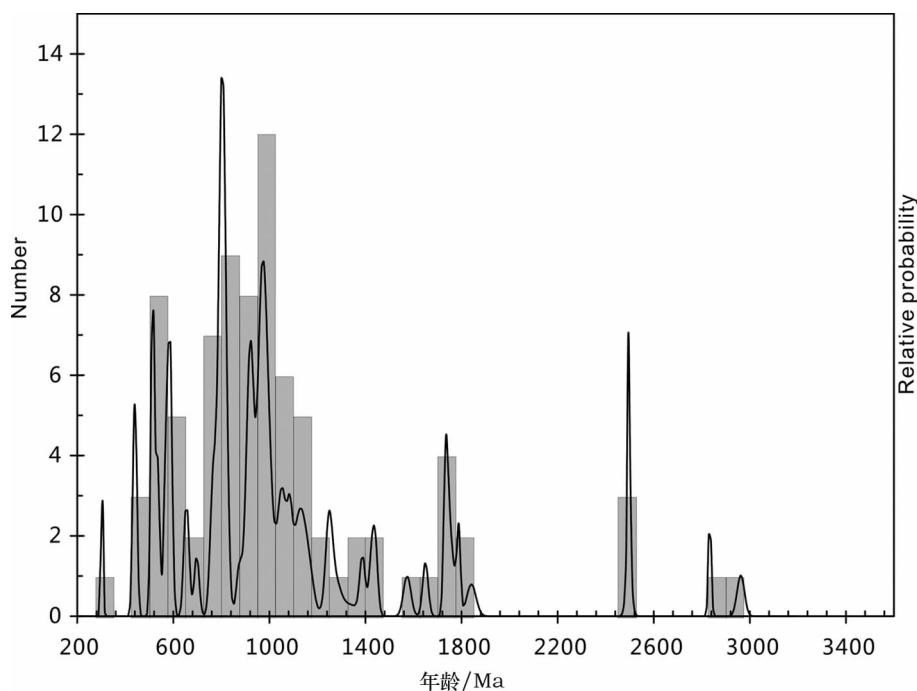


图6 碎屑锆石U-Pb年龄统计图

Fig. 6 Statistical graph of detrital zircon U-Pb ages

## 4 讨论

### 4.1 对沉积物源的示踪

黔北地区基底岩石未出露,但扬子基底具有3层结构,包括1.0~0.7 Ga变质基底、1.7~1.1 Ga的褶皱基底及3.3~2.9 Ga的结晶基底<sup>[29-30]</sup>。本次测点分布最多的是新元古代震旦纪、南华纪、青白口纪和中元古代待建纪,分别为7个、10个、27个和21个,占有测点的8.1%、11.6%、31.4%和24.4%(表1和图6)。本次研究所获得的全部测点数据中,只有1个锆石测点的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄值为303.1 Ma,测点年龄可能是晚石炭世—早二叠世海西期运动(黔桂运动)导致区域地壳隆升、遭受剥蚀的构造热事件记录。此事件可能为在古特提斯北缘(华南一侧)有石炭—二叠纪岩浆弧活动<sup>[31]</sup>,在其东段的澜沧江地区有早二叠世早期(298~295 Ma)的洋内俯冲岛弧岩浆活动<sup>[32-33]</sup>。

黔北地区中二叠统梁山组底部仅局部有薄层上石炭统黄龙组灰岩分布,显示区域上黄龙组沉积时间短,经风化作用不能形成丰富的残坡积物,不应是本区铝土矿的主要成矿母岩,但可能提供部分物源<sup>[5]</sup>。本区中晚志留世—早石炭世地层缺失,区域上在此时期也可能无岩浆活动,与本次获得的碎屑锆石数据中没有这些层位的测点记录相吻合,表明这些缺失层位可能也不是本区铝土矿形成的主要成矿母岩。笔者及前人通过铝土矿石和韩家店组碎屑岩的稀土元素特征对比<sup>[6]</sup>、元素活动及迁移规律分析<sup>[9]</sup>、岩相古地理<sup>[8]</sup>及碎屑锆石U-Pb年龄研究<sup>[7,10]</sup>,认为含矿岩系下伏地层韩家店组碎屑岩可能为主要本区铝土矿主要的直接成矿母岩,这也与本文获得的碎屑锆石U-Pb年龄结果吻合(表1和图6)。

