

大别杂岩中混合岩的矿物空间分布研究*

王江海

(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002)

主题词 混合岩 矿物空间分布 极端分散度 大别杂岩

提要 介绍了矿物空间分布研究的基本原理及两种统计方法(接触频数法和线切法)。作者对混合岩矿物空间分布的研究表明:(1)前人提出的统计方法存在方法上的缺陷和应用上的局限性,作者推导出矿物接触类型的概率公式;(2)部分浅色体中矿物显示聚集分布的特征,而绝大部分的浅色体中矿物具有分散分布的特点。结合质量平衡和地球化学研究认为:大别杂岩中主体混合岩成因机制是重熔和交代作用。

1 引言

矿物空间分布研究是通过研究岩石中矿物之间接触类型的概率,从而了解岩石中矿物在空间上的聚集程度,并据此解决一些岩石成因问题。该方法之所以能应用于解决混合岩的成因问题,是由于矿物之间的接触类型受矿物颗粒界面自由能的控制。矿物集合体(即岩石)总有一种趋势,即降低不稳定的颗粒界面位置上原子与粒内稳定位置的原子相比的比例。

矿物空间分布研究属岩石结构研究的一部分,它是60年代提出的。70—80年代的研究工作认识到矿物在岩石中的空间分布和矿物之间的相互接触关系的影响因素较多,主要包括:

(a) 矿物之间的界面能;(b) 变质岩原岩成分的均一性;(c) 岩石的形成过程。

有很多矿物学者都对变质岩中矿物空间分布型式作过研究^[1-13],他们提出以矿物的接触频数来表达矿物在空间中的分布特征,并应用此方法解决一些结构和岩石成因问题。其中 Karlsson, G., Wahlgren, G. H., Ashworth, J. R. 和刘景波分别提出了具体的统计方法,定义了 R 值(R 是薄片实测的接触频数与期望接触频数之比值),并用 R 来判断混合岩脉体的成因($R > 1$, 矿物呈聚集分布,脉体为变质分异或交代成因; $R = 1$ 和 $R < 1$, 矿物分别呈随机分布和规则分布,浅色体为重熔或岩浆注入成因)^[9-11,13]。但却明显存在方法上的缺陷和应用的局限性,且数据处理繁琐。事实上,以往的方法仅适用于各矿物含量相近的岩石,且不能用数学期望代替矿物的极端分散度计算 R 值;这可从定性直观的角度加以说明^[21]。

若成分为斜长花岗岩的浅色体,已知曾达到岩浆阶段(重熔或岩浆注入成因),因钾长石(Or)很少,石英(Q)和斜长石(Pl)的含量不等,显然,斜长石为聚集分布,而石英和钾长石为分散分布,于是有 $R_{PlPl} \gg 1$, R_{Qq} 和 $R_{OrOr} < 1$,特别是 $R_{OrOr} \rightarrow 0$,此时用 R 值判定浅色体的成因就无能为力,因为 $R_{PlPl} > 1$,判定浅色体未达到岩浆阶段,而 R_{Qq} 和 $R_{OrOr} < 1$,判

* 国家自然科学基金资助项目

本文于1991年8月29日收到,1992年12月16日改回。

定浅色体达到岩浆阶段，显然，结论是矛盾的。实际上，即使斜长花岗岩浅色体中矿物处于最随机的状态（因斜长石、石英和钾长石颗粒数 N_{Pl} , N_Q 和 N_{Or} 满足关系 $N_{Pl} > N_Q \gg N_{Or}$ ，故仅保持 Or 与 Or 或不与 Or 接触， Q 不与 Q 接触，则该情形即为最随机状态）， R_{PlPl} 仍显著大于 1。要解决以上问题的关键在于求出某一岩石在最随机状态时的矿物接触类型的概率值。

2 矿物空间分布的原理、统计方法和极端分散度的求法

2.1 原理

从岩浆结晶形成的岩石，因其成核的均匀性(近似的，需作非理想校正)决定了岩石中矿物在空间上的分布特征及其接触关系。固态转变下形成的变质岩，因经历不同的地质过程，即使具有相同的矿物组成，其矿物在空间上的分布及接触关系常常有明显的差异。由此可见，典型岩浆成因的长英质脉体，其矿物在空间中的分布及其相互接触关系显示随机特征。这同岩浆中随机成核条件和尽可能达到矿物之间界面能最小的原则相一致。而在固态转变过程中形成的变质岩中的长英质脉体，其矿物在空间中的分布型式及相互接触的特点主要受以下因素控制：(a)矿物之间的界面能；(b)变质岩原岩矿物类型及其空间分布型式；(c)应力作用；(d)变质级。从而，表现出特定的空间分布型式；据此，可以区分混合岩脉体的成因。

