第 90 卷 第 8 期
2016年8月 1725～1736

地 质 学 报 ACTA GEOLOGICA SINICA

Vol. 90 No. 8 2016
Aug. 1725～1736

阿拉善地块北缘恩格尔乌苏地区发现志留纪侵入体

郑荣国[1,2)]，李锦轶[1)]，肖文交[2,3)]，刘建峰[1)]，吴泰然[4)]

1）中国地质科学院地质研究所，北京，100037；

2）中国科学院新疆生态与地理研究所新疆矿产资源研究中心，乌鲁木齐，830011；

3）中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室，北京，100029；

4）造山带和地壳演化教育部重点实验室，北京大学地球与空间科学学院，北京，100871

内容提要：阿拉善地块北缘地区位于中亚造山带的南缘中段，连接了兴蒙造山带和北山造山带等构造单元，其古生代的构造演化对于中亚造山带南缘构造单元的对比连接具有重要的意义，是研究中亚造山带古生代构造演化的关键位置。统计归纳近年来阿拉善地块北缘地区的年代学数据发现，该地区的岩浆活动主要集中在晚古生代期间，特别是二叠期间，尚没有早古生代侵入岩的报道。恩格尔乌苏蛇绿混杂岩是阿拉善地块北缘地区出露的一条重要蛇绿岩带，本次研究在该混杂岩带中发现了早古生代的黑云母花岗岩。通过锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学测试发现其时代为 423±4.5 Ma 和 434±1Ma，代表了其岩浆结晶年龄，表明该侵入岩形成于志留纪期间，是阿拉善地块北缘地区最早发现的早古生代侵入体之一。该志留纪岩体的发现，表明恩格尔乌苏混杂岩在带志留纪期间已经出现岩浆活动，具有多期活动的特征。该志留纪岩体的发现，是研究、认识阿拉善地块北缘地区早古生代构造环境的重要对象，对于连接对比东、西相邻构造单元具有重要的意义。结合相邻白山组地层的碎屑锆石时代及晚泥盆世侵入岩的发现等研究成果推断，阿拉善地块北缘地区在早古生代开始就存在岩浆活动，该地区可能并非是早古生代的稳定被动大陆边缘。

关键词：中亚造山带；阿拉善地块北缘；早古生代；侵入体；LA-ICP-MS U-Pb

中亚造山带（CAOB），是世界上著名的增生型造山带，也是显生宙陆壳生长最显著的地区之一（Sengör et al.，1993；Jahn Bor-ming et al.，2000；Windley et al.，2007）。中亚造山带西起乌拉尔山，向东延伸，直抵俄罗斯远东地区的鄂霍次克海，并且将北部的西伯利亚克拉通和南部的塔里木克拉通、华北克拉通分隔（图 1a，Zonenshain et al.，1990；Mossakovsky et al.，1994；Jahn Bor-ming et al.，2000；Badarch et al.，2002）。已有研究表明，中亚造山带是通过一系列的前寒武纪微陆块、蛇绿混杂岩带、岛弧、陆缘弧、增生杂岩、洋岛以及被动大陆边缘沉积物聚合而成，记录了古亚洲洋长达数亿年的演化历史，反映出极为复杂的俯冲增生过程（Windley et al.，2007；Han Baofu et al.，2011；Xiao Wenjiao et al.，2009，2013），显生宙以来，亏损地幔年轻物质的加入也使得中亚造山带在垂向上发生了大规模的陆壳生长（Hong Dawei et al.，2003；Jahn Bor-ming，2004）。另外，中亚造山带演化过程中也伴随着大规模的成矿作用，并形成了数量很多的世界级储量的金矿、银矿、铜镍矿和铅锌矿等。

阿拉善地块北缘地区位于阿拉善地块以北直至中蒙边界地区，西部被巴丹吉林沙漠所覆盖，向东可与兴蒙造山带相连（Wu Tairan et al.，1993；Zheng Rongguo et al.，2014）。阿拉善地区位于中亚造山带南缘的中段，连接了中亚造山带南缘东、西部的构造单元，是研究中亚造山带古生代构造演化的关键位置（图 1a）。近年来，围绕阿拉善地块北缘地区古生代的构造演化这一科学命题，很多学者开展了相应的研究工作，特别是针对古生代期间的岩浆活动

本文为国家自然科学基金项目（批准号：41502214，41372225），中国地质科学院地质研究所基本科研业务费（编号：J1522），支持“率先行动”中国博士后科学基金会与中国科学院联合资助优秀博士后项目（资助编号：2015LH0049），中国博士后基金面上基金（资助编号：2016M590990）和中国地质调查项目（编号：12120115069301 和 DD20160201-01）资助的成果。

收稿日期：2016-03-15；改回日期：2016-06-23；责任编辑：黄敏。

作者简介：郑荣国，男，1987 生。博士，助理研究员。构造地质学专业。通讯地址：100037，中国地质科学院地质研究所；Email：rgzheng@163.com。

积累了大量的高精度的年代学资料(图 1b)。统计归纳阿拉善地块北缘地区的年代学数据可以发现,该地区的岩浆活动时代集中在晚古生代期间,特别是二叠期间(图 1 b 和 c),尚没有早古生代岩浆活动的报道。相邻的北山造山带以及华北板块北缘地区都发育有相当规模的早古生代岩浆作用,由于缺失早古生代岩浆活动,使得阿拉善地块北缘地区与东、西部相邻构造单元的对比连接存在问题(Zheng Rongguo, 2014)。另外,由于缺乏早古生代岩体作为研究对象,使得阿拉善地块北缘地区早古生代的

