

辉绿岩脉中的俘获锆石：地壳构造—热历史的“探针”

——来自玉树混杂带辉绿岩俘获锆石的研究实例

丁妍¹ 杨天南¹ 张洪瑞¹ 王召林² 薛万文³ 张玉宝³

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012;
3. 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012)

摘要: 结晶程度较低的基性岩如玄武岩、辉绿岩的岩浆锆石含量一般很低, 不利于用锆石原位测年方法确定其成岩时代。但这类岩石可能含有俘获锆石, 通过对俘获锆石的详细研究, 可以推测基性岩浆通道周围地质体的演化历史, 其作用如同穿越岩石圈上部的“探针”。玉树混杂岩带为一晚古生代混杂带, 由变质-变形陆源碎屑岩、玄武岩、辉绿岩及辉长岩侵入体组成, 脉状辉绿岩侵入到玄武岩中。从一件辉绿岩样品中分离了约130颗锆石, 对其中72颗进行了SHRIMP及LA-ICP-MS原位U/Pb同位素分析, 结果显示其表面年龄范围在400~2900 Ma间, 明显老于其成岩年龄, 表明玉树混杂带发育于古老陆壳基底之上。分析显示年龄谱具两个主要峰值: 500 Ma和1000 Ma, 与扬子地块年龄谱类似。该结果表明, 玉树混杂带发育于东羌塘地块北缘, 并不能代表成熟洋壳残留体; 东羌塘地块与扬子板块具亲缘性。

关键词: 辉绿岩; 俘获锆石; 年龄分布; 玉树混杂带; 构造亲缘性

中图分类号: P597+.3; P588.12

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)03-0438-11

Zircon xenocrysts in diabase dykes, a potential lithosphere probe for the thermo-tectonic evolution of the crust: a case study of zircon xenocrysts of diabase in Yushu Mélange

DING Yan¹, YANG Tian-nan¹, ZHANG Hong-ru¹, WANG Zhao-lin², XUE Wan-wen³ and ZHANG Yu-bao³

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China; 3. Qinghai Geological Survey, Xining 810012, China)

Abstract: Mafic rocks, especially those with low crystallization degree such as basalt and diabase, generally contain very rare zircon. It is thus not very easy to determine their rock-forming epochs by in-situ zircon U/Pb analysis. However, this kind of magmatic rock is likely to entrap numerous zircon xenocrysts in the rising process of magma, whose geochronology may provide valuable constraints on the tectonic evolution of the penetrated geological units. Such zircon-bearing mafic rocks play a role just like the role of lithosphere probe. This paper reports a case study of such zircon xenocrysts. The Yushu tectonic mélange in north-central Tibet is a Late Paleozoic one consisting of metamorphosed and deformed continent-derived clastics, metabasalt, diabase dykes, and numerous gabbroic plutons. Its tectonic affinity and tectonic implications remain in controversy mainly due to the absence of precise geochronological data. In order to get the precise time of the mélange, the authors sampled a diabase

收稿日期: 2011-02-25; 修订日期: 2011-04-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAB01A08); 国家自然科学基金重点资助项目(40730419); 973项目(2009CB421001); 中国地质调查项目(1212010818096)

作者简介: 丁妍(1988-), 女, 汉族, 构造地质学专业硕士研究生, E-mail: dzdy-1988@163.com; 通讯作者: 杨天南, 研究员, E-mail: yangtn@cags.net.cn

dyke for zircon separation, which cuts across the basalts with pillow structures. Approximately 130 zircon grains were collected from the diabase sample, 12 and 60 of which were analyzed for U, Th, and Pb isotopic content by employing SHRIMP and LA-ICP-MS techniques, respectively. The results reveal that the zircon U/Pb ages are in a large range of 400 to 2 900 Ma, obviously older than the time of magmatism, suggesting that all the analyzed zircons are xenocrystals entrapped from the country rocks of the diabase. Based on the field relationship and the petrographic nature of the diabase, the authors hold that these xenocrystic zircons came from a crystalline basement at the earlier stage of the magma rising process instead of being captured from the meta-clastics of the Yushu mélangé. Thus, the mafic rocks of the Yushu mélangé were developed on a continental crystalline basement, probably in a rifting basin. Furthermore, the geochronology of the xenocrystic zircons provides valuable constraint on the thermo-tectonic evolution of the penetrated crystalline basement. The 72 analyses form an age distribution spectrum that exhibits three major age-peaks: 450 to 750 Ma, 850 to 1 400 Ma, and 1 500 to 1 800 Ma, respectively, which is quite comparable with the age distribution spectrum of the Yangtze block. For the zircon grains of each age-peak, internal zoning structure in the zircons with older ages was commonly clearer than those with younger ages. This fact implies that the thermo-tectonic events of the penetrated crystalline basement were all composed of magmatism and associated metamorphism. Although further studies are required, the new data presented here demonstrate that the Yushu mélangé was a continent marginal one along the northern margin of the eastern Qiangtang block of Cathaysian affinity instead of a remnant oceanic slice.

Key words: diabase; zircon xenocrysts; age distribution; Yushu mélangé; tectonic affinity

锆石原位分析测年技术的进展开创了地质学研究的崭新时代,它首先在精确测定地质事件时代上取得了令人振奋的效果,在重塑造山带演化历史(如陈能松等,2008)、盆地沉积历史、盆地沉积物源区分析(如 Weislogel *et al.*, 2006)等方面也取得了大量进展。由于基性岩,特别是结晶程度低的玄武岩或辉绿岩中原生锆石含量很低,用于测定岩浆活动时代一般效果较差。但在岩浆活动过程中从围岩俘获的锆石却可以提供岩浆上升通道周围地质体的演化信息。本文将提供这方面的一个研究实例,以供相关人员参考。

1 研究背景

位于青藏高原中北部的玉树(也称西金乌兰-歇武)缝合带分隔了北部的巴彦喀拉-松潘甘孜地块及南部的东羌塘地块。沿该缝合带出露大量枕状玄武岩、辉长岩和少量超基性岩。由于这些基性-超基性岩石具有洋脊玄武岩(MORB)的地球化学特征,前人将这些岩石划归为蛇绿混杂岩带(Zhang *et al.*, 1989)。但这些岩石与生物碎屑灰岩、陆源碎屑灰岩互层,后者中还常见植物碎片、波痕、斜层理等浅水盆地的特征(具体见下文),与蛇绿混杂岩的假定相矛盾。另外,由于强烈的变质、变形改造,这套岩石

组合中的古生物化石已被破坏殆尽,难以确定其成岩时代。鉴于此,笔者选取辉绿岩样品,挑选其中的锆石,试图运用锆石原位分析测试技术确定该辉绿岩的形成时代。但结果并不理想,所有锆石表观年龄均大于400 Ma,显然不能反映岩石形成年龄。然而,这些数据提供了辉绿岩岩浆上升通道周围地质体的演化信息,同时还可以为确定玉树蛇绿混杂岩的大地构造属性提供一定制约。

2 地质背景及取样位置

青藏高原中北部从北往南主要构造单元包括东昆仑地块、巴彦喀拉-松潘甘孜地块、东羌塘地块、西羌塘地块,其间分别被昆南缝合带(Bian *et al.*, 2004)、玉树缝合带(金沙江缝合带北段, Dewey *et al.*, 1988)、双湖缝合带(Li *et al.*, 2009)所分割(图1)。研究区涉及北部的巴彦喀拉-松潘甘孜地块、南部的东羌塘地块以及分割两者的玉树缝合带(图2)。

2.1 巴彦喀拉-松潘甘孜地块

呈三角形的巴彦喀拉-松潘甘孜地块被扬子地块、秦岭-昆仑造山带及羌塘地块所围限,以强烈褶皱变形的三叠纪复理石沉积岩系广泛分布为特征(黄汲清等,1987),复理石沉积岩面积大于 2×10^6

