贺兰山北段贺兰山岩群富铝片麻岩碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb定年及区域对比

校培喜[1],由伟丰[2],谢从瑞[1],李 平[1],白生明[3]
XIAO Pei-xi[1], YOU Wei-feng[2], XIE Cong-rui[1], LI Ping[1], BAI Sheng-ming[3]

1. 中国地质调查局西安地质矿产研究所,陕西 西安 710054;
2. 中石化勘探研究院,北京 100083;
3. 宁夏自治区地质环境监测总站,宁夏 银川 750000
1. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resource, China Geological Survey , Xi'an* 710054, *Shaanxi, China;*
2. *Sinopec Exploration Research Institute, Beijing* 100083, *China;*
3. *Geology-environmental Monitoring Central Station of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan* 750000, *Ningxia, China*

摘要:贺兰山北段贺兰山岩群中发育一套富铝片麻岩,Al_2O_3 含量较高,总体与粘土质岩石化学成分相似,显示孔兹岩系的特征,变质矿物组合主要为石榴子石、堇青石、硅线石、十字石、紫苏辉石等,变质级别达角闪岩相—麻粒岩相。从宗别立岩组含石榴矽线黑云二长片麻岩中选取 100 粒各种类型的锆石进行了 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年,获得 47 个测年数据,锆石年龄多数介于 1.80~2.15Ga 之间,峰值为 2.00~2.05Ga。碎屑锆石年龄频谱图与鄂尔多斯地块北缘的集宁岩群和乌拉山岩群十分相似,总体与吕梁构造运动的时限一致,为华北克拉通成熟陆壳演化阶段的产物,证明孔兹岩系形成于古元古代,之后长期处于稳定状态,很少受到构造热事件的干扰。

关键词:贺兰山北段;贺兰山岩群;富铝片麻岩;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年;古元古代
中图分类号:P588.34+5;P597+.3 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2011)01-0026-11

Xiao P X, You W F, Xie C R, Li P, Bai S M. LA-ICP-MS U-Pb detrital zircon geochronology of alumina-rich gneiss of the Helanshan complex-group in the northern segment of Helanshan Mountains and regional comparison. ***Geological Bulletin of China,*** **2011, 30(1):26-36**

Abstract: The Helanshan Group exposed in the northern segment of Helangshan mountains is high-grade metamorphosed rocks which are mainly composed of grey-biotite-sillimanite-cordierite-monzonitic-gneiss, sillimanite-garnet-biotite-plagioclase-gneiss, garnet-biotite-plagioclase-leptynite, sillimanite-garnet-monzonitic-leptite, sillimanite-biotite- plagioclase-leptynite, graphite-marble and hypersthene-plagioclase-gneiss. The gneiss of Helanshan Group belongs to khondalite series characterized by rich in Al_2O_3 and similar geochemistry to clay rocks, and its protolith rocks assemblages are alumina rich pelite and siltstone, which indicate that the gneiss is a suite of stable continental margin terrigenous clastic rock, the metamorphosed mineral assemblages of gneiss consist of garnet, cordierite, sillimanite, staurolite, hypersthene and so on. Forty-seven U-Pb data were obtained by LA-ICP-MS method for the detrital zircons of four garnet- sillimanite-biotite-monzonitic-gneiss from the Helanshan Group in this study. The majority ages of the grains from these four samples are clustered in the 1.80-2.15Ga, with characteristic age probability peaks at 2.00-2.05Ga. The detrital zircons ages of the Helanshan Group are similar to Jining complex and Wulashan Group in the western margin of E'erduosi massif that were related to Lüliang movement. We interpret these gneiss as the evolution of mature crust of the North China craton. Based on

收稿日期:2010-06-18;**修订日期**:2010-08-02
资助项目:中石化前瞻性研究项目《走廊—阿拉善地区岩相古地理研究与编图》
作者简介:校培喜(1960-),男,教授级高级工程师,从事区域地质调查与研究。E-mail:xaxpeixi@163.com
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

distributing age range of detrital zircons of the Helanshan Group. We suggest that the khondalite series of the Helanshan Group formed in the Paleoproterzoic, less to the effect of later period tectonic-thermal events of the North China.

Key words: the northern segment of Helangshan Mountains; Helasnshan Complex-Group; Alumina rich gneiss; LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology; Paleoproterozoic

分布于贺兰山北段的贺兰山岩群主要为一套深变质岩系。前人最早称之为"桑干系",时代划归太古宙。1980—1981 年,宁夏区调队完成 1:20 万石嘴山市幅和阿拉善左旗幅区域地质调查后,将测区贺兰山北段宗别立一带的这套地层命名为"宗别立群",划分为 3 个亚群,时代定为太古宙。此后霍福臣等又将宗别立群改名为贺兰山岩群,划分为 3 个亚群,并长期沿用,后各亚群之间的界线虽有变更,但总体无大的变动。1:25 万吉兰泰幅区调将原来的 3 个亚群解体,把其中的变质侵入岩从中分离出来,将原来的第一亚群厘定为宾布勒岩组,原第二、三亚群定名为宗别立岩组,时代厘定为新太古代—古元古代[①]。由此看来,该岩群的时代归属存在太古宙与古元古代的不同认识,前人将其分别与北山岩群、龙首山岩群、集宁岩群进行对比。本文主要结合富铝片麻岩的碎屑锆石测年数据对贺兰山岩群原岩的形成时代和区域对比问题进行深入讨论。

1　宏观地质特征

贺兰山岩群主要分布于贺兰山北段宗别立北部的大片地区(图 1)。将其中的变质侵入岩解体后,余下的变质表壳岩可划分为 2 个岩组,即宾布勒岩组和宗别立岩组,两者之间以脆韧性断层或构造面理相接触。其中宾布勒岩组主要出露于贺兰山北段的都勒乌拉阿拉、宾布勒、哈尔乌苏梁、阿勒乌拉等大片区域,总体走向近东西向,出露面积约为 149.44km^2。岩石类型主要为灰—深灰色中—细粒矽线石榴黑云二长片麻岩、石榴黑云斜长片麻岩及少量黑云变粒岩、石榴黑云变粒岩。组合类型主要有以下 2 种,一种是灰黑色矽线堇青斜长片麻岩、二长片麻岩与灰白色石榴堇青变粒岩呈不等厚互层状产出;另一种是灰色石榴黑云二长片麻岩与灰白色石

