第81卷 第7期
2007年7月
地 质 学 报
ACTA GEOLOGICA SINICA
Vol. 81 No. 7
July 2007

中甸地区甭哥正长岩地球化学特征及其地质意义

曹殿华1)，王安建1)，修群业2)，杨岳清1)，李瑞萍1)
1）中国地质科学院矿产资源研究所，北京，100037；2）核工业北京地质研究院，100029

内容提要：长期以来，甭哥正长岩体被认为是印度—欧亚板块碰撞引起的走滑剪切构造所控制的碱性岩浆活动的产物。本文研究表明甭哥正长岩属钾玄岩系列，富集 K_2O(5.88%～9.08%)、稀土元素(特别是轻稀土元素)和大离子亲石元素，高场强元素亏损，具有岛弧型微量元素特征。地球化学数据表明原岩于高压条件下发生部分熔融，岩浆源区深度较大，经历了结晶分异作用形成正长岩岩浆。甭哥正长岩的锆石稀释法 U-Pb 测定年龄为 201.4Ma，略晚于中甸弧钙碱性斑岩，其形成的构造环境是弧后拉张环境，甘孜—理塘洋向西低角度俯冲使中甸地区地壳挤压增厚，从而在较深的深度形成原始岩浆。在中甸岛弧岩浆演化后期存在区域性的构造体制转折，从区域性的挤压环境转换成区域性的拉张环境，甭哥岩体的侵位处于两者的过渡时期。

关键词：正长岩；甭哥；中甸地区；地球化学；锆石 U-Pb 年龄

中甸地区位于金沙江—澜沧江—怒江三江并流区域东部，大地构造位置上位于欧亚和冈瓦纳两大板块的交接部位、特提斯—喜玛拉雅构造域东缘(图1)。印支期该区形成了金沙江缝合带和甘孜—理塘缝合带及其相应的岛弧岩浆系统，该区被认为是研究中生代亚洲大陆增生机制的重要地区(Sengor，1984；Sengor，1996；Yin and Harrison，2000；Roger et al.，2003；Reid et al.，2005)。发生在大约 55 Ma 的印度—欧亚板块碰撞对于该区地壳结构的形成与演化有着深刻的影响(Molnar and Tapponnier，1975；Turner et al ，1993；Coleman and Hodges，1995；季建清等，2000；Morley，2002；孙珍等，2003)，该区是吸纳和调节印度—欧亚板块碰撞应力应变的构造转换带，伴随大量的走滑剪切构造和碱性岩浆活动(张玉泉等，1997；Wang et al.，2001；侯增谦等，2004)，甭哥正长岩体一直被认为是这个地质演化阶段形成的产物(李雷，1994；金志升等，1997；赖健清等，1997；曾普胜等，1999，2002；温汉捷等，2000，2003；崔银亮等，2002，杨岳清等，2002；葛良胜等，2002，2004；侯增谦，2003，2004；孙华山等，2004；武玉海等，2004)，然而对该岩体仍缺少系统的地质、地球化学和同位素地质年代学研究，该研究对于限定中甸地区的构造演化有着非常重要的意义。

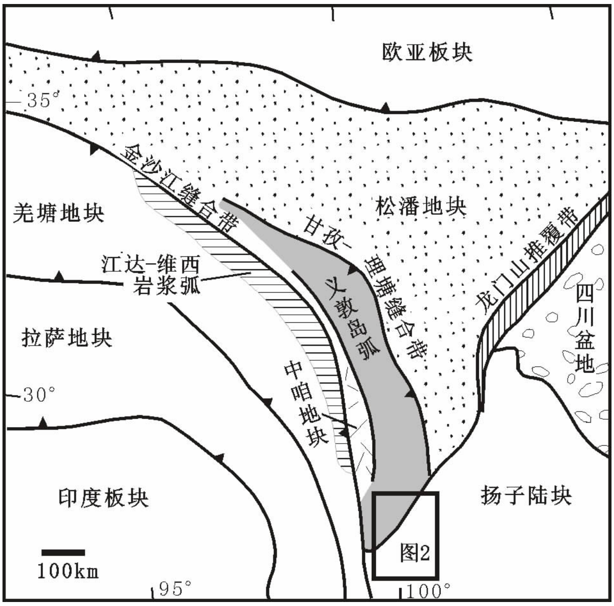

图1 区域构造格架简图
(据 Reid et al.，2005 修编)
Fig. 1 Regional principal tectonic framework map
(modified from Reid et al.，2005)

本文拟通过中甸地区甭哥正长岩体岩石地球化学测试分析与颗粒锆石 U-Pb 年代学，并结合前人

注：本文为国家科技攻关（编号 2001BA609A-05，2003BA612A-05）、国家 973 项目(编号 2002CB412607)和国家科技支撑计划项目(编号 2006BAB01A07)的资助成果。
收稿日期：2007-04-08；改回日期：2007-06-15；责任编辑：郝梓国。

作者简介：曹殿华，男，1977 年生。助理研究员，主要从事矿产资源勘查评价方面的研究。Email：dianhuacao@gmail.com。

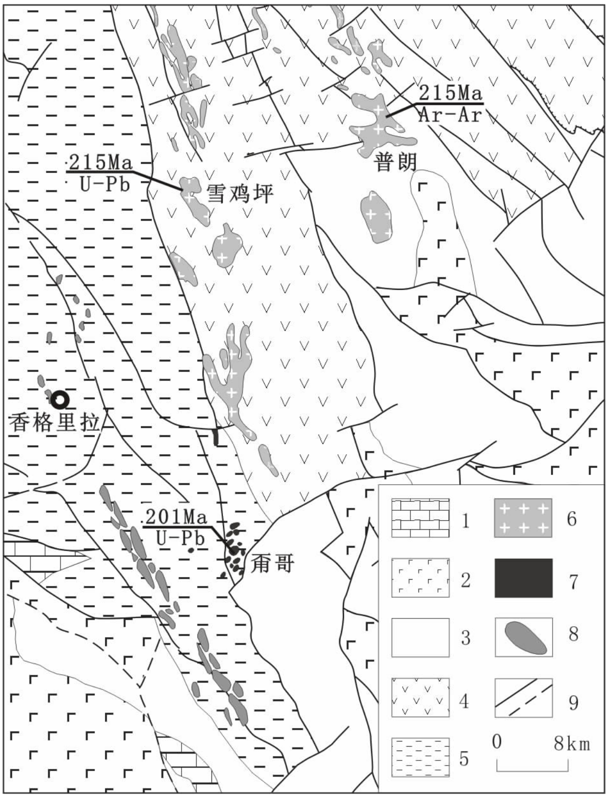

图 2 甭哥正长岩体区域地质简图

（根据 1:20 万区域地质图，冯庆来等（2002）等编制）

Fig. 2 Regional geologic sketch-map of the Bengge syenitic terrains (modified from 1:200000 geological map and Feng Qinglai (2002))

