

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2022.03.012

广西平果地区二叠纪喀斯特型铝土矿成矿物质来源研究

刘阿睢^{1,2}, 程顺波^{1,2}, 李荣志³, 韦义师³

LIU A-Sui^{1,2}, CHENG Shun-Bo^{1,2}, LI Rong-Zhi³, WEI Yi-Shi³

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 湖北 武汉 430205;

2. 中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心, 湖北 武汉 430205; 3. 中国冶金地质总局广西地质勘察院, 广西 南宁 530022

1. Wuhan Center of China Geological Survey (Central South China Innovation Center for Geosciences), Wuhan 430205, Hubei, China;

2. Research Center of Granitic Diagenesis and Mineralization, CGS, Wuhan 430205, Hubei, China;

3. Geological Prospecting Institute of Guangxi, CMGB, Nanning 530022, Guangxi, China

摘要:桂西靖西-平果铝土矿带是我国重要的铝土矿产区之一,但是二叠纪喀斯特型铝土矿成矿物质来源尚不明确。本文在1:5万区域地质调查基础上,通过碎屑锆石 LA-(MC)-ICP-MS U-Pb 定年和 Hf 同位素研究初步分析了平果那念矿区二叠纪喀斯特型铝土矿的成矿物质来源。结果显示,两个样品碎屑锆石具单一的峰值年龄,分别为 259.0 Ma 和 256.5 Ma,与中晚二叠世之交的岩浆活动事件相对应。锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值在 -1.5 ~ -16.2 之间,平均 -6.2, Hf 同位素二阶段模式年龄峰值均在 1.7 Ga 左右。结合该区远岸碳酸盐岩台地的古地理格局及铝土岩系中存在的毫米级长石斑晶假象和石英斑晶,推测平果地区二叠纪喀斯特型铝土矿的成矿物质可能来源于西南方向的古特提斯二叠纪岩浆弧成因火山灰。

关键词: 铝土矿; 锆石年龄; Hf 同位素; 物质来源; 广西平果

中图分类号: P618.45; P611

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2022)03-0508-13

Liu A S, Cheng S B, Li R Z and Wei Y S. 2022. The Metallogenic Material Sources of Permian Karst Bauxite in Pingguo Region, Guangxi. *South China Geology*, 38(3):508-520.

Abstract: The Jingxi-Pingguo bauxite belt in western Guangxi is an important bauxite production area in China, but the source of metallogenic materials of Permian karst bauxite is not clear. Based on the 1:50,000 regional geological survey, the LA-(MC)-ICP-MS U-Pb dating and Hf isotope study of detrital zircons are used to preliminarily analyze the metallogenic material sources of Permian karst bauxite in Pingguo Nanian mining area. The results show that the detrital zircons of the two samples have the single peak ages of 259.0 Ma and 256.5 Ma, respectively, corresponding to the magmatic events during the turn of the Middle and Late Permian. The yielded zircon $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ values range from -1.5 to -16.2, with an average of -6.2, and the peak ages of the two-stage Hf model age are around 1.7Ga. Combined with the paleogeographic pattern of the carbonate platform in the far bank of the Pingguo area and the existence of millimeter-sized feldspar porphyry and quartz porphyry in the bauxite series, it is speculated that the metallogenic material of Permian karst bauxite in Pingguo area might have been derived from the volcanic ash of Paleo Tethys magmatic arc in the southwest.

Key words: bauxite; zircon age; Hf isotope; material source; Pingguo area, Guangxi

收稿日期: 2021-9-22; 修回日期: 2021-12-5

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20160034、DD20221689)、中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心开放基金课题(PMGR202110)

第一作者: 刘阿睢(1984—), 男, 高级工程师, 长期从事基础、矿产地质调查研究, E-mail: lrs_512@163.com

桂西地区迄今已查明的铝土矿资源储量居全国前列,是我国重要的铝土矿产地和资源开发基地之一,也是我国铝土矿研究的最重要地区之一。桂西铝土矿的矿床类型,大致可分为二叠纪喀斯特型和第四纪岩溶堆积型(刘长龄,1992)。对于该区的岩溶堆积型铝土矿成因,绝大多数研究者的观点比较一致,认为是由上二叠统合山组底部的喀斯特型铝土矿层在第四纪表生条件下,经物理、化学风化作用改造而形成(范长智,1995;廖思福,2000;戴塔根等,2007;李普涛和张起钻,2008)。而对于上二叠统合山组底部的喀斯特型铝土矿的成因,众多学者也有比较统一的认识,认为其为早期各类母岩发生红土化风化作用形成的红土风化壳物质,经沉积形成铝土矿(戴塔根等,2003;王力等,2004;李普涛和张起钻,2008;王庆飞等,2012)。对于喀斯特型铝土矿的物源,前人大量研究认为其成矿物质的岩石类型包括:碳酸盐岩、火山岩岩屑、火山灰、风搬运物质、铁镁质岩石和酸性岩浆岩等(Bardossy, 1982; Brimhall et al., 1988; MacLean et al., 1997; Morelli et al., 2000; Mameli et al., 2007; Deng J et al., 2010)。

随着同位素定年技术的发展,碎屑锆石定年逐步应用到铝土矿源岩的研究中,使喀斯特型铝土矿的物源研究有了新的进展。众多研究结果表明,桂西地区铝土矿碎屑锆石年龄集中分布在263-257Ma之间(张起钻,2011; Yu W C et al., 2016),由于该年龄与峨眉山大火成岩省的活动时间一致,部分学者认为桂西地区铝土矿源自于峨眉山幔柱形成的远端岩浆岩。但也有学者通过矿物学和主、微量元素特征,结合岩相古地理、Hf同位素特征,推测桂西铝土矿的物源可能主要来自古特提斯二叠纪岩浆弧(侯莹铃等,2014)。本文通过研究广西平果地区那念矿区喀斯特型铝土矿顶、底层位的碎屑锆石和Hf同位素,分析其源岩性质及物质来源,希望对桂西地区喀斯特型铝土矿的物源研究有新的启示。

1 地质背景

右江盆地是在华南加里东造山带夷平的基础上再次裂陷形成的,为金沙江-红河-马江缝合带与

扬子板块之间的大陆边缘盆地(杜远生等,2013)。该盆地的形成与金沙江-哀牢山古特提斯洋盆关系密切,从早到晚经历了早期裂谷(D-P₁)、晚期裂谷和被动大陆边缘(P₂-T₁)、前陆盆地(T₂-T₃)三个阶段(秦建华等,1996)。广西运动后沉积泥盆系至中三叠统,早泥盆世初形成稳定的盖层沉积;早泥盆世晚期,地壳开始产生张裂,在此拉张的构造背景下,逐步形成许多大小不一的浅水碳酸盐岩孤立台地和深水台沟,形成棋盘式的台地、台间裂陷槽间列的沉积格局,构成“台、沟”相间的古地理景观,此现象维持到早三叠世(广西区域地质调查研究院,2016)。

桂西地区大地构造位置处于华南板块南部、扬子板块西南缘,是右江盆地的主体部分,在中二叠世继承了孤立碳酸盐台地与台间海槽相间的古地理形态特征,按沉积相可划分出台地内部相、台地边缘-上斜坡相、下斜坡-台沟相三种沉积类型(程顺波等,2020)。中二叠世末期海平面下降,碳酸盐孤台抬升成为海岛从而受到剥蚀,表面形成凹凸不平的喀斯特溶沟,晚二叠世随着海平面上升,碳酸盐孤台再次沉降接受沉积,直至中三叠世末,抬升成陆。

平果地区位于广西西南部,处于隆林—百色—南宁裂陷带东南缘,属桂西地层小区。区内出露中晚泥盆统-古近系,除古近系、第四系为陆相沉积外,中晚泥盆统、石炭系、二叠系、早中三叠统属海相沉积。受区域构造影响,区内沉积格局由坡造、平果、龙味和天等四个孤立台地和台地之间的沟槽组成(图1)。

2 矿床地质特征

平果地区自北向南分布有四个喀斯特型铝土矿床(或矿化带),分别是太平矿床、布绒矿床、果化矿床和都结矿化带(图1),均产于孤立碳酸盐台地内部。铝土矿体赋存于台地内部相上二叠统合山组底部,与中二叠统茅口组呈平行不整合接触。矿体受古喀斯特面影响,呈似层状、透镜状和囊状,单个矿体长度大者数百米至四千米,小者仅为数十米。矿体厚度变化较大,一般1-4米,局部超过10米。

