

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.01.004

华北中部狐偃山杂岩体形成时代研究 ——来自榍石 U-Pb 同位素年代学的证据

何佳佳¹, 张乔^{2,3,*}, 靳梦琪^{2,3}, 周俊林^{2,3}, 李玉宏^{2,3}, 陈高潮^{2,3}

(1. 西安城市发展(集团)有限公司, 陕西 西安 710004; 2. 自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 3. 西北地质调查科技创新中心, 陕西 西安 710054)

摘要:近年随着定年技术的发展, 榍石 LA-ICP-MS U-Pb 定年法逐渐被学者采用, 用来揭示某些特殊岩石类型的形成时代, 如碱性岩。华北中部狐偃山碱性杂岩体由多个侵入体组成, 岩性主要为二长岩类, 岩石中发育大量继承锆石, 结晶锆石相对较少, 但包含大量岩浆榍石。本次研究即利用榍石 LA-ICP-MS U-Pb 定年法, 对研究相对薄弱的矿泉、狼窝沟 2 个二长岩体中榍石进行了年代学分析。结果表明这 2 个二长岩体分别侵位于 129 Ma 和 130 Ma。作为对比, 同时对相同 2 个样品进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年, 2 种方法得到的结果在误差范围内一致。结合前人研究资料, 狐偃山杂岩体主体二长岩类侵位于早白垩世早期(127~131 Ma), 早白垩世晚期(111~114 Ma)有少量正长岩形成, 从而构成了狐偃山杂岩体。

关键词:二长岩; LA-ICP-MS; 榍石; 狐偃山; 华北中部

中图分类号: P581

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2022)01-0050-14

Chronology Framework of Huyanshan Complex in Central North China Craton: Evidence from U-Pb Dating of Titanite

HE Jiajia¹, ZHANG Qiao^{2,3,*}, JIN Mengqi^{2,3}, ZHOU Junlin^{2,3}, LI Yuhong^{2,3}, CHEN Gaochao^{2,3}

(1. Xi'an Urban Development (Group) Co., Ltd., Xi'an 710004, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MNR, Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Northwest Geological Survey Science and Technology Innovation Center, Xi'an, 710054, Shaanxi, China)

Abstract: With the development of dating technique, LA-ICP-MS U-Pb dating of titanite has been applied to some special rock types such as alkaline rocks. The Huyanshan alkaline complex was composed of several plutons; the major lithology was monzonite with abundant inherited zircons and magmatic titanites, and little crystallized zircons. This study analyzed chronologically the two monzonites of Kuangquan and Langwogou based on the LA-ICP-MS U-Pb dating of titanite. Results show that the two were emplaced at 129~130Ma. Meanwhile zircon LA-ICP-MS U-

收稿日期: 2021-03-11; 修回日期: 2021-06-20; 网络发表日期: 2021-12-06; 责任编辑: 李辉

基金项目: 陕西省科技计划项目“基于 U-Th-Pb 同位素年代学方法计算华山岩体中氦气资源量”(2021JQ-327), 中国地质调查局地质调查项目“关中地区氦气资源调查”(DD20190103), 陕西省创新人才推进计划“造山带地层层序恢复: 以甘蒙北山造山带南部的石炭—二叠系为例”(2021KJXX-74)。

作者简介: 何佳佳(1987-), 女, 甘肃庆阳人, 汉族, 工程师, 研究方向为地质学。E-mail: hejia04@163.com。

* 通讯作者: 张乔(1992-), 男, 湖北荆州人, 汉族, 工程师, 研究方向为花岗岩岩石学、岩石成因。E-mail: hotrock2012zq@163.com。

Pb dating was conducted on the same two samples as a contrast. The two dating techniques are consistent within the error range. According to previous studies, Monzonites of the main part of Huyanshan complex were emplaced in the early Early Cretaceous (127~131 Ma), while small amount of syenites were formed in the late Early Cretaceous (111~114 Ma), eventually forming the Huyanshan complex.

Keywords: monzonite; LA-ICP-MS; titanite; Huyanshan; central North China

华北克拉通在晚中生代遭受破坏,伴随的岩浆活动集中分布于华北东部(Guo et al., 2001, 2003; Zhang et al., 2002; Wu et al., 2005; Xu et al., 2008)。而近年来越来越多的研究表明,华北克拉通中部也发育有同时期的岩浆事件(Chen et al., 2004; Wang et al., 2006; Ying et al., 2007; 许文良等, 2009)。华北克拉通中部从北往南出露有一系列晚中生代碱性杂岩,主要分布在紫金山、狐偃山、塔尔山—二峰山。针对这些杂岩体的年代学研究有利于展示华北克拉通中部晚中生代岩浆事件的时代格架。

前人对狐偃山杂岩体已经进行过大量岩石学、年代学及地球化学等方面的研究。杂岩体主要由二长岩类组成,对其最新的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究显示,其侵位于早白垩世(127~130 Ma)(Ying et al., 2011; 常泽光等, 2017; 霍腾飞等, 2016)。但前人年代学研究区域局限于孤山地区,对杂岩体其他二长质侵入体缺乏精确的年代学约束,限制了对杂岩体年代学的定年。同时,在前人定年数据中出现大量继承或捕获锆石,岩浆锆石相对较少(霍腾飞等, 2016; 常泽光等, 2017)。因此,笔者对研究薄弱的狐偃山杂岩体 2 个二长岩体进行锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年,并与锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法对比研究,结合已有的研究资料,精确限定狐偃山地区二长岩的年龄,确定狐偃山碱性杂岩体的形成时代。

1 区域地质背景和岩体地质

晚中生代以来,华北克拉通遭到破坏,伴随有沉积盆地、巨量岩浆作用的发育,这些岩浆作用主要分布在大兴安岭—太行山重力梯度带以东的东部陆块上(Griffin et al., 1998),以大量中酸性侵入体和广泛的中酸性火山作用为特征,还包括少量基性岩浆岩(Guo et al., 2001; Wu et al., 2005; Xu et al.,

2008; Ma et al., 2021)。相比华北克拉通东部,华北克拉通中部晚中生代岩浆活动较弱,主要分布在紫金山、狐偃山、塔尔山—二峰山三大碱性杂岩带(图 1a)。其中狐偃山碱性杂岩体分布在太原以西 50 km,出露面积约 200 km²,杂岩体主要侵入到中奥陶系灰岩中(图 1b)。杂岩体岩性多样,呈多次侵入,根据侵入接触关系,杂岩体从早到晚可以划分为 3 期:①二长岩、似斑状二长岩。②霓辉二长岩、霓辉正长岩、石英正长岩。③正长岩、正长斑岩(图 1b)。前人通过锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法获得狐偃山杂岩体中孤山地区二长岩的年龄为 127~130 Ma;科头和龙庄沟正长岩形成于 111~114 Ma(霍腾飞等, 2016; 常泽光等, 2017; 张乔等, 2020),表明杂岩体的侵位时间可能为早白垩世。

笔者在狐偃山地区进行了二长质岩体的野外地质调查,并结合前人调查结果,发现二长质岩体露头主要分布在南部的矿泉、孤山、古洞道一带,而在北部的东、西高塔茆—松塔茆岩体虽呈规模大的岩株,但植被覆盖严重,目前所见露头很少。本次采样的位置分布在矿泉、狼窝沟 2 个侵入体上。矿泉和狼窝沟岩体均分布在矿泉村东侧。矿泉岩体岩性为二长岩,具有斑状或似斑状结构,斑晶成分为钾长石和斜长石;基质由斜长石和少量石英组成。狼窝沟岩体岩性为石英二长岩,具有斑状结构,斑晶成分为钾长石和斜长石、石英;基质由斜长石和少量石英组成。2 个岩石样品副矿物中均含有大量榍石,形态呈菱形(图 2)。

