

·专题研究·

阿拉善地块南缘龙首山东段‘龙首山岩群’的再厘定 ——来自碎屑锆石 U-Pb 定年的证据

宫江华, 张建新, 于胜尧

(中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘 要: 龙首山东段滑石口井地区存在一套浅变质的沉积岩系, 原被认为属于古元古代‘龙首山岩群’。本文取自这套变沉积岩系的 2 件样品的碎屑锆石年龄范围介于 0.52~3.56 Ga 之间, 与相邻的寒武系大黄山群碎屑锆石年龄谱相似, 其时代可能为中、晚寒武世。取自原‘龙首山岩群’和寒武系大黄山群的 3 件变沉积岩样品中, 共获得 129 个谐和的碎屑锆石年龄, 主要分布在 0.7~1.2 Ga (约占 47%, 峰值~0.8、~0.94、~1.0 Ga) 和 2.5~2.8 Ga (约占 31%, 峰值~2.5、~2.7 Ga), 相对较小的年龄群集中在 0.5~0.6 Ga (约占 7%, 峰值~0.56 Ga) 和 1.4~1.8 Ga (约占 10%, 峰值~1.5 Ga), 其余年龄零星分布于 1.8~2.4 Ga, 少量锆石年龄>3.0 Ga。碎屑物源分析认为, 大黄山群的碎屑物质主要来自祁连地块, 其中新元古代末—早古生代初期的碎屑物质来自北祁连造山带相关的火成岩, 新元古代碎屑物质来自祁连地块广泛分布的新元古代岩浆岩, 而中元古代—太古宙碎屑物质可能来自祁连地块再循环的变质基底岩石。结合区域地质资料认为, 龙首山东段的浅变质沉积岩系和寒武系大黄山群可能沉积于祁连地块北侧的大陆边缘, 在构造背景上属于祁连造山带, 而不属于阿拉善地块。

关键词: LA-MC-ICP-MS; U-Pb 定年; 碎屑锆石; 龙首山岩群; 大黄山群; 阿拉善地块

中图分类号: P597; P578.94⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2013)01-0001-22

Redefinition of the “Longshoushan Group” outcropped in the eastern segment of Longshoushan on the southern margin of Alxa Block: Evidence from detrital zircon U-Pb dating results

GONG Jiang-hua, ZHANG Jian-xin and YU Sheng-yao

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: A suite of low-grade metamorphic sedimentary rocks, exposed in Huashikoujing area of eastern Longshoushan, was originally regarded as the Paleoproterozoic “Longshoushan Group”. Detrital zircons from two low-grade metamorphic sedimentary rocks yielded ages ranging from 0.52 Ga to 3.56 Ga, similar to the age spectrum of the rock from neighboring Cambrian Dahuangshan Group. Thus, the metamorphic sedimentary rocks were probably deposited in the middle-late Cambrian period. A total of 129 concordant data were obtained from two sandstone samples from Huashikoujing area and a sandstone sample from Dahuangshan Group, whose ages predominately range between 0.7 Ga and 1.2 Ga (47%, peaks at around 0.8 Ga, 0.94 Ga, 1.0 Ga) and between 2.5 Ga and 2.8 Ga (31%, peaks at around 2.5 Ga, 2.7 Ga). Two smaller age groups range from 0.5 Ga to 0.6 Ga (7%, peaks at around 0.56 Ga) and from 1.4 Ga to 1.8 Ga (10%, peaks at around 1.5 Ga). The other zircons have sporadic ages ranging from 1.8 Ga to 2.4 Ga, with a few zircons older than 3.0 Ga.

收稿日期: 2012-08-26; **修订日期:** 2012-10-25

基金项目: 公益性行业科研专项经费资助项目(201111058)

作者简介: 宫江华(1984-), 男, 汉族, 博士研究生, 构造地质学专业, E-mail: ba-ma521@163.com

Provenance analysis shows that detrital matters of Dahuangshan Group were mainly derived from Qilian Block. Late-Neoproterozoic to early-Paleozoic grains were probably derived from related igneous rock in north Qilian orogen, Neoproterozoic grains were derived from magmatic rock distributed widely in Qilian Block, and Mesoproterozoic to Archean grains were probably derived from recycled meta-basement rocks in Qilian Block. Based on regional geological information, the authors consider that the low-grade metamorphic sedimentary rocks and Cambrian Dahuangshan Group, which were probably deposited in continental margin of Qilian Block, belong to the Qilian orogen rather than the Alxa Terrane.

Key words: LA-MC-ICP-MS; U-Pb dating; detrital zircon; Longshoushan Group; Dahuangshan Group; Alxa terrane

龙首山位于阿拉善地块西南缘,是阿拉善地块早前寒武纪变质基底出露的重要地区之一。近年来,关于龙首山岩群的研究相对较多,其主体形成于古元古代已得到普遍认同(陆松年等, 2002; 修群业等, 2002, 2004; 董国安等, 2007a; 宫江华等, 2011)。在野外工作中发现,位于龙首山东段,原被划为龙首山岩群的滑石口井地区(图 1、2)的岩石组合、变质程度等特征与金昌地区典型的龙首山岩群中深变质岩组合有较大差异,而与南侧河西走廊地区寒武系大黄山群类似。因此,本文首先对滑石口井地区的变沉积岩进行碎屑锆石年代学研究,对该地层时代进行限定。

祁连地块与阿拉善地块的性质及二者早古生代的汇聚历史长期受到地质学家们的关注(王荃等, 1976; 左国朝等, 1987, 1997; 冯益民等, 1992; 许志琴等, 1994; 夏林圻等, 1995, 1996, 1999; 张建新等, 1997; 张旗等, 1997, 2000; 葛肖虹等, 1999; Xiao *et al.*, 2009; 宋述光等, 2009; Song *et al.*, 2012),夹持于北祁连造山带与阿拉善地块之间的河西走廊地区的构造属性成为关注的焦点(刘雪亚等, 1993)。近年来,一些学者对北祁连-河西走廊地区同碰撞造山过程的奥陶纪-泥盆纪地层的研究,较好地揭示了河西走廊盆地从奥陶纪弧后盆地到志留纪-泥盆纪前陆盆地演化的过程(杜远生等, 2004; Yang *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2010a, 2010b)。然而在新元古代末期-寒武纪期间,祁连地块与阿拉善地块之间究竟是大洋盆(张旗等, 1997),陆内裂陷的有限洋盆(李文渊等, 2005)还是拗拉槽(葛肖虹等, 1999)祁连地块与阿拉善地块是原本一体的陆块(葛肖虹等, 2000; 段吉业等, 2005)还是不同性质的陆块(万渝生等, 2003),这些问题还存在较大的争议。

寒武系大黄山群位于永昌-武威一带的河西走

廊地区(图 1b),它的沉积特点及碎屑物质来源是判断河西走廊地区早古生代初期构造背景的重要依据。本文通过对寒武系大黄山群变沉积岩的碎屑锆石年代学研究,结合前人认识,对阿拉善地块西南缘的早古生代构造背景进行探讨。

1 地质背景

龙首山东段滑石口井地区和相邻的寒武系大黄山群位于阿拉善地块西南缘,与北祁连造山带相隔河西走廊盆地。按以往地质资料的划分,以 NW-SE 向龙首山南缘断裂为界,滑石口井地区属于阿拉善地块,而寒武系大黄山群属于祁连造山带北部的走廊过渡带或阿拉善地块的早古生代大陆边缘(左国朝等, 1987; 冯益民等, 1992; 许志琴等, 1994)(图 1b)。

阿拉善地块位于华北克拉通西部,北邻中亚造山带,南邻祁连-秦岭造山带,西北接塔里木板块,是各大板块相接部位(图 1a)。它的早前寒武纪基底可分为东、西两部分:东部的早前寒武纪基底被划分为新太古代叠布斯格群、古元古代巴彦乌拉山群、古-中元古代阿拉善岩群及古元古代波罗斯坦庙杂岩(耿元生等, 2006, 2007)。Dan 等(2012)获得叠布斯格群副片麻岩的沉积年龄为 2.0~2.45 Ga,且经历了~1.79 Ga 和~1.89 Ga 的高级变质作用改造,认为没有确切的太古宙基底岩石出露;西部的早前寒武纪基底主要出露于龙首山和北大山地区,分别被称为龙首山岩群和北大山杂岩,前者形成时代为古元古代(修群业等, 2002, 2004; 陆松年等, 2002; 董国安等, 2007a; 宫江华等, 2011),而后者近来被厘定为新太古代(宫江华等, 2012)。

河西走廊夹持于北部的北山-合黎山-龙首山与南部的祁连山之间,整体呈 NW-SE 向展布,东起武

威,经张掖、酒泉、嘉峪关到玉门西,东西近千公里。研究区位于永昌-武威一带,出露巨厚的寒武系碎屑岩沉积和晚古生代-新生代地层,大量后期花岗岩、花岗闪长岩体侵入(图1)。奥陶-泥盆纪地层在永昌北部靠近龙首山的地区缺失,却广泛分布于其南部靠近祁连山一侧的武威、景泰及贺兰山西南部地区,说明研究区的沉积环境在奥陶-泥盆纪发生较大的变动,可能与海退相关(由伟丰等, 2011)。寒武系地层在甘肃省内被称为大黄山群,为一套厚约

4 000 m,以陆源碎屑为主的沉积岩系,主要岩性为灰绿色砂岩夹板岩,含海绵骨针化石,属浅海相类复理石建造。向东南延伸到宁夏省(香山、黑阴土湾山、米钵山和天景山等地)出露的寒武系地层被称为香山群,主要岩性为浅变质长石石英砂岩、板岩、千枚岩夹灰岩、泥灰岩、硅质岩等,局部有砾岩及含砾板岩等,含三叶虫及腕足类化石^①。一般认为香山群与大黄山群都形成于中、晚寒武世(周志强等, 1996)。

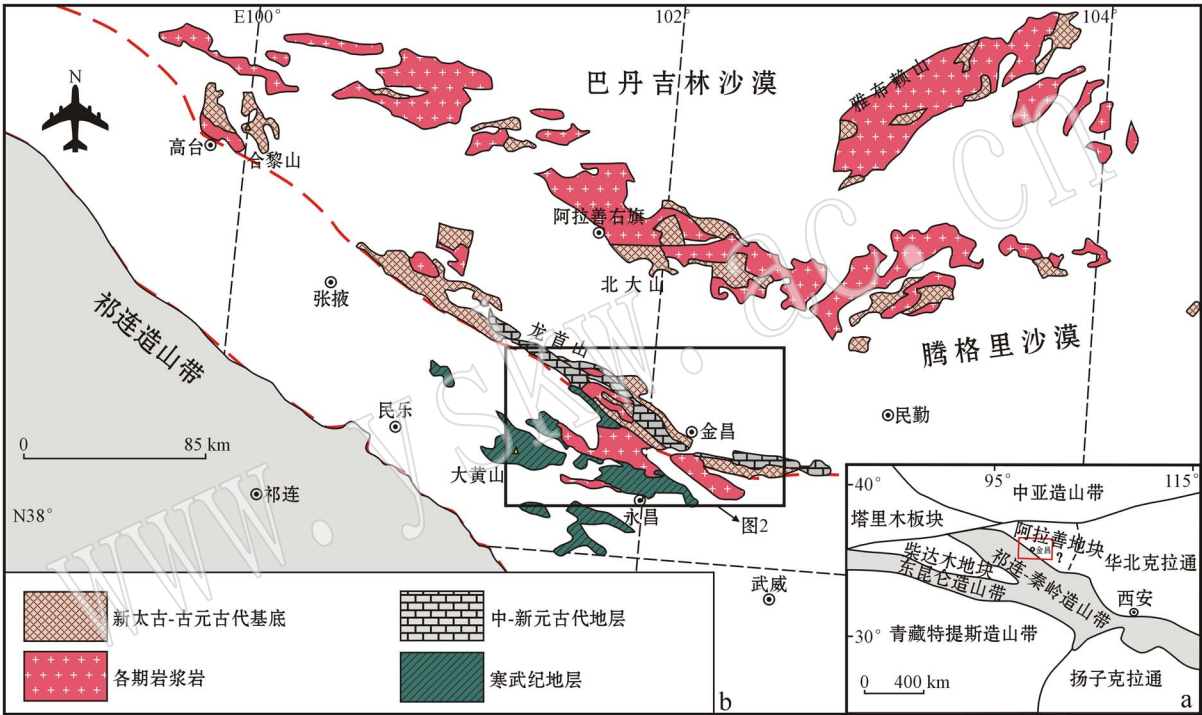


图1 阿拉善地块及邻区地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of Alxa Block and adjacent areas

2 野外关系及样品描述

滑石口井地区位于龙首山东段(图2)。前人^②对滑石口井地区进行剖面测定,主要岩性为浅变质的二云石英片岩、黑云石英片岩夹灰岩、石英岩等,原岩为砂岩、碳酸盐岩等,属浅海相沉积,时代定为前震旦纪。我们的野外调查发现,滑石口井地区的岩石组合主要为浅变质砂岩夹少量泥质片岩、千枚

岩、硅质岩等,为一套层序清晰的海相沉积地层。野外露头上,层劈关系清楚,显示明显的褶皱构造,同时有后期的伟晶岩脉顺层侵入。以上特点均显示滑石口井地区的地层与高级变质的龙首山岩群不同(图3)。

大黄山位于龙首山西南部(图2)。主要岩性为灰绿色砂岩夹板岩,前人在板岩中采集到较多的海绵骨针化石^③;局部砂岩底面具波状冲刷面及印模、同生砾石等,韵律清楚,具有类复理石的特点。河西

① 宁夏回族自治区地质矿产局. 1990. 宁夏回族自治区区域地质志. 北京:地质出版社.

② 甘肃省地质局第一区测队. 1968. 中华人民共和国 10-48-13(河西堡幅)区域地质测量报告.

③ 甘肃省地质局第一区测队. 1967. 中华人民共和国 J-47(永昌幅)区域地质测量报告.

