

矿山地质

水口山矿田鸭公塘3#岩体地质地球化学特征及成岩机制分析

Geological and Geochemical Characteristics and Diagenetic Mechanism Analysis of Yagongtang 3# Rock Mass in Shuikoushan Ore Field

左昌虎, 蔡亚飞, 沈延治 (湖南水口山有色金属有限责任公司, 湖南 衡阳 421513)

摘要:本文以鸭公塘岩体为研究对象,对岩体的岩石学和地球化学特征进行研究,探讨了其成岩机制。研究表明,鸭公塘岩体岩性相对简单,其主要为花岗闪长岩,属准铝质富钠高钾钙碱性岩系。岩体在挤压向伸展过渡的环境下,沿着构造裂隙上升,在侵入近地表的构造空间而形成,成岩物质为壳幔混合型,属于典型的I型花岗岩。稀土元素曲线配分图为左高右低的右倾型,显示轻稀土较重稀土相对富集且分异程度高,轻、重稀土的分馏相对明显,为强烈重稀土亏损而富集轻稀土而型。

关键词:地球化学特征;成岩机制

中图分类号: TD168

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2025)01-0069-08

Abstract:The Yagongtang pluton is closely related to the formation of deep lead-zinc copper iron polymetallic deposits. This article takes the Yagongtang rock mass as the research object, studies the petrological and geochemical characteristics of the rock mass, and explores its diagenetic mechanism. Research has shown that the lithology of the Yagongtang rock mass is relatively simple, mainly composed of granodiorite, belonging to the quasi aluminum rich sodium high potassium calcium alkaline rock series. The rock mass rises along structural fractures in an environment transitioning from compression to extension, and forms by invading the near surface structural space. The diagenetic material is a crust mantle mixed type, belonging to the typical Type I granite. The distribution curve of rare earth elements shows a right skewed pattern with high left and low right, indicating that light rare earths are relatively enriched and differentiated from heavy rare earths. The fractionation of light and heavy rare earths is relatively obvious, indicating a strong loss of heavy rare earths and enrichment of light rare earths.

Key words:geochemical characteristics; diagenetic mechanism

1 前言

湖南水口山矿田位于南岭成矿带中段北部边缘,是湘南地区一个典型的中低温热液型铅锌金银多金属矿床,矿田内有老鸦巢、鸭公塘、康家湾、龙王山、仙人岩等多个矿区,该矿田内矿床的形成基本都与热液有着联系,大部分形成于燕山期花岗闪长岩体与碳酸盐岩的接触带,为典型的中低温交代型矿床。虽然水口山矿田在岩体及其成岩成矿方面取得了很大的进展,但进一步调查该区岩体,将有助于水口山矿区乃至其他地区矿产勘查及寻找新的矿床,提供有力的理论依据。

本文以鸭公塘3#岩体为研究对象,对岩体的岩石学和地球化学特征进行研究,探讨了其成岩机制及岩体特征,进一步研究分析湖南水口山矿田的成矿规律以及有效的找矿标志,以为资源勘查工作提供理论支持和技术指导,保障水口山矿资源接续工作的高效进行。

2 地质背景和岩体特征

水口山矿田位于华夏陆块西北缘中段,具体如图1所示,耒阳—临武南北向褶断带北部,是一个大型多金属矿田,分布有水口山铅锌矿床、康家湾铅锌矿床、石坳岭铅锌矿床、龙王山金矿床和仙人岩金矿床等^[1]。矿田内地层隶属于湘南地层系,主要出露有石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系地层等沉积总厚大于3 000 m。其中含矿地层主要为二叠系下统栖霞组(P1q)灰岩、含燧石灰岩,主要矿产是金

[作者简介] 左昌虎(1982—),男,博士,高级工程师,主要从事矿床学研究。

[引用格式] 左昌虎,蔡亚飞,沈延治.水口山矿田鸭公塘3#岩体地质地球化学特征及成岩机制分析[J].中国矿山工程,2025,54(1):69-76.

铅锌;二叠系下统当冲组(P1d)泥灰岩、泥岩、含锰硅质岩,主要矿产是铜铅锌;石炭系中上统壶天群(C2+3h)白云质灰岩,主要矿产是铅锌铜。矿田内构造发育,褶皱构造主要为轴向呈近南北向展布规模大小不一的背斜和向斜;断裂构造主要为近南北向叠瓦式推覆断层,其次为北东向和北西向断层,以及沿构造和层间发育的角砾岩。矿区岩浆岩出露有中酸性火成岩,岩性主要为花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、花岗斑岩等。此外,矿田内还出露有潜火山杂岩,岩性主要为英安岩、安山质凝灰岩、火山熔岩、流纹岩、火山角砾岩等,形成时代为127~129 Ma^[2]。

岩体受 NE、NW 两组交叉断裂以及背斜构造控制,岩体上大下小,空间形态似“蘑菇云”状。在 -100 m 标高,岩体呈近等轴形,面积为 1.43 km²;在 -1 000 m 标高,岩体呈长方形,面积缩小为 0.5 km²。岩体产状不规则,北东面呈 60°~70°超覆,南西面呈 70°~80°正常产出。岩体与围岩接,3 号触面极不平整,凹凸频繁出现。岩体 K-Ar、Rb-Sr 同位素年龄为 150~143 Ma,属燕山早中期产物。3#花岗闪长岩体主要造岩矿物为中性斜长石、钾长石、石英、黑云母、角闪石;副矿物有磷灰石、磁铁矿、榍石、锆英石等(五矿勘查,2023)。矿田早期铅锌铜硫金矿床与 3#岩体关系密切,中酸性岩浆岩花岗闪长岩岩体与二叠系栖霞组灰岩接触带界面,形成了接触交代矽卡岩型铜铅锌金银矿体,具体如图 2 所示。

