

# 一种生长型新锆石的成因探讨——以平果沉积型铝土矿为例

杨 静, 陈远荣\*, 王绪涛, 黄振男, 蒋静雯

桂林理工大学地球科学学院广西隐伏金属矿床勘查重点实验室, 广西 桂林

收稿日期: 2022年12月29日; 录用日期: 2023年1月23日; 发布日期: 2023年1月30日

## 摘 要

普遍认为锆石是在岩浆或变质作用下形成, 但平果铝土矿矿石中的锆石具有部分不同于传统认识的锆石特征, 在其形貌上部分锆石核、边部存在明显差异, 核部具有一定磨圆, 而边部晶型完整, 显示典型二元结构特征; 利用ICP-MS进行精确U-Pb同位素定年分析, 发现锆石U-Pb年龄具有多期、多阶段特征, 核部年龄主要集中在寒武纪, 锆石边部年龄多表现为二叠纪; 经电子探针原位微量元素测试分析, 锆石核部显示岩浆锆石特征, 而边部显示海相沉积作用特征。同时对研究区矿石的手标本观察及电子显微镜下观察, 都未发现任何岩浆热液叠加现象。推测认为, 平果铝土矿中的锆石为一种新的生长型锆石, 其锆石核部为寒武系地层中的锆石是经过表生搬运而来, 而其边部则是二叠纪合山组的沉积和成岩阶段经二次生长所形成。

## 关键词

碎屑锆石, U-Pb同位素定年, 平果铝土矿, 成因探索

## Origin of a New Overgrowth-Type Zircon—An Example from the Pingguo Sedimentary Bauxite

Jing Yang, Yuanrong Chen\*, Xutao Wang, Zhennan Huang, Jingwen Jiang

Key Laboratory of Concealed Metal Deposit Exploration, College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Dec. 29<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jan. 23<sup>rd</sup>, 2023; published: Jan. 30<sup>th</sup>, 2023

\*通讯作者。

文章引用: 杨静, 陈远荣, 王绪涛, 黄振男, 蒋静雯. 一种生长型新锆石的成因探讨——以平果沉积型铝土矿为例[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(1): 44-61. DOI: 10.12677/ag.2023.131005

## Abstract

It is generally suggested that zircon is crystallized from high-temperature magmas or formed by metamorphic processes. However, the zircons from the Pingguo bauxite ores show some characteristics different from those of typical and metamorphic zircons. The core and mantle in some zircons are obvious differences in morphology. The core has a certain degree of roundness, whereas the mantle shows a complete crystal feature, showing typical characteristics of binary structure. Using ICP-MS to carry out accurate U-Pb isotope dating analysis, it is found that the U-Pb age of zircon has the characteristics of multi-phase and multi-phase. The core age is mainly concentrated in the Cambrian, and the edge age of zircon is mainly in the Permian; the electron probe in-situ trace element analysis shows that the core of zircon shows the characteristics of magmatic zircon, while the edge shows the characteristics of marine sedimentation. At the same time, the hand samples of the ore in the study area were observed and the electron microscope under observation, no magmatic hydrothermal superposition phenomenon is found. Based on the results, it is proposed that the zircons from the Pingguo bauxite ores are a new overgrowth-type zircon, within which the core is a supergene transport of Cambrian zircon, and the mantle was formed by the secondary growth during sedimentary and diagenetic stage of the Heshanformation in Permian.

## Keywords

Detrital Zircon, U-Pb Isotopic Dating, Pingguo Bauxite, Genesis Exploration

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

锆石是大多数火成岩和变质岩中的重要伴生矿物。通常，锆石在表生条件下较稳定，具有较强的抗高温和耐腐蚀等优良性质，在自然界中即使经历过各种复杂的地质事件，其具有明显成因标型，能保留较为精准的原岩的年龄信息[1]，且能很好地赋存一定量的特征微量元素，将锆石形态学与微量元素地球化学进行综合研究，可以获得相对全面、系统的成因矿物学信息[2]-[8]。

沉积岩中的碎屑锆石对恢复古沉积环境、追溯物质来源以及推测研究区区域构造背景具有重要指示意义，对以上内容的深入研究可以为进一步揭示古地理环境及古陆块格局提供一定有效的支撑依据[9]，当前国内外学者发现在岩浆锆石和变质锆石中通常存在着一些核部、边部存在明显形貌和颜色差异的锆石，通过对其进行测年发现其核边部年龄差异较大，通常具有核部年龄较老边部较新的特征，通过对这类锆石的年龄、成份等方面的研究，在探索物质来源、恢复古地貌格局上具有重要的意义，这类锆石通常被称为继承性锆石和变质增生锆石[10] [11] [12] [13]。

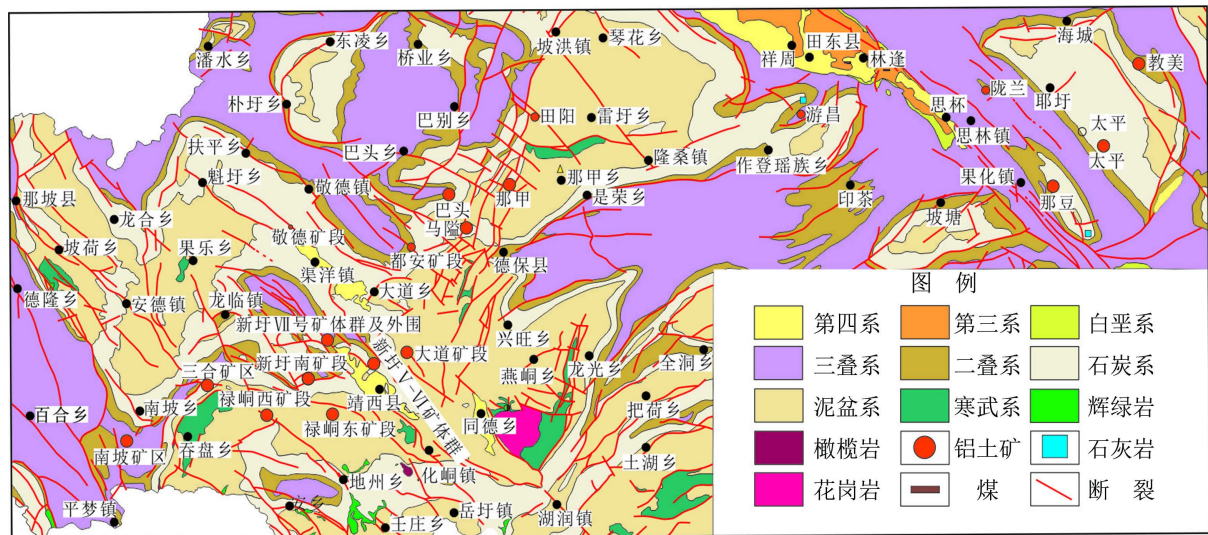
现今，锆石的研究已从原来注重于微量元素或形貌分析，转为强调锆石的微区分析，阴极发光(CL)图像等进行微区分析的成像技术和原位微区微量元素分析技术(LA-ICP-MS)，也被广泛用于揭示单个锆石晶体包含多个地质事件记录的现象[14]-[29]。

本文基于前人对锆石成因种类研究的局限性，利用阴极发光(CL)、激光剥蚀电感耦合等离子质谱(LA-ICP-MS)分析法和 U-Pb 同位素定年法等方法，对平果铝土矿矿物中的碎屑锆石成因进行形貌学、微

量元素地球化学特征和年代学特征研究,以期获得碎屑锆石形成所需的各类参数,继而探讨研究区内碎屑锆石的形成环境,在进行锆石 U-Pb 定年的同时,加强锆石成因的研究,对得到的数据作出更合理的地质解释。

## 2. 地质背景

桂西铝土矿成矿带资源丰富,经济价值巨大,位于华南地块西部,区内局部地区可见出露老基底寒武系碎片和奥陶系老地层。平果铝土矿则位于桂西铝土矿成矿带的东段,右江盆地中部(见图 1),平果铝土矿内主要有太平、教美、那豆、果化、新安等 5 个矿床,区内地层出露较为完整,主要以二叠系和石炭系出露最广,新近系、第四系、三叠系、泥盆系也均有出露,在各地层之间的接触关系上,除上二叠统和下二叠统呈平行不整合外,其余各地层皆呈整合接触关系。由于研究区内经历曾受到多次的构造运动作用的影响,致使区内多发育较为宽大的褶皱和深大断裂带,区内褶皱相对较为平缓主要发育有平果背斜、太平向斜和旧城背斜等以北西走向为主的褶皱。在北东向和南西向也分别发育着不同程度的褶皱,如:四定向斜、龙光背斜以及弄华背斜等。区内主要发育有右江和下雷-灵马两组深大断裂带,其中北西向右江断裂带规模最大,贯穿全区,不仅仅在广西境内发育,贵州境内也有分布,全长约有近 400 Km,断裂带走向约为 315°,具有南西和北东两个倾向方向,倾角变化范围在 45°~80°之间;下雷-灵马断裂带规模相对较小,主要在平果境内发育,全长约 210 Km,在北东约 60°方向上呈波状展布。研究区内已发现的岩浆活动证据较少,其岩浆活动较为微弱,仅在三叠世的果化组、北泗组中发现少量的凝灰岩 [30]-[37]。



**Figure 1.** Geological sketch map of Southwest Guangxi (modified according to the geological map of Napo Longhe mining area and its surrounding areas in Guangxi)

**图 1.** 桂西南地质简图(据广西那坡龙合矿区及其外围区域地质图修改)

## 3. 样品分析及测试方法

锆石样品采自平果铝土矿矿床内太平、那豆、教美三大矿区,样品采集带回室内进行初步挑选与清洗工作后,送至河北省廊坊区调所实验室进行分选,样品重量不小于 2 Kg,碎样后采用重力浮选和磁力浮选的方法分选,在双目显微镜下进行优质锆石的精细挑选,原则上锆石挑选时在保证锆石质量的同时,每个样品最终挑选出不少于 1000 颗锆石颗粒。锆石制靶以及阴极发光图(CL 图)分析在重庆宇劲科技有限

