

滇黔桂低温成矿域基底岩石的锆石年代学研究*

刘玉平^{1**} 苏文超¹ 皮道会² 蒋少涌² 叶霖¹ 张乾¹ 周丽芹³

1. 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, 贵阳 550002; 2. 南京大学地球科学系 内生矿作用国家重点实验室, 南京 210093; 3. 中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心, 北京 100037

摘要 陇要超基性岩的变质岩捕虏体, 为探讨滇黔桂低温成矿域的基底岩石组成提供了极佳的线索. 初步的碎屑锆石 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 年代学研究显示, 原岩沉积时代的下限约为 430 Ma, 相当于晚志留世—早泥盆世, 该组锆石可能主要来源于盆地南侧坍塌的早古生代晚期(广西期)造山带; 沉积物源区地壳可能主要存在—430 Ma, —520 Ma, —770 Ma, —860 Ma, —960 Ma, —1100 Ma 和—2500 Ma 等七组地壳或再循环地壳组分; 对于深厚覆盖区之下的基底岩石类型及其性质, 深源岩石包体能够提供其他研究对象无法提供的直接证据.

关键词 锆石 SHRIMP 年代学 深源岩石捕虏体 基底岩石 低温成矿域 滇黔桂

滇黔桂低温成矿域, 是我国金、锑、汞、砷、铀等矿床的重要产地之一. 区内大面积分布着厚度巨大(最厚达 10 km)的三叠系, 古生代地层零星出露. 由于缺少合适的研究对象, 对该成矿域的基底岩石组成以及区域地壳的形成演化历史一直不甚清楚. 陇要超基性岩的变质岩捕虏体^[1], 为探讨上述重要地质问题提供了极佳的线索.

1 区域地质概况

研究区地跨贵州省镇宁县和贞丰县, 主要出露三叠系地层, 在东部和南部尚有少量石炭系、二叠系地层分布. 区内三叠系依据沉积特征可分为盆地相和台地相, 两者在镇宁—贞丰—安龙一线以碳酸盐礁丘(即“贞丰相带”)分隔^[1]. 盆地相分布广泛, 为泥质岩、细碎屑岩夹碳酸盐岩、硅质岩, 厚度可达 10000 m; 台地相主要分布于东西两翼, 以碳酸盐岩和细碎屑岩为主, 最大厚度约 6000 m. 区内超基性岩以小岩株和岩脉为主, 呈串珠状侵入三叠系, 主要由 N-S 向的陇要岩带和 E-W 向的鲁容岩

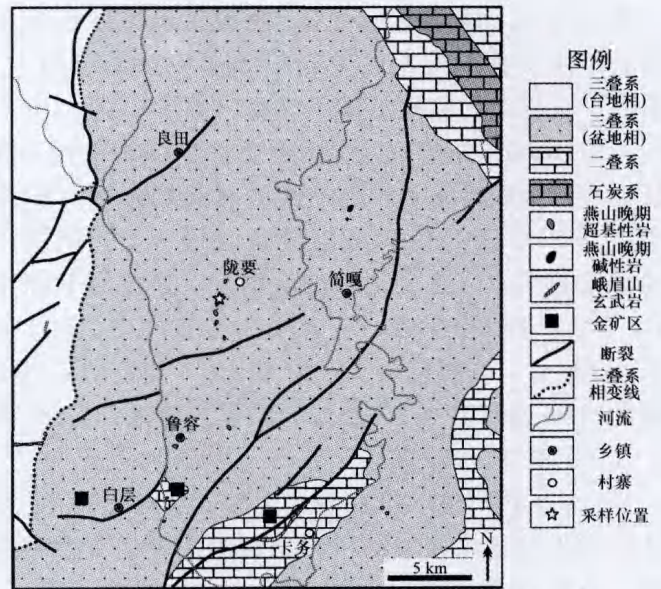


图1 陇要超基性岩区地质略图
(据 1:20 万区域地质图贞丰幅^[1]简化)

带构成, Rb-Sr、Sm-Nd 和 Ar-Ar 同位素定年结果显示其侵入于 82—102 Ma 的燕山晚期^[2]. 此外, 在

2009-03-12 收稿, 2009-08-20 收修改稿

* 国家重点基础研究发展计划(批准号: G2007BC04008, G2007BC04003)、国家自然科学基金(批准号: 400221301、40302026)和南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室开放基金资助

** E-mail: liuyuping@vip.gyig.ac.cn

研究区东部还有少量的正长岩脉出露, 断裂以 NE 向和近 EW 向为主, 依据其切割的地层, 推测主要活动时间不早于三叠纪. 区内矿产资源比较丰富, 产出了纳哥、白层等卡林型金矿床^[3,4].

2 样品描述与分析方法

样品采集于镇宁县良田乡陇要村以南约 1 km 处, 超基性岩中的变质岩捕虏体的岩石类型比较复杂, 以大理岩、石英岩、绿泥黑云斜长片麻岩等为主, 根据岩相学特征恢复原岩分别为碳酸盐岩、硅质岩、杂砂岩等. 为探索本研究区的地壳基底岩石组成, 我们对绿泥黑云斜长片麻岩进行了初步的 SHRIMP 和 LAICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究.

用于测年的样品 LY-05-1, 经破碎后按常规重选—磁性法分选出重砂矿物, 在双目镜下挑纯至 99% 以上. 锆石的制靶、显微照相、阴极发光 (CL) 分析和远程操作, 均在中国地质科学院北京离子探针中心完成. 显微图像和 CL 图像显示锆石颗粒均有不同程度的磨蚀, 表明以碎屑成因锆石为主. 因此, 该样品的原岩应属于碎屑岩类.

