

阿拉善地区前寒武纪斜长角闪岩组成矿物特征 及变质温压条件

沈其韩, 耿元生, 王新社, 吴春明

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要: 本文对阿拉善地区四个岩群、岩组和片麻岩中斜长角闪岩的主要组成矿物角闪石和斜长石的化学成分进行了测定并划分了矿物种, 对角闪石和斜长石矿物对采用多种计算方法进行了变质温度压力条件的计算。根据 Ti—Al 关系图解和 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{TiO}_2$ 关系图解, 限定其变质相等级。在此基础上结合形成环境进行了变质作用类型的划分。不同岩群、岩组和片麻岩中斜长角闪岩所含角闪石和斜长角闪岩一样, 显示高 TiO_2 和高 K_2O 的特点。角闪石中 $\text{FeO} + \text{MgO}$ 含量基本一致, 而 FeO 和 MgO 含量呈负相关。所有斜长角闪岩中的角闪石都属于钙质角闪石系列。由于 MgO 和 FeO 含量和镁铁比值的差异, 按 Leake 的分类可分出七个矿物种类。斜长角闪岩中的斜长石主要为中长石, An 在 42% ~ 66% 之间, Ab 在 34% ~ 58% 之间, 分布范围较集中。在少数岩石中, 除中长石外还见有少量拉长石残余。叠布斯格岩群斜长角闪岩的压力范围为 0.5 ~ 0.6 Gpa 时, 温度为 795 ~ 782, 其变质相为高角闪岩相—角闪麻粒岩亚相, 属中高温—高温区域变质作用。巴彦乌拉山岩组斜长角闪岩的变质压力在 0.5 Gpa 时, 温度为 739。从岩相学和矿物组合分析, 变质相已达高角闪岩相, 相当于中高温区域变质作用。阿拉善岩群德尔和通特岩组的斜长角闪岩已达高角闪岩相, 以中低压 (0.45 Gpa), 温度 743 为其变质温压条件, 结合该岩群存在递增变质带的特点, 属中高温 (偏低) 区域动力热流变质作用。波罗斯坦庙片麻岩中的斜长角闪岩在压力为 0.45 ~ 0.8 Gpa 时, 其温度为 774 ~ 754, 变质相达高角闪岩相, 变质类型属中高温区域变质作用。

关键词: 矿物种类; 高角闪岩相; 钙质角闪石系列; 中高温区域变质作用

中图分类号: P578.955

文献标识码: A

文章编号: 1007-6956(2004)04-0209-08

阿拉善地区前寒武纪斜长角闪岩的分布、产出层位、岩相学、岩石地球化学等特征、形成环境及年代学, 已另撰专文待发表。本文在此基础上, 着重对该区四个不同变质岩系的前寒武纪斜长角闪岩主要组成矿物角闪石和斜长石的矿物化学、矿物种, 以及形成的变质温压条件和变质类型作一系统报道。前人对本区各岩群、岩组和片麻岩种斜长角闪岩的变质程度, 在 1:20 万磴口幅和庆格勒图幅区域地质报告及霍福臣等^[1]文章中从一般岩相学的角度做过一些简略报道, 对变质矿物的成分、矿物种和温度压力条件未做过系统研究。本文的报道将

有助人们了解该区斜长角闪岩的变质演化过程和变质特征, 进而对弄清其形成背景和区域地质演化具有重要意义。

1 斜长角闪岩的组成矿物及其化学成分特征

阿拉善地区不同变质岩系中斜长角闪岩的主要组成矿物是角闪石和斜长石, 此外, 有的还含少量黑云母、透辉石和/或石榴子石。本文中重点分析了角闪石和斜长石的矿物成分, 根据分析结果, 划分了它们的矿物种。

1.1 角闪石的化学成分和矿物种

收稿日期: 2004-06-13

基金项目: 中国地质调查项目“中国西北地区若干重点前寒武纪区构造-岩石-地层单元的划分对比及年代格架研究”(19991300006); 国家自然科学基金(40002017)

作者简介: 沈其韩(1922-), 男, 研究员, 中国科学院资深院士, 长期从事变质地质学研究。

沈其韩等. 阿拉善地区前寒武纪斜长角闪岩的岩石学、地球化学、形成环境及年代学(岩石矿物学杂志, 2004年, 待刊).

宁夏回族自治区地质局区域地质调查队. 1:20 万磴口幅区域地质调查报告, 1980.

宁夏回族自治区计委地质局区域地质调查队. 1:20 万庆格勒图幅区域地质调查报告, 1980.