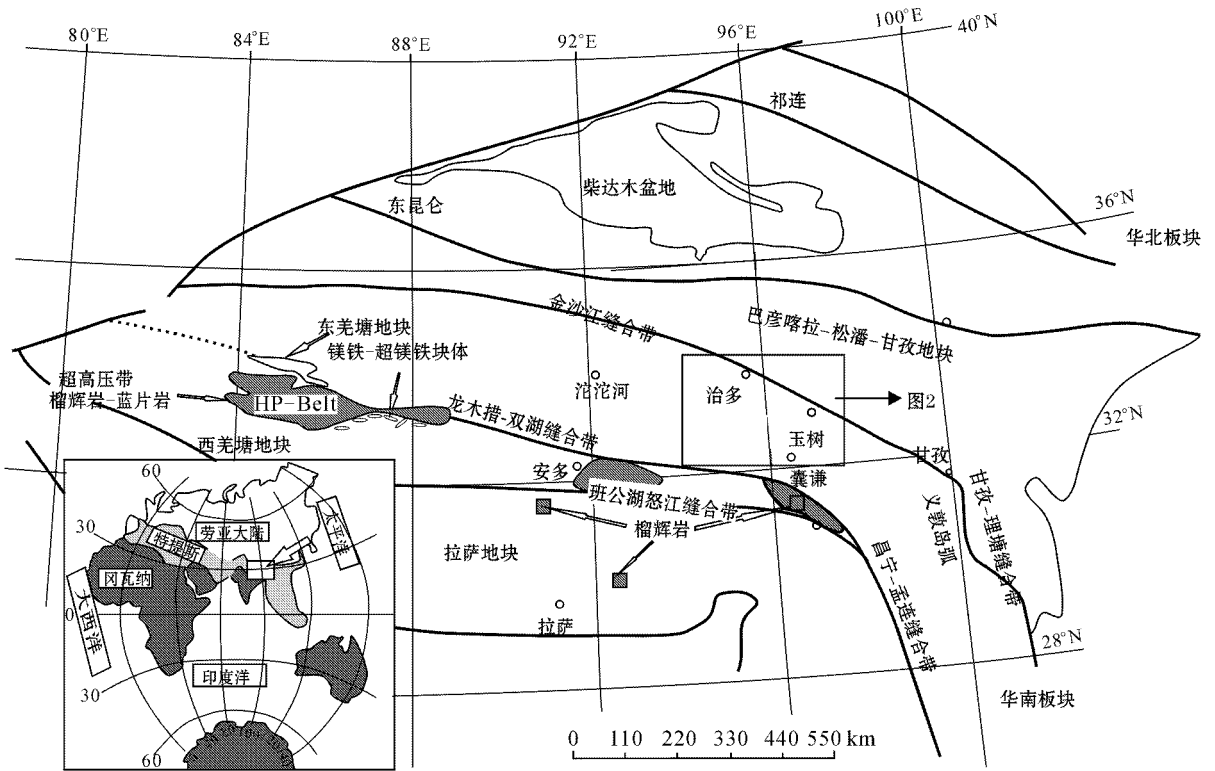


图1 青藏高原主要地质单元(据 Yang *et al.*, 2011)

Fig. 1 Main geological units of Qinghai-Tibet Plateau (after Yang *et al.*, 2011)

km² 约 5~15 km 厚。从中三叠世晚期到晚三叠世早期,盆地东部的沉积物主要为源自东昆仑南部的弧火山物质(碎屑锆石年龄范围为 240~290 Ma,王伟等,2007)、北秦岭造山带(早中奥陶纪,兰中伍等,2006)和华北板块的物质(1800~2000 Ma 和 2200~2500 Ma,王伟等,2007)组成,很少含有源自扬子板块的物质(750~860 Ma)。自晚三叠世中期以后,来源于扬子板块的物质在这一时期大量进入盆地(Bruguiet *et al.*, 1997; Enkelmann *et al.*, 2007)。

2.2 东羌塘地块

东羌塘地块北侧以西金乌兰-歇武-甘孜-理塘带为界,其南侧为龙木措-双湖缝合带。主要由三套地层单元组成:前石炭纪浅变质沉积岩系、石炭纪-二叠纪陆源碎屑岩-碳酸盐岩、火山岩以及三叠纪火山岩-陆源碎屑岩-碳酸盐岩(青海省地质矿产局^①,西安地质矿产研究所^②等),零星发育第三系、第四系山间盆地沉积岩(物)。前石炭纪浅变质沉积岩系包

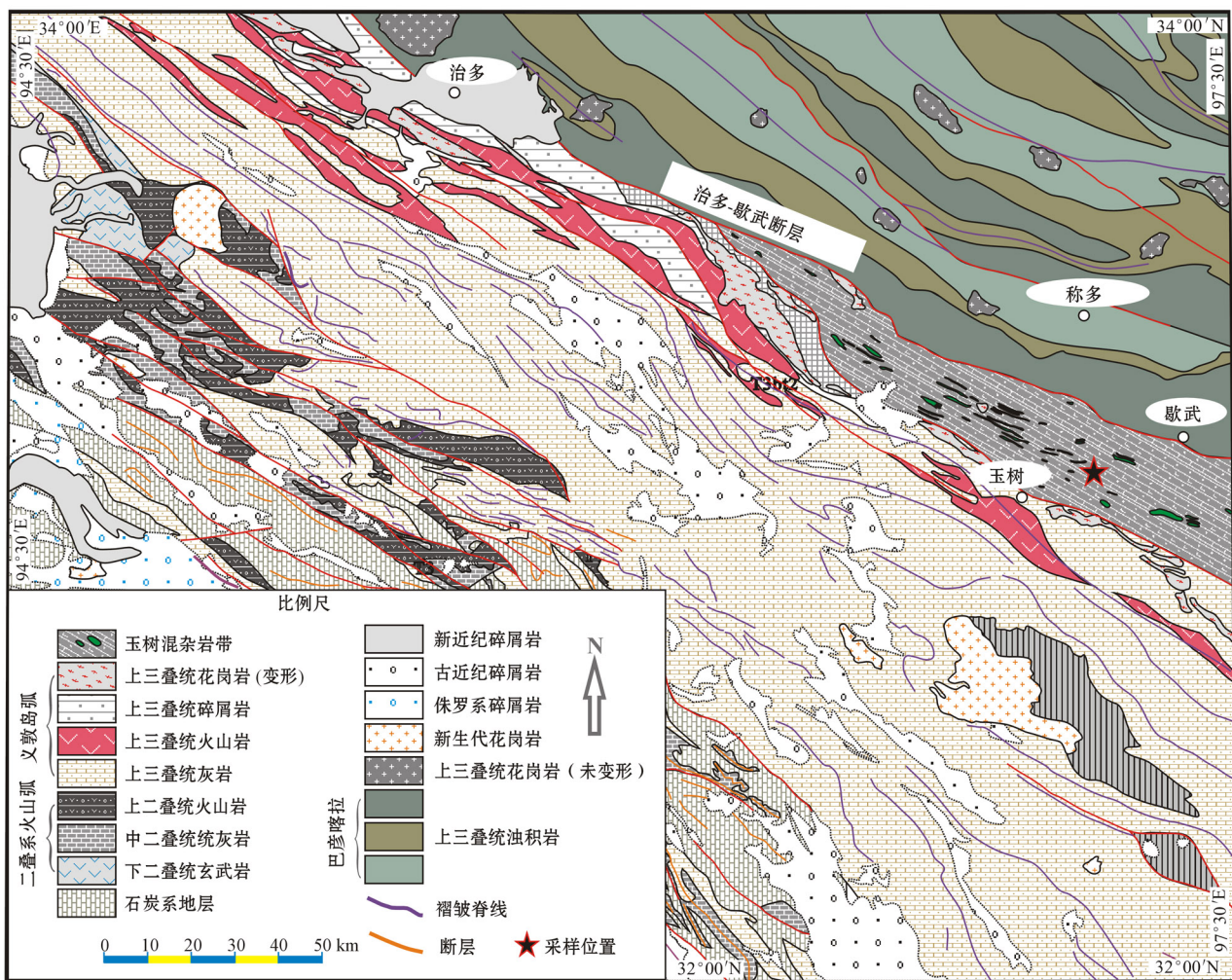
括细粒斑状角闪黑云斜长片麻岩、中粒斑状蓝晶石夕线石黑云斜长片麻岩、中粒斑状条带状夕线石黑云斜长片麻岩等岩石(谭富文等,2009)。变质岩中的碎屑锆石具有很大的年龄范围,存在大量老于 500 Ma 的年龄(Kapp *et al.*, 2003),说明可能存在前寒武结晶基底。