SHRIMP 分析通过中国地质科学院北京离子探针中心的远程操作系统, 在澳大利亚 Curtin 大学质谱中心 SHRIMP-II 按标准流程完成^[5], 测试所用的标准锆石为 CZ-3 和 TEMORA, 前者用于标定 U, Th 和 Pb 的含量, 后者用于校正年龄 (推荐值为 417 Ma), 分析束斑直径约 30 μm . 测定结果用实测的 ^{204}Pb 进行普通 Pb 校正, 数据处理采用 SQUID v. 1.02 和 ISOPLOT/Ex v. 2.49 程序^[6,7].

LA-ICP-MS 分析在南京大学地球科学与工程学院内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成, 分析仪器为附加了 213nm 激光器的 Agilent 7500s ICP-MS, 束斑直径约 32 μm , 频率 5 Hz. 测试所用的标准锆石为 GEMOC GJ-1 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $(608.5 \pm 1.5)\text{Ma}$) 和 Mud Tank (截点年龄为 $(732 \pm 5)\text{Ma}$), 前者用于 U-Pb 同位素分馏校正, 后者用于控制分析精度. 每个锆石微区原位测试点的同位素比值和 U-Pb 年龄用 GLITTER 软件 (ver4.0, Macquarie University) 计算, 分析结果采用 ComPbCorr # 3_15G1 软件 (Andersen, 2002) 进行普通 Pb 校正, U-Pb 年龄图谱绘制采用 ISOPLOT/Ex v. 2.49 程序^[6,7].

3 分析结果

由锆石的反射及透射显微图像 (图略) 和 CL 图像 (图 2) 可见, 样品 LY-05-1 的锆石颗粒, 多数为次棱角状—浑圆状, 反映它们经过了较长距离的搬运与磨蚀; 少数锆石具有完好的晶形, 表明它们为近源搬运, 锆石的上述特征指示了沉积物源的复杂性. CL 图像显示, 所有的颗粒均发育一薄层增生边, 反映了可能在不同来源的锆石颗粒在沉积后经历了同一期次热事件的改造, 但由于增生边较薄而难以进行同位素年龄测定.

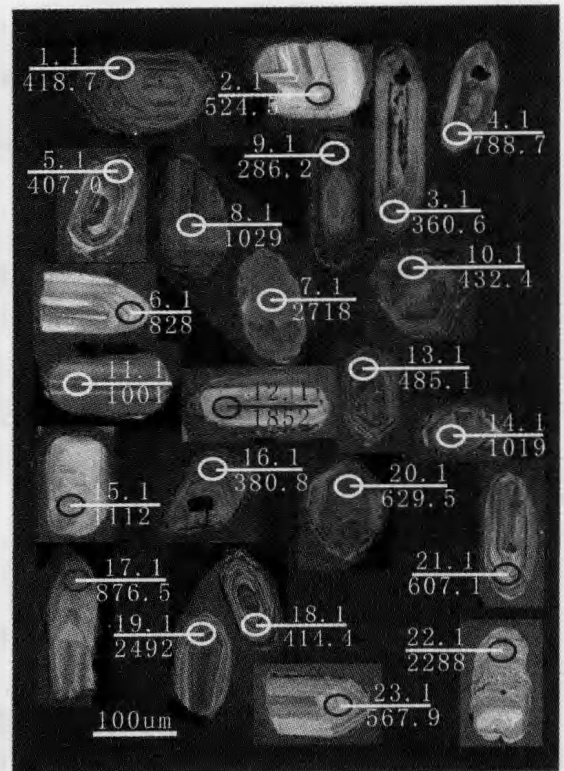


图 2 锆石 SHRIMP 测点的 CL 发光图像
标志线之上为 SHRIMP 测点号, 之下为表面年龄.
<800 Ma 时采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,
>800 Ma 时采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄

96 个锆石颗粒的 113 个测点的定年结果见表 1、表 2 和图 3. 由图 3 可见, 大部分测点落在 U-Pb 谐和线上或附近, 少部分测点明显偏离谐和线. 其中, 77 个点的谐和度 > 90% (不谐和度 < 10%), 占 68%; 36 个点的谐和度 < 90% (不谐和度 > 10%), 占 32%.

