

花岗岩浆宏观过程非线性分析

李人澍*

(西北有色地质研究所, 西安)

提 要: 花岗岩成矿系统是地球自相似系统的典型, 因袭了地球高能量动热-熔融物质系统的基本特征, 成矿潜力为诸系统之冠。该系统具有岩浆起源、分凝、侵位、成矿准备、物质演化成矿与热演化成矿等层次。每个层次又有多级因素集; 层次间、因素间存在复杂的非线性相互作用。花岗岩浆的物质与热演化相交织并有时差, 构成花岗岩浆演化成矿的两条主线。花岗岩浆与内环境、外环境、大环境进行密切的物质能量信息交换。三重环境的非线性组合促进或干扰花岗岩浆成矿作用。花岗岩浆作用的高度自组织性是其强大聚矿力和构成成矿系统网络的依据。在各层次模型和因素集基础上建立了花岗岩浆活动非线性模型。

关键词: 花岗岩浆成矿系统 花岗岩浆物质演化与热演化 内环境 外环境 大环境

1 花岗岩浆成矿系统——地球自相似的典型

花岗岩类是类地行星中独有的岩石, 是高度演化的地球一大特色。花岗岩浆活动时空域广大绵长, 从太古代延续至今, 是地球出露最广泛的岩浆岩。花岗岩浆活动是地球演化的重要营力, 对地壳形成起重要作用, 它与大地构造运动和区域变质等地球运动形式紧密联系相互促进转化。在演化过程中与环境中的岩石同化混合混染, 形成复杂的花岗岩类与成矿系统, 它包括广义亲花岗岩矿床和花岗岩浆热演化改造矿床。后者的成矿潜力被长期忽视。HHP 花岗岩浆的热力机作用对多类矿床成矿的贡献将延续到地球活动史的结束。花岗岩浆的重要成矿能力应归因于它是地球最相似的系统。花岗岩浆的主体是地壳重熔的产物, 重熔源岩组合具有随机性和复杂性, 与冷星子吸积过程可比拟。据信放射热是地壳重熔的主要热源, 与地球早期熔融模式相似。岩浆冷却过程中又产生与地球类似的不完善圈层块带分异样式。而花岗岩浆的强大气液分异与地球三脱作用类似。在各地质系统过程中只有花岗岩浆出现最彻底的熔融态, 它有利于既成矿岩解体重组, 使多种重金属聚集体得以形成, 与重元素在宇宙核事件温压达很高值时才出现相似。花岗岩浆的强大成矿和改造环境能力无疑肇源于地球母体, 继承了它的行为模式, 产生了与地球过程相似的成矿事件。

2 花岗岩浆宏观活动的非线性特征

2.1 花岗岩浆成矿系统六层次及层次间因素间的非线性相互作用

花岗岩浆成矿系统是多层次多因素复杂系统。层次指花岗岩浆演化中形式由简至繁、机

* 李人澍, 男, 73 岁, 教授级高工, 西北有色地质研究所高级技术顾问, 从事矿床及区域成矿研究。邮政编码:

制由粗糙到精微、系统边界从无到有、成矿物质由分散到集中、结构由不定型到完善的系统状态的模糊划分。岩浆起源是事实依据最不充分的层次；岩浆的分凝层次是岩浆从无到有的过程，是岩浆信史的开端。当岩浆分凝达一定规模具上升侵位能量时，初始熔浆团形成，标志着第三层次的开始。岩浆上升侵位是与环境物质能量交换最频繁、发展方向不定的关键层次。成矿准备横跨于第三和第五层次之间具中介性质。侵位与成矿之间隔可长可短，成矿准备层次有时缺失。亲花岗岩成矿（第五层次）重要性自明。第六层次是 HHP 花岗岩成矿期。普通花岗岩这一层次一般不存在。每个花岗岩浆体都以特有的方式经过这 6 个层次。