角闪石的化学成分详见表 1。叠布斯格岩群的斜长角闪岩中角闪石的 SiO_2 含量与巴彦乌拉山岩组中同类岩石中角闪石的 SiO_2 含量基本一致,均在 43 % ~ 44 % 之间。阿拉善岩群德尔和通特岩组中斜长角闪岩的角闪石的 SiO_2 含量,个别稍高,可达 46.76 %。波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩的角闪石的 SiO_2 含量变化较大,从 41.75 % 到 45.93 %。角闪石中的 TiO_2 含量以巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩中的角闪石为最高,达 2.53 % (平均)。叠布斯格岩群、阿拉善岩群德尔和通特岩组和波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩内角闪石的 TiO_2 含量由高到低,依次为 1.79 % , 1.58 % 和 1.51 % (均为平均值),高 TiO_2 是它们的共同特点。 Al_2O_3 含量以阿拉善岩群德尔和通特岩组中斜长角闪岩的角闪石为最低,平均含量为 8.3 %。其次为叠布斯格岩群和巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩的角闪石,其 Al_2O_3 含量分别为 10.6 % 和 10.66 % ,含量较高。波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩的角闪石 Al_2O_3 含量最高,平均为 11.20 %。角闪石中 FeO 含量以叠布斯格的为最低,平均仅为 11.59 % ,其次为阿拉善岩群德尔和通特岩组中的角闪石,其平均含量为 14.66 %。巴彦乌拉山岩组的为 15.95 % ,波罗斯坦庙片麻杂岩中角闪石的含量最高,平均为 16.87 %。角闪石中 MgO 含量以波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩的为最低(平均 8.89 %),巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩的为 9.96 % ,阿拉善岩群德尔和通特岩组中的为 10.26 % ,叠布斯格岩群中的为 12.44 %。一般显示, FeO 高则 MgO 低,具有规律性。角闪石中的 K_2O 含量以巴彦乌拉山岩组中的最高,达 1.65 % ;叠布斯格岩群中的在 1 % 左右;波罗斯坦庙片麻杂岩中的部分含量在 0.92 % ~ 1.24 % 之间,部分含量在 0.45 % ~ 0.52 % 之间,平均为 0.77 % ;阿拉善岩群德尔和通特岩组中的含量最低,平均为 0.52 %。大部分岩系中角闪石的 K_2O 含量高于 1 % ,具高 K_2O 含量特点。

不同地区斜长角闪岩中角闪石的 MF 和 FA 参数有明显差别。叠布斯格岩群斜长角闪岩中的角闪石 MF 值在 0.65 ~ 0.66 之间,平均为 0.

66,波动范围很小。FA 在 0.41 ~ 0.42 之间, MF 数值较高。巴彦乌拉山岩组中只有一个斜长角闪岩样品,其角闪石的 MF 值为 0.53,由于该角闪石中没有三价铁,所以未计算出 FA 值。阿拉善岩群德尔和通特岩组斜长角闪岩中角闪石的 MF 值从 0.51 到 0.58,平均为 0.54; FA 从 0.29 到 0.58,平均为 0.43,均比叠布斯格岩群中的低。波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩的角闪石,其 MF 值为 0.4 ~ 0.62, FA 值从 0.01 到 0.23,均变化较大,且低于前三个岩群或岩组。

上述各地的角闪石都属于钙质角闪石系列。根据 Leak, B E^[2] 的分类,叠布斯格岩群斜长角闪岩中角闪石包括浅闪石质普通角闪石、韭闪石质普通角闪石和含铁韭闪石质普通角闪石三种类型。巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩所含角闪石主要是浅闪石质普通角闪石。阿拉善岩群德尔和通特岩组中斜长角闪岩所含的角闪石主要是浅闪石和浅闪石质普通角闪石。波罗斯坦庙片麻杂岩中的斜长角闪岩所含角闪石类型相对较多,计有铁浅闪石、铁浅闪石质普通角闪石、浅闪石质普通角闪石和含铁韭闪石质普通角闪石等四种类型。

叠布斯格岩群斜长角闪岩中的斜长石的 SiO_2 含量从 55.83 % ~ 59.54 % ,平均为 57.58 % ; Al_2O_3 含量变化于 25.25 % ~ 27.13 % 之间; CaO 含量为 7.10 % ~ 8.74 % ,平均为 8.05 % ; Na_2O 含量为 6.24 % ~ 7.39 % ,平均为 6.81 % ; K_2O 含量为 0.03 % ~ 0.26 % ,平均为 0.15 %。其斜长石属于中长石,但其中的 An 和 Or 稍低, Ab 分子稍高。阿拉善岩群德尔和通特岩组斜长角闪岩中的斜长石,据化学成分可分为两类:一类为中长石,其化学成分与叠布斯格岩群斜长角闪岩中的斜长石成分相似。另一类为拉长石,化学成分显示低 SiO_2 (46.32 %)、高 Al_2O_3 (34.00 %)、高 CaO (17.51 %)、低 Na_2O (1.29 %) 的特点。波罗斯坦庙片麻杂岩中的斜长角闪岩所含斜长石大部分为中长石,其 SiO_2 含量从 53.93 % 到 57.79 % ,平均为 56.38 % ; Al_2O_3 含量为 26.16 % ~ 28.76 % ,平均为 27.15 % ; CaO 含量为 8.41 %