1—古生界；2—二叠系玄武岩、火山角砾岩夹灰岩、碎屑岩；3—中下三叠统碎屑岩、灰岩、火山岩；4—上三叠统碎屑岩夹岛弧火山岩；5—上三叠统哈工组碎屑岩夹灰岩；6—晚三叠世石英闪长玢岩；7—正长岩；8—哈工组沉积混杂岩块；9—实 / 推测断层

1—Paleozoic; 2—basalt and volcanic breccia interbedded with clastic rock and limestone in Permian system; 3—clastic rock, limestone and volcanic rock in middle and lower Triassic; 4—clastic rock interbedded with arc volcanic rock in upper Triassic; 5—clastic rock interbedded with limestone in upper Triassic Hagong Formation; 6—late Triassic quartz diorite-porphyrite; 7—syenite; 8—sedimentary melang in upper Triassic Hagong Formation; 9—faults or inferred faults

的研究成果，系统探讨甭哥正长岩形成的构造环境、演化机制及其地质意义。

1 岩体地质特征

甭哥岩体位于义敦岛弧南部，岩体主要顺层侵入于上三叠统哈工组中（图 2）。岩体规模较小，数量较多，目前已圈出 38 个小岩体，形态有椭圆状，透镜状，个别呈脉状，它们均处在几组断裂的交叉部位。岩体群总体呈北北西向展布，与中甸岛弧延伸方向一致。北西向的格咱河断裂从岩体群的西部通过并切割甭哥岩体，说明格咱河断裂在甭哥岩体形成后活动。目前已圈定含金矿化的岩体 6 个，矿化主要产在岩体内外蚀变带或角岩中的小断层带中，以透镜状、脉状产出。

本次研究样品采自含矿岩体，岩石呈灰黑色，中细粒粒状结构，主要矿物组成为：正长石（60%）、霓辉石（25%）、黑云母和角闪石（0%～7%），部分样品含少量霓石，初步定名为霓辉正长岩。霓辉石呈长柱状，薄片中浅绿色，颜色呈环带状分布，自中心向边部，绿色愈深，说明含霓石分子愈高，高正突起，解理、裂理发育，高干涉色。霓石呈放射状集合体（图 3），薄片中暗绿色，多色性较强，极高正突起，糙面显著，近于平行消光。本文所分析的样品均为无蚀变、无脉体、无表皮的新鲜正长岩。

图 3 霓石的放射状集合体（样品 BG-1）

Fig. 3 Radial aggregation of aegirine in BG-1 sample

2 地球化学特征

主量元素分析在核工业地质研究院测试中心采用 XRF 方法完成，精度优于 5%，微量元素（含稀土元素）测试是在中国科学院地质和地球物理研究所 ICP-MS 实验室完成，精度优于 10%。

样品的测试结果见表 1。

2.1 主量元素特征

8 件正长岩的主量元素地球化学特征变化如下：SiO_2 为 55.44%～63.91%，TFe_2O_3 的变化范围为：4.65%～7.64%，全碱的含量较高，Na_2O+K_2O 的变化范围为：7.77%～10.15%，K_2O 含量较高（5.88%～9.08%）。在TAS图解中（图4a），绝大

表 1　甭哥正长岩常量元素（%）和微量元素（$\times 10^{-6}$）组成

Table 1　Major（%）and trace element（$\times 10^{-6}$）compositons for the Bengge syenites

	BG-1	BG-2	BG-3	BG-4	BG-5	BG-6	BG-7	BG-8
SiO_2	56.94	55.44	63.91	59.16	59.72	58.97	57.63	58.62
TiO_2	0.73	0.67	0.50	0.75	0.73	0.68	0.73	0.62
Al_2O_3	12.59	12.08	13.75	12.94	12.92	10.37	12.24	12.62
Fe_2O_3	3.97	2.63	2.16	2.84	1.89	2.86	2.48	2.90
FeO	3.33	3.59	2.26	3.04	3.98	4.35	3.52	2.93
MnO	0.15	0.15	0.11	0.12	0.13	0.16	0.12	0.121
MgO	3.56	3.76	2.46	3.69	3.24	5.91	4.11	4.16
CaO	5.1	5.29	2.99	4.32	4.03	4.51	4.98	4.39
Na_2O	2.6	1.03	3.44	2.56	2.69	1.64	2.4	2.45
K_2O	7.29	9.08	5.88	7.59	7.18	6.13	7.05	7.24
P_2O_5	0.9	0.84	0.47	0.9	0.79	1.46	0.85	0.91
LOI	2.12	4.50	1.52	1.3	1.8	1.96	3	2.2
Total	97.157	94.561	97.934	97.906	97.302	97.035	96.108	96.958
Li	31.62	50.58	15.75	48.50	17.65	20.27	29.71	54.69
Be	5.24	6.21	5.74	6.99	7.46	7.14	7.40	7.06
Sc	26.4	27.0	17.4	24.4	23.4	33.7	25.1	25.8
V	346	236	152	211	202	230	211	213
Cr	74.9	66.2	39.5	79.2	62.7	195.8	78.3	82.7
Co	21.4	22.8	12.6	20.7	19.6	24.4	20.9	20.6
Ni	25	25	18	27	23	42	35	25
Cu	26	151	55	56	95	81	92	82
Zn	94	92	55	71	71	79	64	73
Ga	16.6	15.3	17.8	16.6	16.8	13.8	16.0	16.4
Rb	197.2	305.4	170.7	244.2	228.8	153.7	281.5	250.4
Sr	1426	1540	1138	666	886	1146	1168	719
Zr	365	229	287	254	262	227	253	243
Nb	31.4	26.5	25.0	22.8	23.6	18.1	22.0	22.0
Cs	18.4	20.8	5.97	8.66	26.4	7.25	19.1	11.1
Ba	4235	4082	3017	4008	3832	2890	4064	8013
Hf	11.0	6.59	8.14	7.26	7.58	6.35	7.18	6.96
Ta	1.88	1.48	1.67	1.47	1.56	1.08	1.39	1.39
Pb	74.21	19.79	57.92	26.99	17.07	6.42	22.43	33.90
Th	17.76	18.61	24.42	19.63	19.92	16.21	19.01	18.87
U	6.81	5.78	5.23	5.36	5.42	4.40	5.25	4.86
La	64.80	63.26	61.29	49.02	46.69	51.95	49.75	48.85
Ce	118.14	111.85	105.30	90.89	85.56	97.37	92.54	90.89
Pr	13.71	12.84	11.56	10.89	10.15	11.65	10.94	10.78
Nd	51.94	48.43	42.32	42.46	39.76	45.93	42.10	42.32
Sm	8.74	8.34	7.09	7.68	7.25	8.44	7.51	7.59
Eu	2.36	2.19	1.91	2.04	1.92	2.27	2.01	2.19
Gd	6.85	6.52	5.96	6.07	5.70	7.17	6.51	5.84
Tb	0.91	0.85	0.78	0.85	0.79	0.86	0.86	0.80
Dy	4.35	4.24	3.94	4.33	4.04	3.97	4.16	4.07
Ho	0.78	0.76	0.76	0.80	0.76	0.70	0.79	0.76
Er	2.07	1.98	2.02	2.09	1.99	1.75	2.03	1.99
Tm	0.31	0.29	0.30	0.31	0.30	0.25	0.30	0.28
Yb	2.00	1.79	1.96	1.96	1.94	1.59	1.93	1.77
Lu	0.32	0.27	0.30	0.30	0.30	0.24	0.29	0.28
Y	19.80	18.96	19.04	19.94	18.68	17.88	19.58	19.13