2.3 玉树混杂岩带(西金乌兰-歇武缝合带)

玉树混杂岩带分隔了南西侧的东羌塘地块与北、北东侧的巴彦喀拉-松潘-甘孜地块。在玉树地区,玉树混杂岩带呈长三角形并向西变细,北边以治多-歇武断层与强烈褶皱的巴彦喀拉浊积岩毗连(图2)。通过野外以及薄片观察发现,玉树混杂岩带主要由低级变质碎屑岩和变玄武岩组成,可划分为3个岩石单元:①最底部单元包括多硅白云母片岩、含多硅白云母的石英岩、变玄武岩、变辉长岩和大理岩;②中部单元主要由变玄武岩组成,包括斜长石晶屑凝灰岩、熔结凝灰岩(图3a、3b)和火山凝灰岩,并有少量大理岩和厚层变陆源碎屑岩;③上部地层

① 青海地质矿产局区域综合地质大队. 1988. 青海区域地质志.

② 西安地质矿产研究所. 2005. 1:25万玉树幅区域地质调查报告.

图2 玉树混杂岩带地质图(据 Yang *et al.*, 2011)Fig. 2 Geological map of Yushu mélange (after Yang *et al.*, 2011)

单元以低级变质的碎屑岩、碳酸盐岩和少量火山岩为主,包括厚层的变质杂砂岩、变石英砂岩和大理岩。在中上两个地层单元中,枕状玄武岩比较常见(图3c),但是岩枕间缺少深海沉积物。玄武岩常被辉绿岩脉穿切,局部见玄武岩与辉绿岩渐变过渡,表明玄武岩与辉绿岩近同时形成。浅变质碎屑岩中常见交错层理(图3d)和波痕,局部可见植物碎片。

用于挑选锆石的样品 TB032-1(约 25 kg)取自距玉树东北方向约 50 km 的辉绿岩脉, GPS 地理坐标为 33°03.147'N, 97°10.184'E(图2)。辉绿岩脉围岩为玄武岩,其呈脉状侵入玄武岩中。玄武岩厚度巨大,未见顶底,包括块状玄武岩、枕状玄武岩(图3c)、熔结凝灰玄武岩(图3a、3b)等。

3 分析过程

锆石样品采用常规的重、磁选方法分选,在双目镜下手工挑选约 130 颗锆石(粒径 100 μm 左右)与标样 TEM ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 417 Ma)一起粘贴在环氧树脂表面,抛光后制成样靶。在测试前对待测锆石进行透射光、反射光以及阴极发光显微照相,用来选定分析点位。锆石的阴极发光图利用北京离子探针中心的与 HITACH S-3000N 扫描电镜相连接的 Gatan Chroma 仪器获得。

对样品分别用 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 进行定年。其中 SHRIMP 实验在澳大利亚 Curtin 科技大

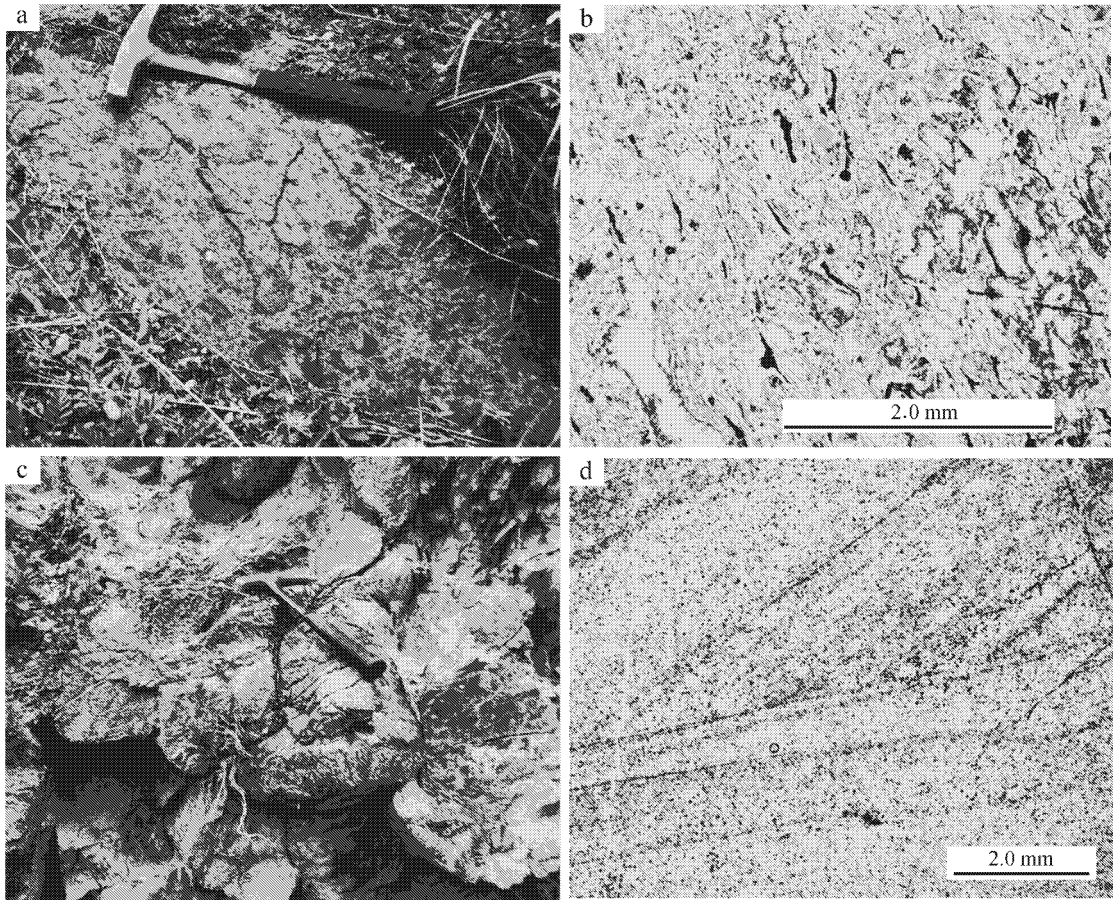


图3 玉树混杂岩中部分岩石类型及结构照片

Fig. 3 Photos showing lithologic types and microtextures of some rocks in Yushu mélangé

a—熔结凝灰岩; b—熔结凝灰岩镜下照片(单偏光); c—枕状玄武岩; d—显微斜层理(单偏光)

a—ignimbrite; b—microtexture of ignimbrite, plain light; c—pillow basalt; d—cross bedding in metaclastics, plain light