表 1 斜长角闪岩中角闪石的主要元素和矿物种类

Table 1 Major elements of hornblendes in amphibolite and its mineral species

| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------|--------|-------------------------|-------------------|----------|---------------|--------|------------------------|-----------------|--------|
| 样品号 | AL008 | AL013 | | AL098 | AL083 | AL247 | | AL020 | AL024 | AL210 | AL211 | | AL212 | AL223 | |
| 样品名称 | 透辉斜长角闪岩 | 阳起石化透辉斜长角闪岩 | | 斜长角闪岩 | 斜长角闪岩 | 黑云斜长角闪岩 | | 黑云斜长角闪岩 | 黑云斜长角闪岩 | 透辉斜长角闪岩 | 含黑云母斜长角闪岩 | | 透辉斜长角闪岩 | 斜长角闪岩 | |
| 岩系归属 | 叠布斯格岩群 | | | 巴彦乌拉山岩组 | 阿拉善岩群 德尔和通特岩组 | | | 波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩残留层 | | | | | | | |
| 主要元素含量(wt %) | | | | | | | | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 44.15 | 43.20 | 43.77 | 43.71 | 46.76 | 44.07 | 44.99 | 42.01 | 44.59 | 44.35 | 45.41 | 45.93 | 44.51 | 41.75 | 41.49 |
| TiO ₂ | 1.06 | 2.14 | 2.17 | 2.53 | 1.18 | 1.75 | 1.82 | 1.60 | 1.38 | 1.71 | 1.43 | 1.53 | 1.54 | 1.38 | 1.49 |
| Al ₂ O ₃ | 10.50 | 10.53 | 10.78 | 10.66 | 8.39 | 9.21 | 8.83 | 12.10 | 11.56 | 10.49 | 9.41 | 9.55 | 10.93 | 12.41 | 12.97 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.26 | 3.69 | 2.78 | 0.00 | 2.04 | 4.36 | 4.29 | 1.83 | 1.70 | 0.10 | 1.45 | 1.75 | 0.97 | 2.70 | 1.30 |
| FeO | 11.85 | 11.13 | 11.80 | 15.95 | 16.30 | 13.82 | 13.86 | 18.80 | 12.75 | 18.88 | 15.26 | 14.71 | 16.93 | 18.16 | 19.46 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.09 | 0.00 | 0.03 | 0.05 | 0.23 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.05 |
| MnO | 0.15 | 0.18 | 0.16 | 0.19 | 0.47 | 0.34 | 0.42 | 0.53 | 0.15 | 0.28 | 0.26 | 0.27 | 0.23 | 0.27 | 0.25 |
| MgO | 12.44 | 12.43 | 12.44 | 9.96 | 9.67 | 10.34 | 10.79 | 7.11 | 11.58 | 8.06 | 10.50 | 10.88 | 8.96 | 7.34 | 6.72 |
| CaO | 11.40 | 11.62 | 11.58 | 11.37 | 11.70 | 11.56 | 11.46 | 11.53 | 11.86 | 11.54 | 11.99 | 11.61 | 11.59 | 11.59 | 11.54 |
| Na ₂ O | 1.87 | 1.49 | 1.62 | 1.65 | 0.62 | 1.19 | 1.35 | 1.53 | 1.19 | 1.24 | 1.17 | 1.25 | 1.10 | 1.81 | 1.91 |
| K ₂ O | 0.97 | 1.04 | 0.99 | 1.65 | 0.69 | 0.48 | 0.39 | 1.11 | 0.93 | 1.24 | 0.50 | 0.52 | 0.92 | 0.45 | 0.46 |
| 总量 | 97.74 | 97.45 | 98.12 | 97.72 | 98.04 | 97.22 | 98.21 | 98.15 | 97.56 | 97.93 | 97.42 | 98.07 | 97.68 | 97.88 | 97.68 |
| 以 23 个氧原子为基数计算的阳离子数 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si ⁴⁺ | 6.531 | 6.412 | 6.445 | 6.557 | 6.951 | 6.952 | 6.674 | 6.390 | 6.567 | 6.694 | 6.772 | 6.779 | 6.668 | 6.342 | 6.332 |
| Ti ⁴⁺ | 0.118 | 0.239 | 0.240 | 0.285 | 0.132 | 0.197 | 0.203 | 0.183 | 0.153 | 0.194 | 0.160 | 0.170 | 0.173 | 0.158 | 0.171 |
| Al | 1.351 | 1.349 | 1.315 | 1.158 | 0.917 | 1.211 | 1.123 | 1.427 | 1.280 | 1.112 | 1.068 | 1.051 | 1.159 | 1.500 | 1.497 |
| Al | 0.480 | 0.494 | 0.556 | 0.727 | 0.553 | 0.413 | 0.421 | 0.743 | 0.727 | 0.755 | 0.586 | 0.611 | 0.871 | 0.722 | 0.837 |
| Fe ³⁺ | 0.363 | 0.412 | 0.308 | | 0.228 | 0.558 | 0.479 | 0.210 | 0.188 | 0.011 | 0.163 | 0.194 | 0.109 | 0.309 | 0.149 |
| Fe ²⁺ | 1.466 | 1.382 | 1.453 | 2.001 | 2.026 | 1.729 | 1.720 | 2.391 | 1.570 | 2.383 | 1.903 | 1.816 | 2.121 | 2.307 | 2.484 |
| Mn ²⁺ | 0.019 | 0.023 | 0.020 | 0.024 | 0.059 | 0.043 | 0.053 | 0.068 | 0.019 | 0.036 | 0.033 | 0.034 | 0.029 | 0.035 | 0.032 |
| Mg ²⁺ | 2.743 | 2.750 | 2.730 | 2.227 | 2.142 | 2.305 | 2.385 | 1.613 | 2.541 | 1.813 | 2.334 | 2.393 | 2.000 | 1.662 | 1.529 |
| Ca ²⁺ | 1.807 | 1.848 | 1.827 | 1.828 | 1.864 | 1.853 | 1.822 | 1.879 | 1.871 | 1.866 | 1.916 | 1.836 | 1.860 | 1.886 | 1.887 |
| Na ⁺ | 0.536 | 0.429 | 0.463 | 0.480 | 0.179 | 0.345 | 0.388 | 0.451 | 0.340 | 0.363 | 0.338 | 0.358 | 0.320 | 0.533 | 0.565 |
| K ⁺ | 0.183 | 0.199 | 0.186 | 0.316 | 0.131 | 0.092 | 0.074 | 0.215 | 0.175 | 0.239 | 0.095 | 0.098 | 0.176 | 0.087 | 0.090 |
| Cr ³⁺ | 0.011 | | 0.003 | | 0.027 | | 0.001 | | 0.006 | 0.005 | 0.005 | 0.008 | | 0.002 | 0.006 |
| 总量 | 15.608 | 15.534 | 15.547 | 15.610 | 15.209 | 15.338 | 15.342 | 15.570 | 15.437 | 15.471 | 15.373 | 15.349 | 15.387 | 15.544 | 15.580 |
| MF | 0.65 | 0.67 | 0.67 | 0.53 | 0.51 | 0.57 | 0.58 | 0.40 | 0.62 | 0.43 | 0.55 | 0.57 | 0.49 | 0.42 | 0.38 |
| FA | 0.43 | 0.46 | 0.36 | | 0.29 | 0.58 | 0.53 | 0.22 | 0.21 | 0.01 | 0.22 | 0.24 | 0.11 | 0.31 | 0.15 |
| 矿物种 | 浅闪石 质普通 角闪石 | 非闪石 质普通 角闪石 | 含铁非 闪石质 普通角 闪石 | 浅闪石 质普通 角闪石 | 浅闪石 | 浅闪石质普通 角闪石 | | 含铁非 闪石质 普通角 闪石 | 浅闪石 质普通 角闪石 | 铁浅闪 石 | 浅闪石质普通 角闪石 | | 铁浅闪 石质普 通角闪 石 | 含铁非闪石质 普通角闪石 | |

