东昆仑造山带早古生代变质峰期和逆冲构造变形年代的精确限定

陈能松[①②] 何 蕾[①] 孙 敏[②] 王国灿[①] 张克信[①]

(①中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074; ②香港大学地球科学系, 香港. E-mail: nengsongchen@cug.edu.cn)

摘要 都兰县南部东昆中断裂带北侧的岛弧型变质火山岩系, 变质程度自南而北从高绿片岩相增至绿帘角闪岩相, 早期发育高角度逆冲变形, 晚期受低角度走滑变形改造, 变质顶峰与逆冲构造同步. 变火山岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄为(448±4) Ma. 高角度逆冲变形带变质角闪石和白云母的 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄分别为 427±4 和 408 Ma. 上述年代学结果较为精确地限定了东昆仑造山带东段早古生代火山盆地关闭的构造年代, 逆冲构造岩片的冷却速率约为 9℃/Ma.

关键词 东昆仑造山带 变质变形事件 构造-热年代学

裂解与汇聚是大陆构造演化的两个重要过程. 裂解导致一系列深度不一规模不等的海洋盆地的形成与发展, 汇聚则使这些盆地关闭, 堆积物发生变质变形, 原来相关或不相关的一系列陆块聚合在一起, 形成新的大陆块.

位于柴达木盆地南缘和巴颜喀拉地体之间的东昆仑造山带有着复杂的物质组成和漫长的构造演化史[1,2]. 已有的研究表明, 分布在格尔木-诺木洪以南的震旦纪-志留纪中浅变质岩系, 是中国原特提斯发生、发展和演化的物质记录[1], 换言之, 是与大陆裂解过程有关的系列产物. 新近完成的 1∶250000 冬给措纳湖幅地质填图及相关研究发现这套岩系延入了东昆仑造山带东段, 分布在东昆中断裂带的南北两侧. 位于东昆中断裂带北侧的变质岩系发育高角度逆冲构造, 变质顶峰与逆冲构造变形同期进行, 在盆地关闭过程中形成逆冲构造岩片. 虽然已有的岩浆岩侵入体年代学研究已表明东昆仑造山带在早古生代中期曾发生过强烈的构造-岩浆事件[3~6], 但与盆地关闭有关的精确的变质变形构造-热年代学数据尚未见报道. 本研究在锆石 U-Pb 法确定火山岩形成年代的基础上, 用 Ar-Ar 定年法限定了东昆仑造山带东段东昆中断裂北侧变质火山岩变质顶峰和与变质顶峰同期的高角度逆冲变形构造的年代, 以提供盆地关闭的精确的时间限定.

1 地质背景和样品特征

研究区位于青海省都兰县香日德镇南的清水泉一带, 习称的东昆中断裂带呈近东西向横贯本区, 区内变质火山-沉积岩系呈一系列夹于古、中元古代中高级变质岩岩块中的构造岩片(图 1). 详细的地质填图和露头分析表明, 不同区段的火山岩岩片的主要变形样式存在一定差异, 分布于东昆中断裂南侧的两个火山岩岩片即以发育左旋走滑变形为特色. 另外, 本区以东发育的泥盆纪耗牛山组具造山磨拉石建造特点, 其中所夹流纹岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为(397 ± 18) Ma[1)].

东昆中断裂带北侧的变质火山-沉积岩系, 从南而北变质陆源碎屑岩逐渐减少, 变火山岩增多, 最北地段出现玄武质-英安质火山熔岩. 经中国科学院南京地质古生物研究所尹磊明鉴定, 南部的变质陆源碎屑岩中产有具寒武纪组合面貌的疑源类 *Granomarginata squamaceas* (棘粒面厚缘藻)、*Lophosphaeridium* sp. (瘤面球藻(未定种))、*Goniosphaeridium* sp. (角球藻(未定种))和 *Prototracheites porus* (具穴原始拟导管)等(张克信, 未刊资料). 经多种地球化学、构造环境判别图解[7,8]判别, 基性火山岩形成于与火山弧有关的构造环境. 变质程度从南而北从高绿片岩相过渡到绿帘角闪岩相, 普遍发育高角度逆冲韧性变形带和各种构造岩. 糜棱面理呈东西向走向, 绝大多数南倾, 倾角大于 70°; 矿物拉伸线理倾向大致与面理倾向相同. 宏观和微观尺度的“σ”型旋转碎斑系、S-C 组构、多米诺骨牌构造等都指示为由南向北的高角度韧性逆冲运动. 在南段, 角闪石碎斑核部呈浅绿色, 成分为阳起石质, 碎斑边缘和基质中强烈定向的新生角闪石呈蓝绿色,

