

藏南萨迦拉轨岗日淡色花岗岩特征 及与变质核杂岩的关系

张金阳, 廖群安, 李德威, 张雄华, 袁晏明

(中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 藏南拉轨岗日带展布着串珠状变质核杂岩, 其内出露的淡色花岗岩体构成北喜马拉雅淡色花岗岩带。岩体既有在变质核杂岩内核中分布的, 亦有在滑脱系分布的, 岩体均表现出强力主动侵位的特征。淡色花岗岩可分为两期: 早期黑云母淡色花岗岩和晚期白云母淡色花岗岩。岩石高硅富铝, 含白云母±电气石±石榴石特征富铝矿物, 为 S 型花岗岩。北喜马拉雅淡色花岗岩结晶年龄为 17~10 Ma, 源岩为 MCT 上部基底副变质岩。当挤压体制与伸展体制转换时, 降压作用导致了岩浆的生成, 同时, 由于压力骤减, 年轻造山带更为塑性的下地壳物质与软层隆起导致上地壳伸展, 从而形成变质核杂岩, 岩浆对内核的上隆起到促进作用。

关键词: 变质核杂岩; 淡色花岗岩; 拉轨岗日; 西藏萨迦。

中图分类号: P58 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2003)06-0695-07

作者简介: 张金阳(1977—), 男, 现正攻读岩浆岩石学专业硕士学位。

藏南定日—萨迦—康马一线分布有平面上呈串珠状的变质核杂岩, 其内出露淡色花岗岩体, 即为北喜马拉雅淡色花岗岩带(又称拉轨岗日淡色花岗岩带)。Chen 等^[1]在藏南最早确定了康马变质核杂岩。李德威^[2]在萨迦—康马链状隆升亚带识别出一系列穹状隆起, 具热隆伸展性质, 实质上相当于在该带识别出变质核杂岩。李德威等^[3]最近对拉轨岗日变质核杂岩结构和成因进行了详细研究。高洪学等^[4]对康马东也拉香波倾日变质核杂岩的地质和构造特征进行过研究, 认为在印度板块和亚欧板块碰撞后的陆内调整阶段, 北喜马拉雅淡色花岗岩浆生成和侵位与地壳伸展、深部物质上隆和多层次滑脱剥离作用相关联。在藏南萨迦拉轨岗日带分布着 3 个变质核杂岩, 其内出露喜山期淡色花岗岩体。然而, 拉轨岗日带变质核杂岩内淡色花岗岩研究程度极低, 几乎为空白。笔者以藏南拉轨岗日带变质核杂岩及其内的淡色花岗岩为研究对象, 通过对变质核杂岩结构、变质核杂岩内淡色花岗岩地质特征和地球化学特征的研究及高喜马拉雅淡色花岗岩与北喜马拉雅

淡色花岗岩异同的对比, 研究淡色花岗岩的成因及与变质核杂岩的关系。

1 地质特征

1.1 区域构造格架

藏南拉轨岗日带呈东西向展布, 处于雅江蛇绿混杂带与北喜马拉雅坳陷带之间, 在北部以萨迦逆冲断层与雅江蛇绿混杂岩带接触, 在南部以定日—岗巴逆冲断层与北喜马拉雅坳陷带接触, 向南以藏南拆离系主干拆离断层与高喜马拉雅隆起带分开(图 1)。

1.2 变质核杂岩的结构

藏南萨迦拉轨岗日带由西向东分布着阿马、总布容及普弄抗日 3 个变质核杂岩(图 1), 它们各自近似椭圆形, 为三层结构模式。

阿马变质核杂岩(图 2)内核由代表中地壳的拉轨岗日岩组元古代片麻岩组合、片岩—石英岩组合及喜山期淡色花岗岩组成; 片麻岩中见夕线石、石榴石等特征变质矿物, 达高角闪岩相变质; 初步研究表明, 变质核杂岩内核岩石组合与高喜马拉雅结晶基底岩系岩石组合非常相似, 这说明两者均来自印度

