

## 共(源)岩浆补余分异作用与成矿

COMAGMATIC COMPLEMENTARY DIFFERENTIATION  
AND METALLOGENY

裴荣富

(中国地质科学院矿床地质研究所,北京)

共岩浆是指同源岩浆,并有统一的岩浆库(magma chamber)。补余分异作用则指具有统一岩浆库的共源岩浆,在特定的地质环境下,如多期的、多阶段的、脉动的张性导岩浆断裂构造作用下,或物理化学条件,如逸度和电位势等的变化,可以诱导岩浆分异发生补余效应(complementary effect)。补余分异这一技术术语是作者在“六五”期间研究南岭地区与花岗岩类有关的有色、稀有金属矿床地质时提出的<sup>[1]</sup>。补余效应是指一个熔体(流体)的总组成,在多期(次)的分离过程中,第一期(次)分离体的组成的不足由总组成在第二期(次)分离体予以补余,第二期(次)由第三期(次)补余,依期(次)补余直至达到过程的平衡态出现而停止。这种效应可以用简单的例子来说明,例如一个房间内充满 100 人,A、B 两组各 50 人,两组人都抢先外逃,但分期次,第一次如果 A 组逃出的人多,房间内余下的 B 组人相对多,第二次逃出的人则 B 组人多,房间余下的 A 组人又多了,第三次逃出又为 A 组人多,这种多期次人数多少的互补,就是对总人数的补余。当然,构造岩浆作用是复杂的,但是,在岩浆多期次分异过程中,在岩浆库中岩浆的总组成下,多期分异岩浆的分组呈现互为补充的理论意义是相同的。而且,在大量的野外地质调查记录中,早就发现复式岩体定位(emplacment),在多期次构造岩浆作用下,不同期次岩体互为补充的现象是屡见不鲜的,例如杨超群(1980)早就把与柿竹园超大型钨多金属矿床形成有关的多阶段花岗岩的晚阶段岩体称为补(充)岩体。实际上,补充岩体就是共(源)岩浆补余分异作用的结果。

共岩浆补余分异作用可分为长英质和镁铁质两类岩浆:

与金属矿床有关的长英质岩浆在中国南方最为发育,根据作者与洪大卫最近对华南花岗岩与成矿的研究中<sup>[2]</sup>,将华南花岗岩划分为 6 个岩带,其中湖南-江西-广东岩带和湖南-广西陆内岩带都是南岭花岗岩区由于扬子和华夏两板块碰撞造山(collision orogeny)诱发岩石圈加厚和岩石圈地幔拆离(delamination),同时引起软流圈上涌造成岩石圈重熔,并形成大量同源的壳源 S 型花岗岩岩浆组成的。这类花岗质岩浆上升在统一的岩浆库中,由于多发性的构造断裂的导岩和同源岩浆的补余分异效应,从而形成多期多阶段脉动式定位的复式岩体(pulsatory emplacement composite rock body)补余分异与脉动分异的不同就是它有补余效应。这些补余分异的复式岩体由于受控隆起和拗陷的不同构造单元而形成不同的成矿系列。在隆起区以形成与中到浅成的 S 型花岗岩活动为主的 W-(Sn)-Mo-Bi-Be-U-Nb-Ta-Au-REE 矿床成矿系列;

裴荣富,男,1928 年 8 月生,研究员,现任国际矿床成因协会(IAGOD)主席,中国地质学会矿床地质专业委员会主任,长期从事成矿学研究。邮政编码:100037

在坳陷区以形成与中到深成的高 Al-S 型花岗岩活动为主的 Sn-W-Mo-Bi-Be-Pb-Zn(Cu)-Sb-Hg-As-Nb-Ta 矿床成矿系列。在隆起区成矿系列中形成的世界级超大型的西华山-大吉山 Nb-Ta-黑钨石英脉型矿床所表现的共岩浆补余分异作用最为典型<sup>[3]</sup>。

