

内蒙古武川西北部早二叠世岩浆活动及其构造意义

袁桂邦, 王惠初

(天津地质矿产研究所, 天津 300170)

摘要: 内蒙古武川县西北元恒永一带, 出露一套早二叠世辉长苏长岩、石英闪长岩、二长花岗岩组成的钙碱性岩系。该套岩石以稀土总量中等、轻稀土富集、无明显的Eu异常等特征显示幔源成因, 尽管有不同程度的地壳物质混入, 地球化学特征指示岩体形成于板块碰撞前的岛弧环境。岩体中发育弱的片麻理构造, 石英闪长岩和二长花岗岩中有较多暗色细粒黑云闪长岩包体, 包体的扁平面平行片麻理; 包体的应变测量显示侵位过程中岩浆与包体粘度差不大, 包体发生了旋转变形, 岩浆侵位受区域构造应力控制。石英闪长岩中单颗粒锆石U-Pb年龄为(282.3 ± 4.6)Ma, 表明其形成时代为早二叠世。岩体的形成可能与古亚洲洋向华北板块俯冲有关, 显示出华北板块北缘的安第斯型大陆岛弧背景。

关键词: 同源岩浆岩套; 岩体构造; 锆石U-Pb年龄; 早二叠世; 华北板块北缘

中图分类号: P542+.36; P542+.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2006)04-0303-08

华北板块与西伯利亚板块间的巨型构造带的形成和演化, 前人已有大量研究^[1-4], 由于不同学者观察角度不同, 尤其是受当时测年技术的限制, 致使两大板块之间古亚洲洋的封闭时间长期认识不同: 计有泥盆世-早石炭世^[2,5]、晚石炭世^[6-7]、早二叠世^[8]、晚二叠纪^[9-10]、晚侏罗-早白垩世^[3,11]等多种意见, 于是华北板块北缘晚古生代花岗岩的形成构造背景, 存在多种不同解释。

已有研究认为, 华北板块北缘有多条晚古生代的花岗岩带^[12], 岩体具有同碰撞花岗岩的特征。但是, 近年我们在内蒙古武川县西北部的区调工作中, 于武川县与固阳县交界处的元恒永一带, 曾厘定出一个早二叠世的辉长苏长岩-石英闪长岩-二长花岗岩的同源岩浆岩套, 显示的却是碰撞前弧花岗岩向同碰撞花岗岩演化的特点。因此该岩体对研究华北板块北缘晚古生代的地壳演化有着较大意义, 值得介绍讨论。

1 岩体地质特征

元恒永早二叠世岩浆岩套出露面积约43 km², 它以具有呈反“S”型展布的面理构造明显区别于晚二叠世和三叠纪的岩体(图1)。该岩浆岩

套呈北东-南西向展布, 侵入到新太古代英云闪长质片麻岩之中, 又被晚二叠世黑云二长花岗岩和晚三叠纪二长(正长)花岗岩所侵入。依据岩性

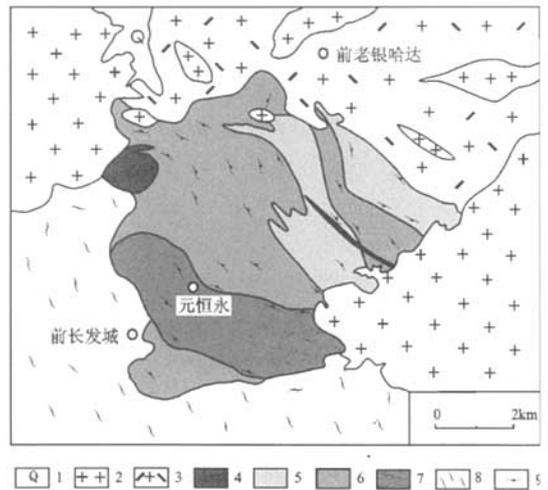


图1 研究区地质图

Fig.1 Geological map of the studied area

- 1. 第四系; 2. 晚三叠世钾长花岗岩; 3. 晚二叠世黑云二长花岗岩; 4. 早二叠世角闪岩(脉); 5. 早二叠世二长花岗岩; 6. 早二叠世石英闪长石; 7. 早二叠世辉长苏长岩; 8. 新太古代英云闪长质片麻岩; 9. 岩浆流动变形片麻理

收稿日期: 2006-11-02

基金项目: 中国地质调查局综合研究项目(2001139000070)、基础调查项目(200013000153)

作者简介: 袁桂邦(1964-), 男, 副研究员, 主要从事区域地质调查与研究。

特征及相互间的切割关系,可以区分出辉长苏长岩($P_{1\gamma 0}$)、石英闪长岩($P_{1\delta 0}$)和二长花岗岩($P_{1\eta\gamma}$)三种不同成分的岩体(图 1),其岩体的先后侵入次序,依次随其基性程度变化。