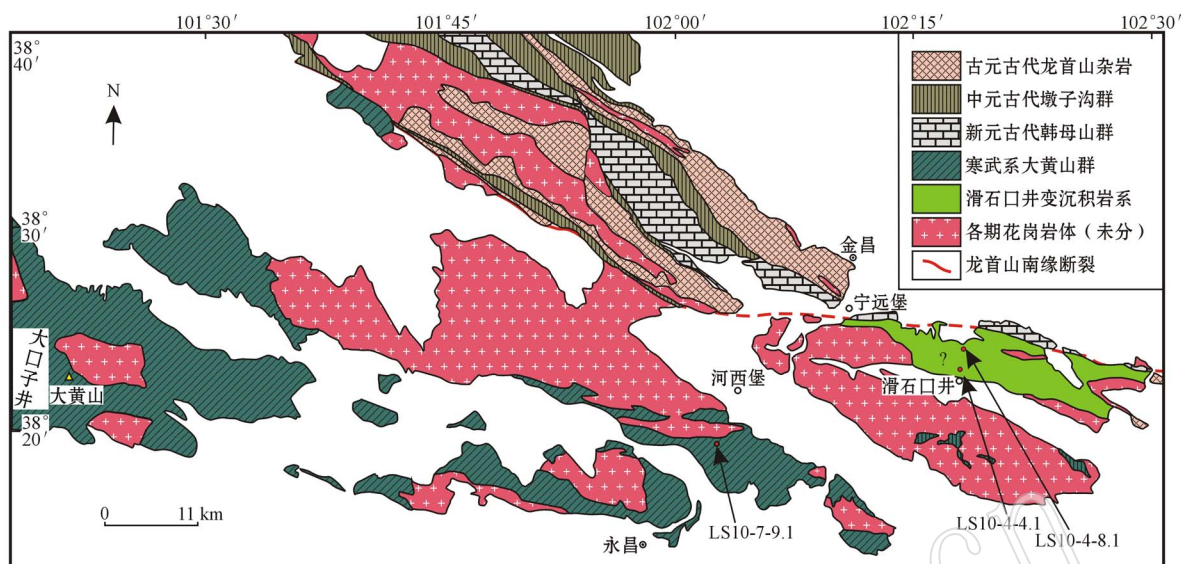


图 2 研究区地质图

Fig. 2 Geological map of the study area

堡南部地层的主要岩性同样为砂岩夹板岩, 沉积特征及化石与大黄山地区一致, 为同一套寒武系地层。

本文分别采集滑石口井地区 2 件变沉积岩和大黄山群中 1 件变砂岩进行碎屑锆石年代学研究(图 2)。

样品 LS10-4-4.1 取自滑石口井地区, 地理坐标为北纬 $38^{\circ}23.32'$, 东经 $102^{\circ}17.95'$ 。岩性为变石英砂岩, 肉眼可见有少量新生云母, 变质程度低。镜下显示呈细粒粒状变晶结构, 矿物成分为石英(约 85%)、长石(约 5%)、黑云母(约 5%)、白云母(约 3%)及少量的锆石、磷灰石等副矿物, 片理不发育(图 4a)。

样品 LS10-4-8.1 取自滑石口井地区, 地理坐标为北纬 $38^{\circ}24.44'$, 东经 $102^{\circ}18.25'$ 。岩性为含泥质石英砂岩, 浅变质。岩石外表呈灰黑色, 薄层状, 造岩矿物以石英为主, 肉眼能见到少量磁铁矿。岩石为片状构造, 鳞片变晶结构。主要矿物为石英(约 70%)、斜长石(约 15%)、黑云母(约 8%)和少量白云母(约 5%)及锆石、磷灰石、磁铁矿等副矿物。云母矿物定向较清楚(图 4b)。

样品 LS10-7-9.1 取自河西堡南部 8 km 处, 地理坐标为北纬 $38^{\circ}20.07'$, 东经 $102^{\circ}2.18'$ 。岩性为变泥质砂岩, 肉眼可见云母等新生矿物。镜下显示呈不等粒状变晶结构, 主要矿物有石英(约 65%)、长石(约

20%)、黑云母(约 10%)及少量白云母(约 3%)和微量的锆石、磷灰石等副矿物, 片理不太发育(图 4c)。

3 分析方法

锆石分选工作由河北地矿局廊坊实验中心完成。选取均一、新鲜、无脉体穿插的样品, 破碎到适当大小(一般为 80~100 目)、淘洗, 然后经人工重砂、电磁分选等多种方法分离锆石, 并在双目镜下手工挑选。随机挑选锆石 100~150 粒粘到双面胶上, 加注环氧树脂进行制靶, 待固化后, 将靶内锆石打磨至原尺寸一半大小, 抛光之后在光学显微镜下拍摄锆石反射光和透射光照片。具体制靶流程及注意事项见宋彪等(2002)。为查明锆石内部结构及成因、选择恰当的测点位置, 对锆石进行阴极发光图像采集, 该工作在北京离子探针中心完成。锆石 U-Pb 测年由天津地质矿产研究所测试中心完成。所用仪器为 Neptune 多接收电感耦合等离子体质谱仪和 193 nm 激光取样系统(LA-MC-ICP-MS)。实验根据锆石阴极发光照片、反射光和透射光照片选择锆石的合适区域, 利用激光器对锆石进行剥蚀, 激光剥蚀的斑束一般为 35 或 50 μm , 能量密度为 13~14 J/cm^2 , 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使质量数相差很大的 U、Pb 同位素可以同时接收, 从而进行 U-Pb 同位

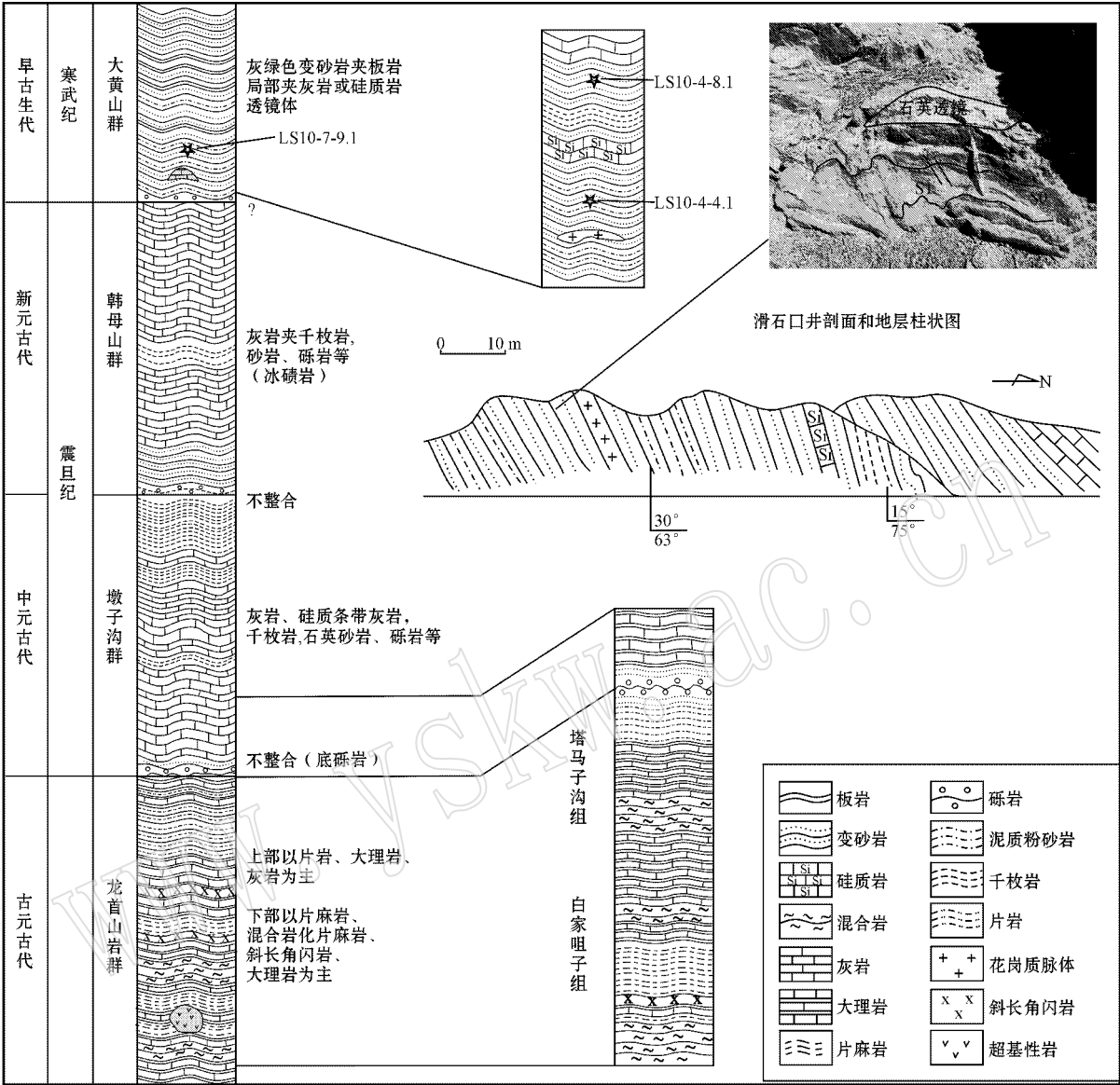


图 3 典型的龙首山岩群和滑石口井地区的地层柱状图及剖面图(左侧地层柱状图据 1:20 万地质图^①；右下地层柱状图据宫江华等,2011)

Fig. 3 Stratigraphic column and cross section of typical Longshoushan Group and Huashikoujing area (left :stratigraphic column after 1:200 000 geological map^① ;lower right :stratigraphic column after Gong Jianghua *et al.* , 2011)

素测定。锆石标样采用 TEMORA 标准锆石和 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行 U、Pb 同位素分馏校正 (Black *et al.* , 2003), 数据处理采用 ICPMSDataCal 程序 (Liu *et al.* , 2010) 和 ISPLIT 程序 (Ludwig, 1999) 进行分析和作图, 采用 ²⁰⁸Pb 进行普通铅校正 (Andersen, 2002), 利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。

4 分析结果

用于测年的锆石均系随机挑选。大部分锆石近圆形, 说明经历了长距离的搬运磨蚀。部分锆石晶型完整, 显示出半自形-自形长柱状或不规则状。LS10-4-4.1 与 LS10-4-8.1 中的锆石粒径相对较大,

① 甘肃省地质局第一区测队. 1968. 中华人民共和国地质图 10-48-13(河西堡幅).

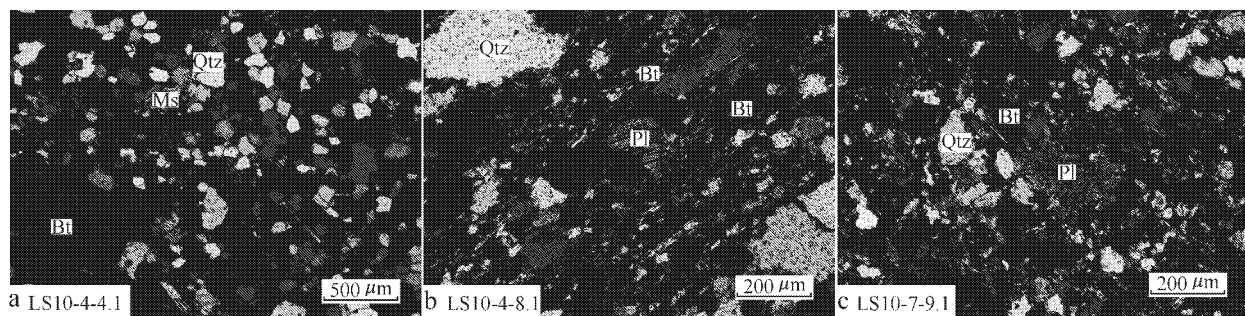


图 4 3 件样品薄片正交偏光镜下特征

Fig. 4 Thin sections of three samples under crossed nicols

Qtz—石英; Pl—斜长石; Bt—黑云母; Ms—白云母

Qtz—quartz; Pl—plagioclase; Bt—biotite; Ms—muscovite

约 180~300 μm ; 而 LS10-7-9.1 粒径相对较小, 约 150~200 μm 。锆石 CL 照片显示, 锆石内部结构、发光强度等特征差异较大, 说明锆石来源及成因复杂。其中大多数锆石具有明显或者不太明显的震荡环带, 指示为岩浆成因锆石; 极少数锆石缺乏内部结构, 可能为变质重结晶锆石; 另外少量锆石具有明显的核(幔)边结构, 核部具有明显的或者不明显的震荡环带(图 5), 幔部和边部具有变质重结晶或增生的特征, 指示蚀源区岩石经历了多期复杂的岩浆-变质事件。

LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果见表 1。由于放射性成因 Pb 的含量较低和铅校正的不确定性, 本文用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄来代表 $>1\,000\text{ Ma}$ 的锆石年龄, 而用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄来代表 $<1\,000\text{ Ma}$ 的锆石年龄(Gehrels *et al.*, 2006)。

对 LS10-4-4.1 中 50 粒碎屑锆石进行 U-Pb 测年, 共获得 40 个谐和或较谐和的年龄数据, 其余数据偏离谐和线, 显示不同程度 Pb 丢失(图 6a)。具有谐和年龄的锆石 Th/U 值介于 0.07~2 之间, 多数大于 0.3, 暗示大多数锆石为岩浆成因, 仅有少数锆石 Th/U 值小于 0.1, 并且锆石一般呈弱阴极发光, 缺乏内部结构, 可能为变质重结晶锆石(如测点 3, $919 \pm 4\text{ Ma}$)。谐和的年龄数据介于 $523 \pm 4 \sim 3\,559 \pm 11\text{ Ma}$ 之间, 主要集中在 800~1 200 Ma (20 粒, 占 50%); 次要峰值介于 2 500~2 800 Ma (10 粒, 占 25%); 少量分布于 520~600 Ma (3 粒, 占 8%) 还有 4 粒锆石年龄介于 1 500~1 760 Ma, 2 粒锆石 $>3\,000\text{ Ma}$ (图 6b)。

对 LS10-4-8.1 中 50 粒碎屑锆石进行 U-Pb 测

年, 获得 40 个谐和或较谐和的年龄数据, 其余数据偏离谐和线, 显示不同程度 Pb 丢失(图 6c)。具有谐和年龄的锆石 Th/U 值介于 0.05~1.7, 多数大于 0.2, 暗示大多数锆石为岩浆成因。少量测点 Th/U 值小于 0.1, 可能为变质锆石(如测点 17, $988 \pm 7\text{ Ma}$ 和 $1\,172 \pm 7\text{ Ma}$)。谐和的年龄数据介于 $561 \pm 3 \sim 3\,128 \pm 13\text{ Ma}$ 之间, 主要集中在 770~1 200 Ma (13 粒, 占 33%) 和 2 450~2 800 Ma (17 粒, 占 43%); 次要峰值集中在 560~670 Ma (5 粒, 占 13%); 另外还有零星分布于 1 439~2 379 Ma 和 1 粒 $>3\,100\text{ Ma}$ 锆石(图 6d)。靠近 2 500 Ma 的年龄数据拟合成一条很好的不一致线, 上交点年龄为 $2\,498.4 \pm 8.5\text{ Ma}$ (MSWD=1.6), 暗示这些碎屑锆石具有同源性。

对 LS10-7-9.1 中 60 粒碎屑锆石进行 U-Pb 测年, 共获得 49 个谐和或较谐和的年龄数据, 其余数据偏离谐和线, 显示不同程度的 Pb 丢失(图 6e)。具有谐和年龄的锆石 Th/U 值介于 0.02~2.49, 多数大于 0.2, 暗示大多数锆石为岩浆成因。少数测点的 Th/U 值小于 0.1, 可能为变质锆石(如测点 3, $903 \pm 9\text{ Ma}$ 和 $1\,053 \pm 10\text{ Ma}$)。谐和的年龄数据介于 $559 \pm 4 \sim 2\,738 \pm 6\text{ Ma}$ 之间, 主要集中在 720~1 100 Ma (27 粒, 占 55%) 和 2 400~2 800 Ma (12 粒, 占 25%); 次要的年龄区间介于 550~600 Ma (2 粒), 另外还有 7 粒 1 439~1 626 Ma 年龄的锆石(图 6f)。靠近 2 500 Ma 的年龄数据拟合成一条很好的不一致线, 上交点年龄为 $2\,507 \pm 27\text{ Ma}$ (MSWD=2.9), 暗示这些碎屑锆石具有同源性。

表 1 研究区变沉积岩样品 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄数据
Table 1 Data generated from the LA-ICP-MS zircon U-Pb analysis of detrital zircons for samples from the study area

