

云南澜沧老厂花岗斑岩中锆石标型特征及地质意义

陈 琿 李 峰 坚润堂 罗思亮 姚 巍

(昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 运用 Pupin 的锆石标型研究方法, 通过对锆石晶形的鉴定和统计来探讨云南省澜沧老厂花岗斑岩的成因信息。研究表明, 本区花岗斑岩中的锆石有 20 种亚型, 主要由{110}柱面和{101}锥面构成, 其中柱面以{110}最为发育, 锥面{101}和{211}都发育, 但{101}较{211}更为发育; T. E. T 曲线比较短, 且主要分布在演化趋势图的右上角, 表明锆石主要在低温过碱环境中形成, 结晶速度较快, 结晶温度范围 750~600℃。锆石的结晶标型显示, 本区隐伏花岗斑岩是以壳源为主的壳幔源混合成因的花岗斑岩。

关键词: 锆石标型, 花岗斑岩, 成因类型, 澜沧老厂

中图分类号: P578.94⁺1; P588.12⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)01-0041-09

Typomorphic characteristics and geological significance of the zircon from the Laochang granite porphyry in Lancang, Yunnan Province

CHEN Hui, LI Feng, JIAN Run-tang, LUO Si-liang and YAO Wei

(Department of Earth Sciences, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Petrogenesis of Laochang granite-porphyry is discussed in this paper based on evaluating and counting zircon crystal forms. In this study, Pupin's method for zircon typomorphic research was employed. The result shows that the growth of zircon cone was controlled by the ratio of aluminum-alkali to silicon-aluminum, whereas the crystallization temperature was the dominant factor controlling the growth of zircon cylinder. If the zircon was formed in an aluminum or low-alkali environment, {211} cone is more developed than {101} cone, and sometimes only {211} cone is developed, with no {101} cone. Where the zircon was produced in an alkali or low aluminum environment, {101} cone is more developed than {211} cone, and the zircon in alkali granite only develops {101} cone and does not have {211} cone. T. E. T has a long evolutionary line when magmatic crystallization was slow and the time-domain of zircon crystallization was long. On the contrary, if the magma rapidly crystallized or the zircon was quickly crystallized from the magma, the T. E. T line is relatively short, the zircon crystal form is relatively unitary and does not show remarkable variation. Statistics show that zircon crystals in Laochang granite-porphyry assume mainly short or long cylindrical, tetragonal bipyramidal and ditetragonal dipyramidal forms and subordinately sharpened pencil-like or equigranular forms, pale yellow or colorless in color. The crystal size varies in the range of 42 μm \times 35.5 μm ~ 302 μm \times 115 μm , and the ratio of length to width is mainly between 2:1 and 3.5:1 and subordinately between 1.5:1 and 4:1. Crystal inclusions are rarely seen, and cracks are not developed. Twenty zircon crystal forms were identified in the Laochang granite-porphyry, and G₁, L₄, S₃, S₄, S₅, S₆, S₇, S₈, S₉, S₁₂, S₁₃, S₁₄ crystal forms are relatively numerous. The zircon crystals are composed of cylinder{110}, {100} and cone {101}, {211}. With {100} cylinder and {101} and {211} cone

收稿日期: 2009-06-09; 修订日期: 2009-11-09

基金项目: 云南省澜沧县澜沧铅矿接替资源勘查资助项目(200653056)

作者简介: 陈 琿(1985-), 女, 汉族, 硕士研究生, 主要从事矿物岩石学研究, E-mail: 297108773@qq.com。

being very well developed, and $\{101\}$ more developed than $\{211\}$. T.E. T line is short and is mainly distributed at the top right corner of the evolution trend map. The zircon typomorphic characteristics suggest that the zircon in Laochang granite-porphry was formed in a low-temperature and peralkaline environment characterized by rapid crystallization, with the crystallization temperature ranging between 750 °C and 600 °C. A comprehensive analysis of chemical composition, chronology and zircon typomorphic features of Laochang granite-porphry shows that the Laochang concealed granite-porphry was formed mainly by crust source petrogenesis with the addition of mantle source composition, and the rich alkali, rich water and rich ore-forming materials in this granite-porphry constituted a favorable ore-forming magma system.

Key words: zircon typomorphic characteristics; granite-porphry; petrogenesis; Laochang in Lancang

澜沧老厂多金属矿床位于云南省澜沧县北西约 30 km 地处澜沧江断裂以西的昌宁-孟连裂谷带南段,是我国历史上重要的产银矿山,至今已有 600 年的开采历史,过去一些学者认为它是“三江”成矿带重要的火山喷流沉积型铅锌银矿床(杨开辉等, 1992; 潘桂棠等, 2003)。

矿区的隐伏花岗斑岩最初发现于上世纪 80 年代后期,在 ZK15006、ZK15007 和 ZK15106 中先后揭露出花岗斑岩脉,埋深标高在 1 400~1 500 m 之间,一些学者对其岩石学特征做了研究,对矿床成因提出了新的认识,如燕山晚期—喜山期中酸性岩浆热液成因矿床(徐楚明等, 1991; 欧阳成甫等, 1993; 薛步高, 1995); 早石炭世火山热液充填交代+燕山期中酸性岩浆热液成因矿床(周凤禄, 1991; 叶同庆等, 1992); 早石炭世火山喷流沉积+后期岩浆热液成因的多因复成矿床(王增润等, 1992; 李雷等, 1996; 陈百友等, 2000)。但大多因揭露程度差,研究程度低,并未形成系统的认识。2007 年以来,在全国危机矿山接替资源勘查项目实施中, ZK153101、ZK14827 等钻孔先后揭露出多段花岗斑岩脉、主岩体和厚大的辉钼矿化带,隐伏花岗斑岩及其成矿引起了高度重视。老厂矿区经新一轮研究确定为早石炭世火山喷流沉积+喜山期斑岩热液叠加成因矿床,为典型的多因复成矿床(陈国达, 1982)。