学的 SHRIMP-II 仪器上完成。该仪器由中国地质科学院北京离子探针中心远程控制中心控制,选点、分析指令、分析数据通过因特网实时传输。整个分析流程通过 SHRIMP 远程控制软件(SRO 系统)进行。远程控制软件由北京离子探针中心、中国气象研究所和吉林大学共同研制。LA-ICP-M 实验在西北大学的大陆动力学国家重点实验室进行,仪器型号为 Q-ICP-MS,标样为 91500、Mon-1、GJ-1、NIST610 和 SK10,激光束直径为 $44\ \mu\text{m}$,剥蚀频率是 8 Hz,能量密度是 $2.5\ \text{J}/\text{cm}^2$,分析流程可参照 Yuan 等(2008)。分析结果的本底收集、信号积分、年龄时间偏移校正和标量校准使用 ICPMSDataCal 软件(Liu *et al.*, 2008, 2010)完成,U-Pb 同位素分析误差为 1σ ,年龄直方图用 Isoplot/Ex-ver3 软件完成,用于年龄计算的 U 的衰变常数: $^{238}\text{U} = 1.55125 \times 10^{-10}\ \text{a}^{-1}$, $^{235}\text{U} = 9.8454 \times 10^{-10}\ \text{a}^{-1}$ (Ludwig *et*

al., 2003)。

4 分析结果

4.1 锆石特征

从 TB032-1 样品中共选出 130 颗锆石,其中约 20% 呈长棱柱状并发育明显振荡环带,80% 呈磨圆状,缺少振荡环带。透射光下,锆石分两种:一种呈棕黄色,表面凹凸不平;另一种呈透明状,表面干净。阴极光下,可以看出部分锆石呈棱柱状,有斜交振荡环带,而另外一部分锆石呈浑圆状,看不清振荡环带且有后期增生边(图 4)。

4.2 年龄结果

LA-ICP-MS 方法测年结果见表 1,SHRIMP 方法测年结果见表 2。12 个 SHRIMP 分析结果显示,锆石 U 含量在 $78 \times 10^{-6} \sim 909 \times 10^{-6}$ 之间,变化较

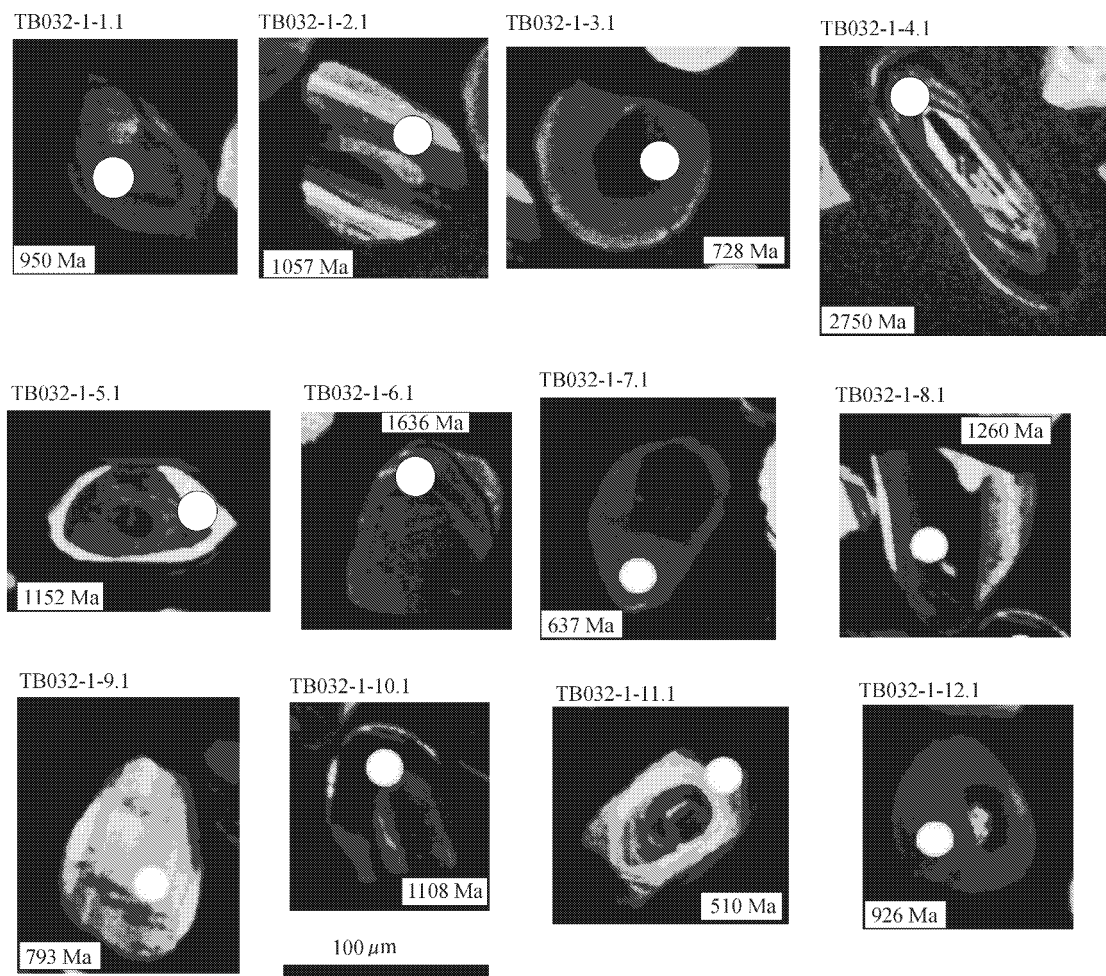


图4 玉树混杂岩带辉绿岩锆石的典型阴极发光图像

Fig. 4 Typical CL image of analyzed zircons from Yushu mélangé

大, Th 含量在 $42 \times 10^{-6} \sim 1291 \times 10^{-6}$ 之间变化, 对应的 Th/U 比值在 0.07~1.47 之间, 变化较大。在 0~0.1 的只有 1 个, 0.1~0.3 的有 4 个, 其余的大于 0.3。其表面年龄在 510~2750 Ma 之间。结合锆石阴极发光图像(图 4)可以看出, 绝大部分具有较老表面年龄的锆石发育较好的振荡环带, 相反, 年轻锆石震荡环带不发育, 显浑圆状, 可能为变质锆石。用 LA-ICP-MS 方法分析了 60 个点, 年龄分布范围在 400~2900 Ma 之间(图 5), 与 SHRIMP 分析结果类似。综合两种方法分析结果, 发现 72 个年龄值大体形成 3 个年龄区段: 450~750 Ma(26%), 850~1400 Ma(54%) 和 1500~1800 Ma(8%), 还有几个年龄零散分布在 2200~2800 Ma 区间内。

5 讨论

5.1 玉树混杂岩的大地构造属性

如果玉树混杂岩带中的玄武岩、辉绿岩代表晚古生代洋壳残片, 其中不应该包含碎屑或俘获锆石。所有基性岩浆形成于地幔物质的局部熔融, 在熔融过程中也不应该存在残留锆石。玉树混杂岩带中辉绿岩包含的相当数量的锆石应该来自其围岩, 是在岩浆上升过程俘获而来的, 这类岩浆应该曾经发生过地壳物质的同化混染。存在两种可能: ①来自玉树混杂岩内的陆源碎屑岩夹层混染了基性岩浆; ②在基性岩浆上升过程中穿越了结晶基底, 锆石来自

表 1 玉树混杂岩带辉绿岩锆石同位素分析结果(LA-ICP-MS 方法)
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results for diabase in Yushu mélange