3 标本及显微镜下特征

此次岩体元素地球化学测试分析所用的样品,共计 10 组,测试分析的新鲜花岗闪长岩样品采自钻孔 ZK2001,有 944.29 m 处(ZK2001-1)、938.30 m 处(ZK2001-2)、948.20 m 处(ZK2001-3)、1 093.30 m 处(ZK2001-4)、945.30 m 处(ZK2001-5)、939.00 m 处(ZK2001-6)、1 093.07 m 处(ZK2001-7)、1 095.07 m 处(ZK2001-8)、1 100.00 m 处(ZK2001-9)、1 100.50 m 处(ZK2001-10)。

3.1 手标本特征

水口山花岗闪长岩体的新鲜手标本总体呈灰白色、灰色,致密块状,似斑状结构。矿物组成以斜长石、角闪石、黑云母、钾长石为主,含量占 90% 以上,见少量磷灰石、锆石,局部见黄铁矿、黄铜矿。

3.2 显微镜下特征

矿相显微镜下可见,斑状结构发育,斑晶基质比约为 3:2,具体特征如图 3 所示。其中,斑晶主要由钾长石、斜长石、角闪石、石英以及黑云母组成,基质由长石和石英组成。钾长石多为自形-半自形晶,呈板片状产出(图 3b),粒径 1 mm 左右,多蚀变成绢云母、高岭土等。斜长石与钾长石类似,但可见其聚片双晶,蚀变较钾长石弱,偶见斜长石为钾长石、石英所交代(图 3c)。角闪石多为菱形、长柱状的自形-半自形晶,局部可见后期长石、石英交代角闪石以及弱绿泥石化(图 3d)。石英以半自形-他形粒状为主,粒径小于 1 mm,石英颗粒内可见锆石颗粒(图 3e)。黑云母以鳞片状的自形-半自形晶产出,粒径 0.4 mm 左右,局部见绿泥石化(图 3f)。