锆石标型特征与岩石成因的研究始于 20 世纪 70 年代,之后在花岗岩的研究中广泛应用(鲍学昭, 1995; 孟繁聪等, 1999; 范春方等, 2000)。Pupin (1980) 根据锆石晶体不同柱面和锥面的组合关系及其发育程度,将锆石群型划分为 16 个主型和 64 种亚型,设计出锆石标型分布图(图 1),又称 A-T 图。图的纵、横坐标分别为温度指数(I_T)和碱度指数(I_A)。纵坐标从上往下温度指数增加,横坐标从左至右碱度指数增加。需要说明的是, Pupin 对锆石的定

向与我国一些学者采用的定向相差 45°角,前者定向的柱面 $\{100\}$ 相当于后者的 $\{110\}$,而 $\{110\}$ 相当于 $\{100\}$; 前者的锥面 $\{101\}$ 相当于后者的 $\{111\}$, $\{211\}$ 相当于 $\{311\}$, $\{301\}$ 相当于 $\{331\}$ 。为配合斑岩成因、成岩成矿物理化学条件研究,本文采用 Pupin (1980) 提出的锆石定向及群型划分方法,侧重从锆石标型特征的角度,探讨澜沧老厂早喜山期含矿花岗斑岩的成因,这对于危机矿山接替资源勘查,具有一定得理论意义和实用价值。

1 老厂花岗斑岩及锆石的一般特征

1.1 花岗斑岩岩石学及形成时代

本区花岗斑岩主要呈灰白-灰色,斑状结构,块状构造,斑晶主要由钾长石、石英和斜长石组成,并含少量黑云母,基质主要由等轴微细粒正长石、石英组成,粒度一般在 0.01~0.15 mm 之间,含量大于 50%。

老厂花岗斑岩的岩石化学成分见表 1,花岗斑岩 SiO_2 含量 62.32%~73.07%,平均 67.83%; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.73\% \sim 9.21\%$,平均 8.23%, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$,具典型的低钛、富碱高钾特点,与三江地区喜山期富碱高钾斑岩特征相似(王登红等, 2006)。徐楚明等(1991)对 ZK15006、ZK15007、ZK15106 钻孔中的花岗斑岩进行了锶同位素分析,测得花岗斑岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70835 \sim 0.71544$,这一数值略低于地壳岩石的平均值(约为 0.720),又明显高于地幔平均值(约为 0.707),由此可以判断,花岗斑岩应是地壳重熔为主,有部分幔源物质混入的花岗岩。

岩体附近围岩蚀变强烈,以钾化、矽卡岩化、黄铁矿化、碳酸盐化、大理岩化、绢云母化、萤石化和沸石化等为主。

花岗斑岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 法年龄为

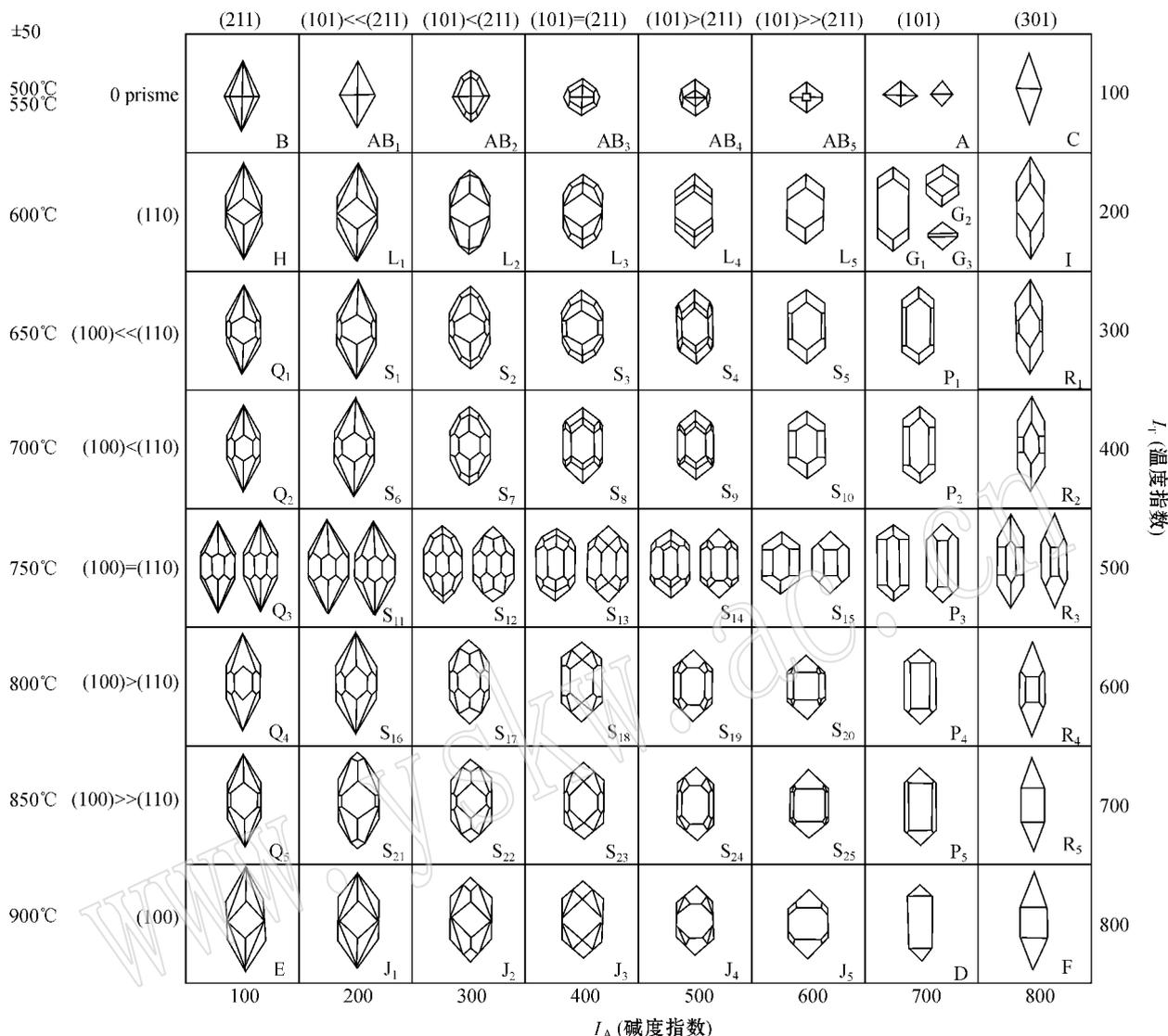


图 1 锆石群标型 A-T 图(据 Pupin,1980)

