

山东徂徕山区珂洛山、刘家山一带 岩浆杂岩的岩石学 and 同位素地质年龄

沈其韩 刘敦一

(中国地质科学院地质研究所)

提要 山东徂徕山区珂洛山、刘家山一带岩浆杂岩分布广泛,按岩相学、地球化学等特征可划分为闪长质岩组和花岗质岩组两大系列。闪长质岩组中的细粒闪长岩与泰山地区的普照寺型闪长岩相当,中粗粒闪长岩与中天门花岗闪长岩一致,二者可能产生于长期亏损地幔源。花岗质岩组中的黑云二长花岗岩测得锆石 U—Pb 一致线年龄为 $2440 \pm 23 \text{ Ma}$,其岩石学和地球化学特征均与泰山地区的微徂山花岗岩相当,系由变质岩地壳熔融而来的深成流体形成。徂徕山杂岩体和泰山杂岩体区域片麻理走向一致,共同组成鲁西绿岩——花岗岩地体。

徂徕山位于泰山东南约30余公里处。据山东省地质矿产局第一地质大队测制的1:5万徂徕山幅地质图,该区主要由前寒武纪各种杂岩体组成,由老到新依次见有(1)春阳坡细粒闪长岩($\delta_1^{(2)a}$);(2)水泉石英闪长岩($\delta_2^{(2)b}$);(3)黄石崖混合二长花岗岩($\eta\gamma m_1^{(2)c}$);和(4)马场中细粒二长花岗岩($\eta\gamma_1^{(2)d}$)等(图1)。分布面积160km²。其中(2)、(3)和(4)分布更为广泛。作为上壳岩系的泰山群斜长角闪岩和黑云变粒岩等只有零星分布,大部呈岩体中的包体出现。

各种杂岩体的片麻理产状,基本相同,主要为NW320°—330°—SE150°—160°,倾向SW,与泰山地区所见变质岩系和岩体的片麻理产状一致。

1985夏秋,我们对本区徂徕乡(南上庄)南和东南的珂洛山、刘家山、兰岭以及水泉一带分布的各类岩体,曾进行了短期的野外考察,并采取了不同岩类的代表性标本(采样点详见图1),随后对这些样品进行了岩相学、岩石化学和地球化学的室内研究,同时对其中一种岩体—黑云二长花岗岩($\eta\gamma_1^{(2)d}$)的锆石进行了U—Pb一致线年龄测定,获得了较好的结果。为了对比,还引用了李恒新¹⁾的部分岩石化学和稀士地球化学数据。本文即为该项研究的小结,有些意见可作为1:5万图幅说明书的补充。由于工作时间很短,范围很小,认识不一定全面,不妥之处,请读者批评指正。

1)李恒新,1987,山东徂徕山岩体的两个成因系列。地质新星论评总第2期,1987,P2—13.

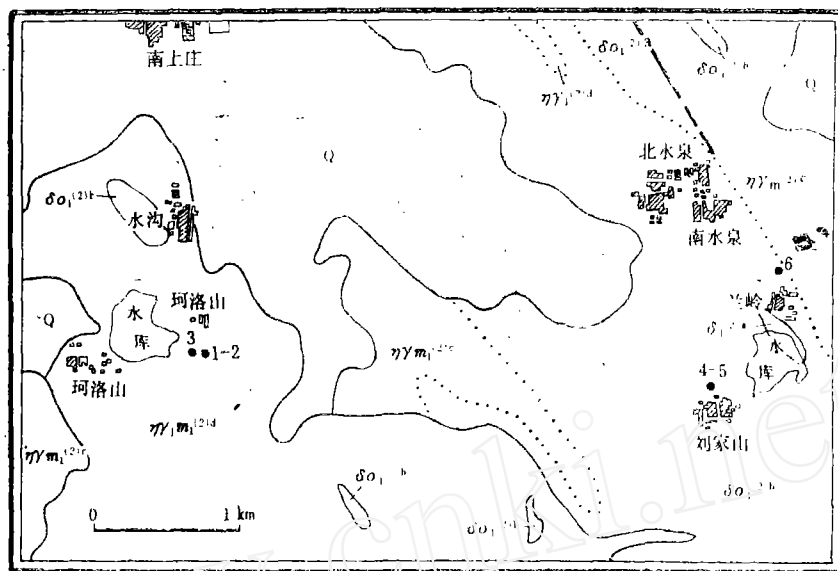


图1 徂徕山地区1:5万地质简图

(据山东省地矿局第一地质大队1:5万徂徕山幅地质图)

一、岩体地质产状, 相互关系以及采样点

在珂洛山水库一带主要以灰白色片麻状中粗粒黑云母二长花岗岩为主, 其中有稍晚的肉红色至灰色中细粒花岗岩穿插, 沿这两种岩体岩石的节理和片理, 常见有更晚一些的白色细晶和伟晶岩穿插(图2), 脉体中主含长英矿物外, 可见有角闪石、磁铁矿和少量榍石。在花岗质岩体中常见有深灰色中粒闪长质岩体呈巨大块状包体出现, 数量远较1:5万图幅中所表示的为多。此种岩石风化后表面呈深灰色, 圆秃形, 与花岗质岩体的界线清楚至不完全清楚。其中常见有黑灰色细粒的闪长质包体。

在李家峪村以东小山坡所见以含较多黑云母的片麻状花岗岩为主, 有的黑云母积集成条, 往往组成若干平行的条带, 长者可达20余厘米, 宽2—3厘米至1—2厘米。其长轴方向与区域片麻理一致。其中常可见有斜长角闪岩的小包体。在刘家山、兰岭一带, 在1:5万地质图中所称的水泉石英闪长岩($\delta o_1^{(2)b}$)中常见有细粒闪长岩包体($\delta o_1^{(2)a}$)(图3), 这一特点与珂洛山一带所见相同。石英闪长岩经研究其成分变化较大, 部分为英云闪长岩至花岗闪长岩, 其产状和岩性特征与泰山所见的中天门岩体十分相似, 而细粒闪长质岩石又与泰山普照寺岩体一致。

