

鲁东荣成片麻岩套及其成因

宋明春 王来明 王兰中 张京信

(山东省地质矿产局区域地质调查队)

提要 荣成片麻岩套是华北地块南缘的苏北-鲁东片麻岩带的一部分,是一套花岗闪长质-二长花岗质的钙碱性深成岩。其岩石化学成分与 Amitsoq 片麻岩相似。稀土元素显示出具负 Eu 异常,有较高的稀土总量及轻、重稀土分馏较强的特征。根据稀土元素定量模拟计算,荣成片麻岩套是由斜长角闪岩源岩经 42% 的部分熔融形成,相应的残留体是榴辉岩。

鲁东荣成-威海地区分布有一套花岗闪长-二长花岗质的片麻岩组合,我们称之为荣成片麻岩套。近几年的区调成果证明,该套片麻岩系从鲁东一直延续到苏北,构成苏北-鲁东片麻岩带。已有研究表明,该片麻岩带所在的苏鲁地体是扬子与华北陆-陆碰撞造山带的一部分(东段)^[1-4]。前人^[5,6]将上述片麻岩分别划归太古宙胶东群及元古宙胶南群。作者 1989—1992 年曾在荣成-威海地区进行过 1:20 万区调修测工作^①,大量的野外及室内研究结果表明:原划分的胶东群及胶南群主要为花岗质片麻岩,少部分为变质地层,花岗质片麻岩是一种变质变形深成岩。荣成片麻岩套的 U-Pb 单颗粒锆石同位素年龄为 682—787Ma(中国地质科学院地质所同位素室测定),日照地区片麻岩的锆石 U-Pb 年龄数据集中于 7—9 亿年^②。因此,该片麻岩系是晋宁期形成的深成岩浆岩体,它构成了华北地块南缘晋宁期岩浆岩带。这与李曙光^[7]的认识一致,与穆克敏的华北地台区(包括鲁东地区)晚元古代“无确切资料说明有花岗岩的形成”^[8]的结论有本质的不同。

1 地质及岩石学特征

1.1 宏观地质特征

荣成片麻岩套构造线总体走向由东西向渐变为南北向,形成一个向 SSE 方向凸出的弧形形态,其中心部位被印支期及燕山期花岗岩穿切(图 1)。研究区花岗质片麻岩占 90% 以上,其余为各种类型的包体。归纳起来,包体主要有二类:一为变质地层包体,主要岩性有黑云斜长角闪岩、含石墨黑云变粒岩、透辉变粒岩、透辉大理岩和黑云片岩;第二类为超镁铁质岩包体,主要有榴辉岩、强蛇纹石化辉橄岩等。包体的形态、大小各异,多呈似层