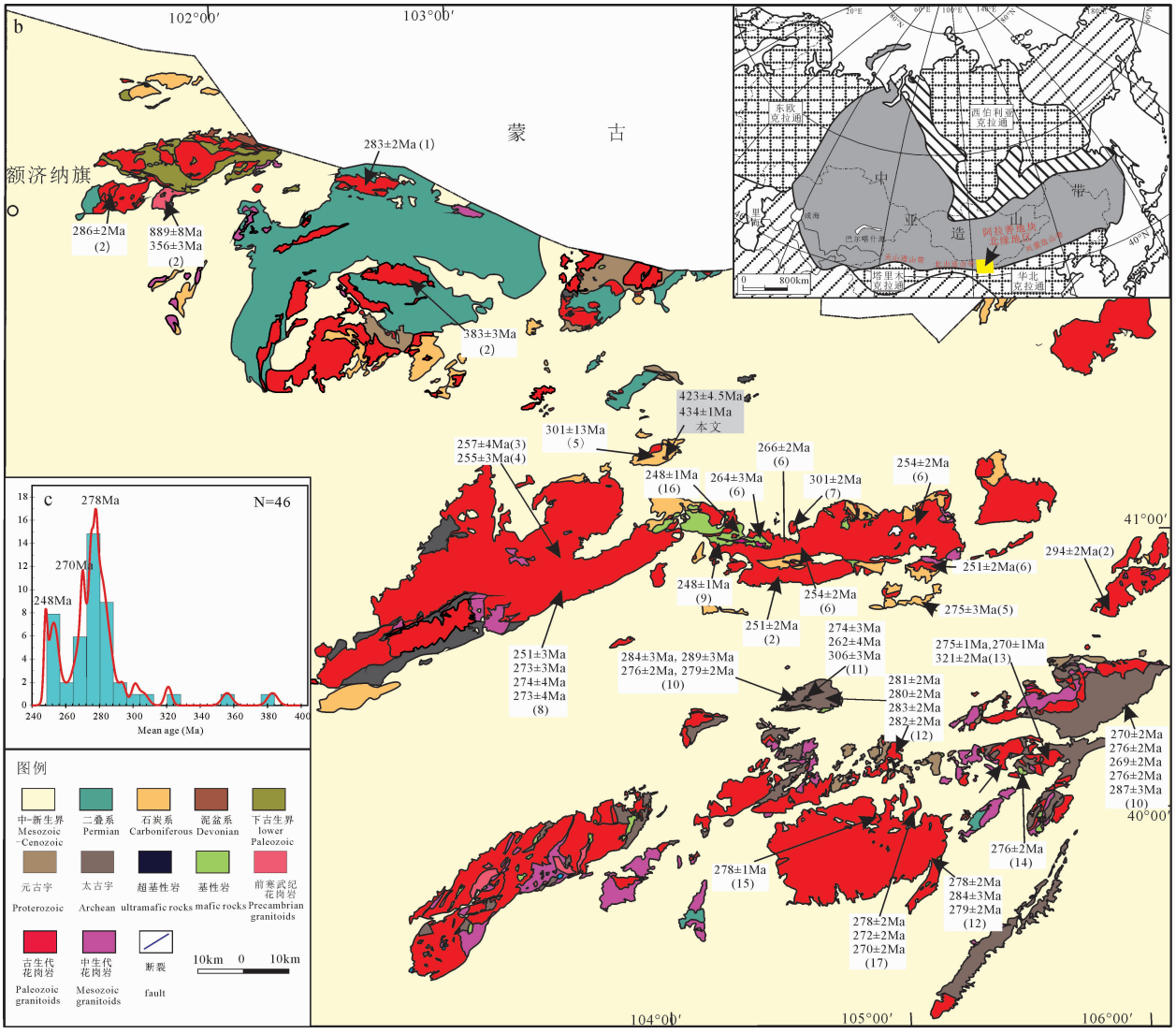

图 1a 中亚造山带地质简图(据 Sengör et. 1993; Jahn et al., 2000);图 1b 阿拉善地块北缘地区地质图;图 1c 阿拉善地块北缘地区古生代岩浆岩类年代学概率图;图中所引用的参考文献:(1) Zheng Rongguo et al., 2013; (2) Zhang Wen, 2013; (3) Liu Zhibo et al., 2014; (4) Ran Hao et al., 2012; (5) Zheng Rongguo et al., 2014;(6) Shi Xingjun et al., 2014;(7) Yang Qidi et al., 2014; (8) Wu Kanglin, 2011; (9) Wang Xingjun, 2012; (10) Geng Yuansheng et al., 2012; (11) Feng Jianyun et al., 2013; (12) Dan Wei et al., 2014; (13) Shi Xingjun et al., 2012; (14) Zhang Lei et al., 2013; (15) Li Jie, 2012; (16) Xu Dongzhuo et al., 2014; (17) Dan Wei et al., 2015

Fig. 1a Geological sketch map of the Central Asian Orogenic Bel (modified after Sengör et al., 1993; Jahn et al., 2000). Fig. 1b Geological map of the northern margin of Alxa block; Fig. 1c Relative probability plots of zircon U-Pb ages from Paleozoic magmatic rocks in the northern margin of Alxa block. Age data are from references: (1) Zheng Rongguo et al., 2013; (2) Zhang Wen, 2013; (3) Liu Zhibo et al., 2014; (4) Ran Hao et al., 2011; (5) Zheng Rongguo et al., 2014;(6) Shi Xingjun et al., 2014;(7) Yang Qidi et al., 2014; (8) Wu Kanglin, 2011; (9) Wang Xingjun, 2012; (10) Geng Yuansheng et al., 2012; (11) Feng Jianyun et al., 2013; (12) Dan Wei et al., 2014; (13) Shi Xingjun et al., 2012; (14) Zhang Lei et al., 2013; (15) Li Jie, 2012; (16) Xu Dongzhuo et al., 2014; (17) Dan Wei et al., 2015

构造环境等问题不能得到充分的研究。因此,阿拉善地块北缘地区是否存在早古生代的岩浆活动对于认识该地区古生代的构造演化及中亚造山带南缘东西构造单元的对比连接都具有重要的意义。

1　地质背景与岩体特征

阿拉善地块北缘地区位于阿拉善地块以北至中蒙国境线,巴彦乌拉山—狼山断裂带以西的地区,向西与北山造山带相连,两者之间被巴丹吉林沙漠覆盖。恩格尔乌苏地区位于阿拉善北缘地区的中部,该地区出露有蛇绿混杂岩,被称之为恩格尔乌苏蛇绿岩。该蛇绿岩以巨大的混杂带形式产出,混杂带内不同地质体及地层关系完全遭到构造破坏,破坏程度向北呈减弱趋势。混杂带总体上由一系列向南倾斜,或向北逆冲推覆的叠瓦状构造岩片组成,构造岩片倾角一般在 20°～30°之间,劈理也主要向南倾,倾角在 32°～45°之间或更大。混杂带基质主要是由粉砂岩、杂砂岩、砂岩、砂质凝灰岩和凝灰岩组成,大都遭受了不同程度的构造变形。构造块体主要是蛇绿岩套的组成单元,包括超镁铁质岩、辉长岩、玄武岩、硅质岩和铁碧玉岩等。超镁铁岩分布较为广泛,大都发生碳酸盐岩化、硅化,常呈正地形出露于断裂带中。辉长岩较少,且分布于主断裂带以南,主要为角闪辉长岩,具辉长结构。玄武岩分布广泛,具有块状构造和枕状构造。枕状熔岩的 SHRIMP U-Pb 年龄为 302±14Ma,并表现出类似正常型大洋中脊玄武岩(N-MORB)的地球化学特征(Zheng Rongguo et al., 2014)。恩格尔乌苏地区出露有面积较大的阿木山组地层,根据䗴类和珊瑚化石特征,可以确定阿木山组的地质时代为晚石炭世至早二叠世(Bu Jianjun et al., 2012)。该地区的阿木山组以海底火山喷发物和浅海碎屑岩为主,反映了不稳定的沉积环境,岩石组成主要为英安质—流纹质凝灰岩、凝灰熔岩、凝灰质砂岩、变砂岩、砾岩、硅质结晶灰岩和白云石大理岩等。靠近混杂岩带的阿木山组大多强烈变形,成为混杂岩带的基质。

本次研究通过野外地质调查与遥感图像解译的方式,对恩格尔乌苏岩体进行了大比例尺的填图(图 2)。恩格尔乌苏岩体侵位于混杂岩带中,岩体北侧与阿木山组凝灰岩类呈断层接触,岩体东部边界则被阿木山组碎屑岩覆盖,无法确定两者之间的接触关系。岩体整体呈现椭圆状,深绿色,变形较强烈。样品 15AL31-3 和 15AL31-5 的矿物组成类似,主要是由石英,斜长石,黑云母等组成(图 3),另外还含有少量白云母,锆石,绿帘石等矿物,将其定名为黑云母花岗岩。

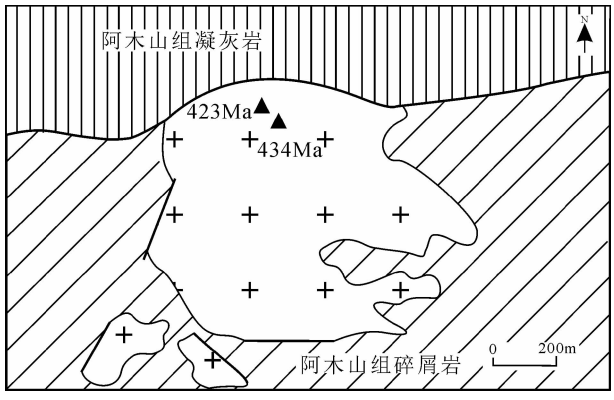

图 2　阿拉善地块北缘恩格尔乌苏岩体出露情况图

Fig. 2　The distribution map of Enger Us pluton in the northern margin of the Alxa block

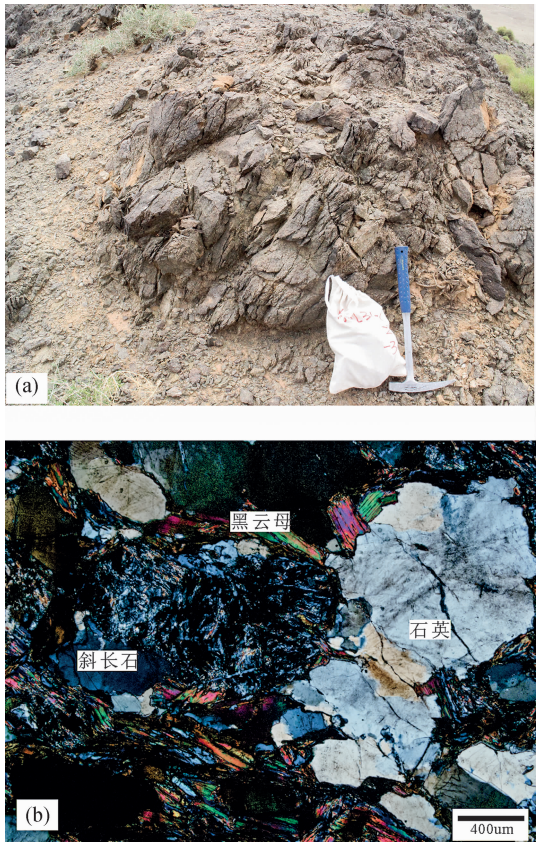

图 3　阿拉善地块北缘恩格尔乌苏岩体野外露头(a)及镜下显微照片(b)