Fig. 1 Zircon typomorphic distribution diagram(after Pupin,1980)

表 1 老厂花岗斑岩主要元素成分

$w_B/\%$

Table 1 Major element composition of Laochang concealed granite porphyry

样号	SiO ₂	Ti ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁻	CO ₂	烧失	总量
153101-89	68.09	0.22	14.23	1.96	0.80	0.02	0.91	1.92	0.44	7.29	0.09			3.11	99.08
15006-1	62.32	0.80	11.92	8.06	0.40	0.09	0.24	痕	0.21	9.00	0.12	0.68		6.31	100.14
15006-2	73.07	0.09	11.38	3.58	痕	0.04	0.47	0.14	0.29	7.48	0.07	0.53	0.77	2.70	100.61
平均	67.83	0.37	12.51	4.53	0.60	0.05	0.54	0.69	0.31	7.92	0.09	0.61		4.04	

注：15006-1、15006-2 样据欧阳成甫等(1991) ZK153101-89 样品由云南省核工业测试研究中心测试。

44.6 Ma[锆石的 SHRIMP U-Pb 法同位素定年工作在中国地质科学院北京离子探针中心完成,设备为高分辨率二次离子探针质谱仪(SHRIMP II),测试时应用标准锆石 TEM(417 Ma) 进行分馏校正,单个数据点的误差均为 1σ ,采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,其加

权平均值置信度为 95%],与斑岩有关的辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 43.78 Ma(辉钼矿 Re-Os 同位素等时线在国家地质实验测试中心完成,采用电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS,对于 Re:选择质量数 185、187,用 190 监测 Os;对于

Os :选择质量数为 186、187、188、189、190、192。用 185 监测 Re),前者代表岩浆侵位结晶年龄,后者为斑岩钼矿成矿年龄,是典型的早喜山期岩浆作用的产物。

岩相学研究表明,花岗斑岩中的锆石较发育,既见于斑岩基质中,也见于斜长石、正长石、石英、黑云母和磷灰石等斑晶中。锆石呈微晶产出,自形较好,发育良好的韵律环带(图 2),内部可见浑圆状老核,具典型的岩浆成因锆石特征。

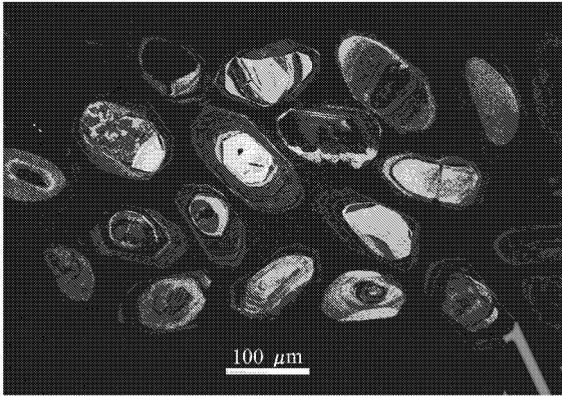


图 2 老厂花岗斑岩锆石阴极发光图像

Fig. 2 Cathodoluminescence images of zircons from Laochang granite porphyry

1.2 锆石晶体特征及晶形统计

挑选锆石的 3 件样品分别取自 ZK153101 孔的 1、2、3 号花岗斑岩脉中,编号分别为 TW-1、TW-2、TW-3 3 个样品统计晶体颗粒数分别为 60、60、100。

锆石的电子探针分析结果见表 2。其中,Zr 含量变化在 45.91% ~ 60.53% 之间,平均值为 53.19%,Hf 含量在 1.42% ~ 2.22% 之间,平均值为 1.71%。

锆石晶体主要呈短-长柱状和四方双锥、复四方双锥的聚形晶体,少数为削尖的铅笔头状和等粒状,

表 2 锆石电子探针分析结果

$w_B/\%$

Table 2 Electron Microprobe analyses of major elements in zircon

	O	Si	Hf	Zr
1	34.01	13.30	1.42	51.27
2	28.04	15.95	1.87	54.15
3	29.24	15.02	1.64	54.10
4	37.70	14.96	1.42	45.91
5	25.38	11.86	2.22	60.53
平均值	30.87	14.22	1.71	53.19

注:电子探针测试在昆明理工大学云南省新材料制备与加工重点实验室 PHOENIX EDAX 能谱仪上测试。测试条件:kV:30.0,TILT 0.30,TAKE-OFF 35.14,AMPT:17.0,DETECTOR TYPE:SUTW-SAPPHIRE,RESOLUTION:134.20。

以淡黄色和无色透明为主。柱面发育 {110} 和 {100},{110} \geq {100},锥面 {101} 和 {211} 均较为发育。晶体大小 42 μm \times 35.5 μm ~ 302 μm \times 115 μm 。长宽之比多数在 2:1 ~ 3.5:1 之间,少数为 1.5:1 和 4:1。晶体中包裹体较少,裂隙不发育。

通过扫描电镜和实体显微镜观测相结合的方法对锆石晶形进行鉴别统计,本区花岗斑岩中的锆石有 20 种亚型,其中,以 G₁、L₄、S₃、S₄、S₅、S₆、S₇、S₈、S₉、S₁₂、S₁₃、S₁₄ 亚型相对较多(表 3)。典型锆石形貌特征见图 3。

2 锆石标型群的平均指数和标型演化势的计算

在对锆石晶形进行鉴别和统计基础上,参考姚素珠等(1990)的计算方法,计算出各种类型锆石的出现频率,填入 Pupin 锆石群标型频率分布图的相应位置(图 4),将不同类型锆石的出现频率填入 A-T 方格图(图 5)。然后,算出各行各列频率的总和(N_A 和 N_T)及平均 A、T 指数的平均值,步骤如下:

表 3 老厂花岗斑岩锆石群统计结果

Table 3 Statistics of zircons in Laochang granite porphyry

样品	亚型(颗粒数 频率)
TW-1	G ₁ (9, 0.15) P ₁ (3, 0.05) P ₂ (3, 0.05) L ₁ (1, 0.02) L ₂ (1, 0.02) S ₃ (3, 0.05) S ₄ (5, 0.08) S ₅ (3, 0.05) S ₆ (1, 0.02) S ₇ (3, 0.05) S ₈ (7, 0.11) S ₉ (12, 0.20) S ₁₂ (1, 0.02) S ₁₃ (7, 0.11) S ₁₄ (1, 0.02)
TW-2	G ₁ (5, 0.08) P ₁ (2, 0.03) P ₂ (2, 0.03) L ₁ (1, 0.02) L ₂ (4, 0.07) S ₃ (4, 0.07) S ₄ (3, 0.05) S ₅ (2, 0.03) S ₆ (7, 0.12) S ₇ (12, 0.20) S ₈ (4, 0.07) S ₉ (2, 0.03) S ₁₂ (3, 0.05) S ₁₃ (7, 0.12) S ₁₄ (2, 0.03)
TW-3	G ₁ (16, 0.16) P ₁ (1, 0.01) P ₂ (1, 0.01) L ₁ (1, 0.01) L ₂ (2, 0.02) L ₃ (2, 0.02) S ₁ (1, 0.01) S ₂ (5, 0.05) S ₃ (5, 0.05) S ₄ (2, 0.02) S ₅ (5, 0.05) S ₆ (10, 0.1) S ₇ (11, 0.11) S ₈ (1, 0.01) S ₉ (1, 0.01) S ₁₀ (1, 0.01) S ₁₁ (10, 0.1) S ₁₂ (20, 0.2) S ₁₃ (6, 0.06)

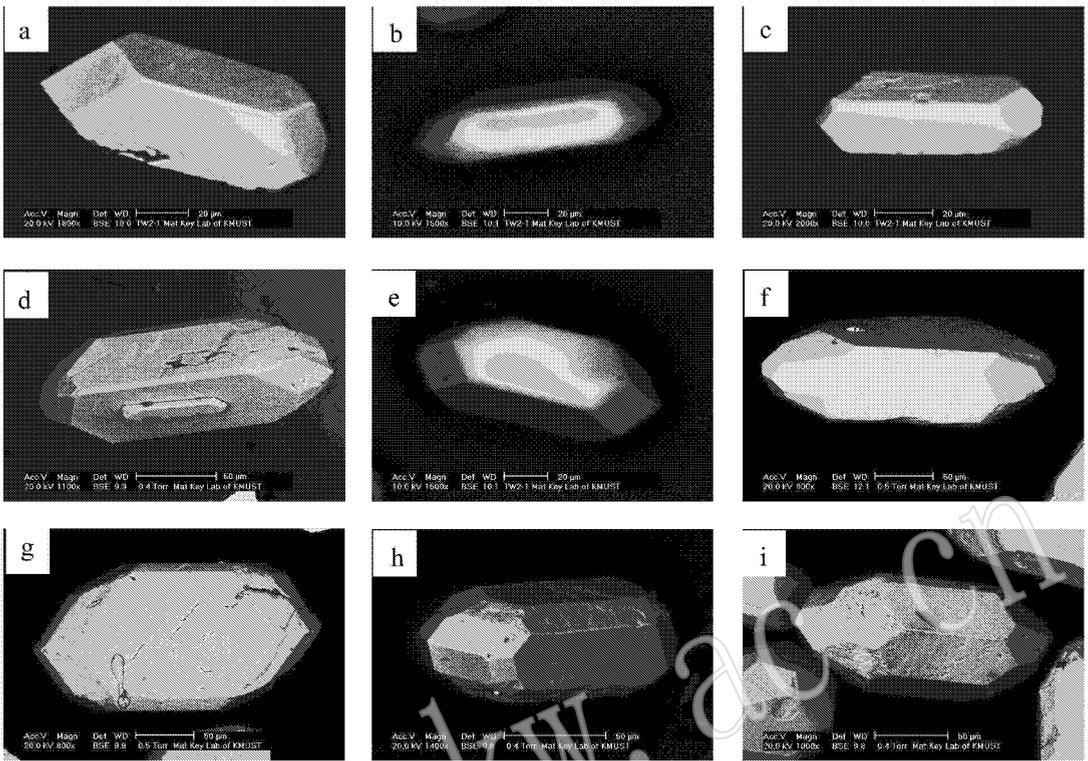


图 3 老厂花岗岩斑岩中锆石典型标型形貌扫描电镜图像

Fig. 3 Typical typonomorphic morphology of zircon by electron microscope scanning of Laochang granite porphyry

a—G₁ 型 柱面发育{110}，锥面发育{101}；b—L₄ 型 柱面发育{110}，锥面发育{101}和{211}，{101} > {211}；c—P₁ 型 柱面发育{110}和{100}，{110} > {100}，锥面发育{101}；d—S₃ 型 柱面发育{110}和{100}，{110} > {100}，锥面发育{101}和{211}，{101} = {211}；e—S₅ 型 柱面发育{110}和{100}，{110} > {100}，锥面发育{101}和{211}，{101} > {211}；f—S₇ 型 柱面发育{110}和{100}，{110} > {100}，锥面发育{101}和{211}，{101} < {211}；g—S₈ 型 柱面发育{110}和{100}，{110} > {100}，锥面发育{101}和{211}，{101} = {211}；h—S₉ 型 柱面发育{110}和{100}，{110} > {100}，锥面发育{101}和{211}，{101} > {211}；i—S₁₃ 型 柱面发育{110}和{100}，{110} = {100}，锥面发育{101}和{211}，{101} = {211}

a—G₁-type : {110} cylinder developed , {101} cone developed ; b—L₄-type : {110} cylinder developed , {101} and {211} cone developed , {101} > {211} ; c—P₁-type : {110} and {100} cylinder developed , {110} > {100} , {101} cone developed ; d—S₃-type : {110} and {100} cylinder developed , {110} > {100} , {101} and {211} cone developed , {101} = {211} ; e—S₅-type : {110} and {100} cylinder developed , {110} > {100} , {101} and {211} cone developed , {101} > {211} ; f—S₇-type : {110} and {100} cylinder developed , {110} > {100} , {101} and {211} cone developed , {101} < {211} ; g—S₈-type : {110} and {100} cylinder developed , {110} > {100} , {101} and {211} cone developed , {101} = {211} ; h—S₉-type : {110} and {100} cylinder developed , {110} > {100} , {101} and {211} cone developed , {101} > {211} ; i—S₁₃-type : {110} and {100} cylinder developed , {110} = {100} , {101} and {211} cone developed , {101} = {211}