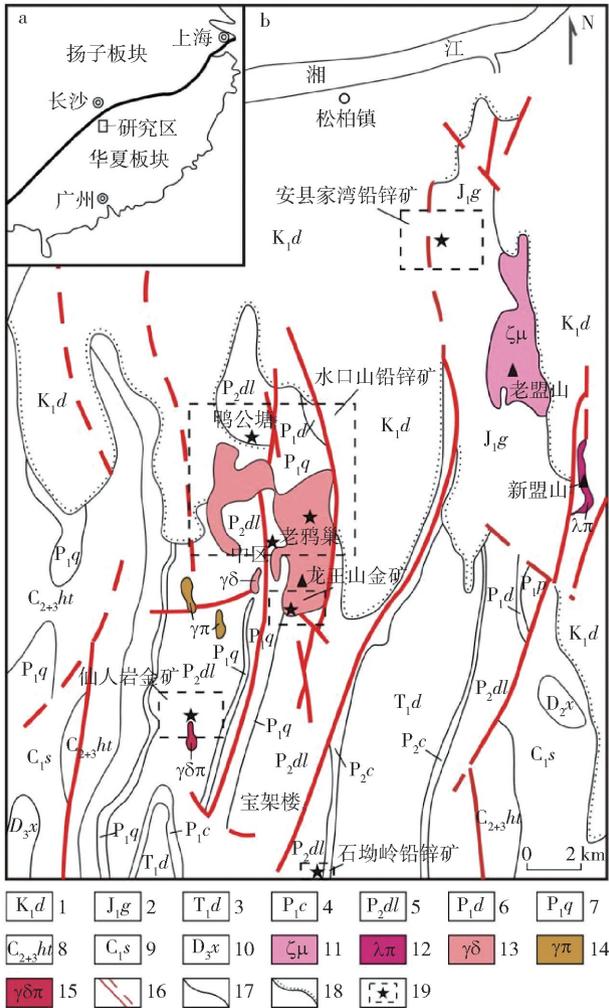


图 1 水口山矿田地质简图

鸭公塘 3#岩体岩性为花岗闪长岩,岩体隐伏侵入于鸭公塘倒转背斜轴部,距地表最浅 80 m 标高,

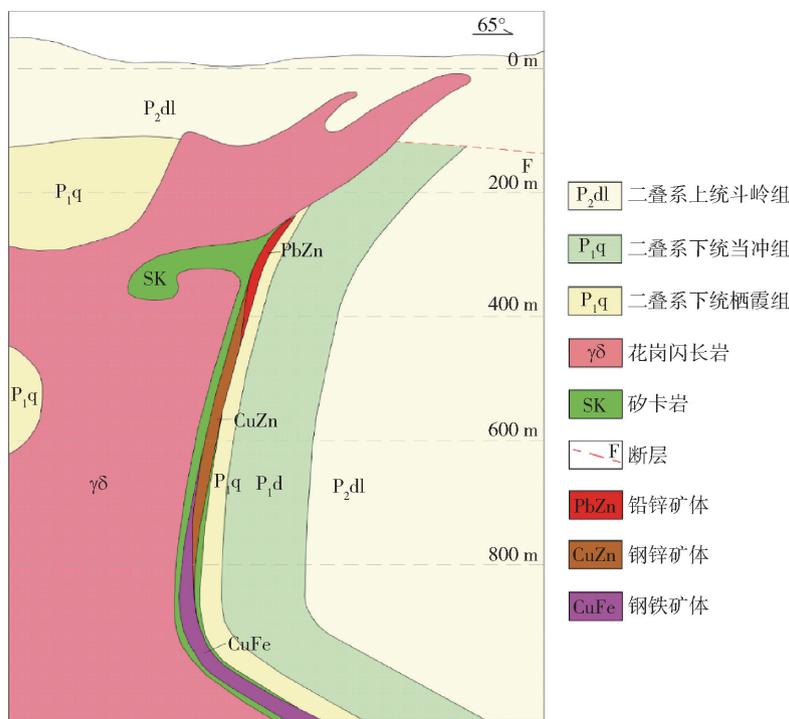


图 2 鸭公塘 3#岩体控矿示意图

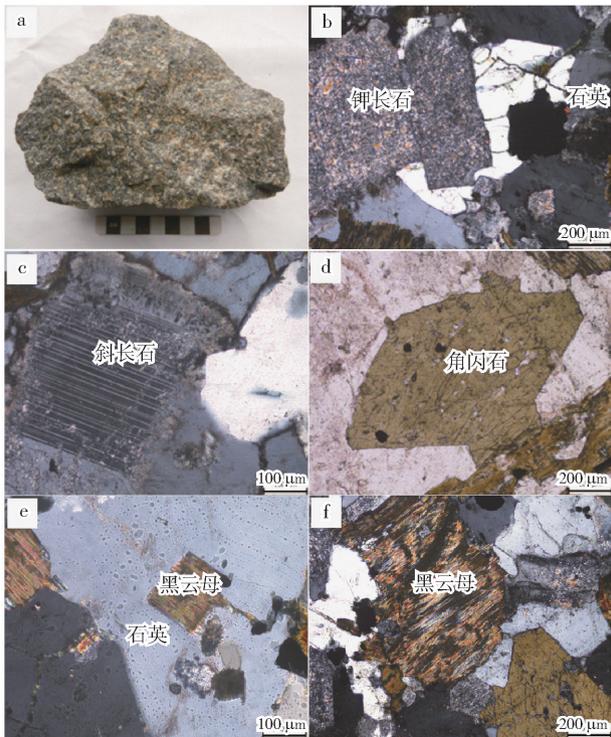


图 3 3#岩体手标本及显微镜下特征

4 收标本及显微镜下特征

主要从岩体的主量元素、微量元素、稀土元素地球化学特征等方面对锡田复式岩体的基本特征进行分析和探讨。

4.1 主量元素地球化学

(1) 3#岩体 SiO_2 含量: SiO_2 含量介于 55.78% 至 62.26%, 平均为 58.74%, 明显低于中国花岗岩平均值 71.63% [3]。含量变化较小, 此点表明其成岩岩浆的演化程度或着均一化程度较高。

(2) 3#岩体碱含量: Na_2O 含量在 2.85% ~ 3.43% 之间, 平均 3.00%, 小于中国花岗岩平均值 3.62%; K_2O 含量在 2.42% ~ 4.24% 之间, 相对变化比较大, 平均值为 3.71%, 稍小于于中国花岗岩平均值 3.81%; 碱总量含量 [$w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})$] 在 5.22% ~ 6.48% 之间, 平均值为 5.93%; $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 比值除 ZK2001-5 大于 1 以外, 其余样品均小于 1, 指示该区花岗闪长岩具有富钠、高钾的特征; 碱度率 AR 位于 1.64 ~ 2.16 之间, 平均值为 1.93; 里特曼指数 σ 位于 2.38 ~ 3.69 范围内, 平均值为 2.92, 属于钙碱性岩; 岩体 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 如图 4 所示, 数据点落在高钾钙碱性系列, 又根据里特曼组合指数 (σ) 在 1.41 ~ 4.14 之间, 平均 2.38 (< 3.3), 故而 3#岩体属于富钠、高钾钙碱性岩。

(3) 3#岩体 Al_2O_3 含量: 岩体 Al_2O_3 含量在 15.52% ~ 17.61% 之间, 平均 16.81%, 低于中国花岗岩三氧化二铝平均含量 (14.00%)。岩体 A/NK 值在 1.60 ~ 1.90 之间, A/CNK 值 (铝饱和指数) 在 0.67 ~ 1.02 之间, 均值为 0.89 (< 1), 同样数据点在 A/NK—

A/CNK 图解(图5)中,样品点均落入准铝质范围内,说明研究区内花岗闪长岩总体上为准铝质岩石。 SiO_2 与 $(Na_2O + K_2O)$ 图中投影点主要落在闪长岩、正长闪长岩、花岗闪长岩交界范围内(图6)。

(4)根据水口山花岗闪长岩体元素地球化学测试结果,绘制常量元素的 Harker 图解,具体如图7所示。从图中可以看出, Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 随着 SiO_2 含量的增加而降低,可能是与角闪石、斜长石、磁铁矿、磷灰石等造岩矿物或副矿物的结晶分异作用有关, K_2O 随 SiO_2 含量的升高而升高,这与岩浆演化到后期碱质增高的趋势一致。