2 采样与分析方法

本次研究共采集 2 件岩石样品,具体位置见图 1b。对矿泉、狼窝沟 2 个岩体的二长岩样品(18KQ-1, 18LWG-1)进行了锆石 U-Pb 年代学研究,为对比榍石定年结果的准确性,对这 2 个样品也进行了锆石 U-Pb 定年。

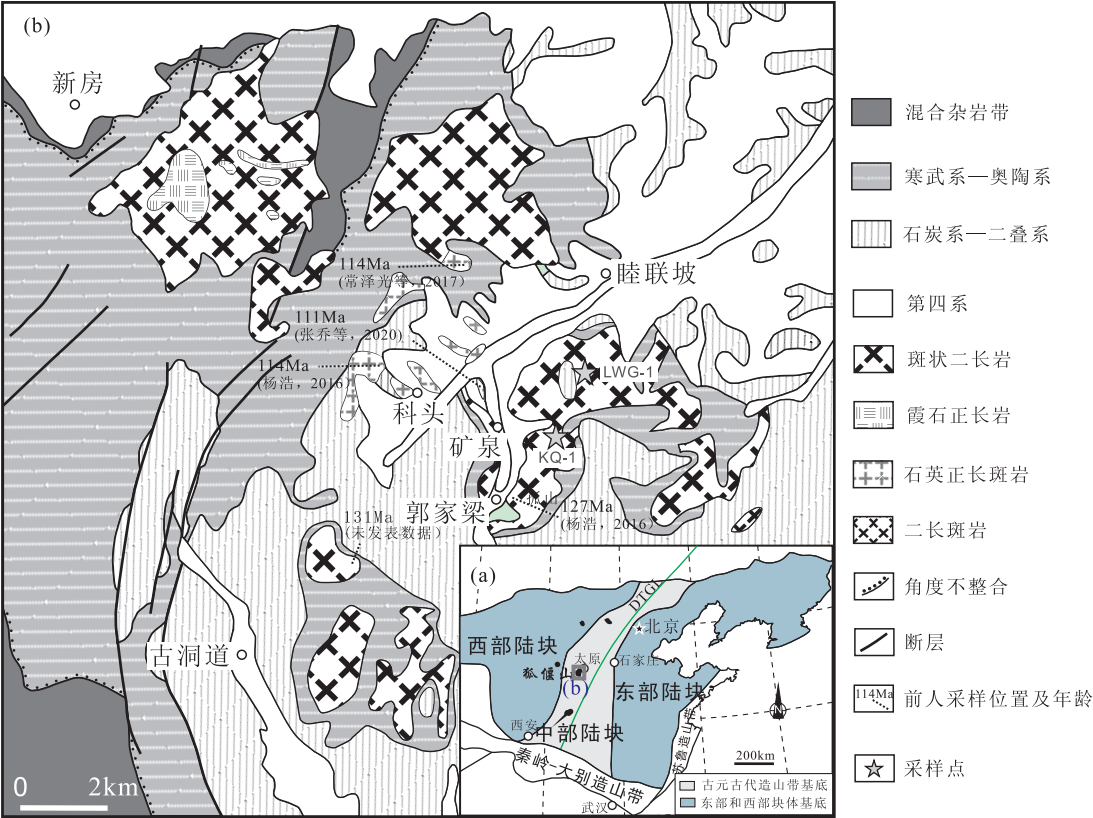


图 1 (a)华北板块构造分区图(据 Zhao et al. ,2005 修改,DTGL 代表大兴安岭-太行重力梯度带)、(b)狐
偃山杂岩体地质简图

Fig. 1 (a)Tectonic subdivision map of the North China Block (modified after Zhao et al. ,2005; DTGL
represents Daxing'anling-Taihang gravity lineament)and(b)Simplified geological map of Huyanshan complex

榍石是普遍发育于各类火成岩中的一种副矿物。因榍石具有较高的 U 含量($10 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6}$)和相对较高的封闭温度($650 \sim 700^{\circ}\text{C}$),使其成为一种理想的 U-Pb 同位素定年的副矿物(Frost et al. ,2000; Storey et al. ,2006)。相比于应用更广泛的锆石 U-Pb 年代学,在火成岩研究中,榍石定年的优势在于:①继承或捕获的榍石较少出现于火成岩中(Corfu et al. ,1996),避免了客观因素对实验结果的影响,更加直观体现岩浆的形成时代。②在某些火成岩中不发育锆石或发育少量结晶锆石,如碱性岩(Ji et al. ,2016),但含有大量榍石,榍石 U-Pb 定年结果更具可靠性和说服力。近年来,随着分析技术的不断发展,LA-ICP-MS 法逐渐成为优先选择的测试方法。相比于锆石,榍石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学方法未能普及,主要原因在于榍石中含有较高的普通 Pb 含量,而且该方法缺乏榍石标准物质,分析的基体不同,会产生基体效应

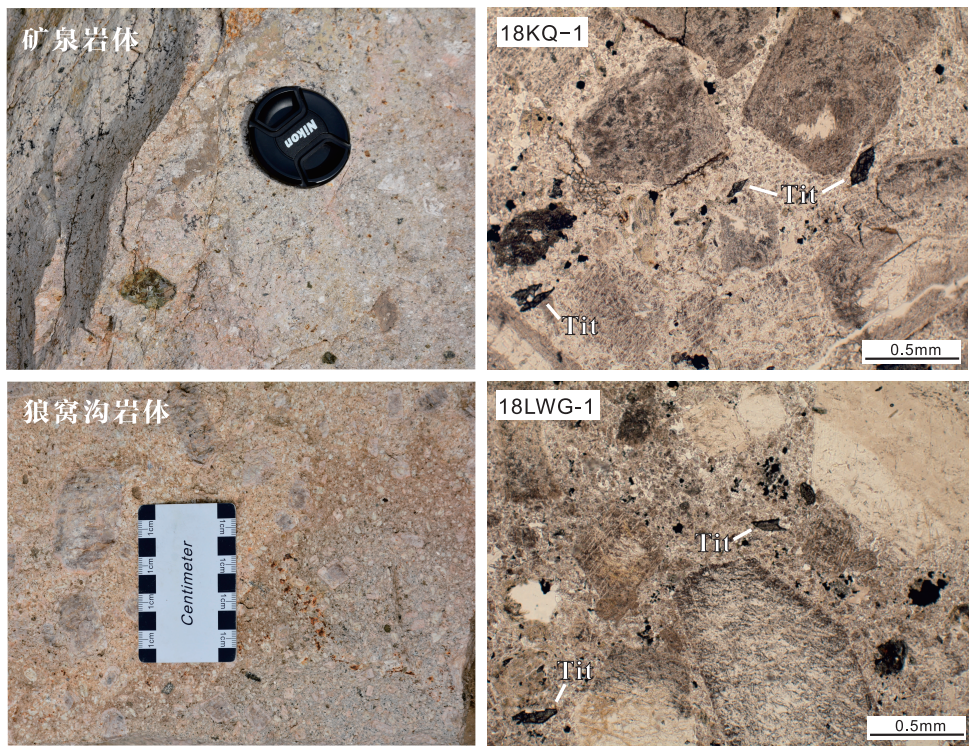
(Sun et al. ,2012)。袁继海等(2016)利用基体匹配的榍石标准物质 BLR-1 和非基体匹配的锆石 U-Pb 定年标准(91500、GJ-1)对榍石校准物质 OLT1 和 TCR 进行 LA-ICP-MS 榍石 U-Pb 定年,校正后结果显示,基体匹配的榍石标准物质作为标样时测得的 OLT1 和 TCR 榍石年龄与校准年龄在误差范围内,而非基体匹配的锆石 U-Pb 定年标准(91500、GJ-1)下测得的年龄有 10% 的偏低。该研究表明,以榍石 U-Pb 定年标准物质 BCR-1 为外标时,LA-ICP-MS 榍石定年可以满足微区 U-Pb 定年的需要。