部分样品分布于碱性、中酸性区域，样品落入粗面岩和安粗岩靠近粗面岩的区域，相当于侵入岩的正长岩，由于偏钾质（$Na_2O-2.0 \leqslant K_2O$），岩石属钾玄岩系列。另外，在 SiO_2-K_2O 图解（图 4b）中，样品分布于钾玄岩系列区域。

2.2　微量元素特征

稀土元素的含量较高，$\sum REE = 207.14 \times 10^{-6} \sim 277.28 \times 10^{-6}$；轻、重稀土元素发生了明显分异，在球粒陨石标准化稀土元素分配模式图（图 5a）中，表现为轻稀土元素（LREE）强富集型，其中 $(La/Sm)_N = 3.97 \sim 5.58$；$(La/Yb)_N = 17.23 \sim 25.31$；重稀土元素内部也发生了明显的分异：$(Tb/Yb)_N = 1.75 \sim 2.44$；样品具有微弱的负铕异常：$\delta Eu = 0.86 \sim 0.97$。大离子亲石元素（Rb、Ba、U、Th、Pb）富集，相当于原始地幔的数百倍。高场强元素（Nb、

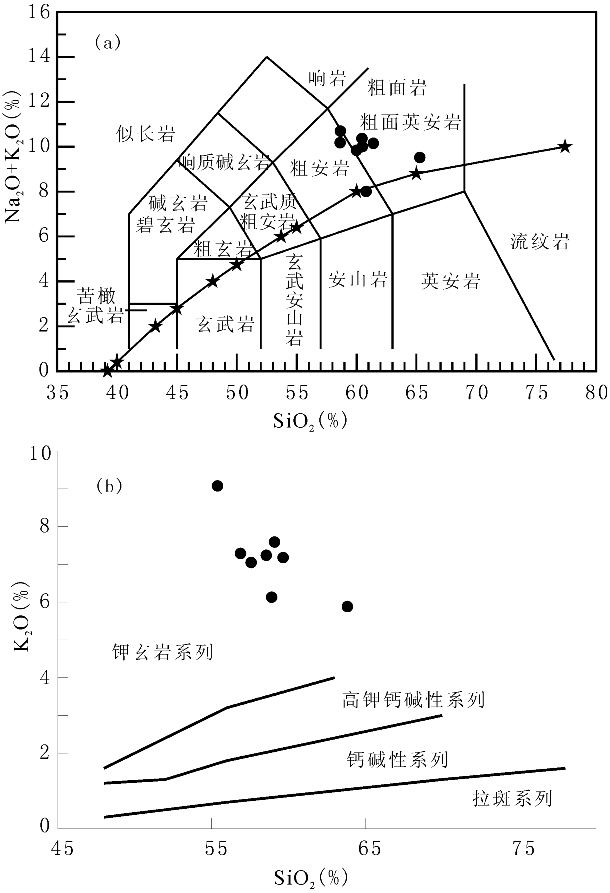

图 4　甭哥正长岩 TAS 分类图解（图 a，据 Le Maitre et al.，1989；碱性与亚碱性岩石系列的分界线参考 Irvine and Baragar，1971）；SiO_2-K_2O 图解（图 b，据 Peccerillo 等，1976）

Fig. 4　(a)—TAS classification diagram(afeter Le Maitre et al.，1989；division line of alkaline and subalkaline rock series is after Irvine and Baragar，1971)；(b)—SiO_2-K_2O variation diagram (after Peccerillo et al. 1976)

Ta、Ti)亏损，原始地幔标准化微量元素蛛网图(图5b)上均表现出显著的 Nb、Ta、Ti 负异常，表明甭哥岩体形成于与岛弧有关的构造环境中。

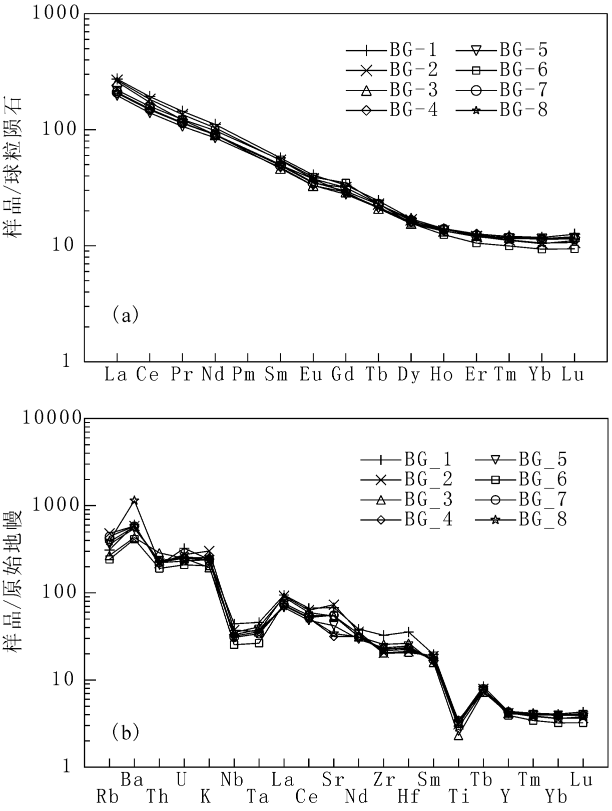

图 5 甭哥正长岩球粒陨石标准化稀土元素配分模式(图 a,标准化值参考 McDonough and Sun，1995)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 b,标准化值参考 McDonough and Sun，1995)