花岗岩浆各演化层次的因素间都带有一因多果、一果多因、因果交叉反馈的非线性特征。如在分凝机制中，熔体的对流作用（因 1）破坏源区岩石的残余分层结构（果 1），使残晶分散，降低残余分层屈服强度（果 2）。屈服强度降低又有利于熔体对残余层的进一步破坏。这样果 2 通过果 1 以负反馈形式反作用于因 1，促使系统向扩大熔体比，增加熔浆活动性方向发展。此时果 2 转化为因 2 反作用于果 1 和因 1。熔融区如缺乏外部热源，则对流作用愈强反而导致熔融带冷却，抑制对流作用对残余分层的破坏作用，妨碍分凝顺利实现，成为正反馈作用。由此可见，多层次多因素间的交叉反馈是产生花岗岩浆非线性过程的重要原因。花岗岩系统各层次都有多个次级因素集，单是决定岩浆结构聚合程度一项至少有 6 级。聚合度决定于阳离子、挥发分等多组分的状态。挥发分又由功能相颌颞的一系列组分组成，它们对聚合度的影响以非线性方式组合，其总结果难以预测。譬如 Fe^{3+} 到底起造网或变网作用取决于 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ ，但又不与这一比值简单线性相关。每一因素都没有固定不变的功能态，一切取决于岩浆诸因素和环境因素（ P 、 T 、 f_{O_2} ）的非线性组合。

2.2 花岗岩浆物质演化与热演化——贯穿花岗岩浆活动的两条主线

花岗岩浆物质演化的路径总是通过一系列分岔而达到演化的目的点（环）而成矿。为简化，从成矿花岗岩形成的一支开始考察，可分为贫气液和富气液两支。后者经由气液分异主支和下一级成矿准备良好分支进入成矿域。进而因岩浆气液内压大小而分为重要性和成矿特征有异的两支，此后分岔还可继续，直到花岗岩寿命终结。在每个分岔点，系统向何处去由系统和环境状态决定，而两者都是复杂因素的非线性组合，既具强烈随机性又具地质构造演化和降温总趋势的某种确定性理化过程支配。花岗岩浆物质演化存在多次分异—掺和成岩成矿过程（图 1）。第一次分异形成初始熔浆团，第一次掺合使岩浆壮大，后果好坏难以预测；第二次分异出现成矿流体，第二次掺合出现成矿契机，但也可稀释成矿流体或过早分散沉淀；第三次分异造就成矿系统。这种多次分合能否进行到底取决于岩浆及环境非线性因素的影响。说成功是模式，倒不如说失败是常规。

花岗岩浆热演化始于初始熔浆团诞生之后，而于物质演化终结后长期延续。初始岩浆近于绝热上升，进入地壳较高位置后，地温梯度变陡、岩浆降温加速，与围岩物能交换增强，在降温大趋势下可出现随机的小幅度升温（与高温岩浆相遇）。后期，岩浆粘度大增，温度接近固相线，上升能量衰竭。侵位后进入稳定地温场和固定围岩环境，冷凝外壳成为系统边界，保持系统热能并促进物质稳定演化。此前，它仅以热耗换取空间和上升速度，与成矿物质演化关系不密切。岩浆进入高位后，水过饱和 2 次沸腾造成的热膨胀又产生热致裂及水力致裂，热接触变质又形成易碎易交代岩石，介入了成矿准备过程。此外，溶液不混溶及不同溶液体系相遇发生沉淀等成矿机制也需要降温条件；碱交代及蚀变分带的更替也与热演化有