点号	比值						U-Pb 年龄/Ma					
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ
TB032-1-1	0.070 96	0.000 88	1.600 54	0.020 00	0.163 55	0.001 71	956.3	25.23	970.4	7.81	976.5	9.46
TB032-1-2	0.070 15	0.000 82	1.459 01	0.017 28	0.150 81	0.001 56	932.8	23.92	913.6	7.14	905.5	8.76
TB032-1-3	0.070 94	0.000 77	1.967 81	0.021 66	0.201 12	0.002 07	955.8	22.02	1 104.6	7.41	1 181.4	11.12
TB032-1-4	0.108 01	0.001 15	4.894 84	0.053 15	0.328 61	0.003 38	1 766.0	19.43	1 801.4	9.16	1 831.6	16.42
TB032-1-5	0.073 59	0.000 82	1.863 97	0.021 08	0.183 66	0.001 90	1 030.3	22.42	1 068.4	7.48	1 086.9	10.33
TB032-1-6	0.060 08	0.000 75	0.714 98	0.008 92	0.086 29	0.000 90	606.4	26.61	547.7	5.28	533.6	5.33
TB032-1-7	0.081 19	0.000 89	2.460 77	0.027 41	0.219 78	0.002 27	1 225.9	21.43	1 260.6	8.04	1 280.7	11.99
TB032-1-8	0.074 01	0.000 84	1.302 71	0.014 95	0.127 63	0.001 32	1 041.8	22.73	846.9	6.59	774.3	7.55
TB032-1-9	0.076 03	0.000 89	1.13 108	0.013 37	0.107 88	0.001 12	1 095.8	23.29	768.3	6.37	660.4	6.51
TB032-1-10	0.072 07	0.000 83	1.606 86	0.018 68	0.161 66	0.001 67	987.8	23.37	972.9	7.28	966.0	9.29
TB032-1-11	0.068 66	0.000 87	1.400 68	0.017 87	0.147 92	0.001 55	888.6	26.04	889.2	7.56	889.3	8.69
TB032-1-12	0.072 53	0.000 79	1.674 37	0.018 47	0.167 39	0.001 73	1 000.8	21.91	998.8	7.01	997.7	9.53
TB032-1-13	0.097 51	0.001 10	3.712 87	0.042 52	0.276 08	0.002 86	1 577.1	21.04	1 574.1	9.16	1 571.6	14.47
TB032-1-14	0.068 92	0.000 76	1.490 66	0.016 74	0.156 83	0.001 62	896.4	22.69	926.6	6.83	939.1	9.02
TB032-1-15	0.160 50	0.001 71	9.696 14	0.105 28	0.438 05	0.004 52	2 460.9	17.93	2 406.3	9.99	2 341.9	20.24
TB032-1-16	0.063 14	0.000 69	1.268 15	0.014 03	0.145 64	0.001 50	712.8	22.97	831.6	6.28	876.5	8.45
TB032-1-17	0.071 16	0.000 79	1.799 34	0.020 29	0.183 35	0.001 89	962.0	22.55	1 045.2	7.36	1 085.3	10.32
TB032-1-18	0.091 43	0.001 46	2.469 71	0.039 04	0.195 86	0.002 15	1 455.5	30.08	1 263.2	11.42	1 153.1	11.58
TB032-1-19	0.070 15	0.000 81	1.494 22	0.017 42	0.154 46	0.001 60	932.6	23.48	928.0	7.09	925.9	8.94
TB032-1-20	0.061 49	0.000 72	1.040 40	0.012 38	0.122 68	0.001 27	656.5	25.07	724.1	6.16	746.0	7.31
TB032-1-21	0.070 79	0.000 83	1.746 22	0.020 65	0.178 88	0.001 86	951.3	23.77	1 025.8	7.64	1 060.8	10.16
TB032-1-22	0.072 89	0.000 87	1.753 83	0.021 18	0.174 46	0.001 82	1 011.0	24.09	1 028.6	7.81	1 036.6	9.97
TB032-1-23	0.109 39	0.001 21	4.738 66	0.053 12	0.314 11	0.003 25	1 789.2	20.02	1 774.1	9.40	1 760.9	15.95
TB032-1-24	0.075 21	0.000 90	1.547 77	0.018 76	0.149 22	0.001 56	1 074.1	23.95	949.6	7.48	896.6	8.72
TB032-1-25	0.065 24	0.000 82	0.963 00	0.012 11	0.107 03	0.001 12	782.1	26.05	684.8	6.26	655.5	6.51
TB032-1-26	0.158 36	0.001 72	9.605 28	0.106 02	0.439 83	0.004 54	2 438.2	18.27	2 397.7	10.15	2 349.9	20.34
TB032-1-27	0.085 41	0.001 05	2.242 92	0.027 74	0.190 41	0.001 99	1 324.9	23.68	1 194.6	8.68	1 123.6	10.80
TB032-1-28	0.077 89	0.000 92	1.735 29	0.020 70	0.161 54	0.001 68	1 144.2	23.30	1 021.7	7.68	965.3	9.33
TB032-1-29	0.079 43	0.000 91	1.870 08	0.021 79	0.170 72	0.001 77	1 182.9	22.59	1 070.6	7.71	1 016.1	9.76
TB032-1-30	0.088 10	0.000 99	2.809 18	0.032 12	0.231 22	0.002 40	1 384.6	21.46	1 358.0	8.56	1 340.9	12.55
TB032-1-31	0.169 09	0.001 86	9.299 72	0.103 91	0.398 81	0.004 13	2 548.6	18.3	2 368.0	10.24	2 163.6	19.02
TB032-1-32	0.091 14	0.001 06	1.596 10	0.018 71	0.126 98	0.001 32	1 449.5	21.90	968.7	7.32	770.6	7.55
TB032-1-33	0.074 04	0.000 83	2.199 40	0.024 97	0.215 40	0.002 23	1 042.6	22.41	1 180.9	7.93	1 257.5	11.83
TB032-1-34	0.075 81	0.000 9	1.790 35	0.021 47	0.171 24	0.001 78	1 090.1	23.60	1 042.0	7.81	1 019.0	9.82
TB032-1-35	0.063 24	0.000 76	1.010 98	0.012 26	0.115 92	0.001 21	716.3	25.29	709.4	6.19	707.0	6.97
TB032-1-36	0.058 15	0.000 87	0.687 62	0.010 25	0.085 75	0.000 91	534.7	32.89	531.4	6.16	530.4	5.41
TB032-1-37	0.108 46	0.001 23	4.732 39	0.054 25	0.316 39	0.003 29	1 773.6	20.52	1 773	9.61	1 772.1	16.09
TB032-1-38	0.073 39	0.000 84	2.101 17	0.024 25	0.207 60	0.002 15	1 024.7	22.85	1 149.2	7.94	1 216.0	11.50
TB032-1-39	0.142 44	0.001 60	5.193 44	0.059 17	0.264 39	0.002 74	2 257.1	19.24	1 851.5	9.70	1 512.2	13.99
TB032-1-40	0.067 16	0.000 85	0.832 52	0.010 57	0.089 89	0.000 94	842.7	26.04	615.0	5.86	554.9	5.57
TB032-1-41	0.076 10	0.000 92	1.934 35	0.023 63	0.184 32	0.001 93	1 097.7	24.02	1 093.0	8.18	1 090.5	10.48
TB032-1-42	0.076 33	0.000 88	2.127 85	0.024 84	0.202 15	0.002 10	1 103.7	22.86	1 157.9	8.06	1 186.9	11.27
TB032-1-43	0.071 19	0.000 91	0.851 15	0.010 98	0.086 69	0.000 91	963.0	25.99	625.3	6.02	535.9	5.40
TB032-1-44	0.069 46	0.000 83	1.438 06	0.017 37	0.150 12	0.001 57	912.5	24.40	904.9	7.23	901.7	8.78
TB032-1-45	0.075 36	0.000 90	1.953 12	0.023 53	0.187 92	0.001 96	1 078.2	23.73	1 099.5	8.09	1 110.1	10.64
TB032-1-46	0.091 35	0.001 09	2.931 98	0.035 48	0.232 74	0.002 43	1 453.8	22.62	1 390.2	9.16	1 348.8	12.72
TB032-1-47	0.072 64	0.000 92	1.667 13	0.021 19	0.166 42	0.001 75	1 004.0	25.40	996.1	8.07	992.4	9.66
TB032-1-48	0.056 25	0.000 88	0.638 33	0.009 98	0.082 29	0.000 88	461.4	34.63	501.3	6.19	509.8	5.25
TB032-1-49	0.139 87	0.001 61	6.218 14	0.072 78	0.322 37	0.003 36	2 225.6	19.85	2007.0	10.24	1 801.3	16.36
TB032-1-50	0.066 23	0.000 79	0.735 35	0.008 91	0.080 52	0.000 84	813.5	24.86	559.7	5.21	499.2	5.01
TB032-1-51	0.072 71	0.000 88	1.872 78	0.022 95	0.186 78	0.001 95	1 005.8	24.42	1 071.5	8.11	1 103.9	10.61
TB032-1-52	0.078 48	0.001 16	1.837 00	0.027 12	0.169 73	0.001 82	1 159.1	29.09	1 058.8	9.71	1 010.6	10.05
TB032-1-53	0.074 55	0.000 99	1.586 04	0.021 08	0.154 28	0.001 63	1 056.0	26.70	964.7	8.28	924.9	9.10
TB032-1-54	0.203 26	0.002 39	14.917 36	0.177 79	0.532 18	0.005 56	2 852.5	19.03	2 810.0	11.34	2 750.6	23.41
TB032-1-55	0.063 06	0.000 89	0.696 82	0.009 86	0.080 13	0.000 85	710.1	29.77	536.9	5.90	496.9	5.08
TB032-1-56	0.080 14	0.000 97	2.273 94	0.027 87	0.205 76	0.002 15	1 200.4	23.71	1 204.2	8.64	1 206.2	11.51
TB032-1-57	0.073 22	0.000 88	1.739 03	0.021 23	0.172 22	0.001 80	1 020.1	24.24	1 023.1	7.87	1 024.3	9.90
TB032-1-58	0.059 44	0.000 79	0.733 41	0.009 75	0.089 47	0.000 94	583.3	28.46	558.6	5.71	552.4	5.58
TB032-1-59	0.081 20	0.000 97	3.156 15	0.038 11	0.281 84	0.002 94	1 226.4	23.24	1 446.5	9.31	1 600.6	14.81
TB032-1-60	0.068 48	0.000 96	0.988 26	0.013 85	0.104 65	0.001 11	883.1	28.68	697.8	7.07	641.6	6.49

