

东昆仑南地体苦海岩群副片麻岩锆石年代学研究

刘 强^{1,2}, 孟繁聪², 李胜荣¹, 冯惠彬^{1,2}, 贾丽辉^{1,2}, 田广阔²

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘要: 东昆仑南地体最古老的变质基底为苦海岩群, 出露于苦海-温泉一带。采用 LA-ICP-MS 方法对苦海岩群副片麻岩中的锆石进行测试, 得出苦海岩群副片麻岩的最大沉积时代为新元古代早期且在志留纪(423 Ma)遭受变质。通过与东昆仑北地体变质基底金水口岩群的锆石年龄谱对比, 苦海岩群和金水口岩群的锆石年龄谱中都存在 1 550~1 650 Ma、1 900~2 100 Ma、2 350~2 550 Ma 的年龄段峰值, 两岩群可能存在相似的物源区; 年龄谱中最年轻的岩浆锆石峰值年龄分别为 750~800 Ma 和 900~1 250 Ma, 两岩群的最大沉积时代相近, 分别为新元古代早期(Pt₃)、中元古代晚期-新元古代早期(Pt₂₋₃); 年龄谱中都存在 400~450 Ma 的变质年龄峰值, 两岩群在志留纪均发生角闪岩相变质, 说明它们在前志留纪有着相似的演化历史。即使昆南地体和昆北地体之间在早古生代期间存在洋盆, 该洋盆也不会太大。

关键词: 东昆仑; 苦海岩群; 副片麻岩; 锆石; U-Pb 年代学

中图分类号: P588.34⁺5; P597

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)03-0469-15

Geochronology of zircon from the paragneiss of Kuhai Group in southern East Kunlun terrane

LIU Qiang^{1,2}, MENG Fan-cong², LI Sheng-rong¹, FENG Hui-bin^{1,2}, JIA Li-hui^{1,2} and TIAN Guang-kuo²

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, School of Earth Sciences and Resources, China

University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Kuhai Group is the oldest metamorphosed basement in southern East Kunlun Terrane (SEKT) which is exposed around Kuhai-Wenquan area. This study presents in situ zircon U-Pb analyses (LA-ICP-MS) of 67 zircons from two paragneisses in the Kuhai Group in SEKT. The results suggest that the Kuhai Group was deposited in Early Neoproterozoic and underwent a metamorphic event in Silurian (423 Ma). Compared with the zircon U-Pb dating of the Jinshuikou Group in northern East Kunlun Terrane (NEKT), the ages of their source materials all have the records of 1 550~1 650 Ma, 1 900~2 100 Ma and 2 350~2 550 Ma, suggesting that they might have had similar sources; peak ages of the youngest member in the age spectrum with magmatic origin are 750~800 Ma and 900~1 250 Ma respectively, suggesting that their earliest sedimentary ages are Early Neoproterozoic and Late Mesoproterozoic-Early Neoproterozoic respectively; peak ages of the youngest member in the age spectrum with metamorphism origin are 400~450 Ma, indicating that they all underwent the amphibolite facie metamorphism in Silurian. It can therefore be inferred that the oldest metamorphosed

收稿日期: 2015-06-04; 接受日期: 2016-03-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41272052); 中国地质调查局资助项目(12120115027001, 1212011120158, 12120114080101)

作者简介: 刘 强(1990-), 男, 硕士研究生, 地质工程专业, E-mail: didaliuqiang@163.com; 通讯作者: 孟繁聪(1967-), 男, 博士, 研究员, 主要从事火成岩研究, E-mail: mengfancong@yeah.net。

basements in SEKT and NEKT had the similar evolution histories during pre-Silurian, and even if the paleo-ocean basin between the SEKT and the NEKT existed in early Paleozoic, the ocean basin must have been a small one.

Key words: East Kunlun; Kuhai Group; paragneiss; zircon; U-Pb geochronology

Fund support: National Natural Survey Project of China (41272052); China Geological Survey Project (12120115027001, 1212011120158, 12120114080101)

造山带中的变质基底通常由最古老的岩石组成,它可能较完整的记录了造山带的形成演化过程。东昆仑造山带由昆南昆北两个地体组成(吴功建等, 1989; 许志琴等, 2006a), 对于昆南、昆北基底的形成演化仍存在较大的争论。部分学者根据基底的结晶程度、沉积盖层、岩浆岩等方面的对比, 认为昆南、昆北地体变质基底在前寒武纪之前并非为同一古陆块(姜春发等, 1992; 姜寒冰等, 2012); 也有学者认为昆南、昆北不同的前寒武变质基底具有类似的构造变形相, 变质矿物组合和温压分析显示南北变质程度相似, 南北基底共同遭受了东昆仑地区中新元古代的重大构造-热事件(王国灿等, 2004)。这些争议严重制约了对东昆仑造山带形成演化的认识。

本文主要以昆南地体变质基底苦海岩群副片麻

岩为研究对象, 通过 LA-ICP-MS 方法获得该片麻岩中锆石 U-Pb 同位素年龄, 结合昆南地体的区域构造特征, 探讨苦海岩群副片麻岩的形成与演化历史, 并与昆北地体变质基底金水口岩群相对比, 为东昆仑造山带的构造演化提供依据。

1 区域地质背景

东昆仑造山带以昆中断裂为界划分为两大构造单元, 分别为东昆北地体和东昆南地体(姜春发等, 1992; 许志琴等, 2006b)(图 1)。昆南、昆北地体的变质基底分别为苦海岩群和金水口岩群。

金水口岩群在昆北地区分布较广, 包括白沙河组和小庙组。白沙河组自下而上由长英质片麻岩、

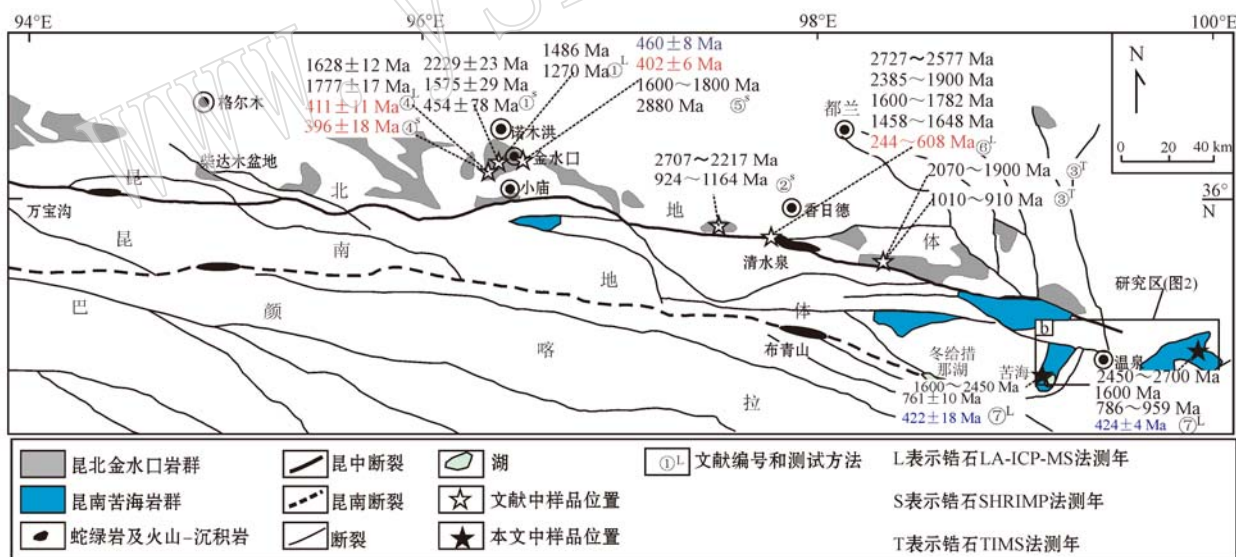


图 1 东昆仑东段昆中断裂带两侧变质基底锆石年龄分布图(据 Liu *et al.*, 2005; 青海省地质调查院, 2001^①)

Fig. 1 The distribution of ages of the zircon grains from the metamorphosed basement on both sides of the central fault in the east part of East Kunlun (after Liu *et al.*, 2005; Qinghai Geological Survey Institute, 2001^①)

图中数据黑色为碎屑锆石, 红色为岩浆锆石, 蓝色为变质锆石; 昆北地体金水口岩群年龄数据来源: ①—陆松年等, 2009; ②—王国灿等, 2004; ③—陈能松等, 2006; ④—龙晓平等, 2006; ⑤—张建新等, 2003; ⑥—陈有灼等, 2011; 昆南地体苦海岩群年龄数据来源: ⑦—本文 The ages of the Jinshui Kou Group in the NEKT: ①—Lu Songnian *et al.*, 2009; ②—Wang Guocan *et al.*, 2004; ③—Chen Nengsong *et al.*, 2006; ④—Long Xiaoping *et al.*, 2006; ⑤—Zhang Jianxin *et al.*, 2003; ⑥—Chen Youxin *et al.*, 2011; the ages of the Kuhai Group in the SEKT: ⑦—this study

① 青海省地质调查院. 2001. 1:25 万兴海幅区域地质报告.

