青海省格尔木市小南川地区昆南构造混杂岩带的物质组成、LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及其地质意义

张海迪[1,2],李荣社[2],计文化[2],查显锋[2],刘 银[1,2],潘术娟[1,2],时 超[1,2]
ZHANG Hai-di[1,2], LI Rong-she[2], JI Wen-hua[2], ZHA Xian-feng[2],
LIU Yin[1,2], PAN Shu-juan[1,2], SHI Chao[1,2]

1. 中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083; 2. 中国地质调查局西安地质矿产研究所,陕西 西安 710054
1. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*;
2. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China*

摘要:在格尔木以南小南川地区测制了一条近 S—N 向的剖面。通过详细的野外接触关系、露头地质体组成、变形-变质特征观察,结合室内显微结构研究,在小南川昆南构造混杂岩带识别出 6 种不同的构造岩片,自北往南依次为含斜长角闪岩透镜体绿片岩岩片、块状大理岩岩片、粉砂质板岩岩片、片理化火山碎屑岩岩片、板理化沉凝灰岩岩片和片岩岩片,岩片之间主要以不同性质的脆性或韧性断层接触。对构造混杂岩中的斜长角闪岩和片理化英安岩中的锆石进行了 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测定,获得的年龄分别为 1123Ma±110Ma 和 499Ma±11Ma。对比分析认为,含斜长角闪岩透镜体绿片岩岩片与块状大理岩岩片应属于中元古代万保沟群,形成于大陆裂谷环境;粉砂质板岩岩片、片理化火山碎屑岩岩片、板理化沉凝灰岩岩片分别为火山弧及与弧相关的弧前-弧后盆地建造;片岩岩片为增生楔内部的物质。昆南构造混杂岩带的物质组成和年代学研究为细化昆南增生杂岩带的增生-就位过程提供了物质基础和时代限定,进而为昆仑造山带乃至青藏高原北缘的构造过程研究提供了依据。

关键词:青海;昆南构造混杂岩;岩片划分;物质组成;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄
中图分类号:P597+.3 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2012)01-0038-12

Zhang H D, Li R S, Ji W H, Zha X F, Liu Y, Pan S J, Shi C. The material composition and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of East-Kunlun tectonic melange in Xiaonanchuan area, Golmud City, Qinghai Province, and its geological significance. ***Geological Bulletin of China,*** **2012,31(1):38-49**

Abstract: Depending on the NS-trending structural section in Xiaonanchuan area of East Kunlun, south of Golmud, the authors have recognized six different tectonic slices based on field detailed contact relationship, composition characteristics, metamorphic-deformation features and microstructures. From north to south, these six tectonic slices are amphibolitic lenses-bearing greenschist, blocky marble, silty slate, foliated pyroclastic rock, platy tuffite and schist, and each of them were bounded by brittle or ductile faults. Zircons in amphibolitic schist and foliated dacite from the tectonic melange belt are dated by LA-ICP-MS U-Pb method and yield weighted ages of 1123 ± 110 Ma and 499 ± 11 Ma. A comparative analysis shows that amphibolitic lenses-bearing greenschist and blocky marble should be part of Mesoproterozoic Wanbaogou Group and formed in the setting of continental rift. Silty slate, foliated pyroclastic rock and platy tuffite are the components of a suite of volcanic arc and arc-related fore-back basins, and schist is the petrologic constituent within the accretionary wedge. Petrologic constituent and geochronology of the tectonic melange belt in southern Kunlun can provide the fundamental substance and precise constraints for the establishment of the accretionary complex belt and the process of ac-

收稿日期:2011-06-07;**修订日期**:2011-10-09
资助项目:中国地质调查局项目《东昆仑成矿带基础地质综合研究》(编号:1212010040107)和国家自然科学基金(国土资源部百人计划)项目《青藏高原冈底斯及其以北地区中上二叠统不整合地质意义研究》(批准号:40872084)
作者简介:张海迪(1987-),男,在读硕士,构造地质学专业。E-mail:zhd3050101326@163.com
通讯作者:计文化(1968-),男,博士,高级工程师,从事区域地质调查工作。E-mail:jiwenhua1968@126.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

cretion and emplacement, which may furnish basis to the study of the tectonic progress of the Kunlun orogenic belt and even the northern margin of the Tibetan Plateau.

Key words: Qinghai Province; tectonic melange; slices division; petrologic constituent; LA-ICP-MS zircon U-Pb age

东昆仑造山带位于青藏高原中北部，北邻柴达木盆地,南邻巴颜喀拉造山带,在区域上属于中央造山带南带的重要组成部分[1]。由于其特殊的地理和构造位置,历来受到中外地质学者的重视与青睐。前人提出昆仑造山带早古生代造山作用为碰撞造山和增生造山的观点[2-5],李荣社等[5-6]将昆仑早古生代造山带划分为 3 个大的构造单元，昆北为弧后盆地沉积、岩浆建造系统，昆中构造带为早古生代的岩浆弧,昆南为弧前复理石增生杂岩带。

格尔木至西大滩之间的小南川地区涉及了昆南构造混杂岩带的大部,交通条件较好,研究程度相对较高。首先是对万保沟群的研究。万保沟群最早由青海省第一区调队提出，并将其时代划为中—新元古代,分 4 个组:下碎屑岩组、火山岩组、碳酸盐岩组和上碎屑组①;《青海省岩石地层清理》将该群定义为分布于东昆仑南坡的一套由浅变质碎屑岩、火山岩和浅变质碳酸盐岩组成的地层序列[7];季强[8]以在万保沟群上部碎屑组中发现小壳动物化石为依据把万保沟群的时代归为早古生代;阿成业等[9]认为万保沟群总体为一套构造混杂岩系，将其重新分组为以玄武岩为主的温泉沟岩组，以碳酸盐岩为主的青办食宿站岩组和新建的沙松乌拉组，将沙松乌拉组的时代划入早寒武世，温泉沟岩组和青办食宿站岩组划归中—新元古界;魏启荣等[10]和蔡雄飞等[11]认为万保沟群的时代为中元古代中晚期，是一有限洋盆沉积。其次是对位于小南川及其以西地区出露的大套岩性较单调的灰色—灰绿色浅变质碎屑岩系的研究。中英、中法考察队(1985、1993)和徐强[12]等认为该套碎屑岩系属于重力流或复理石沉积，并将其时代划为中奥陶世—志留纪；青海省第一区调队将该套碎屑岩系的时代划为早二叠世①;1:25 万不冻泉幅将其与志留系赛什腾组对比，划为志留系赛什腾组②。在构造变形变质方面:姜春发等[1]认为昆南构造混杂岩带主要经历了早古生代加里东期和印支—燕山期的构造变形变质作用;许志琴等[13]曾认为东昆仑南缘在印支期处于一大型转换挤压构造带上,是由于巴颜喀拉洋斜向俯冲于东昆仑地体之下,通过洋壳消减、地体碰撞造山而形成的。

总结前人的研究成果不难发现，昆南构造混杂岩带是不同时期、不同构造环境的物质经历裂解、俯冲、拼贴的复杂过程而最终就位的,岩石地层单位万保沟群和赛什腾组难以完全反映其物质组成的全貌。本文以小南川一带早古生代混杂岩带为重点,在野外地质体建造组成、沉积环境、变形变质特征观察的基础上，结合室内分析和火山岩夹层 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年,对小南川一带的物质建造开展研究,为精细地刻画东昆仑造山作用提供物质基础。

1　昆南构造混杂岩小南川段剖面地质特征

作为东昆仑造山带重要组成部分的昆南构造混杂岩带，北侧为昆中蛇绿混杂岩带，南侧为巴颜喀拉-松潘造山带。根据青藏高原 1:25 万不冻泉幅构造单元划分方案②,本次研究区主要涉及昆南带的万保沟中元古代—早古生代复合构造混杂岩亚带和小南川志留纪陆缘复理石亚带(图 1)。