Fig. 3　Field photo (a) and photomicrograph (b) of the nger Us pluton in the northern margin of the Alxa block

2　年代学测试方法

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试在吉林大学大学东北亚矿产资源评价国土资源部重点实验室

完成。激光剥蚀使用德国相干公司(Coherent)COMPExPro 型 ArF 准分子激光器,质谱仪为美国安捷伦公司 7900 型四极杆等离子质谱。激光条件为:激光束斑直径 32 μm,激光能量密度 10J/cm^2,剥蚀频率 8Hz。剥蚀样品前首先采集 30s 的空白,随后进行 30 秒的样品剥蚀,剥蚀完成后进行 2 分钟的样品池冲洗。载气使用高纯度 He 气,气流量为 600mL/min;辅助气为 Ar 气,气流量为 1.15L/min。对于不用同位素的采集时间,^{204}Pb、^{206}Pb、^{207}Pb和 ^{208}Pb 为 20ms,^{232}Th、^{238}U 为 15ms,^{49}Ti 为 20ms,其余元素为 6ms。使用标准锆石 91500(1062Ma)作为外标进行同位素比值校正,标准锆石 PLE/GJ-1/Qing Hu 为监控盲样。元素含量以国际标样 NIST610 为外标,Si 为内标元素进行计算,NIST612 和 NIST614 为监控盲样。使用 Glitter 软件进行同位素比值及元素含量的计算。谐和年龄及图像使用 Isoplot/Ex(3.0)给出(Ludwig, 2003)。普通铅校正使用 Anderson(2002)给出的程序计算。分析数据及锆石 U-Pb 谐和图给出误差为 1σ,表示 95%的置信度。

3 年代学测试结果

样品 15AL31-3 中的锆石为自形、透明、长柱状,锆石长宽比为 1∶2—1∶3,锆石普遍发育良好的岩浆震荡环带(图 a—d),部分锆石具有变质增生边。本次共测试了 26 个测点,测试结果表明锆石具有较高的 Th(92.3×10^{-6}～476×10^{-6})、U(182×10^{-6}～1525×10^{-6})含量,且其 Th/U 比值(0.11～1.09)较大。另外,所有锆石的稀土元素配分曲线显示出明显的 Ce 正异常、Eu 负异常以及重稀土富集的特点(图 5),为典型岩浆锆石的特征。该样品中含有 5 个继承性锆石,^{206}Pb/^{238}U 年龄分别为 1570Ma,1941Ma, 954Ma,912Ma 和 914Ma。其余 21 个测点的年龄值较为谐和一致,^{206}Pb/^{238}U 年龄值较集中(415～427 Ma),其加权平均年龄为 423±4.5 Ma(图 5),代表了其形成年龄。

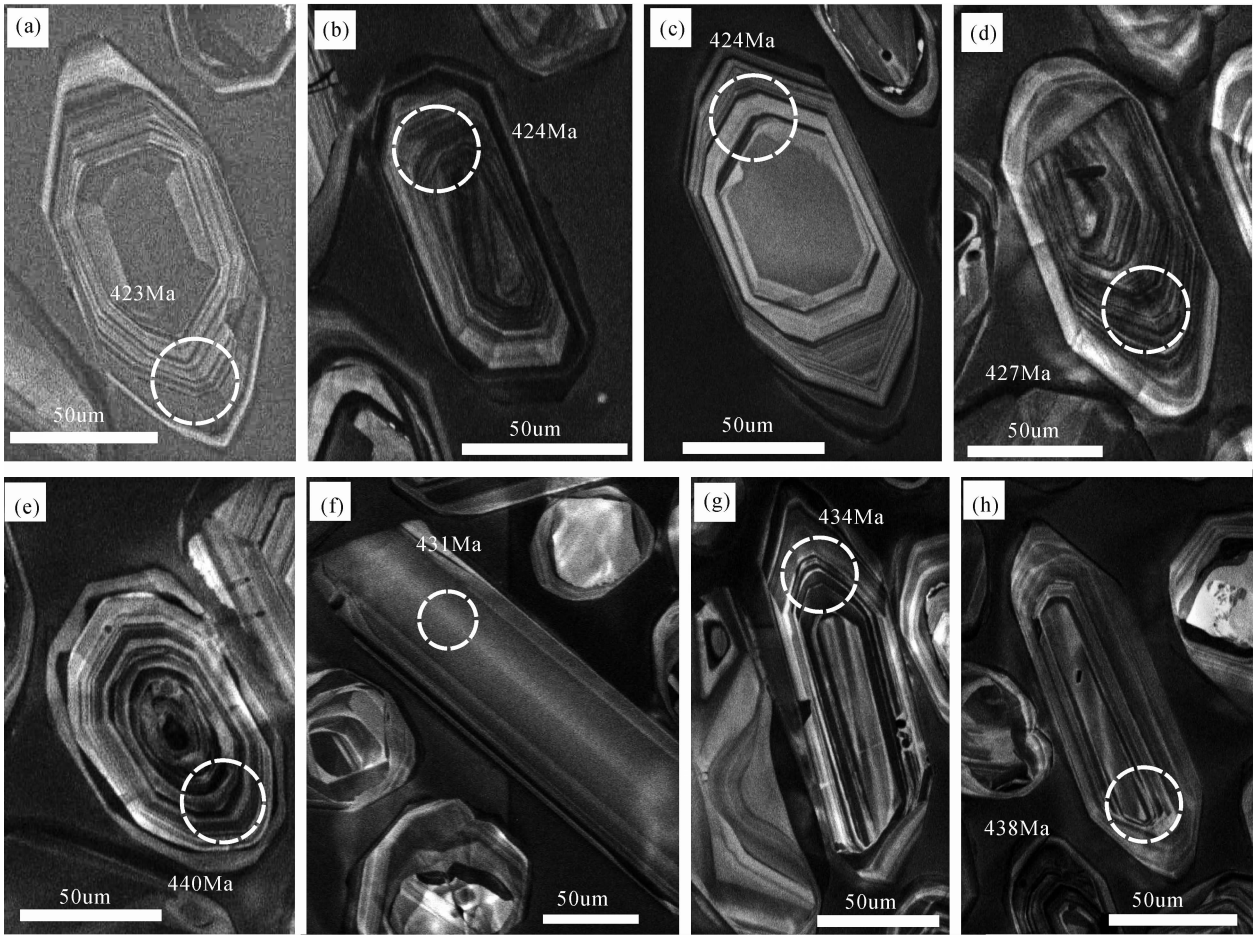

图 4 阿拉善地块北缘恩格尔乌苏岩体代表性锆石 CL 图像,显示年代学测试点及^{206}Pb/^{238}U 年龄

Fig. 4 Representive cathodoluminescence (CL) images of zircons from the Enger Us pluton in the northern margin of the Alxa block, showing U-Pb analysis points and ^{206}Pb/^{238}U ages