钙质片麻岩+斜长角闪岩、大理岩组成,原岩为灰岩、海相砂泥质碎屑岩和中基性火山岩等,陆源碎屑来自一个经历过2.1~1.9 Ga 岩浆变质热事件的陆源区,形成年龄为1.6~1.0 Ga(陈能松等, 2006; 王国灿等, 2007);小庙组为一套石英质变质岩系,归纳为黑云石英片岩-石英岩组合、片麻岩-片岩组合、角闪片岩-黑云石英片岩组合和石英岩-大理岩组合,原岩组合可能为一套火山-沉积建造,属于浅海陆缘沉积,其碎屑锆石的年龄为1 600~2 729 Ma,主体形成于中元古代(王国灿等, 2007; 陈有炘等, 2011)。金水口岩群经历了早古生代角闪岩相乃至麻粒岩相的变质(陈能松等, 1999, 2006, 2007; Wang *et al.*, 2003; 张建新等, 2003; Liu *et al.*, 2005; 李怀坤等, 2006; 陆松年等, 2009),部分还有榴辉岩相的变质(Meng *et al.*, 2013)。

有些学者认为昆南地体的变质基底是万宝沟岩群(姜春发等, 1992; 龙晓平等, 2006; 许志琴等, 2006a; 范丽琨等, 2009),但大部分学者认为是苦海岩群(张建新等, 2003; 王国灿等, 2004, 2007; 陈有炘等, 2011; Meng *et al.*, 2013)。苦海岩群的时代归属还存在不同的认识。1956年,张文佑、王鸿桢等将苦海及其附近分布的中-深变质岩命名为“苦海岩群”,形成时代归为太古宙。但部分学者根据沙乃

亥副片麻岩中角闪斜长片麻岩锆石 U-Pb 测年和变基性岩墙中 Sm-Nd 测年^①将苦海岩群形成时代归为古元古代(祁生胜等, 2002);还有部分学者将其归为古元古-中元古代(王国灿等, 2007)。苦海岩群的岩石类型比较复杂,1997年《青海省岩石地层》中认为苦海岩群的宏观岩性特征及组合方式与金水口岩群一致;然而2001年青海省地质调查院1:25万兴海幅^②又将金水口岩群和苦海岩群分开,重新把分布在昆秦接合部的一套呈零散分布的裂解块体岩片与古生代岩片归为苦海-兴海构造混杂带。更进一步的研究表明苦海岩群主要由多种类型的片麻岩、片岩、混合岩和角闪岩组成,其原岩包括碎屑岩、中基性岩浆岩和碳酸盐岩等(王国灿等, 2007)。该岩群中片麻岩、片岩的云母⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄为400 Ma左右(Liu *et al.*, 2005),可能代表苦海岩群变质时代的上限。

研究区位于昆中断裂南侧的昆南地体(图1b),具体位置在温泉附近,区内出露的苦海岩群主要位于赛什塘和苦海附近(图2),与相邻各类地层均以韧性或脆性断层相接触。苦海岩群主要由多种类型的片麻岩、片岩、混合岩和角闪岩组成(王国灿等, 2007),本文主要以该岩群中副片麻岩为研究对象。该片麻岩在区内主要位于两处,分别为赛什塘西侧10 km处,出露面积约50 km²,在平面上呈不规则断

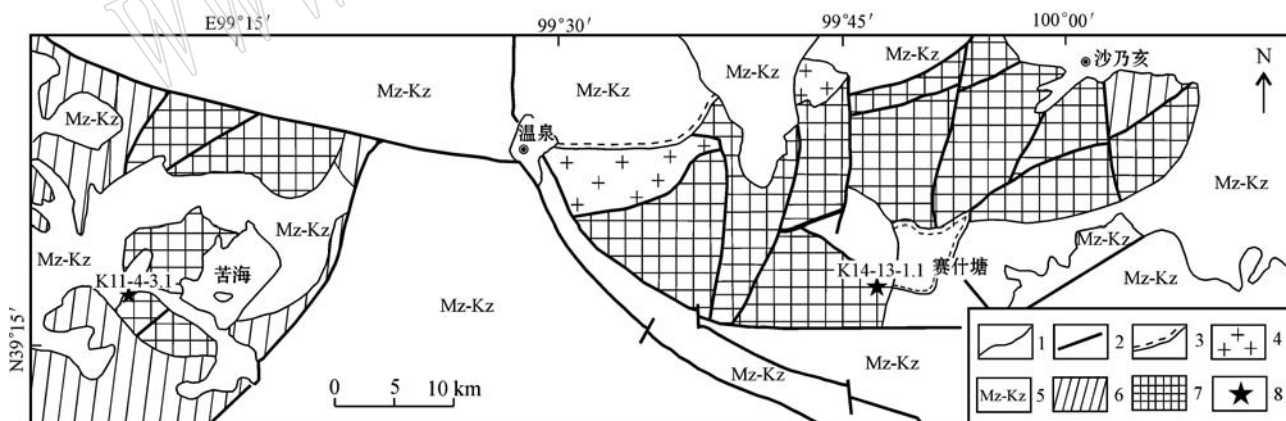


图2 东昆仑东段苦海、赛什塘附近苦海岩群分布及采样点位置图(据王秉璋等, 1999; 青海省地质调查院, 2001^①)

Fig. 2 The distribution of the Kuhai Group near the Kuhai and Saishitang in the east section of East Kunlun and the sampling location (after Wang *et al.*, 1999; Qinghai Geological Survey Institute, 2001^①)

- 1—地层边界; 2—断层; 3—角度不整合界线; 4—花岗岩; 5—中生代地层; 6—晚古生代地层; 7—苦海岩群; 8—采样点位置
1—boundary of strata; 2—fault; 3—angular unconformity; 4—granite; 5—Mesozoic and Cenozoic strata; 6—Neopaleozoic strata;
7—Kuhai Group; 8—sampling location

① 青海省区调综合地质大队. 1993. 1:5万南木塘幅区域地质调查报告.

② 青海省地质调查院. 2001. 1:25万兴海幅区域地质报告.

块状,与相邻各类地层体均以韧性断层接触(图2);另一处为苦海西侧,分布比较零星,多被第四纪覆盖,出露面积约 30 km²。

2 样品特征

样品 K14-13-1.1 为黑云斜长片麻岩,采自赛什塘西侧 10 km 处苦海岩群(GPS: 35°16'37"N, 99°45'46"E)(图2)。片麻岩风化严重,整体呈灰色-灰绿色(图3a),片麻理产状 330°∠52°。岩石新鲜面为灰白色,风化面为土黄色,片麻状构造,粒状变晶结构,主

要由斜长石(40%±)、石英(20%±)、微斜长石(10%±)和黑云母(30%±)组成,其中石英出现波状消光,斜长石表面发生绢云母化(图3b)。

样品 K11-4-3.1 为石榴角闪片麻岩,采样位置相当于苦海西侧剖面(图4)中的角闪斜长片麻岩(GPS: 35°17'36"N, 99°04'38"E)。岩石呈片麻状构造,中-细粒粒状变晶结构,矿物定向分布。主要由石榴石(10%)、角闪石(10%)、斜长石(30%)、石英(50%)及少量黠帘石和楣石组成。其中石英呈粒状-长条状,亚颗粒结构,波状消光,粒度 0.5~1.5 mm,集合体 2~3 mm;斜长石呈板状,0.5~1.5 mm,

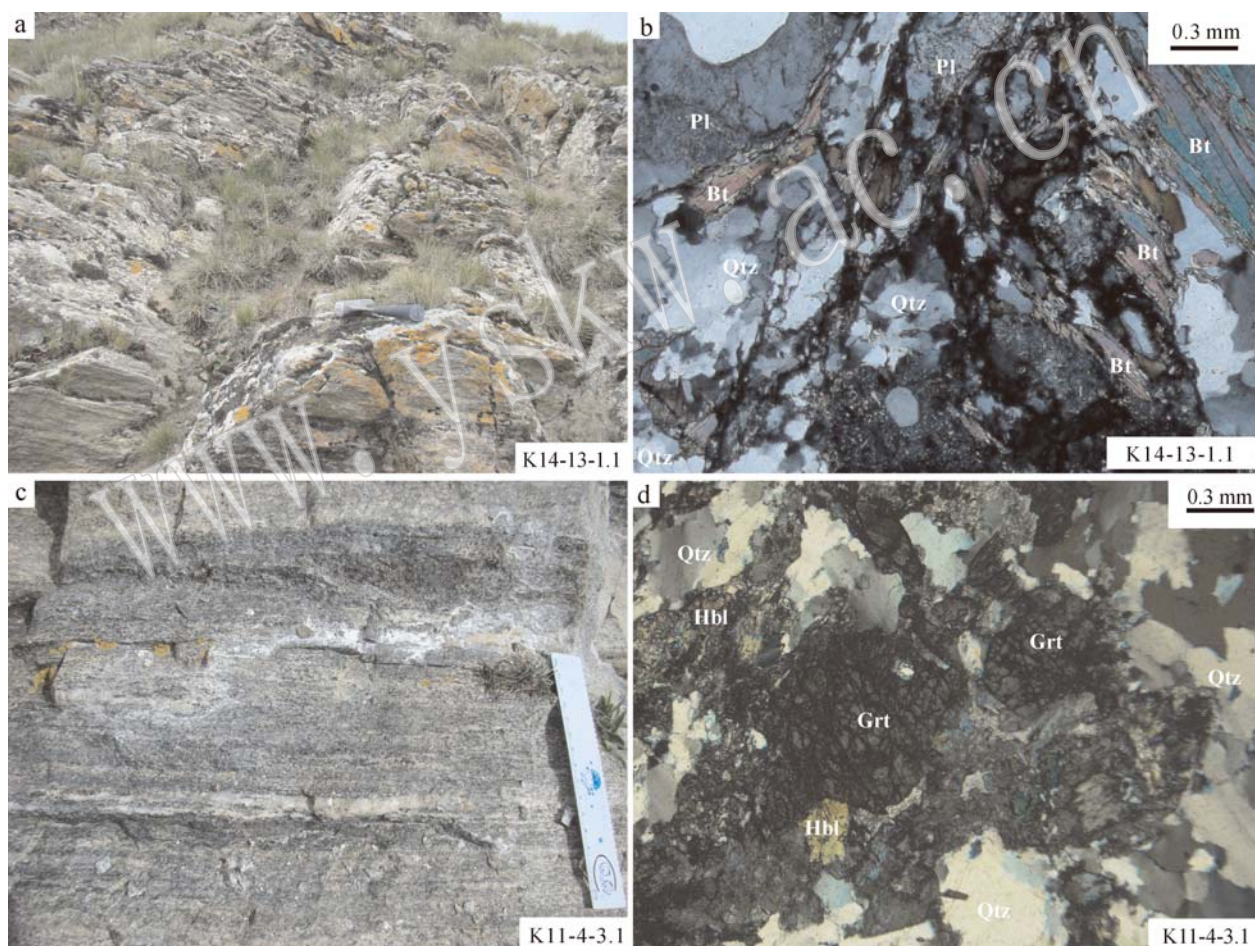


图3 东昆仑昆南地体基底苦海岩群黑云斜长片麻岩(K14-13-1.1)和石榴角闪片麻岩(K11-4-3.1)野外照片和代表性样品显微照片

Fig. 3 Field photos and photomicrographs of representative rocks from the biotite plagioclase gneiss (K14-13-1.1) and the garnet hornblende gneiss (K11-4-3.1) of Kuhai Group in the SEKT

a—苦海岩群黑云斜长片麻岩,朝西北方向拍摄; b—苦海岩群黑云斜长片麻岩(正交偏光); c—苦海岩群石榴角闪片麻岩; d—苦海岩群石榴角闪片麻岩(正交偏光); Qtz—石英; Pl—斜长石; Bt—黑云母; Hbl—角闪石; Grt—石榴子石

a—the outcrop of the biotite plagioclase gneiss of Kuhai Group, shooting northwestward; b—the biotite plagioclase gneiss of Kuhai Group (crossed nicols); c—the outcrop of the garnet hornblende gneiss; d—the garnet hornblende gneiss (crossed nicols); Qtz—quartz;

