

云南祥云马厂箐富碱斑岩体的地球化学特征

王治华, 郭晓东, 葛良胜, 王科强, 邹依林, 张 勇, 喻万强

(武警黄金地质研究所, 廊坊 065000)

[摘 要] 云南祥云马厂箐岩体是马厂箐铜钼矿的主要赋矿围岩, 处于扬子板块西缘与北西向的金沙江—哀牢山深大断裂带东侧交汇部位, 属于哀牢山—金沙江富碱侵入岩带的组成部分。马厂箐岩体主要为花岗斑岩、二长斑岩和正长斑岩。岩石富集大离子亲石元素 (Rb、Sr、Ba、Th 和 U) 和轻稀土元素 (LREE)、相对亏损高场强元素 (Ta、Nb 和 Ti), 且 Ta、Nb 和 Ti 具“TNT”负异常; LREE/HREE 值为 8.04~23.99, δEu 值为 0.72~0.88, 负 Eu 异常不明显。岩石的 La/Yb 和 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值高, LR/HR、La/Sm 和 Ce/Yb 变化较大。岩体的岩浆起源于壳—幔物质混合的一种所谓 EM II 型富集地幔源; 其壳幔混合特征, 主要是俯冲进入上地幔的地壳物质与地幔物质发生了源区混合作用的结果; 形成于碰撞后的板内构造环境。

[关键词] 富碱侵入岩 地球化学特征 构造环境 原始地幔 云南祥云马厂箐

[中图分类号] P632 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2009)04-0343-09

Wang Zhi-hua, Guo Xiao-dong, Ge Liang-sheng, Wang Ke-qiang, Zou Yi-lin, Zhang Yong, Yu Wan-qiang. Geochemistry of the Machangqing alkaline-rich porphyry in Xiangyun, Yunnan province [J]. *Geology and Exploration*, 2009, 45(4): 343-351.

0 引言

富碱侵入岩是一组产于特定构造环境、具有特殊性质的岩石类型, 与钙碱性岩石相比, 具有较高的碱含量 ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}>8\%$)。这类岩石主要包括碱性花岗岩和正长岩, 也包括高碱含量的碱长花岗岩, 产于裂谷、地堑、地幔上拱带的拉张条件下, 常与幔源岩浆活动相联系^[1,2]。对富碱侵入岩进行深入的地质地球化学研究, 不仅对揭示岩石本身的形成演化过程及其相关成矿作用具有重要价值, 而且把其作为了解上地幔性质的一个重要窗口, 对揭示该区上地幔组成、演化及壳幔相互作用都具有重要的意义。

沿印度大陆与欧亚大陆的碰撞边界哀牢山—金沙江深大断裂及其附近, 分布着一总体呈北西走向的喜马拉雅期巨型富碱侵入岩带, 即哀牢山—金沙江富碱侵入岩带 (图 1)。马厂箐岩体出露于云南祥云县马厂箐一带, 岩性为富碱斑岩, 属于哀牢山—金沙江富碱侵入岩带的组成部分^[3]。马厂箐岩体是

马厂箐斑岩型铜钼矿床的成矿母岩, 长期以来, 众多学者对马厂箐铜钼矿床进行了广泛而深入的研究工作, 取得了许多重要的成果^[3-12]。但目前对马厂箐岩体的研究仍然比较薄弱, 只有部分学者如毕献武 (1997, 2005)^[3,13]和曾普胜等 (2002)^[14]对其岩石特征和地球化学特征进行过研究, 探讨了其形成的地质背景和构造环境。

文章针对马厂箐岩体的稀土、微量元素进行系统的研究, 再结合前人资料, 对马厂箐岩体岩浆来源和形成的地质背景进行探讨。

1 地质背景

马厂箐岩体地处扬子板块西缘与北西向的金沙江—哀牢山深大断裂带东侧交汇部位^[8], 属于金沙江—哀牢山成矿带的中段。金沙江—哀牢山成矿带作为西南三江地区重要的地质构造单元, 在漫长的地质历史时期中, 以区域特提斯构造演化为主体, 经历了伸展—挤压推覆—剪切走滑等多类型、多期次

[收稿日期] 2008-12-24; [修订日期] 2009-06-01。[责任编辑] 杨 欣。

[基金项目] “十一五”国家攻关项目 (编号: 2006BAB01B10) 和武警黄金指挥部专项基金资助项目 (编号: HJ07-02) 联合资助。

[第一作者简介] 王治华 (1978 年—), 男, 2000 年毕业于成都理工学院, 获学士学位, 在读硕士研究生, 工程师, 现在主要从事金矿地质研究工作。

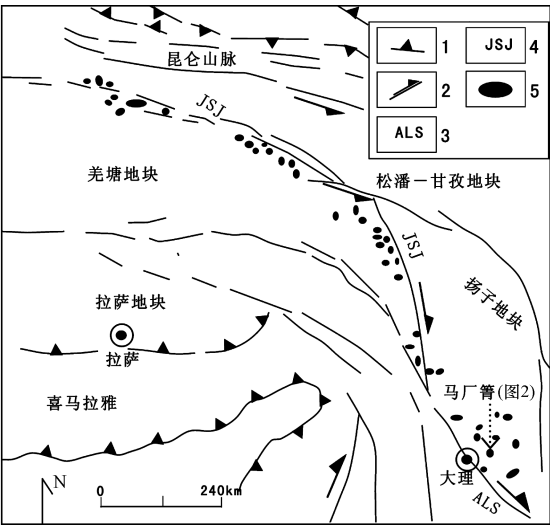


图 1 金沙江-哀牢山富碱斑岩带地质构造简图
(据参考文献[13]修编)

Fig.1 Simplified geological map of the Ailaoshan-Jinshajiang alkaline-rich intrusion belt (modified from reference[13])

1—断裂俯冲方向;2—走滑断层运动方向;3—哀牢山深大断裂带;4—金沙江深大断裂带;5—富碱斑岩体
1—fault subduction direction;2—strike-slip fault movement direction;3—Ailaoshan deep fault belt;4—Junshajiang deep fault belt;5—alkaline-rich porphyry intrusive

构造变形活动,北西向断裂发育,产生多期次、多成因的成矿作用,形成了复杂的大地构造环境。区内岩浆活动强烈而频繁,有华力西期超基性-基性侵入岩、基性火山岩,印支期-燕山期中酸性侵入岩和喜马拉雅期富碱斑岩等。