岩石样品经过破碎、浮选、电磁选后,再淘洗、提纯出单颗粒锆石。手工挑选出晶形完好、透明度和色泽度好的锆石和榍石分别用环氧树脂固定在样靶上。样靶经研磨抛光,直至露出新鲜截面,具体的制靶方法参考北京离子探针中心实验室提供的方法(Song et al. ,2002)。在显微镜下对靶上的榍石进

行透反射光照相,榍石的背散射(BSE)照相在北京科荟测试技术有限公司完成。

LA-ICP-MS 榍石 U-Pb 定年测试分析在北京科荟测试技术有限公司完成,榍石定年分析所用仪器为 AnalytikJena PQMS Elite 型 ICP-MS 及与之配套的 RESolution 193 nm 准分子激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为 30 μm ,频率为 6 Hz,能量密度约为 6 J/cm²,以 He 为载气。LA-ICP-MS 激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式,测试前先用 NIST 610 进行仪器调试,使之达到最优状

态。测试过程中首先遮挡激光束进行空白背景采集 20 s,然后进行样品连续剥蚀采集 45 s,停止剥蚀后继续吹扫 20 s 清洗进样系统,单点测试分析时间 85 s。榍石 U-Pb 定年以标样 BLR-1 为外标,测试过程中在每测定 10 个样品前后重复测定 2 个榍石标样 BLR-1 对样品进行校正。榍石的普通 Pb 校正采用 ²⁰⁷Pb 校正与 Tera-Wasserburg 图解相结合的方法(Storey et al., 2006)。数据处理采用 ICPMSDataCal 程序(Liu Yongsheng et al., 2010),榍石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序获得(图 2)。



Tit. 榍石

图 2 矿泉和狼窝沟岩体野外与显微照片(单偏光下)

Fig. 2 Field pictures and photomicrographs of Kuangquan and Langwogou pluton

在显微镜下对靶上的锆石进行透反射光照相,锆石的阴极发光(CL)照相和 U-Pb 同位素定年在中国地质调查局西安地质调查中心自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室完成。采用的 ICP-MS 型号为 Agilent 7700x,激光剥蚀系统为 Geolas Pro 型 ArF 准分子激光剥蚀系统,激光剥蚀直径为 32 μm ,激光取样过程采用 20 s 的背景采集时间、40 s 的剥蚀取样时间和 10 s 的样品池冲洗时间。实验中采用 He 作为载气,锆石年龄采用 91500 作为标

样,成分测定采用 NIST 610 作为标样,保证每 5 个样品点至少插一组标。数据的离线处理在软件 Glitter4.4 上调试,普通 Pb 校正使用 Anderson (2002)的方法进行,年龄谐和图采用 Isoplot 4.15 软件完成。

3 讨论

3.1 榍石 U-Pb 定年结果

笔者选取二长岩样品(18KQ-1、18LWG-1)

进行了锆石 U - Pb 年代学研究,分析结果见表 1。测年的锆石晶体呈半自形四边形-自形菱形,大小在 100~200 μm (图 2),不具有变质锆石特有的孔洞特征,Th/U 值大部分 >1.5 ,且具有一致的右倾型稀土配分曲线,表明其为岩浆成因,其年龄能代表岩浆结晶时间。

矿泉岩体二长岩样品(18KQ-1)共获得 24 个有效数据点。谐和图上数据点的线性拟合性较好,下交点年龄为 (128 ± 15) Ma(图 3)。初始 Pb 同位素经 ^{207}Pb 法校正后,获得该样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 (129.0 ± 2.6) Ma($n=24$, $MSWD=1.01$)(图 3),与下交点年龄在误差范围内一致,代表了该岩体的形成时代。

狼窝沟岩体二长岩样品(18LWG-1)共获得 27 个有效数据点。谐和图上数据点的线性拟合性也较好,下交点年龄为 (127 ± 13) Ma(图 3)。初始 Pb 同位素经 ^{207}Pb 法校正后,获得该样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 (129.5 ± 2.5) Ma($n=27$, $MSWD=1.17$)(图 3),与下交点年龄在误差范围内一致,代表了该岩体的形成时代。

3.2 锆石 U - Pb 同位素定年结果

为与锆石 U - Pb 同位素定年结果对比,检验其准确性,对上述相同的 2 个岩石样品也同时进行了锆石 U - Pb 定年(表 2)。2 个岩体样品中锆石分为 2 类:绝大多数锆石为他形圆状,具有核边结构,大小在 50~100 μm ,为捕获的继承锆石;还有少部分