Pl—plagioclase; Bt—biotite; Hbl—hornblende; Grt—garnet

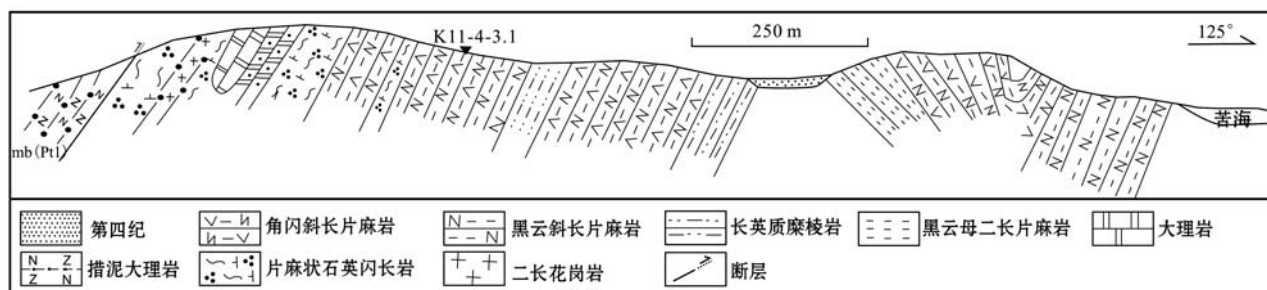


图4 苦海地区苦海岩群剖面图(据青海省地质调查院, 2001^①修编)

Fig. 4 The profile of the Kuhai Group in the Kuhai area (modified after Qinghai Geological Survey Institute, 2001^①)

发生高岭土化、绢云母化和黝帘石化;角闪石呈绿色;石榴石呈粒状,粒度0.5~3 mm,筛状变晶结构,常包含石英和角闪石(图3c,3d)。

3 测试方法

锆石的分选由河北廊坊区调院完成,岩石样品经过破碎、淘洗并用重液分选出锆石,在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒作为测定对象,将待测锆石粘在双面胶上,用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后,对其表面进行抛光至锆石内部结构暴露,再进行锆石反射光和透射光照相、阴极发光(CL)显微图像研究以及LA-ICP-MS分析。测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光显微照片进行初选,再与CL图像进行对比,尽量避开内部裂隙、包裹体以及不同成因的区域,以获得精确的年龄信息,本次主要选取磨圆较好、有核边结构的锆石,测点选在锆石的核部和边部。锆石的LA-ICP-MS测试由天津地质矿产研究所同位素实验室完成:利用193 nm激光器对锆石进行剥蚀,通常采用的激光剥蚀的斑束直径为35 μm或50 μm,激光能量密度为13~14 J/cm²,频率为8~10 Hz,激光剥蚀物质以He为载气送入Neptune,利用动态变焦扩大色散可以同时接受质量数相差很大的U-Pb同位素从而进行锆石U-Pb同位素原位测定。利用TEMORE作为外部锆石年龄标准。采用中国地质大学刘勇胜博士研发的ICPMSDataCal和Kenneth R. Ludwig的Isplot程序进行数据处理,采用²⁰⁸Pb校正法对普通铅进行校正。采用NIST612玻璃标样作为外标计算锆石样品的Pb、U、Th含量(李怀坤

等,2009)。

4 结果

4.1 锆石特征

样品K14-13-1.1片麻岩中锆石形态多样,以自形、长柱状为主,长度约100~250 μm,长宽比为1~2。阴极发光图像(CL)显示大部分锆石的磨圆度较好,具有核、边结构和韵律环带。大部分锆石都有锆石边且边部宽窄不一,窄的不足10 μm,宽的可达100 μm(图5)。

样品K11-4-3.1石榴角闪片麻岩中锆石形态多样,多数呈长柱状-椭圆状,长度约100~200 μm,长宽比为1.5~2,其中一些锆石含有少量矿物包裹体(金红石和磷灰石)。阴极发光图像(CL)表明,锆石具有核、边结构,大部分核部锆石具有明显的韵律环带;少量内部较为均一,环带不明显(图6),以上特征显示核部锆石为岩浆成因的碎屑锆石。边部锆石厚度不等,多数为10~20 μm,少量30~50 μm,推测是在变质过程中形成的(图6)。

4.2 测年结果

对样品K14-13-1.1片麻岩中的37颗锆石进行了U-Pb定年分析,测年结果大于1 000 Ma的用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年龄表示,小于1 000 Ma的用²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄表示(Griffin *et al.*, 2004)。锆石Th、U含量范围分别为 $5 \times 10^{-6} \sim 436 \times 10^{-6}$ 和 $42 \times 10^{-6} \sim 1 736 \times 10^{-6}$,35%锆石的Th/U值大于0.4,14%锆石的Th/U值小于0.1(表1)。一般认为Th/U值大于0.4以及具有韵律环带的锆石是岩浆成因,而Th/U值小于0.1以及无环带或弱环带的锆石被认

① 青海省地质调查院, 2001. 1:25万兴海幅区域地质报告。

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb isotopic data of zircons for paragneiss (K14-13-1.1) and garnet hornblende gneiss (K11-4-3.1) of Kuhai Group from the SEKT

点号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值				表面年龄/Ma									
	Pb	U	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
K14-13-1.1 片麻岩																
1	55	366	0.250 5	0.002 6	0.147 0	0.001 7	1.410 7	0.022 5	0.069 6	0.000 8	884	10	893	14	916	25
2	57	200	0.564 5	0.001 7	0.240 2	0.002 4	3.321 7	0.049 3	0.100 3	0.001 3	1 388	14	1 486	22	1 630	23
3	11	78	0.078 1	0.001 1	0.129 9	0.001 3	1.768 4	0.028 0	0.098 7	0.001 3	787	8	1 034	16	1 600	25
4	39	250	0.165 7	0.000 7	0.158 6	0.001 6	1.527 6	0.023 3	0.069 9	0.000 9	949	10	942	14	925	25
5	50	262	0.707 5	0.003 0	0.160 4	0.001 6	1.576 6	0.023 6	0.071 3	0.000 9	959	10	961	14	965	25
6	48	78	1.236 9	0.007 1	0.432 1	0.004 5	10.034 5	0.152 9	0.168 4	0.002 0	2 315	24	2 438	37	2 542	20
7	24	154	0.576 1	0.016 2	0.134 2	0.001 3	1.259 3	0.018 9	0.068 0	0.000 9	812	8	828	12	870	26
8	36	59	1.307 0	0.004 3	0.420 1	0.004 3	9.610 8	0.146 3	0.165 9	0.002 0	2 261	23	2 398	37	2 517	20
9	49	80	1.280 5	0.005 3	0.426 3	0.004 2	9.560 1	0.143 0	0.162 7	0.002 0	2 289	23	2 393	36	2 483	21
10	16	90	1.628 6	0.002 1	0.117 3	0.001 3	1.035 6	0.016 6	0.064 0	0.000 8	715	8	722	12	743	28
11	71	211	0.295 4	0.001 1	0.312 0	0.003 1	5.517 9	0.082 5	0.128 3	0.001 6	1 751	18	1 903	28	2 074	21
12	37	362	0.274 6	0.007 7	0.098 7	0.001 0	0.822 9	0.012 6	0.060 5	0.000 7	607	6	610	9	620	27
13	84	576	0.104 4	0.005 9	0.147 0	0.001 5	1.468 4	0.022 7	0.072 5	0.000 9	884	9	917	14	999	25
14	21	42	0.383 7	0.001 0	0.446 6	0.004 8	10.161 3	0.157 2	0.165 0	0.002 0	2 380	26	2 450	38	2 508	21
15	39	255	0.257 9	0.001 7	0.150 5	0.001 7	1.475 5	0.023 6	0.071 1	0.000 9	904	10	920	15	960	25
16	64	412	0.331 9	0.012 7	0.148 1	0.001 6	1.453 7	0.022 7	0.071 2	0.000 9	890	10	911	14	963	25
17	41	255	0.363 3	0.000 5	0.150 6	0.001 5	1.459 0	0.022 1	0.070 3	0.000 9	904	14	914	14	937	25
18	68	224	0.248 3	0.005 5	0.282 5	0.002 8	4.488 6	0.066 5	0.115 3	0.001 4	1 604	16	1 729	26	1 884	22
19	51	159	0.586 5	0.002 6	0.273 9	0.002 7	3.770 0	0.056 1	0.099 8	0.001 2	1 561	15	1 586	24	1 621	23
20	14	134	0.317 0	0.002 8	0.098 2	0.001 0	0.853 6	0.013 6	0.063 1	0.000 8	604	6	627	10	710	28
21	67	393	0.559 3	0.008 0	0.141 8	0.001 4	1.614 1	0.026 1	0.082 6	0.001 2	855	8	976	16	1 259	28
22	182	1 736	0.251 1	0.006 8	0.088 2	0.000 9	1.619 0	0.028 8	0.133 2	0.002 0	545	5	978	17	2 140	27
23	32	500	0.010 8	0.000 1	0.068 2	0.000 7	0.514 1	0.007 8	0.054 7	0.000 7	425	4	421	6	398	28
24	11	61	0.829 7	0.006 5	0.141 0	0.001 4	1.283 1	0.021 0	0.066 0	0.000 9	850	8	838	14	807	29
25	48	777	0.006 4	0.000 1	0.067 8	0.000 7	0.514 5	0.008 0	0.055 0	0.000 7	423	5	421	7	412	27
26	138	293	0.379 1	0.001 2	0.410 8	0.004 3	8.807 2	0.134 5	0.155 5	0.001 9	2 219	23	2 318	35	2 407	21
27	208	708	0.151 6	0.001 1	0.274 7	0.002 9	5.706 4	0.086 7	0.150 7	0.001 8	1 564	16	1 932	29	2 354	21
28	136	1 044	0.046 4	0.000 6	0.125 9	0.001 3	2.060 0	0.031 1	0.118 7	0.001 5	764	8	1 136	17	1 936	22
29	35	131	1.824 5	0.005 9	0.162 5	0.001 6	1.593 1	0.023 7	0.071 1	0.000 9	971	10	968	14	960	25
30	641	1 296	0.199 2	0.002 5	0.450 6	0.004 4	11.307 3	0.167 2	0.182 0	0.002 2	2 398	24	2 549	38	2 671	20
31	137	376	0.097 7	0.002 3	0.351 4	0.003 8	7.335 1	0.113 7	0.151 4	0.001 8	1 941	21	2 153	33	2 362	21
32	176	352	0.421 5	0.005 5	0.428 3	0.004 2	9.772 1	0.144 1	0.165 5	0.002 0	2 298	22	2 414	36	2 512	20
33	104	381	0.276 5	0.003 0	0.252 2	0.002 7	3.686 8	0.056 4	0.106 0	0.001 3	1 450	15	1 569	24	1 732	22
34	63	111	0.854 5	0.006 8	0.419 6	0.004 7	9.291 3	0.147 0	0.160 6	0.002 0	2 259	25	2 367	37	2 462	21
35	31	231	0.235 4	0.000 8	0.129 8	0.001 3	1.204 2	0.018 1	0.067 3	0.000 8	786	8	803	12	847	26