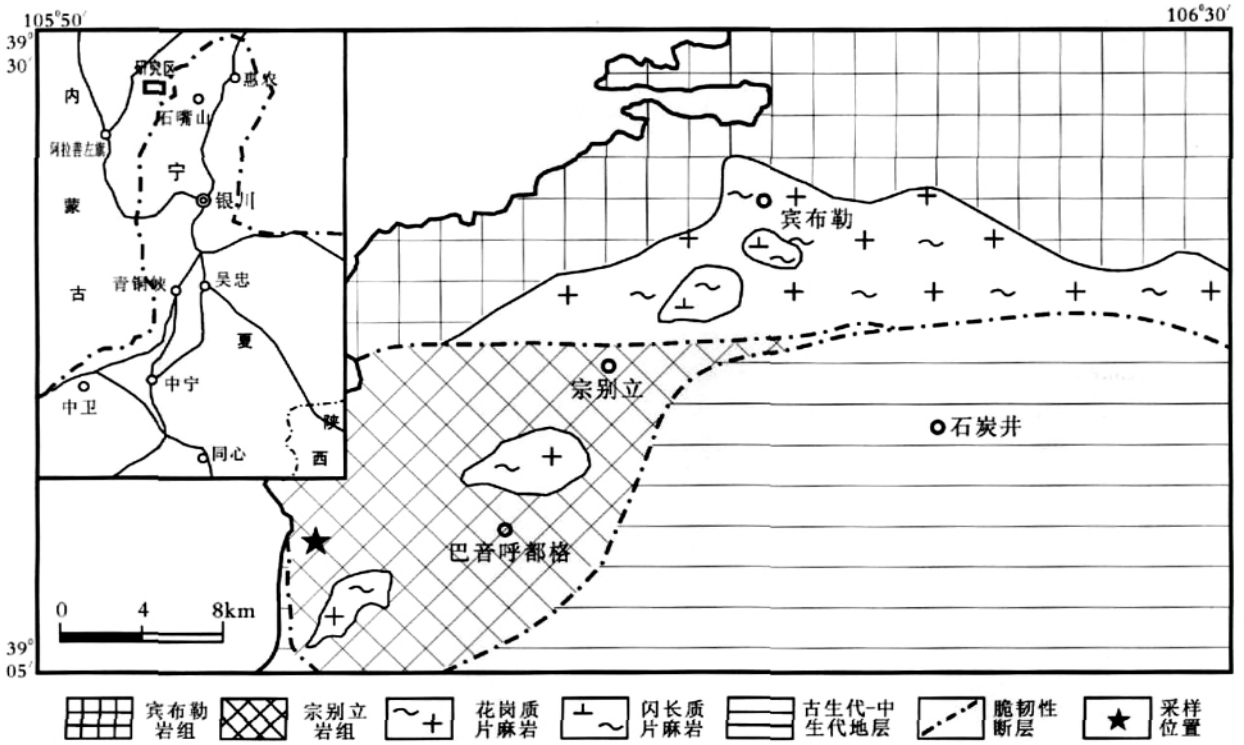


图 1　贺兰山北段石炭井一带地质略图

Fig. 1　Geological sketch map of Shitanjing area in the northern segment of Helanshan Mountains

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

榴黑云变粒岩各自独立地呈厚达数十米至百米的块状层分布,岩性为灰黑—灰色(石榴)黑云二长片麻岩、(石榴)黑云斜长片麻岩、(石榴)矽线堇青二长片麻岩夹灰—浅灰色黑云变粒岩、石榴黑云变粒岩、石榴子石变粒岩及二云片岩。宗别立岩组位于贺兰山北段阿拉善左旗宗别立镇之北、宾布勒之南,出露面积约为 157.75km^2,岩性组合主要为混合岩化矽线石榴二长片麻岩、石榴子石浅粒岩(图版Ⅰ-a)、深灰色含矽线黑云斜长变粒岩等, 与宾布勒岩组的主要区别是变粒岩所占比例明显增加。

该套地层经历了强烈的变质变形作用改造,变质程度达角闪岩相(局部为麻粒岩相)[1-2],构造分异明显,部分地段发生混合岩化,透入面理为区域片麻理,褶皱构造主要为肠状褶皱、流变褶皱(图版Ⅰ-b)、紧闭同斜褶皱、构造透镜体、无根褶皱等。

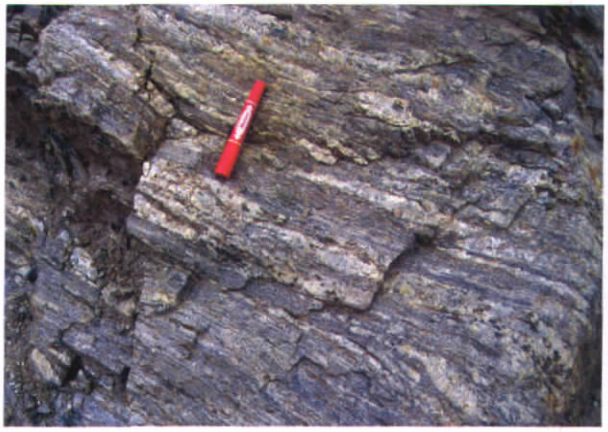
2 岩石学和岩石地球化学特征

2.1 岩石学特征

如前所述, 贺兰山岩群富铝质岩石类型包括了片麻岩和长英质粒岩 2 种类型。片麻岩类岩石以长石、石英等矿物为主,富铝矿物主要为石榴子石、矽线石,具片麻状构造,多具粒状变晶结构,矿物颗粒较粗(图版Ⅰ-c)。长英质粒岩多呈似层状、条带状产出,块状构造,粒状变晶结构,主要由长石、石英等浅色矿物组成,富铝矿物主要为石榴子石、堇青石,还可含少量矽线石(图版Ⅰ-d)。

富铝二长片麻岩:岩石主要由钾长石(30%~40%)、斜长石(20%~30%)和石英(20%~30%)组成,此外含黑云母(5%~10%)、石榴子石(5%~10%)、矽线石(3%~5%)。斜长石、石英、黑云母呈鳞片粒状变晶结