本次野外观察路线位于格尔木市以南约 100km 处青藏公路西侧(2863~2875km)的小南川至西大滩段(图 2)。剖面起点坐标为北纬 35°51′0.9″、东经 94°20′52.2″,海拔 3855m;终点坐标为北纬 35°45′3.7″、东经 94°19′37.9″,海拔 4106m。经过野外观察发现,该混杂岩带整体呈北西—南东向展布，区域透入性面理表现为向南陡倾。混杂岩带野外地质特征表现为由不同时代、不同大小和不同构造背景的岩块互相拼贴，以及侵入于混杂岩带内的不同时代的岩浆岩侵入体组成。本文根据物质组成和构造变形变质特征,将小南川段细分为 6 个构造岩片(图 2),从北往南依次为含斜长角闪岩透镜体绿片岩岩片、块状大理岩岩片、粉砂质板岩岩片、片理化火山碎屑岩岩片、板理化沉凝灰岩岩片和片岩岩片(由二云母片岩、绿片岩等组成),岩片与岩片之间主要以不同性质的脆性或韧性断层接触。

各岩片的地质特征分述如下。

1.1　含斜长角闪岩透镜体绿片岩岩片(样品 G07-4)

该岩片分布于剖面最北部,宽约 1km,南邻块状大理岩,为逆冲型韧性剪切带接触。岩片内部物质变形强烈,以强烈片理化、糜棱岩化为主要特征,面理

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

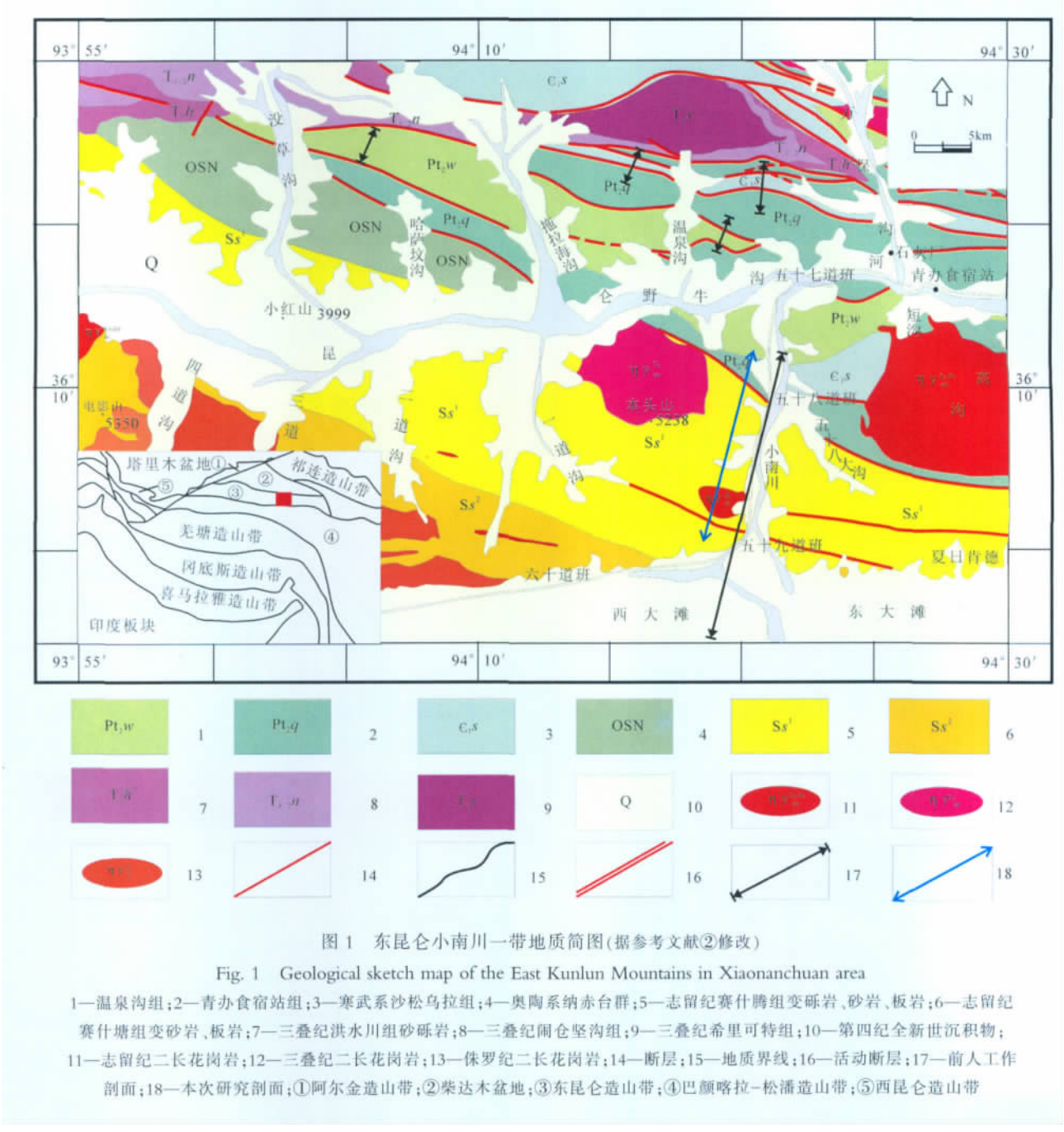


图 1 东昆仑小南川一带地质简图(据参考文献②修改)

Fig. 1 Geological sketch map of the East Kunlun Mountains in Xiaonanchuan area

1—温泉沟组;2—青办食宿站组;3—寒武系沙松乌拉组;4—奥陶系纳赤台群;5—志留纪赛什腾组变砾岩、砂岩、板岩;6—志留纪赛什塘组变砂岩、板岩;7—三叠纪洪水川组砂砾岩;8—三叠纪闹仓坚沟组;9—三叠纪希里可特组;10—第四纪全新世沉积物;11—志留纪二长花岗岩;12—三叠纪二长花岗岩;13—侏罗纪二长花岗岩;14—断层;15—地质界线;16—活动断层;17—前人工作剖面;18—本次研究剖面;①阿尔金造山带;②柴达木盆地;③东昆仑造山带;④巴颜喀拉-松潘造山带;⑤西昆仑造山带

整体南倾。以中浅构造层次下的塑性、韧性变形为特征,发育无根褶皱、鞘褶皱、层间流动褶皱等(图版Ⅰ-1、2)。岩片内部多处可见石英、方解石和长英质脉体,且脉体大多发生褶皱、透镜体化。变形特征整体显示岩片经历过区域性较深部构造层次的韧性剪切构造变形。

岩片主要由绿泥片岩、薄层糜棱岩化大理岩和硅质岩组成(图版Ⅰ-3)。其中绿泥片岩镜下为灰绿色,片状构造,粒状鳞片变晶结构,矿物组合主要为绿泥石-斜长石-碳酸盐矿物,碳酸盐矿物含量较少,变质矿物组合表明其原岩可能为沉凝灰岩;糜棱岩化大理岩整体为灰黄色—灰黑色,内部发育深层次韧性剪切流变构造;硅质岩为灰黑色,薄层状,厚度 20~30cm,与斜长角闪岩透镜体呈断层接触。岩片内部构造透镜体发育(图版Ⅰ-3),构造透镜体为灰黑色斜长角闪岩(原岩为基性火山岩),规模大小不

