第	46	卷	第	3	期
2	202	3 1	F O	9	月

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2023.03.05

# 内蒙古北山地区蒜井子一带晚奥陶世花岗岩 地球化学特征及构造环境分析

徐 翠<sup>1</sup>,张正平<sup>1</sup>,蔡晓宇<sup>1</sup>,张 永<sup>2</sup>,赵麒寓<sup>1</sup> (1.河北省区域地质调查院,河北廊坊 065000;2.中国地质调查局天津地质调查中心 (华北地质科技创新中心),天津 300170)

摘 要:本文报道了北山造山带蒜井子晚奥陶世花岗岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄与全岩地球化学,以探讨其形成时代、岩石成因及构造环境。蒜井子二长花岗岩LA-ICP-MS锆石U-Pb定年结果显示其形成于456.3±3.5 Ma。 英云闪长岩具有低的SiO<sub>2</sub>(61.99%~66.62%)、ALK(4.66%~5.16%)、K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O(0.52~0.64)和A/CNK为0.89~1.05,而二 长花岗岩具有高的SiO<sub>2</sub>(71.93%~73.20%)、ALK(6.44%~6.89%)、K<sub>2</sub>O(K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O为1.32~1.94)和A/CNK(1.04~1.05), 低的A/NK(1.49~1.64)。该岩体富集轻稀土(LREEs)和大离子亲石元素(LILE)Rb、Th、K,亏损重稀土元素(HREEs)和 高场强元素Nb、Ta、Ti,具有弱的负Eu异常。上述特征表明,研究区晚奥陶世花岗岩具有准铝质-弱过铝质钙碱性岩 石的特征,属于高分异I型花岗岩,岩浆源区以壳源物质为主,有少量幔源物质的加入,形成的构造环境为岛弧。结 合区域地质背景,认为北山洋在456.3±3.5 Ma之前已开始向北俯冲。

关键词:北山地区;晚奥陶世花岗岩;地球化学;构造环境;蒜井子

中图分类号: P534.52;P588.121;P597.3 文献标识码: A 文章编号: 2097-0188(2023)03-0035-08

北山造山带位于哈萨克斯坦、塔里木、中朝三大 古板块的交汇部位<sup>[1-2]</sup>,是研究中亚构造域的关键部 位,倍受国内外学者关注。由于其地质构造复杂,构 造单元划分历来争议较大,归纳起来主要有四种: (1)以明水-石板井-小黄山构造带为界,将其南北 两侧划分为塔里木板块和哈萨克斯坦板块<sup>[3-4]</sup>;(2) 其主体是哈萨克斯坦古板块的东延部分,骆驼峰、红 石山和黑鹰山一线以北的中蒙边界地区在古生代属 于西伯利亚古板块的南缘,北山南麓的白山、红柳 园、账房山一线以南的北山南缘及敦煌等地则属于 塔里木古板块的东延部分<sup>[5]</sup>;(3)为塔里木板块北部 边缘活动带<sup>[6]</sup>;(4)以红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿岩 带为界,北侧为哈萨克斯坦板块,南侧为塔里木板 块<sup>[7-8]</sup>。

随着近年来对北山地区研究的不断深入,发现 石板井-小黄山构造带上前人所称"蛇绿质岩石"实 际为基性-超基性杂岩体,在标山一带可以清楚观察 到沿构造带北界超基性岩侵入古元古代北山岩群<sup>[9]</sup>, 因此,石板井-小黄山构造带应为一条发育于陆块边 界的深大断裂。而早古生代以红柳河-牛圈子-洗肠 井蛇绿岩带作为古板块一级构造分区的缝合带得到 诸多专家学者的认可<sup>[10-26]</sup>,对研究区内地层、岩浆岩 具有明显的控制作用,但是该蛇绿岩带以北花岗岩 的研究程度相对薄弱,仍需要开展进一步的研究。

本文对内蒙古北山地区红柳河-牛圈子-洗肠井 蛇绿岩带北部蒜井子一带晚奥陶世花岗岩开展地球 化学、年代学等研究,揭示其岩石成因及形成时代, 探讨其形成的构造环境以及对北山地区早古生代构 造演化的约束意义。

