

云南鸡街碱性超基性岩杂岩体中橄榄石的矿物化学

吴静¹, 黄智龙², 颜以彬¹

1. 昆明理工大学 国土资源学院, 昆明 650093; 2. 中国科学院 地球化学研究所, 贵阳 550002

摘 要:分析了云南鸡街碱性超基性岩杂岩体主体岩石及包体中橄榄石矿物的化学成分。结果显示, 不同类型岩石中橄榄石的矿物化学成分之间具有较好的线性关系; 橄榄辉石岩包体中橄榄石的 Fo 值最高, 其亚种属靠近镁橄榄石端元的贵橄榄石; 从霞霓钠辉岩→霓霞岩→磷霞岩, 橄榄石的 Fo 值逐渐降低, 其亚种从靠近镁橄榄石端元的贵橄榄石→靠近透铁橄榄石端元的贵橄榄石→低铁镁铁橄榄石。这些特征表明, 本区三类主体岩石为岩浆结晶分异作用的产物; 橄榄辉石岩包体为 II 类包体, 可能为杂岩体原始岩浆早期结晶分异作用所形成的堆积岩碎块。

关键词:橄榄石; 矿物化学; 结晶分异作用; 碱性超基性岩杂岩体; 云南鸡街

中图分类号: P618.410.671

文献标识码: A

文章编号: 1007-2802(2004)01-0040-05

分布于滇中罗茨地区的碱性超基性岩带为与攀西裂谷作用有关的标志性岩浆活动产物^[1,2], 鸡街岩体是该碱性超基性岩杂岩体带的典型代表, 虽然该杂岩体出露面积仅 0.29 km², 但其岩石类型繁多、岩体结构复杂, 在国内外很具典型性。黄智龙等^[3,4]的研究结果表明, 鸡街碱性超基性杂岩体为亏损地幔部分熔融的产物、结晶分异作用在岩浆演化过程具有重要作用。本文在详细研究了鸡街杂岩体主体岩石及包体中橄榄石的产状、光性和扫描电镜(SEM)特征基础上, 系统分析了该矿物的化学成分, 进而探讨了杂岩体的岩浆演化过程。

