

文章编号: 1001-1412(2000) 04-0289-10

玲珑花岗岩成因探讨

王吉

(天津地质研究院, 天津 300061)

摘要: 通过系统的花岗岩地质、岩石学、矿物学、岩石化学、稀土元素地球化学、同位素地球化学等方面研究, 认为玲珑岩体的片麻状花岗岩和中粗粒二长花岗岩同来源于新太古界—下元古界TTG岩系, 燕山期沂沭裂谷强烈活动并产生大量热流, 导致地壳局部熔融, 并在构造挤压下发生底辟侵位, 形成玲珑复式花岗岩基。

关键词: 玲珑花岗岩; 形成时代; 成因

中图分类号: P581; P588.12+1

文献标识码: A

我国胶东地区已经探明的金矿资源主要集中在莱州—招远一带, 人们对于金矿的主要赋矿围岩玲珑花岗岩(广义)的形成时代及成因虽已研究多年, 但认识上仍有分歧。本文集多年研究中获得的综合地质信息, 对玲珑花岗岩的形成时代和成因进行以下探讨。

1 花岗岩地质

本文所称广义的玲珑花岗岩是一个复式杂岩体, 主要有两类岩石: 一类是片麻状黑云母花岗岩(即狭义的玲珑花岗岩), 部分地段含有石榴石或钾长石变斑; 另一类为中粗粒二长花岗岩(即滦家河、郭家店岩体)。岩体南起平度, 北至龙口大陈家, 总面积达2 300 km², 长轴呈NNE向展布。岩体的围岩为新太古界胶东群、下元古界荆山群和粉子山群。后期又有郭家岭花岗岩闪长岩、艾山花岗岩和各种浅成超浅成脉岩侵入玲珑花岗岩(图1)。以下一些地质事实可以给出玲珑花岗岩形成时代和成因方面的信息。

1.1 玲珑花岗岩与胶东群的接触关系复杂

(1) 片麻状黑云母花岗岩对胶东群围岩显示了明显的交代作用, 即越靠近花岗岩, 变质岩中的长英质成分越多。一些钾长石变斑沿片麻理平行排列, 很难划定准确的界线, 故而被人们称之为“交代渐变接触关系”。然而同时有许多岩枝状花岗岩侵入到胶东群围岩中。这两种关系同时存在, 远离接触带这种岩枝则不发育。这一现象表明花岗岩并不是原地交代所产生的。

(2) 中粗粒二长花岗岩与胶东群多呈侵入关系, 如柴禾顶一带中粗粒二长花岗岩斜切围岩

收稿日期: 2000-02-01; 修订日期: 2000-10-03

作者简介: 王吉 (1933-), 男, 辽宁大连人, 教授级高级工程师, 长期从事矿床学、岩石学研究工作。

片麻理,在敖布村附近的接触带中形成宽约 10 m 的石榴石夕卡岩带。

(3) 断层接触,断裂内两种角砾同时存在。

1.2 玲珑花岗岩是一个席状岩基

航空磁法测量资料显示,在玲珑花岗岩分布范围内存在 4 处正磁异常,异常值达 100 ~ 1 500 γ ,而玲珑花岗岩的实测磁参数接近于零。这些正磁异常显然不是花岗岩引起的,导致磁异常的地质体应在岩体下方。重力测量及其数据处理的结果证实玲珑花岗岩是一个南部厚(8 km)、北部薄(< 1 km)的板状体,花岗岩体之下仍为胶东群变质岩。物探资料说明玲珑花岗岩是一个沿平缓断裂上侵的岩体,而与传统概念的花岗岩体模式大相径庭。

1.3 玲珑花岗岩的伟晶岩带

岩体周围发育 10 ~ 150 m 的伟晶岩带,这种伟晶岩是花岗岩成岩后的气化作用造成的。伟晶岩产于接触带附近或岩体的裂隙、空洞中,呈囊状、不规则状和脉状,是晚期充填作用而成,而没有渐变过渡关系。伟晶岩的全岩 K-Ar 法同位素年龄为 82.92 ~ 128.40 Ma,显见不应列为变质期产物。