我们在珂洛山水库东边小山上, 相当于1:5万地质图上标示为马场中细粒二长花岗岩($\eta\gamma m_1^{(2)d}$)范围, 采取了三个标本(见图1和图2—2)。一块为灰色粗粒片麻状黑云母二长花岗岩(Ju85—1), 另两块为中粒花岗闪长质岩石(Ju85—2)和细粒英云闪长质岩石(Ju85—3), 均包于黑云母二长花岗岩中。在刘家山以北相当于1:5万

图幅中石英闪长岩 ($\delta_1^{(2)b}$) 的分布范围, 采取了两个样品 (Ju85—4 和 Ju85—5), 前者为花岗闪长岩, 后者英云闪长岩。在水泉以南采取了细粒闪长岩样品 ($\delta_1^{(2)a}$) 一块 (Ju85—6)。这是我们进行室内研究的基础。

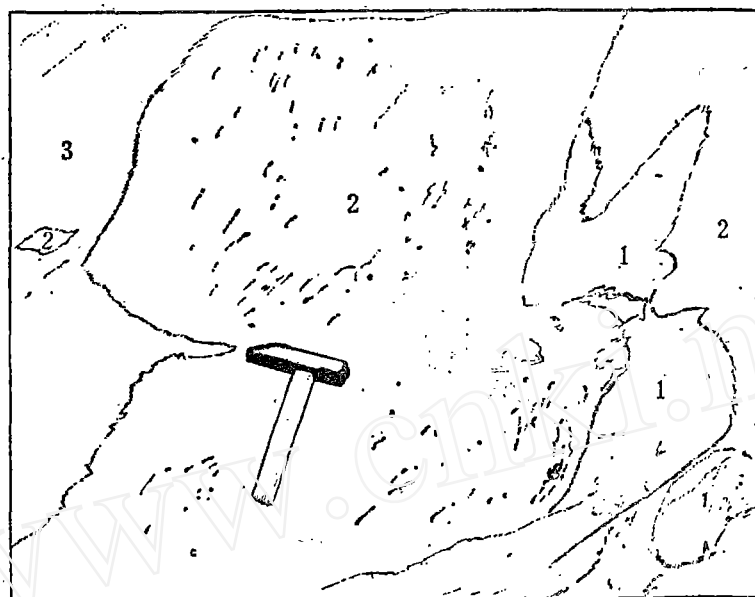


图2 珂洛山一带各种岩体穿插关系

1. 闪长质岩体; 2. 中粗粒片麻状黑云二长花岗岩体; 3. 中细粒花岗岩

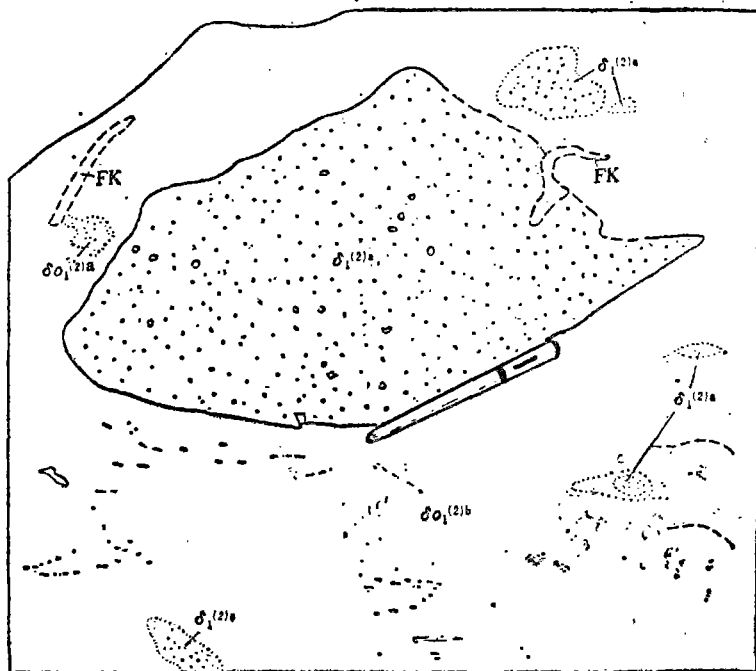


图3 刘家山一带细粒闪长岩与中粒英云闪长岩—石英闪长岩的关系

$\delta_0^{(2)b}$ —英云闪长岩—石英闪长岩; $\delta_1^{(2)a}$ —细粒闪长岩, 略具斜长石小斑晶; FK—长英质脉体

二、岩相学特征

根据岩相学特徵、侵位关系、岩石化学以及成因等综合特点,基本上可将本区杂岩体划分为两大类:一类为闪长质岩类;另一类为花岗质岩类,包括二长花岗岩、花岗闪长岩、碱性花岗岩以及一般花岗岩。

1. 闪长质岩类

花岗半自形结构,粒度中至细,以 $0.5-1 \times 1.5\text{mm}$ 为主。组成矿物主要为斜长石、微斜长石、石英和黑云母,有的岩石中还有角闪石。在闪长岩中以斜长石为主,微斜长石含量少,而在其他类岩石中,微斜长石相对增多。副矿物见有磁铁矿、榍石、磷灰石以及绿帘石。斜长石 ($An_{25}-28$ 中粗粒, $An_{25}-30$ 细粒) 呈板状至粒状,部分具钠长石双晶纹。有的已绢云母化和帘石化。与微斜长石接触处出现蠕英石或窄的钠长石边。微斜长石大部具有格子状双晶,有的呈小条状或小方块状分布于斜长石中。石英呈不规则粒状,分布于长石晶体之间。黑云母呈片状,有的已微显弯曲, Np = 橙黄—黄绿, Ng = 暗棕绿—墨绿,部分已绿泥石化。它常与绿帘石和磁铁矿伴生。

2. 花岗质岩类

据李恒新¹⁾研究,本区存在花岗闪长岩—斜长花岗岩 ($Cn-r$, 表1中序号 11—14) 和块状中粗粒微斜长石花岗岩 (γ_m , 表1中序号 15—18) 等,由于我们工作区局限,仅见有灰白色片麻状中粗粒黑云母二长花岗岩和稍晚生成的中细粒花岗岩。现着重对前一种岩石作一描述。