通过以上主量元素特征之分析,可以得出结论如下:①3#岩体为准铝质富钠、高钾钙碱性花岗岩体;②3#岩体具有富 Si、Ca、Al、Mg、Fe、Na, 贫 Gr、Ba、Mn、P、Sr、的特征。

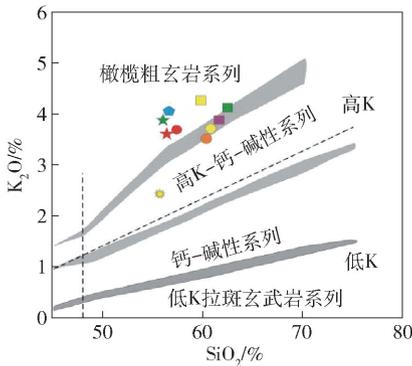


图4 岩体 SiO_2 - K_2O 图解

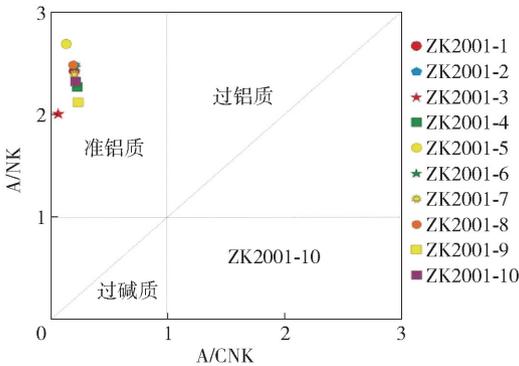


图5 岩体 A/CNK-A/NK 图解

4.2 稀土元素地球化学

稀土元素是微量元素中比较特殊的部分元素组合,除了被岩浆熔融外,基本不改变其组成特征,但是稀土元素之间又存在差异,当元素在外界物化条件改变时会发生分馏现象。因此,我们可以通过岩体稀土元素的组成特征来分析成岩成矿的物化条

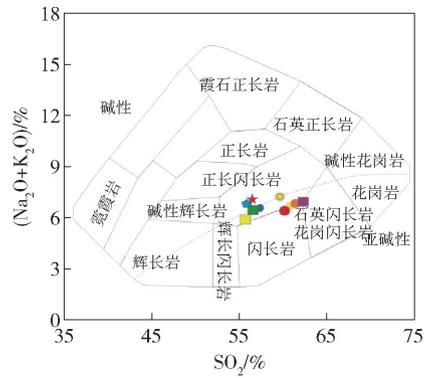


图6 水口山岩体 SiO_2 - $(Na_2O + K_2O)$ 图解

件。采用等离子体质谱仪对样品进行稀土元素测试,并进行分析。

(1)轻稀土与重稀土分配模式:稀土元素分布模式图呈较缓右倾型,轻稀土元素(La-Eu)含量在1.60~98.90ppm之间,平均30.13ppm;重稀土元素(Gd-Y)含量变化在0.31~27.80ppm之间,平均4.64ppm。轻重稀土比(LREE/HREE)在3.50~4.76之间,平均值为4.37,比值远大于1,此点说明表明重稀土亏损严重,轻稀土富集强烈,轻、重稀土分馏明显,属于强烈富集轻稀土而重稀土亏损型。

(2)稀土元素总含量:稀土元素总含量介于8.15~830.40ppm之间,平均148.35ppm,明显低于世界代表性花岗岩中总稀土元素平均含量(290ppm),因此,3#岩体属于较贫稀土元素的岩体。

(3)轻稀土与重稀土内部分异:通过稀土元素分布模式图(图8),轻稀土元素分布曲线相对较陡,而重稀土元素分布曲线则非常平缓;从特征元素比值来看,(La)N/(Sm)N值在4.18~5.65之间,平均5.04,显示出轻稀土内部分异程度相对较高,(Gd)N/(Yb)N值在介于1.20~1.55之间,平均1.45,指示重稀土内部分异相对不是很明显。

(4)铈以及铈异常:岩体铈异常(δEu)值在介于1.21~1.52,平均值是1.34,表明水口山岩体有中等铈负异常,铈异常(δCe)值变化范围为0.83~0.87,平均值为0.84,数值变化范围较小,铈负异常不明显,属铈弱亏损型。

(5)稀土元素配分曲线图:所有样品配分曲线均为右倾型,即轻稀土部分较陡而重稀土部分趋于平缓,显示轻稀土较重稀土相对富集且分异程度高。不同部位采集的样品稀土配分曲线变化趋势一致,表明稀土元素不受蚀变作用影响,能够反映岩浆岩结晶时稀土元素组成。