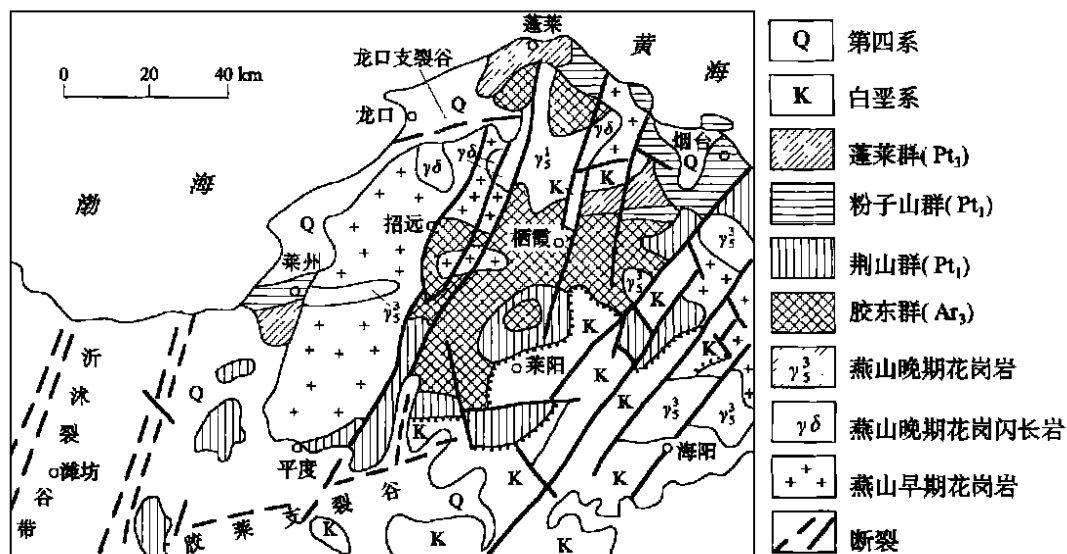


图 1 胶东西部地区地质略图

Fig. 1 Geological sketch of the west Jiaodong area

1.4 岩体塑性变形的产物——片麻理极为发育

玲珑花岗岩中普遍存在片麻理构造,作者在玲珑金矿田范围内实测了 3 000 余个片麻理产状数据,片麻理呈现有规律的变化,在岩体边缘片麻理多与接触边界平行,向岩体内部则呈揉皱状连续变化。片麻理的这种特点说明岩体在形成过程中经历了强烈的塑性变形,但这种变形与区域变质岩中协调一致的片麻理明显不一样。极为发育的片麻理给人的启示是该岩体的形成与强烈的构造作用有直接关系,岩石中普遍存在的变形结构也支持这一推论。

1.5 岩石中含有宇宙尘

作者在研究中发现玲珑花岗岩中有大量宇宙尘物质。一种为铁质宇宙尘, 球状、椭圆状、哑铃状、乳滴状, 粒径 $0.2 \sim 3.1 \text{ mm}$, 多为空心, 少量为实心, 黑褐色, 表面有蚀坑和擦痕; 外壳为磁铁矿或磁赤铁矿, 壳厚 $0.03 \sim 0.13 \text{ mm}$, 性脆, 强磁性。内核是锥纹石($\alpha\text{-Fe}$), 电子探针分析 $w(\text{Fe}) = 99.8\%$; X 光特征线: $2.02(10)$, $1.43(6)$, $1.167(9)$, $1.011(7)$, 反光色黄白色, 均质, 弱磁性, $H_v = 265 \text{ kg/mm}^2$ (10 g 砝码)。另一种是硅酸盐玻质宇宙尘, 较少, 球状或乳滴状, 粒径 $0.11 \sim 1.32 \text{ mm}$, 无色透明, 有的微带绿色调。宇宙尘的出现为玲珑花岗岩的壳源成因提供了有力的证据, 表明花岗岩的源岩是具沉积特点的表壳岩。

1.6 玲珑花岗岩形成于燕山期

作者在综合前人同位素测年数据时, 获得 K-Ar ‘等时’ 年龄 164 Ma (王吉 等, 1990)。在目前搜集的玲珑花岗岩 60 余件同位素测年数据中主要反映出 4 种意见: (1) 印支—燕山期形成 (朱奉三, 1980); (2) 元古代形成 (裘有守, 1988; 王鹤年, 1988); (3) 燕山早期形成 (胡世玲, 1987); (4) 由元古代、古生代和中生代多期花岗岩构成的复式岩基 (徐金方, 1989)。