1.1 辉长苏长岩($P_{1\gamma 0}$)

辉长苏长岩侵入体分布于元恒永一带,是上述三种岩体中侵入时间最早的一种。该岩体北西-南东向展布,面积约 8 km²,主体岩性为含黑云的辉长苏长岩,并见有含黑云苏长岩、含磁铁辉长苏长岩和含黑云闪长辉长岩等岩石类型。岩石呈灰黑色或棕黑色,中粒-中粗粒结构,弱片麻状构造或块状构造。主要矿物成分为:斜长石(An_{44-54})50%~70%、紫苏辉石 10%~15%、透辉石 3%~5%、黑云母 5%和磁铁矿 2%~3%,部分样品中含石英 2%;副矿物为钛磁铁矿-磷灰石-锆石型组合。

辉长苏长岩中发育弱片麻理,表现为长石晶体定向,产状 30°∠80°。在前格尔兔,可见辉长苏长岩侵入于新太古代村山片麻岩的现象,前者因边缘粒度变细还可变为中细粒的辉长苏长岩。

1.2 石英闪长岩($P_{1\delta 0}$)

石英闪长岩产于辉长苏长岩体的南北两侧,主要有三个侵入体,面积分别为 17 km²、2.5 km²和 1 km²。主要岩性为灰色中细粒的黑云石英闪长岩,与辉长苏长岩接触附近多为深灰色中细粒黑云辉长闪长岩。主要矿物成分有斜长石(An_{36-40})50%~65%、普通角闪石 10%~25%、黑云母 10%~15%、石英 5%~15%,少量微斜长石、条纹长石、绿帘石、榎石和磁铁矿;局部透辉石含量可达 5%左右。副矿物为钛磁铁矿-锆石型组合。

该岩石片麻理较发育,由自形板状斜长石晶体和黑云母集合体定向分布构成,走向 NW,向 NE 或 SW 陡倾。黑云母集合体内部出现微褶皱或膝折现象,说明先期结晶的黑云母集合体在结晶过程中遭受较强的变形。岩体中较多的灰黑色细粒闪长质包体呈扁平透镜状产出,规模一般为数厘米至数十厘米,主平面平行于片麻理,并在片麻理附近暗色矿物较多。

岩体侵入于新太古代英云闪长质片麻岩和辉长苏长岩之中。石英闪长岩与辉长苏长岩接触带内岩性是过渡变化的,自辉长苏长岩至石英闪长岩,辉石减少,角闪石含量增多,接触面不规则,接触带宽数厘米、数米、甚至数十米。这种现象可能是石英

闪长岩在辉长苏长岩未完全固结的情况下侵入造成的。

1.3 二长花岗岩($P_{1\eta\gamma}$)

二长花岗岩岩体呈不规则椭圆形侵入于石英闪长岩,主体岩性为浅肉红色中粒似斑状含角闪黑云二长花岗岩和中细粒-中粒含角闪黑云二长花岗岩,局部为花岗闪长岩。主要矿物成分有微斜长石 25%~35%、斜长石(An_{26-30})25%~40%、石英 15%~25%、黑云母 7%~10%、角闪石 3%~5%、磁铁矿少量;斑晶为微斜长石,含量可达 10%。副矿物为钛磁铁矿-锆石型组合。岩石发育弱片麻状构造,产状 200°∠70°~75°。岩石中可见灰黑色细粒-中细粒黑云闪长岩包体,包体扁饼状、透镜状,小者 0.15 m×0.02 m,大者可达 1 m×3 m,扁平面产状与片麻理一致(220°~230°∠70°~85°)。

二长花岗岩与石英闪长岩接触带宽数十厘米至数十米,前者片麻理较弱,后者以板状斜长石构成的片麻理较强,但二者片麻理相互平行,局部可见二长花岗岩脉体顺片麻理穿插到石英闪长岩中。

2 岩石化学、地球化学特征

元恒永岩浆岩套中三种代表性岩石的常量元素、微量元素、稀土元素的分析结果,及其特征参数显示的成因联系和成分演化特征参见表 1、图 2 和图 3。

辉长苏长岩中, SiO₂ 含量为 54.37%, K₂O 含量 2.16%, Na₂O 3.64%, CaO 7.94%, Al₂O₃ 20.2%。碱指数为 0.41, $\sigma = 2.60$, DI = 46.57; SI = 16.05, 为结晶分异中等、固结程度较差的高钾钙碱性基性岩。稀土元素总量中等, ΣREE 为 172.56; 轻重稀土分馏程度良好, $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 为 9.54, $(La/Yb)_N$ 为 13.47, $(La/Sm)_N$ 为 5.94, δEu 为 0.99, 无铕异常。