黑云二长花岗岩 ($Ju_{85}-1$): 呈花岗半自形结构,片麻状构造,粒度 $1-2\text{mm}$ 。组成矿物以斜长石 ($An_{25}-30$)、微斜长石、石英为主,有少量黑云母。副矿物见有磁铁矿、榍石、磷灰石和锆石。斜长石呈板状至粒状,部分具清晰的钠长石双晶纹,部分显示环带,内部已绢云母化,而外环尚新鲜,内环成分似稍偏基性。微斜长石呈不规则粒状至板状,部分具格子状双晶,部分双晶不显但包有斜长石小方块组成反条纹结构,与斜长石接触处,斜长石边部出现蠕英石或钠长石边。石英充填于长石晶体之间,呈不规则状。黑云母呈片状,长 $0.3-0.5\text{mm}$,个别微显弯曲。 Np = 黄绿色, Ng = 暗棕绿色,部分已绿泥石化。常与绿帘石和磁铁矿伴生。榍石呈楔状至粒状,有时组成磁铁矿的镶边。

三、岩体的岩石学分类

为了较系统的进行分类和较全面的对比,以我们所采样品为基础,参考引用了李恒新¹⁾所采样品的分析结果,其中包括原称为片麻状花岗闪长岩—斜长花岗岩类 ($Cn-r$) 四个,块状中粗粒微斜长石花岗岩 (γ_m) 四个,细粒闪长岩 (δ_1) 三个及中粗粒闪长

1) 同第34页脚注。

岩 (δ_1^2) 三个。利用以上样品的全分析结果, 计算了岩石的标准矿物分子, 将Ab—Or—An标准分子投于O'Connor (1976) 的三角图上。另外采用Roche et al. (1980) ^[2] 的 R_1 — R_2 岩石分类图解进行了岩石分类。两种方法进行了比较。

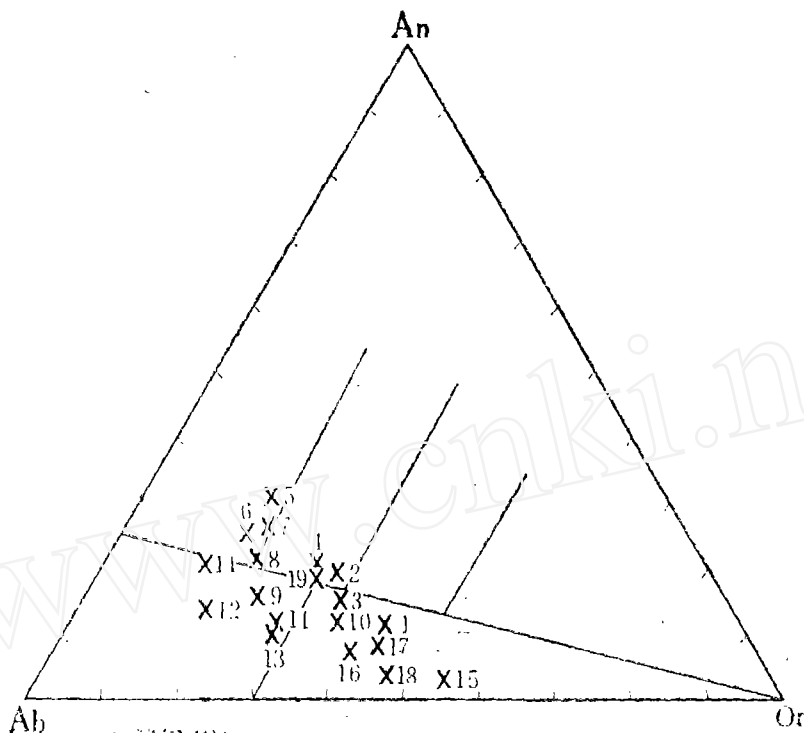


图4 Ab—Or—An三角图解
(据O'Connor, 1976)

在Ab—Or—An三角图上, 在表1 (详后) 中原称为 δ_1^2 的岩石 (序号6、7、8) 和细粒闪长岩 (序号5) 均投于英云闪长岩区。表1中原称为Cn— γ 和部分 δ_1^2 岩石 (序号9、11、12、13、14), 投于奥长花岗岩区。其余岩石 (序号1、3、15—19) 均位于花岗岩区。

De la Roche利用已知的不同地区、不同构造环境的花岗质岩石岩石化学数据, 经计算后投点于 R_1 — R_2 图解上, 其结果正好与Pitcher的构造花岗岩的分类相符合。这一图解的主要特点在于能反映造山旋回过程中岩石成分连续变化的特点, 比前人的分类方法和成因研究相对的更合理一些。为此, 我们也采用了这一方法, (图5) 分别得出各种岩石的分类名称, 与Ab—Or—An图解所得出的有一些差别 (表1), 其优点有两点: 1. 闪长质岩石分得比较细, 花岗质岩石也能根据其实际成分给出不同的岩石名称; 2. 可以分辨出不同构造条件下形成的花岗质岩石。现将用此种方法得出的各种岩石分类名称与用Ab—Or—An三角图所得的名称作一比较, 详见表1。如用上述数据投于花岗岩系列综合图解中, 极大部花岗质岩石相当于同碰撞的深熔花岗岩系列。而闪长质岩石点子比较分散, 与花岗质岩石处于不同的大地构造条件, 从而分出两类不同的岩石

系列。

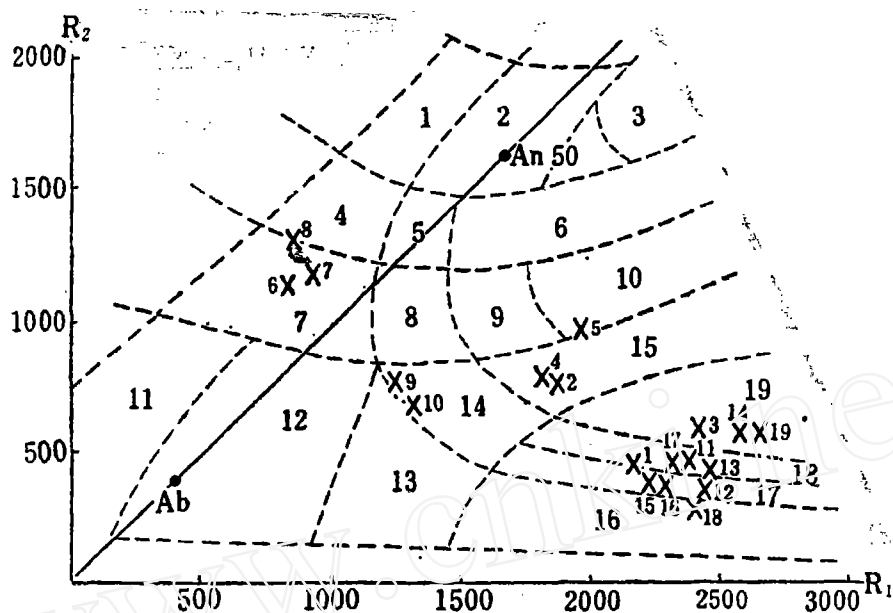


图5 R_1-R_2 图解 (De la Roche et al., 1980)

$$R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti); \quad R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$$