测点号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值						年龄/Ma									
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 σ	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	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
LS10-4-4.1																		
1	46	81	0.423 3	0.002 4	9.708 9	0.097 6	0.166 3	0.001 3	0.127 4	0.000 7	1.284 4	0.020 0	2.276	13	2 408	24	2 521	14
2	11	26	0.353 8	0.002 1	8.785 4	0.175 3	0.180 2	0.003 5	0.182 7	0.011 3	0.260 5	0.006 9	1.953	11	2 316	46	2 655	32
3	331	2 277	0.153 3	0.000 6	1.488 9	0.012 9	0.070 4	0.000 5	0.053 7	0.000 3	0.066 6	0.000 8	919	4	926	8	941	15
4	58	157	0.322 3	0.001 4	6.917 5	0.063 7	0.155 6	0.001 2	0.105 9	0.000 7	0.505 1	0.005 7	1 801	8	2 101	19	2 409	13
5	78	189	0.325 5	0.001 7	6.927 8	0.066 6	0.154 3	0.001 2	0.113 2	0.000 5	0.864 5	0.010 0	1 817	10	2 102	20	2 394	13
6	166	602	0.278 0	0.001 4	3.773 2	0.034 8	0.098 4	0.000 7	0.098 8	0.000 7	0.120 9	0.001 5	1 581	8	1 587	15	1 594	14
7	73	371	0.177 9	0.001 1	1.839 2	0.019 6	0.075 0	0.000 6	0.059 0	0.000 3	0.597 8	0.007 2	1 056	7	1 060	11	1 068	17
8	5	60	0.084 5	0.000 7	0.687 7	0.063 0	0.058 4	0.005 3	0.029 8	0.001 7	0.537 8	0.006 5	523	4	531	49	544	198
9	78	127	0.466 2	0.002 6	10.362 3	0.103 3	0.161 2	0.001 3	0.145 5	0.000 6	1.150 3	0.014 2	2 467	14	2 468	25	2 468	13
10	152	882	0.161 0	0.001 0	1.582 1	0.016 1	0.071 3	0.000 6	0.055 0	0.000 2	0.481 9	0.009 6	962	6	963	10	965	16
11	86	554	0.157 0	0.001 0	1.528 8	0.016 1	0.070 6	0.000 6	0.053 0	0.000 5	0.201 2	0.002 9	940	6	942	10	946	17
12	155	949	0.170 7	0.000 8	1.729 6	0.016 1	0.073 5	0.000 6	0.045 0	0.000 5	0.127 5	0.002 0	1 016	5	1 020	9	1 028	15
13	95	147	0.477 5	0.002 6	11.025 7	0.104 4	0.167 5	0.001 3	0.136 0	0.000 8	1.393 9	0.016 2	2 517	14	2 525	24	2 533	13
14	28	89	0.265 5	0.001 5	3.482 4	0.044 6	0.095 2	0.001 1	0.082 8	0.000 8	0.814 0	0.009 3	1 518	9	1 523	20	1 531	22
15	286	310	0.734 0	0.004 4	32.176 3	0.323 2	0.317 8	0.002 4	0.191 6	0.001 3	0.500 7	0.005 6	3 548	21	3 556	36	3 559	11
16	433	587	0.629 4	0.003 6	21.278 7	0.202 8	0.245 2	0.001 8	0.175 9	0.001 1	0.382 8	0.004 3	3 147	18	3 151	30	3 154	12
17	34	104	0.298 5	0.001 3	4.383 2	0.050 6	0.106 5	0.001 1	0.075 2	0.001 1	0.676 9	0.015 0	1 684	7	1 709	20	1 741	19
18	374	713	0.493 8	0.002 5	11.838 5	0.107 6	0.173 9	0.001 3	0.141 1	0.000 6	0.187 0	0.002 1	2 587	13	2 592	24	2 596	12
19	183	1 104	0.163 0	0.000 7	1.959 9	0.017 4	0.087 2	0.000 7	0.064 2	0.001 2	0.219 4	0.004 6	974	4	1 102	10	1 365	15
20	156	257	0.517 6	0.003 0	13.160 5	0.127 8	0.184 4	0.001 4	0.146 3	0.000 9	0.591 5	0.006 6	2 689	15	2 691	26	2 693	12
21	268	455	0.516 8	0.003 2	13.192 0	0.129 1	0.185 1	0.001 4	0.151 9	0.001 2	0.436 8	0.004 9	2 686	16	2 693	26	2 699	12
22	84	444	0.157 1	0.000 8	1.532 6	0.014 9	0.070 8	0.000 6	0.050 1	0.000 1	1.015 1	0.012 1	941	5	944	9	951	17
23	38	65	0.469 1	0.002 1	10.505 7	0.100 3	0.162 4	0.001 4	0.133 9	0.000 7	0.969 3	0.011 4	2 480	11	2 480	24	2 481	14
24	96	137	0.477 0	0.002 4	10.933 2	0.102 2	0.166 2	0.001 3	0.140 6	0.000 7	1.780 3	0.020 0	2 514	13	2 517	24	2 520	13
25	165	205	0.600 7	0.002 6	25.951 0	0.226 3	0.313 3	0.002 3	0.169 1	0.000 5	0.821 4	0.009 6	3 033	13	3 345	29	3 537	11
26	14	128	0.092 4	0.000 5	0.765 1	0.026 6	0.060 0	0.002 1	0.029 0	0.000 6	0.833 2	0.031 5	570	3	577	20	605	74
27	630	1 066	0.532 9	0.002 8	14.141 5	0.129 2	0.192 5	0.001 4	0.157 8	0.000 8	0.296 1	0.003 3	2 754	15	2 759	25	2 763	12
28	227	1 467	0.156 1	0.001 0	1.512 5	0.014 9	0.070 3	0.000 5	0.053 1	0.000 3	0.217 5	0.002 6	935	6	935	9	937	16
29	210	1 410	0.098 8	0.000 7	0.814 0	0.008 6	0.059 7	0.000 5	0.033 2	0.000 3	1.996 1	0.022 7	607	4	605	6	594	17
30	284	796	0.336 8	0.001 6	7.682 2	0.070 0	0.165 4	0.001 2	0.115 1	0.000 5	0.165 3	0.002 4	1 871	9	2 195	20	2 512	12

续表 1-1
Continued Table 1-1

测点号	$t_{wB}/10^{-6}$		同位素比值										年龄/ N_{A}			
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	
			1 σ		1 σ		1 σ		1 σ		1 σ		1 σ		1 σ	
31	46	133	0.310 4	0.001 8	4.603 9	0.049 8	0.107 6	0.000 9	0.095 9	0.000 7	0.523 8	0.006 1	1.742	10	1.750	19
32	667	1 285	0.460 8	0.002 5	10.828 3	0.100 9	0.170 4	0.001 3	0.143 8	0.000 9	0.412 1	0.005 9	2.443	13	2.509	23
33	224	764	0.253 2	0.001 1	4.665 2	0.041 1	0.133 6	0.001 0	0.075 8	0.000 2	0.669 8	0.009 1	1.455	6	1.761	15
34	189	1 164	0.164 5	0.000 8	2.603 6	0.025 8	0.114 7	0.000 9	0.061 0	0.000 7	0.065 8	0.000 8	982	5	1.302	13
35	28	124	0.175 9	0.001 2	1.773 8	0.030 9	0.073 2	0.001 2	0.050 1	0.000 5	1.341 8	0.015 4	1.044	7	1.036	18
36	8	50	0.145 6	0.000 9	1.380 9	0.118 6	0.068 3	0.005 8	0.044 2	0.001 4	0.859 2	0.009 9	876	6	881	76
37	168	945	0.153 6	0.000 8	1.491 9	0.014 5	0.070 5	0.000 6	0.049 5	0.000 2	0.807 9	0.009 2	921	5	927	9
38	66	382	0.163 6	0.000 9	1.638 8	0.020 9	0.072 7	0.000 8	0.051 3	0.000 6	0.440 5	0.005 1	977	5	985	13
39	310	2 188	0.152 3	0.000 7	1.469 5	0.013 4	0.070 0	0.000 5	0.051 7	0.001 5	0.013 5	0.000 2	914	4	918	8
40	27	118	0.204 4	0.000 9	2.325 7	0.039 7	0.082 5	0.001 3	0.072 6	0.001 0	0.589 5	0.010 4	1.199	6	1.220	21
41	61	350	0.162 4	0.001 0	1.614 5	0.017 4	0.072 1	0.000 6	0.053 3	0.000 4	0.473 8	0.005 4	970	6	976	11
42	369	593	0.483 3	0.002 2	11.263 2	0.099 7	0.169 0	0.001 2	0.150 9	0.000 5	1.012 4	0.011 7	2.542	12	2.545	23
43	14	85	0.136 1	0.000 6	1.254 3	0.039 4	0.066 8	0.002 1	0.045 5	0.000 5	1.035 3	0.011 6	823	4	825	26
44	50	349	0.131 9	0.000 7	1.290 0	0.014 9	0.070 9	0.000 7	0.048 3	0.000 4	0.505 3	0.005 6	799	5	841	10
45	111	589	0.194 6	0.001 2	2.117 9	0.021 5	0.078 9	0.000 6	0.064 2	0.000 7	0.113 4	0.001 7	1.146	7	1.155	12
46	37	251	0.132 7	0.000 7	1.214 9	0.016 3	0.066 4	0.000 8	0.046 2	0.000 3	0.623 6	0.007 0	803	4	807	11
47	16	89	0.173 1	0.000 8	1.773 8	0.044 8	0.074 2	0.001 8	0.056 7	0.001 8	0.335 6	0.004 0	1.029	5	1.036	26
48	101	499	0.174 3	0.001 0	1.774 4	0.017 4	0.073 9	0.000 6	0.062 4	0.000 3	0.750 0	0.008 6	1.036	6	1.036	10
49	118	163	0.469 5	0.002 5	10.556 9	0.099 3	0.163 1	0.001 2	0.149 6	0.000 7	1.891 8	0.021 6	2.481	13	2.485	23
50	76	414	0.162 0	0.000 6	1.589 0	0.013 6	0.071 1	0.000 5	0.056 7	0.000 5	0.651 9	0.007 2	968	4	966	8
LS10-4-8.1																
1	185	353	0.486 0	0.002 5	11.019 4	0.104 7	0.164 5	0.001 3	0.144 4	0.001 0	0.264 0	0.002 0	2.553	13	2.525	24
2	140	1 390	0.090 9	0.000 4	0.728 9	0.007 5	0.058 2	0.000 5	0.032 3	0.000 1	0.607 5	0.005 3	561	3	556	6
3	14	27	0.460 7	0.003 1	10.490 7	0.143 8	0.165 0	0.001 8	0.136 9	0.004 2	0.329 3	0.004 0	2.443	16	2.479	34
4	224	367	0.503 0	0.003 2	11.259 7	0.115 4	0.162 3	0.001 3	0.148 6	0.001 7	0.803 6	0.006 1	2.627	17	2.545	26
5	115	171	0.489 9	0.002 6	11.044 5	0.108 6	0.163 5	0.001 3	0.143 1	0.001 1	1.407 9	0.010 6	2.570	14	2.527	25
6	276	1 921	0.129 2	0.000 8	1.182 0	0.012 6	0.066 3	0.000 5	0.044 0	0.000 5	0.630 0	0.005 7	783	5	792	8
7	180	423	0.370 4	0.001 8	6.408 8	0.061 0	0.125 5	0.001 0	0.112 7	0.000 5	0.661 0	0.006 6	2.031	10	2.033	19
8	85	130	0.469 0	0.002 9	10.596 7	0.111 0	0.163 9	0.001 3	0.137 7	0.001 4	1.538 1	0.011 8	2.479	15	2.488	26
9	371	666	0.493 4	0.003 1	11.021 1	0.112 4	0.162 0	0.001 2	0.139 1	0.001 7	0.492 8	0.003 7	2.585	16	2.525	26
10	62	116	0.473 3	0.002 8	10.570 5	0.106 9	0.162 1	0.001 3	0.133 5	0.001 4	0.541 8	0.004 8	2.498	15	2.486	25
11	54	566	0.100 5	0.000 6	0.815 6	0.010 1	0.058 9	0.000 6	0.031 2	0.000 5	0.137 7	0.002 4	617	4	606	7

续表 1-2
Continued Table 1-2

测点号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值										年龄/Ma			
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	
			1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ
12	76	100	0.6161	0.0025	20.4830	0.1893	0.2412	0.0019	0.1570	0.0010	0.6752	0.0052	3.094	13	3.114	29
13	64	372	0.1669	0.0008	1.6556	0.0179	0.0720	0.0007	0.0525	0.0005	0.3503	0.0029	995	5	992	11
14	93	155	0.5123	0.0026	11.5783	0.1118	0.1639	0.0013	0.1225	0.0010	0.7661	0.0062	2.667	13	2.571	25
15	19	35	0.4724	0.0023	10.6241	0.1282	0.1630	0.0017	0.1030	0.0018	0.8083	0.0068	2.494	12	2.491	30
16	184	299	0.4987	0.0026	11.4056	0.1098	0.1658	0.0013	0.1169	0.0011	1.0906	0.0083	2.608	13	2.557	25
17	84	541	0.1657	0.0009	1.5660	0.0166	0.0685	0.0006	0.0473	0.0022	0.0503	0.0004	988	5	957	10
18	63	370	0.1704	0.0007	1.7229	0.0181	0.0733	0.0007	0.0443	0.0006	0.3271	0.0027	1.014	4	1.017	11
19	23	217	0.1098	0.0006	0.9157	0.0207	0.0605	0.0013	0.0328	0.0010	0.2316	0.0020	671	4	660	15
20	29	52	0.4578	0.0028	10.0205	0.1199	0.1587	0.0016	0.1264	0.0017	0.9309	0.0072	2.430	15	2.437	29
21	24	135	0.1457	0.0007	1.3864	0.0358	0.0690	0.0017	0.0444	0.0005	1.0300	0.0082	877	4	883	23
22	7	48	0.1318	0.0008	1.1909	0.0953	0.0654	0.0051	0.0403	0.0014	0.8056	0.0066	798	5	796	64
23	46	328	0.0995	0.0006	0.8315	0.0143	0.0605	0.0009	0.0321	0.0004	1.7067	0.0129	612	4	614	11
24	44	72	0.4891	0.0032	11.1542	0.1213	0.1654	0.0014	0.1340	0.0015	1.0118	0.0077	2.567	17	2.536	28
25	63	105	0.5194	0.0036	13.2551	0.1470	0.1850	0.0015	0.1416	0.0013	0.5294	0.0085	2.697	19	2.698	30
26	24	195	0.1213	0.0006	1.3213	0.0193	0.0790	0.0011	0.0787	0.0031	0.1212	0.0018	738	4	855	12
27	72	120	0.4886	0.0023	10.9291	0.1072	0.1622	0.0013	0.1477	0.0010	0.8710	0.0082	2.565	12	2.517	25
28	16	29	0.4426	0.0028	9.3394	0.1542	0.1529	0.0022	0.1383	0.0024	0.9656	0.0087	2.362	15	2.372	39
29	407	613	0.5511	0.0028	15.3641	0.1476	0.2022	0.0016	0.1546	0.0014	0.6654	0.0050	2.830	15	2.838	27
30	18	165	0.0909	0.0005	0.7500	0.0208	0.0598	0.0016	0.0287	0.0003	1.0293	0.0142	561	3	568	16
31	101	154	0.5094	0.0028	11.7311	0.1169	0.1670	0.0013	0.1399	0.0014	1.1485	0.0091	2.654	15	2.583	26
32	290	507	0.4990	0.0025	12.1174	0.1129	0.1761	0.0014	0.1382	0.0010	0.5208	0.0039	2.609	13	2.614	24
33	105	293	0.3340	0.0017	5.2281	0.0512	0.1135	0.0009	0.0983	0.0009	0.4048	0.0031	1.858	10	1.857	18
34	7	36	0.1877	0.0012	1.9959	0.1104	0.0770	0.0042	0.0641	0.0038	0.4242	0.0048	1.109	7	1.114	62
35	55	150	0.3192	0.0015	5.1350	0.0552	0.1166	0.0010	0.1034	0.0011	0.6461	0.0057	1.786	9	1.842	19
36	607	1383	0.4140	0.0016	8.8957	0.0794	0.1558	0.0012	0.1318	0.0007	0.2118	0.0017	2.233	8	2.327	21
37	54	286	0.1993	0.0011	2.1641	0.0236	0.0788	0.0007	0.0712	0.0025	0.0667	0.0006	1.172	7	1.170	13
38	16	85	0.1677	0.0009	1.6860	0.0530	0.0729	0.0022	0.0587	0.0011	0.6486	0.0051	999	6	1.003	32
39	48	70	0.4959	0.0028	11.0135	0.1137	0.1611	0.0013	0.1558	0.0010	1.3555	0.0153	2.596	14	2.524	26
40	74	394	0.1689	0.0008	1.6769	0.0195	0.0720	0.0008	0.0623	0.0003	0.5607	0.0055	1.006	5	1.000	12
41	33	238	0.1270	0.0006	1.1537	0.0173	0.0658	0.0009	0.0476	0.0004	0.5604	0.0043	771	3	779	12
42	35	223	0.1573	0.0007	1.5156	0.0266	0.0698	0.0011	0.0565	0.0012	0.2365	0.0018	942	4	937	16
43	85	280	0.2501	0.0011	3.1551	0.0305	0.0914	0.0008	0.0884	0.0003	0.8680	0.0068	1.439	6	1.446	14