2.2 统计方法

最常用的矿物空间分布的统计方法有两种，其一是由 G. Karlsson 和 C. H. Wahlgren 所设计的接触频数法 (Contact-frequency method)^[9]；其二是由 J. R. Ashworth 设计的线切法 (Line-transect method)^[10]。

(1) 接触频数法

第一步是先将薄片在显微镜下照像，然后在照片上标出所有矿物种类和编号(如图 1 所示)。第二步是建立数据阵列：第一列的数字代表矿物编码，第二列代表矿物名称代号，第三列以后的数字表示同该矿物接触的矿物编号。如 24 A 代表第 24 个矿物是 A，它与编码是 25、49、50 的矿物接触。为了避免重复，数据阵列中第三列以后的数字必须大于第一列的数字。

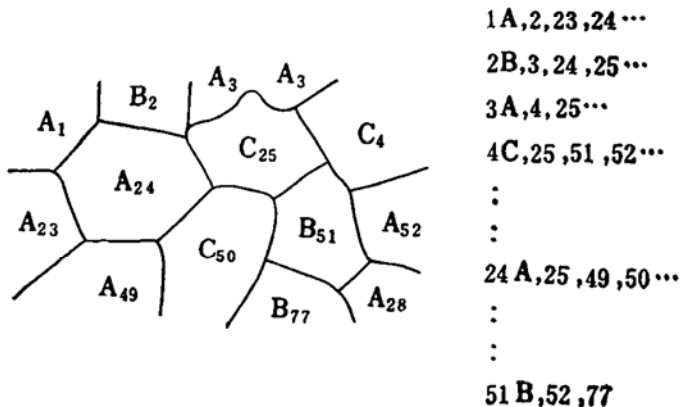


图 1 接触频数法与其相应的数据阵列^[9]
Fig. 1 Contact-frequency method and its data matrix^[9]

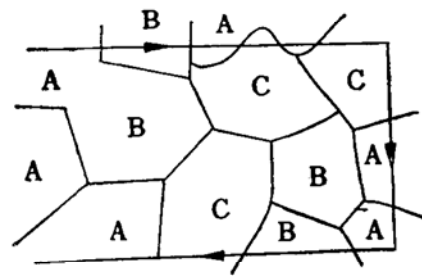


图 2 线切法示意图^[10]
Fig. 2 Schematic diagram illustrating the line-transect method^[10]

如果小于则应略去。第三步利用数据阵列统计出各种接触类型的数目，如AA、AC、BC等的接触数目。第四步按表 1 将各类接触类型填进去以便计算。

表 1 接触频数法统计结果记录格式⁽⁹⁾

Table 1 Recording form of statistics of the contact-frequency method⁽⁹⁾

C_{ij}	A	B	C	Σ
A	C_{AA}	C_{AB}	C_{AC}	ΣC_{A1}
B	C_{BA}	C_{BB}	C_{BC}	C_{B1}
C	C_{CA}	C_{CB}	C_{CC}	ΣC_{C1}
Σ	ΣC_{1A}	ΣC_{1B}	ΣC_{1C}	$\Sigma \Sigma C$

C_{ij} 为 ij 的接触总数； $\Sigma \Sigma C$ 为所有的接触总数。

(2) 线切法

用机械台走线，在该过程中记录所有的接触边界类型。对于如图 2 所示的情况记录为：ABAC(A)CAABCA...，列出接触类型AB, BA, ..., BC, CA, ...，数出接触类型的数目和 A、B 和 C 三种矿物各自的颗粒总数。

应该注意的是，当走线的过程中测线重复进入一个矿物时，为了避免重复，应略去后一种接触。如AC(A)表示A进入C，又从C再次进入同一个A，应略去CA这个接触关系。

在岩石中，当矿物粒度变化较大时，接触频数法较适用，它能有效地排除重复计数的可能。线切法较简便，适用于粒度相对均匀的岩石，走线时应保持两线间的宽度不小于薄片最大矿物的直径。统计的接触数目应足够大，且对于任何一种接触类型，其数目不能小于5；对于亚晶界则不计其数。由于重结晶造成的边界必须计数，对于某些被包裹在其它矿物内的矿物，所造成的接触类型一般不计其数目。