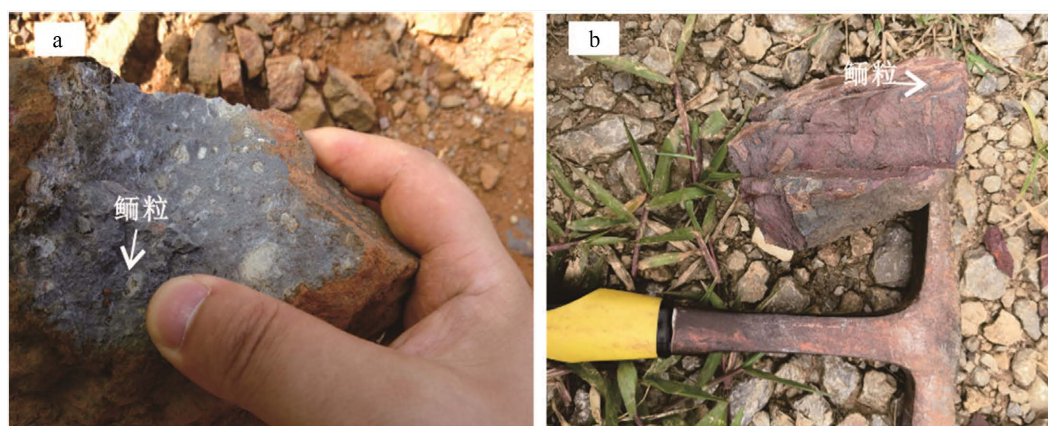


公司完成。锆石的 U-Pb 同位素定年在桂林理工大学广西隐伏金属矿床勘查重点实验室进行测试和分析,使用的仪器为 Agilent 7500cx 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS),使用 GeoLas HD 作为激光剥蚀系统,采用氦气作为调整其灵敏度的补偿气,激光光斑直径为 32  $\mu\text{m}$ ,在样品测试过程中,每测试 5 个样品,分析两次外部标准物质,外部标准物质采用的是国际标准锆石 91500 ( $1065 \pm 5 \text{ Ma}$ ),通过采用 ICP-MS,进行分析数据的校正、U-Pb 定年等离线处理[38] [39]。锆石的 U-Pb 年龄谱和图和频率分布直方图通过使用 Isoplot 3.0 程序完成[40] [41],再利用 Geoplot 地球化学数据处理软件和 Excel 表格对平果铝土矿矿石的稀土元素进行分析。沉积岩中矿石的形成在其成岩后期易受到其他地质作用影响,形成过程也比较复杂,从而使得样品测试结果不够准确,尤其是一些特征性元素出现异常表现,从而无法明确的指示沉积环境。

#### 4. 矿物的组成结构特征及叠加改造状况

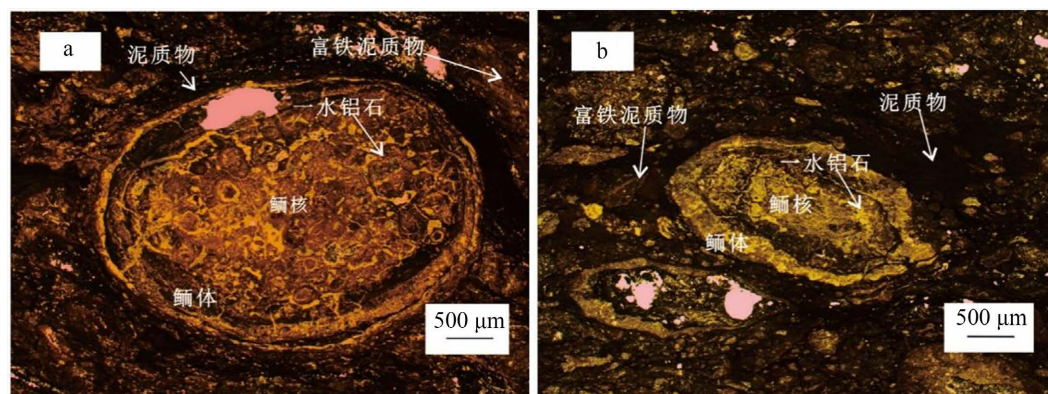
通过对平果铝土矿矿床调查发现,在其各个矿区,鲕粒状和块状矿石普遍存在,总体特征如下:

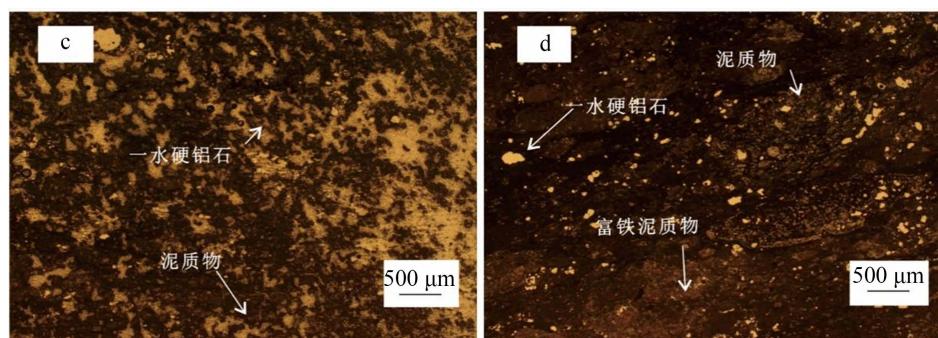
1) 鲕粒状矿石:具鲕粒结构,鲕粒颜色种类较多,有褐色、灰褐色、红褐色、灰白色、黄灰色、黑褐色等,直径大小不一(见图 2(a))。在显微镜下鲕粒状矿石中的鲕粒基本以椭圆状为主,少部分呈透镜状或扁圆状,粒径范围在 0.3~3 mm 之间,鲕粒具有鲕核和鲕体两个部分,鲕核直径在 0.2~2 mm 之间,大部分都发生龟裂作用,被一水铝石充填交代或被铁质与泥质胶结;鲕体一般 1~3 层,厚度不均一,跨度较大,厚度在 0.025~1 mm 之间,且存在不连续现象(见图 3(a)、图 3(b)),主要成分为一水铝石。



**Figure 2.** Photos of hand specimens of ore in Pingguo bauxite (a and b are oolitic and massive ores respectively)

**图 2.** 平果铝土矿矿石手标本照片(a、b 分别为鲕粒和块状矿石)





**Figure 3.** Microscopic Photo of Ores in Pingguo bauxite (a, b is oolitic ores, c, d are massive ores)  
**图 3.** 平果铝土矿矿石镜下照片(a、b 为鲕粒矿石, c、d 为块状矿石)

2) 块状矿石: 呈块状构造, 矿物颗粒较小, 质地坚硬, 偶见极少量鲕粒存在(如图 2(b))。在显微镜下观察其被一水铝石充填交代, 具隐晶质结构, 大部分胶结紧密, 主要为泥质胶结, 也可见铁质胶结(如图 3(c)、图 3(d))。

3) 无论在矿石标本或显微镜下, 均未发现任何后期岩浆热液对矿石叠加改造作用的痕迹, 也几乎未见火山沉积物及其演变产物。

## 5. 结果分析

### 5.1. 碎屑锆石形貌学特征

众所周知, 岩石类型不同, 其产生的锆石形态也不同, 岩浆锆石和变质锆石在形态学上具有明显的差异性, 岩浆锆石具有震荡环带, 而变质锆石则表现出无分带、弱分带、云雾状分带等特点[2]。沉积矿床的成矿物质从源区到沉淀区经过或长或短的距离搬运以及后期的成岩作用后, 必然会受到一定的磨损, 其沉积物的碎屑锆石形态也必然会发生变化, 在其表面留下相应的形态学信息[11]。因此, 在对锆石成因的研究中, 对锆石形态特征进行观察和分析必不可少。

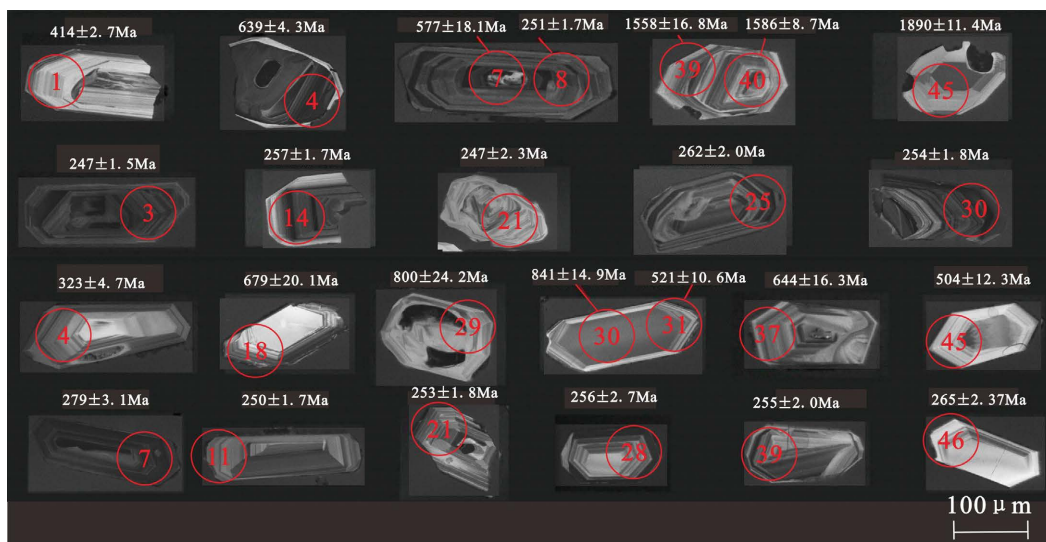
对平果铝土矿矿床矿石的碎屑锆石阴极发光照相见图 4。研究区锆石形态多呈自形-半自形, 个别锆石存在断裂现象, 其中大部分锆石的核部与边部存在明显界线, 且核部颜色、结构和形态明显不同于边部。锆石的核部多呈无结构的浑圆状、椭圆状、不规则状, 少部分具有生长环带, 其颜色为灰色、深褐色或黑色等; 锆石边部大部分棱角比较明显, 呈六边形, 且具有明显的生长环带, 颜色上多呈灰色、深褐色或灰色深褐色交替出现, 部分锆石局部可见黑色环带, 锆石边部大多具有清晰规整的六角形环带结构。锆石的核部与边部在形貌学上呈现出二元结构特征。在 CL 图上, 锆石的核部和边部差别明显, 推测这些锆石可能不是同期形成, 为多期继承性生长所致, 致于锆石边部为岩浆作用叠加还是沉积成岩期所形成的, 还需要其他证据支撑。

### 5.2. 锆石 U-Pb 定年结果分析

为了剖析锆石核部与边部所形成二元结构的成因, 分别对研究区 ND-01 (那豆矿区)、TP-01 (太平矿区)、JM-01 (教美矿区) 3 件样品中锆石的核部、边部进行 U-Pb 年龄测试, 将测试结果中谐和度小于 90% 和大于 110% 的测试点剔除后共得到 209 个有效谐和和测试点数据(附表 1)。

1) 锆石样品 ND-01: 经 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分析和处理后, 共计捕获有效年龄数据测试点 70 个; 其中该样品中年龄数据共有 3 个锆石年龄属于中元古代(核部), 1 个锆石年龄属于新元古代(核部), 1 个锆石年龄属于奥陶纪(核部), 3 个锆石年龄属于泥盆纪(核部), 1 个锆石年龄属于石炭纪(核部), 28 个锆石年龄属于二叠纪(边部), 29 个锆石年龄属于三叠纪(边部), 4 个锆石年龄晚于三叠纪(边部)。