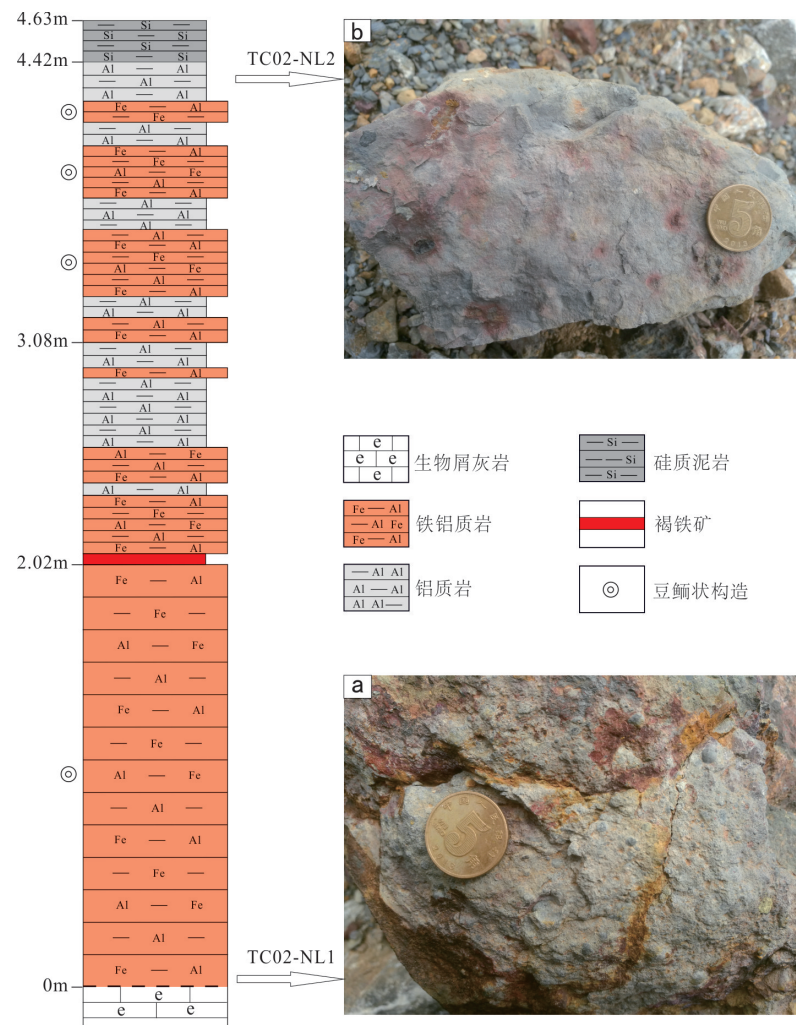


图2 平果那念二叠纪铝土矿层序及采样位置图

Fig. 2 Stratigraphic succession of Permian bauxites and sampling area at Nanian, Pingguo

a. 豆鲕状铁铝质岩(TC02-NL1); b. 层状含豆鲕铝质岩(TC02-NL2)

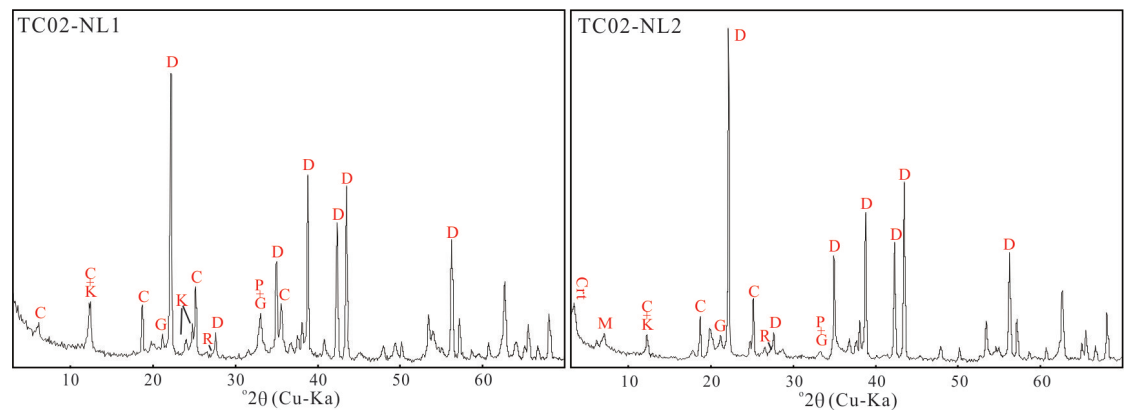


图3 X射线粉晶衍射(XRD)分析结果

Fig. 3 XRD analysis of Permian bauxites at Nanian, Pingguo

TC02-NL1. 块状铁铝质岩; TC02-NL2. 层状铝质岩; C. 鲕绿泥石; K. 高岭石; D. 一水硬铝石; M. 蒙脱石; P. 黄铁矿; G. 针铁矿; R. 金红石; Crt. 柯绿泥石

CuK α 1 靶,电压 40kV,电流 80mA,石墨单色器,扫描方式为连续扫描,扫描速度 8°/min,狭缝 DS=SS=1°,环境温度 18℃,湿度 30%。

锆石 U-Pb 同位素定年和 Hf 同位素分析在南京聚谱检测科技有限公司完成。锆石 U-Pb 定年分析所用激光剥蚀系统为 AnalyteExcite, ICP-MS 型号为 Agilent7700x,所用斑束直径为 35 μ m,以 He 为载气。采样方式为单点剥蚀,数据采集采用时间分辨动态模式接收。每个时间分辨分析数据包括大约 20-30 S 的空白信号和 50 S 的样品信号。样品分析前用锆石 NIST610 进行仪器调试,分析时以锆石 GJ-1 为外标。每测定 10 个样品点前后重复测定两个锆石 GJ-1 对样品进行校正,中间测量一个锆石标样 Plesovice。 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 的测试精度(2 σ)小于 2%。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMS Data Cal(Liu Y S et al., 2008),年龄谐和图制作和年龄权重平均计算采用软件 Isoplot 3.0(Ludwig, 2003)。

锆石 Hf 同位素分析在 Nu PlasmaII 型多接收 MC-ICP-MS 仪器上完成。准分子激光发生器产生的深紫外光束经匀化光路聚焦于锆石表面,能量密度为 6.0 J/cm²,束斑直径为 50 μ m,频率为 8 Hz,共剥蚀 40 秒,剥蚀气溶胶由氦气送入 MC-ICP-MS 完

成测试。测试过程中每测试 10 次样品锆石,交替测试 2 次标准锆石(包括 GJ-1、91500、Plešovice、Mud-Tank、Penglai),以检验锆石 Hf 同位素比值数据质量。对分析数据的离线处理采用软件 ICPMS Data Cal 完成。采用的计算参数分别为:($^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$)_{CHUR}=0.0332, ($^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$)_{CHUR}=0.282772; ($^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$)_{DM}=0.0384, ($^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$)_{DM}=0.28325。 ^{176}Lu 的衰变常数为 $1.867\times 10^{-11}\text{a}^{-1}$ (Söderlund et al., 2004)。

4 测试结果

4.1 锆石特征及 U-Pb 年龄

两件样品挑选出的碎屑锆石均为无色透明-浅褐色,长柱状,晶体长 80~220 μ m,宽 40~120 μ m,长宽比为 2~3,少数为等轴状,边部未见磨圆,内部包裹体较少。阴极发光照片显示,绝大多数锆石具有岩浆锆石所具有的韵律环带特征(图 4)。所有分析点位于锆石边部,其 Th、U、Pb 含量分别为 45.35~362.1 $\mu\text{g/g}$ 、59.29~771.39 $\mu\text{g/g}$ 、2.80~66.58 $\mu\text{g/g}$,Th/U 值绝大多数为 0.25~1.279,平均为 0.533(表 1)。

样品 TC02-NL1 测试了 76 颗锆石,获得了 56 组锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄,谐和度 93%~99%;这些锆石年龄的谱系图出现单一的高峰(图 5),峰值为 259.0 Ma。其中 41 组锆石年龄为 253.4~