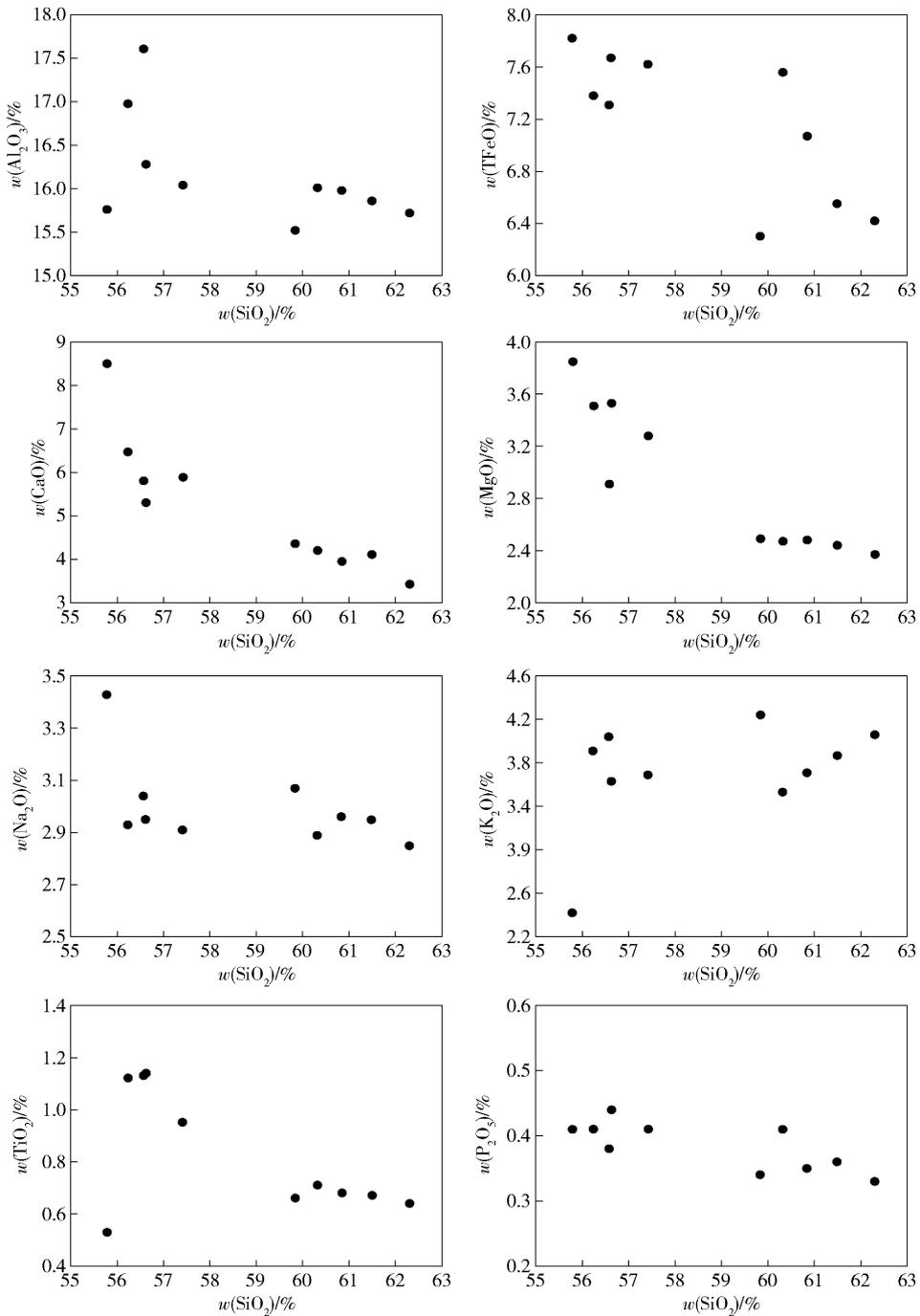


图 7 岩体 Harker 图解

综合以上分析可得出结论:a 岩体有中等铈异常,几乎无铈异常。b 轻稀土相对富集且分异程度高,重稀土相对亏损且分异程度低,总稀土含量较低。

4.3 微量元素地球化学

微量元素即岩体中元素百分含量小于 0.1 的元素,通过采用等离子体质谱仪将岩体微量元素的含量进行测试,并进行分析。

(1)微量元素蜘蛛网图特征:通过微量元素对原始地幔标准化蜘蛛网图可以得出,10 组样品曲线

走势大致相同,曲线呈显相对较缓的右倾型,具体如图 9 所示。

(2)由数据及图 9 可知 3#岩体,大离子亲石 Th、U 以及 Rb 等元素比较富集,其高场强 Ba、Ta、P、Ce 以及 Nb 等元素比较亏损。该岩体中 Ba、Sr 的亏损,此点与斜长石分异结晶作用可能有密切的关系;而岩体微量元素 P 的亏损,该点表明其可能与钛铁矿、磷灰石的分离结晶作用有关;低 Nb/La(0.14 ~ 0.33),及负异常的 Ti,表明其成岩物质来源不仅仅

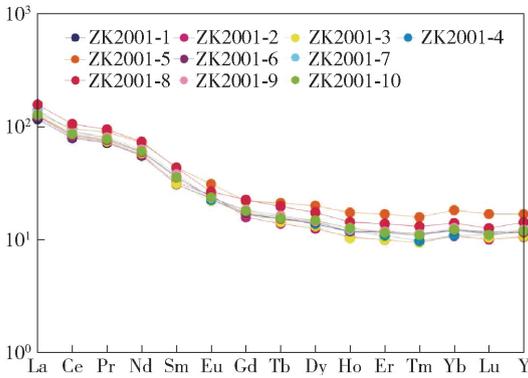


图8 水口山岩体稀土元素配分图

直接来源于部分熔融的软流圈,其在一定程度上受俯冲成分的影响,并且混合了壳源物质。

5 成岩机制

5.1 岩浆起源

花岗岩成因研究的重要内容之一是花岗岩的成岩物源分析,由于地壳以及地幔所产生的各类岩浆物质都具有独特的物理及化学性质,因而不同源区的岩浆所产出的岩体的物理化学特征也各不相同。本次研究将所得3#岩体数据进行投图,具体如图10所示,数据均落S或I型花岗岩与A型花岗岩的交界区域。故而,研究区花岗岩成岩成因类型这三种

