

文章编号:1009-3850(2017)03-0096-07

青藏高原羌塘中部双湖早古生代斜长角闪岩 年代学及地质意义

杨桂花, 彭智敏, 张 璋, 关俊雷

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要:羌塘盆地中部双湖县齐陇乌如沟出露一套斜长角闪岩,通过对该斜长角闪岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年,获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $450.1 \pm 5.0\text{Ma}$,表明该变基性岩形成于晚奥陶世。元素地球化学测试分析表明, SiO_2 含量在45.67%~51.68%, Na_2O 为0.98%~2.54%,总体呈现明显的高Na、低K的特点。轻、重稀土元素分馏较小, Eu 具有轻度的正异常。微量元素 Rb、Ba 和 U 元素相对较为富集, Nb、Ta 和 Zr 具有不同程度的亏损。地球化学特征显示具有 E-MORB 的性质,代表了古特提斯洋壳的残余。齐陇乌如沟斜长角闪岩的年龄与昌宁-孟连结合带的铜厂街蛇绿岩和湾河蛇绿岩形成年龄基本一致,地球化学性质相似,说明龙木错-双湖结合带与昌宁-孟连结合带代表了一个统一的原(古)特提斯洋。

关键词:龙木错-双湖结合带;昌宁-孟连结合带;双湖齐陇乌如沟;锆石 U-Pb 年龄;斜长角闪岩
中图分类号:P597 **文献标识码:**A

羌塘盆地位于青藏高原北部,南以班公湖-怒江缝合带为界,北以金沙江缝合带为界,属于造山带内部的沉积盆地,经受了青藏高原隆升等强烈的后期构造运动的改造^[1-2]。近年的研究表明,龙木错-双湖结合带经历了中—晚寒武世、奥陶纪、志留纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪和三叠纪洋盆的持续演化的过程。中三叠世末—晚三叠世,研究区因强烈碰撞造山隆起,大部地区缺失地层沉积,在隆起区北侧近陆缘弧的边缘地带,发育上三叠统望湖岭组陆相火山-沉积岩系,不整合于蛇绿混杂岩之上;在隆起区南侧近海边缘地带,发育海陆交互相含煤碎屑岩系(如上三叠统土门格拉组),不整合于蛇绿混杂岩之上。晚三叠世“S”型花岗岩大规模的出现,说明龙木错-双湖古特提斯洋闭合后进入了陆-陆碰撞

阶段^[3-5]。本文通过对双湖以西齐陇乌如沟中的斜长角闪岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究,获得了 $450.1 \pm 5.0\text{Ma}$ 的年代学数据,形成于晚奥陶世,结合地球化学特征,探讨其地质意义。

1 地质概况与岩石学特征

龙木错-双湖缝合带是南、北羌塘盆地重要分界线,西起龙木错,向西延伸被阿尔金走滑断裂左行错移后走向不明,东延伸到拉龙贡村附近可能与北澜沧江缝合带相接^[6]。在大地构造位置上处于冈瓦纳大陆与劳亚大陆的交汇地方,是研究古特提斯洋俯冲、消减、闭合及碰撞造山过程的重要窗口。研究区位于羌塘盆地中部,属龙木错-双湖结合带,距双湖县城约30km(图1)。

收稿日期:2017-01-18; 改回日期:2017-03-23

作者简介:杨桂花(1980-),女,工程师,主要从事地质矿产、水文地质、环境地质方面的工作。E-mail:47079414@qq.com

通讯作者:彭智敏(1978-),男,高级工程师,从事区域地质调查工作。E-mail:pzm20022002@163.com

资助项目:中国地质调查局项目(DD20160016)、自然科学基金项目(41303043)

研究区内出露的地层主要有前奥陶系、二叠系、侏罗系和古近系。前奥陶系主要为片岩、变砂岩、夹大理岩、斜长角闪岩及变玄武岩。岩石中面理发育,并发育较强的剪切变形,总体表现为 $S_1//S_0$ 面理特征。这套地层时代归属争议较大,新近的1:25万区域地质调查将其定为前奥陶系齐陇乌如岩组。齐陇乌如岩组变质基性岩呈南北向出露,呈厚层状,出露面积不大,围岩均为片岩,变质基性岩风化后露头突出地表,野外未见与其它岩性的接触关系。本文对齐陇乌如岩组这套变质基性岩中的斜长角闪岩进行研究。

