

# 徐淮地区新元古代初期镁铁质岩浆事件的 锆石 U-Pb 定年

柳永清 高林志 刘燕学 宋彪 王宗秀

( 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 北京离子探针中心, 北京 100037; 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100083. E-mail: liuyongqing@cags.net.cn)

**摘要** 华北徐淮地区元古界地层中发育巨型辉绿岩(床)群, 目前尚未见其侵入到年轻于寒武纪的地层。徐淮地区辉绿岩中分离出的锆石在阴极发光下具有 3 种不同的内部结构特征, 皆属于岩浆成因。SHRIMP 法 U-Pb 定年结果显示, 尽管  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄分布于 2600~124 Ma 区间, 但是在谐和图解上只定义了两个有意义的地质事件: (1)  $976 \pm 24 \sim 1038 \pm 26$  Ma, 对应于辉绿岩浆结晶时代; (2)  $2523 \pm 52$  Ma, 对应于混染的古老地壳物质形成时间。结果指示, 在华北地块南缘存在中元古代末期至新元古代初期的基性岩浆活动, 可能与 Rodinia 超大陆聚合过程中全球范围的 Grenvill 期大洋板块俯冲活动有关, 这对于恢复华北板块在 Rodinia 超大陆重建中的位置具有重要意义。

**关键词** 华北南缘 新元古代 辉绿岩 锆石 U-Pb 定年 超大陆再造

近年来, 在中国中部显生宙造山带内不断筛分和鉴别出新元古代热构造事件的地质记录<sup>[1]</sup>, 东秦岭<sup>[2]</sup>、大别-苏鲁造山带<sup>[3]</sup>、柴达木盆地北缘<sup>[4~6]</sup>以及塔里木陆块西南缘<sup>[6]</sup>等地区都发现有中元古代晚期至新元古代早中期 Rodinia 超大陆聚合和裂解的一系列岩浆热构造事件同位素年代学记录。而华北地块与上述华南地块、中央造山带和西部地区明显不同。长期以来, 由于华北地块缺乏可靠的中-新元古代岩浆热事件记录, 大部分 Rodinia 重建方案均未考虑华北陆块与超大陆聚合-裂解之间的可能关系。

胶辽徐淮地区的吉林南部(白山、通化)万隆组和桥头组; 辽东旅大和金州地区兴民村组、甘井子组、营城子组和南关岭组<sup>[7] 1)</sup>; 辽东本溪桥头组<sup>[7]</sup>; 苏皖赵圩组-倪园组、望山组以及淮北新元古代地层中都发育顺岩层侵入的巨型辉绿岩(床)群<sup>[7,2] 2)</sup> (图 1)。这些产于中-新元古代地层中的巨型辉绿岩(床)群是否与 Rodinia 超大陆聚合有关? 本文基于近期对徐淮地区巨型辉绿岩(床)群野外地质调查和锆石 U-Pb 测年研究, 试图了解研究区是否存在早新元古代岩浆热事件。

## 1 辉绿岩(床)群地质与地球化学特征

研究区位于安徽北部的淮北地区和江苏西北部的徐州地区(通常成为徐淮地区)。区内主要出露地层

以元古界和下古生界为主, 以复式的逆冲板片状产出(图 1)。辉绿岩(床)群仅见于元古界地层中, 多呈板层状或楔状, 厚 10 余米至几百米, 地表断续展布达数十公里, 与围岩层面平行或极低角度的微斜交。围岩见有微弱的大理岩化或局部矽卡岩化, 岩床顶部常发育有杏仁状构造、柱状节理<sup>[2]</sup>和球状风化构造。徐淮地区的大部分辉绿岩(床)风化严重, 但风化辉绿岩中有直径 50~30 cm 大小的新鲜球状“结核”。同时, 无论是研究区还是吉林南部、辽东等地区, 辉绿岩(床)群均呈状产于新元古代不同层位地层中, 从未在年轻于寒武系地层中出现, 但却被一起卷入印支期的构造变形<sup>[8]</sup>。样品采集层位和附近未见年轻的火成岩侵入体(图 1)。

研究区辉绿岩岩性以辉绿岩、石英辉绿岩为主, 辉长岩次之。辽东的辉绿岩主要造岩矿物为斜长石 54%~58%, 单斜辉石 40%~44%, 其他矿物较少<sup>1)</sup>。辉绿岩化学成份显示高  $\text{SiO}_2$  和  $\text{CaO}$ , 低  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$  及  $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ , 属大陆拉斑玄武岩系列, 同时具有大陆裂谷岩石圈地幔的 Sr, Nd 同位素特征和高  $\delta^{18}\text{O}$  值(6.63‰~9.93‰)<sup>[2]</sup>。