(1) 根据 A-T 方格图中各行、列频率总和 (N_A 和 N_T) 及频率值, 计算 A、T 指数的平均值 \bar{I}_A 和 \bar{I}_T 。以 TW-1 样为例, 平均值 \bar{I}_A 和 \bar{I}_T 计算方法为:

$$\bar{I}_A = \sum_{I_A=100}^{800} I_A \cdot N_A = 200 \times 0.02 + 300 \times 0.07 + 400 \times 0.27 + 500 \times 0.32 + 600 \times 0.07 + 700 \times 0.25 = 510,$$

$$\bar{I}_T = \sum_{I_T=100}^{800} I_T \cdot N_T = 200 \times 0.19 + 300 \times 0.23 + 400 \times 0.43 + 500 \times 0.15 = 354.$$

同时求得 TW-2 和 TW-3 的平均碱度指数分别为 455、466, 平均温度指数为 368、375。

(2) 求锆石标型群的演化势 (T.E.T)。在 A-T 方格图上取每一行 I_T 的 I_A 平均值 (表 4) 将各行的平均值连成一条折线 (图 6), 此折线表示的轨迹和方向即演化势 (T.E.T)。

以 TW-1 样为例, 各行的平均碱度计算如下:

$$I_{A200} = 500 \times 0.1 + 600 \times 0.1 + 700 \times 0.8 = 670,$$

$$I_{A300} = 400 \times 0.22 + 500 \times 0.34 + 600 \times 0.22 + 700 \times$$

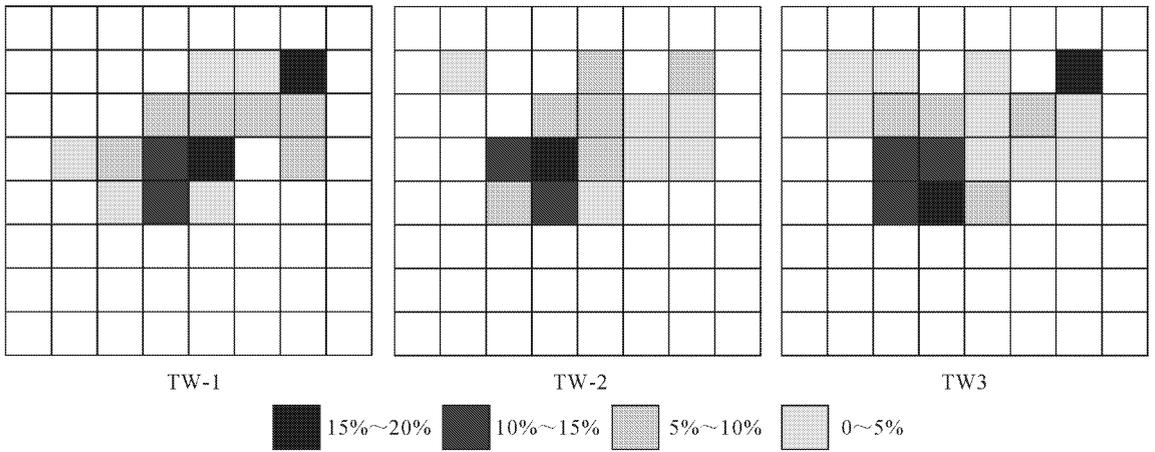


图 4 老厂花岗岩斑岩锆石标型群的频率分布图

Fig. 4 Typomorphic frequency distribution of zircons from Laochang granite porphyry

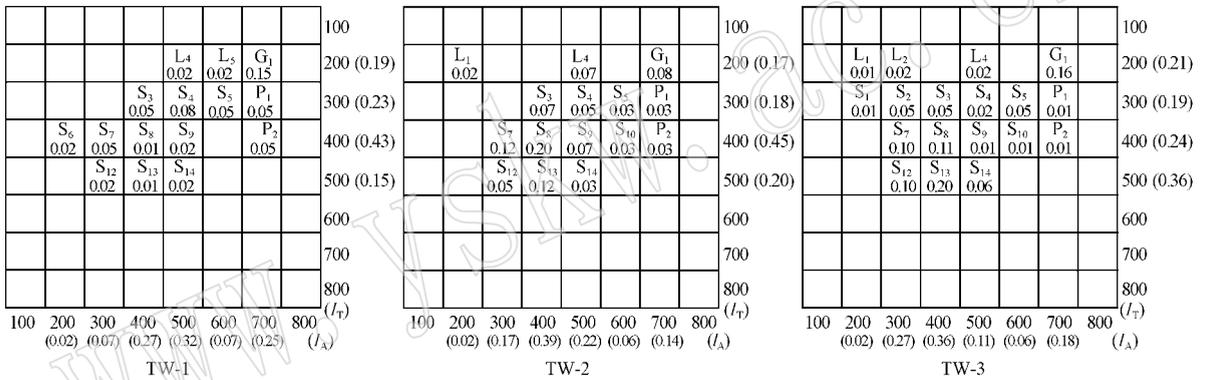


图 5 A-T 方格图

Fig. 5 A-T diagram

$$0.22 = 544 ,$$

$$I_{A400} = 200 \times 0.05 + 300 \times 0.12 + 400 \times 0.26 + 500 \times 0.45 + 700 \times 0.12 = 459 ,$$

$$I_{A500} = 300 \times 0.13 + 400 \times 0.74 + 500 \times 0.13 = 400 .$$

注 :以 I_{A200} 为例, I_{A200} 的频率综合为 0.19, 图 5 已表示出, 500 后面的小数为 $0.02/0.19 = 0.1$, 600 后面的小数为 $0.02/0.19 = 0.1$, 700 后面的小数为 $0.15/0.19 = 0.18$.