斜长角闪岩具变余斑状结构,斑晶主要为斜长石、角闪石,基质和变余的岩屑、玻屑等组成,浅变质较明显。角闪石斑晶粒度在 $0.5 \sim 2.5\text{mm}$,含量约30%,它形-半自形,发育两组解理,淡黄-淡黄绿,弱多色性,具弱的定向性,部分蚀变。斜长石粒度为 $0.5 \sim 3\text{mm}$,含量约20%。斜长石斑晶变质程度较强,仅存假象,蚀变为黝帘石、绿帘石、绢云母等,有的仍可见条带状的外形,具有聚片双晶;有的完全蚀变为黝帘石、绢云母等。基质由细小颗粒的角闪石、浆屑和玻屑等组成,浆屑和玻屑经过脱玻化和变质作用,形成绿帘石、绢云母、黝帘石等。

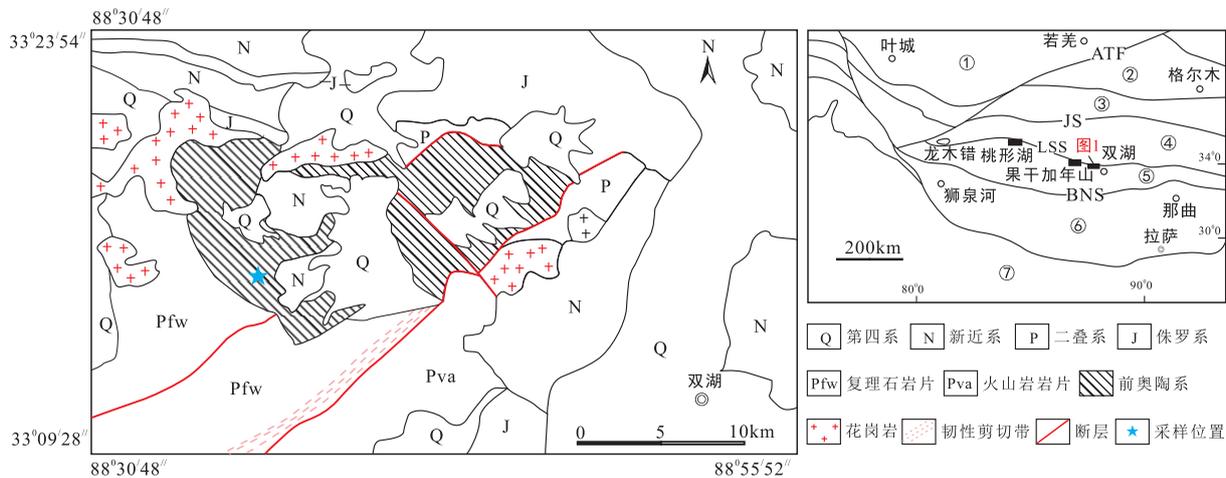


图1 西藏双湖地区齐陇乌如沟地质简图(据文献^[7]修改)

BNS:班公湖-怒江缝合带;LSS:龙木错-双湖缝合带;JS:金沙江缝合带;ATF:阿尔金断裂;①塔里木板块;②柴达木板块;③巴颜喀拉-甘孜板块;④羌北-昌都板块;⑤羌南-保山板块;⑥冈底斯板块;⑦喜马拉雅板块

Fig. 1 Simplified geological map of the Qilongwuru valley in the Shuanghu region, Xizang (modified from Peng Zhimin et al., 2014)

2 岩石地球化学特征

岩石地球化学样品采用无污染法破碎,磨碎至200目后制成分析样品,主量元素分析由国土资源部西南矿产资源监督检测中心完成;微量、稀土元素分析测试由中国地质大学(武汉)重点实验室完成。岩石地球化学数据处理及作图采用 Geokit 软件生成^[8]。

2.1 主量元素

主量元素分析测试结果见表1。 SiO_2 含量在45.67%~51.68%(均值48.91%), TiO_2 含量在0.42%~1.38%,均值0.65%。个别样品中 Na_2O 和 K_2O 变化较大,可能受到蚀变和变质作用的影响相对较强。 Na_2O 为0.98%~2.54%, K_2O 为0.54%

~1.57%,总体呈现明显的高Na、低K的特点。 $\text{Mg}^\#$ 值在63.26~84.87,均值为75.14,说明原岩未经过明显的岩浆分异作用。在 $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (TAS)图解(图2)中,所有样品均落在亚碱性辉长岩区域。

