

寻找原生金刚石的地质标志——石英碳酸岩

郑建平

(中国地质大学)

提 要 本文通过对辽东半岛南部金伯利岩区石英碳酸岩的成因分析,探讨石英碳酸岩与金伯利岩的成因关系,以提供寻找原生金刚石的直观地质标志。

关键词 石英碳酸岩 金伯利岩 熔体结构理论(聚合作用模式) 地质标志

一、一般地质概况

我国最大的含原生金刚石的金伯利岩区位于辽东半岛南部的复县地区,大地构造位置属稳定的中朝地块辽东台隆复县——新金拗陷区内的基底隆起^①。金伯利岩集中区分布于复县以西长约 28Km、宽约 18Km 的范围内,由 18 个岩管和 58 条岩脉群组成。

脉状金伯利岩侵入于上前寒武系南芬组泥灰岩中,成走向 65°—70°的带状分布。控制金伯利岩矿田的断裂构造有近东西向、北东向及北西向三组。

石英碳酸岩出现于脉状金伯利岩沿走向和倾向自行尖灭部位,由金伯利岩过渡为石英碳酸岩(图 1),明显反映出金伯利岩与石英碳酸岩的联系。金伯利岩脉两侧常存在与之平行的石英碳酸岩脉(图 2),反映它们受同期构造控制。此外,常有切过金伯利岩脉的石英碳酸岩细脉(照片 1),这种细脉的宽度一般为 2—10cm,呈上宽下窄的楔形,其长度取决于金伯利岩脉的宽度及这两种脉体的交切角度。石英碳酸岩细脉不穿入围岩中,随金伯利岩脉体边界而尖灭,说明石英碳酸岩与金伯利岩的成岩可能属同一期产物,石英碳酸岩仅略晚于金伯利岩,并充填于当时处于半固结状态的金伯利岩原生裂隙中。

二、金伯利岩和石英碳酸岩的一般特征

脉状金伯利岩的主要岩石类型有斑状金伯利岩,细粒斑状金伯利岩及细粒金伯利岩。组成金伯利岩的主要原生矿物有假像橄榄石、金云母、镁铝榴石、铬铁矿、镁钛铁矿、金刚石等;晚期形成的基质矿物有钙钛矿、锐钛矿、磷灰石、金云母、磁铁矿、蛇纹石及碳酸盐矿物。金伯

^①郑建平:辽宁复县金伯利岩 50 号岩管岩石学研究及含矿性探讨,1988,硕士论文

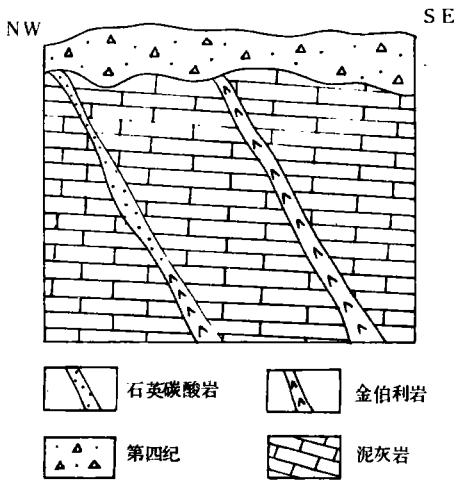


图 1. 金伯利岩与石英碳酸岩的过渡关系

Fig. 1. The transitional relationship between quartz-carbonatite and kimberlite.

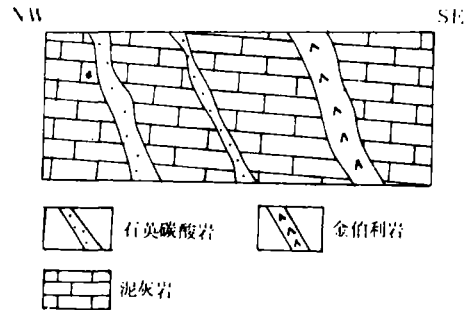


图 2 金伯利岩与石英碳酸岩的平行关系

Fig. 2. The parallel relationship between quartz-carbonatite and kimberlite.

利岩具有独特的卵斑结构,以及典型的岩球构造。同时由于金伯利岩岩浆富含 CO_2 和 H_2O 等挥发组分,致使金伯利岩发生强烈的自交代作用,按蚀变形成的先后顺序可以依次分为金云母化和磷灰石化、蛇纹石化及碳酸盐化。其中以碳酸盐化作用最为普遍,并多呈粒状集合体,由方解石交代橄榄石呈假像产出。金伯利岩对围岩的影响极不明显。单变法钠光下测得碳酸盐化方解石: $N_o = 1.661, N_e = 1.495$ 。

石英碳酸岩粗大晶体的镶嵌,主要由碳酸盐矿物和石英组成,还有少量的磷灰石、重晶石等矿物密切共生。单变法钠光下测得横切金伯利岩脉和金伯利岩脉尖灭部位的石英碳酸岩中的碳酸盐矿物折射率为: $N_o = 1.668, N_e = 1.493$ (横切金伯利



照片 1、金伯利岩与石英碳酸岩的交切关系

kb₁—金伯利岩,gc—石英碳酸岩

Photo. 1. The intersect relationship between quartz-carbonatite and kimberlite.