样品的主元素分析由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室余静同志测定;Fe₂O₃ 根据电荷平衡方法计算而获得;MF=Mg/(Mg + Fe²⁺);FA=Fe³⁺/(Fe³⁺ + Al);矿物种根据 Leak 分类方案确定

~ 11.39 % , 平均为 8.24 % ; Na₂O 含量为 5.72 % ~ 6.82 % , 平均为 6.16 % ; K₂O 含量为 0.09 % ~ 0.24 % , 平均为 0.12 % 。少数样品

出现拉长石, 其 SiO₂ 含量稍低, 从 48.17 % 到 52.23 % ; Al₂O₃ 含量增高, 从 30.06 % 到 32.06 % ; CaO 含量增高, 从 12.91 % 到

16.27 %; Na₂O 含量降低, 从 3.75 %到4.42 %。拉长石在岩石中出现的几率很小, 主体都是斜长石, 拉长石可能是变质过程中未完全变质的残体。四个岩群、岩组和片麻杂岩中斜长角闪岩所含斜长石的化学成分分布区间比较集中,

没有太大的变化。

1.2 斜长石的化学成分和矿物种类

斜长石的化学成分和 An、Ab 和 Or 百分含量见表 2。

表 2 斜长角闪岩中斜长石的主要化学成分和 An、Ab、Or 百分含量

Table 2 Major chemical composition and contents of An, Ab and Or of plagioclase in amphibolites