2.2 微量元素

微量元素分析测试结果见表1。在原始地幔标准化微量元素蛛网图中(图3),元素Rb、Ba和U元素相对较为富集,其可能与后期的变质作用有关。Nb、Ta和Zr具有不同程度的亏损。这一特征与果干加年山变质基性岩、桃形湖地区变质堆晶辉长岩及双湖地区变玄武岩类似^[11-13],斜长角闪岩微量元素蛛网图与典型的E-MORB类似。

2.3 稀土元素

斜长角闪岩稀土元素总量在(27.26~64.18)×

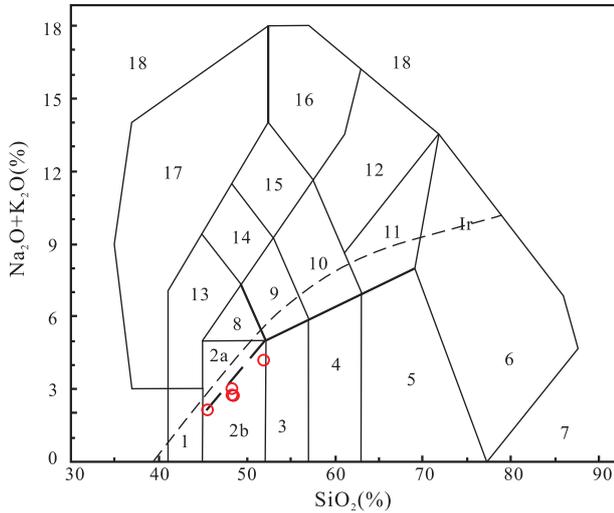


图2 斜长角闪岩 TAS 图解(底图资料据文献^[9])

Ir - Irvine 分界线,上方为碱性,下方为亚碱性。深成岩:1. 橄榄辉长岩;2a. 碱性辉长岩;2b. 亚碱性辉长岩;3. 辉长闪长岩;4. 闪长岩;5. 花岗闪长岩;6. 花岗岩;7. 硅英岩;8. 二长辉长岩;9. 二长闪长岩;10. 二长岩;11. 石英二长岩;12. 正长岩;13. 副长石辉长岩;14. 副长石二长闪长岩;15. 副长石二长正长岩;16. 副长正长岩;17. 副长深成岩;18. 霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩

Fig. 2 TAS diagram for the amphibolite from the Qilongwuru valley in the Shuanghu region, Xizang (after Eric, 1994)

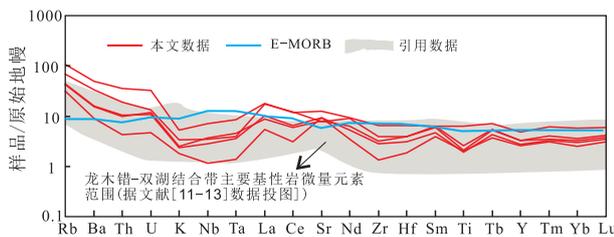


图3 斜长角闪岩微量元素蛛网图(原始地幔标准数据、E-MORB 据文献^[10], 引用数据来自文献^[11-13])

Fig. 3 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram for the amphibolite from the Qilongwuru valley in the Shuanghu region, Xizang (primitive mantle-normalized data from Sun et al., 1989)

10^{-6} , 均值为 49.11×10^{-6} 。轻、重稀土分馏较小, 比值 (LREE/HREE) 为 1.83 ~ 4.59, 均值为 3.20。 δEu 介于 0.75 ~ 1.42 之间, 均值为 1.06, Eu 具有轻度的正异常(图 4), 样品 D1410-H4 具一定的负异常。 $(La/Sm)_N$ 介于 1.05 ~ 2.48, 均值为 1.80, 略高于 E-MORB 的比值^[10], 这些特征与果干加年山和桃形湖等地区蛇绿岩的地化特征稍有差异^[11-13]。斜长角闪岩稀土元素配分曲线与典型的 E-MORB 类似。

表 1 双湖地区齐陇乌如沟早古生代斜长角闪岩主量、微量和稀土分析结果

Table 1 Major element, trace element and rare earth element analyses for the amphibolite from the Qilongwuru valley in the Shuanghu region, Xizang