### 1研究区概况

研究区位于北山造山带东段中部,红柳河-牛圈 子-洗肠井蛇绿岩带和明水-石板井-小黄山构造带 分别在研究区南部和北部通过(图1)。区内地层非 常零星,残缺不全,以红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿岩 带为界,北部出露马鬃山地层分区的古元古代北山

收稿日期:2023-02-21

**资助项目**:中国地质调查局项目"阴山成矿带小狐狸山和雅布赖地区地质矿产调查(DD20160039)";"华北地区区域基础地质 调查(DD20221631)"

**作者简介:**徐翠(1986-),女,本科,高级工程师,主要从事岩矿测试分析工作,E-mail:46138261@qq.com;\*通讯作者:张正平 (1983-),男,硕士,高级工程师,主要从事区域地质矿产调查与研究工作,E-mail:52695249@qq.com。

36





岩群及奧陶-志留纪公婆泉组。其中,北山岩群为一 套角闪岩相的古老变质结晶基底,受后期断裂构造 切割及古生代侵入岩蚕食,多呈大小不等的断块北 东东向展布<sup>[27]</sup>;公婆泉组主要为绿片岩相的变质中基 性火山岩;南部出露红柳园地层分区的中-新元古代 滨浅海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积建造、早古生代海 相硅质岩、碎屑岩及少量火山岩碎屑岩。

区内岩浆活动强烈,侵入岩主要分布在红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿岩带北部,受构造控制特征明 显。主要以中酸性侵入岩为主,基性、超基性岩较 少,总体呈北西向、近东西向展布,侵入时间从早古 生代一致延续至中生代。区内断裂以北西向断裂为 主,规模较大,形成于华力西期晚期,被燕山期北东 向左行走滑断裂切割错移。

### 2岩石学特征

晚奧陶世花岗岩由细粒英云闪长岩和中粒二长 花岗岩组成(图2),整体呈透镜状北东-南西向展布, 其内含较多暗色闪长质包体,发育似片麻状构造,片 麻理走向30°~40°。在蒜井子北东中粒二长花岗岩 侵入细粒英云闪长岩,被早志留世花岗岩侵入。

细粒英云闪长岩:岩石呈深灰色,细粒半自形粒 状结构,似片麻状构造。由斜长石(55%~60%)、石 英(20%~25%)、钾长石(少量)、角闪石(10%±)、黑 云母(10%±)等矿物组成。斜长石呈半自形宽板状, 粒径一般0.1~2.0 mm,杂乱状分布,总体略显定向特 征,轻微绢云母化、高岭土化,少见绿帘石化;钾长石 呈它形粒状,粒径<0.2 mm,为微斜长石,交代斜长 石。石英呈它形粒状,粒径0.05~0.8 mm,主呈集合 体状填隙于斜长石粒间,显拉长定向特征。角闪石 它形柱状、粒状、黑云母呈鳞片-叶片状,粒径<1.0 mm,二者混杂集合体显断续条纹状聚集,零散定向 分布,多色性明显。

中粒二长花岗岩:呈浅灰色,中粒花岗结构,似 片麻状构造。由钾长石(45%~50%)、斜长石 (25%±)、石英(20%±)、黑云母(5%~10%)等矿物组 成。钾长石呈近半自形板状,大小一般2~5 mm,具 轻微土化。斜长石呈半自形板状,大小一般0.15~2 mm,可见环带构造,有时嵌布于钾长石粒内,具绢云 母化、高岭土化、帘石化、少碳酸盐化。石英呈它形





粒状,大小一般0.05~2mm,部分2~4.5mm,杂乱分 布,粒内波状消光。黑云母呈叶片状,黄褐色,片径 一般0.05~1.65mm,杂乱分布,局部葡萄石化、绿泥 石化、绿帘石化。

## 3地球化学特征

岩石化学分析由河北省区域地质调查院实验室 完成,主量元素用Axios<sup>max</sup>X射线荧光光谱仪测定, 微量、稀土元素使用X-seriesII型等离子体质谱仪 (ICP-MS)测定,分析精度均高于5%。