表 1 LY-5-1 锆石 SHRIMP 测年结果^{a)}

Spot	²⁰⁶ Pb _i / %	U / 10 ⁻⁶	Th / 10 ⁻⁶	²³² Th / ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* / 10 ⁻⁶	<i>t</i> ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	<i>t</i> ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	<i>t</i> ²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	同位素组成						err corr
									²⁰⁷ Pb* / ²⁰⁶ Pb* ± %	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U ± %	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U ± %	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U ± %	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U ± %	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U ± %	
LY-5-1-1.1	1.61	497	381	0.79	29.1	418.7 ± 3.5	100 ± 130	391 ± 13	0.0480	5.3	0.444	5.4	0.06710	0.87	0.162
LY-5-1-2.1	0.53	264	225	0.88	19.4	524.5 ± 5.3	531 ± 120	501 ± 18	0.0580	5.5	0.678	5.6	0.08477	1.0	0.185
LY-5-1-3.1	0.49	661	364	0.57	32.8	360.6 ± 5.2	335 ± 91	366 ± 11	0.0532	4.0	0.422	4.3	0.05754	1.5	0.347
LY-5-1-4.1	0.74	209	239	1.18	23.6	788.7 ± 8.4	853 ± 120	783 ± 22	0.0675	5.6	1.211	5.7	0.1301	1.1	0.197
LY-5-1-5.1	0.20	958	558	0.60	53.8	407.0 ± 6.2	469 ± 30	407.6 ± 8.1	0.05642	1.4	0.507	2.1	0.0652	1.6	0.752
LY-5-1-6.1	1.39	79	84	1.10	9.47	828 ± 12	774 ± 140	804 ± 32	0.0650	6.5	1.228	6.7	0.1371	1.6	0.239
LY-5-1-7.1	0.05	411	272	0.68	198	2874 ± 18	2718 ± 5.8	2795 ± 26	0.18723	0.35	14.50	0.84	0.5617	0.77	0.911
LY-5-1-8.1	0.29	273	164	0.62	39.8	1010 ± 7.9	1029 ± 35	1022 ± 20	0.0736	1.7	1.720	1.9	0.1696	0.85	0.439
LY-5-1-9.1	0.85	2137	745	0.36	84.1	286.2 ± 1.9	448 ± 59	268.3 ± 9.3	0.0559	2.6	0.3499	2.7	0.04540	0.69	0.253
LY-5-1-10.1	0.03	772	495	0.66	46.0	432.4 ± 3.0	498 ± 26	432.6 ± 5.4	0.05718	1.2	0.5470	1.4	0.06938	0.72	0.524
LY-5-1-11.1	0.15	360	588	1.69	51.2	985.7 ± 7.2	1001 ± 21	966.8 ± 9.8	0.07254	1.1	1.652	1.3	0.1652	0.79	0.601
LY-5-1-12.1	0.15	240	177	0.76	70.4	1889 ± 14	1852 ± 12	1869 ± 23	0.11322	0.69	5.314	1.1	0.3404	0.84	0.774
LY-5-1-13.1	0.17	1203	657	0.56	80.9	485.1 ± 3.6	731 ± 27	490.1 ± 7.2	0.06368	1.3	0.686	1.5	0.07815	0.77	0.513
LY-5-1-14.1	0.18	498	272	0.56	72.0	1000 ± 6.9	1019 ± 20	992 ± 13	0.07317	1.0	1.694	1.3	0.1679	0.75	0.595
LY-5-1-15.1	1.05	78	77	1.03	13.5	1179 ± 14	1112 ± 74	1186 ± 34	0.0766	3.7	2.120	3.9	0.2006	1.3	0.340
LY-5-1-16.1	0.31	1125	793	0.73	59.0	380.8 ± 2.6	440 ± 38	412 ± 12	0.05569	1.7	0.4672	1.8	0.06085	0.69	0.374
LY-5-1-17.1	—	207	80	0.40	25.9	876.5 ± 7.8	971 ± 35	932 ± 30	0.0715	1.7	1.435	2.0	0.1456	0.95	0.484
LY-5-1-18.1	0.26	836	501	0.62	47.8	414.4 ± 3.4	434 ± 36	395.8 ± 6.1	0.05555	1.6	0.5085	1.8	0.06640	0.84	0.463
LY-5-1-19.1	0.05	482	192	0.41	187	2396 ± 15	2492 ± 9.3	2408 ± 23	0.16347	0.55	10.148	0.92	0.4503	0.73	0.800
LY-5-1-20.1	0.07	1130	284	0.26	99.6	629.5 ± 4.2	696 ± 16	619.2 ± 9.0	0.06264	0.75	0.8860	1.0	0.10259	0.69	0.678
LY-5-1-21.1	0.23	1032	228	0.23	87.7	607.1 ± 4.1	836 ± 23	687 ± 16	0.06693	1.1	0.911	1.3	0.09876	0.71	0.538
LY-5-1-22.1	0.11	413	181	0.45	142	2168 ± 16	2288 ± 7.5	2089 ± 27	0.14501	0.44	7.994	0.97	0.3998	0.87	0.893
LY-5-1-23.1	1.30	458	72	0.16	36.7	567.9 ± 4.5	569 ± 81	572 ± 61	0.0591	3.7	0.750	3.8	0.09209	0.82	0.217

a) 有阴影的部分显示为不谐和度 (Dis. %) > 10 的测点数据, Dis. % = (*t*²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb / *t*²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb - 1) × 100