样品号	D1410-1	D1410-2	D1410-3	D1410-4	D1410-5
主量元素 (wt%)					
SiO ₂	45.67	51.86	49.00	48.91	49.12
Al ₂ O ₃	9.94	14.79	15.07	14.56	15.30
Fe ₂ O ₃	3.78	2.59	2.40	3.75	2.45
FeO	3.31	4.28	3.99	6.21	4.38
CaO	6.63	7.46	10.45	10.21	11.40
MgO	21.12	10.39	12.44	9.26	11.43
K ₂ O	1.00	1.57	0.70	0.76	0.54
Na ₂ O	0.98	2.54	2.10	2.39	2.17
TiO ₂	0.45	0.56	0.42	1.38	0.44
P ₂ O ₅	0.05	0.08	0.05	0.06	0.04
MnO	0.11	0.12	0.12	0.17	0.13
灼失	6.52	3.19	2.76	1.58	2.07
Total	99.56	99.43	99.50	99.24	99.47
微量、稀土元素 (10^{-6})					
La	12.00	12.20	6.96	5.96	3.69
Ce	21.80	20.80	11.60	10.60	5.48
Pr	3.60	3.48	2.42	2.46	1.74
Nd	12.30	12.50	7.03	8.48	4.75
Sm	2.65	2.79	2.07	2.76	1.76
Eu	0.70	0.93	0.72	1.06	0.76
Gd	3.04	3.07	2.44	3.80	2.16
Tb	0.57	0.59	0.46	0.76	0.40
Dy	3.04	3.01	2.70	4.84	2.48
Ho	0.65	0.60	0.54	1.00	0.52
Er	2.10	2.07	1.89	2.99	1.81
Tm	0.30	0.26	0.24	0.45	0.23
Yb	1.74	1.60	1.48	2.88	1.25
Lu	0.31	0.28	0.26	0.44	0.23
Σ REE	64.80	64.18	40.81	48.48	27.26
δEu	1.04	1.08	1.42	0.75	1.01
Rb	43.03	68.35	27.68	27.08	20.00
Sr	165.22	262.42	198.67	167.69	198.15
Y	14.94	14.72	12.55	22.08	11.69
Zr	43.57	71.77	31.87	35.71	15.18
Nb	2.48	5.03	2.02	2.65	0.82
Cs	8.47	9.63	7.89	7.52	3.28
Ba	232.44	342.00	111.54	108.75	62.42
Hf	1.22	2.00	0.96	1.22	0.58
Ta	0.16	0.35	0.15	0.18	0.06
Pb	12.93	13.12	8.12	13.18	5.82
Th	1.59	3.01	0.88	0.84	0.36
U	0.28	0.68	0.22	0.24	0.10
V	137.12	137.69	147.53	316.29	166.27
Cr	1369.79	644.47	642.61	283.04	308.53
Mn	850.45	921.50	940.49	1402.01	1011.37
Co	60.78	36.24	43.42	43.14	40.31
Ni	945.10	279.92	336.97	117.47	196.67
Cu	33.70	46.79	43.02	65.74	21.49
Zn	76.06	78.04	63.14	93.20	56.11
Ga	10.14	15.21	12.17	17.32	12.62

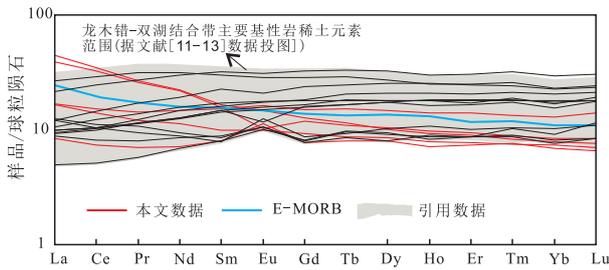


图4 斜长角闪岩稀土元素标准化配分图(球粒陨石标准数据、E-MORB 据文献[10], 引用数据来自文献[11-13])

Fig. 4 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the amphibolite from the Qilongwuru valley in the Shuanghu region, Xizang (chondrite-normalized data from Sun et al., 1989)

3 锆石 U-Pb 年龄

3.1 测试分析方法

样品(D1410,斜长角闪岩)粉碎到一定程度后,经过淘洗得到重砂矿物,然后再经过电磁选从中分离出锆石。在双目镜下挑选出干净和晶形较好,包裹体少,裂纹少,粒径大的锆石。再从中选出具有代表性的锆石,将挑选出来的锆石与标准锆石(TEM)一起用环氧树脂制靶、磨至锆石颗粒中心部

位后抛光、镀金。在 SHRIMP 测试前,对锆石样品进行反射光、透射光显微照相,并用阴极发光(CL)扫描电镜进行图像分析,选出那些具有明显韵律环带结构且无裂纹的岩浆锆石(图5)进行测试。