#### 3.1 主量元素

蒜井子地区晚奥陶世花岗岩主量、微量元素分 析结果见表1。

细粒英云闪长岩 SiO<sub>2</sub>含量 61.99%~66.62%, ALK含量 4.66%~5.16%, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O为 0.52~0.64。 固结指数为13.48~22.44,分异指数为57.95~65.35, 里特曼指数为0.91~1.38,碱度率为1.60~1.61,属钙 碱性岩石(图3)。A/NK为2.18~2.34, A/CNK为 0.89~1.05,属准铝质-弱过铝质岩石(图4)。

中粒二长花岗岩 SiO<sub>2</sub>含量 71.93%~73.20%,

ALK 含量 6.44% ~ 6.89%, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 为 1.32 ~ 1.94。 固结指数为 5.33 ~ 6.85, 分异指数为 80.10 ~ 83.80, 反 映岩浆分异程度较高。里特曼指数为 1.43 ~ 1.56, 碱 度率 2.25 ~ 2.69, 属高钾钙碱性岩石(图 3)。A/NK为 1.49 ~ 1.64, A/CNK 为 1.04 ~ 1.05, 为弱过铝质岩石 (图 4)。

#### 3.2 微量元素

细粒英云闪长岩稀土总量 $\Sigma$  REE介于118.54~ 228.60×10<sup>6</sup>;  $\delta$ Eu为0.88~0.93, 镇异常不明显; LREE/ HREE为3.10~9.42, (La/Yb)<sub>n</sub>为6.64~28.73, 轻、重 稀土分馏明显; (La/Sm)<sub>N</sub>为2.67~5.89, (Gd/Lu)<sub>N</sub>为 1.67~2.07, 表明轻稀土较重稀土分异强烈。稀土配 分曲线为LREE富集的右倾型(图5a)。在球粒陨石标 准化的蜘蛛网图中, 富集 Rb、Th、K等强不相容元素, 亏损 Ti元素及Nb、P等高场强元素(图5b)。

中粒二长花岗岩稀土总量 $\sum$  REE介于161.92~ 306.85×10<sup>6</sup>,  $\delta$ Eu 值变化于0.63~0.83, 负铕异常明显; LREE/HREE介于5.55~8.61, (La/Yb)<sub>n</sub>变化于13.84~24.83, 轻、重稀土分馏较强。(La/Sm)<sub>N</sub>为5.13~5.54, (Gd/Lu)<sub>N</sub>为1.16~2.28, 表明轻稀土较重稀

37

### 表1 晚奧陶世花岗岩主量元素(wt%)、微量元素(×10<sup>-6</sup>)分析结果 Table 1 Major(wt%)and trace(×10<sup>-6</sup>) element result of late Ordovician granite

