

阿拉善地块北缘乌兰敖包上三叠统地层的厘定

——来自激光 ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄的制约

陈登超 赵省民 邓 坚

(中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 运用 ICP-MS 技术, 在阿拉善地块北缘东部乌兰敖包剖面原阿木山组下段中采集砂岩样品, 进行碎屑锆石 U-Pb 年代学研究。共获取 70 个有效数据, 其表面年龄分布范围为 $258.8 \pm 5 \sim 2\ 622.7 \pm 41$ Ma, 具多峰性, 主要峰值为 258~308 Ma (47 个数据), 次要峰值为 401~443 Ma (12 个数据), $1\ 652 \sim 1\ 749$ Ma (7 个数据) 及 $2\ 601 \sim 2\ 623$ Ma (2 个数据), 此外还有 731 Ma 及 1 237 Ma 的数据各 1 个。根据样品岩石学特征、碎屑锆石 CL 组构及 U-Pb 年代学特征, 结合沉积学及区域构造演化等分析, 初步认为: ① 乌兰敖包处原阿木山组下段可能为晚三叠世沉积, 与研究区西部及北山地区晚三叠世珊瑚井组相当, 应从晚石炭—早二叠世阿木山组中解体出来; ② 乌兰敖包剖面阿木山组逆冲推覆于上三叠统之上的构造形式, 应该是内蒙古中西部及甘肃北山地区早中侏罗世晚期大规模逆冲推覆构造的反映; ③ 取样砂岩的物源主要为研究区东部海西期、加里东期侵入岩、早中二叠世火山岩与火山碎屑岩及太古宙与元古宙变质岩。

关键词: 阿拉善地块北缘; 阿木山组下段; 上三叠统; 碎屑锆石; ICP-MS U-Pb 定年

中图分类号: P597+.3; P588.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)03-0258-13

Redefinition of Upper Triassic strata on the northern margin of Alxa block: constraints from Laser ICP-MS detrital zircon U-Pb ages

CHEN Deng-chao, ZHAO Xing-min and DENG Jian

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

Abstract: The northern margin of Alxa block is located at the juncture of North China plate, Tarim plate, Siberia plate and its southern marginal fold belt, and Alxa block. The pre-Mesozoic sedimentary formation in the study area, affected by structural positions and volcanic activities, show a great difference in different structural locations. Influenced by subsequent tectonic alternations, the strata, outcropped in the form of tectonic slices, should belong to the limited Smith stratigraphy or the transition between the limited Smith stratigraphy and non-Smith stratigraphy, with characteristics of internal disordered state and local ordered state. This not only hinders the confirmation of the age of the blocks and the establishment of the normal stratigraphic sequence but also restricts the understanding of the tectonic and paleogeographic evolutions. The authors applied the ICP-MS technology and collected sandstone samples in the Lower Member of the previously-defined Amushan Formation in Wulanaobao on the eastern margin of the study area to carry out the study of U-Pb chronology. 70 valid data were obtained from 80 measuring points with 79 zircons, with a range of surface ages from 259 ± 5 to $2\ 623 \pm 41$ Ma. These surface ages are characterized by multi-peak values, with a dominant peak between 259~308 Ma (47 data) and some smaller spikes at 401~444 Ma (12 data), $1\ 652 \sim 1\ 750$ Ma (7 data) and $2\ 601 \sim 2\ 623$ Ma (2 data). In addition,

tion, there are two detrital zircons with ages of 731 Ma and 1 237 Ma respectively. According to petrology, CL image and U-Pb chronology of the studied samples in combination with sedimentology and regional tectonic evolution, the authors have come to the following preliminary conclusions: (1) The previously-defined Lower Member of Amushan Formation along the Wulanaobao section should not be assigned to Late Carboniferous-Early Permian Amushan Formation, and the previously-defined Amushan Formation along the Wulanaobao section should be disintegrated into two parts: the middle and upper member (the upper and lower member after revision) should be assigned to Amushan Formation, which is characterized by interbedded clastic rocks and carbonate rocks and the existence of Late Carboniferous-Early Permian fusulinida fossils, such as *Triticites* sp. and *Quasifusulina* sp.; the lower member of this section is characterized by coarse clastic rocks of continental molasse formation and should be assigned to Upper Triassic, regionally comparable with Shanhujiing Formation in the west of the study area and Beishan area of Gansu; (2) The tectonic style of the overthrusting of Amushan Formation on the Upper Triassic strata is probably the reflection of the thrust nappe structure in the middle and western part of Inner Mongolia and Beishan area of Gansu Province; (3) The sedimentary paleogeographic evolution shows that the provenance of the sampled sandstone could only be geological bodies of surrounding areas, because the paleogeography in and after Mesozoic was characterized by inland faulted lake basin. The zircon CL image and the ratio of $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ suggest that most of the zircons are magmatic zircons, with minor metamorphic zircons. Based on a chronologic comparison of the geological bodies in surrounding areas, this paper considers that the provenance of the sandstone should be Hercynian and Caledonian intrusive rocks, Permian volcanic rocks and pyroclastic rocks, and Archean and Proterozoic metamorphic rocks.

Key words: northern margin of Alxa block; Lower member of Amushan Formation; Upper Triassic; detrital zircon; ICP-MS U-Pb dating

阿拉善地块北缘指位于内蒙古自治区西部阿拉善盟至中蒙边境的广大地区,大地构造上处于华北板块、塔里木板块、西伯利亚板块与其南缘褶皱带及阿拉善地块的结合部位(吴泰然等,1993)。受构造位置差异及火山活动不均一性影响,区内前中生代沉积建造在不同构造部位差异较大(王廷印等,1993;徐学义等,2008);并且受后期构造改造影响(李述靖等,1995;Zheng *et al.*,1996;郑亚东等,1998),各地层单元多以构造岩片的形式出露,具整体无序而局部有序的有限史密斯地层(冯庆来,1999)或介于史密斯地层与非史密斯地层之间的过渡地层类型(张克信等,1997;殷鸿福等,1998)的特征。加之自然条件恶劣,基础地质研究程度较低,古生物资料相对匮乏,这不仅阻碍了对区内出露各断块地层时代的确定及区域地层对比,影响了正常地层序列的建立,而且制约了对本区构造演化及沉积古地理特征的了解,进而影响了对其石油地质条件的认识。

盆地陆源碎屑沉积物作为区域构造背景控制下的蚀源区(或隆起区)与沉积盆地演化有机结合配置的产物(闫义等,2002),记录了洋陆变迁、盆山耦合

及其演化历史,可以用来示踪源区、反演构造演化历程等信息(Dickinson and Suczek,1979;Dickinson,1985;Roser and Korsch,1986)。近年来,碎屑锆石年代学研究被广泛应用于限定沉积地层的时代(如 Fedo and Eriksson,1996;Dhuime *et al.*,2007;第五春荣等,2008),示踪沉积物源区(Willner *et al.*,2003;Moecher and Scott,2006;胡波等,2009),确定沉积盆地基底性质及其构造演化等(Smithies *et al.*,2001;李亚萍等,2007;Wu *et al.*,2007)。

基于上述认识,笔者在阿拉善地块北缘东部晚石炭-早二叠世阿木山组采集砂岩样品,利用 ICP-MS 技术进行锆石年代学研究,并对取样地层时代、物质来源、区域地层序列等问题进行了讨论。