锆石微区原位 U-Th-Pb 同位素分析在北京离子探针中心 SHRIMP II 上进行。其中采用标准锆石 TEM(417Ma)进行不同元素的同位素之间的分馏校正,有关锆石 SHRIMP U-Pb 测年原理、分析流程和原理参考 Willanms 等及宋彪等文献^[14-15]。对于年龄的计算和数据处理采用 Isoplot 3.0 软件进行处理^[16]。普通铅根据实测²⁰⁴Pb 进行校正,单个点数据误差均为 1 σ 、样品加权平均值的误差为 2 σ ,加权平均值具 95% 的置信度。

3.2 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄结果

斜长角闪岩样品(D1410)锆石 CL 图像显示(图5),大多数锆石颗粒呈板条状、短柱状面状或次圆状,具有弱的环带结构。分析结果见表2。12个分析点 Th、U 含量变化范围较大,Th 含量介于(5~231) $\times 10^{-6}$,U 的含量介于(40~231) $\times 10^{-6}$,Th 和 U 之间具有正相关关系,Th/U 比值介于 0.13~1.42,均值为 0.97,具有典型岩浆锆石的特征,表明这些

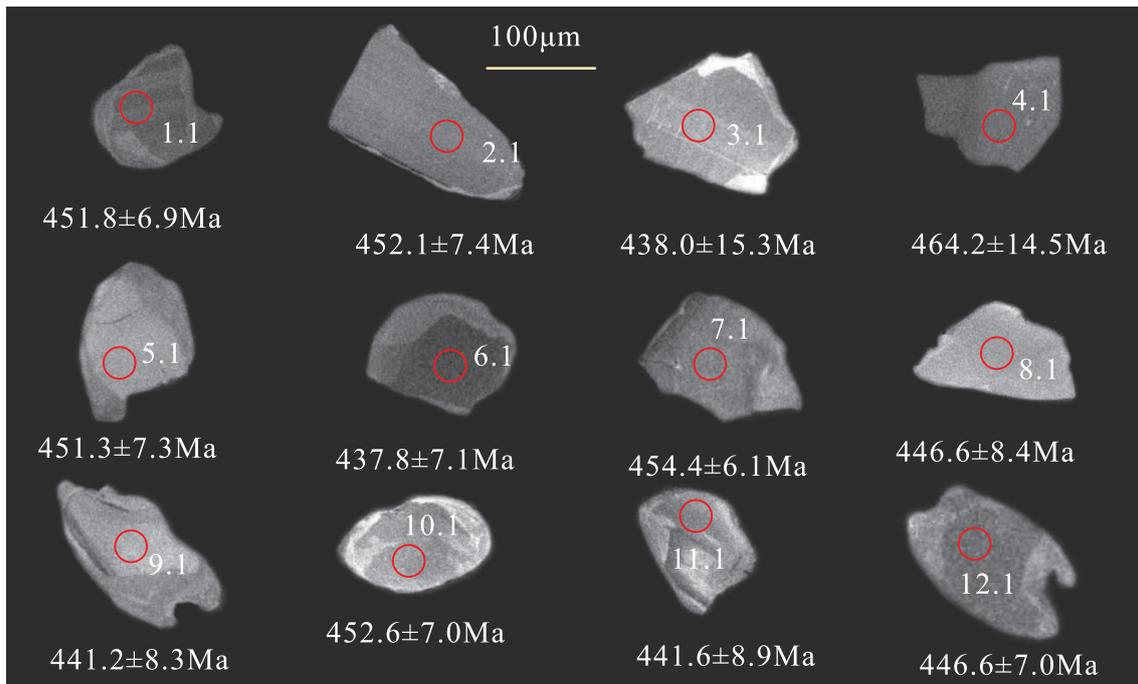


图5 双湖地区齐陇乌如沟斜长角闪岩锆石 CL 图像和测点位置、年龄

Fig. 5 CL images, measuring point positions and ages of the zircons from the amphibolite from the Qilongwuru valley in the Shuanghu region, Xizang

表 2 双湖地区齐陇乌如沟斜长角闪岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分析结果^{a)}

Table 2 Analytical results of the SHRIMP zircon U-Pb age for the amphibolite from the Qilongwuru valley in the Shuanghu region, Xizang