测出于西	二长花岗岩		英云闪长岩		测出于面	二长花	艺岗岩	英云闪长岩		
侧风坝	P2H6	P2H7	P2H8	P2H12	侧风坝	P2H6	P2H7	P2H8	P2H12	
SiO <sub>2</sub>	73.20	71.93	66.62	61.99	Gd	6.17	3.46	4.38	3.52	
$TiO_2$	0.20	0.26	0.62	0.63	Tb	0.81	0.50	0.54	0.55	
$Al_2O_3$	13.04	14.04	15.54	16.35	Dy	3.73	2.68	2.50	3.35	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.39	0.46	0.91	1.83	Ho	0.67	0.53	0.42	0.68	
FeO	2.10	2.02	3.74	3.31	Er	1.92	1.60	1.24	1.65	
MnO	0.04	0.04	0.06	0.11	Tm	0.29	0.28	0.19	0.33	
MgO	0.53	0.66	1.45	2.98	Yb	1.84	1.63	1.21	1.93	
CaO	1.98	2.70	4.50	6.00	Lu	0.34	0.37	0.26	0.26	
Na <sub>2</sub> O	2.35	2.77	2.84	3.39	Y	16.19	13.68	11.21	16.66	
$K_2O$	4.54	3.67	1.82	1.77	$\sum \text{REE}$	306.85	161.92	228.60	118.54	
$P_2O_5$	0.06	0.08	0.16	0.16	δEu	0.63	0.83	0.88	0.93	
$H_2O^+$	0.87	0.71	1.03	0.82	L/HREE	8.61	5.55	9.42	3.10	
LOS	1.38	1.24	1.74	1.28	(La/Yb) <sub>N</sub>	24.83	13.84	28.73	6.64	
Σ	99.82	99.86	100.00	99.80	(La/Sm) <sub>N</sub>	5.54	5.13	5.89	2.67	
ALK	6.89	6.44	4.66	5.16	$(Gd/Lu)_N$	2.28	1.16	2.07	1.67	
A/NK	1.49	1.64	2.34	2.18	Rb/Sr	0.45	0.54	0.30	0.04	
A/CNK	1.05	1.04	1.05	0.89	Nb/Ta	13.04	12.90	16.50	0.07	
SI	5.33	6.85	13.48	22.44	Zr/Hf	28.78	28.54	33.52	16.87	
DI	83.80	80.10	65.35	57.95	Ba	1136.30	813.45	592.24	685.29	
С	0.82	0.78	0.13	0.00	Rb	131.70	134.10	116.27	18.11	
σ	1.56	1.43	0.91	1.38	Sr	291.61	247.72	390.61	461.89	
Mg <sup>#</sup>	20.00	25.00	28.00	47.00	Zr	152.96	109.06	203.63	164.06	
La	67.62	33.37	51.23	18.98	Hf	5.31	3.82	6.07	9.73	
Ce	132.80	65.65	98.79	39.18	Nb	11.15	17.05	15.04	0.35	
Pr	14.98	7.50	11.26	5.02	U	2.36	2.95	1.08	1.84	
Nd	50.37	25.52	38.44	20.71	Th	27.96	16.40	14.48	6.99	
Sm	7.68	4.09	5.48	4.47	Pb	13.42	15.67	9.17	10.11	
Eu	1.45	1.05	1.46	1.25	Та	0.86	1.32	0.91	5.15	

注:Mg#=n(Mg)/ n(Mg)+ n(Fe);A/CNK=Al<sub>2</sub>O3/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO)





100~200 μm,震荡环带发育,部分具残核(图6)。对 晶形较好的30颗锆石分析了30个测点,测试点数据 及计算结果见表2。Th/U值在0.21~0.81之间,显示 岩浆锆石特征。<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄在256~446 Ma之间, 其中小于400 Ma的有14个点,1、3、10、13、17、22、 土分异强烈。稀土配分曲线为LREE 富集的右倾型(图5c)。在球粒陨石标 准化的蜘蛛网图中,富集Rb、Th、K等 强不相容元素,亏损Ti元素及Nb、Ta、 P等高场强元素(图5d)。

### 4年代学特征

### 4.1 测试方法

锆石分选、锆石制靶及CL照相在 河北省区域地质调查院实验室完成。 锆石U-Pb同位素分析由天津地质矿产 研究所实验室完成,采用激光烧蚀多接 受器等离子质谱仪(LA-MC-ICP-MS) 进行微区原位U-Pb同位素测定<sup>[29]</sup>。采 用GJ-1作为外部锆石年龄标准进行U-Pb同位素分馏校正,并用中国地质大 学研发的ICPMSDataCal程序和Isoplot国际标准程序进行数据处理并成 图,应用<sup>208</sup>Pb校正法对普通铅进行校 正<sup>[30]</sup>,利用NIST612玻璃标样作为外标 计算锆石样品的Pb、U、Th含量。

### 4.2 测试结果

中粒二长花岗岩(TW2)中锆石多数呈长柱状,半自形-自形,大小一般



25、26测试点沿和谐线分散分布,其形态以细长柱状为主,可能与晚期岩浆热液将新生锆石带入围岩裂隙有关;6、7、8、11、12、30测试点和谐性差,可能与其放射性铅的丢失有关;比较集中的16个数据的加权平均年龄为456.3±3.5 Ma(MSWD=2.5)(图7),可解

第3期







图 6 二长花岗岩(TW2)锆石CL图像及<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄值 Fig.6 CL images of selected zircons and <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U ages of monzogranite