2.3 混合岩中矿物极端分散度的求法

只要同类接触的表面张力 ν_{ii} 大于异类接触的表面张力 ν_{ij} ($i \neq j$) (表面能 E 与 ν 及矿物表面积 A 满足如下关系： $E = A \cdot \nu$)，则以下的推导和结论是正确的。设某岩石主要由 A、B、C 三种矿物构成，它们的颗粒数分别为 N_A 、 N_B 和 N_C ，且 $N_A + N_B + N_C = N$ (总颗粒数)，下面分两种情况讨论：

(1) 当 $N_A \geq N_B + N_C$ 、 $N_A \geq N_B \geq N_C$ 时，第一步是 N_A 个 A 产生 N_A 个 A-A 接触；第二步是把 N_B 个 B 插到由 A 组成的链中；因要保持最分散，则每一个 A-A 接触中只能插入一个 B，这样就产生了 N_B 个 A-B 和 N_B 个 B-A 接触；第三步是再插入 C，即先隔开剩下的 A-A 接触，而 $N_A \geq N_B + N_C$ ，故有 $N_{AA} = N_A - (N_B + N_C)$ ， $N_{AB} = N_{BA} = N_B$ ， $N_{AC} = N_{CA} = N_C$ ， $N_{BB} = N_{CC} = N_{BC} = 0$ ；相应接触类型的极端概率值 (P_{ij}^0) 为： $P_{AA}^0 = [N_A - (N_B + N_C)]/N = a - b - c$ ； $P_{AB}^0 = P_{BA}^0 = 2b$ ； $P_{AC}^0 + P_{CA}^0 = 2c$ ； $P_{BB}^0 = P_{CC}^0 = P_{BC}^0 + P_{CB}^0 = 0$ ；其中 a、b、c 分别是矿物 A、B、C 的百分含量 (下同)。

(2) 当 $N_A \leq N_B + N_C$ 、 $N_A \geq N_B \geq N_C$ 时，思路与 (1) 类似，其结果为： $N_{AA} = N_{BB} =$

$N_{CC}=0$; $N_{AC}+N_{CA}=2(N_A-N_B)+(N_B+N_C)-N_A=N_A-N_B+N_C$; $N_{AB}+N_{BA}=2(N_A-N_C)+(N_B+N_C)-N_A=N_A-N_C+N_B$; $N_{BC}+N_{CB}=N_B+N_C-N_A$; 相应的概率值(P_{ij}^0)为:
 $P_{AA}^0=P_{BB}^0=P_{CC}^0=0$; $P_{AC}^0=P_{CA}^0=a-b+c$, $P_{AB}^0=P_{BA}^0=a-c+b$; $P_{BC}^0=P_{CB}^0=b+c-a$ 。

以上就是求极端分散度 P_{ij}^0 和 P_{ij}^1 ($i \neq j$) 的公式。

3 矿物空间分布研究的数据处理和混合岩成因判定

3.1 数据处理及混合岩成因的初步判定

下面仅以线切法为例阐明矿物空间分布研究的数据处理和混合岩成因判定的原理及在大别杂岩中混合岩研究中的应用。用求积仪可求得A、B、C三种矿物的颗粒数 N_A 、 N_B 、 N_C 和颗粒接触数 N_{AA} 、 N_{BB} 、 N_{CC} 、 $N_{AB}+N_{BA}$ 、 $N_{AC}+N_{CA}$ 、 $N_{BC}+N_{CB}$ (统计的颗粒接触数应足够大,最好大于1000,且任何一种接触类型的数目应大于5),这就求得了二组颗粒接触概率值:其一是实测的,即 P_{AA} 、 P_{BB} 、 P_{CC} 、 $P_{AB}+P_{BA}$ 、 $P_{AC}+P_{CA}$ 、 $P_{BC}+P_{CB}$;另一是由前面第二部分中的公式计算的,即 P_{AA}^0 、 P_{BB}^0 、 P_{CC}^0 、 $P_{AB}^0+P_{BA}^0$ 、 $P_{AC}^0+P_{CA}^0$ 、 $P_{BC}^0+P_{CB}^0$ 。原则上讲,只要比较二组概率值即可判定浅色体的成因;如以同类接触概率比较,若 $P_{AA}>P_{AA}^0$ 、 $P_{BB}>P_{BB}^0$ 、 $P_{CC}>P_{CC}^0$,则浅色体为岩浆注入或重熔成因。反之亦然。由于地质过程是复杂的,即使是典型的岩浆岩,其矿物成核也并非绝对均匀的,故需把上述方法与岩浆岩中的情况作对比(即校正矿物成核的非理想性)才能应用。作者采用文中的方法对北京周口店花岗闪长岩体(a_{14} 、 a_{10})做了同样的颗粒接触分析,结果表明 P_{ii} 、 P_{ij} 与 P_{ii}^0 、 P_{ij}^0 ($i \neq j$)有偏差;利用该偏差进行混合岩成因分析,即若混合岩的 P_{ii} 、 P_{ij} 与 P_{ii}^0 、 P_{ij}^0 的偏差在典型的岩浆岩偏差范围之内,则该混合岩为重熔和岩浆注入成因,反之为变质分异和交代成因。