1 岩体地质及橄榄石产状

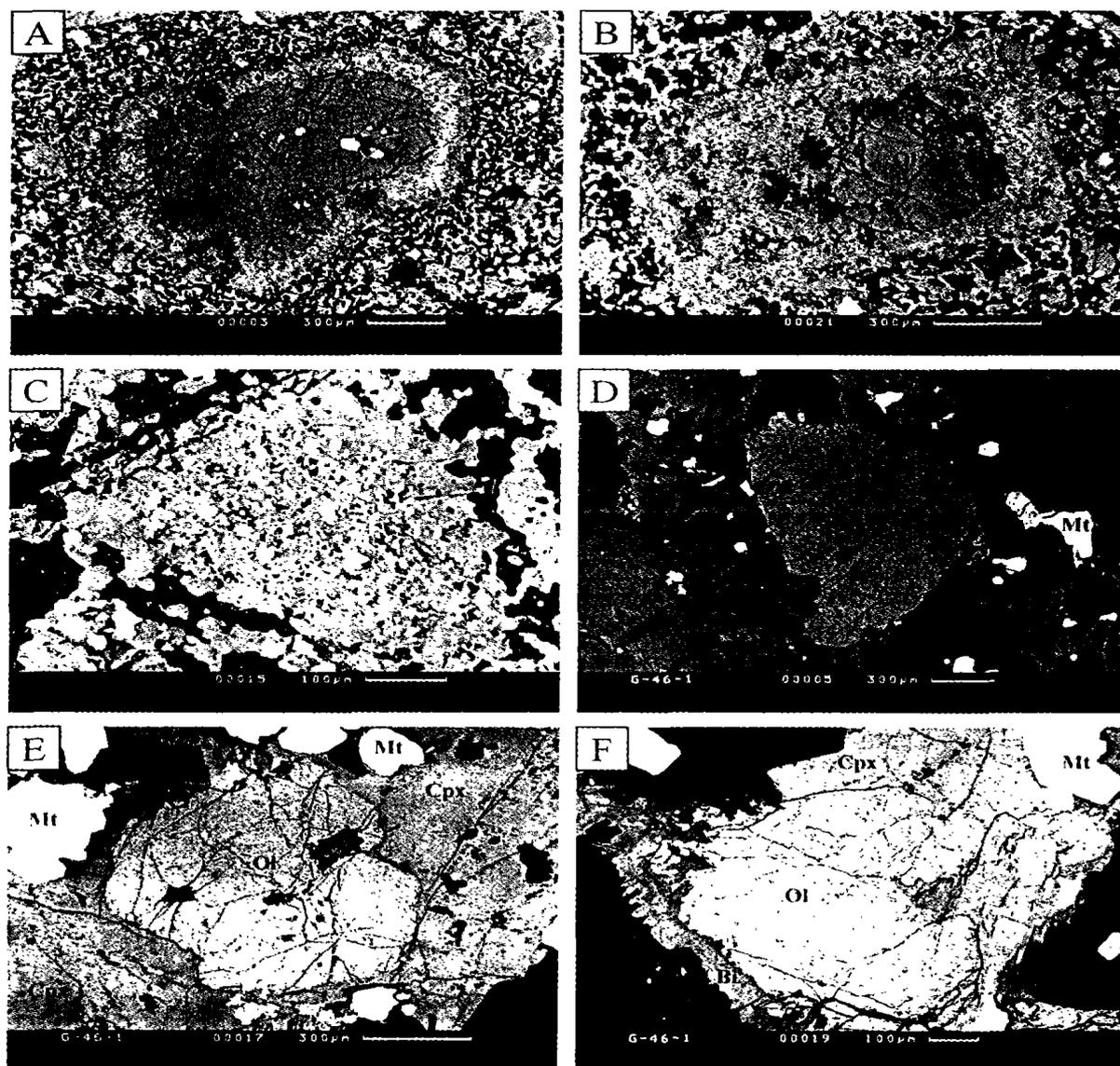
鸡街碱性超基性杂岩体位于攀西裂谷南段。岩体平面上近椭圆形, 长轴为北北东向延伸约 800 m, 中部宽约 400 m, 出露面积约 0.29 km², 侵位于元古代昆阳群地层, 其 K-Ar 年龄值为 239.8 Ma^[5]。岩体的岩石类型繁多, 不同类型的岩石围绕中心呈不规则同心环带展布, 其核心为霞霓钠辉岩, 外环为霓霞岩和磷霞岩, 这三类岩石构成岩体的主体; 岩体中发育多种脉岩, 包括钠霞正长岩、霓辉钠长斑岩和碳酸岩等; 在霞霓钠辉岩中还发现有少量橄榄辉石岩包体。

橄榄石出现在杂岩体的主体岩石及包体中。包体中的橄榄石常为粒状, 常被辉石包裹形成包橄结构, 粒径 0.1 mm~0.3 mm, 含量 16.4% (平均体积百分比, 下同)。从霞霓钠辉岩→霓霞岩→磷霞岩, 橄榄石的含量从 2.8%→0.9%→0.4% 逐渐减少。霞霓钠辉岩中的橄榄石有两个世代, 即斑晶和基质, 斑晶橄榄石多为六边形(图 1A), 少量为四边形(图 1B), 粒径 0.5 mm~2 mm, 边缘常具磁铁矿、蛇纹石和黑云母等矿物组成的反应边(图 1A、B), 少数颗粒已全部被这些矿物替代(图 1C); 基质橄榄石形态不规则, 粒径小于 0.1 mm, 反应边不发育; 霓霞岩中橄榄石的粒径多为 0.05 mm~0.2 mm, 形态不规则, 不具反应边(图 1D、E、F); 磷霞岩中橄榄石的形态也不规则, 常常被磁铁矿包围, 其粒径通常为 0.1 mm 左右。

2 橄榄石矿物化学

表 1 为鸡街杂岩体中橄榄辉石岩包体和三类主体岩石(霞霓钠辉岩、霓霞岩和磷霞岩)中橄榄石的矿物化学成分及以 O=4 为基础计算的阳离子系数, 可见以下主要特征:

(1) 橄榄辉石岩包体中橄榄石的 MgO 含量为 47.16%~47.57%, FeO 含量为 10.70%~10.86%, Fo



SEM工作在英国 Leeds 大学地球科学学院完成,仪器型号为 LEO 1530。A. 霓霞钠辉岩中具反应边的六边形橄榄石斑晶,B. 霓霞钠辉岩中具反应边的四边形橄榄石斑晶,C. 霓霞钠辉岩中已被其他矿物替代的橄榄石斑晶,D. 霓霞岩中形态不规则的橄榄石,E. 霓霞岩中被辉石包裹形态不规则的橄榄石,F. 霓霞岩中被辉石和云母包裹形态不规则的橄榄石