1) 青海省地质矿产局. 1∶50000 拉玛托洛胡幅地质调查报告. 1992

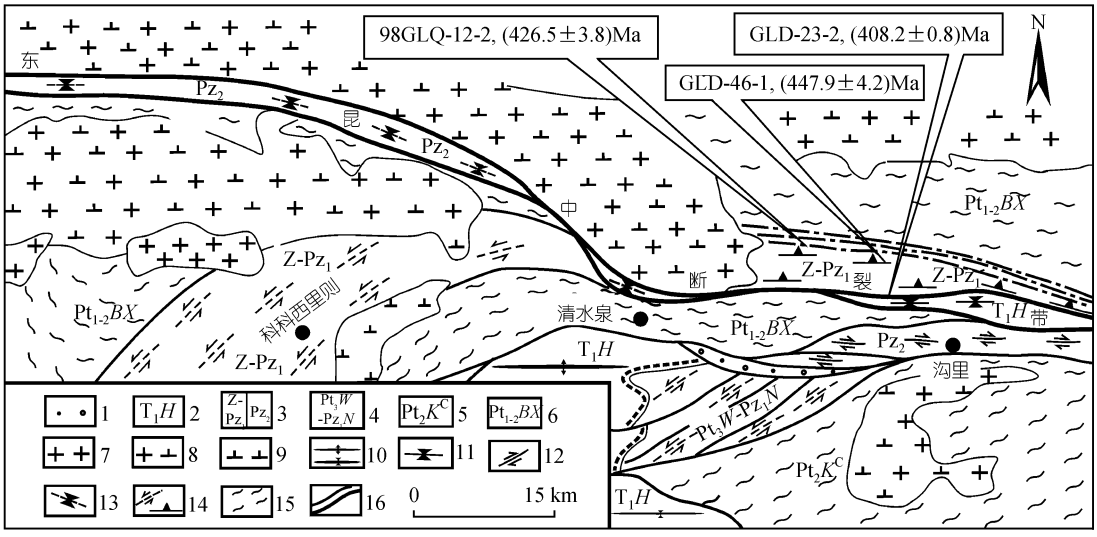

图 1 研究区地质简图、变形样式、样品编号和年龄结果及对应的采样位置

1. 侏罗系; 2. 三叠系; 3. 震旦系-下古生界、上古生界; 4. 万保沟岩群-纳赤台岩群; 5. 中元古代苦海杂岩; 6. 古、中元古代白沙河岩群-小庙岩群; 7. 花岗岩; 8. 花岗闪长岩; 9. 闪长岩或石英闪长岩; 10. 背斜/向斜构造; 11. 印支期压扁构造面理; 12. 晚华力西期右旋走滑构造; 13. 华力西期压扁构造面理; 14. 晚奥陶世左旋走滑构造/逆冲构造; 15. 古、中元古代流动面理; 16. 一般断裂和大断裂. 框图中分别为样品编号和年龄结果

成分为普通角闪石质; 弱应变域中的角闪石呈不定向分布, 其核部与边部的颜色和成分变化与强应变域的角闪石碎斑一致. 这表明, 变质作用从绿片岩相向绿帘角闪岩相递增, 变质高峰与逆冲运动同期达到. 在北段, 角闪石颜色较均匀, 为普通角闪石质. 观察表明, 早期高角度逆冲构造被稍晚的左旋走滑构造叠加, 但没有造成明显的矿物生长.

研究样品沿南东东至北西西方向剖面采集(图1). 南段的 GLD-23-2 为白云母石英构造片岩, 白云母为糜棱岩化重结晶矿物. 北段 GLD-46-2 属长英质糜棱岩, 变质矿物有帘石、黑云母、白云母、石英、钠质斜长石等, 弱变形域局部仍残存半自形石英斑晶和斜长石斑晶, 强变形带内石英斑晶因高度变形而呈拉长的多晶石英条带. 样品 98GLQ-12-2 属 L-构造岩, 变质矿物有角闪石、石榴石、帘石、钠质斜长石和石英等, 可见变余的半自形斜长石, 角闪石全为变质生长的长柱状变斑晶, 含较多的石英包裹体, 强烈定向构成线理. 电子探针成分剖面分析表明角闪石成分较均匀, 总体成分为: Si = 6.28, $(Na + K)_A$ = 0.52, Mg/(Mg + Fe) = 0.38, 属铁韭闪石质普通角闪石[9].