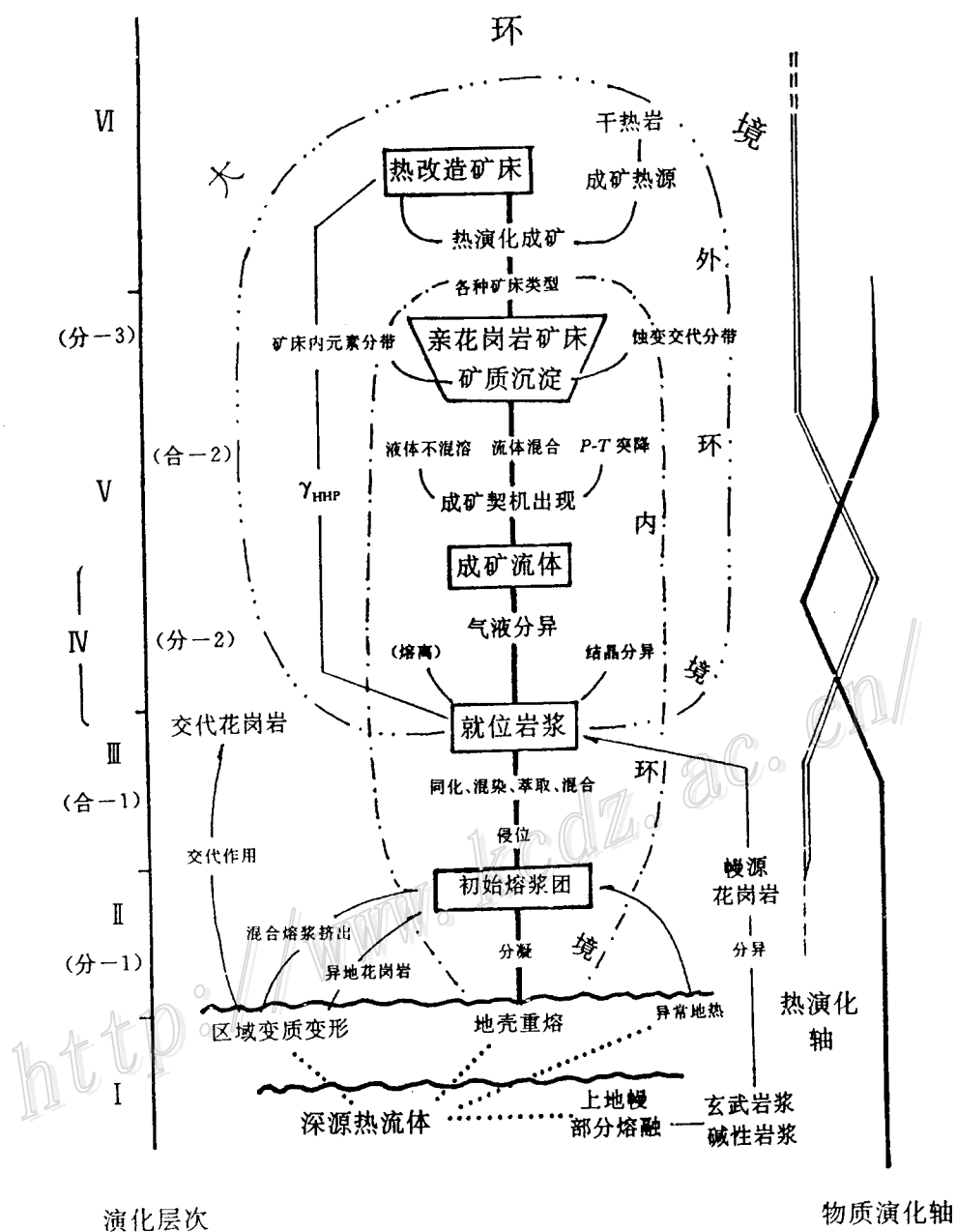


图1 花岗岩浆非线性成岩成矿概念模型

关。即使岩体凝固，HHP 花岗岩还将长期进行热改造成矿。由上可知岩浆热演化对物质演化起背景和诱导作用，二者相交织促进成矿作用。故可把热演化与物质演化看作两条有分有合、起止点不同而贯串于花岗岩浆活动各层次的演化主线（图1）。