作者不排除前中生代有花岗岩类形成的可能性, 但同时认为: (1) 一个大型岩基的形成是受当时地质环境制约的。玲珑花岗岩的长轴方向呈 NNE 向, 而胶东地区元古代的构造线则大致为近 EW 向, 二者极不协调; (2) 岩体两侧的焦家断裂和招平断裂既是控岩断裂, 又是控矿断裂, 然而研究证明: 这些断裂只经过一个构造期的由韧性到脆性的构造演化, 而不是多次复活的叠加型断裂; (3) 玲珑花岗岩的形成压力 ($150 \sim 200 \text{ MPa}$) 与新太古代—早元古代变质岩系的形成压力 ($300 \sim 660 \text{ MPa}$) 有着显著差异; (4) 不同方法测试的同位素定年数据集中反映了 $110 \sim 165 \text{ Ma}$ 这一时限范围, 所以岩体定为燕山早期是合理的。部分数据给出了古生代至元古代的年龄信息, 不仅证实了岩体是由壳源物质长期演化而成的论断, 而且说明岩体中依然保留了部分难熔物质, 但岩体的主体最终定位于中生代燕山期; (5) 近年罗镇宽等 (1996) 采用国际上先进的 SHRIMP 定年技术对玲珑花岗岩中锆石进行了年龄测定, 获得了 $(152 \pm 2) \sim (160 \pm 3) \text{ Ma}$ 的数据组, 证明玲珑花岗岩确是燕山早期 (侏罗纪) 形成; (6) 这一结论与当时沂沭裂谷系大规模地左行平移伸展活动相符合。

2 花岗岩结构与构造

2.1 玲珑花岗岩岩石构造

玲珑花岗岩以片麻状构造为特征, 暗色矿物 (主要是黑云母) 呈定向排列。其次还有似文象构造, 在九曲村南, 变形的石英集合体呈纺锤体、短条纹状定向排列。滦家河、郭家店一带的中粗粒二长花岗岩则呈块状构造。

2.2 玲珑花岗岩岩石结构

玲珑花岗岩结构复杂, 按成因分为 5 种类型, 其中以交代结构、重结晶结构和应变结构最发育。

2.2.1 结晶结构 中粒为主, 细粒次之。基质粒径 $1 \sim 4 \text{ mm}$, 斑晶多为 $8 \sim 30 \text{ mm}$, 除钾长石

自形程度较好外,一般均呈半自形—他形晶,相互嵌接而成。

2.2.2 交代溶蚀结构 有 7 种主要形态:

(1) 交代变斑结构。岩石具强烈的钾化,微斜长石交代更—中长石形成变斑晶,并包含更长石、石英和黑云母残晶,变斑晶多呈自形—半自形,某些部位变斑晶与片麻理排布方向一致。

(2) 交代条纹结构。微斜长石沿更长石(001)解理扩充交代,形成一系列平行的更长石残余条纹,并保持同消光位,边界一般不规整,其(010)聚片双晶纹垂直于残余条纹的延长方向。更长石残余条纹往往与微斜长石中的钠长石呈规则交错条纹结构。

(3) 交代包含和筛状结构。更长石、石英和黑云母被微斜长石交代成浑圆状和不规则状残留包体,呈定向或不定向的筛孔状分布以及零散的交代包含结构。

(4) 蠕英结构。微斜长石在交代更长石过程中,广泛形成蠕虫状和乳滴状石英。

(5) 似微文象结构。在微斜长石与更长石之间,因交代作用产生的钾长石与石英相互交生的显微文象状结构。

(6) 蚕蚀和港湾状结构。晚成的微斜长石局部选择交代更长石和石英而成。

(7) 交代反应边结构。较少,钠长石在更—中长石外缘交代生成宽度 $< 0.1\text{ mm}$ 的次反应边。

2.2.3 重(再)结晶结构

(1) 次生长大。石英、微斜长石和更长石外缘往往有不同程度的次生长大边,增强晶体自形程度。

(2) 净边结构。更长石被交代和重结晶形成的净化边(多为钠长石)。

(3) 火焰状流变石英集晶。由于压熔和交代作用产生的游离二氧化硅,沿着微裂隙或粒间迁移填充,在构造应力作用下发生结晶,从而形成异常消光的细粒石英集合体,形似火焰,成群出现形成似文象状构造。

2.2.4 应变结构 按形态分为 5 种:

(1) 压碎结构。长石和石英受力碎裂,重者碎后位移,兼有重结晶。

(2) 弯曲和扭折结构,长石和黑云母晶体双晶纹或解理纹明显弯曲,部分晶体则受力折断。

(3) 拉长或压扁结构。长石和石英在塑变阶段被拉长或压扁。

(4) 放射状结构。黑云母被改造析出钛质形成针状金红石,排列成放射状或菊花状。

2.2.5 晶内结构

(1) 双晶。更长石的聚片双晶很普遍,其次有卡—钠双晶,双晶纹较窄。微斜长石格状双晶常见,惟正长石卡氏双晶极少。

(2) 环带结构。仅在中长石和锰铝榴石中见有多边形环带。

(3) 晶内滑移。石英和长石常发生沿轴或面的滑移,出现波状、放射状和不规则状异常消光。

中粗粒二长花岗岩呈块状构造,中粒等粒结构,典型岩浆花岗结构,另有少量交代溶蚀和包含结构,与片麻状花岗岩结构构造迥然不同。

3 造岩矿物和副矿物

3. 1 玲珑花岗岩的矿物成分(表 1, 表 2)