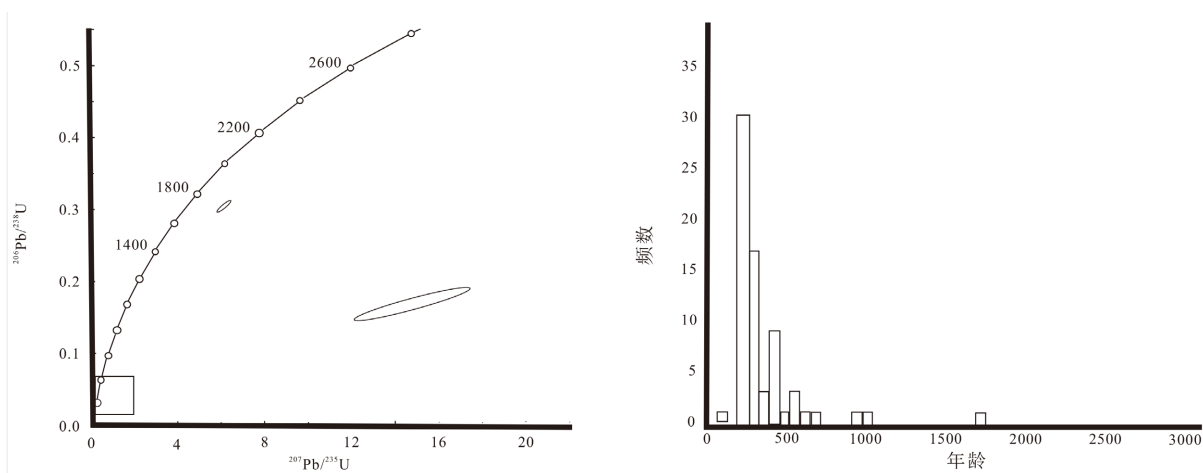


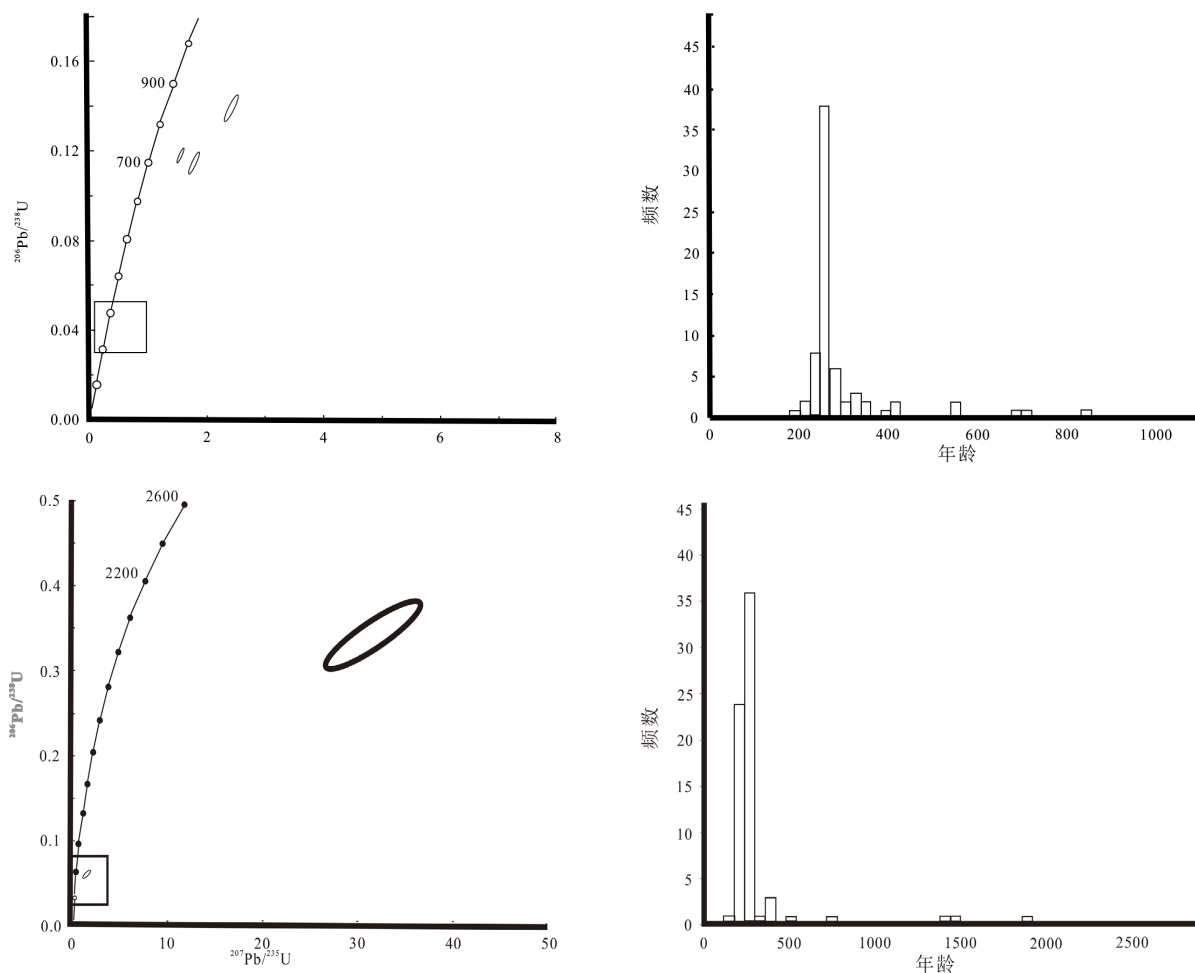
**Figure 4.** Typical cathode luminescence image of detrital zircon in ores of Pingguo sedimentary bauxite  
**图 4.** 平果沉积型铝土矿中典型的碎屑锆石阴极发光图像

2) 锆石样品 TP-01: 经 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分析和处理后, 共计捕获有效年龄数据测试点 70 个; 其中该样品中年龄数据共有 3 个锆石年龄属于新元古代(核部), 2 个锆石年代属于寒武纪(核部), 2 个锆石年代属于志留纪(核部), 1 个锆石年代属于泥盆纪(核部), 6 个锆石年代属于石炭纪(核部), 41 个锆石年代属于二叠纪(边部), 14 个锆石年代属于三叠纪(边部), 1 个锆石年代晚于三叠纪(边部)。

3) 锆石样品 JM-01: 经 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分析和处理后, 共计捕获有效年龄数据测试点 69 个; 其中该样品中年龄数据共有 2 个锆石年龄属于古元古代(核部), 3 个锆石年代属于新元古代(核部), 4 个锆石年代属于寒武纪(核部), 3 个锆石年代属于奥陶纪(核部), 5 个锆石年代属于志留纪(核部), 4 个锆石年代属于泥盆纪(核部), 1 个锆石年代属于石炭纪(核部), 38 个锆石年代属于晚二叠纪(边部), 9 个锆石年代属于三叠纪(边部)。

综上所述, 平果铝土矿矿床三大矿区的沉积岩铝土矿的矿石锆石年龄分布范围很广, 大部分年龄集中于二叠纪, 其他年代也有分布, 最古老的早至古元古代, 最年轻的晚于三叠纪, 具有多年龄段特征。部分锆石核部年龄与边部年龄存在很大差异, 显示平果铝矿石中的锆石并非单一时期生长形成, 而是多期叠加生长的结果。





**Figure 5.** U-Pb age frequency histogram and harmony diagram of detrital zircons (from top to bottom, sample numbers of Jiaomei 01, Taiping 01 and Nadou 01)

**图 5.** 碎屑锆石 U-Pb 年龄频率直方图及年龄谐和图(从上而下为教美 01、太平 01、那豆 01 样品号)

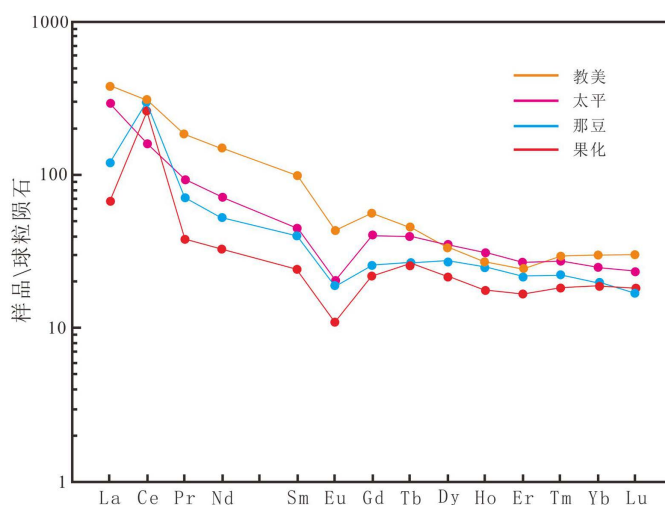
### 5.3. 平果与桂西南铝土矿矿石稀土元素对比分析

为了追踪平果铝土矿矿床的成矿物质来源, 利用稀土元素特殊的溯源特性, 对平果铝土矿矿床的不同矿区别别采样矿石样, 共采集样品 10 件, 其中那豆矿区 4 件、太平矿区 3 件、教美矿区 2 件、果化矿区 1 件。在桂西南地区采集寒武系地层样品 12 件, 其中吞盘地区 4 件、胡润地区采样 3 件、土湖地区采样 2 件以及龙光背斜采样 3 件。样品稀土元素测试分析在广西隐伏金属矿床勘查重点实验室内完成, 根据样品测试结果(表 1)分析得知: 平果地区采集的沉积型铝土矿矿石样品的 LREE/HREE 变化范围波动较小, 轻重稀土平均值约为 10.12, 整体上表现出 LREE 和 HREE 的分异显著, 轻稀土分异程度更高; 前人研究表明  $\delta\text{Eu}$  具有一定的物源继承性, 当其数值变化稳定时说明该区的物质来源相对稳定, 平果地区样品数据  $\delta\text{Eu}$  变化范围在 0.47~0.58, 属于稳定变化;  $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$  表示轻重稀土元素分馏值, 根据测试结果可知各样品  $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$  的值均大于 1, 具有轻稀土富集的倾向。在分析桂西南寒武系样品测试结果发现, 其 LREE/HREE、 $\delta\text{Eu}$  以及  $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$  等均与平果沉积型铝土矿样品具有极其相似的表现。从平果铝土矿稀土元素球粒陨石标准化曲线(图 6)和桂西南寒武系稀土元素球粒陨石标准化曲线(图 7)可以看出二者曲线都具有右倾, 形似海鸥的形态特征, 具有 LREE 富集, HREE 相对亏损以及 Eu 负异常等特征。

**Table 1.** Test results of rare earth elements in Pingguosedimentary bauxite and Cambrian strataofsouthwest Guangxi (10-6)  
**表 1.** 平果沉积型铝土矿与桂西南部分寒武系稀土元素测试结果(10-6)