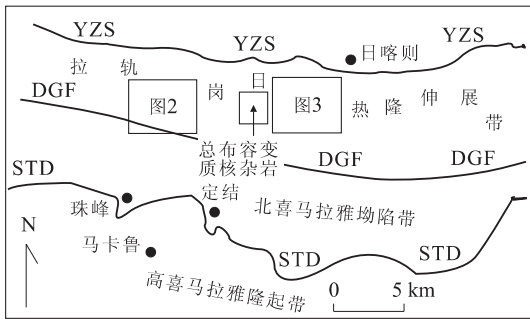


图 1 藏南地区构造格架

Fig. 1 Structure of Dingjie region, southern Tibet

YZS. 雅江缝合带; DGF. 定日—岗巴逆冲断层; STD. 藏南拆离断层

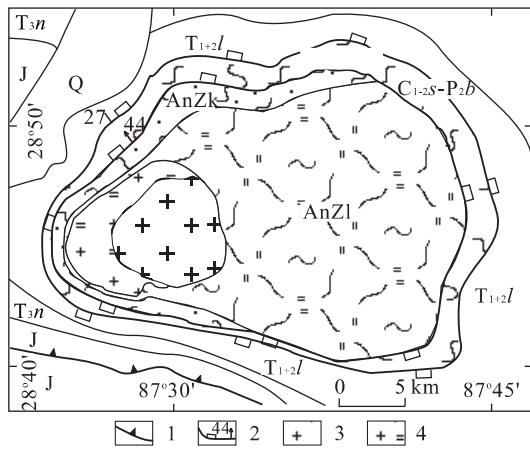


图 2 阿马变质核杂岩地质简图

Fig. 2 Simplified geological map of Ama metamorphic core complex

1. 定日—岗巴断裂; 2. 拆离断层; 3. 白云母淡色花岗岩; 4. 黑云母淡色花岗岩; AnZk. 拉轨岗日变质核杂岩、花岗岩质片麻岩与表壳变质岩; AnZl. 片岩组合; $C_{1-2s}-P_{2b}$. 低级变质岩; T_{1+2l} . 吕村组; T_{3n} . 温如组; Q. 第四系

板块的同一基底^①; 滑脱系由环绕内核的多层次拆离断层组成, 拆离断层具有韧性转换的特征, 造成地层缺失及断层岩出露; 盖层由石炭系、二叠系、三叠系和侏罗系浅变质岩或未变质岩组成, 围绕内核由老到新呈环形分布, 盖层由内至外出现接触变质分带, 受内核岩浆侵入及相关热活动的控制。

该区西部普弄抗日变质核杂岩与阿马变质核杂岩有所不同, 主要表现在: (1) 淡色花岗岩有在变质核杂岩内核中心分布的, 也有在拆离断层上分布的 (图 3); (2) AnZk 与 AnZl 之间以韧性剪切带接触, 具更强烈的塑性变形。总布容变质核杂岩出露不完

整, 内核缺少 AnZk 岩石组合, 形态似张开的剪刀, 其中的淡色花岗岩产于拆离断层之上。

2 淡色花岗岩特征

2.1 淡色花岗岩的地质特征

阿马变质核杂岩内抗青大淡色花岗岩体呈等轴状岩株产出, 出露面积约 90 km² (图 2), 岩体外倾, 接触面较陡, 岩体与围岩呈侵入接触, 边界不规则, 可见岩体内接触带发育与围岩外接触带产状一致的片麻理、摩棱岩面理, 表明岩体具强力主动侵位的特点。

普弄抗日变质核杂岩北部茶尔淡色花岗岩体呈椭圆状岩株产出, 出露面积约 60 km² (图 3), 岩体沿主次 2 条拆离断层之间侵位, 岩体北边外倾, 南边内倾, 与围岩呈侵入接触关系, 接触变质带很宽, 达 5 km 以上, 岩体与围岩接触带面理产状一致, 表明岩体明显受拆离断层控制, 但又呈现强力主动侵位的特点。

2.2 淡色花岗岩样品测试及岩石学特征

样品 B4558 与 B4560 由张宏飞等在中国地质大学壳幔体系组成、物质交换及动力学开放实验室制备, 采用 POEMS III 等离子体光谱仪测定。其余样品均由湖北省地矿局中心实验室制备、测试, 常量元素用湿化学分析; 微量、稀土元素用 X-射线荧光光谱分析。抗青大岩体分两期侵入, 早期为黑云母淡色花岗岩, 中—粗粒结构, 部分可见以钾长石为斑晶的似斑状结构, 黑云母含量约 10%, 见少量白云母和磷灰石副矿物, 只在岩体西部边缘分布。晚期为白云母淡色花岗岩, 细粒结构, 白云母含量约 10%, 电气石在岩体中不均匀分布, 呈团块状, 含量约 5%, 见少量黑云母, 含磷灰石副矿物。白云母与黑云母部分为次生, 围绕其他矿物边界生长。茶尔黑云母淡色花岗岩体为中粒结构, 白云母与黑云母总量约 10%, 两者含量基本相等, 局部有微小变化。副矿物见磷灰石、石榴石与榍石。白云母与黑云母部分次生, 围绕其他矿物边界生长。局部黑云母具绿泥石化及蛭石化。