本文 1994-12 收到,1995-03 改回。

① 参加野外工作的还有张希道、刘建文、毛振业、鄢毅民、房德庆、于召安等。

② 1:20 万日照和赣榆幅及 1:5 万莒南、三界首、石门和理务关幅区调报告。

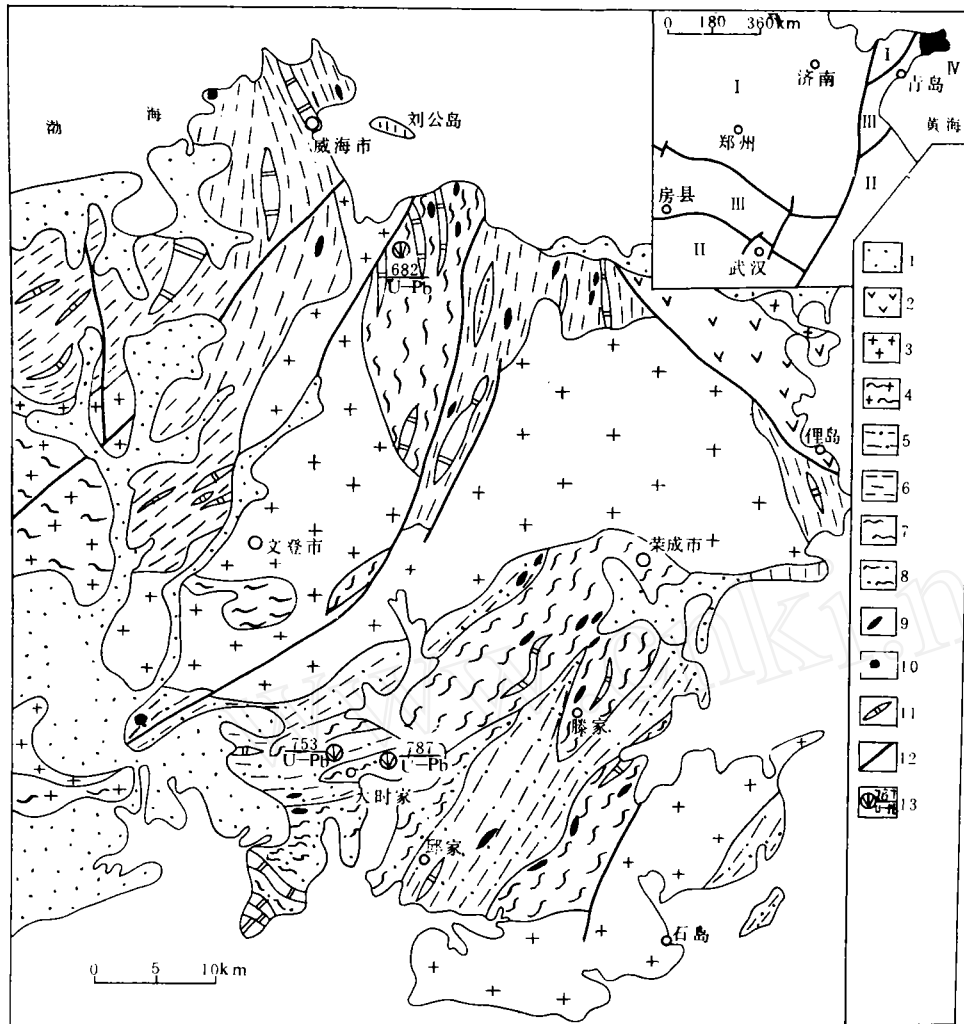


图1 荣成地区地质图

1. 第四系;2. 中生代火山岩;3. 燕山期侵入岩;4. 印支期片麻状花岗岩;5. 邱家片麻岩体;6. 威海片麻岩体;7. 滕家片麻岩体;8. 大时家片麻岩体;9. 榴辉岩;10. 麻粒岩;11. 上地壳包体(早元古代荆山群);12. 断裂;13. 同位素年龄值及测定方法。I. 华北陆块;II. 扬子陆块;III. 秦岭-大别-胶南变质杂岩分布区;IV. 研究区范围

状、透镜状,大者可延伸数百米,小者仅几厘米。片麻岩与包体多呈突变的,谐调一致的接触关系,局部因构造平行化作用二者形成间层状的似层状构造,因此前人误将片麻岩划归变质地层。但仔细观察仍可发现片麻岩切穿变质地层的原生侵入接触关系。

根据岩性的差异,荣成片麻岩套可分成四种片麻岩体,即:大时家角闪花岗闪长质片麻岩体、滕家黑云花岗闪长质片麻岩体、威海条带状二长花岗质片麻岩体、邱家浅色二长花岗质片麻岩体[以下均简称为××(地名)岩体]。四种岩体间有明显的边界,且主要表现为谐调接触关系。

1.2 结构、构造

片麻岩中片麻理构造很发育,片麻理产状主要倾向S,SE,E,倾角多 $\geq 50^\circ$ 。威海岩体中显示有由各宽0.5—5mm的浅色部分与暗色部分相间构成的条带状构造。部分片麻岩遭受强烈的韧性变形作用被改造成糜棱岩,根据糜棱岩中矿物变形规律判断^[9],这种糜棱岩主要形成于斜长石变形相。片麻岩的主要结构特点是:

(1)矿物粒度呈双峰式分布,在粒径为1mm±的斜长石周围分布有 ≤ 0.3 mm的细粒长英质矿物交生体。这一特点与冀东东部及鲁西地区太古宙花岗岩质岩石极为相似。

(2)石英多呈粗大的矩形单晶(长1mm—1.5mm,宽0.5mm±)首尾相连构成条带状集合体定向展布,集合体长宽比10:1±,石英单晶发育波状消光及变形带等应变现象。

(3)微斜长石呈填隙状,常交代斜长石形成交代结构。

(4)在弱变形岩石中由云母围限成2mm×3mm大小的长方形轮廓,其内部充填有长石、石英集合体,这是一种变余半自形粒状结构。上述结构特征反映出荣成片麻岩套是经受变质变形改造的深成岩体。

1.3 矿物组成

荣成片麻岩套的几个片麻岩体的主要矿物定量统计结果及副矿物人工重砂鉴定结果列于表1。

按矿物间的交代关系,片麻岩中的主要矿物可分为Ⅲ个世代:Ⅰ. $Pl+Hb+Q$; Ⅱ.

$Pl+Kf+Bi+Q$; Ⅲ. $Kf+Q+Ep\pm Chl$ 。片麻岩矿物成分的多世代特点与片麻岩形成后的多次热事件有关,说明它们经历了多次变质作用。角闪石—斜长石矿物对估算的温压范围是—— T : 520—614℃, P : 5.5×10^8 — 10.1×10^8 Pa^①,表明片麻岩的主期变质作用为中压相系低角闪岩相。

表1 荣成片麻岩套矿物成分

| 岩体 名称 | 矿物定量统计(%) | | | | | 人工重砂鉴定结果(10^{-6}) | | | | | | | | |
|----------|-------------|------------------|--------|-------------|-------------|-----------------------|--------|--------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 更 长 石 | 微 斜 长 石 | 石 英 | 黑 云 母 | 角 闪 石 | 磁 铁 矿 | 锆 石 | 榍 石 | 磷 石 | 黄 铁 矿 | 自 然 铅 | 金 红 石 | 绿 帘 石 | 石 榴 石 |
| 邱家岩体 | 28.8 | 36.8 | 28.8 | 4.8 | — | 3436.7 | 119.3 | 1142.4 | 149.1 | 19.9 | 几粒 | 几粒 | 微量 | 微量 |
| 威海岩体 | 38 | 28 | 27.5 | 6 | — | 11640 | 41.72 | 768.5 | 1376.8 | 704.4 | 几粒 | 几粒 | 564.7 | 几粒 |
| 滕家岩体 | 53 | 13.6 | 26.7 | 6.2 | — | 8481.7 | 420.5 | 2219.3 | 620.3 | 几粒 | 微量 | 微量 | 微量 | 430.1 |
| 大时家岩体 | 49.2 | 19.1 | 17.5 | 7.4 | 6.2 | 8163.2 | 176.5 | 1706.0 | 1059.1 | 少量 | — | — | 2618.1 | — |

① 1:20万文登、威海、海阳、潮里幅区调报告。

2 荣成片麻岩套的地球化学特征

2.1 常量元素地球化学

荣成片麻岩套的主元素氧化物含量列于表 2。整个片麻岩系 SiO_2 含量介于 64.57%—77.20% 之间, Al_2O_3 含量变化于 10.49%—16.12% 之间。当 SiO_2 含量为 70% 时, Al_2O_3 含量 $< 15\%$, 这一点与 Condie^[14] 划分的低铝型英云闪长岩相似。