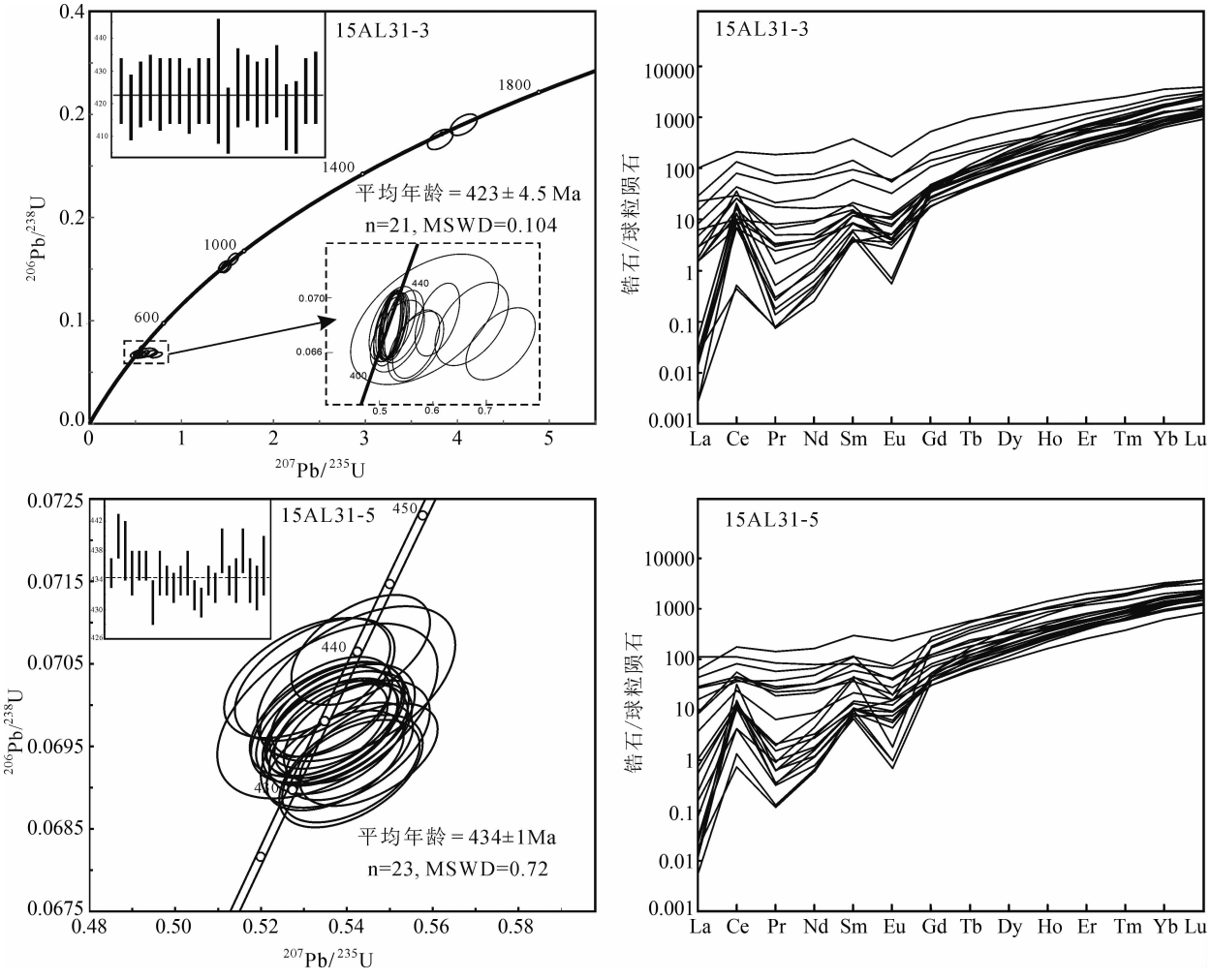

图 5　阿拉善地块北缘恩格尔乌苏岩体锆石 U-Pb 谐和图及球粒陨石标准化稀土元素配分模式图

Fig. 5　Zircon U-Pb dating concordia diagrams and Chondrite-normalized rare earth element patterns of the Enger Us pluton in the northern margin of the Alxa block

样品 15AL31-5 中锆石为自形、透明、长柱状，长轴为 80～300μm，短轴为 30～50μm，大部分锆石具有岩浆振荡环带(图 e，g，h)，部分锆石长短轴比值较大，岩浆震荡环带不明显(图 f)。23 个测点所得的 Th(31.7×10^{-6}～709×10^{-6})和 U(126×10^{-6}～1440×10^{-6})含量较高，Th/U 比值(0.10～0.88)较大，具有典型岩浆锆石的特征。另外，所有锆石的稀土元素配分曲线显示出明显的 Ce 正异常、Eu 负异常以及重稀土富集的特点(图)，为典型岩浆锆石的特征。所有测点的年龄值较为谐和、一致，$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值较集中(431～440Ma)，其加权平均年龄为 434±1Ma，代表了其该岩体的形成年龄(图 5)。

4　讨论

恩格尔乌苏岩体中的锆石为自形、透明、长柱状，具有良好的岩浆震荡环带，同时具有较高的 Th、U 含量和较大的 Th/U 比值，并且所有锆石的稀土元素配分曲线显示出明显的 Ce 正异常、Eu 负异常以及重稀土富集的特点，这些特征都表明了恩格尔乌苏岩体所测试的锆石为典型的岩浆锆石，LA-ICP MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 423±4.5 Ma 和 434±1Ma，这表明恩格尔乌苏岩体形成于志留纪期间。

恩格尔乌苏志留纪代侵入岩的发现，对于认识恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带的形成过程具有重要意义。恩格尔乌苏蛇绿岩带是阿拉善地块北缘地区一条重要的蛇绿岩带，被认为是中亚造山带与华北克拉通的最终缝合线(Wu Tairan et al.，1992)，或者塔里木板块与华北板块的缝合带(Wang Tingyin et al.，1993)。近年来的年代学测试和古生物资料表明恩格乌苏蛇绿岩形成于晚石炭世—二叠纪期间。通过恩格尔乌苏混杂带中 MORB 型玄武岩的 SHRIMP

表 1　恩格尔乌苏岩体锆石 LA-ICP MS U-Pb 年代学测试数据

Table 1　Zircon LA-ICP MS U-Pb analytical data of Enger Us pluton

Spots	^{238}U ($\times10^{-6}$)	^{232}Th ($\times10^{-6}$)	$^{232}Th/^{238}U$	比值						年龄/Ma					
				$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$		$^{207}Pb^*/^{235}U$		$^{206}Pb^*/^{238}U$		$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$		$^{207}Pb^*/^{235}U$		$^{206}Pb^*/^{238}U$	
				比值	±%	比值	±%	比值	±%	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ
恩格尔乌苏岩体（15AL31-3）															
1	312.17	214.79	0.69	0.05605	0.00166	0.52502	0.01665	0.06792	0.00163	454	33	428	11	424	10
2	490.48	153.04	0.31	0.0576	0.00389	0.53376	0.03336	0.0672	0.00173	515	153	434	22	419	10
3	539.59	308.62	0.57	0.05549	0.00136	0.5192	0.01412	0.06784	0.00161	432	27	425	9	423	10
4	368.9	403.65	1.09	0.10028	0.00206	3.81428	0.09114	0.2758	0.00648	1629	20	1596	19	1570	33
5	292.12	120.57	0.41	0.06956	0.00163	1.4616	0.03846	0.15235	0.00361	915	24	915	16	914	20
6	850.7	92.27	0.11	0.05559	0.00118	0.52211	0.01275	0.06811	0.0016	436	24	427	9	425	10
7	395.47	217.8	0.55	0.05792	0.00282	0.54239	0.02671	0.0679	0.00175	527	64	440	18	423	11
8	542.94	196.44	0.36	0.10174	0.00208	4.06906	0.09659	0.28999	0.00682	1656	20	1648	19	1641	34
9	375.48	105.09	0.28	0.0554	0.0013	0.51906	0.01362	0.06794	0.00161	428	26	425	9	424	10
10	377.35	134.76	0.36	0.05575	0.00134	0.52267	0.01397	0.06798	0.00161	442	27	427	9	424	10
11	291.47	188.1	0.65	0.05581	0.00211	0.51992	0.02029	0.06755	0.00167	445	45	425	14	421	10
12	425.63	69.48	0.16	0.0569	0.0015	0.53287	0.01531	0.06791	0.00162	488	29	434	10	424	10
13	195.95	94.85	0.48	0.05543	0.00177	0.51996	0.01753	0.06802	0.00165	430	36	425	12	424	10
14	1525.15	584.2	0.38	0.06194	0.0099	0.58456	0.09121	0.06843	0.00315	672	261	467	58	427	19
15	551.8	337.01	0.61	0.06204	0.00407	0.56847	0.03436	0.06645	0.00169	676	144	457	22	415	10
16	182.37	198.54	1.09	0.07092	0.00154	1.56088	0.03864	0.15959	0.00378	955	23	955	15	954	21
17	1350.25	180.72	0.13	0.07166	0.00489	0.67293	0.04534	0.06809	0.00201	976	89	522	28	425	12
18	429.06	249.72	0.58	0.05595	0.00127	0.52587	0.01341	0.06815	0.00162	450	25	429	9	425	10
19	454.06	137.93	0.30	0.0557	0.00219	0.52149	0.02107	0.06789	0.00169	440	48	426	14	423	10
20	442.81	134.65	0.30	0.05608	0.00122	0.52632	0.01307	0.06805	0.00161	456	25	429	9	424	10
21	235.92	139.75	0.59	0.06451	0.00287	0.60855	0.02745	0.06841	0.00176	758	53	483	17	427	11
22	554.34	247.81	0.45	0.06191	0.00352	0.56868	0.0291	0.06662	0.00165	671	125	457	19	416	10
23	356.72	178.61	0.50	0.07088	0.00156	1.48621	0.03702	0.15205	0.00361	954	23	925	15	912	20
24	572.66	476.81	0.83	0.0791	0.00509	0.7268	0.04276	0.06664	0.00174	1175	131	555	25	416	11
25	347.89	119.44	0.34	0.05553	0.00122	0.52022	0.01296	0.06794	0.00161	434	25	425	9	424	10
26	354.3	126.63	0.36	0.05591	0.00309	0.52492	0.02902	0.06808	0.00182	449	76	428	19	425	11
平均年龄：423±4.5 Ma															
恩格尔乌苏岩体（15AL31-5）															
1	393.54	175.97	0.45	0.05581	0.00108	0.53739	0.01016	0.06982	0.00039	445	32	437	7	435	2
2	451.21	179.8	0.40	0.05573	0.00112	0.54322	0.01067	0.07067	0.00044	442	33	441	7	440	3
3	284.67	174.43	0.61	0.05595	0.00162	0.54218	0.01524	0.07026	0.00062	450	47	440	10	438	4
4	280.52	171.45	0.61	0.05584	0.0013	0.53735	0.01221	0.06977	0.00048	446	38	437	8	435	3
5	584.66	238.06	0.41	0.05562	0.00097	0.53627	0.00915	0.06992	0.00036	437	29	436	6	436	2
6	319.98	97.53	0.30	0.05545	0.00108	0.53517	0.01017	0.06998	0.0004	430	32	435	7	436	2