## 2 辉绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年

因胶辽吉南白山侵位元古代地层的辉绿岩样品

1) 1:5 万大连市幅, 三涧堡镇-石牧城驿-旅顺旧市街幅和水师营镇-旅顺新街幅区域地质图说明书

2) 1:20 万徐州幅区域地质图

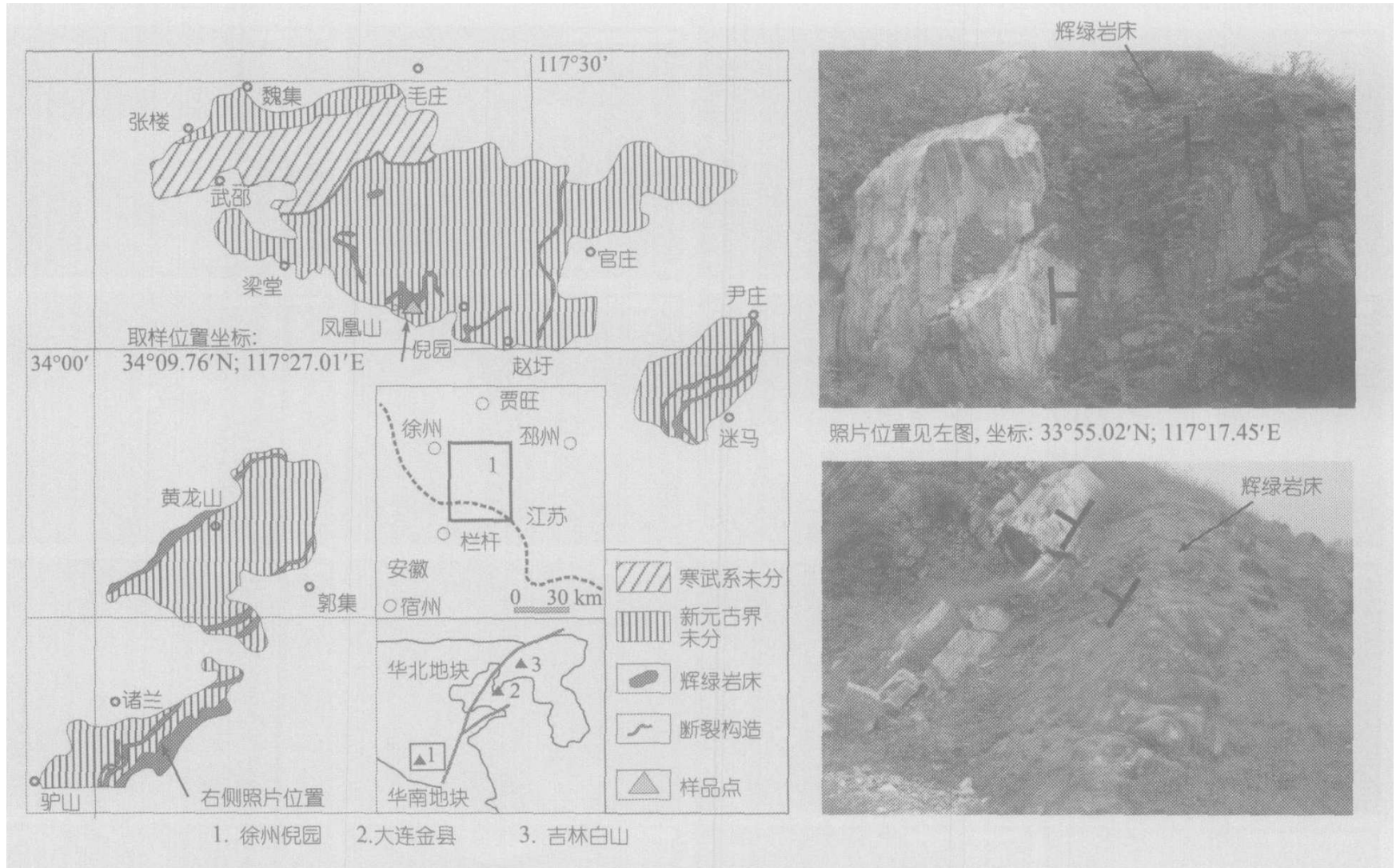


图 1 研究区地质-构造略图及测年样品位置

1. 本文测年样品位置; 2. 杨进辉等<sup>[9]</sup>; 3. 吉林白山, 样品点, 因数据少, 文中未讨论

分离出的锆石数量与测试数据太少, 本文仅对淮北地区侵位元古界地层中的辉绿岩锆石 U-Pb 测年数据进行讨论。

样品 T0398-1 和 T0398-2 取自安徽灵璧栏杆侵位于赵圩组-倪园组的辉绿岩, 地理坐标: N34°09.76' E117°27.01'(图 1)。T0398-2 为风化状产出的辉绿岩, T0398-1 为其中呈椭球状体产出的极为新鲜辉绿岩。杨进辉等<sup>[9]</sup>对辽东金州大和尚山侵位桥头组中的辉绿岩进行了 SHRIMP 法锆石 U-Pb 定年, 王宗秀等<sup>1)</sup>对旅大地区侵位营城子组和南关岭组的辉绿岩进行了 TIMS 法锆石 U-Pb 定年, 本文讨论时引用了这些数据。

图 2 表示了两种产状辉绿岩样品中分离出锆石具有的 3 种阴极发光图象和 U-Pb 年龄特征。<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄老于 1800 Ma 锆石呈浑圆状或部分板状, 后者表现面型分带, 前者偶有弱震荡环带, 多为无内部构造(图 2, 1~5)。800~1000 Ma 年龄的锆石为板柱状, 具有弱面型分带或无内部构造(图 2,

6~13)。379~800 Ma 年龄的锆石为板或短柱状, 具有弱震荡环带或无内部构造(图 2, 14~18)。印支-燕山期年龄的锆石为自型锥柱状, 都有明显的震荡环带构造(图 2, 19~24)。上述特征的锆石皆为岩浆成因。

有关锆石 SHRIMP 原位 U-Pb 测年流程和技术参数见参考文献[10]。原始测试数据如表 1, 谐和图如图 3。测年结果所示, 研究区辉绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 数据具有复杂的年龄谱系, 既存在 2.5~1.6 Ga 的较老年龄, 更普遍有 800~1000 Ma 区间数据, 而且还有零星 385~124 Ma 较年轻的数据(表 1, 图 3)。

T0398-1 样品中 31 颗锆石的 32 个分析点 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄主要为 825~984 Ma(还有 3 个 790, 590 和 230 Ma 数据)。<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄则略显偏老, 但也主要介于 863~1075 Ma。其中 24.1 和 25.1 为同一颗无内部结构的板条状锆石的两端(分析)点, <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄分别为 995 Ma 和 963 Ma(图 2,6), Th/U 比值 1.93~2.02; 13.1 分析点, <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄分别为 790 和 863 Ma, Th/U 比值 2.00; 13.20 分析点 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄分别