2.3 淡色花岗岩的地球化学特征

淡色花岗岩在花岗岩定名分类图解 (QAP 图解) 中位于二长花岗岩的位置。岩石呈过铝质, $n(Al_2O_3) > (n(K_2O) + n(Na_2O) + n(CaO))$ (n 为分子数), 即 $A/CNK(1.07 \sim 1.24)$ 大于 1, 在铝饱和度—碱饱和度 ($A/CNK - A/NK$) 图解中投影于过铝质花岗岩的位置, CIPW 标准矿物中含刚玉分子

①李德威, 张雄华, 廖群安, 等. 1: 25 万定结幅陈塘区幅 (国内部分) 区域地质调查报告[R], 2003.

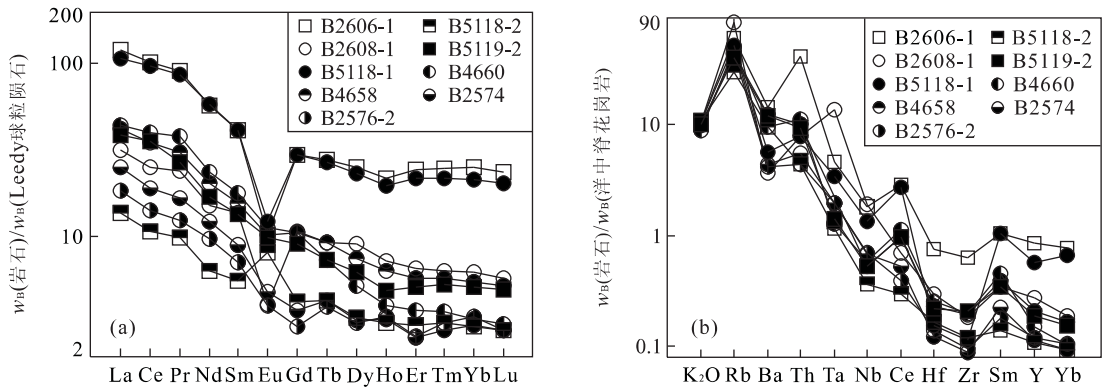


图 3 拉轨岗日淡色花岗岩稀土元素配分(a)及微量元素蛛网图(b)

Fig. 3 Leedy-chondrite normalized rare earth elements (a) and ocean ridge granite normalized trace element spider diagrams (b) for leucogranites

表 1 拉轨岗日淡色花岗岩主量元素分析结果

Table 1 Chemical compositions of the leucogranites

$w_B/\%$

样号	岩性	采样位置	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O ⁺
B2606-1	黑云母淡色花岗岩	抗青大	74.33	0.40	13.09	0.16	1.70	0.02	0.61	1.15	3.35	4.23	0.08	0.09	0.61
B2608-1	白云母淡色花岗岩		74.11	0.07	14.36	0.23	1.03	0.08	0.32	0.87	3.55	4.21	0.1	0.07	0.86
B2576-2	黑云母淡色花岗岩		73.30	0.17	15.15	0.01	1.07	0.02	0.51	1.34	3.57	3.59	0.14	0.08	0.86
B2574	黑云母淡色花岗岩		74.18	0.11	14.61	0.03	0.68	0.02	0.33	1.83	3.32	3.94	0.06	0.07	0.64
B5118-1	黑云母淡色花岗岩	茶尔	73.26	0.06	15.27	0.01	0.53	0.01	0.22	1.64	3.87	4.25	0.03	0.07	0.71
B5118-2	黑云母淡色花岗岩		73.57	0.05	15.08	0.02	0.47	0.01	0.26	1.65	3.72	4.29	0.02	0.07	0.71
B5119-2	黑云母淡色花岗岩		74.32	0.10	14.48	0.04	0.75	0.02	0.35	1.84	3.25	3.99	0.05	0.07	0.57

且多大于 1% (仅样品 B2606-1 为 0.9%)。岩石主要氧化物质量分数的变化范围很窄且都位于 S 型花岗岩的范围内 (表 1), 如 $w(\text{SiO}_2)$ 仅在 73.26%~74.33% 之间变化且大于 65%。岩石中 $w(\text{K}_2\text{O}) > w(\text{Na}_2\text{O})$, 其质量分数 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 比值在 1.1~1.2 之间, $w(\text{FeO})/w(\text{Fe} + \text{Mg})$ 在 0.64~0.76 之间。与中国花岗岩平均值相比, 岩石富 SiO₂、Al₂O₃ 和 K₂O, 贫 CaO、Na₂O、FeO、MgO 及 TiO₂。以上分析表明, 该区淡色花岗岩呈现 S 型花岗岩的特征, 这和岩石的矿物组合特征是一致的 (富白云母、电气石及石榴石等富铝矿物)。