续表 1-3
Continued Table 1-3

测点号	$\tau_{0\text{Pb}}/10^{-6}$		同位素比值										年龄/Ma					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 σ	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	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
44	158	280	0.482 8	0.002 3	10.746 6	0.100 8	0.161 3	0.001 2	0.151 6	0.001 1	0.598 7	0.005 2	2.539	12	2.501	23	2.470	13
45	215	597	0.327 9	0.001 6	6.277 5	0.060 3	0.138 7	0.001 1	0.126 9	0.000 7	0.328 8	0.004 6	1.828	9	2.015	19	2.211	13
46	242	466	0.487 5	0.002 3	10.917 6	0.103 1	0.162 3	0.001 3	0.149 0	0.002 0	0.210 3	0.002 7	2.560	12	2.516	24	2.480	13
47	32	61	0.453 9	0.002 6	10.464 3	0.112 8	0.167 2	0.001 5	0.147 1	0.001 3	0.557 0	0.005 5	2.412	14	2.477	27	2.529	15
48	23	135	0.167 3	0.000 9	1.693 2	0.026 4	0.073 3	0.001 0	0.054 1	0.001 1	0.320 9	0.002 7	997	6	1.006	16	1.023	28
49	36	64	0.420 2	0.002 1	9.669 8	0.113 6	0.166 8	0.001 6	0.131 5	0.000 9	1.154 7	0.039 7	2.261	12	2.404	28	2.526	16
50	19	33	0.461 0	0.001 7	10.623 2	0.094 4	0.167 2	0.001 3	0.135 3	0.001 9	0.747 2	0.005 5	2.444	9	2.491	22	2.530	13
LS10-7-9-1																		
1	19	68	0.234 2	0.002 4	2.927 2	0.039 6	0.090 7	0.001 1	0.063 9	0.000 3	0.951 6	0.010 1	1.356	14	1.389	19	1.439	23
2	26	142	0.150 9	0.001 5	1.493 3	0.016 4	0.071 8	0.000 7	0.042 9	0.000 1	1.092 7	0.010 9	906	9	928	10	980	19
3	32	225	0.150 4	0.001 5	1.474 7	0.019 4	0.071 1	0.000 6	0.050 6	0.005 1	0.015 1	0.000 2	903	9	920	12	961	18
4	42	128	0.287 2	0.002 4	4.427 4	0.065 3	0.111 8	0.001 4	0.087 2	0.000 4	0.669 1	0.009 8	1.628	14	1.717	25	1.829	22
5	58	391	0.147 4	0.000 9	1.484 8	0.011 8	0.073 1	0.000 5	0.051 2	0.000 4	0.230 7	0.002 3	886	5	924	7	1.016	15
6	50	284	0.165 2	0.001 2	1.658 1	0.016 9	0.072 8	0.000 5	0.048 7	0.000 2	0.502 1	0.004 7	986	7	993	10	1.008	15
7	1417	4237	0.327 5	0.002 1	7.174 9	0.061 8	0.158 9	0.001 1	0.105 9	0.000 8	0.062 1	0.000 9	1.826	12	2.133	18	2.444	12
8	40	207	0.171 7	0.001 9	1.765 0	0.016 6	0.074 5	0.000 5	0.054 7	0.000 3	0.679 8	0.015 5	1.022	11	1.033	10	1.056	14
9	54	343	0.161 8	0.002 1	1.610 9	0.015 3	0.072 2	0.000 4	0.049 2	0.000 4	0.185 9	0.003 8	967	13	974	9	992	12
10	545	1143	0.458 0	0.003 8	10.175 5	0.090 4	0.161 1	0.000 5	0.125 8	0.000 1	0.144 1	0.004 6	2.431	20	2.451	22	2.467	5
11	99	539	0.178 2	0.001 9	1.867 9	0.016 7	0.076 0	0.000 5	0.057 3	0.000 2	0.359 9	0.002 2	1.057	11	1.070	10	1.096	13
12	25	171	0.129 4	0.001 3	1.167 6	0.014 3	0.065 4	0.000 7	0.040 4	0.000 2	0.758 1	0.005 2	785	8	786	10	788	23
13	366	684	0.481 9	0.004 7	11.019 6	0.085 5	0.165 8	0.000 8	0.137 6	0.000 4	0.399 2	0.012 7	2.536	25	2.525	20	2.516	8
14	95	679	0.132 7	0.001 3	1.198 3	0.009 3	0.065 5	0.000 3	0.042 5	0.000 1	0.477 4	0.002 1	803	8	800	6	790	11
15	95	275	0.279 8	0.002 4	3.862 0	0.035 3	0.100 1	0.000 3	0.083 3	0.000 2	1.087 3	0.007 4	1.590	14	1.606	15	1.626	6
16	13	21	0.466 4	0.004 1	10.545 2	0.151 6	0.164 0	0.002 2	0.138 3	0.001 1	1.225 9	0.035 1	2.468	22	2.484	36	2.497	23
17	11	121	0.090 6	0.000 6	0.777 9	0.025 5	0.062 3	0.001 9	0.037 7	0.001 2	0.214 1	0.001 2	559	4	584	19	685	65
18	40	68	0.449 6	0.003 3	9.738 1	0.080 3	0.157 1	0.000 6	0.128 8	0.000 4	1.162 7	0.004 9	2.394	18	2.410	20	2.424	6
19	118	746	0.158 1	0.001 5	1.545 8	0.019 3	0.070 9	0.000 4	0.050 5	0.000 4	0.254 5	0.003 4	946	9	949	12	955	12
20	86	560	0.148 4	0.001 5	1.404 3	0.013 5	0.068 6	0.000 5	0.045 3	0.000 1	0.413 2	0.005 6	892	9	891	9	887	16
21	54	88	0.504 1	0.003 8	13.172 8	0.140 0	0.189 5	0.000 7	0.138 0	0.000 4	0.739 8	0.002 4	2.631	20	2.692	29	2.738	6
22	5	19	0.182 6	0.002 0	1.987 9	0.059 4	0.079 0	0.002 1	0.055 2	0.000 4	2.487 9	0.016 3	1.081	12	1.111	33	1.171	54
23	42	92	0.421 0	0.001 2	9.383 2	0.092 0	0.161 7	0.001 4	0.117 9	0.000 6	0.3628	0.008 2	2.265	6	2.376	23	2.473	15
24	300	1760	0.143 5	0.001 2	2.169 0	0.025 7	0.109 7	0.001 2	0.040 6	0.000 3	0.916 8	0.008 0	864	7	1.171	14	1.794	19
25	47	296	0.125 7	0.001 3	1.130 5	0.011 8	0.065 3	0.000 6	0.039 5	0.000 1	1.264 0	0.012 2	763	8	768	8	782	18
26	35	206	0.146 0	0.002 3	1.546 0	0.013 4	0.076 8	0.000 9	0.048 3	0.000 8	0.819 0	0.041 1	878	14	949	8	1.116	24

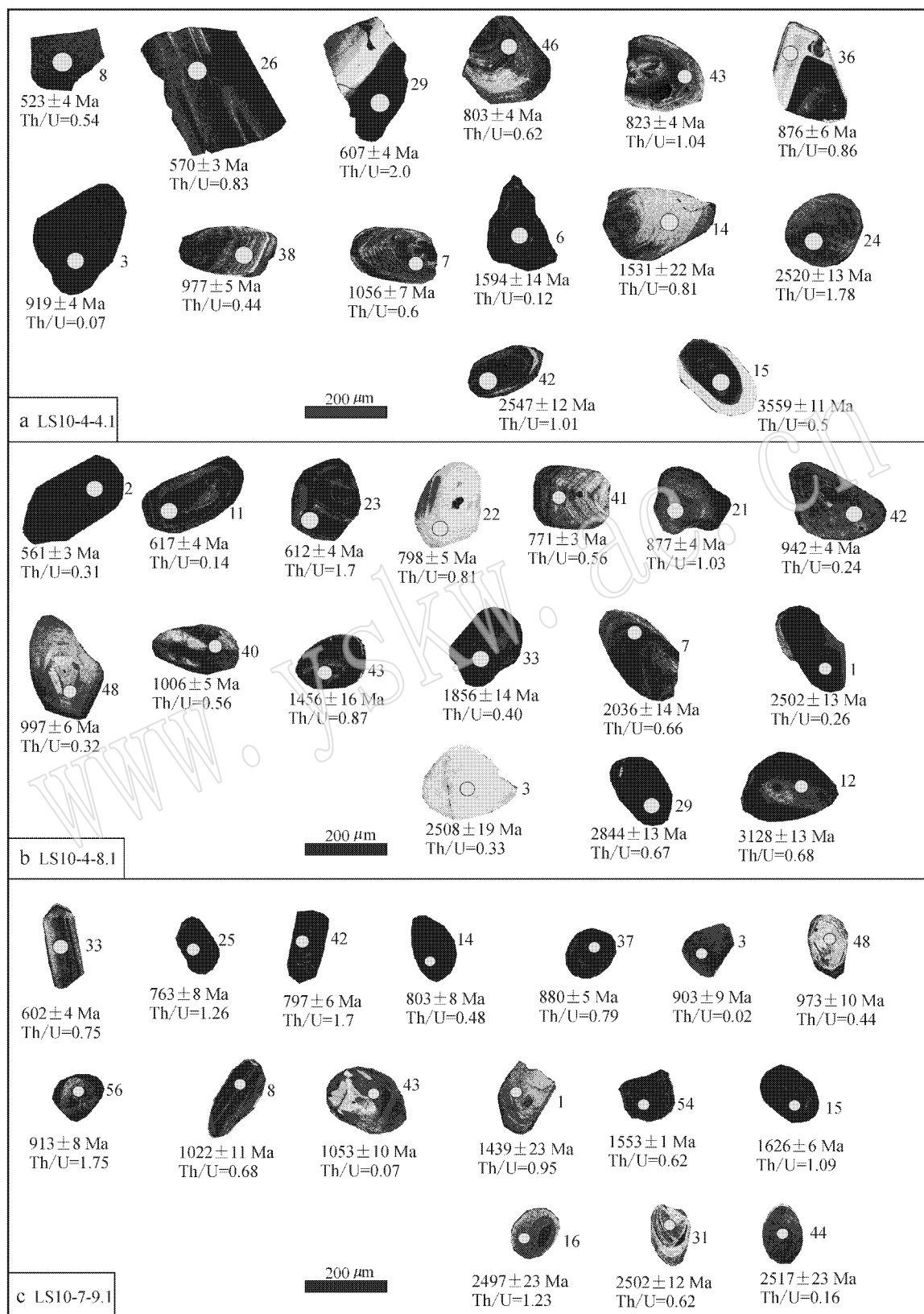


图 5 3 件样品碎屑锆石阴极发光照片

Fig. 5 CL images of detrital zircons from three samples

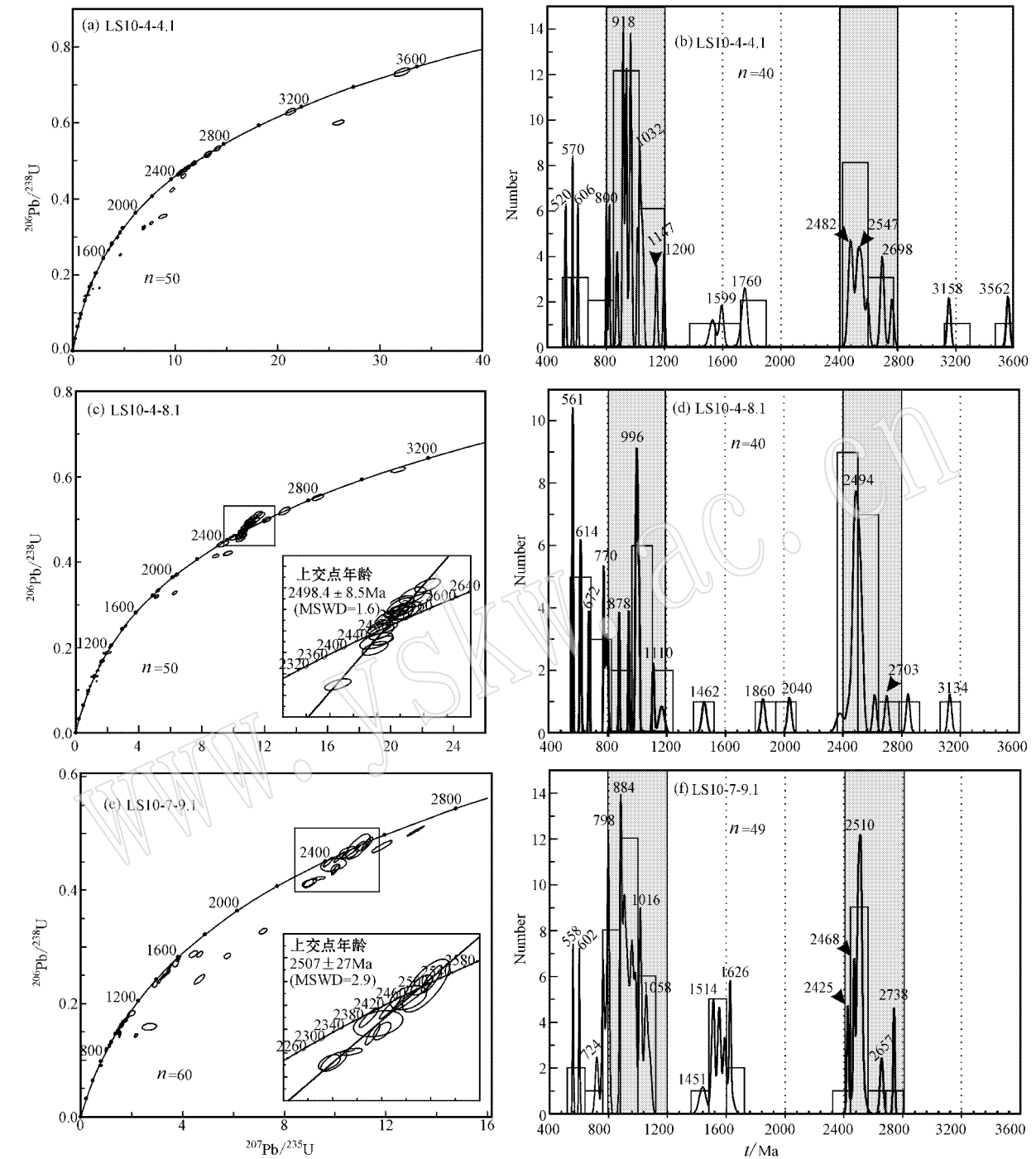


图 6 样品碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图和频谱图

Fig. 6 U-Pb concordia diagram and relative probability density diagram of ages for the analyzed samples