Fig. 5 (a)—Chondrite-normalized abundances of REEs (normalization values from McDonough and Sun，1995). (b)—Primitive-mantle normalized trace element abundance (“spidergrams”) . Primitive mantle normalizing values used are from McDonough and Sun (1995)

3 锆石 U-Pb 年代学

3.1 样品处理及测试方法

锆石的分选在廊坊区调研究所实验室完成，首先对正长岩样品(样重大于 3kg)粗碎，然后按人工重砂分离方法，经重力和磁力方法分选出锆石。然后，对所分选出的锆石进行详细的显微镜观察和鉴定，仔细挑选出干净、透明、无裂纹、无包体、较自形锆石进行测定。同时，在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室用阴极发光(CL)进行代表性锆石的图像分析，检查锆石的内部结构。

采用单颗粒锆石稀释法进行了 U-Pb 同位素年龄测定，分析工作在核工业北京地质研究院测试中心由修群业博士完成。锆石的清洗、溶解、制样全部在超净化实验室中进行。锆石的溶解及铀—铅的分离已在 Krogh (1973) 程序的基础上做了相应地改进(陆松年等，1991)。锆石颗粒在氟塑料小容器内用氢氟酸溶解后，再加入适量的^{205}Pb-^{235}U 混合稀释剂，并将铀和铅用硅胶和磷酸混合溶液装在同一条铼带灯丝上，然后在 ISOPROBE-T 热电离质谱仪上进行测试，所有铀和铅的同位素数据均进行质量歧视效应校正。

3.2 测试结果及解释

5 个锆石晶体的特征及原始分析结果见表 2。锆石颗粒较小，呈它形碎粒状，均为透明的晶体，阴极发光图像显示出典型的岩浆结晶韵律环带结构，未发现老核。如表 2 所示，甭哥碱性正长岩的锆石样品都显示有^{207}Pb/^{206}Pb>^{207}Pb/^{235}U>^{206}Pb/^{238}U 的不一致表面年龄，这种锆石表面年龄的不一致是由于发生在近期的锆石中的放射成因铅不同程度的丢失引起的。在这种情况下，锆石的^{207}Pb/^{235}U 和^{206}Pb/^{238}U 表面年龄不能代表锆石的结晶年龄，但是采用谐和图解可以获得锆石的结晶年龄，将测得的^{207}Pb/^{235}U 与^{206}Pb/^{238}U 数据投到谐和图中(图6)，5 个锆石样品的同位素数据显示出较好的线性关系，利用 ISOPLOT 程序(Ludwig，1994)计算，不一致线与谐和线的下交点年龄为 201.4±8.2Ma，与^{206}Pb/^{238}U 表面年龄(5 个点的平均值=223.2 Ma)相近，可以代表锆石的结晶年龄。因此，本文认为甭哥正长岩的形成年龄应为 201.4Ma，与前人文中提到的该岩体的形成年龄 28.2Ma(曾普胜，1999)相差较大。

4 讨论

4.1 岩浆源区与演化

甭哥正长岩曾经历了不同程度的分离结晶作用。在 SiO_2 与主要氧化物的相关图解中(图 7)，CaO、K_2O、MgO、TFeO、TiO_2、P_2O_5 与 SiO_2 呈明显的负相关，Al_2O_3、Na_2O 与 SiO_2 呈明显的正相关，说明甭哥正长岩经历了磷灰石、磁铁矿和钛铁矿的分离结晶作用，斜长石不是主要的分离结晶相。K_2O 与 SiO_2 的负相关暗示可能存在多阶段的分离结晶作用。

表 2　甭哥正长岩中锆石 U-Pb 同位素测定结果

Table 2　Single zircon U-Pb isotopic analysis results of the Bengge syenites

锆石描述		同位素原子比率			表面年龄(Ma)		
点号	锆石类型及特征	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
1	无色透明它形碎粒状小晶体	63	0.03237±0.00021	0.2916±0.0029	205	260	785
2	无色透明它形碎块状小晶体	46	0.03189±0.00021	0.3135±0.0045	202	277	966
3	略带黄色调透明它形中偏小晶体	74	0.03485±0.00020	0.4736±0.0034	221	394	1597
4	无色透明碎块状小晶体	61	0.03469±0.00026	0.4802±0.0045	220	398	1632
5	淡黄色无色透明碎块状中等晶体	58	0.04256±0.00026	1.3290±0.0090	268	858	3028

注：$^{206}Pb/^{204}Pb$ 已对实验空白(Pb=0.020ng，U=0.002ng)及稀释剂作了校正。其它比率中的铅同位素均为放射性成因铅同位素，绝对误差(2σ)已列在各比值中。

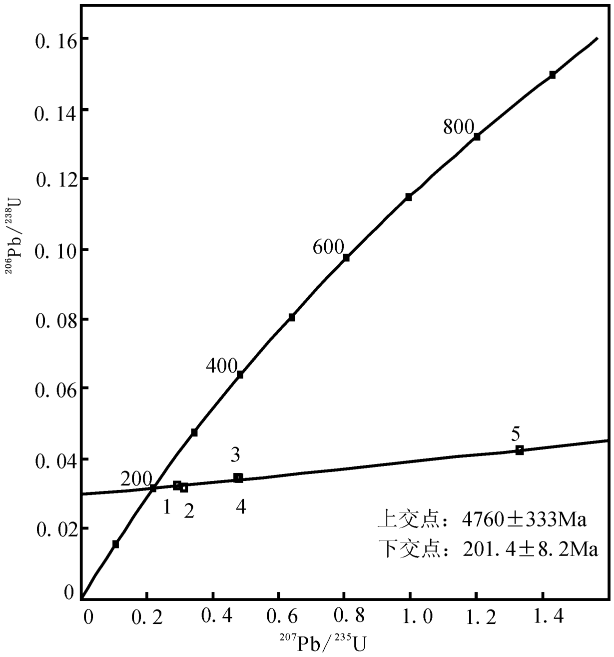

图 6　甭哥正长岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 6　U-Pb Concordia diagram showing the results for the Bengge syenites