续表 1-1
Continued Table 1-1

点号	$w_{\text{B}}/10^{-6}$		同位素比值						表面年龄/Ma							
	Pb	U	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ
36	135	684	0.164 9	0.000 6	0.186 9	0.001 8	3.344 4	0.049 3	0.129 8	0.001 6	1.105	11	1 491	22	2 095	21
37	46	319	0.310 9	0.011 8	0.134 0	0.001 3	1.291 7	0.019 4	0.069 9	0.000 9	811	8	842	13	925	25
K11-4-3.1 石榴角闪片麻岩																
1	30	229	0.448 5	0.003 6	0.123 7	0.001 6	1.120 2	0.022 3	0.065 7	0.001 2	752	10	763	15	796	39
2	36	265	0.516 2	0.012 4	0.123 9	0.001 7	1.150 9	0.019 3	0.067 4	0.001 0	753	10	778	13	850	31
3	9	94	0.191 2	0.007 1	0.095 0	0.001 4	0.768 0	0.041 7	0.058 6	0.003 2	585	8	579	31	553	117
4	84	744	0.222 7	0.001 4	0.112 3	0.001 0	0.984 0	0.009 0	0.063 5	0.000 6	686	6	696	6	726	19
5	60	437	0.420 7	0.004 8	0.128 1	0.001 3	1.123 2	0.012 2	0.063 6	0.000 6	777	8	765	8	728	21
6	23	182	0.287 6	0.000 7	0.127 2	0.001 8	1.135 1	0.023 0	0.064 7	0.001 3	772	11	770	16	765	42
7	274	770	0.373 3	0.001 8	0.328 0	0.004 9	5.356 4	0.054 0	0.118 4	0.001 0	1 829	27	1 878	19	1 933	15
8	14	231	0.022 3	0.000 3	0.067 0	0.001 2	0.519 9	0.016 4	0.056 3	0.001 7	418	7	425	13	462	69
9	74	184	0.389 9	0.005 5	0.371 4	0.007 5	6.440 4	0.085 0	0.125 8	0.001 2	2 036	41	2 038	27	2 040	17
10	30	489	0.016 5	0.000 1	0.066 6	0.001 1	0.515 2	0.008 9	0.056 1	0.000 9	416	7	422	7	457	35
11	54	384	0.386 1	0.001 3	0.134 1	0.001 4	1.225 1	0.014 4	0.066 3	0.000 7	811	8	812	10	815	23
12	47	91	0.589 0	0.002 9	0.444 6	0.007 8	9.789 6	0.103 6	0.159 7	0.001 3	2 371	42	2 415	26	2 452	14
13	301	636	0.382 1	0.000 5	0.426 3	0.005 5	9.183 5	0.081 3	0.156 2	0.001 2	2 289	30	2 356	21	2 415	13
14	93	252	0.451 6	0.002 6	0.319 8	0.003 3	6.483 0	0.056 6	0.147 0	0.001 2	1 789	19	2 044	18	2 312	14
15	38	96	0.840 0	0.002 9	0.328 0	0.002 9	5.062 7	0.064 4	0.111 9	0.001 4	1 829	16	1 830	23	1 831	22
16	14	218	0.005 0	0.000 6	0.070 3	0.000 8	0.536 9	0.018 9	0.055 4	0.001 9	438	5	436	15	428	76
17	17	151	0.570 4	0.009 8	0.100 7	0.001 4	0.966 5	0.030 1	0.069 6	0.001 9	619	9	687	21	917	56
18	15	239	0.026 3	0.001 6	0.068 7	0.000 9	0.531 0	0.019 4	0.056 0	0.002 0	429	5	433	16	454	79
19	32	369	0.028 1	0.000 8	0.092 8	0.001 0	0.800 9	0.012 8	0.062 6	0.001 0	572	6	597	10	694	32
20	46	362	0.295 7	0.000 7	0.124 1	0.001 6	1.126 4	0.016 0	0.065 9	0.000 9	754	10	766	11	802	28
21	21	151	0.592 0	0.000 9	0.123 4	0.001 5	1.101 4	0.036 8	0.064 7	0.002 1	750	9	754	25	765	69
22	70	789	0.230 8	0.002 0	0.087 1	0.001 0	0.701 9	0.008 9	0.058 5	0.000 7	538	6	540	7	547	25
23	36	107	0.936 5	0.012 7	0.266 6	0.003 3	3.937 2	0.057 2	0.107 1	0.001 5	1 523	19	1 621	24	1 751	25
24	67	148	0.575 1	0.012 1	0.397 1	0.007 3	8.443 0	0.107 0	0.154 2	0.001 5	2 156	40	2 280	29	2 393	17
25	31	86	0.653 3	0.004 3	0.297 7	0.003 1	5.121 7	0.091 3	0.124 8	0.001 8	1 680	18	1 840	33	2 026	25
26	19	261	0.072 3	0.001 1	0.074 8	0.001 3	0.597 8	0.016 4	0.057 9	0.001 6	465	8	476	13	527	59
27	14	167	0.052 3	0.001 5	0.084 4	0.001 1	0.701 5	0.026 8	0.060 3	0.002 3	523	7	540	21	613	82
28	56	437	0.309 1	0.002 1	0.124 4	0.001 1	1.104 4	0.012 6	0.064 4	0.000 7	756	7	755	9	755	24
29	22	155	0.488 6	0.000 9	0.128 7	0.002 1	1.172 5	0.048 7	0.066 1	0.002 5	780	13	788	33	809	80
30	101	810	0.442 0	0.001 9	0.114 8	0.002 1	1.007 0	0.012 9	0.063 6	0.000 7	701	13	707	9	729	24

测试单位: 天津地质矿产研究所同位素实验室。

为是变质成因的(Williams and Claesson, 1987; Rubatto, 2002; 吴元保等, 2004; Bingen *et al.*, 2004; Zheng *et al.*, 2005)。通过锆石 CL 图可知, 大部分锆石核部发育韵律环带(图 5 中 2、32、34), 推测为岩浆成因。幔部最古老的锆石年龄为 2671 ± 20 Ma (表 1, 图 5 中 30), 且部分锆石在 CL 照射下呈现较亮的条带或较亮的港湾状(图 5 中 32), Th/U 比值小于 0.1(图 5 中 31), 应为流体作用造成的, 还有部分锆石发育韵律环带且 Th/U 比值大于 0.4(图 5 中 6、9、34), 为岩浆成因。边部锆石中有部分具有很好的韵律环带且 Th/U 比值大于 0.4, 为最年轻的岩浆成因锆石, 代表该片麻岩最大的沉积时代(新元古代 Pt_3 早期); 还有部分边部锆石的 Th/U 比值小于 0.1, 为变质成因, 年龄平均为 423 ± 5 Ma, 表明该片麻岩的沉积原岩在志留纪遭受了变质作用。

对样品 K11-4-3.1 石榴角闪片麻岩中 30 颗锆石进行 U-Pb 定年分析, 其中 23 个点选在核部, 7 个点选在边部。所获数据在谐和线上或其附近(图

