九瑞地区中生代埃达克岩及其与成矿关系*

Mesozoic adakite and its relation to mineralization in Jiujiang-Ruichang area

罗小洪

（江西省地质调查研究院，江西 南昌 330201）

LUO XiaoHong

（Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang 330201, Jiangxi, China）

摘 要 通过对该地区中生代不同时期形成的花岗岩的研究，认为该区主成矿期前（160~200 Ma）形成 C 型埃达克岩，这时的地壳是增厚的地壳（>40 km），随后在该地区的软流圈地幔上涌和岩石圈的伸展减薄作用过程中，形成 I 型花岗岩（130~160 Ma）及其有关矿床，达到该地区铜金成矿高峰期，随着地壳减薄作用进一步加强，岩浆活动和成矿作用减弱。不但强调 I 型花岗岩的成矿专属性，而且也强调成矿时间，强调大地构造环境转换期成矿。

关键词 C 型埃达克岩；大地构造环境转换；成矿；九瑞

岩浆岩是地球动力学过程的记录之一，也是研究壳幔作用与成矿的窗口。岩浆活动是本区铜金成矿的主导因素。本文将从研究该区中生代岩浆岩的成因的不同，以及从其岩石地球化学特征对比出发，探讨该区中生代地壳线型减薄作用。从而证明与形成武山、城门山矿床有关的代表主成矿期的花岗岩为 I 型花岗岩，应为增厚（＞40 km）地壳在减薄过程中形成的，在地壳减薄到一定程度后，地幔物质混入，形成与矿有关的武山、城门山花岗闪长斑岩，强调大地构造环境转换期成矿。

1 区域中生代岩浆活动概况

区内岩浆活动较强，以中生代为最，以小型岩体成带展布为特征。出露约 30 个小岩体，分为两条带状分布，一条为主成矿期前和主成矿期花岗岩，呈北西西向近纬向线性分布，范围约 900 km^2，单个岩体出露面积为 0.01~2.5 km^2,总面积约 14 km^2。另一条为主成矿期后花岗岩带，近北北东向沿赣江断裂带呈带状展布。城门山、武山、东雷湾三个岩体呈岩株产生，其它岩体呈岩墙或岩脉。主成矿期岩体以武山（140Ma）、城门山花岗闪长斑岩体（148 Ma）为代表，主成矿期前岩体以东雷湾（196 Ma）、宝山（176 Ma）花岗闪长斑岩体为代表，主成矿期后则为武山煌斑岩（107 Ma）、城门山石英斑岩（103 Ma）和沿赣江断裂带分布的星子二云母花岗岩（100Ma）、海会变斑状（眼球状）花岗混合岩（107Ma）为代表。岩体属浅成—超浅成相，岩石类型主要有闪长岩、石英闪长玢岩、花岗闪长岩与石英斑岩等，其中以花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩占绝对优势。造岩矿物主要由斜长石、钾长石、石英组成，其次为黑云母、角闪石。岩石以斑状结构为主。

2 区内三个时期的岩浆岩特征

2.1 岩浆岩研究概况

主成矿期前形成的东雷湾，宝山花岗闪长斑岩体为 C 型埃达克岩。埃达克岩（adakite）是 1978 年在

*本文得到国土资源部自由探索研究项目资助（B2-35）

第一作者简介 罗小洪，男，1964 年生，高级工程师，主要从事地质矿产评价及成矿预测研究

阿留申的 Adak 岛上发现的（Kay，1978），Defant 等（1990）从现代火山弧中厘定出一种新的富钠火成岩－－“adakite”（绝大多数学者给出的中文译名为埃达克岩）现已引起广泛关注（王焰等，2000；王强等，2001a；2001b；李武平，李献华等，2001）。

