

# 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

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:** 采用 LA-ICP-MS 方法对采自阿拉善地块南缘龙首山岩群及上覆的墩子沟群底部共 6 个不同类型的样品进行了锆石 U-Pb 测年, 获得龙首山岩群上部变沉积岩中的碎屑锆石年龄集中在  $\sim 2.01$  Ga 和  $\sim 2.15$  Ga, 花岗质片麻岩的岩浆锆石年龄主要在 2.04~2.17 Ga 之间, 变质重结晶(增生边)的年龄在 1.89~1.93 Ga 之间, 表明龙首山岩群的形成时代为古元古代。获得龙首山岩群中斜长角闪岩中变质锆石年龄为  $\sim 1.85$  Ga, 指示古元古代晚期龙首山岩群经历角闪岩相区域变质作用; 上覆的墩子沟群底部变沉积岩的碎屑锆石 U-Pb 年龄测定集中在 2.03~2.05 Ga 之间, 表明其物源来自古元古代的岩浆岩。这些年龄资料显示龙首山岩群及相关岩石所代表的阿拉善地块南部在早前寒武纪与华北克拉通具有明显亲缘性。

**关键词:** LA-ICP-MS; U-Pb 年龄; 龙首山岩群; 阿拉善地块

中图分类号: P588.3; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)05-0795-24

## 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

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

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

**Abstract:** The Longshoushan Group is a part of Precambrian metamorphic basement of the Alxa block. Its origin is particularly important for constraining the western boundary of the North China Craton(NCC) and understanding the evolutionary history of China's cratons. In this study, LA-ICP-MS U-Pb dating technique was used to determine the ages of different rocks from Longshoushan Group and Dunzigou Group. The analytical results of detrital zircon grains from the metasedimentary rock in the Longshoushan Group gave two age populations:  $\sim 2.01$  Ga and  $\sim 2.15$  Ga. The magmatic zircons and metamorphic zircons from the granitic gneiss yield age spans of 2.04~2.17 Ga and 1.89~1.93 Ga, respectively. These ages indicate that the Longshoushan Group was formed in Paleoproterozoic. The metamorphic zircons from amphibolite in the Longshoushan Group yielded a metamorphic age of ca. 1.85 Ga, indicating that the Longshoushan Group underwent an amphibolite-facies metamorphism during late Paleoproterozoic. Detrital zircon ages of the metasedimentary rock from the overlying Dunzigou Group vary from 2.03 to 2.05 Ga, suggesting a single Paleoproterozoic provenance. These data imply that the southern Alxa block had an affinity with the NCC during early Precambrian period.

**Key words:** LA-ICP-MS; U-Pb age; Longshoushan Group; Alxa block

收稿日期: 2011-06-20; 修订日期: 2011-07-07

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, 博士研究生, 构造地质学专业, E-mail: ba-ma521@163.com; 通讯作者: 张建新(1966-), 男, 研究员, 主要从事造山带的变质变形作用研究, E-mail: zjx66@yeah.net.

龙首山岩群被认为是华北板块西缘阿拉善地块变质基底的组成部分(任纪舜等,1980;潘杨杨,1986;李文渊,1991;张新虎,1992;白瑾等,1993;刘雪亚等,1993;张新虎等,2005),因其分布在河西走廊东北侧的龙首山而得名。关于其地质年代及归属问题一直存在争议。早期有人将龙首山岩群归为太古宙(潘杨杨,1986;宫保军,1986)。甘肃省地质矿产局(1989,1997)对龙首山岩群不同类型岩石进行了全岩 Rb-Sr 等时线测定,获得从古元古代晚期到太古宙早期不同的年龄信息;汤中立等(1999,2000)报道龙首山岩群下部岩段时代为太古宙,上部岩段为古元古代,近年有一些新的较精确的年代学数据,将龙首山岩群主体划为古元古代(修群业等,2002,2004;陆松年等,2002);董国安等(2007)利用 SHRIMP 定年法,对龙首山岩群最上部层位变沉积岩中碎屑锆石进行了详细的定年,结果显示碎屑锆石年龄主要介于 1.7~2.2 Ga 之间,峰值在 1.8~2.0 Ga,其余在 2.3~2.7 Ga 之间,其中最年轻年龄为  $1724 \pm 19$  Ma,认为最大沉积年龄小于  $1724 \pm 19$  Ma,显示龙首山岩群的上部层位形成时代可能晚于古元古代。因此龙首山岩群是否存在太古宙岩石,其主体究竟形成于古元古代还是一直持续到中元古代,还需要更多精确的年代学证据。

在龙首山北部,邻区的阿拉善地块变质基底中也有许多古元古代年龄报道(李俊健等,2004;沈其韩等,2005;耿元生等,2006,2007;周红英等,2007)。一些学者认为,龙首山岩群与相邻的北大山群、传统的阿拉善群在岩石组合、地层及年代学等多方面具有可对比性(刘雪亚等,1993;修群业等,2004)。龙首山作为阿拉善地块的一部分,共同经历了结晶基底形成、稳定盖层沉积过程,构成阿拉善地块二元结构。然而龙首山岩群与阿拉善岩群也存在明显的区别,如阿拉善地块有明显的太古宙岩石记录(耿元生等,2006),而在龙首山至今仍未有令人信服的太古宙岩石证据,那么龙首山作为阿拉善地块的边缘隆起带究竟经历了怎样的地质演化史,是一个迫切需要解决的问题。阿拉善地块的归属本身也存在较大的争议,有学者认为它是华北克拉通的一部分(任纪舜等,1980;万渝生等,2003);有学者认为不是华北克拉通基底的组成,而是新元古代或更晚拼贴到华北克拉通西缘的块体(王惠初等,2005);有学者认为

它是晋宁期从华北板块分离出去的小块体(杨振德等,1988)还有学者认为阿拉善、塔里木、柴达木在新元古代早期形成同一基底,称为西域板块(王云山等,1987;葛肖虹等,1999,2000)。这些争论至今没有统一的认识,所以探讨龙首山岩群的起源与归属问题对解决阿拉善地块的起源与演化历史十分关键。

本文报道了6个分别采自龙首山岩群的变沉积岩、花岗片麻岩及上覆的墩子沟群变沉积岩样品的锆石 U-Pb 年龄,以此构建龙首山地区前寒武基底的形成与演化史,并结合区域对比,探讨龙首山岩群的起源与归属。

## 1 地质背景

龙首山位于华北克拉通西部阿拉善地块西南缘(汤中立等,1999,2000),北为中亚造山带,南临祁连山造山带,西北接塔里木板块(图1a)。龙首山整体呈 NW-SE 向狭长带状分布,向东逐渐转为近 EW,北以龙首山北缘断裂临潮水盆地,南以龙首山断裂接河西走廊,西部止于金塔-鼎新断裂,向东尖灭于银川以西。

龙首山岩群(原称龙首山群)甘肃省地质局第一区测队,1968<sup>①</sup>主要分布在河西走廊北侧,以 NWW-SEE 向展布,西起金塔县境内,向东南经高台县合黎山、张掖东大山,到金昌市龙首山一带,断续延伸约 400 km(图1b)。龙首山岩群在龙首山地区主要分布在玉石沟—塔马沟—哈哈泉、东大山、滑石口井等地,为本区最古老的中深变质基底岩系。但经野外地质调查发现,龙首山东段滑石口井地区原被划定为龙首山岩群的岩石多为变质很浅的变沉积岩,岩石类型及变质程度与金昌附近的龙首山岩群显著不同;另外 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果也显示滑石口井地区与前者完全不同的碎屑锆石年龄特征,而与龙首山南部寒武系大黄山群类似(未发表数据)。因此,这可能意味着原定的龙首山岩群需要解体 and 重新划分(图1c,另文发表)。

本文研究主要集中在金昌市附近的龙首山岩群。研究区的龙首山岩群主要分为上下两个岩组(图2):下部为白家咀子组,是一套经历高角闪岩相变质作用并伴随部分重熔的变质岩石,主要岩性为

① 地质部甘肃省地质局第一区测队,1968. 中华人民共和国(河西堡幅)区域地质测量报告.

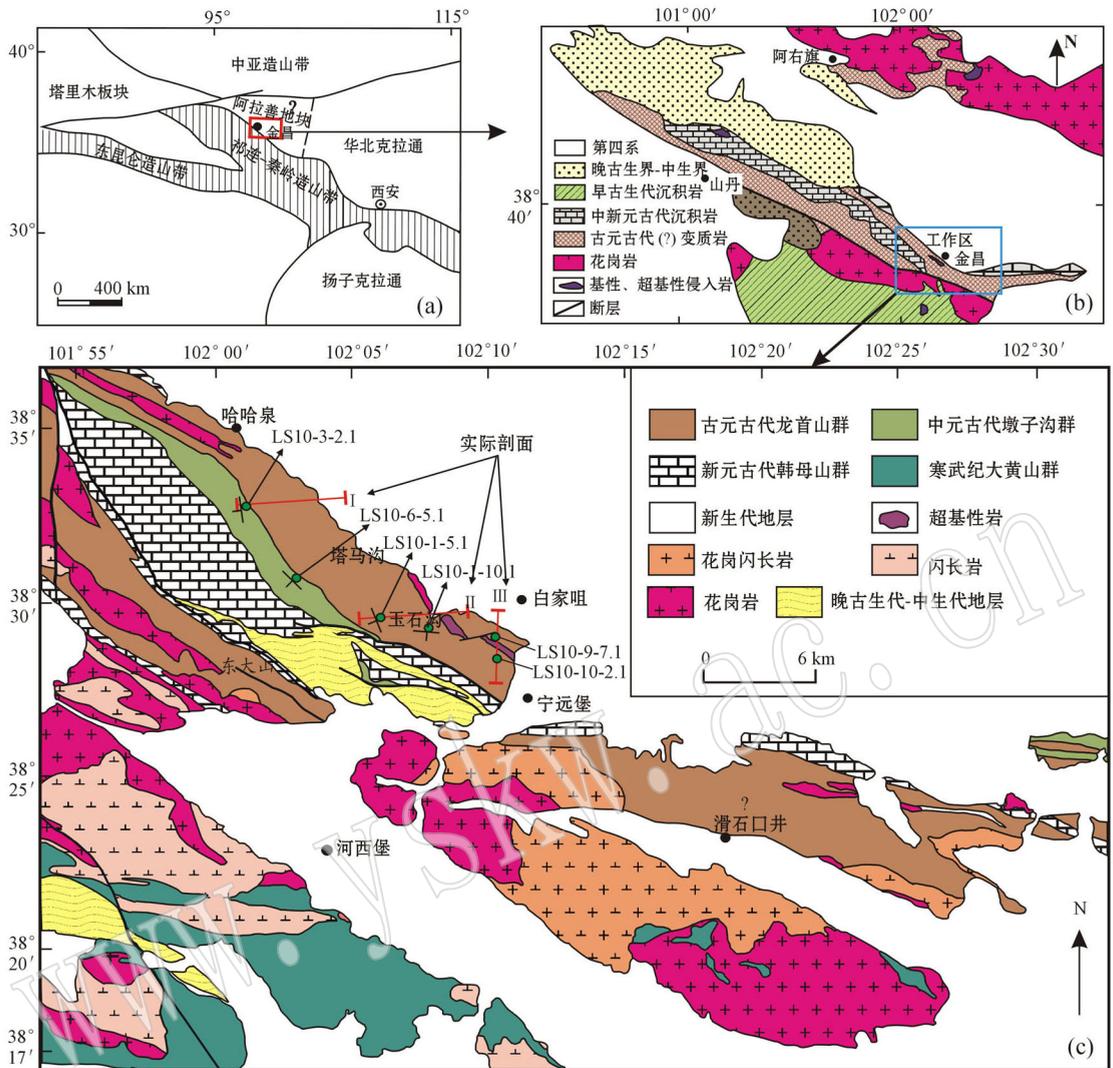


图 1 龙首山大地构造背景及区域地质简图(据甘肃省地矿局 1:200 000 地质图, 1967)

Fig. 1 Tectonic background and regional geological sketch map of Longshoushan area(after 1:200 000 Geological Map, 1967)

混合岩、白云质大理岩、混合岩化黑云母片麻岩夹斜长角闪岩等；上部为塔马子沟组，主要为二云母石英片岩、黑云母石英片麻岩夹含石墨大理岩等。

龙首山岩群的上覆地层为墩子沟群和韩母山群，与龙首山岩群为角度不整合接触，主要由浅变质的碳酸盐岩和碎屑沉积岩组成。墩子沟群主要岩性有硅质条带白云岩及变石英岩、石英砂岩、砾岩等。根据地层对比，一些学者将墩子沟群定为蓟县系(张新虎, 1992; 许安东等, 2003)。前人曾测得该群全岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $1\ 261 \pm 21\ \text{Ma}$ (李文渊, 1991)，认为墩子沟群时代为中元古代。

韩母山群覆于墩子沟群之上，其显著特征是发育一套相当于扬子板块南沱期的冰碛岩，且广泛发

育含磷岩石，岩性主要为白云质灰岩及绢云千枚岩、石英砂岩、砾岩。李文渊(1991)认为其是寒武纪的沉积岩；但大多学者同意属震旦系，且有含磷石英砂岩的 Rb-Sr 年龄  $593 \pm 39\ \text{Ma}$  和变基性火山岩 Rb-Sr 年龄  $504\ \text{Ma}$  佐证(张新虎, 1992; 葛肖虹等, 1999)，因此韩母山群的时代被认为属于新元古代。

## 2 样品描述及岩相学特征

本文所采集样品分布在金昌南部和西北部的不同剖面(图 1c 和图 2)。在用于 U-Pb 定年的 6 个样品中，4 个样品来自龙首山岩群，2 个样品来自墩子沟群底部与上覆龙首山岩群不整合接触带的变沉积