2 分析方法和结果

经严格的人工重砂分离, 磁选和手工挑选, 精选出纯度达 99%的角闪石、白云母精样和锆石精样. 用于分析的锆石均为透明干净, 无包裹体, 无裂纹. 选取不同颜色和长宽比的锆石送天津地质矿产研究所作单颗粒锆石 U-Pb 分析, 分析方法见文献[10], 年龄计算据 ISOPLOT 程序[11]进行. 角闪石和白云母送中国地质科学院地质研究所作 ^{40}Ar-^{39}Ar 分析. 分析结果分别列于表 1 和 2, 相关年龄图解见图 2.

表 1 锆石 U-Pb 同位素测定结果

颗粒号 a)	质量/μg	浓度		同位素比值 b)					表面年龄/Ma		
		U/μg·g^{-1}	Pb/μg·g^{-1}	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
1	15	252	19	7478	0.1596	0.07210(103)	0.5472(111)	0.05505(71)	448.8 ± 6.2	443.2 ± 7.3	414 ± 29
2	20	232	18	9230	0.1605	0.07182(100)	0.5463(109)	0.05517(71)	447.1 ± 6.0	442.6 ± 7.2	419 ± 29
颗粒 1 和 2 的 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为(447.9 ± 4.2) Ma											

a) 样品描述: 锆石 1 长柱状, 半透明, 浅紫色; 锆石 2 半自形粒状, 半透明, 紫色; b) $^{206}Pb/^{204}Pb$ 比值已对实验室空白(Pb = 0.050 ng 和 U = 0.002 ng)和稀释剂作了校正, Pb 同位素为放射性成因铅, 误差值为 2σ. 0.07210(103)表示 0.07210 ± 0.00103

表 2 ^{40}Ar-^{39}Ar 逐段加热分析数据

T/℃	$(^{40}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{36}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{37}Ar/^{39}Ar)_m$	$^{40}Ar/^{39}Ar$*	^{39}Ar/mol	^{39}Ar/%	^{40}Ar*/%	年龄/Ma
角闪石(98GLQ-12-2)								
500	22.857	0.0357	3.5345	12.5851	7.00×10^{-13}	4.70	3.00	269.6 ± 11.3
600	20.781	0.0244	11.3740	14.5074	8.20×10^{-13}	5.50	4.05	307.4 ± 8.2
700	20.719	0.0225	12.0631	15.0752	4.45×10^{-13}	2.99	2.28	318.4 ± 7.7
800	20.032	0.0108	11.1985	17.8017	15.80×10^{-13}	10.60	9.58	370.5 ± 5.3
900	21.223	0.0115	11.1111	18.7723	13.90×10^{-13}	9.33	8.88	388.6 ± 5.6
1000	22.561	0.0085	11.0631	21.0049	16.40×10^{-13}	11.01	11.73	429.7 ± 5.4
1100	22.598	0.0092	11.0994	20.8421	35.80×10^{-13}	24.02	25.40	426.8 ± 5.5
1200	22.472	0.0094	10.9511	20.6363	44.50×10^{-13}	29.87	31.27	423.0 ± 5.5
1300	88.090	0.1667	7.4973	39.5153	1.50×10^{-13}	1.01	2.02	738.7 ± 19.5
1400	66.207	0.1035	6.2047	36.2541	1.45×10^{-13}	0.97	1.79	688.0 ± 14.7
					J = 0.009596, 分析质量 = 126.4 mg, 全熔年龄 = 376.0 Ma, 坪年龄 = (426.5 ± 3.8) Ma			
白云母(GLD-23-2)								
400	20.308	0.0077	0.0656	18.0354	6.50	1.71	1.17	288.0 ± 3.8
500	24.364	0.0045	0.0388	23.0191	11.00	2.88	2.54	360.0 ± 4.2
610	25.815	0.0027	0.0232	25.0096	18.40	4.83	4.61	388.0 ± 4.4
700	26.882	0.0023	0.0197	26.2072	22.00	5.78	5.77	404.7 ± 4.5
780	27.063	0.0017	0.0149	26.5429	57.20	15.01	15.20	409.3 ± 4.6
890	27.000	0.0015	0.0129	26.5487	33.00	8.66	8.77	409.4 ± 4.5
990	27.017	0.0018	0.0149	26.4957	28.50	7.48	7.56	408.7 ± 4.5
1070	26.853	0.0012	0.0101	26.5003	42.30	11.1	11.23	408.7 ± 4.5
1160	26.651	0.0007	0.0121	26.4459	87.80	23.05	23.25	408.0 ± 4.4
1220	26.984	0.0020	0.0169	26.3970	50.60	13.28	13.38	407.3 ± 4.5
1315	27.516	0.0032	0.0275	26.5606	15.50	4.07	4.12	409.6 ± 4.6
1400	32.658	0.0122	0.1040	29.0599	8.20	2.15	2.39	443.7 ± 5.6
					J = 0.009596, 分析质量 = 98.00 mg, 全熔年龄 = 404.6 Ma, 坪年龄 = (408.2 ± 0.3) Ma			