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

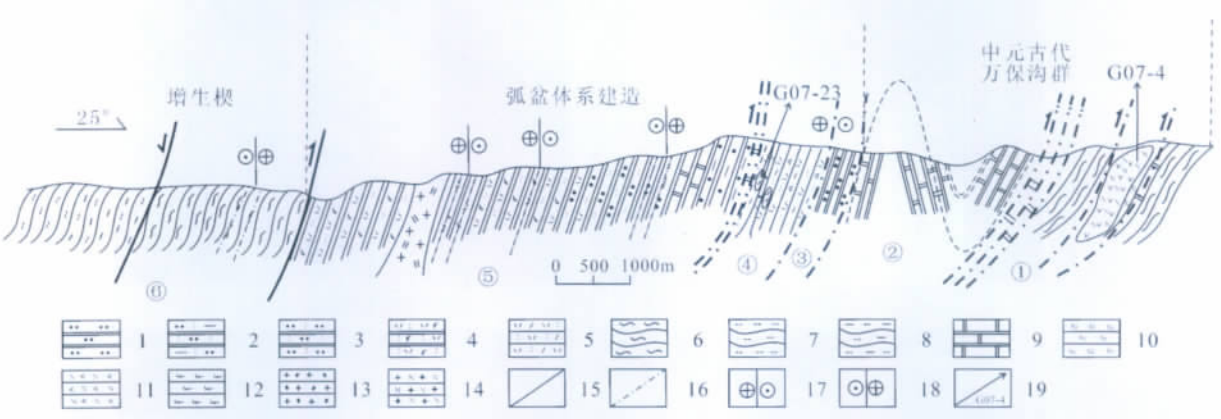


图 2　东昆仑小南川一带昆南构造混杂岩带构造剖面

Fig. 2　Structural section of East Kunlun tectonic melange belt in Xiaonanchuan area

1—粉砂质板岩;2—泥质-粉砂质细砂岩;3—凝灰质粉砂岩;4—板理化沉凝灰岩;5—流纹质角砾晶屑凝灰熔岩;6—绿片岩;7—黑云母片岩;8—二云母片岩;9—大理岩;10—硅质岩;11—斜长角闪岩;12—英安岩;13—黑云母花岗岩;14—斜长花岗岩;15—脆性断层;16—韧性剪切带;17—右行走滑;18—左行走滑;19—采样位置和样品编号;①含斜长角闪岩透镜体绿片岩岩片;②块状大理岩岩片;③粉砂质板岩岩片;④片理化火山碎屑岩岩片;⑤板理化沉凝灰岩岩片;⑥片岩岩片

一,从(20×260)~(1.5×20)m 不等。斜长角闪岩:块状构造,斑状结构,斑晶主要为残余斜长石,粒度大小不一,粗粒可达 0.2cm,大多阳起石化,火山碎屑可见石英、黝帘石化,镜下可见玻化现象,镜下特征表明岩片原岩可能为基性火山岩,蚀变为斜长角闪岩。

斜长角闪岩(原岩为基性火山岩)SiO_2 含量主体变化不大,为 50.66%~52.61%(平均为 51.32%);Na_2O 质量分数明显偏高,为 1.61%~3.77%(平均为 2.83%);K_2O 质量分数明显偏低,为 0.25%~0.54%(平均为 0.42%);TiO_2 在 1.74%~2.20%之间(平均为 1.92%)。总体该基性火山岩以高 TiO_2(1.74%~2.20%)和 Na_2O(1.61%~3.77%),贫 K_2O(0.25%~0.54%)和 P_2O_5(0.16%~0.24%,$Na_2O>K_2O$)为特征,对 3 个样品的数据进行投点(图略)指示其为板内拉斑玄武岩。

1.2　块状大理岩岩片

岩片野外出露较宽,整体约 4km,北与含斜长角闪岩透镜体绿片岩岩块以韧性剪切带相接触,南与粉砂质板岩岩块以走滑型剪切带接触。岩片主要由灰色—灰黑色块状大理岩夹少量硅质岩条带组成。块状大理岩呈厚层状,块状构造,粒状变晶结构。岩片北部边界处发育层间透镜体、层间小褶皱等构造变形,向南发育层间宽缓褶皱,而后转变为块状大理岩,块状大理岩内部劈理化发育,反映了从接触边界到岩片内部构造变形逐渐变弱的特征。

1.3　粉砂质板岩岩片

岩片出露宽度较窄,约 200m。北邻块状大理岩,南邻片理化火山碎屑岩,均以走滑型剪切带接触。岩片整体呈灰黑色,主要为粉砂质、泥质板岩,变余粉砂质结构,板状构造;岩石颗粒很细,主要由粉砂级的长石、石英组成,可见少量凝灰质成分。岩片内部变形较弱,板理面南倾,产状 220°∠86°,个别地段可见膝褶构造(图版 Ⅰ-4),局部可见原生层理保留。

1.4　片理化火山碎屑岩岩片(样品 G07-23)

岩片宽约 500m,总体面理南倾,分布于粉砂质板岩岩片以南,板理化沉凝灰岩岩块以北,均呈韧性剪切带接触。岩片内部片理化发育,个别地方发育强韧性剪切带(图版 Ⅰ-5),形成糜棱岩化角砾晶屑凝灰熔岩(图版 Ⅰ-5)。岩片内部石英、方解石脉发育,且大多发生褶皱、透镜体化,反映岩片经历了后期较强的构造作用。

岩片岩石组成主要为片理化流纹质角砾晶屑凝灰熔岩,凝灰结构,镜下可见流动构造发育,晶屑较多,可见少量流纹岩岩屑,含间隙结构玄武岩角砾,局部碳酸盐化。在岩片最南部可见大量白色—灰白色片理化英安岩呈透镜体产出,英安岩透镜体内部可见左行剪切变形。片理化英安岩镜下特征为变余斑状结构,斑晶主要为石英和残余长石,石英呈粒状变晶结构,斜长石经历了绢云母化,而后黑云母化、白云母化,整体为云英岩化,白云母化较少,可见少

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图版Ⅰ　Plate Ⅰ



1.岩片①内鞘褶皱



2.岩片①内层间流变褶皱



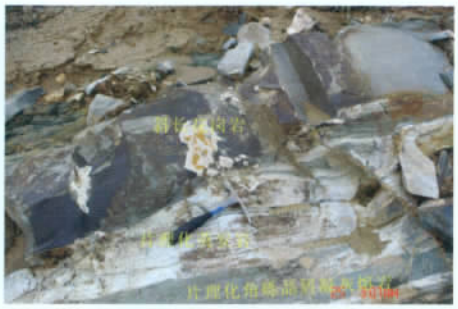
3.岩片①内斜长角闪岩透镜体野外展布



4.岩片③内部膝褶构造



5.岩片④中糜棱岩化流纹质角砾晶屑凝灰熔岩



6.岩片④中后期斜长花岗岩与早期英安岩接触关系



7.岩片⑤中韧性剪切带内部眼球体、δ旋转斑



8.岩片⑤中显微镜下沉凝灰岩粒序层理(正交偏光)



9.岩片⑥中片理面的褶皱构造变形



10.岩片⑥内部韧性剪切带

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

量黑云母绿泥石化,主体次生石英岩化、硅化。综合以上地质特征，岩片原岩可能为一套中酸性火山熔岩-火山岩。岩片南部边界处发育 7~8 条晚期细粒斜长花岗岩脉,脉体宽 20~60cm,脉体穿插片理面及英安岩透镜体(图版Ⅰ-6),且含有围岩捕虏体,为侵入接触。锆石 U-Pb 定年结果表明其侵入时间为印支晚期—燕山早期。

1.5　板理化沉凝灰岩岩片

岩片野外展布较宽,为 8~9km,南与片岩岩片呈逆冲断层接触，北与片理化火山碎屑岩岩片呈韧性剪切带接触。岩片整体变形较弱,发育弱板理化,板理面向南陡倾。岩片内部发育 3 条韧性剪切带,产状 200°∠80°，宽 2~8m，韧性剪切带内部以糜棱岩化、透镜体化为特点,可见眼球体、δ 旋转斑(图版Ⅰ-7),野外判断其运动学方向为右行走滑。野外调查和镜下鉴定得知，岩片岩石组合类型为弱板理化沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩、少量泥质-粉砂质细砂岩和大理岩,整体呈灰白色、灰绿色,个别地段板理化发育,总体面理南倾,局部可见面理发生褶皱变形。板理化沉凝灰岩:层状构造,镜下见沉积微层理、粒序层理等(图版Ⅰ-8),主要由微粒火山碎屑物组成,后期蚀变明显，可见绿帘石化、黑云母化及硅化现象。凝灰质粉砂岩:层状构造,陆缘碎屑物(砂屑)含量明显增多，火山碎屑物含量减少，发生黑云母蚀变;泥质-粉砂质细砂岩:该岩石出露宽度很窄,块状构造,颗粒细小,基质主要为泥质及粉砂质,含少量凝灰质碎屑;大理岩厚度约 180m,灰白色,块状构造,不显层理,局部发育揉皱构造。岩片整体从南往北,陆缘碎屑物含量有所增加,逐渐过渡为陆缘碎屑沉积岩。