在 K-Na-Ca 图解中(图 2), 样品的投影点符合钙碱性岩系演化的特点。大时家和滕家岩体与格陵兰 Amitsoq 灰色片麻岩中的贫钾系列和 Nuk 片麻岩接近, 威海、邱家岩体与 Amitsoq 灰色片麻岩的正常系列接近。从 AFM 图解来看, 该岩套应属钙碱系列, 并且显示了奥长花岗岩的演化趋势, 其可与西格陵兰及华北地块南缘的太古宙花岗片麻岩相对比的^[10]。

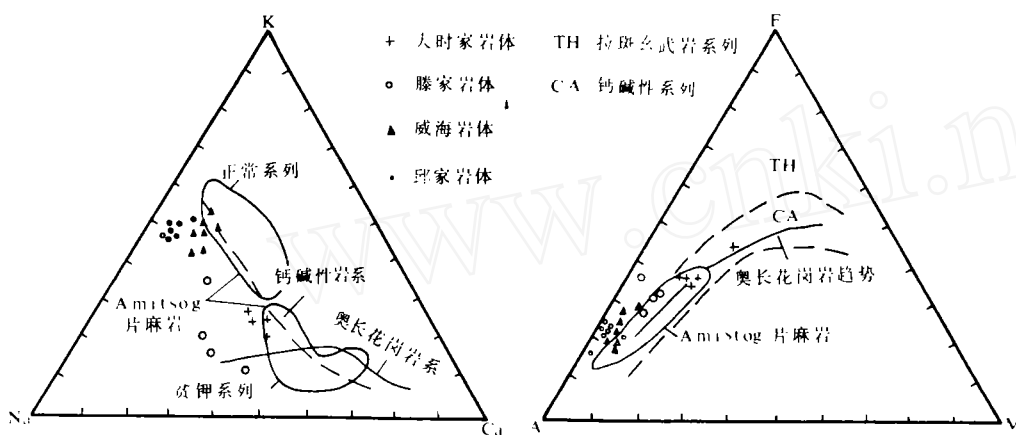


图 2 荣成片麻岩层的 K-Na-Ca 和 F-A-M 图解
TH. 拉斑玄武岩系列; CA. 钙碱性系列

用 CIPW 标准矿物数据投于 An-Ab-Or 图解(图 3)上, 荣成片麻岩套主要落于英云闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩区, 显示了从富 An 至富 Or 的演化趋势。在 Q-Ab-Or 图解上, 大时家与滕家岩体主要投点于花岗闪长岩套范围内, 而威海与邱家岩体主要投点于 Amitsoq 眼球状片麻岩范围内。

主元素分析表明, 荣成片麻岩套的演化序列中, 从大时家—滕家—威海—邱家岩体, SiO_2 , Na_2O , K_2O 含量渐增高, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO 含量渐降低。随 SiO_2 的增高, 片麻岩套显示了从富 Na—富 K, 从富 Ca—富 K, 从富 Fe, Mg—富 K, Na 的演化趋势。

2.2 微量元素地球化学

荣成片麻岩套 6 种微量元素丰度及有关指数见表 3。尽管样品数值波动较大, 但微量元素的总体分配仍是有规律的:

(1) 随着岩浆的演化, 除 K/Rb、Rb/Sr 显增大趋势外, 其余数值均显减小趋势, Rb 则明

表 2 荣成地区片麻岩岩石化学成分(%)

| 岩石名称 | 角闪花岗闪长质片麻岩 | | | | | | 黑云花岗闪长质片麻岩 | | | | 条带状二长花岗质片麻岩 | | |
|--------------------------------|------------|---------------------|---------------------|--------|--------------------|---------------------|--------------------|--------|-------------------|--------------------|-------------|---------------------|--|
| | 大-1 | P ₁₇ -14 | P ₂₆ -23 | 4D23 | P ₆ -24 | 4L ₇₉ -4 | P ₈ -16 | 产子-1 | P ₈ -1 | P ₁₆ -9 | 1D65 | 2L ₄ -15 | |
| SiO ₂ | 64.57 | 66.14 | 61.96 | 66.95 | 70.59 | 64.84 | 68.82 | 69.48 | 72.20 | 68.55 | 70.74 | 71.90 | |
| TiO ₂ | 0.57 | 0.42 | 0.88 | 0.44 | 0.50 | 0.52 | 0.25 | 0.33 | 0.22 | 0.34 | 0.20 | 0.30 | |
| Al ₂ O ₃ | 15.49 | 15.52 | 15.49 | 14.76 | 12.16 | 16.12 | 15.26 | 14.04 | 14.43 | 15.05 | 14.62 | 13.13 | |
| Fe ₂ O ₃ | 1.61 | 1.80 | 2.69 | 0.80 | 0.30 | 1.14 | 1.31 | 0.94 | 1.17 | 0.81 | 0.41 | 1.02 | |
| FeO | 3.69 | 2.96 | 2.87 | 4.02 | 5.58 | 3.13 | 2.20 | 3.75 | 1.59 | 1.86 | 2.07 | 2.50 | |
| MnO | 0.093 | 0.085 | 0.112 | 0.076 | 0.10 | 0.18 | 0.05 | 0.099 | 0.03 | 0.036 | 0.026 | 0.081 | |
| MgO | 1.36 | 1.55 | 2.04 | 1.40 | 2.58 | 1.29 | 0.99 | 0.49 | 0.63 | 0.59 | 0.51 | 0.69 | |
| CaO | 3.64 | 3.89 | 4.54 | 3.73 | 2.32 | 2.80 | 4.13 | 1.94 | 2.66 | 1.67 | 1.40 | 1.61 | |
| Na ₂ O | 4.01 | 4.20 | 4.42 | 3.72 | 2.16 | 5.76 | 4.88 | 4.40 | 4.85 | 4.07 | 3.88 | 3.92 | |
| K ₂ O | 2.82 | 2.52 | 2.26 | 2.48 | 1.98 | 2.16 | 1.20 | 3.33 | 1.32 | 5.58 | 5.44 | 3.94 | |
| P ₂ O ₅ | 0.24 | 0.20 | 0.45 | 0.12 | 0.06 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.10 | 0.11 | 0.08 | 0.09 | |
| 灼减 | 1.02 | 1.04 | 2.11 | 1.34 | 1.78 | 1.49 | 1.15 | 0.66 | 1.80 | 1.27 | 0.77 | 0.35 | |
| 总和 | 99.383 | 100.325 | 100.222 | 99.836 | 100.11 | 99.53 | 100.36 | 99.579 | 101 | 99.836 | 100.146 | 99.531 | |