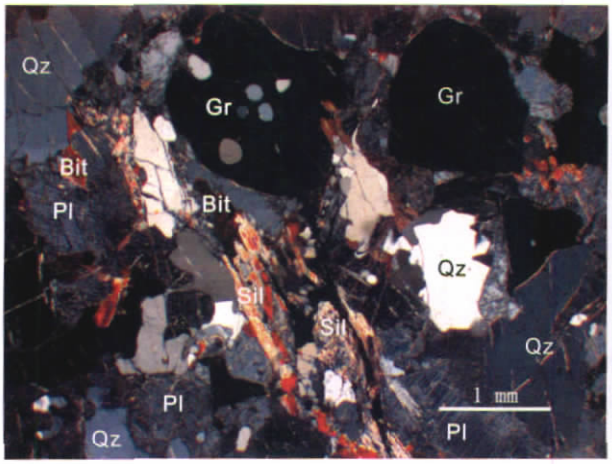
图版Ⅰ Plate Ⅰ



a. 阿拉善左旗宗别立镇东北宗别立岩组矽线石榴二长片麻岩岩貌

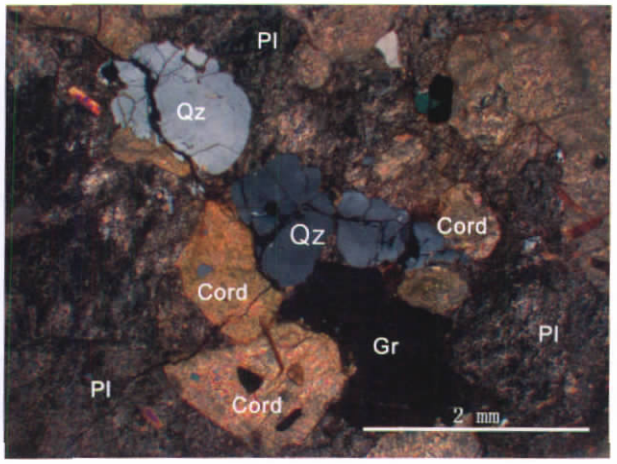


b. 阿拉善左旗宗别立镇东北宗别立岩组构造分异及流变构造特征



c. 富铝二长片麻岩显微组构特征

Qz—石英;Gr—石榴子石;Pl—斜长石;Bit—黑云母;Sil—矽线石



d. 堇青石榴二长变粒岩显微组构特征

Qz—石英;Gr—石榴子石;Pl—斜长石;Cord—堇青石

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

构,钾长石和斜长石常具交代结构(交代蠕虫结构、交代残留结构等),黑云母为褐红色,多被矽线石交代,同时析出金红石。上述矿物组合总体上反映了高角闪岩相(局部为麻粒岩相)变质作用的特征,原岩为富铝的粘土质岩石。

富铝变粒岩:为块状构造,粒状变晶结构,按长石的种属和含量,可分为含堇青石榴斜长变粒岩、石榴堇青二长变粒岩和(含矽线)石榴堇青碱长变粒岩。其中含堇青石榴斜长变粒岩的矿物成分主要为石英(48%~65%)、斜长石(25%~40%)、黑云母(3%~8%)、石榴子石(5%左右),含少量堇青石;石榴堇青二长变粒岩的矿物成分主要为石英(20%~48%)、斜长石(10%~35%)、碱性长石(15%~30%)、黑云母(5%~10%)、石榴子石(5%~7%)、堇青石(5%左右)、矽线石(小于 5%)。原岩为富铝的泥质粉砂岩。

2.2　岩石地球化学特征

2.2.1　常量元素

贺兰山岩群富铝质岩石常量元素含量见表 1。

富铝片麻岩:与斜长片麻岩相比,富铝片麻岩 SiO_2 含量变化范围较大(57.58%~72.66%),Al_2O_3 和 K_2O 含量高,分别为 11.96%~22.33%和 2.82%~5.06%,K_2O 大于 Na_2O,CaO 含量明显偏低(0.35%~2.94%),总体与粘土岩类的化学成分十分相似。

富铝长英质粒岩:与富铝片麻岩相比,富铝长英质粒岩 SiO_2 含量高(71.46%~73.48%),Al_2O_3 较低(11.96%~13.11%),变粒岩中 K_2O 和 Na_2O 平均含量近于相等,个别 $K_2O>Na_2O$,总体与长石砂岩、杂砂岩、泥质粉砂岩等相似。

2.2.2　稀土元素

从表 2 可以看出,富铝片麻岩稀土元素总量较高,变化范围较大((157.96~307.18)×10^{-6}),富铝质变粒岩 ∑REE 变化范围较小((203.62~255.77)×10^{-6})。北美页岩标准化后计算有关参数,可以看出,不论是片麻岩还是富铝长英质粒岩均具 Eu 负异常(Eu/Eu^*=0.43~0.96),富铝片麻岩$(La/Yb)_N$=1.18~7.75,δEu=0.59~1.25,富铝质粒岩中 δEu=0.80~0.96,$(La/Yb)_N$=4.60~4.62。富铝质岩石稀土元素配分曲线如图 2 所示,可以看出富铝质片麻岩轻稀土元素略有富集,重稀土元素略有贫化;富铝长英质粒岩轻稀土元素略有富集,但重稀土元素明显贫化。总之,贺兰山富铝质岩石稀土元素特征与泥质岩,特别是后太古宙页岩相似,而与太古宙泥质岩有明显的差异[3]。华北克拉通副变质岩地球化学特征前人研究较多,尤其是稀土元素,按照稀土元素地球化学特征将该区域副变质岩划为 2 类,研究区富铝质岩石与第二类(稀土元素总量高、明显 Eu 负异常)相似,反映富铝质岩石的沉积源区可能存在钾质花岗岩[4]。

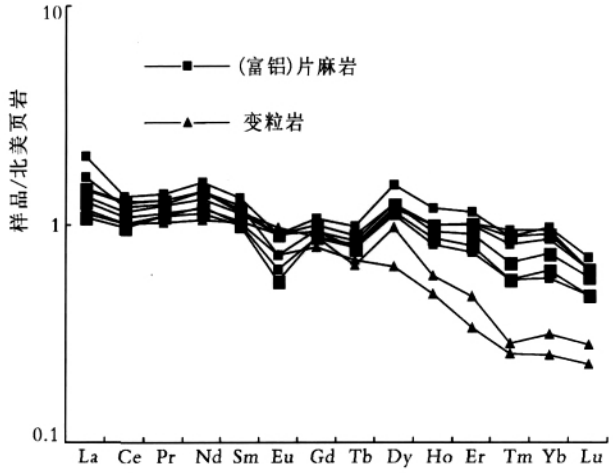


图 2　富铝质岩石稀土元素配分曲线

Fig. 2　REE patterns of aluminum-rich rocks

3　LA-ICP-MS 单颗粒锆石微区 U-Pb 同位素测年

用于同位素测年的 2 个样品采自内蒙古阿拉善左旗宗别立镇东北,地理坐标为北纬 39°11′33.1″、东经 106°03′57.4″,岩石类型均为矽线石榴黑云二长片麻岩,2 个样品重约 30kg。从中挑选得到 100 粒锆石,选择裂纹和包裹体均较少的锆石制靶上机测定,同位素测年详细分析测试步骤和数据处理方法见参考文献[5-6]。测定的锆石多呈淡褐色,锆石形态为浑圆粒状、椭圆粒状及长柱状,粒长 100~300μm,长宽比 1:1~3:1,多数锆石阴极发光(CL)图像显示规则的震荡环带(图 3),Tu/U 比值变化范围较大(0.14~1.49),显示典型岩浆锆石的特征,属继承的碎屑锆石[7]。部分锆石颗粒边部发育较窄的变质增生边,由于增生边非常薄,难以进行打点测试。为了保证测试结果具有代表性,打点位置尽量覆盖了不同形状锆石的不同部位,以便能充分反映碎屑锆石的年龄频谱特征。共完成锆石 LA-ICP-MS 测点 68 个,获得 47 个有效测定结果(表 3、图 4)。

如上所述,贺兰山岩群富铝片麻岩的矿物组合特征反映其原岩为泥质岩和泥质粉砂岩,从矽线石

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 贺兰山岩群富铝质岩石常量元素含量

Table 1 Major element compositions of alumina-rich gneiss from the Helanshan Complex-Group in the northern segment of Helanshan Mountains