拉轨岗日淡色花岗岩稀土元素数据 (表 2) 及稀土元素配分图 (图 3a) 呈现如下特征: ① $\sum \text{REE}$ 较低, 除样品 B2606-1 $\sum \text{REE}$ 为 244.85×10^{-6} 外, 其他样品 $\sum \text{REE}$ 都小于 100×10^{-6} , 个别低至 28.05×10^{-6} ; ② B5118-1 样品 $w(\text{Ce})_n/w(\text{Yb})_n$ 为 0.62, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 为 0.42, 重稀土元素富集, 显示左倾型, 其他样品 $w(\text{Ce})_n/w(\text{Yb})_n$ 在 3.55~12.14 之间, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 在 1.88~4.30 之间, 显示右倾型, 其中样品 B2576-2、B2574

LREE 强烈富集; ③ 样品 B2606-1、B2608-1 $\delta(\text{Eu})$ 值分别为 0.28、0.33, 呈强负 Eu 异常, 显示了强烈的斜长石分离结晶作用, 样品 B2574、B2576-2 $\delta(\text{Eu})$ 值分别为 0.78、0.80, 呈弱负 Eu 异常。样品 B5118-2 呈现正 Eu 异常, $\delta(\text{Eu})$ 值为 1.66, 其余 2 件样品分别为 0.70、0.87, 为弱负 Eu 异常; ④ 样品 B2608-1 与 B2606-1 的稀土元素配分曲线非常相似, 后者稀土元素总量大于前者, 但其配分曲线却与样品 B2574、B2576-2 的配分曲线有较大的不同, 显示不均一性。茶尔岩体样品稀土配分曲线也非常不均一, 在配分曲线中, 样品 B5118-2 甚至在 Eu 处呈现高峰形态, 相应 $\delta(\text{Eu})$ 值为 1.66, 是斜长石未分离结晶的结果; 样品 B5118-1 呈左倾型, 显示副矿物石榴石对之的影响; B5119-2 稀土元素总量在茶尔 3 个样品中最大, 显示副矿物磷灰石、石榴石及榍石的贡献^[5]。岩体这种成分不均一现象与岩浆部分熔融程度极低有关^[6]。

由微量元素数据 (表 2) 及洋脊花岗岩标准化蛛网图 (图 3b) 可以看出, 拉轨岗日淡色花岗岩相对富集 Rb、Ta、Ce、Sm, 不同程度地贫化 K₂O、Ba、

表 2 拉轨岗日淡色花岗岩稀土元素和微量元素分析结果

Table 2 REE and trace element compositions of the leucogranites

 $w_B/10^{-6}$

样号	采样位置	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
B2606-1	抗青大	45.07	99.92	12.35	40.50	9.50	0.87	9.10	1.63	9.81	1.90	6.15	0.95
B2608-1		11.92	99.92	12.35	40.50	9.50	0.87	9.10	1.63	9.81	1.90	6.15	0.95
B2576-2		16.49	39.02	5.16	16.77	4.08	0.97	3.22	0.43	1.99	0.35	0.94	0.14
B2574		15.87	33.94	4.14	14.46	3.56	0.88	3.26	0.54	2.88	0.56	1.44	0.22
B5118-1	茶尔	3.62	8.74	1.18	3.86	1.45	0.46	2.74	0.72	5.31	1.20	3.73	0.57
B5118-2		5.11	10.31	1.33	4.49	1.26	0.69	1.29	0.24	1.31	0.28	0.77	0.12
B5119-2		14.43	34.26	3.65	12.02	3.09	0.85	2.80	0.43	2.40	0.43	1.29	0.20
B4660	总布容	6.89	13.60	1.67	6.93	1.62	0.34	0.93	0.23	1.23	0.30	0.67	0.12
B4658		9.46	18.40	2.24	8.71	2.04	0.41	1.15	0.25	1.27	0.29	0.65	0.11
样号	采样位置	Yb	Lu	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Hf	Zr	Y	Sr	B
B2606-1	抗青大	6.19	0.91	243.0	709.0	32.6	3.2	18.3	6.8	216.0	60.21	225.0	3.0
B2608-1		1.53	0.22	334.0	185.0	6.2	9.5	19.2	2.7	63.0	19.22	19.0	375.1
B2576-2		0.82	0.12	190.0	484.0	8.8	0.9	5.8	2.3	67.0	10.52	59.0	8.0
B2574		1.35	0.20	172.0	615.0	8.1	1.3	5.3	2.1	66.0	14.63	19.0	1.9
B5118-1	茶尔	3.62	0.49	206.0	281.0	6.3	2.4	13.4	1.4	39.0	40.35	65.0	4.2
B5118-2		0.74	0.11	118.0	474.0	3.5	0.8	3.6	1.5	41.0	7.59	89.0	7.9
B5119-2		1.25	0.19	162.0	599.0	7.5	1.0	5.3	2.0	72.0	13.1	154.0	3.0
B4660	总布容	0.84	0.11	178.00	209.00	3.49	1.36	7.05	1.27	32.90	8.45	61.60	*
B4658		0.75	0.11	203.00	222.00	4.38	1.36	6.89	1.11	30.10	8.05	77.30	*