续表 2 荣成地区片麻岩石化学成分(%)

| 岩石名称 | 条带状二长花岗质片麻岩 | | | | 浅色二长花岗质片麻岩 | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | P ₁₆ -23 | 1L ₄₃ -14 | P ₁₆ -62 | 1L ₂₃ -13 | 1L ₁₇ -13 | P ₂₂ -66 | 4L ₃₈ -1 | 4L ₄₇ -8 | P ₂₃ -21 | 1L ₄₈ -1 | P ₁₇ -43 |
| SiO ₂ | 72.58 | 73.80 | 74.35 | 74.60 | 75.62 | 76.30 | 76.44 | 76.50 | 76.91 | 76.98 | 77.20 |
| TiO ₂ | 0.25 | 0.20 | 0.24 | 0.24 | 0.17 | 0.16 | 0.28 | 0.18 | 0.21 | 0.12 | 0.20 |
| Al ₂ O ₃ | 13.55 | 12.87 | 12.98 | 12.27 | 11.92 | 10.49 | 11.48 | 11.55 | 11.07 | 11.85 | 11.45 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.93 | 0.86 | 0.98 | 0.89 | 0.48 | 0.94 | 1.01 | 0.96 | 0.92 | 0.64 | 0.83 |
| FeO | 1.44 | 1.81 | 1.28 | 2.26 | 2.05 | 1.35 | 1.53 | 1.70 | 1.50 | 1.90 | 1.00 |
| MnO | 0.069 | 0.067 | 0.053 | 0.087 | 0.053 | 0.11 | 0.087 | 0.081 | 0.07 | 0.041 | 0.041 |
| MgO | 0.59 | 0.43 | 0.39 | 0.32 | 0.10 | 0.25 | 0.07 | — | 0.08 | 0.60 | 0.07 |
| CaO | 1.16 | 1.16 | 1.24 | 1.02 | 0.92 | 0.57 | 0.55 | 0.42 | 0.42 | 0.40 | 0.18 |
| Na ₂ O | 4.00 | 3.80 | 4.01 | 3.61 | 3.90 | 4.16 | 4.22 | 3.72 | 3.90 | 4.20 | 4.16 |
| K ₂ O | 4.58 | 4.24 | 3.78 | 4.61 | 4.96 | 4.50 | 4.26 | 4.14 | 3.83 | 4.16 | 4.34 |
| P ₂ O ₅ | 0.10 | 0.05 | 0.08 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.02 |
| 灼碱 | 0.71 | 0.39 | 0.41 | 0.11 | 0.21 | 0.30 | 0.22 | 0.42 | 0.39 | 0.16 | 0.23 |
| 总和 | 99.959 | 99.677 | 99.793 | 100.097 | 100.433 | 99.18 | 100.187 | 99.691 | 99.34 | 101.071 | 99.721 |

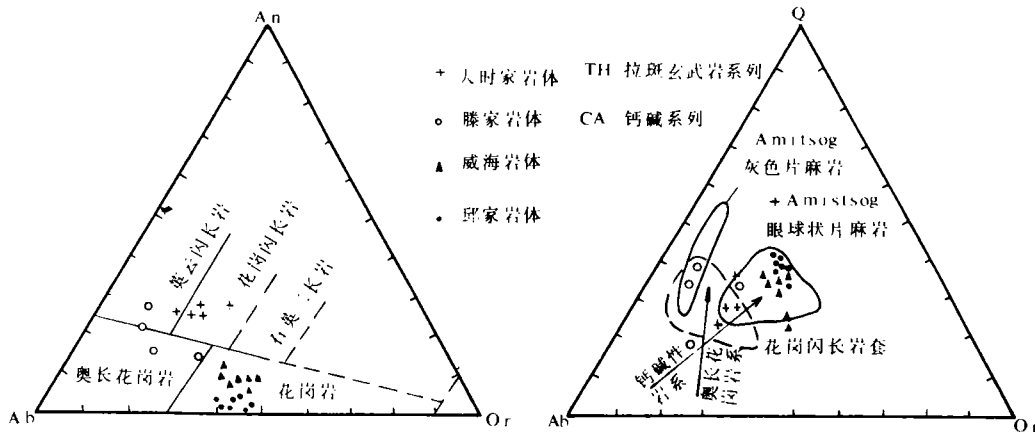


图3 荣成片麻岩套的 An-Ab-Or 和 Q-Ab-Or 图解

显由中间向两侧减小。

(2) 浅色二长花岗质片麻岩以大离子亲石元素(LILE)亏损为特征, 具有最低含量的 Sr, Ba, Sr/Ba 值, 较低含量的 Rb, Ba/Rb 值和最高的 K/Rb, Rb/Sr 值(以上均指表 3 中该岩石分析数据的平均值与其它岩石平均值比较, 下同)。