张旗等(2001a；2001b；2001c)、熊小林等（2001）在研究中国东部和西部燕山期岩浆作用时，发现有许多中酸性火山岩和侵入岩类似埃达克岩的地球化学特征，但它们是陆相的，产于板内环境，其成因与板块的消减作用无关，而可能是加厚的陆壳底部的基性岩部分熔融形成的，因此，埃达克岩可分为 O 型和 C 型的两类，O 型埃达克岩与板块的消减作用或玄武岩底侵作用有关，C 型埃达克岩则是加厚的地壳底部的中－基性岩部分熔融的产物。C 型埃达克岩富 K（大部分仍然是钠质的，即 $K_2O/Na_2O<1$，少数为钾质的），产于大陆内部，可能是玄武岩浆底侵到加厚的陆壳（＞40 km）底部导致的下地壳中基性变质岩部分熔融的产物。

主成矿期形成的武山、城门山花岗闪长斑岩，为 I 型花岗岩。谢桂青等（2002），认为主成矿期后形成的武山煌斑岩为挤压隆起转变为拉张裂陷，在软流圈上涌和岩石圈伸展拉张时形成的基性岩脉。

2.2 三个不同时期花岗岩的岩石学、岩石化学特征

（1）样品采集与测试

主成矿期前的东雷湾和宝山岩体，样品分别采自 2 个岩体的坑道中，样品送中国科学院地球物理地球化学勘查研究所分析，其中 Ce、La、Sc、Y、Dy、Er、Eu、Gd、Ho、Hf、Lu、Nd、Pr、Sm、Tb、Tm、Yb、Ta、Co、Cs、Ni、Th、Nb、U 采用等离子体质谱法，Ba、Sr、Cr、Rb、V、Zr 采用压片法 X-射线荧光光谱法，SiO_2、Al_2O_3、MgO、CaO、TFe_2O_3、Na_2O、K_2O、TiO_2、P_2O_5、MnO 采用熔片法 X－射线荧光光谱法，CO_2 采用电导法，H_2O^+ 采用重量法，FeO 采用容量法。主成矿期为武山和城门山岩体，样品成果引自刘家远等❶。主成矿期后的基性岩脉样品，引自谢桂青等（2002），样品采自武山铜矿区的斑岩脉，其岩石化学样品分析者为中国科学院地球化学研究所李荪蓉，微量元素样品由中国科学院地球化学研究所电感耦合等离子体-质谱（ICP-MS）实验室漆亮分析。

（2）岩石学特征

东富湾、宝山岩体主要岩性为花岗闪长斑岩，斑状结构，基质显微花岗结构，块状构造。其中斑晶：斜长石 30%，石英 2%，角闪石 7%，黑云母 2%；基质：斜长石 10%，钾长石 20%，石英 20%，黑云母少量，角闪石少量；斑晶多为 1~5.5 mm，基质主要矿物粒径 0.05~0.2 mm；副矿物榍石少量，磷灰石、锆石、磷铁矿和钛铁矿微量。

武山、城门山岩体主要岩性为花岗闪长斑岩，斑状结构，基质显微花岗结构，块状构造。其中斑晶：斜长石 36%，钾长石 2%，石英 4%，黑云母 6%，角闪石 7%；基质：斜长石 8%，钾长石 15%，石英 16%，黑云母 2%，角闪石 1%；副矿物磷灰石、榍石、锆石、金孔石微量。

武山基性岩脉主要岩性为闪斜煌斑岩，黑绿色，主要由斜长石和角闪石组成，少量的石英和黑云母，有时出现辉石和橄榄石，斑晶以角闪石为主，含有部分斜长石，基质大小为 0.05~0.03 mm，主要以斜长石为主，含有少量角闪石，具有典型的煌斑结构，仅见少量的碳酸盐蚀变。

（3）岩石化学特征

本区代表性岩体岩石化学分析结果见表 1（略）。东雷湾和宝山岩体岩石化学成分与张旗等（2001a；2001b；2001c）研究的 C 型埃达克岩相似。在岩浆岩的 $MgO-SiO_2$ 图解上（图 1），可看出东雷湾、宝山岩体与武山、城门山岩体的 SiO_2 含量相近，变化不大，但 MgO 含量前者远小于后者，武山煌斑岩就更高，说明后者上地幔物质含量较前者高，东雷湾与宝山岩体皆落入埃达克岩区，城门山岩体也落入埃达克岩区，而武山则不在埃达克岩区。在岩浆岩的 $SiO_2-Mg^{\#}$〔Mg/(Mg+Fe)〕图解中（图 2），东雷湾、宝山岩体落在新西兰的白垩纪的 Separation Point 岩基镁铁质地壳部分熔融形成的埃达克质岩石区，而武山、城门山岩体则沿着地幔混染的演化线分布，同样表明武山、城门山岩体受到了地幔橄榄岩的混染，地幔物质增加，说