石英闪长岩中, SiO₂ 含量 56.08%, K₂O 2.5%, Na₂O 3.33%, CaO 6.38%, Al₂O₃ 17.08%。碱指数为 0.48, $\sigma = 2.61$, DI = 50.11; SI = 19.91, 为结晶分异程度中等、固结程度不好的高钾钙碱性中性岩。稀土元素总量中等, ΣREE 为 180.25; 轻稀土较富集, $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 为 10.25, $(La/Yb)_N$ 为 13.03, $(La/Sm)_N$ 为 3.79, δEu 为 0.88, 略显铕负异常。

二长花岗岩中, SiO₂ 含量为 67.84%, K₂O 3.77%, Na₂O 3.3%, CaO 2.92%, Al₂O₃ 14.82%。碱指数为

表 1 早二叠世元恒永岩岩套地球化学特征表

Table 1 Geochemical characteristics of the early Permian magmatic suite in Yuanhengyong

氧化物					微量元素						
样号	X2-5	X3-3	X4-2	样号	X2-5	X3-3	X4-2	样号	X2-5	X3-3	X4-2
	SiO ₂	54.37	56.08	67.84	Rb	47.80	68.40	79.30			
	TiO ₂	0.94	0.79	0.39	Sr	803.50	647.90	493.50			
	Al ₂ O ₃	20.20	17.08	14.82	Nb	5.60	5.90	5.20			
	Fe ₂ O ₃	1.26	2.21	1.42	Zr	146.30	116.70	124.00			
	FeO	5.60	5.79	2.48	Th	7.90	13.50	11.10			
	MnO	0.10	0.14	0.07	U	1.30	1.60	1.20			
	MgO	2.42	3.44	1.43	Sc	12.99	14.09	4.75			
	CaO	7.92	6.38	2.92	La	34.96	33.83	37.55			
	Na ₂ O	3.64	3.33	3.3	Ce	59.35	60.49	57.34			
	K ₂ O	2.16	2.51	3.77	Pr	6.94	7.07	5.76			
	P ₂ O ₅	0.42	0.33	0.19	Nd	27.25	26.35	19.62			
	H ₂ O [*]	0.26	0.70	0.57	Sm	5.89	5.61	3.56			
	烧失量	0.49	1.30	0.76	Eu	1.82	1.49	0.89			
	Σ	99.78	100.08	99.96	Gd	5.14	4.52	2.48			
标准矿物					稀土元素						
	ap	0.92	0.72	0.42	Tb	0.65	0.56	0.31			
	il	1.79	1.50	0.74	Dy	3.15	3.3	1.85			
	mt	1.84	3.22	2.07	Ho	0.74	0.67	0.35			
	or	12.82	14.95	22.4	Er	1.92	1.8	0.95			
	ab	30.97	28.35	28.09	Tm	0.29	0.26	0.15			
	an	32.55	24.39	13.47	Yb	1.75	1.75	1.00			
	c	0	0	0.41	Lu	0.28	0.29	0.16			
Di	wo	1.87	2.30	0	Y	19.08	18.17	9.92			
	den	0.81	1.18	0	ΣREE	169.21	166.16	141.89			
	dfs	1.06	1.07	0	LREE	136.21	134.84	124.72			
Hy	en	5.24	7.44	3.59	HREE	13.92	13.15	7.25			
	fs	6.86	6.76	2.90	LREE/HREE	9.79	10.25	17.2			
q	2.78	6.81	25.16	δEu	0.99	0.88	0.87				
Σ	99.51	98.69	99.25	δCe	0.87	0.9	0.84				
岩石化学特征参数					稀土元素特征参数						
	σ	2.60	2.61	2.01	Ce/Yb	33.91	34.57	57.34			
	τ	17.62	17.41	29.54	Eu/Sm	0.31	0.27	0.25			
	AR	1.70	1.79	2.19	Sm/Nd	0.22	0.21	0.18			
	SI	16.05	19.91	11.53	(La/Sm) _N	3.73	3.79	6.63			
	DI	46.57	50.11	75.65	(La/Yb) _N	13.47	13.03	25.32			
	碱指数	0.41	0.48	0.64	(Ce/Yb) _N	8.78	8.94	14.85			
	ASI	0.89	0.86	1.00	(Sm/Eu) _N	1.22	1.42	1.51			
	K ₂ O/Na ₂ O	0.59	0.75	1.14	Th/U	6.08	8.44	9.25			

注: 样号 X2-5 辉长苏长岩, X3-3 黑云石英闪长岩, X4-2 角闪黑云二长花岗岩; 氧化物含量单位 $\times 10^{-2}$, 微量元素和稀土元素含量单位 $\times 10^{-6}$; 稀土元素特征参数括号后脚注 N 表示球粒陨石标准化

