

铜陵地区中酸性侵入岩锆石群 结晶特征及成因

吴才来 周珣若 黄许陈 张成火

(中国地质大学, 北京 100083) (安徽省地矿局321地质队, 铜陵 244033)

关键词 中酸性侵入岩 锆石群 统计分析 成因

提要 铜陵地区中生代中酸性侵入岩锆石的晶面统计分布, 呈不对称正态和不对称对数正态的单峰、双峰和双曲线型; 同时, 同一岩体中出现不同端员锆石群晶型的共生, 它们反映岩浆混合作用的存在。由锆石晶面统计分析可以求得不同类型岩石开始与终止结晶的温度: 辉石二长闪长岩, 900—700℃; 石英二长闪长岩, 850—650℃; 花岗闪长岩, 800—650℃; 花岗闪长斑岩, 650—600℃。岩浆物理学研究表明, 高粘度的花岗闪长斑岩岩浆有利于锆石(311)晶面发育, 低粘度的辉石二长闪长岩岩浆有利于锆石(111)晶面发育。锆石群的平均碱度指数和平均温度指数相关图解表明, 本区中酸性侵入岩岩浆的物质来源为幔壳混源型。

1 概述

铜陵地区是长江中下游重要的铁、铜成矿带之一, 所处大地构造位置为扬子准地台下扬子台拗的中部。区内发育的中酸性侵入岩主要为燕山期, 同位素年龄为110—180 Ma。岩体多呈小岩株、岩墙、岩床产出, 单个岩体出露面积一般为2—5 km², 最大的约10 km² (凤凰山花岗闪长岩体), 最小的不到0.5 km² (青山脚石英二长闪长岩体)。主要岩石类型包括: 辉石二长闪长岩、二长闪长岩、石英二长闪长(玢)岩、花岗闪长(斑)岩、花岗(斑)岩。在前两类偏基性的岩石中, 含有尖晶石辉石岩及角闪石岩包体和少量的闪长质微粒包体; 在后三类偏酸性的岩石中, 含大量闪长质暗色微粒包体和由其组成的包体群带, 同时还含有富云母包体及少量的角闪石岩包体^[1]。组成各类侵入岩及包体的主要造岩矿物为斜长石(*An* 22—*An* 75)、次透辉石、阳起角闪石、钙镁角闪石、镁黑云母、正长石和石英, 部分斜长石有被熔蚀的基性核心(如鸡冠山石英二长闪长岩)和反环带构造(如大团山花岗闪长岩)。侵入岩的稀土总量变化范围为 262×10^{-6} — 141×10^{-6} , 并且有从偏基性岩到偏酸性岩逐渐降低的趋势, 但它们的稀土元素配分模式十分相似, 即为轻稀土元素分馏明显而重稀土元素分馏不明显的、无Eu异常的右倾型。 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化范围为9.71‰—13‰。岩相学、岩石化学、岩石地球化学及同位素地质学等综合研究表明, 本区侵入岩由幔壳混源型岩浆形成。

本文在上述岩石学研究的基础上, 选取具代表性的12个岩体做了18个人工重砂, 统计测量了2686颗锆石的晶形, 用统计分析方法及岩浆物理学方法, 着重研究了本区中酸性侵入岩内锆石群的结晶特征, 并探讨了其成因学意义。

本文得到高等学校博士学科点专项科研基金(9249101)及国家科技攻关项目(85—901—03)的资助, 本文于1993年10月20日收到, 1994年3月25日改回。

2 锆石特征

本区中酸性侵入岩中均含有锆石,但在不同岩石类型中,锆石的特征特别是晶面的发育具有明显差异。以8个有代表性的岩体为例(表1)说明如下:

表1 锆石的主要特征
Table 1 Main features of zircon

岩石类型	辉石二长闪长岩		石英二长闪长岩			花岗闪长岩		花岗闪长斑岩
岩体名称	白芒山	湖城洞	鸡冠山	青山脚	包村	凤凰山	大团山	瑶山
颜色	黄色	浅褐红色	无色	无色、浅黄色	淡黄色	米黄色	无色、浅黄色	无色
粒度(mm)	0.04—0.20	0.02—0.15	0.03—0.22	0.03—0.25	0.03—0.20	0.02—0.25	0.02—0.15	0.03—0.40
含量(g/10kg)	0.0187	0.2640	0.0844	0.2184	0.3465	0.2568	0.0278	0.0785
晶面发育特征	大多数颗粒的(110)较(100)发育,(111)较(311)发育		(311)和(111)发育程度均等,(110)较(100)发育	部分颗粒(110)和(111)发育,部分颗粒(110)和(311)发育	(111)和(311)发育程度均等,(100)较(110)发育	(311)和(111)、(100)和(110)发育程度均等	(311)和(111)发育程度均等,(100)较(110)发育	(100)和(311)最发育
熔蚀特征	多数颗粒表面具熔蚀坑		部分颗粒表面具熔蚀坑		少数颗粒表面具熔蚀坑	部分颗粒表面具熔蚀坑	少数颗粒表面具熔蚀坑	无熔蚀坑
长宽比	1.5:1—2:1	1:1—2:1	2:1—3:1			2:1—4:1		3:1—5:1

从辉石二长闪长岩(白芒山、湖城洞岩体)→石英二长闪长岩(鸡冠山、青山脚、包村岩体)→花岗闪长岩(凤凰山、大团山岩体)→花岗闪长斑岩(瑶山岩体),锆石的偏锥面(311)和柱面(100)越来越发育,而正锥面(111)和柱面(110)越来越不发育。此外,锆石表面的熔蚀坑也越来越不明显,长宽比越来越大。这些特征表明,偏基性的岩浆有利于锆石正锥面(111)和四方柱面(110)组成的聚形发育,而偏酸性的岩浆有利于锆石的偏锥面(311)和四方柱面(100)组成的聚形发育。锆石表面熔蚀坑的形成与锆石结晶后寄主岩浆温度的升高有关,而岩浆温度的升高与分离结晶作用释放的潜热或与深部岩浆上升补给提供的热量有关。

3 锆石晶面的统计分析

3.1 锆石晶面的统计分布型式

按Pupin等(1980)的方法^[2],测量并计算了不同岩石类型中锆石不同晶面出现的频数,并绘出锆石点群分布图,限于篇幅,此图从略。图1是用直方图表示的锆石晶面统计分

布型式。

由图 1 可见，辉石二长闪长岩中的锆石，锥面呈不对称（左缓右陡）对数正态和正态分布，柱面呈微弱双峰式分布；石英二长闪长岩和花岗闪长岩中的锆石，锥面为正态和不对称正态分布以及双峰式分布，柱面为不对称对数正态和双峰式分布；花岗闪长斑岩中的锆石，