样品号	岩 性	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI	SUM
14YQ21-1	石榴堇青二长片麻岩	67.31	0.55	15.91	0.45	4.12	0.09	1.38	2.94	1.42	3.00	0.16	2.04	99.37
14YQ27-1	石榴堇青碱长片麻岩	70.11	0.38	15.18	0.21	4.45	0.09	1.14	1.38	2.11	3.68	0.06	0.75	99.54
14YQ125-1	石榴堇青斜长片麻岩	63.64	0.55	17.59	1.09	4.03	0.03	1.60	1.42	1.37	5.00	0.05	3.02	99.39
14YQ153-1	矽线石榴堇青二长片麻岩	59.96	0.68	18.98	0.94	6.26	0.08	2.89	0.83	1.58	4.72	0.14	2.93	99.99
14YQ245-1	石榴堇青黑云二长片麻岩	60.93	0.64	18.40	1.38	6.16	0.10	2.45	0.35	1.57	5.06	0.10	2.59	99.73
11YQ30-2	堇青矽线石榴斜长片麻岩	57.58	0.65	21.73	0.42	8.01	0.15	3.18	1.08	1.65	3.33	0.10	1.78	99.66
11YQ71-1	含矽线石榴堇青片麻岩	58.61	0.68	22.33	0.63	8.18	0.11	2.84	0.62	1.48	3.70	0.10	1.29	100.57
11YQ99-1	矽线石榴堇青片麻岩	61.30	0.58	19.29	0.31	6.79	0.15	2.57	1.01	1.53	3.61	0.09	2.42	99.65
HL001/1G	矽线石榴二长片麻岩	72.66	0.44	13.05	0.48	4.49	0.05	1.82	0.45	0.99	2.89	0.05	2.39	99.75
HL002/1G	矽线石榴二长片麻岩	68.64	0.67	14.62	0.89	4.35	0.04	1.88	0.43	1.76	4.16	0.06	2.50	100.00
14YQ125-2	含矽线石榴黑云斜长变粒岩	71.46	0.45	11.96	1.24	3.41	0.08	1.87	1.08	2.92	2.82	0.07	1.98	99.34
14YQ294-1	石榴堇青二长变粒岩	73.48	0.46	13.11	0.61	2.49	0.07	1	0.67	2.47	4.5	0.11	1.57	100.54

注:氧化物含量单位为%

表 2 贺兰山岩群富铝质岩石稀土元素含量及参数

Table 2 REE compositions and parameters of alumina-rich gneiss from the Helanshan complex-group in the northern segment of Helanshan Mountains

样品号	岩 性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	$(La/Yb)_N$	δEu
14YQ21-1	石榴堇青二长片麻岩	44.00	80.00	11.00	43.00	7.40	0.91	5.60	1.00	6.50	1.34	3.80	0.55	3.20	0.38	208.68	1.18	0.59
14YQ27-1	石榴堇青碱长片麻岩	36.00	66.00	8.40	34.00	5.60	0.72	3.50	0.49	2.50	0.40	0.77	0.12	0.40	0.10	159.00	7.75	0.67
14YQ125-1	石榴堇青斜长片麻岩	84.00	112.00	14.00	59.00	10.00	1.50	6.80	1.20	8.40	1.60	4.30	0.55	3.40	0.43	307.18	2.13	0.75
14YQ153-1	矽线石榴堇青二长片麻岩	68.00	100.00	12.50	54.00	9.10	1.20	6.00	0.95	6.10	1.08	2.80	0.35	2.00	0.29	264.37	2.93	0.67
14YQ245-1	石榴堇青黑云二长片麻岩	46.00	84.00	11.00	46.00	7.60	1.04	5.50	0.97	6.50	1.34	3.80	0.59	3.30	0.38	218.02	1.20	0.67
11YQ30-2	堇青矽线石榴斜长片麻岩	52.00	89.00	11.30	45.00	7.80	1.50	5.90	0.95	6.30	1.16	3.00	0.35	2.16	0.29	226.71	2.07	0.92
11YQ71-1	含矽线石榴堇青片麻岩	60.00	106.00	13.00	54.00	8.80	1.50	6.30	1.10	6.80	1.24	3.40	0.42	2.60	0.35	265.51	1.99	0.83
11YQ99-1	矽线石榴堇青片麻岩	55.00	94.00	12.30	50.00	8.40	1.50	5.90	1.03	6.80	1.34	3.70	0.51	3.00	0.38	243.86	1.58	0.88
HL001/1G	矽线石榴二长片麻岩	27.87	60.40	8.16	35.92	6.76	1.03	0.86	1.10	4.49	0.89	2.32	0.32	1.95	0.26	152.32	1.23	1.20
HL002/1G	矽线石榴二长片麻岩	53.42	98.41	12.20	52.24	9.58	1.53	1.24	1.30	6.37	1.13	2.95	0.40	2.49	0.32	243.56	1.85	1.25
14YQ125-2	含矽线石榴黑云斜长变粒岩	59.00	104.00	13.00	54.00	8.50	1.60	5.60	0.80	5.30	0.78	1.74	0.18	1.10	0.17	255.77	4.62	0.96
14YQ294-1	石榴堇青二长变粒岩	48.00	84.00	10.3	40.00	7.70	1.20	5.00	0.84	3.5	0.64	1.25	0.16	0.89	0.14	203.62	4.64	0.80

注:除 HL001/1G 和 HL002/1G 两个样品为本项目采集测试外(测试单位为西安实验测试中心),其余样品均为 1:25 万吉兰泰幅区调资料。元素含量单位为 10^{-6}