马厂箐岩体主要指喜马拉雅早期多阶段侵入的复式杂岩体(图2)。其产状为岩株、岩脉、岩墙、岩床等。区内大小岩体共260多个,二长斑岩占50%,花岗斑岩占35%,其他岩类占15%。其中最大的岩体呈岩株状产出,其形态为不对称的蘑菇状,面积1.36 km²,侵位于下奥陶统向阳组细碎屑岩和下泥盆统康郎组灰岩中。马厂箐铜钼矿属于富碱斑岩型矿床,与马厂箐斑岩体关系密切,铜钼矿体主要赋存在斑岩体内部及岩体东侧和北东侧内外接触带上的下奥陶统角岩和部分砂卡岩中。

2 岩相学特征

马厂箐岩体矿物成分相当复杂,岩体主要岩性为角闪正长斑岩、石英二长斑岩和花岗斑岩。

角闪正长斑岩:岩石多数为灰白色和浅红色,斑状结构,有时可见半自形连续不等粒结构,块状构造。斑晶含量在50%左右或更高。斑晶主要由正

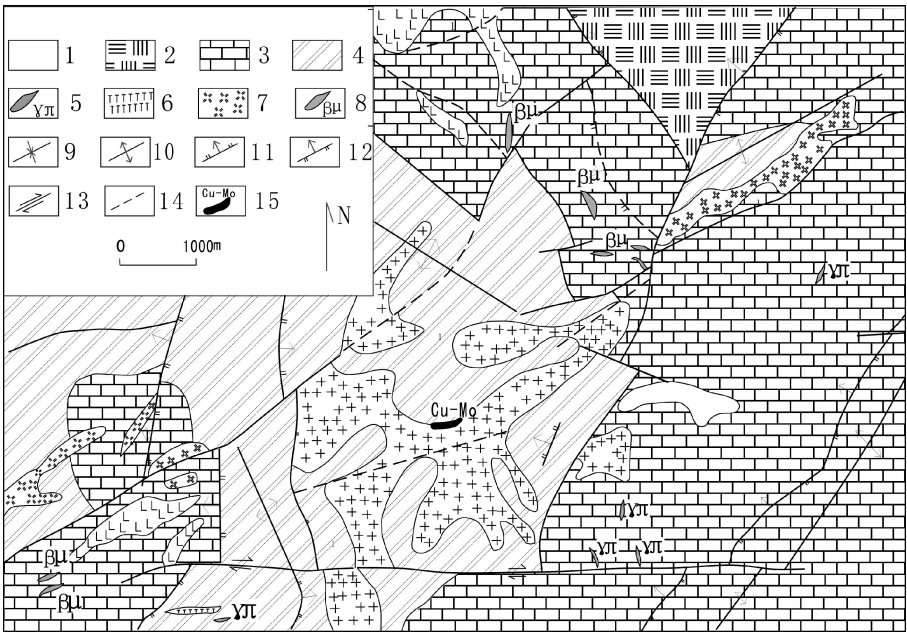


图 2 祥云马厂箐岩体地质简图(据参考文献[15]修编)

Fig. 2 Simplified geological map of the Machangqing intrusives, Xiangyun, Yunnan (modified from reference[15])

1—第四系;2—上二叠统峨眉山组;3—下泥盆统康郎组;4—下奥陶统向阳组;5—花岗斑岩;6—正长斑岩;7—二长斑岩;8—辉绿岩;9—背斜轴线;10—向斜轴线;11—正断层;12—逆断层;13—平移断层;14—推测断层;15—铜钼矿体
1—Quaternary;2—Upper Permian Emeishan Formation;3—Lower Devonian Kanglang Formation;4—Lower Ordovician Xiangyang Formation;5—granite porphyry;6—syenite porphyry;7—monzonite porphyry;8—diabase;9—anticline axis;10—syncline axis;11—normal fault;12—reversed fault;13—strike slip fault;14—inferred fault;15—copper-molybdenum orebody

长石、角闪石和少量黑云母组成。正长石新鲜的呈无色,蚀变的正长石微带灰黄色,长柱状、宽板状自形晶,粒径5~12 mm,大的可达20 mm,可见解理和卡尔斯巴双晶,有时还见环带,含量占斑晶的65%左右;角闪石呈深浅不等的绿色,自形柱状,晶体破碎强烈,沿裂隙常有磁铁矿析出,粒度2~8 mm。电子探针分析显示,角闪石主要为普通角闪石或铁角闪石,少量为浅闪石质角闪石。含量约占斑晶的25%;黑云母大多数暗化成黑色,但保留了长条状外形。含量约占斑晶的10%基质部分的矿物成分与斑晶相似,但粒度细,具细粒—微粒结构。副矿物主要为磷灰石、榍石、锆石和磁铁矿。

石英二长斑岩:岩石呈灰白色,斑状结构,斑晶含量约为55%,主要由钾长石、斜长石和石英组成。钾长石斑晶呈自形—半自形柱状,粒度较大,可见卡尔斯巴双晶,大多数已蚀变,占斑晶含量的55%左右;斜长石斑晶,无色,以清晰的聚片双晶为特征,占斑晶含量的35%左右;石英斑晶表面非常干净,多呈似圆形,粒度大,最大的可达3 mm×7 mm,表面有少量裂纹,含量约为10%;偶见角闪石斑晶,呈深浅不等的绿色,自形柱状,晶体破碎强烈,沿裂隙常有磁铁矿析出。基质具微粒—细粒结构,由钾长石、角闪石和石英组成。呈深浅不等的绿色,自形柱状,晶体破碎强烈,沿裂隙常有磁铁矿析出,粒度2~8 mm。

花岗岩:岩石呈灰白色,斑状结构,斑晶含量约为60%,主要由钾长石、石英和少量斜长石组成。钾长石斑晶呈自形—半自形柱状,粒度较大,可见卡尔斯巴双晶,大多数已蚀变,含量占斑晶含量的60%左右;石英斑晶表面非常干净,多呈似圆形,粒度大,最大的可达6 mm×8.5 mm,表面有少量裂纹,含量约为30%;偶见斜长石斑晶,无色,以清晰的聚片双晶为特征。基质具微粒—细粒结构,由钾长石、石英、角闪石和斜长石组成。副矿物主要为磷灰石、榍石、锆石和磁铁矿。

黑云母含量在10%左右,可以区分出两种:一种具棕黄色—浅棕色多色性,自形—半自形片状晶,解理清晰;另一种为红棕色,不规则它形晶,主要呈“补丁状”分布在辉石晶体中,为透辉石退变质的产物。角闪石含量达50%左右,具棕黄色—黄绿色多色性,呈自形—半自形柱状或宽板状。探针分析表明,该角闪石包括韭闪石质角闪石和浅闪石质角闪石两种。