1.6　片岩岩片

岩片北与板理化沉凝灰岩呈逆冲断层接触,主体呈灰—灰绿色,片理化发育,由一套变形较强的片岩组成。岩片整体变形与岩片③、岩片④、岩片⑤明显不一致,原始面理已被后期面理完全置换,且岩片遭受过多期强烈的构造改造，内部片理面褶皱构造较发育(图版Ⅰ-9)。石英脉也大都褶皱、透镜体化。岩片内部还发育数条韧性剪切带,宽 3~20m,表现为左行或右行韧性剪切(图版Ⅰ-10)。

岩石组合类型主要为二云母石英片岩、黑云母石英片岩和绿片岩。二云母石英片岩:片状构造,粒状鳞片变晶结构，矿物组合为石英-黑云母-白云母-石榴子石,指示较低级的绿片岩相变质作用。黑云母石英片岩:片状构造,粒状鳞片变晶结构,主要矿物组成为石英-黑云母，可见约 12%的残余斜长石碎斑,石英发生细粒化,颗粒大小不一;绿片岩:呈灰绿色,细粒纤状变晶结构,片状构造,矿物颗粒较细,粒径小于 0.5mm,矿物成分有斜长石、黑云母、绿帘石、黝帘石、绿泥石、石英等。

2　岩片中岩石的年龄特征

本次对岩片①中斜长角闪岩和岩片④中片理化英安岩进行了锆石取样测年。所采集样品的锆石在河北省廊坊区域地质调查研究所实验室经破碎、人工分选完成。锆石的制样、阴极发光图像(CL)和锆石 U-Pb 同位素测定均在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。将锆石样品用双面胶粘在载玻片上,放上 PVC 环,用环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入 PVC 环,待环氧树脂固化后将样品从载玻片上剥离,并用不同类型的砂纸和磨料进行抛光;采用美国 Gatan 公司生产的阴极荧光谱仪(型号为 Mono CL3+)进行锆石 CL 图像显微照相;接着在 Agilent7500 型 ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司生产的 Compex 193nm ArF 准分子激光剥蚀系统完成 U-Pb 同位素定年和锆石成分分析。其中,束斑半径为 30μm,剥蚀深度为 20~40μm。锆石年龄测定采用该实验室锆石标准样品 91500 作为外标，元素含量测定采用 NISTSRM610 作为外标,^{29}Si 作为内标元素(锆石中 SiO_2 的质量分数为 32.8%),测定锆石中的 U、Th 和 Pb 的含量。每测定 3~5 个点后插入一次标样测定,以合成硅酸盐玻璃 NIST610 标示仪器的运行状态。详细的仪器设备、分析步骤和数据处理见参考文献[14-15],样品的同位素比值和元素含量计算采用 GLITTER(ver4.0,MaequarieUniversity)程序,普通铅校正采用 LA-ICP-MS Common Lead Correction(ver3.15),年龄计算和谐和图的绘制采用 Isoplot(Ver3.0)程序完成[16]。

2.1　斜长角闪岩(样品 G07-4)

样品采自岩片①中斜长角闪岩（原岩为基性火山岩)透镜体(图 2)。采样点地理坐标为北纬 35°51′0.9″、东经 94°20′52.2″,海拔为 3855m。获得锆石颗粒约 500 粒,大多无色透明,颗粒大小不一,多数介于 30~100μm 之间。锆石的 U-Pb 同位素比值和不同表面年龄测试数据见表 1,阴极发光图像见图 3。根

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1 青海格尔木以南小南川地区斜长角闪岩(样品G07-4)LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素测定结果

Table 1 LA-ICP-MS zircons U-Pb isotopic analytical results of amphibolite(G07-4)in Xiaonanchuan area, south of Golmud in Qinghai Province

样点号	同位素比值								同位素年龄/Ma								同位素含量/μg·g⁻¹				Th/U
	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		^{204}Pb	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb	^{232}Th	^{238}U	
	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ							
1	0.07408	0.00173	1.82161	0.04486	0.179	0.00297	0.06138	0.00158	1044	25	1053	16	1062	16	1204	30	3.90	200.56	16.46	14.17	109.09	259.17	0.42
2	0.07453	0.00139	1.78645	0.0443	0.17377	0.00319	0.06496	0.00423	1056	24	1041	16	1033	18	1272	80	3.20	719.60	58.65	34.48	344.95	1084.96	0.32
3	0.07442	0.00091	1.79057	0.03526	0.17391	0.00263	0.06724	0.00191	1053	18	1042	13	1034	14	1315	36	0	1006.09	83.12	36.18	260.69	1374.08	0.19
4	0.07895	0.00096	2.03808	0.02659	0.18693	0.00175	0.04686	0.00119	1171	13	1128	9	1105	9	926	23	1.50	812.88	71.23	31.78	324.89	1002.32	0.32
5	0.07694	0.00113	2.016	0.03194	0.18968	0.00179	0.06038	0.00086	1120	17	1121	11	1120	10	1185	16	3.99	1047.92	88.73	101.10	766.34	1250.94	0.61
6	0.0781	0.00076	2.05638	0.02402	0.19077	0.00157	0.05395	0.00065	1149	11	1134	8	1126	9	1062	12	3.71	1093.42	94.70	112.64	923.83	1294.92	0.71
7	0.07748	0.0013	2.02667	0.03268	0.18949	0.00159	0.05316	0.00088	1134	19	1125	11	1119	9	1047	17	4.21	473.34	40.67	76.77	671.18	579.25	1.16
8	0.07644	0.0009	2.0363	0.0243	0.19273	0.00128	0.05906	0.00092	1107	14	1128	8	1136	7	1160	18	0	942.59	79.90	93.12	732.85	1133.40	0.65
9	0.07666	0.00163	2.06151	0.04131	0.19483	0.00214	0.06048	0.00114	1112	23	1136	14	1147	12	1187	22	0	584.60	49.79	56.94	442.55	694.65	0.64
10	0.07588	0.00131	2.05714	0.03012	0.19689	0.00211	0.06383	0.00149	1092	14	1135	10	1159	11	1251	28	0.24	1039.65	87.71	25.47	190.73	1219.87	0.16
11	0.08305	0.00102	2.09114	0.04894	0.18038	0.00282	0.06938	0.00133	1270	23	1146	16	1069	15	1356	25	2.61	772.80	72.56	77.39	558.11	1020.64	0.55
12	0.07761	0.00138	2.01547	0.03886	0.18806	0.0021	0.06492	0.00103	1137	21	1121	13	1111	11	1271	20	3.48	409.05	34.96	38.44	289.04	547.65	0.53
13	0.0808	0.00132	2.28716	0.03233	0.20529	0.0017	0.06132	0.00049	1217	33	1208	10	1204	9	1203	9	0	882.95	79.06	16.95	126.62	1069.99	0.12
14	0.12144	0.00152	5.91718	0.08053	0.35296	0.00336	0.08494	0.00144	1977	12	1964	12	1949	16	1648	27	0.53	1095.20	147.46	37.48	194.58	705.09	0.28
15	0.09321	0.00109	3.47229	0.06025	0.26879	0.00323	0.08048	0.0011	1492	16	1521	14	1535	16	1564	21	0	986.26	103.65	133.65	798.09	876.76	0.91
16	0.16536	0.00168	10.45612	0.14363	0.45775	0.00483	0.12725	0.00209	2511	11	2476	13	2430	21	2421	38	7.22	1788.83	326.79	68.02	240.00	887.93	0.27
17	0.16072	0.00154	10.16648	0.12054	0.45776	0.00445	0.11889	0.00162	2463	9	2450	11	2430	20	2271	29	0	2560.75	456.16	183.96	693.35	1285.92	0.54
18	0.18283	0.00231	13.26643	0.22015	0.5252	0.0065	0.14942	0.00228	2679	13	2699	16	2721	27	2815	40	0	1093.06	221.34	112.13	357.76	481.81	0.74
19	0.21401	0.00234	16.82031	0.23833	0.56855	0.006	0.15105	0.00392	2936	11	2925	14	2902	25	2843	69	0.82	1104.23	257.98	11.25	38.34	515.30	0.07
20	0.06299	0.00104	1.05216	0.01768	0.12085	0.00091	0.0306	0.00061	708	23	730	9	735	5	609	12	1.92	450.96	31.44	20.20	302.35	862.01	0.35
21	0.06417	0.00099	1.06191	0.01768	0.11997	0.00118	0.03591	0.00065	747	19	735	9	730	7	713	13	0	387.81	27.58	40.47	509.46	744.78	0.68