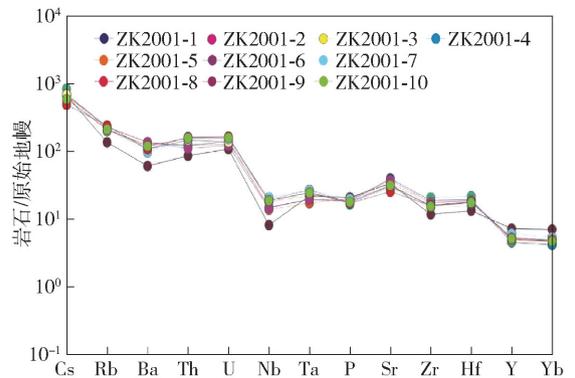
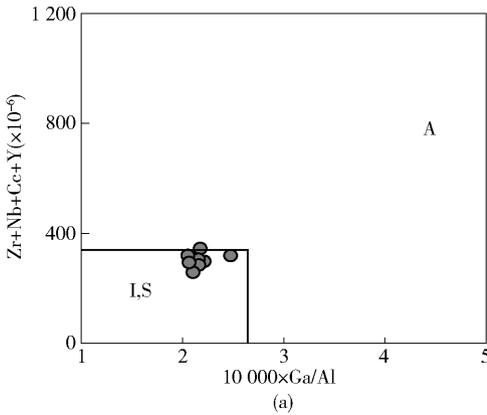


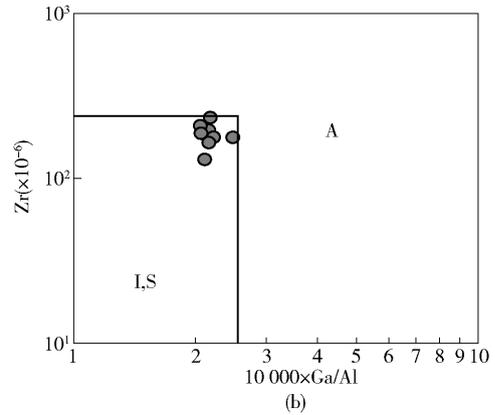
图9 微量元素蜘蛛网

类型都是有可能。由微量元素测试结果可知, $10\ 000 \times Ga/Al$ 位于 2.06 ~ 2.48 之间,所有样品在 Whalen et al (1987) 提出的花岗岩成因判别图中均落于 I, S 型区域,且在 Sr/Y - Y 图解中投点均落入典型的岛弧区域,具体图解如图 11 所示。La/Yb - Yb 图解显示该岩体为分异结晶作用的产物。综合分析,该岩体不属于 A 型花岗岩。

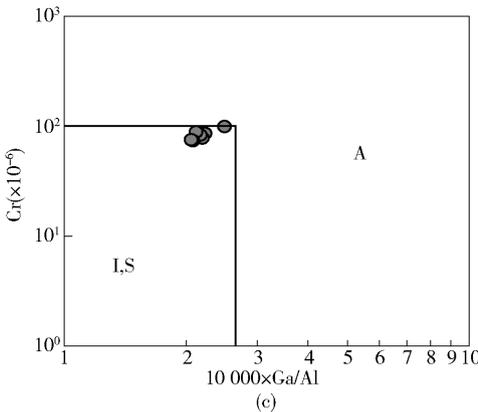
由于不同类型的花岗岩显示出不同的稀土元素特征:M型花岗岩与I型花岗岩配分曲线均呈现右倾型,不同点在于M型花岗岩Eu无异常,而I型花岗岩具有弱至中等的Eu负异常;S型花岗岩中轻稀土富集,Eu呈中等负异常,而重熔再生成因的重稀



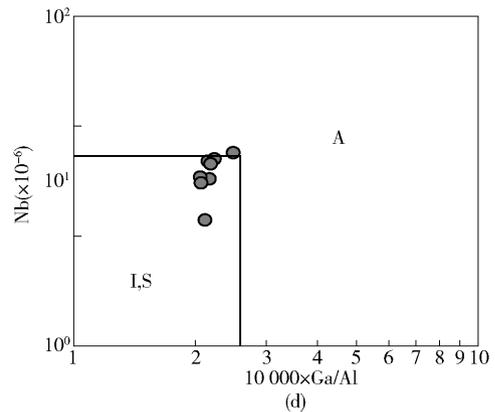
(a)



(b)



(c)



(d)