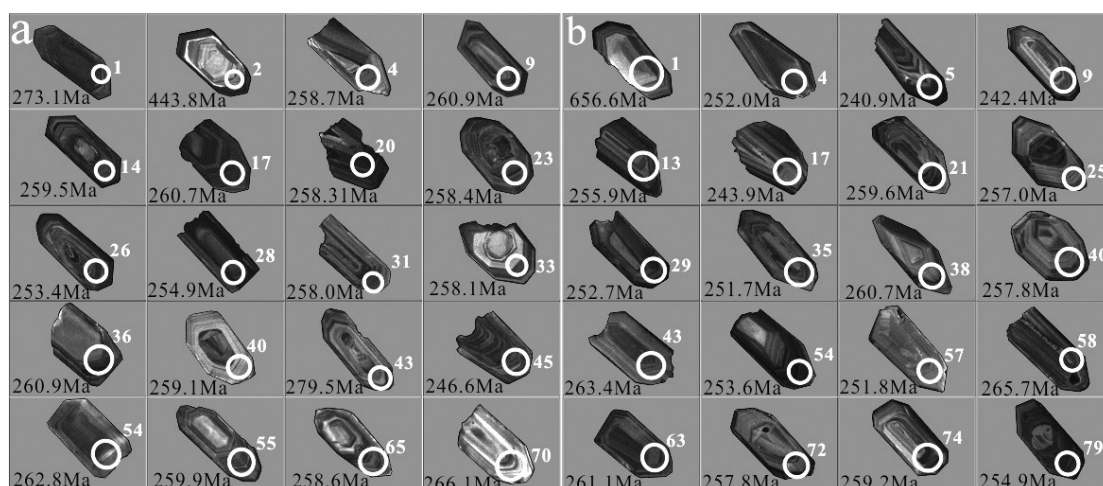


图 4 典型碎屑锆石阴极发光照片

Fig. 4 Cathodoluminescence images of representative detrital zircon samples of Permian bauxites at Nanian, Pingguo

a. 样品 TC02-NL1; b. 样品 TC02-NL2; 白色圆圈代表激光靶位,斑束直径为 35 μ m

Table 1 LA-ICP MS zircon U-Pb dating results of the Ferriculminite (TC02-NL1) and aluminum rock (TC02-NL2) in Nanian, Pingguo

点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值				年龄(Ma)						
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
TC02-NL1-01	23.22	230.13	498.64	0.46151	0.0016	0.3157	0.0091	0.0433	0.0005	324.1	68.5	278.6	7.0	273.1	2.9
TC02-NL1-02*	15.10	56.71	207.12	0.27380	0.0014	0.5494	0.0137	0.0713	0.0006	438.9	55.6	444.6	9.0	443.8	3.8
TC02-NL1-03	12.26	127.51	271.83	0.46909	0.0016	0.3113	0.0092	0.0424	0.0005	350.1	68.5	275.2	7.1	267.7	2.8
TC02-NL1-04	12.32	172.44	269.62	0.63956	0.0021	0.2921	0.0114	0.0409	0.0004	279.7	90.7	260.2	8.9	258.7	2.7
TC02-NL1-07	23.49	227.43	529.02	0.42990	0.0013	0.3008	0.0077	0.0421	0.0004	264.9	59.3	267.0	6.0	265.6	2.5
TC02-NL1-09	15.07	166.40	344.26	0.48336	0.0018	0.2862	0.0096	0.0413	0.0005	227.8	83.3	255.6	7.6	260.9	3.0
TC02-NL1-10	27.98	236.29	656.24	0.36006	0.0012	0.2942	0.0070	0.0412	0.0004	264.9	55.6	261.9	5.5	260.4	2.3
TC02-NL1-11*	11.89	161.17	215.04	0.74950	0.0021	0.3529	0.0127	0.0477	0.0006	394.5	85.2	306.9	9.5	300.5	3.4
TC02-NL1-12*	63.47	188.35	355.07	0.53045	0.0012	1.6678	0.0271	0.1622	0.0012	1044.1	32.6	996.3	10.3	968.8	6.5
TC02-NL1-13	19.15	275.01	414.86	0.66290	0.0013	0.2875	0.0074	0.0416	0.0004	190.8	59.2	256.6	5.8	262.7	2.4
TC02-NL1-14	15.05	153.20	342.49	0.44732	0.0018	0.3007	0.0099	0.0411	0.0004	320.4	75.9	267.0	7.7	259.5	2.6
TC02-NL1-15	20.46	236.43	452.71	0.52226	0.0014	0.3145	0.0080	0.0411	0.0004	431.5	57.4	277.6	6.2	259.8	2.5
TC02-NL1-17	22.96	236.67	522.41	0.45304	0.0012	0.2917	0.0072	0.0413	0.0004	242.7	55.5	259.9	5.6	260.7	2.4
TC02-NL1-18*	11.33	185.28	252.90	0.73262	0.0015	0.2952	0.0078	0.0391	0.0004	405.6	61.1	262.6	6.1	247.4	2.4
TC02-NL1-19*	14.81	63.34	252.43	0.25094	0.0014	0.4437	0.0100	0.0554	0.0005	600.0	50.0	372.9	7.1	347.7	3.0
TC02-NL1-20	33.25	234.74	771.39	0.30430	0.0012	0.2984	0.0069	0.0409	0.0004	316.7	53.7	265.2	5.4	258.3	2.7
TC02-NL1-23	18.91	184.68	429.01	0.43049	0.0014	0.3024	0.0077	0.0409	0.0004	353.8	56.5	268.2	6.0	258.4	2.4
TC02-NL1-25	22.33	54.23	549.76	0.09864	0.0013	0.3110	0.0077	0.0406	0.0004	416.7	58.3	275.0	5.9	256.6	2.7
TC02-NL1-26	15.48	235.04	337.49	0.69645	0.0016	0.2995	0.0090	0.0401	0.0004	364.9	68.5	266.0	7.0	253.4	2.7
TC02-NL1-27*	19.40	177.90	456.45	0.38975	0.0014	0.2922	0.0077	0.0392	0.0004	353.8	54.6	260.3	6.1	247.8	2.4
TC02-NL1-28	18.13	184.47	412.30	0.44742	0.0013	0.2984	0.0070	0.0403	0.0004	346.4	49.1	265.1	5.5	254.9	2.3
TC02-NL1-31	14.72	209.24	314.83	0.66462	0.0015	0.2947	0.0080	0.0408	0.0004	300.1	60.2	262.3	6.3	258.0	2.5
TC02-NL1-33	7.08	79.24	155.96	0.50810	0.0022	0.2988	0.0118	0.0409	0.0005	346.4	92.6	265.5	9.2	258.1	3.2
TC02-NL1-34	15.53	194.10	348.43	0.55709	0.0017	0.2908	0.0090	0.0399	0.0004	301.9	72.2	259.2	7.1	251.9	2.4
TC02-NL1-35	19.51	261.21	418.25	0.62451	0.0015	0.2965	0.0080	0.0411	0.0004	287.1	64.8	263.6	6.3	259.6	2.5
TC02-NL1-36	14.31	115.37	320.20	0.36031	0.0019	0.2918	0.0098	0.0413	0.0006	257.5	83.3	260.0	7.7	260.9	3.5
TC02-NL1-37*	66.58	157.57	255.30	0.61720	0.0017	2.7337	0.0508	0.2245	0.0020	1364.8	37.0	1337.7	13.8	1305.8	10.6
TC02-NL1-38	17.30	236.31	377.40	0.62614	0.0014	0.2941	0.0078	0.0402	0.0004	309.3	58.3	261.8	6.1	254.3	2.5
TC02-NL1-40	15.73	124.12	353.76	0.35088	0.0018	0.3105	0.0105	0.0410	0.0005	383.4	77.8	274.6	8.2	259.1	3.1
TC02-NL1-43*	22.03	217.42	460.50	0.47214	0.0012	0.3177	0.0073	0.0443	0.0004	333.4	53.7	280.1	5.6	279.5	2.5
TC02-NL1-44	2.80	47.20	59.29	0.79603	0.0037	0.2984	0.0178	0.0404	0.0007	372.3	155.5	265.1	14.0	255.5	4.2