在433~591 Ma( $n=18$ )年龄段中,峰值有3个,峰值(439.8±0.6) Ma 主要与晚奥陶世沉积期对应,其锆石年龄可能为华夏地块内(400~470 Ma)和扬子地块北缘(428~460 Ma)加里东期岩浆事件反映<sup>[4,34-35]</sup>;峰值(520.8±0.6) Ma 与黔北下寒武统牛蹄塘组斑脱岩年龄<sup>[36]</sup>((518±5) Ma)十分接近,记录了扬子地块南缘在早寒武纪牛蹄塘期,由于板内拉张,有大量海底岩浆喷发的岩浆活动事件<sup>[37]</sup>;峰值(579.7±0.8) Ma 与震旦纪中晚期沉积地层对应,相当于全球590 Ma前后的Varanierian冰期,揭示扬子、华夏地块的运移、离散时间和构造活动<sup>[38]</sup>。

黔北地区上奥陶统、下寒武统牛蹄塘组及震旦系上统地层发育完整、分布广泛,其岩性以碳酸盐岩、Al含量较高的粉砂岩和粉砂质页岩为主,均可能为本区铝土矿形成提供部分成矿物质,但从测点年龄数据分布来看,这一时期形成岩石不应是铝土矿最初物源层。

在740~1 000 Ma( $n=30$ )年龄区间,峰值为(798.2±0.7) Ma 和(966.3±0.8) Ma,为新元古代青白口纪下江群沉积期,与黔北板溪群(丹州群)、黔东北梵净山群、黔东南桂北四堡群以及川西康定群沉积时期对应。针对这些地层中分布的岩浆岩体,近年有关学者测定了大量精确的锆石年龄数据<sup>[30,39]</sup>,认为这些岩体侵位或喷发时期为(780~1 000 Ma),与新元古代Rodinia超大陆裂解(裂解成扬子地块、华夏地块等)、雪峰运动期碰撞造山运动关系密切。该时期沉积的地层是Rodinia超大陆裂解裂谷盆地沉积,为短时间内数千米至近万米快速沉积。从碎屑锆石年龄的集中程度看,这套地层岩石很可能是黔北务正道地区铝土矿成矿的主要初始物源。

在1 031~1 442 Ma( $n=20$ )年龄段,峰值为(1 094.0±20.1) Ma,与中元古代待建纪全球Gvenville造山运动(1 000~1 300 Ma)对应<sup>[5,10]</sup>,为中元古代末期北扬子板块与南扬子板块俯冲、碰撞,拼合成整体扬子地块及伴随基性火山岩活动的记录<sup>[38]</sup>,待建系地层为一套巨厚大陆边缘地槽型的陆源碎屑沉积,岩性以主要由含Al较高的浅变质陆源碎屑岩和火山碎屑岩组成,可能为研究区铝土矿成矿提供了部分物源。

在古元古代、中太古代分别为4个、2个测点,代表了捕获的中太古代—古元古代古老结晶基底中的锆石年龄,与一些研究结果一致<sup>[29]</sup>,即扬子地块和华夏地块结晶基底下层为中深变质杂岩,原岩以基性火山熔岩为主,向上为酸性火山岩及火山碎屑岩,因而不排除本区铝土矿成矿初始物源少量来源于结晶基底,也表明扬子地块与华夏地块结晶基底中大量的岩浆活动可能与古元古代Columbia超大陆的裂解有关<sup>[29]</sup>。

### 4.2 对铝土矿成矿作用的指示

从区域构造及沉积演化背景看,武陵运动后,随着扬子地台的整体隆起,康滇古陆区、江南古陆区进入长期剥蚀阶段,而扬子地台基底从古太古代至新元古代,地层由一套中深变质杂岩、浅变质细碎屑

岩、基性-中酸性火山岩和碳酸岩组成。区内受加里东早期运动影响,寒武纪至中志留世总体为一个沉降区,接受了巨厚的海相沉积。晚志留世受加里东晚期运动影响,黔北整体抬升,隆起为陆,使中晚志留世至石炭纪为风化剥蚀、夷平期。晚石炭世一早二叠世海西期黔桂运动的隆升作用,使区域地层继续遭受剥蚀。至中二叠世梁山期,该区缓慢下降,海水侵入,隆起的地块均向沉积区提供物源,沉积一套以砂岩、粉砂岩、铝土质岩、碳质页岩为主的碎屑岩及煤层。