| 序号 | 样品号 | 测定 点位 | 岩系 归属 | 寄主 岩石 名称 | 矿物特征 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | An (%) | Ab (%) | Or (%) | 矿物 类型 | |
|----|-------|------------|---|--|---|------------------|--------------------------------|--------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|----------------------------|-------------|--|
| 1 | AL008 | 1 | 叠布 斯格 岩群 | 透辉斜 长角闪 岩 | 粒状, 粒度 0.3 ~ 1.2 mm, 微 泥化和绢云母化 | 58.41 | 25.25 | 8.05 | 7.39 | 0.03 | 37.51 | 62.29 | 0.2 | 中 长 石 | |
| 2 | AL013 | 1-1 1-3 | | 黑云斜 长角闪 岩 | 粒状, 粒度多为 0.5 ~ 2 mm, 少 为 0.2 ~ 0.5 mm, 多具钠式双晶 | 56.52 55.83 | 27.13 26.72 | 8.74 8.34 | 6.34 6.24 | 0.26 0.13 | 42.62 42.00 | 55.88 57.00 | 1.6 1.00 | | |
| 3 | AL011 | 1 | | 斜长角 闪岩 | 粒状, 具钠式双晶, 微泥化 | 59.54 | 25.39 | 7.10 | 7.29 | 0.18 | 35 | 64 | 1 | | |
| 4 | AL098 | 1 | 巴彦乌 拉山 岩组 | 斜长角 闪岩 | 多边形粒状, 具钠长石双晶, 部 分黝帘石化 | 58.00 | 25.48 | 8.61 | 6.66 | 0.19 | 41 | 58 | 1 | 中长石 | |
| 5 | AL083 | 1 | 阿拉善 岩群德 尔和通 特岩组 | 斜长角 闪岩 | 主体呈细粒状, 少数呈板柱状, 大部在 0.05 mm 以下 | 46.32 | 34.00 | 17.51 | 1.29 | 0.05 | 88 | 12 | 0.3 | 拉长石 | |
| 6 | AL247 | 1-1 2-1 | | 黑云斜 长角闪 岩 | 不规则粒状至板状, 粒度 0.2 ~ 1 mm, 部分具钠式和少量卡 式双晶, 包有磷灰石等 | 57.14 | 26.77 | 9.20 | 6.45 | 0.08 | 55 | 55 | 0.3 | 中长石 | |
| 7 | AL020 | 2 | 波罗 斯坦 庙片 麻杂 岩中 的斜 长角 闪岩 残留 层 | 黑云斜 长角闪 岩 | 粒状, 0.4 ~ 0.8 mm, 具钠式双 晶, 微泥化和绢云母化 | 53.93 | 28.76 | 11.39 | 4.82 | 0.11 | 56 | 43 | 1 | 中长石 | |
| 8 | AL024 | 1 | | 斜长角 闪岩 | 粒状至细长柱状, 微泥化, 偶见 钠长石双晶, 但不清晰 | 55.67 | 27.67 | 10.22 | 5.75 | 0.24 | 49 | 50 | 1 | 中长石 | |
| 9 | AL210 | p1 | | 透辉斜 长角闪 岩 | 粒状, 多为 0.1 ~ 0.2 mm, 少 为 0.4 ~ 0.6 mm, 少数见细纹 状钠长石双晶 | 48.17 | 32.06 | 16.27 | 2.43 | 0.03 | 79 | 21 | (0.2) | 拉长石 | |
| 10 | AL211 | 3 | 含黑云 斜长角 闪岩 | 多边形粒状, 少量柱状, 0.3 ~ 0.5 mm 居多, 少量 0.2 ~ 1 mm, 部分具钠长石双晶, 包有 磷灰石、锆石和磁铁矿等 | 57.55 57.56 | 26.66 26.34 | 8.71 8.42 | 6.81 7.05 | 0.10 0.11 | 41 39 | 58 60 | 1 1 | 中 长 石 | | |
| | | 1 | 透辉斜 长角闪 岩 | 特征同上 | 52.09 | 30.07 | 13.44 | 3.75 | 0.09 | 66 | 33 | (0.5) | | 拉长石 | |
| 12 | AL223 | 3 | 斜长角 闪岩 | 粒状, 0.2 ~ 1.2 mm, 部分具钠 式双晶, 包有角闪石和磁铁矿 | 57.77 52.23 | 26.19 30.06 | 8.84 12.91 | 6.82 4.42 | 0.06 0.03 | 42 62 | 58 38 | (0.3) (0.2) | 中 长 石 拉 长 石 | | |
| | | 1 | 黑云斜 长角闪 岩 | | 55.85 | 27.30 | 10.57 | 5.72 | 0.09 | 50 | 49 | (0.5) | 中 长 石 | | |

样品分析由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室余静同志完成

2 斜长角闪岩变质的温压条件及其变质级别

2.1 叠布斯格岩群中斜长角闪岩变质的温度压力条件及其变质级别

根据岩相学研究,部分含透辉石斜长角闪岩在镜下显示多边镶嵌结构,角闪石呈棕色,透辉石虽已大部分阳起石化,但仍可见到未退变的残余部分。有些残余的晶体外形更象斜方辉石。根据角闪石 Ti 与 Al 关系图解(图 1)和 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 与 TiO_2 关系图解(图 2),该岩群的斜长角闪岩主要位于麻粒岩相区(序号 2 和 3),部分位于高角闪岩相区(序号 1)。与这些斜长角闪岩伴生的石榴子石岩中的石榴子石在 $\text{CaO} - \text{MgO} - (\text{FeO} + \text{MnO})$ 和 $(\text{Alm} + \text{Sp}) - (\text{And} + \text{Go}) - \text{Pyr}$ 三单元组分图解中均位于麻粒岩相区。