表3 荣成片麻岩套微量元素丰度(10^{-6})

| 岩石名称 | 编号 | Ni | Co | Rb | Sr | Ba | Zr | K/Rb | Sr/Ba | Rb/Sr | Ba/Rb |
|----------------|----------------------|------|------|-----|-----|------|-----|------|-------|-------|-------|
| 角闪花岗岩 | 大-1 | 8.4 | 10.3 | 75 | 607 | 1970 | 230 | 312 | 0.31 | 0.12 | 26.27 |
| 长质片麻岩 | P ₁₇ -14 | 7.1 | 11 | 102 | 397 | 1128 | 23 | 205 | 0.35 | 0.26 | 11.06 |
| 黑云花岗岩 | 产子-1 | 8.3 | 8.8 | 92 | 265 | 2170 | 347 | 300 | 0.12 | 0.35 | 23.59 |
| 长质片麻岩 | 4L ₇₉ -4 | 5.2 | 8.8 | 73 | 485 | 1522 | 353 | 246 | 0.32 | 0.15 | 20.85 |
| 条带状二长花 | P ₁₆ -9 | 9.2 | 6.9 | 224 | 561 | 2419 | 31 | 208 | 0.23 | 0.40 | 10.80 |
| | 1D56 | 4.8 | 4.8 | 203 | 579 | 2158 | 157 | 222 | 0.27 | 0.35 | 10.63 |
| | 2L ₄₂ -15 | 2.5 | 5.6 | 152 | 187 | 836 | 201 | 215 | 0.22 | 0.81 | 5.50 |
| 岗质片麻岩 | P ₁₆ -23 | 12 | 3.9 | 149 | 155 | 617 | 103 | 255 | 0.25 | 0.96 | 4.14 |
| | 1L ₄₃ -14 | 39.4 | 10.4 | 153 | 449 | 848 | 239 | 230 | 0.53 | 0.34 | 5.54 |
| | P ₁₆ -62 | 5.6 | 6.9 | 150 | 123 | 2444 | 63 | 209 | 0.05 | 1.22 | 16.29 |
| 浅色二长花 岗质片麻岩 | P ₂₂ -66 | 4.9 | 3.3 | 82 | 19 | 1059 | 175 | 455 | 0.02 | 4.32 | 13.35 |
| | 4L ₃₅ -1 | 8 | 2.3 | 78 | 53 | 1287 | 195 | 453 | 0.04 | 1.47 | 16.5 |
| | P ₂₃ -21 | 4.9 | 4 | 94 | 55 | 706 | 262 | 338 | 0.08 | 1.71 | 7.51 |
| | P ₁₇ -43 | 4.8 | 5.1 | 123 | 15 | 1646 | 17 | 293 | 0.01 | 8.2 | 13.38 |

(3)花岗闪长质片麻岩恰与浅色二长花岗质片麻岩相反,以 LILE 相对富集为特征,具有最高含量的 Sr, Ba, Sr/Ba, Ba/Rb 值和最低含量的 Rb, Rb/Sr 值。

(4)条带状二长花岗质片麻岩 LILE 介于二者之间,表现为中等的 Sr, Ba 和 Sr/Ba, Rb/Sr 值。但 Rb 值最高, Ba/Rb, K/Rb 值最低。

与华北太古宙片麻岩^[8,10,11,12]相比,除邱家岩体强烈亏损 Sr 且 Ba/Sr, Rb/Sr 值高及离散性大外;其余各岩体元素含量略偏高,相互之间比值较稳定。说明除邱家岩体中 Sr 为不等量(选择性)亏损外,其余元素相对富集。

关于花岗质岩石中 LILE 亏损与富集的原因,目前有多种解释^[15]。荣成片麻岩套中元素的亏损与富集可能是多种因素综合作用的结果,有待深入研究。

2.3 稀土元素地球化学

荣成片麻岩套的稀土分析数据列于表 4。与球粒陨石值(里德平均值除 1.2)相比,荣成片麻岩 REE 总丰度是其 51—132 倍, LREE 和 HREE 丰度分别是其 72—200 倍和 7—26 倍。对比表 2,岩石的稀土丰度与 SiO₂ 含量呈正相关趋势。

荣成片麻岩套的稀土元素分配模型(图 4)与 Cullers 等^[16]统计的花岗质岩石稀土范围的第一类第一亚类相似,显示出负 Eu 异常,有较高的稀土总量及轻、重稀土分馏较强的特征。二长花岗质片麻岩比花岗闪长质片麻岩具有更高的稀土总量及更大的负 Eu 异常。稀土分配特征反映了本区片麻岩的形成过程中,可能有富 HREE 和对 Eu 分配系数大的矿物相残留。

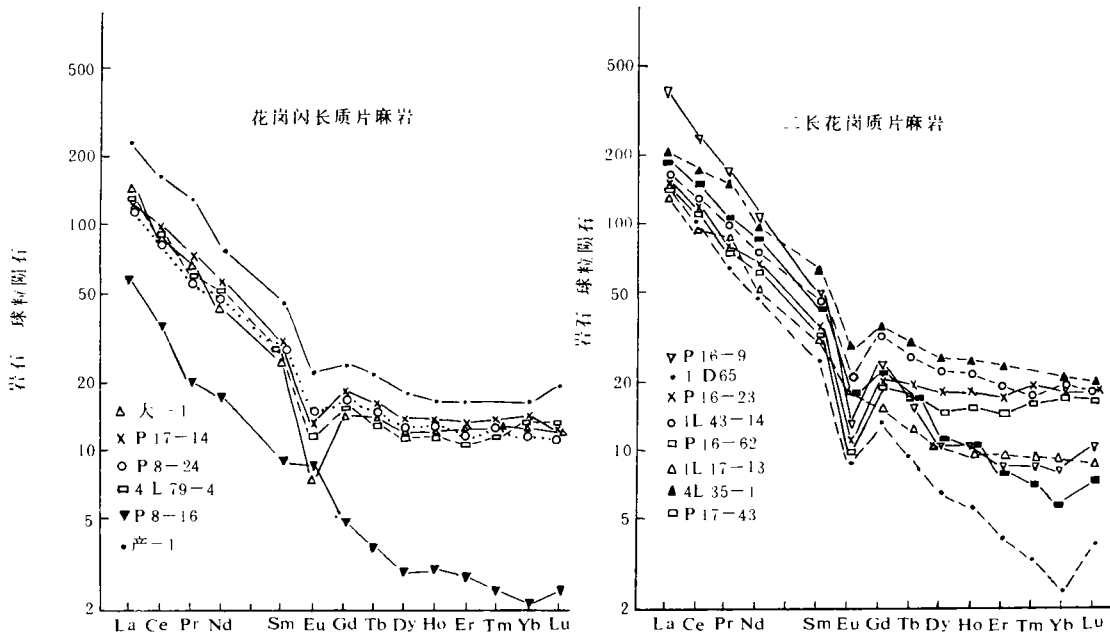


图 4 荣成片麻岩套稀土元素分配模型

表4 荣成片麻岩套稀土元素分析数据(10^{-6})

