

柴北缘锡铁山滩涧山群 c 岩性组的时代 归属及其物源特征

付建刚^{1,2)}, 梁新权¹⁾, 王策^{1,2)}, 蒋英^{1,2)}, 周云^{1,2)}, 潘传楚³⁾, 钟永生⁴⁾, 杨永强⁵⁾, 王泽利⁶⁾

1) 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室, 广州, 510640;

2) 中国科学院大学, 北京, 100049; 3) 中国科学院广州地球化学研究所长沙矿产勘查中心, 长沙, 410013;

4) 西部矿业股份有限公司锡铁山分公司, 青海锡铁山, 816203; 5) 中国地质大学, 北京, 100083;

6) 山东科技大学, 山东青岛, 266510

内容提要:锡铁山滩涧山群 c 岩性组主要由轻微变质的紫红色砾岩、含砾砂岩、长石石英砂岩和粉砂岩等组成, 因后期强烈构造改造, 以“岩片”形式夹持于滩涧山群 b 岩性组和 d-1 岩性组之间。长期以来, 它一直与 a、b、d 岩性组一起被归属为晚奥陶世滩涧山群。本文在野外观察基础之上, 对来自锡铁山地区滩涧山群 c 岩性组紫红色含砾砂岩中的大量碎屑锆石进行了 LA-ICPMS U-Pb 年龄测试, 所测锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 或²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄变化范围为 429~2636 Ma, 它具有 1 个大约 431 Ma 显著峰值。此外, 尚有大约 456 Ma、908 Ma 和 1847Ma 3 个次要年龄峰值。最小峰值 431 Ma 说明 c 岩性组沉积年龄应晚于 431 Ma, 可能为晚志留世—早泥盆世。年龄在 431Ma 和 456Ma 左右碎屑锆石大都呈自形—半自形, 包括岩浆成因和变质成因锆石, 说明盆地碎屑物质主要来自就近源区锡铁山的加里东期岩浆岩和变质岩, 同时说明了源区经历了加里东期的强烈岩浆活动以及随后近于同期的强烈变质作用, 这与锡铁山地区早古生代强烈的陆壳俯冲碰撞和超高压变质作用时代相一致。857~937Ma 和 1610~1992Ma 的碎屑锆石的存在说明锡铁山地区曾存在前寒武纪地层或者是经历了前寒武纪的构造热事件, 前寒武纪地层为 c 岩性组提供了部分碎屑物源。

关键词: LA-ICPMS U-Pb 年龄; 碎屑锆石; c 岩性组; 滩涧山群; 锡铁山

滩涧山群, 原指分布于柴北缘赛什腾山万洞沟及滩涧山一带由浅变质碎屑岩、变中—基性火山岩夹生物碎屑灰岩和大理岩构成的一套浅变质绿色岩系(青海省地层表编写小组, 1980)。后来, 其分布范围被扩展至整个柴达木盆地北缘和西南缘(青海省地质矿产局, 1991; 孙崇仁, 1997)。因滩涧山群中的 a、b 火山—碎屑岩性组赋存有重要的铅、锌、铜、金等多金属矿床, 长期以来备受地学工作者关注和研究(邓吉牛, 1999; 冯志兴等, 2010; 宋述光等, 2011; 王莉娟等, 2009; 邬介人等, 1987; 吴昌志等, 2008; 吴冠斌等, 2010; 张德全等, 2005)。高晓峰等(2011)曾利用 LA-ICPMS 锆石定年方法限定了柴南缘祁漫塔格地区滩涧山群火山岩(玄武岩)形成时代为 443.1±7.3 Ma; 史仁灯等(2004)测得柴北缘吉绿

素、双口山滩涧山群玄武安山岩中的锆石 U-Pb 年龄为 514.2±8.5 Ma; 梁新权等^①利用 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测年发现锡铁山滩涧山群 a-1 与 d-3、d-4, a-2、b 与 d-1、d-2 火山—碎屑沉积岩性组是同时异相产物, 前者形成时代为 460 Ma 左右, 后者形成时代约 445 Ma 左右。显然, 随着 SHRIMP 和 LA-ICPMS 等定年手段的应用, 滩涧山群中包含火山岩的 a、b 和 d 等火山—碎屑岩性组形成时代的研究取得了长足的进展(孟繁聪等, 2005; 张德全等, 2001; 张建新等, 2000; 赵风清等, 2003)。但滩涧山群中无火山岩的紫红色砾岩组, 即 c 岩组, 目前资料很少, 在时代归属问题上一直分歧较大(白耀斗, 1994; 邓吉牛, 1999; 李峰等, 2006; 青海省地层表编写小组, 1980)。在 20 世纪 50 年代, 其被笼统定为

注: 本文为国家自然科学基金(41173066)和西部矿业股份有限公司科研项目资助的成果。

收稿日期: 2013-03-30; 改回日期: 2013-05-09; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 付建刚, 男, 1987 年生。博士研究生在读, 构造地质学专业。通讯地址: 501640, 广州市天河区科华街 511 号, 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室; Email: fujiangang@gig.ac.cn; 联系电话: 020-85290039。通讯作者: 梁新权, 男, 1964 年生。研究员, 主要从事于构造、沉积、地球化学等工作。通讯地址: 501640, 广州市天河区科华街 511 号, 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室, 电话: 020-85290113; Email: liangxq@gig.ac.cn。

上泥盆统阿木尼克组^①;70年代中、后期,青海省地矿局第一区调队将紫红色灰紫色砂砾岩地层划为上奥陶统滩间山群^②。李峰等(2007)人曾获得c岩组泥质岩 Rb-Sr 变质等时线年龄 313Ma,在石炭世范围,此年龄为变质年龄,并将进一步其沉积时代归属早志留纪。最近,我们对来自锡铁山地区滩间山群c岩组碎屑锆石做了大量的 U-Pb 年龄测试,获得碎屑锆石的最小年龄峰值为 431Ma 左右,说明c岩组沉积年龄应该晚于 431Ma,从而为滩间山群c组的形成时代提供新的证据。在此基础上,探讨了锡铁山滩间山群c岩性组的物源组成特征,从而为进一步研究柴北缘地区大地构造演化提供约束。

1 滩间山群与c岩性组

锡铁山地区位于柴北缘构造带的中段,在早古生代经历了强烈的陆壳俯冲碰撞和超高压变质作用(Zhang Jianxin et al., 2005; Yang Jingsui et al., 2002; Song Shuguang et al., 2003; 宋述光等, 2007; 许志琴等, 2003; 张贵宾等, 2012; 张建新等, 2003)。该区滩间山群呈北西西向带状展布,长约 5500m,宽约 800m,其北东侧和南西侧分别与达肯大坂岩群和第三系呈断层接触,局部地段被晚泥盆世阿木尼克组不整合覆盖(图 1)。滩间山群大多发生绿片岩相变质作用和强烈的韧性剪切作用,滩间山群 4 个岩组呈“单斜状”产出(邬介人等, 1987)、组与组之间整合接触关系的认识是不可靠的。野外观察显示,组与组之间岩性组合差异明显,均为断层接触关系。在锡铁山沟、无名沟、中间沟及断层沟一带,滩间山群底部向“达肯大坂群”过渡的韧性剪切带中,岩石韧性剪切变形明显,具有强烈糜棱岩化或片理化,呈“构造岩片”相互叠置,所称的灰绿色石英斜长片岩、绿泥石片岩、绿帘石片岩、石英绢云母片岩,均为遭受了强烈的韧性剪切变形的构造岩,属糜棱岩、超糜棱岩和干糜岩(汪劲草等, 2000)。青海第五地质队(1988)^③将锡铁山滩间山群从北东向南西依次为:①下部火山—沉积岩组(O_3tn^a , 又称 a 岩性组),包括下部基性、酸性火山岩互层段(O_3tn^{a-1})和上部正常沉积岩段(O_3tn^{a-2} , 主要赋矿层位);②中基性火山碎屑岩组(O_3tn^b , 又称 b 岩性组);③紫红色砂砾岩组(O_3tn^c , 又称 c 岩性组);④上部中基性火山岩组(O_3tn^d , 又称 d 岩性组),包括下部中基性火山碎屑岩段(O_3tn^{d-1})、正常碎屑沉积岩段(O_3tn^{d-2})、上部中基性火山碎屑岩段(O_3tn^{d-3})、顶部基性熔岩段(O_3tn^{d-4})。地区出露的晚泥盆世阿木尼克组,没有