图10 水口山花岗闪长岩成因分类图

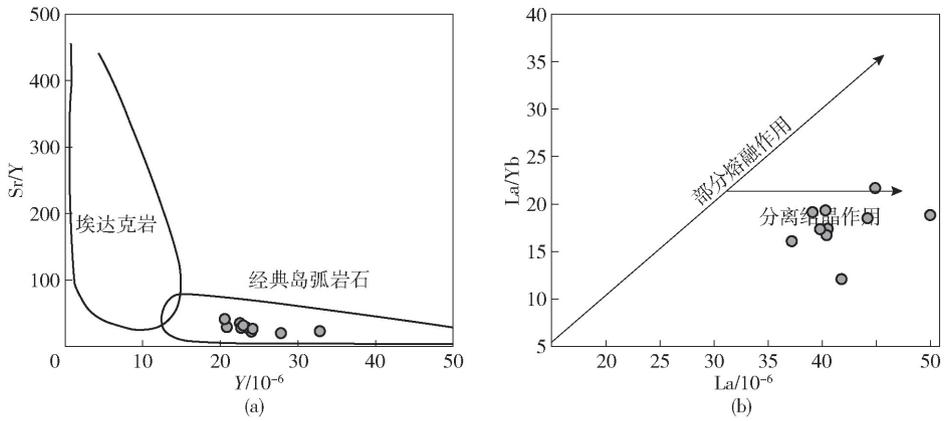


图 11 水口山花岗闪长岩 Sr/Y-Y、La/Yb-La 图解

土较富集, Eu 负异常较高。研究区岩体的稀土元素配分曲线符合 M 与 I 型, 稀土中 Eu 呈现负异常。因而 3#岩体应属于 I 型花岗岩。

P₂O₅ 和 SiO₂ 的含量关系也可以划分 I 型花岗岩和 S 型花岗岩, I 型花岗岩中两者含量呈现负相关, 而 S 型花岗岩两者含量呈现正相关。水口山花岗闪长岩 Harker 图解显示两者含量呈现负相关, 故而得水口山花岗岩为 I 型花岗岩。

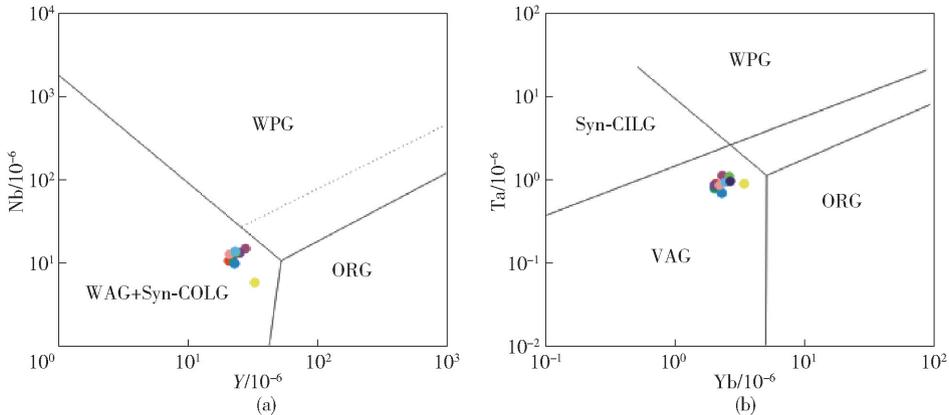
由岩体地球化学特征知, 3#岩体的 Nb/Ta 比值为 6.44 ~ 14.22, 均值为 12.74, 相比于原始地幔平均值和洋中脊玄武岩^[4] 都很低, 基本位于陆壳平均值的左右 (12 ~ 13), 由此可以看出 3#岩体应该来源于陆壳重熔。

5.2 成岩环境

研究发现, 华南地区的中生代的岩浆活动与岩石圈多次伸展作用密切相关。李献华^[5-6] 通过总结得出华南白垩纪主要存在 164 ~ 153 Ma, 146 ~ 136 Ma, 129 ~ 122 Ma, 109 ~ 101 Ma 和 97 ~ 87 Ma 五次岩浆活动, 且均与华南岩石圈伸展密切相关。毛景

文等^[7] 将其归并为 180 ~ 155 Ma, 145 ~ 125 Ma 和 110 ~ 75 Ma 等 3 个主要阶段。毛景文等^[8] 认为在中晚侏罗世 (165 ~ 150 Ma), 古太平洋板块向大陆俯冲, 使南岭地区所处的大陆边缘弧后地区出现了一系列 NE 向壳幔相互作用强烈的伸展带。沿着钦-杭结合带分布的侏罗世-早白垩世 A 型花岗岩和板内的玄武岩的发现也为中生代华南岩石圈伸展提供了有力证据。3#岩体花岗闪长岩成岩时代为 156.33 ± 0.45 Ma, 属于中侏罗世^[9], 且位于前人提出的华南地区处于伸展作用的时间段内。因此, 认为研究区内岩体的形成于伸展作用有关。

华南地区形成伸展环境的动力学机制主要有两种: ①早期印支运动造山期后的局部伸展-拉张的动力学机制^[10]; ②古太平洋板块俯冲有关的弧后或弧内伸展-拉张的动力学机制^[11-12]。水口山花岗闪长岩在构造环境判别图解 (图 12) 中投影点均落入火山弧岩区域, 具有典型岛弧火山岩的性质, 表明其形成于岛弧或活动大陆边缘的构造环境, 研究区内岩体的形成与板块俯冲作用有关。另外, 水口山