| 编号 元素 | 大-1 | P ₁₇ -14 | P ₈ -24 | 4L ₇₅ -4 | P ₈ -16 | 产子-1 | P ₁₆ -9 | 1D65 | P ₁₆ -23 | 1L ₄₅ -14 | P ₁₆ -62 | 1L ₁₇ -13 | 4L ₃₅ -1 | P ₁₇ -43 |
|-----------|--------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------|--------------------|--------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| La | 43.6 | 41.9 | 38.3 | 42 | 18.8 | 73.6 | 122 | 47.7 | 48.5 | 49.6 | 46.6 | 44.2 | 64.5 | 58.3 |
| Ce | 77.8 | 80.6 | 68.8 | 79.5 | 30.1 | 135 | 204 | 80.9 | 93.0 | 104 | 92.6 | 79.1 | 140 | 123 |
| Pr | 8.5 | 8.7 | 6.8 | 7.7 | 2.4 | 15.1 | 19.7 | 7.3 | 8.9 | 11.3 | 8.8 | 9.1 | 17.1 | 12.2 |
| Nd | 26.9 | 34.6 | 31.5 | 31.7 | 10.7 | 48.5 | 64.0 | 27.8 | 37.6 | 44.2 | 36.3 | 30.7 | 58.6 | 51.0 |
| Sm | 5.3 | 5.9 | 5.4 | 5.4 | 1.8 | 8.7 | 9.1 | 4.7 | 6.6 | 8.66 | 6.2 | 5.7 | 12.3 | 8.2 |
| Eu | 0.56 | 1.0 | 1.1 | 0.88 | 0.65 | 1.6 | 1.4 | 0.66 | 0.82 | 1.55 | 0.79 | 1.3 | 2.1 | 1.3 |
| Gd | 4.0 | 4.9 | 4.6 | 4.4 | 1.3 | 6.3 | 6.1 | 3.4 | 5.9 | 8.68 | 5.1 | 4.0 | 9.0 | 6.0 |
| Tb | 0.69 | 0.75 | 0.72 | 0.68 | 0.18 | 1.0 | 0.76 | 0.44 | 0.94 | 1.23 | 0.78 | 0.57 | 1.4 | 0.78 |
| Dy | 4.2 | 4.4 | 4.3 | 4.0 | 0.96 | 5.8 | 3.3 | 2.1 | 5.8 | 7.20 | 4.6 | 3.3 | 8.4 | 3.6 |
| Ho | 0.93 | 1.0 | 0.96 | 0.90 | 0.22 | 1.2 | 0.72 | 0.40 | 1.3 | 1.60 | 1.1 | 0.70 | 1.8 | 0.72 |
| Er | 2.7 | 2.8 | 2.6 | 2.5 | 0.60 | 3.5 | 1.9 | 0.89 | 3.6 | 4.08 | 3.2 | 2.0 | 5.0 | 1.7 |
| Tm | — | 0.46 | 0.43 | 0.44 | 0.08 | — | 0.3 | 0.11 | 0.61 | 0.60 | 0.57 | — | — | 0.24 |
| Yb | 2.7 | 2.8 | 2.6 | 2.8 | 0.42 | 3.4 | 1.7 | 0.49 | 3.9 | 4.04 | 3.7 | 1.8 | 4.5 | 1.2 |
| Lu | 0.4 | 0.42 | 0.38 | 0.44 | 0.08 | 0.51 | 0.33 | 0.12 | 0.59 | 0.59 | 0.58 | 0.28 | 0.61 | 0.24 |
| REE | 178.28 | 190.23 | 168.49 | 183.34 | 68.29 | 304.21 | 435.31 | 177.01 | 218.06 | 247.33 | 210.92 | 182.75 | 325.31 | 268.48 |
| LREE/HREE | 10.41 | 9.85 | 9.16 | 10.35 | 17.76 | 13.01 | 27.81 | 21.27 | 8.63 | 7.83 | 9.74 | 13.45 | 9.59 | 17.54 |

注:岩石名称同表2。

3 片麻岩的成因探讨

3.1 岩浆形成方式及残留体、母岩的判别

一般认为,由原始玄武质岩浆经分离结晶作用形成的火成岩,要有从基性岩—中性岩—酸性岩的一套野外共生证据,成分上是连续的和渐变的。本区片麻岩套中缺少中性火成岩,也未发现基性堆晶岩,表现了超镁铁质—花岗质的双峰式岩浆作用。因此荣成片麻岩套不是分离结晶作用形成,而是部分熔融方式形成的^[17]。

前已述及,荣成片麻岩套中有许多包体,这些包体必定与片麻岩的形成有某种联系。榴辉岩包体的稀土分析值列于表5。研究发现:榴辉岩中任意二稀土元素(尤其是LREE)浓度的倒数值多呈较好的直线关系(图5),符合平衡熔融的残留体模型^[13]。