测点	U	Th	²⁰⁶ Pb*	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	± %	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	± %	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	± %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄(Ma)	
1. 1	123	169	7. 72	1. 42	0. 0543	4. 9	0. 543	5. 1	0. 0726	1. 6	451. 8	± 6. 9
2. 1	77	74	4. 88	0. 98	0. 0507	6. 1	0. 508	6. 4	0. 0727	1. 7	452. 1	± 7. 4
3. 1	52	63	3. 19	1. 24	0. 0476	7. 0	0. 462	7. 9	0. 0703	3. 6	438. 0	± 15. 3
4. 1	40	48	5. 58	1. 24	0. 0415	9. 5	0. 427	10. 0	0. 0747	3. 2	464. 2	± 14. 5
5. 1	89	96	2. 63	1. 12	0. 0507	7. 9	0. 507	8. 0	0. 0725	1. 7	451. 3	± 7. 3
6. 1	231	172	3. 16	0. 77	0. 0572	2. 7	0. 556	3. 2	0. 0704	1. 7	438. 7	± 7. 1
7. 1	169	104	10. 6	0. 64	0. 0576	2. 6	0. 58	3. 0	0. 073	1. 4	454. 4	± 6. 1
8. 1	52	59	14	1. 19	0. 0576	4. 8	0. 567	5. 2	0. 0714	1. 9	444. 6	± 8. 4
9. 1	58	42	3. 48	0. 76	0. 0646	8. 2	0. 631	8. 4	0. 0708	1. 9	441. 2	± 8. 3
10. 1	197	231	12. 3	1. 21	0. 0589	2. 4	0. 591	2. 9	0. 0727	1. 6	452. 6	± 7. 0
11. 1	42	5	2. 54	0. 13	0. 0597	5. 0	0. 584	5. 4	0. 0709	2. 1	441. 6	± 8. 9
12. 1	95	83	5. 88	0. 90	0. 0506	6. 7	0. 501	6. 9	0. 0717	1. 6	446. 6	± 7. 0

(a) ²⁰⁶Pb* 为放射性成因铅

锆石为岩浆锆石^[17]。在 12 个测点数据中, ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄变化范围在 438. 0 ~ 464. 2Ma 之间, 年龄值离散范围为 26. 2Ma。其中测点 3. 1、4. 1、6. 1 年龄值离散范围较大, 测点 9. 1 偏离了谐和线。测点 3. 1 和 6. 1 中 Th/U 比值分别为 1. 24 和 0. 77, 结合锆石形态分析, 其应为岩浆锆石, 所得年龄可能为岩浆结晶年龄, 有可能是另一次事件的反映。故不将其 4 个测点不参与年龄值计算。其余的 8 个测点

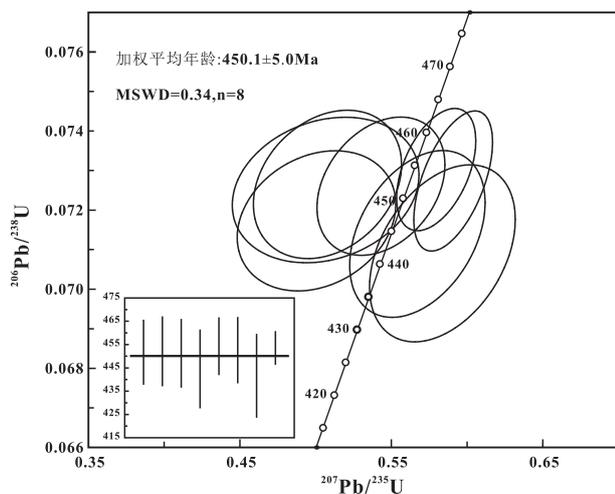


图 6 双湖地区齐陇乌如沟早古生代斜长角闪岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

Fig. 6 Concordia plot of the SHRIMP zircon U-Pb ages for the amphibolite from the Qilongwuru valley in the Shuanghu region, Xizang

年龄值在 441. 6 ~ 454. 4Ma, 在一致曲线图中数据点密集成群分布于一致曲线上(图 6), 其加权平均年龄为 450. 1 ± 5. 0Ma (MSWD = 0. 34), 代表了斜长角闪岩的结晶年龄或者成岩年龄, 即晚奥陶世。