VAG—火山弧花岗岩; Syn-COLG—同碰撞花岗岩; WPG—板内花岗岩; ORG—洋基花岗岩

图 12 水口山花岗闪长岩 Nb-Y 及 Ta-Yb 图解

花岗闪长岩化学成分 $R_1 - R_2$ 图解(图 13)中,投影点落入“板块碰撞前”与“碰撞后隆升”界线附近。

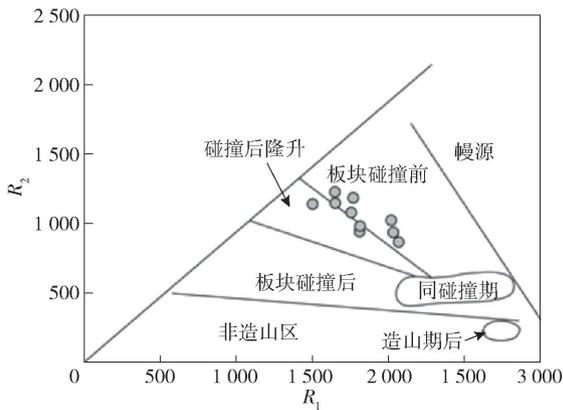


图 13 水口山花岗闪长岩 $R_1 - R_2$ 判别图解

综合分析,认为研究区内岩体形成于挤压向伸展过渡的环境。

5.3 成岩过程与成矿作用

$La/Yb - Yb$ 图解显示该岩体为分异结晶作用的产物,且 3#岩体的铕异常(δEu)值介于 1.21 ~ 1.52,铕为中等负异常,表明岩体在形成的过程中发生了分离结晶作用。岩体 Harker 图解(图 7)也显示的随着 SiO_2 含量的增加, Al_2O_3 、 $TFeO$ 、 MgO 、 CaO 、 TiO_2 、 P_2O_5 和 MnO 相对呈减少趋势,即与 SiO_2 含量呈显负相关,故而可知岩浆演化过程中同时也经历了一定程度的部分熔融和结晶分异作用。由稀土元素分布模式图知稀土元素基本呈现相对一致性,反映了 3#岩体为同源岩浆的产物,属壳幔混合源。铝饱和指数在 0.67 ~ 1.02 之间,均值为 0.89 (< 1),在 $A/NK - A/CNK$ 图解中,数据点均落入准铝质区,说明水口山花岗岩体为准铝质岩。

本区岩体形成于燕山早期,此时华南地区地壳处于挤压向伸展过渡阶段,岩石圈呈现出全面的拉张及减薄,形成的消减板块脱水熔融,形成大规模的玄武岩浆,而其在向上移动过程中,以其本身所带热量为热源熔融了部分的中之下准铝质地壳,形成壳幔混合的岩浆,而后以深部大断裂为通道上侵入或喷出,形成鸭公塘 3#岩体。

鸭公塘 3#岩体为水口山矿田一方面提供了热源、流体以及相对有利的控矿容矿构造,另一方面岩浆在上侵过程中常常会在围岩中形成一定程度的断裂构造,与此同时岩浆所带来热量及热液流体,在穿过适合地层的过程时,发生一系列的交代作用,通过交代作用充分提取矿地层中成矿元素,并产生转移,最终在构造裂隙空间富集成矿。

6 结论

(1)鸭公塘 3#岩体为准铝质富钠、高钾钙碱性花岗岩体,且具有富 Si 、 Ca 、 Al 、 Mg 、 Fe 、 Na , 贫 Gr 、 Ba 、 Mn 、 P 、 Sr 、的特征,属典型 I 型花岗岩。

(2)鸭公塘 3#岩体形成于挤压向伸展过渡的环境,成岩物质主要源于属壳幔混合源。

(3)鸭公塘 3#岩体形成于燕山早期,此时华南地区地壳处于挤压向伸展过渡阶段,岩石圈呈现出全面的拉张及减薄,形成的消减板块脱水熔融,形成大规模的玄武岩浆,而其在向上移动过程中,以其本身所带热量为热源熔融了部分的中之下准铝质地壳,形成壳幔混合的岩浆,而后以深部大断裂为通道上侵入或喷出,形成 3#岩体。

[参考文献]

- [1] 黄金川, 彭建堂, 阳杰华, 等. 湖南水口山花岗闪长岩的地球化学特征及成因[J]. 地球化学, 2015(2): 131 - 144.
- [2] 李金冬. 湘东南地区中生代构造—岩浆—成矿动力学研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2005.
- [3] 黎彤, 袁怀雨. 中国花岗岩类和世界花岗岩类平均地球化学成分的对比研究[J]. 大地构造与成矿学, 1998(1): 29 - 34.
- [4] Kamber B S, Collerson K D. Zr/Nb Systematics of Ocean Island Basalts Reassessed—the Case for Binary Mixing[J]. Journal of Petrology, 2000, 41(7): 1007 - 1021.
- [5] 李献华. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义[J]. 地球化学, 1999(1): 1 - 9.
- [6] 李献华. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义[J]. 地球化学, 1999(1): 1 - 9.
- [7] 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 湖南千里山花岗岩体的 Nd-Sr 同位素及岩石成因研究[J]. 矿床地质, 1995(3): 235 - 242.
- [8] 毛景文, 李红艳, 王登红, 等. 华南地区中生代多金属矿床形成与地幔柱关系[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17(2): 63 - 65.
- [9] 李永胜, 甄世民, 公凡影, 等. 湖南水口山铅锌金银矿田鸭公塘 3 号岩体地质及地球化学特征[J]. 矿物学报, 2015, 35(S1): 708 - 709.
- [10] 华仁民. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩—成矿的时间差及其地质意义[J]. 地质论评, 2005, 51(6): 633 - 639.
- [11] 谢银财. 湘南宝山铅锌多金属矿区花岗闪长斑岩成因及成矿物质来源研究[D]. 南京:南京大学, 2013.
- [12] 全伟, 邵拥军. 湘东南茶陵地区锡田岩体成因分析[J]. 南方金属, 2014(6): 13 - 21.