1) 同 2514 页脚注 1)

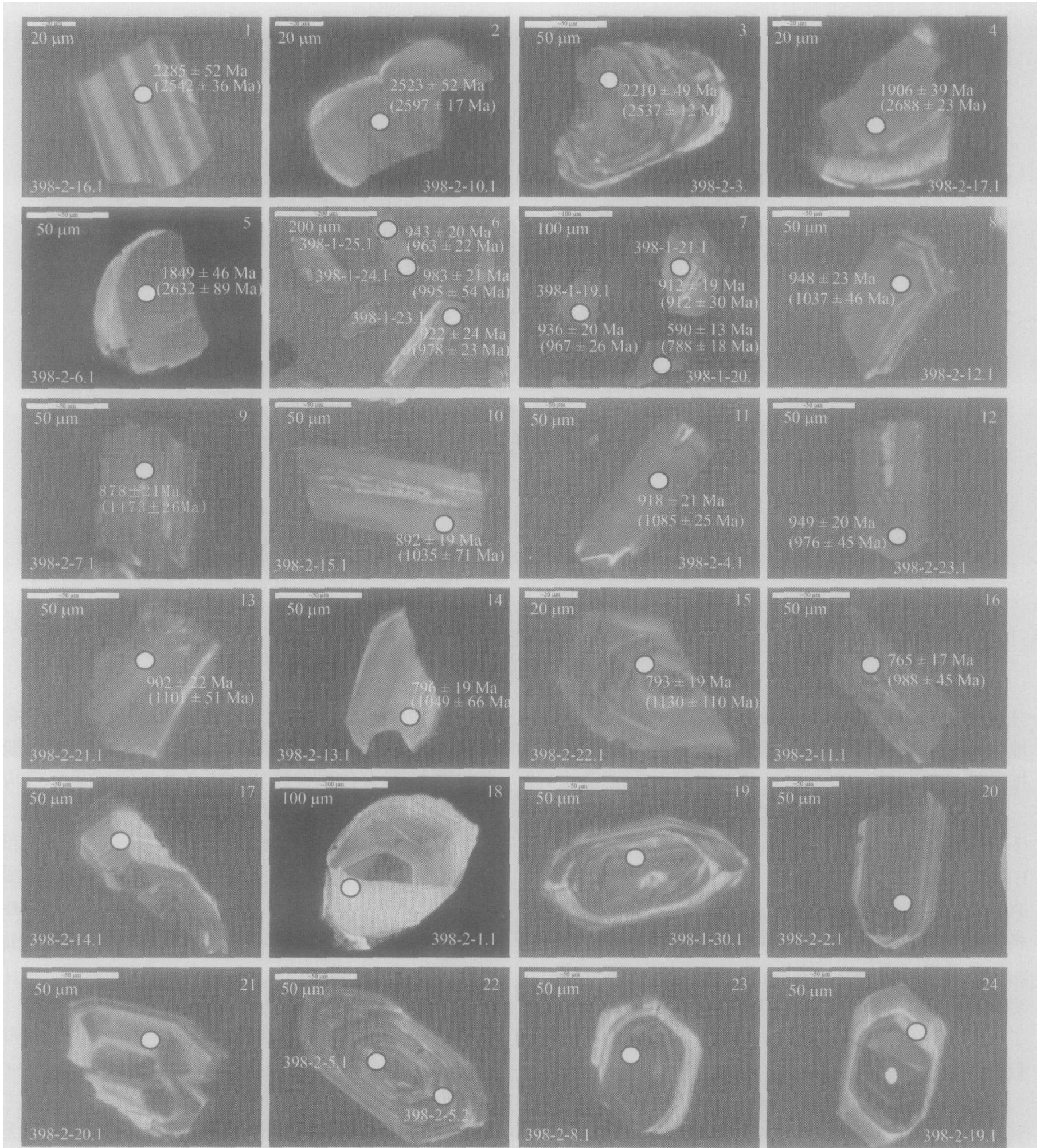


图2 辉绿岩锆石的阴极发光图像及测点与测年数据  
 括号外为  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄, 括号内为  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄

为 590 Ma, 且相对其他锆石, U 和 Th 含量比较高, Th/U 比值 1.79. 30.1 分析点锆石为自型锥柱状, 发育明显震荡环带, 分析点位于边缘,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 230 Ma, Th/U 比值 0.23.

显然, T0398-1 样品年龄数据中除了 3 个较年轻的 ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ )790, 590 和 230 Ma 年龄外, 主要为 ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ )863~1075 Ma. 因为 7.1, 12.1, 13.1, 20.1 等分析点都位于谐和图下部并不同程度偏离谐合线,