由此可见,本区铝土矿(岩)形成过程可描述为:Rodinia 超大陆裂解,扬子地块与华夏地块碰撞及中元古代 Gvenville 造山运动,形成了新元古代浅变质细碎屑岩、基性-中酸性火山岩,古元古代—中太古代结晶基底。雪峰造山运动导致扬子地块、华夏地块基底隆起,遭受风化、剥蚀,继而产生板块内的张裂作用,南华纪—中志留世黔北广大区域为沉降的海相沉积区,隆起形成大面积分布的成矿母岩层(主要为韩家店组)。加里东晚期(广西)运动,使黔北隆起为陆,再经风化、剥蚀、搬运沉积分异形成,也不排除长期隆起的基底地层直接为铝土矿(岩)形成提供少量物源的可能。通过以上分析表明,本文碎屑锆石定年结果与区域岩浆-构造活动及古地理沉积环境演化等相吻合。

## 5 结论

本区获得的全部测点年龄分布较宽,但绝大部分测点年龄位于 U-Pb 谐和线上,表明铝土矿沉积过程中 U-Pb 体系未受到破坏。分布宽泛的碎屑锆石 U-Pb 年龄暗示铝土矿初始物源十分复杂,其源区与这些年龄段的地质事件相对应。碎屑锆石年龄数据集中在 433~591 Ma, 740~1 000 Ma 和 1 031~1 442 Ma 等区间,分别对应志留纪—震旦纪、新元古代青白口纪和中元古代待建纪。本文碎屑锆石 U-Pb 年龄反映出本区铝土矿成矿的近源物质主要来自韩家店组碎屑岩,其初始物源主要为新元古界青白口纪和中元古界待建纪火山-沉积建造,可能与新元古代 Rodinia 超大陆裂解、扬子地块与华夏地块碰撞及中元古代 Gvenville 造山运动等有关。

实验过程得到中国科学院地质与地球物理研究所李秋立副研究员、李献华研究员等的指导和帮助,成文过程中

中国科学院地球化学研究所叶霖研究员进行了有益的讨论,对他们及匿名审稿人和《地学前缘》编辑部老师,表示衷心的感谢!

## 参考文献

- [1] 刘巽锋,王庆生,陈有能,等. 黔北铝土矿成矿地质特征及成矿规律[M]. 贵阳:贵州人民出版社,1990.
- [2] 刘平. 黔北务-正-道地区铝土矿地质概要[J]. 地质与勘探, 2007, 43(5): 29-33.
- [3] 武国辉,金中国,鲍森,等. 黔北务正道铝土矿成矿规律探讨[J]. 地质与勘探, 2008, 44(6): 31-35.
- [4] 金中国,武国辉,黄智龙,等. 贵州务川瓦厂坪铝土矿床地球化学特征[J]. 矿物学报, 2009, 29(4): 258-462.
- [5] 刘平,廖友常. 黔中—渝南铝土矿含矿岩系时代探讨[J]. 中国地质, 2012, 39(3): 661-682.
- [6] 金中国,刘玲,黄智龙,等. 贵州务正道地区铝土矿床稀土组成及其地质意义[J]. 地质与勘探, 2012, 48(6): 1067-1076.
- [7] 赵芝,王登红,李沛刚,等. 黔北大竹园组碎屑锆石年代学及成矿指示意义[J]. 岩矿测试, 2012, 32(1): 166-173.
- [8] 杜远生,周琦,金中国,等. 黔北铝土矿基础地质与成矿作用研究进展[J]. 地质科技情报, 2013, 32(1): 1-6.
- [9] Gu J, Huang Z L, Fan H P, et al. Mineralogy, geochemistry, and genesis of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, Northern Guizhou Province, China [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2013, 130: 44-59.
- [10] Gu J, Huang Z L, Fan H P, et al. Provenance of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, Northern Guizhou Province, China: LA-ICP-MS and SIMS U-Pb dating of detrital zircons[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 70/71: 265-282.
- [11] 陆松年,陈志宏,相振群,等. 秦岭岩群副变质岩碎屑锆石年龄谱及其地质意义探讨[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 303-310.
- [12] 王立武,王颖,杨静,等. 用碎屑锆石 SHRIMP 年代学方法恢复松辽盆地南部前中生代基底的源区特征[J]. 地学前缘, 2007, 14(4): 151-158.
- [13] 陈岳龙,李大鹏,周建,等. 中国西秦岭碎屑锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 88-107.
- [14] 刘函,王国灿,曹凯,等. 西昆仑及邻区区域构造演化的碎屑锆石裂变径迹年龄记录[J]. 地学前缘, 2010, 17(3): 64-78.
- [15] 裴先治,李佐臣,李瑞保,等. 祁连造山带东段早古生葫芦河群变质碎屑岩中碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄: 源区特征和沉积时代的限定[J]. 地学前缘, 2012, 19(5): 205-224.
- [16] 陈熠,方小敏,宋春晖,等. 准格尔盆地南缘新生代沉积物碎屑锆石记录的天山隆升剥蚀过程[J]. 地学前缘, 2012, 19