3 稀土、微量元素地球化学特征

3.1 稀土元素

稀土元素具有相近或相似的地球化学行为,其分馏的特征是很明显的,稀土元素的地球化学行为与岩石成因关系十分密切。从马厂箐岩体的稀土元素组成特征表和参数表(表1、表2)中,可以发现马厂箐岩体 ΣREE 为 $106.29\times10^{-6}\sim297.9\times10^{-6}$,其值变化较大,表明岩体具强烈分异且富集轻稀土。 La/Yb 和 $(\text{La/Yb})_N$ 分别为9.86~75.16与6.65~50.57,其值均较高,反映了轻稀土与重稀土之间的分馏。在轻稀土中, La/Sm 值是2.98~11.82表明了轻稀土中同样发生了分馏现象,而且强烈。重稀土 Ce/Yb 和 $(\text{Ce/Yb})_N$ 值分别为28.42~141.31、7.36~36.48,其变化较大,表明其存在较强的分异或分馏现象。 Sm/Nd 值为0.13~0.20,全部低于0.21,也小于球粒陨石的 $\text{Sm/Nd}=0.333$ ^[16]。 Eu/Sm 值为0.22~0.26,一般该比值在上地幔为0.23^[16],在地壳中为0.16~0.20,而球粒陨石为0.365^[17]; δEu 值为0.72~0.88,负Eu异常不明显。邓晋福等(1996)^[17]根据岩石相平衡理论,进一步论证了中酸性火成岩的成因,并指出在正常陆壳厚度或加厚陆壳的中上部,陆壳岩石局部熔融产生的是具有负Eu异常的花岗岩(流纹岩)岩浆,而在加厚的陆壳底部(深度大于50~60 km),陆壳岩石局部熔融产生的是粗面岩(正长岩)岩浆。马厂箐斑岩不具有或仅具有弱的负Eu异常,因此可以排除研究区的富碱斑岩起源于正常厚度的陆壳内或双倍陆壳中、上部的可能。

马厂箐富碱斑岩的稀土配分模式图表现为左高右低的较平滑曲线(图3),表明稀土元素发生了分馏,轻稀土富集,重稀土亏损,且轻微的Eu负异常,马厂箐岩体的物源来自上地幔,又有来自地壳的成分^[16]。根据阿勒格雷等^[18]通过对部分熔融作用和结晶分离作用形成的岩浆岩的稀土研究,发现部分熔融作用形成的岩浆岩 La/Sm 比值随La含量的增高而增大,而结晶分离作用形成的岩浆岩,当La含量增高时, La/Sm 比值基本保持不变,因此通过 La/Sm 和La的直角坐标图,可获得部分熔融和分离结晶两个模型。文章对马厂箐岩体的11个样品作 La-La/Sm 图解(图4),其投影点全都落在部分熔融线上,这表明马厂箐富碱斑岩体主要是部分熔融作用形成的。

表 1 马厂箐岩体的微量、稀土元素分析结果表(×10⁻⁶)

Table 1 Trace elements and REE content of the Machangqing intrusive(×10 ⁻⁶)											
岩性	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	二长斑岩	二长斑岩	正长斑岩	正长斑岩
Rb	187. 80	208. 00	222. 70	254. 00	300. 70	258. 40	263. 60	197. 50	266. 90	369. 90	227. 60
Ba	1019. 82	1348. 69	1175. 71	1220. 92	829. 12	2076. 47	920. 60	1361. 85	960. 92	1056. 86	2098. 75
Th	19. 77	25. 10	30. 65	30. 41	31. 11	33. 15	15. 01	25. 22	14. 74	19. 23	11. 48
U	6. 65	6. 78	11. 27	8. 77	10. 68	10. 16	4. 25	8. 23	4. 71	5. 38	4. 33
Ta	0. 98	0. 80	1. 56	0. 96	1. 18	1. 15	0. 37	1. 07	0. 56	0. 78	0. 67
Nb	11. 81	9. 79	19. 42	12. 22	14. 83	14. 88	4. 50	13. 10	6. 14	10. 68	11. 01
Sr	558. 40	687. 80	603. 80	711. 60	563. 70	646. 60	348. 50	629. 60	355. 70	337. 40	1046. 40
Hf	7. 64	5. 34	8. 34	7. 73	8. 38	7. 51	4. 55	5. 96	4. 51	8. 24	7. 65
Zr	171. 71	151. 71	253. 52	213. 71	186. 95	164. 29	140. 48	165. 81	130. 67	253. 52	205. 81
Ti	1486. 51	1934. 74	1620. 21	1700. 78	1700. 32	2011. 14	2040. 66	2161. 29	1796. 87	1685. 27	2564. 26
Lu	0. 12	0. 16	0. 20	0. 16	0. 18	0. 16	0. 06	0. 17	0. 06	0. 17	0. 21
V	27. 20	33. 29	23. 73	27. 93	31. 61	32. 24	34. 65	40. 32	30. 77	45. 26	41. 27
Cr	19. 40	21. 30	12. 40	26. 50	19. 60	18. 40	46. 30	27. 10	42. 10	292. 70	45. 40
Mn	204. 51	159. 31	259. 97	247. 84	266. 25	230. 86	228. 44	302. 64	230. 09	364. 71	605. 71
Co	3. 70	6. 56	3. 69	3. 99	4. 19	4. 86	7. 01	9. 39	4. 87	8. 16	6. 15
Ni	13. 57	10. 54	7. 25	11. 57	13. 24	12. 71	34. 97	21. 78	27. 03	99. 29	55. 21
Cu	367. 74	511. 84	33. 07	56. 33	141. 64	87. 01	365. 44	709. 84	201. 74	583. 34	51. 51
Zn	24. 97	17. 18	17. 05	16. 87	18. 57	21. 15	27. 35	33. 28	22. 44	61. 40	108. 03
La	38. 75	59. 49	72. 11	72. 69	60. 85	45. 84	36. 84	51. 10	24. 12	12. 87	27. 03
Ce	73. 72	115. 54	130. 76	130. 76	111. 25	96. 04	69. 27	106. 52	50. 13	37. 09	59. 92
Pr	8. 17	12. 65	13. 56	13. 42	11. 35	10. 89	8. 15	12. 28	5. 84	5. 22	7. 86
Nd	29. 60	46. 01	46. 97	45. 48	39. 64	38. 94	29. 49	45. 66	21. 97	21. 94	32. 00
Sm	4. 49	6. 49	6. 26	6. 15	5. 78	5. 60	4. 32	6. 77	3. 35	4. 32	5. 77
Eu	1. 07	1. 52	1. 43	1. 39	1. 27	1. 34	1. 01	1. 74	0. 83	0. 95	1. 52
Gd	3. 28	4. 65	4. 39	4. 34	4. 04	4. 04	2. 97	4. 93	2. 45	3. 52	5. 19
Tb	0. 41	0. 57	0. 57	0. 55	0. 50	0. 49	0. 34	0. 59	0. 29	0. 50	0. 66
Dy	2. 10	2. 83	3. 05	2. 80	2. 60	2. 50	1. 57	2. 88	1. 38	2. 75	3. 59
Ho	0. 35	0. 47	0. 53	0. 50	0. 45	0. 44	0. 25	0. 48	0. 21	0. 49	0. 63
Er	0. 95	1. 28	1. 45	1. 37	1. 25	1. 20	0. 59	1. 29	0. 57	1. 32	1. 66
Tm	0. 15	0. 20	0. 23	0. 21	0. 19	0. 19	0. 08	0. 20	0. 08	0. 21	0. 25
Yb	0. 94	1. 18	1. 51	1. 32	1. 23	1. 19	0. 49	1. 24	0. 47	1. 30	1. 54
Lu	0. 12	0. 16	0. 20	0. 16	0. 18	0. 16	0. 06	0. 17	0. 06	0. 17	0. 21
Y	10. 58	12. 43	14. 89	13. 95	12. 46	12. 80	6. 82	13. 22	6. 21	13. 65	19. 26