1. 碱性辉长岩; 2. 橄辉长岩; 3. 辉长苏长岩; 4. 正长辉长岩; 5. 二长辉长岩;
6. 辉长岩; 7. 正长闪长岩; 8. 二长岩; 9. 二长闪长岩; 10. 闪长岩; 11. 霞石正长岩;
12. 正长岩; 13. 石英正长岩; 14. 石英二长岩; 15. 英云闪长岩; 16. 碱性花岗岩; 17. 同
熔花岗岩; 18. 二长花岗岩; 19. 花岗闪长岩; X⁸ 为岩石点位和序号

表1 两种岩石分类方法所得结果的比较

序号	原样号	原定名称	Ab—Or—An 的岩石分类	R_1-R_2 的岩石分类
1	Ju85-1	黑云二长花岗岩	花岗岩	二长花岗岩
2	Ju85-3	花岗闪长岩	花岗闪长岩	英云闪长岩
3	Ju85-4	"	花岗岩 (靠近花岗闪长岩)	花岗闪长岩
4	Ju85-5	细粒闪长岩	花岗闪长岩	英云闪长岩
5	Ju85-6	δ_1^1	英云闪长岩	闪长岩
6	188	δ_1^1	" "	正长闪长岩
7	146	"	" "	" "
8	170	"	" "	" "
9	12	δ_1^2	奥长花岗岩	石英闪长岩
10	37	"	花岗岩	" "

续表 1

序号	原样号	原定名称	Ab—Or—An 的岩石分类	R ₁ —R ₂ 的岩石分类
11	69	Cn— γ	奥长花岗岩	二长花岗岩
12	78	"	" "	同熔花岗岩
13	201	"	" "	二长花岗岩
14	107	"	" "	花岗闪长岩
15	007—1	γ_m	花岗岩	同熔花岗岩
16	007—5	"	花岗岩	" "
17	181	"	" "	二长花岗岩
18	90	"	" "	碱性花岗岩
19	Ju85—2	花岗闪长岩	" "	花岗闪长岩

从上表可看出,用R₁—R₂岩石分类,闪长质岩类划分比较清楚,与野外划分的大类,基本相符。花岗质岩类根据其成分可以分出更详细的类别,而Ab—Or—An三角图分类,均统称为花岗岩显得比较笼统。看来R₁—R₂图解的岩石分类,有其一定优越性。

四、岩体的岩石化学和稀土地球化学特征

徂徕山杂岩各类岩体的全岩岩石化学成分,计算的标准矿物分子,稀土元素含量以及微量元素含量,分别列于表2、表3、表4、表5和表6。岩石化学全分析采用湿化学法分析。稀土元素采用直读光谱法测定。标准矿物分子的计算采用CIPW法。

从表2上可清楚地看出,各种花岗质岩石的SiO₂含量一般在72—75%之间,Al₂O₃含量在12.79—14.67%之间,Na₂O%和K₂O%随着岩类的不同而有一定的变化,花岗闪长岩一般Na₂O%大于K₂O%,二长花岗岩二者大致相近,而碱性花岗岩一般K₂O%远大于Na₂O%,TiO₂,Fe₂O₃,FeO,MgO和CaO一般含量较低。闪长质岩石SiO₂含量范围一般在49.82—62.84%间,普遍较花岗岩低,而Al₂O₃普遍较花岗岩为高(14.83—16.16%),Na₂O%普遍大于K₂O%,P₂O₅、TiO₂、Fe₂O₃、FeO和CaO、MgO的含量均较花岗岩为高。花岗岩与闪长质岩石计算出的标准矿物分子,也有明显差别(详见表3,续表3)。

表2 鲁西徂徕山各杂岩体经岩石化学成分

序号	编号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	CO ₂	总计
1	Ju85-1	黑云二长花岗岩	72.30	0.37	14.36	1.11	1.12	0.05	1.55	0.47	3.34	4.31	0.13	0.50	0.14	—	99.75
2	Ju85-3	花岗岩闪长岩	62.84	0.93	16.46	3.12	2.34	0.09	3.46	1.56	3.80	3.51	0.39	0.46	0.06	0.28	99.30
3	Ju85-4	花岗岩闪长岩	68.81	0.57	15.21	1.39	1.94	0.06	2.52	1.01	3.58	3.51	0.24	0.44	0.12	0.28	99.69
4	Ju85-5	细粒闪长岩	61.58	0.93	16.76	2.46	3.17	0.08	3.81	1.78	4.08	3.27	0.46	0.66	—	0.37	99.41
5	Ju85-6	细粒闪长岩	60.87	0.90	16.64	2.89	3.78	0.09	5.15	2.40	4.07	1.95	0.37	0.56	0.08	0.37	100.12
6	188	δ_1^1	49.82	1.24	16.16	5.67	6.53	0.15	6.82	4.14	4.70	2.00	1.12	0.53	—	—	98.94
7	146	"	50.23	2.20	16.14	6.56	4.69	0.14	7.47	3.40	4.45	2.20	0.60	0.87	0.08	—	99.03
8	170	"	50.19	2.00	14.83	5.68	6.37	0.13	7.44	4.20	4.55	2.15	0.70	0.80	0.16	—	99.20
9	12	δ_1^2	57.59	1.20	16.38	3.99	3.91	0.11	5.23	1.93	5.45	2.90	0.30	0.48	0.10	—	99.57
10	37	"	64.49	0.63	16.37	2.26	2.52	0.07	2.89	1.22	4.90	4.70	0.19	0.26	0.11	—	100.62
11	69	Cn- γ	72.42	0.16	14.41	0.13	1.67	0.05	2.22	0.40	4.75	3.10	0.63	0.24	0.17	—	100.35
12	78	"	73.63	0.13	14.58	0.72	1.32	0.05	2.33	0.32	5.5	2.00	0.02	0.33	0.05	—	100.26
13	201	"	74.34	0.10	13.59	0.91	1.02	0.04	1.68	0.33	4.35	3.15	0.03	0.25	0.10	—	100.44
14	197	"	71.99	0.23	14.67	0.58	2.10	0.05	3.19	0.55	5.00	1.50	0.05	0.29	0.15	—	100.35
15	007-1	γ_m	73.53	0.23	12.79	1.17	1.36	0.03	1.33	0.32	3.35	6.00	0.08	0.16	0.05	—	100.38
16	007-5	"	73.85	0.15	13.63	0.86	1.10	0.04	1.54	0.38	4.25	4.55	0.04	0.15	0.14	—	100.68
17	181	"	73.58	0.20	13.70	1.30	0.94	0.04	1.51	0.36	3.90	4.35	0.05	0.29	—	—	100.72
18	90	"	75.60	0.25	12.86	0.56	0.94	0.02	0.68	0.21	3.90	5.20	0.02	0.20	0.16	—	100.60
19	Ju85-2	花岗岩闪长岩	62.79	1.19	16.08	3.04	2.68	0.10	3.86	1.66	4.55	3.58	0.44	0.49	0.17	0.14	100.57