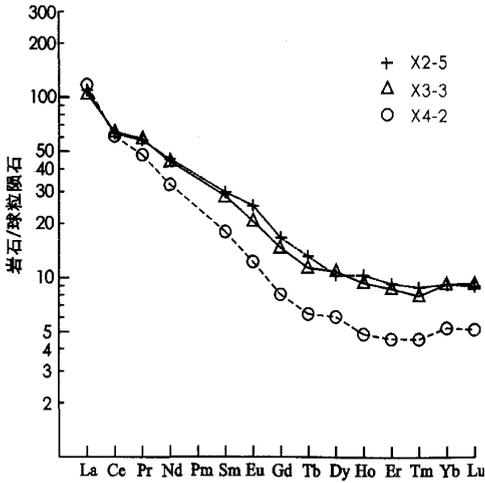


图 2 元恒永岩浆岩套稀土配分图

Fig.2 Chondrite-normalized REE patterns of the Yuanhengyong magmatic suite

+X2-5 辉长苏长岩; △X3-3 黑云石英闪长岩; ○X4-2 角闪黑云二长花岗岩 (球粒陨石标准化值据 Boynton, 1984)

0.64, $\sigma = 2.01$, $DI = 69.64$, $SI = 11.53$, 为一套结晶分异程度较好、固结程度较差的高钾钙碱性系列酸性岩。稀土总量中等, ΣREE 为 146.64; 轻稀土富集, $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 为 17.2; $(La/Yb)_N$ 为 25.32; $(La/Sm)_N$ 为 6.63; δEu 为 0.87, 略显铕负异常。

从常量元素看,元恒永岩套由苏长岩向石英闪长岩、二长花岗岩的演化过程中, SiO_2 和 K_2O 含量逐渐增高, Al_2O_3 、 TiO_2 、 CaO 含量逐渐降低; CIPW 标准矿物分子与岩矿鉴定结果一致, 主要为钾长石、钠长石、钙长石、透辉石、紫苏辉石、石英, 以及少量磷灰石、钛铁矿、磁铁矿, 二长花岗岩中出现极少量刚玉分子; 除钾长石和石英分子增加外, 其余标准分子皆减少。碱指数为 0.41 ~ 0.64, 里特曼指数 $\sigma = 2.60 \sim 2.01$, 显示该序列为高钾钙碱性岩石; 分异指数 ($DI = 46.57 \sim 75.65$)、固结指数 ($SI = 19.91 \sim 11.53$) 表明岩浆分异程度中等, 二长花岗岩的分异结晶程度较高。铝饱和指数 ASI 为 0.89 ~ 1.00, 为过碱质花岗岩。

岩套的微量元素总体特征基本一致, 具有同源性。与洋脊花岗岩相比 (图 3), 岩石中的不相容元素 K、Rb、Th、Sr 轻微富集, Ce 略高, Nb、Zr、Sm、Y 轻度亏损, Yb 强烈亏损。岩浆分异过程中, K、Rb、Th 等有轻度富集的趋势, 而 Sr、Zr、Sm、Y、Yb 以及重稀土有减少的趋势, 亏损明显加剧; 轻、重稀土发生不同程度的分异 (图 2)。这些特征与

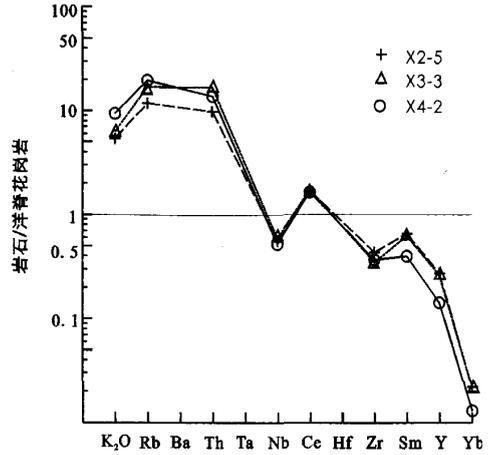


图 3 元恒永岩浆岩套微量元素 ORG 标准化图型

Fig.3 MORB-normalized trace element distribution of the Yuanhengyong magmatic suite

图例说明同图 2

(MORB 标准值选自 Saunders & Tarney, 1984)

岩石圈地幔的交代作用有关。Nb 负异常常与俯冲有关^[13]。Sr 的高度富集和其在岩浆分异过程中含量逐渐降低, 表明源区基性岩浆与地壳物质的相互作用是导致其富集的主要原因, 岩浆来源于加厚地壳的下部。稀土总量低, 无铕异常至弱负铕异常, 稀土元素和微量元素标准化图谱形态基本一致, 表明元恒永岩套为同源岩浆产物。在 ACF 图解中, 各单元投点落在 I 型花岗岩区, 靠近 I 型与 S 型的分界线。反映其源岩来自深源, 且有壳源物质混合, 表现了明显的成分演化特点。