7c), 表明锆石没有发生明显的铅丢失事件。其中最老的 1 粒锆石 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 表面年龄为 2452 ± 14 Ma (表 1, 图 6 中 12), 且该测点在锆石的核幔边界, 可能还有更老的年龄; 最年轻的 1 粒锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄为 418 ± 7 Ma (表 1)。共检测出古元古代锆石 8 粒(表 1), 发育韵律环带(图 6 中 14、13、12), Th/U 比值为 0.37~0.84, 为岩浆成因; 检测出新元古代锆石 14 粒(表 1), 加权平均为 761 ± 10 Ma (MSWD=1.7, $n=8$)(图 7d), 其 Th/U 比值大部分为 0.19~0.59, 锆石的环带清楚(图 6 中 28、2、5、1、20、21), 为典型的岩浆成因锆石, 因此可能存在古元古代-新元古代火成岩或变质岩蚀源区, 最大沉积时代为新元古代(Pt_3)早期。其余 7 个测点均为早古生代形成的变质锆石, 其 Th/U 比值小于 0.1(表 1, 图 6 中 27、10、18、16、26), 其中 3 个较老的年龄测点位置在核幔边界, 激光烧蚀时可能混入了核部锆石成分, 为混合年龄(表 1, 图 6); 较年轻的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 422 ± 18 Ma (MSWD=1.2, $n=3$)

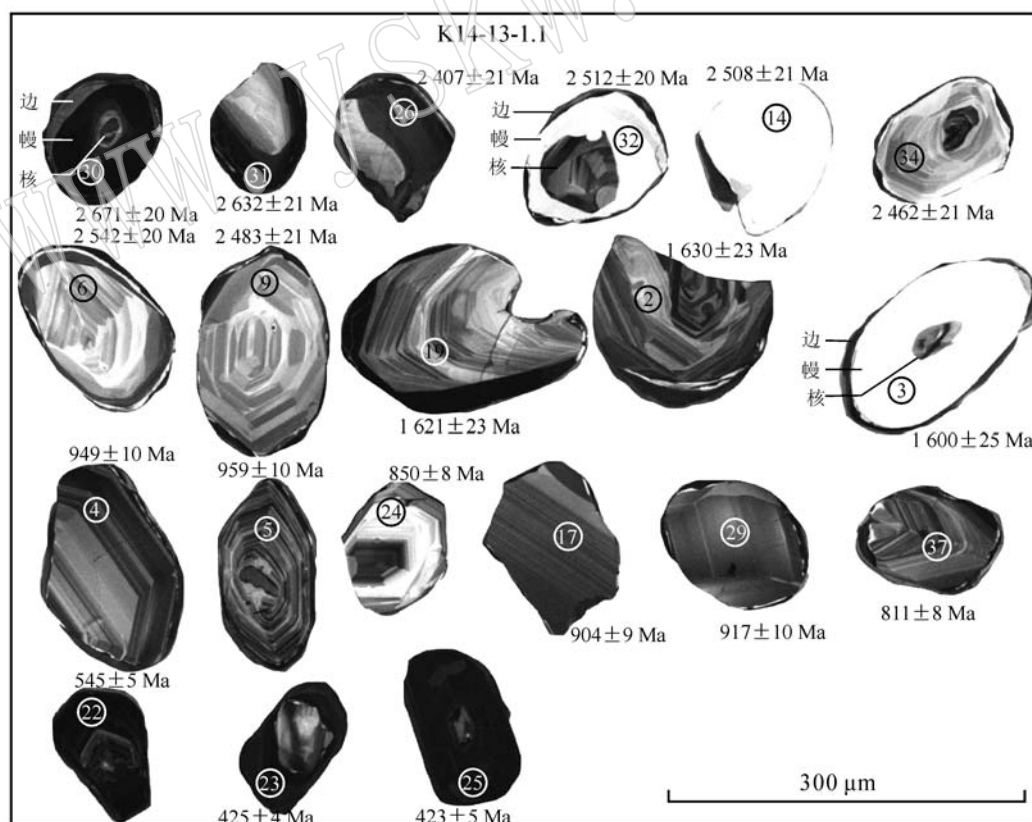


图 5 东昆仑昆南地体苦海岩群黑云斜长片麻岩(K14-13-1.1)代表性锆石阴极发光图像

Fig. 5 CL images of the analytical zircon for paragneiss (K14-13-1.1) of Kuhai Group from the SEKT

锆石上的圆圈和数字为测点及编号(同表 1); 锆石附近的数字为年龄(Ma)

The circle and number on the zircon indicate the location of the analytical point (see Table 1); the number near the zircon is the age (Ma)

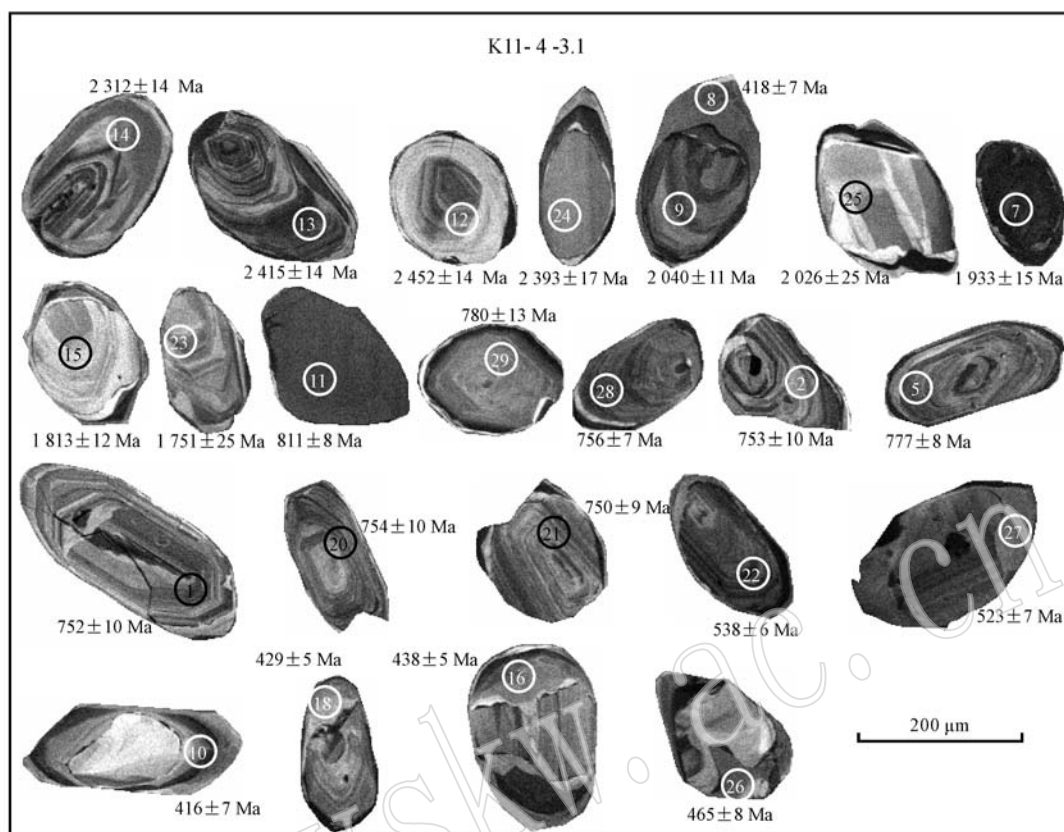


图6 东昆仑南地体苦海岩群石榴角闪片麻岩(K11-4-3.1)代表性锆石阴极发光图像

Fig. 6 CL images of zircon grains from garnet hornblende gneiss (K11-4-3.1) of Kuhai Group from the SEKT
锆石上的圆圈和数字为测点及编号(同表1); 锆石附近的数字为年龄(Ma)

The circle and number on the zircon indicate the location of the analytical point (corresponding to Table 2); the number near the zircon is the age (Ma)

(图7d),代表了片麻岩经历的变质作用时代。

5 讨论

5.1 苦海岩群的沉积时代

关于苦海岩群的沉积时代,前人研究较少,青海省区调队(1993)^①在南木塘幅1:5万区调中获得侵入苦海岩群的基性岩墙群全岩Sm-Nd等时年龄为 $2\,213 \pm 17.48$ Ma;青海省地质调查院(2001)^②在1:25万兴海幅区域地质调查中在苦海杂岩的角闪斜长片麻岩中获得 $2\,330 \pm 50$ Ma的锆石U-Pb上交点年龄和 746.3 ± 6.1 Ma的下交点年龄;苦海北侧黑云斜长片麻岩的微量锆石U-Pb法获得 $1\,441.1$ Ma的年龄,云母石英片岩和片麻岩中Rb-Sr法测年结果

分别获得等时年龄为 $1\,167 \pm 19.3$ Ma、 $1\,132 \pm 68.9$ Ma。前人所获得的测年结果不统一(中元古代-古元古代),无法判断是否为最年轻的碎屑锆石,不能准确限定苦海岩群的沉积时代。

而本文中苦海岩群的2件副片麻岩样品锆石的形态、结构、成因都比较复杂,核、边结构和韵律环带明显,表现出岩浆锆石、变质锆石的特点(Köppel and Sommerauer, 1974;)。其中样品中位于锆石边部的、最年轻的岩浆锆石年龄分别为 $800 \sim 1\,000$ Ma(样品K14-13-1.1中边3)和 $750 \sim 850$ Ma(样品K11-4-3.1),统计结果显示两件样品的碎屑锆石年龄谱出现了 $750 \sim 800$ Ma的年龄峰值(图8a,频数为8),所以判断苦海岩群副片麻岩的最大沉积时代为新元古代(Pt₃)早期($750 \sim 800$ Ma)。

① 青海省区调综合地质大队. 1993. 1:5万南木塘幅区域地质调查报告.

② 青海省地质调查院. 2001. 1:25万兴海幅区域地质报告.