注: 序号1—5和19为作者所采, 由中国地质科学院岩石矿物测试研究所分析, 6—18引自“李恒新”“山东徂徕山岩体的两个成因系列”, 地质新论总第2期, 1987, P2—13, 表中岩性代号系统为原作者命名。 δ_1^1 —细粒闪长岩; δ_1^2 —中粗粒闪长岩; Cn— γ —花岗岩—斜长花岗岩; γ_m —中粗粒微斜长花岗岩。

表3 但徕山杂岩体岩石化学计算的标准矿物成分

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ap	0.33	1.00	0.67	1.00	1.00	2.68	1.34	1.68	0.67	0.33
Iim	0.75	1.82	1.06	1.82	1.66	2.42	4.24	3.79	2.27	1.21
Cc	0.00	0.60	0.60	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q	32.30	19.58	28.49	15.50	15.56	0.00	0.00	0.00	3.22	10.47
Mt	1.62	4.62	2.08	3.47	4.16	8.33	8.56	8.33	5.78	3.24
Hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00
Or	25.60	20.59	20.59	19.48	11.68	11.68	12.80	12.80	17.25	27.85
Ab	28.31	31.98	30.41	34.61	34.61	39.85	37.75	37.49	46.14	41.42
An	6.86	12.79	8.99	13.91	20.58	16.97	17.52	13.63	11.68	8.90
C	1.66	1.73	2.20	1.32	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	6.58	7.82	5.14	1.93
DEn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.57	5.68	5.32	3.44	1.17
DFs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28	0.00	1.88	1.32	0.64
HEn	1.20	3.91	2.50	4.41	6.02	0.14	2.61	0.00	1.37	1.93
HFfs	0.52	0.13	1.45	2.24	3.16	0.07	0.00	0.00	0.52	1.06
Fo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.34	0.09	3.58	0.00	0.00
Fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.92	0.00	1.39	0.00	0.00
A	51.49	47.45	47.19	47.51	29.38	40.78	42.21	40.43	57.17	66.81
P4	13.80	29.48	20.61	33.92	51.74	59.21	57.78	51.56	38.71	21.37
Q4	34.70	38.01	36.49	38.68	39.17	47.14	47.44	50.52	41.24	36.44
Q1	37.46	27.13	35.84	22.27	25.15	0.00	0.00	0.00	4.83	13.13
A4	32.84	44.32	38.25	49.73	55.94	77.32	74.67	74.54	69.26	51.95
O4	29.69	28.53	25.90	27.99	18.89	22.67	25.32	25.45	25.89	34.90
SUM	99.20	98.80	99.09	98.59	99.48	98.41	97.85	98.17	98.86	100.19

续表 3

	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Ap	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
lim	0.30	0.30	0.15	0.45	0.45	0.30	0.45	0.45	2.27
Cc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
Q	27.73	28.29	30.22	28.59	28.11	27.99	29.01	31.18	14.17
Mt	0.23	1.15	1.38	0.92	1.62	1.15	1.85	0.92	4.39
Or	18.36	11.68	18.36	8.90	35.62	26.71	28.38	30.61	21.15
Ab	40.38	46.67	40.90	42.47	28.31	36.18	33.03	33.03	38.28
An	7.41	9.18	6.12	13.07	1.94	4.72	5.56	2.22	13.07
C	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wo	0.00	1.04	0.92	1.16	1.97	1.16	0.81	0.46	0.58
DEn	0.00	0.38	0.45	0.39	0.80	0.53	0.57	0.18	0.46
DFs	0.00	0.68	0.46	0.80	1.13	0.62	0.16	0.28	0.04
HEn	1.00	0.42	0.45	1.01	0.00	0.37	0.32	0.31	3.64
HFfs	2.63	0.76	0.46	2.09	0.00	0.43	0.09	0.50	0.35
Δ	59.10	33.47	51.30	28.06	66.45	60.08	58.34	63.27	51.69
P4	20.27	31.00	17.09	41.20	3.63	10.63	11.43	4.59	31.95
Q4	34.39	33.70	33.78	34.71	34.36	33.77	33.64	33.28	37.26
Q1	32.07	32.65	33.76	35.75	30.54	30.79	32.08	32.87	19.26
A4	46.68	53.85	45.70	53.10	30.76	39.80	36.52	34.83	52.00
Q4	21.23	13.48	20.52	11.13	38.69	29.39	31.38	32.28	28.73
SUM	99.86	100.60	99.91	99.90	100.04	100.21	100.29	100.20	99.76

五、地球化学特征

本区闪长质岩组总稀土的丰度比较高,其范围在279.79—617.60ppm间,稀土分布模式显示轻稀土富集,重稀土亏损,大部分有负Eu异常,部分不明显,属高度分馏型(表4,图6)。