释为二长花岗岩的形成年龄。

# 5岩石成因及构造环境分析

### 5.1岩石成因

稀土元素总量偏低( $\Sigma$  REE =118.54~306.85×10<sup>6</sup>),轻稀土富集、轻重稀土分馏明显(LREE/HREE = 3.10~9.42, (La/Yb)<sub>N</sub>=6.64~28.73);稀土配分模 式图为右缓倾,具弱负铕异常( $\delta$ Eu = 0.63~0.93)。 微量元素不同程度富集 Rb、Th、K,亏损 Ti、Nb、P,其 特征与高分异的I型花岗岩相似<sup>[32]</sup>。

高场强元素在岩浆源区部分熔融时能够大量进 入熔体,使熔体中该元素的浓度与源区岩石中的浓 度接近,因而其在岩浆岩中的质量分数的比值能够

39

华北地质

### 表2 二长花岗岩(TW2) LA – ICP – MS锆石U – Pb同位素测年数据 Table 2 LA-ICP-MS zicon U-Pb isotope analytical results of monzogranite

测	含量	(×10 <sup>-6</sup> )	5) 同位素比值							年龄(Ma)						
点	Pb	U	232Th/238U	206Pb/238U	1σ	207Pb/235U	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	206Pb/238U	1σ	207Pb/235U	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	
1	176	2 958	0.291 4	0.062 2	0.000 6	0.473 5	0.004 9	0.055 2	0.000 6	389	4	394	4	421	23	
2	213	3 019	0.282 0	0.072 9	0.000 6	0.600 1	0.006 0	0.059 7	0.000 5	453	4	477	5	594	20	
3	246	5 173	0.276 4	0.050 6	0.000 4	0.368 9	0.003 7	0.052 9	0.000 5	318	3	319	3	326	20	
4	62	885	0.273 9	0.073 0	0.000 6	0.594 2	$0.007\ 0$	0.059 1	0.000 7	454	4	474	6	570	26	
5	152	2 1 4 2	0.420 1	0.072 3	0.000 8	0.578 0	0.008 9	0.058 0	0.000 6	450	5	463	7	529	24	
6	269	6 979	0.307 1	0.040 4	0.000 4	0.466 5	0.005 6	0.083 6	0.000 8	256	3	389	5	1 284	18	
7	298	6 351	0.287 1	0.049 9	0.000 4	0.461 5	0.004 8	0.067 1	0.000 6	314	3	385	4	840	19	
8	254	4 993	0.246 7	0.054 5	0.000 4	0.489 6	$0.006\ 1$	0.065 2	0.000 8	342	3	405	5	780	27	
9	72	917	0.805 0	0.073 7	0.000 6	0.568 5	0.006 3	0.055 9	0.000 6	459	4	457	5	449	23	
10	301	5 364	0.292 0	0.060 4	0.000 5	0.455 2	0.004 6	0.054 6	0.000~6	378	3	381	4	398	23	
11	294	6 6 2 5	0.410 3	0.046 8	$0.000\ 4$	0.477 9	0.006 2	0.074 1	0.000 9	295	2	397	5	1 044	25	
12	272	6 125	0.257 0	0.046 8	$0.000\ 4$	0.546 1	0.006 5	0.084 5	$0.001\ 0$	295	3	442	5	1 305	22	
13	299	5 905	0.224 9	0.054 6	0.000 5	0.403 1	0.004 4	0.053 6	0.000 6	343	3	344	4	352	24	
14	101	1 354	0.708 2	0.072 9	0.000 8	0.568 8	0.005 8	0.056 6	0.000 6	453	5	457	5	476	22	
15	48	648	0.601 8	0.073 4	0.000 6	0.572 0	0.009 7	0.056 5	0.000 9	456	4	459	8	474	35	
16	28	371	0.498 9	0.074 2	0.000 6	0.579 1	0.017 4	0.056 6	0.001 6	461	4	464	14	477	64	
17	261	4 859	0.316 9	0.057 4	0.000 5	0.432 5	0.004 5	0.054 7	0.000 5	360	3	365	4	399	21	
18	113	1 573	0.370 4	0.073 5	0.000 7	0.572 0	0.006 4	0.056 5	0.000 5	457	4	459	5	470	21	
19	160	2 210	0.333 4	$0.074\ 0$	0.000 8	0.575 8	0.006 0	0.056 4	0.000 5	460	5	462	5	469	20	
20	130	$1\ 886$	0.062 8	0.074 5	0.000 6	0.577 4	0.005 7	0.056 2	0.000 5	463	4	463	5	460	20	
21	164	2 311	0.322 1	0.073 9	0.000 6	0.576 4	0.005 6	0.056 5	0.000 5	460	4	462	5	474	20	
22	224	3 784	0.400 5	0.061 7	0.000 7	0.465 7	0.006 3	0.054 7	0.000 5	386	4	388	5	402	22	
23	304	4 302	0.217 4	0.074 6	0.000 7	0.583 9	0.006 0	0.056 8	0.000 5	464	4	467	5	484	19	
24	89	1 224	0.362 7	0.074 7	0.000 6	0.585 4	0.006 0	0.056 9	0.000 5	464	4	468	5	486	21	
25	376	7 707	0.207 4	0.053 0	0.000 5	0.395 2	0.004 0	0.054 0	0.000 5	333	3	338	3	373	21	
26	138	2 413	0.241 2	0.062 0	0.000 7	0.463 8	0.004 6	0.054 2	0.000 6	388	4	387	4	381	26	
27	165	2 289	0.758 2	0.072 2	0.000 6	0.560 6	0.006 4	0.056 3	0.000 6	449	4	452	5	466	25	
28	193	2 863	0.357 5	0.071 2	0.000 5	0.555 5	$0.006\ 1$	0.056 6	0.000 6	444	3	449	5	474	23	
29	27	387	0.552 9	0.070 6	0.000 6	0.5797	0.008 6	0.059 5	0.000 8	440	4	464	7	587	31	
30	201	4 206	0.441 0	0.050 1	0.000 5	0.529 4	0.008 6	0.076 7	0.001 1	315	3	431	7	1 112	29	