❶刘家远，沈纪利，陈福珍等. 1982. 江西省花岗岩类的基本特征及与钨矿成矿的关系. 内部报告.

http://www.kcdz.ac.cn

明这时地壳减薄，上地幔上隆，在下地壳熔融形成的熔体易于受到地幔物质的混染。而武山煌斑岩则地幔物质更多，推测应是地壳进一步减薄，上地幔进一步上隆，熔融体具更多的地幔物质，而上侵时混染了少量地壳物质。

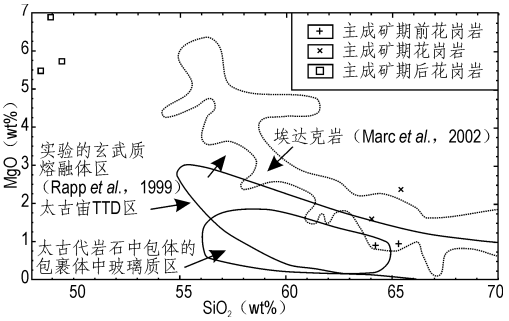

图 1　岩浆岩的 MgO-SiO_2 图解（据 Defant et al., 2002）

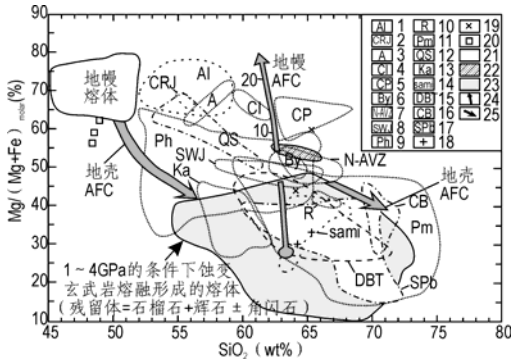

图 2　岩浆岩的岩浆岩的 SiO_2-$Mg^{\#}$〔Mg/(Mg+Fe)〕图解

（4）微量元素特征

从表 1(略)可看出，东雷湾和宝山岩体微量元素含量特征与张旗等（2001a，2001b，2001c）研究的 C 型埃达克岩相似，其 Sr 含量大于 400 μg/g，分别为 601 μg/g 和 420 μg/g，而武山和城门山 Sr 含量小于 400 μg/g，分别为 256 μg/g 和 248 μg/g。武山煌斑岩 Sr 含量平均为 535.2 μg/g。东雷湾、宝山花岗闪长斑岩 Y 含量分别为 12.5 μg/g 和 13.2 μg/g，皆符合埃达克岩小于等于 18 μg/g 的标准；武山、城门山岩体的 Y 含量分别为 13.8 μg/g 和 14.2 μg/g，而武山煌斑岩 Y 含量平均为 19.68，大于 18 μg/g。从主成矿期前→主成矿期→成矿期后岩体，其 Y 含量依次增高。东雷湾、宝山花岗闪长斑岩 Sr/Y 比值分别为 48.08 和 31.82，皆符合埃达克岩大于 20~40 的标准；武山、城门山花岗闪长斑岩 Sr/Y 比值分别为 18.55 和 17.46，皆小于 20；武山煌斑岩平均为 27.19。从（图 3）可以看出，在岩浆岩的 Sr/Y-Y 图解上，东雷湾、宝山花岗闪长斑岩落于底侵玄武质下地壳熔融形成的 C 型埃达克岩区，武山、城门山花岗闪长斑岩则落于泛埃达克岩区，落在 C 型埃达克岩与正常火山弧安山岩、英安岩流纹岩区之间。而武山煌斑岩则落在正常火山弧安山岩、英安岩流纹岩区，Sr/Y-Y 图解为研究埃达克岩较为经典的图解。东雷湾、宝山花岗闪长斑岩 Yb 含量分别为 1.10 μg/g 和 1.24 μg/g，皆小于埃达克岩的 1.9 μg/g；武山、城门山花岗闪长斑岩 Yb 含量分别为 0.94 μg/g、0.92 μg/g，亦小于 1.9 μg/g；而武山煌斑岩平均为 1.81 μg/g，比前四个岩体高出很多。从图 4 岩浆岩的球粒陨石标准化的（La/Yb）$_N$-Yb_N 图解可以看出，东雷湾、宝山花岗闪长斑岩落在埃达克岩或高铝奥长花岗岩－英云闪长岩－英安岩（TTD）区，而武山煌斑岩则落入低铝 TTD 区。