图1 霓霞钠辉岩和霓霞岩中的橄榄石

Fig. 1 The olivines in ijolite and urtite

值为 88.63%~88.72%,均属贵橄榄石;2 件霓霞钠辉岩样品均显示,橄榄石斑晶的 MgO 含量相对高于基质橄榄石,而 FeO 含量低于基质橄榄石,前者的 Fo 值为 85.66%~86.02%,后者为 80.70%~81.54%,均属贵橄榄石;霓霞岩中橄榄石的 Fo 值为 72.18%~74.72%,也属贵橄榄石;与霓霞钠辉岩和霓霞岩中的橄榄石相比,磷霞岩中橄榄石的 MgO 含量最低,FeO 含量最高,其 Fo 值为 22.25%~26.44%,属低铁镁铁橄榄石。

(2) 橄榄辉石岩包体和三类岩石中的橄榄石除主要成分 SiO₂、MgO 和 FeO 外,均含有少量 MnO、CaO 及微量 TiO₂、Al₂O₃, 尤其是磷霞岩中的橄榄石

MnO+CaO 达 3.33%~3.38%;从图 2 上可见,橄榄辉石岩包体和三类岩石中橄榄石的 MgO 与 FeO 和 MnO 之间呈明显负相关关系。

3 结论与讨论

3.1 岩浆演化

鸡街碱性超基性岩杂岩体三类主体岩石——霓霞钠辉岩、霓霞岩、磷霞岩的矿物组合和地球化学均有较明显的差别^[3], 本文的研究结果表明,三者为结晶分异作用的产物,其结晶顺序为霓霞钠辉岩→霓霞岩→磷霞岩。主要证据:

(1) 霓霞钠辉岩→霓霞岩→磷霞岩,橄榄石的含

表 1 鸡街杂岩体橄榄石电子探针分析结果(%)

Table 1 Electron microprobe analyses of olivine in Jijie alkaline-ultrabasic complex body(%)

岩石名称	橄榄辉石岩		霓霞钠辉岩				霓霞钠辉岩				
样号	G-49-1		G-43-1				G-5-1				
点数	1*	2*	1(斑晶)*	2(斑晶)*	3(基质)	4(基质)	1(斑晶)	2(斑晶)	3(基质)	4(基质)	5(基质)
SiO ₂	39.12	40.27	39.69	39.11	39.30	39.59	39.81	39.78	39.98	39.50	39.23
TiO ₂	0.00	0.00	0.04	0.02	0.04	0.01	0.03	0.04	0.05	0.04	0.08
Al ₂ O ₃	0.04	0.05	0.17	0.18	0.03	0.03	0.06	0.05	0.00	0.06	0.02
FeO	10.86	10.70	13.26	13.50	17.11	17.68	13.44	13.61	17.05	17.77	17.62
MnO	0.60	0.31	0.19	0.18	0.98	1.10	0.17	0.21	1.03	1.08	0.99
MgO	47.57	47.16	45.75	45.52	42.41	41.48	45.67	45.55	41.43	41.67	41.87
CaO	0.74	0.84	0.36	0.69	0.14	0.37	0.42	0.39	0.32	0.10	0.10
总量	98.93	99.33	99.46	99.20	100.01	100.26	99.60	99.63	99.86	100.22	99.91
Si	0.980	1.000	0.995	0.986	1.000	1.007	0.997	0.997	1.017	1.005	1.001
Ti	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
Al	0.001	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.002	0.001
Fe ²⁺	0.228	0.222	0.278	0.285	0.364	0.376	0.281	0.285	0.363	0.378	0.376
Mn	0.013	0.006	0.004	0.004	0.021	0.024	0.004	0.004	0.022	0.023	0.021
Mg	1.777	1.746	1.710	1.711	1.608	1.573	1.705	1.702	1.571	1.581	1.593
Ca	0.020	0.022	0.010	0.019	0.004	0.010	0.011	0.010	0.009	0.003	0.003
Total	3.019	2.997	3.003	3.010	2.999	2.991	3.001	3.000	2.983	2.993	2.997
Fo	88.63	88.72	86.02	85.72	81.54	80.71	85.85	85.66	81.23	80.70	80.90
Fa	11.37	11.28	13.98	14.28	18.46	19.29	14.15	14.34	18.77	19.30	19.10