样品号	那豆 (n = 4)	太平 (n = 3)	教美 (n = 2)	果化 (n = 1)	吞盘 (n = 4)	胡润 (n = 3)	土湖 (n = 2)	龙光 (n = 3)
La	28.26	69.44	90.63	15.91	40.97	48.23	29.69	78.47
Ce	188.82	96.46	189.46	160.41	73.31	65.99	93.65	78.44
Pr	6.82	8.78	17.11	3.61	9.59	10.85	6.74	18.73
Nd	24.61	33.62	69.74	15.31	33.70	38.07	23.58	63.33
Sm	6.11	6.90	15.19	3.67	5.78	6.92	4.16	10.89
Eu	1.11	1.18	2.53	0.63	1.01	1.25	0.75	1.81
Gd	5.31	8.27	11.56	4.53	4.87	5.83	3.59	8.14
Tb	0.96	1.48	1.71	0.99	0.77	0.96	0.61	1.23
Dy	5.60	8.88	8.54	6.93	4.40	5.45	3.61	6.58
Ho	0.99	1.75	1.52	1.43	0.90	1.11	0.76	1.33
Er	2.77	4.43	4.04	3.63	2.45	2.99	2.20	3.60
Tm	0.47	0.69	0.75	0.57	0.40	0.48	0.38	0.54
Yb	3.25	4.24	5.13	3.35	2.52	3.00	2.40	3.61
Lu	0.46	0.60	0.76	0.43	0.37	0.45	0.35	0.54
Y	21.27	34.28	22.48	14.86	21.37	28.74	19.72	33.79
∑REE	275.55	246.73	418.67	221.40	181.04	191.57	172.45	277.24
LREE	255.73	216.38	384.66	199.54	164.36	171.31	158.56	251.67
HREE	19.82	30.35	34.01	21.86	16.69	20.27	13.89	25.57
LREE/HREE	12.91	7.13	11.31	9.13	9.85	8.45	11.42	9.84
(La/Yb)N	6.23	11.74	12.67	3.40	11.67	11.54	8.87	15.61
δ Eu	0.58	0.48	0.56	0.47	0.56	0.58	0.58	0.56
δ Ce	3.23	0.82	1.10	4.99	0.87	0.68	1.56	0.49

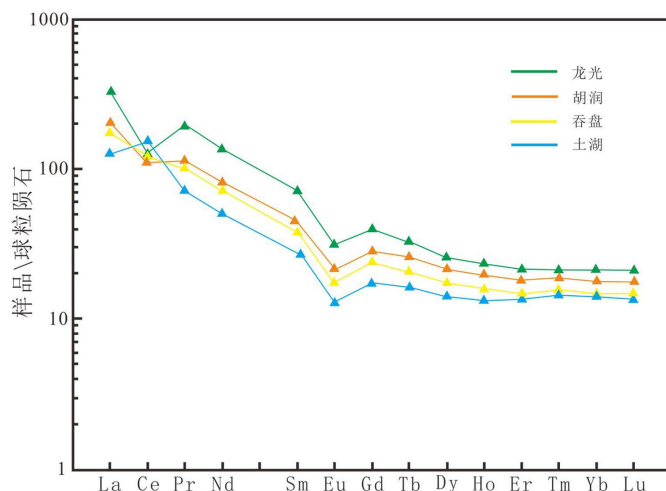
测试单位：广西隐伏金属矿产勘查重点实验室；注：n 为样本数，以上数据为各地区样品的平均值。



**Figure 6.** Standardized distribution of rare earth elements chondrite ofores in Pingguobauxite

**图 6.** 平果铝土矿矿石稀土元素球粒陨石标准化配分图

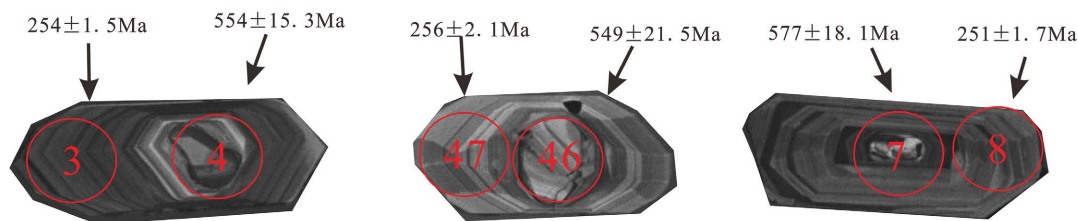




**Figure 7.** Standardized distribution of rare earth elements chondrite of Cambrian strata in southwest Guangxi  
**图 7.** 桂西南寒武系地层稀土元素球粒陨石标准化配分图

### 5.4. 平果铝土矿矿床微量元素分析

通常条件下，岩浆作用形成的锆石往往含钴镍比较高，而由海相沉积成岩作用所形成的岩石含锶钡比较高。为探讨锆石核部与边部的成因差异，尤其是探索锆石边部是否为沉积成岩过程生长形成，选择了锶(Sr)、钡(Ba)、镍(Ni) 3 个特征微量元素作为评价指标，分别对图 8 中三颗锆石的核、边部进行电子探针(EPMA)原位 Ni、Ba、Sr 含量分析(表 2)。根据测试结果，总体上三颗锆石边部均表现出 Ba、Sr 含量相对较高，Ni 为 0 (Ni 值为 0 可能由于含量较低，仪器未能测出)，而锆石核部 Ni 含量较高，Ba、Sr 含量则相对较低。



**Figure 8.** Cathode luminescence diagram with different morphology and age in core and mantle of zircons  
**图 8.** 锆石核、边部存在形貌和年龄差异的阴极发光图

**Table 2.** Test composition of detrital zircon by electron probe microanalysis (EPMA) ( $\times 10^{-6}$ )  
**表 2.** 碎屑锆石电子探针(EPMA)原位测试成分( $\times 10^{-6}$ )

编号	Ni	BaO	SrO	测试位置	年龄(Ma)
3	0	0.019	0.123	边部	254 ± 1.5
4	0.024	0	0.135	核部	554 ± 15.3
7	0.012	0	0.112	核部	577 ± 18.1
8	0	0.031	0.171	边部	251 ± 1.7
46	0.009	0.113	0.096	核部	549 ± 21.5
47	0	0.23	0.199	边部	256 ± 2.1

测试单位：广西隐伏金属矿床勘查重点实验室；测试仪器：电子探针显微分析仪(JXA8230)；测试年份：2021 年。

## 6. 讨论

根据平果铝土矿矿床代表性碎屑锆石阴极发光图像(图 4)和碎屑锆石 U-Pb 年龄谱和图(图 5)可知,样品中碎屑锆石无论从外貌特征上还是 U-Pb 年龄值的指示上都发现其核、边部差异较大,多数表现为核部年龄老,边部年龄新这一特征。根据前人对岩浆岩中继承锆石和变质岩中变质增生锆石与变质重结晶锆石的形貌特征及年代学特研究,推测图 8 中这中核、边部具有明显差异,边界清晰且年代学特征差异明显的锆石应属于一类新的继承性锆石。

传统认为,锆石的形成通常需要在岩浆结晶分异作用下才能形成[2]。如上所述,依据研究区铝土矿矿石年龄测试结果,锆石核部主要年龄为寒武纪,部分为晚元古纪和中元古纪,亦有部分显示为奥陶纪乃至泥盆纪;而锆石边部主要年龄指示为与成矿围岩沉积时期相匹配的二叠纪晚期(合山组期),还有少部分为合山组沉积之后的成岩期(延至三叠纪时期)。然而,平果地区乃至整个桂西南地区岩浆岩发育微弱,仅在平果地区西南部约 100 Km 的胡润地段发育面积较小的加里东期花岗岩(钦甲花岗岩)和在新生代的果化组和北泗组地层局部发现少量凝灰岩;岩浆热液活动也很弱,无论在平果沉积型铝土矿矿层及其下部地层(茅口组灰岩)和上部地层(合山组灰岩),还是寒武系中,均未见高温热液蚀变改造现象(图 3)。由此推测认为:存在非岩浆成因而由外生沉积成岩作用下在原始物源(前寒武纪)所形成的锆石(以岩浆锆石为主)基础上形成的生长型锆石,即在桂西南寒武系形成时期,其物质来源于晚元古至中元古的古老基底(如江南古陆)和岩浆岩,导致其锆石年龄主要显示为寒武纪,部分为晚元古纪和中元古纪,亦有部分为寒武纪之后的奥陶至泥盆纪。而平果铝土矿沉积于二叠纪合山组底部,其成矿物质主要来源于寒武系,一方面导致平果铝土矿的锆石核部继承了寒武系中的全部锆石信息;另一方面导致平果铝土矿的锆石(尤其是锆石边部)年龄主要为 260 Ma 左右,与其沉积时期相对应,部分年龄晚于二叠纪,与其压实成岩期对应。与此同时,由于成矿物质从寒武系古风化壳经长距离搬运至沉积盆地的过程中,大部分锆石在磨蚀作用下被磨圆,导致平果铝土矿矿石中锆石的核部大多呈圆形;在沉积成岩阶段,环境较稳定,导致平果铝土矿矿石中锆石再次生长,形成锆石边部规则、完整的六角形生长纹,从而形成了平果铝土矿矿石中锆石的核边特殊二元结构,以及平果铝土矿矿石与寒武系之间相似的稀土元素特征和锆石中 Ni、Ba、Sr 等特征微量元素含量上的差异。当然,在地表沉积物沉积阶段和成岩阶段的低温条件下,锆石以怎样的机制结晶生长,还有待今后深入研究。

## 7. 结论

通过对平果沉积型铝土矿矿石中的锆石进行多项研究,获得了如下主要结论:

- 1) 无论是手标本,还是显微镜下观察,平果铝土矿矿石中均未见岩浆热液叠加改造现象。
- 2) 大部分碎屑锆石具有特殊的二元结构,其锆石年龄具有多期性,核部主要年龄为寒武纪,边部主体年龄为二叠纪晚期,而且无论是核部还是边部都存在少部分小于主年龄段的年龄值。
- 3) 平果铝土矿矿石与桂西南寒武系具有相似的稀土配分模式,显示成矿物质来源与桂西南寒武系密切相关。
- 4) 推测认为,区内锆石为一种岩浆型(核部)与沉积成岩生长型(边部)结合形成的生长型新锆石,其既继承了物源区原来锆石的信息,也记录了沉积成矿期的信息。