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

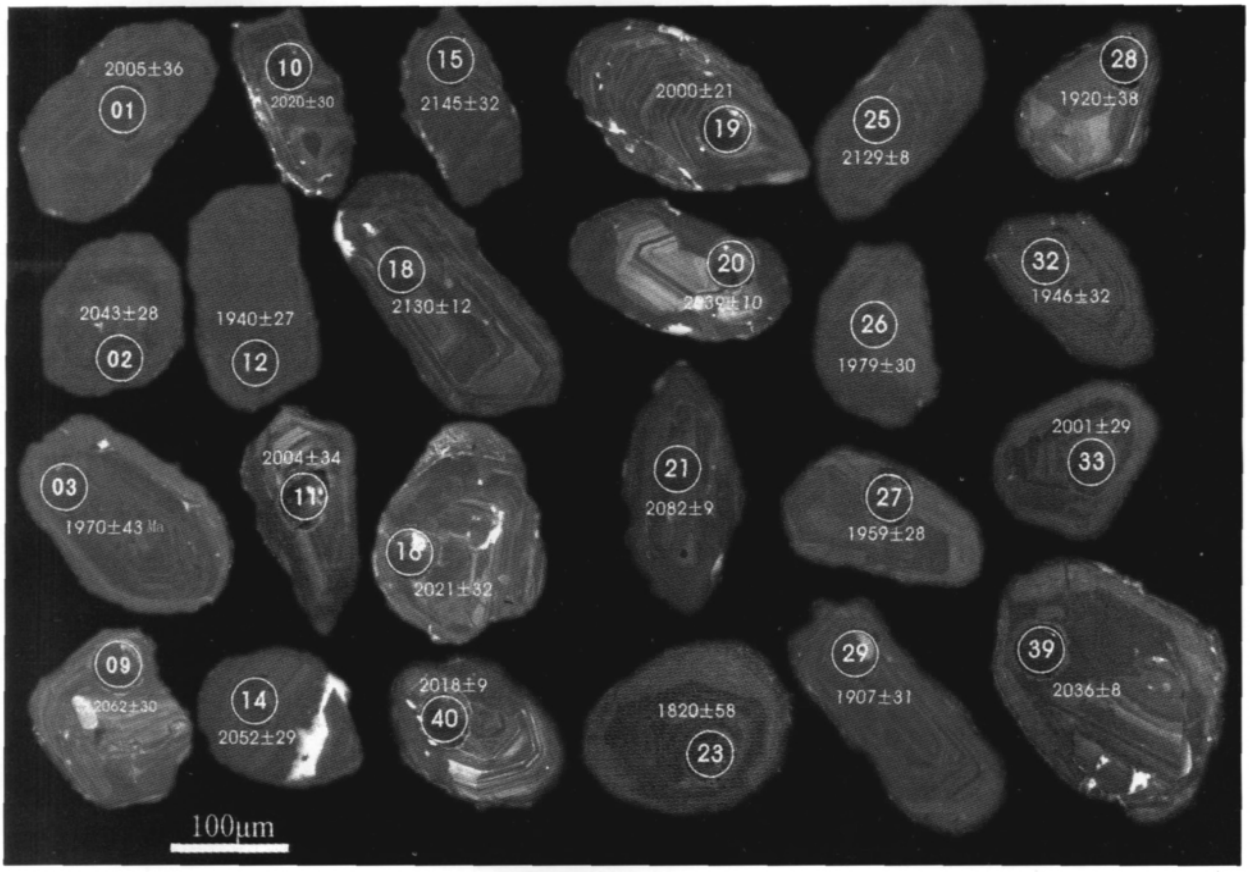


图 3　贺兰山岩群富铝片麻岩锆石阴极发光图像

Fig. 3　Cathodoluminescence images for zircons from alumina-rich gneiss of the Helanshan Complex-Group in the northern segment of Helanshan Mountains

榴黑云二长片麻岩中获得 47 组碎屑锆石 U-Pb 同位素测年数据,这里主要选择 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 的年龄结果进行讨论。LA-ICP-MS 测年结果表明,44 个点 Tu/U 比值大于 0.2,其中 Tu/U 比值大于 0.41 的有 16 个。47 个年龄数据中 1.8~1.9Ga 的 2 个,分布频率为 4.3%;1.9~2.0Ga 的 15 个,分布频率为 31.9%;2.0~2.1Ga 的 28 个,分布频率为 59.6%,这些点中多数点的 Tu/U 比值大于 0.41;2.1~2.2Ga 的 2 个,分布频率为4.3%。

47 个年龄值显示,锆石主要来源于 1.9~2.1Ga(共 43 个点,占所测有效点的 91.5%)的古元古代大陆地壳,典型岩浆锆石的大量出现,说明蚀源区主要为花岗质岩石。

4　讨　论

4.1　富铝片麻岩的原岩与变质时代

从上述贺兰山岩群 2 个典型变泥质岩石样品的锆石分析结果看,岩石虽然遭受了高角闪岩—麻粒岩相的变质作用改造,但变质锆石几乎不发育,锆石特征主要显示为蚀源区岩浆锆石的特征。分析数据说明富铝片麻岩的原岩碎屑物质来源较为单一,2 个样品 43 个点的年龄值集中在 1.9~2.1Ga 之间,前人的测年数据也多在此范围内(表 4),说明富铝片麻岩原岩蚀源区在古元古代曾存在大规模的花岗岩浆活动。

依据富铝片麻岩中 90%的碎屑锆石年龄集中在 1.9~2.1Ga 之间,变质时代为 1.8~1.9Ga,初步确定贺兰山岩群的原岩形成时代要老于 1.8Ga(变质年龄)。从区域上看,孔兹岩系的沉积时代可能为 1.9~2.0 Ga,即古元古代,并非前人认为的新太古代。

富铝片麻岩 1855Ma±60Ma 和 1858Ma±40Ma 的 2 个年龄数据与胡能高等[4]在变泥砂质岩石中获得的 1.85Ga 锆石蒸发法年龄(可能为变质作用年龄)、董春艳等[8]在华北克拉通西部孔兹岩带中获得的变

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 贺兰山岩群富铝片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年结果

Table 3 The results of zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of alumina-rich gneiss from the Helanshan Complex-Group in the northern segment of Helanshan Mountains