续表 1

Spots	^{238}U ($\times10^{-6}$)	^{232}Th ($\times10^{-6}$)	$^{232}Th/^{238}U$	比值						年龄/Ma					
				$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$		$^{207}Pb^*/^{235}U$		$^{206}Pb^*/^{238}U$		$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$		$^{207}Pb^*/^{235}U$		$^{206}Pb^*/^{238}U$	
				比值	±%	比值	±%	比值	±%	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ
7	1440.46	709.55	0.49	0.05668	0.00119	0.54096	0.01103	0.0692	0.00045	479	33	439	7	431	3
8	142.73	111.04	0.78	0.05565	0.00126	0.53559	0.01183	0.06979	0.00048	438	37	436	8	435	3
9	413.58	231.77	0.56	0.05592	0.00102	0.53761	0.00956	0.06971	0.00039	449	29	437	6	434	2
10	157.61	66.22	0.42	0.05645	0.00105	0.54057	0.00978	0.06944	0.00039	470	30	439	6	433	2
11	317.65	31.72	0.10	0.05566	0.001	0.5352	0.00944	0.06972	0.00038	439	29	435	6	434	2
12	705.21	621.18	0.88	0.05558	0.00125	0.53523	0.01178	0.06983	0.00046	436	37	435	8	435	3
13	307.83	150.27	0.49	0.05619	0.00113	0.53726	0.01055	0.06933	0.0004	460	33	437	7	432	2
14	162.85	90.04	0.55	0.05669	0.00113	0.54095	0.01057	0.0692	0.00041	479	33	439	7	431	2
15	195.36	133.71	0.68	0.05624	0.00105	0.54024	0.00986	0.06966	0.0004	462	30	439	7	434	2
16	763.45	536.74	0.70	0.05695	0.00114	0.54505	0.01063	0.0694	0.00041	490	33	442	7	433	2
17	421.98	204.71	0.49	0.05492	0.0013	0.53252	0.01229	0.07031	0.00049	409	39	433	8	438	3
18	516.03	78.99	0.15	0.0558	0.00107	0.53654	0.01008	0.06972	0.0004	444	32	436	7	434	2
19	575.66	57.62	0.10	0.0559	0.0012	0.53739	0.01126	0.06972	0.00046	448	35	437	7	434	3
20	397.68	155.94	0.39	0.05472	0.00135	0.53076	0.01278	0.07033	0.00048	401	42	432	8	438	3
21	214.25	139.15	0.65	0.05607	0.00114	0.53806	0.01066	0.06959	0.00044	455	33	437	7	434	3
22	866.8	142.22	0.16	0.05628	0.00139	0.53965	0.013	0.06953	0.00051	463	40	438	9	433	3
23	125.53	62.54	0.50	0.05553	0.00181	0.53548	0.01695	0.06993	0.0007	434	53	435	11	436	4

平均年龄:434±1 Ma

表 2　恩格尔乌苏侵入岩锆石稀土元素含量($\times10^6$)

Table 2　Zircon rare earth element compositions of Enger Us pluton ($\times10^6$)

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
15AL31-3														
1	0.527	28.62	0.164	1.68	2.35	0.817	10.43	3.38	39.12	15.32	74.88	17.2	181.17	39.53
2	0.454	12.91	0.397	2.46	2.76	0.755	11.01	4.02	53.57	22.94	123.63	31.47	364.56	85.39
3	0.0139	16.5	0.0623	0.957	2.31	0.544	12.45	4.83	63.85	27.59	141.83	33.68	352.99	76.47
4	0.0549	48.69	0.169	3.03	5.48	1.579	28.39	10.36	128.87	52.05	250.43	56.11	569.01	116.37
5	0.601	8.16	0.654	7.09	9.79	1.114	42.33	14.95	170.91	60.41	253.52	50.97	461.4	84.01
6	1.916	8.2	1.001	5.74	3.02	0.313	11.26	4.23	49.59	17.84	80.82	17.49	175.13	35.71
7	0.0074	0.351	0.0096	0.228	0.892	0.0405	8.68	4.67	70.13	30.69	155.11	36.71	380.08	76.02
8	0.0045	14.19	0.0373	0.984	2.42	0.136	13.1	5.03	62.99	24.87	114.68	24.88	244.9	48.24
9	0.0008	7.41	0.0089	0.154	0.756	0.195	4.51	2.054	27.52	11.46	58.27	14.03	155.81	34.07
10	0.0046	7.94	0.0217	0.375	0.77	0.267	4.69	1.898	24.53	10.12	52.44	13.02	145.95	33.01
11	0.00082	0.42	0.0092	0.274	1.129	0.051	10.18	5.65	85.7	38.25	195.7	45.06	457.15	90.44
12	0.465	5.53	0.302	2.03	1.7	0.289	7.19	2.81	34.74	14.02	69.71	16.26	174.63	37.77
13	0.005	15.21	0.0166	0.303	0.699	0.375	4.68	1.925	25.86	11.24	60.7	14.96	171.54	39.56