表 2 玉树混杂岩带辉绿岩锆石同位素分析结果(SHRIMP 法)
Table 2 SHRIMP zircon U-Pb dating results for diabase in Yushu mélange

点号	U	Th	²⁰⁶ Pb w _{Pb} /10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	年龄/Ma			比值				
					²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	不谐和度/%	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	± %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	± %	errcorr
TB032-1-1.1	392	107	53.6	0.28	950.8	946	-1	6.28	0.9	1.55	1.6	0.593
TB032-1-2.1	359	127	47.6	0.36	923.1	1 057	13	6.49	1.2	1.58	3.0	0.393
TB032-1-3.1	528	316	54.3	0.62	728.6	790	8	8.34	1.5	1.08	2.1	0.732
TB032-1-4.1	840	81	223.8	0.10	1 739.5	2 750	37	3.23	1.0	8.15	1.0	0.960
TB032-1-5.1	165	42	27.7	0.27	1 154.3	1 152	0	5.10	1.0	2.11	1.6	0.657
TB032-1-6.1	158	100	39.3	0.65	1 633.9	1 636	0	3.46	1.4	4.00	1.7	0.797
TB032-1-7.1	407	28	36.5	0.07	637.0	562	-13	9.59	1.0	0.84	1.9	0.557
TB032-1-8.1	78	50	15.8	0.66	1 355.6	1 260	-8	4.25	1.3	2.67	3.2	0.421
TB032-1-9.1	909	1 291	100.7	1.47	781.4	793	1	7.76	0.9	1.17	1.2	0.789
TB032-1-10.1	703	165	103.9	0.24	1 022.3	1 108	8	5.81	0.9	1.81	1.2	0.750
TB032-1-11.1	165	176	11.8	1.10	510.1	376	-36	12.06	1.1	0.61	3.5	0.308
TB032-1-12.1	263	94	35.0	0.37	926.4	933	1	6.46	1.0	1.49	1.7	0.599

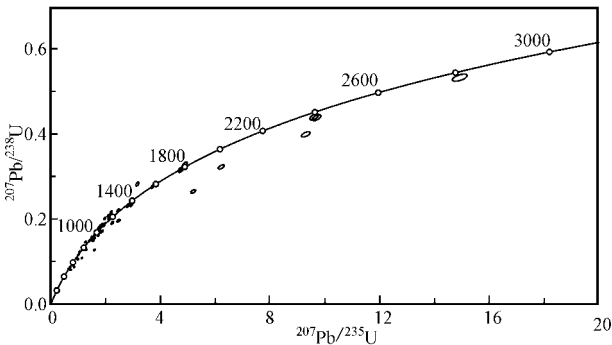


图 5 玉树混杂岩带辉绿岩的锆石 U-Pb 年龄协和曲线 (LA-ICP-MS)

Fig. 5 Concordia diagrams of zircon U-Pb data for diabase samples from Yushu mélange (LA-ICP-MS results)

古老的结晶基底。我们趋向于后者,理由如下:①辉绿岩发育层位碎屑岩含量比较少,其直接围岩为厚层玄武岩;②玄武岩、辉绿岩与碎屑岩夹层形成时代接近,当辉绿岩侵入到同时代的碎屑岩层时,已到达近地表,其同化围岩的能力已大为降低;③辉绿岩、玄武岩中没有发现围岩包体,表明地壳物质已均匀混合到基性岩浆中。如果后者可能成立,表明玉树混杂带中的基性岩并不能代表新生洋壳残片,相反,其发育于大陆地壳之上。大量具有前寒武纪年龄的锆石的发现表明该大陆壳存在前寒武基底。由于该混杂带发育于东羌塘地块北缘,可推测玉树混杂岩带中的基性岩浆形成于东羌塘地块北缘的裂谷环境。最近发现的位于东羌塘地块南部的二叠纪-早三叠纪弧火山岩带(Yang *et al.*, 2011, in press)以及同时代的龙木措-双湖高压带(邓希光等 2000 ;李才等 2006)指示古特提斯洋向北俯冲于东羌塘地块

之下,因而,玉树混杂带所代表的裂谷可能是晚古生代弧后伸展的结果。

5.2 东羌塘地块的构造热事件及与扬子、昆仑和拉萨地块对比

由于玉树混杂带发育于东羌塘地块基底之上,其辉绿岩中俘获锆石的年龄可以推测东羌塘地块结晶基底的构造热历史。结合邻区相关构造块体的年龄资料,还可以探讨东羌塘地块的构造亲缘性。

本文收集了昆仑、扬子和拉萨地块的部分锆石年龄数据,并做出了相关的年龄谱图(图 6)。从图 6a 可以看出,昆仑地块的主要地质事件发生在早古生代(400~500 Ma),具有其他年龄值的锆石颗粒很少。早古生代地质事件在扬子地块、东羌塘地块、拉萨地块中也有明显的锆石年龄记录。但前寒武纪地质事件在不同地块中具有不同的记录。其中昆仑地块基本没有前寒武纪地质事件记录,明显不同于其他 3 个地块,这可能与我们收集资料不全有关。东羌塘地块与扬子地块记录了强烈的中晚元古代(700~1 400 Ma)地质事件,而且具有类似的锆石年龄谱(图 6b)。中晚元古代是哥伦比亚超大陆拼合及随后裂解形成劳亚大陆与冈瓦纳大陆的重要时期(Murphy *et al.*, 2004)。拉萨地块也记录了大量中晚元古代构造演化信息(图 6c)。这种特点表明,这 3 个地块具有明显的冈瓦纳亲缘性,可能都是从冈瓦纳地块北缘裂解出来的结果。进一步分析还可以发现,扬子地块与东羌塘地块的年龄谱具有更高的相似性,表明东羌塘地块可能是从扬子地块中裂解出来的。该推论与其他地质事实(如地层组合、古生物特点)吻合(潘桂棠等 2006)。