3 时代确定

前面曾经提到, 元恒永岩套侵入新太古代的英云闪长质片麻岩并被晚二叠世二长花岗岩和晚三叠世钾长花岗岩侵入, 为了确定其时代, 本次工作中采集元恒永岩套的石英闪长岩 (样号 X3-3) 进行了测年。样品分选的锆石类型单一, 多为浅黄色透明自形柱状, 经以 TIMS 法进行单颗粒锆石 U-Pb 测年, 三个点均落在谐和线上, $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄统计权重平均值为 $(282.3 \pm 4.6) Ma$ (表 2, 图 4), 其时代为早二叠世。

4 岩体构造和侵位机制探讨

4.1 岩体组构特征

岩体内部片麻理由黑云母、角闪石、斜长石等

表 2 石英闪长岩(样号 X3-3)单颗粒锆石 U-Pb 年龄测定数据表

Table 2 U-Pb analytical results of single zircons from quartz-diorite (sample X3-3) in Yuanhengyong magmatic suite

样品情况			浓度		普通铅含量 (ng)	同位素原子比率*					表面年龄 (Ma)		
点号	锆石特征	重量 (μg)	U (μg/g)	Pb (μg/g)		$\frac{206\text{Pb}}{204\text{Pb}}$	$\frac{208\text{Pb}}{206\text{Pb}}$	$\frac{206\text{Pb}}{238\text{U}}$	$\frac{207\text{Pb}}{235\text{U}}$	$\frac{207\text{Pb}}{206\text{Pb}}$	$\frac{206\text{Pb}}{238\text{U}}$	$\frac{207\text{Pb}}{235\text{U}}$	$\frac{207\text{Pb}}{206\text{Pb}}$
1	浅黄色透明自形短柱状晶体	20	656	31	0.005	754.5	0.1763	0.044 56 <50>	0.317 4 <44>	0.051 67 <39>	281.0	279.9	270.7
2	浅黄透明自形柱状晶体	20	971	54	0.110	504	0.2336	0.045 23 <57>	0.324 60 <57>	0.052 06 <60>	285.2	285.5	288.0
3	浅黄透明自形短柱状晶体	30	1030	54	0.130	685	0.2072	0.044 58 <44>	0.321 5 <40>	0.052 32 <36>	281.1	283.1	299.3
1 ~ 3 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值: (282.3 ± 4.6) Ma													

注： $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 已对实验空白 (Pb = 0.050 ng, U = 0.002 ng) 及稀释剂作了校正；其它比率中的铅同位素均为放射成因铅同位素；同位素原子比率栏内括号数字为 2σ 绝对误差，如 0.044 56 (50) 意即 0.044 56 ± 0.000 50 (2σ)

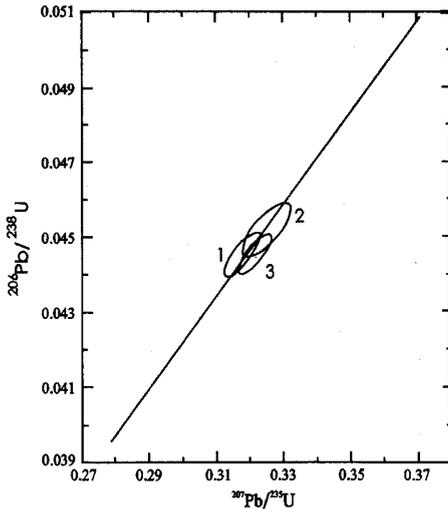


图 4 元恒永石英闪长岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄
Fig.4 Single zircon U-Pb ages of the quartz-diorite in Yuanhengyong magmatic suite

构成。斜长石呈自形板状平行排列是其显著特征之一(图 5A)，未见明显的矿物线理构造。个别斜长石发生了双晶弯曲和显微破裂等变形(图 5B)，但岩石中未见后期变形变质现象。片麻理总体走向 NW-SE，向 NE 或 SW 陡倾；在接触带附近，片麻理多与接触面平行。由于片麻理被岩体原生节理切割，说明片麻理与岩浆层流有关而不是后期构造变形的结果，因此，我们把这些组构看成是岩浆侵位过程中的流动构造特征。