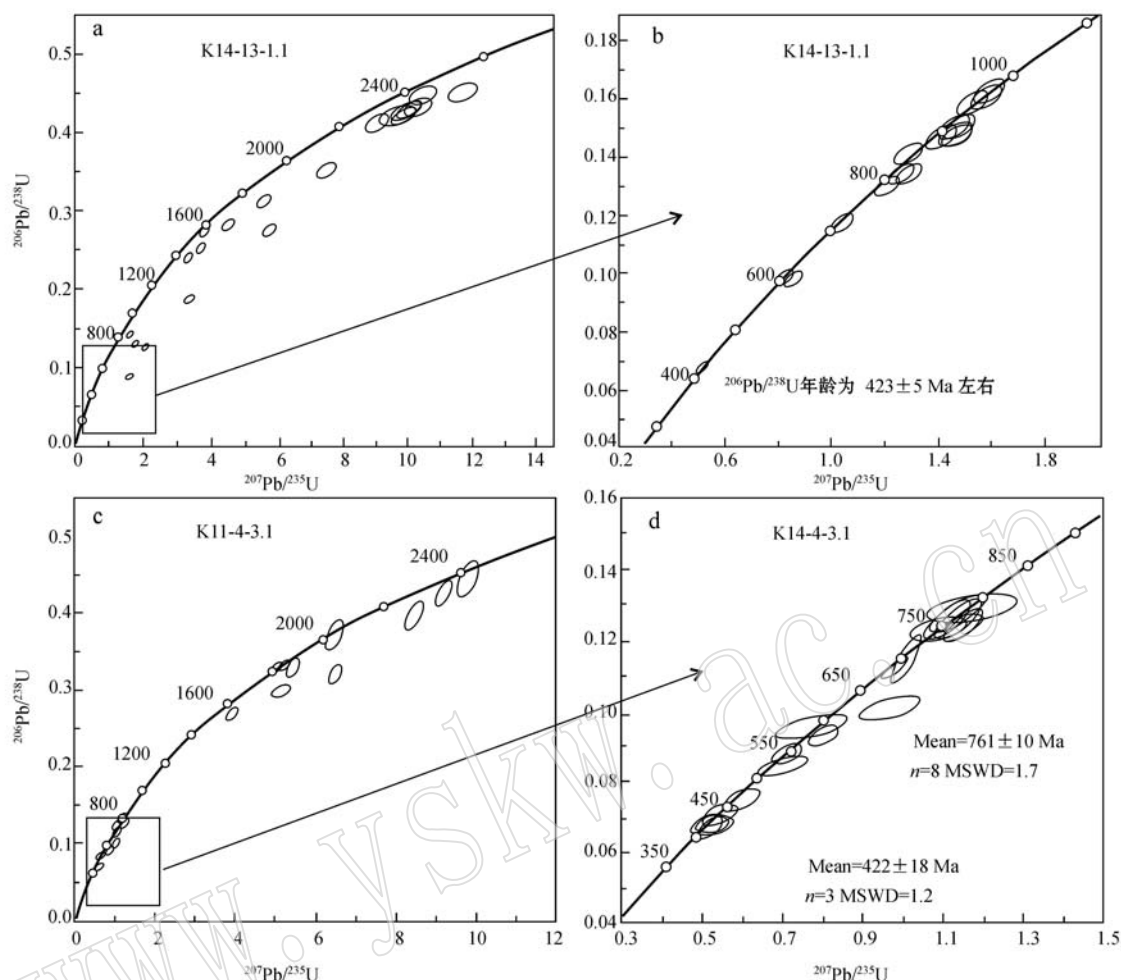


图 7 东昆仑昆南地体苦海岩群黑云斜长片麻岩(K14-13-1.1)和石榴角闪片麻岩(K11-4-3.1)锆石 U-Pb 年龄谱和图

Fig. 7 U-Pb concordia diagram of zircon from Bi-Pl gneiss (K14-13-1.1) and garnet hornblende gneiss (K11-4-3.1) of Kuhai Group from the SEKT

5.2 苦海岩群的变质时代

在 2 件副片麻岩样品的测年锆石中有比新元古代早期更年轻的锆石边, 年龄分别为 424 ± 5 Ma (样品 K14-13-1.1 中边 4) 和 422 ± 18 Ma (样品 K11-4-3.1), 且 Th/U 比值小于 0.1, 为变质成因, 表明 2 件苦海岩群副片麻岩的原岩在新元古代早期形成后又遭受了志留纪 (423 Ma) 的变质作用。

5.3 苦海岩群与金水口岩群对比

苦海岩群和金水口岩群分别位于昆中断裂的南北两侧, 对于金水口岩群的研究较多, 本文通过总结前人的测年数据, 把所有的锆石测年数据统计起来, 得出金水口岩群的碎屑锆石年龄谱 (图 8b)。从图中可看出金水口岩群最大沉积时代为中元古代晚期-新元古代早期 (900 ~ 1 250 Ma), 与前人通过 LA-ICP-MS 和 SHRIMP 两种方法得出的金水口岩群的

沉积时代不会老于 1 270 Ma 完全相符 (陆松年等, 2009)。而本文中得出苦海岩群的最大沉积时代为新元古代 (Pt_3) 早期 (750 ~ 800 Ma), 两者之间存在细微差别。在碎屑年龄谱上可以看出金水口岩群也存在 750 ~ 800 Ma 的年龄记录, 说明在中元古代晚期金水口岩群先发生沉积, 然后在新元古代早期苦海岩群开始沉积, 但也可能此时这两个群一起沉积。

从碎屑锆石年龄谱中可以看出, 苦海岩群存在 1 550 ~ 1 650 Ma、1 900 ~ 2 100 Ma、2 350 ~ 2 550 Ma 的年龄峰值, 同样金水口岩群也存在 1 550 ~ 1 750 Ma、1 950 ~ 2 100 Ma、2 350 ~ 2 500 Ma 的年龄峰值; 所以苦海岩群和金水口岩群都存在 1 550 ~ 1 650 Ma、1 900 ~ 2 100 Ma、2 350 ~ 2 550 Ma 的年龄段峰值, 可能存在相似的物源区。

苦海岩群和金水口岩群在形成后都存在早古生

表 2 昆南地体苦海岩群和昆北地体金水口岩群中锆石年龄对比表

Table 2 The contrast of the zircon geochronology between the Kuhai Group of the SEKT and the Jinshui Kou Group of the NEKT

地层	苦海岩群(昆南)	金水口岩群(昆北)
源区物质	2 450~2 700 Ma ^{⑦L} 、1 600 Ma ^{⑦L} 、786~959 Ma ^{⑦L} 、1 600~2 450 Ma ^{⑦L}	2 229±23 Ma ^{①S} 、1 575±29 Ma ^{①S} 、1 486 Ma ^{①L} 、2 444±39 Ma ^{②S} 、2 707~2 217 Ma ^{②S} 、3 200 Ma ^{②S} 、2 100~1 900 Ma ^{③T} 、1 628±12 Ma ^{④L} 、1 777±17 Ma ^{④L} 、1 600~1 800 Ma ^{⑤S} 、2 880 Ma ^{⑤S} 、2 727~2 577 Ma ^{⑥L} 、2 385~1 900 Ma ^{⑥L} 、1 600~1 782 Ma ^{⑥L} 、1 458~1 648 Ma ^{⑥L}
最大沉积时代	1 550~1 650 Ma、1 900~2 100 Ma、2 350~2 550 Ma 3 个年龄段峰值 <800 Ma ^{⑦L} 、<761±10 Ma ^{⑦L} 新元古代早期(Pt ₃)	1 550~1 750 Ma、1 950~2 100 Ma、2 350~2 500 Ma 3 个年龄段峰值 <1 270 Ma ^{①L} 、1 000~1 600 Ma ^{③T} 中元古代晚期-新元古代早期(Pt ₂₋₃)
变质时代	424±4 Ma ^{⑦L} 、422±18 Ma ^{⑦L} 主要为志留纪	454±78 Ma ^{①S} 、411±11 Ma ^{④L} 、396±18 Ma ^{④S} 、460±8 Ma ^{⑤S} 、402±6 Ma ^{⑤S} 、244~608 Ma ^{⑥L} 主要为志留纪
参考文献	⑦本文	①陆松年等, 2009; ②王国灿等, 2004; (小庙组)③陈能松等, 2006; (白沙河组)④龙晓平等, 2006; ⑤张建新等, 2003; ⑥陈有炘等, 2011

注: L 表示 LA-ICP-MS 方法测年; S 为 SHRIMP 方法测年; T 为 TIMS 方法测年; 各个年龄数据具体的采样点位置(图 1)。

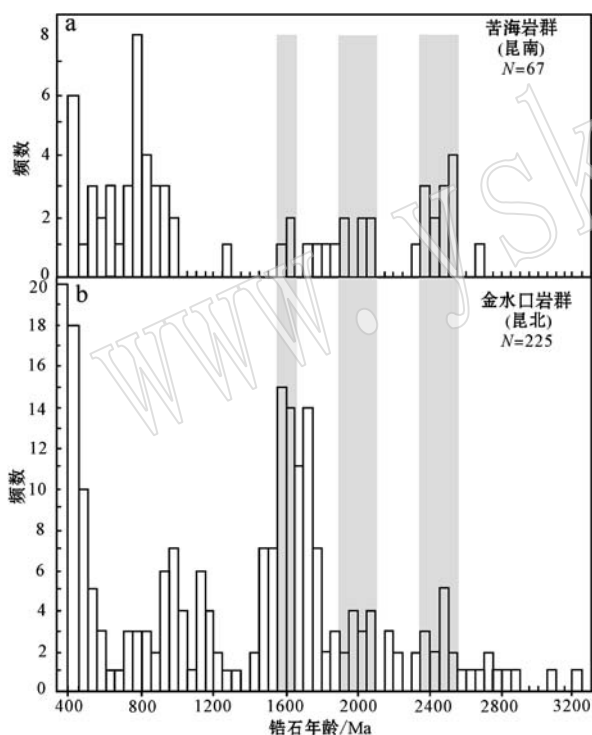


图 8 昆南苦海岩群与昆北金水口岩群的锆石年龄谱

Fig. 8 Spectra of the detrital zircon U-Pb dating of the Kuhai Group of the SEKT and the Jinshui Kou Group of the NEKT