对采自大别杂岩中的10个混合岩浅色体样品作矿物空间分布研究,其结果列于表2。从表中看出, D_1 和 D_2 号样品未达到岩浆阶段,因为矿物接触类型的概率值偏离了典型岩浆岩所处的范围。显然,它们的成因是变质分异或交代作用;而 D_3 — D_{10} 号样品的浅色体是达到岩浆阶段,故它们的成因是重熔或岩浆注入。至于变质分异与交代作用或重熔与岩浆注入机制的区分,这是矿物空间分布研究不能解决的问题,必须借助于其它方法,如质量平衡计算^[14]和地球化学方法^[15]。

3.2 质量平衡计算方面的证据

大别杂岩中条带混合岩的质量平衡计算结果表明^[19,20],浅色体为普通花岗岩和石英正长岩等的富钾混合岩是在开放体系中形成的,即它的成因类型为交代作用或岩浆注入。浅色体为石英闪长岩和英云闪长岩等的富钠混合岩可形成于封闭体系或开放体系,即本区不是所有的富钠条带混合岩都可由毗邻的古成体(Preexisting rock)衍生而来。

3.3 地球化学和温压计方面的证据

混合岩浅色体是否经历过重熔,还可用常量和微量元素相结合的方法进行判断^[19]。经过重熔的浅色体比未经重熔的浅色体更富 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 TiO_2 ,而贫 SiO_2 。微量元素的比较采用配分图解,但标准化数据不是采用球粒陨石,而是混合岩原岩的数据。重熔浅色体比非重熔浅色体富含不活动和不相容元素,如LREE, Th, Hf和Zr。采自大别杂岩中的10个浅色体样品和一个邻近的古成体的地球化学^[19]表明,被矿物空间分布证明达到岩浆阶段的浅色体

表 2 大别杂岩中混合岩矿物空间分布的接触类型概率值
Table 2 Probabilities of the contacts between minerals in migmatites of Dabie complex