万方数据

岩体结构的另一个显著特征是细粒石英闪长岩深源包体的主平面平行于片麻理分布。各岩体中都发育有小型暗色包体，只是分布不均，在石英闪长岩和二长花岗岩中包体较多。包体岩性为灰色-灰黑色细粒黑云闪长岩，其形态一般为扁饼状、近椭球状。主平面具有优选方位，平行片麻理，少数在岩体边部分布的包体为不规则状。个别地段见有发生部分熔融的细粒黑云闪长岩包体，由内向外暗色矿物减少，岩性由黑云闪长岩过渡为石英闪长岩。在包体内部偶见钾长石斑晶、斜长石斑晶(可能系熔融过程中交代生长所致)。

4.2 应变测量与分析

为了研究岩体侵位过程中的岩浆动力学特征，我们选择暗色包体作为应变测量和分析对象。通过对分布不远的三个区段 50 余个包体长、短轴的测量，利用 Hutton (1982) 创立的 Rf-Rm 法^[14]，对这些数据进行了分析(图 6)。结果表明，包体在岩浆形成、运移和侵位过程中发生了明显的旋转变形。这些标志体的最初形态轴比(Ri)平均值为 2.098 9，最终形态轴比(Rf)平均值为 2.723 3，二者差别较小，说明该岩套岩体在侵位过程中变形强度不大。由于难以选择合适的对象确定包体与岩体之间的粘度差(Rm)，因此未能确定最佳应变轴比(Rs)，对此，我们不妨根据所得出的 Ri、Rf 作以下分析。

假如二者粘度相同，即 Rm = 1，那么利用公式

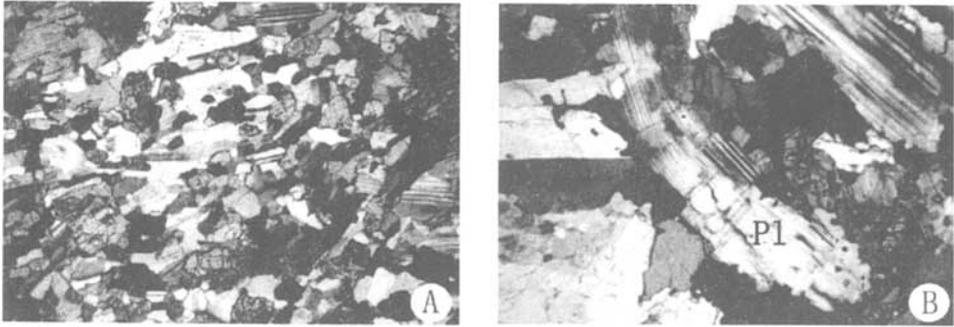


图 5 辉长苏长岩中流动变形组构

Fig.5 Flow deformation fabrics of the gabbro-norite in Yuanhengyong magmatic suite

A. 辉长苏长岩中自形斜长石双晶定向排列; B. 含黑云母透辉苏长岩中斜长石双晶弯曲、显微破裂

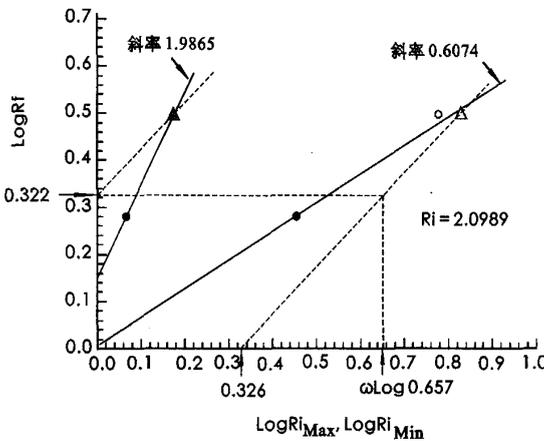


图 6 黑云闪长岩包体的旋转变形及初始形态轴比图解

Fig.6 Diagram showing the rotational deformation of the biotite-diorite inclusions and the axis ratios of the initial shape in Yuanhengyong magmatic suite

$LogRs = LogRf - LogRi (2Rm + 3) / 5$ (Gay, 1968), 可以推算出最佳应变轴比 Rs 为 1.297 5。

如果包体粘度略大于岩浆粘度, 设 $Rm = 1.2$, 则 Rs 为 1.017。

假设包体未发生变形, 即 $Rs = 1$, 则二者的粘度差 Rm 仅为 1.878 1。

由此可见, 可以推断包体与岩浆的粘度相近, 岩体侵位时包体与岩浆的粘度差不大, 且包体的变形强度也不大。

4.3 侵位机制分析

岩体内部组构特征分析显示, 岩浆流动片麻理是压扁作用和剪切作用联合造成的, 是岩浆沿通道向上运移时相对围岩运动而产生的。

由于区域上华北板块与西伯利亚板块此时发

万方数据

生的是南北向汇聚, 因此其区域应力场可能是南北向挤压, 而元恒永岩套总体上主压应力呈北东-南西向, 主张应力为北西-南东向, 可见岩体所受力场与区域应力场有一定的差别。片麻理的反“S”型分布, 说明岩体侵位后在矿物结晶、岩浆冷却过程中受到了区域构造应力场的作用, 并且主应力场发生过旋转。这种情况表明, 元恒永岩套侵位时在区域性南北向挤压应力作用下, 于元恒永一带受到某些边界条件的限制, 发生局部剪切, 并由这种剪切过程中形成张性空间, 成为岩浆侵位的理想场所。因此, 可以认为该岩浆是区域构造应力场控制下的侵位。