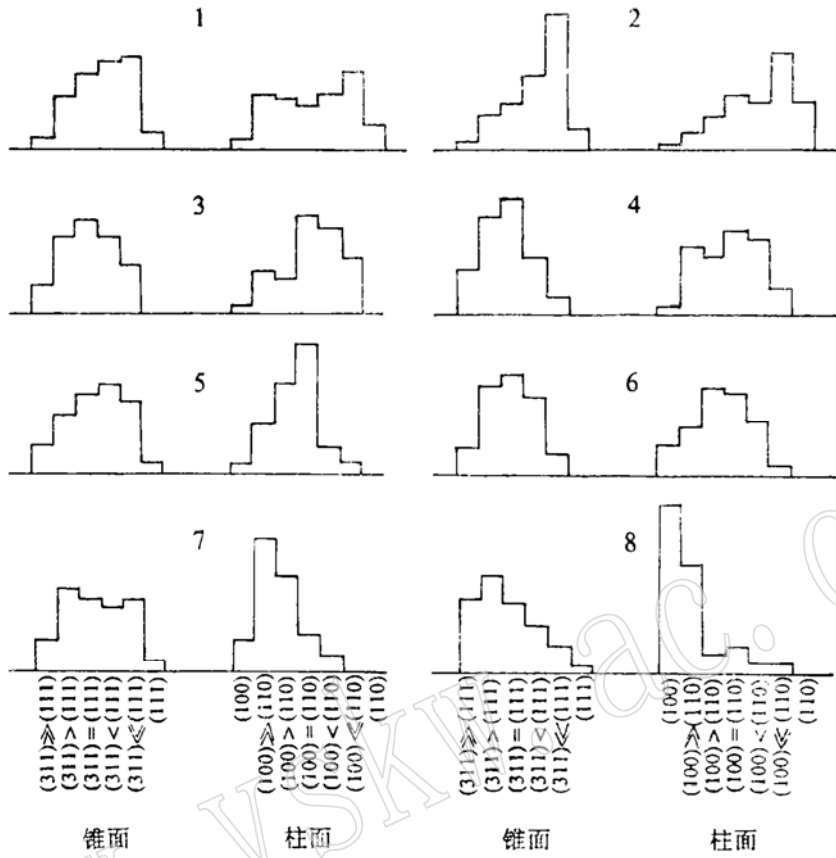


图 1 锆石晶面统计分布型式

Fig. 1 Statistical distribution pattern of zircon crystal faces

辉石二长闪长岩：1—白芒山岩体；2—湖城洞岩体；石英二长闪长岩：3—鸡冠山岩体；4—包村岩体；5—青山脚岩体；花岗闪长岩：6—凤凰山岩体；7—大团山岩体；花岗闪长斑岩：8—瑶山岩体

锥面为不对称（左陡右缓）单峰式分布，柱面为不对称双曲线式分布。

一般来说，在自然岩浆体系内，若以一种岩浆作用为主（如分离结晶作用），那么在岩浆演化过程中，所形成锆石的晶面统计规律应受概率法则的支配，即呈正态或对数正态分布。如果单一体系岩浆在演化过程中，受到另外一种性质不同的岩浆体系的干扰（如混合作用），那么锆石晶面统计规律将不受概率法则的支配，例如，本区侵入岩中锆石晶面统计分布出现的不对称单峰式、双峰式和双曲线式，即是如此。

3.2 统计分析

3.2.1 R 型聚类分析

对不同类型岩石中锆石晶面统计频数进行了 R 型聚类分析，并作出谱系图(图 2)。由图

2 可见, 本区中酸性侵入岩中的锆石主要为三大群:

第一群: 以(311) \gg (111)锥面分别和(100)、(100) \gg (110)、(100) $>$ (110)柱面组成 Pupin(1980)锆石群标型图^[22](下同)中的L₁、S₁和S₆晶型, 主要对应于花岗闪长斑岩。

第二群: 以(311) $>$ (111)、(311)=(111)锥面分别和(110) $>$ (100)、(100)=(110)柱面组成S₁₇、S₁₂、S₁₈和S₁₃晶型, 主要对应于石英二长闪长岩和花岗闪长岩。

第三群: 以(111) $>$ (311)、(111) \gg (311)、(111)锥面分别与(110)、(110) \gg (100)柱面组成J₄、S₂₄、J₅、S₂₅、D、P₅晶型, 主要对应于辉石二长闪长岩。

可见, 花岗闪长斑岩和辉石二长闪长岩中的锆石群分别代表了中酸性侵入岩的两个端员, 而石英二长闪长岩和花岗闪长岩中的锆石群则为上述两端员之间的过渡类型。值得指出的是, 在统计测量中, 还发现石英二长闪长岩和花岗闪长岩中出现两端员锆石群晶型的共生, 例如S₁和S₂₄的共生等。

3.2.2 Q型聚类分析

根据统计锆石晶面出现的频数, 计算出各种类型岩石的碱度指数(*I. A*)和温度指数(*I. T*)^[9]。计算结果表明, 由偏基性到偏酸性的岩石, 其*I. T*值迅速变小, 而*I. A*值缓慢变小。将*I. T*值与*I. A*值进行Q型聚类分析, 并作出谱系图(图3)。由图3可见, 本区中酸性侵入岩主要为三大类:

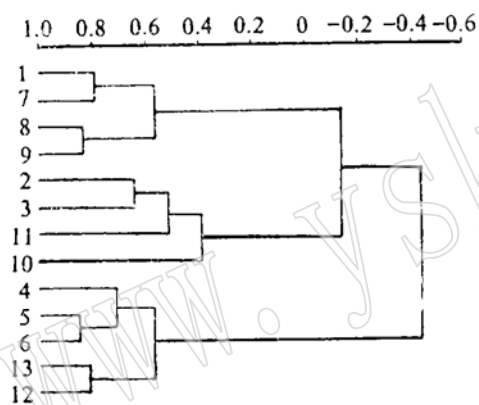


图2 锆石晶面统计频数R型聚类分析谱系图
Fig. 2 Dendritic diagram of R-mode cluster analysis for statistical frequency of zircon crystal faces