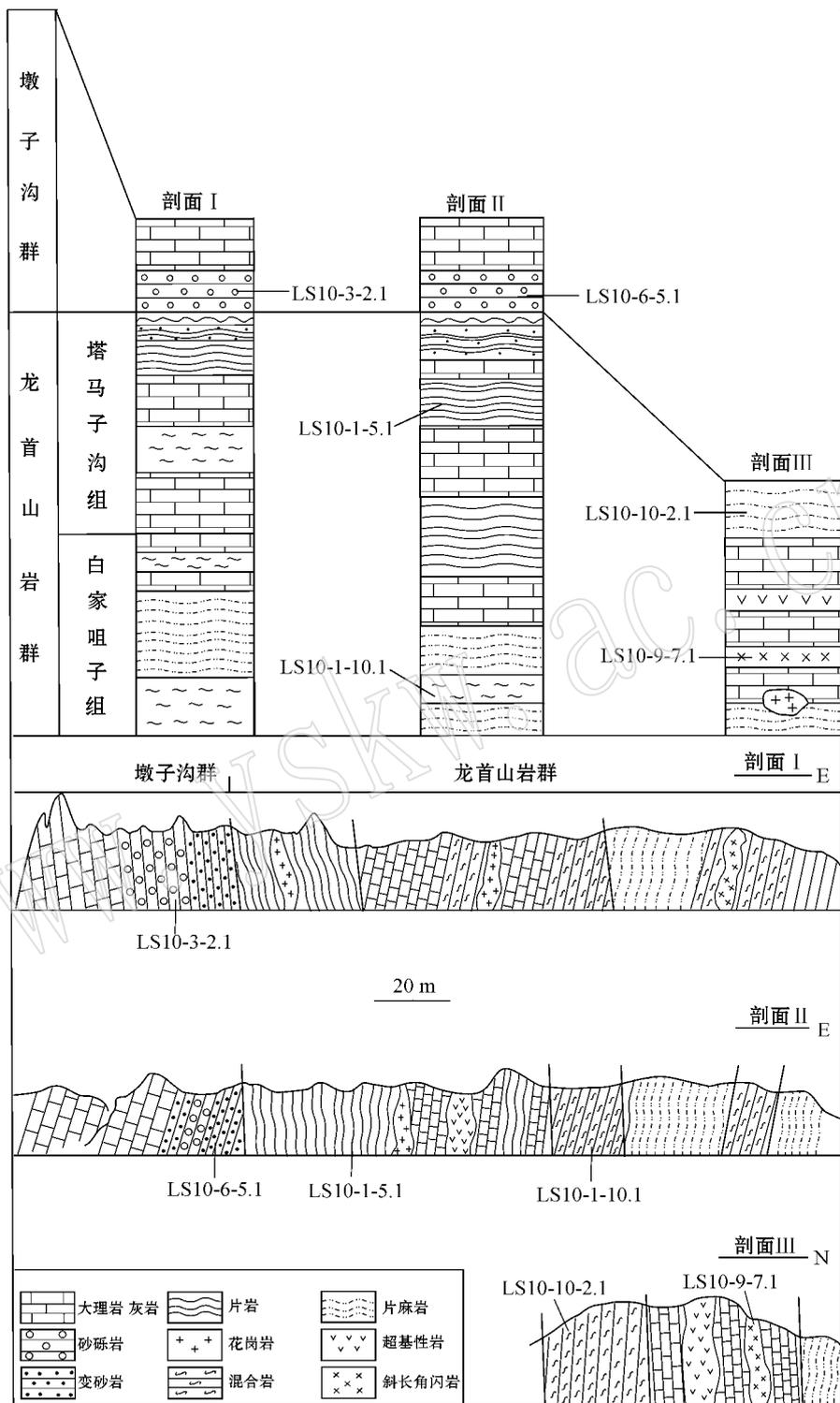


图 2 龙首山野外剖面图、地层柱状图及采样位置

Fig. 2 Geological section, stratigraphic histogram and sampling locations in Longshoushan area

岩。样品采集严格保证样品新鲜、具有代表性,并可挑选出足够用于测试的锆石。

样品 LS10-1-5.1 为含石榴石云母石英片岩,采

样点坐标  $N38^{\circ}29.323'$ ,  $E102^{\circ}5.827'$ , 位于剖面 II 中龙首山岩群上部塔马子沟组(图 2), 出露宽度约为 15 m, 其上下均为薄层状大理岩。倾角近直立, 走向

160°~172°,倾向SW,有后期伟晶岩脉侵入。野外露头上岩石显示出明显的片状构造,显微镜下岩石具鳞片状、粒状变晶结构,主要矿物为石英(70%)、斜长石(15%)、黑云母(10%)和石榴石(3%),含有少量白云母及微量的锆石等副矿物(图3a),推测其原岩为含泥质砂岩。

样品LS10-10-2.1为混合岩化花岗质片麻岩,采样点坐标N38°28.180',E102°9.985',位于剖面Ⅲ龙首山岩群下部白家咀子组(图2)金川矿二采区附近,围岩为大理岩。野外露头显示岩石具有浅色条带和暗色条带相间分布的条带状构造,浅色条带宽20 cm~2 m不等,岩石具有明显糜棱岩化。手标本

局部具有暗色矿物组成的集合体。显微镜下浅色体显示出粒状变晶结构,主要矿物为石英(50%)、斜长石(30%)和少量角闪石(5%)、石榴石(5%)、黑云母(<5%)、方解石(3%)及微量金红石等。长石大都发生绢云母化(图3b)。

样品LS10-9-7.1为斜长角闪岩,采样点坐标N38°28.785',E102°9.699',位于剖面Ⅲ龙首山岩群下部白家咀子组中金川矿三采区附近,围岩为大理岩(图2),野外出露宽度约为5 m。显微镜下显示出粒状变晶结构,矿物组成相对简单,主要由角闪石(60%)、斜长石(30%)组成,含有少量黑云母、石英及微量的榍石和锆石等副矿物(图3c),推测原岩为

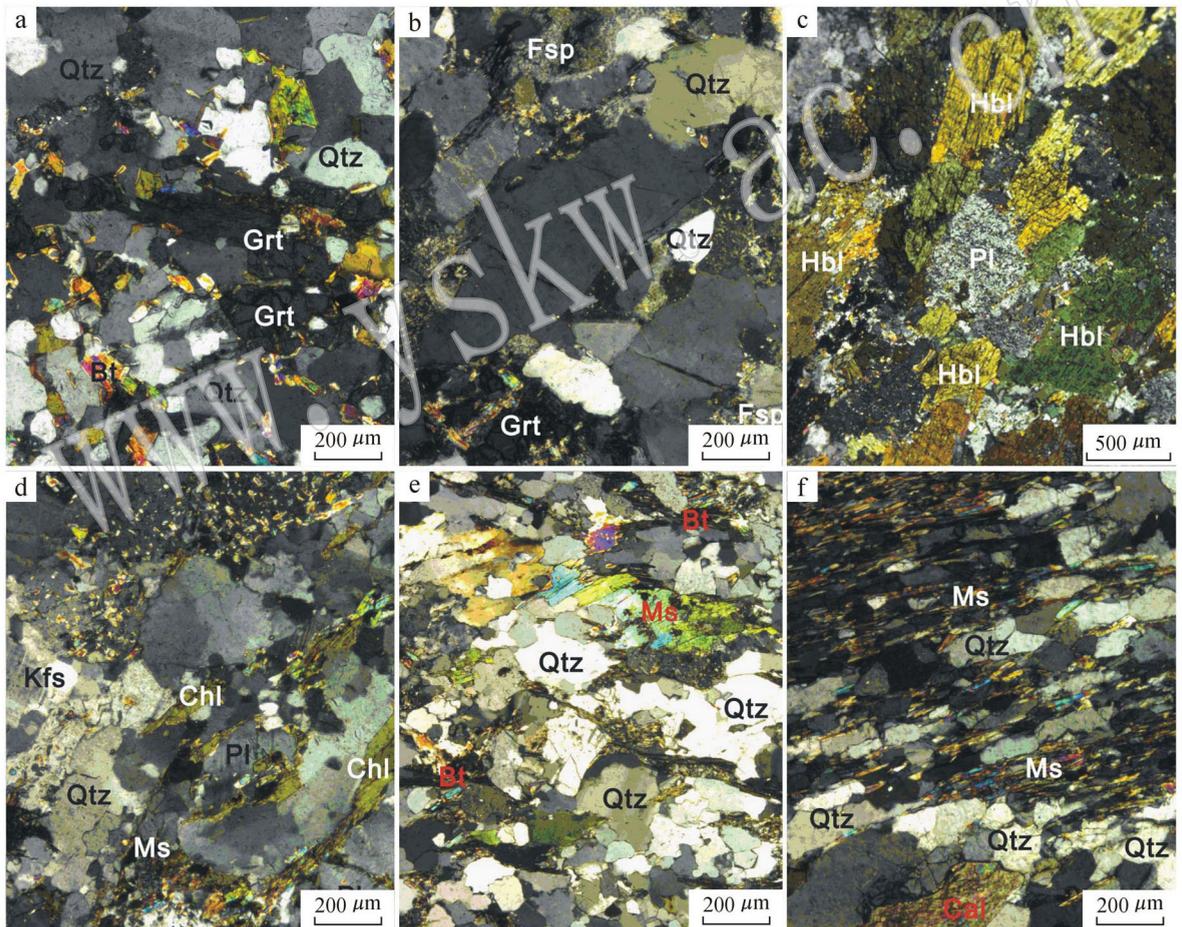


图3 样品的显微结构(正交偏光)特征(矿物英文缩写引自Whitney和Evans,2010)

Fig. 3 Microphotographs showing microtextures of six samples (crossed nicols) (mineral abbreviations after Whitney and Evans, 2010)

a—LS10-1-5.1: 云母石英片岩:鳞片、粒状变晶结构,主要矿物组合Qtz+Bt+Grt; b—LS10-10-2.1:混合岩化花岗质片麻岩:粒状变晶结构,主要矿物组合Qtz+Fsp+Grt; c—LS10-9-7.1:斜长角闪岩:粒状变晶结构,主要矿物组合Hbl+Pl; d—LS10-1-10.1:混合岩化片麻岩:粒状变晶结构,主要矿物组合Qtz+Pl+Kfs+Mi; e—LS10-3-2.1:二云母石英片岩:鳞片变晶结构,主要矿物组合Qtz+Bt+Ms; f—LS10-6-5.1:二云母石英片岩:鳞片变晶结构,主要矿物组合Qtz+Ms+Bt

基性火山岩。

样品 LS10-1-10.1 为花岗片麻岩, 采样点坐标  $N38^{\circ}29'.209'$ ,  $E102^{\circ}7'.684'$ , 位于剖面 II 龙首山岩群下部白家咀子组(图 2), 走向  $100^{\circ}$ , 倾向 SW, 野外露头上显示岩石具有肉红色花岗质条带, 具片麻状构造。显微镜下岩石为粒状变晶结构, 主要矿物为长石(钾长石:斜长石 = 1:1.5)(50%), 石英(30%) 和少量黑云母(10%)、白云母(5%)、绿泥石(5%) 等及微量的榍石、磷灰石和锆石等副矿物(图 3d)。云母等矿物定向分布构成片麻理。

样品 LS10-3-2.1 为二云母石英片岩, 采样点坐标  $N38^{\circ}33'.005'$ ,  $E102^{\circ}1'.031'$ , 位于墩子沟群底部, 在变质砂砾岩中呈夹层(图 2)。片状构造, 走向  $175^{\circ}$ , 倾角近直立。显微镜下显示岩石具鳞片变晶结构, 主要矿物为石英(60%)、云母(25%)、长石(10%) 和角闪石(3%) 及少量次生矿物如绿泥石等(图 3e)。推测其原岩为含泥质砂岩、粉砂岩。

样品 LS10-6-5.1 为二云母石英片岩, 采样点坐标  $N38^{\circ}30'.619'$ ,  $E102^{\circ}3'.055'$ , 位于墩子沟群底部(图 2), 围岩为结晶灰岩、石英岩和砾岩。走向  $145^{\circ}$ , 倾向 SW, 具有明显拉伸线理。显微镜下显示具鳞片变晶结构, 主要矿物为石英(65%)、云母(25%) 及少量长石(5%)、方解石(2%) 等(图 3f)。云母定向排列构成片理。推测其原岩为含泥质砂岩、粉砂岩。

## 3 锆石 U-Pb 定年

### 3.1 分析方法

锆石的分选工作由河北省廊坊区域地质调查所研究室完成。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 80~100 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。相关制靶流程及注意事项见文献(宋彪等, 2002)。

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)。Neptune 为 Thermo Fisher 公司制造, 离子的光学通路采用能量聚焦和质量聚焦的双聚焦设计, 并采用动态变焦(zoom)将质量色散扩大至 17%。

仪器配有 9 个法拉第杯接收器和 4 个离子计数器接收器, 除了中心杯和离子计数器外, 其余 8 个法拉第杯配置在中心杯的两侧, 并以马达驱动进行精确的位置调节, 4 个离子计数器捆绑在 L4 法拉第杯上。激光器为美国 ESI 公司生产 ArF 准分子激光器, 激光波长 193 nm, 脉冲宽度 5 ns, 束斑大小 2~150  $\mu\text{m}$  可调, 脉冲频率 1~200 Hz 连续可调。

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 193 nm FX 激光器对锆石进行剥蚀, 激光剥蚀的斑束一般为 35 或 50  $\mu\text{m}$ , 能量密度为 13~14  $\text{J}/\text{cm}^2$ , 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 同位素测定。锆石标样采用 TEMORA 标准锆石(Black *et al.*, 2003), 数据处理采用中国地质大学刘勇胜老师编写的 ICPMS DataCal 程序和 Ludwig(1999)的 ISPLIT 程序进行分析和作图, 采用  $^{208}\text{Pb}$  对普通铅进行校正, 利用 NIST612 作为外标, 计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。

### 3.2 锆石 U-Pb 测年结果

6 个样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果原始数据见表 1。

#### 3.2.1 LS10-1-5.1

云母石英片岩中的锆石晶型完整, 呈自形柱状、次圆状, 长轴约 200~350  $\mu\text{m}$ , 长宽比约 1.5:1~4:1。阴极发光(CL)图像显示锆石主要分为两种类型: 一类锆石具有典型的核边结构, 核部有明显或不太明显的振荡环带, 边部具有窄的、呈亮白色或暗灰色的边(如图 4a, 测点 25、33), 为岩浆来源锆石; 另一类锆石缺乏内部结构, 呈暗色的弱发光特征(如图 4a, 测点 4), 也具有极窄的、亮白色的边。