表1 辉绿岩锆石SHRIMP U-Pb定年数据

样品和测点	U/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Th/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Th/U	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}}$	$^{206}\text{Pb}_c$ %	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	年龄/Ma					
												$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
T0398-2-1.1	157	81	0.54	8.22	0.78	0.0904	9.1	0.754	11	0.0605	6.7	379	$\pm 25$	1433	$\pm 170$	575	$\pm 79$
T0398-2-2.1	742	88	0.12	21.4	0.32	0.0590	7.6	0.272	8.0	0.0334	2.3	211.8	$\pm 4.9$	566	$\pm 170$	362	$\pm 55$
T0398-2-3.1	214	170	0.82	75.2	0.02	0.1679	0.73	9.47	2.7	0.409	2.6	2210	$\pm 49$	2537	$\pm 12$	2013	$\pm 68$
T0398-2-4.1	526	784	1.54	74.3	0.00	0.0756	1.3	1.714	2.6	0.1644	2.3	981	$\pm 21$	1085	$\pm 25$	959	$\pm 24$
T0398-2-5.1	945	575	0.63	26.5	0.12	0.1186	1.3	0.532	4.4	0.0325	4.2	206.5	$\pm 8.5$	1935	$\pm 24$	350	$\pm 18$
T0398-2-5.2	1436	627	0.45	27.0	0.00	0.1244	4.5	0.376	5.1	0.0219	2.3	139.7	$\pm 3.2$	2021	$\pm 80$	314	$\pm 16$
T0398-2-6.1	66	149	2.32	19.0	0.08	0.1777	5.3	8.14	6.0	0.3322	2.8	1849	$\pm 46$	2632	$\pm 89$	1914	$\pm 98$
T0398-2-7.1	744	1332	1.85	93.2	0.00	0.0791	1.3	1.589	2.8	0.1458	2.5	878	$\pm 21$	1173	$\pm 26$	891	$\pm 25$
T0398-2-8.1	1256	408	0.34	24.8	0.14	0.0807	6.6	0.255	7.2	0.0229	3.0	146.2	$\pm 4.4$	1215	$\pm 130$	253	$\pm 26$
T0398-2-9.1	870	1518	1.80	105	0.00	0.0725	2.1	1.400	3.1	0.1400	2.3	845	$\pm 18$	1001	$\pm 43$	819	$\pm 47$
T0398-2-10.1	165	132	0.83	67.8	0.06	0.1740	1.0	11.50	2.7	0.479	2.5	2523	$\pm 52$	2597	$\pm 17$	2577	$\pm 75$
T0398-2-11.1	1421	2471	1.80	154	0.15	0.0721	2.2	1.252	3.2	0.1260	2.3	765	$\pm 17$	988	$\pm 45$	672	$\pm 23$
T0398-2-12.1	724	1130	1.61	98.7	0.15	0.0738	2.3	1.612	3.5	0.1584	2.6	948	$\pm 23$	1037	$\pm 46$	937	$\pm 25$
T0398-2-13.1	183	145	0.82	20.9	0.96	0.0743	3.3	1.346	4.1	0.1314	2.5	796	$\pm 19$	1049	$\pm 66$	808	$\pm 30$
T0398-2-14.1	129	109	0.87	12.1	1.73	0.0767	8.6	1.13	9.9	0.1071	4.8	656	$\pm 30$	1113	$\pm 170$	729	$\pm 59$
T0398-2-15.1	693	1002	1.49	89.0	0.70	0.0738	3.5	1.510	4.2	0.1484	2.3	892	$\pm 19$	1035	$\pm 71$	923	$\pm 24$
T0398-2-16.1	84	46	0.57	30.6	0.13	0.1684	2.2	9.88	3.5	0.426	2.7	2285	$\pm 52$	2542	$\pm 36$	2300	$\pm 140$
T0398-2-17.1	273	52	0.20	80.7	0.17	0.1839	1.4	8.72	2.7	0.3440	2.3	1906	$\pm 39$	2688	$\pm 23$	2540	$\pm 110$
T0398-2-18.1	1278	2110	1.71	164	0.34	0.0730	1.4	1.496	2.8	0.1487	2.4	893	$\pm 20$	1013	$\pm 28$	891	$\pm 23$
T0398-2-19.1	1536	644	0.43	26.2	1.99	0.0718	6.2	0.193	6.8	0.0195	2.7	124.3	$\pm 3.3$	981	$\pm 130$	120	$\pm 12$
T0398-2-20.1	337	184	0.56	9.91	2.86	0.083	15	0.382	16	0.0332	5.3	211	$\pm 11$	1281	$\pm 290$	295	$\pm 30$
T0398-2-21.1	854	1394	1.69	111	0.60	0.0762	2.5	1.578	3.7	0.1502	2.7	902	$\pm 22$	1101	$\pm 51$	880	$\pm 27$
T0398-2-22.1	307	192	0.65	34.7	0.70	0.0773	5.3	1.395	5.9	0.1308	2.5	793	$\pm 19$	1130	$\pm 110$	864	$\pm 32$
T0398-2-23.1	789	1414	1.85	108	0.46	0.0717	2.2	1.566	3.2	0.1585	2.3	949	$\pm 20$	976	$\pm 45$	960	$\pm 24$