甭哥正长岩不存在明显的负 Eu 异常，少量样品出现较弱的 Sr 负异常，大部分样品呈 Sr 正异常(图 5b)。由于 Eu 和 Sr 主要赋存于斜长石等含 Ca 矿物中，一方面说明甭哥正长岩岩浆不是幔源玄武质原生岩浆分离结晶斜长石后的进化残浆，另一方面反映岩浆的源区基本不含斜长石，即使存在量也很小，并且不能在熔融中残留。另外，重稀土元素主要易于富集在石榴石这一高压下的稳定固相矿物中(Hanson，1978；Evans et al.，1993)，所以重稀土元素强烈亏损通常代表岩浆源区可能富含石榴石而含少量残留斜长石，岩浆形成条件应接近于石榴石稳定的温压条件。实验岩石学研究表明，石榴石稳定相界一般为 1.0～1.5GPa，但在中酸性火成岩原岩脱水部分熔融实验中，该相界附近的石榴石并不是残留固相的主要组分，随着压力的逐渐增大，石榴石会成为残留相的主要成分，而斜长石则逐渐减少甚至消失(Montel et al.，1997；Litvinovsky et al.，2000)。故可以推测，甭哥正长岩的原岩是于高压条件下发生部分熔融的，且压力大于石榴石稳定相界(p=1.0～1.5GPa)，岩浆源区深度至少 35km(>1.0 GPa)。

4.2　构造背景

近年来，较为精确的年代学研究表明中甸弧钙碱性斑(玢)岩体的侵位时代为 215Ma 左右(曾普胜等，1999，2003；林清茶等，2006)。根据本次工作结果，甭哥正长岩侵位于 201Ma 左右，形成于岛弧岩浆作用后 15Ma 左右。过碱性岩浆岩大都起源于富集地幔，并且无一例外都形成于伸展的构造环境中(Fitton et al.，1987)，由于伸展构造环境促使岩浆从深部快速上升，碱性(钾玄质)侵入体可以出现在弧后构造背景(Richards，2005)。甘孜理塘洋向西的低角度俯冲使该区地壳挤压增厚，在较深的深度下形成了甭哥正长岩的原岩，通过沟通地幔的深大断裂快速上升形成甭哥正长岩。

但是，中甸弧是否存在弧后扩张环境？侯增谦(2003)认为中甸弧弧后扩张盆地不发育，标志弧后扩张盆地的双峰岩石组合在中甸弧明显缺失，中甸弧具有的压性弧的特点。然而，哈工组沉积混杂岩的研究表明中甸岛弧带存在弧后扩张体系(图 2)，并且在哈工组三段发现侏罗纪放射虫化石，表明该区侏罗纪仍存在海相盆地(冯庆来，2002)。

另外，曲晓明(2003)发现义敦岛弧北部存在 190Ma 的板内火山岩，说明早侏罗纪岛弧演化快速结束，义敦岛弧带已经进入拉张的构造环境。早侏罗纪，研究区南部兰坪—思茅和楚雄地区相继结束了造山带控盆的历史而进入陆内拗陷盆地演化阶段，接受海陆交互相的沉积。沉积盆地性质的这一转变，反映全区构造应力场由挤压向弛张状态转变，