表 2 LY-5-1 锆石 LA-ICP-MS 测年结果^{a)}

Spot No.	U / 10 ⁻⁶	Th / 10 ⁻⁶	Th / U	同位素年龄 / Ma				同位素比值								err corr
				<i>t</i> ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	<i>t</i> ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³² Th	1σ	
LY-5-1-01	174	316	0.55	2658	21	2319	25	0.1806	0.0024	0.4329	0.0056	10.7791	0.1586	0.0826	0.0035	0.56
LY-5-1-02	46	31	1.50	1342	35	1245	15	0.0862	0.0016	0.2131	0.0028	2.5299	0.0463	0.0616	0.0028	0.38
LY-5-1-03	74	119	0.62	969	40	845	11	0.0714	0.0014	0.1400	0.0019	1.3777	0.0276	0.0404	0.0023	0.36
LY-5-1-04	327	535	0.61	2301	23	1969	20	0.1461	0.0020	0.3572	0.0043	7.1923	0.1026	0.0972	0.0059	0.49
LY-5-1-05	186	203	0.92	837	32	758	9	0.0670	0.0010	0.1248	0.0015	1.1516	0.0186	0.0379	0.0023	0.43
LY-5-1-06	299	332	0.90	2456	25	2368	24	0.1601	0.0024	0.4438	0.0054	9.7903	0.1535	0.1259	0.0099	0.44
LY-5-1-07	247	102	2.43	496	62	459	6	0.0571	0.0016	0.0738	0.0011	0.5807	0.0164	0.0219	0.0016	0.22
LY-5-1-08	121	157	0.77	1619	28	1559	17	0.0997	0.0015	0.2735	0.0034	3.7588	0.0596	0.0784	0.0056	0.44
LY-5-1-09	303	800	0.38	545	32	513	6	0.0584	0.0009	0.0828	0.0010	0.6663	0.0105	0.0240	0.0016	0.44
LY-5-1-10	260	364	0.72	924	35	859	10	0.0698	0.0012	0.1425	0.0018	1.3718	0.0244	0.0434	0.0037	0.49
LY-5-1-11	39	75	0.52	1016	53	850	12	0.0731	0.0020	0.1409	0.0021	1.4197	0.0372	0.0440	0.0036	0.24
LY-5-1-12	272	292	0.93	2484	20	2293	23	0.1628	0.0019	0.4271	0.0051	9.5805	0.1255	0.1071	0.0046	0.56
LY-5-1-13	341	566	0.60	767	31	745	9	0.0648	0.0010	0.1224	0.0015	1.0929	0.0169	0.0354	0.0023	0.44
LY-5-1-14	434	294	1.48	578	40	521	6	0.0593	0.0011	0.0842	0.0011	0.6880	0.0130	0.0234	0.0016	0.36
LY-5-1-15	462	420	1.10	803	35	761	9	0.0659	0.0011	0.1254	0.0016	1.1385	0.0197	0.0374	0.0028	0.38
LY-5-1-16	454	302	1.50	548	52	537	7	0.0585	0.0014	0.0869	0.0012	0.7002	0.0170	0.0234	0.0022	0.28
LY-5-1-17	135	118	1.14	1106	40	1041	13	0.0764	0.0016	0.1753	0.0024	1.8469	0.0381	0.0441	0.0034	0.34