注:表中马厂箐岩体的数据由本项目 2007 年在中国地质科学院地球物理地球化学研究所测试。

3. 2 过渡族元素

微量元素分析结果见表 3,从以原始地幔标准化的过渡族元素蛛网图(图 5)中可见,马厂箐岩体的微量元素 Ti、Cu 和 Zn 等有轻微富集。从曲线的形状看,均呈大致相同的“W”形,相容元素 Cr、Ni 处

于低谷。从晶体场的相关理论出发,一般认为由地幔部分熔融形成的岩浆相对于地幔矿物而言,由于 Cr³⁺、Ni²⁺ 具有较大的八面体择位能力更倾向于保存在后者中,因此前者就会贫铬、镍。同时据对不同源区岩石的分配曲线特征看,地幔岩石的分配曲线

表 2 马厂箐岩体的稀土元素成因参数表

Table 2 REE parameter of the Machangqing intrusive

岩性	花岗斑岩	二长斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	正长斑岩	二长斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	正长斑岩
ΣREE	174.68	249.07	265.47	297.9	295.08	106.29	117.96	253.02	221.67	162.25	167.1
LREE	155.8	224.07	241.7	271.09	269.88	82.39	106.23	230.14	198.66	149.08	134.1
HREE	8.3	11.78	11.35	11.92	11.25	10.25	5.52	10.42	10.2	6.35	13.73
LR/HR	18.76	19.02	21.3	22.74	23.99	8.04	19.25	22.08	19.47	23.47	9.77
Gd-Y	18.88	25	23.78	26.81	25.2	23.9	11.73	22.88	23.01	13.17	32.99
LR/Gd-Y	8.25	8.96	10.16	10.11	10.71	3.45	9.06	10.06	8.63	11.32	4.06
δEu	0.82	0.88	0.81	0.79	0.78	0.72	0.84	0.76	0.83	0.82	0.83
δCe	0.95	0.99	0.97	0.94	0.94	1.09	0.99	0.95	1	0.92	0.98
La/Sm	8.63	7.55	9.17	11.52	11.82	2.98	7.2	10.53	8.19	8.53	4.68
La/Yb	41.26	41.07	50.27	47.73	54.96	9.86	50.94	49.66	38.67	75.16	17.55
Ce/Yb	78.49	85.62	97.64	86.55	98.87	28.42	105.86	90.78	81.03	141.31	38.91
Eu/Sm	0.24	0.26	0.23	0.23	0.23	0.22	0.25	0.22	0.24	0.23	0.26
Sm/Nd	0.15	0.15	0.14	0.13	0.14	0.2	0.15	0.15	0.14	0.15	0.18
(La/Yb) _N	27.84	27.71	33.9	32.18	37.04	6.65	34.28	33.5	26.08	50.57	11.83
(Ce/Yb) _N	20.32	22.16	25.27	22.38	25.57	7.36	27.33	23.49	20.96	36.48	10.06
(Sm/Eu) _N	1.58	1.47	1.61	1.65	1.67	1.72	1.53	1.72	1.57	1.61	1.43
ΣEr-Lu	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	2
ΣSm-Ho	7	7	7	6	6	14	8	6	7	7	12
ΣLa-Nd	92	92	92	93	93	83	91	93	92	92	86

注:表中马厂箐岩体的数据由本项目 2007 年在中国地质科学院地球物理地球化学研究所测试。

趋于平缓,而经地幔派生的岩石则趋于 W 型。对比马厂箐岩体过渡族元素的配分曲线图,可以认为其源区具有幔源岩浆的特征。

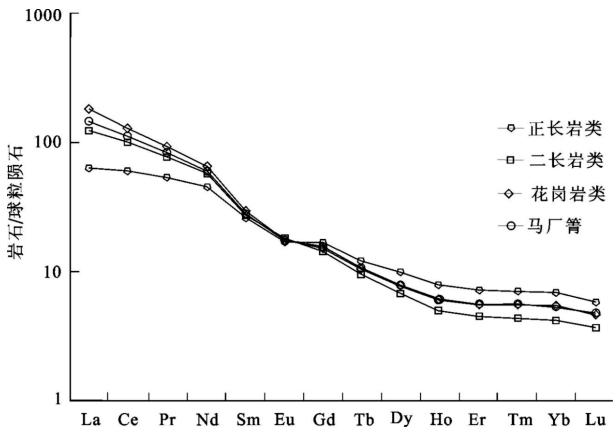


图 3 马厂箐岩体的稀土元素配分曲线图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE pattern of rocks from the Machangqing intrusive

(花岗斑岩值为 7 个样品的均值;二长斑岩为 2 个样品的均值;正长斑岩为 2 个样品的均值;马厂箐岩体为 11 个样品的均值)

(the value of granite porphyry is average of 7 samples; the value of monzonite porphyry is average of 2 samples; the value of syenite-porphyry is average of 2 samples; the value of Machangqing rockbody is average of 11 samples)

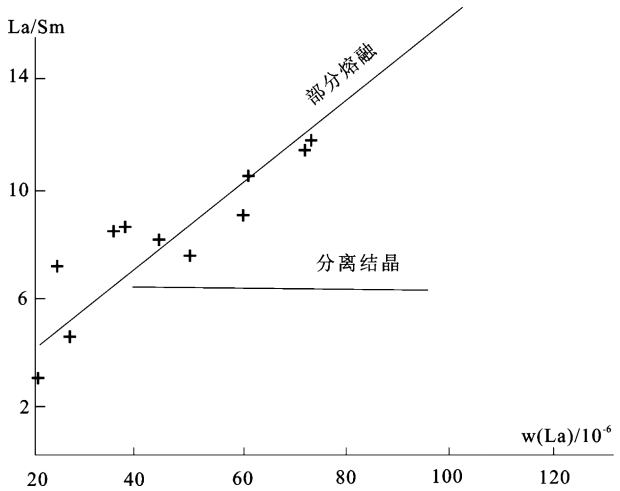


图 4 马厂箐岩体的 La-La/Sm 图

(底图据参考文献[15])