据阴极发光和背散射图像(图3)，所获得的锆石大体可分为2种，一种锆石呈不规则状、浑圆状，锆石边部往往发育溶蚀结构即边部不平整，阴极发光显示此类锆石生长环带不清晰或者没有；另一种锆石呈柱状、棱角状，锆石具有一定的振荡生长环带，具有岩浆成因的特点。

从测得的数据(表1)和锆石U-Pb谐和图(图4)来看，该基性火山岩中锆石的年龄较复杂，可大体分为4组。第一组4个颗粒4个测点的$^{207}Pb/^{206}Pb$年龄范围介于2679~2463Ma之间；第二组的$^{207}Pb/^{206}Pb$年龄值介于1977~1492Ma之间；第三组的$^{207}Pb/^{206}Pb$年龄值介于1270~1044Ma之间，13个点的$^{207}Pb/^{206}Pb$年龄加权平均值为1123Ma±110Ma；第四组的$^{206}Pb/^{238}U$年龄值小于740Ma。将所得的年龄数据与锆石CL图像对比分析，发现前2组2679~2463Ma和1977~1492Ma的较老年龄，锆石颗粒呈现一定的浑圆状，且有溶蚀结构，前人曾在万保沟玄武岩中获得过2366Ma±18Ma的基底变质年龄信息，加之万保沟群的时代为中元古代[17-18]，因此这些锆石应为捕获的老锆石，可能代表了捕获锆石源区的一些变质年龄信息。年龄介于1270~1044Ma之间的13个锆石

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　青海格尔木以南小南川地区片理化英安岩(样品 G07-23)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测定结果

Table 2　LA-ICP-MS zircons U-Pb isotopic analytical results of foliated dacite (G07-23) in Xiaonanchuan area, south of Golmud in Qinghai Province

样点号	同位素比值						同位素年龄/Ma								同位素含量 μg·g⁻¹				Th/U
	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$				
	比值		比值		比值		比值	1σ	年龄		年龄		年龄		年龄		^{208}Pb	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	
1	0.05801	0.00088	0.607	0.00886	0.0758	0.00074	0.02294	0.00042	530	16	482	6	471	4	458	8	0	995.24	63.08	55.94	1119.00	2931.35	0.38
2	0.05846	0.00107	0.61662	0.01355	0.07628	0.00098	0.02353	0.00043	547	26	488	9	474	6	470	8	0	1149.92	73.70	47.37	941.89	3420.28	0.26
3	0.05784	0.00082	0.61242	0.00895	0.07694	0.00096	0.02455	0.00034	524	14	485	6	478	6	490	7	0.66	991.48	63.70	53.88	1015.55	2926.35	0.35
4	0.05763	0.00078	0.62845	0.00878	0.07904	0.00072	0.02669	0.00067	516	16	495	5	490	4	532	13	0	884.25	55.77	27.76	480.17	2518.92	0.19
5	0.05821	0.00084	0.67249	0.00973	0.08368	0.00073	0.02754	0.00054	538	17	522	6	518	4	549	11	0.02	851.92	54.70	37.18	631.78	2281.18	0.28
6	0.05765	0.00103	0.64784	0.01156	0.08147	0.00121	0.02448	0.0006	517	18	507	7	505	7	489	12	2.27	804.18	50.91	31.59	589.36	2193.00	0.27
7	0.05724	0.00077	0.64921	0.01043	0.08215	0.00094	0.02435	0.00044	501	17	508	6	509	6	486	9	4.24	1082.87	68.69	47.40	904.10	2977.40	0.30
8	0.05799	0.00066	0.66907	0.00942	0.08355	0.00076	0.02707	0.0004	529	16	520	6	517	5	540	8	0.71	1301.12	83.69	52.36	906.05	3543.96	0.26
9	0.05791	0.0007	0.63752	0.00935	0.07993	0.00096	0.02788	0.0006	526	15	501	6	496	6	556	12	4.94	1003.79	64.52	20.67	354.20	2904.17	0.12
10	0.058	0.00072	0.653.39	0.00987	0.08168	0.00077	0.02581	0.00047	530	17	511	6	506	5	515	9	0	677.61	43.69	21.72	403.22	1927.07	0.21
11	0.05779	0.00119	0.6377	0.01447	0.08013	0.00121	0.0256	0.00069	522	25	501	9	497	7	511	14	0.67	547.14	35.33	15.18	286.01	1590.85	0.18
12	0.05908	0.00078	0.68301	0.01153	0.08383	0.00098	0.02654	0.00045	570	18	529	7	519	6	530	9	5.97	1051.17	69.19	52.25	938.81	2903.54	0.32
13	0.05761	0.00071	0.65509	0.01097	0.08243	0.00099	0.02636	0.00051	515	18	512	7	511	6	526	10	1.32	830.41	53.28	31.97	582.63	2340.57	0.25
14	0.05804	0.0007	0.6529	0.00918	0.08167	0.00086	0.02721	0.00045	531	15	510	6	506	5	543	9	0	721.27	46.73	28.66	495.02	2035.21	0.24
15	0.05799	0.00071	0.64026	0.00977	0.08012	0.00102	0.02493	0.00047	529	15	502	6	497	6	498	9	1.08	1048.81	67.91	54.68	1035.12	3006.45	0.34
16	0.05797	0.00084	0.66459	0.01136	0.08307	0.00094	0.02756	0.00049	529	19	517	7	514	6	549	10	0	732.80	47.09	26.69	455.83	2021.32	0.23
17	0.05765	0.00064	0.63646	0.00955	0.07995	0.00093	0.02461	0.0003	516	15	500	6	496	6	491	6	1.89	1320.80	83.85	76.16	1442.6	3780.43	0.38
18	0.05952	0.00078	0.67655	0.01031	0.08234	0.00081	0.02573	0.00051	586	17	525	6	510	5	513	10	0.36	750.17	49.07	24.85	463.01	2079.23	0.22
19	0.05698	0.00122	0.62468	0.01197	0.07952	0.00077	0.02471	0.00022	491	48	493	7	493	5	493	4	0	1065.83	68.08	42.92	782.80	3052.70	0.26
20	0.05696	0.00132	0.61774	0.0133	0.07865	0.00069	0.02444	0.00019	490	52	488	8	488	4	488	4	1.32	1101.68	71.41	52.95	950.74	3154.86	0.30
21	0.05688	0.00124	0.62525	0.01237	0.07972	0.00073	0.02478	0.00021	487	49	493	8	494	4	495	4	0	856.27	54.88	33.02	584.31	2421.15	0.24
22	0.05811	0.00118	0.66195	0.01629	0.08252	0.00135	0.02575	0.00071	534	27	516	10	511	8	514	14	0	619.68	39.63	27.42	492.89	1696.46	0.29
23	0.05747	0.00082	0.68301	0.01081	0.08618	0.00088	0.02581	0.00047	510	18	529	7	533	5	515	9	0.13	740.31	47.11	21.01	374.93	1965.21	0.19