荣成片麻岩套的稀土型式反映其来源于壳源。因此,笔者选定变质地层包体中的斜长角闪岩为母岩,榴辉岩包体为残留体,利用简单平衡的部分熔融公式来估算部分熔融程度。

表5 荣成地区榴辉岩稀土元素分析数据(10^{-6})

| 元素 | Ec2-2 | Ec1-4 | Ec9-1 | Ec13-1 | Ec5-8 | Ec10-3 | Ec6-10 | Ec15-2 | Ec18-2 |
|----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| La | 0.79 | 2.44 | 0.34 | 0.61 | 4.35 | 6.16 | 13.02 | 0.66 | 6.17 |
| Ce | 1.62 | 5.40 | 0.62 | 1.32 | 8.73 | 12.48 | 26.81 | 1.94 | 14.32 |
| Pr | 0.29 | 0.75 | 0.11 | 0.28 | 1.23 | 2.14 | 3.29 | 0.45 | 2.07 |
| Nd | 1.10 | 3.00 | 0.42 | 1.15 | 4.26 | 9.51 | 15.99 | 2.49 | 7.56 |
| Sm | 0.39 | 0.74 | 0.19 | 0.41 | 1.16 | 2.70 | 3.57 | 1.30 | 1.75 |
| Eu | 0.26 | 0.36 | 0.12 | 0.26 | 0.44 | 0.82 | 1.10 | 0.60 | 0.60 |
| Gd | 0.64 | 0.83 | 0.36 | 1.29 | 0.96 | 2.62 | 2.97 | 1.81 | 1.86 |
| Tb | 0.11 | 0.13 | 0.07 | 0.38 | 0.16 | 0.40 | 0.41 | 0.31 | 0.31 |
| Dy | 0.78 | 0.87 | 0.57 | 3.30 | 0.87 | 2.53 | 2.57 | 2.16 | 2.27 |
| Ho | 0.15 | 0.16 | 0.11 | 0.69 | 0.17 | 0.50 | 0.48 | 0.41 | 0.45 |
| Er | 0.39 | 0.46 | 0.33 | 2.03 | 0.45 | 1.32 | 1.31 | 1.19 | 1.37 |
| Tm | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.29 | 0.07 | 0.19 | 0.19 | 0.17 | 0.22 |
| Yb | 0.32 | 0.42 | 0.28 | 1.79 | 0.37 | 1.28 | 1.13 | 1.06 | 1.34 |
| Lu | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.24 | 0.05 | 0.19 | 0.16 | 0.15 | 0.19 |

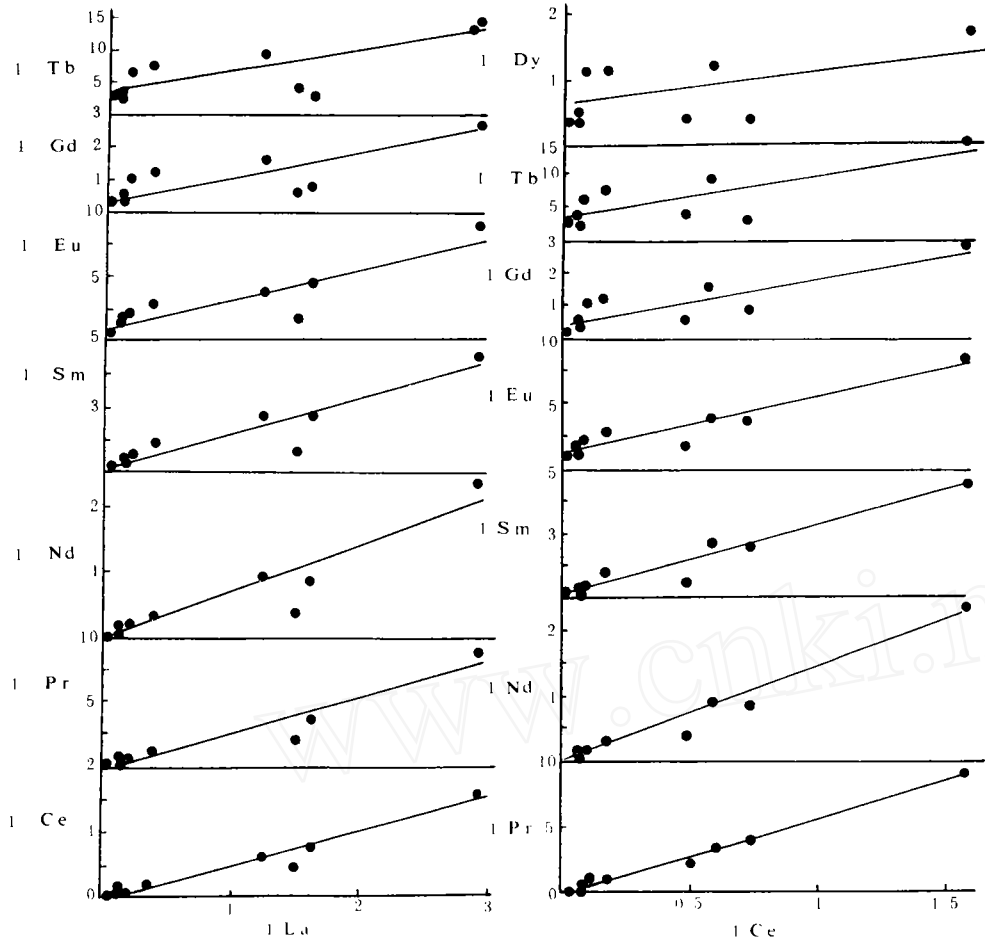


图5 荣成地区榴辉岩稀土元素之间的关系

3.2 部分熔融程度的估算

D·M·肖(1972)提出的部分熔融公式是： $C_L/C_0=1/D+F(1-D)$ 及 $C_R/C_0=D/D+F(1-D)$ 。将二公式联立求得： $F=C_0-C_R/C_L-C_R$ ，式中 F 为熔融程度， C_0 、 C_L 、 C_R 分别为母岩、熔体和残留体的REE浓度。笔者以本区斜长角闪岩的REE数据(5个样品平均)为 C_0 ，以荣成片麻岩套各岩体REE的面积加权平均数为 C_L ，以榴辉岩的REE为 C_R ，求 F 值。选定的数据及计算结果列于表6。平均部分熔融程度 $F=42\%$ ，表明斜长角闪岩母岩经42%