续表1

点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U				同位素比值				年龄(Ma)				
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
					1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ		
TC02-NL1-45	19.43	308.73	435.55	0.70883	0.0539	0.0012	0.2932	0.0066	0.0390	0.0003	368.6	51.8	261.1	5.2	246.6	2.1
TC02-NL1-48	27.48	362.10	586.50	0.61739	0.0529	0.0012	0.3118	0.0067	0.0424	0.0004	324.1	19.4	275.6	5.2	267.9	2.3
TC02-NL1-49	10.14	124.98	232.02	0.53868	0.0533	0.0016	0.2966	0.0086	0.0404	0.0004	338.9	38.0	263.8	6.8	255.3	2.6
TC02-NL1-50	22.61	257.98	506.90	0.50894	0.0526	0.0014	0.3026	0.0081	0.0413	0.0004	322.3	61.1	268.4	6.3	260.9	2.7
TC02-NL1-51	15.43	145.25	348.71	0.41653	0.0498	0.0015	0.2914	0.0083	0.0423	0.0004	183.4	63.9	259.6	6.5	267.2	2.5
TC02-NL1-52	23.86	131.27	552.46	0.23761	0.0505	0.0012	0.2997	0.0071	0.0429	0.0005	220.4	57.4	266.2	5.6	270.5	3.0
TC02-NL1-53	9.34	95.80	211.41	0.45316	0.0516	0.0019	0.2925	0.0102	0.0411	0.0004	333.4	83.3	260.5	8.0	259.7	2.7
TC02-NL1-54	14.32	196.50	312.40	0.62899	0.0503	0.0014	0.2911	0.0082	0.0416	0.0004	209.3	64.8	259.4	6.4	262.8	2.5
TC02-NL1-55	14.85	163.25	339.06	0.48147	0.0505	0.0016	0.2889	0.0091	0.0411	0.0004	220.4	78.7	257.7	7.2	259.9	2.6
TC02-NL1-57	20.59	236.70	472.44	0.50101	0.0494	0.0014	0.2829	0.0082	0.0411	0.0005	168.6	68.5	252.9	6.5	259.9	2.9
TC02-NL1-58	16.19	245.87	351.55	0.69940	0.0505	0.0014	0.2918	0.0080	0.0418	0.0004	216.7	64.8	260.0	6.3	263.8	2.5
TC02-NL1-59	13.78	146.28	311.88	0.46903	0.0505	0.0013	0.2889	0.0074	0.0415	0.0004	220.4	56.5	257.7	5.9	262.3	2.8
TC02-NL1-60*	34.48	286.65	433.81	0.66077	0.0552	0.0011	0.5572	0.0107	0.0727	0.0006	420.4	44.4	449.7	7.0	452.7	3.4
TC02-NL1-62	14.96	168.29	343.37	0.49011	0.0531	0.0014	0.3014	0.0074	0.0413	0.0004	344.5	57.4	267.5	5.7	260.8	2.7
TC02-NL1-63	19.94	281.60	433.28	0.64993	0.0542	0.0013	0.3190	0.0071	0.0427	0.0004	388.9	53.7	281.1	5.5	269.7	2.3
TC02-NL1-64	13.86	140.85	329.31	0.42772	0.0533	0.0013	0.2982	0.0071	0.0408	0.0004	342.7	53.7	265.0	5.6	257.5	2.4
TC02-NL1-65	10.24	131.04	225.10	0.58213	0.0522	0.0017	0.2963	0.0096	0.0409	0.0004	294.5	74.1	263.5	7.5	258.6	2.5
TC02-NL1-66*	22.85	258.70	540.33	0.47878	0.0514	0.0011	0.2794	0.0058	0.0392	0.0003	257.5	48.1	250.2	4.6	247.7	1.6
TC02-NL1-67	16.66	141.14	389.51	0.36234	0.0533	0.0013	0.2997	0.0072	0.0406	0.0003	338.9	53.7	266.2	5.6	256.7	2.0
TC02-NL1-69*	10.10	225.80	213.47	1.05777	0.0523	0.0015	0.2829	0.0082	0.0393	0.0004	301.9	66.7	253.0	6.5	248.4	2.2
TC02-NL1-70	9.62	133.93	205.72	0.65103	0.0548	0.0021	0.3123	0.0112	0.0421	0.0005	466.7	85.2	276.0	8.7	266.1	3.3
TC02-NL1-71	8.67	83.46	200.02	0.41724	0.0517	0.0017	0.2859	0.0086	0.0406	0.0004	272.3	74.1	255.4	6.8	256.4	2.3
TC02-NL1-73	26.24	278.23	613.36	0.45362	0.0528	0.0011	0.2932	0.0058	0.0403	0.0003	320.4	46.3	261.0	4.5	254.6	1.8
TC02-NL1-75	12.37	305.05	238.53	1.27889	0.0532	0.0017	0.3039	0.0094	0.0417	0.0004	338.9	72.2	269.5	7.3	263.6	2.4
TC02-NL1-76*	13.20	197.67	304.54	0.64907	0.0531	0.0014	0.2865	0.0072	0.0394	0.0003	331.5	28.7	255.8	5.7	249.2	1.9
TC02-NL2-01*	26.49	59.12	244.90	0.24142	0.0666	0.0015	0.9829	0.0218	0.1072	0.0012	833.3	48.1	695.1	11.2	656.6	7.2
TC02-NL2-03	14.02	108.62	337.47	0.32185	0.0542	0.0014	0.3010	0.0075	0.0403	0.0003	388.9	59.3	267.2	5.9	254.7	2.1
TC02-NL2-04	12.87	139.57	301.21	0.46337	0.0534	0.0016	0.2906	0.0079	0.0399	0.0004	342.7	66.7	259.0	6.3	252.0	2.2
TC02-NL2-05	11.77	127.38	287.69	0.44278	0.0530	0.0013	0.2791	0.0066	0.0381	0.0003	327.8	55.6	249.9	5.3	240.9	1.8
TC02-NL2-09	15.10	270.98	337.34	0.80329	0.0517	0.0012	0.2748	0.0061	0.0383	0.0003	272.3	50.0	246.5	4.9	242.4	1.9
TC02-NL2-13	10.25	115.19	234.29	0.49168	0.0514	0.0015	0.2841	0.0076	0.0405	0.0003	257.5	66.7	253.9	6.0	255.9	2.2
TC02-NL2-14	7.26	98.73	157.17	0.62815	0.0539	0.0026	0.3025	0.0136	0.0411	0.0006	364.9	112.0	268.3	10.6	259.7	3.4