表 1 玲珑花岗岩矿物成分($Q_0/\%$)
Table 1 Content of minerals in Linglong granite

矿 物	片麻状黑云母 花岗岩	片麻变斑状黑云母 花岗岩	片麻状含石榴石 花岗岩	中粗粒二长 花岗岩
微斜长石、条纹长石	15 ~ 25(20)	20 ~ 25(23)	18 ~ 30(21)	30 ~ 35* (32°)
交代条纹长石	5 ~ 20(15)	10 ~ 30(17)	5 ~ 15(10)	
更(中) 长石	20 ~ 50(32)	18 ~ 37(29)	20 ~ 55(35)	25 ~ 35(29)
石英	20 ~ 35(28)	15 ~ 30(27)	20 ~ 40(28)	30 ~ 40(34)
黑云母(1M)	1 ~ 6(4)	0. 7 ~ 4(3)	2 ~ 10(4)	1 ~ 4(2. 2)
白云母(1M)	0 ~ 1. 5(0. 5)	0. 5 ~ 2(0. 7)	0 ~ 1(0. 5)	2 ~ 3. 5(2. 3)
锰铝榴石	0 ~ 微	0 ~ 微	0. 5 ~ 3(1)	
变斑晶	< 13(5)	13 ~ 30	< 7(3)	

括号内数字为平均值。
* 以正长石为主。

表 2 玲珑花岗岩的副矿物成分($w_B/10^{-6}$)
Table 2 Content of accessory minerals in Linglong granite

矿 物	片麻状黑云母 花岗岩	片麻变斑状黑云母 花岗岩	片麻状含石榴石 花岗岩	中粗粒二长 花岗岩
磁铁矿	1 192. 5	3 115. 1	2 287. 2	1 532. 3
钛铁矿	128. 5	194. 0	2. 1	113. 4
褐帘石	35. 4	756. 9	141. 4	182. 1
独居石	40. 6	17. 4	5. 5	27. 6
磷灰石	86. 6	349. 8	101. 2	115. 3
锆 石	20. 1	125. 7	22. 3	19. 6
黄铁矿	4. 0	20. 3	16. 8	9. 7
方铅矿	1. 5	0. 9		
闪锌矿	2. 1			
榍 石	30. 5	85. 4	21. 7	20. 5

3. 2 矿物特征

3. 2. 1 钾长石 占 25% ~ 60%, 平均 35%。粒度 0. 5 ~ 30 mm, 多数形成变斑晶, 半自形—他

形,以最大—中微斜长石、微斜条纹长石和交代条纹长石为主,少量正长石。微斜长石 $a=8.541, b=12.933, c=7.210, Al$ 占位率 $t_1(o)=0.835, t_1(m)=0.075, t_2(o)=t_2(m)=0.045, Or=92.1\%$,有序度 $\delta=0.65\sim0.90$,为过渡—有序型。正长石 $2V=41\sim45^\circ, a=8.698, b=13.066, c=7.243, Al$ 占位率 $t_1(o)=t_1(m)=0.408\sim0.43, Or=88.4\%\sim97.6\%$,在 Wright (1968)图解上投影,是靠近最大微斜长石一侧的正长石,($\bar{2}01$)图解和实测数据相差 0.31° (即 $>0.1^\circ$),故属异常晶胞。

3.2.2 斜长石 占 $18\%\sim55\%$,平均 33.3% ,粒度 $0.3\sim9\text{ mm}$,少数斑晶达 18 mm ,半自形—他形板状晶, $2V=75\sim86^\circ$ (弗氏台测), $An=7\sim38$,以更长石居多,少量钠长石和中长石。钠长和卡—钠双晶发育,双晶纹宽度变化比较大,一般较窄,并有弯曲。中长石有环带结构,钠长石多在更长石边缘上形成净化边结构,更长石有序度 $\delta=0.61\sim1.00$,为有序型,广泛被钾长石交代溶蚀和包含。易于形成绢云母(1M型)。