较为准确地反映岩浆源区特征。晚奥陶世花岗岩中 Rb/Sr为0.04~0.54,均高于原始地幔平均值(0.037), 绝大多数接近全球地壳平均值(0.32)。Nb/Ta比值为 0.07~16.50,低于幔源岩石(17.5±2);Zr/Hf比值 16.87~33.52,绝大多数低于壳源岩石(33±)<sup>[33]</sup>;Mg<sup>#</sup> 值为20~47,而玄武质下地壳部分熔融产生的熔体 Mg<sup>#</sup>不会高于40。以上特征指示晚奥陶世花岗岩岩浆 源区以壳源物质为主,但有幔源成分的混入,壳源物 质可能为古老下地壳(北山岩群)物质再熔融的产物。

### 5.2构造环境分析

研究区南侧的红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿混杂 岩带被认为是哈萨克斯坦板块与塔里木板块的缝合 线,该构造带的北侧为公婆泉岩浆弧带,主要由晚奥 陶-早志留世公婆泉组变质火山岩及透入变形的中 酸性花岗岩构成,具岛弧岩浆岩的特征。

从岩体宏观特征来看,晚奥陶世花岗岩发育透 入性似片麻状构造,显示就位过程中的同构造变形 特征。在铝饱和指数图解中细粒英云闪长岩位于岛 弧花岗岩区附近,中粒二长花岗岩位于大陆弧与岛 弧花岗岩接触部位(图8)。在微量元素蜘蛛网图上细 粒英云闪长岩、中粒二长花岗岩具明显的Nb、Ta、Ti负 异常,显示岛弧岩浆特征;在Y+Ta-Rb图解中<sup>134</sup>(图 9),均位于火山弧花岗岩区。宏观地质及地球化学特 征均显示晚奥陶世花岗岩具弧花岗岩特征。

空间位置上该期岩体紧邻牛圈子-洗肠井蛇绿混 杂岩带北侧,其形成与该带所代表的北山洋北向俯冲 密切相关。区域上,北山洋何时开始北向俯冲尚无明 确的年代学限定,晚奥陶世弧型花岗岩的厘定表明