变质,主要为杂色砾岩、石英砂岩夹粉砂岩、火山岩及灰岩,呈正粒序沉积,底部见砾岩,具磨拉石建造,通过与c岩性组对比,碎屑沉积物粒径明显小于c岩性组,与下覆c岩性组呈不整合接触,沉积时代为晚泥盆世。

实际上,滩间山群中c岩性组在变质程度、岩性组成及构造变形等与滩间山群a、b、d岩性组是不协调的。它主要由呈轻微变质的紫红色底砾岩、含砾砂岩、细粒长石石英砂岩及细砂岩组成。滩间山群底砾岩砾石成分复杂,大小不等,包括灰绿色绿泥石片岩、千枚状板岩、石英岩及少量的大理岩。c岩组总体呈下粗上细,有轻微的低绿片岩相变质,呈宽缓的褶皱变形,但构造变形明显比滩间山群其他组要弱,原岩结构构造较清晰。该岩性组与区域上牦牛山组(孙崇仁, 1997)相当,牦牛山组由紫红色砾岩、砂岩、泥板岩、火山岩组成,下部主要以灰绿色、紫红色砾岩、砂砾岩组成的磨拉石建造为主,上部由火山岩、火山碎屑岩组成,上被阿木尼克组不整合覆盖,底部不整合于早古生代地层之上。在锡铁山沟,c岩性组与 O_3tn^b 呈断层(F2)接触(图 2a),与 O_3tn^{d-1} 绿片岩系呈不整合接触(图 2b)。在中间沟断层沟一带,时代较新的阿木尼克组 D_3a 平行不整合于c岩性组之上(图 2c)。

2 样品特征及分析方法

样品 2010XTS-05,为含砾石英砂岩、砂岩,具粒序层理,砾石包括石英岩、绿泥石片岩,采自锡铁山矿区 007 勘探线(图 1)钻孔 ZK44007-16 约 200~205m 处。该钻孔中c岩组位于孔深 64~330m,厚度约为 270m 左右。

样品 2010XTS-05 重量大约是 3kg 左右。锆石的分选工作是在河北廊坊诚信地质服务公司进行,首先对样品进行常规人工重砂、重液、电磁仪等多种方法分离,然后在双目镜下选择透明、无裂隙、无包裹体且有代表性的锆石颗粒,将待测的锆石颗粒黏贴在环氧树脂上并制成样品靶,磨至锆石颗粒中心部位后抛光,样品抛光后对样品靶进行喷碳,之后进行锆石颗粒 CL 显微结构观察并对其照相,在此基础上选择合适的锆石颗粒进行 U-Pb 年龄测定。锆石的 CL 图像照相和锆石的 LA-ICPMS U-Pb 定年在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。锆石的 LA-ICPMS U-Pb 定年所使用的 ICP-MS 型号为 Resolution M50 和 Agilent 7500a,激光剥蚀系统为美国 Resonetics 公

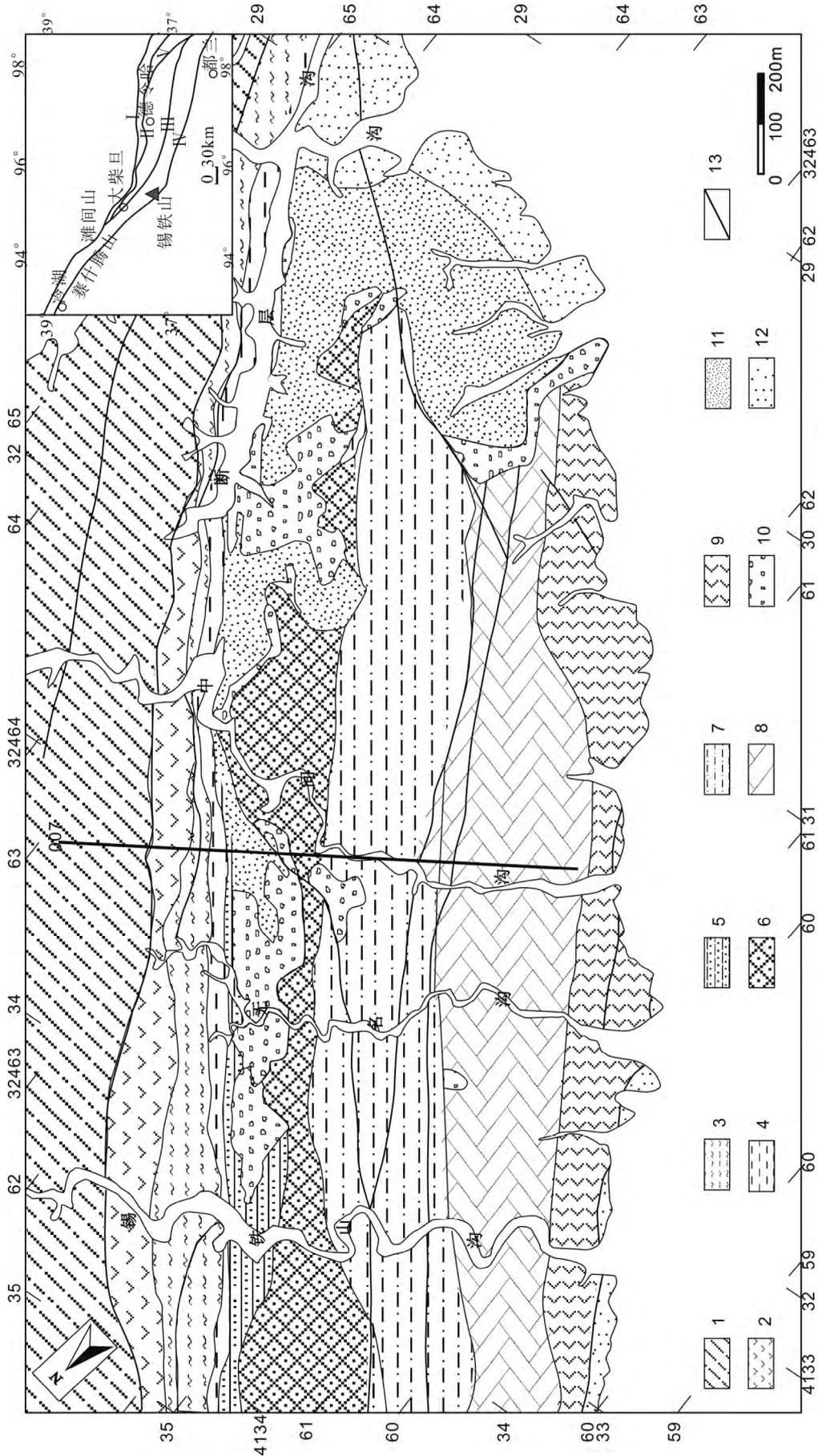


图1 柴北缘锡铁山地区地质简图

Fig.1 Simplified geological map of the Xitishan areain north Qaidam

1—Pt,dkc, 下元古界达肯大坂群; 2—O₃tn^{a-1}, 基性与酸性火山碎屑岩; 3—O₃tn^{a-2}, 热水沉积和正常沉积岩; 4—O₃tn^d, 中性火山碎屑岩; 5—O₃tn^c, 紫红色碎屑岩; 6—O₃tn^{d-1}, 基性火山碎屑岩; 7—O₃tn^{d-2}, 正常沉积岩; 8—O₃tn^{d-3}, 基性火山碎屑岩; 9—O₃tn^{d-4}, 基性熔岩; 10—D₃a, 晚泥盆系阿木尼克组, 杂色砂岩及碎屑岩; 11—C₃c, 早石炭系城壕沟组; 12—N, 第三系上干柴沟组; 13—断层。 I—宗务隆山北缘断裂; II—鱼卡-乌兰断裂; III—鱼卡-乌兰断裂; IV—柴北缘断裂; V—鄂拉山断裂

I—Pt,dkc, Early Proterozoic Dakendaban Group; 2—O₃tn^{a-1}, basic and acid volcaniclastic rock; 3—O₃tn^{a-2}, hot water deposit and sedimentary rock; 4—O₃tn^d, intermediate volcaniclastic rock; 5—O₃tn^c, aubergine elcastic rocks; 6—O₃tn^{d-1}, basic volcaniclastic rock; 7—O₃tn^{d-2}, normal sedimentary rock; 8—O₃tn^{d-3}, basic volcaniclastic rock; 9—O₃tn^{d-4}, basic lava; 10—D₃a, mottled sandstone and clastic rocks of Late Devonian Amunike Formation; 11—C₃c, Early Carboniferous Chengqiangou Formation; 12—N, Tertiary Ganchaigou Formation; 13—fault. I—north Zongwulongshan fault; II—south Zongwulongshan fault; III—Yuka-Wulan fault; IV—north Qaidam fault; V—Elashan fault