续表 1

样品和测点	U/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Th/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Th/U	$^{206}\text{Pb}^+$ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$^{206}\text{Pb}_c$ %	$^{207}\text{Pb}^+ / ^{206}\text{Pb}^+$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^+ / ^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^+ / ^{238}\text{U}$	$\pm\%$	年龄/Ma					
												$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb} / ^{232}\text{Th}$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
T0398-1-1.1	699	948	1.40	91.0	0.05	0.06983	0.83	1.459	2.4	0.1516	2.2	910	$\pm 19$	923	$\pm 17$	893	$\pm 21$
T0398-1-2.1	742	1377	1.92	99.2	0.18	0.07161	1.4	1.534	2.8	0.1554	2.4	931	$\pm 21$	975	$\pm 28$	898	$\pm 22$
T0398-1-3.1	780	1239	1.64	99.8	0.10	0.06980	1.3	1.431	2.6	0.1487	2.2	894	$\pm 19$	922	$\pm 27$	864	$\pm 20$
T0398-1-4.1	737	1017	1.43	96.8	0.09	0.07006	0.93	1.475	2.4	0.1527	2.2	916	$\pm 19$	930	$\pm 19$	916	$\pm 22$
T0398-1-5.1	615	1303	2.19	79.8	0.18	0.07093	1.2	1.475	2.6	0.1508	2.2	905	$\pm 19$	955	$\pm 25$	874	$\pm 20$
T0398-1-6.1	666	1101	1.71	85.8	0.11	0.06872	0.96	1.419	2.4	0.1498	2.2	900	$\pm 19$	890	$\pm 20$	881	$\pm 20$
T0398-1-7.1	1111	1675	1.56	131	0.22	0.07079	1.2	1.332	2.6	0.1365	2.2	825	$\pm 17$	951	$\pm 25$	824	$\pm 20$
T0398-1-8.1	630	816	1.34	84.6	0.04	0.07110	1.1	1.531	2.6	0.1562	2.4	936	$\pm 21$	960	$\pm 23$	879	$\pm 45$
T0398-1-9.1	571	886	1.60	77.1	0.14	0.06876	0.98	1.488	2.5	0.1570	2.3	940	$\pm 20$	891	$\pm 20$	922	$\pm 22$
T0398-1-10.1	881	1508	1.77	125	0.31	0.06908	1.2	1.566	2.6	0.1644	2.3	981	$\pm 20$	901	$\pm 25$	933	$\pm 22$
T0398-1-11.1	669	1196	1.85	87.2	0.45	0.0734	1.4	1.529	2.6	0.1510	2.3	907	$\pm 19$	1026	$\pm 28$	917	$\pm 22$
T0398-1-12.1	802	1510	1.95	94.6	0.12	0.0689	1.8	1.303	2.9	0.1373	2.3	829	$\pm 18$	894	$\pm 37$	793	$\pm 20$
T0398-1-13.1	864	1668	2.00	96.8	0.07	0.06783	1.4	1.219	2.7	0.1303	2.3	790	$\pm 17$	863	$\pm 30$	728	$\pm 23$
T0398-1-14.1	503	1111	2.28	66.1	0.30	0.0688	1.8	1.448	3.0	0.1525	2.3	915	$\pm 20$	894	$\pm 38$	902	$\pm 26$
T0398-1-15.1	530	731	1.43	68.8	0.22	0.07139	1.1	1.485	2.9	0.1509	2.7	906	$\pm 23$	968	$\pm 23$	896	$\pm 25$
T0398-1-16.1	499	1121	2.32	66.7	0.05	0.07220	1.1	1.547	2.6	0.1554	2.4	931	$\pm 20$	991	$\pm 22$	894	$\pm 22$
T0398-1-17.1	845	1695	2.07	114	0.05	0.07116	0.85	1.540	2.4	0.1570	2.2	940	$\pm 20$	962	$\pm 17$	929	$\pm 22$
T0398-1-18.1	659	936	1.47	86.1	0.00	0.07434	0.94	1.559	2.4	0.1521	2.3	913	$\pm 19$	1,051	$\pm 19$	907	$\pm 21$
T0398-1-19.1	561	787	1.45	75.4	0.14	0.07135	1.3	1.538	2.6	0.1563	2.3	936	$\pm 20$	967	$\pm 26$	881	$\pm 27$
T0398-1-20.1	1596	2770	1.79	131	0.04	0.06542	0.88	0.864	2.4	0.0958	2.3	590	$\pm 13$	788	$\pm 18$	583	$\pm 15$
T0398-1-21.1	1148	1773	1.60	150	0.11	0.0694	1.5	1.456	2.7	0.1520	2.3	912	$\pm 19$	912	$\pm 30$	906	$\pm 24$
T0398-1-22.1	668	1079	1.67	88.3	0.07	0.0726	2.8	1.540	3.7	0.1538	2.4	922	$\pm 21$	1004	$\pm 58$	940	$\pm 24$
T0398-1-23.1	563	1325	2.43	74.3	0.03	0.07173	1.1	1.521	3.0	0.1538	2.8	922	$\pm 24$	978	$\pm 23$	863	$\pm 25$
T0398-1-24.1	557	1040	1.93	78.9	0.00	0.0723	2.6	1.643	3.5	0.1648	2.3	983	$\pm 21$	995	$\pm 54$	972	$\pm 23$
T0398-1-25.1	525	1027	2.02	71.0	0.00	0.07121	1.1	1.547	2.5	0.1576	2.3	943	$\pm 20$	963	$\pm 22$	936	$\pm 22$
T0398-1-26.1	663	1121	1.75	92.2	0.00	0.07524	1.2	1.678	2.6	0.1618	2.3	967	$\pm 21$	1075	$\pm 23$	959	$\pm 26$
T0398-1-27.1	714	1234	1.79	91.8	0.00	0.07274	0.92	1.501	2.4	0.1497	2.3	899	$\pm 19$	1007	$\pm 19$	884	$\pm 22$
T0398-1-28.1	564	918	1.68	75.8	0.04	0.0753	1.7	1.625	3.1	0.1566	2.5	938	$\pm 22$	1075	$\pm 34$	966	$\pm 27$
T0398-1-29.1	607	813	1.38	78.7	0.00	0.0719	2.5	1.497	3.7	0.1510	2.7	907	$\pm 23$	983	$\pm 51$	895	$\pm 27$
T0398-1-30.1	751	166	0.23	23.4	0.00	0.0795	9.6	0.398	10.0	0.0363	2.5	230.0	$\pm 5.6$	1184	$\pm 190$	449	$\pm 56$
T0398-1-31.1	523	695	1.37	70.3	0.04	0.07419	1.3	1.603	2.7	0.1566	2.3	938	$\pm 20$	1047	$\pm 27$	942	$\pm 23$
T0398-1-32.1	764	1270	1.72	97.8	0.02	0.0729	2.1	1.498	3.1	0.1490	2.2	895	$\pm 19$	1011	$\pm 43$	885	$\pm 21$