5 构造环境

资料表明, 华北板块与西伯利亚板块在早二叠世时尚未拼接, 元恒永以北的满都拉地区, 早二叠世时还仍然是大洋板块的范围^[15-16]。晚古生代两大板块的会聚造山作用, 便在华北板块北缘形成多条岩浆岩带^[12], 早二叠纪的元恒永岩套即是其中之一。换句话说, 产在华北板块北缘的元恒永岩套, 即是早二叠世早期存在弧陆碰撞的证据。

关于元恒永岩套的构造环境, 从它在 $R1-R2$ 图解上的投点均落在板块碰撞前的花岗岩区, 但有向同碰撞花岗岩区过渡的趋势(图 7), 说明该岩套的构造环境是从碰撞前向同碰撞型演化的。在 $Rb-(Yb+Nb)$ 图解上投点落在火山弧花岗岩区(图 8), 在 $\log \sigma - \log \tau$ 图解上落在造山带火山岩区(图 9), 反映了岩套的火山弧性质, 说明华北板块北缘早二叠纪早期存在火山弧性质的岩浆活动, 推

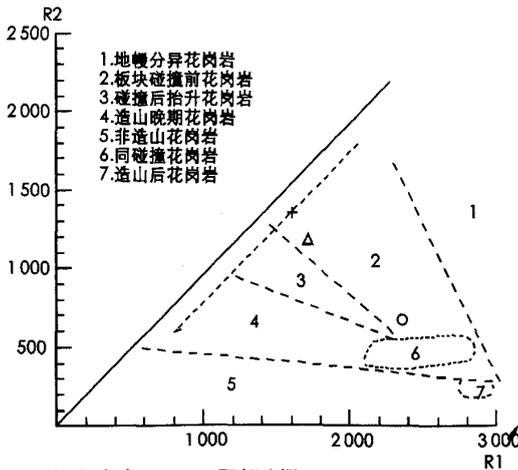


图 7 元恒永岩套 R1-R2 图解 (据 Batchelor et al, 1985)
 Fig.7 R1-R2 diagram of granitoid in Yuanhengyong magmatic suite
 图例说明同图 2

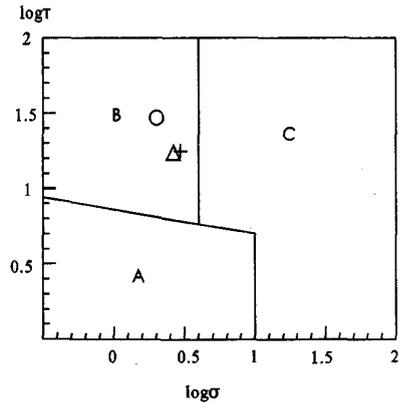


图 9 元恒永花岗岩类 log σ -log τ 图解
 Fig.9 log σ -log τ diagram of the granitoid for Yuanhengyong magmatic suite

A. 非造山带火山岩; B. 造山带火山岩; C. A、B 区派生的碱性、偏碱性火山岩; 图例说明同图 2

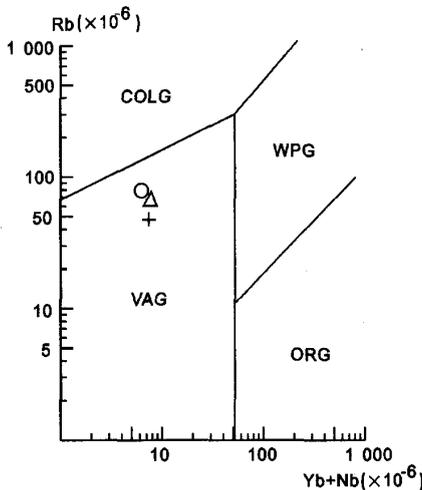


图 8 元恒永花岗岩类 Rb-(Yb+Nb) 图解
 Fig.8 Rb-(Yb+Nb) diagram of the granitoid for Yuanhengyong magmatic suite