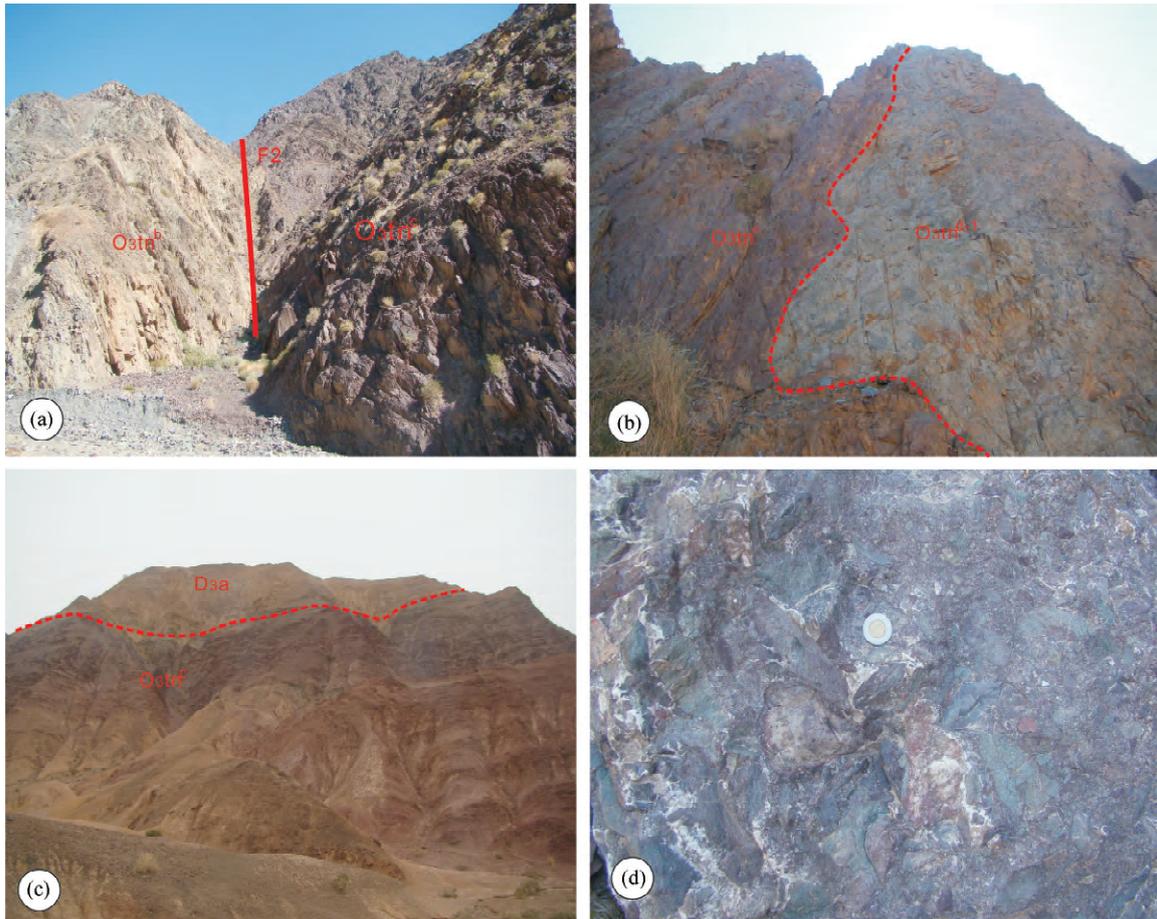


图 2 柴北缘锡铁山地区 c 岩性组和相邻地层的接触关系野外露头照片

Fig. 2 Outerop photographs of the contact relation between the c Formation and adjacent Formation in the Xitieshan, north Qaidam

(a)— O_3tn^b 和 O_3tn^a 呈断层 F2 接触, 锡铁山沟; (b)— O_3tn^a 和 O_3tn^d 呈不整合接触, 锡铁山沟; (c)—阿木尼克组 D_3a 和 O_3tn^a 呈平行不整合接触, 断层沟; (d)— O_3tn^a 下部底砾岩, 锡铁山沟
 (a)—Fault (F2) contact relationship between the O_3tn^b and O_3tn^a , Xitieshangou; (b)—unconformity between the O_3tn^a and O_3tn^d , Xitieshangou; (c)—parallel unconformity between the D_3a and O_3tn^a , Duancenggou; (d)—the lower basal conglomerate of the O_3tn^a , Xitieshangou

司的 Resolution M50 深紫外(DUV)193 nm ArF 准分子激光剥蚀仪。分析中采用的激光斑束直径为 $31 \mu\text{m}$, 频率为 8Hz, 以 Si 作为外标, 哈佛大学标准锆石 TEMORA 作为外标校正。同位素比值数据处理采用 ICPMS Data cal 7.2 软件平滑方法进行, 年龄计算采用 ISOPLOT(3.00 版)(Ludwig, 2003) 软件进行。具体分析方法和步骤见参考文献 (Andersen, 2002; Yuan Honglin et al., 2004)。

3 分析结果

样品 2010XTS-05 中的锆石在透反射显微镜下观察呈浅黄—浅褐黄色, 锆石粒径范围 $80 \sim 150 \mu\text{m}$, 长宽比约为 1:2。一般情况下, 在同一锆石颗粒

中, 锆石 U 含量高的区域, 在 CL 图像上颜色就深一些, 呈黑到暗灰色(图 3c、3g); 而 U 含量低的区域, 在 CL 图像上颜色较浅, 呈亮灰白色(图 3a、3b)。CL 图像揭示出样品中有两种明显不同内部结构的锆石, 一类是具有明显岩浆成因的振荡环带结构(图 3a、3b、3c), 表明原岩物质主要来自于火成岩的剥蚀区(吴元保等, 2004); 另一类是无任何环带现象, 整体发光弱, 大部分呈深灰色或黑色, 具典型变质锆石特征。部分锆石颗粒的边部出现或窄或宽的白色亮边(图 3g、3h、3i)。锆石的外部形态从自形到它形均有, 锆石颗粒自形程度较高, 则来自较近的物源区(图 3a、3b、3d、3e、3f); 锆石的外部形态大都自形到半自形, 说明来自较近的物源区(图 3a、3b、3d、3e、

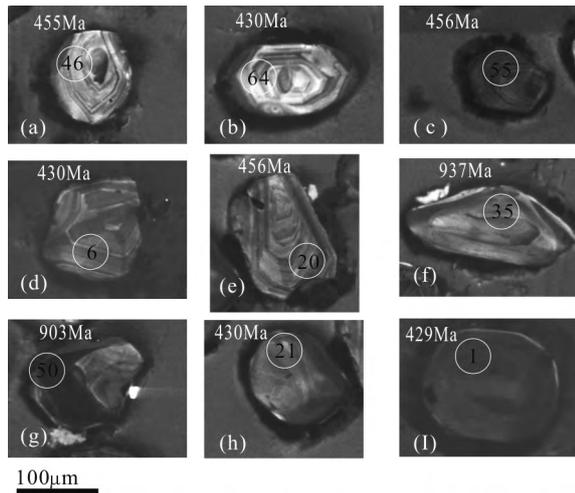


图 3 柴北缘锡铁山滩涧山群 c 岩性组中典型锆石 CL 照片,圈内数字代表测试点号

Fig. 3 CL images of detrital zircons in the c Formation of the Tanjianshan Group from the Xitieshan, north Qaidam, number in the circle represents test dots