5 讨论

5.1 龙首山东段滑石口井地区地层时代的再厘定
龙首山岩群是阿拉善地块西部最重要的变质基

底之一,近年来对该岩群下部的花岗质片麻岩的测年结果集中在 1.92 ~ 2.17 Ga (修业群等, 2002, 2004 陆松年等, 2002 宫江华等, 2011), 上部副片麻岩碎屑锆石的测年结果集中在 2.0 ~ 2.2 Ga, 并普遍经历了 1.85 ~ 1.93 Ga 的变质事件 (宫江华等,

续表 1-4
Continued Table 1-4

测点号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值										年龄/Ma			
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	
			1 σ		1 σ		1 σ		1 σ		1 σ		1 σ		1 σ	
27	14	68	0.158 9	0.002 4	2.694 9	0.117 7	0.123 0	0.005 2	0.075 7	0.002 2	0.783 0	0.017 0	951	14	1 327	58
28	120	257	0.435 5	0.003 6	9.816 5	0.061 7	0.163 5	0.000 7	0.119 5	0.000 3	0.248 2	0.001 3	2 330	19	2 418	15
29	81	142	0.438 6	0.003 0	10.011 1	0.073 3	0.165 6	0.001 0	0.120 1	0.000 3	1.222 8	0.016 9	2 344	16	2 436	18
30	55	204	0.239 9	0.001 9	3.102 2	0.021 9	0.093 8	0.000 5	0.067 4	0.000 2	0.717 0	0.002 9	1 386	11	1 433	10
31	72	130	0.477 1	0.003 5	10.816 9	0.088 9	0.164 4	0.001 1	0.130 8	0.000 8	0.622 3	0.004 5	2 515	18	2 508	21
32	165	299	0.477 0	0.004 3	11.851 4	0.164 1	0.180 2	0.001 2	0.132 7	0.000 2	0.553 0	0.002 3	2 514	23	2 593	36
33	67	605	0.097 8	0.000 6	0.810 4	0.012 9	0.060 1	0.000 8	0.030 8	0.000 1	0.753 7	0.010 2	602	4	603	10
34	73	246	0.255 2	0.001 4	3.450 5	0.029 9	0.098 1	0.000 5	0.074 6	0.000 3	0.798 2	0.022 4	1 465	8	1 516	13
35	89	310	0.249 5	0.001 8	3.305 7	0.038 0	0.096 1	0.000 6	0.072 6	0.000 1	0.807 2	0.022 3	1 436	10	1 482	17
36	33	175	0.146 3	0.001 2	1.351 4	0.017 0	0.067 0	0.000 8	0.044 3	0.000 2	1.394 7	0.038 7	880	7	868	11
37	102	614	0.146 2	0.000 9	1.366 9	0.016 6	0.067 8	0.000 5	0.043 9	0.000 1	0.788 5	0.001 5	880	5	875	11
38	21	96	0.170 4	0.001 3	1.766 4	0.027 6	0.075 2	0.001 1	0.053 3	0.000 2	1.278 9	0.008 1	1 014	8	1 033	16
39	25	158	0.131 8	0.001 0	1.188 7	0.015 9	0.065 4	0.000 8	0.040 5	0.000 2	1.047 8	0.007 6	798	6	795	11
40	590	2 032	0.286 9	0.002 1	4.685 2	0.045 1	0.118 4	0.000 9	0.082 9	0.000 2	0.174 7	0.000 4	1 626	12	1 765	17
41	148	298	0.412 3	0.002 6	8.936 3	0.091 5	0.157 2	0.001 4	0.119 9	0.000 2	0.790 4	0.038 0	2 225	14	2 332	24
42	57	320	0.131 7	0.001 0	1.188 1	0.012 5	0.065 4	0.000 6	0.038 1	0.000 1	1.699 1	0.019 7	797	6	795	8
43	33	194	0.177 5	0.001 7	1.859 9	0.015 6	0.076 0	0.000 7	0.054 5	0.001 5	0.071 9	0.002 5	1 053	10	1 067	9
44	350	699	0.476 6	0.009 1	10.903 7	0.196 2	0.165 9	0.002 3	0.133 4	0.001 1	0.160 2	0.010 1	2 512	48	2 515	45
45	89	322	0.246 7	0.001 8	3.210 3	0.027 2	0.094 4	0.000 4	0.069 7	0.000 3	0.728 9	0.002 7	1 422	10	1 460	12
46	60	355	0.160 3	0.001 2	1.567 3	0.018 1	0.070 9	0.000 6	0.046 2	0.000 3	0.471 1	0.012 3	958	7	957	11
47	249	492	0.467 3	0.004 6	10.612 7	0.148 1	0.164 7	0.000 9	0.122 4	0.000 7	0.325 5	0.007 1	2 472	24	2 490	35
48	15	91	0.162 9	0.001 7	1.622 2	0.028 5	0.072 2	0.001 2	0.045 2	0.000 5	0.444 7	0.001 7	973	10	979	17
49	253	502	0.412 8	0.003 3	9.024 9	0.107 4	0.158 6	0.001 4	0.113 6	0.000 4	0.908 6	0.063 7	2 228	18	2 341	28
50	46	250	0.170 6	0.001 3	1.766 0	0.019 3	0.075 1	0.000 6	0.048 2	0.000 1	0.643 2	0.016 0	1 015	8	1 033	11
51	19	118	0.125 6	0.001 4	1.126 8	0.019 1	0.065 1	0.001 0	0.035 8	0.000 2	1.549 9	0.016 4	763	8	766	13
52	293	1 024	0.271 1	0.002 6	3.731 4	0.047 3	0.099 8	0.001 2	0.073 5	0.000 2	0.433 7	0.001 6	1 546	15	1 578	20
53	7	14	0.444 6	0.004 5	9.929 8	0.205 8	0.162 0	0.003 2	0.114 8	0.002 3	0.835 8	0.021 3	2 371	24	2 428	50
54	84	292	0.261 9	0.003 4	3.476 0	0.033 0	0.096 3	0.000 6	0.072 0	0.000 3	0.621 7	0.006 3	1 500	19	1 522	14
55	37	219	0.154 1	0.001 2	1.485 8	0.012 0	0.069 9	0.000 5	0.043 8	0.000 1	0.627 5	0.003 1	924	7	925	7
56	29	141	0.152 1	0.001 3	1.456 6	0.017 9	0.069 5	0.000 8	0.043 2	0.000 2	1.750 7	0.010 3	913	8	913	11
57	137	1 051	0.118 3	0.001 8	0.998 4	0.010 6	0.061 2	0.000 8	0.034 8	0.000 2	0.723 7	0.005 2	721	11	703	7
58	147	978	0.155 8	0.001 4	1.471 8	0.014 8	0.068 5	0.000 2	0.042 4	0.000 4	0.168 7	0.004 1	933	8	919	9
59	381	1 522	0.242 7	0.003 6	4.666 0	0.083 5	0.139 5	0.001 4	0.311 6	0.007 4	0.040 6	0.000 5	1 401	21	1 761	32
60	158	534	0.283 9	0.001 9	5.765 4	0.050 6	0.147 3	0.001 2	0.095 7	0.000 6	0.162 6	0.002 7	1 611	11	1 941	17

2011),因此认为龙首山岩群主体形成于古元古代。取自滑石口井地区的 2 件变砂岩样品(LS10-4-4.1 和 LS10-4-8.1)的碎屑锆石测年结果介于 $523 \pm 4 \sim 3\,559 \pm 11$ Ma,可以肯定龙首山东段滑石口井地区的这套沉积地层并不属于龙首山岩群。

相邻寒武系大黄山群变砂岩样品(LS10-7-9.1)的碎屑锆石同样具有 $559 \pm 4 \sim 2\,738 \pm 6$ Ma 较大的年龄范围。与滑石口井地区 2 件变沉积岩样品相比,大黄山群变砂岩中没有获得 $>2\,700$ Ma 古-中太古代年龄的锆石和 <550 Ma 早古生代初期的锆石,这可能是由于测年锆石数量较少或者这类锆石的源岩在源区占较小比例,但二者 ~ 600 Ma, $800 \sim 1\,000$ Ma、 $\sim 2\,500$ Ma、 $\sim 2\,700$ Ma 几个年龄峰非常一致(图 6),说明滑石口井地区变沉积岩与大黄山群的碎屑物质来源可能是相同的。因此,原被认为归属‘龙首山岩群’的滑石口井地区沉积地层可能属于寒武系大黄山群,沉积时代晚于最小的谐和年龄 523 ± 4 Ma,时代限定为中、晚寒武世。

5.2 祁连地块与阿拉善地块变质基底性质

尽管一些学者认为祁连地块与阿拉善地块具有亲缘性,甚至在新元古代末期可能形成统一的板块(葛肖虹等,1999,2000;段吉业等,2005),但近年来

对于祁连地块与阿拉善地块基底的研究却不支持这一点。对祁连地块的研究表明,其变质基底岩石年龄主要集中在 $800 \sim 1\,000$ Ma(表 2),与扬子-塔里木板块基底类似。阿拉善地块基底包括两部分,东部的早前寒武纪基底被厘定为新太古代(古元古代)叠布斯格群、古元古代巴彦乌拉山群、古(中元古代)阿拉善岩群及古元古代波罗斯坦庙杂岩(李俊健等,2004;耿元生等,2006,2007;Dan *et al.*,2012);西部的早前寒武基底分为龙首山岩群和北大山杂岩,前者形成于古元古代(修群业等,2002,2004;宫江华等,2011),而后者近期发现有 ~ 2.5 Ga 的 TTG 片麻岩(宫江华等,2012),与华北克拉通广泛分布的 2.5 Ga 岩浆事件的特征一致(Zhai *et al.*,2005)。此外,阿拉善地块早前寒武纪基底中普遍记录的 $1.85 \sim 1.95$ Ga 的变质事件(耿元生等,2010b;宫江华等,2011),与华北克拉通中部造山带与孔兹岩带所记录的变质时间一致(Zhao *et al.*,2005,2010),充分证明阿拉善地块早前寒武基底主体与华北克拉通相似。张振法等(1997)从地球物理的角度也支持阿拉善地块是华北克拉通的一部分;而万渝生等(2003)综合变质基底年代学、地球化学及 Nd 同位素等特征,认为祁连地块与阿拉善地块晋宁期之

表 2 祁连地块变质基底岩石的锆石年龄

Table 2 Zircon ages of meta-basement rocks from Qilian terrane

采样点	岩性	年龄/Ma	测试方法	参考文献
马街山	片麻状二长花岗岩	930 ± 7	TIMS	Wan <i>et al.</i> , 2000
化隆南	片麻状钾质花岗岩	750 ± 3		
马街山	黑云变粒岩-片麻岩	940 ± 3	TIMS	万渝生等,2003
湟源东	花岗岩	917 ± 12	TIMS	郭进京等,2000
湟源群	变质火山岩	910 ± 6.7	TIMS	
牛心山	片麻状花岗岩	776 ± 10	SHRIMP	曾建元等,2006
雷公山	片麻状石英闪长岩	774 ± 23	SHRIMP	
北大河吊大坂	花岗片麻岩	751 ± 14	LAICPMS	苏建平等,2004
马街山	片麻状二长花岗岩	$1\,192 \pm 38$	LAICPMS	王洪亮等,2007
湟源南	花岗片麻岩	930 ± 8	SHRIMP	董国安等,2007b
马街山	花岗片麻岩	918 ± 14	SHRIMP	
湟源	糜棱岩化花岗质片麻岩	790 ± 12	SHRIMP	
马街山	角闪岩	~ 910	SHRIMP	Tung <i>et al.</i> , 2012
肃北柳沟峡	花岗片麻岩	$1\,463 \pm 74$	TIMS	郭力宇等,2002
肃北党河	片麻状斜长角闪岩	724 ± 4	LAICPMS	何世平等,2010
化隆群	黑云斜长角闪岩	884 ± 9	LAICPMS	何世平等,2011
化隆	片麻状花岗岩	875 ± 8	LAICPMS	徐旺春等,2007
大通宝库	片麻状黑云母花岗岩	853 ± 2	LAICPMS	雍拥等,2008
湟源东响河	片麻状黑云母花岗岩	888 ± 3	LAICPMS	
日月山	花岗岩	846 ± 2	LAICPMS	
海晏五峰村	花岗岩	756 ± 2	LAICPMS	

前分属扬子与华北不同的板块体系。在阿拉善地块,确切的新元古代岩浆事件只有金昌 827 ± 8 Ma 的超基性岩(李献华等, 2004); 另外, 耿元生等(2002, 2010a)报道的阿拉善地块北部巴音诺尔公地区有 $913 \sim 926$ Ma 的变形花岗岩, 可能并不属于真正的阿拉善地块, 而是卷入中亚造山带范畴的新元古代岩浆事件, 类似的岩浆事件在北山地区也有报道(于海峰等, 2000)。因此, 祁连地块与阿拉善地块的变质基底性质相差较大, 具有不同的构造属性。

5.3 寒武系大黄山群沉积环境及碎屑物质来源

由于基底性质的差异, 新元古代末期, 祁连地块与阿拉善地块没有形成具有相同基底的统一克拉通, 而是彼此分离的不同板块体系的独立陆块。因此, 早古生代期间, 北祁连不是陆内裂谷(拗拉槽)环境(葛肖虹等, 1999)。近年来, 对北祁连岛弧火山岩、蛇绿岩及蓝片岩等研究表明, 祁连地块与阿拉善地块之间在早古生代期间发育真正的大洋, 可能属于原特提斯洋的一部分(侯青叶等, 2005; 董国安等, 2007b; 曾建元等, 2007)。晚寒武纪—早奥陶纪时, 洋壳开始俯冲, 形成完整的沟—弧—盆体系(Xiao *et al.*, 2009; Song *et al.*, 2012), 河西走廊在奥陶纪时形成弧后盆地背景, 志留纪—泥盆纪时由于碰撞造山形成前陆盆地(杜远生等, 2004; Xu *et al.*, 2010b), 而在寒武纪期间, 洋壳俯冲还未开始或刚刚开始, 北祁连可能只是海底扩张的大洋环境。河西走廊寒武系大黄山群变沉积岩的岩相学及沉积特征表明, 大黄山群主要由砂岩、泥岩夹硅质岩和少量碳酸岩组成, 局部砂岩底面具波状冲刷面及印模、同生砾石等, 韵律清楚, 具有类复理石的特点。沉积碎屑以陆缘碎屑为主, 少见火山碎屑物质。矿物组成以石英为主, 磨圆较好, 具有较高的成熟度, 这些特征都说明大黄山群可能沉积于大陆边缘稳定的滨海—浅海相环境。