续表

Spot No.	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	Th/U	同位素年龄/Ma						同位素比值						err corr
				²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ	
LY-5-1-18	297	113	2.62	771	40	763	9	0.0649	0.0012	0.1256	0.0016	1.1240	0.0218	0.0323	0.0020	0.36
LY-5-1-19	346	406	0.85	556	43	549	7	0.0587	0.0012	0.0889	0.0012	0.7193	0.0147	0.0109	0.0006	0.38
LY-5-1-20	27	28	0.95	2077	30	2057	23	0.1284	0.0022	0.3758	0.0050	6.6543	0.1163	0.0858	0.0058	0.40
LY-5-1-21	227	391	0.58	961	31	926	11	0.0711	0.0011	0.1544	0.0019	1.5143	0.0243	0.0417	0.0026	0.44
LY-5-1-22	191	305	0.63	680	32	650	8	0.0622	0.0010	0.1060	0.0013	0.9091	0.0145	0.0290	0.0016	0.44
LY-5-1-23	364	343	1.06	948	32	961	11	0.0707	0.0011	0.1607	0.0020	1.5661	0.0259	0.0419	0.0028	0.42
LY-5-1-24	556	509	1.09	2504	24	2426	25	0.1646	0.0024	0.4569	0.0056	10.3676	0.1582	0.1138	0.0078	0.46
LY-5-1-25	155	159	0.98	2223	26	2059	22	0.1397	0.0021	0.3763	0.0047	7.2474	0.1159	0.0977	0.0068	0.45
LY-5-1-26	76	354	0.21	1403	30	919	11	0.0889	0.0014	0.1533	0.0019	1.8795	0.0313	0.0558	0.0040	0.38
LY-5-1-27	78	118	0.66	931	41	896	11	0.0701	0.0014	0.1491	0.0020	1.4412	0.0296	0.0421	0.0033	0.33
LY-5-1-28	41	27	1.49	1247	48	1224	16	0.0821	0.0021	0.2092	0.0031	2.3670	0.0588	0.0545	0.0040	0.28
LY-5-1-29	263	287	0.92	1147	33	1037	12	0.0780	0.0013	0.1746	0.0022	1.8773	0.0326	0.0495	0.0038	0.42
LY-5-1-30	196	452	0.43	942	38	706	9	0.0705	0.0013	0.1157	0.0015	1.1235	0.0217	0.0497	0.0046	0.37
LY-5-1-31	422	540	0.78	964	26	747	9	0.0712	0.0009	0.1229	0.0015	1.2064	0.0174	0.0385	0.0017	0.54
LY-5-1-32	217	185	1.17	466	42	433	5	0.0564	0.0011	0.0695	0.0009	0.5403	0.0106	0.0183	0.0010	0.36
LY-5-1-33	142	237	0.60	1080	28	1066	12	0.0754	0.0011	0.1798	0.0023	1.8696	0.0281	0.0482	0.0024	0.50
LY-5-1-34	452	553	0.82	964	29	909	11	0.0712	0.0010	0.1514	0.0019	1.4865	0.0226	0.0395	0.0022	0.49
LY-5-1-35	41	95	0.43	975	34	978	12	0.0716	0.0012	0.1638	0.0022	1.6171	0.0283	0.0406	0.0021	0.44
LY-5-1-36	20	491	0.04	1811	22	1131	13	0.1107	0.0013	0.1918	0.0024	2.9279	0.0401	0.0443	0.0018	0.58
LY-5-1-37	205	339	0.61	941	27	925	11	0.0704	0.0009	0.1543	0.0020	1.4977	0.0218	0.0354	0.0016	0.55
LY-5-1-38	393	329	1.20	763	30	764	9	0.0647	0.0009	0.1258	0.0016	1.1215	0.0173	0.0315	0.0017	0.50
LY-5-1-39	581	219	2.65	983	29	934	11	0.0719	0.0010	0.1559	0.0020	1.5444	0.0239	0.0388	0.0021	0.50
LY-5-1-40	197	210	0.94	900	29	884	10	0.0690	0.0010	0.1469	0.0018	1.3982	0.0214	0.0373	0.0020	0.50
LY-5-1-41	87	177	0.49	892	35	923	11	0.0688	0.0012	0.1539	0.0021	1.4586	0.0261	0.0341	0.0016	0.44
LY-5-1-42	87	273	0.32	1460	29	1421	16	0.0917	0.0014	0.2466	0.0031	3.1162	0.0506	0.0651	0.0041	0.45
LY-5-1-43	728	802	0.91	441	38	356	4	0.0557	0.0010	0.0568	0.0007	0.4361	0.0078	0.0161	0.0010	0.41
LY-5-1-44	72	133	0.54	568	48	598	8	0.0590	0.0013	0.0972	0.0013	0.7911	0.0179	0.0256	0.0015	0.31
LY-5-1-45	52	54	0.98	985	49	958	13	0.0720	0.0018	0.1602	0.0023	1.5903	0.0387	0.0450	0.0031	0.28
LY-5-1-46	185	142	1.30	783	38	754	9	0.0653	0.0012	0.1240	0.0016	1.1161	0.0210	0.0360	0.0023	0.37
LY-5-1-47	332	233	1.42	2484	28	2422	26	0.1627	0.0027	0.4560	0.0058	10.2310	0.1770	0.1172	0.0092	0.41
LY-5-1-48	662	609	1.09	464	35	415	5	0.0563	0.0009	0.0665	0.0008	0.5163	0.0087	0.0172	0.0010	0.44
LY-5-1-49	123	135	0.91	688	45	504	6	0.0624	0.0013	0.0813	0.0011	0.6990	0.0149	0.0245	0.0018	0.31
LY-5-1-50	233	721	0.32	960	32	895	11	0.0711	0.0011	0.1489	0.0020	1.4592	0.0249	0.0311	0.0018	0.46
LY-5-1-51	924	774	1.19	866	28	723	9	0.0679	0.0009	0.1187	0.0015	1.1110	0.0166	0.0297	0.0012	0.52
LY-5-1-52	139	72	1.94	1586	37	735	9	0.0980	0.0020	0.1208	0.0016	1.6317	0.0327	0.0454	0.0026	0.33
LY-5-1-53	268	307	0.87	2701	20	2534	25	0.1853	0.0023	0.4815	0.0058	12.2965	0.1675	0.1349	0.0067	0.53
LY-5-1-54	280	387	0.72	1077	30	879	11	0.0753	0.0011	0.1461	0.0019	1.5171	0.0248	0.0370	0.0018	0.49
LY-5-1-55	145	219	0.66	670	39	606	7	0.0619	0.0011	0.0985	0.0013	0.8402	0.0157	0.0332	0.0023	0.36
LY-5-1-56	48	23	2.07	1098	64	1062	16	0.0761	0.0025	0.1791	0.0029	1.8790	0.0597	0.0620	0.0049	0.19
LY-5-1-57	227	233	0.97	2513	22	2472	25	0.1655	0.0021	0.4673	0.0057	10.6628	0.1497	0.1275	0.0069	0.52
LY-5-1-58	657	659	1.00	409	36	404	5	0.0549	0.0009	0.0647	0.0008	0.4896	0.0084	0.0208	0.0014	0.4
LY-5-1-59	112	86	1.30	1101	43	727	9	0.0762	0.0017	0.1194	0.0016	1.2539	0.0273	0.0465	0.0039	0.29
LY-5-1-60	231	237	0.97	2161	24	2128	22	0.1347	0.0018	0.3912	0.0048	7.2652	0.1065	0.1079	0.0067	0.50
LY-5-1-61	119	172	0.70	1705	27	1629	18	0.1045	0.0015	0.2875	0.0035	4.1399	0.0634	0.0917	0.0055	0.46
LY-5-1-62	109	591	0.18	1058	29	952	11	0.0746	0.0011	0.1592	0.0019	1.6378	0.0247	0.0506	0.0031	0.46
LY-5-1-63	430	207	2.08	877	30	831	9	0.0683	0.0010	0.1376	0.0017	1.2950	0.0200	0.0438	0.0024	0.45
LY-5-1-64	100	176	0.57	800	36	759	9	0.0658	0.0012	0.1249	0.0016	1.1327	0.0202	0.0374	0.0021	0.38