Fig. 4 Plot of La vs La/Sm of rocks from the Machangqing rockbody (after reference[15])

3.3 不相容元素

从不相容元素的蛛网图(图 6)可以看出,马厂箐岩体的微量元素变化特征,相对于原始地幔,它们明显富集 Rb、Sr、Ba、Th 和 La 等大离子亲石元素,而相对亏损 Ta、Nb 和 Ti 等高场强元素,且 Ta、Nb 和 Ti 具“TNT”负异常,显示出俯冲带幔源岩石的成分特点^[19,20]。

表3 马厂箐岩体的 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素比值和含量表

Table 3 Ratio and content of Rb-Sr and Sm-Nd isotope of the Machangqing intrusive

样号	Rb(μg/g)	Sr(μg/g)	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _t	Sm(μg/g)	Nd(μg/g)	¹⁴³ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	ε _{Nd} (t)
JC-23	1716	779.5	0.708558±8	0.70609	5.000	30.63	0.512441±5	-3.1
HM-90	519.8	795.3	0.708134±5	0.70740	5.409	34.43	0.512153±6	-8.8
HM-25	508.6	739.6	0.708285±7	0.70751	5.412	34.30	0.512088±6	-10.0
HM-34	845.3	640.0	0.708332±8	0.70685	3.771	23.93	0.512081±5	-10.2
HM-39	491.6	1049	0.707932±6	0.70741	6.655	43.49	0.512282±6	-6.2
MCQ-22	167.4	740.9	0.707190±6	0.70694	5.485	36.95	0.512342±6	-5.1
MCQ-25	273.0	835.8	0.707333±6	0.70697	6.491	42.65	0.512372±6	-4.5

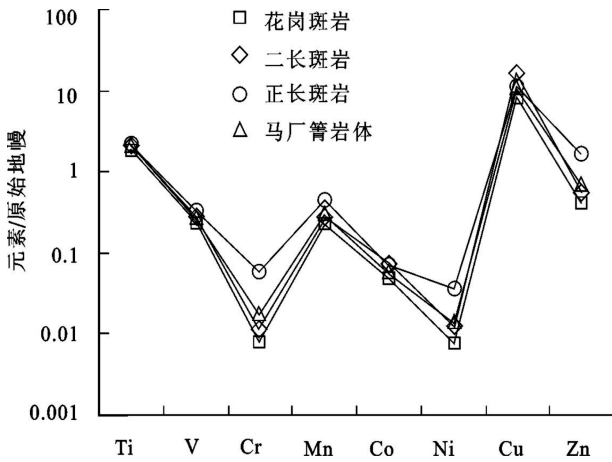


图5 马厂箐岩体的过渡族元素蜘蛛网图

Fig.5 Primitive mantle-normalized transition elements spidergram of rocks from the Machangqing intrusives

(花岗岩值为 7 个样品的均值;二长斑岩为 2 个样品的均值;正长斑岩为 2 个样品的均值;马厂箐岩体为 11 个样品的均值)
(the value of granite porphyry is averaged out 7 samples; the value of monzonite porphyry is averaged out 2 samples; the value of syenite-porphyry is averaged out 2 samples; the value of Machangqing rock-body is averaged out 11 samples)

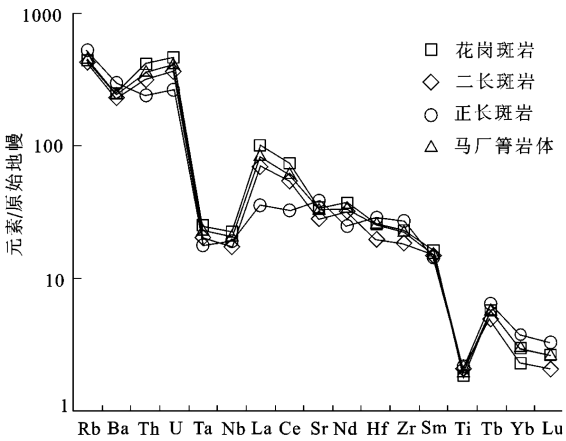


图6 马厂箐岩体的不相容元素蜘蛛网图

Fig.6 Primitive mantle-normalized Incompatible elements spidergrams of rocks from the Machangqing intrusives

(花岗岩值为 7 个样品的均值;二长斑岩为 2 个样品的均值;正长斑岩为 2 个样品的均值;马厂箐岩体为 11 个样品的均值)
(the value of granite porphyry is averaged out 7 samples; the value of monzonite porphyry is averaged out 2 samples; the value of syenite-porphyry is averaged out 2 samples; the value of Machangqing rock-body is averaged out 11 samples)

3.4 Sr、Nd 同位素地球化学

Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素分析结果见表 3。结果表明,马厂箐岩体具有高 I_{Sr} 值和低 ϵ_{Nd} 值的特征。 I_{Sr} 值范围为 0.7061 ~ 0.7075,均值为 0.7070; ϵ_{Nd} 值范围为 -3.1 ~ -10.2,均值为 -6.8。它们既不同于典型的亏损地幔也不同于典型的大陆地壳。在 Nd、Sr 同位素相关图(图 7)上,数据点均落入第四象限,与前入测定的哀牢山-金沙江岩带内其他岩体的 Sr、Nd 同位素组成(I_{Sr} 比值为 0.7054 ~ 0.7072, ϵ_{Nd} 为 -1.8 ~ -6.3) [21,22] 有类似的变化趋势,接近 EM II 地幔端元。EM II 地幔是与壳幔物质再循环相联系的交代富集地幔,具有较高的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 和较低

的 $^{143}Sm/^{144}Nd$ 值 [23,24]。

4 稀土、微量元素的地质意义

4.1 岩浆的源区

从前面的分析可以看出,马厂箐富碱斑岩在稀土和微量元素组成上独具特色,揭示其源区并不是典型的亏损地幔,也不是来自于地壳物质的重熔,而是来自于“壳-幔混合带”的部分熔融,这种源区是壳-幔物质混合的一种所谓 EM II 型富集地幔源 [25]。主要证据如下:1) 马厂箐岩体具稀土总量变化较大,强烈的稀土分馏和平滑的弱或无铕异常的特征,表明了该区岩浆物源来自于地幔或地幔与地壳的共同作用;2) 稀土配分模式图表现为左高右