资料来源: a—苦海岩群锆石年龄谱(本文); b—金水口岩群锆石年龄谱(张建新等, 2003; 王国灿等, 2004; 陈能松等, 2006; 龙晓平等, 2006; 陆松年等, 2009; 陈有炘等, 2011)

a—the zircon U-Pb dating of the Kuhai Group (this study); b—the zircon U-Pb dating of the Jinshui Kou group (Zhang Jianxin *et al.*, 2003; Wang Guocan *et al.*, 2004; Chen Nengsong *et al.*, 2006; Long Xiaoping *et al.*, 2006; Lu Songnian *et al.*, 2009; Chen Youxin *et al.*, 2011)

代志留纪的变质事件(表 2), 且在锆石年龄谱上存在 400~450 Ma 的峰值, 主要为角闪岩相变质(张建新等, 2003; 王国灿等, 2004), 说明在志留纪南北变质基底共同遭受同一期变质事件。

综上所述, 苦海岩群和金水口岩群的最大沉积时代相近, 分别为新元古代早期(Pt₃)、中元古代晚期-新元古代早期(Pt₂₋₃); 碎屑锆石年龄谱上有 3 个相同峰值, 表明可能存在相似的物源区; 二者均在志留纪发生角闪岩相变质, 说明它们在前志留纪有着相似的演化历史。

5.4 地质意义

东昆中断裂带自提出以来, 许多学者认为该断裂带经历了早古生代构造旋回(许志琴等, 1986; 姜春发等, 1992; 殷鸿福等, 1998; 张国伟等, 2001; 范丽琨等, 2009), 沿断裂带断续出露超基性岩、辉长岩、辉绿岩和基性火山岩, 其中以清水泉、乌妥、吉日迈及阿牙克库木湖北地区分布最广, 前人普遍将其定为蛇绿岩(高延林等, 1988; 解玉月, 1998; 王国灿等, 1999; 朱云海等, 1999; 张克信等, 2004; 陆松年等, 2006), 其构造演化主要有两种不同的认识: 第一, 在中元古代晚期昆中断裂处存在分隔昆北地体和昆南地体的大洋盆, 清水泉蛇绿岩是该洋盆的残片(高延林等, 1988; Yang *et al.*, 1996; 朱云海等, 1997, 2000, 2002; 陈能松等, 2007; 韦文林等, 2007; 刘彬等, 2013; 王国灿等, 2004); 第二, 东昆仑中元古代基底破裂张开形成裂谷, 后又形成初始小洋盆, 但未扩张成为成熟的大洋, 昆中断裂为小洋盆关闭或裂谷闭合的产物, 清水泉地区不存在蛇绿

岩(潘裕生等, 1996; 龙晓平等, 2004; 范丽琨等, 2009)。

根据昆南苦海岩群与昆北金水口岩群的相似性, 本文认为即使沿昆南地体与昆北地体之间在早古生代期间存在洋盆, 该洋盆也不会太大。

6 结论

(1) 苦海岩群片麻岩最大沉积时代为新元古代(Pt_3)早期(750~800 Ma), 且在志留纪时期(423 Ma)遭受变质形成片麻岩。

(2) 苦海岩群和金水口岩群的最大沉积时代相近, 分别为新元古代早期(Pt_3)、中元古代晚期—新元古代早期(Pt_{2-3})。它们可能存在相似的物源区, 且都在志留纪发生角闪岩相变质, 说明二者在前志留纪有着相似的演化历史, 即使沿昆中断裂早古生代期间存在洋盆, 该洋盆也不会太大。

致谢 感谢河北廊坊区调院对锆石进行分选, 国土资源部大陆动力学实验室进行锆石制靶, 天津地质矿产研究所同位素实验室耿建珍在锆石 U-Pb 年代学测试以及数据处理方面给予了大力的帮助, 两名匿名审稿人和编辑对初稿提出了建设性修改意见, 也在此表示衷心感谢。

References

- Bingen B, Austrheim H, Whitehouse M J, *et al.* 2004. Traceelement signature and U-Pb geochronology of eclogite-facies zircon, Bergen Arc, Caledonides of W-Norway[J]. *Miner. Petrol.*, 147: 671~683.
- Chen Nengsong, Li Xiaoyan, Zhang Kexin, *et al.* 2006. Lithological characteristics of the Baishahe Formation to the South of Xiangride Town, eastern Kunlun Mountains and its age constrained from zircon Pb-Pb dating[J]. *Geological Science and Technology Information*, 25(6): 1~7(in Chinese with English abstract).
- Chen Nengsong, Sun Ming, Wang Qinyan, *et al.* 2007. EMP chemical ages of monazites from Central Zone of Eastern Kunlun Orogen: Records of the multi-tectonometamorphic events[J]. *Chinese Sci. Bull.*, 52(11): 1 297~1 306(in Chinese).
- Chen Nengsong, Zhu Jie, Wang Guocan, *et al.* 1999. Metamorphic petrological features of high-grade metamorphic microlithons in Qingshuiquan region, Eastern section of Eastern Kunlun orogenic zone [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 24(2): 116~120(in Chinese with English abstract).
- Chen Youxin, Pei Xianzhi, Li Ruibao, *et al.* 2011. Zircon U-Pb age of Xiaomiao Formation of Proterozoic in the eastern section of the East Kunlun Orogenic Belt[J]. *Geoscience*, 25(3): 510~521(in Chinese with English abstract).
- Fan Likun, Cai Yanping, Liang Haichuan, *et al.* 2009. Characters and evolution of the geodynamics in the Eastern Kunlun [J]. *Geological Survey and Research*, 33(3): 181~186(in Chinese with English abstract).
- Gao Yanlin, Wu Xiangnong and Zuo Guochao. 1988. The characters and tectonic significance of ophiolite first discovered in the East Kunlun area[J]. *Bulletin of Xi'an Institute Geological Mineral Resource, CAS*, 21: 17~28(in Chinese with English abstract).
- Griffin W L, Belousova E A, Shee S R, *et al.* 2004. Archean crustal evolution in the northern Yilarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons[J]. *Precambrian Research*, 131: 231~282.
- Jiang Chunfa, Yang Jinsui, Feng Binggui, *et al.* 1992. Opening-closing Tectonics of Kunlun Mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~224(in Chinese with English abstract).
- Jiang Hanbing, Li Wenyuan, Dong Fuchen, *et al.* 2012. A comparative study of the basement, the sedimentary blanket and the magmatic rocks of the south and north landmasses in the middle Kunlun fault belt: the tectonic significance of the middle Kunlun fault belt[J]. *Geology in China*, 39(3): 581~594(in Chinese with English abstract).
- Köppel V and Sommerauer J. 1974. Trace elements and the behaviour of the U-Pb System in Inherited and newly formed zircons[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 43: 71~82.
- Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, *et al.* 2009. The study of zircon U-Pb dating by means LA-ICP-MS[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 29(Suppl.): 600~601(in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Lu Songnian, Xiang Zhenqun, *et al.* 2006. SHRIMP U-Pb zircon age of granulite from the Qingshuiquan area, Central Eastern Kunlun Suture Zone[J]. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 311~321(in Chinese with English abstract).
- Liu Bin, Ma Changqian, Jiang Hongan, *et al.* 2013. Early Paleozoic tectonic transition from ocean subduction to collisional orogeny in the Eastern Kunlun region: Evidence from Huxiaoqin mafic rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(6): 2 093~2 106(in Chinese with English abstract).
- Liu Yongjiang, Genser Johann, Neubauer Franz, *et al.* 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral ages from basement rocks in the Eastern Kunlun Mountains, NW China, and their tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 398:

- 199~224.
- Long Xiaoping, Jin Wei, Ge Wenchun, *et al.* 2006. Zircon U-Pb geochronology and geological implications of the granitoids in Jinshukou, East Kunlun, NW China[J]. *Geochimica*, 35(4): 367~376(in Chinese with English abstract).
- Long Xiaoping, Wang Lishe and Yu Neng. 2004. Geochemical characteristics of the Qingshuiquan mafic-ultramafic rocks, East Kunlun[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(7): 664~669(in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Li Huaikun, Wang Huichu, *et al.* 2009. Detrital zircon population of Proterozoic meta-sedimentary strata in the Qinling-Qilian-Kunlun Orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(9): 2 195~2 208(in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Yu Haifeng, Li Huaikun, *et al.* 2006. Early Paleozoic suture zones and tectonic divisions in the "Central China Orogen"[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(12): 1 368~1 380(in Chinese with English abstract).
- Meng Fancong, Zhang Jianxin and Cui Meihui. 2013. Discovery of Early Paleozoic eclogite from the East Kunlun, Western China and its tectonic significance[J]. *Gondwana Research*, 23: 825~836.
- Pan Yusheng, Zhou Weiming, Xu Ronghua, *et al.* 1996. Geological characteristics and evolution of the Kunlun Mountains region during the Early Paleozoic[J]. *Science in China (Series D)*, 39(4): 337~347(in Chinese).
- Qi Shengsheng, Song Taizhong and Wang Bingzhang. 2002. Knowledge again on the "Kuhai Group" and its tectonic evolution[J]. *Geology of Qinghai*, 1: 22~30(in Chinese with English abstract).
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism [J]. *Chem. Geol.*, 184: 123~138.
- Wang Bingzhang, Qi Shengsheng, Zhu Yingtang, *et al.* 1999. Geological features of the Paleoproterozoic meta-basic dikes swarms in Kuhai-Saishitang region and significance[J]. *Qinghai Geology*, 1: 6~11(in Chinese with English abstract).
- Wang Guocan, Chen Nengsong, Zhu Yunhai, *et al.* 2003. Late Caledonian Ductile Thrusting Deformation in the Central East Kunlun Belt, Qinghai, China and Its Significance: Evidence from Geochronology[J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 311~319.
- Wang Guocan, Wei Qirong, Jia Chunxing, *et al.* 2007. Some ideas of Precambrian geology in the East Kunlun, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(8): 929~937(in Chinese with English abstract).
- Wang Guocan, Wang Qinghai, Jian Ping, *et al.* 2004. Zircon SHRIMP ages of Precambrian metamorphic basement rocks and their tectonic significance in the eastern Kunlun Mountains, Qinghai Province, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 481~490(in Chinese with English abstract).
- Wang Guocan, Zhang Tianping, Liang Bing, *et al.* 1999. Composite ophiolitic mélange zone in central part of eastern section of Eastern Kunlun orogenic zone and geological significance of "fault belt in central part of eastern section of Eastern Kunlun orogenic zone"[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 24(2): 129~133(in Chinese).
- Wei Wenling, Qin Xiaofeng, Chen Chunfang, *et al.* 2007. The geochemical characteristics of the metamorphic basic volcanic rock in West section of east Kunlun[J]. *Land and Resources of Southern China*, 16~19(in Chinese).
- Williams I S and Claesson S. 1987. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides. II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 97: 205~217.
- Wu Yuanbao and Zheng Yongfei. 2004. The genetic mineralogy of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1 589~1 604(in Chinese).
- Wu Gongjian, Xiao Xuchang and Li Tingdong. 1989. The Yadong-Golmud geoscience on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Geologica Sinica*, 4: 285~296(in Chinese with English abstract).
- Xie Yuyue. 1998. Features of ophiolite with different period in the eastern section of Middle Kunlun Fault and its original environment[J]. *Qinghai Geology*, 7(1): 27~36(in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Lu Yilun, Tang Yaoqing, *et al.* 1986. Deformation characteristics and tectonic evolution of the Eastern Qinling orogenic belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 3: 237~248(in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Yang Jinsui, Li Haibing, *et al.* 2006a. The Early Palaeozoic terrane framework and the formation of the high-pressure (HP) and ultra-high pressure (UHP) metamorphic belts at the central orogenic belt (COB)[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(12): 1 793~1 806(in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Yang Jinsui, Li Haibing, *et al.* 2006b. The Qinghai-Tibet plateau and continental dynamics: A review on terrain tectonics, collisional orogenesis, and processes and mechanisms for the rise of the plateau[J]. *Geology China*, 33(2): 221~238(in Chinese with English abstract).
- Yang Jinsui, Robinson P T and Jiang Chunfa. 1996. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and their tectonic implications [J].