续表 2

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
14	31.6	169.74	22.8	121.83	74.41	12.29	135.71	44.08	412.9	113.19	428.35	83.95	750.58	126.59
15	2.545	35.55	2.592	15.81	11.74	2.406	27.78	9.13	95.03	31.94	140.69	31.88	330.68	72.05
16	0.0923	7.76	0.127	1.91	4.24	0.198	20.44	7.27	81.9	30.01	125.66	24.45	220.75	40.04
17	8.86	109.27	8.77	46.67	28.14	3.95	50.78	16.92	174.57	57.12	249.39	54.56	542.15	103.83
18	1.432	20.75	0.616	3.05	2.64	0.602	8.86	3.12	37.62	14.79	72.91	17.18	188	41.28
19	0.881	7.42	0.418	2.42	1.65	0.231	5.83	2.033	25.23	9.92	49.7	11.73	132.16	29.41
20	7	23.53	2.115	9.97	3.66	0.301	9.93	3.38	39.1	15.6	76.33	17.58	184.01	39.4
21	0.467	9.88	0.36	2.55	2.81	0.298	12.54	4.9	61.11	24.05	109.65	22.51	210.41	40.8
22	0.861	20.65	0.81	5.2	4.12	0.912	11.88	4.62	56.92	23.06	118.68	29.17	327	72.68
23	2.044	21.21	0.641	3.8	2.65	0.432	12.3	4.32	53.31	21.16	98.85	21.84	220.37	43.78
24	4.61	63.99	6.29	37.05	18.72	4.37	36.81	10.55	108.75	32.57	125.88	25.06	272.03	47.29
25	0.0041	5.49	0.0316	0.683	1.609	0.377	9.4	3.62	48.09	20.48	102.68	23.86	254.03	53.88
26	0.0074	10.55	0.0365	0.566	1.219	0.375	6.76	2.77	36.94	15.68	80.01	18.94	208.5	44.69
15AL31-5														
1	0.1649	10.11	0.1875	1.628	1.965	0.667	7.93	2.942	36.8	15.82	82.47	21.21	250.88	59.38
2	1.117	19.02	0.788	5.3	4.17	1.176	13.29	5.02	61.7	25.36	127.56	30.57	336.31	75.61
3	2.68	45.08	2.323	13.01	8.43	2.007	21.22	6.93	78.7	28.32	125.52	27.54	270.27	51.65
4	0.0039	25.93	0.0758	1.771	2.82	0.913	13.66	4.6	55.42	21.83	104.51	23.7	247.01	52.9
5	4.89	29.18	4.56	28.77	21.87	5.29	58.97	20.43	218.88	76.38	321.91	66.19	632.79	119.97
6	0.2238	9.39	0.25	1.933	2.585	0.686	9.76	3.63	46.79	19.59	97.7	23.69	258.81	57.55
7	33.83	226.48	40.35	250.63	184.33	56.87	350.97	111.64	1011.03	259.94	889.47	164.23	1433.17	223.59
8	0.00345	10.62	0.0737	1.004	1.912	1.099	9.75	3.5	43.58	18	88.03	20.88	233.78	51.74
9	2.479	35.27	3.12	19.68	16	4.91	31.64	11.15	106.83	32.24	131.05	28.85	293.56	57.1
10	40.57	86.42	9.78	39.68	10.65	0.429	25.59	8.7	103.81	40.32	181.98	37.65	349.52	65.28
11	0.0054	0.593	0.0139	0.351	1.489	0.0702	13.99	8	123.66	54.5	275.09	63.54	622.87	119.36
12	13.37	65.26	6.87	39.61	22.25	1.428	71.12	25.04	285.22	101.68	415.69	79.06	685.81	120.93
13	0.0067	12.49	0.0411	0.956	2.069	0.449	11.17	4.27	51.06	20.48	94.13	20.5	204.94	40.89
14	0.319	11.07	0.1159	1.078	1.957	0.401	9.83	3.66	45.39	18.42	86.81	19.04	189.33	38.68
15	0.0089	3.32	0.1117	2.69	7.83	0.1331	47.64	17.55	208.02	77.5	324.81	63.55	566.51	101.6
16	18.74	138.78	17	97.44	58.47	17.2	93.85	27.29	251.83	71.57	274.71	58.81	604.01	119.15
17	8.73	36.43	3.52	19.36	11.68	3.08	31.76	10.34	112.89	39.14	171.56	36.42	363.44	72.09
18	0.0465	3.37	0.039	0.472	1.297	0.0507	9.73	4.53	62.55	26.51	126.54	28.34	277.87	52.53
19	0.00168	1.063	0.0155	0.392	1.864	0.0714	13.82	6.61	89.58	35.89	165.9	35.98	348.68	67.37
20	34.52	88.24	10.2	46.22	16.02	2.89	29.04	8.49	86.56	29.86	127.46	26.36	249.21	48.01
21	8.34	31.62	2.68	14.91	6.98	1.468	18.23	5.79	64.75	24.79	115.77	25.92	268.73	56.17
22	0.0718	9.82	0.0782	0.721	1.619	0.315	12.11	5.6	78.15	31.45	148.88	33.32	333.58	64.53
23	0.0084	8.66	0.0426	0.7	1.454	0.561	7.79	2.696	30.87	11.61	54.04	12.1	126.08	26.76

U-Pb 年代学测试发现恩格尔乌苏蛇绿混杂岩代表的古大洋在石炭纪末期仍存在(302Ma,Zheng Rongguo et al., 2014)。另外,采自恩格尔乌苏缝合带的蛇绿混杂岩硅质外来岩块中的二叠纪阿尔拜虫目放射虫化石的地质时代为中二叠世晚期—晚二叠世早期,因此,华北板块与塔里木板块之间自中二叠世晚期—晚二叠世早期曾经存在古洋盆(Xie Li et al., 2014)。也有学者提出恩格尔乌苏蛇绿岩形成的时代可能更早,相关研究指出,恩格尔乌苏蛇绿岩分属 SSZ 型和 MORB 型两种类型,形成于多期岩浆-构造过程,并推断其活动时代在早古生代到晚古生代早期已经开始(Wang Jinrong et al., 1995)。Chen Gaochao et al.(2011)通过恩格尔乌苏蛇绿岩带以北好比如地区白山组地层碎屑锆石的研究认为,恩格尔乌苏混杂带在加里东期已经开始活动。本次研究发现恩格尔乌苏侵入岩形成于志留纪(423Ma 和 434Ma),表明了恩格尔乌苏混杂带存在早古生代的岩浆活动,可能与蛇绿岩的形成过程相关,需要进一步开展相应工作。

恩格尔乌苏志留纪侵入岩的发现,为认识阿拉善地块北缘地区早古生代构造环境提供了重要证据。阿拉善地块北缘地区侵入岩类的时代主要为晚古生代,集中在二叠纪前后,尚没有早古生代的侵入岩类的报道。早古生代的地层主要分布在恩格尔乌苏蛇绿岩带以北的地区,特别是珠斯楞—杭乌拉一带发育了连续沉积的早古生代地层。该地区发育了从寒武系到志留系连续沉积的浅海相碎屑岩建造,以碎屑岩为主,无火山活动,无沉积间断,因此相关研究认为该地区在早古生代应属被动大陆边缘,岩浆活动自石炭纪开始,被动陆缘转化为活动陆缘(Wu Tairan et al., 1993)。然而,近年来的研究发现,阿拉善地块北缘地区在石炭纪之前已经开始出现岩浆活动。Chen Gaochao et al.(2011)在好比如一带白山组碎屑锆石中获得的锆石年龄最大值为 506Ma,最小年龄为 412Ma,多数年龄集中在 443~466Ma 之间,相当于中晚奥陶世。Zhang Wen(2013)在杭乌拉以北地区也发现了晚泥盆世的花岗岩类(383Ma,图 1b)。结合本次研究发现的志留纪侵入岩可以发现,阿拉善地块北缘地区在早古生代开始已经发生多期岩浆活动,并非稳定的被动大陆边缘。

恩格尔乌苏早古生代侵入岩的发现有助于阿拉善地块北缘地区与相邻构造单元的对比连接。阿拉善地块北缘地区向西与北山造山带相邻,多数研究认为两者的构造单元可以进行对比连接(Wang Tingyin et al., 1993;Wu Tairan et al., 1993;Zuo Guochao et al., 2003)。北山造山带发育了强烈早古生代的岩浆作用(Zheng Rongguo et al., 2014;Zheng Rongguo, 2014),而阿拉善地块北缘地区一直缺乏早古生代岩浆活动高精度年代学资料,两者在岩浆活动时代上存在差异性。通过本次研究发现,阿拉善地块北缘地区存在早古生代岩浆活动,为进一步开展中亚造山带南缘不同构造单元的对比连接提供了新的证据。

5　结论

恩格尔乌苏岩体侵位于恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带中,岩性为黑云母花岗岩。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学测试结果表明其年龄为 423±4.5 Ma 和 434±1Ma,说明该侵入岩形成于志留纪期间,是阿拉善地块北缘地区最早发现的早古生代侵入体。该志留纪岩体的发现,表明恩格尔乌苏混杂岩带志留纪期间已经出现岩浆活动,具有多期活动的特征。结合相关研究发现阿拉善地块北缘地区早古生代期间存在岩浆活动,可能并非稳定的被动大陆边缘。

致谢:感谢郑培玺,张义平,张北航和赵衡在年代学测试中的帮助。

References

Andersen T, 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report Pb-204. Chemical Geology 192: 59~79.