## 基金项目

中国铝业股份有限公司攻关课题“平果铝土矿沉积型矿化成矿规律与找矿方法试验及预测”(RH19200056)资助。

## 参考文献

- [1] 汪相, Pupin, J.P. 法国阿根廷拉花岗岩中锆石的微量元素地球化学特征及地质意义[J]. 地质论评, 1992, 38(3): 260-270.
- [2] 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.
- [3] 王勤燕, 陈能松, 刘嵘. U-Th-Pb 副矿物的原地原位测年微束分析方法比较与微区晶体化学研究[J]. 地质科技情报, 2005, 24(1): 7-13.
- [4] 陈能松, 孙敏, 王勤燕, 罗彦. 原地原位定年技术工作思路探讨——中深变质岩区精细变质年代学格架的建立[J]. 地质科技情报, 2003, 22(2): 1-5.
- [5] Keay, S., Steele, D. and Compston, W. (1999) Identifying Granite Sources by SHRIMP U-Pb Zircon Geochronology: an Application to the Lachlan Foldbelt. *Contributions to Mineralogy & Petrology*, **137**, 323-341. <https://doi.org/10.1007/s004100050553>
- [6] Schaltegger, Fanning, C.M., Gunther, D. (1999) Growth, Annealing and Recrystallization of Zircon and Preservation of Wonalite in High-Grade Metamorphism: Conventional and *in Situ* U-Pb Isotope, Cathodoluminescence and Microchemical Evidence. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **134**, 186-201. <https://doi.org/10.1007/s004100050478>
- [7] Rubatto, D., *et al.* (2001) Zircon and Monazite Response to Prograde Metamorphism in the Reynolds Range, Central Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **140**, 458-468. <https://doi.org/10.1007/PL00007673>
- [8] 郑建平, 路凤香, 余淳梅, 汤华云. 汉诺坝玄武岩中麻粒岩捕虏体锆石 Hf 同位素、U-Pb 定年和微量元素研究: 华北下地壳早期演化的记录[J]. 科学通报, 2004, 49(4): 375-383.
- [9] 郭佩, 刘池洋, 王建强, 李长志. 碎屑锆石年代学在沉积物源研究中的应用及存在问题[J]. 沉积学报, 2017, 35(1): 46-56.
- [10] Hermann, J., Rubatto, D. and Korsakov, A. (2001) Multiple Zircon Growth during Fast Exhumation of Diamondiferous, Deeply Subducted Continental Crust (Kokchetav Massif, Kazakhstan). *Contributions to Mineralogy & Petrology*, **141**, 66-82. <https://doi.org/10.1007/s004100000218>
- [11] Vavra, G., Schmid, R., *et al.* (1999) Internal Morphology, Habit and U-Th-Pb Microanalysis of Amphibolite-to-Granulite Facies Zircons: Geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps). *Contributions to Mineralogy & Petrology*, **134**, 380-404. <https://doi.org/10.1007/s004100050492>
- [12] Rosa, J.D., Jenner, G.A., *et al.* (2002) A Study of Inherited Zircons in Granitoid Rocks from the South Portuguese and Ossa-Morena Zones, Iberian Massif: Support for the Exotic Origin of the South Portuguese Zone. *Tectonophysics*, **353**, 245-256. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00199-3](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00199-3)
- [13] 钟玉芳, 马昌前, 余振兵. 锆石地球化学特征及地质应用研究综述[J]. 地质科技情报, 2006, 25(1): 27-34+40.
- [14] 陈道公, 李彬贤, 夏群科, 吴元保, 程昊. 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.
- [15] 周剑雄, 陈振宇. 电子探针下锆石等矿物的阴极发光研究[J]. 中国地质, 2001, 28(12): 37-38.
- [16] 朱节清, 王毅民. 矿物微区元素分布分析研究——核探针的地质应用初探[J]. 岩矿测试, 1991(4): 262.
- [17] 彭璇, 庄玉军, 辜平阳, 时超, 何世平, 曹佰迪. 柴北缘小赛什腾山片麻状花岗岩的成因: 来自地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束[J]. 西北地质, 2022, 55(4): 221-239.
- [18] 徐盛林, 陈宣华, 马飞宙, 邵兆刚, 丁伟翠, 韩乐乐, 王叶. 西准噶尔拉巴岩体的成因——来自岩石学、年代学和地球化学的证据[J]. 地球学报, 2022, 43(6): 875-894.
- [19] 刘欣, 伍月, 金珊合. 皖浙赣交界莲花山岩体 U-Pb 锆石年龄及其地质意义[J]. 地质与资源, 2021, 30(6): 666-674+682.
- [20] 刘祥, 詹琮窑, 朱弟成, 王青, 谢锦程, 张亮亮. 松潘-甘孜褶皱带南部上三叠统物源及构造抬升: 碎屑锆石年代学和 Hf 同位素证据[J]. 岩石学报, 2021, 37(11): 3513-3538.
- [21] 王安琪, 杨德彬, 许文良, 王清海, 梁景辉. 安徽滁州和管店早白垩世高镁埃达克质侵入岩的成因: 锆石 U-Pb 年代学和 Sr-Nd-Hf 同位素的制约[J]. 岩石学报, 2021, 37(11): 3559-3574.
- [22] 樊婷婷, 车飞翔, 柳益群, 杨皓凯, 周梦影. 准东原中元古代变质碎屑岩锆石 U-Pb 年代学及其意义[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2021, 51(5): 901-910.
- [23] 郭涛, 胡作维, 李云, 史格, 詹旗胜, 李韶昱, 管晋红. 四川北川地区中泥盆统养马坝组碎屑锆石 U-Pb 年代学特征及其构造意义[J]. 地球科学与环境学报, 2021, 43(5): 868-886.
- [24] 张海迪, 陈博, 吕鹏瑞, 罗彦军, 郭伟立, 康磊, 刘生荣, 任广利. 东天山黄山西角闪辉长岩成因及其地质意义:

- 来自锆石 U-Pb 年代学及地球化学的证据[J]. 西北地质, 2021, 54(3): 51-65.
- [25] 王勇生, 马威威, 杨隽豪, 白桥. 大别造山带晚古生代再循环锆石: 合肥盆地新生代基性岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年和 Hf 同位素证据[J]. 地球科学进展, 2023, 1-16.
- [26] 罗涛, 胡兆初. 激光剥蚀电感耦合等离子体质谱副矿物 U-Th-Pb 定年新进展[J]. 地球科学, 2022, 47(11): 4122-4144.
- [27] 许晨, 陈衍景, 周振菊. 小秦岭地区古元古代晚期花岗岩的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质论评, 2022, 68(6): 2053-2073.
- [28] 彭游博, 刘文彬, 姚玉健, 赵军, 谢忠, 骆念岗. 辽宁阜新北部地区早侏罗世花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及铷矿化[J]. 地质论评, 2022, 68(6): 2089-2102.
- [29] 张红雨, 杨立明, 苏犁, 宋述光, 王大川. LA-ICP-MS 独居石的 U(Th)-Pb 年龄精确测定方法及地质意义探究[J]. 现代地质, 2022, 1-33.
- [30] 吴年冬, 王忠伟, 倪战旭, 彭展. 桂东大桂山地区寒武系砂岩地球化学特征及沉积构造环境分析[J]. 桂林理工大学学报, 2020, 40(4): 655-664.
- [31] 潘其云. 广西平果铝土矿田发现史[J]. 广西地质, 1994(2): 89-92.
- [32] 杜晓东, 邹和平, 苏章歆, 劳妙姬, 陈诗艾, 丁汝鑫. 广西大瑶山-大明山地区寒武纪砂岩-泥岩的地球化学特征及沉积-构造环境分析[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1112-1128.
- [33] 戴塔根, 龙永珍, 张起钻, 等. 桂西某些铝土矿床稀土元素地球化学研究[J]. 地质与勘探, 2003, 39(4): 1-5.
- [34] 覃小锋, 王宗起, 张英利, 潘罗忠, 胡贵昂, 周府生. 桂西南早中生代酸性火山岩年代学和地球化学: 对钦-杭结合带西南段构造演化的约束[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 794-808.
- [35] 万兵, 周文煊, 杨承恪. 广西铝土矿的物源探讨[J]. 地质与勘探, 1981(1): 25-32.
- [36] Liu, X.F., Wang, Q.F., Zhang, Q.Z., *et al.* (2017) Genesis of the Permian Karstic Pingguo Bauxite Deposit, Western Guangxi, China. *Mineralium Deposita*, **52**, 1031-1048. <https://doi.org/10.1007/s00126-017-0723-y>
- [37] Cao, J.Y., Wu, Q.H., *et al.* (2017) Metallogenic Mechanism of Pingguo Bauxite Deposit, Western Guangxi, China: Constraints from REE Geochemistry and Multi-Fractal Characteristics of Major Elements in Bauxite Ore. *Journal of Central South University*, **24**, 1627-1636. <https://doi.org/10.1007/s11771-017-3568-8>
- [38] 李献华, 梁细荣, 韦刚健, 刘颖. 锆石 Hf 同位素组成的 LAM-MC-ICPMS 精确测定[J]. 地球化学, 2003, 32(1): 86-90.
- [39] 梁细荣, 李献华, 刘永康, 朱炳泉, 张海洋. 激光探针等离子体质谱法(LAM-ICPMS)用于年轻锆石 U-Pb 定年[J]. 地球化学, 2000, 29(1): 1-5.
- [40] 李任伟, 万渝生, 陈振宇, 周剑雄, 许荣华, 李忠, 江茂生. 根据碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 测年恢复早侏罗世大别造山带源区特征[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2004, 34(4): 320-328.
- [41] 郑永飞, 龚冰, 赵子福, 陈福坤. 大别-苏鲁造山带超高压变质岩原岩性质: 锆石氧同位素和 U-Pb 年龄证据[J]. 科学通报, 2003, 48(2): 110-119.