由上可知玲珑片麻状花岗岩:①钾长石与斜长石构成异常有序度组合,二者形成环境明显不同。②斜长石成分变化较大,成岩过程比较复杂。相反,中粗粒二长花岗岩钾长石($\delta=0.92$)和斜长石($\delta=0.91$)均属有序型,构成正常有序度组合,斜长石成分变化少,均属更长石,表明二者晶出环境一致,成岩过程相对简单。

3.2.3 石英 占 $20\%\sim40\%$,平均 28% ,粒度 $0.01\sim9\text{ mm}$,以细粒居多,多在基质中,按成因和形态分4种:(1)原生石英,浑圆粒状,局部溶蚀,在钾长石中呈筛孔状交代残余。(2)重结晶石英,由于重结晶而增强自形程度,次生长大形成环边,有时使几个颗粒拼合成聚晶。(3)钾化过程中形成的蠕虫状和微文象状石英。(4)火焰状流变石英集晶,在应力作用下,经压熔和交代产生的游离 SiO_2 ,沿隙填充,形成强烈异常消光的极细粒石英集合体,它指明成岩作用自始至终处于应力作用过程之中。

3.2.4 黑云母 占 $0.7\%\sim10\%$,平均 4.0% ,粒度 $0.07\sim5\text{ mm}$,均属 1M 型铁黑云母, $2V=4^\circ\sim4.5^\circ, w(Mg)/w(TFe)=0.26$ 。在显微镜下分2种:(1)早期的棕褐色黑云母,占 80% , N_g 棕褐色, N_p 浅褐绿色,具有角闪石假象和交代残余,局部退色或被交代,其演化次序为角闪石 $\rightarrow$ 1M 型铁黑云母 $\rightarrow$ 1M 型白云母、金红石和叶绿泥石。(2)晚期绿色铁黑云母, N_g 绿色, N_p 浅黄绿色,次生变化不明显。化学成分列于表3。在 $Mg-Al^{6+}+Fe^{3+}+Ti-Fe^{2+}+Mn$ 图(Foster, 1960)上均集中在铁黑云母区。在 $w(MnO)-w(TiO_2)$ 图上与日本西南花岗岩类似。在 $Fe^{3+}-Fe^{2+}-Mg$ 图上,玲珑花岗岩均在 $NiO-Ni$ 与 $Fe_3O_4-Fe_2O_3$ 缓冲线之间,相对氧逸度较低。在 $w(Si)/w(Al)-w(Mg+Fe)/w(Al)$ 图解上位于低碱区,片麻状花岗岩中黑云母变化较大,且相对富 MgO 。

表3 玲珑花岗岩黑云母化学成分($w_B/\%$)
Table 3 Chemical analysis of biotite from Linglong granite

岩体	样数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O ⁺	F
片麻状花岗岩	8	34.8	2.8	16.5	4.4	20.1	0.4	7.5	0.8	7.5	0.3	4.1	0.8
中粗粒二长花岗岩	5	35.5	2.5	17.5	5.9	19.1	0.6	5.1	0.7	8.1	0.3	4.0	0.7

3.2.5 白云母(1M)型 片麻状花岗岩中的白云母主要由黑云母转化而成,并有交代残余。在中粗粒二长花岗岩中以原生白云母为主,往往被钾长石包含或紧密共生。

3.2.6 锆石 玲珑花岗岩中锆石有2种:(1)源岩残留锆石。短柱状,粒度($0.08\text{ mm} \times 0.04\text{ mm}$)~($0.2\text{ mm} \times 0.1\text{ mm}$),长/宽=1~3,浅黄—浅粉色,具色环,磨圆溶蚀,次生长大,有6种聚形,以 型聚形居多,如{100}+{110}+{111}+{311};其次是 型,如{100}+{110}+{311}+{111}+{011}; 型如{100}+{110}+{311}+{111}+{101}; 型如{100}+{110}+{511}+{311}+{111}; 型的{100}+{110}+{311}+{111}+{011}和 型的{100}+{110}+{311}。(2)新生锆石。针状,粒度($0.04\text{ mm} \times 0.01\text{ mm}$)~($0.1\text{ mm} \times 0.02\text{ mm}$),长/宽=4~8,自形晶,无色,以 型聚形为主,如{110}+{110}+{111};其次是 型,如{100}+{110}+{311}+{111}。随着花岗岩重熔和改造的加强,针状锆石愈来愈多,而短柱状锆石则减少。片麻状花岗岩中锆石 $w(\text{ZrO}_2)/w(\text{HfO}_2)=41\sim 46$,中粗粒二长花岗岩中锆石为41。