第一群: 1—(311) \gg (111); 7—(100); 8—(100) \gg (110); 9—(100) $>$ (110); 1+7=L₁; 1+8=S₁; 1+9=S₂; 第二群: 2—(311) $>$ (111); 3—(311)=(111); 11—(110) $>$ (100); 10—(100)=(110); 2+11=S₁₇; 2+10=S₁₂; 3+11=S₁₈; 3+10=S₁₃; 第三群: 4—(111) $>$ (311); 5—(111) \gg (311); 6—(111); 13—(110); 12—(110) \gg (100); 4+13=J₄; 4+12=S₂₄; 5+13=J₅; 5+12=J₂₅; 6+13=D; 6+12=P₅

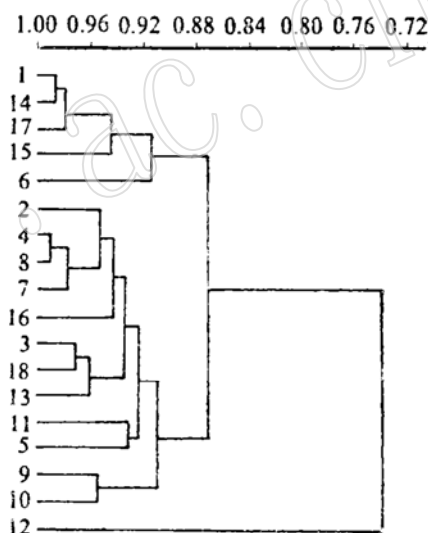


图3 各类型岩石碱度指数(*I. A*)和温度指数(*I. T*)Q型聚类分析谱系图

Fig. 3 Dendritic diagram of Q-mode cluster analysis for alkalinity indexes and temperature indexes of different types of intrusive rocks

辉石二长闪长岩: 1—湖城洞岩体; 14、15、16—白芒山岩体; 17—舒家店岩体; 石英二长闪长岩、花岗闪长岩: 2、5—包村岩体; 3、4—青山脚岩体; 7、8、16—鸡冠山岩体; 18—曹山岩体; 13—乌栗山岩体; 11—凤凰山岩体; 9—大团山岩体; 10—胡村岩体; 花岗闪长斑岩: 12—瑶山岩体

第一类:辉石二长闪长岩;

第二类:石英二长闪长岩和花岗闪长岩;

第三类:花岗闪长斑岩。

因此,根据锆石晶面统计分析划定的岩石类型与岩相学、岩石化学以及地球化学方法对岩石类型的划分结果是一致的。

4 锆石结晶温度的确定

应用上述不同岩石类型中锆石晶面统计结果,根据锆石群标型图解^[2],可以求得锆石的结晶温度(表2)。表2中锆石加权平均温度是按照统计的四方柱面(110)和(100)出现的频率求出的。此外,为了对比,在表2中还列出了由岩石内黑云母计算的结晶温度。

表2 不同岩石类型中锆石的结晶温度

Table 2 Crystallization temperature of zircon in different types of rocks

岩石类型	辉石二长闪长岩		石英二长闪长岩			花岗闪长岩		花岗闪长斑岩
	白芒山	湖城洞	鸡冠山	青山脚	包村	凤凰山	大团山	瑶山
结晶温度区间(°C)	900—750	900—700	850—650	850—650	850—650	800—650	800—600	650—600
加权平均温度(°C)	827	800	770	744	724	714	680	640
黑云母温度计(°C) (据Wones,1973)	840—750		780—690			730—660		660

由表2可以看出:

(1) 锆石的结晶温度区间为900—600℃。其中,随岩石基性程度的降低,温度区间亦随之降低:辉石二长闪长岩,900—700℃;石英二长闪长岩,850—650℃;花岗闪长岩,800—650℃;花岗闪长斑岩,650—600℃。

(2) 由辉石二长闪长岩→石英二长闪长岩→花岗闪长岩→花岗闪长斑岩,锆石结晶的加权平均温度依次为:(827—800℃)→(770—724℃)→(714—680℃)→(640℃)。