续表 1

点号	元素含量($\times 10^{-6}$)				Th/U				同位素比值				年龄(Ma)			
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
TC02-NL2-15	26.36	148.59	634.70	0.23411	0.0520	0.0009	0.2907	0.0050	0.0404	0.0003	287.1	34.3	259.1	4.0	255.4	2.0
TC02-NL2-17	18.03	108.69	455.68	0.23853	0.0503	0.0011	0.2678	0.0054	0.0386	0.0003	209.3	45.4	241.0	4.4	243.9	1.8
TC02-NL2-21	15.16	225.27	324.37	0.69449	0.0531	0.0014	0.3015	0.0077	0.0411	0.0004	344.5	61.1	267.6	6.0	259.6	2.6
TC02-NL2-24*	23.41	165.40	288.11	0.57409	0.0557	0.0014	0.5640	0.0134	0.0727	0.0008	442.6	53.7	454.1	8.7	452.3	4.7
TC02-NL2-25	14.32	89.70	343.68	0.26100	0.0513	0.0016	0.2903	0.0092	0.0407	0.0005	253.8	69.4	258.8	7.2	257.0	2.9
TC02-NL2-29	8.82	122.44	199.87	0.61257	0.0537	0.0019	0.2953	0.0093	0.0400	0.0004	361.2	77.8	262.7	7.3	252.7	2.3
TC02-NL2-35	19.78	270.37	454.92	0.59434	0.0513	0.0011	0.2818	0.0055	0.0398	0.0003	253.8	48.1	252.1	4.4	251.7	1.6
TC02-NL2-36*	37.84	492.16	322.95	1.52395	0.0585	0.0010	0.6811	0.0117	0.0843	0.0007	546.3	38.9	527.5	7.1	521.5	4.1
TC02-NL2-38	16.15	180.64	367.74	0.49122	0.0519	0.0011	0.2957	0.0061	0.0413	0.0003	279.7	50.0	263.1	4.8	260.7	1.8
TC02-NL2-40	10.79	110.09	250.60	0.43929	0.0506	0.0014	0.2839	0.0077	0.0408	0.0003	233.4	60.2	253.7	6.1	257.8	2.0
TC02-NL2-43	9.97	104.68	225.37	0.46447	0.0528	0.0016	0.3024	0.0091	0.0417	0.0004	320.4	68.5	268.3	7.1	263.4	2.2
TC02-NL2-45	9.93	96.25	237.77	0.40481	0.0516	0.0015	0.2846	0.0080	0.0401	0.0003	333.4	60.2	254.3	6.3	253.4	2.0
TC02-NL2-46	37.19	287.90	898.49	0.32043	0.0523	0.0013	0.2956	0.0082	0.0407	0.0003	298.2	55.6	262.9	6.5	257.3	1.6
TC02-NL2-50	22.16	82.78	537.86	0.15390	0.0530	0.0012	0.3071	0.0070	0.0419	0.0004	327.8	56.5	271.9	5.4	264.5	2.3
TC02-NL2-51*	36.54	141.57	319.87	0.44258	0.0673	0.0011	1.0142	0.0192	0.1088	0.0013	855.6	34.1	711.0	9.7	665.9	7.4
TC02-NL2-52	9.18	93.48	212.79	0.43930	0.0527	0.0017	0.2931	0.0092	0.0404	0.0004	316.7	72.2	261.0	7.3	255.3	2.5
TC02-NL2-54	28.27	160.41	690.15	0.23243	0.0525	0.0010	0.2930	0.0055	0.0401	0.0003	309.3	42.6	260.9	4.3	253.6	1.7
TC02-NL2-56*	95.56	219.38	580.69	0.37778	0.0739	0.0012	1.5692	0.0258	0.1528	0.0012	1038.9	33.3	958.1	10.2	916.6	7.0
TC02-NL2-57	4.60	54.68	103.87	0.52645	0.0533	0.0025	0.2904	0.0132	0.0398	0.0005	342.7	112.0	258.9	10.4	251.8	3.3
TC02-NL2-58	20.28	356.85	404.53	0.88213	0.0526	0.0016	0.3045	0.0085	0.0421	0.0004	322.3	73.1	269.9	6.6	265.7	2.4
TC02-NL2-62*	61.64	82.37	188.39	0.43723	0.1049	0.0017	4.3183	0.0716	0.2963	0.0025	1713.3	30.1	1696.9	13.7	1672.9	12.7
TC02-NL2-63	9.01	88.84	207.14	0.42889	0.0527	0.0019	0.2978	0.0101	0.0413	0.0005	316.7	79.6	264.7	7.9	261.1	2.8
TC02-NL2-64*	41.80	120.34	423.05	0.28445	0.0610	0.0011	0.8269	0.0136	0.0980	0.0007	638.9	32.4	611.9	7.6	602.9	3.9
TC02-NL2-70*	34.28	110.92	160.14	0.69264	0.0786	0.0016	2.0397	0.0415	0.1885	0.0020	1162.0	41.2	1128.8	13.9	1113.5	10.6
TC02-NL2-72	6.22	60.30	146.96	0.41029	0.0539	0.0020	0.2984	0.0104	0.0408	0.0004	364.9	88.0	265.2	8.1	257.8	2.5
TC02-NL2-74	11.35	113.13	263.49	0.42935	0.0517	0.0014	0.2921	0.0078	0.0410	0.0003	272.3	67.6	260.2	6.2	259.2	2.1
TC02-NL2-75*	30.54	229.47	132.32	1.73416	0.0768	0.0016	1.7191	0.0375	0.1616	0.0019	1116.7	45.4	1015.7	14.0	965.9	10.8
TC02-NL2-76	27.36	330.34	603.54	0.54733	0.0530	0.0012	0.3076	0.0071	0.0421	0.0004	331.5	56.5	272.3	5.5	265.6	2.5
TC02-NL2-78	6.85	69.40	161.71	0.42918	0.0512	0.0017	0.2837	0.0089	0.0407	0.0004	255.6	75.9	253.6	7.0	257.1	2.3
TC02-NL2-79	19.96	89.81	503.19	0.17849	0.0529	0.0012	0.2946	0.0063	0.0403	0.0003	327.8	50.0	262.2	4.9	254.9	1.8
TC02-NL2-80*	16.62	67.36	341.08	0.19749	0.0523	0.0013	0.3450	0.0094	0.0473	0.0006	298.2	55.6	300.9	7.1	297.8	3.9

*为未参与年龄计算铅石测点

267.9 Ma, 加权平均年龄为 260.2 ± 1.4 Ma (MSWD=2.9); 有 7 组锆石年龄显示为 246.6 ~ 251.3 Ma, 这与地质事实不符, 给予剔除; 有 8 组锆石年龄为 278.0 Ma 至 1364.8 Ma 不等, 为离群

值, 未参与年龄计算。

样品 TC02-NL2 测试了 80 颗锆石, 获得了 38 组锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄, 谐和度 95%-99%。这些锆石年龄的谱系图也出现单一的高峰(图 5), 峰值

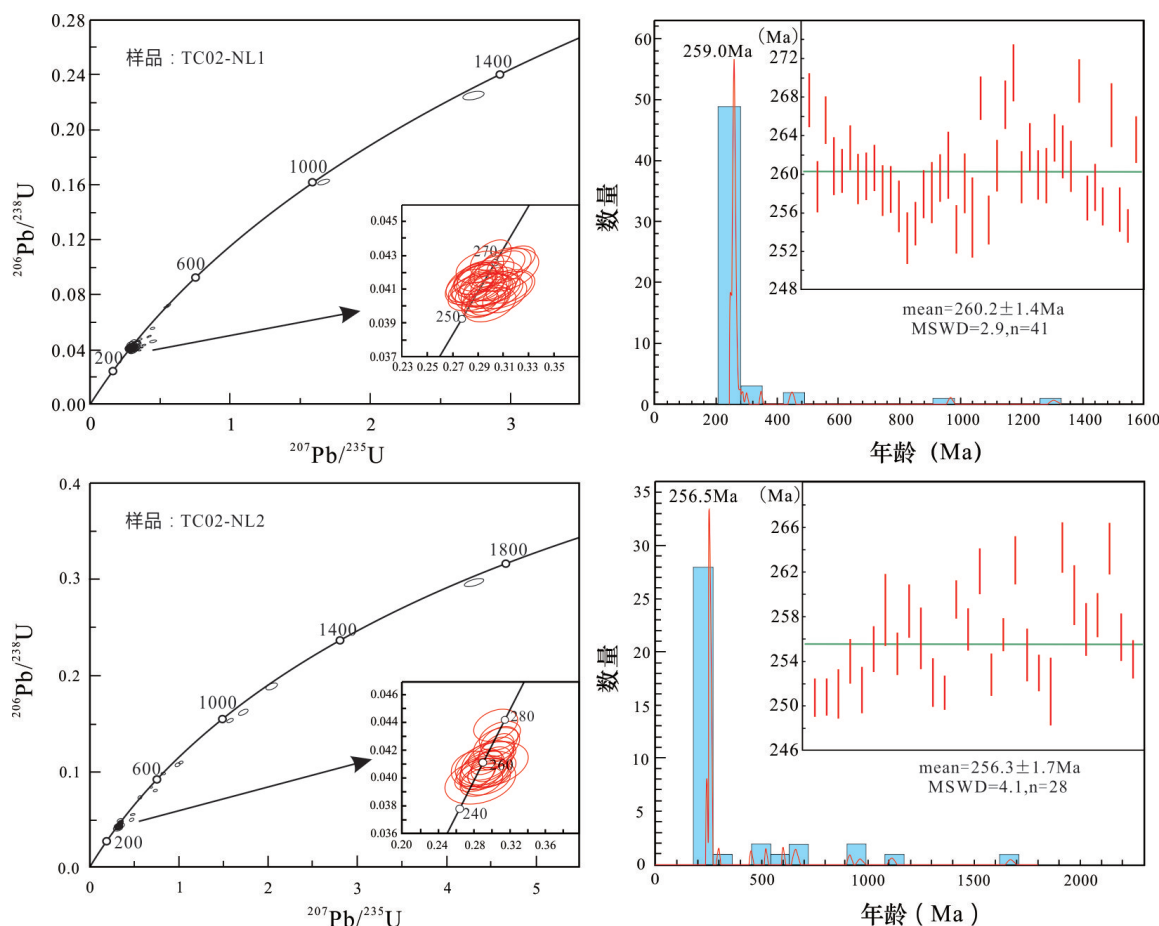


图 5 碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均图

Fig. 5 LA ICP MS U-Pb concordia diagram and weighted average values of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of detrital zircon samples from Permian bauxites at Nanian, Pingguo