本文3件变沉积岩样品获得少量 $520 \sim 600$ Ma 新元古代末—早古生代初的锆石年龄(图 7a)。该年龄的岩石在阿拉善地块未见报道, 而在南侧的北祁连造山带, 夏林圪等(1996)获得玉石沟蛇绿岩中基性熔岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄 $522 \sim 495$ Ma; 夏祖春等(1996)在白银厂、黑石山等地获得一系列火山岩 Rb-Sr 和 Sm-Nd 等时线年龄 $679 \sim 514$ Ma; 史仁灯等(2004)也报道了玉石沟蛇绿岩中辉长岩 SHRIMP 锆石年龄为 550 ± 17 Ma。因此, 大黄山群新元古代末—早古生代初期的碎屑物质最可能来自

北祁连相关的火成岩。

最显著的新元古代年龄区间 $800 \sim 1\,000$ Ma(图 7a), 反映了源区存在强烈的新元古代岩浆—变质事件。对祁连地块的研究表明, 其变质基底的岩浆结晶年龄多集中在 $800 \sim 1\,000$ Ma(表 2), 与本文碎屑锆石的新元古代年龄区间非常吻合。同时祁连地块的新元古代变质事件, 如王洪亮等(2007)在马衔山花岗岩中获得 985 ± 10 Ma 的变质锆石; 李怀坤等(2007)获得北大河群 ~ 863 Ma 变质事件年龄等, 进一步说明新元古代碎屑物质主要来自祁连地块。如前所述, 阿拉善地块可靠的新元古代数据只有金昌的超基性岩(李献华等, 2004), 耿元生等(2002, 2010a)报道的新元古代早期花岗片麻岩分布在阿拉善地块北部边缘, 有可能属于中亚造山带, 且距离大黄山群出露的河西走廊一带位置较远(图 8), 不太可能为其提供大量新元古代碎屑物质。因此, 新元古代碎屑物质应主要来自祁连地块。

$2\,500 \sim 2\,800$ Ma 新太古代年龄构成样品年龄谱的次要峰值(图 7a)。前人的研究表明, 阿拉善地块存在古老的太古宙基底(耿元生等, 2006, 2007), 近期在北大山地区也发现有 ~ 2.5 Ga 的 TTG 岩石(宫江华等, 2012), 这似乎意味着太古宙碎屑锆石有可能来自阿拉善地块。然而, 具有古老的太古宙碎屑物质并不是某个克拉通的特征, 如华南板块和塔里木板块的基底岩石中均记录了大量的太古宙岩浆热事件, 其中 ~ 2.5 Ga 的岩浆热事件同样分布于这些克拉通内部(郑永飞等, 2007; Long *et al.*, 2010)。祁连地块的太古宙岩石虽未见报道, 但其变质基底的副变质岩中获得大量太古宙年龄的锆石, ~ 2.5 Ga 也构成一个较小的年龄峰值(图 7b)。因此, ~ 2.5 Ga 的碎屑物质来自祁连地块与阿拉善地块均有可能。然而, 阿拉善地块分布有大量的古元古代($2.0 \sim 2.3$ Ga)岩浆事件(李俊健等, 2004; 耿元生等, 2006, 2007; 周红英等, 2007; 宫江华等, 2011), 同时阿拉善地块基底副变质岩以古元古代年龄碎屑为主(图 7d), 华北克拉通同时期的寒武系地层也体现出以古元古代碎屑锆石为主的特点(Darby and Gehrels, 2006, 图 7f), 然而本文样品的年龄谱并没有对应的古元古代年龄峰, 古元古代年龄的锆石甚至总体缺乏, 这与陆松年等(2009)发现祁连地块基底中相对缺乏古元古代碎屑锆石的特征吻合。因此, 太古宙碎屑锆石很可能来自祁连地块再循环的基底岩石, 而不是阿拉善地块。

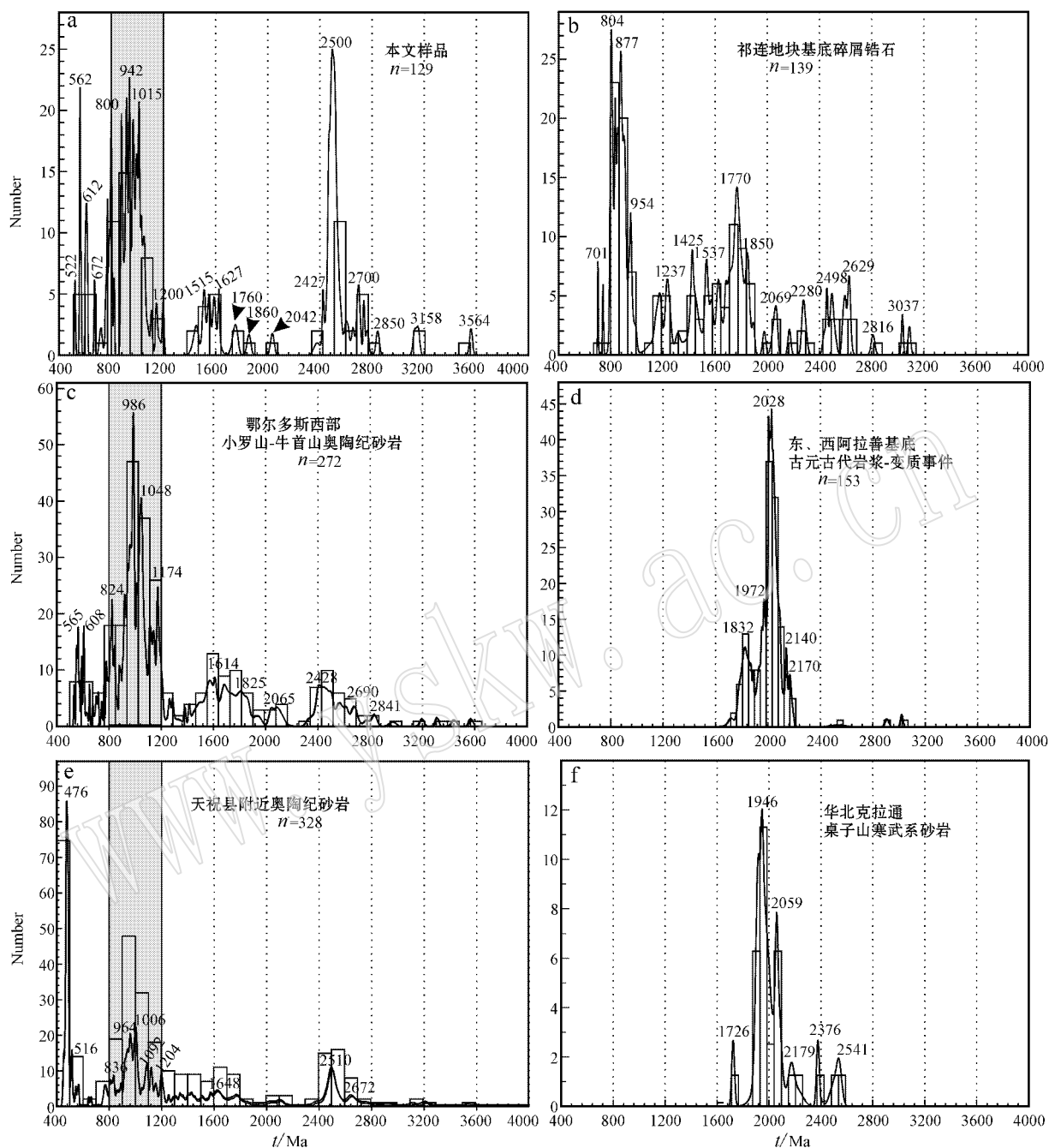


图 7 研究区及邻区不同地层的碎屑锆石年龄频谱图

Fig. 7 Detrital zircon age spectra and relative age probability curves of different strata in the study area and neighboring areas
a—本文 3 件寒武纪变沉积岩碎屑锆石年龄谱；b—祁连地块基底变沉积岩碎屑锆石年龄谱(据董国安等, 2007b；何世平等, 2011；李怀坤等, 2007；徐旺春等, 2007)；c—鄂尔多斯盆地西部小罗山、牛首山奥陶纪砂岩碎屑锆石年龄谱(据 Zhang *et al.*, 2011)；d—阿拉善地块基底元古代岩浆-变质锆石年龄谱(据耿元生等, 2010b；官江华等, 2011)；e—河西走廊天祝县附近奥陶纪砂岩碎屑锆石年龄谱(据 Xu *et al.*, 2010a)；f—华北克拉通西部桌子山寒武系砂岩碎屑锆石年龄谱(据 Darby and Gehrels, 2006)；以上年龄数据均对原文数据进行重新筛选, 谐和度 95%~105%

a—detrital zircon age spectra of three Cambrian metasediment samples in this study；b—detrital zircon age spectra of meta-basement in Qilian Block (after Dong Guoan *et al.*, 2007b；He Shiping *et al.*, 2011；Li Huaikun *et al.*, 2007；Xu Wangchun *et al.*, 2007)；c—detrital zircon age spectra of Ordovician sandstone from Xiaoluoshan and Niushoushan, western part of Ordos basin (after Zhang *et al.*, 2011)；d—Paleoproterozoic magmatic and metamorphic zircon age spectra of meta-basement in Alxa Block (after Geng Yuansheng *et al.*, 2010b；Gong Jianghua *et al.*, 2011)；e—detrital zircon age spectra of Ordovician sandstone from Tianzhu County in Hexi Corridor (after Xu *et al.*, 2010a)；f—detrital zircon age spectra of Cambrian sandstone from Zhuozishan, western part of NCC (after Darby and Gehrels, 2006)

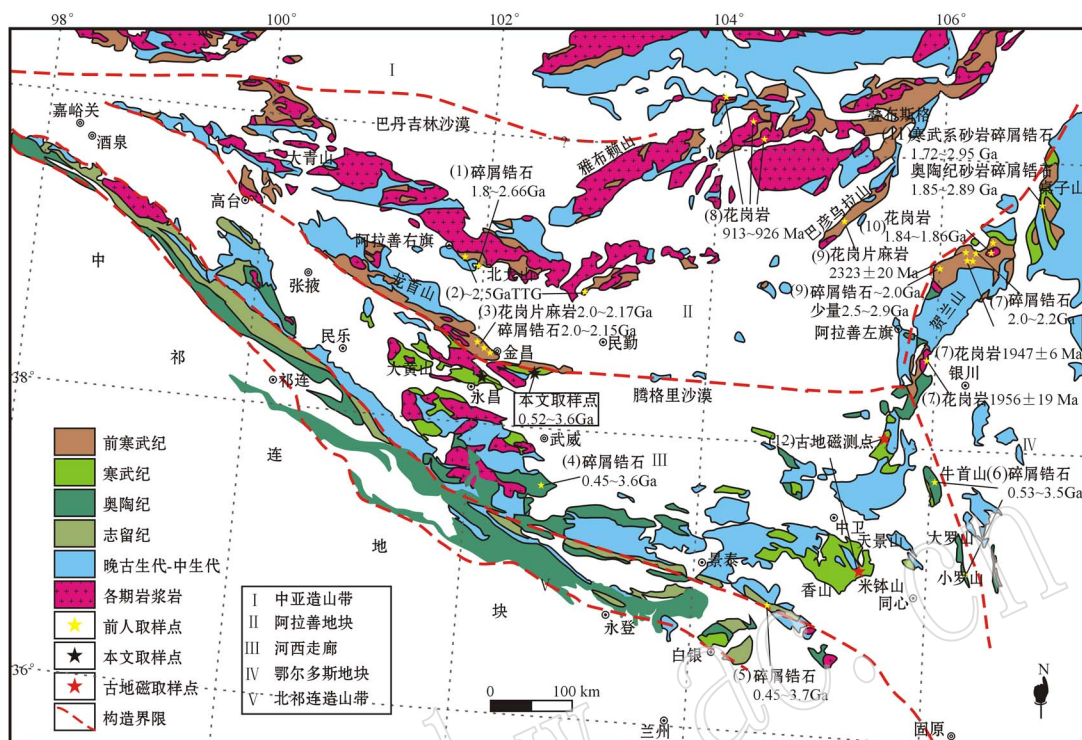


图8 重新划分的阿拉善地块构造格局

Fig. 8 Redivision of the tectonic framework of Alxa Block

图中数据来源:(1)—宫江华等未发表数据;(2)—宫江华等, 2012;(3)—宫江华等, 2011;(4)—Xu *et al.*, 2010a;(5)—Yang *et al.*, 2009;(6)—Zhang *et al.*, 2011;(7)—Dan *et al.*, 2012;(8)—耿元生等, 2010a;(9)—董春燕等, 2007;(10)—Yin *et al.*, 2011;(11)—Darby and Gehrels, 2006;(12)—黄宝春等, 2000

Data source: (1)—unpublished data;(2)—Gong Jianghua *et al.*, 2012;(3)—Gong Jianghua *et al.*, 2011;(4)—Xu *et al.*, 2010a;(5)—Yang *et al.*, 2009;(6)—Zhang *et al.*, 2011;(7)—Dan *et al.*, 2012;(8)—Geng Yuansheng *et al.*, 2010a;(9)—Dong Chunyan *et al.*, 2007;(10)—Yin *et al.*, 2011;(11)—Darby and Gehrels, 2006;(12)—Huang Baochun *et al.*, 2000

另外, 一个较小的年龄群分布于 1.4~1.8 Ga (图 7a)。祁连地块有古元古代晚期—中元古代岩浆热事件报道, 如肃北柳沟峡 1463 ± 74 Ma 花岗岩片麻岩 (郭力宇等, 2002); 另外祁连地块不同地点的基底变沉积岩中也分布有较多的中元古代碎屑锆石 (图 7b), 陆松年等 (2009) 对比祁连地块北大河岩群、湟源岩群和化隆岩群的碎屑锆石年龄特征, 也发现 1.4~1.8 Ga 中元古代锆石年龄高频区, 以上特点与本文样品中元古代碎屑锆石年龄分布非常相似。而阿拉善地块目前并没有中元古代岩浆事件报道, 因此认为中元古代碎屑物质主要来自祁连地块。

综合研究区的构造背景及大黄山群碎屑物源的分析, 推测在中、晚寒武世期间, 大黄山群主要接受来自祁连地块的陆缘碎屑, 在靠近祁连地块的一侧沉积形成巨厚的类复理石地层。