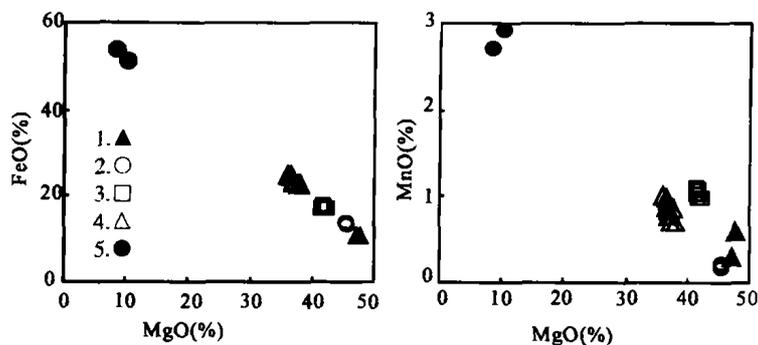
岩石名称	霓霞岩									磷霞岩	
样号	G-46-1									G-29-4	
点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1*	2*
SiO ₂	38.52	38.32	38.18	38.32	38.34	38.49	38.68	38.35	39.03	33.81	32.72
TiO ₂	0.04	0.02	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.10	0.02
Al ₂ O ₃	0.00	0.01	0.01	0.01	0.07	0.07	0.01	0.04	0.01	0.05	0.03
FeO	23.29	24.74	24.80	23.15	24.36	23.57	22.84	23.22	22.87	51.15	53.64
MnO	0.94	0.98	1.01	0.77	0.88	0.83	0.85	0.71	0.70	2.91	2.70
MgO	36.94	36.54	36.09	36.83	36.50	36.73	37.82	37.06	37.91	10.31	8.61
CaO	0.27	0.30	0.39	0.28	0.29	0.30	0.36	0.42	0.40	0.47	0.63
总量	100.00	100.91	100.48	99.39	100.44	100.00	100.56	99.80	100.95	98.80	98.35
Si	1.009	1.002	1.003	1.009	1.005	1.009	1.005	1.006	1.009	1.048	1.037
Ti	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001
Fe ²⁺	0.510	0.541	0.545	0.510	0.534	0.517	0.496	0.509	0.494	1.327	1.422
Mn	0.021	0.022	0.023	0.017	0.020	0.018	0.019	0.016	0.015	0.077	0.073
Mg	1.442	1.424	1.414	1.446	1.426	1.435	1.465	1.449	1.460	0.477	0.407
Ca	0.008	0.008	0.011	0.008	0.008	0.008	0.010	0.012	0.011	0.016	0.021
Total	2.991	2.997	2.996	2.991	2.995	2.989	2.995	2.993	2.990	2.949	2.961
Fo	73.87	72.47	72.18	73.93	72.76	73.51	74.71	74.00	74.72	26.44	22.25
Fa	26.13	27.53	27.82	26.07	27.24	26.49	25.29	26.00	25.28	73.56	77.75

分析者:有*者为中国地质科学院矿床地质研究所,其余为英国 Leeds 大学地球科学院电子探针实验室

量逐渐减少(2.8%→0.9%→0.4%),产状由两个世代(斑晶和基质)到一个世代,晶体形态由具有六边形和四边形截面的自形晶到不规则粒状,粒径由大到小(霓霞钠辉岩中的基质橄榄石例外)。

(2)Miyashiro^[6]指出,岩浆结晶分异作用形成

的一套岩石中橄榄石的 MgO/FeO 比值由大变小。本区从霓霞钠辉岩→霓霞岩→磷霞岩,橄榄石矿物化学成分从富 MgO、贫 FeO 到贫 MgO、富 FeO,其 MgO/FeO 值从 2.34~3.45→1.46~1.66→0.16~0.20,Fo 值从 80.71%~86.02%→72.18%~74.72%→



1. 橄榄辉石岩中的橄榄石; 2. 霞霓钠辉岩中的斑晶橄榄石; 3. 霞霓钠辉岩中的基质橄榄石; 4. 霓霞岩中的橄榄石; 5. 磷霞岩中的橄榄石

图2 橄榄石中氧化物含量相关图

Fig. 2 The correlation diagram of oxide content in olivines

22.25%~26.44%, 其亚种由靠近镁橄榄石端员的贵橄榄石→靠近透铁橄榄石端员的贵橄榄石→低铁镁铁橄榄石; 在霞霓钠辉岩中从斑晶橄榄石→基质橄榄石, 矿物化学成分也具有从富 MgO、贫 FeO 到贫 MgO、富 FeO 的变化特征, 其 MgO/FeO 比值从 3.37~3.45→2.34~2.48。