3f),个别锆石形态显示它形,呈浑圆状,可能是变质成因的锆石(图 3g、3h、3i)。

该样品共测试了 69 个锆石分析点,测试结果见表 1,其中 6 个明显不谐和(谐和度小于 95%),其他 63 个点落在谐和曲线上或附近(图 4a)。63 个谐和点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 或 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄变化范围 429~2636Ma,最小峰值为 431Ma(图 4b),说明该套沉积岩沉积年龄应晚于 431Ma。其中 22 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $431\pm 3\text{Ma}$ (图 4c),为变质锆石年龄。其 Th/U 比值很低,为 0.01~0.08,明显 <0.1 ,同时其锆石 CL 图像没有明显环带(图 3 h 和 3i),具有典型变质锆石特征,与其他学者(Zhang Cong et al., 2012; Zhang Jianxin et al., 2008)所获得的“达肯大坂群”中的变质锆石特征相似。11 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $431\pm 5\text{Ma}$ (图 4d),为岩浆锆石(Th/U=0.15~1.49)结晶年龄,代表了加里东期一次重要的岩浆侵位或喷发年龄。另外,有 6 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $456\pm 6\text{Ma}$ (图 4e),亦可能为变质锆石(Th/U=0.01~0.09,明显 <0.1)年龄。6 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $456\pm 7\text{Ma}$ (图 4f),为岩浆锆石(Th/U=0.12~0.63)结晶年龄,代表了加里东早期一次重要的岩浆侵位或喷发年龄。此外,6 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于 857~937 Ma,产生 1 个 908Ma 的小峰值,除测点 2010XTS-05.49 Th/U=0.09 外,其他 5 个点 Th/

U=0.1~0.60(表 1),结合锆石 CL 图像,可能更多反映出新元古代岩浆结晶锆石年龄,当然不排除变质成因锆石的存在。9 个测点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄介于 1610~1992Ma,反映了该样品中存在中古元古代碎屑锆石的年龄信息。有一个测试点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄为 2636Ma,说明该样品尚有太古代碎屑锆石年龄。

4 讨论

4.1 c 岩性组的沉积时代及归属

近年来,众多学者在柴北缘锡铁山地区做了大量的地质工作。关于该地区 c 岩性组紫红色砂砾岩时代的研究,20 世纪 50 年代笼统地将其定为上泥盆统阿木尼克组^①;70 年代末期青海省地矿局第一区调队^②将紫红色灰紫色砂砾岩地层划为上奥陶统滩间山群;白耀斗(1994)将其一分为二,认为紫红色地层的下部紫红色变粉砂—细砂岩夹绿色粉砂岩和含砾粗砂岩,应为上奥陶统滩间山群砂岩组;上部暗紫红色变成分砾岩,含砾砂岩夹紫红色细砂岩透镜体等岩系不整合于砂岩组之上,应划归上泥盆统阿木尼克组;袁奎荣等(1996)认为,c 岩性组是滩间山群最老的地层;邓吉牛(1999)认为滩间山群的紫红色岩组,层位应当是滩间山群的最底部;李峰等(2007)获得锡铁山沟紫红色千枚岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $313\pm 1\text{Ma}$,在石炭世范围,此年龄代表变质年龄,并将 c 岩性组划归早志留世。

本文对滩涧山群 c 岩性组进行碎屑锆石 U-Pb 法测定,所得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 或 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄介于 429Ma 和 2636Ma 之间,最年轻的峰值为 431Ma,碎屑锆石常被用于变质沉积岩最大沉积年龄的制约,其沉积年龄要晚于碎屑锆石最年轻的峰值年龄;另一方面,由于该套紫红色砂砾岩组合在中间沟地带被晚泥盆世阿木尼克组(D_3a)磨拉石建造平行不整合覆盖,所以 c 岩性组形成时代应该要早于晚泥盆世阿木尼克组(D_3a)的沉积时代,初步推测其沉积时代应在 431~372Ma 之间。

从区域上看,c 组岩性组合与东昆仑牦牛山组下部层位类似,牦牛山组主要分布于中、南祁连山和柴达木盆地边缘,其下部为碎屑岩组,由砾岩和砂砾岩等磨拉石建造组成;上部为火山岩及细碎屑岩组成。最近,陆露等(2010)利用 LA-ICPMS U-Pb 锆石测年,获得上部火山岩形成年龄为 423~400 Ma,从而确定了牦牛山组沉积时代为晚志留—早泥盆世(400~423 Ma)。c 组岩性组合与牦牛山组类似,其

表 1 柴北缘锡铁山滩间山群 c 岩组样品 2010XTS-05 碎屑锆石 LA-ICPMS U-Pb 分析数据
Table 1 LA-ICPMS U-Pb analytical data for detrital zircons in sample 2010XTS-05 of the c Formation of the Tanjianshan Group from the Xitieshan, north Qaidam

序号	点号	Th ²³² (×10 ⁻⁶)	U ²³⁸ (×10 ⁻⁶)	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	谐和 度(%)	
1	2010XTS-05.16	603	972	0.62	0.1427	2.2806	0.0078	0.1145	0.0027	0.3926	2261	94	1206	699	15	58
2	2010XTS-05.10	17	58	0.30	0.1034	2.1561	0.0073	0.1485	0.0036	0.3354	1687	131	1167	893	20	76
3	2010XTS-05.33	0	222	0.00	0.0722	0.6958	0.0088	0.0692	0.0015	0.1834	992	256	536	431	9	80
4	2010XTS-05.32	71	125	0.57	0.1763	7.8738	0.0227	0.3220	0.0073	0.1769	2618	215	2217	1799	36	81
5	2010XTS-05.23	10	632	0.02	0.0652	0.7545	0.0046	0.0820	0.0024	0.3774	789	145	571	508	14	89
6	2010XTS-05.68	42	63	0.67	0.0402	0.3562	0.0071	0.0664	0.0021	0.1813	error		309	414	12	134
7	2010XTS-05.37	7	1213	0.01	0.0594	0.5436	0.0034	0.0692	0.0012	0.3106	583	126	441	431	7	98
8	2010XTS-05.43	8	1045	0.01	0.0525	0.5073	0.0015	0.0691	0.0009	0.4425	306	69	417	431	6	103
9	2010XTS-05.22	2	240	0.01	0.0559	0.0042	0.0042	0.0691	0.0012	0.2231	450	138	435	430	7	99
10	2010XTS-05.14	7	604	0.01	0.0557	0.0033	0.0033	0.0692	0.0012	0.2779	443	133	438	432	7	98
11	2010XTS-05.01	11	752	0.01	0.0524	0.0032	0.0032	0.0689	0.0011	0.2598	306	136	412	429	7	104
12	2010XTS-05.06	5	327	0.02	0.0523	0.0036	0.0036	0.0691	0.0014	0.3023	298	125	412	431	9	104
13	2010XTS-05.03	4	250	0.02	0.0559	0.0047	0.0047	0.0691	0.0013	0.2101	456	186	439	431	8	98
14	2010XTS-05.26	10	526	0.02	0.0591	0.0056	0.0056	0.0692	0.0013	0.1969	569	209	452	432	8	96
15	2010XTS-05.40	26	1286	0.02	0.0560	0.0022	0.0022	0.0691	0.0015	0.4647	454	89	444	431	9	97
16	2010XTS-05.05	15	578	0.03	0.0504	0.0030	0.0030	0.0690	0.0015	0.3812	213	134	418	430	9	103
17	2010XTS-05.02	12	424	0.03	0.0554	0.0036	0.0036	0.0691	0.0012	0.2743	428	146	428	431	7	101
18	2010XTS-05.21	10	354	0.03	0.0564	0.0034	0.0034	0.0691	0.0013	0.2959	478	135	439	431	8	98
19	2010XTS-05.66	19	598	0.03	0.0563	0.0035	0.0035	0.0691	0.0013	0.2999	465	137	443	431	8	97
20	2010XTS-05.15	9	251	0.04	0.0553	0.0048	0.0048	0.0690	0.0017	0.2690	433	194	437	430	10	98
21	2010XTS-05.65	68	1725	0.04	0.0563	0.0032	0.0032	0.0691	0.0019	0.4569	465	128	440	431	12	98
22	2010XTS-05.39	33	619	0.05	0.0553	0.0025	0.0025	0.0691	0.0011	0.3469	433	102	433	431	7	99
23	2010XTS-05.17	13	239	0.05	0.0558	0.0051	0.0051	0.0690	0.0013	0.2083	456	206	436	430	8	99
24	2010XTS-05.08	50	840	0.06	0.0501	0.0023	0.0023	0.0691	0.0011	0.3357	211	103	411	431	7	105
25	2010XTS-05.36	59	969	0.06	0.0612	0.0041	0.0041	0.0692	0.0012	0.2816	656	144	446	431	8	97
26	2010XTS-05.42	102	1560	0.07	0.0557	0.0015	0.0015	0.0689	0.0015	0.6620	439	61	435	429	9	99
27	2010XTS-05.09	52	681	0.08	0.0518	0.0027	0.0027	0.0690	0.0011	0.3073	280	119	410	430	7	105
28	2010XTS-05.04	42	504	0.08	0.0506	0.0033	0.0033	0.0692	0.0013	0.3047	220	150	419	431	8	103
29	2010XTS-05.45	41	272	0.15	0.0514	0.0026	0.0026	0.0693	0.0010	0.3020	261	115	414	432	6	104
30	2010XTS-05.41	95	593	0.16	0.0563	0.0023	0.0023	0.0691	0.0013	0.3959	465	91	447	431	8	96
31	2010XTS-05.11	106	230	0.46	0.0489	0.0034	0.0034	0.0692	0.0013	0.2687	146	156	419	431	8	103
32	2010XTS-05.67	77	143	0.54	0.0565	0.0051	0.0051	0.0689	0.0014	0.2182	472	202	436	429	8	99
33	2010XTS-05.57	106	178	0.59	0.0555	0.0062	0.0062	0.0693	0.0019	0.2677	432	250	440	432	11	98