表6 选定的熔体、残留体、母岩稀土元素含量及部分熔融程度计算结果

| 岩石 | La | Ce | Nd | Sm | Eu | Gd | Dy | Er | Tb |
|-----------------|------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 片麻岩(C_L) | 55.7 | 104.94 | 40.43 | 7.12 | 1.16 | 5.58 | 4.70 | 2.81 | 2.74 |
| 斜长角闪岩(C_0) | 19.4 | 40.44 | 19.29 | 3.99 | 0.85 | 3.71 | 3.21 | 1.75 | 1.54 |
| 榴辉岩(C_R) | 3.84 | 8.14 | 5.05 | 1.36 | 0.51 | 1.48 | 1.77 | 0.98 | 0.89 |
| 熔融程度(%) (F) | 30 | 33 | 40 | 46 | 52 | 54 | 49 | 42 | 35 |

的部分熔融形成荣成片麻岩套,相应的残留体是榴辉岩。

片麻岩中负 Eu 异常的存在是上述熔融模式所难以解释的。一般认为,负 Eu 异常的存在说明残留体中应有富斜长石的矿物相存在,然而在野外未发现这种残留体。因此笔者认为造成本区片麻岩负 Eu 异常的原因可能是本区广泛存在的后期钾交代作用,这一点可从交代作用不发育的 P₈-24 及产子-1 号样基本无负 Eu 异常得到证明。

4 结 语

(1)荣成片麻岩套是变质变形深成岩体,是华北地块南缘晋宁期岩浆岩带的组成部分。它可进一步分解为四种片麻岩体,即:大时家角闪花岗质片麻岩体、滕家黑云花岗闪长质片麻岩体、威海条带状二长花岗质片麻岩体、邱家浅色二长花岗质片麻岩体。

(2)荣成片麻岩套具有英云闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩的化学成分,在许多方面与 Amitsog 片麻岩相似,呈钙碱性岩系的演化特点。其 REE 显示了具 Eu 负异常,有较高的 REE 总量及 LREE 与 HREE 分馏较强的特征。

(3)稀土元素定量模型计算表明,荣成片麻岩套可由斜长角闪岩源岩经 42% 的部分熔融形成,相应的残留体是榴辉岩。

本文蒙吕发堂高级工程师审阅并提出了宝贵意见,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 徐嘉炜、刘德良等,1987,中生代地质学术讨论会文集。地质出版社。
- [2] 曹国权、王致本、张成基,1990,山东胶南地体及其边界断裂五莲-荣成断裂的构造意义。山东地质, No. 1。
- [3] 李曙光、孙卫东等,青岛榴辉岩相蛇绿混杂岩的岩石学证据及退变质 $P-T$ 。轨迹岩石学报, No. 4。
- [4] 马杏垣、刘昌铨、刘国栋,1991,江苏响水至内蒙满都拉地学断面。地质学报, No. 3。
- [5] 山东地质矿产局,1991,山东省区域地质志。地质出版社。
- [6] 王致本,1985,胶南隆起变质地层划分对比及大地构造演化初步探讨。山东地质, No. 1。
- [7] 李曙光、张志敏等,1993,青岛榴辉岩及胶南群片麻岩的锆石 U-Pb 年龄。科学通报, No. 19。
- [8] 穆克敏、林景任等,1989,华北地台区花岗质岩石的成因。吉林科学技术出版社。
- [9] 张希道、宋明春,1994,鲁东南莒南一带深层次构造岩的变形相及变形温压条件的分析。岩石学报, No. 1。
- [10] 郭安林、张国伟,1989,华北地块南缘太古宙灰色片麻岩及其成因。岩石学报, No. 2。
- [11] 沈其韩、吉成林,1992,华北前寒武纪紫苏花岗岩的基本特征和成因。岩石学报, No. 1。
- [12] 王安建,1992,冀东钠质紫苏花岗岩系地球化学特征及其成因。地质学报 No. 1。
- [13] 沙连坤,1988,花岗岩中不同成因类型包体的稀土元素定量模型。地质论评, No. 5。
- [14] Condie K · C · ,1981, Archean Greestone Belts. Elsevier Scientific Publishing Company.
- [15] Rittman Alfred, 1973, Stable mineral assemblages of igneous rocks, Springer-Verlag.
- [16] Cullers · R · L and Graf · J · L, 1984, Rare Earth Elements in Igneous Rocks of the Continental Crust: intermediate and silicic Rocks—ore petrogenesis. In: Rare Earth Element Geochemistry (Henderson, ed.) Elsevier.
- [17] Barkey · F, 1979, Trondhjemites: definition, environment and hypotheses of origin. In: Trondhjemites, Dacites and Related Rocks. Elsevier.

LUDONG RONGCHENG GNEISS SUITE AND ITS ORIGIN

Song Mingchun, Wang Laiming,
Wang Lanzhong and Zhang Jingxin

(The Regional Survey Brigade, Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Rongcheng gneiss suite is a portion of Subei—Ludong gneiss belt in South margin of North China block and belongs to calc — alkaline plutonic rocks with granodioritic — admetalic composition. The petro — chemical compositions are similar to Amfistog gneiss. The rare earth elements reveal negative Eu anomaly, higher Σ REE and relative strong fractionation of light REE from heavy REE. Based on the quantitative modeling calculation Rongcheng gneiss suite was formed from the 42% partial melting of amphibolite source rock and the corresponding restite is eclogite.