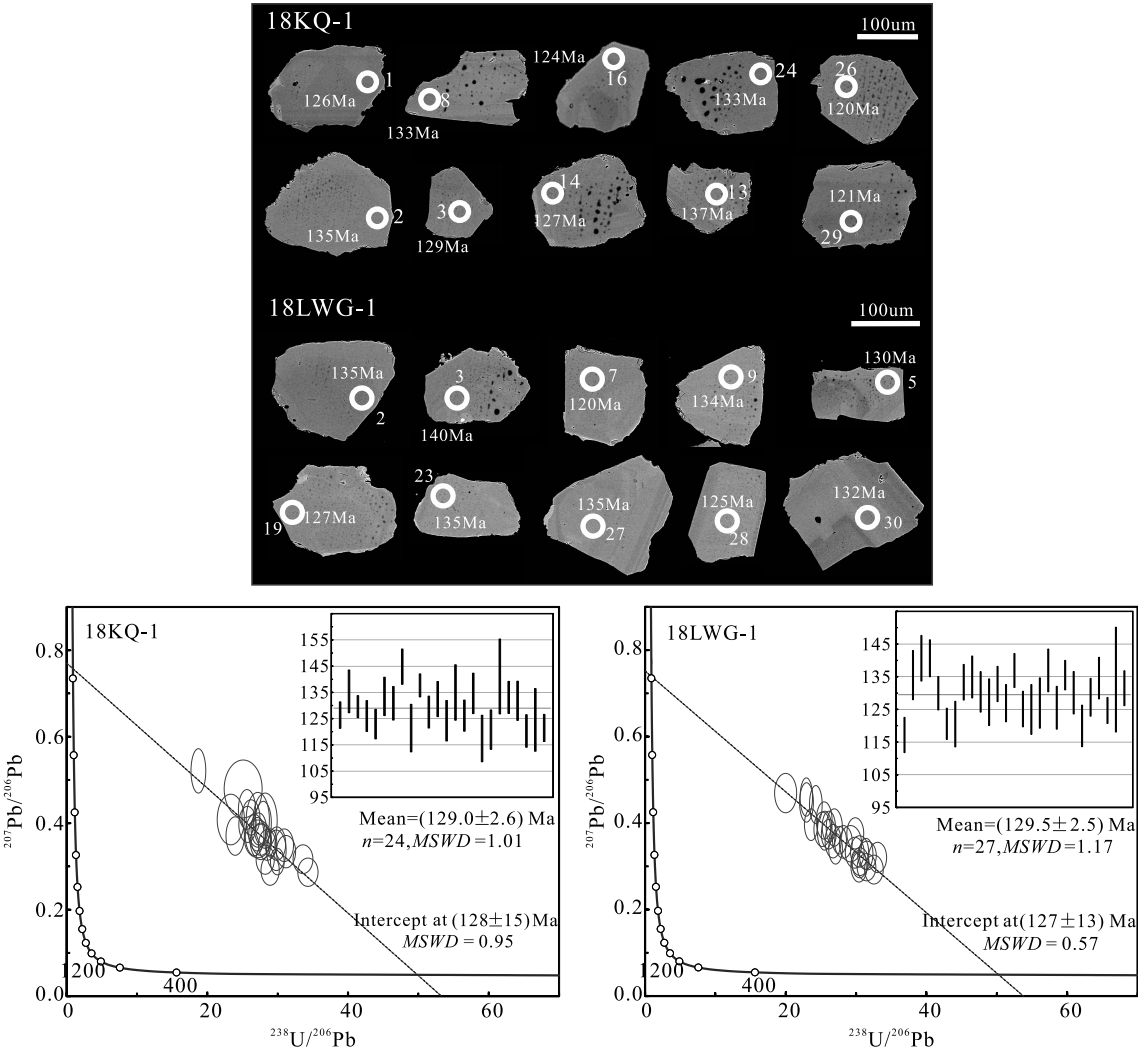


图 3 矿泉和狼窝沟二长岩体锆石背散射照片和锆石 U - Pb 年龄谐和图
Fig. 3 Titanite BSE images and titanite U - Pb concordia diagrams for the two plutons

18KQ-1

测试点	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		Age (Ma)	1s
		比值	1s	比值	1s	比值	1s	比值	1s	比值	1s				
18KQ-1															
01	2.89	0.287 09	0.021 46	1.104 04	0.047 56	0.029 11	0.000 81	0.011 30	0.000 37	126	5				
02	3.79	0.357 02	0.026 90	1.708 69	0.090 62	0.036 20	0.001 31	0.013 43	0.000 38	135	8				
03	2.47	0.354 40	0.021 48	1.666 87	0.062 71	0.034 42	0.000 67	0.017 26	0.000 45	130	4				
04	2.37	0.335 00	0.024 76	1.454 09	0.081 86	0.032 05	0.000 94	0.015 84	0.000 52	126	6				
06	2.52	0.349 69	0.025 04	1.509 54	0.068 11	0.032 30	0.000 90	0.015 50	0.000 53	123	6				
08	3.00	0.363 50	0.024 43	1.767 18	0.079 14	0.036 22	0.001 18	0.016 13	0.000 46	133	7				
09	1.89	0.338 04	0.030 92	1.490 41	0.088 71	0.033 52	0.001 02	0.018 23	0.000 73	131	6				
10	2.89	0.315 59	0.022 20	1.494 98	0.067 11	0.035 38	0.001 08	0.015 27	0.000 48	145	7				
12	7.08	0.408 31	0.041 92	1.896 26	0.139 71	0.036 74	0.001 46	0.008 67	0.000 31	121	9				
13	2.52	0.311 80	0.020 03	1.411 04	0.052 88	0.033 36	0.000 70	0.014 97	0.000 40	138	4				
14	3.11	0.387 16	0.024 15	1.922 61	0.073 49	0.036 60	0.000 98	0.014 85	0.000 40	128	6				
15	4.40	0.374 73	0.025 52	1.865 79	0.082 97	0.036 90	0.001 08	0.012 45	0.000 34	132	7				
16	2.81	0.413 93	0.026 95	2.125 72	0.093 49	0.038 15	0.001 24	0.017 69	0.000 46	124	8				
17	6.75	0.364 70	0.028 66	1.732 39	0.084 07	0.036 73	0.001 70	0.009 23	0.000 33	135	11				
18	4.73	0.353 26	0.025 65	1.585 90	0.080 69	0.033 43	0.000 95	0.010 70	0.000 34	126	6				
19	6.82	0.373 00	0.031 40	1.833 41	0.101 84	0.037 36	0.001 24	0.009 90	0.000 25	135	8				
20	6.39	0.406 43	0.042 13	1.787 76	0.116 00	0.035 37	0.001 42	0.009 83	0.000 32	117	9				
21	7.28	0.431 76	0.030 28	2.259 57	0.109 48	0.038 93	0.001 21	0.010 15	0.000 28	121	8				
23	7.45	0.408 77	0.038 54	2.179 24	0.133 87	0.042 80	0.002 31	0.010 61	0.000 39	141	14				
24	5.36	0.350 03	0.023 56	1.676 12	0.082 10	0.035 02	0.000 98	0.010 81	0.000 37	133	6				
25	7.32	0.397 68	0.027 77	2.080 11	0.095 22	0.038 85	0.001 20	0.010 25	0.000 28	132	7				
26	5.44	0.401 11	0.032 92	1.907 66	0.105 82	0.035 74	0.001 00	0.011 00	0.000 36	120	6				
28	1.47	0.521 29	0.033 82	3.817 15	0.208 05	0.053 32	0.001 95	0.479 07	0.095 22	125	12				
29	2.38	0.317 54	0.021 98	1.281 20	0.065 17	0.029 76	0.000 83	0.013 78	0.000 55	121	5				