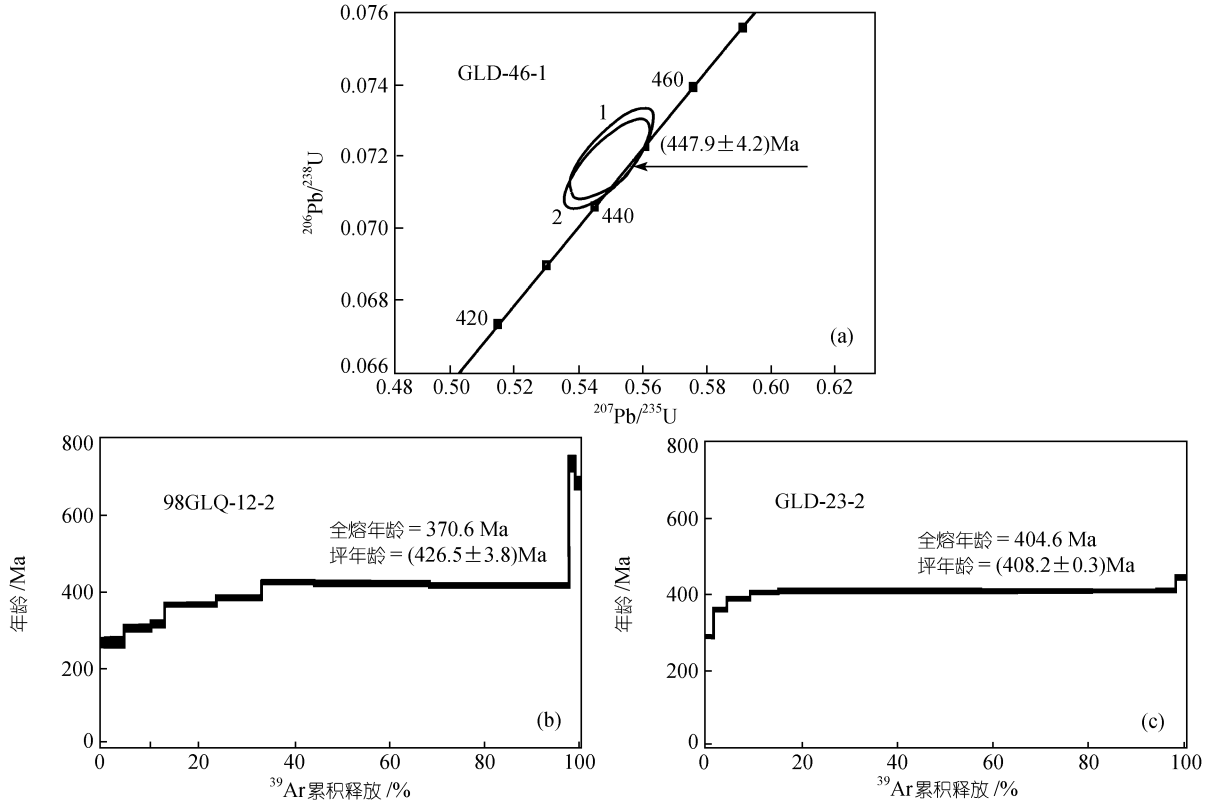

图 2 锆石 U-Pb(a)、角闪石(b)和白云母 Ar-Ar(c)年龄图解

3 讨论与结论

结合微体古生物化石分析结果, 这套变质火山-沉积岩系时代为南老北新, 寒武纪以陆源碎屑沉积为主, 发展到奥陶纪末期出现火山熔岩, 代表陆壳张裂盆地逐渐变深的过程.