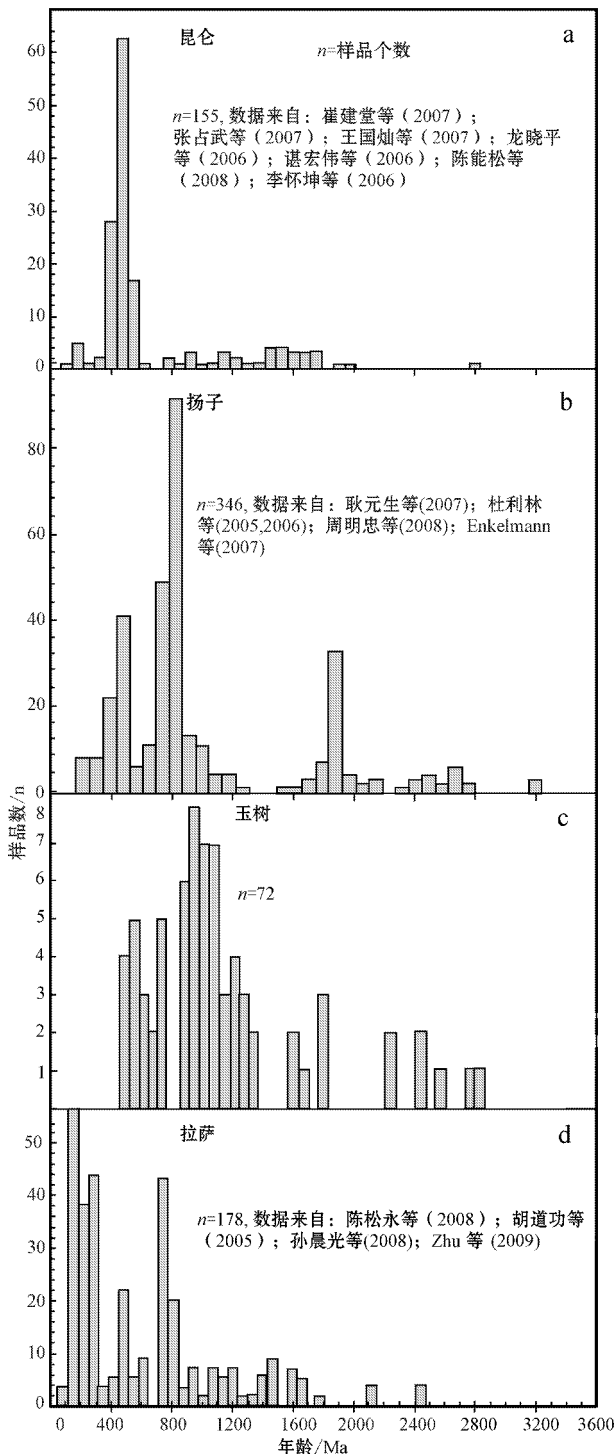


图6 玉树混杂岩及相邻地块年龄谱图

Fig. 6 Relative probability versus age diagrams of Yushu mélangé and adjacent blocks

6 结论

(1) 辉绿岩中的俘获锆石年龄资料可以限定其

岩浆上升通道周围地质体的构造演化史。

(2) 玉树混杂带中的基性岩形成于具有结晶基底的大陆地块边缘环境,不能代表俯冲消减残留下来的洋壳残片。

(3) 东羌塘地块具有亲扬子地块属性。

致谢 周慧帮助完成锆石阴极光照相,在锆石 SHRIMP 分析过程中得到了颀颀强博士的帮助,锆石 LA-ICPMS 分析过程中得到西北大学戴梦宁女士的帮助,作者对上述人员深表感谢。

References

- Bian Qiantao, Li Dihui, Pospelov I, *et al.* 2004. Age, geochemistry and tectonic setting of Buqingshan ophiolites, North Qinghai-Tibet Plateau, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 577~596.
- Bruguiere O, Lancelot J R and Malavieille J. 1997. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan-Ganze flysch (Central China): provenance and tectonic Correlations[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 152: 217~231.
- Chen Hongwei, Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, *et al.* 2006. SHRIMP ages of Kayakedengtage complex in the East Kunlun Mountains and their geological implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(1): 25~32 (in Chinese with English Abstract).
- Chen Nengsong, Sun Min, Wang Qinyan, *et al.* 2008. SHRIMP ages of U-Pb in the East Kunlun Mountains and their geological implications[J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 38(6): 657~666 (in Chinese).
- Chen Songyong, Yang Jingsui, Xu Xiangzhen, *et al.* 2008. Study of Lu-Hf geochemical tracing and LA-ICPMS U-Pb isotopic dating of the Sumdo eclogite from the Lhasa block, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(7): 1528~1538 (in Chinese with English Abstract).
- Cui Jiantang, Wang Juchuan, Bian Xiaowei, *et al.* 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Dongbake gneissic tonalite in northern Kangxiwar, West Kunlun[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(6): 726~729 (in Chinese with English Abstract).
- Deng Xiguang, Ding Lin, Liu Xiaohan, *et al.* 2000. Discovery of blueschists in gangmar-taoxing co area, central Qiangtang, northern Tibet[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 35(2): 227~232 (in Chinese with English Abstract).
- Dewey J F, Shackleton R M, Chang C F, *et al.* 1988. The tectonic evolution of the Tibetan plateau[J]. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser A*, 327: 379~413.
- Du Lilin, Geng Yuansheng, Yang Chonghui, *et al.* 2005. Geochemistry and SHRIMP U-Pb Zircon Chronology of Basalts from the Yanbian Group in the Western Yangtze Block[J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(6): 805~813 (in Chinese with English Abstract).