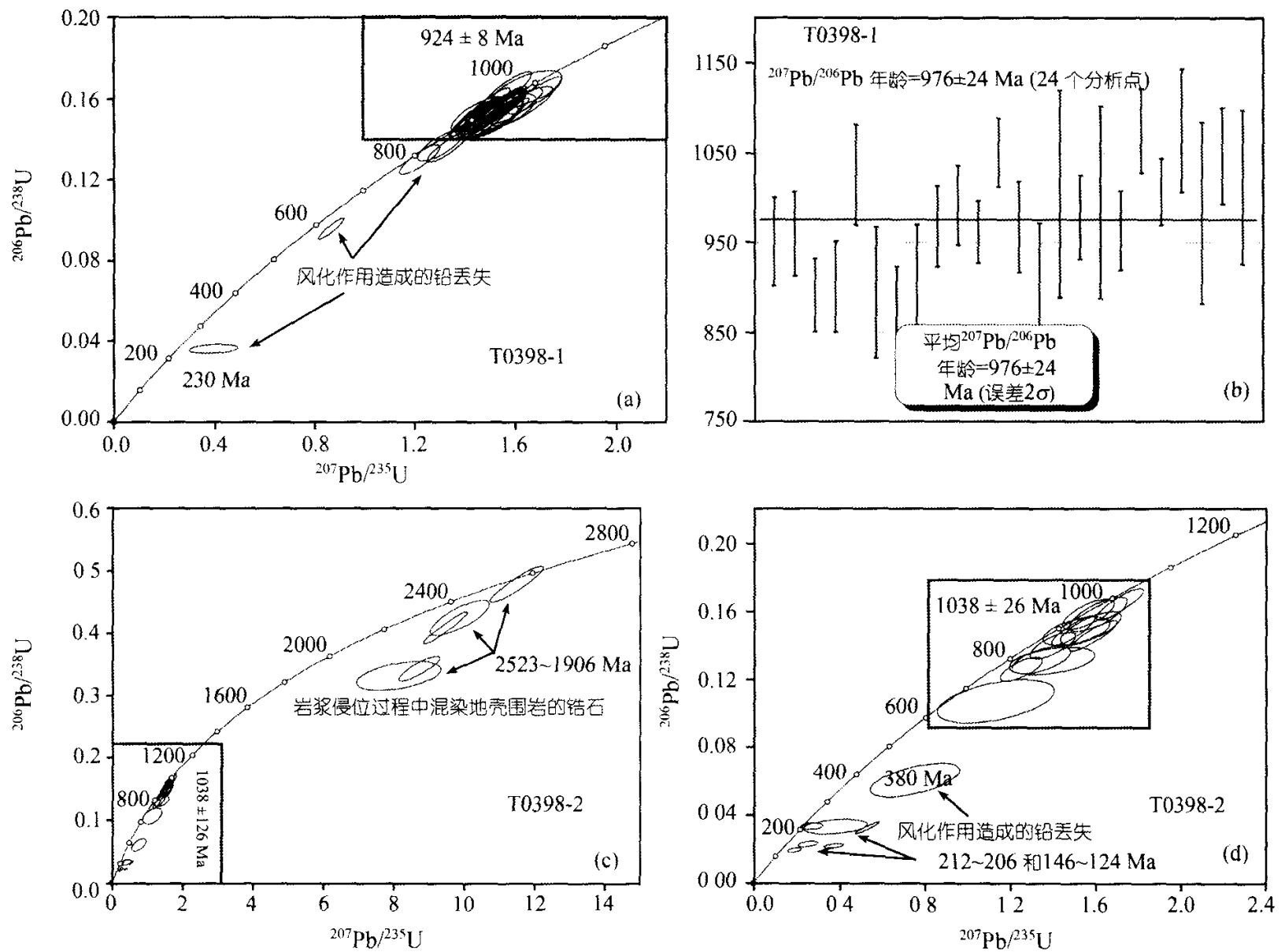


图 3 苏皖北部元古代侵入元古代地层中辉绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年谐和图

因此被解释为铅丢失所致。但是 30.1 锆石与老年龄锆石形态差异显著，前者为短锥柱状，发育明显震荡环带，数据点也位于谐合线下部并偏离谐合线， $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  和  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄也十分不协调，显示出风化作用对锆石 U-Pb 同位素体系的影响。剔除 7.1, 12.1, 13.1, 20.1 和 30.1 等 5 个数据点，余下 27 个分析点均位于谐和线上， $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  平均年龄为  $976 \pm 24$  Ma(图 3)。该年龄代表了锆石从辉绿岩浆结晶的地质时间。

T0398-2 样品 23 个分析点的测年数据略分散， $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分布在 2523~124 Ma 区间。其中，5 颗锆石分别具有 2542, 2597, 2537, 2688 和 2632 Ma 的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄。具这些年龄的锆石呈浑圆粒状或偶短柱状，少有环带构造(图 2, 1~5), U 和 Th 含量较低，Th/U 比值变化大(0.2~2.32)。

另 8 颗锆石皆为板状，弱内部结构， $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为 1101~1085 Ma(图 2, 8~13), Th/U 比值 1.54~1.85;

4 颗锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 656~796 Ma, Th/U 比值也表现一定变化(0.65~1.61); 1 颗浑圆状锆石(1.1)  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 379 Ma, Th/U 比值 0.54; 此外，还有 6 颗具明显震荡环带、自型短锥状的锆石(图 2, 19~24), 其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄介于 212~206 Ma(2.1, 20.1 和 5.1) 和 146~124 Ma (8.1, 5.2 和 19.1), 前者 Th/U 比值 0.12~0.63, 后者 0.34~0.45。分析点 5.1, 5.2(图 2, 22) 分别位于具明显震荡环带、自型短锥状锆石的核部和边缘， $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分别为 207 和 140 Ma。