1 区域地质概况

研究区以雅干断裂、恩格尔乌苏断裂及巴丹吉林断裂为界,自北向南依次划分为雅干构造带、珠斯楞-杭乌拉构造带、沙拉扎山构造带及诺尔公-狼山构造带(吴泰然等,1993)(图 1a)。

雅干构造带主要发育以中奥陶世火山岩-碎屑

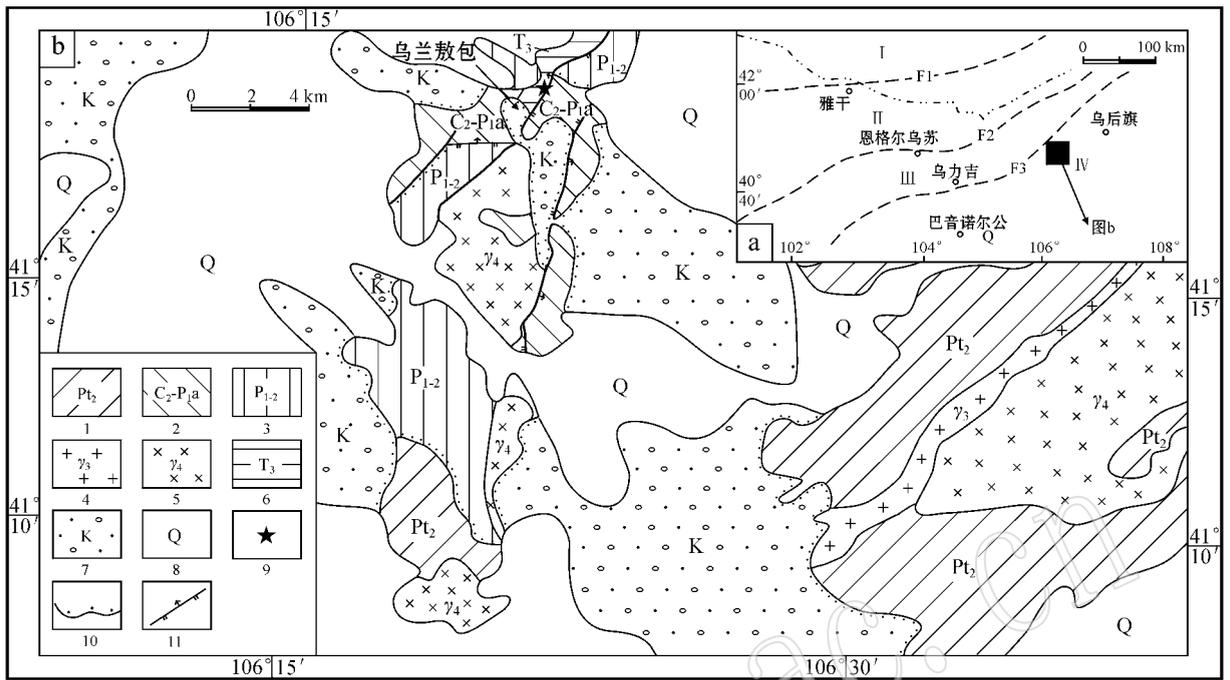


图 1 研究区地质背景 (a) 及采样位置图 (b) (底图据 1:20 万地质图三道桥幅^①)

Fig. 1 Tectonic setting of the study area (a) and sampling site (b) (base map after 1:200 000 Sandaoqiao Sheet^①)

I—雅干构造带；II—珠斯楞—杭乌拉构造带；III—沙拉扎山构造带；IV—诺尔公—狼山构造带；1—渣尔泰群；2—阿木山组；3—中下二叠统；4—加里东期侵入岩；5—海西期侵入岩；6—上三叠统；7—白垩系；8—第四系；9—采样位置；10—不整合面；11—断层
 I—Yagan structural belt；II—Zhusileng-Hangwulia structural belt；III—Shalazhashan Mountain structural belt；IV—Nuoergong-Langshan structural belt；1—Zhaertai Group；2—Amushan Formation；3—Lower and Middle Permian；4—Caledonian intrusive rocks；5—Hercynian intrusive rocks；6—Upper Triassic；7—Cretaceous；8—Quaternary；9—sampling site；10—unconformity；11—fault

岩为主要的成熟岛弧建造及晚泥盆世至中石炭世火山岩-碎屑岩组合；珠斯楞—杭乌拉构造带主要发育早古生代被动陆缘型碎屑岩-碳酸盐岩建造及晚古生代活动陆缘型火山岩-碎屑岩建造；沙拉扎山构造带主要由两部分组成，北部晚古生代岛弧花岗岩及南部以火山岩-碎屑岩为主的弧后盆地建造；诺尔公—狼山构造带主要出露前寒武纪基底岩系（包括阿拉善群和渣尔泰群）及加里东期、海西期侵入岩（吴泰然等，1993）。

样品采集于研究区东部沙拉扎山构造带与诺尔公—狼山构造带接触部位，地理位置上位于乌拉特后旗海力素西南 10 km 的乌兰敖包处。地层自老至新主要有新太古代—古元古代乌拉山群（属于阿拉善群，出露于图 1b 南侧 23 km 处），中元古代渣尔泰群、晚石炭—早二叠世阿木山组、中下二叠统及白垩系（图 1b）。乌拉山群岩性主要为黑云斜长片麻岩、

黑云角闪片麻岩，夹斜长角闪岩及大理岩。渣尔泰群岩性以片岩及片麻岩为主，夹少量千枚岩、炭质板岩及结晶灰岩。阿木山组指分布于内蒙古中西部地区，以碎屑岩与碳酸盐岩互层，局部发育火山岩及火山碎屑岩为特征的晚石炭世—早二叠世浅海相建造（中国地层典编委会，2000）。从区域资料^①看，该区阿木山组剖面自下而上可分为 3 个岩性段（图 2）：下段主要为灰白色砂砾岩（即样品采集层段，后厘定为上三叠统，详见后文）；中段主要为灰色紫红色岩屑砂砾岩夹灰岩透镜体，与下段断层接触（后修订为下段）；上段下部为厚层灰岩夹紫灰色泥岩，向上砂砾岩增加，并逐渐过渡为石英质砾岩（后修订为上段）。后两段石灰岩中常含晚石炭世—早二叠世常见生物分子，如 *Triticites* sp.、*Quasifusulina* sp. 等。中下二叠统不整合于阿木山组之上，为一套滨海—浅海相中酸性火山碎屑岩及中性火山岩建造夹碎屑岩建