续表

Spot No.	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	Th/U	同位素年龄/Ma				同位素比值								err corr
				$t^{207\text{Pb}/^{206}\text{Pb}}$	1σ	$t^{207\text{Pb}/^{235}\text{U}}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	
LY-5-1-65	364	483	0.75	550	34	302	4	0.0586	0.0009	0.0480	0.0006	0.3870	0.0064	0.0147	0.0006	0.43
LY-5-1-66	804	192	4.19	767	32	745	9	0.0648	0.0010	0.1225	0.0015	1.0942	0.0177	0.0386	0.0021	0.44
LY-5-1-67	97	170	0.57	1322	26	1296	14	0.0853	0.0012	0.2226	0.0027	2.6162	0.0383	0.0595	0.0028	0.49
LY-5-1-68	102	297	0.34	1046	30	995	11	0.0742	0.0011	0.1669	0.0021	1.7059	0.0272	0.0480	0.0029	0.44
LY-5-1-69	121	146	0.83	864	31	896	11	0.0679	0.0010	0.1492	0.0019	1.3941	0.0222	0.0333	0.0014	0.46
LY-5-1-70	161	371	0.43	1097	33	1017	12	0.0761	0.0013	0.1709	0.0021	1.7922	0.0306	0.0520	0.0039	0.42
LY-5-1-71	264	305	0.86	612	31	440	5	0.0602	0.0009	0.0707	0.0009	0.5868	0.0091	0.0210	0.0008	0.46
LY-5-1-72	55	76	0.72	942	34	938	11	0.0705	0.0012	0.1566	0.0020	1.5213	0.0262	0.0433	0.0018	0.41
LY-5-1-73	198	216	0.92	443	39	432	5	0.0558	0.0010	0.0694	0.0009	0.5336	0.0098	0.0214	0.0010	0.37
LY-5-1-74	578	517	1.12	2366	22	1744	18	0.1518	0.0020	0.3107	0.0037	6.5021	0.0924	0.0932	0.0052	0.50
LY-5-1-75	543	458	1.18	3774	19	3498	32	0.3658	0.0046	0.7206	0.0087	36.3337	0.5018	0.1717	0.0090	0.52
LY-5-1-76	382	385	0.99	520	34	509	6	0.0577	0.0009	0.0821	0.0010	0.6533	0.0107	0.0240	0.0014	0.42
LY-5-1-77	366	199	1.84	1667	27	1649	18	0.1023	0.0015	0.2914	0.0036	4.1111	0.0644	0.0822	0.0053	0.45
LY-5-1-78	387	343	1.13	524	45	505	6	0.0579	0.0012	0.0814	0.0011	0.6494	0.0135	0.0245	0.0022	0.33
LY-5-1-79	116	389	0.30	1760	33	1126	14	0.1077	0.0020	0.1909	0.0026	2.8309	0.0550	0.0716	0.0063	0.40
LY-5-1-80	118	817	0.14	2179	26	1137	13	0.1362	0.0021	0.1930	0.0024	3.6219	0.0570	0.0903	0.0067	0.38
LY-5-1-81	105	218	0.48	1207	27	1177	13	0.0804	0.0011	0.2003	0.0024	2.2198	0.0331	0.0572	0.0031	0.48
LY-5-1-82	161	352	0.46	1888	24	1658	18	0.1155	0.0015	0.2933	0.0036	4.6699	0.0664	0.0869	0.0049	0.51
LY-5-1-83	199	99	2.01	2437	26	2343	25	0.1583	0.0024	0.4384	0.0055	9.5639	0.1519	0.1125	0.0074	0.44
LY-5-1-84	643	453	1.42	942	26	650	8	0.0705	0.0009	0.1061	0.0013	1.0308	0.0145	0.0112	0.0005	0.52
LY-5-1-85	294	845	0.35	637	32	610	7	0.0609	0.0009	0.0993	0.0012	0.8341	0.0132	0.0283	0.0019	0.44
LY-5-1-86	299	467	0.64	842	34	729	9	0.0671	0.0011	0.1198	0.0015	1.1085	0.0190	0.0323	0.0024	0.41
LY-5-1-87	1464	689	2.13	2511	36	2462	27	0.1653	0.0035	0.4652	0.0062	10.5990	0.2277	0.1137	0.0132	0.32
LY-5-1-88	279	547	0.51	1027	30	884	10	0.0735	0.0011	0.1469	0.0018	1.4887	0.0235	0.0437	0.0031	0.45
LY-5-1-89	447	711	0.63	2249	25	1667	19	0.1417	0.0021	0.2951	0.0037	5.7660	0.0909	0.0775	0.0057	0.47
LY-5-1-90	311	330	0.94	895	36	731	9	0.0689	0.0012	0.1200	0.0015	1.1397	0.0205	0.0365	0.0030	0.38

a) 有阴影的部分显示为不谐和度(Dis. %)>10的测点数据, Dis. % = $(t^{207\text{Pb}/^{206}\text{Pb}}/t^{207\text{Pb}/^{235}\text{U}} - 1) \times 100$

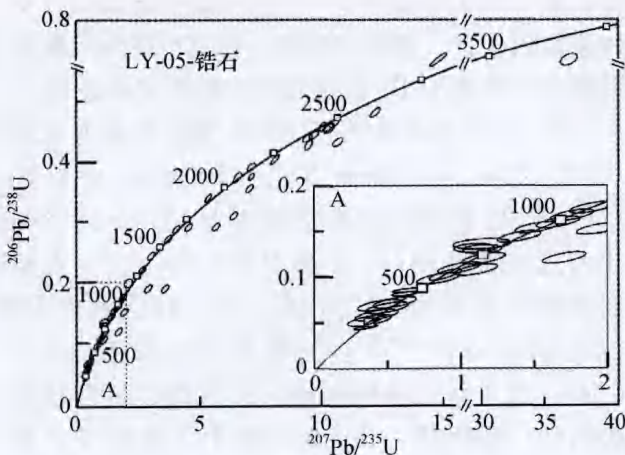


图3 锆石 U-Pb 年龄图谱

由于谐和度<90%的锆石颗粒年龄可靠性较差,可能存在不同程度的放射性 Pb 丢失,在构筑不一致线时容易产生多解性.所以,结合 CL 图像

分析结果(图2),重点对谐和度>90%的77个测点进行了 U-Pb 年龄统计和年龄频率直方图(图4),对于<800 Ma 的测点采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄,而>800 Ma 的测点则采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄.在年龄频率直方图中(图4),上述测点的表面年龄值变化范围较大,并具有多组峰值的显著特点.主要的峰值可分为以下七组:

(1) —2500 Ma,共7个测点,锆石颗粒多为次棱角状—浑圆状,在 CL 图像中,多数测点岩浆振荡环带较弱或不发育,应主要属于变质锆石.²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄变化范围为 2437—2513 Ma,加权平均值为 (2484 ± 26) Ma (MSWD=1.25),表明源区可能存在古元古代早期—新太古代晚期的地壳或再循环地壳组分;

(2) —1100 Ma,共10个测点,锆石颗粒多为

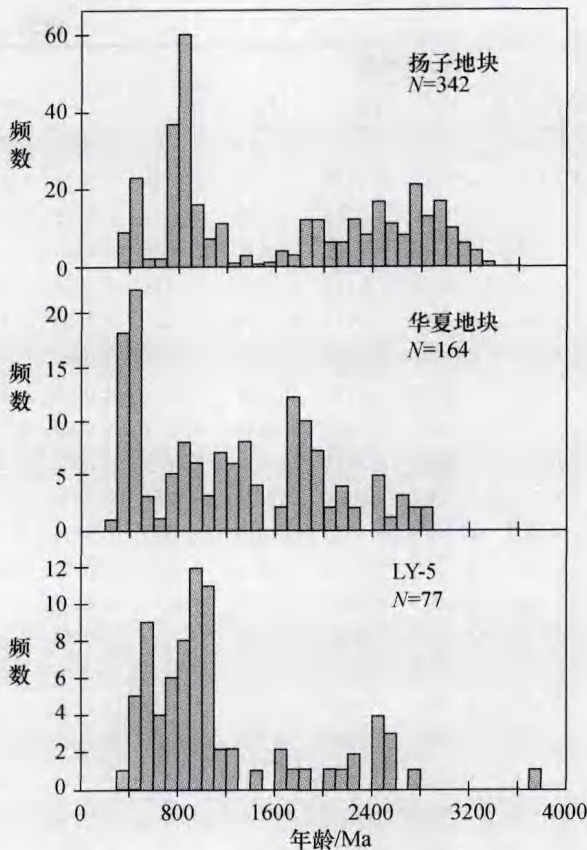


图4 锆石 U-Pb 年龄频率直方图
(扬子地块、华夏地块数据引自文献[9])

次棱角状, 在 CL 图像中, 多数测点岩浆振荡环带较弱或不发育, 应主要属于变质锆石。 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄变化范围为 1019—1147 Ma, 加权平均值为 $(1070 \pm 28)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.77$), 表明可能源区存在中元古代晚期的地壳或再循环地壳组分;

(3) —960 Ma, 共 12 个测点, 锆石颗粒多为次棱角状, 在 CL 图像中, 多数测点岩浆振荡环带较发育, 应主要属于岩浆锆石。 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄变化范围为 924—1001 Ma, 加权平均值为 $(964 \pm 16)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=0.66$), 表明可能源区存在新元古代初期的地壳或再循环地壳组分;

(4) —860 Ma, 共 8 个测点, 锆石颗粒多为棱角状, 部分颗粒保存了比较完整的晶形, 反映它们可能为近距离搬运。CL 图像中多数具有明显的岩浆振荡环带, 应主要属于岩浆锆石。 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄变化范围为 800—900 Ma, 加权平均值为 $(857 \pm 32)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.32$), 表明源区存在新元古代早期的地壳或再循环地壳组分;

(5) —770 Ma, 共 5 个测点, 锆石颗粒多为次棱角状, CL 图像中多数不发育岩浆振荡环带, 应主要属于变质锆石。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄变化范围为 745 Ma—764 Ma, 加权平均值为 $754 \pm 8\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.06$), 表明源区存在新元古代中期的地壳或再循环地壳组分;

(6) —520 Ma, 共 6 个测点, 锆石颗粒多为次棱角状, CL 图像岩浆振荡环带比较发育, 应主要属于岩浆锆石。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄变化范围为 505—537 Ma, 加权平均值为 $(518 \pm 11)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=3.44$), 表明源区存在早寒武世的地壳或再循环地壳组分;

(7) —430 Ma, 共 5 个测点, 锆石颗粒多为棱角状, 晶形完整, CL 图像具有明显岩浆振荡环带, 应主要属于岩浆锆石。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄变化范围为 405—459 Ma, 加权平均值为 $(428 \pm 26)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=16.7$), 表明源区存在早志留世的地壳或再循环地壳组分;

本研究获得的最古老的锆石测点 LY-1-75 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄为 3774 Ma, CL 图像中岩浆振荡环带较为明显, 并被后期的变质增生边切割包裹, 指示其为始太古宙的再循环地壳组分。郑永飞等认为在华南可能存在始太古宙—晚冥古代地壳残片^[8], 该年龄在一定程度上支持了这一认识。最年轻的锆石测点 LY-3.1 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 361 Ma, CL 图像中岩浆振荡环带较为明显, 但其核部的环带模糊, 结合该颗粒晶形较好, 但在透射显微图像中细小的裂隙较发育、透明度较差, 推测可能为后期热液沿裂隙交代并使 U-Pb 体系发生一定程度的破坏。

此外, 4 个测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄变化范围为 2077—2288 Ma, 属于古元古代早期; 4 个测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄变化范围为 1619—1852 Ma, 属于古元古代晚期; 4 个测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄变化范围为 1207—1341 Ma, 属于中元古代中期; 4 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄变化范围为 606—650 Ma, 属于新元古代晚期。这四组锆石颗粒多为次棱角状—浑圆状, 在 CL 图像中岩浆振荡环带不明显, 应主要属于变质锆石。