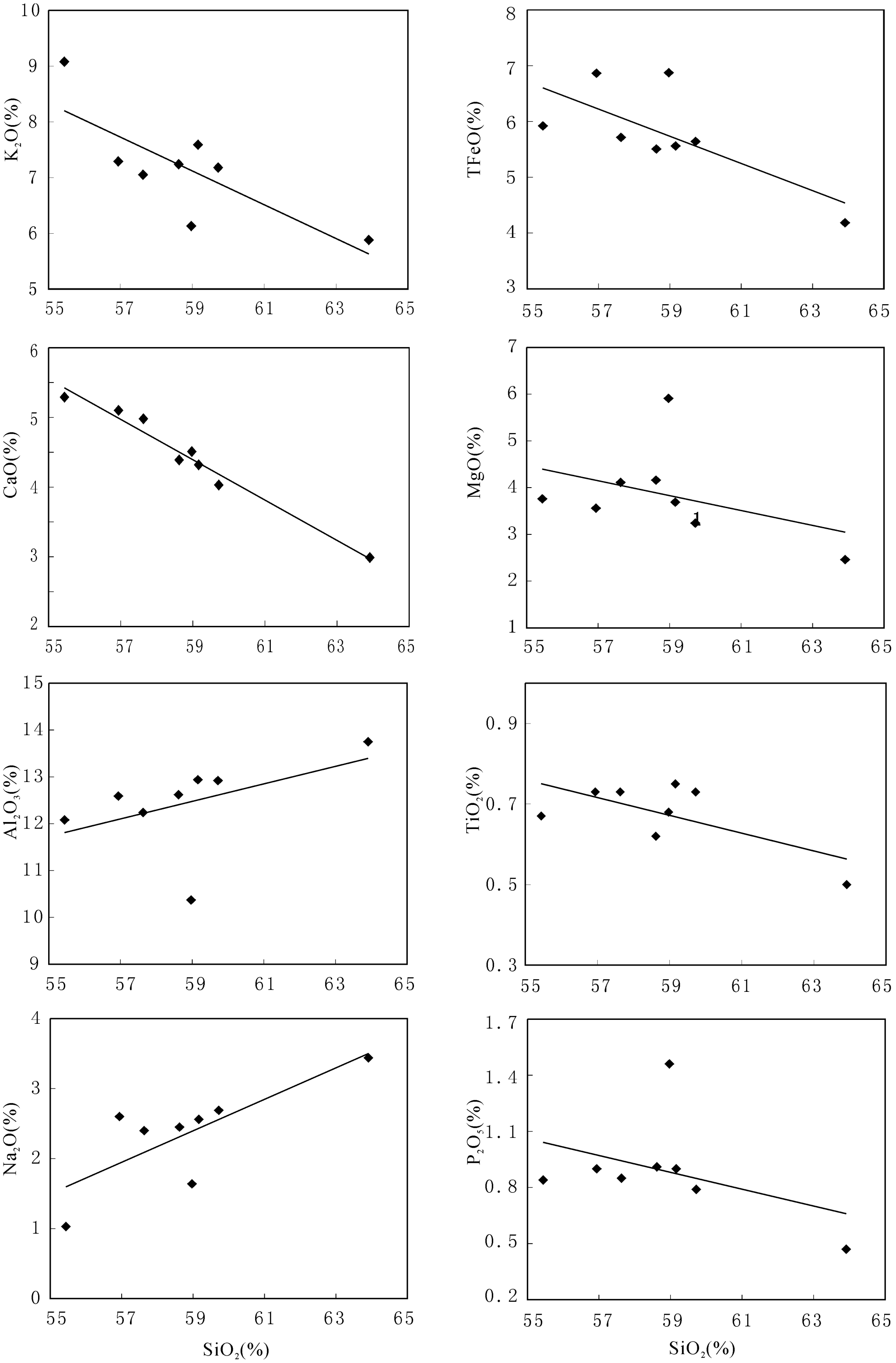

图 7 主要氧化物的变异图解

Fig. 7 Variation of main element oxides

也标志着古特提斯构造演化进入陆内发展阶段(谭富文,2001)。

至此,我们对于中甸岛弧的演化有了更为清楚的认识,在岛弧岩浆演化后期存在区域性的构造体制转折,从区域性的挤压环境转换成区域性的拉张环境,甭哥岩体的侵位处于两者的过渡时期。本文

与前人的认识差异较大，尽管同位素测年的结果不是十分理想，本文结论得到区域上构造、沉积以及岩石地球化学方面前人资料的支持，进一步的工作将促进该区构造演化与成矿规律的研究。

5 结语

甭哥正长岩属钾玄质岩石，具有岛弧型微量元素特征，原岩是于高压条件下发生部分熔融的，岩浆源区深度较大，曾经历了铁镁质矿物、磷灰石、磁铁矿和钛铁矿的分离结晶作用。

锆石 U-Pb 同位素年龄测定结果显示甭哥岩体侵位于 201Ma 左右，略晚于中甸弧钙碱性斑岩，其形成的构造环境是弧后扩张环境。在中甸岛弧岩浆演化后期存在区域性的构造体制转折，从区域性的挤压环境转换成区域性的拉张环境，甭哥岩体的侵位处于两者的过渡时期。

参考文献

崔银亮，陈贤胜，张映旭，和浪涛．2002．滇西新生代与富碱斑岩有关的金矿床成矿特征和成矿条件．大地构造与成矿学，26(4)：404～408．

冯庆来，张世涛，葛孟春，严城民，余华，段国玺，包俊跃．2002．滇西北中甸地区哈工组放射虫及其构造古地理意义．地质科学，37(1)：70～78．

葛良胜，邹依林，邢俊兵，李振华，郭晓东，张学军．2002．滇西北地区富碱岩体(脉)地质学及岩石化学特征．矿产与地质．16(3)：147～153．

葛良胜，邹依林，邢俊兵，王治华，郭晓东．2004．滇西北与喜马拉雅期富碱斑岩有关的金矿成矿系统．黄金地质．10(1)：39～47．

侯增谦，杨岳清，王海平，曲晓明，吕庆田，黄典豪，吴宣志，余金杰，唐绍华，赵金花．2003．三江义敦岛弧碰撞造山过程与成矿系统．北京：地质出版社．1～345．

侯增谦，杨岳清，曲晓明，黄典豪，吕庆田，王海平，余金杰，唐绍华．2004．三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统．地质学报，78(1)：109～120．

侯增谦，钟大赉，邓万明．2004．青藏高原东缘斑岩铜钼金成矿带的构造模式．中国地质，31(31)：1～14．

季建清，钟大赉，张连生．2000．滇西南新生代走滑断裂运动学、年代学及对青藏高原东南部块体运动的意义．地质科学，35(3)：336～349．

金志升，黄智龙，朱成明．1997．云南三江地区富碱侵入岩与煌斑岩的同源性．矿物岩石地球化学通报．16(4)：222～224．

赖健清，彭省临，王核，邵拥军．1997．云南中部富碱斑岩区域成矿条件．有色金属矿产与勘查．6(5)：257～262．

李雷，马远．1994．滇西金矿初步研究．有色金属矿产与勘查．3(6)：328～334．

林清茶，夏斌，张玉泉．2006．云南中甸地区雪鸡坪同碰撞石英闪长玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义．地质通报，25(1-2)：133～137．

陆松年，李惠民．1991．蓟县长城系大红峪组火山岩的单颗粒锆石 U-Pb 法准确定年．中国地质科学院院报，22：136～146．

曲晓明，侯增谦，唐绍华．2003．义敦岛弧带弧后区板内岩浆作用的时代及意义．岩石矿物学杂志，22(2)：131～137．

孙华山，赵鹏大，张寿庭，夏庆霖．2004．滇西北喜山期富碱斑岩区域矿产成矿多样性表现．地质与勘探，40(3)：15～19．

孙珍，钟志洪，周蒂，丘学林 吴世敏．2003．红河断裂带的新生代变形机制及莺歌海盆地的实验证据．热带海洋学报，22 (2)：1～9．

谭富文，潘桂棠，王剑．2001．滇西泥盆纪—三叠纪盆—山转换过程与特提斯构造演化．矿物岩石，21(3)：179～185．

温汉捷，胡耀国，俞广钧．2000．滇西—滇西北斑岩型金矿床成矿地质特征及控矿条件初步研究．矿物岩石地球化学通报，19(4)：266～267．

温汉捷，裘愉卓，胡耀国，俞广钧．2003．滇西—滇西北斑岩型金矿床成矿地质特征及控矿条件研究．地质与勘探，39(3)：14～19．

武玉海，葛良胜，邢俊兵，邹依林，郭晓东，李振华．2004．滇西北与新生代富碱斑岩体(脉)有关的金矿床区域成矿模式．地质找矿论丛．19(3)：159～ 167．

杨岳清，侯增谦，黄典豪，曲晓明．2002．中甸弧碰撞造山作用和岩浆成矿系统．地球学报，23 (1) ：17～24．

曾普胜，杨伟光，喻学惠．1999．滇西富碱斑岩带及其与金矿化的关系．地球学报，20 (增刊) ：367～372．

曾普胜，莫宣学，喻学惠．2002．滇西富碱斑岩带的 Nd、Sr、Pb 同位素特征及其挤压走滑背景．岩石矿物学杂志，21(3)：231～241．

曾普胜，莫宣学，喻学惠，侯增谦，徐启东，王海平，李红，杨朝志．2003．滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿，矿床地质，22(4)：393～400．