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

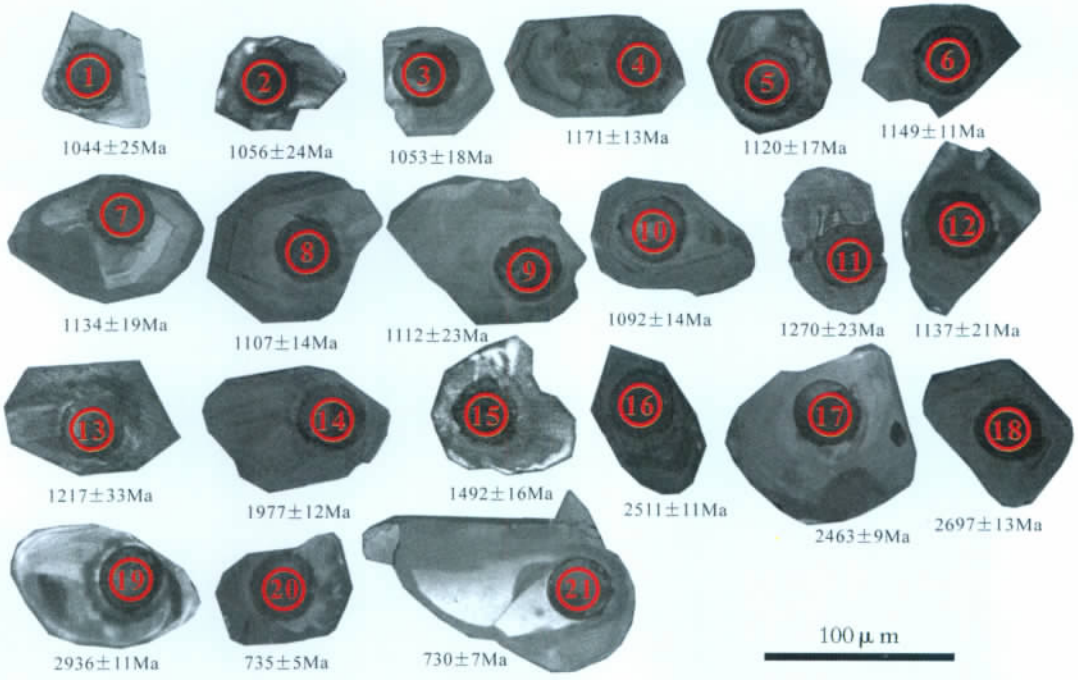


图 3 斜长角闪岩中典型锆石的阴极发光图像(样品 G07-4)

Fig. 3 CL images of representative analyzed zircons in the amphibolite(sample G07-4)

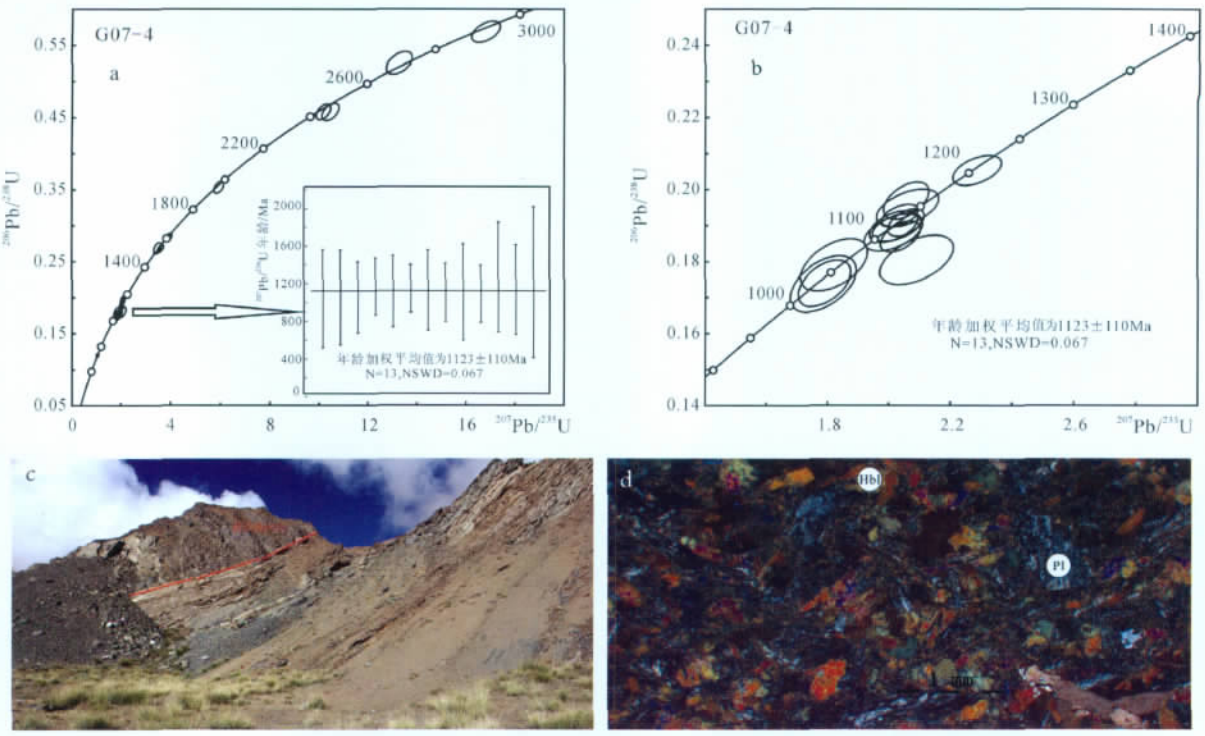


图 4 青海省格尔木市以南小南川地区斜长角闪岩(样品 G07-4)锆石 U-Pb 谐和图(a、b)和斜长角闪岩野外照片(c)、镜下显微照片(d,正交偏光,Hbl 为角闪石,Pl 为斜长石)

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagrams (a,b), field picture (c) and micrograph (d) of amphibolite (sample G07-4) in Xiaonanchuan area, south of Golmud City in Qinghai Province

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

CL 图像呈现出一定的岩浆锆石的振荡环带结构，Th/U 比值在 0.12~1.16 之间，指示其为岩浆成因的锆石，可代表该基性火山岩形成时的年龄，即该基性火山岩形成于 1123Ma±110Ma，为中元古代。此外，还获得了 1 颗反映古老基底信息的锆石，其 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄为 2936Ma±11Ma。

2.2 片理化英安岩(样品 G07-23)

岩片④中灰白色片理化英安岩采样点地理坐标为北纬 35°48′43.7″、东经 94°20′43.9″，海拔为 3947m(图 2)。锆石的 U-Pb 同位素比值和不同表面年龄测试数据见表 2,锆石形态特征如图 5 所示，锆石的颗粒呈无色、透明，少数为棕黄色。锆石颗粒大小比较均匀，粒径介于 30~80μm 之间，长宽比介于 1~4 之间。为自形—半自形晶，呈柱状、短柱状、粒状，常具有自形的生长环带，可见岩浆生长环带，这些特点与岩浆成因锆石相吻合，应为岩浆结晶的锆石[19-20]。测得的 23 个锆石颗粒的 23 个年龄值基本一致，给出的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 499Ma±11Ma(图 6)，Th/U 比介于 0.19~0.38 之间。该年龄可代表该片理化英安岩的形成年龄即该岩块的形成年龄，表明该岩片内的物质形成于晚寒武世。