上述  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为 2542~2688 Ma 的锆石，无论是形态还是内部结构都与年轻于它们的锆石有明显差异，而较大 Th/U 比值变化区间(0.2~2.32)可能表明它们经历过构造热事件的改造<sup>[11]</sup>，因此将其解释为辉绿岩岩浆侵位过程中混染地壳围岩的锆石，其谐和年龄  $2523 \pm 52$  Ma 近似于古老地壳形成的时间。

而 4 颗具有 1101~1085 Ma 的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄锆石(图 2, 14~17), 各有 2 个具有弱环带(13.1, 11.1)和无

结构(22.1, 14.1)特征, 它们连同  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为 1433 Ma 的锆石数据点皆位于谐和图下部, 并不同程度偏离谐合线, 同时结合岩石样品产状等解释为风化作用引起的铅丢失结果。

与 0398-1 一样, 0398-2 样品中也分别具有  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 212~206 Ma 和 146~124 Ma 的锆石, 形态上都为自型锥柱状, 发育明显震荡环带, 它们与同一样品中的老年龄锆石差异分明, 尤其是它们  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  与  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄的谐和性较差, 应属于 Pb 扩散丢失所致。剔除掉 11 个  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄 1101~1085 Ma 之间以外的或老或年轻的数据, 余下 12 个分析点均位于谐和线上 (图 3),  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  加权平均年龄为  $1038\pm 26$  Ma, 代表了锆石从辉绿岩浆中结晶的地质时间。

### 3 讨论

杨进辉等<sup>[9]</sup>对辽东金州新元古代桥头组辉绿岩锆石 SHRIMP 法 U-Pb 测年数据与本文辉绿岩锆石 SHRIMP 法 U-Pb 测年结果较为相似。在他们的 11 个测试数据中, 有 9 个点的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄加权平均值为  $904\pm 15$  Ma, 有 1 个点的谐和年龄为  $1125\pm 38$  Ma。据此, 杨进辉等认为 0.9~1.1 Ga 的锆石 U-Pb 年龄可与北美 Grenvill 造山事件相对比, 推测研究区存在新元古代初期与 Rodinia 超大陆聚合有关的岩浆活动。但是他们也认为, 测年研究的锆石是继承成因的, 辉绿岩浆的侵位时间是晚三叠世(211 Ma)<sup>[9]</sup>, 因此并不能说明存在中元古代末期-新元古代初期的基性岩浆活动。

辽东大连地区元古代地层中大规模发育呈层状侵入的辉绿岩(床)群。望海山-西山和黄龙尾一带, 出露宽度 50~250 m 的辉绿岩(床)分别发育于元古代马家屯组\崔家屯组和甘井子组 1\2 段及南关岭组\甘井子组分界线间。此外, 台子山-北石道街与龙头山-炮崖等地在桥头组 1\2 段, 营城子组 1\2 段也都发育出露宽度 10~80 m, 延展十数 km 的辉绿岩(床)。然而, 上述这些辉绿岩(床)从未在年轻于寒武系的地层中出现, 并被一起卷入印支期的构造变形<sup>[8]</sup>, 有些还被印支-燕山期小规模基性岩脉截切。燕山地区青白口系下马岭组中也大量发育顺层侵入的辉绿岩(床)具有 3~4 层, 并未穿过该组发育在寒武系中, 辉绿岩(床)产状和围岩完全一致, 界线平直, 厚度 10~20 m, 延展达十数 km 左右, 区域地质调查中常被用于

标志层。淮北巨型辉绿岩(床)群仅见其产于元古界赵圩组-倪园组和望山组等元古界地层中。辉绿岩(床)皆为顺岩层侵入, 呈板状, 厚 10 余米至几百米, 与围岩层面平行或极低角度的微斜交(图 1, 右), 寒武纪以后的地层中从未出现过。采样点附近也未见年轻火成岩侵入体。目前, 尚无野外证据表明本文辉绿岩(床)是在印支期构造变形过程中或以后顺层侵位的。

同时由前述可见, 本文定年锆石具有岩浆成因, 因此所测定的 U-Pb 年龄  $976\pm 24\sim 1038\pm 26$  Ma 代表了辉绿岩浆结晶时代。这可以证明, 研究区(华北板块南缘)在中元古代末期-新元古代初期发育有一定规模的基性岩浆活动。本文获得的淮北元古界地层中辉绿岩 1038~976Ma 前后的岩浆热事件可能与 Rodinia 超大陆聚合有关<sup>[11~14]</sup>。北美 Grenvill 造山运动发生在 0.98~1.19Ga<sup>[1]</sup>。刚果克拉通记录有 1.0~0.91 Ga 的埃达克质花岗岩以及基性岩(墙群)等火山-构造事件<sup>[15]</sup>; 东格陵兰发育晚于 Grenvillian 主造山幕的 0.95~0.92Ga 变质和岩浆侵入事件<sup>[16]</sup>, 西南瑞典产有 0.91Ga 的埃达克质花岗岩和基性岩(墙群)<sup>[17]</sup>。

880~1100 Ma 是中国南方中元古代晚期-新元古代早期 Rodinia 超大陆聚合过程中与 Grenvill 造山作用有关的洋壳消减过程中岩浆活动的时间, 其中 970 Ma 前后发育有埃达克质花岗岩。而 830~820Ma 或 750 Ma 则发生超大陆的裂解以及同时期的非造山岩浆活动<sup>[3,12~14,18~21]</sup>。扬子板块北缘新元古代裂谷岩浆活动时间集中在 700~800 Ma<sup>[3,22~24]</sup>, 峰期年龄是 ~750 Ma<sup>[23]</sup>, 是 Rodinia 超大陆裂解过程中裂谷岩浆活动时间的同位素年代学纪录<sup>[3]</sup>。南秦岭(830~750 Ma)和柴达木盆地北缘(880~860 Ma)也存在与大陆聚合和裂解有关的基性岩墙群<sup>[1~2,4~6]</sup>。尽管扬子板块和华北地块都存在古元古代到太古宙的古老地壳物质<sup>[25]</sup>, 但是两者在新元古代岩浆活动的时间序列和构造性质上存在明显差异。