表中各样品的岩性同表 1; * 表示未测元素。

Nb、Hf、Zr。抗青大岩体样品 B2606-1 的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 比值为 1.08, B2608-1 的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 比值高达 17.58, 显示了抗青大岩体经历过强烈的岩浆分离结晶作用^[7], 与斜长石分离结晶导致的负 Eu 异常相一致; 样品 B2608-1 中强烈富硼 (375.1×10^{-6} , 比其他样品高出 300 多倍), 显示了电气石的贡献^[8]。

3 讨论

3.1 北喜马拉雅淡色花岗岩成因讨论

北喜马拉雅淡色花岗岩与高喜马拉雅淡色花岗岩相比, 在岩体产状和形态上, 高喜马拉雅淡色花岗岩一般呈小岩株产出, 岩体面积一般小于 15 km^2 ; 北喜马拉雅淡色花岗岩一般呈大岩株产出, 其中抗青大岩体面积达 90 km^2 。在围岩方面, 前者侵入聂拉木群片岩、片麻岩内, 岩体分布分散; 后者一般侵入于片岩、片麻岩组合。在与拆离断层的关系上, 前者紧靠藏南拆离断层内部分布; 后者位于变质核杂岩内核或在变质核杂岩中拆离断层上分布。高喜马拉雅淡色花岗岩与北喜马拉雅淡色花岗岩主要氧化物含量差别很小。高喜马拉雅淡色花岗岩稀土元素平均总量高于北喜马拉雅淡色花岗岩, 前者为

89.73×10^{-6} , 后者为 78.73×10^{-6} , 前者 $\delta(\text{Eu})$ 平均值为 0.39, 后者为 0.77。微量元素特征上, 拉轨岗日与高喜马拉雅淡色花岗岩均相对富集 Rb, Ta, Ce, Sm, 不同程度地贫化 K_2O , Ba, Nb, Hf, Zr。

任留东和陈炳蔚^[6]研究对比了北喜马拉雅淡色花岗岩与高喜马拉雅淡色花岗岩地质特征、岩相学特征及主量元素特征后, 认为 2 个带淡色花岗岩物质组成基本相当。笔者通过对比发现, 北喜马拉雅淡色花岗岩与高喜马拉雅淡色花岗岩在产状、形态、面积与分布上存在显著的差异, 但在物质组成与围岩上却非常相似。研究表明, 花岗岩的物质组成主要与源区的性质有关^[9~11], 这表明它们在熔融程度、侵位机制上虽有很大差别, 却具有相同的源区。拉轨岗日变质核杂岩内核岩石组合与高喜马拉雅结晶基底岩系岩石组合非常相似, 可能源自同一基底; 张金阳和廖群安^②研究表明, 高喜马拉雅淡色花岗岩源岩为高喜马拉雅结晶基底副变质岩。因此, 北喜马拉雅淡色花岗岩源岩也是基底副变质岩。

周云生等^[12]认为北喜马拉雅淡色花岗岩与印度板块和亚欧板块碰撞后形成逆冲推覆构造造成的地壳加厚有关, 加厚地壳上部产生部分熔融形成淡色花岗岩岩浆。近年来, 在造山带伸展作用的重要地

②张金阳, 廖群安. 西藏定结地区高喜马拉雅淡色花岗岩的地球化学特征及其地质意义[J]. 地质科技情报(待刊).