此样品共测定了 60 个点(表 1)。第 38 号测点  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄得到  $2598 \pm 32$  Ma 的晚太古代年龄, 但明显不在谐和线上, 故不予讨论; 12 个锆石边的 Th/U 比介于 0.004~0.11, 大部分数据不谐和, 具有明显 Pb 丢失特征, 其中 1 个近谐和的数据点的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为  $1887 \pm 4$  Ma, 解释为变质作用时代。

具岩浆锆石特征的锆石核部数据可分为两个年龄群(图 5a)。较小的年龄群中, 33 个数据点的 Th/U 比介于 0.12~0.53, 部分数据点明显在谐和线下方, 显示 Pb 丢失特征。33 个数据拟合的不一致线的上交点年龄为  $2034 \pm 7$  Ma (MSWD=1.17), 其中

表 1 龙首山地区 6 个样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年结果  
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope data of six samples in Longshoushan area

测点号	$w_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$
LS10-1-5.1															
1	84	222	0.38	0.350 8	0.007 1	6.147 2	0.124 2	0.127 1	0.001 6	1.938	39	1.997	40	2.058	22
2	273	659	0.26	0.393 6	0.004 5	7.359 9	0.083 6	0.135 6	0.000 7	2.139	24	2.156	24	2.172	9
3	175	473	0.28	0.354 8	0.004 8	6.11	0.083	0.124 9	0.000 7	1.957	26	1.992	27	2.028	10
4	116	273	0.37	0.392 8	0.004 8	7.300 9	0.091 9	0.134 8	0.000 7	2.136	26	2.149	27	2.162	10
5	335	1125	0.26	0.286 4	0.002 9	4.809 9	0.046 4	0.121 8	0.000 6	1.624	17	1.787	17	1.983	9
6	197	512	0.53	0.345 6	0.003 6	5.890 4	0.062 7	0.123 6	0.000 3	1.914	20	1.960	21	2.009	4
7	186	594	0.05	0.317 3	0.003 1	5.297 5	0.051 6	0.121 1	0.000 5	1.777	17	1.868	18	1.972	8
8	80	198	0.37	0.376 5	0.002 8	6.652 6	0.034	0.128 2	0.000 5	2.060	15	2.066	11	2.073	7
9	134	360	0.27	0.356 1	0.004 6	6.101 8	0.084	0.124 3	0.000 6	1.964	26	1.991	27	2.018	8
10	310	1350	0.21	0.223 3	0.002 1	3.611 1	0.032 9	0.117 3	0.000 5	1.299	12	1.552	14	1.915	7
11	238	595	0.34	0.376 1	0.002 5	6.538 8	0.074 6	0.126 1	0.000 6	2.058	14	2.051	23	2.044	9
12	46	115	0.29	0.377 9	0.002 4	6.622 7	0.055 5	0.127 1	0.000 7	2.066	13	2.062	17	2.058	9
13	92	232	0.36	0.372 2	0.002 3	6.420 2	0.068 4	0.125 1	0.000 6	2.040	13	2.035	22	2.030	8
14	54	135	0.37	0.374 1	0.003 6	6.480 7	0.064 8	0.125 6	0.000 4	2.049	20	2.043	20	2.038	5
15	164	439	0.29	0.354 2	0.003 4	6.138	0.058 5	0.125 7	0.000 5	1.954	19	1.996	19	2.039	7
16	274	1267	0.2	0.211 4	0.003 5	3.390 7	0.082 3	0.116 3	0.002 1	1.236	21	1.502	36	1.901	32
17	92	264	0.26	0.333 7	0.002 4	5.757 5	0.044 8	0.125 1	0.000 4	1.856	13	1.940	15	2.030	6
18	193	470	0.49	0.368 2	0.001 9	6.861 8	0.058 2	0.135 2	0.000 6	2.021	10	2.094	18	2.166	8
19	72	198	0.36	0.332 6	0.002 8	5.985	0.055 2	0.130 5	0.000 5	1.851	16	1.974	18	2.105	7
20	92	254	0.12	0.360 4	0.006 9	6.116	0.126 5	0.123 1	0.001	1.984	38	1.993	41	2.002	14
21	223	772	0.15	0.281 1	0.003 9	4.865 5	0.056 3	0.125 5	0.000 8	1.597	22	1.796	21	2.036	11
22	133	362	0.35	0.341 7	0.003 3	6.070 3	0.056 9	0.128 8	0.000 7	1.895	19	1.986	19	2.082	9
23	295	1062	0.2	0.270 1	0.003 3	4.523 9	0.063 6	0.121 5	0.000 8	1.541	19	1.735	24	1.978	12
24	104	245	0.57	0.375 7	0.004 6	7.089 6	0.085 1	0.136 9	0.000 7	2.056	25	2.123	25	2.188	8
25	104	304	0.11	0.338 9	0.002 1	5.664 1	0.041 6	0.121 2	0.000 5	1.881	12	1.926	14	1.974	7
26	50	130	0.21	0.373 6	0.005 9	6.387 2	0.106	0.124	0.000 6	2.046	32	2.031	34	2.015	9
27	147	380	0.34	0.369 6	0.002 8	6.302 5	0.047 1	0.123 7	0.000 4	2.028	15	2.019	15	2.010	5
28	47	116	0.45	0.372 5	0.003	6.329 2	0.052	0.123 2	0.000 1	2.041	17	2.023	17	2.004	1

续表 1-1  
Continued Table 1-1

测点号	$\epsilon_{\text{B}}/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$		
LS10-1-5.1															
29	34	78	0.59	0.390 3	0.003 9	7.163 6	0.047 3	0.133 1	0.000 6	2.124	21	2.132	14	2.139	9
30	102	239	0.42	0.393 7	0.004 6	7.233 5	0.083 6	0.133 3	0.000 6	2.140	25	2.141	25	2.141	8
31	27	72	0.24	0.366 4	0.004 2	6.261 9	0.074 6	0.124	0.000 4	2.012	23	2.013	24	2.014	6
32	45	115	0.31	0.368 5	0.003 7	6.301 8	0.062 5	0.124	0.000 5	2.023	20	2.019	20	2.015	8
33	4	13	0	0.351 9	0.003 6	5.703 6	0.199 2	0.117 5	0.003 9	1.944	20	1.932	67	1.919	60
34	29	67	0.51	0.388 5	0.001 5	7.132 9	0.078 2	0.133 2	0.001 2	2.116	8	2.128	23	2.140	16
35	129	581	0.02	0.228 6	0.000 9	3.442 6	0.030 3	0.109 2	0.000 6	1.327	5	1.514	13	1.787	9
36	39	99	0.3	0.374 2	0.003 6	6.525 9	0.063 5	0.126 5	0.000 5	2.049	20	2.049	20	2.050	7
37	104	267	0.3	0.368 7	0.003 1	6.389 7	0.051 6	0.125 7	0.000 4	2.023	17	2.031	16	2.039	5
38	16	30	0.42	0.416 1	0.004 5	9.992 3	0.221 6	0.174 2	0.003 3	2.243	24	2.434	54	2.598	32
39	78	206	0.23	0.366 4	0.004 3	6.288 7	0.084 2	0.124 5	0.000 8	2.013	23	2.017	27	2.021	12
40	100	317	0.06	0.321 1	0.002 9	5.112 3	0.036	0.115 5	0.000 3	1.795	16	1.838	13	1.887	4
41	177	697	0.03	0.259 5	0.002	4.057 9	0.027 2	0.113 4	0.000 5	1.487	11	1.646	11	1.855	7
42	104	280	0.19	0.361 3	0.003 6	6.222 1	0.063 5	0.124 9	0.000 2	1.988	20	2.008	20	2.027	3
43	302	1388	0.02	0.225 2	0.001 6	3.403 6	0.025 4	0.109 6	0.000 2	1.309	10	1.505	11	1.793	3
44	51	127	0.48	0.353 9	0.003 3	6.520 1	0.046 3	0.133 6	0.000 7	1.953	18	2.049	15	2.146	10
45	115	379	0.01	0.309 6	0.002 3	5.078 1	0.04	0.119	0.000 4	1.739	13	1.832	14	1.941	5
46	245	642	0.32	0.358 2	0.001 7	6.129 3	0.057 9	0.124 1	0.000 6	1.974	9	1.994	19	2.016	9
47	280	788	0.23	0.341 6	0.002 5	5.806 1	0.049 4	0.123 3	0.000 3	1.894	14	1.947	17	2.004	5
48	226	738	0.06	0.308 4	0.003 5	5.185 4	0.062 7	0.121 9	0.000 6	1.733	19	1.850	22	1.985	8
49	353	1283	0.02	0.278 9	0.002 1	4.686 9	0.046 1	0.121 9	0.000 4	1.586	12	1.765	17	1.984	5
50	150	448	0.08	0.335	0.003 4	5.769 4	0.056 2	0.124 9	0.000 4	1.862	19	1.942	19	2.028	6
51	92	211	0.45	0.395 5	0.002 7	7.383 2	0.082 8	0.135 4	0.000 8	2.148	14	2.159	24	2.169	10
52	87	246	0.29	0.333 3	0.001 9	5.717	0.038 8	0.124 4	0.000 4	1.854	11	1.934	13	2.020	6
53	74	196	0.28	0.359 9	0.002 9	6.215 8	0.078 5	0.125 2	0.000 9	1.982	16	2.007	25	2.032	12
54	56	151	0.22	0.356 5	0.002 4	6.047 4	0.070 7	0.123	0.000 6	1.966	13	1.983	23	2.001	9
55	253	816	0.18	0.304 1	0.002 9	5.065 9	0.063 1	0.120 8	0.001	1.711	16	1.830	23	1.969	14
56	100	218	0.77	0.388	0.004 7	7.125 2	0.090 4	0.133 2	0.000 4	2.114	25	2.127	27	2.140	5
57	122	380	0.04	0.324 2	0.003 2	5.348 9	0.054 8	0.119 7	0.000 3	1.810	18	1.877	19	1.951	4
58	25	65	0.51	0.350 8	0.002 5	6.038 3	0.049 4	0.124 9	0.001	1.938	14	1.981	16	2.027	14
59	111	288	0.25	0.371 3	0.003 5	6.406 4	0.05	0.125 1	0.000 5	2.036	19	2.033	16	2.031	7
60	184	418	0.66	0.383 3	0.003 2	7.018 1	0.061 3	0.132 8	0.000 5	2.092	18	2.114	18	2.135	6

续表 1-2  
Continued Table 1-2

测点号	$\omega_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$
LS10-1-10.1															
1	604	1730	0	0.3599	0.0022	5.8599	0.0788	0.1181	0.0014	1.982	12	1.955	26	1.928	21
2	732	2414	0.09	0.3115	0.0018	4.9418	0.0658	0.115	0.0014	1.748	10	1.809	24	1.881	21
3	802	1823	0.51	0.3939	0.0034	6.8281	0.1	0.1257	0.0015	2.141	18	2.089	31	2.039	21
4	548	1559	0.1	0.3537	0.0023	5.8159	0.0804	0.1193	0.0014	1.952	13	1.949	27	1.945	21
5	513	1470	0.01	0.3591	0.0026	5.8431	0.0823	0.118	0.0014	1.978	14	1.953	28	1.926	21
6	310	811	0.07	0.3877	0.0021	6.3897	0.0849	0.1195	0.0014	2.112	11	2.031	27	1.949	21
7	620	1716	0.01	0.372	0.0023	6.0732	0.0819	0.1184	0.0014	2.039	12	1.986	27	1.932	21
8	646	1828	0.01	0.3637	0.0022	5.9222	0.0795	0.1181	0.0014	2.000	12	1.965	26	1.928	21
9	759	1947	0.08	0.3918	0.003	6.5267	0.0945	0.1208	0.0014	2.131	16	2.050	30	1.968	21
10	792	2215	0	0.3685	0.0019	6.0283	0.0789	0.1187	0.0014	2.022	10	1.980	26	1.936	21
11	543	1619	0.02	0.3449	0.0023	5.5228	0.0756	0.1162	0.0014	1.910	13	1.904	26	1.898	21
12	586	1646	0.01	0.3662	0.0021	5.9842	0.08	0.1186	0.0014	2.011	12	1.974	26	1.935	21
13	379	1083	0.03	0.3581	0.002	5.8845	0.0785	0.1192	0.0014	1.973	11	1.959	26	1.944	21
14	445	1007	0.83	0.375	0.0031	6.5876	0.0964	0.1274	0.0015	2.053	17	2.058	30	2.063	21
15	455	1290	0.01	0.363	0.003	5.9056	0.0866	0.118	0.0014	1.996	17	1.962	29	1.927	21
16	640	1755	0.12	0.3625	0.0036	6.1053	0.0952	0.1222	0.0014	1.994	20	1.991	31	1.988	21
17	200	486	0.59	0.3721	0.0046	6.4585	0.1133	0.1259	0.0015	2.039	25	2.040	36	2.042	21
18	240	545	0.49	0.4019	0.0055	7.0622	0.1351	0.1275	0.0015	2.178	30	2.119	41	2.063	21
19	522	1453	0.08	0.3624	0.0032	6.0039	0.0904	0.1202	0.0014	1.994	17	1.976	30	1.959	21
20	272	746	0.01	0.376	0.0021	6.1551	0.0824	0.1187	0.0014	2.058	12	1.998	27	1.937	21
21	119	306	0.25	0.369	0.0027	6.3306	0.1047	0.1244	0.0017	2.025	15	2.023	33	2.021	24
22	328	1092	0.03	0.3067	0.0018	4.8993	0.066	0.1159	0.0014	1.724	10	1.802	24	1.894	21
23	62	139	0.53	0.3985	0.0037	6.9935	0.1169	0.1273	0.0018	2.162	20	2.111	35	2.061	25
24	688	1866	0.02	0.3784	0.0024	6.2548	0.085	0.1199	0.0014	2.069	13	2.012	27	1.954	21
25	451	1230	0.02	0.3758	0.0027	6.2311	0.088	0.1202	0.0014	2.057	15	2.009	28	1.960	21
26	552	1503	0.14	0.3646	0.0023	6.0959	0.0848	0.1212	0.0014	2.004	12	1.990	28	1.975	21
27	499	1071	0.73	0.3957	0.0039	7.0773	0.1102	0.1297	0.0015	2.149	21	2.121	33	2.094	21
28	340	759	0.61	0.3939	0.0022	7.0094	0.0936	0.129	0.0015	2.141	12	2.113	28	2.085	21
29	382	809	0.66	0.408	0.0025	7.264	0.0982	0.1291	0.0015	2.206	13	2.144	29	2.086	21