5.4 阿拉善地块西南缘早古生代地层的性质及归属

大黄山群碎屑锆石的新元古代 (0.8~1.0 Ga) 年龄峰显著区别于华北克拉通寒武纪地层 (贺兰山以东的桌子山) 碎屑锆石 1.9~2.1 Ga 的年龄峰 (Darby and Gehrels, 2006, 图 7f), 说明二者属于不同的地质背景。近来, Zhang 等 (2011) 对河西走廊东侧 (鄂尔多斯西缘) 牛首山和小罗山奥陶纪砂岩的研究, 同样显示碎屑锆石主体为新元古代 (图 7c), 与华北克拉通同时期奥陶纪地层碎屑锆石特征不同 (Darby and Gehrels, 2006), 而与本文年龄谱特征一致。这可能意味着河西走廊地区大黄山群与贺兰山西南部早古生代地层的沉积环境和构造背景是一致的, 它们的碎屑物质均以新元古代碎屑为主, 不同于华北克拉通。另外, 一些学者对北祁连—河西走廊地区不同地点的早古生代地层研究, 均发现以新元古

代碎屑锆石为主的特点(Yang *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2010a, 如图 7e)。由此认为,河西走廊地区永昌-武威一带及其东部的早古生代地层都处于统一的构造环境下(图 8),它显然与祁连地块的亲缘性更好,而区别于真正的华北克拉通。

Zhang 等(2011)和李锦轶等(2012)提出以贺兰山西麓断层为界分割阿拉善地块与华北克拉通,并把贺兰山西南的牛首山、大罗山、小罗山等早古生代地层归为阿拉善地块,并根据这些地区早古生代碎屑锆石特征明显不同于贺兰山以东的桌子山早古生代地层碎屑锆石年龄谱的特点,认为华北板块与阿拉善地块在晚奥陶世—泥盆纪早期之间的某个时期拼合。然而,根据区域资料和碎屑锆石特征,笔者认为贺兰山西南的早古生代地层与河西走廊地区早古生代地层同为祁连造山带的组成部分,不属于阿拉善地块。对龙首山东段滑石口井地区地层时代的重新厘定,认为划分河西走廊与阿拉善地块的重要界限——龙首山南缘断裂,可能并不是从滑石口井南部通过,而是从其北部通过,向东进入腾格里沙漠(图 8)。该断裂北部地区才真正代表阿拉善地块。

此外,黄宝春等(2000)对原认为属于阿拉善地块的宁夏米钵山和内蒙古土城子中寒武世地层进行古地磁研究(图 8),认为河西走廊和阿拉善之间自中寒武世以来未发生明显的相对运动,但相对于华北板块主体发生旋转,在早古生代早期阿拉善地块与华北板块可能是分开的。本文新的解释是:这些中寒武世地层中的古地磁样品与本文所研究的寒武纪大黄山群同属祁连造山带,而不属于阿拉善地块。在早古生代早期,其与华北板块可能有祁连洋(原特提斯洋)分开,而阿拉善地块仍应为华北克拉通的组成部分。当然,这一推断仍需要进一步研究来证实。

6 结论

(1) 龙首山东段滑石口井地区出露一套浅变质沉积岩系,取自该地层和大黄山群的 3 件变砂岩的碎屑锆石 LA-ICPMS 年龄特征表明这套沉积地层不属于元古代龙首山岩群,而是属于寒武纪大黄山群,时代厘定为中、晚寒武世。

(2) 祁连地块与阿拉善地块在早古生代初之前属于基底性质不同的独立陆块。龙首山东段的浅变质沉积岩及南部的大黄山群可能沉积于祁连地块北侧的大陆边缘,碎屑物质全部来自祁连地块,因此河

西走廊地区在构造背景上属于祁连造山带,而不属于阿拉善地块。

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192 : 59~79.
- Black L P, Kamo S L, Allen C M, *et al.* 2003. TEMORA 1 : a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology [J]. *Chemical Geology*, 200 : 155~170.
- Dan Wei, Li Xianhua, Guo Jinghui, *et al.* 2012. Paleoproterozoic evolution of the eastern Alxa Block, westernmost North China : Evidence from in situ zircon U-Pb dating and Hf-O isotopes [J]. *Gondwana Research*, 21 (4) : 838~864.
- Darby B J and Gehrels G E. 2006. Detrital zircon reference for the North China block [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26 : 637~648.
- Dong Chunyan, Liu Dunyi, Li Junjian, *et al.* 2007. Palaeoproterozoic Khondalite Belt in the western North China Craton : New evidence from SHRIMP dating and Hf isotope composition of zircons from metamorphic rocks in the Bayan Ul-Helan Mountains area [J]. *Chinese Science Bulletin*, 52 (21) : 2 984~2 994.
- Du Yuansheng, Zhu Jie, Han Xin, *et al.* 2004. From the back-arc basin to foreland basin-Ordovician-Devonian sedimentary basin and tectonic evolution in the North Qilian orogenic belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 23 (9~10) : 911~917 (in Chinese with English abstract).
- Duan Jiye and Ge Xiaohong. 2005. Stratigraphic and paleobiogeographic affinities between different units in northwestern China-With a discussion of the tectonic framework of northwestern China [J]. *Geological Bulletin of China*, 24 (6) : 558~563 (in Chinese with English abstract).
- Feng Yimin and Wu Hanquan. 1992. Tectonic evolution of north Qilian mountains and its neighbourhood since Paleozoic [J]. *Northwest Geoscience*, 13 (2) : 61~73 (in Chinese with English abstract).
- Ge Xiaohong and Liu Junlai. 1999. Formation and tectonic background of the northern Qilian orogenic belt [J]. *Earth Science Frontiers*, 6 (4) : 223~230 (in Chinese with English abstract).
- Ge Xiaohong and Liu Junlai. 2000. Broken "Western China Craton" [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16 (1) : 59~66 (in Chinese with English abstract).
- Gehrels G E, Valencia V and Pullen A. 2006. Detrital zircon geochronology by laserablation multicollector ICPMS at the Arizona Laser-Chron Center [A]. Olszewski T and Huff W. *Geochronology : Emerging Opportunities* : Philadelphia [C]. Pennsylvania, Paleontological Society Short Course, 1~10.
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, *et al.* 2002. The discovery of Neoproterozoic Jinningian deformed granites in Alxa area and its significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21 (4) : 412~420 (in Chinese with English abstract).

- Geng Yuansheng, Wang Xinshe and Shen Qihan. 2006. Redefinition of the Alxa Group of Precambrian metamorphic basement in Alax region, Inner Mongolia [J]. *Geology in China*, 33(1): 138~145 (in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe and Shen Qihan. 2007. Chronology of the Precambrian metamorphic series in the Alxa, Inner Mongolia [J]. *Geology in China*, 34(2): 251~261 (in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng and Zhou Xiwen. 2010a. Early Neoproterozoic granite events in Alxa area of Inner Mongolia and their geological significance: Evidence from geochronology [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 779~795 (in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Wu Chunming, *et al.* 2010b. Late Paleoproterozoic tectonothermal events of the metamorphic basement in Alxa area: Evidence from geochronology [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 1159~1170 (in Chinese with English abstract).
- Gong Jianghua, Zhang Jianxin and Yu Shengyao. 2011. The origin of Longshoushan Group and associated rocks in the southern part of the Alxa block: constraint from LA-ICP-MS U-Pb zircon dating [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(5): 795~818 (in Chinese with English abstract).
- Gong Jianghua, Zhang Jianxin, Yu Shengyao, *et al.* 2012. Ca. 2.5 Ga TTG rocks in the western Alxa Block and their implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 57(31): 4064~4076.
- Guo Jinjing, Zhao Fengqing, Li Huaikun, *et al.* 2000. New chronological evidence of the age of Huangyuan Group in the eastern segment of Mid-Qilian massif and its geological significance [J]. *Regional Geology of China*, 19(1): 26~31 (in Chinese with English abstract).
- Guo Liyu, Gan Zhimao and Li Huimin. 2002. Single-zircon U-Pb dating of the Liugouxia granitic gneiss in the western segment of the North Qilian Mountains [J]. *Geology in China*, 29(2): 126~128 (in Chinese with English abstract).
- He Shiping, Li Rongshe, Wang Chao, *et al.* 2010. Geochronology of gneissic plagioclase-amphibolite from Beidahe Group Complex in Western segment of Mountains, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 29(9): 1275~1280 (in Chinese with English abstract).
- He Shiping, Li Rongshe, Wang Chao, *et al.* 2011. The further age constraint of Hualong rock Group in the eastern segment of South Qilian Mountains [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(1): 34~44 (in Chinese with English abstract).
- Hou Qingye, Zhao Zhidan, Zhang Hongfei, *et al.* 2006. Indian Ocean-MORB-type isotopic signature of Yushigou Ophiolite in north Qilian Mountains and its implications [J]. *Science in China Series D—Earth Science*, 49(6): 561~572.
- Huang Baochun, Otofujii Yo-Ichiro, Yang Zhenyu, *et al.* 2000. Preliminary results and its tectonic implications of Middle Cambrian Paleomagnetism in the Alashan and Hexi Corridor Terrane [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 43(3): 393~401 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Lu Songnian, Xiang Zhenqun, *et al.* 2007. SHRIMP U-Pb Geochronological Research on Detrital Zircons from the Beidahe Complex-Group in the Western Segment of the North Qilian Mountains, Northwest China [J]. *Geological Review*, 53(1): 132~140 (in Chinese with English abstract).
- Li Junjian, Shen Baofeng, Li Huimin, *et al.* 2004. Single-Zircon U-Pb age of granodioritic gneiss in the Bayan UI area, Western Inner Mongolia [J]. *Geological Bulletin of China*, 23(12): 1243~1245 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Zhang Jin and Qu Junfeng. 2012. Amalgamation of North China Craton with Alxa Block in the Late of early Paleozoic: Evidence from sedimentary sequences in the Niushou Mountain, Ningxia Hui Autonomous Region, NW China [J]. *Geological Review*, 58(2): 208~214 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenyuan, Guo Zhouping and Wang Wei. 2005. Caledonian convergent transformation and metallogenetic response in the north Qilian Mountains [J]. *Geological Review*, 51(2): 120~127 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Su Li, Song Biao, *et al.* 2005. SHRIMP U-Pb zircon age of the Jinchuan ultramafic intrusion and its geological significance [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(4): 420~422.
- Liu Xueya and Wang Quan. 1993. Tectonics of the Longshoushan Ancient rift and Hexi corridor [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 27, 28: 1~14 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, *et al.* 2010. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535~1546.
- Long Xiaoping, Yuan Chao, Sun Ming, *et al.* 2010. Archean crustal evolution of the northern Tarim craton, NW China: Zircon U-Pb and Hf isotopic constraints [J]. *Precambrian Research*, 180: 272~284.
- Lu Songnian, Yu Haifeng, Jin Wei, *et al.* 2002. Microcontinents on the eastern margin of Tarim paleocontinent [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(4): 317~326 (in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Li Huaikun, Wang Huichu, *et al.* 2009. Detrital zircon population of Proterozoic metasedimentary strata in the Qinling-Qilian-Kunlun Orogen [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(9): 2195~2208 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 1999. Using Isoplot/EX, version2, A geochronological Toolkit for Microsoft Excel [J]. *Berkeley Geochronological Center Special Publication*, 1~47.
- Shi Rendeng, Yang Jingsui, Wu Cailai, *et al.* 2004. First SHRIMP dating for the formation of the Late Sinian Yushigou Ophiolite North Qilian Mountains [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(5): 649~657 (in Chinese with English abstract).
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, *et al.* 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP Dating [J]. *Geological Review*, 48: 26~30 (in Chinese with English abstract).
- Song Shuguang, Niu Yaoling, Zhang Lifei, *et al.* 2009. Time con-

- straints on orogenesis from oceanic subduction to continental subduction, collision, and exhumation: An example from North Qilian and North Qaidam HP-UHP belts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(9): 2067~2077(in Chinese with English abstract).
- Song Shuguang, Niu Yaoling, Su L., *et al.* 2012. Tectonics of the North Qilian orogen, NW China[J]. *Gondwana Research*, doi:10.1016/j.gr.2012.02.004.
- Su Jianping, Hu Nenggao, Zhang Haifeng, *et al.* 2004. Single zircon U-Pb dating and geological significance of the diaodaban granitic gneiss in the western segment of north Qilian mountains[J]. *Geological Science and Technology Information*, 23(3): 11~14(in Chinese with English abstract).
- Tseng Chien yuan, Yang Huaijen, Yang Hounyi, *et al.* 2007. The Dongcahe ophiolite from the North Qilian Mountains: A fossil oceanic crust of the Paleo-Qilian ocean[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(17): 2390~2401.
- Tseng Chien yuan, Yang Hounyi, Wan Yusheng, *et al.* 2006. Finding of Neoproterozoic (~775 Ma) magmatism recorded in metamorphic complexes from the North Qilian orogen: Evidence from SHRIMP zircon U-Pb dating[J]. *Chinese Science Bulletin*, 51(8): 963~970.
- Tung Kuoan, Yang Hounyi, Liu Dunyi, *et al.* 2007a. SHRIMP U-Pb geochronology of the detrital Zircons from the Longshoushan Group and its tectonic significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(10): 1414~1425.
- Tung Kuoan, Yang Huaijen, Yang Hounyi, *et al.* 2007b. SHRIMP U-Pb geochronology of the zircons from the Precambrian basement of the Qilian Block and its geological significances[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(19): 2687~2701.
- Tung Kuoan, Yang Hounyi, Liu Dunyi, *et al.* 2012. The amphibolite-facies metamorphosed mafic rocks from the Maxianshan area, Qilian block, NW China: A record of early Neoproterozoic arc magmatism[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 46: 177~189.
- Wan Yusheng, Yang Jingsui, Xu Zhiqin, *et al.* 2000. Geochemical characteristics of the Maxianshan Complex and Xinglongshan Group in the eastern segment of the Qilian Orogenic Belt[J]. *Geology Review*, 43(1): 52~68.
- Wan Yusheng, Xu Zhiqin and Yang Jingsui. 2003. The Precambrian high-grade basement of the Qilian terrane and neighboring areas: its ages and compositions[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(4): 319~324(in Chinese with English abstract).
- Wang Hongliang, He Shiping, Chen Juanlu, *et al.* 2007. LA-ICPMS Dating of Zircon U-Pb and its tectonic significance of Maxianshan granitoid intrusive Complex, Gansu Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(1): 72~78(in Chinese with English abstract).
- Wang Quan and Liu Xueya. 1976. Paleo-oceanic crust of the Qilianshan region, western China and its tectonic significance[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1: 42~55(in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun and Xu Xueyi. 1995. Dynamics of tectono-volcano-magmatic evolution from north Qilian mountains, China[J]. *Northwest Geoscience*, 16(1): 1~28(in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun and Xu Xueyi. 1996. Petrogenesis of Marine Volcanic Rocks in the North Qilian Mountains[M]. Beijing: Geological Publish House, 1~153(in Chinese).
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Ren Youxiang, *et al.* 1999. The Paleosubmarine volcanism and mineralization in North Qilian Mountains[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(3): 259~264(in Chinese with English abstract).
- Xia Zuchun, Xia Linqi and Xu Xueyi. 1996. The late-Proterozoic-Cambrian active continental rift volcanism in northern Qilian mountains[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 17(3): 282~291(in Chinese with English abstract).
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Yong Yong, *et al.* 2009. Early Paleozoic to Devonian multiple-accretionary model for the Qilian Shan, NW China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 35: 323~333.
- Xiu Qunye, Lu Songnian, Yu Haifeng, *et al.* 2002. The Isotopic age evidence for main Longshoushan Group Contributing to Palaeoproterozoic[J]. *Progress in Precambrian Research*, 25(2): 93~96(in Chinese with English abstract).
- Xiu Qunye, Yu Haifeng, Li Quan, *et al.* 2004. Discussion on the Petrogenic Time of Longshoushan Group, Gansu Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 366~373(in Chinese with English abstract).
- Xu Wangchun, Zhang Hongfei and Liu Xiaoming. 2007. U-Pb zircon dating constraints on formation time of Qilian high-grade metamorphic rock and its tectonic implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(4): 531~538.
- Xu Yajun, Du Yuansheng, Cawood P A, *et al.* 2010a. Detrital zircon record of continental collision: Assembly of the Qilian Orogen, China[J]. *Sedimentary Geology*, 230: 35~45.
- Xu Yajun, Du Yuansheng, Cawood P A, *et al.* 2010b. Provenance record of a foreland basin: Detrital zircon U-Pb ages from Devonian strata in the North Qilian Orogenic Belt, China[J]. *Tectonophysics*, 495: 337~347.
- Xu Zhiqin, Xu Huifen, Zhang Jianxin, *et al.* 1994. The Zoulangnanshan Caledonian subductive complex in the northern Qilian mountains and its dynamics[J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(1): 1~15(in Chinese with English abstract).
- Yang Jianghai, Du Yuansheng, Cawood P A, *et al.* 2009. Silurian collisional suturing onto the southern margin of the North China craton: Detrital zircon geochronology constraints from the Qilian Orogen[J]. *Sedimentary Geology*, 220: 95~104.
- Yin Changqing, Zhao Guochun, Guo Jinghui, *et al.* 2011. U-Pb and Hf isotopic study of zircons of the Helanshan Complex: Constrains on the evolution of the Khondalite Belt in the Western Block of the North China Craton[J]. *Lithos*, 122: 25~38.
- Yong Yong, Xiao Wenjiao, Yuan Chao, *et al.* 2008. LA-ICPMS zircon U-Pb ages of granitic plutons from the eastern sector of the central Qilian and their geologic implication[J]. *Xinjiang Geology*, 26(1): 62~70(in Chinese with English abstract).
- You Weifeng, Zhang Haiqing, Xiao Peixi, *et al.* 2011. Tectono-lithofa-