(3) 应用锆石晶面统计计算与黑云母温度计计算的结晶温度变化趋势是比较一致的。其中,锆石结晶的区间跨度较大,它比黑云母开始晶出的温度高,而终止的结晶温度低。

(4) 锆石晶面统计分析结果可以作为一种温度计,为判断中酸性侵入岩的结晶温度梯度以及岩浆的固、液相线温度提供依据。

5 锆石晶面的发育与岩浆成分及粘度的关系

锆石的结晶习性与岩浆的物理性质,特别是岩浆的粘度有着密切的关系^[5,6]。而岩浆粘度的大小与岩浆中的成网离子(如Si⁴⁺、部分Al³⁺和Fe³⁺)、变网离子(如K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Fe²⁺)、H₂O的含量以及岩浆温度等直接相关。熔体结构的聚合作用模式表明,岩浆

中成网阳离子愈多,则聚合程度愈高,粘度愈大;相反,变网阳离子愈多,则聚合程度愈低,粘度愈小。 H_2O 在岩浆中起破坏熔体结构中桥键的作用,使熔体发生解聚,导致岩浆粘度降低。此外,岩浆的温度愈高,其分子的活动性愈强,使岩浆的粘度变小。

本文用 Shaw(1972)的阿氏关系法^[7]计算了本区不同岩石类型的岩浆粘度。在计算中取用了表2所列锆石结晶温度的上限及下限,计算结果见表3。总的来看,随着岩石酸度的增大、锆石结晶温度的降低,则岩浆粘度随之增大。须要指出的是,花岗闪长斑岩尽管 SiO_2 含量并不比石英二长闪长岩及花岗闪长岩高,而且 H_2O 含量高,但它却具有较高的岩浆粘度,这与它含有斜长石斑晶有关。本文在计算中,对于富含斑晶的花岗闪长斑岩,采用了爱因斯坦-罗科斯方程^[8]: $\mu_e = \mu_0(1-RC)^{-2.5}$, 式中 μ_0 为按 Shaw的方法^[5]计算的无斑晶岩浆的粘度, μ_e 为含斑晶岩浆的有效粘度。

表3 不同类型岩石的岩浆成分、锆石结晶温度及岩浆粘度

Table 3 Magmatic composition and zircon crystallization temperature as well as magma viscosity for different types of rocks

岩性	辉石二长闪长岩		石英二长闪长岩			花岗闪长岩		花岗闪长斑岩	
	白芒山	湖城河	鸡冠山	青山脚	包村	凤凰山	大团山	瑶山	
代表岩体	白芒山	湖城河	鸡冠山	青山脚	包村	凤凰山	大团山	瑶山	
化学成分 (wt%)	SiO_2	51.52	53.31	62.44	61.55	64.09	63.95	64.01	63.67
	TiO_2	1.23	1.16	0.58	0.68	0.80	0.58	0.57	0.50
	Al_2O_3	17.40	17.54	16.57	16.74	16.67	16.02	15.78	16.02
	Fe_2O_3	2.76	3.64	1.95	1.46	2.15	2.14	1.83	2.23
	FeO	5.63	5.43	2.62	3.44	2.04	3.01	4.09	2.92
	MnO	0.14	0.18	0.07	0.10	0.07	0.09	0.12	0.12
	MgO	3.31	3.49	1.36	2.04	1.69	1.35	1.44	1.46
	CaO	9.76	8.19	5.23	5.93	3.34	4.10	4.08	4.72
	Na_2O	3.78	3.90	4.25	3.72	3.56	4.38	4.05	1.54
	K_2O	3.14	2.23	3.39	3.19	3.48	3.15	3.03	2.87
	P_2O_5	0.57	0.42	0.25	0.21	0.28	0.25	0.23	0.25
	H_2O	0.77	0.52	1.29	0.93	0.85	0.98	0.76	3.72
锆石结晶 温度(°C)	900—750	900—700	850—650	850—650	850—650	800—650	800—600	650—600	
岩浆粘度 (Pa·s)	2.79×10^2 — 5.33×10^3	6.31×10^2 — 4.90×10^3	1.79×10^3 — 4.05×10^6	2.37×10^4 — 5.77×10^7	7.67×10^2 — 2.53×10^7	1.28×10^5 — 3.05×10^7	1.81×10^5 — 9.97×10^7	3.96×10^5 — 9.09×10^8	