续表 1-3  
Continued Table 1-3

测点号	$\omega_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$		
LS10-1-10.1															
30	434	1.214	0.01	0.3677	0.0019	6.0671	0.0799	0.1197	0.0014	2.018	10	1.986	26	1.951	21
31	216	516	0.41	0.3885	0.0025	6.7493	0.0925	0.126	0.0015	2.116	14	2.079	28	2.043	21
32	604	1.812	0.02	0.3427	0.0024	5.5029	0.0773	0.1165	0.0014	1.900	13	1.901	27	1.903	21
33	572	1.591	0.01	0.3697	0.0039	6.1022	0.0978	0.1197	0.0014	2.028	21	1.991	32	1.952	21
34	770	1.688	0.6	0.4025	0.0056	7.0481	0.1333	0.127	0.0015	2.181	30	2.118	40	2.057	21
35	769	2.070	0.01	0.3823	0.0029	6.2929	0.09	0.1194	0.0014	2.087	16	2.017	29	1.947	21
36	361	947	0.01	0.3925	0.0033	6.4298	0.0951	0.1188	0.0014	2.134	18	2.036	30	1.938	21
37	543	1.323	0.29	0.3871	0.0022	6.4935	0.0864	0.1217	0.0014	2.109	12	2.045	27	1.981	21
38	585	1.655	0.02	0.3624	0.0024	5.851	0.0805	0.1171	0.0014	1.993	13	1.954	27	1.913	21
39	272	805	0.48	0.3418	0.0024	5.6063	0.0794	0.119	0.0014	1.895	13	1.917	27	1.941	21
40	185	474	0.38	0.3636	0.0035	6.1765	0.0897	0.1252	0.0015	1.999	19	2.001	29	2.004	22
41	568	1.450	0.17	0.3799	0.002	6.289	0.0824	0.1201	0.0014	2.076	11	2.017	26	1.957	21
42	389	1.220	0.05	0.3255	0.0026	5.2618	0.0752	0.1173	0.0014	1.816	14	1.863	27	1.915	21
43	104	244	0.55	0.3812	0.0029	6.6422	0.0979	0.1264	0.0016	2.082	16	2.065	30	2.048	22
44	408	1.084	0.03	0.3855	0.0027	6.3471	0.0892	0.1194	0.0014	2.102	15	2.025	28	1.947	21
45	432	1.318	0.05	0.3343	0.0053	5.42	0.1069	0.1176	0.0014	1.859	29	1.888	37	1.919	21
46	769	2.122	0.07	0.3664	0.0026	6.0968	0.0872	0.1207	0.0014	2.012	15	1.990	28	1.966	21
47	541	1.429	0.21	0.3658	0.0071	6.2755	0.1443	0.1244	0.0015	2.010	39	2.015	46	2.020	21
48	673	1.538	0.47	0.3964	0.002	6.8519	0.0897	0.1254	0.0015	2.152	11	2.092	27	2.034	21
49	336	931	0.02	0.3712	0.0024	6.0767	0.0839	0.1187	0.0014	2.035	13	1.987	27	1.937	21
50	1.012	2.325	0.59	0.3843	0.0018	6.8149	0.0882	0.1286	0.0015	2.097	10	2.088	27	2.079	21
LS10-3-2.1															
1	68	171	0.25	0.3798	0.0025	6.5911	0.102	0.1259	0.0018	2.075	14	2.058	32	2.041	25
2	84	222	0.29	0.3579	0.0023	6.1336	0.0942	0.1243	0.0017	1.972	13	1.995	31	2.019	25
3	86	254	0.31	0.3207	0.0026	5.4648	0.0937	0.1235	0.0018	1.793	14	1.895	33	2.008	25
4	57	157	0.32	0.3453	0.0022	6.0032	0.0935	0.1261	0.0018	1.912	12	1.976	31	2.044	25
5	64	202	0.23	0.3043	0.0022	5.0493	0.081	0.1203	0.0017	1.713	12	1.828	29	1.961	26
6	49	117	0.79	0.3552	0.0019	6.3118	0.1036	0.1289	0.002	1.959	11	2.020	33	2.083	28
7	121	539	0.01	0.2299	0.0019	3.6173	0.0637	0.1141	0.0016	1.334	11	1.553	27	1.865	26
8	56	150	0.38	0.3529	0.0023	6.0735	0.0969	0.1248	0.0018	1.948	13	1.986	32	2.026	26
9	75	193	0.25	0.38	0.0026	6.5187	0.1015	0.1244	0.0018	2.076	14	2.048	32	2.021	25

续表 1-4  
Continued Table 1-4

测点号	$\omega_{\text{B}}/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$
LS10-3-2-1															
10	74	191	0.27	0.3753	0.0038	6.3785	0.1136	0.1239	0.0018	2.045	21	2.029	36	2.013	25
11	46	117	0.3	0.3769	0.0028	6.4707	0.108	0.1245	0.0019	2.062	15	2.042	34	2.022	26
12	92	240	0.23	0.3762	0.0027	6.4145	0.1	0.1237	0.0017	2.058	15	2.034	32	2.010	25
13	83	210	0.34	0.3748	0.0023	6.598	0.1005	0.1277	0.0018	2.052	13	2.059	31	2.066	25
14	101	270	0.33	0.3581	0.002	6.1121	0.0909	0.1238	0.0017	1.973	11	1.992	30	2.012	25
15	115	364	0.08	0.3188	0.0023	5.2604	0.0836	0.1197	0.0017	1.784	13	1.862	30	1.951	25
16	90	266	0.26	0.3284	0.003	5.4944	0.0987	0.1213	0.0017	1.831	17	1.900	34	1.975	26
17	62	212	0.18	0.2894	0.0075	4.7898	0.1507	0.1198	0.0018	1.639	42	1.783	56	1.954	26
18	76	205	0.3	0.3531	0.002	6.0434	0.0907	0.1241	0.0018	1.949	11	1.982	30	2.017	25
19	140	337	0.53	0.3813	0.0036	6.4963	0.1076	0.1236	0.0017	2.082	20	2.045	34	2.008	25
20	112	314	0.33	0.34	0.0025	5.7143	0.088	0.1219	0.0017	1.887	14	1.934	30	1.984	25
21	131	356	0.23	0.3561	0.0023	6.0784	0.0914	0.1238	0.0017	1.964	13	1.987	30	2.011	25
22	83	234	0.28	0.3411	0.0025	5.7232	0.0877	0.1217	0.0017	1.892	14	1.935	30	1.981	25
23	63	191	0.37	0.3072	0.0037	5.2083	0.0948	0.1229	0.0018	1.727	21	1.854	34	1.999	25
24	46	124	0.28	0.3555	0.0027	6.1374	0.1004	0.1252	0.0018	1.961	15	1.996	33	2.031	26
25	80	207	0.32	0.3639	0.002	6.5371	0.0974	0.1302	0.0018	2.001	11	2.051	31	2.101	25
26	59	152	0.37	0.3616	0.0023	6.1686	0.0956	0.1237	0.0018	1.990	13	2.000	31	2.010	26
27	75	221	0.2	0.3313	0.0059	5.4913	0.1307	0.12	0.0017	1.845	33	1.899	45	1.957	25
28	111	334	0.06	0.3365	0.0024	5.6135	0.0883	0.1209	0.0017	1.870	13	1.918	30	1.970	25
29	129	340	0.3	0.3634	0.0037	6.1079	0.1055	0.1218	0.0017	1.998	20	1.991	34	1.983	25
30	119	293	0.43	0.3793	0.0041	6.4717	0.1118	0.1237	0.0017	2.073	22	2.042	35	2.011	25
31	66	188	0.32	0.3321	0.0028	5.661	0.092	0.1237	0.0018	1.848	15	1.925	31	2.010	26
32	124	429	0.77	0.2542	0.0014	4.1088	0.0613	0.1172	0.0016	1.460	8	1.656	25	1.914	25
33	57	161	0.45	0.3281	0.0018	5.5582	0.0849	0.1229	0.0018	1.829	10	1.910	29	1.999	25
34	116	307	0.12	0.375	0.0041	6.5737	0.1144	0.1272	0.0018	2.053	23	2.056	36	2.060	25
35	43	97	0.76	0.3835	0.0038	6.8442	0.1198	0.1295	0.0019	2.093	21	2.091	37	2.091	26
36	65	168	0.33	0.369	0.0038	6.4124	0.1138	0.126	0.0018	2.025	21	2.034	36	2.043	25
37	104	271	0.49	0.356	0.0038	6.1938	0.1123	0.1262	0.0018	1.963	21	2.004	36	2.045	25
38	103	274	0.35	0.3582	0.0034	6.1759	0.1019	0.1251	0.0017	1.974	19	2.001	33	2.030	25
39	103	290	0.33	0.3414	0.0064	5.8197	0.1413	0.1236	0.0017	1.893	36	1.949	47	2.008	25
40	92	277	0.18	0.3292	0.0047	5.6081	0.1169	0.1235	0.0017	1.835	26	1.917	40	2.007	25

续表 1-5  
Continued Table 1-5

测点号	$^{206}\text{Pb}/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$
LS10-3-2.1															
41	100	515	0.14	0.195 4	0.001 5	3.159 8	0.049 5	0.117 3	0.001 7	1.151	9	1.447	23	1.915	25
42	62	173	0.37	0.343 8	0.002 6	5.746 6	0.097 5	0.121 2	0.001 9	1.905	15	1.938	33	1.974	27
43	73	185	0.46	0.369 1	0.004 1	6.328 9	0.112 2	0.124 4	0.001 7	2.025	23	2.022	36	2.020	25
44	80	180	0.86	0.383 3	0.003 7	7.056 4	0.118 1	0.133 5	0.001 9	2.092	20	2.119	35	2.145	25
45	140	492	0.42	0.269 7	0.001 5	4.424	0.066 6	0.119	0.001 7	1.539	9	1.717	26	1.941	25
46	83	232	0.23	0.348 4	0.002 4	6.048 9	0.093 9	0.125 9	0.001 8	1.927	13	1.983	31	2.042	25
47	93	316	0.21	0.282 2	0.001 9	4.748 2	0.073 4	0.122	0.001 7	1.602	11	1.776	27	1.986	25
48	61	168	0.36	0.346	0.002 7	6.085 9	0.099 1	0.127 6	0.001 9	1.915	15	1.988	32	2.065	26
49	79	291	0.22	0.259 6	0.001 3	4.363 9	0.063 1	0.121 9	0.001 7	1.488	7	1.706	25	1.984	24
LS10-6-5.1															
1	82	201	0.43	0.374 6	0.001 8	6.590 8	0.038 1	0.127 6	0.000 6	2.051	10	2.058	12	2.065	8
2	128	730	0.25	0.156	0.000 6	2.774 1	0.031 8	0.129	0.001 1	934.5	4	1.349	15	2.084	15
3	89	223	0.23	0.383 1	0.002	6.707 9	0.047 2	0.127	0.000 6	2.091	11	2.074	15	2.057	8
4	91	231	0.36	0.363 9	0.002	6.413 2	0.040 8	0.127 8	0.000 6	2.001	11	2.034	13	2.068	8
5	43	110	0.22	0.374 8	0.001 9	6.513 3	0.042 2	0.126	0.000 6	2.052	10	2.048	13	2.043	9
6	59	167	0.23	0.338 7	0.001 7	5.864 9	0.043 8	0.125 6	0.000 6	1.880	9	1.956	15	2.037	8
7	68	215	0.27	0.301 6	0.001 9	5.197 6	0.032 3	0.125	0.000 6	1.699	11	1.852	11	2.029	8
8	78	225	0.22	0.336 2	0.001 5	5.844 6	0.041 4	0.126 1	0.000 6	1.869	9	1.953	14	2.044	8
9	36	211	0.46	0.153 3	0.000 9	2.753 9	0.019 1	0.130 3	0.000 8	919.2	5	1.343	9	2.102	11
10	49	123	0.29	0.381 8	0.001 6	6.699 8	0.043 9	0.127 3	0.000 6	2.085	9	2.073	14	2.061	9
11	70	175	0.28	0.385 1	0.001 9	6.736 6	0.045 5	0.126 9	0.000 6	2.100	10	2.077	14	2.055	8
12	36	103	0.58	0.303 2	0.001 6	5.352 6	0.050 1	0.128 1	0.000 8	1.707	9	1.877	18	2.071	11
13	50	136	0.47	0.340 5	0.002 3	5.927 3	0.041 1	0.126 3	0.000 6	1.889	13	1.965	14	2.046	9
14	36	88.7	0.28	0.387 4	0.002	6.927 7	0.043	0.129 7	0.000 7	2.111	11	2.102	13	2.094	9
15	54	195	0.16	0.263 7	0.001 1	4.511 5	0.031 3	0.124 1	0.000 7	1.509	6	1.733	12	2.016	9
16	42	119	0.32	0.333 6	0.001 7	5.713 1	0.035 6	0.124 2	0.000 7	1.856	9	1.933	12	2.017	10
17	85	279	0.27	0.291 8	0.001 4	4.997 2	0.036 3	0.124 2	0.000 6	1.651	8	1.819	13	2.017	8
18	72	295	0.48	0.228	0.001 3	4.007 9	0.036 9	0.127 5	0.000 6	1.324	7	1.636	15	2.063	8
19	70	208	0.06	0.339 4	0.002 6	5.884	0.036 8	0.125 7	0.000 6	1.884	14	1.959	12	2.039	8
20	49	122	0.24	0.389 5	0.001 8	6.719 6	0.047 1	0.125 1	0.000 6	2.121	10	2.075	15	2.030	9