为 256.5 Ma。其中 28 组年龄为 240.9 ~ 265.6 Ma, 加权平均年龄为 256.3 ± 1.7 Ma (MSWD=4.1); 有 10 组锆石年龄为 297.8 Ma 至 1672.9 Ma 不等, 为离群值, 未参与年龄计算。

4.2 Hf 同位素

在 U-Pb 年龄测定之后, 选取部分锆石颗粒进行原位 Hf 同位素分析, 测点大致与 U-Pb 定年测点重合。测点的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值以及二阶段模式年龄按各测点 U-Pb 年龄(表 1)来计算。结果显示, 绝大部分分析点 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} \leq 0.002$ (表 2), 指示锆石形成后

放射成因 Hf 积累十分有限(吴福元等, 2007), $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值可以代表锆石结晶时岩浆体系的 Hf 同位素组成。

样品 TC02-NL1 的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值在 0.282222 ~ 0.282907 之间, 平均值为 0.282460, 计算的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值大部分在 -3.0 ~ -16.2 之间, 平均 -5.6, 其中 3 个点为正值(图 6a); Hf 二阶段模式年龄 ($T_{\text{DM}2}$) 为 629 ~ 2303 Ma, 峰值为 1700 Ma 左右(图 6b)。

样品 TC02-NL2 的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值在 0.282277 ~ 0.282717 之间, 平均值为 0.282424, 计算的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$

表2 平果那念铁铝质岩(TC02-NL1)、铝质岩(TC02-NL2)LA-ICP-MS 锆石 Hf 同位素分析结果

Table 2 LA-ICPMS zircon Hf isotope results of the Ferricaluminite and aluminum rocks in Nanian, Pingguo

样品编号	年龄 (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	2σ	$\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	T_{DM1} (Ma)	T_{DM2} (Ma)	$f_{\text{Lu/Hf}}$
TC02-NL1-04	258.7	0.058549	0.002262	0.282475	0.000009	-10.5	-5.2	1138	1611	-0.93
TC02-NL1-06	265.6	0.035255	0.001409	0.282504	0.000008	-9.5	-3.9	1070	1532	-0.96
TC02-NL1-08	260.9	0.038535	0.001564	0.282400	0.000010	-13.1	-7.7	1223	1769	-0.95
TC02-NL1-09	260.4	0.042150	0.001689	0.282475	0.000009	-10.5	-5.1	1121	1605	-0.95
TC02-NL1-12	262.7	0.044237	0.001722	0.282412	0.000008	-12.7	-7.3	1211	1743	-0.95
TC02-NL1-13	259.5	0.029873	0.001172	0.282158	0.000010	-21.7	-16.2	1550	2303	-0.96
TC02-NL1-14	259.8	0.038666	0.001471	0.282433	0.000008	-12.0	-6.5	1173	1695	-0.96
TC02-NL1-15	260.7	0.032796	0.001349	0.282443	0.000008	-11.6	-6.1	1155	1671	-0.96
TC02-NL1-18	258.3	0.050315	0.001986	0.282406	0.000008	-12.9	-7.6	1228	1761	-0.94
TC02-NL1-20	258.4	0.038925	0.001560	0.282504	0.000008	-9.5	-4.1	1075	1538	-0.95
TC02-NL1-28	258.0	0.038037	0.001487	0.282474	0.000007	-10.5	-5.1	1115	1605	-0.96
TC02-NL1-29	258.1	0.020545	0.000857	0.282347	0.000008	-15.0	-9.5	1274	1881	-0.97
TC02-NL1-31	259.6	0.033528	0.001330	0.282416	0.000009	-12.6	-7.1	1192	1731	-0.96
TC02-NL1-32	260.9	0.015220	0.000614	0.282392	0.000008	-13.4	-7.8	1204	1777	-0.98
TC02-NL1-35	259.1	0.035782	0.001452	0.282472	0.000008	-10.6	-5.2	1117	1608	-0.96
TC02-NL1-42	255.3	0.035843	0.001437	0.282863	0.000008	3.2	8.6	559	733	-0.96
TC02-NL1-43	260.9	0.034665	0.001364	0.282456	0.000009	-11.2	-5.7	1138	1643	-0.96
TC02-NL1-46	259.7	0.043435	0.001710	0.282417	0.000008	-12.5	-7.1	1203	1733	-0.95
TC02-NL1-47	262.8	0.037556	0.001450	0.282907	0.000007	4.8	10.3	496	629	-0.96
TC02-NL1-48	259.9	0.054759	0.002120	0.282340	0.000009	-15.3	-9.9	1328	1909	-0.94
TC02-NL1-49	259.9	0.038377	0.001513	0.282532	0.000009	-8.5	-3.0	1033	1474	-0.95
TC02-NL1-50	263.8	0.030826	0.001208	0.282505	0.000007	-9.4	-3.9	1063	1529	-0.96
TC02-NL1-51	262.3	0.041122	0.001631	0.282376	0.000008	-14.0	-8.5	1259	1822	-0.95
TC02-NL1-54	260.8	0.038314	0.001477	0.282472	0.000009	-10.6	-5.2	1118	1608	-0.96
TC02-NL1-56	257.5	0.049778	0.001956	0.282414	0.000007	-12.6	-7.3	1216	1743	-0.94
TC02-NL1-57	258.6	0.051914	0.002025	0.282351	0.000009	-14.9	-9.6	1310	1885	-0.94
TC02-NL1-59	256.7	0.051655	0.002030	0.282335	0.000008	-15.4	-10.2	1332	1921	-0.94
TC02-NL1-62	256.4	0.036742	0.001461	0.282222	0.000008	-19.4	-14.1	1472	2166	-0.96
TC02-NL1-65	263.6	0.064538	0.002585	0.282836	0.000008	2.3	7.6	617	802	-0.92
TC02-NL2-03	254.7	0.051036	0.002063	0.282391	0.000008	-13.5	-8.2	1253	1798	-0.94
TC02-NL2-04	252.0	0.030390	0.001227	0.282431	0.000009	-12.0	-6.7	1168	1701	-0.96
TC02-NL2-07	255.9	0.032251	0.001313	0.282475	0.000009	-10.5	-5.1	1108	1601	-0.96
TC02-NL2-08	259.7	0.040364	0.001550	0.282552	0.000009	-7.8	-2.3	1006	1430	-0.95
TC02-NL2-09	255.4	0.044984	0.001773	0.282534	0.000009	-8.4	-3.1	1037	1474	-0.95
TC02-NL2-11	259.6	0.029465	0.001173	0.282574	0.000009	-7.0	-1.5	965	1377	-0.96
TC02-NL2-13	257.0	0.032381	0.001301	0.282288	0.000008	-17.1	-11.7	1373	2018	-0.96
TC02-NL2-14	252.7	0.023216	0.000932	0.282491	0.000008	-9.9	-4.5	1075	1564	-0.97
TC02-NL2-15	251.7	0.037041	0.001499	0.282439	0.000009	-11.8	-6.5	1166	1687	-0.95
TC02-NL2-17	260.7	0.041252	0.001665	0.282422	0.000008	-12.4	-6.9	1195	1722	-0.95
TC02-NL2-18	257.8	0.037000	0.001448	0.282456	0.000008	-11.2	-5.8	1140	1645	-0.96
TC02-NL2-19	263.4	0.029958	0.001197	0.282468	0.000010	-10.8	-5.2	1116	1613	-0.96
TC02-NL2-20	253.4	0.044362	0.001746	0.282364	0.000008	-14.4	-9.2	1281	1857	-0.95
TC02-NL2-22	257.3	0.048119	0.001892	0.282534	0.000007	-8.4	-3.1	1042	1476	-0.94
TC02-NL2-25	264.5	0.035176	0.001417	0.282257	0.000009	-18.2	-12.7	1421	2084	-0.96
TC02-NL2-27	255.3	0.034871	0.001393	0.282190	0.000009	-20.6	-15.2	1514	2237	-0.96
TC02-NL2-28	253.6	0.049070	0.001958	0.282333	0.000008	-15.5	-10.3	1333	1927	-0.94
TC02-NL2-30	251.8	0.027410	0.000901	0.282717	0.000010	-1.9	3.4	756	1057	-0.97
TC02-NL2-31	265.7	0.080853	0.002983	0.282483	0.000009	-10.2	-4.9	1148	1596	-0.91
TC02-NL2-33	261.1	0.035918	0.001436	0.282453	0.000009	-11.3	-5.8	1144	1649	-0.96
TC02-NL2-38	257.8	0.020474	0.000855	0.282363	0.000008	-14.5	-9.0	1252	1846	-0.97
TC02-NL2-39	259.2	0.036377	0.001465	0.282405	0.000009	-13.0	-7.6	1213	1759	-0.96
TC02-NL2-41	265.6	0.062475	0.002427	0.282363	0.000007	-14.5	-9.1	1307	1860	-0.93
TC02-NL2-43	257.1	0.051063	0.002020	0.282277	0.000008	-17.5	-12.2	1415	2050	-0.94
TC02-NL2-44	254.9	0.034140	0.001426	0.282341	0.000008	-15.2	-9.9	1302	1903	-0.96