东雷湾宝山“C”型埃达克岩强烈亏损 HREE 和 Y，暗示埃达克岩浆熔出后的残留物中有石榴石，形成榴辉岩或含石榴石的麻粒岩，而富 Al、Sr，无负铕异常则说明残留物中无斜长石。实验研究表明，埃达克岩可以在较宽的压力范围内（10~32 kbar）由低钾拉斑玄武岩脱水熔融形成，但是在大多数情况下形成的压力较高（18~26 kbar），大约相当于 60~85 km 深度（Drummond，1990；Rapp et al., 1991）。Defant 等（1990）认为，在增厚的地壳下因拆沉作用形成的岩浆与年轻的、热的俯冲树片熔融产生的岩浆有相似的成分（如高 La/Yb、Sr），因为两者都是高压下基性岩熔融形成的，残留物为不含斜长石的榴辉岩。

3　不同时期岩浆岩成因及大地构造意义讨论

由上述岩浆岩的论述可知，在主成矿期前（170~200 Ma）形成东雷湾、宝山 C 型埃达克岩时，该区为挤压环境，地壳增厚（现在的莫霍面深度放为 32.5 km），这时下地壳可能变成榴辉岩，从而拆离并下沉到地幔中（拆沉），这个拆沉过程将导致下地壳下部或拆沉的下地壳的上部与相对热的地幔接触，进而引起下地壳熔融和埃达克岩的形成。东雷湾、宝山岩体形成后，埃达克岩浆房被一定程度地抽空，这时，区域

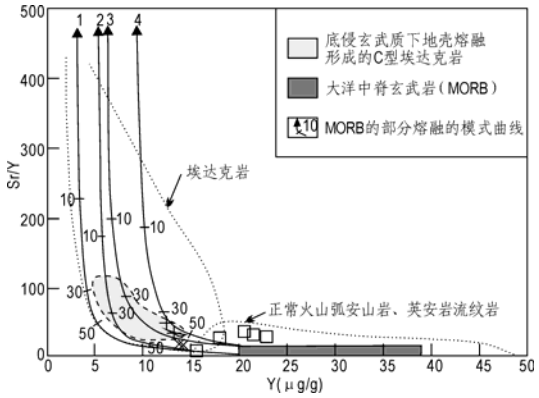

图 3 岩浆岩的 Sr/Y-Y 图解（据 Defant et al.，1990；王强等，2001a）

1－榴辉岩（石榴子石/辉石=50/50）；2－石榴石角闪岩（石榴子石/角闪石=10/90）；3－角闪榴辉岩（角闪石/石榴子石/辉石=10/40/50）；4－石榴石角闪岩（石榴子石/角闪石=10/90）