位被日益认识以来,李德威等^[2,3]认为拉轨岗日变质核杂岩是热隆伸展的结果;高洪学等^[4]认为在印度板块和亚欧板块碰撞后的陆内调整阶段,北喜马拉雅淡色花岗岩浆生成和侵位与地壳伸展、深部物质上隆和多层次滑脱剥离作用相关联;Harrison 等^[13]认为其生成部位位于主中央断裂(MCT)上部,岩浆熔融与剪切生热密切相关。

关于北喜马拉雅淡色花岗岩的时代有 2 种观点:(1)基于 20 世纪 80 年代初中国科学院的大量年代学数据,国内学者大多数认为北喜马拉雅淡色花岗岩结晶年龄为 40~20 Ma,早于高喜马拉雅淡色花岗岩的结晶年龄^[12,13];(2)近年来研究证实北喜马拉雅淡色花岗岩的结晶年龄为 17~10 Ma^[14,15],比高喜马拉雅淡色花岗岩的形成时间要晚。根据对淡色花岗岩地质特征及地球化学特征的研究,笔者认为后者更为合理。

在该区,北喜马拉雅淡色花岗岩的生成处于挤压体制与伸展体制转换后的最初伸展阶段,岩石为壳源 S 型花岗岩,其岩浆来源于 MCT 上部基底副变质岩的部分熔融,其生成与构造体制转换时的降压作用密切相关。

3.2 淡色花岗岩与变质核杂岩构造的关系

肖庆辉等^[16]认为,近年来反射地震测量揭示出在造山带中下地壳中存在强反射层或亮点,它被解释为岩浆侵入体或深部流体,在流变学上表现为韧性,因而大陆变形的模式可能是在挤压或伸展造山期间,厚地壳、高热流的地区往往是通过壳内软层来容纳其岩石圈地幔和固态下地壳中的应变,并导致上地壳出现宽阔的弥散性变形。李德威^[17]认为,活动构造区的下地壳不仅是软流层,而且是大陆构造系统的主控圈层,这种壳内流层中热流物质的持续性流动导致上覆脆性圈层应力不断积累和局部集中,引起上地壳的断块运动。

由上述分析,基于大陆动力学圈层观点,笔者认为,在印度板块与亚欧板块碰撞作用及其后的陆内汇聚作用导致地壳增厚后,下地壳岩石流变性质发生了很大变化,下地壳变为塑性且存在下地壳壳内软层,该软层在碰撞及后来的汇聚期间容纳应力,至板块构造体制转换后,由于在伸展体制下压力骤减,导致上地壳物质重新调整,发生降压作用导致大规模部分熔融形成淡色花岗岩浆,同时,由于压力骤减,塑性下地壳物质与下地壳壳内软层上升导致上地壳伸展,从而引发拆离运动,形成变质核杂岩。岩

浆作为高温炽热体对围岩的加热作用及其强力上升侵位则加速了变质核杂岩的形成。

4 结论

(1)变质核杂岩内淡色花岗岩富 SiO_2 、 Al_2O_3 和 K_2O , 贫 CaO 、 Na_2O 、 FeO 、 MgO 及 TiO_2 ; 稀土元素总量低,除 B5118-2 外 $\delta(\text{Eu})$ 为负异常;微量元素富集 Rb、Ta、Ce、Sm,不同程度地贫化 K_2O 、Ba、Nb、Hf、Zr; 岩石中含白云母±石榴石特征富铝矿物。表明岩石为 S 型花岗岩。(2)经与高喜马拉雅淡色花岗岩的对比,认为北喜马拉雅淡色花岗岩源岩为高喜马拉雅结晶基底副变质岩,岩浆的形成处于挤压体制与伸展体制转换后的最初伸展阶段,其生成与构造体制转换时的降压作用密切相关。(3)基于大陆动力学圈层观点,笔者认为,年轻的造山带下地壳变为塑性,下地壳软流层的运动对上地壳应力的聚集起控制作用,当动力体制转换时应力释放、压力骤减,导致壳内部分熔融,同时,由于压力骤减,塑性下地壳与软流层物质的上升导致上地壳伸展,引发拆离运动,岩浆则加速了变质核杂岩的形成。

参考文献:

- [1] Chen Z L, Liu Y P, Hodges K V, et al. The Kangmar dome: A metamorphic core complex in southern Xizang (Tibet) [J]. *Science*, 1990, 250: 1552-1556.
- [2] 李德威. 喜马拉雅造山带的构造不对称演化[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1992, 17(5): 539-545.
LI D W. On tectonic asymmetrical evolution of the Himalayan orogenic belt [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1992, 17(5): 539-545.
- [3] 李德威,刘德民,廖群安,等. 藏南萨迦拉轨岗日变质核杂岩的厘定及其成因[J]. *地质通报*, 2003, 22(5): 7-11.
LI D W, LIU D M, LIAO Q A, et al. Definition and significance of the Lhagoi Kangri metamorphic core complex in Sa'gya, southern Tibet [J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(5): 7-11.
- [4] 高洪学,李海平,宋子季. 藏南变质核杂岩[J]. *中国区域地质*, 1996, (4): 317-322.
GAO H X, LI H P, SONG Z J. Metamorphic core complexes in southern Tibet [J]. *Regional Geology of China*, 1996, (4): 317-322.
- [5] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 74-93.
LI C N. Trace element petrology of igneous rocks [M].

- Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992. 74—93.
- [6] 任留东, 陈炳蔚. 北喜马拉雅变质作用和花岗岩研究及其与高喜马拉雅结晶岩系的对比[J]. 地质通报, 2002, 21(7): 397—404.
REN L D, CHEN B W. The metamorphism and granitic features of the north Himalayas and their comparison with that of the high Himalayan belt [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(7): 397—404.
- [7] 王德滋, 刘昌实, 沈渭洲, 等. 日本西南冲岛新生代过铝质花岗岩类的特征和成因[J]. 岩石学报, 1990, (3): 27.
WANG D Z, LIU C S, SHEN W Z, et al. Characteristics and genesis of Cenozoic paraluminous granitoids of the Okinoshima island, SW Japan [J]. Acta Petrologica Sinica, 1990, (3): 27.
- [8] Acosta-Vigil A, Pereira M D, Shaw D M, et al. Contrasting behaviour of boron during crustal anatexis [J]. Lithos, 2001, (56): 15—31.
- [9] Pearce J A, Harris B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956—983.
- [10] Forster H J, Tischendorf G, Trumbull R B. An evaluation of the Rb vs. (Y+Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks [J]. Lithos, 1997, (40): 261—293.
- [11] 张旗, 钱青, 王焰. 造山带火成岩地球化学研究[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 113—120.
ZHANG Q, QIAN Q, WANG Y. Geochemical study on igneous rocks of orogenic belts [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3): 113—120.
- [12] 周云生, 张魁武, 张旗, 等. 西藏岩浆活动和变质作用[M]. 北京: 科学出版社, 1981. 1—49.
ZHOU Y S, ZHANG K W, ZHANG Q, et al. The activity of magma and metamorphism in Tibet [M]. Beijing: Science Press, 1981. 1—49.
- [13] 孙鸿烈. 青藏高原的形成与演化[M]. 上海: 上海科学出版社, 1994. 50—95.
SUN H L. The formation and evolution of the Tibet plateau [M]. Shanghai: Shanghai Science Press, 1994. 50—95.
- [14] Harrison T M, Oscar M L, Marty G, et al. New insight into the origin of two contrasting Himalayan granite belts [J]. Geology, 1997, 25(10): 899—902.
- [15] 陈智梁, 刘宇平. 藏南拆离系[J]. 特提斯地质, 1996, (20): 32—51.
CHEN Z L, LIU Y P. The south Tibetan detachment system [J]. Tethyan Geology, 1996, (20): 32—51.
- [16] 肖庆辉, 李晓波, 贾跃明, 等. 当代造山带研究中值得重视的若干前沿问题[J]. 地学前缘, 1995, 2(1—2): 45.
XIAO Q H, LI X B, JIA Y M, et al. Frontiers on orogenic belt researches [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(1—2): 45.
- [17] 李德威. 关于大陆构造的思考[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(1): 10—18.
LI D W. Speculations on continental tectonics [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(1): 10—18.

Laguigangri Leucogranites and Its Relation with Laguigangri Metamorphic Core Complex in Sajia, South Tibet

ZHANG Jin-yang, LIAO Qun-an, LI De-wei, ZHANG Xiong-hua, YUAN Yan-ming
(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Laguigangri metamorphic core complexes (MCC) occurred in paternoster shape in south Tibet. Leucogranites, distributed in the core or detachment of the MCC, form the famous northern Himalayan leucogranites belt. They actively emplaced and occurred in two periods: early biotite leucogranites and late muscovite leucogranites. With high SiO₂ and Al₂O₃, the leucogranites have muscovite ± tourmaline ± garnet aluminous minerals and so do S-type granites. The crystalline of the northern Himalayan leucogranites is dated 17—10 Ma, whose source is the para-metamorphical rocks in the high Himalayan crystalline basement on top of the MCT. The magma resulted from decompression during the conversion of the structural mechanism. Simultaneously, the pressure decompression caused more plastic

lower crust and the liquid layer in younger orogen to rise to the upper crust and formed the MCC. It is found that the magma speeds the formation of the MCC.