Badarch G, Cunningham W D, Windley B F, 2002. A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia. Journal of Asian Earth Sciences, 21: 87~110.

Bu Jianjun, Niu Zhijun, Wu Jun, Duan Xianfeng. 2012. Sedimentary characteristics and age of Amushan Formation in Ejin Banner and its adjacent areas, western Inner Mongolia. Geological Bulletin of China, 31(10):1669~1683(in Chinese with English abstract).

Chen Gaochao, Wei Xianxiang, Wu Kanglin, Li Jinchao. 2011. Clastic zircon dating of Lower Carboniferous Baishan Formation in Alxa Right Banner of western Inner Mongolia and its significance. Geological Bulletin of China, 30(6):955~961 (in Chinese with English abstract).

Dan Wei, Li Xianhua, Wang Qiang, Tang Gongjian, Liu Ying. 2014. An Early Permian (ca. 280 Ma) silicic igneous province in the Alxa Block, NW China: A magmatic flare-up triggered by a mantle-plume? Lithos 204, 144~158.

Dan Wei, Wang Qiang, Wang Xuance, Liu Ying, Wyman D A, Liu Yongsheng. 2015. Overlapping Sr-Nd-Hf-O isotopic

compositions in Permian mafic enclaves and host granitoids in Alxa Block, NW China: Evidence for crust-mantle interaction and implications for the generation of silicic igneous provinces. Lithos 230, 133～145.

Feng Jianyun, Xiao Wenjiao, Windley B, Han Chunming, Wan Bo, Zhang Ji'en, Ao Songjian, Zhang Zhiyong, Lin Li'na. 2013. Field geology, geochronology and geochemistry of mafic-ultramafic rocks from Alxa, China: Implications for Late Permian accretionary tectonics in the southern Altaids. Journal of Asian Earth Sciences 78, 114～142.

Geng Yuansheng, Zhou Xiwen. 2012. Early Permian magmatic events in the Alxa metamorphic basement: Evidence from geochronology. Acta Petrologica Sinica, 28(9): 2667～2685(in Chinese with English abstract).

Han Baofu, He Guoqi, Wang Xuechao, Guo Zhaojie. 2011. Late Carboniferous collision between the Tarim and Kazakhstan-Yili terranes in the western segment of the South Tian Shan Orogen, Central Asia, and implications for the Northern Xinjiang, western China. Earth-Science Reviews, 109: 74～93.

Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, Zhang Jisheng, Wang Tao. 2003. Correlation between continental crustal growth and supercontinental cycle: evidence from the granites with positiveε_{Nd} in the Central Asian Orogenic Belt. Acta Geologica Sinica,77(2):203～209 (in Chinese with English abstract).

Jahn Bor-ming, Wu Fuyuan, Hong Dawei. 2000. Important crustal growth in the Phanerozoic: Isotopic evidence of granitoids from east-central Asia. Journal of Earth System Science, 109: 5～20.

Jahn Bor-ming, Windley B, Natal'in B, Dobretsov N, 2004. Phanerozoic continental growth in Central Asia. Journal of Asian Earth Sciences 23: 599～603.

Li Jie. 2012. Characteristics and tectonic significance of Late Paleozoic intrusive rocks along the Yabrai-Bayan Noel of Alxa, Inner Mongolia. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1～54 (in Chinese with English abstract).

Liu Zhibo, Zhang Weijie. 2014. Geochemical Characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb Dating of the Late Permian Diorite in Hanggale, Alax Right Banner, Inner Mongolia. Northwest Geology, 47(1):84～95 (in Chinese with English abstract).

Ludwig K R, 2003. User's Manual for Isoplot 3. 00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. BerkeleyGeochronologyCenter, Berkeley, California. Special Publication No. 4a, 70.

Mossakovsky A A, Ruzhentsev S V, Samygin S G, Kheraskova T N, 1994. Central Asian fold belt: geodynamic evolution and history of formation. Geotectonics, 6: 3～33.

Ran Hao, Zhang Weijie, Liu Zhibo. 2012. Geochemical characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Late Permian monzogranite in Hanggale, Alax Right Banner, Inner Mongolia. Geological Bulletin of China, 31(10):1565～1575 (in Chinese with English abstract).

Sengör, A. M. C., Natal'in, B. A., Burtman, V. S., 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. Nature 364: 299～307.

Shi Xinjun. 2012. The Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of granitoid in Qinggele area, northern alax. Beijng: China University of Geosciences (Beijing), 1～67 (in Chinese with English abstract).

Shi Xingjun, Tong Ying, Wang Tao, Zhang Jianjun, Zhang Zhaochong, Zhang Lei, Guo Lei, Zeng Tao, Geng Jianzhen. 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemistry of the Early Permian Halinudeng granite in northern Alxa area, western Inner Mongolia. Geological Bulletin of China, 31(5): 662～670(in Chinese with English abstract).

Shi Xingjun, Wang Tao, Zhang Lei, Castro A, Xiao Xuchang, Tong Ying, Zhang Jianjun, Guo Lei, Yang Qidi. 2014. Timing, petrogenesis and tectonic setting of the Late Paleozoic gabbro-granodiorite-granite intrusions in the Shalazhashan of northern Alxa: Constraints on the southernmost boundary of the Central Asian Orogenic Belt. Lithos 208～209, 158～177.

Wang Jinrong, Song Chunhui, Gao Junping, Wang Shizheng. 1995. The Original mechanism of the Engger Us ophiolitic melange, North China. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 31(2): 140～147 (in Chinese with English abstract).

Wang Tingyin, Wang Jinrong, Liu Jinkun, Wang Shizheng, Wu Jiahong. 1993. Relationships between the North China and Tarim plates. Axta Geologica Sinica, 67(4): 287～300 (in Chinese with English abstract).

Wang Tingyin, Wang Jinrong, Wang Shizheng. 1994. The Formation and Evolution of Paleozoic Continental Crust in Alxa Region. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1～215 (in Chinese with English abstract).

Wang Xingjun. 2012. The geochemical characters and its tectonic implications of ophiolites in Alax area, Inner Mongolia. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1～218(in Chinese with English abstract).

Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, Kr？ ner A, Badarch G, 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. Journal of the Geological Society of London 164: 31～47.

Wu Kanglin. 2011. Geochemical Characteristics and tectonic setting of late Varisian period in Alashan block. Xi'an: Chang'an univerisity, 1～78(in Chinese with English abstract).

Wu Tairan, He Guoqi. 1992. Ophiolitic melange belts in the northern margin og the Alashan block. Geoscience, 6(3):69～78(in Chinese with English abstract).

Wu Tairan, He Guoqi. 1993. Tectonic inits and their fundamental characteristics on the northern margin of the Alxa block. Axta Geologica Sinica, 67(2): 97～108 (in Chinese with English abstract).

Xiao Wenjiao, Windley B F, Huang Baochun, Han Chunmin, Yuan Chao, Chen Honglin, Sun Min, Sun Shu, Li Jiliang. 2009.

End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia. International Journal of Earth Sciences, 98:1189～1217.

Xiao Wenjiao, Windley B F, Allen M B, Han Chunming. 2013. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage. Gondwana Research, 23: 1316～1341.

Xie Li, Yin Haiquan, Zhou Hongrui, Zhang Weijie. 2014. Permian radiolarians from the Engeerwusu suture zone in Alxa area of Inner Mongolia and its geological significance. Geological Bulletin of China, 33(5):691～697 (in Chinese with English abstract).

Xu Dongzhuo, Zhang Weijie, Zhou Haitao, Sun Qikai. 2014. Characteristics, zircon dating and tectonic significance of the gabbros along the north-central segments of the Alxa Block, Inner Mongolia. Geological Bulletin of China, 33(5):661～671 (in Chinese with English abstract).

Yang Qidi, Zhang Lei, Wang Tao, Shi Xingjun, Zhang Jianjun, Tong Ying, Guo Lei, Geng Jianzhen. 2014. Geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Late Carboniferous Shalazhashan pluton on the northern margin of the Alxa Block, Inner Mongolia and their implications. Geological Bulletin of China, 33(6):776～787 (in Chinese with English abstract).