表 4 各行平均碱度指数

Table 4 Mean alkalinity indices of every line

	T=200	T=300	T=400	T=500
TW-1	670	544	459	400
TW-2	558	511	423	390
TW-3	619	442	383	388

3 结果讨论

研究表明, 锆石群型指数 I_A 受铝与碱的比值、硅铝比值控制, 而控制锆石柱面发育程度的主导因素是结晶环境温度 (Pupin, 1980)。在过铝或低碱环境中生成的锆石, {211} 锥面比 {101} 锥面更为发育, 有时只发育 {211}, 而没有 {101}; 反之在过碱、低铝或 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值大的环境中生成的锆石, {101} 锥面比 {211} 锥面更发育, 碱性花岗岩中的锆石只有 {101} 而无 {211}。锆石柱面的发育程度主要决定于结晶温度的高低, 较低温度下 ($\leq 700^\circ\text{C}$) 晶出的锆石, 其 {110} 比 {100} 更发育; 较高温度下 ($> 750^\circ\text{C}$) 形成的锆石则主要发育 {100}, 而 {110} 不发育或缺失。在贫水的岩浆中, 锆石在岩浆早期阶段结晶, 而

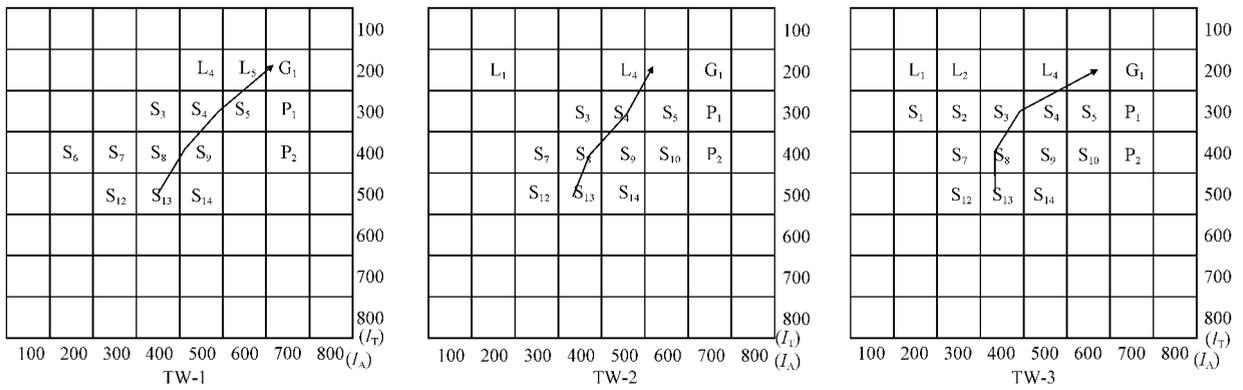


图 6 锆石标型的演化趋势图

Fig. 6 Zircon typomorphic evolutionary diagram

在富水的岩浆中,锆石结晶作用可以从早期延续到晚期阶段,结晶温度跨度大。通过锆石群型的统计和计算,可以判断花岗岩类的成因环境和演化趋势。

本次研究的锆石大量产于花岗斑岩脉体中,是岩浆晚阶段演化的产物,锆石晶形主要由{101} {211}锥面和{100} {110}柱面构成,其中柱面以{110}最为发育,锥面{101}和{211}都较发育,但{101}较{211}更为发育,具低温过碱环境锆石特征。指示澜沧隐伏花岗斑岩体是过碱岩浆在浅成环境下结晶而成,结晶温度较低。

一般说来,锆石晶形的演化在岩浆结晶过程中是由高温到低温、由富铝到富碱,即从折线的左下端向右上端演化。岩浆结晶缓慢,锆石的晶出时域长,T.E.T演化线也长,相反,如果岩浆快速结晶或锆石从岩浆中迅速晶出,T.E.T的线段便比较短,锆石晶形比较单一,无太大的变化。由图6可以看出,3件样品的锆石标型演化曲线主要分布在图的右上角,T.E.T线段比较短,表明锆石在偏碱低温环境中形成,且结晶速度较快。锆石结晶温度由750℃到600℃。

锆石群类型作为岩体成因类型判别的标志,已越来越受到人们的重视(廖忠礼等,2006)。Pupin(1980)将锆石晶形与岩体形成时的物理、化学条件联系起来,并归纳出锆石晶体类型群图解,将锆石晶形的研究同岩体的成因类型和大地构造环境联系起来(图7),以锆石晶形为基础将花岗岩分为3种成因类型:①地壳成因或主要为地壳成因的花岗岩(S型);②壳幔混合成因的花岗岩、混染花岗岩(I型);③地幔成因或主要是地幔成因的花岗岩(M型)。不同成因的花岗岩,锆石群型的分布有一定范围,反之,当已知锆石群型频率分布范围,就可指示花岗岩

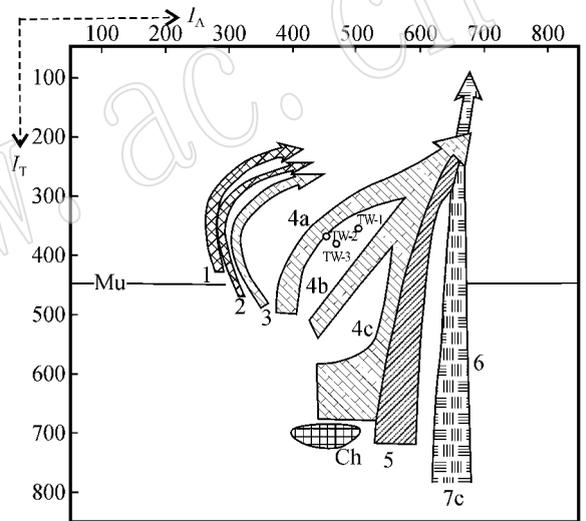


图 7 不同成因类型花岗岩中锆石群平均点及演化势分布范围(据 Pupin, 1980)