续表 1

测试点	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
		比值	1s	比值	1s	比值	1s	比值	1s	Age (Ma)	1s	Age (Ma)	1s
18LWG-1													
01	2.44	0.376 17	0.023 66	1.689 10	0.056 51	0.033 42	0.000 86	0.015 79	0.000 40	117	0.000 40	117	5
02	3.91	0.386 22	0.026 38	2.055 93	0.092 34	0.039 68	0.001 21	0.013 87	0.000 39	135	0.000 39	135	8
03	1.60	0.396 73	0.024 22	2.262 75	0.072 71	0.042 34	0.001 13	0.030 55	0.001 22	141	0.001 22	141	7
04	1.00	0.340 76	0.023 45	1.690 63	0.073 12	0.036 88	0.000 91	0.033 14	0.001 23	141	0.001 23	141	6
05	3.04	0.293 03	0.021 79	1.223 38	0.068 95	0.030 69	0.000 82	0.012 27	0.000 35	130	0.000 35	130	5
06	2.40	0.320 89	0.023 01	1.304 14	0.065 60	0.030 21	0.000 76	0.014 74	0.000 49	121	0.000 49	121	5
07	1.27	0.460 61	0.029 43	2.728 44	0.118 33	0.043 60	0.001 13	0.040 49	0.001 13	120	0.001 13	120	7
08	2.80	0.311 42	0.021 03	1.372 60	0.060 55	0.032 74	0.000 87	0.013 29	0.000 43	133	0.000 43	133	5
09	4.25	0.382 34	0.029 69	2.029 26	0.124 28	0.039 12	0.001 03	0.013 15	0.000 41	135	0.000 41	135	6
10	0.59	0.331 97	0.023 21	1.487 98	0.068 97	0.033 49	0.000 99	0.047 30	0.002 16	130	0.002 16	130	6
11	8.20	0.405 90	0.028 41	2.113 15	0.084 72	0.039 22	0.001 15	0.010 16	0.000 27	127	0.000 27	127	7
13	2.34	0.298 50	0.020 90	1.267 57	0.057 55	0.031 72	0.000 86	0.014 89	0.000 44	133	0.000 44	133	5
14	3.54	0.334 92	0.023 86	1.476 22	0.066 73	0.032 81	0.000 91	0.012 70	0.000 36	127	0.000 36	127	6
16	2.62	0.300 31	0.023 91	1.318 78	0.075 61	0.032 84	0.000 83	0.013 31	0.000 40	137	0.000 40	137	5
17	2.38	0.325 34	0.022 13	1.386 49	0.061 19	0.031 66	0.000 87	0.014 52	0.000 48	125	0.000 48	125	5
18	0.29	0.447 88	0.029 85	2.657 19	0.130 45	0.043 48	0.001 23	0.156 75	0.007 15	125	0.007 15	125	8
19	1.96	0.352 77	0.027 75	1.574 31	0.072 23	0.034 22	0.001 23	0.022 64	0.001 24	127	0.001 24	127	8
20	3.43	0.358 28	0.025 57	1.773 92	0.071 38	0.037 41	0.001 05	0.014 57	0.000 35	137	0.000 35	137	7
22	3.25	0.390 24	0.028 33	1.953 45	0.090 33	0.037 12	0.001 05	0.015 92	0.000 44	126	0.000 44	126	7
23	1.15	0.304 11	0.019 52	1.363 84	0.063 84	0.032 76	0.000 72	0.028 33	0.000 84	135	0.000 84	135	5
24	0.85	0.356 99	0.024 93	1.696 57	0.077 92	0.035 42	0.001 04	0.038 39	0.002 06	130	0.002 06	130	6
25	2.97	0.443 05	0.029 21	2.456 23	0.097 71	0.041 11	0.001 03	0.019 32	0.000 79	120	0.000 79	120	6
26	2.35	0.392 03	0.023 70	2.038 04	0.078 87	0.038 25	0.000 93	0.020 15	0.000 44	129	0.000 44	129	6
27	0.91	0.374 85	0.022 69	1.954 32	0.077 43	0.038 29	0.001 02	0.039 56	0.001 57	135	0.001 57	135	6
28	2.89	0.329 13	0.023 34	1.421 16	0.070 78	0.031 82	0.000 64	0.013 60	0.000 53	125	0.000 53	125	4
29	2.34	0.469 56	0.030 24	3.344 36	0.253 86	0.049 99	0.002 61	0.029 38	0.001 92	134	0.001 92	134	16
30	3.31	0.360 92	0.021 15	1.774 38	0.061 15	0.036 14	0.000 86	0.014 68	0.000 31	131	0.000 31	131	5

表 2 二长岩样品的锆石 U - Pb 定年结果表
Tab. 2 U - Pb isotopic data of zircon from monzonites

测点	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	同位素比值				表面年龄(Ma)							
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		
LWG-1															
01	190.27	474.84	0.40	0.125 74	0.001 68	6.464 27	0.085 59	0.372 72	0.003 91	2 039	11	2 041	12	2 042	18
02	21.30	22.80	0.93	0.106 70	0.004 24	5.582 91	0.216 34	0.379 35	0.006 27	1 744	47	1 913	33	2 073	29
03	34.83	113.63	0.31	0.165 91	0.003 46	9.661 90	0.168 24	0.422 37	0.004 86	2 517	36	2 403	16	2 271	22
04	187.28	644.35	0.29	0.048 80	0.002 32	0.131 87	0.006 17	0.019 59	0.000 27	138	82	126	6	125	2
05	55.87	261.11	0.21	0.049 00	0.003 74	0.136 80	0.010 24	0.020 24	0.000 36	148	135	130	9	129	2
06	38.45	198.95	0.19	0.074 41	0.003 63	0.835 60	0.039 04	0.081 45	0.001 14	1 053	101	617	22	505	7
07	162.88	1 077.10	0.15	0.111 66	0.001 39	5.050 18	0.062 35	0.327 96	0.003 37	1 827	10	1 828	10	1 828	16
08	138.86	617.63	0.22	0.064 15	0.002 61	0.263 56	0.010 20	0.029 80	0.000 38	747	88	238	8	189	2
09	250.69	1 027.66	0.24	0.047 76	0.001 87	0.130 63	0.005 03	0.019 83	0.000 25	87	64	125	5	127	2
10	23.55	101.66	0.23	0.091 32	0.005 05	0.767 27	0.040 93	0.060 93	0.001 11	1 453	74	578	24	381	7
11	55.73	260.97	0.21	0.060 33	0.003 83	0.284 52	0.017 51	0.034 21	0.000 53	615	141	254	14	217	3
12	98.03	123.42	0.79	0.168 01	0.002 82	11.192 46	0.183 78	0.483 10	0.005 60	2 538	13	2 539	15	2 541	24
13	179.80	1 328.48	0.14	0.047 34	0.001 88	0.127 95	0.004 99	0.019 60	0.000 25	66	63	122	4	125	2
14	17.04	16.61	1.03	0.107 51	0.006 50	4.794 83	0.282 15	0.323 46	0.007 07	1 758	76	1 784	49	1 807	34
15	57.98	346.17	0.17	0.048 80	0.003 58	0.132 09	0.009 52	0.019 63	0.000 33	138	130	126	9	125	2
16	39.98	606.55	0.07	0.076 37	0.002 34	0.450 89	0.012 73	0.042 82	0.000 51	1 105	63	378	9	270	3
17	421.04	917.17	0.46	0.048 57	0.002 25	0.135 55	0.006 15	0.020 24	0.000 28	127	78	129	5	129	2
18	32.00	141.86	0.23	0.123 06	0.004 22	1.795 20	0.056 45	0.105 80	0.001 44	2 001	62	1 044	21	648	8
19	65.41	344.65	0.19	0.129 76	0.003 00	1.957 85	0.039 41	0.109 43	0.001 25	2 095	42	1 101	14	669	7
20	15.74	147.93	0.11	0.118 24	0.002 65	3.892 71	0.075 01	0.238 77	0.002 72	1 930	41	1 612	16	1 380	14
21	135.32	415.18	0.33	0.046 05	0.002 25	0.171 90	0.008 10	0.027 08	0.000 35	0	105	161	7	172	2
22	111.91	318.08	0.35	0.048 89	0.003 25	0.129 19	0.008 44	0.019 17	0.000 31	143	117	123	8	122	2
23	249.87	1 029.28	0.24	0.048 36	0.001 71	0.128 81	0.004 48	0.019 32	0.000 24	117	58	123	4	123	2
24	140.75	537.08	0.26	0.076 31	0.003 60	0.338 27	0.015 32	0.032 15	0.000 42	1 103	97	296	12	204	3
25	94.04	403.32	0.23	0.048 14	0.003 35	0.134 60	0.009 18	0.020 28	0.000 34	106	121	128	8	129	2
26	226.06	513.49	0.44	0.062 52	0.003 00	0.246 87	0.011 39	0.028 64	0.000 38	692	105	224	9	182	2
27	409.44	571.75	0.72	0.169 91	0.002 06	11.380 63	0.136 77	0.485 93	0.005 05	2 557	9	2 555	11	2 553	22
28	45.60	284.78	0.16	0.051 05	0.003 47	0.177 12	0.011 73	0.025 16	0.000 38	243	157	166	10	160	2