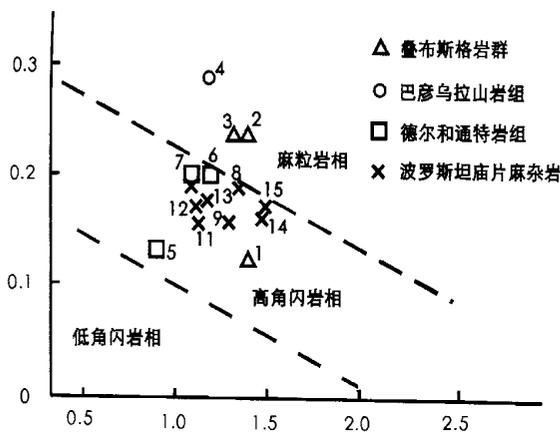


图 1 角闪石中 Ti 与 Al 关系图解

Fig. 1 Ti and Al relationship diagram for hornblendes

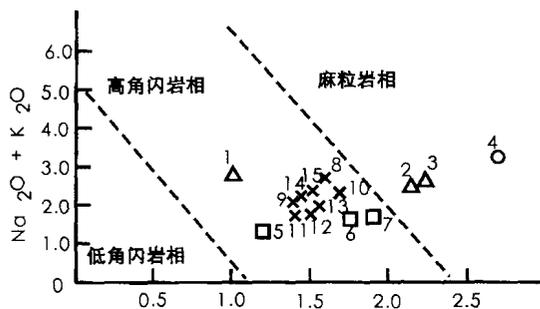


图 2 角闪石的 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 与 TiO_2 关系图解
Fig. 2 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{TiO}_2$ relationship diagram for hornblendes

图中符号所代表的地区与群组同图 1

为了弄清其变质时的温度压力条件,应用角闪石和斜长石的矿物对,用不同方法进行了温压条件计算,计算结果列于表 3。取压力为 0.5 ~ 0.6 Gpa,其温度范围为 776 ~ 778。考虑到 AL013 号样品较新鲜,其温度范围 795 ~ 782 可能更具代表性。因此,叠布斯格岩群的变质程度为高角闪岩相至麻粒岩相的角闪麻粒岩亚相。

表 3 角闪石和斜长石矿物对的温度和压力计算结果
Table 3 Account results of P-T data of hornblende and plagioclase couple or hornblende in amphibolites of the Diebusige group complex

| 序号 | 压力条件 (GPa) | 计算的温度 (°C) | | 平均温度 (°C) | |
|----|------------|-------------|-------|-----------|-----|
| | | AL08 | AL013 | | |
| 1 | 假定的 | 0.5 | 762 | 795 | 778 |
| 2 | | 1.0 | 758 | 788 | 773 |
| 3 | 计算的 | 0.56 | 771 | 792 | 781 |
| 4 | | 0.57 | 728 | | |
| 5 | | 0.58 ~ 0.59 | | 762, 757 | 760 |
| 6 | | 0.60 | 769 | 782 | 776 |

序号 1 和 2 是用 HbPl 程序计算的温度,温度计采用 Holland, J. J. 和 Blundy, J. D. [3], 压力是假设的;序号 3、4 用 Amphc 程序分别计算温度和压力,温度计用的是 Blundy and Holland [4] 的,压力计采用 Hollister 等 [5] 的和 Schmidh, M. W. [6] 的方法;序号 5 和 6 温度计采用 Holland 和 Blundy [4] 的方法,压力计采用角闪石 Al 含量的压力计 (Schmidh, M. W. [6])

2.2 巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩变质的温压条件

巴彦乌拉山岩组中的斜长角闪岩有的含有透辉石和石榴子石,特别是透辉石的存在,表明其变质温度较高。有一个样品的角闪石在 Ti - Al 关系图 (图 1) 和 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 与 TiO_2 关系图 (图 2) 上均投于麻粒岩相区,由于样品太少,还难做定论。但从岩相学和矿物组合特征考虑,变质级别主体应达高角闪岩相,具体温压条件尚未测定。其变质作用类型相当于中高温区域变质作用当无问题。

2.3 阿拉善岩群德尔和通特岩组中斜长角闪岩的变质温压条件

阿拉善岩群由下而上具有递增变质作用特点,下部变质程度较高,上部岩层有的出现十字石,说明其变质程度仅达低角闪岩相。德尔和通特岩组的斜长角闪岩中普遍含黑云母和石榴子石,未见到透辉石,有的还伴生绿帘石,说

耿元生等.“中国西北地区若干重点前寒武纪区构造岩石地层单元的划分对比及年代格架”研究报告,2003.

明其变质温度应比前述两个岩群或岩组为低。斜长角闪岩中角闪石在 Ti - Al 关系图(图 1)和 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{TiO}_2$ 关系图(图 2)上, 有两石个样品位于高角闪岩相区的较高部分(序号 6 和 7), 有一个样品(序号 5)位于高角闪岩相的较低部位, 说明其变质程度有一定变化。一个斜长角闪岩样品(AL247)中角闪石和斜长对, 采用 Holland, T J 和 Blundy, J D.^[4] 温度计和 Schmidt, M W^[6] 的压力计计算了温压条件, 在 0.45 Gpa 时温度为 743, 而用 Amphcal 程序计算时, 在相同的 0.45 Gpa 条件下, 计算出的温度达 796。经综合考虑后, 采用中低压 0.45 Gpa, 温度为 743 作为其变质的温压条件。