① 内蒙古自治区第一区域地质调查队，1981。三道桥幅地质图及报告（1:20 万）。

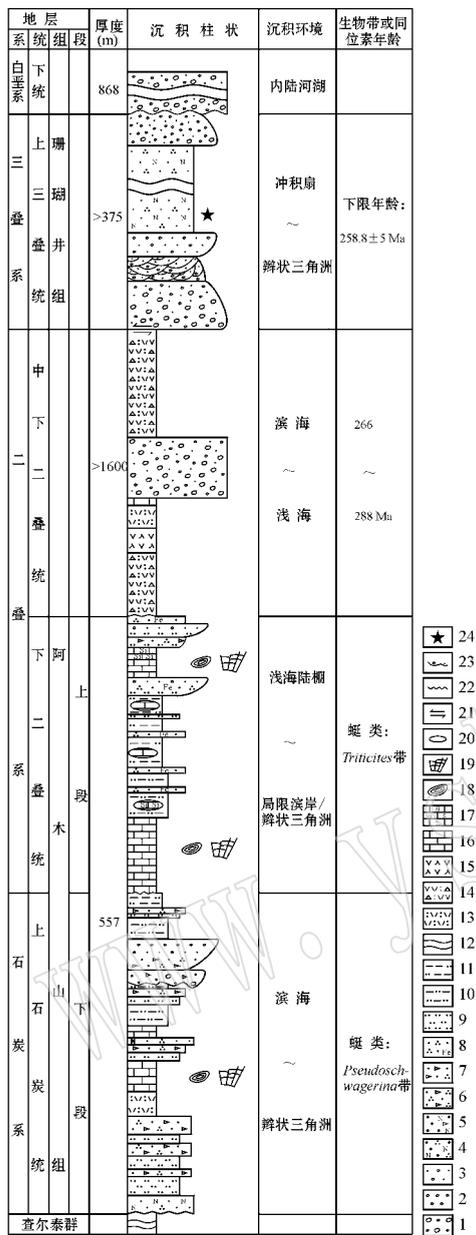


图 2 乌兰敖包中古生界地层柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of Mesozoic-Paleozoic strata in Wulanaobao

1—中细砾岩; 2—细砾岩; 3—含砾中粗粒砂岩; 4—石英长石粗粒砂岩; 5—岩屑长石粗粒砂岩; 6—石英岩屑中粒砂岩; 7—石英岩屑细砂岩; 8—铁质石英细砂岩; 9—粉砂岩; 10—粉砂质泥岩; 11—含粉砂泥岩; 12—千枚岩; 13—凝灰岩; 14—角砾凝灰岩; 15—安山玢岩; 16—石灰岩; 17—硅化灰岩; 18—蜓; 19—珊瑚; 20—透镜体; 21—断层; 22—不整合面; 23—冲刷; 24—采样层位
 1—medium-to fine-grained conglomerate; 2—fine-grained conglomerate; 3—medium-to coarse-grained sandstone with conglomerate; 4—coarse-grained quartz feldspathic sandstone; 5—coarse-grained lithic feldspathic sandstone; 6—coarse-grained quartz lithic sandstone; 7—fine-grained quartz lithic sandstone; 8—fine-grained ferruginous quartz sandstone; 9—siltstone; 10—silty mudstone; 11—mudstone with silt; 12—phyllite; 13—tuff; 14—lava tuff breccia; 15—andesitic porphyrite; 16—limestone; 17—silicified limestone; 18—fusulinid; 19—coral; 20—lense; 21—fault; 22—unconformity; 23—scour; 24—sampling horizon

造。白垩系为一套陆相河湖沉积,岩性主要为砂岩、砾岩及泥岩,夹少量火山岩,不整合于其下各地层单元之上。

2 采样位置及样品特征

样品采自乌兰敖包阿木山组下段,地理坐标为东经 106°21'40.1"、北纬 41°18'38.3"。岩性为灰白色中粗粒石英长石砂岩。

该套地层岩性主要为灰白色中细砾岩、中粗粒岩屑、石英长石砂岩。岩层厚度较大,分布广泛。显微镜下,采样砂岩呈不等粒结构,主要由长石、石英和岩屑组成,颗粒支撑,孔隙胶结。岩屑以中酸性火山岩为主,少量黑云母及碳酸盐岩岩屑。所有碎屑分选及磨圆均较差,显示出近缘快速堆积的特点。

3 分析测试方法及测试结果

用于测年的锆石由河北廊坊科大岩石矿物分选技术服务公司分选。具体流程为:将选取的 6 kg 砂岩样品粉碎至 60 目以下,先用磁选和重液方法粗选锆石,然后在双目镜下将锆石颗粒逐一挑出,共挑选锆石颗粒 1 000 余粒。

锆石的制靶、CL 图像及 U-Pb 同位素含量测定均在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。具体方法为:将锆石颗粒粘在双面胶上,后固定在透明的环氧树脂中,和树脂一起打磨抛光,直至露出锆石的内部以适合 ICP-MS 分析。抛光后的锆石首先进行反射光照相,以观察其抛光面有无裂隙及包裹体等,后进行阴极发光照相,所得的 CL 图像用来进一步反映锆石的内部结构特征。CL 图像采用装有 MonoCl3+ 阴极发光系统的扫描电镜拍摄,锆石的 U-Pb 同位素含量测定在该实验室使用带有 GeoLas200M 激光剥蚀系统的 Agilent7500a ICP-MS 测定。用标准硅酸盐玻璃 NIST610 进行仪器最佳化,采用 91500 标准锆石作为外部校正,激光束斑直径为 30 μm,详细的分析过程和参数见 Yuan 等 (2004)。普通 Pb 的校正采用 Andersen (2002) 的方法。样品的同位素比值及元素含量计算采用 Glitter (ver. 4.0, Macquarie university) 程序,年龄计算及年龄谱图的绘制采用 Isoplot (ver. 2.49) 程序完成。

对样品中 79 粒锆石进行了 LA-ICP-MS 定年,获得了 80 个测点的分析数据,符合年龄分布统计的

表 1 样品碎屑锆石 U-Pb 年龄分析数据
Table 1 Detrital zircon U-Pb age of the sample

点号	^{232}Th		^{238}U		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$		同位素比值				表面年龄/Ma				谱和度/%	
	^{232}Th	$^{232}\text{Th}/10^{-6}$	^{238}U	$^{238}\text{U}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		1 σ
1	499.31	404.38	1.23	0.0675	0.0026	0.4208	0.0118	0.0432	0.0009	852	77	376	11	304	6	76
2	108.92	136.54	0.80	0.0543	0.0019	0.3285	0.0081	0.0433	0.0009	384	78	288	8	277	5	96
3	28.71	75.21	0.38	0.0618	0.0022	0.5468	0.0172	0.0642	0.0013	667	74	443	11	401	8	90
4	66.97	141.13	0.47	0.1070	0.0027	4.4838	0.0892	0.3039	0.0060	1750	45	1728	17	1711	30	98
5	151.56	209.94	0.72	0.0568	0.0018	0.3618	0.0102	0.0462	0.0009	484	70	314	8	291	6	92
6	239.82	559.06	0.43	0.0556	0.0015	0.3460	0.0073	0.0433	0.0009	436	59	304	6	287	6	94
7	152.67	212.72	0.72	0.0548	0.0016	0.3190	0.0072	0.0430	0.0009	406	63	287	6	272	5	95
8	314.50	349.14	0.90	0.0554	0.0015	0.3336	0.0071	0.0426	0.0009	429	61	297	6	280	5	94
9	77.85	174.90	0.45	0.0579	0.0021	0.3942	0.0121	0.0483	0.0010	525	77	328	9	301	6	91
10	97.78	133.21	0.73	0.0557	0.0017	0.3281	0.0106	0.0438	0.0009	442	68	295	7	276	5	93
11	322.33	343.84	0.94	0.0571	0.0017	0.3812	0.0122	0.0478	0.0010	495	63	317	7	294	6	92
12	95.65	341.96	0.28	0.0564	0.0015	0.5235	0.0110	0.0674	0.0013	466	57	428	7	421	8	98
13	150.18	416.40	0.36	0.0571	0.0015	0.5172	0.0108	0.0658	0.0013	493	56	423	7	411	8	97
14	73.92	130.20	0.57	0.0526	0.0021	0.3303	0.0074	0.0433	0.0009	311	88	282	9	278	6	99
15	112.71	161.30	0.70	0.0534	0.0017	0.3393	0.0079	0.0444	0.0009	346	71	290	7	284	6	98
16	142.97	342.76	0.42	0.1015	0.0025	3.6221	0.0712	0.2588	0.0051	1652	45	1554	16	1484	26	89
17	179.52	211.21	0.85	0.1065	0.0027	4.0864	0.0815	0.2783	0.0055	1741	45	1652	16	1583	28	90
18	372.58	684.68	0.54	0.0543	0.0015	0.3483	0.0097	0.0459	0.0009	383	59	298	6	287	6	96
19	87.32	437.93	0.20	0.0556	0.0015	0.5047	0.0110	0.0658	0.0013	437	58	415	7	411	8	99
20	204.48	473.92	0.43	0.0573	0.0017	0.4486	0.0154	0.0482	0.0010	503	63	332	7	308	6	92
21	138.32	243.90	0.57	0.0550	0.0016	0.3220	0.0101	0.0442	0.0009	413	63	288	6	273	5	94
22	215.72	349.00	0.62	0.0528	0.0014	0.3229	0.0099	0.0438	0.0009	322	60	279	5	274	5	98
23	264.30	343.53	0.77	0.0528	0.0015	0.3362	0.0199	0.0452	0.0010	319	64	286	6	282	6	99
24	206.46	739.71	0.28	0.1053	0.0026	2.0889	0.0414	0.1439	0.0029	1720	45	1145	14	867	16	68
25	293.35	401.61	0.73	0.0580	0.0016	0.5697	0.0128	0.0712	0.0014	531	59	458	8	444	9	97
26	148.51	487.65	0.30	0.0539	0.0015	0.3405	0.0108	0.0446	0.0009	367	60	294	6	285	6	97
27	135.55	183.02	0.74	0.0707	0.0023	0.3193	0.0073	0.0436	0.0009	948	65	357	8	273	5	69