3.2.7 磷灰石 在玲珑片麻状花岗岩中也有两种,一种是源岩残留的,呈短柱状和浑圆粒状,粒度 $0.08\text{ mm} \times 0.06\text{ mm}$ ~($0.4\text{ mm} \times 0.3\text{ mm}$),长/宽=1~2,{100}发育,{111}次之,从无色到不均匀的粉褐色,混浊,被溶蚀和磨圆。另一种是新生的,呈针状和长柱状,粒度 $0.08\text{ mm} \times 0.02\text{ mm}$ ~($0.5\text{ mm} \times 0.15\text{ mm}$),长/宽=3~5,{100}最发育,{111}很差,无色透明。

4 岩石化学、稀土元素、微量元素及稳定同位素特征

4.1 岩石化学

作者统计了玲珑花岗岩144个岩石化学测试数据,发现片麻状花岗岩和中粗粒二长花岗岩的化学成分、特征指数非常近似,均为 SiO_2 、 Al_2O_3 过饱和型,太平洋型钙碱性岩石系列, $\text{DI}=87.00\sim 88.90$, $\text{SI}=4.52\sim 2.57$, $\text{A}/\text{KN C}>1$, $\delta<4$,具有同源和陆壳属性。与中国花岗岩平均成分(黎彤)近似,惟 SiO_2 、 Al_2O_3 略高。

据CIPW标准矿物含量,经过显微镜实测校正,在A-Q-P图解上玲珑片麻状花岗岩以正常花岗岩为主,少数落于碱长花岗岩区,个别为二长花岗岩。在 $w(\text{K})-w(\text{Na})-w(\text{Ca})$ 图上,片麻状花岗岩集中在交代与岩浆花岗岩区的过渡部位,居于富Na一侧;而中粗粒二长花岗岩集中在岩浆花岗岩区。在Ab-Q-Or图解(Winkler,1961)上中粗粒二长花岗岩趋近低温共结点,而片麻状花岗岩相距较远。片麻状花岗岩形成压力为200 MPa,中粗粒二长花岗岩形成压力为150~200 MPa(林文蔚,1997),用黑云母化学分析结果计算,片麻状花岗岩 $f_{\text{O}_2}=1.013 \times 10^{-9}$ Pa,中粗粒二长花岗岩 $f_{\text{O}_2}=1.013 \times 10^{-8}$ Pa, f_{O_2} 随着花岗岩冷凝由早到晚递增。

4.2 微量元素

玲珑岩体中两种花岗岩的微量元素基本一致,富含Au,Ag,Pb,Cu,Se,Te,Ga,Li,Sr,贫Co,Ni,Th,U,尤其 $w(\text{Zr})/w(\text{Sm})$, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 非常近似,与地壳 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 比值(0.18~0.25)吻合。两种花岗岩微量元素的球状陨石标准化值变异曲线形态完全一致,是Mo,V,Th亏损型,具有同源性。片麻状花岗岩 $w(\text{K})/w(\text{Rb})=419$,明显高于中粗粒二长花岗岩(292),按塔乌松资料判断,前者为交代成因花岗岩。

4.3 稀土元素

分析结果列于表 4, 稀土模式图表明, 玲珑花岗岩与胶东群变质岩非常相似, 均为右倾平缓曲线, ΣREE 近似, $[w(\text{La})/w(\text{Yb})]_{\text{N}} > 1$, 为轻稀土富集型, δEu 随着成岩改造程度的增强而降低, 如胶东群片麻岩类 $\delta(\text{Eu})$ 为明显正异常(1.35), 当其被改造成片麻状花岗岩时变成弱正异常(1.07), 而岩浆交代和分异到最后凝结的中粗粒二长花岗岩降为负异常(0.83)。同样, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 和 EV/OD 也有如此递降规律, 稀土元素尤其轻稀土在成岩过程中分馏作用比较明显。其 (EV/OD) 值与地壳的平均值(2.70)很接近, 表明花岗岩的壳源性。

表 4 玲珑花岗岩稀土元素质量分数及参数($w_{\text{B}}/10^{-6}$)