Fig. 7 Average points of zircon group and evolution of different genetic types of granite(after Pupin, 1980)

Mu—白云母花岗岩线 ($I_T < 450$); Ch—岩浆成因的紫苏花岗岩区壳源或以壳源为主的花岗岩; 1—铝质浅色花岗岩; 2—原地二长花岗岩和花岗闪长岩; 3—侵入的铝质二长花岗岩和花岗闪长岩、壳、幔混合花岗岩; 4—钙碱性系列花岗岩; 5—亚碱性系列花岗岩, 幔源或幔源为主的花岗岩; 6—碱性系列花岗岩; 7—拉斑玄武岩系列花岗岩

Mu—muscovite granite line; Ch—magmatic charnockite area; Crust—derived or mainly crust-derived granites: 1—Light color aluminium-oversaturated granite; 2—in-situ adamellite and granodiorite; 3—intrusive aluminum-oversaturated granite and granodiorite; Compound crust-mantle derived granites: 4—calc-alkaline series granite; 5—sub-alkaline series granite; Mantle-derived or mainly mantle-derived granites: 6—alkaline series granite; 7—tholeiite series granite

类的成因。将老厂 3 件样品的平均温度指数和平均碱度指数投影在图 7 中, 3 个样品均落在壳幔混合型成因的花岗岩区或钙碱性系列花岗岩区, 但更靠近壳源花岗岩一侧, 指示矿区花岗斑岩是以壳源为主的壳幔源混合成因花岗斑岩。本次测得花岗斑岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 法年龄有 3 组, 第 1 组为 43.5~46.3 Ma, 6 个测点均位于锆石生长环带发育的中外侧, 代表岩浆结晶过程中生长的部分, 表面年龄数据集中, 在协和曲线年龄图中数据点成群分布, 线性关系好, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄的加权平均值为 44.6 ± 1.2 Ma。第 2 组为 129.5~226.1 Ma, 第 3 组为 529.3 Ma。第 2、3 组年龄值测点位于锆石老核, 为岩浆重熔过程中俘获源岩中的锆石, 应代表源岩年龄。据锆石年龄组成分析, 笔者认为, 矿区含矿岩浆的起源与壳内重熔有关。

本研究区的锆石载体采自主岩体顶部岩脉, 属超浅成斑岩。其中的锆石结晶温度较低, 应是富水岩浆演化晚期的结晶产物。

从锆石群类型与结晶环境关系研究及前述的岩石化学成分等特征分析, 本区隐伏花岗斑岩的岩浆来源较深(有幔源物质参与), 富碱、富水, 并富含成矿物质, 应是有利成矿的岩浆系统。

4 结论

(1) 澜沧老厂花岗斑岩中的锆石有 20 种亚型, 主要由{100} {110}柱面和{101} {211}锥面构成, 其中柱面以{110}最为发育, 锥面{101}和{211}都发育, 但{101}较{211}更为发育;

(2) 3 件样品的锆石标型演化曲线主要分布在演化趋势图的右上角, T.E.T 线段比较短, 表明锆石主要在低温过碱环境中形成, 结晶速度较快, 结晶温度范围 750~600℃。

(3) 从锆石群类型与结晶环境关系研究及前述的岩石化学成分、年代学等特征分析, 本区隐伏花岗斑岩是以壳源为主的壳幔源混合成因花岗斑岩, 岩体富碱、富水, 并富含成矿物质, 应是有利成矿的岩浆系统。

References

Bao Xuezhao. 1995. Two trends of composition variation of zircons and their significance in origin discrimination[J]. *Acta Mineralogica Sini-*

ca, 15(4): 404~410 (in Chinese with English abstract).

Chen Baiyou, Wang Zengrun, Peng Shenglin, *et al.* 2000. A discussion about the genesis of Laochang polymetallic deposit, yunnan[J]. *Yunnan Geology*, 21(2): 134~144 (in Chinese with English abstract).

Chen Guoda. 1982. Polygenetic compound deposit and its forming mechanism based on crustal evolutionary regularity[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 6(1): 1~5 (in Chinese with English abstract).

Fan Chunfang and Chen Peirong. 2000. Characteristics and significance of the population typology of zircon from granitoids in Southern Jiangxi province[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 15(4): 299~306 (in Chinese with English abstract).

Li Lei, Duan Jiarui, Li Feng, *et al.* 1996. Geologic features and mltpieriodic syntopogenic metallogenesis of the Laochang Cu-Poly-metal deposit in Lancang, Yunnan[J]. *Yunnan Geology*, 15(3): 246~250 (in Chinese with English abstract).

Liao Zhongli, Mo Xuanxue, Pan Guitang, *et al.* 2006. Characteristics and implication of the topology of zircons from the Peraluminous Granites in Tibet[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 37(1): 63~71 (in Chinese with English abstract).

Meng Fancong, Sun Daisheng, Li Shengrong, *et al.* 1999. Characteristics and significance of zircon topology of Cishan granite in Jiaodong[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 18(1): 87~94 (in Chinese with English abstract).

Ouyang Chengfu, Xu Chuming, Hu Chengqi, *et al.* 1993. Predicted existence of a concealed Granitic body in the Laochang silver-lead deposit and the geologic significance, Lancang, Yunnan[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 17(2): 119~126 (in Chinese with English abstract).

Pan Guitang, Xu Qiang, Hou Zengqian, *et al.* 2003. The Ore-forming System and Resource Evaluation of the Process of Islands Arc Orogenesis in "Sanjian", Southwest of China[M]. Beijing: Gel. Pub. House (in Chinese).

Pupin J P. 1980. Zircon and granite petrology[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73.

Wang Denghong, Ying Hanlong, Liang Huaying, *et al.* 2006. Cenozoic Continental Geodynamics and Large Scale Mineralization in the Sanjiang Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 47 (in Chinese).