续表 1-1
Continued Table 1-1

点号	^{232}Th		^{238}U		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$		同位素比值						表面年龄/Ma						谱和度/%	
	$w_B/10^{-6}$	$w_B/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	^{238}U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		
28	116.36	229.03	0.51	0.0678	0.0017	1.1221	0.0234	0.1201	0.0024	862	52	764	11	731	14	96				
29	45.84	75.08	0.61	0.0605	0.0019	0.5745	0.0160	0.0690	0.0014	620	68	461	10	430	9	93				
30	249.15	442.49	0.56	0.0564	0.0015	0.3040	0.0077	0.0414	0.0009	467	58	281	5	259	5	92				
31	216.48	401.11	0.54	0.0538	0.0015	0.3183	0.0070	0.0410	0.0008	364	60	281	6	271	5	96				
32	80.50	372.30	0.22	0.0559	0.0015	0.5270	0.0120	0.0684	0.0014	447	59	430	8	427	8	99				
33	89.33	125.97	0.71	0.0554	0.0020	0.3359	0.0075	0.0434	0.0009	429	77	298	8	281	6	94				
34	84.13	421.78	0.20	0.0782	0.0020	1.1504	0.0237	0.1067	0.0021	1152	50	777	11	654	12	81				
35	578.52	1151.97	0.50	0.0643	0.0017	0.4715	0.0105	0.0532	0.0011	752	56	392	7	334	7	83				
36	367.45	333.37	1.10	0.0562	0.0015	0.3231	0.0088	0.0431	0.0009	458	59	294	6	274	5	93				
37	123.34	97.59	1.26	0.0816	0.0022	2.2843	0.0501	0.2030	0.0041	1237	51	1207	16	1192	22	96				
38	131.15	420.56	0.31	0.0520	0.0015	0.3345	0.0081	0.0463	0.0009	287	64	281	6	280	6	100				
39	50.83	172.51	0.29	0.0544	0.0017	0.3186	0.0077	0.0444	0.0009	389	68	284	7	272	5	95				
40	67.39	73.60	0.92	0.1744	0.0044	11.8349	0.2394	0.4923	0.0099	2601	41	2591	19	2581	43	99				
41	30.24	62.46	0.48	0.1768	0.0044	12.8486	0.2602	0.5274	0.0106	2623	41	2669	19	2730	45	96				
42	123.04	418.90	0.29	0.0551	0.0015	0.5234	0.0116	0.0690	0.0014	414	58	427	8	430	8	99				
43	158.63	293.88	0.54	0.0531	0.0016	0.3364	0.0091	0.0438	0.0009	333	66	289	6	283	6	98				
44	206.54	429.18	0.48	0.0529	0.0014	0.3160	0.0070	0.0434	0.0009	324	60	275	5	269	5	98				
45	80.75	172.31	0.47	0.0540	0.0033	0.3398	0.0102	0.0458	0.0009	371	133	294	15	285	6	97				
46	77.19	247.24	0.31	0.0559	0.0017	0.5030	0.0127	0.0652	0.0013	450	64	414	9	407	8	98				
47	75.98	100.68	0.75	0.1010	0.0026	3.8797	0.0799	0.2788	0.0056	1642	46	1610	17	1585	28	96				
48	113.74	206.89	0.55	0.0539	0.0018	0.3535	0.0090	0.0461	0.0009	366	74	297	8	288	6	97				
49	132.49	248.58	0.53	0.0526	0.0017	0.3288	0.0084	0.0449	0.0009	310	70	280	7	277	6	99				
50	160.88	269.87	0.60	0.0578	0.0016	0.5120	0.0114	0.0642	0.0013	523	58	420	8	401	8	95				
51	174.48	327.85	0.53	0.0592	0.0020	0.4281	0.0098	0.0455	0.0009	574	73	338	9	304	6	89				
52	243.66	237.47	1.03	0.0539	0.0016	0.3250	0.0080	0.0447	0.0009	367	67	285	7	275	5	96				
53	356.62	432.76	0.82	0.0554	0.0016	0.3151	0.0073	0.0444	0.0009	428	64	282	6	264	5	93				
54	150.35	442.97	0.34	0.0683	0.0019	0.3450	0.0094	0.0447	0.0009	878	56	362	7	287	6	74				
55	160.85	202.18	0.80	0.0535	0.0018	0.3279	0.0085	0.0436	0.0009	352	75	284	8	276	6	97				
56	377.12	680.51	0.55	0.0554	0.0015	0.3196	0.0080	0.0419	0.0009	429	58	290	6	273	5	94				