ORG. 洋脊花岗岩; WPG. 板内花岗岩; VAG. 火山弧花岗岩; COLG. 同碰撞花岗岩图; 例说明同图 2

测是古亚洲洋往华北板块下俯冲, 洋壳物质脱水使地幔楔和下地壳部分熔融和上侵形成的。本文初步认为, 元恒永岩套属于华北板块北缘的晚古生代的岩浆增生活动带, 是华北板块对古亚洲洋俯冲作用的响应。岩体就位时的片麻理, 记录的是华北板块与西伯利亚板块汇聚的主应力对该期花岗岩侵入过程的影响。综合其岩浆演化、分布特征, 可以认为华北板块北缘在早二叠纪时具有安第斯型大陆岩浆弧的构造背景。

万方数据

参考文献

[1] 王荃. 内蒙古中部中朝与西伯利亚古板块间缝合线的确定[J]. 地质学报, 1986, 60(1): 31-41.
 [2] 邵济安. 中朝板块北缘中段地壳演化[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991, 0-136 页.
 [3] 李双林, 欧阳阳远. 兴蒙造山带及邻区的构造格局与构造演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(3): 45-54.
 [4] 朱日祥, 杨振宇, 马醒华, 等. 中国主要块体显生宙以来古地磁视极移曲线与块体运动[J]. 中国科学 D 辑, 1998, 28(增刊): 1-16.
 [5] 洪大卫, 王式口, 谢锡林, 等. 试析地幔来源物质成矿域——以中亚造山带为例[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 41-55.
 [6] 任纪舜. 中国大陆的组成、结构、演化和动力学[J]. 地球学报, 1994, (3-4): 5-13.
 [7] 李锦轶. 内蒙古东部中朝板块与西伯利亚板块之间古缝合带的初步研究[J]. 科学通报, 1986, 14: 1093-1096.
 [8] 任收麦, 黄宝春. 晚古生代以来古亚洲洋构造域主要块体运动学特征初探[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(1): 113-120.
 [9] Zhao X, Coe R S, Chang K H, et al. Clockwise rotations recorded in Early Cretaceous rocks of South Korea: implications for tectonic affinity between the Korean Peninsula and North China [J]. Geophys. J. Int., 1999, 139(2): 447-463.
 [10] 吴珍汉. 略论华北地块北缘显生宙三类不同的造山作用[J]. 地质力学学报, 2000, 6(1): 44-51.
 [11] 马醒华, 杨振宇. 中国三大地块的碰撞拼合与欧亚大陆的重建[J]. 地球物理学报, 1993, 36(4): 476-481.
 [12] 冷福荣, 刘旺盛, 苏英. 华北板块北缘海西期花岗岩类地

- 球化学特征及构造环境探讨[J]. 内蒙古地质, 1996, (增刊): 18-25.
- [13] Briquieu L, Bougault H, Joron J L. Quantification of Nb, Ta, Ti and V anomalies in magmas associated with subduction zones: petrogenetic implications [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1984, 68: 297-308.
- [14] Hutton D H W. A tectonic model for the emplacement of the Main Donegal Granite, NW Ireland [J]. *Journal of Geological Society, London*. 1982, 139: 615-631.
- [15] 陶继雄, 白立兵, 宝音乌力吉, 等. 内蒙古满都拉地区二叠纪俯冲造山过程的岩石记录[J]. *地质调查与研究*, 2003, 26(4): 241-249.
- [16] 苏新旭, 孟二根, 张永清. 内蒙古达茂旗满都拉地区晚古生代板块活动探讨 [J]. *内蒙古地质*, 2000, (1): 17-34.

Magmatic Activity and Its Tectonic Implications During the Early Permian in the Northwestward of Wuchuan, Inner Mongolia

YUAN Gui-bang, WANG Hui-chu

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China)

Abstract: The early Permian Yuanhengyong magmatic suite is located in the northern margin Sino-Korean Plate and composed of a pre-collision high-K calc-alkaline magmatic series of gabbro-norite, quartz-diorite and monzonitic granite. Geochemical characteristics of the suite with mid Σ REE, LREE-enriched and no or weakly Eu-anomaly show its evolution from mantle-derived to mantle-crust mixed rocks. In the magmatic bodies there are some gneissosity and dark fine-grained biotite-diorite inclusions, which are parallel each other. Rotational deformation of the inclusions took place when the magmas emplaced, accounting for magma with less viscosity. Being controlled by the tectonic stress, the magma emplaced along the space where existed tensile-shearing stress. A single zircon U-Pb age of 282.3 ± 4.6 Ma was obtained from the quartz-diorite, indicating that the suite formed in the Early Permian. The formation of the Yuanhengyong magmatic suite with Andes-type-like continent-arc setting was related to subduction of the Paleo-Asian Ocean when the convergence of the Sino-Korean Plate and the Siberia Plate took place.

Key word: magmatic suite; structure of intrusive rock; U-Pb zircon age; early Permian; northern margin of the North China plate