大家都知道世界著称的西华山黑钨石英脉型矿床产于华南加里东碰撞造山的赣南后造山隆起区,与成矿有关的复式花岗岩体呈岩株状定位于寒武系浅变质的板岩、千枚岩、变余粉砂岩中,出露面积为 19.12km<sup>2</sup>。主要由四个阶段的黑云母花岗岩体组成:第一期为燕山早期第一阶段侵入的斑状中粒黑云母花岗岩( $\gamma_5^{1-1}$ );第二期为燕山早期第二阶段侵入的含斑细粒黑云母花岗岩( $\gamma_5^{2-2}$ );第三期为燕山早期第三阶段侵入的斑状中细粒黑云母花岗岩( $\gamma_5^{3-3}$ );第四期为燕山晚期第一阶段侵入的斑状细粒花岗岩( $\gamma_5^{3-1}$ )。四期岩体基本上是先后穿切的。其中第二期与第三期呈过渡性穿切,即在第二期尚未完全固结的状态下受第三期侵入,因此第二期矿化又受第三期矿化的混同,所以,虽然每期岩体均有矿化,但第三期岩体成矿相对富集。四期岩体总组成和各期次的分组成基本上是相同的(见表 1),是属高硅富碱的长英质岩浆,结合岩体产

表 1 西华山不同期次岩体平均化学成分

岩体	样数	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>2</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	灼失	总计
$\gamma_5^{1-1}$	3	76.37	0.04	12.09	0.18	1.22	0.11	0.20	0.75	3.73	4.46	0.05	0.66	99.86
$\gamma_5^{3-3}$	14	75.47	0.05	12.69	0.34	1.25	0.10	0.27	0.68	3.83	4.52	0.07	0.65	99.92
$\gamma_5^{2-2}$	39	75.84	0.03	12.64	0.22	1.18	0.11	0.17	0.57	4.16	4.29	0.05	0.61	99.87
$\gamma_5^{3-1}$	9	74.61	0.10	12.69	0.35	1.73	0.07	0.45	1.19	3.39	4.71	0.05	0.70	100.04
总计	65	75.61	0.05	12.63	0.26	1.27	0.10	0.23	0.69	3.96	4.40	0.05	0.63	99.88

出的构造位置和定位机制,可以判定西华山复式岩体是共源岩浆多期定位的。根据各期次岩体随期次的不同: $\gamma_5^{1-1}$  SiO<sub>2</sub> 低, $\gamma_5^{2-2}$  SiO<sub>2</sub> 高, $\gamma_5^{3-3}$  SiO<sub>2</sub> 低, $\gamma_5^{3-1}$  SiO<sub>2</sub> 高,其他 Al、K、Na、Fe、Ca、Mg、Mn、Ti 的氧化物也同样随岩体期次的不同出现一高一低的振荡现象(表 1)(元素补余图略)。岩体的这种分期次组成的一高一低的振荡现象正是共岩浆补余分异效应的表现。根据西华山岩体侵位年代主要为  $180 \times 10^6 \sim 140 \times 10^6$  a,据此,可以推断本区的共岩浆补余分异作用可能持续约达  $40 \times 10^6$  a。在西华山出现共岩浆补余分异作用,并集中在一个矿区,多达四期岩体均有矿化,而且持续长达  $40 \times 10^6$  a,无疑这是异常成矿作用。我们把赣南后加里东隆起区称之为异常成矿构造聚敛场(exceptional metallogenic convergence)<sup>[4]</sup>。它是西华山超大型矿床成矿偏在性(metallogenetic preferentiality),即偏爱产出它现有构造位置,而使超巨量金属堆积的重要聚敛场所<sup>[5]</sup>。此外,在华南加里东碰撞造山的湘南坳陷区,在世界最大的柿竹园多金属矿床中,也同样侵位有燕山期千里山黑云母花岗岩株复式岩体<sup>[6]</sup>,其出露面积 10km<sup>2</sup>,侵位于泥盆系以碳酸盐岩为主的沉积岩系中,从早到晚,花岗岩株包括似斑状黑云母花岗岩( $182 \times 10^6$  a),中粗粒黑云母花岗岩( $140 \times 10^6$  a),细粒白云母花岗岩和花岗斑岩( $80 \times 10^6$  a),根据上述岩体化学组成也是共源岩浆补余分异作用形成的,并且持续分异作用长达近  $100 \times 10^6$  a。这是补余分异作用形成超大型矿床的另一重要实例。