张玉泉，谢应雯，涂光炽．1997．哀牢山—金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd，Sr 同位素特征．中国科学(D)，27(4)：289～293．

Coleman M，Hodges K．1995．Evidence for Tibetan plateau uplift before 14 Myr ago from a new minimum age for east-west extension．Nature ，374 (6517) ：49～52．

Cui Yinliang，Chen Xiansheng，Zhang Yingxu，He Langtao．2002．Ore-forming conditions and characteristics of gold deposits related to alkali-rich porphyry in the Cenozoic in western Yunnan．Geotectonica et Metallogenia．26(4)：404～408．

Evans O C，Hanson G N．1993．Accessory-mineral fraction of rare earth element abundance in granitoid rocks．Chemical Geology，110：69～93．

Feng Qinglai，Zhang Shitao，Ge Mengchun，Yan Chengmin，Yu Hua，Duan Guoxi．2002．Radiolarians from Hagong formation in Zhongdian，NW Yunnan，and its tectono-paleogeographic implications．Chinese Journal of Geology，37(1)：70～78．

Fitton J G，Upton B G J．1987．Alkaline Igneous Rocks．London：Blackell Scientific Publications．IX～XIV．

Foley S，Peccerillo A．Potassic and ultrapotassic magmas and their origin．Lithos，1992，28：181～185．

Ge Liangshen，Zhou Yilin，Xing Junbing，Li Zhenhua，Guo Xiaodong，Zhang Xuejun．2002．Geological and rock-chemical characteristics of alkali-rich intrusive rock bodies (vein) in northwestern Yunnan．Mineral Resources and Geology，16(3)：147～153．

Ge Liangsheng，Zou Yilin，Xing Junbing，Wang Zhihua，Guo Xiaodong．2004．Gold mineralization system related to alkali rich porphyries in Himalayan，the northwestern part of Yunnan．Gold Geology．10(1)：39～47．

Hanson J N．1978．The application of trace-elements to the petrogenesis of igneouse rocks of granitic composition. Earth and Planetary Science Letters,38:26～43.

Hou Zengqian, Yang Yueqing, Qu Xiaoming, Huang Dianhao, Lv Qingtian, Wang Haiping, Yu Jinjie, Tang Shaohua. 2004. Tectonic evolution and mineralization systems of the Yidun arc orogen in Sanjing Region, China. Acta Geologica Sinica, 78 (1): 109～120.

Hou Zengqian, Yang Yueqing, Wang Haiping, Qu Xiaoming, Lv Qingtian, Huang Dianhao, Wu Xuanzhi, Yu Jinjie, Tang Shaohua and Zhao Jinhua. 2003. Collision-orogenic processes and mineralization systems of the Yidun arc. Beijing : Geol. Pub. House, 1～345.

Hou Zengqian, ZhongDalai, Deng Wanming. A tectonic model for porphyry copper-molybdenum-goldmetallogenic belts on the eastern margin of the Qinghai Tibet Plateau. Geology in China, 2004,31(1):1～14.

Irvine T N and Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci. , 8, 523～548.

Jin Zhisheng, Huang Zhilong, Zhu Chengming. 1997. Consanguinity of Alkaline Intrusions and Lamprophyres of Sanjiang District, Yunnan Province. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemisty, 16(4): 222～224.

Ji Jianqing, Zhong Dalai , Zhang Liansheng. 2000. Kinematics and dating of Cenozoic strike-slip faults in the Tengchong area , West Yunnan: Implications for the block movement in the southeastern Tibet plateau. Chinese Journal of Geology, 35 (3) : 336～349.

Kelly K D, Romberger S B, Beaty D W, Pointius J A, Snee L W, Stein H J, Thompson T B. 1998. Geochemical and geochronological constraints on the geneises of Au-Te deposits at Cripple Creek, Colorado, Econ Geol 93: 981～1012.

Krogh T E. 1973. A low contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. Geochim. Cosmochim. Acta, 37:485～494.

Lai Jianqing, Peng Shenglin, Wang He, Shao Yongjun. 1997. The Regional Metallogenetic Conditions of the Alkali-rich Porphyries in central Yunnan. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals, 6(5): 257～262.

Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A, Keller J, Lameyre Le Bas M J, Sabine P A, Schmid R, Sorensen H, Streckeisen A, Wooley A R and Zanettin B. 1989. A Classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Scientific Publications, 1～253.

Li Lei, Ma Yuan. 1994. A preliminary study of gold deposits in wetern Yunnan. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals. 3(6): 328～334.

Lin Qingcha, Xia bin, Zhang Yuquan. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the syn-collisional Xuejiping quartz diorite porphyrite in Zhongdian, Yunnan, China, and its geological implications. Geological Bulletin of China, 25(1-2): 133～137.

Litvinovsky B A, Steele I M, Wickham S M. 2000. Silicic magma formation in overthickened crust: melting of charnockite and leucogranite at 15, 20 and 25 kbar. Journal of Petrology, 41 (5):717～737.

Ludwig K R. 1994. Isoplot- A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. US Geol. Survey, Open-file Report 91-445: 1～45.

Lu Songnian, Li Huimin. 1991. A precise U-Pb single zircon age determination for the volcanics of Dahongyu formation, Changcheng System in Jixian. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 22, 136～146.

McDonough W F, Sun S. 1995. The composition of the earth. Chemical Geology, 120: 223～253.

M J Le Bas, R W Le Maitre, A Streckeisen, B A Zanettin. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkaline-silica diagram, J. Petrol. 27: 745 – 750.

Molnar P and Tapponnier P. 1975. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision. Science , 189 (4201) : 419～426.

Montel J M, Vielzeuf D. 1997. Partial melting of metagreywackes. Part Ⅱ. Compositions of minerals and melts. Contribution to Mineralogy and Petrology, 128:176～196.

Morley C K. 2002. A tectonic model for the Tertiary evolution of strike-slip faults and rift basins in SE Asia. Tectonophysics , 347 (4) : 189～215.

Muller D, Rock N M S. Groves D I. 1992. Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks from different tectonic settings: A pilot study. Mineral Petrol, 46:259～289.