4 讨论

4. 1 年代学及意义

近年来, 在藏北桃形湖地区、果干加年山等地区发现了多处蛇绿岩出露, 时代从中-晚寒武世到二叠纪, 认为原-古特提斯洋在龙木错-双湖地区是一个连续演化的过程^[11-13, 18-21]。本文在双湖地区齐陇乌如沟斜长角闪岩中获得的 450. 1 ± 5. 0Ma 锆石 U-Pb 年龄, 可能代表了斜长角闪岩早期岩浆结晶的时代, 即晚奥陶世, 并非前奥陶纪。在桃形湖、果干加年山及双湖地区的变玄武岩和堆晶辉长岩中分别获得了 467Ma、463Ma 和 461Ma 的年龄值^[12-13, 18], 其中奥陶世, 而本文获得的为晚奥陶世, 说明中-晚奥陶世研究区大洋是一个连续演化的过程。岩石地球化学数据分析结果表明, 斜长角闪岩具有 E-MORB 的地球化学特征, 斜长角闪岩亏损高场强元素, 且含量较低, 可能基性岩浆形成于弧后盆地的构造环境。年代学和地球化学特征表明, 龙木错-双湖结合带双湖地区在 450. 1Ma 时期应该发育洋盆, 斜长角闪岩代表了古特提斯洋壳残余。

4.2 龙木错-双湖结合带与昌宁-孟连结合带的关系

昌宁-孟连结合带北起昌宁,经铜厂街、老厂至孟连,继续南延进入泰国。带内主要由古生代—中生代蛇绿岩、蛇绿混杂岩、俯冲增生杂岩等组成。昌宁-孟连蛇绿混杂岩被上三叠统三岔河组(T_3sc)、中侏罗统花开左组(J_2h)角度不整合覆盖,三岔河组(T_3sc)的一套磨拉石的出现,标志着大洋的结束,进入陆内演化阶段,临沧岩体晚三叠世的花岗岩标志着进入陆-陆碰撞阶段^[22-23]。以前认为昌宁-孟连结合带打开时间不晚于早石炭世^①。近年来,在昌宁-孟连结合带南汀河地区发现了444~439Ma洋壳残余记录,地球化学特征显示具有N-MORB的性质^[25],说明在昌宁-孟连结合带存在早古生代晚期蛇绿岩。最近的1:5万区域地质调查发现,在铜厂街蛇绿混杂岩和湾河蛇绿岩混杂带中获得了448Ma、455Ma等早古生代晚期年龄值,地球化学属性都具有MORB的特征。本文获得的年龄值与昌宁-孟连结合带蛇绿岩形成时代基本一致,地球化学特征和构造背景也相似,因此,龙木错-双湖结合带向南延伸到昌宁-孟连结合带,二者代表了一个统一的原(古)特提斯洋。

5 结论

(1) 双湖齐陇乌如岩沟斜长角闪岩锆石SHRIMP年龄为了450.1±5.0Ma,而不是前奥陶纪。具有E-MORB型的地球化学性质,说明龙木错-双湖结合带存在晚奥陶世的洋盆信息。

(2) 双湖齐陇乌如岩沟斜长角闪岩与铜厂街蛇绿和湾河蛇绿岩年龄基本一致,地球化学特征也相似,说明龙木错-双湖结合带与昌宁-孟连结合带代表了一个统一的原(古)特提斯洋。

注释:

①云南省地质调查院. 2008, 中华人民共和国1:25万凤庆县幅区域地质调查报告。

参考文献:

[1] 黄继钧, 伊海生, 林金辉. 羌塘盆地构造特征及油气远景初步分析[J]. 地质科学, 2003, 39(1): 1-10.
[2] 王剑, 谭富文, 李亚林, 等. 青藏高原重点沉积盆地油气资源潜力分析[M]. 北京: 地质出版社, 2004. 1-65.