除上述西华-大吉山和柿竹园超大型矿床的矿区具有明显的共岩浆补余分异作用外,在华

夏地块及其前陆的怀玉山-武夷山成矿带上,根据李崇佑<sup>①</sup>的研究,该带的14个矿床明显地反映出两大成矿岩浆系列不同的演化特点。其中属S型酸性岩浆系列,成矿元素以W-Sn-Nb-Ta-U-Ag-Pb-Zn为主,伴有Au-Ag-Mo,但是,随着成岩时间的推移,其元素组合呈波状的振荡现象,即元素组合的总体排序为Mo-Cu-Au-Ag-Zn-Pb-W-Sn-Ta-Nb-Li时,而在 $160 \times 10^6$ a以Pb-W为主; $155 \times 10^6$ a以Ta-Ni-Li为主; $145 \times 10^6$ a以Pb-W-Sn为主; $140 \times 10^6$ a以Sn-Ta-Nb为主; $135 \times 10^6$ a以Ag-Zn-Pb-W为主; $125 \times 10^6$ a以W-Sn-Nb为主; $120 \times 10^6$ a以Pb-W-Sn为主; $115 \times 10^6$ a以Sn-Ta-Nb为主。如按时序连接不同时代的元素组合,在其总体排序中是波状曲线(图略)。这种S型共源岩浆按时序形成亲石元素一高一低的组合也是补余分异效应。因而在怀玉山-武夷山成矿带发现超大型矿床是具有潜在远景的。

与金属矿床有关的镁铁质岩浆主要分布在中国西南的攀枝花和西北的金川两地区。

攀枝花地区是世界著名的与基性岩有关超大型钒钛磁铁矿床,其成岩成矿地质背景属扬子板块西缘的裂谷带,赋矿岩体基本上是以偏碱性辉长岩为主的层状岩体,其间夹辉石岩和辉石橄榄岩,岩体基性程度的高低是随层状岩体自下而上间互变化的<sup>[3]</sup>。这显示了高基性、低基性互为补余的特征。根据成岩时代辉石<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar视年龄值为 $(150.5 \pm 5.17) \times 10^6$ a,岩体Sm-Nd等时线年龄值为 $303 \times 10^6 \sim 210 \times 10^6$ a,Rb-Sr全岩等时线年龄为 $(566.86 \pm 56.99) \times 10^6$ a和 $(343.48 \pm 65.99) \times 10^6$ a等数值推定其成岩成矿可能为多期性,为自新元古代至华力西期的长期性。这无疑是镁铁质共源岩浆补余分异,长期作用于攀枝花地区而形成超大型矿床的。

关于与镁铁质岩浆有关的岩浆钒钛磁铁矿床多矿层的形成机制,根据卢纪仁的研究<sup>[7]</sup>提出振荡成矿作用的自激振荡模型。这一模型的理论根据是在高氧逸度( $f_{O_2}$ )条件下Fe-Ti氧化物早期结晶与岩浆断续补给共同作用的结果。把结晶岩浆 $f_{O_2}$ 阶段性增高归因于岩浆演化的自组织过程。他在自激振荡曲线模型中详细地剖析了钛磁铁矿和钛铁矿的饱和曲线,振荡成矿曲线,研究了自激振荡的突变机制和反馈机制,为钒钛磁铁矿床的多层矿体和条纹条带状矿石的形成作出科学论证<sup>[7]</sup>。作者认为这是对镁铁质岩浆形成补余分异作用,从物、化条件的氧逸度变化深化分析其形成机制的发展。

金川地区是与铁质基性-超基性岩有关的硫化物铜镍矿床。它是小岩体而形成超大型矿床的特殊实例。含矿岩体规模仅为 $1.34 \text{ km}^2$ ,呈不规则陡倾斜岩墙状产出。岩体受控于中朝地台西南缘阿拉善边缘隆起区的超壳深断裂。成岩成矿年代为 $150.9 \times 10^6 \sim 152.6 \times 10^6$ a。根据汤中立<sup>[3]</sup>的研究,小岩体形成超大型矿床的主要原因不是小岩体本身的分异成矿,而是由深部共源岩浆库首先发生深部熔离,然后,分为四期先后上侵而成岩成矿的。第一期以岩浆库深部熔离的最上部的硅酸盐岩浆上侵为主。它就位后仅有少量金属硫化物析出。第二期以含矿岩浆上侵为主,就位后又发生熔离,在岩体中部和下部形成巨大的似层状矿体,第三期为富矿岩浆上侵,在岩体上部和根部形成巨大透镜状矿体,第四期以岩浆贯入为主,在岩体底部或根部裂隙中形成富矿。这四期含矿岩体叠置在一起,是由深部大的同源岩浆库预先熔离,并在短期(约 $2 \times 10^6$ a)内充贯于上部小岩体而形成超大型矿床的。这四期的硅酸盐岩浆→含矿岩浆→富矿岩浆→矿浆,实际上也是补余同源岩浆库总组成的补余分异作用。其补余的方式是由硅酸盐岩浆到富矿浆逐次补余的,不同于上述的一高一低的振荡式补余。但是,如果逐次在特殊构造条

