

$$\text{菱铁矿层} \textcircled{3} 0.96784 H \delta = 0.122784 \left[T_{\text{恒}} + \frac{t(H-h)}{100} \right] - 16.610$$

式中: H 是形成缝合线岩层的埋深(米); δ 是形成缝合线上覆岩层的密度(g/cm^3); $T_{\text{恒}}$ 是恒温层温度(K); h 是恒温层深度(m); t 是地温梯度($^{\circ}\text{K}/100\text{m}$)。

已知 δ 、 $T_{\text{恒}}$ 、 h 、 t , 便可计算出灰岩、白云岩和菱铁矿层中缝合线形成的最高临界温度和最低临界压力及最小埋深。计算时注意单位统一。

例如重庆地区恒温层温度为 291°K , 深度为 27m 。地温梯度为 $3^{\circ}/100\text{m}$ 。地壳上部岩石平均密度为 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$ 。本文制片研究的石灰岩中缝合线形成的最高临界温度 T_c 、最低临界压力 P_T 和最小埋深 H 分别为: $H=54.44\text{m}$; $T_c=291.82^{\circ}\text{K}$; $P=13.963\text{atm}$ 。

3. 结论 综上所述, 应用热力学原理研究缝合线成因能反映形成缝合线的本质。同时也证明了缝合线压溶说成因论是正确的。碳酸盐岩要形成缝合线必须同时具备下列四个条件:

(1) 岩石温度和承受地应力符合 P_T - T_p 图或上述石灰岩①、白云岩②、菱铁矿层③直线方程式。(2) 岩石要有足够的孔隙度和渗透率, 保证溶液由浓度大的原地运行到浓度小的异地, 迅速形成浓度梯度, 溶质不断溶解。(3) 岩石孔隙中要有富含 CO_2 流动性水溶液, 使溶质溶解, 从浓度大的原地随着水溶液流向浓度小的异地, 不断降低饱和溶液的浓度, 不断补充 CO_2 的消耗量, 溶质才能继续溶解。(4) 岩石中要含微量比最主要矿物难溶或不溶的矿物杂质。

耗散结构与地球综合场理论的实际意义

李嘉林

(兰州大学地质系)

60年代以来, 非平衡态热力学与非平衡态统计力学取得突飞猛进的发展, 并很快向其它科学领域渗透。它将物理学、化学、生物学、地质学、宇宙科学、人体科学、生理学、病理学等连接起来, 填平了自然科学与社会科学之间的鸿沟。耗散结构理论就是在这样的背景下建立与发展起来的。在1967年召开的第一届“理论物理与生物学”的国际会议上, I. Prigogine教授正式提出了“耗散结构”(Dissipative Structure)一词。其根本含义在于, 这种有序化结构的形成, 与物质和能量的交换密切相关, 并与能量耗散共存亡。因此, 它是一种发展中的活的结构, 与基于Boltzmann有序原理的平衡结构(如晶体与液体)存在本质区别。耗散结构形成于同一物态体系之中, 与物态间的平衡相变毫不相干。因此, 其另一基本条件就是体系的非平衡状态, 而且这一非平衡态作用过程不是趋向平衡而是离开平衡(即存在负熵流), 最后达到消除了热力学惯性的远离平衡区。只有这样, 才有可能使微

扰产生的热力学量的涨落，由相干效应发展成为巨涨落，形成稳定的新的有序化结构。对于由各种化学振荡和物理化学振荡产生的突变耗散结构（如文象、条纹、条带，Liesegang环以及其它各种美丽花纹），还必须基于非线性动力学的作用。只有多解性的存在，才能产生相干的效应，才会出现质的突变。

非平衡态作用过程大致上可划分为两种类型。即化学反应型（如化学反应、光合作用、热核反应等）与扩散型（如各种能量的传导，以及物质的各种扩散作用：浓度扩散、热扩散、压力扩散、电渗透等等）。前者为非线性的，是产生突变耗散结构的基础。后者可视为线性的，一般只形成渐变有序化结构（某些特殊条件下有例外），如温差分离效应、电解电池、电渗析等等。显然这里物质流产生于能量梯度（即力）的存在，同时由能量流所维持着，若作用力撤销，有序化即将消失，因而亦具有耗散结构的基本特征。

非平衡态作用过程是一切事物发展的根本所在。宇宙的演化、星系的形成、地球的产生、生命的起源、人类的出现，总的趋势是有序化程度越来越高，结构越来越复杂。地球这个大系统经历了数十亿年的非平衡态有序化作用过程（自组织作用过程），才成了今天的面貌。其中化学反应型与扩散型作用紧密相关，相互影响相互包容。而对于大范围空间的高级有序化来说，显然扩散型作用是主导因素，其中常包容复杂的平衡相变与非平衡相变，如地球的分圈，各类岩石和矿床的形成等等。而非平衡相变则主要控制岩石矿石的有关结构与构造的生成。至于平衡相变与平衡结构，只是局部空间范围的暂时现象，并亦包容在扩散型作用过程之中。其重要意义在于，它是基本的物质存在实际状态，是非平衡态作用过程及有关理论异出的基础，非常影响所谓“混合结构的”形成，同时也是各阶段耗散结构得以暂时保存的重要条件。因此，对地球物质发展演化规律的探讨，显然首先应考查各级扩散型作用过程，而将各种相变容于其中。由此看来，考查各种物质和能量的力和流的交叉作用和演化规律是我们的首要任务，以达到建立地球综合场（包括各种物质场和能量场）的目的。根据有关扩散方程可以导出各种元素的运移特性参量为半径（相对体积粘度）、体积度（相对比容）、比焓、离子电位等。同时也导出组分运移分异的基本规则，即在压力场作用下，高粘度体系中（包括不连续岩石毛细孔隙），小半径粒子趋低压；低粘度体系中（包括连续断裂及裂隙与节理等），大比容粒子趋低压。在温度场作用下，小比焓值组分趋低温。在电场作用下，高电位质点趋低电位空间，如此等等。