2.3 与三重环境相互作用的花岗岩浆成岩成矿过程

岩浆是从环境逐步分离所产生的。初始熔浆团形成后，残留分层及残晶加入系统内环境，它影响岩浆流变学性能，残晶之间互相接触时岩浆粘度将大增。岩浆侵位过程混入的围

岩构成新的内环境, 制约上升能力, 并使岩浆组成向有利或不利于含矿岩浆形成方向摆动。岩浆就位后冷凝壳形成稳定的内环境。它首先表现为岩浆流体压力, 当它大于静岩压力或与其平衡会出现岩体内的交代成矿; 小于静岩压力将生成脉矿。其次表现为岩浆热状态, 它提供岩浆成矿分异和热致裂、水力致裂的条件。岩浆外环境是直接包围它的地质系统, 是与其进行物质能量交换的对象。围岩压力影响成矿的方式; 围岩中的流体可向岩体(熵增)方向输运, 增加岩体含水性。当矿化围岩、无矿围岩蚀变与矿层形成互层带时, 外环境就转化为内环境, 指示成矿系统与外环境相互作用的强度和性质。此时外环境成为系统开拓边界的过渡带。故外环境可起正、反和中性作用, 具非线性特征。大环境是决定花岗岩成矿系统形成、演化趋势和成矿能力的地质大系统。不同构造-热系统产生不同的花岗岩浆类型; 区域构造应力状态又控制岩浆分凝机制和侵位方式; 区域温压条件决定岩浆部分熔融的深度和化学组成; 小而影响晶体间的界面能, 决定压实分凝作用能否实现。岩浆对大环境也有反作用, 如熔体诱发断层作用, 加强碎裂流动和位错蠕变以改变岩石流变学性能。总之, 内环境主要影响岩浆自身, 与外环境交互影响大体均衡; 外环境只修改系统细节, 其影响略大于系统; 大环境控制系统, 系统只有微弱反作用。3种环境以非线性方式联结使岩浆体走向不同的归宿。

2.4 高度自组织的花岗岩成矿系统——强大聚矿功能的根据

典型的亲花岗岩矿床有: 斑岩型、夕卡岩型、云英岩型和脉型矿床; 其成矿作用对难熔难解离元素产生了有效聚集。经研究, 许多与花岗岩有空间联系的矿床如小秦岭金矿带, 招掖金矿区, 加拿大苏必利尔金矿区, 东坪金矿床和八卦庙金矿床等都有花岗岩类提供了热源, 说明花岗岩类具有强大的第二成矿力。花岗岩浆巨大成矿力与其高度自组织力有关。首先, 花岗岩浆是强大高温动-热物质体系, 其演化毋须环境提供矿源、水源和动力使成矿路径减小了曲折; 高热能可经历较长的降温过程保持活跃的化学反应水平。高动能可避免其它体系羁留而完成侵位。庞大体积和复杂组分能缓冲不同地球化学体系的干扰, 使岩浆顺利演化。其次, 系统经历了几乎完全的熔融态, 有利于原子、离子状态的金属的活跃重组。第三, 花岗岩出现真正的系统边界, 有较稳定紧凑的半封闭空间。既不妨碍与环境的物能交换, 又有利于成岩成矿演化。第四, 拥有适应环境改造环境而成矿的能力。花岗岩的适当粘度保证必要的流动性以完成侵位过程与环境中的物质发生成矿反应, 又可保证上侵过程中不致逸散或稀释。因此, 花岗岩可以在各类构造环境下与各类地层相互作用, 在不同理化条件下成矿。

综上所述, 花岗岩浆系统应是成矿巨系统中自组织力最强的系统, 作为花岗岩浆非线性过程的概括, 可把它称作“地球之子”, 并在分层次模型和成岩成矿作用图解基础上试建花岗岩浆非线性成岩成矿概念模型于图1作结。

参 考 文 献

- 1 李人澍. 成矿系统分析的理论与实践. 北京: 地质出版社, 1996.
- 2 马昌前. 花岗岩类岩浆动力学——理论分析及鄂东花岗岩类例析. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.