- Du Lilin, Geng Yuansheng, Yang Chonghui, *et al.* 2006. The stipulation of Neoproterozoic TTG in western Yangtze block and its significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(4): 273~281 (in Chinese with English Abstract).
- Enkelmann Eva, Weislogel Amy, Ratschbacher Lothar, *et al.* 2007. How was the Triassic Songpan-Ganzi basin filled? A provenance study [J]. *Tectonics*, TC4007, doi:10.1029/2006TC002078.
- Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Wang Xinshe, *et al.* 2007. Age of Crystalline Basement in Western Margin of Yangtze Terrane [J]. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 429~441 (in Chinese with English Abstract).
- Hu Daogong, Wu Hanzhen, Jiang Wan, *et al.* 2005. Zircon SHRIMP U-Pb age of Tanggula group complex in Tibet and its Nd isotope study [J]. *Science in China ser. D: Earth Sciences*, 35(1): 29~37 (in Chinese).
- Huang Jiqing and Chen Bingwei. 1987. *The Evolution of Tethys in China and Its Neighboring Areas* [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Kapp P, Yin An, Manning C E, *et al.* 2003. Tectonic evolution of the early Mesozoic blueschist-bearing Qiangtang metamorphic belt, central Tibet [J]. *Tectonics*, 22(4): 10.1029/2002TC001383.
- Lan Zhongwu, Chen Yuelong, Su Benxun, *et al.* 2006. The Origin of Sandstones from the Songpan-Ganze Basin, Sichuan, China: evidence from SHRIMP U-Pb dating of clastic zircon [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(3): 321~333 (in Chinese with English Abstract).
- Li C, Zhai Q G, Dong Y S, *et al.* 2009. High-pressure eclogite-blueschist metamorphic belt and closure of Paleo-Tethys Ocean in central Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Int. J. Earth Sci.*, 20: 209~218.
- Li Cai, Huang Xiaopeng, Zhai Qingguo, *et al.* 2006. The Longmu Co-Shuanghu-Jitang plate suture and the northern boundary of Gondwanaland in the Qinghai-Tibet plateau [J]. *Earth Science Frontiers*, 13(4): 136~147 (in Chinese with English Abstract).
- Li Huaikun, Lu Songnian, Xiang Zhenqun, *et al.* 2006. SHRIMP U-Pb zircon age of the granulite from the Qingshuiquan area, Central Eastern Kunlun Suture Zone [J]. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 311~321 (in Chinese with English Abstract).
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, *et al.* 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.
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, *et al.* 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths [J]. *Journal of Petrology*, 51: 537~571.
- Long Xiaoping, Jin Wei, Ge Wenchun, *et al.* 2006. Zircon U-Pb geochronology and geological implications of the granitoids in Jinshuikou, East Kunlun, NW China [J]. *Geochimica*, 35(4): 367~376 (in Chinese with English Abstract).
- Ludwig K R. 2003. *Isoplot/EX*, rev. 3.00, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4: 71.
- Murphy J B, Pisarevsky S, Nance, *et al.* 2004. Neoproterozoic-Early Paleozoic evolution of peri-Gondwana terranes: implications for Laurentia-Gondwana connections [J]. *Int. J. Earth Sci.*, 93: 659~682.
- Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, *et al.* 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521~533 (in Chinese with English abstract).
- Sun Chenguang, Zhao Zhidan, Mo Xuanxue, *et al.* 2008. Enriched mantle source and petrogenesis of Sailipu ultrapotassic rocks in southwestern Tibetan Plateau: constraints from zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(2): 249~264 (in Chinese with English abstract).
- Tan Fuwen, Wang Jian, Fu Xiugen, *et al.* 2009. U-Pb zircon SHRIMP age of metamorphic rocks from the basement of the Qiangtang basin, northern Tibet, and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 139~146 (in Chinese with English abstract).
- Wang Guocan, Xiang Shuyuan, Wang An, *et al.* 2007. Thermochronological constraint to the processes of the East Kunlun and adjacent areas in Mesozoic-Early Cenozoic [J]. *Earth Science Journal of China University of Geosciences*, 32(5): 605~615 (in Chinese with English abstract).
- Wang Wei, Li Fanglin, Bao Zhengyu, *et al.* 2007. U-Pb Constraints on Provenance and Evolution of Middle to Late Triassic Sediment in Songpan-Ganze Basin [J]. *Geological Science and Technology Information*, 22(5): 62~71 (in Chinese with English abstract).
- Weislogel A L, Graham S A, Chang E Z, *et al.* 2006. Detrital zircon provenance of the Late Triassic Songpan-Ganzi complex: Sedimentary record of collision of the North and South China blocks [J]. *Geology*, 34(2): 97~100.
- Yang T N, Zhang H R, Liu Y X, *et al.* 2011. Permo-Triassic arc magmatism in central Tibet: Evidence from zircon U-Pb geochronology, Hf isotopes, rare earth elements, and bulk geochemistry [J]. *Chem. Geol.*, 284(3~4): 270~282. doi:10.1016/j.chemgeo.2011.03.006.
- Yuan H L, Gao S, Dai M N, *et al.* 2008. Simultaneous determinations of U/Pb age, Hf isotopes and trace elements compositions of zircon by excimer laser-ablation quadrupole and multiple-collector ICP-MS [J]. *Chemical Geology*, 247: 100~118.
- Zhang Qi, Li Dazhou and Zhang Kuiwu. 1989. Preliminary study of Palaeo-Tethyan ophiolites in Hengduan Mountain Region (HMR), China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 3(1~4): 249~254.
- Zhang Zhanwu, Cui Jiantang, Wang Juchuan, *et al.* 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Early Paleozoic amphibolite and granodiorite in Korliang, northwestern Kangxiwar, West Kunlun [J]. *Geological Bulletin of China*, 26(6): 720~725 (in Chinese with English Abstract).
- Zhou Mingzhong, Luo Taiyi, Li Zhengxiang, *et al.* 2008. Zircon SHRIMP U-Pb age and the geological significance of tuff in the bot-

- tom of Zunyi Niutitang group[J]. Sci. in China, 24(7): 1528~1538 (in Chinese).
- Zhu D C, Mo X X, Niu Y L, et al. 2009. Zircon U-Pb dating and in-situ Hf isotopic analysis of Permian peraluminous granite in the Lhasa terrane, southern Tibet: Implications for Permian collisional orogeny and paleogeography[J]. Tectonophysics, 469: 48~60.
- ### 附中文参考文献
- 陈能松, 孙敏, 王勤燕, 等. 2008. 东昆仑造山带中带的锆石 U-Pb 定年与构造演化启示[J]. 中国科学, 38(6): 657~666.
- 陈松永, 杨经绥, 徐向珍, 等. 2008. 西藏拉萨地块松多榴辉岩的锆石 Lu/Hf 同位素研究以及 LA-ICPMS U-Pb 定年[J]. 岩石学报, 24(7): 1528~1538.
- 谡宏伟, 罗照华, 莫宣学, 等. 2006. 东昆仑喀雅克登塔格杂岩体的 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 25(1): 25~32.
- 崔建堂, 王炬川, 边小卫, 等. 2007. 西昆仑康西瓦北部冬巴克片麻状英云闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J]. 地质通报, 26(6): 726~729.
- 邓希光, 丁林, 刘小汉. 2000. 藏北羌塘中部冈玛日-桃形错蓝片岩的发现[J]. 地质科学, 35(2): 227~232.
- 杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 等. 2005. 扬子地台西缘盐边群玄武质岩石地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质学报, 79(6): 805~813.
- 杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 等. 2006. 扬子地台西缘新元古代 TTG 的厘定及其意义[J]. 岩石矿物学杂志, 25(4): 273~281.
- 耿元生, 杨崇辉, 王新社, 等. 2007. 扬子地台西缘结晶基底的时代[J]. 高校地质学报, 13(3): 429~441.
- 胡道功, 吴珍汉, 江万, 等. 2005. 西藏念青唐古拉岩群 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和 Nd 同位素研究[J]. 中国科学 D 辑, 35(1): 29~37.
- 黄汲清, 陈炳蔚. 1987. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 兰中伍, 陈岳龙, 苏本勋, 等. 2006. 四川松潘-甘孜盆地砂岩的物质来源: 来自锆石 U-Pb (SHRIMP) 年龄证据[J]. 沉积学报, 24(3): 321~333.
- 李才, 黄小鹏, 翟庆国, 等. 2006. 龙木错-双湖-吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界[J]. 地学前缘, 13(4): 136~147.
- 李怀坤, 陆松年, 相振群, 等. 2006. 东昆仑中部缝合带清水泉麻粒岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究[J]. 地学前缘, 13(6): 311~321.
- 龙晓平, 金巍, 葛文春, 等. 2006. 东昆仑金水口花岗岩体锆石年代学及其地质意义[J]. 地球化学, 35(4): 367~376.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3): 521~533.
- 孙晨光, 赵志丹, 莫宣学, 等. 2008. 青藏高原西南部赛利普超钾质火山岩富集地幔源区和岩石成因锆石年代学 and 同位素制约[J]. 岩石学报, 24(2): 249~264.
- 谭富文, 王剑, 付修根, 等. 2009. 藏北羌塘盆地基底变质岩的锆石年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 25(1): 139~146.
- 王国灿, 向树元, 王岸, 等. 2007. 东昆仑及相邻地区中生代-新生代早期构造过程的热年代学记录[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 32(5): 605~615.
- 王伟, 李方林, 鲍征宇. 2007. 松潘-甘孜盆地中、晚三叠世沉积物来源及演化的锆石 U2Pb 年代学制约[J]. 地质科技情报, 26(5): 62~71.
- 张占武, 崔建堂, 王炬川, 等. 2007. 西昆仑康西瓦西北部库尔良早古生代角闪闪长岩花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J]. 地质通报, 26(6): 720~725.
- 周明忠, 罗泰义, 李正祥, 等. 2008. 遵义牛蹄塘组底部凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 53(1): 104~110.