3 讨　论

3.1 岩片①②的构造环境和时代

关于万保沟群形成构造环境问题，潘裕生等[2]依据万保沟群火山岩的地球化学特征及与其共生的含叠层石大理岩、千枚岩、砂岩等陆源沉积物的地质特征，认为当属大陆裂谷环境；魏启荣等[10]和蔡雄飞[11]等对分布于万保沟、小南川、没草沟一带的万保沟群火山岩进行了岩石地球化学特征分析，确定万保沟群火山岩主要为洋岛玄武岩，形成于中元古代时期的一有限洋盆；王国灿等[17-18]根据在万保沟群变玄武岩中存在大量基底变质锆石，认为该小洋盆应具有陆壳基底的性质，小洋盆中包含有陆壳碎块、海山等，为复杂的多岛洋格局。本次笔者未对万保沟群玄武岩作相关系统的地球化学分析，但在岩片①的斜长角闪岩中获得了许多古老的反映基底信息的变质锆石颗粒，主要集中在 2679~2463Ma 和 1977~1492Ma 两个区段内，此外还获得 1 颗 29 亿年的可能代表古老基底年龄的锆石。王国灿等[17]在野牛沟北部万保沟群中也获得了大量基底变质锆石。万保沟群中大量基底变质锆石的存在，说明其基底并不是典型的洋壳基底，而应该具有陆壳基底的性质。结合前人的地球化学数据和大量基底变质锆石的存在，笔者认为万保沟群玄武岩形成于大陆裂解环境，岩片①和岩片②组成的万保沟群基性火山岩和碳酸盐沉积形成环境可能为大陆裂谷。万保沟群的时代已有过大量研究，青海省地调院将万保沟群的时代置于中—新元古代，依据青办食宿站组碳酸盐岩叠层石组合、古孢子和变玄武岩中获得的 1441Ma±230Ma Sm-Nd 等时线年龄③[9]。魏启荣等[10]在万保沟群玄武岩中获得的锆石年龄为 1343Ma±30Ma。斜长角闪岩中 13 个锆石年龄数据给出的加权平均值为 1123Ma±110Ma，和前人的结果基本一致，表明万保沟群火山岩的形成时代应为中元古代。

3.2 岩片③④⑤的构造环境和时代

综合对比岩片③④⑤的物质组成和变形变质特征，发现岩片④由一套片理化流纹质角砾晶屑凝灰熔岩及英安岩组成，其物质组成具有岛弧岩石组合类型的特征，表明其形成环境可能为火山弧。在片理化英安岩中获得了 499Ma±11Ma 的加权平均年龄，可能代表了该火山弧的形成时代(为晚寒武世)。岩片③岩石类型主要为含少量凝灰质的粉砂质、泥质板岩夹少量绿片岩，岩片⑤为一套弱板理化沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩、少量泥质-粉砂质细砂岩夹薄层大理岩的岩石组合，岩片③和岩片⑤总体为一套浅变质的细碎屑岩、火山碎屑岩组合，应形成于浅海—半深海环境，结合在野外观察到的这 2 个岩片与岩片④在空间上有一定的联系，可以认为岩片③和岩片⑤是与弧相关的沉积建造。由于后期强烈的构造改动，很难对其原始沉积环境进行恢复，只能根据 3 个岩片的空间展布和岩石组合粗略地认为岩片③为弧后盆地沉积，岩片⑤则可能为弧前盆地沉积。笔者在岩片③中采集了微体化石样品，然而经过化石处理后效果不是很好，未有收获。为此只能根据岩片④火山岛弧的年龄 499Ma±11Ma 和前人将其归为志留系推测岩片③和岩片⑤形成于晚寒武世之后，具体的形成时代需进一步研究。以上信息表明，岩片③④⑤为一套弧盆体系建造形成的物质复合拼贴而成的，岩片④弧火山岩 499Ma±11Ma 年龄的确定说明东昆仑早古生代古洋盆俯冲时间应早于晚寒武世，进一步佐证了前人提出的古洋盆从中寒武世进入俯冲阶段的观点[21-22]。区域上东昆仑地区存在早寒武世沙松乌拉组，主要为板理化变砂岩夹灰岩、硅质岩

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

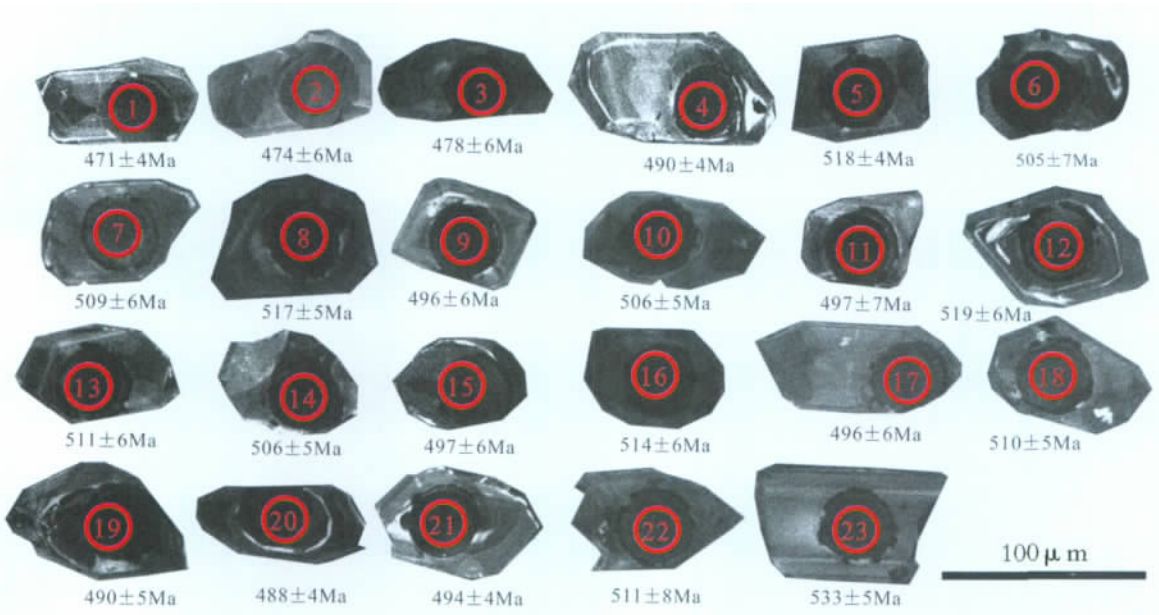
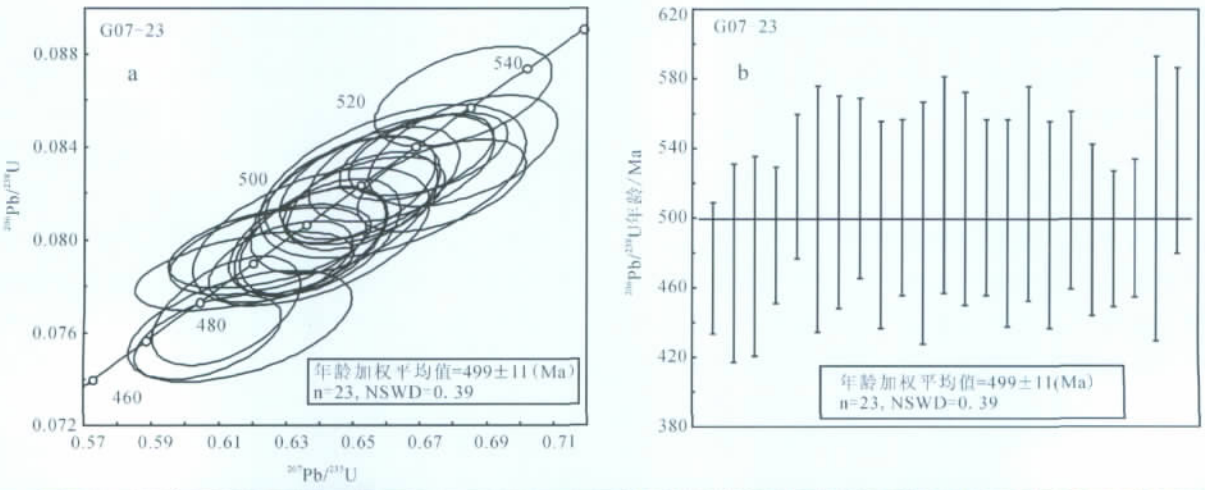