Muller D, Groves D I. 2000. Potassic igneouuss rocks and associated Gold-Copper Mineralization. 3rd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1～252.

Nelson D R , McCulloch M T , Sun S S. 1986. The origins of ultrapotassic rocks as inferred from Sr , Nd and Pb isotopes. Geochim Cosmochim Acta , 50 : 231～245.

Peccerillo R and Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. Contrib. Mineral. Petrol. , 58, 63～81.

Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Tan Shaohua. 2003. Age of intraplate volcanism in the back-arc area of Yidun island arc and its significance. Acta Petrologica et Mineralogica, 22(2): 131～137.

Reid A J, Wilson CJL and Shun L. 2005. Structural evidence for the Permo-Triassic tectonic evolution of the Yidun Arc, eastern Tibetan Plateau. Journal of Structural Geology, 27:119～137.

Richards J P. 2005. Cumulative factors in the generation of giant calc_alkaline porphyry Cu deposits. In: Porter T M,ed. Super porphyry copper and gold deposits. PGC Publishing. 1: 7～25.

Rogers J J W, Greenberg J K. 1990. Late-orogenic, post-orogenic and anorogenic granites: distribution by major-element and trace-element chemistry and possible origins J Geol. , 98(3): 291～309.

Roger F, Arnaud N, Gilder S, Tapponnier P, Jolivet M, Brunel M, Malavieille J, Xu Z. 2003. Geochronological and geochemical constraints on Mesozoic suturing in East Central Tibet. Tectonics 22, 1037～1057.

Sengor A M C. 1984. The Cimmeride Orogenic System and the Tectonics of Eurasia. Special Paper-Geological Society of America, 195: 1～82.

Sengor A M C. Natal'in B. 1996. Paleotectonics of Asia: fragments of a synthesis, in: Yin A, Harrison M Eds, The Tectonic Evolution of Asia. Cambridge University Press, Cambridge, 486 640.

Sun Huashan, Zhao Pengda, Zhang Shouting, Xia Qinglin. 2004. characteristics of mineralizing diversity for Himalayan stage alkali-rich porphyries in the northwestern Yunnan Province.

Geology and Prospecting, 40(3): 15～19.

Sun Zhen, Zhong Zhihong, Zhou Di, Qiu Xuelin, Wu Shimin. 2003. Deformation mechanism of Red river fault zone during Cenozoic and experimental evidences related to Yinggehai basin formation. Journal of Tropical Oceanography , 22 (2) : 1～9.

Tan Fuwen, Pan Guitang, Wang Jian. 2001. Devonian-triasic basin-range transformation and the tectonic evolution of Paleo-Tethys in Western Yunnan, China. Journal of Mineralogy and Petrology, 21(3):179～185

Turner S , Hawkesworth C, Liu Jiaqi , et al. 1993. Timing of Tibet uplift constrained by analysis of volcanic rocks. Nature , 364 (6432) : 50～54.

Wang Jianghai, Yin An, T Mark Harrison, Marty Grove, Zhang Yuquan, Xie Guanghong. 2001. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone. Earth Planetary Science Letters, 188:123～133.

Wen Hanjie, Hu Yaoguo, Yu Guangjun. 2000. Geological character and ore-control condition of porphyry type gold deposits in western-northwestern Yunnan. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemisty, 19(4): 266～267.

Wen Hanjie, Qiu Yuzhuo, Hu Yaoguo, Yu Guangjun. 2003. Geological character and ore-control condition of porphyry type gold deposits in western-northwestern Yunnan. Bulletin of Mineralogy. Geology and Prospecting, 39(3): 14～19.

Wu Yuhai, Ge Liangsheng, Xing Junbing, Zou Yinlin, Guo Xiaodong, Li Zhenhua. 2004. metallogenic Model of cenozonic alkali-rich porphyries-related Au deposits in northwest Yunnan Province, China. Contributions to geology and mineral resources research. 19(3): 159～167.

Yang Yueqing, Hou Zengqian, Huang Dianhao and Qu Xiaoming. 2002. Collision orogenic process and magmatic metallogenic system in Zhongdian island arc. Acta Geoscientia Sinica , 23 (1) : 17～24.

Yin A, Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan Tibetan orogen. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 28, 211 280.

Zeng Pusheng, Mo Xuanxue, Yu Xuehui. 2002. Nd, Sr and Pb isotopic characteristics of the alkali-rich porphy ries in western Yunnan and its compression strike-slip setting. Acta Petrologica et Mineralogica, 21 (3): 231～241.

Zeng Pusheng, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, et al. 2003. Porphyries and porphyry copper deposits in Zhongdian Area, Northwestern Yunnan. Mineral Deposits, 2003, 22(4): 393～400.

Zeng Pusheng, Yang Weiguang, Yu Xuehui. 1999. Alkalic porphyry belt in western Yunnan and its relation to gold mineralization. Acta Geoscientia Sinica, 20 (sup.): 367～372.

Zhang Yuquan, Xie Yingwen, Tu Guangchi. 1997. Nd, Sr isotopic character and chronology of Ailaoshan-Jinshajiang alkali-rich intrusive rocks. Science in China(D), 27: 289～293.

Geochemical Characteristics of Bengge Syenites in the Zhongdian Area, Yunnan Province and Its Geological Significance

CAO Dianhua[1)], WANG Anjian[1)], XIU Qunye[2)], YANG Yueqing[1)], LI Ruiping[1)]

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037

2) *Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing*, 100029

Abstract

Bengge syenites has been always regarded as the product of alkaline magma activity controlled by the strike-slip structures caused by collision between Yindia and Euroasia. The Bengge syenites belongs to shoshonite series, and the rocks are very enriched in K_2O (5.88%～9.08%), rare earth elements (REE; particularly light REE) and large ion lithophile elements, but are relatively low in high field strength elements, with the element character like arc magmas. The geochemical data suggest that the primitive magma of the syenites partially melted under high pressure, and most likely formed via fractional crystallization. Zircon U Pb dating of isotope dilution method indicates that the Bengge intrusions have Late Triassic(201.4Ma) crystallization ages, respectively. Our data suggest that the syenites formed under extensional geological setting behind continent arc. Combined with previous regional structural, and sedimentary data, we suggest that emplacement of the Bengge extrusion took place at the transitional period from extrusion to extension.

Key words: syenite; Bengge; Zhongdian area; geochemistry; zircon U - Pb dating