- cies-palaeogeography of the Cambrian in North Qilian Mountain-Alxa area[J]. *Advance in Earth Science*, 26(10):1 092~1 100(in Chinese with English abstract).
- Yu Haifeng, Lu Songnina, Xiu Qunye, *et al.* 2000. Assembly and Crack Events of Neoproterozoic Continental Blocks in Western Beishan Mountain, Gansu Province, China[J]. *Progress in Precambrian Research*, 23(2):98~102(in Chinese with English abstract).
- Zhai Mingguo, Guo Jinghui and Liu Wenjun. 2005. Neoproterozoic to Paleoproterozoic continental evolution and tectonic history of the North China Craton: a review[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(5):547~561.
- Zhang Jianxin, Xu Zhiqin, Li Haibing, *et al.* 1997. The transition of orogenic mechanism from compression to extension in northern Qilian orogenic belt[J]. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 27(3):277~283(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jin, Li Jingyi, Liu Jianfeng, *et al.* 2011. Detrital zircon U-Pb ages of Middle Ordovician flysch sandstones in the western oros margin: New constraints on their provenances, and tectonic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(5):1 030~1 047.
- Zhang Qi, Sun Xiaomeng, Zhou Dejin, *et al.* 1997. The characteristics of North Qilian ophiolites, forming setting, and their tectonic significance[J]. *Advance in Earth Sciences*, 12(4):366~393(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yan and Qian Qing. 2000. The North Qilian oceanic basin of the early Paleozoic age: an aulacogen or a large oceanic basin: a discussion with Ge Xiaohong[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 35(1):121~128(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhenfa, Li Chaoying and Niu Yingzhi. 1997. Role, Significance, Characteristics and range of Alshan-Dunhuang land Block[J]. *Inner Mongolia Geology*, 2:1~14(in Chinese with English abstract).
- Zhao Guochun, Sun Ming, Wilde S A, *et al.* 2005. Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: key issues revisited[J]. *Precambrian Research*, 136(2):177~202.
- Zhao Guochun, Wilde S A, Guo Jinghui, *et al.* 2010. Single zircon grains record two Paleoproterozoic collisional events in the North China Craton[J]. *Precambrian Research*, 177:266~276.
- Zheng Yongfei and Zhang Shaobing. 2007. Formation and evolution of Precambrian continental crust in South China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(1):1~12.
- Zhou Hongying, Mo Xuanxue, Li Junjian, *et al.* 2007. The U-Pb Isotopic Dating Age of Single Zircon from Biotite Plagioclase Gneiss in the Qinggeletu Area, Alashan, Western Inner Mongolia[J]. *Bulletin Of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 26(3):221~223(in Chinese with English abstract).
- Zhou Zhiqiang, Cao Xuanduo, Zhao Jiangtian, *et al.* 1996. Early Palaeozoic stratigraphy and sedimentary-tectonic evolution in eastern Qilian Mountains, China[J]. *Northwest Geosciences*, 17(1):1~57(in Chinese with English abstract).
- Zuo Guochao and Liu Jichen. 1987. The evolution of tectonic of early Paleozoic in north Qilian range, China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1:14~24(in Chinese with English abstract).
- Zuo Guochao and Wu Hanquan. 1997. A bisubduction-collision orogenic model of early-Paleozoic in the middle part of north Qilian area[J]. *Advance in earth Sciences*, 12(4):315~323(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 董春燕, 刘敦一, 李俊健, 等. 2007. 华北克拉通西部孔兹岩带形成时代新证据: 巴彦乌拉-贺兰山地区锆石 SHRIMP 定年和 Hf 同位素组成[J]. *科学通报*, 52:1 913~1 922.
- 董国安, 杨宏仪, 刘敦一, 等. 2007a. 龙首山岩群碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义[J]. *科学通报*, 52(6):688~697.
- 董国安, 杨怀仁, 杨宏仪, 等. 2007b. 祁连地块前寒武纪基底锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义[J]. *科学通报*, 52(13):1 572~1 585.
- 杜远生, 朱杰, 韩欣, 等. 2004. 从弧后盆地到前陆盆地-北祁连造山带奥陶纪-泥盆纪的沉积盆地与构造演化[J]. *地质通报*, 23(9~10):911~917.
- 段吉业, 葛肖虹. 2005. 中国西北地区各构造单元之间地层和生物古地理的亲缘关系——兼论西北地区构造格局[J]. *地质通报*, 24(6):558~563.
- 冯益民, 吴汉泉. 1992. 北祁连山及其邻区古生代以来的大地构造演化初探[J]. *西北地质科学*, 13(2):61~73.
- 葛肖虹, 刘俊来. 1999. 北祁连造山带的形成与背景[J]. *地学前缘*, 6(4):223~230.
- 葛肖虹, 刘俊来. 2000. 被肢解的“西域克拉通”[J]. *岩石学报*, 16(1):59~66.
- 耿元生, 王新社, 沈其韩, 等. 2002. 阿拉善地区新元古代晋宁期变形花岗岩的发现及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 21(4):412~420.
- 耿元生, 王新社, 沈其韩. 2006. 内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质基底阿拉善群的再厘定[J]. *中国地质*, 33(1):138~145.
- 耿元生, 王新社, 沈其韩. 2007. 内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质岩系形成时代的初步研究[J]. *中国地质*, 34(2):251~261.
- 耿元生, 周喜文. 2010a. 阿拉善地区新元古代岩浆事件及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 29(6):779~795.
- 耿元生, 王新社, 吴春明, 等. 2010b. 阿拉善变质基底元古代晚期的构造热事件[J]. *岩石学报*, 26(4):1 159~1 170.
- 宫江华, 张建新, 于胜尧. 2011. 阿拉善地块南缘龙首山岩群及相关岩石的起源和归属——来自 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的制约[J]. *岩石矿物学杂志*, 30(5):795~818.
- 宫江华, 张建新, 于胜尧, 等. 2012. 西阿拉善地块~2.5 Ga TTG 岩石及地质意义[J]. *科学通报*, 57(28~29):2 715~2 728.
- 郭进京, 赵凤清, 李怀坤, 等. 2000. 中祁连东段湟源群的年代学新证据及其地质意义[J]. *中国区域地质*, 19(1):26~31.
- 郭力宇, 甘枝茂, 李惠民. 2002. 北祁连西段柳沟峡花岗岩质片麻岩锆石 U-Pb 法测年研究[J]. *中国地质*, 29(2):126~128.
- 何世平, 李荣社, 王超, 等. 2010. 祁连山西段甘肃肃北地区北大河岩群片麻状斜长角闪岩的形成时代[J]. *地质通报*, 29(9):1 275~1 280.

- 何世平, 李荣社, 王超, 等. 2011. 南祁连东段化隆岩群形成时代的进一步限定[J]. 岩石矿物学杂志, 30(1): 34~44.
- 侯青叶, 赵志丹, 张宏飞, 等. 2005. 北祁连玉石沟蛇绿岩印度洋 MORB 型同位素组成特征及其地质意义[J]. 中国科学 D 辑, 35(8): 710~719.
- 黄宝春, Otofujii Yo-Ichiro, 杨振宇, 等. 2000. 河西走廊和阿拉善东缘地区中寒武世古地磁研究的初步结果[J]. 地球物理学报, 43(3): 393~401.
- 李怀坤, 陆松年, 相振群, 等. 2007. 北祁连山西段北大河岩群碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究[J]. 地质论评, 53(1): 132~140.
- 李俊建, 沈保丰, 李惠民, 等. 2004. 内蒙古西部巴彦乌拉山地区花岗闪长质片麻岩的单颗粒锆石 U-Pb 法年龄[J]. 地质通报, 23(12): 1143~1145.
- 李锦轶, 张进, 曲军峰. 2012. 华北与阿拉善两个古陆在早古生代晚期拼合—来自宁夏牛首山沉积岩系的证据[J]. 地质论评, 58(2): 208~214.
- 李文渊, 郭周平, 王伟. 2005. 北祁连山加里东期聚敛作用的构造转换及其成矿响应[J]. 地质论评, 51(2): 120~127.
- 李献华, 苏犁, 宋彪, 等. 2004. 金川超镁铁侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 科学通报, 49(4): 401~402.
- 刘雪亚, 王荃. 1993. 龙首山古裂谷带及河西走廊的大地构造[J]. 中国地质科学院院报, 第 27、28 号: 1~14.
- 陆松年, 于海峰, 金巍, 等. 2002. 塔里木古大陆东缘的微大陆块体群[J]. 岩石矿物学杂志, 21(4): 317~326.
- 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): 2195~2208.
- 史仁灯, 杨经绥, 吴才来, 等. 2004. 北祁连玉石沟蛇绿岩形成于晚震旦世的 SHRIMP 年龄证据[J]. 地质学报, 78(5): 649~657.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊): 26~30.
- 宋述光, 牛耀龄, 张立飞, 等. 2009. 大陆造山运动: 从大洋俯冲到大陆俯冲、碰撞、折返的时限——以北祁连山、柴北缘为例[J]. 岩石学报, 25(9): 2067~2077.
- 苏建平, 胡能高, 张海峰, 等. 2004. 北祁连西段吊大坂花岗片麻岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地质科技情报, 23(3): 11~14.
- 万渝生, 许志琴, 杨经绥, 等. 2003. 祁连造山带及邻区前寒武纪深变质基底的时代和组成[J]. 地球学报, 24(4): 319~324.
- 王洪亮, 何世平, 陈隽璐, 等. 2007. 甘肃马街山花岗岩杂岩体 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测年及其构造意义[J]. 地质学报, 81(1): 72~78.
- 王荃, 刘雪亚. 1976. 我国西部祁连山区的古海洋地壳及其大地构造意义[J]. 地质科学, 1: 42~55.
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 1995. 北祁连山构造-火山岩浆演化动力学[J]. 西北地质科学, 16(1): 1~28.
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 1996. 北祁连山海相火山岩岩石成因[M]. 北京: 地质出版社, 1~153.
- 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 1999. 北祁连古海底火山作用与成矿[J]. 地球学报, 20(3): 259~264.
- 夏祖春, 夏林圻, 徐学义. 1996. 北祁连山元古宙末-寒武纪主动大陆裂谷火山作用[J]. 地球学报, 17(3): 282~291.
- 修群业, 陆松年, 于海峰, 等. 2002. 龙首山岩群主体划归古元古代的同位素年龄证据[J]. 前寒武纪研究进展, 25(2): 93~96.
- 修群业, 于海峰, 李铨, 等. 2004. 龙首山岩群成岩时代探讨[J]. 地质学报, 78(3): 366~373.
- 徐旺春, 张宏飞, 柳小明. 2007. 锆石 U-Pb 定年限制祁连山高级变质岩系的形成时代及其构造意义[J]. 科学通报, 52(10): 1174~1180.
- 许志琴, 徐惠芬, 张建新, 等. 1994. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学[J]. 地质学报, 68(1): 1~15.
- 雍 拥, 肖文交, 袁超, 等. 2008. 中祁连东段花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 新疆地质, 26(1): 62~70.
- 由伟丰, 张海清, 校培喜, 等. 2011. 北祁连山-阿拉善地区寒武纪构造-岩相古地理[J]. 地球科学进展, 26(10): 1092~1100.
- 于海峰, 陆松年, 修群业, 等. 2000. 甘肃北山西部新元古代陆块汇聚与裂解事件的岩石记录[J]. 前寒武纪研究进展, 23(2): 98~102.
- 曾建元, 杨宏仪, 万渝生, 等. 2006. 北祁连山变质杂岩中新元古代 (~775 Ma) 岩浆活动记录的发现: 来自 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年的证据[J]. 科学通报, 51(5): 575~581.
- 曾建元, 杨怀仁, 杨宏仪. 2007. 北祁连东草河蛇绿岩: 一个早古生代的洋壳残片[J]. 科学通报, 52(7): 825~835.
- 张建新, 许志琴, 李海兵, 等. 1997. 北祁连加里东造山带从挤压到伸展造山机制的转换[J]. 长春地质学院学报, 27(3): 277~283.
- 张旗, 孙晓猛, 周德进, 等. 1997. 北祁连蛇绿岩特征、形成环境及其构造意义[J]. 地球科学进展, 12(4): 366~393.
- 张旗, 王焰, 钱青. 2000. 北祁连早古生代洋盆是裂陷槽还是大洋盆[J]. 地质科学, 35(1): 121~128.
- 张振法, 李超英, 牛颖智. 1997. 阿拉善-敦煌陆块的性质、范围及其构造作用和意义[J]. 内蒙古地质, 2: 1~14.
- 郑永飞, 张少兵. 2007. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化[J]. 科学通报, 52(1): 1~10.
- 周红英, 莫宣学, 李俊健, 等. 2007. 内蒙古阿拉善庆格勒图黑云斜长片麻岩的单颗粒锆石 U-Pb 法年龄[J]. 矿物岩石地球化学通报, 26(3): 221~223.
- 周志强, 曹宣铎, 赵江天, 等. 1996. 祁连山东部早古生代地层和沉积-构造演化[J]. 西北地质科学, 17(1): 1~57.
- 左国朝, 刘寄陈. 1987. 北祁连早古生代大地构造演化[J]. 地质科学, 1: 14~24.
- 左国朝, 吴汉泉. 1997. 北祁连中段早古生代双向俯冲-碰撞造山模式剖析[J]. 地球科学进展, 12(4): 315~323.