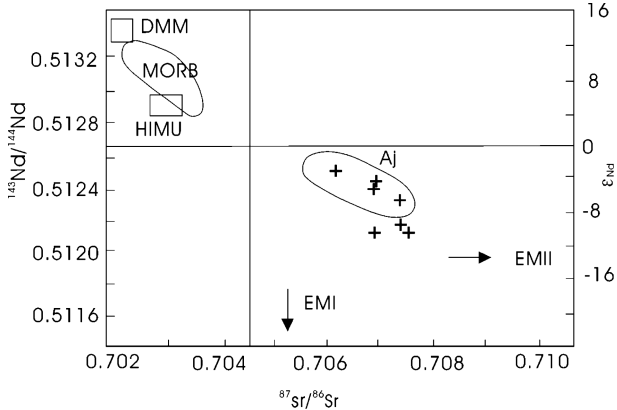


图 7 马厂箐岩体的 Nd-Sr 同位素图解

Fig. 7 Sm-Nd isotope diagram of the Machangqing intrusives

(Aj-哀牢山-金沙江富碱侵入岩^[21,22])

(Aj-Ailaoshan-Jinshajiang alkaline-rich intrusive rocks^[21,22])

低的较平滑曲线,这种曲线与典型的地球 REE“V”字形配分模式截然不同,与 I 型花岗岩配分曲线相似,因此排除了完全来自上地壳的可能性;3) 岩体明显富集有中酸性岩特征的 Rb、Sr、Ba、Th 和 La 等大离子亲石元素,相对亏损 Ta、Nb 和 Ti 等高场强元素,并且 Ta、Nb 和 Ti 具“TNT”负异常,显示出俯冲带幔源岩石的成分特点;4) 以原始地幔标准化的过渡族元素蛛网图中曲线均呈大致相同的“W”形,一些在幔源岩石中富集的 Ti、Cu 和 Zn 元素相对富集,相容元素 Cr、Ni 明显亏损;5) Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素结果表明,岩体具有高 I_{Sr} 值和低 ϵ_{Nd} 值的特征,既不同于典型的亏损地幔也不同于典型的大陆地壳,接近于有俯冲带地壳物质参与的 EM II 地幔单元。

高名修等 (1997)^[26] 通过研究认为,在川滇西部发现在红河断裂以北、元谋-绿汁江断裂带和安宁河断裂以西,存在着速度为 7.7 ~ 7.8 km/s 的过渡带(即壳-幔混合带),其厚度为 10 km 左右。文章研究的马厂箐富碱斑岩正好处在上述区域之中。张玉泉等 (1997)^[21] 通过对哀牢山-金沙江富碱侵入岩带进行岩石的微量、稀土元素的地球化学特征进行系统研究认为其物质来源于地幔源区。胡祥昭等 (1995)^[27] 认为包括马厂箐岩体在内的滇西北的富碱花岗斑岩的物质来源于地壳深部或上地幔。邓万明等 (1998)^[28] 认为滇西北的富碱斑岩物质来自“壳-幔混合层”的部分熔融。毕献武等 (2005)^[13] 通过对姚安和马厂箐的富碱斑岩的研究认为马厂箐岩体物质来源于富集地幔。赵欣等 (2004)^[29] 认为滇西北的富碱斑岩物质来源于富集地幔。由以上可以看出,马厂箐富碱斑岩的物质来源于地幔或壳-

幔混合带是没有争议的,也与文章的观点一致。

4.2 成岩构造环境

涂光炽等 (1984, 1989)^[1,2] 研究认为,富碱侵入岩是一组产于特定构造环境、具有特殊性质的岩石类型,产于裂谷、地堑、地幔上拱带的拉张条件下,常与幔源岩浆活动相联系。前人对包括马厂箐岩体在内的滇西北的富碱花岗斑岩的产出构造环境的认识有争议:曾普胜等 (2002)^[14] 认为处于剪切走滑挤压为主、局部引张的构造环境;赵欣等 (2004)^[29] 认为形成于后碰撞弧环境;毕献武等 (2005)^[13] 认为形成于大陆弧环境;而邓万明等 (1998)^[28] 和葛良胜等 (2004)^[30] 认为形成于碰撞后板内构造环境。

结合前人的研究成果,笔者认为马厂箐岩体应形成于碰撞后板内构造环境。根据该区的构造演化史^[31],该区区域上在晚二叠世结束了金沙江-哀牢山特提斯的演化过程,开始进入陆内俯冲造山阶段。在洋壳消减过程中,俯冲进入地幔的地壳物质作为源区的一个印记被保留了下来,从而使得由该源区形成的富碱侵入岩具有壳-幔混合成因的岩石成分特征。自中三叠世拉丁期开始,陆内俯冲作用所导致的地块碰撞,结束了以下冲作用为主的造山前期阶段,转入了以逆冲推覆作用为主的造山抬升阶段—造山主期。自第三纪开始,喜马拉雅阶段的造山作用影响云南全境,始新世晚期—渐新世,由于受欧亚板块与印度板块碰撞的影响,云南全境出现以压缩为主导的构造背景。金沙江左行走滑剪切带形成于 35 ~ 22 Ma^[32],大尺度陆内俯冲和剪切—走滑背景下,不仅派生出与该断裂带斜交的几组拉张性—走滑的次级断裂构造,而且诱发了“壳-幔混合层”的部分熔融,断裂带的交汇部位成为有利于熔体上侵和喷发的通道。马厂箐岩体的时代为 35.0 ~ 35.6 Ma(锆石 U-Th-Pb 年龄)^[10],由此可见,受喜马拉雅运动影响而侵位的马厂箐富碱岩浆活动在时间、空间和机制上与哀牢山地区新生代的构造背景一致,应产于造山后期或晚期的构造环境中,即碰撞后的板内构造环境。

5 结论

- 1) 马厂箐富碱斑岩的源区并不是典型的亏损地幔,也不是来自于地壳物质的重熔,而是来自于“壳-幔混合带”的部分熔融,这种源区是壳-幔物质混合的一种所谓 EM II 型富集地幔源;
- 2) 马厂箐富碱斑岩体应产于造山后期或晚期的构造环境中,即碰撞后的板内构造环境。

[参考文献]