化学成分由江苏省地矿局中心实验室测试

总之,直接影响岩浆粘度的因素除了温度以外,岩浆的成分以及岩浆的晶出状态对其粘度均具有重要的影响。而岩浆粘度又与屈服强度有关,粘度愈大,屈服强度愈大,这不仅影响晶体的沉浮行为,而且制约着晶出晶体的结晶习性,特别是高粘度的岩浆对晶出晶体的晶面将产生较大的压应力,促使面网间距小的晶面优先生长。大量的X射线衍射结果^[9]表明,锆石的(311)面网间距(2.65 Å)比(111)面网间距(4.45 Å)小,所以,在粘度大的花岗闪长斑岩岩浆中,晶出锆石的(311)面发育;而在粘度较小的辉石二长闪长岩岩浆中,晶出锆石的(111)面发育。

6 锆石群指数($I.T, I.A$)与岩浆物质来源

根据锆石晶面统计分析结果, 分别计算出各岩体锆石群的平均温度指数 ($I.\bar{T}$) 和平均碱度指数 ($I.\bar{A}$)^[2] (表4), 通过这些指数在图4的投点可以指示岩浆的物质来源^[10]。

表4 各岩体平均温度指数 ($I.\bar{T}$) 和平均碱度指数 ($I.\bar{A}$) 的计算结果

Table 4 Calculation results of average temperature indexes ($I.\bar{T}$) and alkalinity indexes ($I.\bar{A}$) for some intrusive bodies

岩石类型	辉石二长闪长岩					石英二长闪长岩					花岗闪长岩					花岗闪长斑岩		
岩体名称	白芒山	湖城涧	舒家店	鸡冠山	青山脚	包村	曹山	凤凰山	大团山	胡村	乌栗山	瑶山						
$I.\bar{T}$	643	529	561	609	494	462	550	523	561	448	567	477	393	537	359	418	406	269
$I.\bar{A}$	458	473	362	505	435	449	400	414	395	439	383	375	408	398	426	440	470	360

由图4的投点可以看出, 白芒山、湖城涧及舒家店岩体的辉石二长闪长岩主要落入4c区, 反映岩浆物质主要来自地幔, 但也混入少量的壳源成分; 鸡冠山、青山脚、包村及曹山岩体的石英二长闪长岩和凤凰山、大团山、胡村、乌栗山岩体的花岗闪长岩主要落入4a和

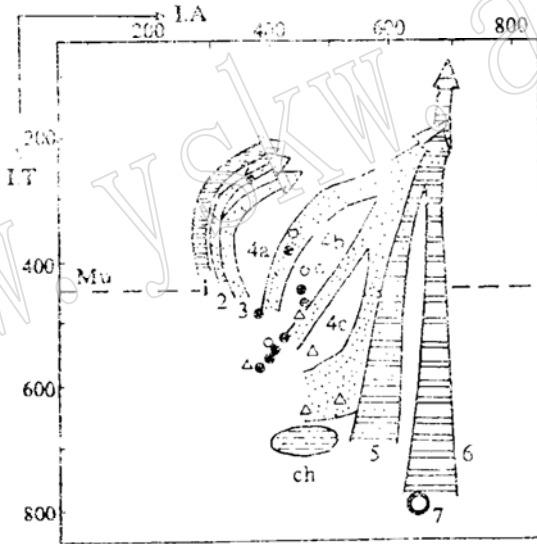


图4 锆石群指数 ($I.T, I.A$) 与不同成因花岗岩演化趋势相关图 (底图引自 Pupin, 1980)

Fig. 4 Correlogram between indexes of zircon groups and evolution trends of genetically-different granites (the base map from Pupin, 1980)

1—壳源高铝浅色花岗岩; 2—壳源半原地二长花岗岩和花岗闪长岩; 3—壳源异地侵入高铝二长花岗岩和花岗闪长岩; 4a、4b、4c—地壳地幔成因钙碱性花岗岩(密点区—花岗闪长岩+二长花岗岩, 稀点区—二长花岗岩=碱性花岗岩); 5—地壳+地幔成因亚碱性系列花岗岩; 6—地幔成因或主要为地幔成因的碱性系列花岗岩; 7—地幔成因拉斑玄武岩系列花岗岩; ch—紫苏花岗岩区; $I.T$ —温度指数; $I.A$ —碱度指数; Mu—白云母; 虚线之上为低温区, 虚线之下为高温区。△—辉石二长闪长岩; ●—石英二长闪长岩; ○—花岗闪长岩; ◆—花岗闪长斑岩