在La/Sm—La图(图8)上,闪长质岩组的主要岩石组成的连线,斜率较陡,而且与花岗质岩组岩石分布于不同的位置。

本区闪长质岩组的岩相学和地球化学特点以及侵位时代,均与泰山地区的普照寺岩体和中天门岩体十分相似^[11],也可与加拿大苏比利尔省的晚太古闪长岩相比。花岗质岩组岩石的总稀土丰度变化较大,可从43.91—226.5ppm,但从总体上讲,普遍较闪长质岩组为低(表4,表5),轻稀土明显富集,重稀土亏损并显示凹形,组成的稀土模式图的斜率较陡,大部分显示明显的负Eu异常(图7),在La/Sm—La的图上,斜率较缓,La的含量均大于闪长质岩组。现有的花岗质岩类中的大部分与泰山地区徂徕山型花岗岩,无论岩相学还是稀土地球化学特征均可以对比。

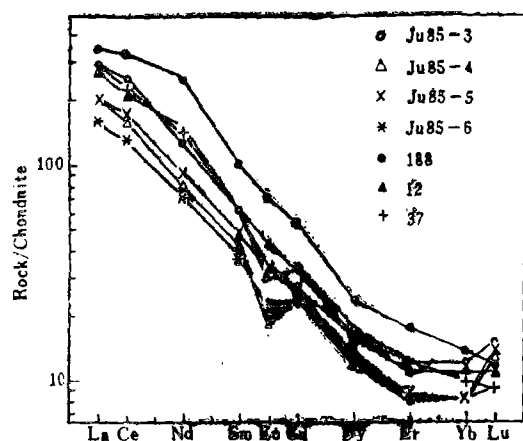


图6 闪长岩——花岗闪长岩组稀土模式图
(标准化值采用MaSuda 1973年的值除以1.2)

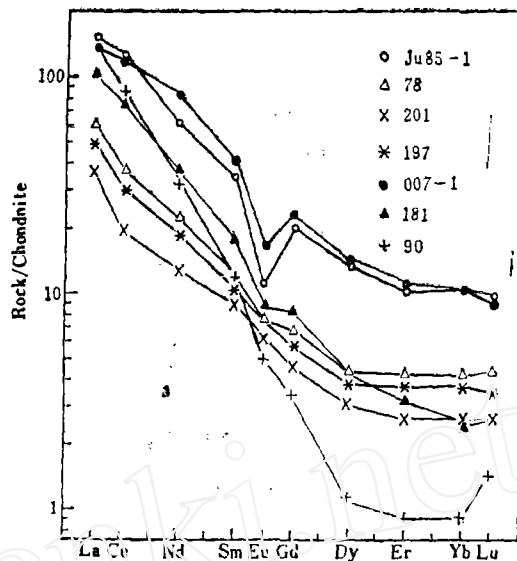


图7 花岗质岩石稀土模式图

表4 闪长质岩石的稀土元素成分和其他参数

序号 样号	1	2	3	4	5	6	7
元素 (ppm)	Ju 85-3	Ju 85-4	Ju 85-5	Ju 85-6	188	12	37
La	90.18	63.76	62.60	48.68	110.00	86.03	95.54
Ce	201.50	131.00	139.30	107.00	266.90	177.50	189.20
Pr	19.57	12.46	14.12	10.65	32.34	21.30	22.12
Nd	74.95	47.23	55.85	42.48	151.60	90.78	86.96
Sm	11.81	7.98	9.13	7.38	19.50	11.37	11.02
Eu	2.03	1.28	2.21	1.50	5.07	3.10	2.43
Gd	8.60	6.01	6.72	6.00	13.94	8.24	7.23
Tb	1.75	1.36	1.54	1.36	1.89	1.11	1.11
Dy	5.55	3.99	4.29	4.09	7.53	5.02	4.99
Ho	0.93	0.68	0.69	0.69	1.45	0.91	0.94
Er	2.46	1.71	1.77	1.76	3.67	2.35	2.50
Tm	0.37	0.25	0.28	0.26	0.54	0.39	0.39
Yb	2.44	1.67	1.63	1.65	2.80	2.19	2.05
Lu	0.48	0.41	0.45	0.30	0.37	0.35	0.29
SUM REE	422.62	279.79	300.56	233.80	617.60	410.64	426.77
LREE/HREE	17.71	16.39	16.32	13.51	18.18	18.97	20.88
Ce/Yb	21.127	20.069	21.864	16.591	24.387	20.736	23.612
La/Sm	4.654	4.870	4.179	4.020	3.438	4.611	5.284
La/Yb	38.95	38.17	38.40	29.50	39.28	39.28	46.60
Eu/Eu*	0.593	0.647	0.832	0.674	0.903	0.943	0.789
Ce/Ce*	1.103	1.052	1.083	1.081	1.061	0.969	0.954

表 5 花岗质岩石的稀土元素成分和其他参数

序号 样号	1	2	3	4	5	6	7
元素 (ppm)	Ju 85—1	78	201	197	007—1	181	90
La	46.59	19.38	11.65	15.91	42.40	32.83	43.32
Ce	101.00	30.41	16.13	25.06	95.70	61.62	71.16
Pr	9.77	3.59	2.13	2.97	11.89	6.08	6.42
Nd	37.36	13.52	7.81	11.23	49.55	22.21	20.16
Sm	6.85	2.44	1.76	2.03	7.92	3.47	2.31
Eu	0.81	0.54	0.47	0.53	1.19	0.65	0.36
Gd	5.46	1.82	1.22	1.53	6.01	2.19	0.99
Tb	1.23	0.29	0.18	0.22	0.90	0.32	0.13
Dy	4.64	1.51	1.02	1.29	4.77	1.47	0.37
Ho	0.83	0.30	0.19	0.24	0.88	0.27	0.08
Er	2.21	0.92	0.59	0.81	2.39	0.73	0.20
Tm	0.56	0.15	0.10	0.14	0.37	0.12	0.06
Yb	2.32	0.92	0.57	0.82	2.23	0.55	0.20
Lu	0.32	0.15	0.09	0.12	0.30	0.09	0.05
SUM REE	220.05	75.94	43.91	62.95	226.50	132.61	145.72
LREE/HREE	11.45	11.53	10.08	11.17	11.68	22.06	72.22
Ce/Yb	11.137	8.466	7.239	7.818	10.979	28.663	91.028
La/Sm	4.145	4.841	4.034	4.777	3.263	5.766	11.430
La/Yb	20.03	21.06	20.43	19.40	19.01	59.69	216.60
Eu/Eu*	0.395	0.757	0.938	0.890	0.511	0.678	0.643
Ce/Ce*	1.083	0.818	0.724	0.819	1.007	0.978	0.916