本文研究结果指示, 在华北地块南缘存在中元古代末期至新元古代初期的基性岩浆活动, 可能与 Rodinia 超大陆聚合过程中全球范围的 Grenvill 期大洋板块俯冲活动有关。因此, 在全球 Rodinia 超大陆重建时需要考虑华北地块的古地理位置。

致谢 感谢两位评审专家和特邀编辑提出的重要修改意见。SHRIMP U-Pb 测年工作得到刘敦一、陶华等的大力协助。耿元生和尹崇玉研究员提出了建设性意见。万渝生和李寅等研究员及王自强教授分别与作者进行过多次探讨。锆石

阴极发光图像由中国地质科学院矿产资源研究所周剑雄等完成, 在此一并表示衷心感谢. 本研究为中国地质调查局项目(批准号: 200313000055)资助.

参 考 文 献

- 1 陆松年. 从罗迪尼亚到冈瓦纳大陆-对新元古代超大陆研究的几个问题的思考. 地学前缘, 2001, 8(4): 441~448
- 2 潘国强, 刘家润, 孔庆友, 等. 徐淮地区震旦纪地质事件及其成因讨论. 高校地质学报, 2000, 6(4): 566~575
- 3 Zheng Y F, Wu Y B, Chen F K, et al. Zircon U-Pb and oxygen isotope evidence for a large-scale <sup>18</sup>O depletion event in igneous rocks during the Neoproterozoic. Geochim Cosmochim Acta, 2004, 68(20): 4145~4165
- 4 杨经绥, 史仁灯, 吴才来, 等. 柴达木盆地北缘新元古代蛇绿岩的厘定-罗迪尼亚大陆裂解的证据? 地质通报, 2004, 23(90): 892~898
- 5 张传林, 杨淳, 沈家林, 等. 西昆仑北缘新元古代片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及其意义. 地质论评, 2003, 49(3): 239~244
- 6 张传林, 叶海敏, 王爱国. 塔里木西南缘新元古代辉绿岩及玄武岩的地球化学特征: 新元古代超大陆(Rodinia)裂解的证据. 岩石学报, 2004, 20(3): 483~494
- 7 乔秀夫, 高林志, 彭阳. 古庐带新元古界-灾变、层序、生物. 北京: 地质出版社, 2001. 1~128
- 8 王宗秀, 唐哲民, 杨中柱, 等. 大连地区的中生代韧性构造变形. 地震地质, 2000, 22: 379~386
- 9 杨进辉, 吴福元, 张燕斌. 辽东半岛南部三叠纪辉绿岩中发现新元古代年龄锆石. 科学通报, 2004, 49(18): 1878~1882
- 10 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 2002, 48(增刊): 26~30
- 11 Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A, et al. Review of global 2.1~1.8 Ga orogens: Implications for a pre-Rodinia Supercontinent. Earth Sci Rev, 2002, 59: 125~162
- 12 Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. Precam Res, 2003, 122: 85~109
- 13 Li W-X, Li X-H, Li Z-X. Neoproterozoic bimodal magmatism in the Cathaysia Block of South China and its tectonic significance. Precam Res, 2005, 136: 51~66
- 14 Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. Precam Res, 2003, 122(1-4): 45~83
- 15 Tack L, Wingate M T D, Liegeois J P, et al. Early Neoproterozoic magmatism of the Zadinian and Mayumbian Groups(Bas-Congo): onset of Rodinian rifting at the western edge of the Congo craton. Precam Res, 2001, 110(1~4): 277~306s
- 16 Watt G R, K Thrane. Early Neoproterozoic events in East Greenland. Precam Res, 2001, 110 (1~4): 165~184
- 17 Hellström F, Johansson Å, Larson S Å. Age and emplacement of late Sveconorwegian monzogabbroic dykes, SW Sweden. Precam Res, 2004, 128: 39~55
- 18 Li X H. U-Pb zircon age of granites from the southern margin of Yangtze Block and the timing of Neoproterozoic Jinning Orogeny in SE China: Termination of Rodinia assembly? Precam Res, 1999, 97: 43~57
- 19 Li Z X, Moonsup Cho, Li X H. Precambrian tectonics of East Asia and relevance to supercontinent evolution. Precam Res, 2003, 122(1-4): 1~6
- 20 Li X H, Li Z X, Ge W, et al. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca.825 Ma? Precam Res, 2003, 122(1-4): 45~83
- 21 Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? Earth Planet Sci Lett, 1999, 173: 171~181
- 22 周建波, 郑永飞, 吴元宝. 苏鲁造山带西北缘五莲花岗岩中锆石 U-Pb 年龄及地质意义. 科学通报, 2002, 47(22): 1745~1750
- 23 Zheng Y F, Fu B, Gong B, et al. Stable isotope geochemistry of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu orogen in China: Implications for geodynamics and fluid regime. Earth Sci Rev, 2003, 62: 105~161
- 24 Wu Y B, Zheng Y F, Zhou J B. Neoproterozoic granitoid in north-west Sulu and its bearing on the North China-South China Blocks boundary in east China. Geophys Res Lett, 2004, 31, L07616, doi:10.1029/2004GL019785.
- 25 郑永飞. 新元古代岩浆活动与全球变化. 科学通报, 2004, 48(16): 1705~1720

(2005-04-25 收稿, 2005-07-18 收修改稿)