Table 4 REE concentration of Linglong granite																
岩 石	样数	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	
片麻状花岗岩	13	23.23	43.86	3.81	17.15	2.56	0.71	1.40	0.20	0.98	5.95	0.21	0.58	0.12	0.46	
中粗粒二长花岗岩	6	14.08	26.70	3.03	9.48	2.15	0.48	1.30	0.68	1.19	8.34	0.24	0.64	0.12	0.72	
胶东群	7	38.80	57.10	5.77	29.95	3.91	1.61	3.18	0.28	1.61	11.20	0.37	1.10	0.21	0.81	
岩 石	样数	Lu	ΣREE	LREE/HREE	EV/OD	Sm/Nd	δEu	δCe	(La/Sm) _N	(La/Yb) _N	(Gd/Yb) _N					
片麻状花岗岩	13	0.07	101.29	22.80	2.39	0.15	1.07	1.43	5.61	37.98	4.82					
中粗粒二长花岗岩	6	0.09	69.07	12.47	2.31	0.23	0.83	0.94	4.30	15.97	2.00					
胶东群	7	0.67	156.57	16.66	1.02	0.13	1.35	0.83	6.18	31.93	3.17					

4.4 稳定同位素

片麻状花岗岩(全岩) $\delta^{18}\text{O} = 9.0 \times 10^{-3}$, $\delta(^{34}\text{S}) = 5.6 \times 10^{-3} \sim 9.5 \times 10^{-3}$, 铅同位素 $\mu = 8.9$, $[w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})]_{\text{i}} = 0.7095 \sim 0.7154$ 。中粗粒二长花岗岩(全岩) $\delta^{18}\text{O} = 8.7 \times 10^{-3}$, $\delta(^{34}\text{S}) = 4.2 \times 10^{-3} \sim 8.7 \times 10^{-3}$, $[w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})]_{\text{i}} = 7.1250$ 。胶东群片麻岩 $\delta^{18}\text{O} = 8.7 \times 10^{-3}$, $\delta(^{34}\text{S}) = 7.0 \times 10^{-3} \sim 7.8 \times 10^{-3}$, 铅同位素 $\mu = 9.0$ 。以上各种同位素组成和特征指数的一致性, 进一步表明玲珑花岗岩的起源与基底变质岩有直接关系。

5 玲珑花岗岩成因讨论

综合以上有关玲珑花岗岩地质学、岩石学、岩石化学等方面的论述, 可以概括出玲珑花岗岩成因方面的几点结论。

(1) 玲珑花岗岩的成岩时代。一个大型复式花岗岩基应当形成于特定的地质背景之中。中生代以后, 沂沭裂谷开始了强烈的左行平移和横向伸展, 并引导出东西两侧一系列支裂谷, 从而形成了制约山东大部地区中生代地质演化的重要构造——沂沭裂谷系。玲珑花岗岩的长轴方向为 NNE 向, 产于沂沭中轴裂谷的东侧肩部, 其北为黄县支裂谷所阻, 南端至胶莱支裂谷而止, 在裂谷活动时岩体所在地段恰处强烈挤压地带, 这时产生壳内熔融物质的上侵。玲珑花岗岩的同位素年龄(152~160 Ma)、成岩时的低压环境(150~200 Ma)和较高的地温场等证据充分表明玲珑花岗岩是燕山早期(侏罗纪)产物。

(2) 玲珑花岗岩是壳源物质的衍生体。岩体中大量的变质岩残留体和宇宙尘的存在说明玲珑花岗岩是由基底变质变形的 TTG 杂岩转生而来, 花岗岩化学组分、稀土元素、微量元素、稳定同位素组成等特征与基底 TTG 杂岩具有一致性, 也表明岩体是壳源成因。实验结果(曲晓明等, 1998)表明: 玲珑片麻状花岗岩在 810°C , $1.5 \times 10^2 \text{ MPa}$, 水不饱合条件下经 18% 的熔融可以转变成中粗粒二长花岗岩(即滦家河、郭家店等地花岗岩)。

(3) 玲珑花岗岩是同构造花岗岩。岩体中广泛发育的片麻理构造、岩石中常出现的应变矿物和应变结构反映了构造形变与花岗岩成岩同时存在。因此, 构造作用与玲珑花岗岩的产生、定位、成岩各个阶段均有密切联系。

(4) 两种成岩方式。第一种是交代成岩, 如片麻状花岗岩。其中广泛发育片麻状构造和各种交代结构, 大量源岩残留体, 化学成分不均匀, 非正常结晶序列的交代矿物组合等等, 均可作为交代型花岗岩的证据。第二种是重熔岩浆成岩, 如中粗粒二长花岗岩。岩石具有典型的岩浆花岗岩结构, 属于岩浆正常结晶序列的矿物组合。两种岩石之间多呈渐变过渡关系, 强烈的区域构造作用产生了大量热和气泡, 对基底岩石进行强烈交代与改造, 由于构造挤压和交代导致岩石浮力增大, 在高可塑状态下发生底辟侵位。这种高可塑物质沿平缓的构造不断侵位, 对围岩进行交代和侵蚀, 沿途携裹了大量变质岩残留体, 继而形成片麻状花岗岩; 随着熔融作用的不断进行, 最终在部分地段形成重熔型中粗粒二长花岗岩。