① 李崇佑,1993,怀玉山-武夷山地区找铜论证

件下重复出现,即出现逐次补余的旋回时,则同样是振荡式补余,但为旋回的振荡。据此,我们可以预测,如果金川矿区出现旋回振荡补余分异作用,将是成矿作用的异常,其成矿远景将会更大<sup>[4]</sup>。

最后,应该指出,共源岩浆补余分异作用不仅在与长英质和镁铁质岩浆有关的矿床中发现其有利成矿作用,并且在张荣华(1990~1995年)进行的化学动力学水-矿物反应的实验研究中发现溶解过程的振荡现象,因而在理论上也可以说明振荡式的补余分异作用是有可能存在的。但是,这一作用是建立在构造-岩浆作用和岩浆热液成矿基础上的。

#### 参 考 文 献

- 1 陈毓川,裴荣富等.南岭地区与中生代花岗岩有关的有色及稀有金属矿床地质.北京:地质出版社,1989,58~74,216~258,320~349
- 2 裴荣富,洪大卫.华南花岗岩与成矿研究的新进展.矿床地质,1995,14(2):189~194
- 3 裴荣富主编.中国矿床模式.北京:地质出版社,1995,63~66,217~219
- 4 裴荣富,吴良士.特大型矿床与成矿环境和成矿作用异常.见:第五届全国矿床会议论文集.北京:地质出版社,1993,127~128
- 5 裴荣富,吴良士.特大型矿床成矿偏在性研究的新进展.矿床地质,1994,13(2):155~171
- 6 毛景文,李红艳.柿竹园钨多金属矿床中多阶段花岗岩与多期矿化时空关系.见:第五届全国矿床会议论文集.北京:地质出版社,1993,361~363
- 7 卢纪仁.岩浆振荡成矿作用的自激振荡模型.见:第五届全国矿床会议论文集.北京:地质出版社,1993,34~37

### 《中国矿业》1996年征订通知

《中国矿业》杂志,国家科委批准,中国矿业协会主办,公开发行,全国矿业核心期刊。

《中国矿业》办刊方针与任务:报道国家矿产资源开发的方针政策;推广交流生产、建设经验;反应设计、科研成果和新技术、新方法、新工艺在实践中的应用。《中国矿业》为促进国内外学术交流,推动我国矿山宏观管理、增强矿山企业生产活力,加速采掘工业的发展服务。

国内各界读者,在邮局漏订时,可随时与本刊编辑部联系,索取订单办理订约。

每期版面 80 页,激光照排,胶版印刷,封面复模,全年六期(双月刊),总价 33 元(5.5 元/册),单月 15 日出版,大连报刊局发行。全国邮发代号:8—132。

地址:辽宁省鞍山市南胜利路 35 号。邮政编码:114002。

### 1995年《矿床地质》审稿人员名单

1995年度以下同志为本刊审阅过稿件,为本刊质量的提高做出了贡献,特表感谢!

王秀璋	王海平	王之田	毛景文	母瑞身	卢欣祥	卢家烂
叶庆同	冯本智	吕古贤	吕伯西	刘姝群	邬介人	池三川
杜乐天	李荫清	李兆麟	李兆龙	杨岳清	吴良士	吴必豪
吴尚全	芮宗瑶	沈保丰	宋学信	宋志高	宋彪	宋鹤彬
张本仁	张德全	范德廉	林文蔚	施林道	郑直	赵一鸣
徐珏	徐国庆	贺同兴	祝有海	聂凤军	喻学惠	黄富荣
黄典豪	曹志敏	章邦桐	覃功炯	鲍佩声	韩发	裴静娴