测点	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	同位素比值				表面年龄(Ma)							
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
				$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$	
29	106.86	400.52	0.27	0.056 31	0.003 17	0.164 11	0.008 91	0.021 14	0.000 31	464	128	154	8	135	2
30	67.68	445.89	0.15	0.048 53	0.002 54	0.132 44	0.006 79	0.019 80	0.000 28	125	91	126	6	126	2
31	196.24	654.36	0.30	0.083 38	0.001 92	0.501 31	0.011 25	0.043 62	0.000 50	1 278	26	413	8	275	3
32	3.67	940.06	0.00	0.110 22	0.001 31	4.892 15	0.057 79	0.322 05	0.003 29	1 803	10	1 801	10	1 800	16
33	31.09	230.86	0.13	0.051 91	0.003 44	0.154 47	0.010 05	0.021 59	0.000 36	281	118	146	9	138	2
34	231.38	692.56	0.33	0.048 75	0.002 00	0.134 84	0.005 44	0.020 07	0.000 26	136	70	128	5	128	2
35	152.11	210.97	0.72	0.152 25	0.002 08	8.737 48	0.117 90	0.416 43	0.004 45	2 371	11	2 311	12	2244	20
36	41.66	184.33	0.23	0.103 28	0.002 47	2.608 84	0.054 87	0.183 20	0.002 08	1 684	45	1 303	15	1 084	11
37	7.71	170.90	0.05	0.111 48	0.001 86	5.028 92	0.082 41	0.327 35	0.003 62	1 824	15	1 824	14	1 826	18
38	75.34	138.29	0.54	0.115 70	0.002 05	5.434 11	0.094 37	0.340 83	0.003 85	1 891	16	1 890	15	1 891	19
39	51.21	122.11	0.42	0.152 89	0.002 30	9.702 98	0.143 22	0.460 57	0.005 09	2 379	12	2 407	14	2 442	22
40	90.47	363.91	0.25	0.157 63	0.001 92	9.333 39	0.112 44	0.429 70	0.004 46	2 430	9	2 371	11	2 304	20
41	106.39	497.88	0.21	0.075 45	0.002 20	0.355 55	0.010 06	0.034 20	0.000 42	1 081	37	309	8	217	3
KQ-1															
01	34.18	61.63	0.55	0.105 71	0.003 68	4.479 31	0.151 23	0.307 38	0.004 59	1 727	40	1 727	28	1 728	23
02	15.45	31.98	0.48	0.105 96	0.004 76	4.490 66	0.196 03	0.307 44	0.005 47	1 731	54	1 729	36	1 728	27
03	61.78	241.58	0.26	0.168 62	0.002 91	11.225 24	0.188 13	0.482 92	0.005 62	2 544	14	2 542	16	2 540	24
04	128.87	390.82	0.33	0.142 97	0.002 65	7.610 23	0.115 87	0.386 07	0.004 09	2 263	33	2 186	14	2 105	19
05	11.16	35.96	0.31	0.108 23	0.004 32	4.727 72	0.183 51	0.316 89	0.005 18	1 770	47	1 772	33	1 775	25
06	769.89	453.82	1.70	0.067 70	0.003 15	0.255 77	0.011 59	0.027 41	0.000 40	859	70	231	9	174	3
07	220.42	675.23	0.33	0.134 57	0.001 77	7.374 43	0.094 92	0.397 58	0.004 11	2 158	10	2 158	12	2 158	19
08	8.62	33.99	0.25	0.118 27	0.004 51	5.674 20	0.210 04	0.348 07	0.005 66	1 930	43	1 927	32	1 925	27
09	49.64	517.95	0.10	0.112 21	0.001 67	5.097 45	0.074 13	0.329 59	0.003 48	1 836	13	1 836	12	1 836	17
10	221.10	352.14	0.63	0.165 22	0.002 56	10.838 15	0.163 83	0.475 92	0.005 29	2 510	12	2 509	14	2 509	23
11	35.55	54.73	0.65	0.108 88	0.004 41	4.760 60	0.187 10	0.317 24	0.005 33	1 781	47	1 778	33	1 776	26
12	67.63	99.66	0.68	0.154 65	0.003 10	9.578 10	0.186 50	0.449 35	0.005 53	2 398	17	2 395	18	2 392	25
13	87.76	246.63	0.36	0.114 55	0.001 80	5.322 05	0.081 56	0.337 11	0.003 62	1 873	14	1 872	13	1 873	17
14	392.36	499.78	0.79	0.172 57	0.002 09	11.673 56	0.138 87	0.490 81	0.005 03	2 583	9	2 579	11	2 574	22
15	53.48	53.67	1.00	0.107 27	0.003 98	4.628 77	0.166 51	0.313 09	0.004 91	1 754	43	1 754	30	1 756	24
16	429.63	739.86	0.58	0.106 08	0.001 35	4.520 67	0.056 48	0.309 22	0.003 15	1 733	10	1 735	10	1 737	16
17	23.48	273.22	0.09	0.108 61	0.001 79	4.751 05	0.076 47	0.317 41	0.003 44	1 776	15	1 776	14	1 777	17

锆石为半自形-自形棱柱状,具有振荡环带,大小在 100 μm 左右(图 2),具有高 Th/U 值(0.9~2.3),暗示这些少数锆石为岩浆锆石成因。矿泉岩体样品中 3 颗岩浆锆石测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(127.3\pm2.7)\text{Ma}$ ($n=3$, $\text{MSWD}=0.18$)。而狼窝沟岩体样品中 11 颗岩浆锆石测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权

平均年龄为 $(126.2\pm1.6)\text{Ma}$ ($n=5$, $\text{MSWD}=1.5$) (图 4)。2 个样品锆石和锆石 U-Pb 同位素定年结果均在误差范围内一致。由于样品中结晶锆石数量少,且远低于同一样品中榍石的数量,因此,对狐偃山矿泉和狼窝沟 2 个二长岩体锆石 U-Pb 定年结果更能反映它们的形成时代。