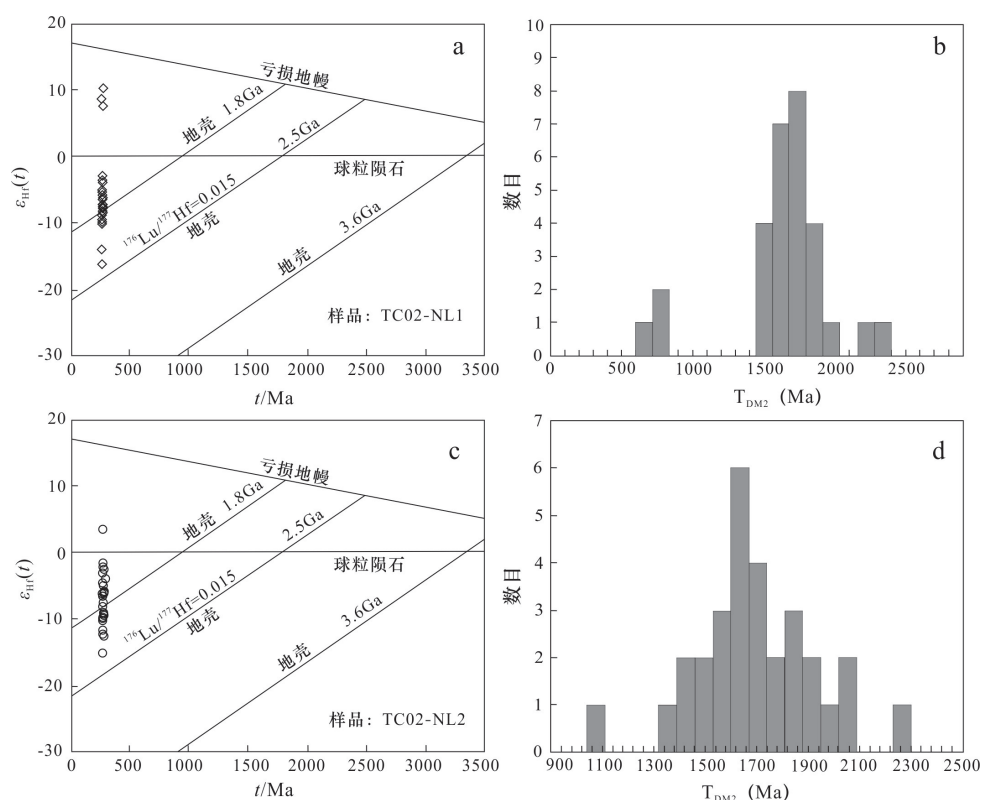


图6 平果那念铝土矿碎屑锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ - t 图解(a,c)与二阶段模式年龄频数图(b,d)

Fig. 6 Histograms of $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ (a,c) and Hf modal ages (b,d) of detrital zircon samples from Permian bauxites at Nanian, Pingguo

值大部分在-1.5~-15.2之间,平均-6.9,其中1个点为正值(图6c);Hf二阶段模式年龄(T_{DM2})为1057~2237 Ma,峰值在1700 Ma左右(图6d)。

5 讨论

成矿物质来源一直是铝土矿成矿理论研究的核心问题。在早期喀斯特型铝土矿的研究过程中,地球化学方法被广泛用来判别其成矿物质来源,包括元素Ga-Zr-Cr三角图解(Ozlu, 1985)、Eu/Eu*-TiO₂/Al₂O₃-Ti/Cr图解(Mongelli, 1993; Mameli et al., 2007)和不活泼元素的比值(MacLean and Kranidiotis, 1987)等,众多学者依据这些指标,结合地质学、岩相学、矿物学特征,提出了不同的成矿母岩类型。但是喀斯特型铝土矿经历了风化、搬运和沉积的过程,铝土矿本身的地球化学特征在示踪其物源时存在多解性和局限性。Deng J et al. (2010)注意到铝土矿具有较高的碎屑锆石含量,认为锆石测年技术在铝土矿的物源分析中具有得天独厚的优

势,并通过对铝土矿中碎屑锆石U-Pb定年和Hf同位素测定,认为桂西地区铝土矿物源为峨眉山大火成岩省酸性岩浆岩。但乔龙等(2016)对右江盆地内中三叠世碎屑沉积物的研究中发现其具有相似的碎屑锆石年龄,巨量的碎屑沉积物也由峨眉山玄武岩系统提供不太符合地质事实。侯莹玲等(2014)、Hou Y L et al. (2017)根据碎屑锆石的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值与峨眉山喷发系统有明显的差异,提出铝土矿源自桂西地区西南方向的二叠纪岛弧火山岩。

晚二叠世早期,平果地区处于海岛与海槽相间的古地理环境,合山组下部的铝土矿层与相邻海槽中沉积形成的领薨组的一套含火山碎屑的岩石组合(凝灰岩、凝灰质泥岩、硅质岩和锰线),是同时异相的产物,由此推测铝土矿源岩为火山碎屑物质。此外,本研究团队通过光片鉴定,发现平果地区都结、雷孟等地铝土矿中存在长石晶屑残影和石英晶屑(程顺波等, 2021)。长石晶屑残影轮廓保存完好,多呈板状,长轴50~300 μm ;石英晶屑呈短柱状,长轴150~300 μm ,未见磨圆。在无碎屑补给的古

海岛环境中出现这种粒度的晶屑,将合山组下部铝土矿的源岩进一步指向风成火山灰。

本文测试的两个样品碎屑锆石大多数为中酸性岩浆锆石(Rubatto, 2002),具有单一的峰值年龄,分别为259 Ma和256.5 Ma,晚二叠世锆石加权平均年龄分别为 260.2 ± 1.4 Ma和 256.3 ± 1.7 Ma,加权平均年龄与峰值年龄基本一致,可以说明铝土岩系源岩物质来源可能为一次集中的岩浆活动,岩浆活动时限为259-256.5 Ma。两个样品的Hf同位素特征显示大部分 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值在-1.5~-16.2之间变化,极个别 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为正值,Hf同位素二阶段模式年龄峰值均在1700 Ma左右,该结果与侯莹玲等(2014)和Hou Y L et al. (2017)研究的Hf同位素特征基本一致,说明平果地区铝土矿铁、铝等成矿物质主要来源于基底为1.7 Ga的地壳物质重熔导致的岩浆喷发,且重熔过程中可能混入少量亏损地幔物质。