Wang Zengrun, Wu Yanzhi, Duan Jiarui, *et al.* 1992. The metallogenesis of Lancang Rift and the genesis of Laochang Cu-Pb-Ag deposit in Western Yunnan[J]. *Geological Explopration for Non-Ferrous Metals*, (4): 207~215 (in Chinese with English abstract).

Xu Chuming and Ouyang Chengfu. 1991. A study on the genesis of the Ag-Pb-Zn Deposit in Lancang, Lancang, Yunnan[J]. *Junmal of Guilin College of Geology*, 11(3): 245~252 (in Chinese with English abstract).

Xue Bugao. 1995. Geological Characteristics of Ag-Pb polymetallic deposit outer Sn granite[J]. *Mineral Resources and Geology*, 9(3): 12~23 (in Chinese with English abstract).

Yang Kaihui, Hou Zengqian and Mo Xuanxue. 1992. Volcangenic mas-

sive sulfide deposits in Sanjiang Region, southwest China, geological features and main types[J]. Mineral Deposits, 11(1): 35~44(in Chinese with English abstract).

Yao Suzhu, Dong Yibao and Pupin J P. 1990. A study of origin for some west Sichuan Granites based on typology[J]. Bulletin of the Chendu College of Geology, 17(4): 33~45(in Chinese with English abstract).

Ye Qingtong, Hu Yunzhong, Yang Qing, et al. 1992. The Geochemical Background Character and Mineralization of Au-Ag-Pb-Zn in Sanjiang[M]. Beijing: Geol. Pub. House(in Chinese).

Zhou Fenglu. 1991. Metallogenic conditions of Laochang Pb-Zn-Ag deposit in Lancang[J]. Southwest of Minerals and Geology, 5(2): 16~28(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

鲍学昭. 1995. 锆石中两种成分变化趋势及其成因标型意义[J]. 矿物学报, 15(4): 404~410.

陈百友, 王增润, 彭省临, 等. 2000. 澜沧老厂银铅锌铜多金属矿床成因探讨[J]. 云南地质, 21(2): 134~144.

陈国达. 1982. 多因复成矿床并从地壳演化规律看其形成机理[J]. 大地构造与成矿学, 6(1): 1~55.

范春方, 陈培荣. 2000. 赣南不同类型花岗岩体的锆石形态群特征及其意义[J]. 地质找矿论丛, 15(4): 299~306.

李 雷, 段嘉瑞, 李 峰, 等. 1996. 澜沧老厂铜多金属矿床地质特征

及多期同位成矿[J]. 云南地质, 15(3): 246~256.

廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 等. 2006. 西藏过铅花岗岩锆石群型的成因信息[J]. 大地构造与成矿学, 37(1): 63~71.

孟繁聪, 孙岱生, 李胜荣, 等. 1999. 胶东磁山花岗岩体的锆石形态群特征及其意义[J]. 岩石矿物学杂志, 18(1): 87~94.

欧阳成甫, 徐楚明, 胡承绮, 等. 1993. 云南澜沧老厂银铅矿区隐伏花岗岩体预测及其意义[J]. 大地构造与成矿学, 17(2): 119~126.

潘桂棠, 徐 强, 侯增谦, 等. 2003. 西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价[M]. 北京: 地质出版社.

王登红, 应汗龙, 梁华英, 等. 2006. 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿[M]. 北京: 地质出版社.

王增润, 吴延之, 段嘉瑞. 1992. 滇西澜沧裂谷成矿作用论老厂大型铜铅银矿床成因[J]. 有色金矿产与勘查, (4): 207~215.

徐楚明, 欧阳成甫. 1991. 云南澜沧老厂银铅锌矿床成因研究[J]. 桂梓冶金地质学院学报, 11(3): 245~252.

薛步高. 1995. 含锡花岗岩外带银铅多金属矿床的地质特征[J]. 矿产与地质, 9(3): 12~23.

杨开辉, 侯增谦, 莫宣学. 1992. 三江地区火山岩成因块状硫化物矿床的基本特征与主要类型[J]. 矿床地质, 11(1): 35~44.

姚素珠, 董宜宝, Pupin J P. 1990. 川西高原几个花岗岩体的岩浆起源浅探[J]. 成都地质学院学报, 17(4): 33~45.

叶庆同, 胡云中, 杨 清, 等. 1992. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用[M]. 北京: 地质出版社.

周凤禄. 1991. 澜沧老厂铅银矿床成矿条件浅识. 西南矿产地质[J]. 5(2): 16~28.

2008 年度部分地质学类期刊主要计量指标一览表

序号	刊名	影响因子	总被引频次	他引率	序号	刊名	影响因子	总被引频次	他引率
1	地质科学	3.233	1398	0.69	16	沉积学报	1.141	2125	0.86
2	第四纪研究	2.438	2260	0.60	17	地球科学	1.112	1639	0.88
3	地球物理学报	2.295	3556	0.83	18	地球科学进展	1.067	2033	0.94
4	矿床地质	1.891	1233	0.82	19	地球化学	1.039	1498	0.90
5	岩石学报	1.786	2931	0.60	20	现代地质	1.038	929	0.75
6	地球物理学进展	1.661	1816	0.35	21	地球学报	0.940	1064	0.85
7	石油实验地质	1.644	1314	0.69	22	矿物岩石	0.901	693	0.89
8	地质学报	1.566	2013	0.85	23	岩石矿物学杂志	0.775	722	0.90
9	大地构造与成矿	1.548	663	0.67	24	岩矿测试	0.735	579	0.74
10	地学前缘	1.422	2428	0.94	25	吉林大学学报地球科学版	0.710	958	0.79
11	地质论评	1.393	1702	0.93	26	矿物岩石地球化学通报	0.655	492	0.92
12	中国科学 D	1.392	3075	0.92	27	地质力学学报	0.651	335	0.89
13	中国地质	1.207	909	0.72	28	地质科技情报	0.602	766	0.87
14	高校地质学报	1.159	869	0.94	29	地质与勘探	0.488	731	0.75
15	地质通报	1.135	1587	0.78	30	矿物学报	0.491	555	0.89

本表数据引自《2009 年版中国科技期刊引证报告(核心版)》(中国科学技术信息研究所编)。