样号	a_{10}	a_{10}^0	Δa_{10}	a_{14}	a_{14}^0	Δa_{14}	D_1	D_1^0	ΔD_1	D_2	D_2^0	ΔD_2	D_3	D_3^0	ΔD_3	D_4	D_4^0	ΔD_4	
概率																			
P _{QQ}	0.1471	—	0.1471	0.3438	0.4842	-0.1404	0.0376	—	0.0376	0.0968	—	0.0968	0.1932	—	0.1932	0.0089	—	0.0089	
P _{HH}	0.0392	—	0.0392	0.1313	—	0.1313	0.0902	—	0.0902	0.0645	—	0.0645	0.0085	—	0.0085	0.0804	—	0.0804	
P _{PP}	0.1471	—	0.1471	—	—	—	0.1880	—	0.1880	0.1390	—	0.1390	0.3381	0.1108	0.2273	0.0804	—	0.0804	
P _{QQ+QP}	0.2647	0.3084	-0.0437	0.4875	0.3655	0.1220	0.2630	0.3684	-0.1354	0.2939	0.4660	-0.1721	0.4119	0.8238	-0.4119	0.1250	0.1339	-0.0089	
P _{QH+HQ}	0.2549	0.5328	-0.2779	0.0125	0.1503	-0.1378	0.1955	0.1354	0.0601	0.1971	0.2186	-0.0215	0.0256	—	0.0256	0.1071	0.1339	-0.0268	
P _{HR+PH}	0.1470	0.1588	-0.0188	0.0310	—	0.0310	0.2556	0.4962	-0.2406	0.2079	0.3154	-0.1075	0.0270	0.0654	-0.0384	0.5982	0.7322	-0.1340	
样号																			
概率																			
P _{QQ}	0.1136	—	0.1136	0.0506	—	0.0506	0.3451	0.2511	0.0940	0.2992	0.1013	0.1979	0.0500	—	0.0500	0.0473	—	0.0473	
P _{HH}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0333	—	0.0333	—	—	—	
P _{PP}	0.0409	—	0.0409	0.2785	0.3737	-0.0952	0.0265	—	0.0265	0.0417	—	0.0417	0.2500	0.1333	0.1167	0.0452	—	0.0452	
P _{QR+PQ}	0.2045	0.1952	0.0093	0.5190	0.4620	0.0570	0.3982	0.5110	-0.1128	0.3756	0.6666	-0.2910	0.3333	0.4666	-0.1333	0.2160	—	0.2160	
P _{QH+HQ}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0333	—	0.0333	—	—	—	
P _{HR+PH}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.3000	0.4000	-0.1000	—	—	—	
P _{QR+KQ}	0.3818	0.5470	-0.1652	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.3408	0.5810	-0.2402	
P _{KK}	0.1182	—	0.1182	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1355	0.0952	0.0403	
P _{PK+KP}	0.1409	0.2578	-0.1169	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2096	0.3238	-0.1142	
P _{BB}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0104	—	—	—	—	—	—	—	—	
P _{QB+BQ}	—	—	—	—	—	—	0.1681	0.2378	-0.0679	0.1273	0.2321	-0.1048	—	—	—	—	—	—	
P _{PB+BP}	—	—	—	0.1519	0.1646	-0.0127	0.0619	—	0.0619	0.1458	—	0.1458	—	—	—	—	—	—	

* 表中字母下标的含义: Q 为石英, P 为斜长石, H 为角闪石, B 为黑云母, K 为钾长石; 样号上加“0”表示计算出的接触类型概率值; “Δ”表示不存在此接触类型或概率值为零; “Δ”表示概率差值。

是重熔成因的。

经黑云母-角闪石矿物对和二长石矿物对地质温度计^[24]和角闪石地质压力计^[22-24]求得未达到岩浆阶段的混合岩形成的平均温度为 552℃, 压力为 0.44GPa; 达到岩浆阶段的混合岩形成的平均温度为 750℃, 0.44GPa^[19]。

3.4 混合岩的成因

大别杂岩内混合岩的质量平衡、矿物空间分布、地球化学和矿物对温压计方面的证据综合表明, 大别杂岩内的混合岩主体成因机制是重熔和交代作用, 其成因模式为“热异常诱导早期交代, 交代诱导重熔, 最后是重熔期后的交代”^[19]。

4 讨论

矿物空间分布研究不仅为研究混合岩的成因提供一种定量方法。而且, 已有的成果^[16-18]表明, 岩石中矿物空间分布的特征参量 P_i 和 P_i^0 能有效地作为一结构参量 (Texture Parameter) 对比不同成因的岩石, 揭示岩石成因和结构变化规律。此外, 结构参量还可用来描写条带混合岩中矿物在空间上的演变过程, 即混合岩中的条带是如何从各向异性的变质岩 (平衡参考态, Equilibrium reference states) 演变而来^[16]。这就涉及演变过程 (自组织过程) 的非理想、非平衡和非线性的动力学研究, 该方面的研究正处于探索阶段。但现已取得的成果^[17-21]表明, 该领域的研究具有广阔的前景。

游振东和韩郁菁教授给予了指导, 与吴金平副教授作了有益的讨论, 在此一并致以谢意!