图 5 片理化英安岩中典型锆石的阴极发光图像(样品 G07-23)

Fig. 5 CL images of representative analyzed zircons in the foliated dacite(sample G07-23)



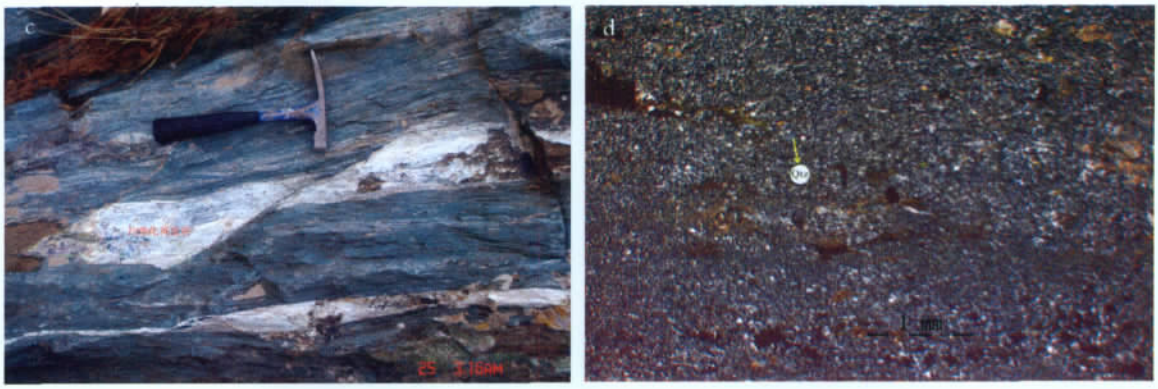


图 6 青海格尔木以南小南川地区片理化英安岩(样品 G07-23)锆石 U-Pb 谐和图(a,b)和片理化英安岩野外照片(c)、镜下显微照片(d,正交偏光,Qtz 为石英)

Fig. 6 Zircon U-Pb concordia diagrams (a,b), field picture (c) and micrograph (d) of foliated dacite(sample G07-23) in the Xiaonanchuan area, south of Golmud in Qinghai Province

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

等。该组与岩片③④⑤这套地层在时代、岩性、沉积环境上均有明显的区别，为此笔者认为该组是该地区存在的一套晚寒武世的岩石地层单位，建议单独划分出来。

3.3 岩片⑥的构造环境和时代

岩片⑥为一套浅变质的片岩组合，变形较前 3 个岩片强烈,面理已全被置换,且被后期多次构造作用改造。据岩石组合、变形特征及其与岩片③④⑤弧盆体系建造呈逆冲断层接触，认为其可能为早古生代洋盆俯冲过程中产生的增生楔内部的物质。其形成时代本次未作工作,尚需进一步研究确认。

4 结　论

(1)小南川昆南构造混杂岩由含斜长角闪岩透镜体绿片岩岩片、块状大理岩岩片、粉砂质板岩岩片、片理化火山碎屑岩岩片、板理化沉凝灰岩岩片和片岩岩片组成,块体之间以脆性或韧性断层接触。

(2)含斜长角闪岩透镜体绿片岩岩片、块状大理岩岩片的形成环境可能为大陆裂谷环境，形成时代为 1123Ma±110Ma,即中元古代,应归属于万保沟群。

(3)粉砂质板岩岩片、片理化火山碎屑岩岩片和板理化沉凝灰岩岩片是一套弧盆体系下形成的火山-沉积建造，可能是由于早古生代古大洋俯冲作用,之后通过构造作用复合拼贴而形成的。岛弧火山岩的年龄为 499Ma±11Ma，暗示早古生代古洋盆的俯冲时间应早于晚寒武世。

(4)片岩(二云母片岩、绿片岩等)岩片应为早古生代洋盆俯冲过程中形成的增生楔内部的物质,形成时代需进一步做工作。

致谢:野外工作和室内测试得到陈守建、赵振明老师和辜平阳、陈奋宁、陈锐明同志的指导和帮助,西安地质矿产研究所岩矿测试中心叶芳、张汉文老师在镜下鉴定中给予帮助,在此一并表示感谢。

参考文献

[1]姜春发,王宗起,李锦轶,等.中央造山带开合构造[M].北京:地质出版社,2000:7-13.

[2]潘裕生,周伟明,许荣华,等.昆仑早古生代地质特征与演化[J].中国科学(D 辑),1996,26(4):302-307.

[3]边千韬,赵大升,叶正仁,等.初论昆秦祁缝合系[J].地球学报,2002,23(6):501-508.

[4]肖文交,周辉, Windly B F,等.西昆仑造山带复式增生楔的构造特征与演化[J].新疆地质,2003,21(1):31-36.

[5]李荣社,计文化,杨永成,等.昆仑山及其邻区地质[M].北京:地质出版社,2008:1-140.

[6]李荣社,计文化,赵振明,等.昆仑早古生代造山带研究进展[J].地质通报,2007,26(4):373-382.

[7]青海省地矿局.青海省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997:46-48.

[8]季强.青海东昆仑中段早寒武世小壳动物群的发现及其地质意义[J].中国区域地质,1997,(4):428-431.

[9]阿成业,王毅智,任晋祁,等.东昆仑地区万保沟群的解体及早寒武世地层的新发现[J].中国地质,2003,30(2):199-206.

[10]魏启荣,李德威,王国灿.东昆仑万保沟群火山岩(Pt_{2w})岩石地球化学特征及其构造背景[J].岩石矿物学杂志,2007,27(1):97-106.

[11]蔡雄飞,魏启荣.东昆仑万保沟岩群洋岛地层序列特征和构造古地理的恢复[J].地层学杂志,2007,31(2):117-126.

[12]徐强.东昆仑造山带早古生代沉积环境和盆地演化[J].特提斯地质,1996,20(20):85-101.

[13]许志琴,李海兵,杨经绥,等.东昆仑山南缘大型转换挤压构造带和斜向俯冲作用[J].地质学报,2001,75(2):156-164.

[14]Yuan H L,Gao S, Liu X M,et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Geostandard and Geoanalytical Research, 2004,28(3):353-370.

[15]Gao S,Rudniek R L,Yuan H L,et al.Recycling lower continental crust in the north China craon[J].Nature,2004,432:892-897.

[16]Ludwig K R. Isoplot 3.0—A geochronological toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochronology Certer,Spec. Pup.,2003,4:1-70.

[17]王国灿,王青海,简平,等.东昆仑前寒武纪基底变质岩系的锆石 SHRIMP 年龄及其构造意义[J].地学前缘,2004,11(4):481-490.

[18]王国灿,魏启荣,贾春兴,等.关于东昆仑地区前寒武纪地质的几点认识[J].地质通报, 2007,26(8):929-937.

[19]伍光英,马铁球,柏道远,等.湖南宝山花岗闪长质隐爆角砾岩的岩石学、地球化学特征及锆石 SHRIMP 定年[J].现代地质,2005,19(2):198-204.

[20]赵俊香,陈岳龙,李志红.康定杂岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J].现代地质,2006, 20(3):378-385.

[21]莫宣学,罗照华,邓晋福,等.东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J].高校地质学报,2007,13(3):403-413.

[22]任军虎,柳益群,冯乔,等.东昆仑清水群辉绿岩脉地球化学及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[J].岩石学报,2009, 25(25):1135-1145.

① 青海省地质矿产局.区域地质调查报告(1:20 万纳赤台幅、格尔木市幅).1981:120-154.

② 中国地质大学(武汉).区域地质调查报告(1:25 万不冻泉幅).2005.

③ 青海省地调院.区域地质矿产调查报告(1:5 万青办食宿站幅、没草沟幅).2002.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net