#### 参考文献:

- [1]何世平,任秉琛,姚文光,等.甘肃内蒙古北山地区构造单元划分[J].西北地质,2002,35(4):30-40.
- [2] 龚全胜,刘明强,梁明宏,等.北山造山带大地构造相及构 造演化[J].西北地质,2003,(01):11-17.
- [3] 左国朝,何国琦.北山地区板块构造及成矿规律[M].北京: 北京大学出版社,1990,152-166.
- [4] 左国朝,刘义科,刘春燕.甘新蒙北山地区构造格局及演 化[J].甘肃地质学报,2003,12(1):1-15.
- [5] 刘雪亚,王荃.中国西部北山造山带大地构造及其演化[J]. 地学研究,1995,28:37-48.
- [6] 邵积东.内蒙古大地构造分区及其特征[J].内蒙古地质, 1998,2:1-23.
- [7] 杨合群,李英,赵国斌,等.北山蛇绿岩特征及构造属性[J]. 西北地质,2010,43(1):26-36.
- [8] 胡新茁,赵国春,胡新悦,等.内蒙古北山地区月牙山蛇绿 质构造混杂岩带地质特征、形成时代及大地构造意义[J]. 地质通报,2015,(2):425-436.



### 北山洋在456.3±3.5 Ma之前洋壳已开始俯冲。

### 6结论

(1) 蒜井子岩体由细粒英云闪长岩和中粒二长 花岗岩组成, 二长花岗岩中获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 加权平均年龄为456.3±3.5 Ma, 属于晚奥陶世。

(3)岩石形成的构造环境为岛弧,结合区域地质背景,认为北山洋在456.3±3.5 Ma前已开始向北俯冲。

- [9] 孟庆涛,徐翠,张正平,等.内蒙古北山地区阿民乌苏蛇绿 岩的年代学、地球化学及大地构造意义[J].地质与勘探, 2021,57(1):122-135.
- [10] 杨合群,赵国斌,李英,等.新疆-甘肃-内蒙古衔接区古 生代构造背景与成矿的关系[J].地质通报,2012,31(2/ 3),413-421.
- [11] 武鹏,王国强,李向民,等.甘肃北山地区牛圈子蛇绿岩的形成时代及地质意义[J].地质通报,2012,(12):2032-2037.
- [12] 李向民,余吉远,王国强,等.甘肃北山地区芨芨台子蛇 绿岩LA-ICP-MS锆石U-Pb测年及其地质意义[J].地质 通报,2012,31(12):2025-2031.
- [13] 余吉远,李向民,王国强,等.甘肃北山地区辉铜山和帐 房山蛇绿岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及地质意义[J]. 地质通报,2012,31(12):2038-2045.
- [14] 赵茹石,周振环,毛金海,等.甘肃省板块构造单元划分 及其构造演化[J].中国区域地质,1994,1:28-36.
- [15] 魏志军,黄增保,金霞,等.甘肃红石山地区蛇绿混杂岩

42

地质特征[J].西北地质,2004,37(2):13-18.

- [16] 黄增保,金霞.甘肃北山红石山蛇绿混杂岩带中基性火 山岩构造环境分析[J].中国地质,2006,(05):1030-1037.
- [17] 刘雪亚,王荃.中国西部北山造山带的大地构造及其演 化[J].地学研究,1995,(28):37-48.
- [18] 潘桂堂, 陆松年, 肖庆辉, 等. 中国大地构造阶段划分和 演化[J]. 地学前缘, 2016, 23(6): 1-23.
- [19] 卢进才,牛亚卓,魏仙样,等.北山红石山地区晚古生代 火山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及其构造意义[J].岩 石学报,2013,29(8):2685-2694.
- [20]张正平,辛后田,程海峰,等.内蒙古北山造山带发现额 勒根蛇绿岩一红石山-百合山蛇绿岩带东延的证据[J]. 地质通报,2020,39(9):1389-1403.
- [21] 王国强,李向民,徐学义,等.甘肃北山红石山蛇绿岩锆石 U-Pb年代学研究及构造意义[J].岩石学报,2014,30(6):1685-1694.
- [22] 彭湘萍,陈高潮,李玉宏,等.北山地区红石山蛇绿混杂 岩组成及地质意义[J].新疆地质,2016,34(2):184-191.
- [23] 谢春林,杨建国,王立社,等.甘肃北山地区古亚洲洋南 缘古生代岛弧带位置的讨论[J].地质学报,2009,83(11): 1584-1599.
- [24] 程先钰,田健,李以科,等.董阿拉善右旗特拜金矿赋矿 变沉积岩地球化学特征、源区属性及构造意义[J].华北 地质,2023,46(1):42-60.
- [25]田健,段霄龙,程先钰.北山造山带中部晚志留世-早泥 盆世侵入岩源区特征及其反映的陆壳增生机制[J].华北 地质,2020,43(3):207-223.
- [26] 付超,李俊建,张帅,等.中蒙边界地区侵入岩时空分布