表 6 部分岩石的微量元素含量和比值

元素 样号	微量元素 (ppm)															
	Cr	Ni	Co	Rb	Sr	Ba	U	Th	Pb	Zn	Be	Cu	Ga	Li	Nb	Zr
Ju 85—1	6	<4	4	239	119	552	25	9	20	55	3	6	19	75	23	53
Ju 85—3	9	6	11	172	403	791	76	9	24	101	5	23	17	60	30	61
Ju 85—4	17	7	12	201	231	887	41	6	22	58	3	16	16	76	15	121
Ju 85—5	13	7	12	113	419	1173	80	4	<13	90	4	23	19	31	18	30
Ju 85—6	19	16	15	61	447	660	92	3	16	76	4	18	19	14	16	63

续表6

样号	元素	元素比值				
		Cr/Ni	Sr/Ba	Rb/Sr	U/Th	Pb/Zn
Ju 85—1		1.5	0.22	2.01	2.77	0.36
Ju 85—3		1.5	0.51	0.43	8.44	0.24
Ju 85—4		2.43	0.32	0.74	6.83	0.38
Ju 85—5		1.86	0.36	0.27	20.0	0.14
Ju 85—6		1.19	0.68	0.17	30.6	0.21

从表6看,闪长质岩组岩石的Cr, Ni, Co, Sr, Ba, U, Cu和U/Th比值均较花岗质岩类岩石为高,而Th和Rb/Sr比值则相对较低。

本区花岗质岩类和泰山地区微脉山型花岗岩一样,它们具有由较老的硅铝质地壳部分熔融派生的深熔体的特点。

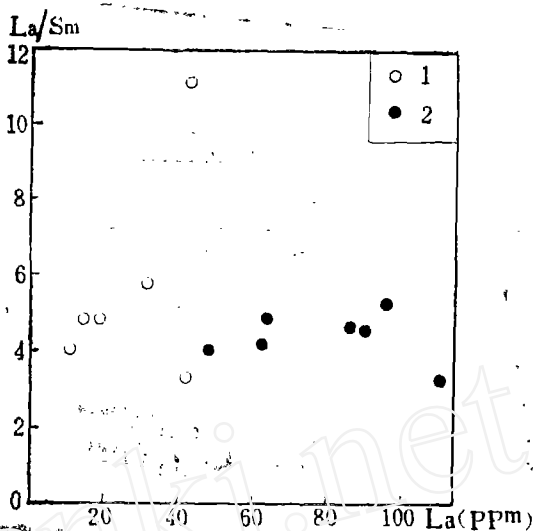


图5 La/Sm—La图解

1. 闪长质岩组; 2. 花岗质岩组

六、同位素地质年代学研究

我们曾对花岗质岩类中的黑云二长花岗岩(Ju85—1),选取其中锆石,进行U—Pb一致线同位素年龄测定。数据系用Finigan Mat—261质谱仪获得。U—Pb不一致曲线的回归,采用Ludwig(1980)^[3]的方法。测得的原始数据见表7。

表7 黑云二长花岗岩(Ju85—1) U—Pb 同位素数据

序号	样品量 (mg)	粒度 (μm)	磁性	放射成因 Pb含量 (ppm)	铀含量 (ppm)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	放射成因铅含量(ppm)			同位素原子比值		
							207	206	208	207/206	206/238	207/235
1	5.55	<300	MO*	103.1	625.7	474	11.94	78.59	14.60	0.15517	0.14246	3.0479
2	16.46	>300	NMO*	89.87	596.8	874	10.48	68.03	11.38	0.15303	0.13266	2.7992
3	23.27	>134	NMO*	103.4	805.7	641	11.97	79.23	12.25	0.15038	0.11444	2.3729
4	20.00	>240	NMO*	81.62	659.6	655	9.458	62.21	9.962	0.15131	0.10976	2.2900
5	1.09	>100	NMO*	121.0	1040	799	14.36	94.56	12.06	0.15110	0.10587	2.2058
6	2.76	>120	MO*	105.8	1146	778	12.34	82.14	11.28	0.14955	0.083418	1.7200

分析者: 中国地质科学院地质研究所 U—Pb同位素实验室。

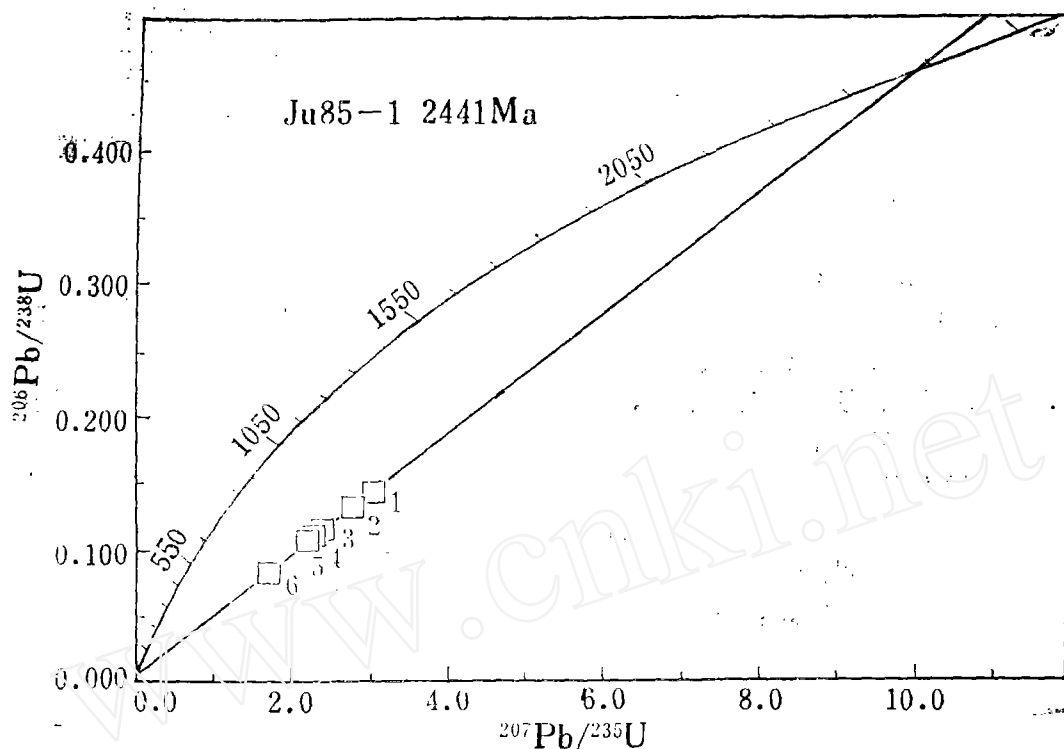


图9 黑云二长花岗岩 (Ju85-1) 的锆石U—Pb谐和线图

$$\lambda(^{238}\text{U}) = 0.155125\text{Ga}^{-1}, \lambda(^{235}\text{U}) = 0.98485\text{Ga}^{-1}$$