绿帘角闪岩相变质温度条件范围(500~550℃)与角闪石对 Ar 同位素的封闭温度(500~600℃[12,13])相近. 98GLQ-12-2(角闪石)427 Ma 的 Ar-Ar 坪年龄应近于等于变质顶峰的年龄, 而逆冲构造与变质顶峰同期, 同时也代表了逆冲构造变形的进行时间, 因此东昆仑地区早古生代与岛弧环境有关的火山盆地是在中志留世关闭的. 白云母对 Ar 同位素的封闭温度范围为(350~400)℃[14,15]. GLD-23-2(白云母)408 Ma 的坪年龄应是与逆冲构造有关的冷却年龄. 以 427 Ma 时的温度为 550℃, 408 Ma 时的温度为 375℃计算, 此间逆冲构造岩片的冷却速率大致为 9℃/Ma.

最近, Sobel 等人[16]在阿尔金断裂带的变质岩和变形的同造山花岗岩中获得了一组白云母和黑云母 Ar-Ar 坪年龄((435 ± 20) Ma), 及造山后未变形侵入体中获白云母 Ar-Ar 坪年龄((383 ± 7) Ma), 推断在阿尔金一带可能存在一条中古生代的板块缝合带, 向南西可能与西昆仑的库地缝合线相连. 本研究表明东昆仑早古生代火山盆地、西昆仑和阿尔金早古生代洋盆的关闭时间大体是一致的.

致谢 李惠民研究员和陈文研究员分别完成了本研究的锆石 U-Pb 同位素和角闪石及白云母 Ar 同位素测试. 中国地质大学(武汉)地球科学学院和香港大学地球科学系为本项目的合作研究提供了极大的方便, 作者在此表示诚挚的感谢. 本工作受国家自然科学基金(批准号: 49972023)、国土资源部地质调查局中国西部造山带 1∶25 万地质填图方法研究项目和香港大学 CRGC 项目资助.

参 考 文 献

1 潘裕生, 周伟明, 许荣华, 等. 昆仑山早古生代特征与演化. 中国科学, D 辑, 1996, 26(4): 302~307

2 Yang J S, Robinson P T, Jiang C F, et al. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and their tectonic implications. Tectonophysics, 1996, 258: 215~231

3 许荣华, Harris N, Lewis C, 等. 拉萨至格尔木的同位素地球化学. 见: 青藏高原地质演化. 北京: 科学出版社, 1990. 282~302

4 张玉泉, 谢应雯. 东昆仑胡晓钦岩体 Rb, Sr 同位素研究. 见: 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1996. 42~47

5 Mock C, Arnaud N O, Cantagrel J M. An early unroofing in northeastern Tibet? Constraints from $^{40}Ar/^{39}Ar$ thermochronology on granitoids from the eastern Kunlun range (Qinghai, NW China). Earth and Planet Sci Lett, 1999, 171: 107~122

6 陈能松, 孙敏, 张克信, 等. 东昆仑变闪长岩体的 ^{40}Ar-^{39}Ar 和 U-Pb 年龄: 角闪石过剩 Ar 和东昆仑早古生代岩浆岩带证据. 科学通报, 2000, 45(21): 2337~2342

7 Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R S, ed. Andesites. Chichester: Wiley, 1982. 525~548

8 Pearce J A, Cann J R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth and Planet Sci Lett, 1973, 19: 290~300

9 Leake B E. Nomenclature of amphiboles. American Mineralogist, 1978, 3: 1023~1052

10 李惠民, 董传万, 徐夕生, 等. 泉州辉长岩中单粒锆石 U-Pb 法定年——闽东南基性岩浆的起源. 科学通报, 1995, 40(2): 158~160

11 Ludwig R K. ISOPLOT——a plotting and regression program for radiogenic-isotope data, Version 2.96. Revision of the US Geological Sruvey Open File Report 91~445, 1998. 1~49

12 Harrison T M. Diffusion of ^{40}Ar in hornblende. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1981, 78: 324~331

13 Berger G W, York D. Geothermometry from ^{40}Ar-^{39}Ar dating experiments. Geochim Cosmochim Acta, 1981, 45: 795~811

14 Hames W E, Bowring S A. An empirical evaluation of argon diffusion geometry in muscovite. Earth and Planet Sci Lett, 1994, 124: 161~167

15 Wagner G A, Reimer G M, Jager E. Cooling ages derived from apatite fission, mica Rb-Sr and K-Ar dating: The uplift and cooling history of the central Alps. Padovia Uvi Inst Geol Mineral Mem, 1977, 30: 1~27

16 Sobel E R, Arnaud N. A possible middle Paleozoic suture in the Altyn Tagh, NW China. Tectonics, 1999, 18: 64~74

(2001-12-05 收稿, 2002-01-09 收修改稿)