## 附录

Table A1. Zircon U-Pb age data of ore from three major mining areas in Pingguo

附表 1. 平果三大矿区矿石的锆石 U- Pb 年龄数据

那豆 01	Pb	Th	U	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U
	Total	232	238		Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Age (Ma)	1sigma	Age (Ma)	1sigma
	ppm	ppm	ppm									
1-3-1-1-01	95.89	302.48	1494.27	0.2024	0.387694	0.008903	0.058286	0.000959	332.68	6.51	365.19	5.84
1-3-1-1-02	93.56	792.01	1923.89	0.4117	0.262588	0.006255	0.040250	0.000333	236.75	5.03	254.38	2.06
1-3-1-1-03	82.35	773.06	1493.93	0.5175	0.360918	0.009622	0.042415	0.000330	312.90	7.18	267.79	2.04
1-3-1-1-04	104.27	864.45	2102.72	0.4111	0.276102	0.006398	0.040485	0.000275	247.56	5.09	255.84	1.70
1-3-1-1-05	46.00	378.20	915.88	0.4129	0.291153	0.008121	0.040592	0.000308	259.47	6.39	256.50	1.91
1-3-1-1-06	297.45	534.30	765.50	0.6980	5.426374	0.134227	0.259900	0.003332	1889.03	21.21	1489.33	17.05
1-3-1-1-07	48.40	615.72	863.63	0.7129	0.332834	0.012409	0.041460	0.000386	291.73	9.45	261.87	2.39
1-3-1-1-08	68.65	1046.55	1330.04	0.7869	0.290333	0.009471	0.037701	0.000284	258.82	7.45	238.56	1.77
1-3-1-1-09	128.22	1522.62	2353.64	0.6469	0.335480	0.008163	0.041726	0.000359	293.74	6.21	263.52	2.22
1-3-1-1-10	86.88	918.40	1221.17	0.7521	0.784174	0.048858	0.044289	0.000508	587.86	27.81	279.36	3.14
1-3-1-1-11	101.14	1213.26	2029.99	0.5977	0.257873	0.005677	0.039081	0.000261	232.95	4.58	247.13	1.62
1-3-1-1-12	56.95	560.93	1221.13	0.4594	0.264010	0.006252	0.038148	0.000261	237.89	5.02	241.34	1.62
1-3-1-1-13	89.43	998.27	1797.79	0.5553	0.278693	0.006610	0.041014	0.000388	249.62	5.25	259.12	2.40
1-3-1-1-14	94.74	837.98	2025.16	0.4138	0.271387	0.006345	0.038830	0.000277	243.80	5.07	245.58	1.72
1-3-1-1-15	97.78	698.25	2101.89	0.3322	0.317361	0.010340	0.039207	0.000272	279.87	7.97	247.91	1.69
1-3-1-1-16	41.75	380.45	868.70	0.4380	0.276572	0.006778	0.040201	0.000311	247.93	5.39	254.08	1.92
1-3-1-1-17	146.43	2303.91	2976.48	0.7740	0.379195	0.008758	0.037557	0.000420	326.45	6.45	237.67	2.61
1-3-1-1-18	46.79	367.88	944.93	0.3893	0.314813	0.008233	0.040807	0.000311	277.91	6.36	257.83	1.93
1-3-1-1-19	77.77	795.97	1536.03	0.5182	0.314420	0.007265	0.041609	0.000351	277.60	5.61	262.80	2.17
1-3-1-1-20	43.74	381.16	640.39	0.5952	0.867563	0.047534	0.044793	0.000534	634.24	25.85	282.47	3.30
1-3-1-1-21	102.73	895.57	2271.95	0.3942	0.334438	0.008963	0.038098	0.000339	292.95	6.82	241.03	2.11
1-3-1-1-22	57.18	377.51	1169.79	0.3227	0.335774	0.011112	0.040433	0.000298	293.96	8.45	255.51	1.85
1-3-1-1-23	132.68	3048.42	2382.69	1.2794	0.371190	0.009812	0.040754	0.000550	320.54	7.27	257.50	3.41
1-3-1-1-24	145.57	4203.91	2330.43	1.8039	0.443141	0.009515	0.040367	0.000329	372.47	6.69	255.11	2.04
1-3-1-1-25	94.61	911.91	1939.92	0.4701	0.307635	0.006449	0.040189	0.000296	272.35	5.01	254.00	1.83
1-3-1-1-26	69.03	768.62	1360.83	0.5648	0.296167	0.006625	0.041587	0.000310	263.40	5.19	262.66	1.92
1-3-1-1-27	155.01	2067.23	3397.62	0.6084	0.428858	0.010107	0.036678	0.000625	362.37	7.18	232.21	3.89
1-3-1-1-28	654.75	395.23	791.68	0.4992	32.453672	3.274368	0.337771	0.029911	3564.16	99.70	1875.94	144.16
1-3-1-1-29	43.72	361.02	656.97	0.5495	0.683623	0.018663	0.045096	0.000399	528.96	11.26	284.35	2.46
1-3-1-1-30	15.34	175.52	295.26	0.5944	0.332735	0.012708	0.040390	0.000420	291.65	9.68	255.25	2.60
1-3-1-1-31	39.07	337.91	780.48	0.4330	0.309097	0.008534	0.041307	0.000329	273.48	6.62	260.93	2.04
1-3-1-1-32	58.53	517.05	1196.76	0.4320	0.282578	0.007031	0.041583	0.000407	252.70	5.57	262.64	2.52
1-3-1-1-33	252.25	6495.63	6548.53	0.9919	0.389246	0.008893	0.029152	0.000645	333.82	6.50	185.24	4.04
1-3-1-1-34	95.98	2616.53	1760.29	1.4864	0.384087	0.011115	0.037525	0.000348	330.04	8.15	237.48	2.16
1-3-1-1-35	82.12	862.02	1604.28	0.5373	0.442990	0.011371	0.040606	0.000480	372.36	8.00	256.59	2.98
1-3-1-1-36	46.97	578.94	540.73	1.0707	1.204575	0.081347	0.045227	0.000792	802.70	37.48	285.15	4.88

## Continued

1-3-1-1-37	59.00	519.03	1174.11	0.4421	0.235095	0.007302	0.039779	0.000421	214.40	6.00	251.46	2.61
1-3-1-1-38	72.55	599.17	1516.98	0.3950	0.186899	0.005751	0.038164	0.000444	173.98	4.92	241.44	2.76
1-3-1-1-39	104.25	1972.13	1885.83	1.0458	0.227028	0.008504	0.035755	0.000499	207.74	7.04	226.46	3.10
1-3-1-1-40	378.07	521.26	1126.15	0.4629	2.112509	0.089148	0.240643	0.004185	1152.90	29.09	1390.04	21.75
1-3-1-1-41	21.24	281.08	398.24	0.7058	0.156716	0.010049	0.035724	0.000777	147.82	8.82	226.27	4.84
1-3-1-1-42	189.47	464.77	1740.87	0.2670	0.353159	0.031104	0.077633	0.003025	307.09	23.34	481.98	18.09
1-3-1-1-43	150.84	681.51	3844.50	0.1773	0.127221	0.007586	0.032015	0.000828	121.60	6.83	203.15	5.17
1-3-1-1-44	125.99	860.02	3237.02	0.2657	0.127212	0.005900	0.031570	0.000660	121.59	5.31	200.37	4.12
1-3-1-1-45	108.32	1459.87	2352.90	0.6205	0.203619	0.007806	0.034011	0.000576	188.18	6.59	215.61	3.59
1-3-1-1-46	69.35	692.63	1461.81	0.4738	0.182400	0.005685	0.036784	0.000476	170.12	4.88	232.87	2.96
1-3-1-1-47	83.86	1149.95	1565.65	0.7345	0.259696	0.007266	0.040287	0.000496	234.42	5.86	254.61	3.08
1-3-1-1-48	129.11	1309.65	3203.92	0.4088	0.261543	0.007161	0.036339	0.000616	235.91	5.76	230.10	3.83
1-3-1-1-49	46.12	618.85	932.13	0.6639	0.264330	0.008170	0.039578	0.000378	238.15	6.56	250.22	2.34
1-3-1-1-50	176.03	709.84	1155.24	0.6145	1.031625	0.022460	0.123268	0.000985	719.74	11.23	749.34	5.65
1-3-1-1-51	90.89	677.51	1932.47	0.3506	0.273422	0.006720	0.039909	0.000290	245.43	5.36	252.27	1.80
1-3-1-1-52	135.17	2708.65	3137.31	0.8634	0.530043	0.015717	0.034958	0.000677	431.84	10.43	221.50	4.22
1-3-1-1-53	107.67	904.89	2390.00	0.3786	0.239398	0.005522	0.037750	0.000257	217.93	4.52	238.87	1.60
1-3-1-1-54	78.20	663.14	1574.16	0.4213	0.281632	0.007633	0.039808	0.000276	251.95	6.05	251.64	1.71
1-3-1-1-55	228.25	6418.89	5839.10	1.0993	0.290823	0.008186	0.029969	0.000540	259.21	6.44	190.36	3.38
1-3-1-1-56	47.19	542.99	880.78	0.6165	0.348891	0.011828	0.038917	0.000351	303.89	8.90	246.12	2.18
1-3-1-1-57	128.41	3139.79	3648.36	0.8606	0.270438	0.010622	0.029393	0.000739	243.04	8.49	186.75	4.63
1-3-1-1-58	80.81	724.96	801.08	0.9050	1.048528	0.058203	0.048122	0.000803	728.15	28.86	302.98	4.94
1-3-1-1-59	34.25	529.43	677.19	0.7818	0.216662	0.009497	0.035740	0.000426	199.13	7.93	226.38	2.65
1-3-1-1-60	110.51	1392.31	2028.48	0.6864	0.259248	0.018289	0.035628	0.000480	234.06	14.75	225.68	2.99
1-3-1-1-61	305.34	977.44	1827.72	0.5348	1.516817	0.196114	0.060158	0.003122	937.19	79.28	376.59	18.98
1-3-1-1-62	144.59	1414.33	3731.38	0.3790	0.160705	0.009224	0.031925	0.000667	151.32	8.07	202.58	4.16
1-3-1-1-63	135.80	2358.77	3728.38	0.6327	0.154420	0.010686	0.028285	0.000712	145.81	9.40	179.81	4.46
1-3-1-1-64	65.39	583.17	1367.36	0.4265	0.184533	0.014293	0.035491	0.000682	171.95	12.25	224.82	4.25
1-3-1-1-65	86.80	940.34	1764.56	0.5329	0.133961	0.007506	0.036402	0.000592	127.65	6.72	230.49	3.68
1-3-1-1-66	107.42	928.60	1229.54	0.7552	0.392691	0.018203	0.065079	0.001220	336.33	13.27	406.44	7.39
1-3-1-1-67	43.47	453.29	849.84	0.5334	0.202816	0.010450	0.038050	0.000500	187.51	8.82	240.74	3.10
1-3-1-1-68	90.59	1531.62	1734.65	0.8830	0.251741	0.009124	0.035859	0.000394	227.99	7.40	227.12	2.45
1-3-1-1-69	54.21	571.11	1020.14	0.5598	0.417373	0.017197	0.037467	0.000389	354.17	12.32	237.11	2.42
1-3-1-1-70	95.67	1503.32	1928.84	0.7794	0.205624	0.005661	0.037472	0.000299	189.87	4.77	237.14	1.86
太平 01	Pb	Th	U	Th/U	207Pb/235U	207Pb/235U	206Pb/238U	206Pb/238U	207Pb/235U	207Pb/235U	206Pb/238U	206Pb/238U
	Total	232	238		Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Age (Ma)	1sigma	Age (Ma)	1sigma
	ppm	ppm	ppm									
2-1-3-1-01	89.38052	289.80	1288.84	0.2249	0.437263	0.008553	0.061436	0.000553	368.32	6.04	384.35	3.36
2-1-3-1-02	74.83	875.62	1449.23	0.6042	0.315032	0.007835	0.042855	0.000414	278.07	6.05	270.50	2.56
2-1-3-1-03	31.31	299.21	650.75	0.4598	0.286646	0.007606	0.039731	0.000297	255.92	6.00	251.17	1.84
2-1-3-1-04	62.45	547.79	933.78	0.5866	0.502643	0.018068	0.051370	0.001053	413.49	12.21	322.92	6.46
2-1-3-1-05	81.84	417.30	1349.03	0.3093	0.413403	0.011724	0.052916	0.000898	351.32	8.42	332.40	5.50