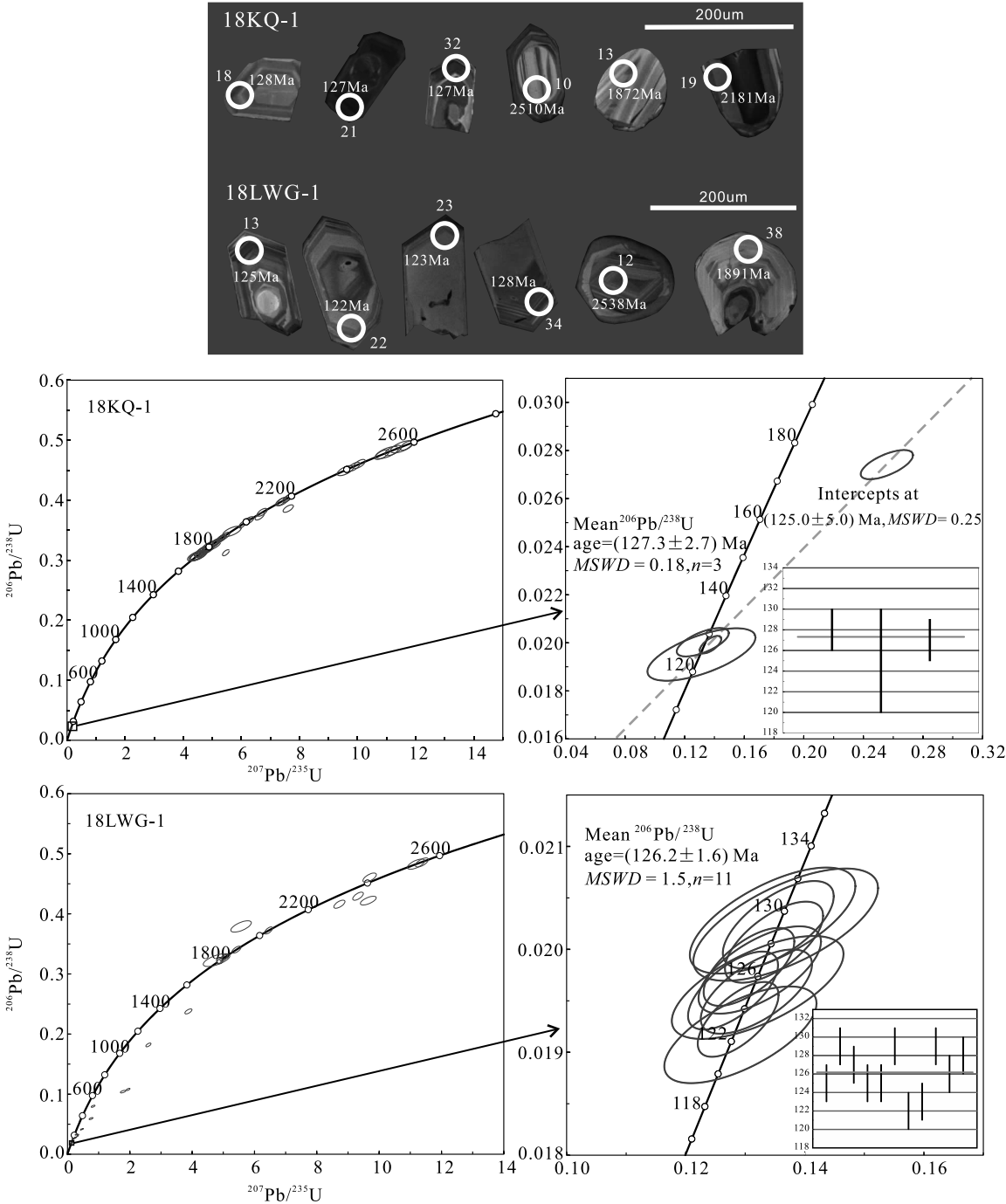


图 4 矿泉和狼窝沟二长岩体锆石 CL 照片和锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Zircon CL images and zircon U-Pb concordia diagrams of the two plutons

4 讨论

4.1 狐偃山杂岩体形成时代

狐偃山杂岩体位于华北克拉通中部,其主要以似斑状和斑状二长岩、二长岩、霓辉二长岩为主,还包括霓辉正长岩、石英正长岩、正长岩、正长斑岩等不同岩性类型。前人对它们的野外产状及接触关系进行了详细调查,结果显示,二长岩与似斑状二长岩为渐变过渡关系,后被霓辉二长岩侵入,多呈岩株产出;而正长斑岩和霓辉正长岩呈脉状侵入到斑状二长岩中,呈岩墙产出(杨浩,2016)。上述侵入关系也得到了年代学研究的进一步证实。常泽光等(2017)和霍腾飞等(2016)已对孤山地区二长岩体进行了精确的年代学研究,结果显示它们形成于 127~130 Ma。本次研究对矿泉地区二长岩类的定年结果表明,它们侵位于 129~130 Ma。同时,古洞道附近的二长岩类的年龄为 131 Ma(未发表数据)。而对杂岩体中正长岩的已有研究表明,它们形成晚于二长岩,结晶于 111~114 Ma(常泽光等,2017;张乔等,2020)。综上所述,狐偃山杂岩体主体二长岩类侵位于早白垩世早期(127~131 Ma),在早白垩世晚期(111~114 Ma)有少量正长岩形成,从而形成了狐偃山杂岩体。张乔等(2020)对华北中部晚中生代岩浆岩资料整理时,归纳出华北克拉通中部晚中生代岩浆事件分为早白垩世中期(~131 Ma)、早白垩世晚期(~114 Ma)。因此,狐偃山杂岩体的形成过程可能是华北中部晚中生代岩浆作用过程的缩影。对杂岩体形成过程的深入刻画,将对探讨华北中部晚中生代岩浆演化及深部地球动力学作用提供良好的启示。

4.2 继承锆石的地质意义

在矿泉、狼窝沟二长岩体中发育大量继承锆石,它们的年龄为前寒武纪,谐和年龄峰值在 2.44~2.55 Ga、2.0~2.18 Ga、1.80~1.88 Ga。这 3 组继承锆石普遍存在于华北克拉通中部晚中生代岩浆岩中(许文良等,2009;Ying et al.,2011;霍腾飞等,2016;常泽光等,2017)。它们分别对应华北克拉通中部~2.5 Ga、~1.8 Ga 岩浆-变质事件和 2.0~2.2 Ga 岩浆作用(Kröner et al.,2005;Faure et al.,2007;Zhao et al.,2008;赵瑞福等,2011)。已有的研究表明,华北克拉通中部晚中生代岩浆岩是壳

幔相互作用的产物(许文良等,2009;Chen et al.,2009;Ying et al.,2011;霍腾飞等,2016;Xue et al.,2019)。而这些继承锆石的出现也进一步证实白垩纪时期在华北克拉通中部,地壳物质明显参与了该时期岩浆岩的形成。

5 结论

(1)对狐偃山杂岩体中 2 个二长岩体的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明,两者形成于 129~130 Ma。

(2)同一样品中锆石和锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果误差范围一致,均可以揭示岩石的形成年龄。

(3)结合前人资料认为,狐偃山杂岩体由早、晚 2 期岩浆侵入事件形成,主体二长岩类侵位于早白垩世早期(127~131 Ma),在早白垩世晚期(111~114 Ma)有少量正长岩形成。

参考文献(References):

- 常泽光,杨浩,周安朝. 山西吕梁地区狐偃山碱性杂岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报,2017,36(2-3):372-380.
- CHANG Zeguang, YANG Hao, ZHOU Anchao. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of the Huyanshan alkaline intrusive complex in the Lüliang Mountain of North China Craton and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China,2017,36(2-3):372-380.
- 霍腾飞,杨德彬,师江朋,等. 华北地块中部早白垩世富碱侵入岩的成因:锆石 U-Pb 年代学和 Sr-Nd-Hf 同位素制约[J]. 岩石学报,2016,32(3):697-712.
- HUO Tengfei, YANG Debin, SHI Jiangpeng, et al. Petrogenesis of the Early Cretaceous alkali-rich intrusive rocks in the central North China Block: Constraints from zircon U-Pb chronology and Sr-Nd-Hf isotopes [J]. Acta Petrologica Sinica,2016,32(3):697-712.
- 宋彪,张玉海,万渝生. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评,2002,48(增刊):26-30.
- SONG Biao, ZHANG Yuhai, WAN Yusheng, et al. Mount