2.4 波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩的变质温压条件

波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩类型较

多, 有黑云斜长角闪岩、透辉斜长角闪岩及透辉石榴黑云斜长角闪岩等。斜长角闪岩中角闪石在 Ti 与 Al 关系图(图 1)和 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 与 TiO_2 关系图(图 2)上, 除个别样品接近麻粒岩相和高角闪岩相分界线外, 其它均位于高角闪岩相区。利用角闪石和斜长石矿物对计算的温度和压力结果列于表 4。根据假定的压力 0.5 ~ 1.0 Gpa 时的温度为 726 ~ 746。根据实际计算的压力为 0.49 Gpa 时, 其相应的温度为 774; 压力为 0.6 Gpa 时, 其相应的温度为 778; 压力为 0.8 Gpa 时, 温度为 754。不同方法计算出的结果稍有差异, 总体上相当高角闪岩相范围, 与 Ti - Al 关系图和 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 与 TiO_2 关系图所得结果是一致的。综合以上结果, 波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩变质的压力条件为 0.49 ~ 0.8 Gpa, 温度为 774 ~ 754, 其变质类型为区域中高温变质作用。

表 4 波罗斯坦庙片麻杂岩内斜长角闪岩角闪石-斜长石矿物对温压计算结果

Table 4 Accounting P-T results of the plagioclase-hornblende couples or hornblende alone in amphibolites of Boluositanmiao gneisses complex

| 序号 | 压力条件 (GPa) | | 计算出的温度结果() | | | | | | 平均温度 () |
|----|---------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|----------|-------|-------------|
| | | | AL024 | AL210 | AL211 | AL212 | AL223 | AL243 | |
| 1 | 假定的 | 0.5 | 715 | 748 | 710 | 704 | 754 | 730 | 726 |
| 2 | | 1.0 | 736 | 771 | 707 | 734 | 779 | 753 | 746 |
| 3 | 实际 计算的 | 0.76 | | | | | 751 | | |
| 4 | | 0.60 | | | | | 778 | | |
| 5 | | 0.76 ~ 0.81 | | | | | 751, 754 | | 753 |
| 6 | | 0.45 | | | 774 | | | | 774 |
| 7 | | 0.49 | | | 766 | | | | 766 |

序号 1 和 2 压力系假定, 温度计用的同序号 3, 用 HbPl 程序计算; 序号 3 温度计采用 Holland, J.J. 和 Blundy, J.D.^[3], 压力计采用角闪石 Al 含量计算(Schmidt, M. W.^[6]); 序号 4, 5, 6, 7 的温度计采用 Blundy and Holland^[4]的; 序号 4 和 7 压力计采用 Johnson and Butcherfond^[7]的, 序号 6 的压力计采用 Hammarstrom and Zen^[8]的

3 结论

(1) 不同岩群、岩组和片麻杂岩中斜长角闪岩的角闪石的化学成分均显示高 TiO_2 (1.51 ~ 2.53) 和高 K_2O 的特点, 与其寄主岩石的特点一致。其中, 德尔和通特岩组斜长角闪岩的角闪石和波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩内部分角闪石 K_2O 含量稍低, 为 0.45 % ~ 0.52 %, 而其它岩群和岩组中斜长角闪岩所含的角闪石 K_2O 含量均大于 1 %。所有角闪石的 $(\text{MgO} + \text{FeO})$ 含量均在 24 % ~ 25 % 之间, 波动范围很

小。值得注意的是, FeO 和 MgO 含量呈负相关, 即在总量不变的情况下, MgO 含量高时 FeO 含量低, 反之, FeO 含量高则 MgO 含量低。

(2) 四个变质岩系中所有斜长角闪岩中的角闪石都属于钙质角闪石系列, 按 Leak, B E^[2] 的分类, 叠布斯格岩群中斜长角闪岩的角闪石包括浅闪石质普通角闪石、韭闪石质普通角闪石和含铁韭闪石质普通角闪石。巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩的角闪石主要是浅闪石质普通角闪石。阿拉善岩群德尔和通特岩组中斜长角闪岩的角闪石主要为浅闪石和浅闪石质普通角

闪石。波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩的角闪石主要有铁浅闪石、浅闪石质普通角闪石、含铁韭闪石质普通角闪石、铁浅闪石质普通角闪石等四种类型,比较复杂。角闪石类型的划分主要决定于 FeO 和 MgO 的含量及铁镁比值。

所有斜长角闪岩中的斜长石均为中长石。但在阿拉善岩群德尔和通特岩组和波罗斯坦庙片麻杂岩中的斜长角闪岩中偶尔出现少量拉长石的残余。中长石中 Ab 的含量在 42 % ~ 66 % 之间, An 的含量在 34 % ~ 58 % 之间,总的分布区较集中。Or 的含量都较低,部分在 1 % 左右,部分在 0.3 % ~ 0.5 % 之间。