续表 1

34	2010XTS-05.24	90	127	0.71	0.0521	0.0059	0.4999	0.0564	0.0693	0.0015	0.1934	300	263	412	38	432	9	105
35	2010XTS-05.34	68	88	0.77	0.0552	0.0084	0.5374	0.0814	0.0691	0.0018	0.1684	420	343	437	54	431	11	99
36	2010XTS-05.38	94	114	0.82	0.0585	0.0066	0.5535	0.0597	0.0690	0.0017	0.2248	546	248	447	39	430	10	96
37	2010XTS-05.62	126	146	0.87	0.0553	0.0046	0.5271	0.0430	0.0691	0.0013	0.2274	433	183	430	29	431	8	100
38	2010XTS-05.64	151	161	0.94	0.0536	0.0054	0.5156	0.0519	0.0691	0.0016	0.2334	354	221	422	35	431	10	102
39	2010XTS-05.69	101	68	1.49	0.0566	0.0093	0.5443	0.0901	0.0693	0.0019	0.1641	476	370	441	59	432	11	98
40	2010XTS-05.55	8	939	0.01	0.0545	0.0068	0.5752	0.0658	0.0733	0.0029	0.3469	394	281	461	42	456	17	99
41	2010XTS-05.44	8	801	0.01	0.0550	0.0017	0.5615	0.0203	0.0732	0.0010	0.3641	413	70	453	13	456	6	101
42	2010XTS-05.19	8	697	0.01	0.0561	0.0026	0.5739	0.0283	0.0732	0.0012	0.3415	454	102	461	18	456	7	99
43	2010XTS-05.52	29	486	0.06	0.0581	0.0051	0.5802	0.0507	0.0733	0.0017	0.2733	600	194	465	32	456	10	98
44	2010XTS-05.48	30	469	0.06	0.0564	0.0038	0.5796	0.0365	0.0735	0.0011	0.2447	478	144	464	23	457	7	98
45	2010XTS-05.27	40	443	0.09	0.0581	0.0079	0.6005	0.0796	0.0734	0.0014	0.1770	600	223	478	47	456	9	96
46	2010XTS-05.47	48	385	0.12	0.0559	0.0032	0.5694	0.0314	0.0733	0.0017	0.4237	450	128	458	20	456	10	100
47	2010XTS-05.54	18	80	0.23	0.0463	0.0072	0.5466	0.0690	0.0735	0.0026	0.2393	13	337	443	48	457	15	103
48	2010XTS-05.07	265	905	0.29	0.0562	0.0026	0.5740	0.0367	0.0735	0.0017	0.3669	461	104	461	21	457	10	99
49	2010XTS-05.58	37	118	0.31	0.0524	0.0060	0.5508	0.0629	0.0733	0.0019	0.2300	302	265	446	41	456	12	102
50	2010XTS-05.46	73	203	0.36	0.0554	0.0036	0.5733	0.0380	0.0732	0.0011	0.2313	432	146	460	25	456	7	99
51	2010XTS-05.20	248	396	0.63	0.0523	0.0029	0.5343	0.0316	0.0733	0.0013	0.2892	298	128	435	21	456	8	105
52	2010XTS-05.60	222	221	1.01	0.0574	0.0036	0.6884	0.0430	0.0862	0.0014	0.2693	509	141	532	26	533	9	100
53	2010XTS-05.25	42	46	0.90	0.0630	0.0084	1.0962	0.1428	0.1226	0.0032	0.2006	706	287	752	69	745	18	99
54	2010XTS-05.49	45	473	0.09	0.0671	0.0044	1.3466	0.0867	0.1422	0.0029	0.3185	843	135	866	38	857	16	99
55	2010XTS-05.53	42	402	0.10	0.0687	0.0062	1.4564	0.1202	0.1495	0.0039	0.3200	900	183	913	50	898	22	98
56	2010XTS-05.51	42	365	0.12	0.0690	0.0052	1.4616	0.1018	0.1503	0.0030	0.2821	898	162	915	42	902	17	99
57	2010XTS-05.59	77	128	0.60	0.0706	0.0051	1.4698	0.1132	0.1504	0.0032	0.2728	946	149	918	43	903	17	98
58	2010XTS-05.50	74	538	0.14	0.0723	0.0052	1.4379	0.1003	0.1505	0.0025	0.2545	994	147	905	42	904	14	100
59	2010XTS-05.35	38	354	0.11	0.0728	0.0059	1.5744	0.0689	0.1565	0.0014	0.2138	1009	165	960	37	937	9	98
60	2010XTS-05.56	24	64	0.37	0.0992	0.0123	3.6841	0.4082	0.2626	0.0082	0.2807	1610	232	1568	89	1503	42	96
61	2010XTS-05.28	554	764	0.72	0.0991	0.0127	3.8554	0.1105	0.2823	0.0015	0.1857	1606	242	1604	61	1603	9	100
62	2010XTS-05.29	117	655	0.18	0.1150	0.0175	4.5949	0.2494	0.2975	0.0038	0.2483	1880	271	1748	98	1679	22	96
63	2010XTS-05.18	46	85	0.54	0.1091	0.0054	4.5157	0.2354	0.2976	0.0052	0.3356	1784	91	1734	43	1679	26	97
64	2010XTS-05.31	146	230	0.63	0.1089	0.0163	4.7742	0.2659	0.3081	0.0030	0.1701	1783	277	1780	98	1731	17	97
65	2010XTS-05.12	111	118	0.94	0.1141	0.0057	4.9555	0.2378	0.3091	0.0054	0.3616	1866	91	1812	44	1736	27	96
66	2010XTS-05.30	19	419	0.05	0.1114	0.0193	5.0064	0.1841	0.3201	0.0022	0.1813	1822	287	1820	91	1790	13	98
67	2010XTS-05.63	73	105	0.70	0.1110	0.0053	4.9061	0.2299	0.3203	0.0053	0.3520	1817	86	1803	40	1791	26	99
68	2010XTS-05.13	48	87	0.56	0.1224	0.0065	5.6806	0.3124	0.3326	0.0060	0.3296	1992	95	1928	48	1851	29	96
69	2010XTS-05.61	86	208	0.41	0.1782	0.0065	11.8424	0.4283	0.4809	0.0065	0.3743	2636	59	2592	34	2531	28	98