- making and procedure of the SHRIMP dating[J]. *Geological Review*, 2002, 48(Suppl.): 26-30.
- 王博, 何艳红, 孟祥舒, 等. 辽宁海城地区老虎沟基性岩墙锆石 U-Pb-Hf 同位素、地球化学特征及其地质意义[J]. *西北地质*, 2017, 50(2): 80-94.
- WANG Bo, HE Yanhong, MENG Xiangshu, et al. Petrogenesis and tectonic significance of Laohugou mafic dykes in Haicheng, Liaoning Province: Evidence from zircon U-Pb-Hf isotopes and whole-rock geochemistry[J]. *Northwestern Geology*, 2017, 50(2): 80-94.
- 袁继海, 孙冬阳, 赵令浩, 等. 榴石 LA-ICP-MS U-Pb 定年技术研究[J]. *地质学报*, 2016, 90(8): 2059-2069.
- YUAN Jihai, SUN Dongyang, ZHAO Linghao, et al. In-situ U-Pb dating of titanite by laser ablation inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS)[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90(8): 2059-2069.
- 许文良, 杨德彬, 裴福萍, 等. 太行山南段符山高镁闪长岩的成因—拆沉陆壳物质熔融的熔体与地幔橄榄岩反应的结果[J]. *岩石学报*, 2009, 25(8): 1947-1961.
- XU Wenliang, YANG Debin, PEI Fuping, et al. Petrogenesis of Fushan high-Mg diorites from the southern Taihang Mts. in the central North China Craton: Resulting from interaction of peridotite-melt derived from partial melting of delaminated lower continental crust[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(8): 1947-1961.
- 张乔, 周俊林, 李玉宏, 等. 华北克拉通中部早白垩世岩石圈地幔性质: 来自狐偃山科头钾质正长岩同位素年代学的限制[J]. *地质学报*, 2020, 94(3): 739-756.
- ZHANG Qiao, ZHOU Junlin, LI Yuhong, et al. Nature of Early Cretaceous lithosphere mantle in central North China: constraints from dating, and isotopic data of Ketou potassic syenite in Huyanshan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(3): 739-756.
- 赵瑞幅, 郭敬辉, 彭澎, 等. 恒山地区古元古代 2.1 Ga 地壳重熔事件: 钾质花岗岩锆石 U-Pb 定年及 Hf-Nd 同位素研究[J]. *岩石学报*, 2011, 27(06): 53-69.
- ZHAO Ruifu, GUO Jinhui, PENG Peng, et al. 2.1 Ga crustal remelting event in Hengshan Complex: evidence from zircon U-Pb dating and Hf-Nd isotopic study on potassic granites[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(06): 53-69.
- Andersen T. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192: 59-79.
- Chen Bin, Jahn Boming, Arakawa Y, et al. Petrogenesis of the Mesozoic intrusive complexes from the southern Taihang Orogen, North China craton: elemental and Sr-Nd-Pb isotopic constraints[J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 2004, 148(4): 489-501.
- Chen Bin, Chen Zhichao, Jahn Boming. Origin of mafic enclaves from the Taihang Mesozoic orogen, North China craton[J]. *Lithos*, 2009, 110(1-4): 343-358.
- Corfu F. Multistage zircon and titanite growth and inheritance in an Archean gneiss complex, Winnipeg river subprovince, Ontario[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 1996, 141(1): 175-186.
- Faure M, Trap P, LIN Wei, et al. Polyorogenic evolution of the Paleoproterozoic Trans-North China Belt[J]. *Episodes*, 2007, 30(2): 96-107.
- Frost B R, Chamberlain K R, Schumacher J C. Sphene (titanite): Phase relations and role as a geochronometer[J]. *Chemical Geology*, 2000, 172: 131-148.
- Guo Feng, Fan Weiming, Wang Yuejun, et al. Late Mesozoic mafic intrusive complexes in the North China Block: Constrains on the nature of subcontinental lithospheric mantle[J]. *Phys. Chem. Earth*, 2001, 26: 759-771.
- Guo Feng, Fan Weiming, Wang Yuejun, et al. Geochemistry of late Mesozoic mafic magmatism in west Shandong Province, eastern China: Characterizing the lost lithospheric mantle beneath the North China Block[J]. *Geochemical Journal*, 2003, 37: 63-77.
- Ji Weiqiang, Wu Fuyuan, Chung Sunlin, et al. Eocene Neo-Tethyan slab breakoff constrained by 45 Ma oceanic island basalt-type magmatism in southern Tibet[J]. *Geology*, 2016, 44(4): 283-286.
- Kröner A, Wilde S A, Li Jianghai, et al. Age and evolution of a late Archaean to early Palaeozoic upper to lower crustal section in the Wutaishan/Hengshan/Fuping terrane of northern China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2005, 24: 577-595.
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, et al. Continental

and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen; U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51: 537-571.

Storey C D, Jeffries T E, Smith M. Common lead corrected laser ablation ICP-MS systematics and geochronology of titanite[J]. Chemical Geology, 2006, 227: 37-52.

Sun Jinfeng, Yang Junhui, Wu Fuyuan, et al. In situ U-Pb dating of titanite by LA-ICP MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(20): 2506-2516.

Tera F, Wasserburg G J. U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1972, 14(3): 281-304.

Wang Yuejun, Fan Weiming, Zhang Hongfu, et al. Early Cretaceous gabbroic rocks from the Taihang mountains; implications for a paleosubduction-related lithospheric mantle beneath the central North China Craton[J]. Lithos, 2006, 86(3-4): 281-302.

Wu Fuyuan, Lin Jingqian, Wilde S A, et al. Nature and significance of the early cretaceous giant igneous event in eastern China[J]. Earth & Planetary Science Letters, 2005, 233(1-2): 103-119.

Xu Wenliang, Hergt J M, Gao Shan, et al. Interaction of adakitic melt-peridotite: implications for the high-Mg signature of Mesozoic adakitic rocks in the eastern North China Craton[J]. Earth & Planetary Science Letters, 2008, 265(1-2): 123-137.

Xue Fei, Santosh M, Tsunogae T, et al. Geochemical and isotopic imprints of early cretaceous mafic and felsic dyke suites track lithosphere-asthenosphere interaction and craton destruction in the North China Craton[J]. Lithos, 2019, 326-327: 174-199.

Ying Jifeng, Zhang Hongfu, Sun Min, et al. Petrology and geochemistry of Zijinshan alkaline intrusive complex in Shanxi Province, western North China Craton: implication for magma mixing of different sources in an extensional regime[J]. Lithos, 2007, 98: 45-66.

Zhang Hongfu, Sun Min, Zhou Xinhua, et al. Mesozoic lithosphere destruction beneath the North China Craton: evidence from major-, trace-element and Sr-Nd-Pb isotope studies of Fangcheng basalts[J]. Contrib Mineral Petrol, 2002, 144: 241-253.

Zhao Guochun, Sun Min, Wilde S A, et al. Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton; key issues revisited[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2005, 24(5): 519-522.

Zhao, Guochun, Wilde S A, Sun Min, et al. SHRIMP U-Pb zircon ages of granitoid rocks in the Lüliang Complex: Implications for the accretion and evolution of the Trans-North China Orogen[J]. Precambrian Research, 2008, 160: 213-226.

《西北地质》编辑部关于作者知识产权的声明

《西北地质》现为纸质版-光盘版-网络版三位一体的模式出版,凡在本刊刊用的稿件,其作者同意将该论文的著作权自动转让给本刊编辑部(包括电子出版、多媒体出版、网络出版及以其他形式出版的权利),作者著作权使用费与稿酬均由本刊编辑部一次性支付。若作者不同意入编各类光盘版及网络版,请在来稿时声明,否则本刊编辑部将视为作者同意。

《西北地质》编辑部