- (5): 225-233.
- [17] Li X H, Liu Q L, Guo C H, et al. Precise determination of Phanerozoic zircon Pb/Pb age by multi-collector SIMS without external standardization[J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystem*, 2009, 10(4): 1-21.
- [18] Black L P, Allen C M, Davis D W, et al. Improved  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  microprobe geochronology the monitoring of a trace-element-related matrix effect SHRIMP ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standard[J]. *Chemical Geology*, 2004, 205: 115-140.
- [19] Whitehouse M J, Claesson S, Sunde T, et al. Ion microprobe U-Pb zircon geochronology and correlation of Archean gneisses from the Lewisian Complex of Gruinard Bay, north-west Scotland[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61: 4429-4438.
- [20] Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, tree element and REE analyses[J]. *Geostandard Newsletter*, 1995, 19: 1-23.
- [21] Ireland T R, Williams I S. Considerations in zircon geochronology by SIMS[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003, 53: 215-241.
- [22] Stacey J S, Kramers J D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1975, 26: 207-221.
- [23] Ludwig K R. User's Manual for Isoplot/Ex Rev. 2. 49[M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, Special Publication 1a, 2001: 55.
- [24] 陈道公, 李彬贤, 夏群科, 等. 变质岩中锆石 U-Pb 计时问题评述: 兼论大别造山带锆石定年[J]. *岩石学报*, 2001, 17(1): 129-138.
- [25] Hermann J, Rubatto D, Korsakov A. Multiple zircon growth during fast exhumation of diamondiferous, deeply subducted continental crust (Kokchetav assif Kazakhaas)[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2001; 141(1): 66-82.
- [26] Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb age metamorphism[J]. *Chemical Geology*, 2002, 184: 123-138.
- [27] 陈道公, 倪涛. 大别山—苏鲁造山带高级变质岩中锆石微区 U-Th 和 Pb 化学组成特征统计[J]. *岩石学报*, 2004, 20(5): 999-1006.
- [28] 吴元保, 郑永飞. 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*, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [29] Gao S, Yang J, Zhou L, et al. Age and growth of the Archean Kongling terrain, South China, with emphasis on 3.3 Ga granitoid gneisses[J]. *American Journal of Science*, 2011, 311: 153-182.
- [30] 王劲松, 周家喜, 杨德智, 等. 黔东南窄便辉绿岩锆石 U-Pb 年代学和地球化学研究[J]. *地质学报*, 2012, 86(3): 460-469.
- [31] 杨宗永, 何斌. 南盘江盆地中三叠统碎屑锆石地质年代学: 物源及其地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2012, 36(4): 581-596.
- [32] 李钢柱, 苏尚国, 雷玮琰, 等. 三江地区澜沧江带南段南林山基性岩体锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学特征[J]. *地学前缘*, 2011, 18(5): 206-212.
- [33] 李钢柱, 苏尚国, 段向东. 三江地区澜沧江带南段半坡杂岩体锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学特征及板块构造环境[J]. *地学前缘*, 2012, 19(4): 96-109.
- [34] 马昌前, 明厚利, 杨坤光. 大别山北麓的奥陶纪岩浆弧: 侵入岩年代学和地球化学证据[J]. *岩石学报*, 2004, 20(3): 390-402.
- [35] 沈渭洲, 张芳荣, 舒良树, 等. 江西宁冈岩体的形成时代、地球化学特征及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(10): 2244-2254.
- [36] 周明忠, 罗泰义, 李正祥, 等. 遵义牛蹄塘组底部凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *科学通报*, 2008, 53(1): 104-110.
- [37] 周明忠, 罗泰义, 黄智龙, 等. 贵州早寒武世火山活动记录及其地质意义[J]. *矿物学报*, 2011, 31(3): 453-461.
- [38] 万天丰. 中国大地构造纲要[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 6-68.
- [39] 高林志, 丁孝忠, 庞维华, 等. 中国中—新元古代地层年表的修正: 锆石 U-Pb 年龄对年代地层的制约[J]. *地层学杂志*, 2011, 35(1): 1-7.