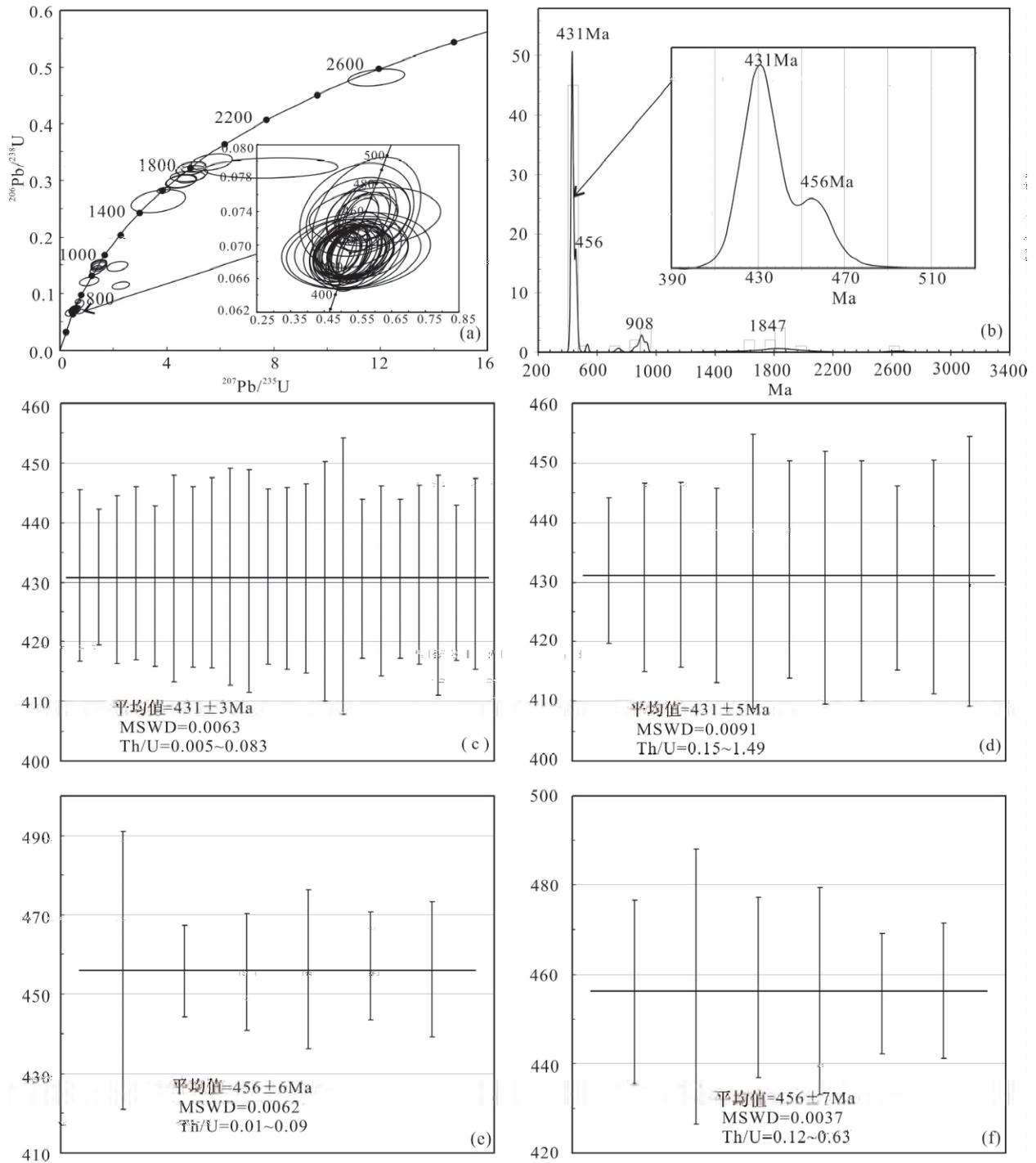


图 4 柴北缘锡铁山滩间山群 c 岩组样品 2010XTS-05 锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)频谱图(b)及加权平均值图 (c,e: 变质锆石;d,f: 岩浆锆石)

Fig. 4 Zircon U-Pb age concordia plots (a); frequency spectrogram (b) and weighted average plots (c,e—metamorphogenic zircon;d,f—magmatogenic zircon) in sample 2010XTS-05 of the c Formation of the Tanjianshan Group from the Xitieshan, north Qaidam

沉积时代也应该为晚志留—早泥盆世(423~400Ma)。从另一方面来看,c岩性组发育区域不平衡,有的地方出露比较齐全,下部发育下细上粗的复理石建造,上部出露下粗上细的磨拉石建造(白耀

斗,1994),是典型前陆盆地建造组合特征。但锡铁山地区只发育下粗上细的磨拉石建造,反映了前陆盆地后期的发展,可能标志早古生代造山的结束。许志琴等(2003)曾利用花岗质糜棱化片麻岩中的白

云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年获得锡铁山超高压变质带的折返结束年龄为 400~406 Ma。柴北缘锡铁山地区奥陶纪弧后盆地火山岩(滩涧山群 a、b、d 组)、晚志留一早泥盆世浅海相磨拉石(c 岩性组)、中一下泥盆统陆相磨拉石(阿木尼克组)的充填序列以及空间分布特征,反映了弧后盆地—前陆盆地—碰撞造山后山前凹陷盆地过渡转化的沉积序列。从而将 c 岩性组沉积年龄归为 423~400Ma,不再属于是晚奥陶世滩涧山群的产物,将其归属为晚志留一早泥盆世比较合理。

4.2 c 岩性组物源区的特征及地质意义

综合 c 岩性组碎屑锆石 U-Pb 年龄频谱图总体的年龄分布特征及锆石 CL 图像揭示的内部结构特征,可以看出在 c 岩性组中,碎屑锆石既有自形程度高的颗粒,也有呈它形、浑圆状的颗粒,说明沉积物源相当复杂。本文获得锡铁山 c 岩性组碎屑锆石年龄主要呈现在 4 个区间:①429~432Ma;②456~458Ma;③857~937Ma;④1610~1992Ma。从年龄分布图(图 4b)可以看出,最年轻的峰值大约为 431Ma。

429~432Ma 的碎屑锆石有 33 颗,占所测锆石约 48%,既有岩浆成因,亦有变质成因。它们大都呈自型一半自形,说明来自近距离的既有变质岩又有岩浆岩发育的物源区。其中 11 颗锆石的 CL 图像显示明显的岩浆生长环带结构,且 Th/U=0.15~1.49,其所测年龄代表岩浆结晶年龄;另 22 颗锆石的 CL 图像不具有岩浆生长环带结构,Th/U=0.01~0.08,明显<0.1,所获得的年龄为变质锆石年龄。前人在锡铁山地区测得的花岗岩或者长英质石英脉侵入年龄为 428Ma 左右(Chen Danling et al., 2012;孟繁聪等,2005),变质岩的变质年龄为 435±7Ma(孟繁聪等,2005)和 433±3Ma(宋述光等,2011),这些年龄与锡铁山 c 岩性组中碎屑锆石所获得的年龄相匹配,说明加里东晚期岩浆作用和变质作用的时差很小,可能为同一区域构造热事件的产物,是俯冲陆壳发生热松弛的记录(孟繁聪等,2008),该时期锡铁山超高压变质岩片榴辉岩全面折返,陆壳发生部分熔融,形成同造山型陆陆碰撞 S 型花岗质岩浆(吴才来等,2007),这些相距较近的岩浆岩带和变质岩带为 c 岩性组提供了重要的物源。

456~458Ma 的碎屑锆石,有 12 颗,同 430 Ma 左右碎屑锆石一样,既有岩浆成因,亦有变质成因。有 6 个变质锆石年龄加权平均值为 456±6Ma,该年龄与区域上柴北缘野马滩超高压变质带榴辉岩的

变质年龄 458±7Ma(宋述光等,2011)以及榴辉岩夹层中副片麻岩的变质年龄 458±6Ma(陈丹玲等,2008)基本一致,表明了物源区在 456Ma 左右,也经历柴北缘的超高压变质作用。而在锡铁山地区的“达肯达坂群”片麻岩和榴辉岩中,同样具有 450Ma 左右的变质年龄(Zhang Cong et al., 2012; Zhang Jianxin et al., 2009),结合锆石颗粒形状,均显示自形,无磨圆特征,说明锡铁山“达肯达坂群”片麻岩和榴辉岩为 c 岩性组提供部分物源。同时有 6 个岩浆锆石年龄加权平均值为 456±7Ma,与柴北缘大柴旦地区古生代花岗岩第一组年龄数据 446±4Ma(吴才来等,2004)基本一致,代表了柴达木陆块向中南祁连板块深俯冲碰撞过程中形成的花岗质岩浆侵入年龄,说明了物源区在 456Ma 左右,发生了与柴北缘超高压变质作用近于同期的岩浆作用。锡铁山与大柴旦和野马滩同属于柴北缘同一构造带,本次研究中我们对锡铁山地区滩涧山群中流纹斑岩进行锆石 U-Pb 测年,获得年龄为 455Ma^①,代表了岩浆的侵入年龄。结合锆石颗粒自形程度较高,为近距离搬运,因此,弧后盆地型的滩涧山群火山碎屑—沉积组是 c 岩性组的重要物源区。同时 c 岩性组底部发育厚层—巨厚层的底砾岩,而其砾石成分大部分是类似滩涧山群变质岩石的绿泥石片岩(图 2d),支持碎屑物质就近来源的观点。