续表 1-2
Continued Table 1-2

点号	^{232}Th		^{238}U		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	同位素比值				表面年龄/Ma				谐和度/%		
	$w_B/10^{-6}$	1σ	1σ	1σ		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
57	193.69	529.19	0.37	0.0515	0.0014	0.3311	0.0093	0.0450	0.0009	265	62	278	6	280	6	99
58	747.50	1094.66	0.68	0.0580	0.0015	0.3198	0.0117	0.0441	0.0009	530	56	302	6	273	5	89
59	287.76	483.56	0.60	0.0873	0.0022	0.9239	0.0191	0.0768	0.0015	1368	48	664	10	477	9	61
60	291.85	459.01	0.64	0.0529	0.0015	0.3407	0.0075	0.0455	0.0009	324	64	290	6	286	6	99
61	139.42	221.43	0.63	0.0550	0.0019	0.3871	0.0095	0.0490	0.0010	412	74	311	8	298	6	96
62	95.44	143.04	0.67	0.0557	0.0017	0.3587	0.0108	0.0473	0.0010	440	65	307	7	290	6	94
63	98.24	172.31	0.57	0.0533	0.0016	0.3105	0.0069	0.0426	0.0009	340	66	270	6	262	5	97
64	87.77	714.45	0.12	0.0576	0.0015	0.5355	0.0117	0.0675	0.0014	513	57	435	8	421	8	97
65	194.35	500.14	0.39	0.0524	0.0015	0.3668	0.0089	0.0466	0.0009	303	64	293	6	292	6	100
66	35.08	38.67	0.91	0.1028	0.0027	3.8132	0.0839	0.2691	0.0055	1676	48	1596	18	1536	28	91
67	149.24	377.00	0.40	0.0777	0.0020	1.0226	0.0218	0.0954	0.0019	1140	51	715	11	588	11	78
68	173.66	187.03	0.93	0.1597	0.0040	8.1296	0.1645	0.3694	0.0075	2452	42	2246	18	2027	35	79
69	271.16	521.42	0.52	0.0532	0.0014	0.3277	0.0085	0.0434	0.0009	335	60	281	6	275	5	98
70	193.42	204.65	0.95	0.0548	0.0017	0.3235	0.0085	0.0435	0.0009	403	65	288	7	274	5	95
71	184.90	198.70	0.93	0.0529	0.0018	0.3310	0.0082	0.0454	0.0009	323	77	283	8	279	6	98
72	164.01	302.88	0.54	0.1049	0.0026	3.9656	0.0800	0.2743	0.0055	1713	45	1627	16	1563	28	90
73	113.45	237.03	0.48	0.0560	0.0017	0.3360	0.0077	0.0452	0.0009	454	68	301	7	282	6	93
74	45.56	216.81	0.21	0.0564	0.0016	0.5183	0.0125	0.0667	0.0014	466	62	424	8	416	8	98
75	663.90	810.83	0.82	0.0568	0.0015	0.3180	0.0087	0.0439	0.0009	482	56	292	5	269	5	91
76	160.02	293.09	0.55	0.0551	0.0018	0.3556	0.0093	0.0457	0.0009	416	69	303	7	289	6	95
77	245.55	324.98	0.76	0.4294	0.0108	4.8151	0.0971	0.0814	0.0017	4015	37	1788	17	504	10	154
78	64.98	82.57	0.79	0.1044	0.0027	3.8287	0.0831	0.2662	0.0054	1703	48	1599	17	1521	28	88
79	126.11	276.03	0.46	0.0565	0.0017	0.3489	0.0079	0.0455	0.0009	472	66	309	7	288	6	93
80	320.16	278.69	1.15	0.0546	0.0016	0.3260	0.0080	0.0431	0.0009	397	65	288	7	275	5	95

锆石 U-Pb 表面年龄分布较宽,从 258.8 ± 5 Ma 到 2622.7 ± 41 Ma, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比值除去 64 号测点小于 0.2 外(0.12),均大于 0.2,介于 0.2~1.26 之间。上述特征表明,样品中碎屑锆石以岩浆锆石为主,少量变质锆石。

从 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图(图 4)可知,除去少量测点外,样品中所有有效测点基本落在谐和线上,呈现出良好的谐和性。

据锆石年龄分布特征(图 5),将样品中碎屑锆石 U-Pb 表面年龄大致分成以下几段:

(1) 2601~2623 Ma: 2 个数据(图 3 中 40 与 41)。 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 分别为 0.92 与 0.48,表明两者均

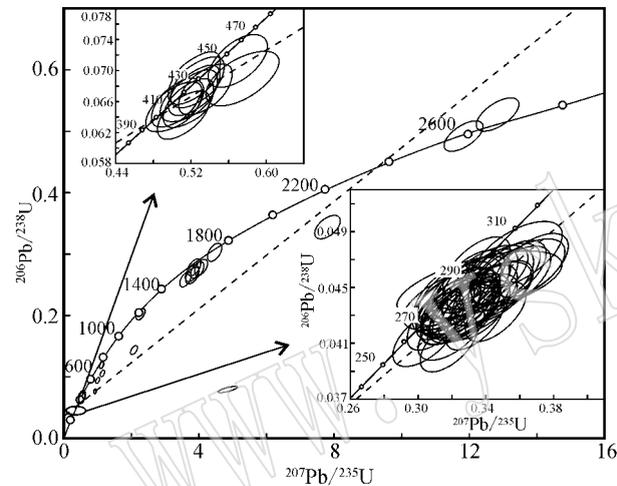


图 4 样品碎屑锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图

Fig. 4 Zircon $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ concordia diagram of the sample

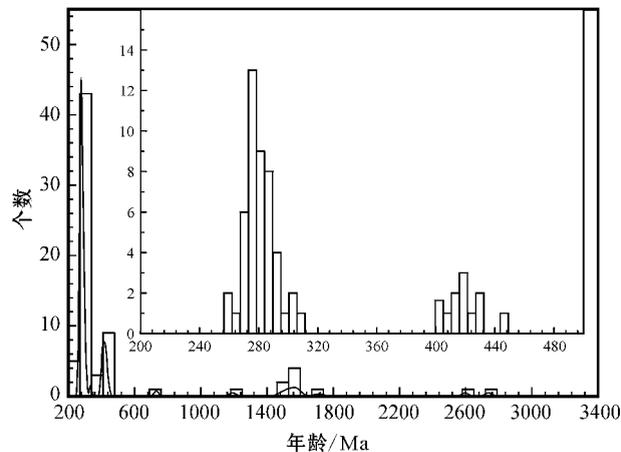


图 5 样品碎屑锆石 U-Pb 年龄分布直方图

Fig. 5 Histogram of detrital zircon U-Pb age distribution of the sample

系岩浆锆石。CL 组构显示,锆石 40 呈不明显的核幔结构,晶形破碎,略具磨圆。而锆石 41 具有明显的核边结构,表明此锆石经历过后期的热改造作用,锆石晶形完整,磨圆较好,呈圆状。后者年龄为核部年龄,代表了岩浆锆石的形成年龄。

(2) 1642~1750 Ma: 7 个数据(图 3 中 04、16、17、47、66、72 及 78)。锆石 CL 组构分为两类:一类具有清楚的韵律生长环带(如 17 和 72),另一类具明显的核边构造(如 04、16、66、78)或无结构(如 47)。 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 介于 0.42~0.91 之间,表明两者均为岩浆成因锆石,后者可能经历了后期的热改造作用。锆石大多晶形完整,呈短柱状,磨圆较差,多呈棱角-次棱角状。

(3) 1237 Ma: 1 个数据(图 3 中 37)。 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 为 1.26。CL 组构显示,锆石具明显的幔边结构。核部颜色较暗,内部无结构。边部颜色明亮,可能系后期热事件改造所致。此年龄为核部年龄,代表了岩浆锆石的形成年龄。边部宽度较窄,无法获取有关热事件的年代学信息。锆石颗粒呈柱状,略具磨圆。

(4) 731 Ma: 1 个数据(图 3 中 28)。CL 组构显示,锆石韵律环带不发育,具不甚清楚的核边结构。 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 为 0.51,系岩浆成因锆石。锆石颗粒晶形完整,呈柱状,略具磨圆,呈次棱角-次圆状。