## Continued

2-1-3-1-06	182.07	555.92	1446.67	0.3843	1.773146	0.058668	0.114200	0.002722	1035.67	21.48	697.09	15.75
2-1-3-1-07	175.91	1757.52	4561.63	0.3853	0.250887	0.005550	0.035103	0.000649	227.30	4.51	222.41	4.04
2-1-3-1-08	67.35	822.04	1333.23	0.6166	0.286535	0.007303	0.041620	0.000391	255.83	5.76	262.87	2.42
2-1-3-1-09	52.22	523.47	1020.28	0.5131	0.304552	0.007227	0.042256	0.000367	269.95	5.63	266.80	2.27
2-1-3-1-10	90.15	1172.08	1740.04	0.6736	0.283959	0.005484	0.040566	0.000276	253.79	4.34	256.34	1.71
2-1-3-1-11	70.79	532.98	832.03	0.6406	0.478212	0.010082	0.068458	0.000591	396.85	6.93	426.86	3.56
2-1-3-1-12	101.62	297.94	683.74	0.4358	1.536260	0.039516	0.117887	0.001872	945.01	15.82	718.39	10.80
2-1-3-1-13	44.67	407.23	933.10	0.4364	0.267706	0.006218	0.039903	0.000286	240.86	4.98	252.23	1.77
2-1-3-1-14	148.87	1798.85	2935.53	0.6128	0.270296	0.005003	0.039960	0.000290	242.93	4.00	252.59	1.80
2-1-3-1-15	76.70	601.81	1596.84	0.3769	0.267571	0.006389	0.040042	0.000314	240.75	5.12	253.09	1.95
2-1-3-1-16	81.13	1016.61	1591.36	0.6388	0.254244	0.005860	0.040084	0.000262	230.02	4.74	253.36	1.62
2-1-3-1-17	125.83	1521.14	2452.70	0.6202	0.258771	0.005409	0.040353	0.000241	233.68	4.36	255.02	1.49
2-1-3-1-18	37.50	270.05	723.17	0.3734	0.344605	0.010768	0.044316	0.000458	300.66	8.13	279.53	2.83
2-1-3-1-19	42.59	312.21	752.08	0.4151	0.356537	0.012158	0.049319	0.000958	309.63	9.10	310.34	5.89
2-1-3-1-20	30.74	399.28	541.31	0.7376	0.389823	0.015913	0.044155	0.000483	334.24	11.63	278.54	2.98
2-1-3-1-21	317.42	216.46	1931.04	0.1121	2.424740	0.078434	0.138435	0.003512	1249.96	23.26	835.81	19.89
2-1-3-1-22	41.87	530.63	818.04	0.6487	0.270235	0.006774	0.040340	0.000304	242.88	5.42	254.94	1.88
2-1-3-1-23	61.61	755.59	1169.58	0.6460	0.276218	0.006405	0.041164	0.000295	247.65	5.10	260.05	1.82
2-1-3-1-24	55.04	537.05	1061.84	0.5058	0.340380	0.008042	0.040708	0.000273	297.46	6.09	257.22	1.69
2-1-3-1-25	78.27	286.19	1326.17	0.2158	0.391043	0.011463	0.051543	0.000894	335.13	8.37	323.99	5.48
2-1-3-1-26	120.31	608.77	2689.54	0.2263	0.258246	0.005324	0.040262	0.000364	233.25	4.30	254.46	2.26
2-1-3-1-27	17.87	273.55	286.24	0.9557	0.410983	0.019269	0.044821	0.000520	349.58	13.87	282.65	3.21
2-1-3-1-28	31.04	271.54	642.19	0.4228	0.247784	0.007010	0.040301	0.000339	224.77	5.70	254.70	2.10
2-1-3-1-29	60.64	413.98	1334.74	0.3102	0.276438	0.007181	0.039482	0.000330	247.83	5.71	249.62	2.05
2-1-3-1-30	77.17	642.62	1588.26	0.4046	0.264433	0.007212	0.040809	0.000322	238.23	5.79	257.85	2.00
2-1-3-1-31	52.54	685.88	1017.05	0.6744	0.253951	0.008004	0.040388	0.000300	229.78	6.48	255.24	1.86
2-1-3-1-32	52.50	744.77	952.73	0.7817	0.277932	0.009809	0.042736	0.000413	249.02	7.79	269.77	2.55
2-1-3-1-33	40.17	327.42	822.69	0.3980	0.253184	0.008279	0.041190	0.000364	229.16	6.71	260.21	2.25
2-1-3-1-34	144.58	3008.59	3595.64	0.8367	0.269474	0.007620	0.035053	0.000625	242.27	6.10	222.10	3.89
2-1-3-1-35	26.94	98.10	260.87	0.3761	0.701918	0.030250	0.091167	0.001221	539.94	18.05	562.43	7.21
2-1-3-1-36	44.57	126.34	760.72	0.1661	0.391066	0.014228	0.055780	0.000788	335.15	10.39	349.91	4.81
2-1-3-1-37	110.97	904.97	2391.31	0.3784	0.277926	0.007964	0.039554	0.000286	249.01	6.33	250.07	1.78
2-1-3-1-38	61.56	489.37	1302.00	0.3759	0.257426	0.005525	0.040422	0.000299	232.59	4.46	255.45	1.85
2-1-3-1-39	49.94	411.13	1027.04	0.4003	0.271165	0.006431	0.041669	0.000353	243.62	5.14	263.17	2.19
2-1-3-1-40	60.05	371.85	916.58	0.4057	0.416826	0.009371	0.053814	0.000432	353.78	6.72	337.90	2.64
2-1-3-1-41	35.60	410.65	490.70	0.8369	0.774821	0.053643	0.045016	0.000630	582.52	30.70	283.85	3.89
2-1-3-1-42	22.55	278.03	360.62	0.7710	0.545250	0.022387	0.042527	0.000421	441.88	14.71	268.48	2.60
2-1-3-1-43	59.20	376.86	1262.12	0.2986	0.266802	0.006098	0.040738	0.000279	240.13	4.89	257.41	1.73
2-1-3-1-44	89.46	975.39	1864.92	0.5230	0.260870	0.006006	0.039167	0.000263	235.37	4.84	247.66	1.63
2-1-3-1-45	121.45	1308.71	2335.88	0.5603	0.268941	0.006651	0.042382	0.000290	241.85	5.32	267.58	1.79
2-1-3-1-46	78.53	1137.31	1389.64	0.8184	0.317932	0.009725	0.042649	0.000355	280.31	7.49	269.23	2.20
2-1-3-1-47	272.24	1102.98	1102.66	1.0003	5.480540	0.533079	0.091147	0.005078	1897.55	83.71	562.31	30.00

## Continued

2-1-3-1-48	69.60	922.50	1384.34	0.6664	0.254021	0.009287	0.039639	0.000327	229.84	7.52	250.59	2.03
2-1-3-1-49	200.27	5259.28	5588.64	0.9411	0.285162	0.009427	0.029850	0.000693	254.74	7.45	189.61	4.34
2-1-3-1-50	193.26	2736.75	4168.47	0.6565	0.405953	0.012481	0.038119	0.000582	345.96	9.01	241.17	3.61
2-1-3-1-51	47.35	602.42	893.97	0.6739	0.270207	0.008610	0.040809	0.000320	242.86	6.88	257.85	1.98
2-1-3-1-52	79.17	1010.65	1564.50	0.6460	0.287786	0.007745	0.039724	0.000323	256.82	6.11	251.12	2.00
2-1-3-1-53	87.31	1321.49	1947.13	0.6787	0.326414	0.008716	0.036014	0.000407	286.82	6.67	228.08	2.53
2-1-3-1-54	61.76	600.60	1213.58	0.4949	0.268666	0.007860	0.041768	0.000367	241.63	6.29	263.78	2.27
2-1-3-1-55	51.96	436.67	1101.99	0.3963	0.255780	0.007694	0.040506	0.000346	231.26	6.22	255.97	2.15
2-1-3-1-56	65.02	606.75	1307.99	0.4639	0.263094	0.008360	0.041013	0.000318	237.16	6.72	259.11	1.97
2-1-3-1-57	95.89	874.13	2042.98	0.4279	0.250907	0.007270	0.039321	0.000311	227.31	5.90	248.62	1.93
2-1-3-1-58	33.95	293.89	720.23	0.4080	0.242790	0.007785	0.038876	0.000315	220.70	6.36	245.86	1.96
2-1-3-1-59	17.26	167.33	327.36	0.5112	0.301342	0.011771	0.041168	0.000372	267.45	9.18	260.07	2.30
2-1-3-1-60	191.97	2145.49	3334.01	0.6435	0.487550	0.044156	0.038349	0.000647	403.24	30.15	242.59	4.02
2-1-3-1-61	42.72	390.98	798.39	0.4897	0.278841	0.009487	0.044167	0.000556	249.74	7.53	278.61	3.43
2-1-3-1-62	135.59	712.37	1569.74	0.4538	0.805293	0.032847	0.067713	0.001607	599.81	18.48	422.36	9.70
2-1-3-1-63	74.14	904.50	1480.27	0.6110	0.221718	0.007000	0.038576	0.000289	203.34	5.82	244.00	1.79
2-1-3-1-64	32.66	402.40	644.06	0.6248	0.234755	0.009208	0.039370	0.000393	214.12	7.57	248.93	2.44
2-1-3-1-65	84.75	1095.60	1738.61	0.6302	0.266151	0.008675	0.037202	0.000256	239.61	6.96	235.47	1.59
2-1-3-1-66	42.42	383.18	725.63	0.5281	0.292988	0.009168	0.047423	0.000434	260.91	7.20	298.68	2.67
2-1-3-1-67	58.36	663.31	1203.18	0.5513	0.238444	0.006091	0.038657	0.000282	217.15	4.99	244.50	1.75
2-1-3-1-68	52.81	649.57	1011.51	0.6422	0.267333	0.007269	0.040517	0.000310	240.56	5.82	256.04	1.92
2-1-3-1-69	44.92	555.95	889.73	0.6248	0.256383	0.006570	0.040079	0.000321	231.75	5.31	253.32	1.99
2-1-3-1-70	127.23	990.11	3183.35	0.3110	0.272601	0.006305	0.037086	0.000558	244.77	5.03	234.74	3.47
教美 01	Pb	Th	U	Th/U	207Pb/235U	207Pb/235U	206Pb/238U	206Pb/238U	207Pb/235U	207Pb/235U	206Pb/238U	206Pb/238U
	Total	232	238		Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Age (Ma)	1sigma	Age (Ma)	1sigma
	ppm	ppm	ppm									
3-3-9-1-01	96.62	605.58	1653.07	0.3663	0.467167	0.013901	0.055418	0.001244	389.23	9.62	347.70	7.60
3-3-9-1-02	44.36	301.70	898.06	0.3360	0.319062	0.008411	0.042947	0.000319	281.18	6.47	271.07	1.97
3-3-9-1-03	67.06	578.05	1311.35	0.4408	0.349630	0.035639	0.044482	0.000405	304.44	26.82	280.56	2.50
3-3-9-1-04	67.27	488.52	1327.29	0.3681	0.318283	0.006692	0.044368	0.000336	280.58	5.15	279.85	2.07
3-3-9-1-05	273.02	227.68	2484.41	0.0916	1.086636	0.023967	0.107589	0.001389	746.87	11.66	658.73	8.09
3-3-9-1-06	151.19	649.04	1501.08	0.4324	0.863739	0.029207	0.093181	0.002802	632.16	15.91	574.32	16.53
3-3-9-1-07	84.82	613.02	1540.09	0.3980	0.557324	0.023730	0.042726	0.000406	449.78	15.47	269.71	2.51
3-3-9-1-08	57.69	452.11	1204.02	0.3755	0.354026	0.009895	0.041081	0.000404	307.74	7.42	259.53	2.50
3-3-9-1-09	37.10	573.37	600.38	0.9550	0.552098	0.017604	0.041071	0.000311	446.37	11.52	259.47	1.93
3-3-9-1-10	308.80	270.06	602.28	0.4484	14.692578	1.693598	0.166187	0.014851	2795.54	110.01	991.07	82.10
3-3-9-1-11	71.40	315.84	1560.15	0.2024	0.307567	0.006618	0.042239	0.000381	272.29	5.14	266.70	2.35
3-3-9-1-12	42.19	334.86	851.68	0.3932	0.349075	0.009753	0.042438	0.000402	304.03	7.34	267.93	2.48
3-3-9-1-13	61.82	810.96	1152.64	0.7036	0.466979	0.018886	0.040893	0.000364	389.10	13.07	258.37	2.25
3-3-9-1-14	138.57	1066.34	1102.46	0.9672	0.756368	0.014447	0.094308	0.000693	571.91	8.35	580.97	4.08
3-3-9-1-15	93.46	856.91	1215.77	0.7048	0.429302	0.009084	0.059682	0.000368	362.68	6.45	373.69	2.24
3-3-9-1-16	36.69	261.68	730.78	0.3581	0.328374	0.009817	0.041530	0.000375	288.32	7.50	262.31	2.32