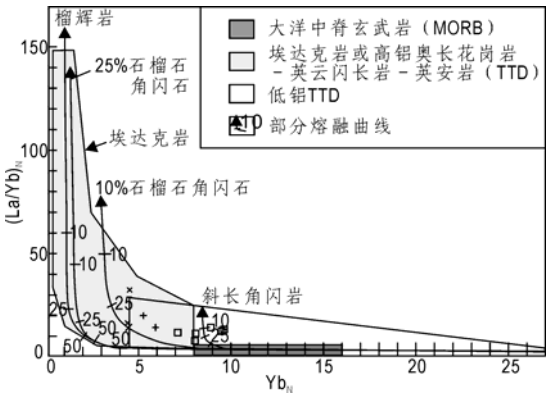

图 4 岩浆岩的球粒陨石标准化的（$La/Yb)_N$-Yb_N 图解（据 Drummond et al.，1990，王强等，2001a）

图中样点符号同图 1

构造发生了转换，由挤压转换至伸展（崔学军，赵赣，陈祥云，罗小洪，2002），形成了不均衡的物理化学环境，软流圈地幔上涌和岩石伸展、减薄，一定地幔物质混入岩浆房，岩浆上侵形成武山、城门山主成矿期Ⅰ型花岗闪长斑岩。尔后，岩浆房继续被抽空，区域进入了较为稳定的伸展期，在软流圈地幔上涌和岩石圈进一步减薄过程中，形成含有更多地幔物质的武山煌斑岩脉，物理化学环境由强烈的不均衡演化至较为均衡，岩浆活动由减弱至终止。必须强调的是，当地壳开始减薄作用时成矿，在区域构造发生转换时形成的Ⅰ型花岗闪长斑岩是主成矿期岩体，应强调转换期成矿。当纬向线性减薄作用进一步发展，物理化学环境趋于均衡时，并不成矿，只形成没有矿化蚀变的煌斑岩。

本文只是起到抛砖引玉的作用，埃达克岩与Ⅰ型花岗岩如何更有效去研究区分，目前在区内甚至国内都还是有待进一步解决的问题。

本文得到了杨建国教授级高级工程师，陈祥云博士的帮助，作者并与李武显博士进行了有益的讨论，在此一并致谢。

参 考 文 献

崔学军, 赵 赣, 陈祥云, 罗小洪. 2002. 江西庐山中生代构造事件的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素年龄研究. 成都理工学院学报, 29(6): 646~649.

李武平, 李献华, 路凤香. 2001. 辽西中侏罗世高 Sr 低 Y 型火山岩的成因及其地质意义. 岩石学报, 17(4): 524~564.

史晓颖. 1996. 35 Ma-地质历史上一个重要的自然周期-自然临界的概念及其成因. 地球科学-中国地质大学学报, 21(3): 235~241.

王 焰, 张 旗, 钱 青. 2000. 埃达克岩(adakite)的地球化学特征及其构造意义. 地质科学, 35(2): 251~256.

王 强, 许继锋, 赵振华. 2001a. 一种新的火成岩—埃达克岩的研究综述. 地球科学进展, 16(2): 201~206.

王 强, 赵振华, 熊小林, 等. 2001b. 底侵玄武岩下地壳的熔融: 来自安徽沙溪 adakite 质富钠石英闪长玢岩的证据. 地球化学, 30(4): 353~360.

谢桂青, 胡瑞忠, 贾大成, 等. 2002. 赣西北基性岩脉的地质地球化学特征及其意义. 地球化学, 31(4): 329~337.

熊小林, 赵振华, 白正华, 等. 2001. 西天山阿吾拉勒埃达克质岩石成因 Nd 和 Sr 同位素组成的限制. 岩石学报, 17(4): 514~522.

张 旗, 王 焰, 钱 青, 等. 2001a. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造—成矿意义. 岩石学报, 17(2): 236~244.

张 旗, 钱 青, 王二七, 等. 2001b. 燕山中晚期的中国东部高原：埃达克岩的启示. 地质科学, 36(2): 248~255.

张 旗, 王 焰, 王元龙. 2001c. 燕山期中国东部高原下地壳组成初探: 埃达克质岩 Sr、Nd 同位素制约. 岩石学报, 17(4): 505~512.

Atherton M P and Petford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust. Nature, 362: 144~146.

Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern are magmas by melting of young subducted lithosphere. Nature, 347: 662～665.

Kay R W. 1978. Aleutian magnesian andesites:melts from subducted Pacific Ocean crust. J Volcanol Geotherm Res, 4: 117~132.

Rapp R P, Watson E B and Miller C F. 1991. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalites. Precambrian Ressearch, 51: 1~25.

http://www.kcdz.ac.cn