(3) Simkin^[7] 和 Sato^[8] 的研究结果表明, 岩浆结晶分异作用形成的一套岩石中橄榄石的矿物化学成分之间具有线性相关关系。从图 2 上可见, 本区三类主体岩石中橄榄石的矿物化学成分除 MgO 与 CaO 之间的线性关系不明显外, MgO 与 FeO 和 MnO 之间具有较好的线性关系。

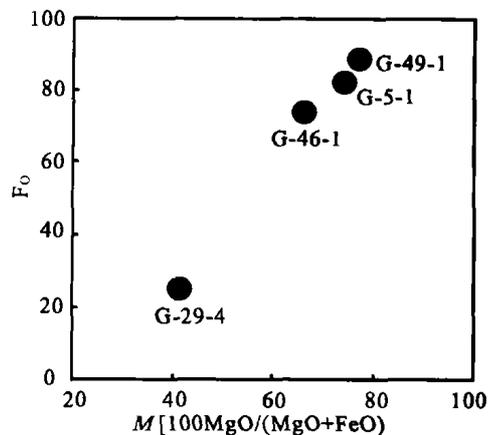
(4) Roeder^[9] 的实验证实, 随着岩浆结晶分异作用的进行, 橄榄石和熔体中的 Fe/Mg 比值都逐渐增大, 换句话说, 如果某岩体中橄榄石的 Fo 值与其寄主岩石的 M 值 [$M = 100 \times \text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$] 呈正相关关系, 该岩体便可能是岩浆结晶分异作用的产物。从图 3 可见, 鸡街杂岩体三类主体岩石的 Fo 值与其寄主岩石的 M 值呈正相关关系, 同样证实杂岩体三类主体岩石为岩浆结晶分异作用的产物。

(5) 按 Roeder^[9] 提出的橄榄石地质温度计, 计算出从霞霓钠辉岩→霓霞岩→磷霞岩, 橄榄石的结晶温度逐渐减少(霞霓钠辉岩中的斑晶橄榄石为 1454℃, 霞霓钠辉岩中的基质橄榄石为 1434℃, 霓霞岩中的橄榄石为 1431℃, 磷霞岩中的橄榄石为 1328℃), 也与“本区三类主体岩石为岩浆结晶分异作用的产物”相吻合。

(6) 黄智龙等^[3,4] 的研究结果也表明, 结晶分异作用在鸡街杂岩体岩浆演化过程具有重要作用。

3.2 包体的成因信息

基性-超基性岩中含有不同矿物组合的包体是一种普遍地质现象, Frey 和 Prinz^[10] 将其分为两大类: I 型和 II 型。前者的组成以富镁为特征, 具变质结构; II 型包体的组成以富铁为特征, 多具火成结构。两类包体的矿物化学、地球化学及成因具明显的差别。I 型包体橄榄石含量一般大于 40%, Fo 值大于 90%, 属镁橄榄石; 而 II 型包体橄榄石含量一般小于 30%, Fo 值小于 90%, 属贵橄榄石。鸡街杂岩体中橄榄辉石岩包体具典型的岩浆结构, 橄榄石含量为 16.4%, Fo 值为 88.63%~88.72%, 属贵橄榄石, 可见与 II 型包体中橄榄石的特征相近。黄智龙^[11] 的研究结果也支持“该区橄榄辉石岩包体为 II 型包体”的结论。



图中标记为样品号, 同表 1; 岩石化学成分由本文分析

图3 橄榄石 Fo 值与寄主岩石 M 值相关图

Fig. 3 The correlation diagram of the Fo value of olivines and the value of the host rocks

至于 II 型包体的成因, 目前还有较多争论^[12]。由于资料有限, 无法深入讨论其成因, 但从具典型岩浆结构、与三类主体岩石间具较好的演化关系, 以及橄榄石结晶温度(1617℃)相对高于主体岩石等特征来看, 可能为杂岩体原始岩浆早期结晶分异作用所形成的堆积岩碎块。该结论有待进一步工作证实。

致谢: 中国地质科学院矿床地质所周剑雄高工和英国 Leeds 大学 Eric Condliffe 博士完成了本文的电子探针分析工作, 在此表示感谢。

参考文献 (Reference):

[1] 张云湘, 骆耀南, 杨崇喜. 攀西裂谷[M]. 北京: 地质出版社, 1988.