特征及对构造演化的启示[J].华北地质. 2023,46(1):1-19.

- [27]张正平,段炳鑫,孟庆涛,等.内蒙古北山地区北山岩群 斜长角闪岩LA-ICP-MS锆石U-Pb定年及其地质意义
  [J].地质与勘探,2017,53(6):1129-1139.
- [28] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42: 313–345.
- [29] 李怀坤,耿建珍,郝爽,等.用激光烧蚀法多接收器等离子质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石U-Pb同位素年龄的研究[J].矿物学报,2009,28(增刊):600-601.
- [30] ANDERSON T. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report <sup>204</sup>Pb[J]. Chemical Geology , 2002, 192 (1/2):59–79.
- [31] CHAPPELL B W. Aluminium saturation in I-and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites[J]. Lithos, 1999, 46: 535-551.
- [32] WU F Y, JAHN B M, WILDE S A, et al. Highly fractionated I-type granites in NE China(I): geochronology and petrogenesis[J].Lithos, 2003, 66(3/4):241–273.
- [33] TAYLOR S R. Mclennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. London: Blackwell, 1985, 57–72.
- [34] PEARCE J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundarie[J]. In: Thorpe RS (ed). Andesites. Chishester: Wiley, 1982, 525–548.

# Geochemical characteristics and tectonic environment of Late Ordovician intrusive rocks in Suanjingzi, Beishan area, Inner Mongolia

### XU Cui<sup>1</sup>, ZHANG Zhengping<sup>1</sup>, CAI Xiaoyu<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>2</sup>, ZHAO Qiyu<sup>1</sup>

(1. The Institute of Regional Geological Survey of Hebei Province, Langfang Hebei 065000, China; 2. Tianjin Center, China Geological Survey (North China Center for Geoscience Innovation), Tianjin 300170, China)

Abstract: In this paper, LA-ICP-MS zircon U-Pb age and whole rock geochemistry of Suanjingzi late Ordovician granite in Beishan orogenic belt are reported to discuss its formation age, petrogenesis and tectonic setting. LA-ICP-MS zircon U-Pb data from the monzogranite show that it was formed at  $456.3\pm3.5$ Ma. The tonalite have low SiO<sub>2</sub>, ALK, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O and A/CNK, ranging from 61.99% to 66.62%, 4.66% to 5.16%, 0.52 to 0.64, and 0.89 to 1.05, respectively, while the monzogranite have higher SiO<sub>2</sub> (71.93% ~ 73.20%), ALK (6.44% ~ 6.89%), K<sub>2</sub>O (K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 1.32 ~ 1.94) and A/CNK ( $1.04 \sim 1.05$ ). These rocks are enriched in LREEs and LILE(e.g., Rb, Th and K), while depleted in HREEs and HFSEs (e.g., Nb, Ta and Ti), with weak negative Eu anomaly. These above characteristics show that the rocks belong to metaluminium- weak peraluminous calc-alkaline high differentiation I- type granite, and their primary magma is dominated by crust-derived materials with a small amount of mantle-derived materials, formed under the tectonic setting of island arc in late Ordovician. Combining with regional geologic background, we propose that the Beishan Ocean have began to subduct northward before  $456.3 \pm 3.5$  Ma. Key words: Beishan area; Late Ordovician granite; geochemistry; tectonic environment; Suanjingzi area