Zhang Lei, Shi Xingjun, Zhang Jianjun, Yang Qidi, Tong Ying, Wang Tao. 2013. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemical characteristics of the Taohaotuoxiquan gabbro in northern Alxa, Inner Mongolia. Geological Bulletin of China, 32(10):1536～1547 (in Chinese with English abstract).

Zhang Wen, 2013, Late Paleozoic granitoids in Beishan-Northern Alxa area (NW China) and their tectonic implications. Beijing: Peking University, 1～258 (in Chinese with English abstract).

Zheng Rongguo, Wu Tairan, Zhang Wen, Feng Jicheng, Xu Cao, Meng Qingpeng, Zhang Zhaoyu. 2013. Geochronology and geochemistry of theYagan granite in the northern margin of the Alxa block: Constraints on the tectonic evolution of the southern Altaids. Acta Petrologica Sinica, 29(8): 2665～2675 (in Chinese with English abstract).

Zheng Rongguo. 2014. Paleozoic tectonic evolution of the Beishan and Northern Margin of Alxa Block. Beijing: Peking University, 1～149 (in Chinese with English abstract).

Zheng Rongguo, Wu Tairan, Zhang Wen, Xu Cao., Meng Qingpeng, Zhang Zhaoyu. 2014. Late Paleozoic subduction system in the northern margin of the Alxa block, Altaids: Geochronological and geochemical evidences from ophiolites. Gondwana Research, 25: 842～858.

Zonenshain L P, Kuzmin M I, Natapov L M, 1990. Geology of the USSR: A Plate-Tectonic Synthesis. American Geophysical Union, Washington D. C. 242 p.

Zuo Guochao, Liu Yike, Liu Chunyan. 2003. Framework and evolution of the tectonic structure in Beishan area across Gansu Province, Xinjiang Autonomous Region and Inner Mongolia Autonomous Region. Acta Geolgica Gansu, 12(1):1～15 (in Chinese with English abstract).

参　考　文　献

卜建军,牛志军,吴俊,段先锋. 2012. 内蒙古西部额济纳旗及邻区上石炭统—下二叠统阿木山组的沉积特征和时代. 地质通报, 31(10):1669～1683.

陈高潮,魏仙样,仵康林,李金超, 2011. 内蒙古西部阿拉善右旗下石炭统白山组碎屑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年及意义. 地质通报, 30(6): 955～961.

耿元生,周喜文. 2012. 阿拉善变质基底中的早二叠世岩浆热事件——来自同位素年代学的证据. 岩石学报 28(9), 2667～2685.

洪大卫,王式洸,谢锡林,张季生,王涛. 2003. 从中亚正 ε_{Nd} 值花岗岩看超大陆演化和大陆地壳生长的关系. 地质学报,77(2):203～209.

李杰. 2012. 内蒙古阿拉善地区雅布赖－巴音诺尔公晚古生代侵入岩特征及其大地构造意义. 北京: 中国地质大学 (北京), 1～54.

刘治博,张维杰. 2014. 内蒙古阿拉善右旗杭嘎勒晚二叠世闪长岩地球化学特征和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年. 西北地质, 47(1): 84～95.

冉皞,张维杰,刘治博. 2012. 内蒙古阿拉善右旗杭嘎勒晚二叠世二长花岗岩地球化学特征和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年. 地质通报 31(10), 1565～1575.

史兴俊. 2012. 阿拉善北部庆格勒地区花岗岩年代学、地球化学及岩石成因. 北京: 中国地质大学 (北京),1～67.

史兴俊, 童英, 王涛, 张建军, 张招崇, 张磊, 郭磊, 曾涛, 耿建珍. 2012. 内蒙古西部阿拉善地区哈里努登花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征. 地质通报 31(5), 662～670.

王金荣, 宋春晖, 高军平, 王士政. 1995. 阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿混杂岩的形成机制. 兰州大学学报(自然科学版), 31(2): 140～147.

王廷印, 王金荣, 王士政. 1992. 阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带的发现及其构造意义. 兰州大学学报 (自然科学版), 26(3): 194～196.

王廷印, 王金荣, 刘金坤, 王士政, 吴家弘. 1993. 华北板块和塔里木板块之关系. 地质学报, 67(4): 287～300.

王廷印, 王士政, 王金荣, 1994. 阿拉善地区古生代陆壳的形成和演化. 兰州: 兰州大学出版社, 1～215.

王行军, 2012. 内蒙古阿拉善地区蛇绿岩的地球化学特征及其构造意义. 北京: 中国地质大学 (北京), 1～218.

吴泰然, 何国琦, 1992. 阿拉善地块北缘的蛇绿混杂岩带及其大地构造意义. 现代地质 6(3), 69～78.

吴泰然, 何国琦, 1993. 内蒙古阿拉善地块北缘的构造单元划分及各单元的基本特征. 地质学报, 67(2): 97～108.

仵康林, 2011. 阿拉善地区华力西晚期花岗岩类岩石地球化学特征及构造意义. 硕士学位论文. 西安:长安大学, 1～78.

谢力, 尹海权, 周洪瑞, 张维杰. 2014. 内蒙古阿拉善地区恩格尔乌苏缝合带二叠纪放射虫及其地质意义. 地质通报, 33(5):691

～697.

徐东卓，张维杰，周海涛，孙启凯. 2014. 内蒙古阿拉善地块中北部地区辉长岩岩体特征、锆石定年及其构造意义. 地质通报 33(5)，661～671.

杨奇荻，张磊，王涛，史兴俊，张建军，童英，郭磊，耿建珍. 2014. 内蒙古阿拉善地块北缘沙拉扎山晚石炭世岩体地球化学特征与 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄. 地质通报 33(6)，776～787

张磊，史兴俊，张建军，杨奇荻，童英，王涛，2013. 内蒙古阿拉善北部陶豪托西圈辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征. 地质通报 32(10)，1536～1547.

张文. 2013. 北山－阿拉善北缘晚古生代花岗岩及其构造意义. 北京：北京大学，1～258.

郑荣国，吴泰然，张文，冯继承，徐操，孟庆鹏，张昭昱. 2013. 阿拉善地块北缘雅干花岗岩体地球化学、地质年代学及其对区域构造演化制约. 岩石学报 9(8)，2665～2675.

郑荣国. 2014. 北山－阿拉善地块北缘地区古生代构造演化. 北京：北京大学，1～149.

左国朝，刘义科，刘春燕. 2003. 甘新蒙北山地区构造格局及演化. 甘肃地质学报，12(1)：1～15.

Discovery of Silurian Pluton in the Enger Us Region in the Northern Margin of Alxa Block

ZHENG Rongguo[1,2)], LI Jinyi[1)], XIAO Wenjiao[2,3)], LIU Jianfeng[1)], WU Tairan[4)]

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037, *China*;
2) *Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi*, 830011, *China*;
3) *State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing*, 100029, *China*;
4) *The Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing*, 100871

Abstract

The northern margin of Alxa block, located in the central segment of southmost Central Asian Orogenic Belt (CAOB), connected eastern and western tectonic units, and is a key region for understanding the tectonic processes associated with the closure of the Paleo-Asian Ocean. We collected recent U-Pb age data of magmatic rocks (mainly plutons) in the northern margin of Alxa block, and found all those age data concentrate in the late Paleozoic, especially Permian. There are no early Paleozoic plutons reported yet. Enger Us ophiolitic mélange belt plays an important role in the northern margin of Alxa block, in which a Silurian pluton was discovered. This pluton exhibit zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of 423±4.5 Ma and 434±1Ma, representing their crystallization ages. This pluton indicates Silurian magmatic events in the Enger Us mélange, which display multi-period activities. This Silurian pluton is an important issue to recognize early Paleozoic tectonic setting of the northern margin of Alxa block, and could help to contrast and connect different tectonic units. Considering detrital zircon studies in the Baishan group and discovery of Devonian plutons, it is obvious that there also were early Paleozoic magmatic events in the northern margin of Alxa block, which may not be a passive continental margin.

Key words: CAOB; the northern margin of Alxa block; Early Paleozoic; pluton; LA-ICP-MS U-Pb