从图9获得的黑云二长花岗岩的一致线锆石U—Pb年龄为 $2441 \pm 23\text{Ma}$ 。6个点的连线较好,但未在上交点而靠近下交点,说明放射性铅曾有过丢失。这一数据与泰山地区花岗岩类比较,更接近于徂徕山型花岗岩。徂徕山型花岗岩的Rb—Sr全岩等时年龄为 $2490 \pm 50\text{Ma}$,而Sm—Nd全岩等时年龄为 $2400 \pm 60\text{Ma}$ — $2450 \pm 140\text{Ma}$ 。数字都在误差范围之内,岩相学,地球化学特征相同,侵位时间也大致相当,可以认为是同一岩体的东南延伸部分。

七、几点结论

1. 徂徕山杂岩体大体上可以分为两个岩石系列:一为闪长质岩组,按Roche的分类可分为闪长岩、正长闪长岩、石英闪长岩以及个别英云闪长岩等,根据野外产状细粒闪长质岩石生成稍早,与泰山普照寺型闪长岩相当,中粗粒者形成稍晚,可与泰山中天门花岗闪长岩(原称石英闪长岩)相当,二者源岩物质可能来源于长期亏损的地幔源。花岗质岩组包括二长花岗岩、同熔花岗岩和花岗闪长岩、碱性花岗岩等,其形成时间均晚于闪长岩组。而花岗质岩类本身也有几期先后穿插关系,根据Roche的综合图解,以及花岗岩类的地球化学特徵,主要系由地壳熔融而来的深成流体形成。珂洛山地区的黑云

二长花岗岩的锆石铀铅一致线年龄为 2441 ± 22 Ma, 可与泰山地区的微徕山岩体相对比。

2. 李恒新¹⁾认为本区岩体可划分两个系列: 即侵入系列和深熔系列。侵入系列包括细粒闪长岩, 中粗粒闪长岩及片麻状花岗闪长岩—斜长花岗岩($Cn-\gamma$)在内, 根据我们的工作认为片麻状花岗闪长岩—斜长花岗岩应列入深熔系列。深熔系列的源岩主要为上壳岩岩系, 不包括花岗闪长岩—斜长花岗岩和中粗粒闪长岩。原称的 γ_m 均归入微斜长石花岗岩, 实际上其岩石成分有一定差别, 按 Roche 的分类, 包括同熔花岗岩、二长花岗岩和碱性花岗岩。碱性花岗岩大致相当微斜长石花岗岩。

3. 1:5 万地质图上所描绘的各种岩体先后产状, 大致名称是基本合适的, 但实际相互穿插关系, 远较图面复杂。

4. 本区是否存在虎山型花岗岩, 由于我们工作区太小, 前人列出的各种花岗岩岩石, 尚缺少年龄资料, 难以确定。文中应用的 $Cn-\gamma$ 化学分析资料, 按 $Ab-or-An$ 图解, 均归入奥长花岗岩区, 按 Roche 分类相当花岗闪长岩至二长花岗岩, 据原作者介绍, 此种岩体曾被微斜长石花岗岩切穿, 时代相对稍早, 是否为虎山型花岗岩, 值得今后进一步研究。泰山地区和徕徕山区是一整体, 是互相连接的一个花岗岩—绿岩地体。

我们在野外工作期间, 由王玉平同志陪同观察, 室内图件清绘由王新清同志承担, CIPW 标准矿物分子和地球化学数据的电算和 $Ab-or-An$ 制图由陈涛同志负责, 在此谨表谢意。

参 考 文 献

- (1) 江博明, B·欧弗瑞, J·柯尼协, J·马西, 沈其韩, 刘敦一, 张宗清, 叶笑江, 张群章, 董一杰, 1988, 中国太古代地壳演化—泰山杂岩及长期亏损地幔新地壳增生的证据, 中国地质科学院地质研究所刊, 1988年第18号, P. 33—57.
- (2) De la Roche, H., Leterrier, J., Grand claude, and P. Marchal, 1980, A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1-R_2 diagrams and major element analyses its relationships with current nomenclature, *Chen. Geol.*, 29 p. 83—210.
- (3) Ludwig, K, R., 1980, Calculation of uncertainty of U—Pb isotope data, *Earth planet. Sci. Lett.* 46: P. 212—220.

1) 同第34页脚注。

THE PETROLOGY AND ISOTOPIC AGE OF ZULAISHAN COMPLEX AT KELUOSHAN AND LIUJIASHAN IN ZULAISHAN AREA, SHANDONG PROVINCE OF CHINA

Shen Qihan and Liu Dunyi

(*The institute of Geology, CAGS, Beijing*)

Abstract

According to the field investigation, petrographic examination, petrochemical and geochemical analyses, and a few isotopic age determinations, the features of the Zulaishan complex are very similar to those of the Taishan Complex.

The Zulaishan Complex, like the Taishan Complex, can be subdivided into diorite and granite groups which have intruded into the basement of the Taishan Group. The diorite group is composed of finegrained one and medium-coarse grained one; the former corresponds to Puzhaosi diorite and the later corresponds to Zhongtianmen granodiorite of the Taishan Complex. They provide strong evidence for continental growth by addition of juvenile material ultimately separated from longterm depleted mantle sources. In contrast, the monzogranite of the granite group about 2441 ± 12 Ma of U—Pb concordant isochron age, corresponds to Aolaishan granite of the Taishan Complex, the granite group is likely to be derived by anatexis of supercrustal rocks at shallow depth.