桂西地区位于古特提斯北缘,哀牢山缝合带的东北部,古特提斯洋演化及哀牢山缝合带的构造活动势必影响该地区古地理环境,有可能提供桂西地区铝土矿成矿物质。李朋武等(2009)通过古地磁数据对比分析华南地块和基墨里大陆的古纬度和纬度运移量,认为古特提斯洋在晚二叠世已经闭合;李龚建等(2013)通过花岗岩类的锆石U-Pb年代学、Hf同位素与全岩微量元素地球化学等特征,将哀牢山缝合带闭合时间限定在晚二叠世(~260 Ma)。古特提斯洋的俯冲闭合以及哀牢山缝合带的闭合可能导致大量中酸性岛弧火山的喷发。此外有学者在研究南盘江盆地三叠系和广西蓬莱滩二叠系碎屑锆石年龄谱时,认为在华南板块的西南部可能存在一个中晚二叠世的古特提斯岩浆弧(杨宗永和何斌, 2012; Zhong Y T et al., 2013)。平果那念铁铝岩系中的晚二叠世早期碎屑锆石自形程度高,表明其物源属于近缘的特点,在时间和空间上均与上述研究成果相符。综合前述研究成果可以认为,平果地区喀斯特型铝土矿成矿物质可能源自西南方向的岩浆弧或弧后盆地火山喷发形成的火山灰。

6 结论

本文对桂西平果那念矿区喀斯特型铝土矿矿

石进行锆石U-Pb测年及Hf同位素分析,结果表明,铝土矿矿石中碎屑锆石具有单一的峰值年龄,分别为259 Ma和256.5 Ma,大部分二叠世锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值在-1.5~-16.2之间。结合都结、雷孟等地铝土矿中存在长石晶屑残影和石英晶屑,认为那念铝土矿成矿物质可能源自桂西西南方向,古特提斯北缘二叠纪中酸性岩浆弧或弧后盆地火山喷发形成的火山灰。

参考文献:

- 程顺波, 刘阿睢, 李荣志, 韦义师, 刘君豪, 胥明. 2020. 桂西二叠纪喀斯特型铝土矿豆鲕特征及成因[J]. 华南地质, 36(3): 232-239.
- 程顺波, 刘阿睢, 崔森, 李荣志, 韦义师. 2021. 桂西二叠纪喀斯特型铝土矿地质成矿过程[J]. 地球科学, 46(8): 2697-2710.
- 戴塔根, 龙永珍, 张起钻, 胡斌. 2003. 桂西某些铝土矿床稀土元素地球化学研究[J]. 地质与勘探, 39(4): 1-5.
- 戴塔根, 龙永珍, 张起钻, 胡斌. 2007. 桂西铝多金属矿床地质地球化学特征与成矿机理[J]. 地球科学与环境学报, 29(4): 345-350.
- 杜远生, 黄虎, 杨江海, 黄宏伟, 陶平, 黄志强, 胡丽沙, 谢春霞. 2013. 晚古生代一中三叠世右江盆地的格局和转换[J]. 地质论评, 59(1): 1-11.
- 范长智. 1995. 平果岩溶堆积型铝土矿及原生铝土矿矿床地质特征及其成因[J]. 矿山地质, 16(1): 18-26.
- 广西地质矿产勘查局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 212-241.
- 广西区域地质调查研究院. 2016. 广西壮族自治区区域地质志(第二册):沉积岩及沉积作用[R]. 822-1053.
- 侯莹玲, 何斌, 钟玉婷. 2014. 桂西二叠系喀斯特型铝土矿成矿物质来源的新认识:来自合山组碎屑岩地球化学证据[J]. 大地构造与成矿学, 38(1): 181-196.
- 李龚健, 王庆飞, 禹丽, 胡兆初, 马楠, 黄钰涵. 2013. 哀牢山古特提斯洋缝合时限:晚二叠世花岗岩类锆石U-Pb年代学与地球化学制约[J]. 岩石学报, 29(11): 3883-3900.
- 李朋武, 高锐, 管焯, 李秋生. 2009. 古特提斯洋的闭合时代的古地磁分析:松潘复理石杂岩形成的构造背景[J]. 地球学报, 30(1): 39-50.
- 李普涛, 张起钻. 2008. 广西靖西县三合铝土矿稀土元素地球化学研究[J]. 矿产与地质, 22(6): 536-540.
- 廖思福. 2000. 平果岩溶堆积型铝土矿地质特征及成因探讨[J]. 广西地质, 13(4): 29-33.

- 刘长龄. 1992. 论铝土矿的成因学说 [J]. 河北地质学院学报, 15(2): 195-204.
- 乔 龙. 2016. 右江盆地及其周缘地区构造演化及铝土矿成矿作用 [D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 1-164.
- 秦建华, 吴应林, 颜仰基, 朱忠发. 1996. 南盘江盆地海西-印支期沉积构造演化 [J]. 地质学报, 70(2): 99-107.
- 王 力, 龙永珍, 彭省临. 2004. 桂西铝土矿成矿物质来源的地质地球化学分析 [J]. 桂林工学院学报, 24(1):1-6.
- 王庆飞, 邓 军, 刘学飞, 张起钻, 李中明, 康 微, 蔡书慧, 李 宁. 2012. 铝土矿地质与成因研究进展 [J]. 地质与勘探, 48(3): 430-448.
- 吴福元, 李献华, 郑永飞, 高 山. 2007. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用 [J]. 岩石学报, 23(2):185-220.
- 杨宗永, 何 斌. 2012. 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, 36(4): 581-596.
- 张起钻. 2011. 桂西铝土矿成矿模式和勘查技术 [D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 1-141.
- Bardossy G. 1982. Karst bauxites: Bauxite deposits on carbonate rock [M]. Amsterdam: Elsevier, 20-180.
- Brimhall G H, Lewis C J, Ague J J, Dietrich W E, Hampel J, Teague T, Rix P. 1988. Metal enrichment in auxites by deposition of chemically mature aeolian dust [J]. Nature, 333: 819-824.
- Deng J, Wang Q F, Yang S J, Liu X F, Zhang Q Z. 2010. Genetic relationship between the Emeishan plume and the bauxite deposits in Western Guangxi, China: Constraints from U-Pb and Lu-Hf isotopes of the detrital zircons in bauxite ores [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 37: 412-424.
- Hou Y L, Zhong Y T, Xu Y G, He B. 2017. The provenance of late Permian karstic bauxite deposits in SW China, constrained by the geochemistry of interbedded clastic rocks, and U-Pb-Hf-O isotopes of detrital zircons [J]. Lithos, 278-281: 240-254.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, Günther D, Xu J, Gao C G, Chen H H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. Chemical Geology, 257: 34-43.
- Ludwig K R. 2003. ISOPLOT 3. 00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center, California, Berkeley, 1-39.
- MacLean W H, Bonavia F F, Sanna G. 1997. Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: Evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo Deposit, Sardinia [J]. Mineralium Deposita, 32: 607-616.
- MacLean W, Kranidiotis P. 1987. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec [J]. Economical Geology, 82(4): 951-962.
- Mameli P, Mongelli G, Oggiano E. 2007. Geological, geochemical and mineralogical features of some bauxite deposits from Nurra (Western Sardinia, Italy): insights on conditions of formation and parental affinity [J]. International Journal of Earth Science (Geological Rundsch), 96: 887-902.
- Mongelli G. 1993. REE and other trace elements in a granitic weathering profile from “Serre”, southern Italy [J]. Chemical Geology, 103: 17-25.
- Morelli F, Cullers R, Laviano R and Mongelli G. 2000. Geochemistry and palaeo-environmental significance of Upper Cretaceous clay-rich beds from the Peri-Adriatic Apulia Carbonate Platform, southern Italy [J]. Periodico di Mineralogia, 69:165-183.
- Ozlü N. 1985. New facts on diaspore genesis in the Akseki-Seydischir bauxite deposit (Western Taures, Turkey) [J]. Travaux Du ICSOBA, 14-15:53-62.
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism [J]. Chemical Geology, 184: 123-138.
- Söderlund U, Patchett P J, Vervoort J D, Isachsen C E. 2004. The ^{176}Lu decay constant determined by Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of Precambrian mafic intrusions [J]. Earth and Planetary Science Letters, 219 (3-4): 311-324.
- Yu W C, Algeo T J, Du Y S, Zhang Q L, Liang Y P. 2016. Mixed volcanogenic-lithogenic sources for Permian bauxite deposits in Southwestern Youjiang basin, South China, and their metallogenic significance [J]. Sedimentary Geology, 341: 276-288.
- Zhong Y T, He B, Xu Y G. 2013. Mineralogy and geochemistry of claystones from the Guadalupian-Lopingian boundary at Penglitan, South China: Insights into the pre-Lopingian geological events [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 62: 438-462.