续表 1-6  
Continued Table 1-6

测点号	$\epsilon_{\text{Pb}}/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$
LS10-6-5.1															
21	46	109	0.36	0.3973	0.0018	6.9392	0.0476	0.1267	0.0006	2.157	10	2.104	14	2.052	9
22	92	221	0.3	0.4024	0.0021	6.9624	0.0506	0.1255	0.0006	2.180	11	2.107	15	2.036	8
23	69	158	0.42	0.4099	0.0025	7.1198	0.0588	0.126	0.0006	2.214	14	2.127	18	2.043	8
24	63	148	0.34	0.4079	0.0029	7.0785	0.0633	0.1259	0.0006	2.205	16	2.121	19	2.041	8
25	76	174	0.44	0.4076	0.0032	7.1077	0.0564	0.1265	0.0006	2.204	17	2.125	17	2.049	9
26	22	49.7	0.62	0.4024	0.0019	7.1598	0.0616	0.129	0.0009	2.180	10	2.132	18	2.085	12
27	75	174	0.24	0.4143	0.0022	7.3349	0.1072	0.1284	0.0007	2.234	12	2.153	31	2.076	9
28	37	88.7	0.44	0.3865	0.0045	6.6263	0.0492	0.1243	0.0006	2.107	24	2.063	15	2.019	9
29	38	96.4	0.49	0.3723	0.0021	6.6047	0.0468	0.1287	0.0008	2.040	12	2.060	15	2.080	11
30	59	158	0.28	0.3592	0.0015	6.1062	0.0467	0.1233	0.0006	1.979	8	1.991	15	2.004	9
31	38	90.4	0.45	0.3948	0.0019	6.931	0.0541	0.1273	0.0007	2.145	10	2.103	16	2.061	9
32	72	224	0.3	0.3083	0.0019	5.2377	0.0367	0.1232	0.0006	1.732	11	1.859	13	2.003	9
33	36	88.1	0.32	0.3925	0.002	6.745	0.0524	0.1246	0.0007	2.134	11	2.079	16	2.024	10
34	50	116	0.32	0.4057	0.0025	7.248	0.0564	0.1296	0.0006	2.195	14	2.142	17	2.092	9
35	61	169	0.39	0.3443	0.0022	5.8723	0.0429	0.1237	0.0006	1.907	12	1.957	14	2.010	8
36	89	218	0.45	0.3765	0.0018	6.466	0.0374	0.1246	0.0006	2.060	10	2.041	12	2.022	8
37	120	284	0.43	0.3915	0.0017	6.9772	0.0397	0.1293	0.0006	2.130	9	2.109	12	2.088	8
38	112	297	0.32	0.3554	0.0014	6.1057	0.0402	0.1246	0.0006	1.960	8	1.991	13	2.023	8
39	49	118	0.34	0.3879	0.0021	6.7324	0.0358	0.1259	0.0005	2.113	11	2.077	11	2.041	8
40	55	132	0.19	0.4069	0.0026	7.0978	0.0473	0.1265	0.0006	2.201	14	2.124	14	2.050	8
41	244	1011	0.38	0.2071	0.0011	3.6277	0.0203	0.127	0.0006	1.214	6	1.556	9	2.057	9
42	110	506	0.23	0.207	0.001	3.3948	0.0234	0.119	0.0006	1.213	6	1.503	10	1.941	8
43	95	239	0.31	0.3778	0.0021	6.4961	0.0407	0.1247	0.0006	2.066	11	2.045	13	2.025	8
44	70	167	0.42	0.3851	0.0019	6.7159	0.0494	0.1265	0.0006	2.100	10	2.075	15	2.050	8
45	35	157	0.15	0.2094	0.0013	3.6277	0.0351	0.1256	0.001	1.226	8	1.556	15	2.038	14
46	56	120	0.72	0.4055	0.002	7.3544	0.052	0.1315	0.0006	2.194	11	2.155	15	2.118	9
47	82	211	0.51	0.3503	0.002	6.0901	0.0459	0.1261	0.0006	1.936	11	1.989	15	2.044	9
48	85	200	0.37	0.3955	0.0022	6.9051	0.0455	0.1266	0.0006	2.148	12	2.099	14	2.052	8
49	77	208	0.22	0.3598	0.0018	6.274	0.0413	0.1265	0.0006	1.981	10	2.015	13	2.049	8
50	55	123	0.96	0.3701	0.0019	6.6077	0.0442	0.1295	0.0006	2.030	10	2.060	14	2.091	8

续表 1-7  
Continued Table 1-7

测点号	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$\text{Th}/\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		同位素比值		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		年龄/Ma		
	Pb	U	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$
LS10-9-7.1															
1	111	313	0.45	0.3329	0.0035	5.1951	0.0467	0.1132	0.0005	1.852	20	1.852	17	1.851	8
2	163	441	0.58	0.3369	0.0028	5.3259	0.0391	0.1146	0.0005	1.872	15	1.873	14	1.874	7
3	201	573	0.36	0.3342	0.0029	5.1949	0.0551	0.1127	0.0005	1.859	16	1.852	20	1.844	8
4	462	1300	0.42	0.3339	0.0032	5.2505	0.0439	0.114	0.0005	1.857	18	1.861	16	1.865	7
5	71	202	0.51	0.326	0.0028	5.1388	0.0466	0.1143	0.0006	1.819	16	1.843	17	1.869	9
6	71	198	0.53	0.327	0.0026	5.1712	0.0459	0.1147	0.0006	1.824	14	1.848	16	1.875	10
7	60	172	0.51	0.3233	0.0031	5.025	0.0594	0.1127	0.0009	1.806	18	1.824	22	1.844	15
8	84	240	0.43	0.3272	0.0025	5.1218	0.0442	0.1135	0.0007	1.825	14	1.840	16	1.857	11
9	293	860	0.3	0.3294	0.0025	5.1357	0.0503	0.1131	0.0004	1.835	14	1.842	18	1.850	6
10	47	133	0.43	0.3308	0.0033	5.1667	0.049	0.1133	0.0006	1.842	18	1.847	18	1.852	9
11	65	182	0.45	0.3301	0.0024	5.1498	0.0627	0.1132	0.0008	1.839	13	1.844	22	1.851	12
12	99	278	0.44	0.3313	0.0038	5.1783	0.0589	0.1134	0.0005	1.845	21	1.849	21	1.854	8
13	59	168	0.37	0.3289	0.0026	5.1433	0.0433	0.1134	0.0006	1.833	14	1.843	16	1.855	10
14	463	1415	0.17	0.3255	0.0023	5.022	0.0404	0.1119	0.0005	1.816	13	1.823	15	1.831	8
15	103	300	0.53	0.3121	0.0022	4.9024	0.0468	0.1139	0.0006	1.751	12	1.803	17	1.863	10
16	67	186	0.45	0.3319	0.0025	5.2238	0.0766	0.1142	0.0009	1.847	14	1.856	27	1.867	14
17	46	132	0.42	0.326	0.0028	5.0246	0.0492	0.1118	0.0007	1.819	16	1.823	18	1.829	11
18	72	200	0.42	0.3341	0.003	5.246	0.0533	0.1139	0.0008	1.858	17	1.860	19	1.862	12
19	107	304	0.42	0.3284	0.0025	5.0852	0.0621	0.1123	0.0007	1.831	14	1.834	22	1.837	11
20	99	273	0.56	0.325	0.0028	5.163	0.0631	0.1152	0.0006	1.814	16	1.847	23	1.883	9
21	61	177	0.42	0.3232	0.0031	5.0767	0.0457	0.1139	0.0004	1.805	17	1.832	16	1.863	7
22	385	1121	0.36	0.3252	0.0024	5.0546	0.072	0.1127	0.0008	1.815	14	1.829	26	1.844	12
23	92	279	0.44	0.3053	0.003	4.7586	0.0435	0.113	0.0004	1.718	17	1.778	16	1.849	6
24	50	139	0.44	0.3343	0.0024	5.2835	0.0547	0.1146	0.0007	1.859	13	1.866	19	1.874	11
25	111	312	0.45	0.3325	0.0025	5.2616	0.0532	0.1148	0.0007	1.850	14	1.863	19	1.876	10
26	136	395	0.36	0.3282	0.0023	5.0477	0.0599	0.1115	0.0007	1.830	13	1.827	22	1.825	11
27	67	190	0.47	0.326	0.0028	5.0593	0.0566	0.1126	0.0006	1.819	16	1.829	20	1.841	10
28	65	188	0.46	0.3199	0.0029	5.0306	0.0569	0.114	0.0006	1.789	16	1.824	21	1.865	9
29	227	693	0.27	0.3174	0.0033	4.9859	0.0599	0.1139	0.0006	1.777	18	1.817	22	1.863	9
30	62	181	0.46	0.3163	0.0033	4.9982	0.0579	0.1146	0.0008	1.771	18	1.819	21	1.874	12
31	368	1097	0.26	0.3271	0.0028	5.111	0.05	0.1133	0.0005	1.824	16	1.838	18	1.853	7
32	206	622	0.26	0.3238	0.003	5.0346	0.0301	0.1128	0.0006	1.808	17	1.825	11	1.844	9

续表 1-8  
Continued Table 1-8

测点号	$w_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Mya							
	Pb	U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$		
LS10-9-7.1															
33	92	277	0.36	0.313 4	0.002 5	4.918 8	0.049 6	0.113 8	0.000 6	1757	14	1805	18	1862	9
34	92	266	0.49	0.319	0.002 2	4.998 2	0.050 4	0.113 6	0.000 7	1785	12	1819	18	1858	12
35	78	228	0.45	0.32	0.002 7	4.980 8	0.041 9	0.112 9	0.000 7	1790	15	1816	15	1847	11
36	295	869	0.29	0.329 7	0.002 6	5.159 3	0.059 5	0.113 5	0.000 6	1837	14	1846	21	1856	10
37	62	171	0.55	0.331 9	0.003	5.218 6	0.071 5	0.114	0.000 6	1847	17	1856	25	1865	9
38	74	205	0.55	0.329 9	0.002 6	5.182 2	0.067	0.113 9	0.000 7	1838	15	1850	24	1863	11
39	84	226	0.59	0.335 2	0.002 7	5.261 4	0.066 4	0.113 9	0.000 6	1863	15	1863	24	1862	10
40	89	249	0.45	0.332 8	0.003 3	5.255 5	0.056 1	0.114 5	0.000 7	1852	19	1862	20	1872	11
41	38	105	0.48	0.333 2	0.002 4	5.206 7	0.052 5	0.113 3	0.000 9	1854	14	1854	19	1853	15
42	323	944	0.23	0.336 1	0.003 6	5.253 1	0.047 5	0.113 4	0.000 5	1868	20	1861	17	1854	8
43	451	1364	0.16	0.331	0.002 3	5.161 9	0.053 4	0.113 1	0.000 5	1843	13	1846	19	1850	9
44	112	323	0.31	0.335 1	0.002 4	5.265 7	0.057 2	0.114	0.000 5	1863	13	1863	20	1864	8
45	100	295	0.23	0.334	0.002 3	5.213 4	0.054 4	0.113 2	0.000 4	1858	13	1855	19	1852	7
46	64	176	0.58	0.330 1	0.002 7	5.161 5	0.051 8	0.113 4	0.000 9	1839	15	1846	19	1855	14
47	215	714	0.31	0.291 7	0.002 8	4.503 1	0.036 6	0.112	0.000 5	1650	16	1732	14	1832	9
48	103	289	0.46	0.335 8	0.002 3	5.220 6	0.054 3	0.112 7	0.000 5	1867	13	1856	19	1844	8
49	85	230	0.6	0.335 2	0.002 6	5.209 9	0.043 7	0.112 7	0.000 5	1864	15	1854	16	1844	8
50	236	667	0.38	0.335 6	0.002 6	5.278 7	0.059 2	0.114 1	0.000 6	1865	14	1865	21	1865	9
51	76	218	0.28	0.339 2	0.006 6	5.263 9	0.126 7	0.112 6	0.001 2	1883	36	1863	45	1841	19
52	102	284	0.54	0.331 9	0.003 4	5.139 6	0.043 2	0.112 3	0.000 5	1848	19	1843	15	1837	8
53	96	269	0.50	0.330 9	0.002 9	5.134 9	0.054 7	0.112 5	0.000 5	1843	16	1842	20	1841	8
54	51	142	0.52	0.332 6	0.003	5.164 8	0.044 7	0.112 6	0.000 5	1851	17	1847	16	1842	8
55	84	236	0.57	0.328 3	0.003 6	5.094 4	0.048 2	0.112 5	0.000 7	1830	20	1835	17	1841	11
56	59	165	0.5	0.329 6	0.003	5.102 2	0.044 7	0.112 3	0.000 5	1836	17	1836	16	1837	8
57	57	160	0.55	0.328 6	0.003 2	5.098 6	0.045 4	0.112 5	0.000 5	1832	18	1836	16	1841	7
58	85	245	0.47	0.323 7	0.002 7	4.996	0.035 2	0.111 9	0.000 6	1808	15	1819	13	1831	9
59	77	219	0.49	0.326 2	0.003 1	5.042 9	0.038 8	0.112 1	0.000 4	1820	17	1827	14	1834	7
60	50	144	0.46	0.324 4	0.003 5	5.109 4	0.051	0.114 2	0.000 5	1811	20	1838	18	1868	8