4b区,说明岩浆物质来源于地幔和地壳源的混合;瑶山花岗闪长斑岩落入2区,反映岩浆物质主要来源于地壳,但也混有少量的幔源物质成分。因此,本区侵入岩由辉石二长闪长岩→石英二长闪长岩→花岗闪长岩→花岗闪长斑岩,幔源成分越来越少,壳源成分越来越多。

7 结论

(1) 锆石晶面统计分布型式出现不对称正态和不对称对数正态型以及同一岩体中出现不同端员锆石群晶型的共生,均表明本区中酸性侵入岩混合作用的存在^[11]。

(2) 锆石晶面统计分析结果可以作为一种地质温度计,用以反映岩浆结晶的始末温度以及晶出温度的跨度。

(3) 岩浆的成分、熔体结构、晶出状态以及温度决定着岩浆的物理性质,其中粘度性质对中酸性侵入岩中锆石不同晶面的发育起着重要作用。因此,锆石晶面研究是了解岩浆物理性质的重要途径之一。

(4) 根据锆石晶面统计分析结果计算的岩石碱度指数和温度指数以及相关的图解,可以从矿物学的角度判断岩浆的物质来源。

参 考 文 献

- 1 周珣若、吴才来等. 铜陵中酸性侵入岩同源包体特征及岩浆动力学. 岩石矿物学杂志, 1993, 12(1): 20—31.
- 2 Pupin J P. Zircon and granite petrology. Contribution to mineralogy and petrology, 1980, 73: 207—220.
- 3 Pupin J P. Magmatic zoning of Hercynian granitoids in France—based on zircon typology. Switz. Mineral. Petrol. Mitt., 1985, 65: 29—56.
- 4 Wones D R, Eugster H P. Stability of biotite, experiment theory and application. Am. Mineralogist, 1965, 50, 167: 1228—1269.
- 5 周珣若、吴国忠等. 岩浆岩的熔点、粘度及其与化学成分的关系. 岩石学报, 1987, (1): 77—85.
- 6 莫宣学. 岩浆熔体结构. 地质科技情报, 1985, 2: 21—31.
- 7 Shaw H R. Viscosities of magmatic silicate liquids: An empirical method of prediction. Am. J. Sci., 1972, 272: 870—893.
- 8 马昌前. 岩浆活动中某些动力学参数的估算方47—51法. 1. 地质科技情报, 1986, 3:
- 9 Smith D K. Selected powder diffraction data for minerals. U. S. A., 1974, 73.
- 10 严炳淦, 周珣若等. 漳州复式岩体锆石的标型特征及地球化学意义. 福建地质, 1991, 10(1): 49—63.
- 11 周珣若. 花岗岩混合作用. 地学前缘, 1994, 1(1—2): 87—97.

Crystallization Characteristics and Genesis of the Zircon Group in Intermediate-Acid Intrusive Rocks of Tongling Area

Wu Cailai Zhou Xunruo

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Huang Xuchen Zhang Chenghuo

(No. 321 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Mineral
Resources, Tongling 244033)

Key words: intermediate-acid intrusive rock; zircon group; statistical analysis; genesis

Abstract

The corrosion holes on the crystal faces of zircon from the Mesozoic intermediate-acid intrusive rocks of Tongling area resulted from the rising temperature caused by heat or latent heat of crystallization arising from upward intrusion of deep magma after the crystallization of zircon. Statistics of zircon crystal faces show asymmetric normal and asymmetric lognormal distribution patterns noted for unimodal, bimodal and hyperbolic forms, and there exists the association of different crystal forms of zircon which belong to different end-member zircon groups in the same intrusive body, suggesting the hybridization of different genetic types of magma. The crystallization temperatures of different types of rocks as shown by statistics of zircon crystal faces are in the range of 900—700°C for pyroxene monzodiorite, 850—650°C for quartz monzodiorite, 800—650°C for granodiorite, and 650—600°C for granodiorite porphyry respectively. Studies of magma physics have shown that the composition, crystalline state and temperature of magma decided the viscosity of magma, which, in turn, conditioned the development of different zircon crystal faces in intermediate-acid intrusive rocks. For example, the high viscosity of granodiorite was favorable for the development of (311) face while the low viscosity of pyroxene monzodiorite for that of (111) face. The correlogram between the average alkalinity index and the average temperature index of zircon demonstrates that magmatic materials responsible for the intermediate-acid intrusive rocks in the area were derived from the mantle-crust mixtures.