(3) 叠布斯格岩群中斜长角闪岩当推定的压力在 0.5 ~ 0.6 GPa 时,变质温度为 795 ~ 782 °C,其变质相为高角闪岩相至角闪麻粒岩亚相,属中高温至高温区域变质作用。巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩有一个样品(AL098)进行了角闪石和斜长石矿物对的温压计算,当压力在 0.5 GPa 时,计算出的温度为 746 °C。从岩相学和矿物组合特征分析,变质级别为高角闪岩相,变质作用类型相当中高温区域变质作用。阿拉善岩群德尔和通特岩组中斜长角闪岩在 Ti - Al 关系图(图 1)和 (Na₂O + K₂O) - TiO₂ 关系图上均投于高角闪岩相区,有的位置较高,有的偏低。利用角闪石和斜长石矿物对计算出两组数据:当压力在 0.45 GPa 时,计算出温度为 743 °C;当假定的压力在 0.50 GPa 和 1.0 GPa 时,计算出的温度为 714 ~ 698 °C。变质级相当于高角闪岩相至角闪岩相,考虑到该岩群从下而上具有递增变质带特征,下部变质较深,上部变质浅,故其变质作用类型为中—高温(偏低)区域动力热流变质作用。波罗斯坦庙片麻杂岩中的斜长角闪岩,直接计算出的压力为 0.45 ~

0.80 GPa 时,变质温度为 774 ~ 754 °C,变质相达高角闪岩相,变质相达高角闪岩相,变质类型属中高温区域变质类型。

致谢:赵子然同志为本文计算了角闪石和斜长石的阳离子和部分角闪石与斜长石矿物对的温压条件,在此谨致谢意。

参考文献:

- [1] 霍福臣,曹景轩,董燕生,等. 贺兰山—阿拉善地区下、中前寒武系的划分对比及其变质、成矿作用特征[J]. 长春地质学院学报, 1987, 17(1): 35 ~ 46.
- [2] Leake B E. Nomenclature of amphiboles[J]. Mineral Mag., 1978, 42: 533 ~ 563.
- [3] Holland T J B and Blundy J D. Non - ideal interaction in calcic amphiboles and their bearing on amphibole - plagioclase thermometry[J]. Contributions to mineralogy and petrology, 1994, 116: 433 ~ 447.
- [4] Blundy J D and Holland T J B. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole - plagioclase geothermometer[J]. Contributions to mineralogy and petrology, 1990, 104: 208 ~ 224.
- [5] Hollister L S, Grissom G C, Peters E K, et al. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc - alkaline plutons[J]. American Mineralogist, 1987, 72: 231 ~ 239.
- [6] Schmidt M W. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al in hornblende barometer[J]. Contributions to mineralogy and petrology, 1992, 110: 304 ~ 310.
- [7] Johnson M C and Rutherford M J. Experimentally determined conditions in the Fish Canyon Tuff, Colorado, Magma Chamber[J]. Journal of Petrology, 1989, 30: 711 ~ 737.
- [8] Hammarstrom J M, Zen E A. Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer[J]. American Mineralogist, 1986, 71: 1 297 ~ 1 313.

Mineral Characteristics and Metamorphic P-T Condition of Precambrian Amphibolites in Alxa Region

SHEN Qi han , GENG Yuan sheng , WANG Xin she , WU Chun ming

(Institute of geology , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100037)

Abstract : This paper focuses on the characteristics of chief mineral constituents and metamorphic P-T condition of Precambrian amphibolites from different group complex , formation complex and gneiss complex in Alxa region. Different metamorphic types can be divided according to Ti-Al and Na₂O-TiO₂ relationship diagrams of hornblendes restrict to the metamorphic grade and formation environment. Hornblendes in amphibolites from different group complex , formation complex and gneiss complex are distinctly showing high TiO₂ and high K₂O in composition , while the FeO + MgO content are rather constant , FeO and MgO showing negative relationship. All hornblendes from amphibolites belong to calcic amphibolites series , according to Leak 's classification , seven mineral species may be subdivided. The plagioclases from amphibolites are chiefly andesine , An = 42 % ~ 66 % , Ab = 34 % ~ 58 % . There are a few labradorites in a small numbers of amphibolite , which are probably of pre-metamorphic remainders. Account results of P-T data of hornblende and plagioclase or hornblende alone in amphibolites of the Diebusige group complex , when pressure of amphibolites ranges from 0.5 ~ 0.6 Gpa , the temperature is of 795 ~ 782 °C , their metamorphic facies is of upper amphibolite granulite facies and their metamorphic type corresponds medium high to high temperature regional metamorphism. The metamorphic pressure of plagioclase amphibolites from Bayanwulashan formation complex is of 0.5 Gpa , their temperature is of 743 °C . According to account results of plagioclase hornblende couple or hornblende alone for amphibolites from Bolousitanmiao gneiss complex , when P = 0.45 ~ 0.8 Gpa , then T = 776 ~ 754 °C . The metamorphic grade of Bayanwulashan formation complex and Boluositanmiao gneiss complex all belongs to upper amphibolites facies and its metamorphic type corresponds to medium high temperature regional metamorphism. The metamorphic grade of plagioclase amphibolites from Derhetongte formation complex of Alxa group complex is of medium upper amphibolites facies , when the pressure is of 0.45 Gpa , their temperature is of 743 °C . The metamorphic type corresponds to medium high temperature dynamic heat flow regional metamorphism.

Key words : Precambrian amphibolite ; hornblende species ; metamorphic P-T ; Alxa region