(5) 401~444 Ma: 12 个数据(图 3 中 03、16、17 等)。锆石 CL 组构可分为两类:一类具有清楚的韵律生长环带(如 04、12、13、19、25、42 与 74),另一类发育不规则的补丁状结构(如 29、32、46 及 64)或明显的核边结构(锆石 50)。除去锆石 64 外,多数锆石 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 介于 0.20~0.73 之间,表明此组锆石主要系岩浆成因锆石。锆石 64 的 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 为 0.12,表明其属变质成因锆石,其年龄反映了此次变质作用的时限。除去少量锆石外,大多锆石晶形完整,呈自形柱状或短柱状。磨圆较差,多呈棱角-次棱角状。

(6) 258~309 Ma: 47 个数据(图 3 中 01、02、05 等)。峰值年龄为 275 Ma。 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 介于 0.29~1.23 之间。锆石 CL 组构分为两类:一类具有清楚的韵律生长环带,系岩浆成因锆石;另一类锆石不发育或具有不清楚的韵律生长环带,或具有补丁状结构,少量锆石见暗色增生边,表明锆石形成后可能受到热液活动的影响。锆石大多颗粒完整,呈柱状或短柱状,少量晶形破碎。锆石磨圆较差,多呈棱角-

次棱角状,显示出近缘沉积的特征。

4 讨论

4.1 取样地层时代

前述可知,区内地层具有有限史密斯地层的特征(冯庆来,1999),出露不连续,且多以断块或构造岩片的形式出现。出露断块时代的确定首先是依据古生物资料,在古生物资料匮乏的地区及层段,主要是利用层段之间的接触关系及区域地层进行对比。但对造山带地区而言,各层段之间的接触关系本来就极为复杂,加之地表出露条件较差,接触关系不甚明确。再者,由于地层沉积的旋回性,不同时代,相同沉积背景中,均可以形成相似的沉积建造及组合。因此,研究区内部分出露的各地层的时代判定具有较大的不确定性。以乌兰敖包原阿木山组剖面为例,如前所述,阿木山组中上两段含有晚石炭世及早二叠世的常见生物分子,如蜓 *Triticites* sp. 及 *Quasifusulina* sp.,其时代为晚石炭世—早二叠世。但对于下段(即取样地层单元)而言,未见古生物化石,且与中段为断层接触。因此,其时代存在较大的疑问。

从锆石 U-Pb 年代学来看,取样砂岩中有 47 个碎屑锆石 U-Pb 表面年龄介于晚石炭世与二叠纪,其中晚石炭世 3 个,二叠纪 44 个,最小年龄为 259 Ma (表 1),说明该砂岩可能形成于晚二叠世或者更晚的地质时期,其层位不应归于阿木山组。

从构造演化看,研究区于早中三叠世发生造山作用,普遍缺失中下三叠统,上三叠统发育也极为局限,仅在阿拉善左旗尼除滚哲勒德^①、额济纳旗西路井及早山-涌珠泉一带^②发育以灰绿色、紫红色砂砾岩为特征的陆相磨拉石建造,后两者与甘肃北山地区晚三叠世珊瑚井组大体相当^③。早中侏罗世,全区以断陷湖盆沉积为主,发育一套灰绿色、棕色陆相含煤碎屑建造(郑亚东等,1998)。在早中侏罗世晚期,研究区及其周缘的甘肃北山及内蒙古中部大青山地区均发生大规模的逆冲推覆构造,古老地层推覆在新地层之上(多为元古界及古生界推覆于中生界三叠系及下中侏罗统之上),并且推覆面极缓(郑亚东等,1998;王涛等,2002)。乌兰敖包剖面处,原阿木

山组也具有上述特征:其中上两段逆冲推覆在采样砂岩所处的下段粗碎屑岩之上,两者之间产状变化不大,推覆面平缓。由此可见,推覆面之下,原阿木山组下段的时代很可能是晚三叠世或早中侏罗世。

从沉积特征看,下段底部发育砾岩,上部主要发育粗砂岩夹细砾岩,整体略具正粒序。砾岩中砾石成分以中酸性火山岩为主,少量石英岩及片麻岩,砾径大小不一,一般 2~20 cm,最大可达 40 cm,砂质胶结,颗粒接触,分选差,磨圆中等—好;砂岩以灰白色中粗粒石英长石砂岩、岩屑长石砂岩为主,发育大型槽状交错层理及正粒序层理。总体上看,下段应为冲积扇—辫状河沉积。这显然有别于以浅海相碎屑岩—碳酸盐岩建造为特征的阿木山组及以灰绿色、棕色陆相含煤碎屑建造为特征的中下侏罗统。从沉积特征上看,这套地层具有陆相磨拉石建造的特征,与北山地区晚三叠世珊瑚井组特征相似。因此,其时代很可能为晚三叠世。

综上所述,结合碎屑锆石 U-Pb 年代学、区域构造演化及沉积学的综合研究,本文认为乌兰敖包剖面原阿木山组下段不应归属于晚石炭世—早二叠世阿木山组,并将该剖面原阿木山组解体,将阿木山组限定为原剖面中上两段(重新修订为上下两段),以碎屑岩—碳酸盐岩互层为特征,含晚石炭世—早二叠世类化石:*Triticites* sp. 及 *Quasifusulina* sp.,而将其下段以陆相磨拉石建造为特征的粗碎屑岩段划归到上三叠统,区域上可与北山地区珊瑚井组对比(图 2)。

4.2 碎屑锆石物质源区

沉积构造、镜下特征及锆石形态特征均表明,砂岩系近缘快速沉积产物。沉积古地理演化也表明,中生代及以后,研究区已进入到陆内造山构造演化阶段,以内陆断陷湖盆沉积为主(周立发等,1995)。因此,采样砂岩只可能来源于其周缘出露的地质体。锆石 CL 组构特征及²³²Th/²³⁸U 比值表明,这些锆石多系岩浆锆石,部分为变质成因锆石。

(1) 1 642~2 623 Ma,锆石的 CL 组构及²³²Th/²³⁸U 表明,这些锆石包括变质锆石及岩浆锆石两种。由前述可知,在研究区东部及北部的诺尔公-狼山构造带中出露大量古老基底:阿拉善群(包括乌拉山群)及渣尔泰群。阿拉善群(包括乌拉山群)为一套

① 宁夏地质矿产局,1981. 哈日奥日布格地质图及报告(1:20万)

② 甘肃地质局,1979. 路井幅地质图及报告(1:20万)

深变质的片岩、片麻岩组合,原岩为新太古代至古元古代的碎屑岩、碳酸盐岩及火山岩,其年龄主要集中在2000~2700 Ma(耿元生等,2006)。查尔泰群为中元古代早期裂陷槽的沉积建造,主要由变质陆源碎屑岩、碳酸盐岩和中基性火山岩组成(牛树银等,1993),其时限大致为1400~1800 Ma(乔秀夫等,1991),具有1516、1612(董申保等,1986)及1743 Ma(Li *et al.*, 2007)的同位素年龄。上述阿拉善群及渣尔泰群的岩石组成及其同位素年龄与样品中太古宙及元古宙碎屑锆石所反映的信息相同,应为上述锆石的物质来源。