857~937Ma 的碎屑锆石有 6 颗,构成 908 Ma 的小峰值。锆石呈自形一半自形,亦说明来源于近距离的物源区。锡铁山地区“达肯达坂岩群”中发育与此年龄相匹配的片麻岩和变质花岗岩(Zhang Jianxin et al., 2006; Zhang Cong et al., 2011, 2012; 张建新等, 2003)。张建新等(2003)和 Zhang Cong 等(2011)曾分别报道了锡铁山地区花岗片麻岩 952±13Ma 的 TIMS 法锆石 U-Pb 上交点年龄和 877±8 Ma 的榴辉岩原岩岩浆结晶年龄;同时获得含石榴石矽线石黑云母副片麻岩 854±20~996±22 Ma 和 945±7 Ma 锆石 SHRIMP 变质年龄。陈能松等(2007)曾获得柴北缘沙柳河和全吉河花岗岩岩浆结晶年龄为 920~910 Ma;最近,我们在锡铁山地区亦获得了 905~930 Ma 来自达肯达坂岩群花岗质片麻岩的锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄^②。显然,锡铁山地区与柴北缘一样,发生了类似华南扬子板块的晋宁期岩浆作用,构造—岩浆—变质作用可能持续了 100 Ma 以上,大致介于 950Ma 至 850Ma 之间。因此,锡铁山 c 岩性组中新元古代碎屑物质可能来自就近的锡铁山地区所发育的新元古

代形成的花岗质片麻岩或者副片麻岩。

1610~1992Ma的碎屑锆石有9颗,构成一个1847Ma的年龄峰值。前人曾通过柴北缘绿梁山及锡铁山地区“达肯大坂群”中片麻岩的研究,获得的继承性锆石年龄多在中元古代—古元古代(Zhang Jianxin et al., 2008)。在德令哈二长花岗岩中,发育较多的古元古代末期镁铁质岩墙,锆石 U-Pb 年龄为 $1834 \pm 27/-19$ Ma(廖梵汐等, 2012)。综合这些年龄信息,说明柴北缘以及锡铁山地区亦响应了全球 Columbia 超大陆汇聚事件(张璐等, 2011)。锡铁山 c 岩性组部分物源来自柴北缘锡铁山“达肯大坂群”中的片麻岩。

5 结论

(1) 锡铁山 c 岩性组紫红色砂砾岩形成时代晚于 431Ma, 其沉积时间应在 423~400Ma, 不属于晚奥陶世, 是晚志留—早泥盆世沉积建造。

(2) 锡铁山 c 岩性组中含大量的 429~432Ma 和 456~458Ma 碎屑锆石, 表明了该源区同遭受了柴北缘早古生代加里东期构造热事件的影响, 大陆深俯冲和随后的超高压片岩折返过程中形成的岩浆岩和变质岩, 为 c 岩性组提供了物质来源。

(3) 锡铁山 c 岩性组中 857~937Ma 和 1610~1992Ma 古老碎屑锆石的存在, 说明源区可能经历了前寒武晋宁期造山作用和全球 Columbia 超级大陆的拼合事件, 可能存在更古老的太古代结晶基底, 这些前寒武纪的岩石为 c 岩性组提供了重要的物源。

致谢: 在野外工作期间, 得到了西部矿业股份有限公司和湖南省有色地质勘查局二一七队领导和技术专家的热心帮助。两位匿名审稿人对本文提出了建设性的宝贵意见, 在此一并表示感谢!

注释

- ① 梁新权, 潘传楚, 付建刚, 蒋英, 周云, 王策. 2012. 中国科学院广州地球化学研究所科研报告: 锡铁山铅锌矿中间沟—断层沟矿段构造—沉积与成矿关系研究及其找矿靶区厘定.
- ② 锡铁山地质队. 1958. 柴达木锡铁山铅锌矿床最终地质勘探报告.
- ③ 青海第五地质队. 1988. 青海省锡铁山铅锌矿床地质特征与成矿规律研究.
- ④ 青海省区调一队. 1978. 青海省大柴旦幅(锡铁山)1/20 万区调报告.

参考文献

白耀斗. 1994. 青海锡铁山地区紫红色层的时代归属. 地层学杂志,

18(4): 316~317.

- 陈丹玲, 孙勇, 刘良. 2008. 柴北缘野马滩超高压榴辉岩中副片麻岩夹层的锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报, 24(5): 1059~1067.
- 陈能松, 夏小平, 李晓彦, 孙敏, 徐平, 柳小明, 王新宇, 王勤燕. 2007. 柴北缘花岗片麻岩的岩浆作用计时和前寒武纪地壳增长的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据. 岩石学报, 9(02): 192~201.
- 邓吉牛. 1999. 青海锡铁山矿区褶皱构造及其找矿预测. 岩土工程界, 8(5): 283~288.
- 冯志兴, 孙华山, 吴冠斌, 王玉奇. 2010. 青海锡铁山铅锌矿床类型刍议. 地质论评, 56(04): 501~512.
- 高晓峰, 校培喜, 贾群子. 2011. 滩间山群的重新厘定——来自柴达木盆地周缘玄武岩年代学和地球化学证据. 地质学报, 85(9): 1452~1463.
- 李峰, 吴志亮, 李保珠, 汪林峰. 2006. 柴达木盆地北缘滩间山群新厘定. 西北地质科学, 39(3): 83~91.
- 李峰, 吴志亮, 李保珠. 2007. 柴达木北缘滩间山群时代及其地质意义. 大地构造与成矿学, 31(2): 226~233.
- 廖梵汐, 龚松林, 董彦君, 王勤燕, 张璐, 陈能松. 2012. 柴达木盆地北缘全吉地块东端变基性岩体 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄中元古代陆块裂解的证据. 地质通报, 31(8): 1279~1286.
- 陆露, 吴珍汉, 胡道功, Patrick J B, 郝爽, 周春景. 2010. 东昆仑牦牛山组流纹岩锆石 U-Pb 年龄及构造意义. 岩石学报, 26(4): 1150~1158.
- 孟繁聪, 张建新, 杨经绥. 2005. 柴北缘锡铁山早古生代 HP/UHP 变质作用后的构造热事件——花岗岩和片麻岩的同位素与岩石地球化学证据. 岩石学报, 21(01): 45~56.
- 孟繁聪, 张建新. 2008. 柴北缘绿梁山早古生代花岗岩浆作用与高温变质作用的同步性. 岩石学报, 24(07): 1585~1594.
- 青海省地层表编写小组. 1980. 西北地区区域地层表(青海省分册). 北京: 地质出版社, 1~227.
- 青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1~661.
- 史仁灯, 杨经绥, 吴才来, Tsuyoshi I, Takafumi H. 2004. 柴达木北缘超高压变质带中的岛弧火山岩. 地质学报, 78(01): 52~64.
- 宋述光, Niu Yaolin, 张立飞. 2007. 榴辉岩的两种变质演化轨迹和俯冲大陆地壳的差异折返——以柴北缘都兰超高压地体为例. 高校地质学报, 13(03): 515~525.
- 宋述光, 张聪, 李献华, 张立飞. 2011. 柴北缘超高压带中锡铁山榴辉岩的变质时代. 岩石学报, 27(04): 1191~1197.
- 孙崇仁. 1997. 青海省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~340.
- 汪劲草, 黄永平, 傅锐. 2000. 对青海锡铁山矿区几个关键地质问题的认识. 矿产与地质, 14(01): 11~15.
- 王莉娟, 彭志刚, 祝新友, 邓吉牛, 王玉往, 朱和平. 2009. 青海省锡铁山 Sedex 型铅锌矿床成矿流体来源及演化: 流体包裹体及同位素地球化学证据. 岩石学报, 25(11): 3007~3015.
- 邬介人, 任秉琛, 张莓, 高栋丞, 赵统, 张汉文, 宋志高, 张群力. 1987. 青海锡铁山块状硫化物矿床的类型及地质特征. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, (20): 1~70.
- 吴才来, 杨经绥, 许志琴, Joseph L W, Trevor I, 李海兵, 史仁灯, 孟繁聪, 陈松永, Harold P, Anders M. 2004. 柴达木盆地北缘古生