[3] 胡培远, 李才, 杨韩涛, 等. 青藏高原中部果干加年山一带晚三叠世花岗岩的特征、锆石定年及其构造意义[J]. 地质通报, 2010, 29(12): 1825-1832.
[4] 张修政, 董永胜, 李才, 等. 羌塘中部晚三叠世岩浆活动的构造背景及成因机制——以红脊山地区香桃湖花岗岩为例[J]. 岩石学报, 2014, 30(2): 547-564.
[5] 刘波, 彭智敏, 耿全如, 等. 西藏双湖纳若地区花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄与地球化学特征[J]. 地质通报, 2015, 34(2-3): 283-291.
[6] 李才. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. 长春地质学院学报, 1987, 17(2): 155-166.
[7] Peng Z M, Geng Q R, Pan G T, et al. Zircon SHRIMP geochronology and Nd-Pb isotopic characteristics of the meta-basalt in the central part of Tibetan Plateau's Qiangtang region[J]. Earth Sciences, 2014, 57(3): 428-438.
[8] 路远发. Geokit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 459-464.
[9] ERIC A K M. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. Earth-Science Reviews. 1994, 37: 215-224.
[10] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D, Norry M. Magmatism in the Ocean Basins [C]. London: Geological Society of London, Special Publication, 1989, 42: 313-345.
[11] 翟庆国, 李才, 黄小鹏. 西藏羌塘中部古特提斯洋残片? ——来自果干加年山变质基性岩地球化学证据[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(7): 866-872.
[12] 翟庆国, 王军, 李才, 等. 青藏高原羌塘中部中奥陶纪世变质堆晶辉长岩锆石 SHRIMP 年代学及 Hf 同位素特征[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(5): 565-573.
[13] 彭智敏, 耿全如, 潘桂棠, 等. 青藏高原羌塘中部变玄武岩锆石 SHRIMP 年代学及 Nd-Pb 同位素特征[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(5): 872-883.
[14] Williams I S, Claseson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappers, Scandinavian Caledonides. II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb [J]. Contrib. Mineral Petrol., 1989, 97: 205-217.
[15] 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[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 26-30.
[16] Ludwig K R. User's manual for ISOPLOT 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft excel, Berkeley Geochronology Center[M]. Special Publication, 2003, 41-70.
[17] Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon[J]. Journal of Metamorphic Geology, 2000, 18(4): 423-439.
[18] 王立全, 潘桂棠, 李才, 等. 藏北羌塘中部果干加年山早古生代堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄—兼论原-古特提斯洋的演化[J]. 地质通报, 2008, 27(12): 2045-2056.

- [19] 张天羽,李才,苏犁,等. 藏北羌塘中部日湾茶卡地区堆晶岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义 [J]. 地质通报, 2014, 33(11):1662-1672.
- [20] 李才,翟庆国,董永胜,等. 冈瓦纳大陆北缘早期的洋壳信息-来自青藏高原羌塘中部早古生代蛇绿岩的依据[J]. 地质通报, 2008, 27(10):1605-1612.
- [21] 李才. 青藏高原龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带研究二十年 [J]. 地质论评, 2008, 54(1):105-119.
- [22] 孔会磊,董国臣,莫宣学,等. 滇西三江地区临沧花岗岩的岩石成因:地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束[J]. 岩石学报, 2012, 28(5):1438-1452.
- [23] 聂飞,董国臣,莫宣学,等. 滇西昌宁-孟连带三叠纪花岗岩地球化学、年代学及其意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(05):1465-1476.
- [24] 王保弟,王立全,潘桂棠,等. 昌宁-孟连结合带南汀河早古生代辉长岩锆石年代学及地质意义[J]. 科学通报, 2013, 58(4):344-354.

The amphibolite from the Shuanghu region, Qiangtang Basin, Qinghai-Xizang Plateau: Geochronological and geological implications

YANG Gui-hua, PENG Zhi-min, ZHANG Zhang, GUAN Jun-lei
(Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: A succession of amphibolite crops out along the Qilongwuru valley in the Shuanghu region, Qiangtang Basin, Qinghai-Xizang Plateau. With the aid of SHRIMP zircon U-Pb dating, the amphibolite herein gives a $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average age of 450.1 ± 5.0 Ma, indicating that the amphibolite was formed during the Late Ordovician. Geochemically, the amphibolite is characterized by SiO_2 contents of 45.67% - 51.68%, Na_2O contents of 0.98% - 2.54%, high Na contents and lower K contents, lower differentiation of LREE and HREE, positive Eu anomaly, relatively enrichment of the elements Rb, Ba and U, and relatively depletion of the elements Nb, Ta and Zr. These geochemical signatures show that the amphibolite has the features of the enriched mid-oceanic ridge basalts (E-MORB), and represents the relicts of the Palaeo-Tethys oceanic crust. The similarity in the ages and geochemical signatures of the amphibolite from the Qilongwuru valley in the Shuanghu region and those of the Tongchang ophiolites and Wanhe ophiolites in the Changning-Menglian suture zone indicates that the Lungmuco-Shuanghu suture zone and Changning-Menglian suture zone are represented by a unified Proto-(Palaeo-) Tethys ocean.

Key words: Lungmuco-Shuanghu suture zone; Changning-Menglian suture zone; Qilongwuru valley in Shuanghu; zircon U-Pb dating; amphibolite