续表 1-9  
Continued Table 1-9

测点号	$w_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$
LS10-10-2-1															
1	60	148	0.34	0.376	0.0033	6.5566	0.0789	0.1261	0.0012	2.057	18	2.051	25	2.044	17
2	139	310	0.98	0.3651	0.0039	6.2133	0.0703	0.1234	0.0005	2.006	21	2.006	23	2.007	7
3	30	71	0.57	0.3825	0.0049	6.8146	0.1037	0.1292	0.0011	2.088	27	2.088	32	2.087	14
4	212	624	0.12	0.3404	0.003	5.4092	0.048	0.1152	0.0002	1.889	16	1.886	17	1.884	3
5	84	215	0.45	0.3593	0.0043	5.9947	0.0661	0.121	0.0007	1.979	23	1.975	22	1.971	10
6	13	34	0.37	0.3601	0.0034	6.0625	0.0999	0.1221	0.0016	1.983	19	1.985	33	1.987	24
7	52	129	0.57	0.36	0.0059	6.0862	0.1035	0.1226	0.0005	1.982	33	1.988	34	1.994	7
8	17	41	0.72	0.3584	0.0037	5.9887	0.0954	0.1212	0.0015	1.974	20	1.974	31	1.974	22
9	81	234	0.1	0.3489	0.0033	5.616	0.0529	0.1168	0.0005	1.929	18	1.919	18	1.907	7
10	134	365	0.01	0.3745	0.0036	6.6143	0.064	0.1281	0.0005	2.050	20	2.061	20	2.072	7
11	51	119	0.57	0.3811	0.0036	6.7644	0.063	0.1287	0.0005	2.081	20	2.081	19	2.081	6
12	35	88	0.59	0.3528	0.0065	5.7602	0.112	0.1184	0.0008	1.948	36	1.940	38	1.932	12
13	484	541	6.99	0.34	0.0025	6.8046	0.1167	0.1451	0.002	1.887	14	2.086	36	2.289	24
14	64	109	0.94	0.4708	0.0056	10.573	0.1248	0.1629	0.0008	2.487	30	2.486	29	2.486	9
15	48	115	0.7	0.3634	0.003	6.2452	0.092	0.1247	0.0009	1.998	17	2.011	30	2.024	13
16	136	367	0.3	0.3553	0.0027	5.8912	0.0724	0.1202	0.0008	1.960	15	1.960	24	1.960	13
17	283	648	0.45	0.3965	0.0033	7.414	0.0956	0.1356	0.0011	2.153	18	2.163	28	2.172	14
18	56	131	0.46	0.3857	0.0044	7.0892	0.0878	0.1333	0.0007	2.103	24	2.123	26	2.142	9
19	242	499	0.66	0.4133	0.0035	8.6174	0.0834	0.1512	0.0009	2.230	19	2.298	22	2.360	10
20	53	132	0.68	0.3469	0.0029	5.9421	0.0518	0.1242	0.0005	1.920	16	1.967	17	2.018	7
21	278	758	0.27	0.3484	0.0032	5.9972	0.0534	0.1249	0.0007	1.927	18	1.975	18	2.027	10
22	74	197	0.43	0.3434	0.0037	5.9205	0.0673	0.1251	0.0006	1.903	20	1.964	22	2.030	8
23	47	116	0.3	0.3836	0.0032	7.117	0.061	0.1346	0.0003	2.093	17	2.126	18	2.158	4
24	41	92	0.57	0.3977	0.0027	7.2727	0.0709	0.1326	0.0009	2.158	15	2.145	21	2.133	12
25	198	471	0.62	0.3667	0.0041	6.4455	0.0772	0.1275	0.0006	2.014	22	2.038	24	2.064	8
26	215	524	0.77	0.3494	0.0037	5.8988	0.0697	0.1225	0.0006	1.932	21	1.961	23	1.992	9
27	55	131	0.63	0.3651	0.0042	6.3343	0.0908	0.1258	0.0011	2.006	23	2.023	29	2.041	15
28	14	30	0.96	0.3649	0.0036	6.44	0.0969	0.128	0.0015	2.006	20	2.038	31	2.070	20
29	48	122	0.34	0.3714	0.0039	6.6646	0.084	0.1301	0.0009	2.036	21	2.068	26	2.100	13
30	171	398	0.84	0.3533	0.0031	5.9616	0.0553	0.1224	0.0003	1.950	17	1.970	18	1.991	5

续表 1-10  
Continued Table 1-10

测点号	$w_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$
LS10-10-2.1															
31	168	512	0.1	0.3278	0.0054	5.3535	0.0812	0.1185	0.0012	1828	30	1877	28	1933	18
32	62	145	0.83	0.3573	0.003	6.0686	0.0768	0.1232	0.0009	1969	17	1986	25	2003	14
33	40	105	0.31	0.3651	0.0027	6.2931	0.0546	0.125	0.0006	2006	15	2018	18	2029	8
34	41	94	0.87	0.3632	0.0039	6.1317	0.0441	0.1224	0.0007	1997	22	1995	14	1992	9
35	121	265	0.91	0.3779	0.0035	6.7126	0.0636	0.1288	0.0003	2066	19	2074	20	2082	4
36	50	122	0.47	0.3738	0.0025	6.4473	0.0529	0.1251	0.0006	2047	14	2039	17	2030	8
37	49	115	0.84	0.3611	0.0037	6.1319	0.0651	0.1232	0.0004	1987	20	1995	21	2003	5
38	47	105	0.59	0.3928	0.0037	7.256	0.0669	0.134	0.0008	2136	20	2143	20	2151	10
39	125	354	0.28	0.3445	0.0039	5.5897	0.0711	0.1177	0.0008	1909	21	1915	24	1921	12
40	56	122	0.8	0.3848	0.0037	6.9359	0.0871	0.1307	0.0007	2099	20	2103	26	2108	9
41	49	124	0.45	0.3632	0.0028	6.1706	0.08	0.1232	0.0008	1997	15	2000	26	2003	12
42	189	421	0.65	0.3897	0.003	6.918	0.0901	0.1287	0.0009	2122	16	2101	27	2081	12
43	105	210	1.41	0.3761	0.0031	6.6915	0.0669	0.129	0.0008	2058	17	2072	21	2085	10
44	70	165	0.7	0.3689	0.005	6.2017	0.0953	0.1219	0.0009	2024	28	2005	31	1984	13
45	51	126	0.5	0.3651	0.0038	6.1989	0.0678	0.1231	0.0006	2006	21	2004	22	2002	8
46	264	751	0.19	0.3454	0.0033	5.5823	0.0565	0.1172	0.0004	1913	18	1913	19	1914	6
47	25	63	0.35	0.3658	0.0041	6.3474	0.0948	0.1258	0.0012	2010	23	2025	30	2041	17
48	39	91	0.67	0.3719	0.0045	6.4211	0.0788	0.1252	0.0006	2038	25	2035	25	2032	9
49	155	450	0.1	0.3452	0.0036	5.5551	0.0553	0.1167	0.0007	1912	20	1909	19	1906	11
50	48	117	0.49	0.3628	0.0066	6.3585	0.1034	0.1271	0.0014	1995	36	2027	33	2058	19
51	89	229	0.43	0.3684	0.0043	6.2978	0.071	0.124	0.0009	2022	24	2018	23	2015	13
52	125	307	0.58	0.361	0.0038	6.0597	0.0638	0.1218	0.0008	1987	21	1984	21	1982	12
53	97	230	0.57	0.3753	0.0048	6.5061	0.0713	0.1257	0.0009	2054	26	2047	22	2039	13
54	165	416	0.35	0.3723	0.0048	6.3174	0.0841	0.1231	0.0006	2040	26	2021	27	2001	9
55	72	190	0.37	0.3541	0.0041	5.8618	0.0555	0.1201	0.0008	1954	23	1956	19	1957	12

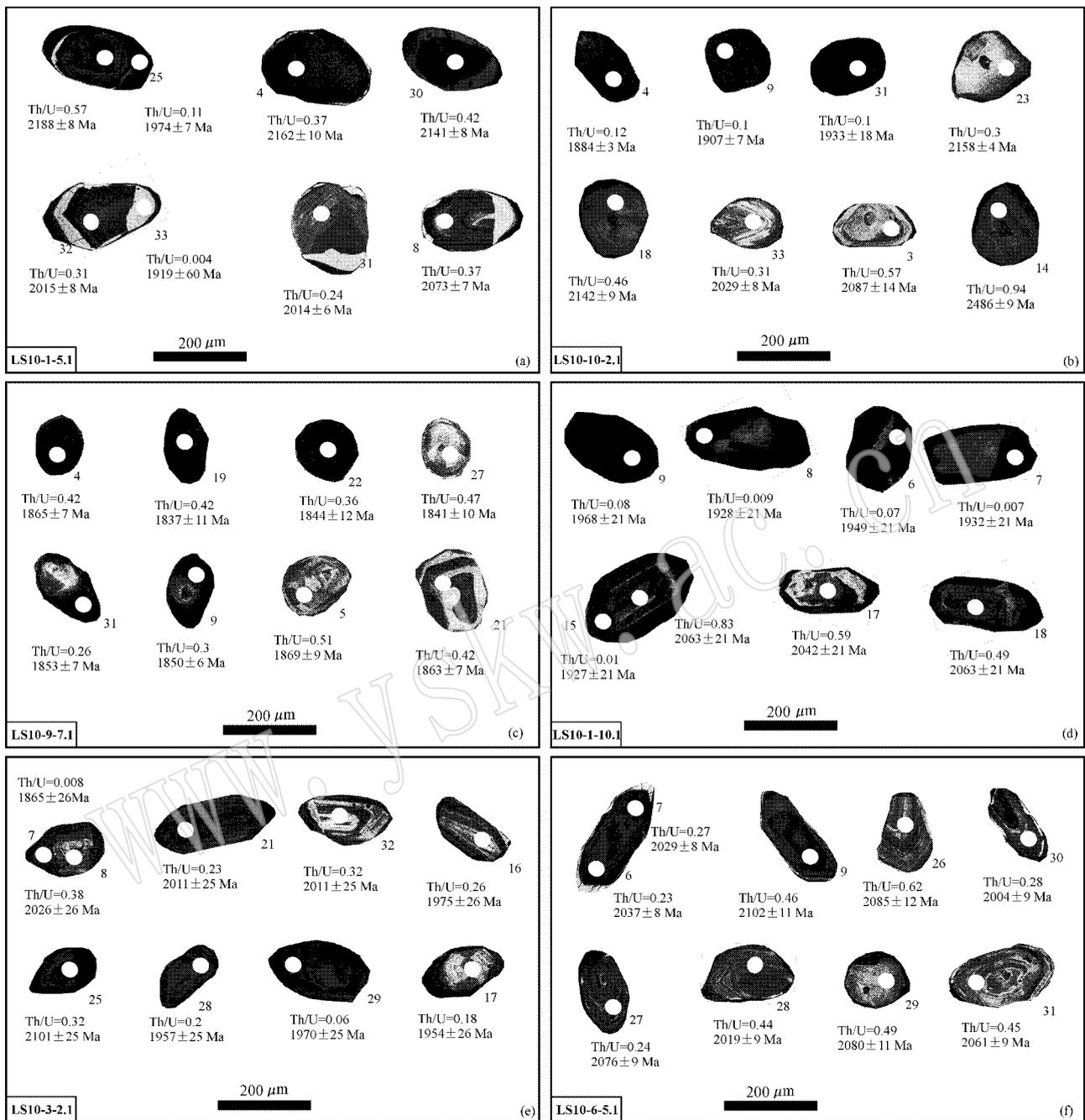


图 4 龙首山地区 6 个样品代表性锆石 CL 图像特征

Fig. 4 Representative zircon CL images of six samples in Longshoushan area

25 个谐和或近谐和数据点的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄介于  $2001 \pm 9 \sim 2073 \pm 7 \text{ Ma}$  之间, 加权平均值为  $2014 \pm 17 \text{ Ma}$  (MSWD = 0.13)。较大年龄群中, 13 个锆石 Th/U 比介于 0.26~0.76, 所拟合的不一致线的上交点年龄为  $2164 \pm 24 \text{ Ma}$  (MSWD = 0.77), 其中 8 个谐和数据点  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄介于  $2135 \pm 6 \sim 2172 \pm 9 \text{ Ma}$  之间, 加权平均值为  $2146 \pm 12 \text{ Ma}$  (MSWD

= 3.1)。

以上定年结果显示此变沉积岩样品的碎屑锆石年龄主要集中在  $2014 \pm 17 \text{ Ma}$  和  $2146 \pm 12 \text{ Ma}$ , 并遭受了 1.89 Ga 的变质事件。

### 3.2.2 LS10-10-2.1

混合岩化片麻岩中的锆石呈自形柱状、浑圆状、次圆状和他形不规则状, 长轴一般  $100 \sim 200 \mu\text{m}$ , 长

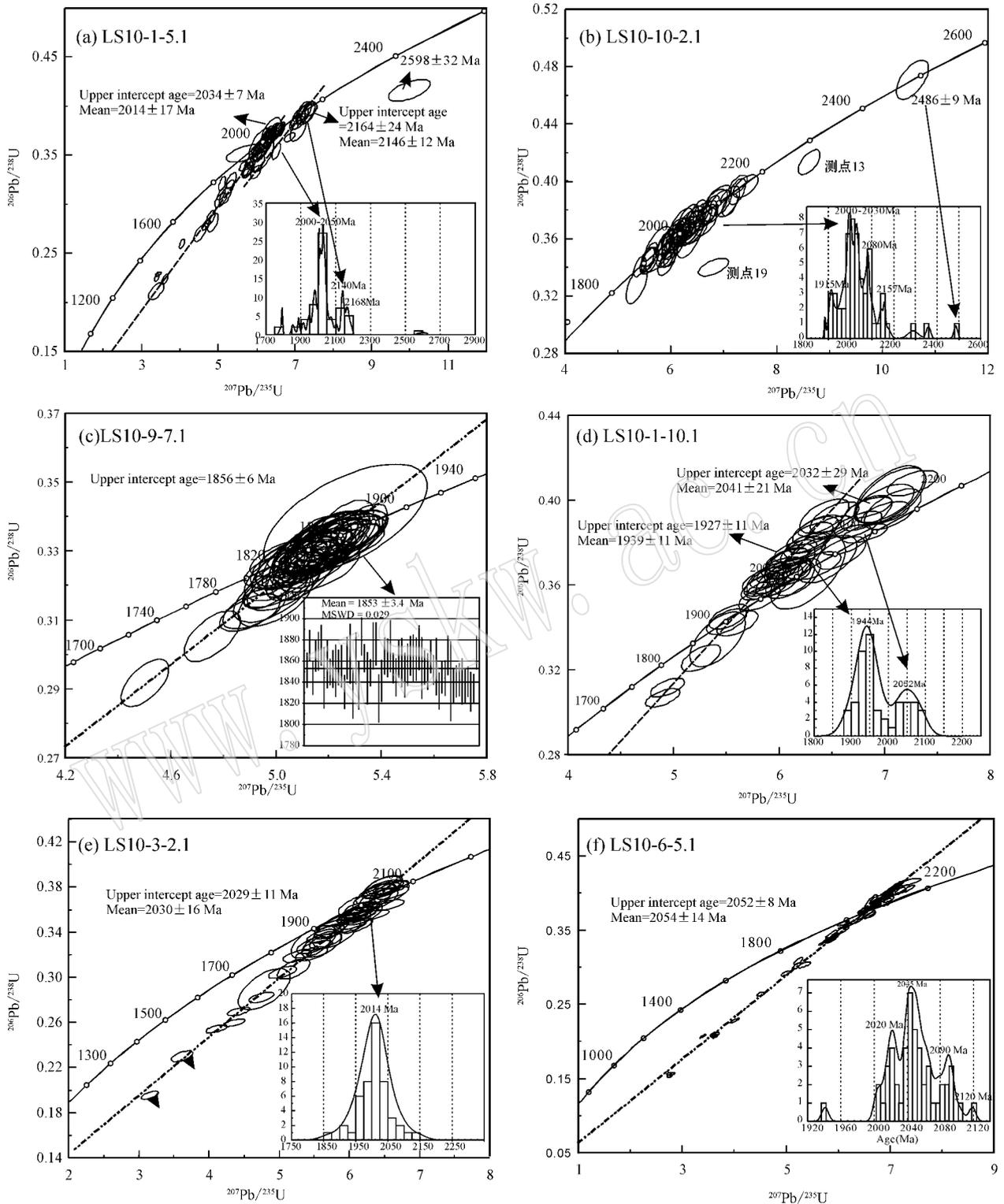


图 5 龙首山地区 6 个样品锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagrams of six samples in Longshoushan area