- 代超高压带中花岗质岩浆作用. 地质学报, 78(05): 658~674.
- 吴才来, 郜源红, 吴锁平, 陈其龙, Joseph L W, Frank K M, Chris M. 2007. 柴达木盆地北缘柴旦地区古生代花岗岩锆石 SHRIMP 定年. 岩石学报, 23(8): 1861~1875.
- 吴昌志, 顾连兴, 冯慧, 张遵忠, 刘四海, 黄建华, 王长华, 王震宇. 2008. 青海锡铁山铅锌矿床的矿体成因类型讨论. 中国地质, 35(06): 1185~1196.
- 吴冠斌, 孙华山, 冯志兴, 樊俊昌, 陆建培, 王玉奇. 2010. 锡铁山铅锌矿床成矿构造背景. 地球化学, 39(03): 229~239.
- 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. 科学通报, 49(16): 1589~1605.
- 许志琴, 杨经绥, 吴才来, 李海兵, 张建新, 戚学祥, 宋述光, 万渝生, 陈文, 邱海峻. 2003. 柴达木北缘超高压变质带形成与折返的时限及机制. 地质学报, 77(02): 163~176.
- 袁奎荣, 肖垂斌, 陈儒庆. 1996. 青海锡铁山隐伏矿床预测. 长沙: 中南工业大学出版社, 1~130.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 徐文艺, 阎升好, 余宏全, 董英君, 崔艳合. 2001. 柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿床. 矿床地质, 20(02): 137~146.
- 张德全, 王富春, 李大新, 丰成友, 余宏全, 李进文. 2005. 柴北缘地区的两类块状硫化物矿床——I. 锡铁山式 SEDEX 型铅锌矿床. 矿床地质, 25(05): 471~480.
- 张贵宾, 张立飞, 宋述光. 2012. 柴北缘超高压变质带: 从大洋到大陆的深俯冲过程. 高校地质学报, 18(01): 28~40.
- 张建新, 杨经绥, 许志琴, 张泽明, 陈文, 李海兵. 2000. 柴北缘榴辉岩的峰期和退变质年龄: 来自 U-Pb 及 Ar-Ar 同位素测定的证据. 地球化学, 29(03): 217~222.
- 张建新, 万渝生, 孟繁聪, 杨经绥, 许志琴. 2003. 柴北缘夹榴辉岩的片麻岩(片岩)地球化学、Sm-Nd 和 U-Pb 同位素研究——深俯冲的前寒武纪变质基底? 岩石学报, 19(03): 443~451.
- 张璐, 廖梵汐, 巴金, 徐利盼, 王勤燕, 陈能松. 2011. 全吉地块花岗岩片麻岩中镁铁质岩包体的矿物演化和锆石定年与古元古代区域变质作用. 地学前缘, 18(02): 79~84.
- 赵风清, 郭进京, 李怀坤. 2003. 青海锡铁山地区滩涧山群的地质特征及同位素年代学. 地质通报, 22(1): 28~31.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb. Chemical Geology, 192: 59~79.
- Chen Danling, Liu Liang, Sun Yong, Sun Weidong, Zhu Xiaohui, Liu Xiaoming, Guo Cailian. 2012. Felsic veins within UHP eclogite at xitieshan in North Qaidam, NW China: Partial melting during exhumation. Lithos, 126~139: 187~200.
- Ludwig K R. 2003. User's manual for isoplot/EX version 3.00: A geochronological tool kit for microsoft excel. Berkeley Geochronology center, Special Publication, (4): 1~70.
- Song Shuguang, Yang Jingsui, Liou J G, Wu Cailai, Shi Rendeng, Xu Zhiqin. 2003. Petrology, geochemistry and isotopic ages of eclogites from the Dulan UHPM Terrane, the North Qaidam, NW China. Lithos, 70: 195~211.
- Yuan Honglin, Gao Shan, Liu Xiaoming, Li Huiming, Detlef G, Wu Fuyuan. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Geostandards And Geoanalytical Research, 28(3): 353~371.
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Zhang Jianxin, Song Shuguang, Wu Cailai, Shi Rendeng, Li Haibing, Maurice B. 2002. Early Palaeozoic North Qaidam UHP metamorphic belt on the north-eastern Tibetan plateau and a paired subduction model. Terra Nova, 14(5): 397~404.
- Zhang Cong, Zhang Lifei, Herman V R, Song Shuguang, Zhang Guibin. 2011. Petrology and SHRIMP U-Pb dating of Xitieshan eclogite, North Qaidam UHP metamorphic belt, NW China. Journal of Asian Earth Sciences, 42(4): 752~767.
- Zhang Cong, Herman V R, Zhang Lifei, Chris S. 2012. A polyphase metamorphic evolution for the Xitieshan paragneiss of the north Qaidam UHP metamorphic belt, western China: In-situ EMP monazite and U-Pb zircon SHRIMP dating. Lithos, 136~139: 27~45.
- Zhang Jianxin, Yang Jingsui, Mattinson C G, Xu Zhiqin, Meng Fancong, Shi Rendeng. 2005. Two contrasting eclogite cooling histories, North Qaidam HP/UHP terrane, western China: Petrological and isotopic constraints. Lithos, 84: 51~76.
- Zhang Jianxin, Yang Jingsui, Meng Fancong, Wan Yusheng, Li Huimin, Wu Cailai. 2006. U-Pb isotopic studies of eclogites and their host gneisses in the Xitieshan area of the North Qaidam mountains, western China: New evidence for an early Paleozoic HP-UHP metamorphic belt. Journal of Asian Earth Sciences, 28: 143~150.
- Zhang Jianxin, Mattinson C G, Meng Fancong, Wan Yusheng, Kuoan Tung. 2008. Polyphase tectonothermal history recorded in granulitized gneisses from the north Qaidam HP/UHP metamorphic terrane, western China: Evidence from zircon U-Pb geochronology. Geological Society of America Bulletin, 120: 732~749.
- Zhang Jianxin, Mattinson C G, Meng Fancong, Yang Huaijen, Wan Yusheng. 2009. U-Pb geochronology of paragneisses and metabasite in the Xitieshan area, north Qaidam Mountains, western China: Constraints on the exhumation of HP/UHP metamorphic rocks. Journal of Asian Earth Sciences, 35: 245~258.

Timing and Characteristic of Provenance of the c Formation in the Tanjianshan Group, Xitieshan, North Qaidam

FU Jiangang^{1,2)}, LIANG Xinquan¹⁾, WANG Ce^{1,2)}, JIANG Ying^{1,2)}, ZHOU Yun^{1,2)},
PAN Chuanchu³⁾, ZHONG Yongsheng⁴⁾, YANG Yongqiang⁵⁾, WANG Zeli⁶⁾

1) *State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510640*; 2) *University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049*;
3) *Changsha Mineral Exploration Center, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Changsha, 410013*; 4) *Xitieshan Branch, Western Mining co. Ltd., Xitieshan, Qinghai, 816203*;
5) *China University of Geosciences, Beijing, 100083*;
6) *Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong, 266510*

Abstract

The c Formation, which outcrops between the b and d Formation of the Late Ordovician Tanjianshan Group and appears as tectonic slice, is mainly made up of slightly metamorphous grey purple-amaranth conglomerate, pebbly sandstone, feldspathic quartz sandstone and siltstone. For a long time, it has been a part of the Tanjianshan Group with the a, b and d Formation. 69 detrital zircons from aubergine pebbly sandstone of the c Formation are analysed firstly by using LA-ICPMS technique in this study. The measured $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (<1000 Ma) and $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (>1000 Ma) ages range from 429 to 2636 Ma, forming a significant peak at ca 431 Ma. Subordinate age peaks are present at ca 456 Ma, ca 908 Ma and ca 1847 Ma. The minimum peak age of 431 Ma imply that the deposition age of the c Formation should be later 431 Ma and not belongs to Late Ordovician. All the studied detrital zircons, which include metamorphic and magmatic zircons and show mostly euhedral to subhedral crystals, indicate that these magmatic and metamorphic rocks are the most likely sources for the detrital sediments of the c Formation by short-distance transport from the neighboring Xitieshan source region. The magmatic and metamorphic barcode revealed by the detrital zircon age patterns is largely coincident with the pre-Mesozoic tectonic-magmatic-metamorphic events, especially the Caledonian-aged Orogeny occurred in the Xitieshan region of the north margin of Qaidam basin. Detrital zircons of 857~937 Ma and 1610~1992 Ma imply that a Precambrian old age stratum served as a provenance area.

Key words: LA-ICPMS U-Pb age; detrital zircon; c Lithologic Formation; Tanjianshan Group; Xitieshan