## Continued

3-3-9-1-17	31.01	219.57	613.04	0.3582	0.361162	0.010512	0.040420	0.000312	313.08	7.84	255.43	1.93
3-3-9-1-18	83.68	414.50	771.43	0.5373	0.528064	0.030577	0.069827	0.002994	430.52	20.32	435.11	18.04
3-3-9-1-19	100.81	449.95	1105.68	0.4069	0.662640	0.025184	0.072325	0.000584	516.23	15.38	450.15	3.51
3-3-9-1-20	37.99	455.03	760.35	0.5984	0.244521	0.009345	0.038558	0.000305	222.12	7.62	243.89	1.89
3-3-9-1-21	62.64	600.70	1298.04	0.4628	0.230615	0.009136	0.040160	0.000381	210.71	7.54	253.82	2.36
3-3-9-1-22	39.56	423.89	822.19	0.5156	0.275286	0.011447	0.037752	0.000342	246.91	9.11	238.88	2.12
3-3-9-1-23	35.99	287.72	723.27	0.3978	0.297823	0.011442	0.039381	0.000330	264.70	8.95	248.99	2.05
3-3-9-1-24	81.41	1023.64	1591.58	0.6432	0.288157	0.008495	0.038709	0.000269	257.11	6.70	244.83	1.67
3-3-9-1-25	23.04	190.73	476.05	0.4007	0.249658	0.008674	0.040178	0.000362	226.30	7.05	253.93	2.24
3-3-9-1-26	60.81	602.51	1251.24	0.4815	0.273603	0.006788	0.039612	0.000314	245.57	5.41	250.43	1.95
3-3-9-1-27	40.18	379.22	741.11	0.5117	0.409877	0.014328	0.040487	0.000329	348.79	10.32	255.85	2.04
3-3-9-1-28	80.26	632.81	1681.50	0.3763	0.286711	0.006494	0.040336	0.000305	255.97	5.12	254.92	1.89
3-3-9-1-29	65.61	671.23	1336.49	0.5022	0.304273	0.006712	0.040385	0.000311	269.73	5.23	255.22	1.93
3-3-9-1-30	53.19	613.96	1059.30	0.5796	0.292537	0.007086	0.041162	0.000320	260.55	5.57	260.03	1.98
3-3-9-1-31	393.88	496.82	1002.28	0.4957	6.144548	0.170266	0.304529	0.006636	1996.60	24.20	1713.73	32.79
3-3-9-1-32	20.26	196.43	399.38	0.4918	0.332587	0.011245	0.041527	0.000389	291.54	8.57	262.29	2.40
3-3-9-1-33	69.72	394.86	1493.53	0.2644	0.330047	0.007558	0.039916	0.000317	289.60	5.77	252.31	1.96
3-3-9-1-34	31.77	151.98	644.58	0.2358	0.334841	0.010355	0.044454	0.000578	293.25	7.88	280.38	3.57
3-3-9-1-35	57.70	444.20	1065.60	0.4169	0.324839	0.008258	0.046490	0.000435	285.62	6.33	292.94	2.68
3-3-9-1-36	76.02	515.88	1551.08	0.3326	0.398735	0.008511	0.042478	0.000381	340.73	6.18	268.17	2.35
3-3-9-1-37	47.49	431.81	942.03	0.4584	0.347815	0.011178	0.042634	0.000505	303.08	8.42	269.14	3.13
3-3-9-1-38	100.94	629.06	2407.15	0.2613	0.320157	0.009654	0.036559	0.000228	282.02	7.43	231.47	1.42
3-3-9-1-39	46.65	667.45	770.26	0.8665	0.489454	0.015612	0.041470	0.000340	404.54	10.64	261.94	2.11
3-3-9-1-40	239.55	2413.73	2915.33	0.8279	0.609350	0.019230	0.062160	0.000488	483.15	12.13	388.75	2.96
3-3-9-1-41	83.13	932.61	1639.24	0.5689	0.323027	0.007907	0.040402	0.000316	284.23	6.07	255.33	1.96
3-3-9-1-42	137.92	630.64	1815.10	0.3474	0.576722	0.015328	0.072286	0.000903	462.35	9.87	449.91	5.43
3-3-9-1-43	82.01	451.84	929.09	0.4863	0.730524	0.028444	0.070235	0.000540	556.86	16.69	437.57	3.25
3-3-9-1-44	30.60	269.60	656.89	0.4104	0.287681	0.008120	0.039369	0.000344	256.73	6.40	248.92	2.13
3-3-9-1-45	88.90	484.32	1180.42	0.4103	0.684067	0.016024	0.063511	0.001355	529.23	9.66	396.94	8.21
3-3-9-1-46	98.69	1002.66	1993.02	0.5031	0.328287	0.006962	0.040892	0.000289	288.26	5.32	258.36	1.79
3-3-9-1-47	71.99	784.33	724.21	1.0830	0.643546	0.013334	0.074830	0.000577	504.50	8.24	465.19	3.46
3-3-9-1-48	40.09	303.77	858.48	0.3538	0.297479	0.007743	0.039841	0.000293	264.43	6.06	251.85	1.82
3-3-9-1-49	57.84	283.40	491.53	0.5766	0.764012	0.018588	0.097083	0.000803	576.32	10.70	597.29	4.72
3-3-9-1-50	98.25	1190.55	1906.65	0.6244	0.308561	0.006475	0.041083	0.000297	273.06	5.02	259.54	1.84
3-3-9-1-51	148.42	869.67	3858.82	0.2254	0.266902	0.005773	0.035743	0.000527	240.21	4.63	226.39	3.28
3-3-9-1-52	88.75	466.43	1110.13	0.4202	0.582802	0.021440	0.063949	0.001814	466.26	13.75	399.60	10.99
3-3-9-1-53	121.99	1367.63	1249.01	1.0950	0.842936	0.024080	0.069514	0.000595	620.76	13.27	433.22	3.59
3-3-9-1-54	46.89	482.70	914.17	0.5280	0.356466	0.010258	0.040194	0.000284	309.57	7.68	254.03	1.76
3-3-9-1-55	90.07	681.24	1983.12	0.3435	0.281217	0.005436	0.039036	0.000254	251.62	4.31	246.85	1.58
3-3-9-1-56	32.03	329.19	614.62	0.5356	0.421644	0.020374	0.040766	0.000406	357.23	14.55	257.58	2.52
3-3-9-1-57	237.34	119.30	437.87	0.2725	9.464501	0.168309	0.443176	0.003506	2384.11	16.33	2364.84	15.66
3-3-9-1-58	110.30	426.97	1078.63	0.3958	0.851371	0.045824	0.085620	0.003796	625.40	25.14	529.58	22.54

**Continued**

3-3-9-1-59	49.88	177.22	618.69	0.2864	0.533585	0.011969	0.070018	0.000500	434.19	7.92	436.26	3.01
3-3-9-1-60	37.41	339.73	689.98	0.4924	0.431389	0.014219	0.041907	0.000362	364.16	10.09	264.65	2.24
3-3-9-1-61	61.99	443.89	1237.52	0.3587	0.357352	0.010171	0.041054	0.000306	310.24	7.61	259.36	1.90
3-3-9-1-62	49.16	666.53	897.95	0.7423	0.357772	0.009973	0.040894	0.000333	310.55	7.46	258.37	2.06
3-3-9-1-63	377.30	185.31	2135.73	0.0868	1.514357	0.031301	0.160564	0.001018	936.20	12.64	959.91	5.65
3-3-9-1-64	44.68	370.73	959.92	0.3862	0.279864	0.007597	0.038633	0.000266	250.55	6.03	244.36	1.65
3-3-9-1-65	111.10	652.09	2312.86	0.2819	0.335959	0.008642	0.040637	0.000311	294.10	6.57	256.78	1.93
3-3-9-1-66	100.17	709.51	1655.66	0.4285	0.549208	0.029114	0.044566	0.000373	444.48	19.08	281.07	2.30
3-3-9-1-67	26.89	191.16	574.74	0.3326	0.289512	0.009040	0.039823	0.000367	258.18	7.12	251.73	2.28
3-3-9-1-68	125.07	1075.85	1755.93	0.6127	1.436678	0.107616	0.047157	0.001134	904.34	44.87	297.04	6.98
3-3-9-1-69	54.31	313.93	663.42	0.4732	0.489569	0.014581	0.068258	0.000547	404.62	9.94	425.65	3.30

测试单位: 广西隐伏金属矿床勘查重点实验室测试仪器:Agilent 7500cx 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)。