样品号	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		谐和度	Th/U
	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ		
HL001-01	0.1233	0.0024	5.9316	0.0989	0.3488	0.0037	0.0997	0.0010	2005	36	1966	14	1929	18	1921	19	104	0.50
HL001-03	0.1209	0.0029	5.0916	0.1056	0.3054	0.0034	0.0875	0.0009	1970	43	1835	18	1718	17	1695	18	115	0.76
HL001-04	0.1134	0.0037	4.6142	0.1399	0.2951	0.0036	0.0851	0.0009	1855	60	1752	25	1667	18	1650	17	111	1.49
HL001-1-05	0.1241	0.0020	5.7375	0.0722	0.3353	0.0034	0.0958	0.0010	2016	29	1937	11	1864	16	1849	18	108	0.24
HL001-10	0.1244	0.0021	5.8598	0.0774	0.3416	0.0035	0.0976	0.0010	2020	30	1955	11	1894	17	1882	18	107	0.30
HL001-11	0.1233	0.0023	5.5662	0.0846	0.3275	0.0035	0.0936	0.0011	2004	34	1911	13	1826	17	1809	20	110	0.31
HL001-14	0.1267	0.0020	5.9947	0.0746	0.3432	0.0035	0.0978	0.0010	2052	29	1975	11	1902	17	1887	19	108	0.21
HL001-16	0.1245	0.0022	5.4625	0.0782	0.3183	0.0033	0.0909	0.0010	2021	32	1895	12	1782	16	1759	18	113	0.39
HL001-17	0.1226	0.0021	5.3220	0.0725	0.3148	0.0033	0.0900	0.0009	1995	31	1872	12	1764	16	1743	17	113	0.37
HL001-19	0.1230	0.0021	5.6266	0.0743	0.3318	0.0035	0.0949	0.0010	2000	31	1920	11	1847	17	1832	18	108	0.29
HL001-20	0.1257	0.0026	5.7627	0.0728	0.3322	0.0036	0.0958	0.0015	2039	10	1941	11	1849	17	1849	28	110	0.27
HL001-21	0.1288	0.0027	6.1094	0.0731	0.3437	0.0037	0.0994	0.0011	2082	9	1992	10	1904	18	1915	21	109	0.63
HL001-26	0.1216	0.0020	5.3505	0.0690	0.3192	0.0033	0.0914	0.0009	1979	30	1877	11	1786	16	1767	17	111	0.36
HL001-27	0.1202	0.0018	5.3912	0.0606	0.3254	0.0033	0.0933	0.0010	1959	28	1883	10	1816	16	1802	18	108	0.12
HL001-28	0.1176	0.0024	5.1361	0.0892	0.3168	0.0035	0.0910	0.0010	1920	38	1842	15	1774	17	1760	18	108	0.48
HL001-29	0.1168	0.0020	5.2272	0.0699	0.3247	0.0034	0.0933	0.0010	1907	31	1857	11	1813	17	1803	19	105	0.27
HL001-33	0.1231	0.0020	5.5485	0.0688	0.3269	0.0034	0.0935	0.0010	2001	29	1908	11	1824	17	1806	18	110	0.31
HL001-35	0.1171	0.0030	5.0600	0.1136	0.3134	0.0039	0.0901	0.0011	1912	47	1829	19	1758	19	1743	20	109	0.55
HL001-39	0.1255	0.0024	6.2396	0.0651	0.3611	0.0038	0.0967	0.0009	2036	8	2010	9	1987	18	1865	16	102	0.53
HL001-40	0.1243	0.0024	6.2439	0.0655	0.3650	0.0038	0.1039	0.0009	2018	9	2011	9	2006	18	1997	17	101	0.81
HL001-41	0.1255	0.0026	5.9329	0.1018	0.3430	0.0039	0.0979	0.0011	2035	37	1966	15	1901	19	1887	20	107	0.55
HL001-42	0.1204	0.0020	5.4874	0.0698	0.3305	0.0035	0.0947	0.0011	1963	30	1899	11	1841	17	1829	21	107	0.16
HL001-43	0.1226	0.0024	6.2323	0.0740	0.3695	0.0040	0.1034	0.0011	1994	9	2009	10	2027	19	1988	20	98	0.71

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表 3

样品号	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		谐和度	Th/U
	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ		
HL001-44	0.1321	0.0026	6.1616	0.0726	0.3391	0.0037	0.0938	0.0011	2126	9	1999	10	1882	18	1812	19	113	0.53
HL001-49	0.1229	0.0024	6.2294	0.0682	0.3687	0.0040	0.1022	0.0011	1999	9	2009	10	2023	19	1966	20	99	0.37
HL002-01	0.1248	0.0025	5.8374	0.0594	0.3391	0.0034	0.0969	0.0009	2026	8	1952	9	1882	16	1869	17	108	0.25
HL002-02	0.1270	0.0026	6.4802	0.0701	0.3699	0.0038	0.1034	0.0011	2057	9	2043	10	2029	18	1989	20	101	0.37
HL002-11	0.1258	0.0021	5.9836	0.0810	0.3451	0.0036	0.0985	0.0010	2040	31	1973	12	1911	17	1898	18	107	0.42
HL002-13	0.1239	0.0021	5.4723	0.0728	0.3205	0.0033	0.0916	0.0009	2012	31	1896	11	1792	16	1771	17	112	0.34
HL002-16	0.1201	0.0022	5.6840	0.0871	0.3434	0.0037	0.0984	0.0011	1957	34	1929	13	1903	18	1897	19	103	0.37
HL002-19	0.1276	0.0025	6.0390	0.0623	0.3432	0.0035	0.0582	0.0005	2065	8	1981	9	1902	17	1143	9	109	1.40
HL002-20	0.1255	0.0025	5.5156	0.0576	0.3187	0.0032	0.0783	0.0009	2036	8	1903	9	1783	16	1524	16	114	0.21
HL002-22	0.1229	0.0020	5.2493	0.0653	0.3098	0.0032	0.0886	0.0009	1998	29	1861	11	1740	16	1716	17	115	0.28
HL002-24	0.1242	0.0024	5.4603	0.0550	0.3189	0.0032	0.0524	0.0005	2017	8	1894	9	1784	16	1032	10	113	0.18
HL002-25	0.1277	0.0026	6.1104	0.0679	0.3469	0.0036	0.0998	0.0011	2067	9	1992	10	1920	17	1923	20	108	0.35
HL002-29	0.1252	0.0020	5.9614	0.0720	0.3454	0.0035	0.0986	0.0010	2031	29	1970	11	1913	17	1900	18	106	0.24
HL002-30	0.1247	0.0021	5.4534	0.0701	0.3171	0.0033	0.0906	0.0009	2025	30	1893	11	1776	16	1752	17	114	0.29
HL002-32	0.1197	0.0018	5.5260	0.0619	0.3350	0.0034	0.0960	0.0010	1951	28	1905	10	1862	16	1853	18	105	0.14
HL002-37	0.1263	0.0025	6.2054	0.0684	0.3564	0.0037	0.1737	0.0017	2047	9	2005	10	1965	18	3238	28	104	0.50
HL002-38	0.1189	0.0020	5.2378	0.0687	0.3196	0.0033	0.0917	0.0010	1939	31	1859	11	1788	16	1773	18	108	0.27
HL002-41	0.1236	0.0020	6.2329	0.0791	0.3657	0.0038	0.1045	0.0011	2009	30	2009	11	2009	18	2009	20	100	0.23
HL002-42	0.1264	0.0026	6.4579	0.0722	0.3706	0.0039	0.1093	0.0013	2048	9	2040	10	2032	18	2096	24	101	0.26
HL002-43	0.1245	0.0025	5.4904	0.0565	0.3198	0.0033	0.0622	0.0006	2022	8	1899	9	1789	16	1219	11	113	0.55
HL002-44	0.1136	0.0025	5.2380	0.0978	0.3344	0.0037	0.0964	0.0011	1858	40	1859	16	1860	18	1860	20	100	0.55
HL002-46	0.1223	0.0017	5.5240	0.0556	0.3277	0.0033	0.0938	0.0009	1990	26	1904	9	1827	16	1811	17	109	0.05
HL002-47	0.1240	0.0025	5.6146	0.0589	0.3283	0.0034	0.0733	0.0009	2015	8	1918	9	1830	16	1430	17	110	0.14
HL002-48	0.1303	0.0026	6.0141	0.0624	0.3348	0.0034	0.0866	0.0008	2102	8	1978	9	1862	17	1678	15	113	0.34

注:样品测试单位为西北大学大陆动力学实验室,测试仪器为 Agilent 7500 型 ICP-MS、ComPex102 ArF 准分子激光器和 GeoLas 200M 光学系统联机;年龄单位为 Ma