- [1] 涂光炽. 华南两个富碱侵入岩带的初步研究[A]. 中国科学院贵阳地球化学研究所年报[C]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1984: 127-129.
- Tu Guang-zhi. Preliminary study on the two alkali porphyry belts in the South of China[A]. Annual Report of Guiyang Institute of Geochemistry, China Academy of Science[C]. Guiyang: People's Publishing House of Guizhou, 1984: 127-129.
- [2] 涂光炽. 关于富碱侵入岩[J]. 矿产与地质, 1989, 3(3): 1-4.
- Tu Guang-zhi. On alkali intrusive rocks[J]. Mineral Resources and Geology, 1989, 3(3): 1-4.
- [3] 毕献武, 胡瑞忠, 叶造军, 邵树勋. A 型花岗岩类与铜成矿关系研究——以马厂箐铜矿为例[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(6): 489-495.
- Bi Xian-wu, Hu Rui-zhong, Ye Zao-jun, Shao Shu-xun. Study on the relationship between A-type granitoid and copper mineralization——take Machangjing copper deposit as an example[J]. Science in China(D), 1999, 29(6): 489-495.
- [4] 胡瑞忠, Turner, G. 云南马厂箐铜矿床氦同位素组成研究[J]. 科学通报, 1997, 42(14): 1542-1545.
- Hu Rui-zhong, Turner, G. Study on helium isotope composition of copper deposit in Machangjing, Yunnan, China[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(14): 1542-1545.
- [5] 胡瑞忠, 毕献武. 马厂箐铜矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(6): 503-508.
- Hu Rui-zhong, Bi Xian-wu. He-Ar isotope system of inclusions in pyrite, Machangqing copper deposit[J]. Science in China(D), 1997, 27(6): 503-508.
- [6] 彭建堂, 毕献武, 胡瑞忠, 吴开兴, 桑海清. 滇西马厂箐斑岩铜(钼)矿床成岩成矿时限的厘定[J]. 矿物学报, 2005, 25(1): 69-74.
- Peng Jian-tang, Bi Xian-wu, Hu Rui-zhong, Wu Kai-xing, Sang Hai-qing. Determination of ore- and rock-forming time of the Machangqing porphyry Cu(Mo) deposit, Western Yunnan Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2005, 25(1): 69-74.
- [7] 葛良胜, 邹依林, 李振华. 云南马厂箐(铜、钼)金矿床地质特征及成因研究[J]. 地质与勘探, 2002, 38(5): 11-17.
- Ge Liang-sheng, Zou Yi-lin, Li Zhen-hua. Geological features and genesis of Machangqing Cu-Mo-Au deposit related to the rich-alkali magmatic rock, Yunnan Province[J]. Geology and Exploration, 2002, 38(5): 11-17.
- [8] 李文桦. 藏东-滇西斑岩型铜、铅多金属矿带岩石化学特征及其与成矿的关系[J]. 地质与勘探, 1982, 18(4): 10-16.
- Li Wen-hua. Petrochemical characteristics of porphyry-type copper-lead-polymetallic metallogenic belt in eastern Tibet-western Yunnan and its relation to mineralization[J]. Geology and Exploration, 1982, 18(4): 10-16.
- [9] 梁华英, 谢应雯, 张玉泉. 富钾碱性岩体形成演化对铜矿成矿制约——以马厂箐铜矿为例[J]. 自然科学进展, 2004, 4(1): 116-120.
- Liang Hua-ying, Xie Ying-wen, Zhang Yu-quan. Formation and evolution of alkaline-rich rockbody and its constrain on the copper mineralization——take Machangjing copper deposit as an example[J]. Natural Science Progress, 2004, 4(1): 116-120.
- [10] 刘显凡, 刘家铎, 张成江, 阳正熙, 吴德超, 李佑国. 滇西富碱斑岩型矿床岩体和矿脉同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(1): 32-39.
- Liu Xian-fan, Liu Jia-duo, Zhang Cheng-jiang, Yang Zheng-xi, Wu De-chao, Li You-guo. Isotopic geochemistry of rock mass and ore-vein from alkali-rich porphyry type deposits in Western Yunnan, China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2004, 23(1): 32-39.
- [11] 王登红, 屈文俊, 李志伟, 应汉龙, 陈毓川. 金沙江红河成矿带斑岩铜钼矿的成矿集中期: Re-Os 同位素定年[J]. 中国科学D 辑 地球科学, 2004, 34(4): 345-349.
- Wang Dun-hong, Qu Wen-jun, Li Zhi-wei, Ying Han-long, Chen Yu-chuan. Concentrate metallogeny epoch of porphyry copper, molybdenum at Honghe, Yunnan province: Re-Os isotopic chronology[J]. Science in China(D) Earth Science, 2004, 34(4): 345-349.
- [12] 温汉捷, 裴榆卓, 胡耀国, 俞广钧. 滇西-滇西北斑岩型金矿床成矿地质特征及控矿条件研究[J]. 地质与勘探, 2003, 39(3): 14-19.
- Wen Han-jie, Qiu Yu-zhuo, Hu Yao-guo, Yu Guang-jun. Geological, character and ore-control, condition of porphyry type gold deposits in Western-Northwestern Yunnan[J]. Geology and Exploration, 2003, 39(3): 14-19.
- [13] 毕献武, 胡瑞忠, 彭建堂, 吴开兴, 苏文超, 战新志. 姚安和马厂箐富碱侵入岩体的地球化学特征[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 113-124.
- Bi Xian-wu, Hu Rui-zhong, Peng Jian-tang, Wu Kai-xing, Su Wen-chao, Zhan Xin-zhi. The Key Laboratory of Ore Deposit, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, China The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China. Geochemical characteristics of the Yao'an and Machangqing alkaline-rich intrusions[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(1): 113-124.
- [14] 普普胜, 莫宣学, 喻学惠. 滇西富碱斑岩带的 Nd、Sr、Pb 同位素特征及其挤压走滑背景[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(3): 231-240.
- Zeng Pu-sheng, Mo Xuan-xue, Yu Xue-hui. Nd, Sr and Pb isotopic characteristics of the alkaline-rich porphyries in western Yunnan and its compression strike-slip setting[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 2002, 21(3): 231-240.
- [15] 郭晓东, 陈孝强, 王治华. EH4 连续电导率测量在宝兴厂矿区的应用[J]. 地质与勘探, 2009, 45(1): 52-58.
- Guo Xiao-dong, Chen Xiao-qiang, Wang Zhi-hua. Application of EH4 continuous conductivity measure in Baoxingchang district[J]. Geology and Exploration, 2009, 45(1): 52-58.
- [16] 彭勇民, 潘桂棠, 罗建宁. 昌都盆地碱性岩的稀土元素地球化学特征——以高吉岩体为例[J]. 特提斯地质, 1998, 22: 7-105.
- Peng Yong-min, Pan Gui-tang, Luo Jian-ning. REE geochemistry of alkaline rocks: an example from the Gaoji rock body in the Qamdo Basin, Xizang[J]. Tethyan Geology, 1998, 22: 7-105.
- [17] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学. 中国大陆根—柱构造——大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1-110.
- Deng Jin-fu, Zhao Hai-ling, Mo Xuan-xue. Continental root-plume tectonics of China-key to continental dynamics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 1-110.