宽比 1:1~2:1, CL 图像显示锆石主要分为两类:一类锆石的核部具有典型振荡环带,为岩浆成因的核

(图 4b, 如测点 33) 边部较窄(1~50 μm) 显示出无环带、弱发光特征,为变质增生或重结晶形成的变质

边,第二类锆石无明显内部结构,弱发光(图4b,如测点4),可能为变质重结晶或新生锆石。

此样品共进行了55个数据点的测定(表1)。6个数据点来自第一类锆石的边部和第二类锆石(测点4、9、31、39、46、49),Th/U比值介于0.007~0.28。其中5个测点年龄谐和或近谐和, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄范围为 $1884 \pm 3 \sim 1921 \pm 12$  Ma,加权平均值为 $1895 \pm 17$  Ma(MSWD=7.1),为变质作用时代。

在具有岩浆锆石特征的核中,测点14获得谐和的年龄数据 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $2486 \pm 9$  Ma,代表了太古宙晚期—古元古代早期的岩浆事件。测点13( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $2289 \pm 24$  Ma)与测点19( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄 $2360 \pm 10$  Ma)明显偏离谐和线。其余46个来自锆石核部的数据显示出谐和或近谐和的特征,锆石Th/U比值介于0.3~1.4, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄范围在 $1932 \pm 12 \sim 2172 \pm 14$  Ma之间(图5b)。较大的年龄跨度可能与变质重结晶作用有关,较小的年龄值可能反映了岩浆锆石经历了部分变质重结晶作用的改造。因此,我们把 $\sim 2172 \pm 14$  Ma作为该样品原岩的岩浆结晶年龄。

### 3.2.3 LS10-9-7.1

斜长角闪岩中的锆石呈自形浑圆状、次圆状或短柱状,颗粒较小,一般 $100 \sim 150 \mu\text{m}$ ,长宽比为1:1~1.5:1。CL图像显示锆石缺乏明显内部结构,弱阴极发光(图4c)部分锆石内部显示出杉树状特征,为典型变质成因锆石。

60个锆石的U-Pb定年测试结果(表1)显示,全部锆石Th/U比介于0.15~0.6之间, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄范围为 $1825 \pm 11 \sim 1883 \pm 9$  Ma,除去偏离谐和线的两个数据,其余测点的锆石年龄拟合的不一致线的上交点年龄为 $1856 \pm 6$  Ma(MSWD=0.76),加权平均年龄为 $1853 \pm 3$  Ma(MSWD=0.029)。因此 $\sim 1.85$  Ga代表了龙首山发生区域变质事件的时代。

### 3.2.4 LS10-1-10.1

此片麻岩样品中的锆石晶形完好,多呈自形柱状,颗粒较大,长轴一般 $300 \sim 400 \mu\text{m}$ ,长宽比约为1.5:1~3:1。CL图像显示锆石主要分为两种类型:一类锆石缺乏内部结构,CL弱发光(图4d,如9号测点),可能为变质重结晶锆石;另一类锆石具有核边结构,核部显示强发光特征,具有不太明显的振荡环带,为继承岩浆锆石核,其边部呈无环带、弱发光特征(图4d,如14、15号测点),为变质增生或重结晶形

成的变质边。

50个锆石U-Pb定年测试结果(表1)显示,16个继承岩浆锆石核的数据点Th/U比介于0.2~0.83之间,其中谐和或近于谐和的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄范围主要为 $2004 \pm 22 \sim 2094 \pm 21$  Ma。从谐和图中可以发现,锆石年龄有反向不谐和的特点,部分落于谐和线上方,这可能是由于实验原因导致。全部16个年龄数据拟合的不一致线上交点年龄为 $2032 \pm 29$  Ma(MSWD=0.78),其中8个谐和或近谐和的年龄加权平均值为 $2041 \pm 21$  Ma(MSWD=1.3),代表了片麻岩原岩岩浆结晶年龄。

其余34个测点来自CL弱发光的第一类锆石和二类锆石的边部,Th/U比介于0.003~0.1之间。其中谐和或近谐和的锆石U-Pb年龄范围介于 $1898 \pm 21 \sim 1988 \pm 21$  Ma之间,大多锆石年龄显示反向不谐和的特点,可能是由于实验原因造成。全部34个变质年龄拟合的不一致线上交点年龄为 $1927 \pm 11$  Ma(MSWD=0.61),其中21个谐和或近谐和的年龄加权平均值为 $1939 \pm 11$  Ma(MSWD=1.2),解释为片麻岩经历的变质作用时代。

### 3.2.5 LS10-3-2.1

二云母石英片岩中的锆石呈自形柱状、次圆状和他形不规则状,长轴约 $150 \sim 300 \mu\text{m}$ ,长宽比介于1:1~3:1之间。CL图像显示大部分锆石具明显或不明显的振荡环带,部分锆石具有窄的、无环带、弱发光的边(图4e,如测点7、8)。

49个锆石的U-Pb定年测试结果显示在表1中。除测点7(Th/U=0.008)外,其余48个数据点的Th/U比值介于0.2~0.8之间,其中谐和或近谐和的锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄范围为 $1974 \pm 27 \sim 2091 \pm 26$  Ma。部分数据点明显不谐和,所有数据点拟合的不一致线上交点年龄为 $2029 \pm 11$  Ma(MSWD=1.6),其中28个谐和年龄的加权平均值为 $2030 \pm 16$  Ma(MSWD=2.1),两者在误差范围内一致, $2.03$  Ga代表变沉积岩源区岩石年龄。

### 3.2.6 LS10-6-5.1

云母石英片岩中的锆石呈自形柱状、次圆状和少量他形不规则状。长轴约 $150 \sim 400 \mu\text{m}$ ,长宽比介于1:1~4:1之间。CL图像显示大部分锆石具有明显或不太明显的振荡环带(图4f),部分锆石具有窄的、弱发光的边( $1 \sim 50 \mu\text{m}$ )。

50个锆石的U-Pb定年测试结果显示在表1中。所有碎屑锆石Th/U比介于0.2~0.9之间,在

年龄谐和图上(图 5f),部分数据显示反向不谐和的特点,可能与实验测定有关。全部数据点拟合的不一致线上交点年龄为  $2\ 052 \pm 8$  Ma (MSWD=7.6),其中 16 个谐和或近谐和的年龄数据范围为  $2\ 004 \pm 9 \sim 2\ 094 \pm 9$  Ma,加权平均值为  $2\ 054 \pm 14$  Ma (MSWD=9.8),与上交点年龄在误差范围内一致,因此 2.05 Ga 的年龄应代表此变沉积岩源区岩石年龄。

## 4 讨论

### 4.1 龙首山岩群形成时代及墩子沟群底部变沉积岩物源区

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年获得的年龄结果显示,龙首山岩群下部岩段花岗质片麻岩(LS10-1-10.1)中的岩浆锆石结晶年龄为  $2\ 041 \pm 21$  Ma,混合岩化花岗片麻岩(LS10-10-2.1)原岩岩浆锆石结晶年龄为  $\sim 2\ 172 \pm 14$  Ma。由于遭受变质变形作用的强烈改造,这些花岗质岩石与变沉积岩的关系已不清楚,推测其与变沉积岩原为侵入接触关系。假如如此,龙首山岩群的下部岩石可能形成于古元古代中期以前。龙首山岩群最上部岩段云母石英片岩(LS10-1-5.1)的碎屑锆石年龄主要集中在  $2\ 014 \pm 17$  Ma 和  $2\ 146 \pm 12$  Ma,并遭受了  $\sim 1.89$  Ga 的变质事件,其原岩的沉积年龄应在 2.01 Ga 和 1.89 Ga 之间,为古元古代中晚期。

在龙首山岩群中,除了花岗质片麻岩的极少量继承性锆石和变沉积岩的碎屑锆石外,没有可靠的太古宙或者晚于古元古代的年龄数据。因此龙首山岩群应形成于古元古代。

修群业等(2002,2004)获得龙首山岩群中花岗质片麻岩锆石 U-Pb 年龄为  $1\ 914 \pm 9$  Ma,奥长花岗岩年龄为  $2\ 015 \pm 16$  Ma,斜长角闪岩单颗粒锆石年龄  $2\ 034 \pm 16$  Ma 与本文数据较为类似,也相互印证了龙首山岩群形成于古元古代;董国安等(2007)采集的龙首山岩群两个样品位于龙首山北部合黎山和高台地区,与本次采集的样品不具有对比性,而另一个在金昌附近采集的二云母片岩年龄数据大多不谐和,不能真实地限定龙首山岩群上部变沉积岩沉积上限。

上覆于龙首山岩群的墩子沟群上部灰岩中曾报道有 Conophyton 叠层石(甘肃省地矿局,1989),并由此限定墩子沟群为中元古代(蓟县系)。本次工作

采自墩子沟底部与龙首山岩群不整合接触带的变沉积岩(LS10-3-2.1 和 LS10-6-5.1)中碎屑锆石年龄分别为  $2\ 030 \pm 16$  Ma 和  $2\ 054 \pm 14$  Ma,反映其碎屑锆石来源单一,即主要来源于侵入到龙首山岩群中的古元古代花岗质岩石。但所测定结果不能很好限定墩子沟群的地层时代。

### 4.2 龙首山岩群的变质事件时代

在龙首山岩群的花岗质片麻岩和变沉积岩中,普遍有变质新生或者变质重结晶锆石形成。混合岩化花岗片麻岩(LS10-10-2.1)中变质重结晶锆石的年龄介于  $1\ 884 \pm 3 \sim 1\ 921 \pm 12$  Ma 之间,加权平均值为  $1\ 895 \pm 17$  Ma (MSWD=7.1);花岗质片麻岩(LS10-1-10.1)获得的变质重结晶边的年龄为  $1\ 898 \pm 21 \sim 1\ 988 \pm 21$  Ma,但大多数数据反向不谐和,不一致线上交点年龄为  $1\ 927 \pm 11$  Ma (MSWD=0.61);云母石英片岩(LS10-1-5.1)中锆石变质边年龄介于  $1\ 887 \pm 4 \sim 1\ 974 \pm 7$  Ma 之间,但仅 1 个数据近谐和,其  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为  $1\ 887 \pm 4$  Ma,龙首山岩群下部岩段的斜长角闪岩(LS10-9-7.1)中获得的变质锆石年龄为  $1\ 856 \pm 6$  Ma,与陆松年等(2002)在斜长角闪岩获得的锆石 U-Pb 年龄数据中的谐和年龄  $1\ 864 \pm 12$  Ma 误差范围内一致,揭示龙首山在  $\sim 1.85$  Ga 期间经历了角闪岩相区域变质事件。

以上数据显示龙首山岩群广泛经历 1.85~1.93 Ga 期间的变质事件,这期变质事件几乎被记录在所有的龙首山岩群中不同类型的岩石中。以斜长角闪岩获得的  $\sim 1.85$  Ga 代表的区域变质事件,可能代表了龙首山古老结晶基底的最终形成时间。

### 4.3 龙首山岩群起源与归属

作为阿拉善地块变质基底的重要组成,龙首山岩群的起源和归属对约束阿拉善地块的演化历史及其归属非常关键。本文获得的年龄结果显示龙首山岩群是阿拉善地块古元古代变质基底,并遭受了 1.85~1.93 Ga 后期变质事件。

从近年发表的文献看,龙首山岩群的年龄特征与华北板块西北部近东西向分布的古元古代孔兹岩系类似。该孔兹岩带近年来被认为是华北克拉通西部陆块北部的阴山地块与南部的鄂尔多斯地块于 1.9~2.0 Ga 汇聚形成的麻粒岩相变质带(Zhao *et al.*, 2005),具造山带性质。它主要分布在鄂尔多斯盆地北缘,从东边的集宁杂岩开始,向西延伸陆续分布有大青山、乌拉山、千里山和贺兰山杂岩等,但其西延的边界一直不太明确。

万渝生等(2000)认为,华北克拉通及邻区大多数孔兹岩系都为古元古代(2.1~2.3 Ga)甚至更晚时期的地质产物。近年来,许多学者对孔兹岩系进行了系统研究,集宁杂岩片麻岩中200多个碎屑锆石年龄范围介于1.84~2.1 Ga,认为集宁杂岩沉积物来自古元古代岩石,不是过去认为的太古宙(Xia *et al.*, 2006a),沉积年龄小于1.84 Ga;乌拉山岩群中片麻岩获得的碎屑锆石年龄范围介于1.84~2.32 Ga,也证明其物源来自古元古代岩石(Xia *et al.*, 2006b);千里山杂岩中碎屑锆石获得的近谐和年龄为2.0~2.3 Ga,其沉积年龄小于2.0 Ga,变质锆石获得的变质年龄为~1.95 Ga和~1.92 Ga(Yin *et al.*, 2009),解释为阴山陆块与鄂尔多斯陆块碰撞时间和后造山阶段遭受的变质作用时间;贺兰山杂岩碎屑锆石获得2.53~2.85 Ga和2.0~2.2 Ga两组年龄,具有太古宙年龄的碎屑锆石,暗示沉积物源区有太古宙岩石,明显不同于其他孔兹岩系。变质锆石也获得两组年龄为~1.95 Ga和~1.87 Ga(Yin *et al.*, 2011),~1.95 Ga也被解释为阴山陆块与鄂尔多斯陆块碰撞时间。