- Tectonophysics, 258: 215~231.
- Yin Hongfu and Zhang Kexin. 1998. Evolution and characteristics of the central orogenic belt[J]. Earth Sci., 23(5): 437~442(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Dong Yunpeng and Yao Anping. 2001. Review on the development of studies on the tectonic and orogen process of orogenic belt, and discussing on some new key problems[J]. Northwestern Geology, 34(1): 1~9(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianxin, Meng Fancong, Wan Yusheng, *et al.* 2003. Early Paleozoic tectono-thermal event of the Jinshukou Group on the southern margin of Qaidam: Zircon U-Pb SHRIMP age evidence[J]. Geological Bulletin of China, 22(6): 397~404(in Chinese with English abstract).
- Zhang Kexin, Lin Qixiang, Zhu Yunhai, *et al.* 2004. The new evidence of paleontology on the age of the melange in east section of East Kunlun and its tectonic significance[J]. Science China, 34(3): 210~218(in Chinese).
- Zheng Y F, Wu Y B, Zhao Z F, *et al.* 2005. Metamorphic effect on zircon Lu-Hf and U-Pb isotope systems in ultrahigh-pressure eclogite-facies metagranite and metabasite[J]. Earth and Planetary Science Letters, 204: 378~400.
- Zhu Yunhai, Chen Nengsong, Wang Guocan, *et al.* 1997. The chemical compositional characteristics and petrologic significance of clinopyroxenes and amphiboles in ophiolite in the center of eastern Kunlun orogenic belt[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 22(4): 363~368(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yunhai and Yuanm P. 2000. Mineralogical characteristics and petrogenesis of ophiolites in east Kunlun orogenic belt, Qinghai Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 20(2): 128~142(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yunhai, Zhang Kexin, Pan Y M, *et al.* 1999. Determination of different ophiolitic belts in eastern Kunlun orogenic zone and their tectonic significance[J]. Earth Science—Journal of China University of Geoscience, 24(2): 134~138(in Chinese).
- Zhu Yunhai, Zhang Kexin, Wang Guocan, *et al.* 2002. Ophiolites, Magmatic Rocks and Tectonic-Magma Evolvement in the Eastern Kunlun Composite Orogenic Belt[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 32~33(in Chinese with English abstract).
- 科技情报, 25(6): 1~7.
- 陈能松, 孙 敏, 王勤燕, 等. 2007. 东昆仑造山带昆中带的独居石电子探针化学年龄: 多期构造变质事件记录[J]. 科学通报, 53(11): 1 297~1 306.
- 陈能松, 朱 杰, 王国灿, 等. 1999. 东昆仑造山带东段清水泉高级变质岩片的变质岩石学研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 24(2): 116~120.
- 陈有炳, 裴先治, 李瑞保, 等. 2011. 东昆仑造山带东段元古界小庙岩组的锆石 U-Pb 年龄[J]. 现代地质, 25(3): 510~521.
- 范丽琨, 蔡岩平, 梁海川, 等. 2009. 东昆仑地质构造及地球动力学演化特征[J]. 地质调查与研究, 33(3): 181~186.
- 高延林, 吴向农, 左国朝. 1988. 东昆仑山清水泉蛇绿岩特征及其大地构造意义[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 第 21 号: 19~28.
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 1992. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 1~224.
- 姜寒冰, 李文渊, 董福辰, 等. 2012. 昆中断裂带南北陆块基底、盖层沉积、岩浆岩对比研究——昆中断裂带构造意义的讨论[J]. 中国地质, 39(3): 581~594.
- 刘 彬, 马昌前, 蒋红安, 等. 2013. 东昆仑早古生代洋壳俯冲与碰撞造山作用的转换: 来自胡晓钦质岩石的证据[J]. 岩石学报, 29(6): 2 093~2 106.
- 李怀坤, 耿建珍, 郝 爽, 等. 2009. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄[J]. 矿物学报, 29(增刊): 600~601.
- 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 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 地球化学, 35(4): 367~376.
- 龙晓平, 王立社, 余 能. 2004. 东昆仑山清水泉镁铁质-超镁铁质岩的地球化学特征[J]. 地质通报, 23(7): 664~669.
- 陆松年, 李怀坤, 王惠初, 等. 2009. 秦-祁-昆造山带元古宙副变质岩层碎屑锆石年龄谱研究[J]. 岩石学报, 25(9): 2 195~2 208.
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等. 2006. “中央造山带”早古生代缝合带及构造分区概述[J]. 地质通报, 25(12): 1 368~1 380.
- 潘裕生, 周伟明, 徐荣华, 等. 1996. 昆仑山早古生代地质特征与演化[J]. 中国科学, 26(4): 302~307.
- 祁生胜, 宋泰钟, 王秉璋. 2002. 对原“苦海岩群”的重新认识及其构造演化特征[J]. 青海地质, 1: 22~30.
- 王秉璋, 祁生胜, 朱迎堂, 等. 1999. 苦海-赛什塘地区古元古代变质基性岩墙群的地质特征及意义[J]. 青海地质, 1: 6~11.
- 王国灿, 王青海, 简 平, 等. 2004. 东昆仑前寒武纪基底变质岩系

附中文参考文献

陈能松, 李晓彦, 张克信, 等. 2006. 东昆仑山香日德南部白沙河岩组的岩石组合特征和形成年代的锆石 Pb-Pb 定年启示[J]. 地质

- 的锆石 SHRIMP 年龄及其构造意义[J]. 地学前缘, 11(4): 481~490.
- 王国灿, 魏启荣, 贾春兴, 等. 2007. 关于东昆仑地区前寒武纪地质的几点认识[J]. 地质通报, 26(8): 929~937.
- 王国灿, 张天平, 梁 斌, 等. 1999. 东昆仑造山带东段昆中复合蛇绿混杂岩带及“东昆中断裂带”地质含义[J]. 地球科学, 129~133.
- 韦文林, 覃小锋, 陈春芳, 等. 2007. 东昆仑西段变质基性火山岩地球化学特征[J]. 南方国土资源, 16~19.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1 589~1 604.
- 吴功建, 肖序常, 李廷栋. 1989. 青藏高原亚东-格尔木地学断面[J]. 地质学报, 4: 285~296.
- 解玉月. 1998. 昆中断裂东段不同时代蛇绿岩特征及形成环境[J]. 青海地质, 1: 27~35.
- 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, 等. 1986. 东秦岭造山带的变形特征及构造演化[J]. 地质学报, 3: 237~248.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 2006a. 中央造山带早古生代地体构架与高压/超高压变质带的形成[J]. 地质学报, 80(12): 1 793~1 806.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 2006b. 青藏高原与大陆动力学——地体拼合、碰撞造山及高原隆升的深部驱动力[J]. 中国地质, 33(2): 221~238.
- 殷鸿福, 张克信. 1998. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 23(5): 437~441.
- 张国伟, 董云鹏, 姚安平. 2001. 造山带与造山作用及其研究的新起点[J]. 西北地质, 34(1): 1~9.
- 张克信, 林启祥, 朱云海, 等. 2004. 东昆仑东段混杂岩建造时代厘定的古生物新证据及其大地构造意义[J]. 中国科学, 34(3): 210~218.
- 张建新, 孟繁聪, 万渝生, 等. 2003. 柴达木盆地南缘金水口岩群的早古生代构造热事件: 锆石 U-Pb SHRIMP 年龄证据[J]. 地质通报, 22(6): 397~404.
- 朱云海, 陈能松, 王国灿, 等. 1997. 东昆中蛇绿岩中单斜辉石、角闪石矿物成分特征及岩石学意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 22(4): 363~368.
- 朱云海, Yuanm P. 2000. 东昆仑造山带蛇绿岩矿物学特征及其岩石成因讨论[J]. 矿物学报, 20(2): 128~142.
- 朱云海, 张克信, Pan Y M, 等. 1999. 东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 24(2): 134~138.
- 朱云海, 张克信, 王国灿, 等. 2002. 东昆仑复合造山带蛇绿岩, 岩浆岩及构造岩浆演化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 32~33.