[18] 申屠保湧. 藏东花岗岩类稀土元素地球化学特征[J]. 特提斯地质, 1995, 19:90-105.
Shen T B Y. Geochemistry of REE from the Granitoids in Eastern Tibet[J]. Tethyan Geology, 1995, 19:90-105.

[19] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and procdsses. In: Sannder A D and Norry M J (eds). Magmatism in the oceam basins, geological society of special publications 42, pp, 1989, 312-345.

[20] Cornell D H. The Ongeluk basaltic andesite formation in Grigual-anel West South Africa; submarine alteration in a 2222Ma Proterozoic sea[J]. Precambrian Reserch, 1995, 79:102-123.

[21] 张玉泉, 谢应雯, 涂光炽. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(4): 289-293.
Zhang Yu-quan, Xie Ying-wen, Tu Guang-zhi. Geochronology of alkalic intrusive rocks in Ailaoshan-Jinshajiang region and its isotope characteristics of Nd, Sr[J]. Science in China (D), 1997, 27(4): 289 ~ 293.

[22] 邓万明, 黄 萱, 钟大赉. 滇西新生代富碱斑岩的岩石学特征与成因[J]. 地质科学, 1998, 33(4): 412-425.
Deng Wan-ming, Huang Xuan, Zhong Da-lai. Petrological characteristics and genesis of cenozoic alkali-rich porphyry in West Yunnan, China[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33(4): 412-425.

[23] 路凤香. 地幔岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988: 1-213.
Lu Feng-xiang. Mantle Petrology[M]. Wuhan: Publishing house of China University of Geosciences, 1988: 1-213.

[24] 郑永飞. 化学地球动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-392.
Zheng Yong-fei. Chemistry Geodynamics[M]. Beijing: Science Publishing House, 1999: 1-392.

[25] Hart S R. A large-scale isotope anomaly in the southern hemisphere mantle[J]. Nature, 1984, 309: 753-757.

[26] 高名修, 阚荣举, 郑剑东. 中国川滇西部岩石圈结构与喜马拉雅运动[J]. 见: 中国科学院地质研究所岩石圈构造演化. 开放实验室年报(1989 ~ 1990), 北京: 中国科学技术出版社, 1991: 49 ~ 53.
Gao Ming-xiu, Kan Rong-ju, Zheng Jian-dong. Lithosphere structure in western Sichuan and Yunnan provinces, China and Himalaya Movement[J]. See: Lithosphere structure evolution, geological institute of Chinese Academy of Science. Open laboratory annals (1989 ~ 1990), Beijing: Science and technology Publishing House of China, 1991: 49 ~ 53.

[27] 胡祥昭, 万 方. 滇西富碱花岗岩斑岩的岩石学与成因[J]. 中国有色金属学报, 1995, 5(1): 1-3, 13.
Hu Xiang-zhao, Wan Fang. Petrology and genesis of alkaline-rich grantoid porphyry in western, China[J]. Journal of nonferrous metal in China, 1995, 5(1): 1-3, 13.

[28] 邓万明, 黄 萱, 钟大赉. 滇西金沙江带北段的富碱斑岩及其与板内变形的关系[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(2): 111-116.
Deng Wan-ming, Huang Xuan, Zhong Da-lai. Alkaline-rich porphyry and its relationship to intra-plate deformation of northern section of Junshajiang, western Yunnan province[J]. Science in China(D), 1998, 28(2): 111-116.

[29] 赵 欣, 喻学愚, 莫宣学, 张 瑾, 吕伯西. 滇西新生代富碱斑岩及其深源包体的岩石学和地球化学特征[J]. 现代地质, 2004, 18(2): 21-228.
Zhao Xin, Yu Xue-hui, Mo Xuan-xue, Zhang Jin, Lv Bo-xi. Petrological and geochemical characteristics of cenozoic alkali-rich porphyries and xenoliths hosted in Western Yunnan Province[J]. Geoscience, 2004, 18(2): 21-228.

[30] 葛良胜, 邹依林, 邢俊兵. 滇西北地区富碱岩体(脉)地质学及岩石化学特征[J]. 矿产与地质, 2002, 16(3): 147-153.
Ge Liang-sheng, Zou yi-lin, Xing Jun-bing. Geological and Rock-chemical characteristics of alkali rich intrusive rock bodies (vein) in Northwestern Yunnan[J]. Mineral Resources and Geology, 2002, 16(3): 147-153.

[31] 张志斌, 刘发刚, 包佳凤. 哀牢山造山带构造演化[J]. 云南地质, 2005, 24(2): 137-141.
Zhang Zhi-bin, Liu Fa-gang, Bao Jia-feng. The structural evolution of Ailaoshan Orogen[J]. Yunnan Geology, 2005, 24(2): 137-141.

[32] 张连生, 钟大赉. 从红河剪切带走滑运动看东亚大陆新生代构造. 地质科学, 1996, 31(4): 327-340.
Zhang Lian-sheng, Zhong Da-lai. The red river strike-slip shear zone and Cenozoic tectonics of East Asia Continent[J]. Scientia Geologica Sinica, 1996, 31(4): 327-340.

Geochemistry of the Machangqing Alkaline-rich Porphyry in Xiangyun, Yunnan Province

WANG Zhi-hua, GUO Xiao-dong, GE Liang-sheng, WANG Ke-qiang, ZOU Yi-lin, ZHANG Yong, YU Wan-qiang
(Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000)

Abstract: Located at the joint of western margin of the Yangtz plate and eastern side of NW-trending Ailaoshan-Jinshajiang major fault, the Machangqing intrusive body, being part of the alkaline-rich intrusion belt of Ailaoshan-Jinshajiang, is main host rock of the Machangqing copper-molybdenum deposit. The Machangqing intrusive complex mainly consists of granite porphyry, monzonite porphyry and syenite-porphyry. The rocks are rich in large ion lithophile elements such as Rb, Sr, Ba, Th and U and light rare earth elements, depleted in Ta, Nb and Ti, with “TNT” negative anomaly. The values of LREE/HREE range between 8.04 and 23.99, δEu from 0.72 to 0.88, without obvious negative Eu anomaly; The magma of the rockbody derives from the mixture of crust-mantle, as being called EM II-type. The intrusive shows the characteristics of crust-mantle mixture, resulting from mixing in the mantle source with the crust material within the subduction zone and formed in a post-collisional intra-plate.

Key words: geochemistry, Alkaline-rich intrusive, tectonics, magma, mantle, crust, Machangqing, Xiangyun Yunnan