致谢: 本文是与余和勇、冯文涛等同志长期合作研究的成果。在成文过程中, 余和勇高级工程师对文章初稿提出宝贵的修改意见, 在此表示诚挚的感谢。

参考文献:

- [1] 刘连登, 姚凤良. 胶东西北部重熔型磁铁花岗岩与金矿[J]. 长春地质学院院报, 1989, 19(3).
- [2] 王鹤年, 汪耀, 陈延安. 胶东中元古代玲珑花岗岩及其后期叠加改造作用的地质地球化学证据[J]. 南京大学学报(地球科学版), 1988(1): 105-118.
- [3] 王炳成. 玲珑花岗岩的成因与演化[J]. 山东地质, 1986, 2(1).
- [4] 桑隆康. 玲珑花岗岩的成因与演化[J]. 地球科学, 1984, (3): 101-114.
- [5] 施性明. 山东招远一带花岗质岩石基本特征及实验研究[J]. 长春地质学院学报, 1981, (1).
- [6] 罗镇宽, 黄佳展, 苗来成, 等. 中国胶东地区和西澳绿岩型金矿床对比研究及其勘查意义[R]. 天津: 冶金部天津地质研究院, 1996.
- [7] 林文蔚, 殷秀兰. 玲珑花岗岩杂岩体形成的物理化学条件及其地质意义[J]. 地球学报——中国地质科学院院报, 1998, 19(1): 40-49.
- [8] 曾华霖, 万天丰, Teyssier Christian, 等. 山东玲珑花岗岩杂岩体三维形态的重力模拟[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(6): 607-612.
- [9] 曲晓明, 王鹤年, 饶冰. 胶东金矿区两种花岗岩之间熔融再生关系的实验研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(1): 55-58.
- [10] Yu Heyong. Gold ore control by continental rift in Shandong Province [A]. See: Chinese society of metals. Geology and mineral Resources Proceedmgs of ministry of metallurgical industry [C]. Beijing: International academic publishers, 1996, 74-77.
- [11] Walraven F. Notes on the age and genetic relationships of the Makhutso granite, Bushveld complex[J]. South

Africo: Chem. Geology, 1988, 72: 17-28.

[12] Nabelek P I. Trace element modeling of the petrogenesis of granophyres and in the Notch Peak granitic stock, Utah [J]. American Mineralogist, 1986, 71: 460-471.

[13] Pitcher W S. Granite type and tectonic environment, in Mountain Building processes [J] Academic press. London, 1983. 19-40.

[14] Pupin J P. Zircon and granite petrology, contrib [J]. Mineral. Petrol. 1980, 73(3): 207-220.

DISCUSSION ON GENESIS OF LINGLONG GRANITE

WANG Ji-jun

(Tianjin Geological Academy, Tianjin 300061, China)

Abstract: Systematic study on geology, mineralogy, petrology, petrochemistry, REE and isotopic geochemistry reveals that gneissic granite and monzonitic granite in Linglong granitic body are derived from Neoarchean-Lower Proterozoic TTG rock series. strong fracturing of Yishu fault gave rise to large heat flow leading to partial melting materials. Diapirism of the melts took place under tectonic pressure to form the complex Linglong granitic batholith.

Key words: Linglong granite; rock-forming time; genesis

《黄金科学技术》2001 年征订启事

《黄金科学技术》(双月刊)是中国黄金学会的综合性学术期刊,由中国黄金学会和中国科学院资源环境科学信息中心主办,科学出版社出版,全国公开发行,国内统一刊号 CN62—1112/TF,国际标准刊号 ISSN: 1005—2518。1988 年创刊,《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》全文收录期刊,《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊,《中国科学引文数据库》来源期刊。

本刊设综述、评述、地质矿床、采选冶新技术、新方法、新发现、新成果的最新动态和发展趋势。本刊适合黄金科研、企业、生产和管理人员、勘探和选冶工作者、黄金材料及金融工作者、大专院校有关专业师生阅读。

本刊逢双月末出版,48 页,常年办理征订业务,每期国内定价 6.00 元,全年定价 36.00 元(含邮费),需订单位和个人请直接与编辑部联系。

地址:兰州市天水路 342 号;中国科学院资源环境科学信息中心; 邮编:730000

电话:(0931) 8271245; 传真:(0931) 8375743; 电子信箱:HJKX@ns.lzb.ac.cn