过去讨论地球物质（包括成岩成矿规律）的有序化规律，多基于平衡相变原理，诸如“富结晶”与“分离熔融”的传统观点。实质上，其具体讨论的只是结晶与熔融的相变规则。至于空间分离，仅有十分简单的设想，如结晶组分必然滞后停聚，熔融组分必然趋前侵入与喷出等等。事实上，在一定动力条件下，先结晶的微粒往往始终分散在熔浆中，如晶形完好的附生铬尖晶石就是一例。现在看来，对许多地质现象解释遇到的困难，根本原因就在于此。例如地壳和月壳结构，现今测得深部Si、Al含量并不低，反而月球表面主要是玄武岩，同时地球现代火山喷发也主要是玄武岩浆。再如一定阶段的岩浆喷发顺序一般是先基后酸（如冰岛、菲律宾等地），这些都与分离结晶和分离熔融的观点相违背。而我们根据综合场基本原理，推得混合岩浆在运移分异过程中将出现一个基性锋，使上述难题迎刃而解。再如对拉斑玄武岩和碱性玄武岩微量组分的研究发现，前者的K/Rb值较后者高许多，同时平衡实验证明只有角闪石能够影响K/Rb值的明显变异，若要出现上述实际结果，需要有90%

的角闪石结晶,这显然是不可能的。根据综合场理论分析,高K/Rb值反映相对低压环境,而拉斑玄武岩浆组分较之碱性玄武岩浆组分恰好是相对趋低的。再如稀土元素分配规律的研究,发现轻稀土趋碱性玄武岩而重稀土趋拉斑玄武岩,这与它们在直辉石中的分配趋势相一致,似乎可以认为碱性玄武岩可能由拉斑玄武岩分离结晶形成。但是相平衡实验结果,发现两种组成之间存在不可跨越的热垒。因而有人设想可能存在某种气态迁移分离,具体机制不明。面对这样的困难,P·W·Gast根据平衡相图获得的组成提出:拉斑玄武岩是由地幔部分熔融15—30%而成,碱性玄武岩则由同一地幔部分熔融5%而致。但是困难在于,这个百分成分如何才能封闭起来达到地表而无任何改变。类似的困难,普遍存在于各种常用的化学特征值(包括同位素)的静态对比分析之中,不一一列举。事实上,若用地球综合场基本原理分析,很容易发现在高粘度体系中La-Lu系列与K、Na-Al-Ca-Mg、Fe系列的运移分异趋势基本一致,因而它们在上述两种岩石中的分配趋势也完全相同,就应该是理所当然的了。由此可见,现今存在的各种组分的分布与分配特征,是历史的非平衡态作用过程的阶段结果,绝非封闭的神奇空间转移,若以此推断其物质来源,置中间过程于不顾,显然是值得商榷的。

关于成矿作用,过去也只注意各种平衡相变分离,虽常联系各种化学反应,但分析的重点仍在于最后的相变条件。如所谓隔挡层、动力减弱构造部位(如拐弯、分叉等),以及反应物、催化剂、氧化剂、还原剂、吸附剂的存在等等,可概括为广义的“障”和“过滤效应”(包括物理的与化学的)。对于成矿物质来源也有一定程度的分析,如矿源层(包括生油层)、含矿岩浆等的存在。上述种种,几乎就是全部的所谓成矿与找矿前提,而对于非平衡的中间运移集散过程则考虑甚少,或只有泛泛的形态推理(如所谓导矿构造)。这恰如渔民捕鱼,网再尽善尽美,若不下到鱼群经过的地方,定难收到良好效果。事实上,即使有了矿源层,若缺乏相应的运移分异的动力学条件,恐亦难富集成矿。同时成矿规模的大小,显然亦与作用力(有关能量场)的强弱、形态特征、分布空间范围与组合叠加关系密切相关。如同样的封闭构造条件,若置于强度均匀的能量场中,必然收效甚微;若置于物质流的高强度部位,必然收效较好;若出现能量场的正负点源,构成成矿物质流的点汇,显然效果最佳。若同时存在多种推动成矿物质分异聚集的点源叠加,甚至压力场的正负点源套生,造成不同精度条件下成矿组分的多阶段连续分异聚集,则可能是形成特大型(甚至超大型)矿床的必要条件。甘肃金昌CuNi矿床与白银Cu矿床折腰山主矿体的古能场研究表明,情况正是这样。

由此看来,根据上述基本原理,我们即可应用古综合场测量的方法,进行成矿预测与找矿,此亦可称为物理地球化学找矿法。