- Zhang Yunxiang, Luo Yaonan, Yang Chongxi, Panzhuhua-Xichang rift in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988. (in Chinese with English abstract)
- [2] 金志升, 黄智龙, 朱成明. 云南三江地区富碱侵入岩与煌斑岩的同源性[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16(4): 222—224.
- Jin Zhisheng, Huang Zhilong, Zhu Chengming. Consanguinity of alkaline intrusions and lamprophyres of Sanjiang district, Yunnan province[J]. Bull. Mineral. Petrol. Geochem., 1997, 16(4): 222—224. (in Chinese with English abstract)
- [3] Huang Z L, Yan Y B, Wu J. Geochemistry of alkaline-ultrabasic rocks in the Jijie complex, Lufeng, Yunnan[J]. Chinese J. of Geochem., 1996, 15(1): 61—71.
- [4] 黄智龙, 颜以彬, 吴静. 鸡街岩体中碱性-超基性岩结晶分异过程模拟[J]. 昆明工学院学报, 1995, 20(1): 8—14.
- Huang Zhilong, Yan Yibing, Wu Jing. Model of the processes of crystallization differentiation for jijie alkaline-ultrabasic complex body, Yunman Province[J]. J. Kunming Institute of Technology, 1995, 20(1): 8—14. (in Chinese with English abstract)
- [5] 颜以彬. 滇中古裂谷带岩浆系列[J]. 云南地质, 1985, (4): 353—372.
- Yan Yibing. The magmatic series of the Panzhuhua-xichang Rift in China[J]. Yunnan Geology, 1985, (4): 353—372. (in Chinese with English abstract)
- [6] Miyashiro A. Nature of alkalic volcanic rock series[J]. Contrib. Mineral Petrol., 1978, 66: 91—104.
- [7] Simkin T. Minor element distribution in olivine[J]. J. Geol., 1970, 78: 304—325.
- [8] Sato H. Nickel element of basaltic magmas; identification of primary magma and a measure of the degree of olivine fractionation[J]. Lithos., 1977, 10: 113—120.
- [9] Roeder P L. Olivine—liquid equilibrium[J]. Contrib. Mineral Petrol., 1970, 29: 275—290.
- [10] Frey F A, Prinz M. Itramafic inclusions from San Carlos, Arizona; Petrologic and geochemical data bearing on their petrogenesis[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1978, 38: 129—176.
- [11] 黄智龙. 云南禄丰鸡街碱性-超基性岩杂岩体岩石学和成因研究[D]. 昆明: 昆明工学院, 1989.
- Huang Zhilong. Study on petrology and genesis of Jijie alkaline-ultrabasic rock complex body in Lufeng, Yunnan Province [D]. Kunming; Kunming Institute of Technology, 1989. (in Chinese with English abstract)
- [12] 鄂莫岚, 赵大升. 中国东部新生代玄武岩及深源包体[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- E Molan, Zhao Dasheng. The Cenozoic basalt and xenolith in Eastern China[M]. Beijing: Science Press, 1987. (in Chinese)

The Mineral Chemistry of Olivine in the Jijie Alkaline-Ultrabasic Complex Body, Yunnan Province, China

WU Jing¹, HUANG Zhi-long², YAN Yi-bin¹

1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;
2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

Abstract: The Jijie alkaline-ultrabasic complex body is located in the south part of Panxi rift zone as the representative rock body of Luoci alkaline-ultrabasic complex belt. It has various rock types and complicated structures. The chemical composition of olivine of the main body rocks of complex and xenoliths are analysed in this paper. It shows that there is better linear relation among the olivine mineral chemistry of different types of rock. The Fo value of olivine in the olivine-pyroxenite xenoliths is the highest and its subspecies is chrysolite near to the end point of forsterite. From melteigite to ijolite to urtite, the Fo value of olivine is gradually decreased and its subspecies is from chrysolite near to the end point of forsterite to chrysolite near to the end point of hyalosiderite to ferrohortonolite. All these characteristics show that three kinds of main body rock in this area are the product of crystallization differentiation. Olivine-pyroxenites xenoliths belongs to II type of xenolith and the cumulate chunk maybe result from early crystallization differentiation of primary magma of the complex.

Key words: olivine; mineral chemistry; crystallization differentiation; the Jijie alkaline-ultrabasic rock complex body