Key words: metamorphic core complex; leucogranites; Laguigangri; Sajia of Tibet.

湖北省赤壁市道路尘埃的磁性结构特征与城市污染环境关系研究

田 志,刘庆生

(中国地质大学地球物理与空间信息学院,湖北武汉 430074)

环境磁学是介于地学、磁学和环境科学之间的新兴边缘学科.它通过研究自然界中大气圈、水圈和岩石圈中磁性物质在环境系统中的迁移、转化和组合的规律,并依据物质的磁性特征与污染环境的联系(尤其是城市污染环境),探索不同时空尺度的环境过程与人类活动的影响,揭示环境变化的规律和机制,为提出定量的、高精度、快速、非破坏与价格低廉的环境评价方法技术奠定基础.

通过对湖北省赤壁市 3 条主干道和陆水湖风景区共 4 个采样剖面尘埃系统的磁性参量及代表性样品的重金属含量分析结果的综合研究,得到了赤壁市道路尘埃的磁性结构特征与城市污染环境之间初步的相互关系,主要结论为:

(1)4 个研究剖面尘埃的磁性参量具有明显的差异,其中沿河大道最强;其次为河北大道、赤壁大道;陆水湖风景区最弱.以低频磁化率(k_{lf})、高频磁化率(k_{hf})、天然剩磁(NRM)、饱和等温剩磁($SIRM$)及非滞剩磁的平均值为例,4 个剖面依次为:沿河大道为 51.6×10^{-5} SI, 49.3×10^{-5} SI, 278.1×10^{-3} A/m, 85.192×10^{-3} A/m 和 466.7×10^{-3} A/m;河北大道为 37.6×10^{-5} SI, 36.7×10^{-5} SI, 132.0×10^{-3} A/m, 48.848×10^{-3} A/m 和 292.4×10^{-3} A/m;赤壁大道为 35.5×10^{-5} SI, 34.7×10^{-5} SI, 99.6×10^{-3} A/m, 37.520×10^{-3} A/m 和 227.3×10^{-3} A/m;陆水湖风景区为: 15.3×10^{-5} SI, 14.9×10^{-5} SI, 69.5×10^{-3} A/m, 16.510×10^{-3} A/m 和 103.2×10^{-3} A/m.(2)磁化率随温度的变化关系与等温剩磁随外加磁场的变化关系显示,尘埃样品中的主要磁性载体为磁铁矿(居里点为 $580\text{ }^\circ\text{C}$),有的也含有少量的与硫相关的磁性矿物,如

磁黄铁矿(居里点为 $320\text{ }^\circ\text{C}$). (3)4 个剖面之间重金属含量也存在较大差异.沿河大道的铁元素平均含量最高,达到 3.25%;其次为赤壁大道(2.83%)和河北大道(2.61%);陆水湖景区含量最低为 2.05%.除了铁元素外,沿河大道的钒、镍、镉、铜和钴等元素含量比其他 3 个剖面含量高;但是值得注意的是陆水湖景区尘埃中有几个重金属元素含量的平均值居 4 个剖面最高,这些元素是锌、铅、锰和钡,它们分别是沿河大道的 1.70, 1.41, 1.57, 1.34 倍,其成因值得深入研究.(4)尘埃磁性 with 重金属含量之间的相互关系分析表明,两类参量之间呈复杂的关系.其中与铁、镍、铜、钴等元素之间存在较明显的正相关关系,与钡呈负相关.其他元素相关性不明显.(5)赤壁市的现今环境背景调查分析认为,在 4 个尘埃采样剖面中,沿河大道相对污染最为严重,陆水湖风景区污染程度最轻,河北大道与赤壁大道相当.尘埃的磁性 with 重金属含量的相关分析的结果与实际污染背景非常一致.如沿河大道的所有磁性参量值最高,对应污染相对最严重;陆水湖景区所有磁性参数值最低,对应污染程度最低;而河北大道与赤壁大道的磁性参量相当,有的参量前者高于后者,有的参量后者高于前者,但 2 个剖面整体低于沿河大道,而高于陆水湖景区.(6)综合磁性 with 重金属含量分析,并结合实际污染背景结果提出,污染物质的主要来源是某些工业企业煤燃烧烟筒的排出物和交通工具尾气排放物.因为煤成分中通常含有铁和硫化物,导致排放烟尘中含有大量的铁和硫化物矿物.因此,改善工业企业燃料结构,控制交通尾气排放是改善城市(尤其是小型城市)环境质量的主要措施.