参 考 文 献

- 1 De Wore G W. Role of minimum interfacial free energy in determining the macroscopic features of mineral assemblages—I. The model. *J. Geol.* 1959, 67(2): 211—227.
- 2 Kretz R. Interpretation of the shape of mineral grains in metamorphic rocks. *J. Petrol.* 1966, 7(1): 68—94.
- 3 Kretz R. Grain-size distribution for certain metamorphic minerals in relation to nucleation and growth. *J. Geol.*, 1966, 74(1): 147—173.
- 4 Kretz R. On the spatial distribution of crystals in rocks. *Lithos*, 1969, 2(1): 39—66.
- 5 Flinn D. Grain contacts in crystalline rocks. *Lithos*, 1969, 3(2): 361—370.
- 6 Spry A. *Metamorphic texture*. Oxford: Pergamon Press, 1969, 15—102.
- 7 Vernon R H. Comparative grain-boundary studies of some basic and ultrabasic granulites, nodules and cumulates. *Scottish J. Geol.* 1970, 6(2): 337—351.
- 8 Ehrlich R., Vogel T A, Weinberg B, Kamilli D, Byerly G and Richter H. Texture variation in petrogenetic analysis. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1972, 83(3): 665—676.
- 9 Karlsson G. Wahlgren C H. A Statistical investigation of grain contacts in a migmatite. *Neues Jb. Miner.* Mh. 1982, 2: 348—360.
- 10 Ashworth J R. *Migmatites*. USA: Chapman and Hall, 1985.1—352.
- 11 Atherton M P, Gribble C D. *Migmatites, Melting and Metamorphism*. UK: Shiva Publishing Limited, 1983.1—282.
- 12 Dougan T W. Textural relations in melanosomes of selected specimens of migmatitic pelitic schists.

- Implications for leucosome-generating process. *Contrib. Miner. Petrol.*, 1983, 83(1): 82—98.
- 13 刘景波,混合岩矿物空间分布研究.地质科技情报,1988,7(3):95—101.
 - 14 Olsen S N. Mass-balance and mass-transfer in migmatites from the Colorado Front Range. *Contrib. Miner. Petrol.* 1984, 85(1): 30—44.
 - 15 Sawyer E W, Barnes B J. Temporal and compositional differences between subsolidus and anatectic migmatite leucosome from the Quctico metasedimentary belt, Canada. *J. metamorphic Geol.* 1988,6(3): 437—450.
 - 16 王江海,游振东.耗散结构理论在研究混合岩中的应用.地学探索,1988,1(1):8—15.
 - 17 Ortoleva P, Merino E, Strickholm P. Kinetics of metamorphic layering in anisotropically stressed rocks. *Am. J. Sci.* 1982, 282(5): 619—643.
 - 18 Dewers T, Ortoleva P. A coupled reaction-transport-mechanical model for intergranular pressure solution, stylolites and differential compaction and cementation in clean sandstone. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1990, 54(6): 1609—1625.
 - 19 王江海.大别杂岩的早期演化及混合岩成因机制.武汉:中国地质大学出版社,1991.61—98,7—18.
 - 20 王江海.大别杂岩中条带混合岩的质量平衡研究.岩石学报,1993,9(1):1—13.
 - 21 Wang Jianghai. The new method for studying the mineral spatial distribution of migmatites. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37(7): 593—597.
 - 22 Hollister L S, Grisson G C, Peters E K, Stowell H H, Sisson V B. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calcalkaline plutons. *Am. Miner.* 1987, 72(2): 231—239.
 - 23 Hammartron J M, Zen E-an. Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *Am. Miner.* 1986, 71(11—12): 1297—1313.
 - 24 张儒璠,从柏林.矿物温度计和矿物压力计.北京:地质出版社,128—137,154—164,165—173.

The Spatial Distribution of Minerals in Migmatites of Dabie Complex

Wang Jianghai

(Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry,
Academia Sinica, Guiyang 550002)

Key words: migmatites; spatial distribution of minerals; extreme dispersion degree; Dabie complex

Abstract

In this paper, the author introduces the basic principle of mineral spatial distribution in migmatites, i. e. minerals in leucosomes which have reached the magmatic stage are spatially characterized by random distribution, whereas those in leucosomes from solid materials exhibit aggregate distribution; besides,

he presents two statistical methods, namely contact-frequency method and line-transection method. A study of mineral spatial distribution in migmatites suggests that there exist defects and limitations in the statistical method put forth by previous workers. The author has deduced the equation for calculating probabilities of mineral contact types and also defined the extreme dispersion degree as the probabilities of mineral contact types in the extremely dispersed state of minerals within a rock. Minerals show aggregate distribution in a few leucosomes, but are characterized by dispersed distribution in the overwhelming majority of leucosomes. The evidence obtained from mass balance calculation, geochemical studies and mineral thermobarometer reveals that the genetic mechanism of the migmatitic complex with thermal centers is anatexis and matasomatism, with the genetic model being "the early stage metasomatism induced by thermal anomalies, the main stage anatexis induced by the early stage metasomatism, and the last stage post-anatexis metasomatism".

www.yskw.ac.cn