4 讨论与小结

根据沉积岩或变质沉积岩的碎屑锆石年龄分布, 确定沉积岩物质来源、沉积时代和形成构造环

境,已成为近年来国际上研究的热点之一^[10,11]。尽管其中的锆石颗粒可能来自不同的源岩,并经历了比较复杂的搬运过程,但通过区域对比,可以在一定程度上提供源区地壳或再循环地壳的信息,有助于了解源区的大地构造背景以及地壳生长历史。

从大地构造位置上看,研究区位于扬子、华夏两地块之间的南盘江-右江中-新生代盆地东部。因此,将本研究样品与上述两地块的锆石年龄频率直方图对比,可大致限定主要的物源区(图4)。由图4可见,样品的锆石年龄分布模式总体上兼有扬子、华夏两地块的特点,且与扬子地块相似较大,进一步支持根据锆石形态推测的物源较复杂的认识。

样品中年龄最小的一组碎屑锆石年龄为—430 Ma,这些锆石颗粒的CL图像岩浆环带发育、磨蚀程度很低,推测从沉积源区经过快速搬运的产物,其年龄可以作为原岩沉积的下限,相当于晚志留世—早泥盆世。研究区外围分布有中二叠世晚期—260 Ma形成的峨眉山玄武岩,但在本样品没有发现这一年龄的锆石。因此,原岩沉积年龄可以限定在中二叠世到晚志留世之间,初步推测原岩沉积的下限为早泥盆世。华南地区早古生代晚期的中—酸性岩浆岩,主要分布在华夏地块内部和华夏地块与扬子地块之间的江南造山带,在扬子地块内部则出露零星。结合区域地质背景,推测这些锆石颗粒可能主要来自盆地南侧,伴随早古生代晚期的广西期(加里东期)造山带^[12](即华南褶皱带)形成而侵入的晚志留世—早泥盆世岩浆岩。

—520, —860 和—960 Ma 等三组锆石,颗粒多为次棱角状,CL图像岩浆振荡环带比较发育,表明源区可能存在早寒武世、新元古代早期和新元古代初期等三个时期的地壳或再循环地壳组分,且搬运距离较近或搬运历史比较简单。与扬子、华夏两地块锆石年龄分布模式对比,表明这三组锆石可能来自具有扬子与华夏属性的两个不同源区。

包括—770, —1100 和—2500 Ma 等三组锆石在内的其他颗粒,多为次棱角状—浑圆状、CL图像中岩浆振荡环带较弱或不发育,应主要属于变质锆石,表明源区可能存在这些时期的再循环地壳组分,且搬运距离较远或搬运历史比较复杂。与扬子、华夏两地块锆石年龄分布模式对比,表明这些变质锆石可能也来自扬子与华夏的两个不同属性的源区。

根据上述分析结果与讨论,初步小结如下:

(1) 本文研究的陇要超基性岩中的变质岩捕虏体样品,原岩可能为碎屑岩类,碎屑锆石年龄的变化范围较大,结合锆石颗粒的形态和CL图像,显示该样品的物源比较复杂,沉积物可能主要来自相邻的扬子和华夏两地块,源区可能主要存在—430, —520, —770, —860, —960, —1100 和—2500 Ma 等七组地壳或再循环地壳组分;

(2) 碎屑锆石年龄显示,原岩沉积时代的下限约为430 Ma,相当于晚志留世—早泥盆世,该组锆石的物源区可能为盆地南侧坍塌的早古生代晚期形成的广西期(加里东期)造山带;

(3) 虽然获得的结果是初步的,但毫无疑问,对于深厚覆盖区之下的基底岩石类型及其性质,深源岩石捕虏体能够提供其他研究对象无法提供的直接证据。

参 考 文 献

- 1 贵州省地质局区域地质调查大队. 中华人民共和国地质调查报告(1:20万, 兴仁幅), 1981
- 2 苏文超. 扬子地块西南缘卡林型金矿床成矿流体地球化学研究. 中国科学院地球化学研究所博士学位论文, 贵阳, 2002
- 3 陈发恩, 王文勇, 陈明. 贵州省贞丰县卡务地区金矿地质特征. 贵州地质, 2007, 24(2): 85—96
- 4 刘川勤, 陈明, 王文勇. 黔西南白层地区金矿成矿条件与找矿建议. 贵州地质, 2006, 23(3): 182—186
- 5 Compston W, Williams IS, Kirschvink JL, et al. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale. J Geol Soc, 1992, 149: 171—184
- 6 Ludwig KR. Users manual for Isoplot/Ex rev. 2.49. Berkeley Geochronology Centre, Special Publication 2001, (1): 56
- 7 Ludwig KR. SQUID version 1.02: A geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Centre, Special Publication 2001, (2): 19
- 8 郑永飞, 张兵. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化. 科学通报, 2007, 52(1): 1—10
- 9 丁兴, 周新民, 孙涛. 华南陆壳幕式生长——来自广东古寨花岗岩闪长岩中锆石 LA-ICPMS 定年的信息. 地质论评, 2005, 51(4): 382—392
- 10 万渝生, 张巧大, 宋天锐. 北京十三陵长城系常州沟组碎屑锆石 SHRIMP 年龄: 华北克拉通盖层物源区及最大沉积年龄的确定. 科学通报, 2003, 48(18): 1970—1975
- 11 郭亮, 张宏飞, 徐旺春, 等. 黄河源头区碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 自然科学进展, 2008, 18(12): 1398—1408
- 12 吴浩若. 重新解释广西运动. 科学通报, 2000, 45(5): 555—558