(2) 1237 Ma及731 Ma,两者均系岩浆成因锆石年龄。在研究区尚未发现与之相对应的地质体,仅在阿拉善地块南缘的龙首山基底变质岩层中见有相同年代的花岗伟晶岩(1100~793 Ma)(周良仁等,1989)。显然,在中生代,研究区南缘的碎屑物质不可能越过区内众多断陷盆地而进入研究区东部。因此,此二粒锆石的物质来源及其所反映的信息有待于进一步研究。

(3) 401~444 Ma,锆石CL组构及 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 表明,此类锆石包括岩浆锆石及变质锆石两者。纵观研究区,恩格尔乌苏断裂以南均无早古生界发育,只在沙拉扎山构造带(王廷印等,1994)及诺尔公-狼山构造带发育加里东期侵入岩,两者属同期拉张作用的产物(吴泰然等,1993;王廷印等,1994)。后者岩性以变质橄榄岩、辉绿岩、闪长岩及花岗岩为主,其中花岗岩具有412 Ma的K-Ar年龄^①与此组年龄大致吻合。因此,沙拉扎山构造带及诺尔公-狼山构造带中加里东期(变质)侵入岩是此类锆石最可能的物质来源。

(4) 259~308 Ma,以岩浆岩锆石为主,是取样砂岩物质来源的主体。由前述可知,研究区东北部时代与之相当的地质体主要包括区域上广泛分布的早中二叠世中性火山岩与中酸性火山碎屑岩以及在其东侧与东南侧诺尔公-狼山构造带中大量发育的海西期花岗岩,后者岩性以黑(二)云母花岗岩、黑云(角闪)斜长花岗岩为主,具有267~302 Ma的K-Ar年龄^{①、②}。此外,在诺尔公-狼山构造带西延的卡休他他一带,相应的海西期石英闪长岩及石英二长岩具有275~278 Ma的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄(赖新荣等,

2007)。这些岩浆岩可能是晚古生代查干础鲁-霍尔森弧后盆地洋壳向南消减俯冲所形成的大陆边缘弧的产物(王廷印等,1994)。因此,诺尔公-狼山构造带中海西期岛弧型花岗岩及乌兰敖包一带早中二叠世中性火山岩及中酸性火山碎屑岩是取样砂岩中最主要的物质来源。

5 结论

(1) 乌兰敖包处原阿木山组下段砂岩的下限年龄为 259 ± 5 Ma,结合沉积特征、区域构造演化等的分析,笔者认为该套地层可能系晚三叠世沉积,与研究区西部及北山地区晚三叠世珊瑚井组相当,应从晚石炭—早二叠世阿木山组中解体出来。

(2) 阿木山组逆冲推覆于上三叠统珊瑚井组之上的构造形式,可能是内蒙古中西部及甘肃北山地区早中侏罗世大规模逆冲推覆构造的反映。

(3) 砂岩的物源主要为研究区东部海西期、加里东期侵入岩、中下二叠统火山岩与火山碎屑岩及太古宙与元古宙变质岩。

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192(1~2): 59~79.
- Andersen T. 2005. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: Limiting conditions from statistics and numerical stimulation [J]. *Chemical Geology*, 216(3~4): 249~270.
- Blank L P, Kamo S L, Williams I S, *et al.* 2003. The application of SHEIMP to Phanerozoic geochronology: A critical appraisal of four zircon standards [J]. *Chem. Geol.*, 200: 171~188.
- Dhuimea B, Delphine Bosch, Olivier Bruguier, *et al.* 2007. Age, provenance and post deposition metamorphic overprint of detrital zircons from the Nathorst Land group (NE Greenland): A LA-ICP-MS and SIMS study [J]. *Precambrian Research*, 155: 22~46.
- Dickinson W R. 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones [A]. Zuff G G. *Provenance of Arenites* [C]. Dordrecht: The Netherlands. D. Reidel, 333~361.
- Dickinson W R and Suczek C. 1979. Plate tectonics and sandstone composition [J]. *AAPG Bulletin*, 63: 2164~2182.
- Diwu Chunrong, Sun Yong, Yuan Honglin, *et al.* 2008. The U-Pb chronology of detrital zircon of quartzite and its geological significance of Songshan, Dengfeng area of Henan province [J]. *Science*

① 内蒙古自治区第一区域地质调查队. 1981. 乌尔特幅地质图及报告(1:20万).

② 内蒙古自治区第一区域地质调查队. 1981. 三道桥幅地质图及报告(1:20万).