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

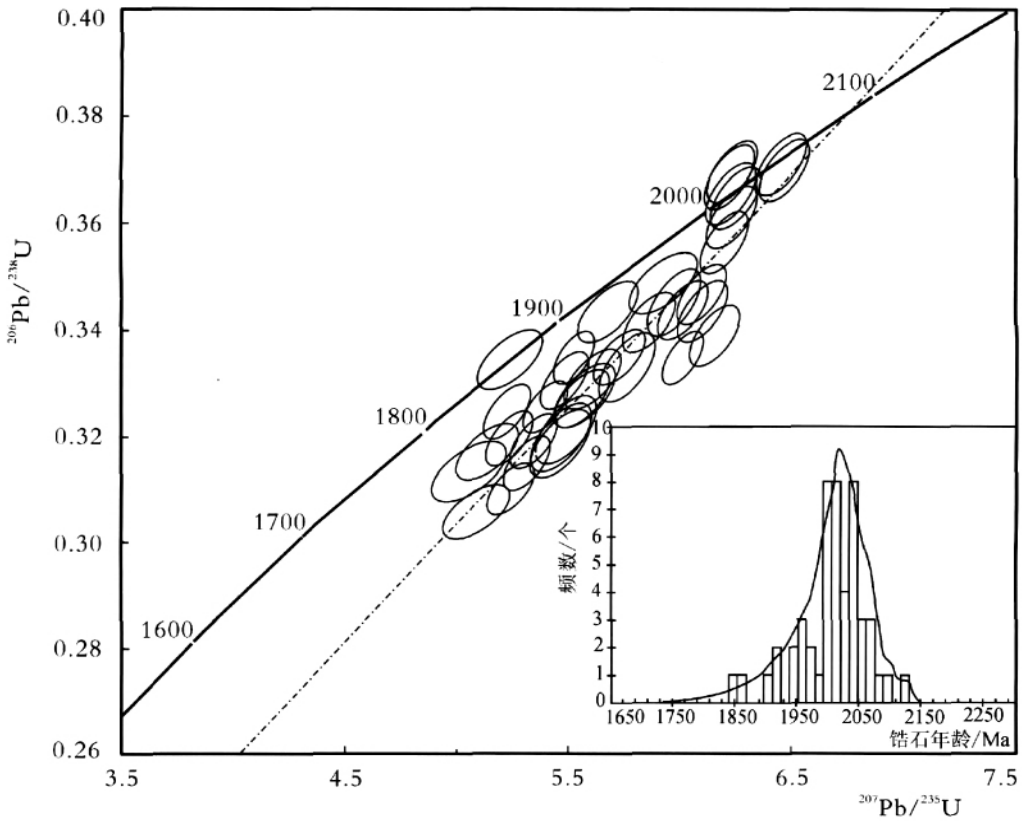


图 4 碎屑锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of detrital zircons

表 4 贺兰山岩群同位素测年数据

Table 4 The chronology isotopic dataing of Helanshan Complex-Group

序号	样品岩性	采样层位	测定方法	年龄值/Ma	测定单位	时间	资料来源
1	石榴矽线片麻岩	宗别立岩组	Rb-Sr 矿物	1853~1898	中国地质科学院	1990	长安大学
2	石榴黑云变粒岩	宗别立岩组	Rb-Sr 等时线	1947.6±191	中国科学院地质研究所	1980	宁夏区调队
3	矽线石榴黑云二长片麻岩	宾布勒岩组	Rb-Sr 等时线	2056.±81.8	中国科学院地质研究所	1980	宁夏区调队
4	黑云母变粒岩	宗别立岩组	锆石 Pb/Pb	1902~2102	中国地质科学院	1991	长安大学
5	片麻岩	贺兰山岩群	TIMS	1850（变质）	中国地质科学院	1994	胡能高等
6	黑云母变粒岩	宗别立岩组	锆石 U-Pb	2142±49	中国地质科学院	2006	地质科学院
7	石榴云母二长片麻岩	贺兰山岩群	SHRIMP 锆石 U-Pb	1978±17	北京离子探针中心	2007	董春艳等
8	富铝片麻岩	贺兰山岩群	SHRIMP 锆石 U-Pb	1950±8(变质) 2000~2100	北京离子探针中心	2009	周喜文等
9	片麻状花岗岩 似斑状花岗岩	（变质）侵入岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	2047±42 1955±20	北京离子探针中心	2009	耿元生等

质年龄(1856~1923Ma)十分近似,说明在 1.8~1.9Ga 期间研究区富铝片麻岩经历过一次较为强烈的构造岩浆事件扰动(花岗岩侵位时代为 1955Ma±20Ma)和变质作用改造[9-10],总体与吕梁构造运动时限一