从碎屑锆石的年龄分布及变质事件的年龄来看,龙首山岩群及相关岩石与华北陆块西部的孔兹岩系总体上具有相似性。如果这种假设成立,孔兹岩带似乎可以向西延伸到龙首山地区,与前人推测的从贺兰山向南延伸明显不同,但仍需要进一步工作来加以验证。值得注意的是,龙首山岩群的变质程度为角闪岩相,明显低于达麻粒岩相的孔兹岩系。

另外,龙首山岩群中斜长角闪岩获得的变质年龄~1.85 Ga,反映龙首山经历了角闪岩相区域变质作用。这一变质事件年龄与广泛记录在华北板块内部的吕梁造山运动发生的时间一致(Zhai *et al.*, 2003; Wan *et al.*, 2006),同时也是众多学者认为的华北克拉通东、西陆块碰撞的时间(Zhao *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2010, 2011)。这从另一侧面说明龙首山岩群与华北克拉通具有亲缘性。

因此,无论龙首山岩群是华北西部陆块孔兹岩系的西延,还是通过与华北陆块其他构造事件的对比认为它是阿拉善地块的南部边缘,在古元古代的早前寒武纪,它似乎应该是华北克拉通的组成部分。然而,争议主要源自于阿拉善地块(包括龙首山地区)分布有与扬子板块、塔里木板块类似的新元古代(震旦系)地层组合(冰碛岩层+硅质白云岩+含磷层,如:龙首山地区韩母山群中典型冰碛岩和含磷层

(葛肖虹等,1999)和新元古代岩浆事件,如:金川超基性岩 $827 \pm 8$  Ma的结晶年龄(李献华等,2005);阿拉善右旗可克托勒条带状花岗片麻岩845 Ma、毕极格台花岗闪长质片麻岩971 Ma等(耿元生等,2002)及许多最新的新元古代岩浆岩年龄(耿元生等,2010)等。这些新元古代地质事件是华北克拉通的主体所缺乏的。这是否意味着在新元古代,作为华北克拉通一部分的阿拉善地块更接近于扬子及塔里木克拉通,与后者一起遭受与罗迪尼亚超大陆汇聚和裂解的构造热事件?这需要进一步研究来明确。目前发现的阿拉善地块新元古代岩浆事件主要分布在阿拉善地块西部边缘和北部靠近中亚造山带地区,是否表明阿拉善地块边缘卷入了新元古代构造热事件?这也需要进一步工作来回答。

## References

- Bai Jin, Huang Xueguang and Wang Huichu. 1993. Evolution of Chinese Precambrian Crust [M]. Beijing: Geological Publishing House, 259 (in Chinese with English abstract).
- Black L P, Kamo S L, Allen C M, *et al.* 2003. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology [J]. *Chem. Geol.*, 200: 155~170.
- Dong Guo'an, Yang Hongyi, Liu Dunyi, *et al.* 2007. Dritrial zircon SHRIMP U-Pb chronology of Longshoushan Group and geological significance [J]. *Bulletin of Science*, 52(6): 688~697 (in Chinese).
- 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).
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe and Shen Qihan. 2002. The discovery of Neoproterozoic Jiningian deformed granites in Alax 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 Alax 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 Alax, Inner Mongolia [J]. *Geology in China*, 34(2): 251~261 (in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng and Zhou Xiwen. 2010. Early Neoproterozoic granite events and their geological significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 779~795 (in Chinese with English abstract).
- Gong Baojun. 1986. Proterozoic in Gansu [A]. *Precambrian Geology*

- [ C ]. Beijing : Geological Publishing House , 205 ~ 218 ( in Chinese ).
- Li Junjian , Shen Baofeng and Li Huimin . 2004 . Single-zircon U-Pb age of granodioritic gneiss in the Bayan UI area , Western Inner Mongolia [ J ]. Geological Bulletin of China , 23 ( 12 ) : 1 243 ~ 1 245 ( in Chinese with English abstract ).
- Li Xianhua , Su Li and Song Biao . 2005 . SHRIMP U-Pb zircon age of the Jinchuan ultramafic intrusion and its geological significance [ J ]. Chinese Science Bulletin , 49 ( 4 ) : 420 ~ 422 .
- Liu Chaohui , Zhao Guochun , Sun Ming , *et al.* 2010 . U-Pb and Hf isotopic study of detrital zircons from the Hutuo group in the Trans-North China Orogen and tectonic implications [ J ]. Gondwana Research . doi : 10. 1016/j. gr. 2010. 11. 016 .
- Liu Chaohui , Zhao Guochun , Sun Min , *et al.* 2011 . U-Pb and Hf isotopic study of detrital zircons from the Yejiashan Group of the Lüliang Complex : Constraints on the timing of collision between the Eastern and Western Blocks , North China Craton [ J ]. Sedimentary Geology , 236 : 129 ~ 140 .
- 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 ).
- Ludwig K R . 1999 . Using Isoplot/EX , version 2 , A geochronological Toolkit for Microsoft Excel [ A ]. Berkeley Geochronological Center Special Publication [ C ]. 1a , 47 .
- Lu Songnian , Yu Haifeng and Jin Wei . 2002 . Microcontinents on the eastern margin of Tarim paleocontinent [ J ]. Acta Petrologica et Mineralogica , 21 ( 4 ) : 317 ~ 326 ( in Chinese with English abstract ).
- Pan Yangyang . 1986 . Archaean greenstone belt on the Alashan block [ J ]. Scientia Geologica Sinica , 2 : 200 ( in Chinese ).
- Ren Jishun , Jiang Chunfa and Zhang Zhengkun . 1980 . Tectonics and Tectonic Evolution of China [ M ]. Beijing : Science Press , 35 ~ 52 ( in Chinese ).
- Shen Qihan , Geng Yuansheng and Wang Xinshe . 2005 . Petrology , geochemistry , formation environment and ages of Precambrian amphibolites in Alxa region [ J ]. Acta Petrologica et Mineralogica , 24 ( 1 ) : 21 ~ 31 ( 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 ).
- Tang Zhongli and Bai Yunlai . 1999 . Geotectonic Framework and metallogenic system in the southwest margin of north china paleocontinent [ J ]. Earth Science Frontiers , 6 ( 2 ) : 271 ~ 283 ( in Chinese with English abstract ).
- Tang Zhongli and Bai Yunlai . 2000 . The Geotectonic setting of the large and superlarge mineral deposits in the southwest margin of north China paleoplatform [ J ]. Acta Geologica Gansu , 9 ( 1 ) : 1 ~ 15 ( in Chinese with English abstract ).
- Wan Yusheng , Geng Yuansheng and Liu Fulai . 2000 . Age and composition of the Khondalite series of the North China Craton and its adjacent area [ J ]. Progress in Precambrian Research , 23 ( 4 ) : 221 ~ 237 ( in Chinese with English abstract ).
- Wan Yusheng , Wilde Simon A and Liu Dunyi . 2006 . Further evidence for ~ 1.85 Ga metamorphism in the Central Zone of the North China Craton : SHRIMP U-Pb dating of zircon from metamorphic rocks in the Lushan area , Henan Province [ J ]. Gondwana Research , 9 : 189 ~ 197 .
- 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 Huichu and Lu Songnian . 2005 . The Paleoproterozoic geological records in North China Craton and their tectonic significance [ J ]. Geological Survey and Research , 28 ( 3 ) : 129 ~ 143 ( in Chinese with English abstract ).
- Wang Yunshan and Chen Jiniang . 1987 . Metamorphic Terrain and Metamorphism in Qinghai and Adjacent Areas [ M ]. Geological Publishing House , 226 ~ 227 ( in Chinese ).
- Whitney D L and Evans B W . 2010 . Abbreviations for names of rock-forming minerals [ J ]. American Mineralogist , 95 : 185 ~ 187 .
- Xia X P , Sun Min , Zhao Guochun , *et al.* 2006a . LA-ICP-MS U-Pb geochronology of detrital zircons from the Jining Complex , North China Craton and its tectonic significance [ J ]. Precambrian Research , 144 : 199 ~ 212 .
- Xia X P , Sun Min , Zhao Guochun , *et al.* 2006b . U-Pb and Hf isotopic study of detrital zircons from the Wulashan khondalites : Constraints on the evolution of the Ordos Terrane , Western Block of the North China Craton [ J ]. Earth and Planetary Science Letters , 241 : 581 ~ 593 .
- Xiu Qunye , Lu Songnian and Yu Haifeng . 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 and Li Quan . 2004 . Discussion on the petrogenetic time of Longshoushan Group , Gansu Province [ J ]. Acta Geologica Sinica , 78 ( 3 ) : 366 ~ 373 ( in Chinese with English abstract ).
- Xu Andong and Jiang Xiudao . 2003 . Characteristics and geological significance of the Dunzigou group of the mesoproterozoic in the western edge of the north China platform [ J ]. Journal of Chang ' an University ( Earth Science Edition ) , 25 ( 4 ) : 27 ~ 31 ( in Chinese with English abstract ).
- Yang Zhende , Pan Xingshi and Yang Yifu . 1988 . The Geological Structures and Mineral Resources in the Alashan Block and Adjacent Areas [ M ]. Beijing : Science Press , 208 ~ 209 ( in Chinese ).
- Yin Changqing , Zhao Guochun , Sun Min , *et al.* 2009 . LA-ICP-MS U-Pb zircon ages of the Qianlishan Complex : Constrains on the evolution of the Khondalite Belt in the Western Block of the North China Craton [ J ]. Precambrian Research , 174 : 79 ~ 94 .
- 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 .
- Zhai Mingguo and Liu Wenjun . 2003 . Palaeoproterozoic tectonic history

- of the North China craton: a review[J]. *Precambrian Research*, 122:183~199.
- Zhang Xinhui, Liu Jianhong and Xu Jiale. 2005. Second study on plate tectonics in Gansu Province[J]. *Acta Geologica Gansu*, 14(2):1~10 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Guochun, Sun Min, Wilde S A, et al. 2005. Late Archaean to Palaeoproterozoic evolution of the North China Craton: key issues revisited[J]. *Precambrian Research*, 136:177~202.
- Zhou Hongying, Mo Xuanxue and Li Junjian. 2007. The U-Pb isotopic dating age of single zircon from biotite plagioclase gneiss in the Qinggele area, Alashan, western Inner Mongolia[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 26(3):221~223 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 白瑾, 黄学光, 王惠初. 1993. 中国前寒武纪地壳演化[M]. 北京: 地质出版社, 259.
- 董国安, 杨宏仪, 刘敦一, 等. 2007. 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.
- 甘肃省地质矿产局. 1989. 甘肃省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 10~12.
- 甘肃省地质矿产局. 1997. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 62~64.
- 葛尚虹, 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.
- 葛尚虹, 刘俊来. 2000. 被肢解的“西域克拉通”[J]. *地学前缘*, 16(1):59~66.
- 耿元生, 王新社, 沈其韩. 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):251~260.
- 耿元生, 周喜文. 2010. 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.
- 宫保军. 1986. 甘肃的元古界[A]. 前寒武纪地质[C]. 第3号, 北京: 地质出版社, 205~218.
- 李俊建, 沈保丰, 李惠民. 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.
- 李文渊. 1991. 龙首山地区的震旦系[J]. *西北地质*, 12(2):1~5.
- 李献华, 苏犁, 宋彪. 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*, 27~28:1~13.
- 陆松年, 于海峰, 金巍. 2002. 塔里木古大陆东缘的微小大陆块体群[J]. *岩石矿物学杂志*, 21(4):317~326.
- 潘杨杨. 1986. 阿拉善断块的太古代绿岩带[J]. *地质科学*, (2):200.
- 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 1980. 中国大地构造及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1~124.
- 沈其韩, 耿元生, 王新社. 2005. 阿拉善地区前寒武纪斜长角闪岩的岩石学、地球化学、形成环境和年代学[J]. *岩石矿物学杂志*, 24(1):21~31.
- 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.
- 汤中立, 白云来. 1999. 华北古大陆西南边缘构造格架与成矿系统[J]. *地学前缘*, 6(2):271~283.
- 汤中立, 白云来. 2000. 华北板块西南边缘构大型、超大型矿床的地质构造背景[J]. *甘肃地质学报*, 9(1):1~15.
- 万渝生, 耿元生, 刘福来, 等. 2000. 华北克拉通及邻区孔兹岩系的时代及对太古宙基底组成的制约[J]. *前寒武纪研究进展*, 23(4):221~237.
- 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.
- 王惠初, 陆松年. 2005. 华北克拉通元古代地质记录及其构造意义[J]. *地质调查与研究*, 28(3):129~143.
- 王云山, 陈基娘. 1987. 青海省及其毗邻地区变质地质及变质作用[M]. 北京: 地质出版社, 226~227.
- 修群业, 陆松年, 于海峰. 2002. 龙首山岩群主体划归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. 2004. 龙首山岩群成岩时代探讨[J]. *地质学报*, 78(3):366~373.
- 许安东, 姜修道. 2003. 华北地台西缘中元古界蓟县系墩子沟群特征及其地质意义[J]. *长安大学学报(地球科学版)*, 25(4):27~31.
- 杨振德, 潘行适, 杨易福. 1988. 阿拉善断块及邻区地质构造特征与矿产[M]. 北京: 科学出版社, 1~254.
- 翟明国, 卞爱国. 2000. 华北克拉通新太古代末超大陆拼合及元古代末-中元古代裂解[J]. *中国科学 D 辑*, 30(增刊):129~137.
- 张新虎. 1992. 龙首山古裂谷带的基本特征及其演化历史[J]. *西北地质*, 13(1):6~13.
- 张新虎, 刘建宏, 徐家乐. 2005. 再论甘肃省的板块构造[J]. *甘肃地质学报*, 14(2):1~10.
- 周红英, 莫宣学, 李俊健. 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.