- Bulletin, 53(16):1923~1934(in Chinese).
- Dodson M H, Compston W, Williams I S, *et al.* 1988. A search for ancient detrital zircons in Zimbabwean sediments[J]. Geol. Soc. Lond., 145:977~983.
- Dong Shenbao. 1986. The Metamorphism and its Relation with the Evolution of Crust of China[M]. Beijing: Geological Press, 76~78(in Chinese).
- Fedo C M and Eriksson K A. 1996. Stratigraphic framework of the 3.0 Ga Buhwa Greenstone Belt: A unique stable-shelf succession in the Zimbabwe Archean Craton[J]. Precambrian Research, 78(3):161~178.
- Feng Qinglai. 1999. Some problems on regional stratigraphy in orogenic belts[J]. Earth Science Frontiers, 6(3):133(in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, *et al.* 2006. Redefinition of the Alxa Group-complex(Precambrian metamorphic basement) in the Alxa area, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 33(1):138~145(in Chinese with English abstract).
- Hu Bo, Zhai Mingguo, Guo Jinghui, *et al.* 2009. LA-ICP-MS U-Pb geochronology of detrital zircons from the Huade Group in northern margin of the North China Craton and its tectonic significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(1):193~211(in Chinese with English abstract).
- Lai Xinrong, Jiang Sihong, Qiu Xiaoping, *et al.* 2007. ^{40}Ar - ^{39}Ar Age and Geochemical Features of Hercynian Intermediate Acidity Rock in Beidashan Rock Belt, Alxa[J]. Acta Geologica Sinica, 81(3):370~380(in Chinese with English abstract).
- Li Q L, Chen F K, Guo J H, *et al.* 2007. Zircon ages and Nd-Hf isotopic composition of the Zhaertai Group(Inner Mongolia): Evidence for early Proterozoic evolution of the northern North China Craton[J]. Journal of Asia Earth Sciences, 30:573~590.
- Li Shujing and Zhang Weijie. 1995. The latitudinal nappes structure in the Sunitezuoqi of Inner Mongolia[J]. Journal of Geomechanics, 1(1):42~52(in Chinese with English abstract).
- Li Yaping, Li Jinyi, Sun Guihua, *et al.* 2007. Basement of Junggar basin: evidence from detrital zircons in sandstone of previous Devonian Kalamaili formation[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(7):1577~1590(in Chinese with English abstract).
- Moecher D P and Scott D S. 2006. Differential zircon fertility of source terranes and natural bias in the detrital zircon record: Implications for sedimentary provenance analysis[J]. Earth and Planetary Science Letters, 247:252~266.
- Niu Shuyin, Hu Xiao and Sun Aiqun. 1993. Evolution of the paleoplate tectonics on north side of north china platform[J]. Geological Science and Technology Information, 12(1):17~21(in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiufu, Yao Peiyi, Wang Chengshu, *et al.* 1991. Sequence stratigraphy and tectonic environment of the Chartai group, Inner Mongolia[J]. Acta Geologica Sinica, 1:1~17(in Chinese with English abstract).
- Roser B P and Korsch R J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio[J]. Journal of Geology, 94:635~650.
- Smithies R H, Nelson D R and Pike G. 2001. Development of the Archean Mallee Basin, Pilbara Craton, northwestern Australia; a study of detrital and inherited zircon ages[J]. Sedimentary Geology, 141~142:79~94.
- The editorial board of The Code of Stratigraphy in China. 2000. The Code of Stratigraphy in China-Carboniferous[M]. Beijing: Geological Press, 22~23(in Chinese).
- Vermeesch P. 2004. How many grains are needed for a provenance study?[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 224:441~451.
- Wang Tao and Zheng Yadong. 2002. Mesozoic progressive transition from overthrusting to extension in the Sino-Mongolian border region and crustal tangential shear[J]. Geological Bulletin of China, 21(4~5):232~237(in Chinese with English abstract).
- Wang Tingyin, Liu Jinkun, Wang Shizheng, *et al.* 1993. Late Paleozoic extension and tectonomagmatic evolution in the sino-mongolia border region in the northern part of Alxa[J]. Regional Geology of China, 4:317~327(in Chinese with English abstract).
- Wang Tingyin, Wang Shizheng and Wang Jinrong. 1995. The Formation and Evolution of the Continental Crust of Paleozoic of Alxa[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 90~178(in Chinese).
- Willner A P, Sideris S, Metzger R, *et al.* 2003. Typology and single grain U/Pb ages of detrital zircons from Proterozoic sandstones in the SW Urals(Russia): early time marks at the eastern margin of Baltica[J]. Precambrian Research, 124:1~20.
- Wu F Y, Yang J H, Wilde S A, *et al.* 2007. Detrital zircon U-Pb and Hf isotopic constraints on the crustal evolution of North Korea[J]. Precambrian Research, 159:155~177.
- Wu Tairan and He Guoqi. 1993. Tectonic units and their fundamental characteristics on the northern margin of the Alxa block[J]. Acta Geologica Sinica, 67(2):97~108(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, He Shiping, Wang Hongliang, *et al.* 2008. The Conspectus of Geology of Northwestern China-Qinling Qilian and Tianshan area[M]. Beijing: Science Press, 195~217(in Chinese).
- Yan Yi, Lin Ge, Wang Yuejun, *et al.* 2002. The indication of continental detrital sediment to tectonic setting[J]. Advance in Earth Sciences, 17(1):85~106(in Chinese with English abstract).
- Yin Hongfu, Zhang Kexin, Wang Guocan, *et al.* 1998. Wilson cycle and non-smith method-The theory and method for the study of orogenic belt in China[J]. Regional Geology of China, (supplement):1~9(in Chinese).
- Yuan H L, Gao S, Liu X M, *et al.* 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 28(3):353~370.
- Zhang Kexin, Chen Nengsong, Wang Yongbiao, *et al.* 1997. Preliminary research on the sequence reconstruction of non-smith stratigraphy in eastern Kunlun orogenic belt[J]. Earth Science, 22(4):343~346(in Chinese with English abstract).

- Zheng Y D, Wang Q, Wang Y F, *et al.*. 1996. Great Jurassic thrust sheets in Beishan (North Mountains) Gobi areas of China and southern Mongolia [J]. *Journal of Structural Geology*, 18(9): 1111~1126.
- Zheng Yadong, Davis G A, Wang Zong, *et al.*. 1998. The great thrust nappe structure of Daqinshan, Inner Mongolia [J]. *Science in China (Series D)*, 28(4): 289~297 (in Chinese).
- Zhou Liangren and Yu Pusheng. 1989. The isotopic geochronology and its geological significance of Alxa Platform [J]. *Northwestern Geology*, 1: 52~63 (in Chinese).
- Zhou Lifa, Zhao Zhongyuan and Guo Zhongming. 1995. The formation and evolution of sedimentary basin of Alxa and its adjacent area [M]. Xi'an: Northwestern University Press, 2~4 (in Chinese).
- 李亚萍, 李锦轶, 孙桂华, 等. 2007. 准噶尔盆地基底的探讨: 来自原泥盆纪卡拉麦里组砂岩碎屑锆石的证据 [J]. *岩石学报*, 23(07): 1577~1590.
- 牛树银, 胡晓, 孙爱群. 1993. 华北地台北侧的古板块构造演化 [J]. *地质科技情报*, 1(1): 17~21.
- 乔秀夫, 姚培毅, 王成述, 等. 1991. 内蒙古渣尔泰群层序地层及构造环境 [J]. *地质学报*, 1: 1~17.
- 王涛, 郑亚东. 2002. 中蒙边界中生代推覆伸展递进转换及地壳尺度的切向剪切 [J]. *地质通报*, 21(4~5): 232~237.
- 王廷印, 刘金坤, 王士政, 等. 1993. 阿拉善北部中蒙边界地区晚古生代拉伸作用及构造岩浆演化 [J]. *中国区域地质*, 4: 317~327.
- 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 [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 90~178.
- 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 [J]. *地质学报*, 67(2): 97~108.
- 徐学义, 何世平, 王洪亮, 等. 2008. 中国西北部地质概论—秦岭、祁连、天山地区 [M]. 北京: 科学出版社, 195~217.
- 闫义林, 王岳军, 等. 2002. 盆地陆源碎屑沉积物对源区构造背景的指示意义 [J]. *地球科学进展*, 17(1): 85~106.
- 殷鸿福, 张克信, 王国灿, 等. 1998. 非威尔逊旋回与非史密斯方法—中国造山带研究的理论与方法 [J]. *中国区域地质(增刊)*, 1~9.
- 张克信, 陈能松, 王永标, 等. 1997. 东昆仑造山带非史密斯地层序列重建方法初探 [J]. *地球科学*, 22(4): 343~346.
- 郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 1998. 内蒙古大青山大型逆冲推覆构造 [J]. *中国科学: D辑*, 28(4): 289~297.
- 中国地层典委员会. 2000. 中国地层典—石炭系 [M]. 北京: 地质出版社, 22~23.
- 周良仁, 于浦生. 1989. 阿拉善台隆同位素年龄数据及其地质意义 [J]. *西北地质*, 1: 52~63.
- 周立发, 赵重远, 郭忠铭. 1995. 阿拉善及邻区沉积盆地的形成与演化 [M]. 西安: 西北大学出版社, 2~4.

附中文参考文献

- 第五春荣, 孙勇, 袁洪林, 等. 2008. 河南登封地区高山石英岩碎屑锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素组成及其地质意义 [J]. *科学通报*, 53(16): 1923~1934.
- 董申保. 1986. 中国变质作用及其与地壳演化的关系 [M]. 北京: 地质出版社, 76~78.
- 冯庆来. 1999. 造山带区域地层学研究的几个问题 [J]. *地学前缘*, 6(3): 133.
- 耿元生, 王新社, 沈其韩, 等. 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.
- 胡波, 翟明国, 郭敬辉, 等. 2009. 华北克拉通北缘化德群中碎屑锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. *岩石学报*, 25(1): 193~211.
- 赖新荣, 江思宏, 邱小平, 等. 2007. 阿拉善北大山岩带海西期中酸性岩 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地球化学特征 [J]. *地质学报*, 81(3): 370~380.
- 李述靖, 张维杰. 1995. 内蒙古苏尼特左旗纬向推覆构造的发现及地