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

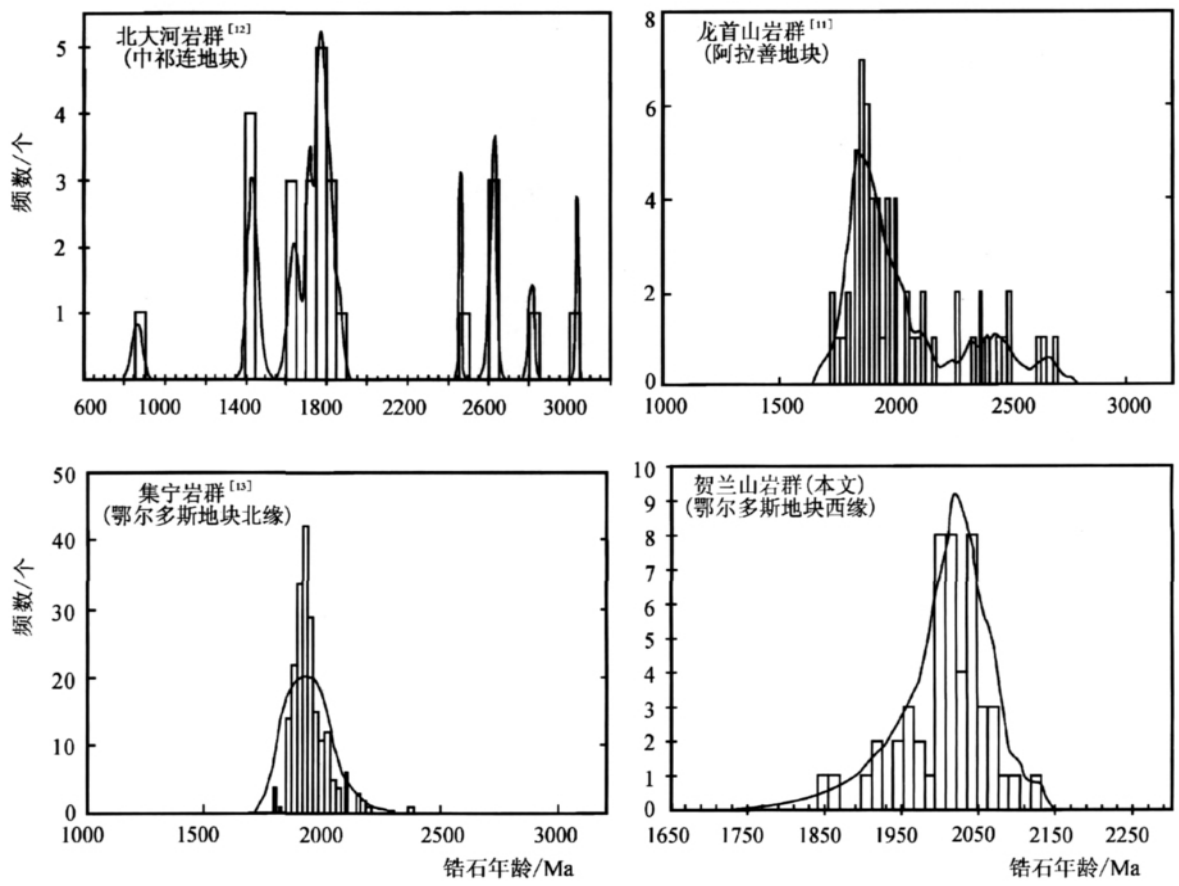


图 5　贺兰山岩群、集宁岩群、龙首山岩群、北大河岩群锆石同位素年龄频谱图

Fig. 5　Age frequency diagrams of detrital zircons from the Helanshan Complex-Group, Jining Complex-Group, Longshoushan Complex-Group and Beidahe Complex-Group

致,为华北克拉通成熟陆壳演化阶段的产物,证明孔兹岩系形成于古元古代晚期,之后长期处于稳定状态,很少受到构造热事件的干扰。

4.2　贺兰山岩群的区域对比

关于贺兰山岩群的区域对比,前人曾有不同看法,主要依据建造特征和改造程度,多数人的观点是将其与鄂尔多斯地块北部边缘的集宁岩群进行对比,也有人将其与北山岩群、龙首山岩群对比。笔者通过对贺兰山岩群富铝片麻岩的 2 个样品碎屑锆石 LA-ICP-MS 同位素测年数据分析研究,并分别与阿拉善地块的龙首山岩群[11]、中祁连地块的北大河岩群[12]、鄂尔多斯地块北缘的集宁岩群[13]之副变质岩系的碎屑锆石年龄对比(图9),发现研究区富铝片麻岩碎屑锆石年龄频谱图与阿拉善地块的龙首山岩群、中祁连地块的北大河岩群碎屑锆石年龄频谱图明显不同,说明它们可能属于不同的陆块,而与鄂尔多斯地块北缘集宁岩群副变质岩的碎屑锆石年龄频谱图相似或相同,两者均主要由 1.9~2.1Ga 的碎屑锆石组成,太古宙的碎屑锆石极少,缺乏小于 1.8Ga 的碎屑锆石,说明贺兰山岩群与集宁岩群(包括乌拉尔岩群)同属鄂尔多斯地块结晶基底岩系,为华北克拉通西部陆块的重要组成部分,其形成和演化历史与华北克拉通其它陆块相比,既有相似之处,也存在一定差异。

5　结　论

(1)贺兰山岩群富铝片麻岩原岩为泥质岩或泥质粉砂岩,于 1.8~1.9Ga 发生了高角闪岩相—麻粒岩相区域变质作用,形成孔兹岩带,之后长期处于稳定状态,很少受到构造热事件的干扰。研究结果支持了鄂尔多斯陆块和阴山陆块之间存在一规模巨大的

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

古元古代孔兹岩带的认识。

(2)富铝片麻岩碎屑锆石多具有岩浆锆石的特征，说明原岩的源区以花岗质岩石为主，LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素年龄数据显示源区岩石年龄集中在1.9~2.1Ga之间，反映贺兰山岩群的蚀源区存在古元古代古老陆壳。

(3)结合区域资料和变质时代为1.8~1.9Ga，初步确定贺兰山岩群原岩的沉积年龄要老于1.8Ga(变质年龄)，可能为1.9~2.0Ga，即古元古代，并非前人认为的新太古代。

(4)贺兰山岩群富铝片麻岩碎屑锆石频谱图与鄂尔多斯地块北缘集宁岩群十分相似，说明贺兰山岩群与集宁岩群同属鄂尔多斯地块结晶基底岩系，为华北克拉通西部陆块的重要组成部分，其形成时代和演化历史与华北克拉通其它陆块相似，同时也存在一定的差异。

致谢：野外工作得到宁夏国土资源厅地质环境监测总站的大力支持，室内综合研究得到高晓峰、王洪亮、董增产等同志的鼎力帮助，在此表示衷心的感谢。

参考文献

[1]杨家喜，胡能高，戴双儿，等.贺兰山岩群变质杂岩主期变质作用的温压环境研究[J].矿物岩石，1992，12(4)：12-20.

[2]杨家喜，胡能高.贺兰山岩群变质杂岩主变质期的时代探讨[J].西安地质学院学报，1993，15(1)：10-18.

[3]李昌年.火成岩微量元素岩石学[M].北京：中国地质出版社，1991.

[4]胡能高，杨家喜，王志博，等.贺兰山变质杂岩的组成及演化[M].西安：西安地图出版社，1994：1-54.

[5]柳小明，高山，袁洪林，等. 193 nm LA-ICP-MS对国际地质标准参考物质中42种主元素和微量元素的分析[J]. 岩石学报，2002，18(3)：408-418.

[6]Gao S，Liu X M，Yuan H L，et al. Analysis of forty-two major and trace elements of USGS and NISTSRM glasses by LA-ICP-MS[J]. Geostand Newsl，2002，22：181-195.

[7]谢桂青，胡瑞忠，蒋国豪，等.锆石的成因和U-Pb同位素定年的某些进展[J].地质地球化学，2001，29(4)：64-70.

[8]董春艳，刘墩一，李俊建，等.华北克拉通西部孔兹岩带形成时代新证据：巴彦乌拉—贺兰山地区锆石SHRIMP定年和Hf同位素组成[J].科学通报，2007，52(16)：1913-1922.

[9]耿元生，周喜文，王新社，等.内蒙古贺兰山地区古元古代晚期的花岗岩浆事件及其地质意义[J].岩石学报，2009，25(8)：1830-1842.

[10]周喜文，耿元生.贺兰山孔兹岩系的变质时代及其对华北克拉通西部陆块演化的制约[J].岩石学报，2009，25(8)：1843-1852.

[11]董国安，杨宏仪，刘墩一，等.龙首山岩群碎屑锆石SHRIMP U-Pb年代学及其地质意义[J].科学通报，2007，52(6)：688-697.

[12]李怀坤，陆松年，相震群，等. 北祁连山西段北大河岩群碎屑锆石SHRIMP U-Pb年代学研究[J].地质论评，2007，53(1)：132-142.

[13]Xia X P，Sun M，Zhao G C，et al.U-Pb and Hf isotopic study of detrital zircons from Wulashan khondalites：Constraints on the evolution of Ordos Terrane，Western.Block of the China Craton [J]. Earth Planet. Sci. Lett.，2006，241：581-593.

① 宁夏地质环境监测总站.1:25万吉兰泰幅区域地质调查报告. 2008.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net