岩的碳酸盐矿物); $N_o = 1.668$; $N_e = 1.494$ (金伯利岩脉尖灭处的碳酸盐矿物)。

从折射率数值上看,不同产状石英碳酸岩中的碳酸盐矿物折射率基本相同,但它们与碳酸盐化的碳酸矿物存在一定程度的差别。尽管这些碳酸盐矿物的折射率值均在方解石和白云石之间,但与标准的方解石和白云石折射率值对比表明石英碳酸岩脉的碳酸盐矿物比碳酸盐化的碳酸盐矿物具有较多的 Mg 组分;这种分析得到了电子探针分析结果(表 1)的证实。即石英碳酸岩脉碳酸盐矿物的 $100 \times \text{Mg}/\text{Ca}$ 比值(9.03—10.40)略高于金伯利岩中蚀变碳酸盐矿物的 $100 \times \text{Mg}/\text{Ca}$ 比值(5.76—5.96)。

值得指出的是石英碳酸岩中的气液包体不太发育,碳酸盐矿物中所见包体的气液比值一般为 70%±,包体一般不大于 $2.5 \times 10^{-4} \text{m}$,测得均一温度为 $480^\circ\text{—}510^\circ\text{C}$;在石英颗粒中未发现原生包体(仅见次生包体沿微裂隙分布),由岩相学观察可知石英与碳酸盐矿物是共生关系,因而可将上述测温结果当作这些矿物形成时的最低温度。这些数值明显高于高温热液温度值(400°C),^[2]可以证明它们是岩浆期产物。

石英碳酸岩和金伯利岩中碳酸矿物的电子探针分析(原子百分比)※

表 1

Table 1. The electron probing analysis of carbonate mineral in quartz-carbonatite and kimberlite (At. %)

项 目 样 号	Mg	Ca	Mn	Fe	$100 \times \text{Mg}/\text{Ca}$
A—1	8.19	90.68	0.30	0.83	9.03
A—2	9.26	89.07	0.79	0.88	10.40
B—1	5.44	94.42	0.10	0.05	5.76
B—2	5.59	93.89	0.34	0.19	5.95

A—石英碳酸岩中的碳酸盐矿物

B—金伯利岩中的蚀变碳酸盐矿物

※由中国地质大学(武汉)严春杰帮助测定

三、岩石化学特征

金伯利岩是一族富含挥发份(主要是 H_2O 和 CO_2) 的钾质超基性岩,它与橄榄岩相比(表 2),具有较低的 SiO_2 ,较高的 Cr_2O_3 和挥发组份(CO_2 、 P_2O_5 和 H_2O),以及较高的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值;它与碳酸岩相比又具有较高含量的 SiO_2 、 H_2O 和较低含量的 CO_2 和 CaO 。而石英碳酸岩的 CaO 含量高, MgO 含量略低, $\text{CaO}/\text{MgO} = 30.3$,结合矿物体积百分比目估资料(碳酸盐矿物方解石为 65—75%,石英为 20—35%),属石英方解石碳酸岩(据 IUGS, 1979, 含混合碳酸盐矿物碳酸岩的分类^[3]),与世界碳酸岩平均值相比,石英碳酸岩的 SiO_2 、 K_2O 、 FeO 含量高, CaO 、 MgO 、 Na_2O 相近, Fe_2O_3 偏低, TiO_2 、 MnO 和挥发份的含量高于世界碳酸岩平均值,这可能

与石英碳酸岩形成时处于岩浆后期阶段有关。

金伯利岩和石英碳酸岩岩石化学成分(Wt%) 表 2

Table 2. Chemical composition of quartz-carbonatite and kimberlite (Wt/%)

组 分 岩 石	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	NiO	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O	Cr ₂ O ₃
金伯利岩(n = 4)	31.71	5.71	7.22	2.29	28.50	6.05	0.12	0.88	1.47	0.20	0.01	1.16	3.95	9.95	0.12
石英碳酸岩(n = 2)	2.19	0.39	1.05	1.29	1.62	49.08	0.06	0.25	0.07	1.40	—	0.05	40.20	0.31	—
碳酸岩(世界平均值)	1.30	0.76	3.43	0.90	1.60	47.91	0.09	—	—	0.47	—	2.97	37.99	0.32	—
橄 榄 岩	39.08	1.02	5.01	2.10	35.47	1.10	0.06	0.00	0.19	0.24	0.15	0.06	1.70	4.02	0.01

四、地球化学特征

1、微量元素地球化学信息

金伯利岩和石英碳酸岩的主要微量元素丰度值见表 3。

石英碳酸岩与金伯利岩的主要微量元素丰度具有相似的规律性,既富含相容元素(Cr、Ni、V),又富含不相容元素(Ti、Nb)。然而与金伯利岩相比,石英碳酸岩的主要微量元素丰度值成数倍数十倍地减少,反映出石英碳酸岩与金伯利岩的继承关系。

金伯利岩和石英碳酸岩的主要微量元素丰度(ppm) 表 3

Table 3. Content of the major trace elements in quartz-carbonatite and kimberlite (ppm)

元 素 岩 石	Ni	Cr	V	Ti	Nb
金伯利岩	682	1900	184	6970	489
石英碳酸岩	36	100	38	1455	55

(分析方法:等离子光谱)

金伯利岩的 Ti/V 比值为 37.88, 低于石英碳酸岩的该比值(38.27), 这与 Ti/V 比值随分异程度增高而增大的趋势相一致⁽⁴⁾; 同时就微量元素丰度对比来看, 金伯利岩 Ni 高于 V, 石英碳酸岩 V 高于 Ni, 这与结晶分离过程中, 从早到晚所具有的 Ni > V > Co → V > Ni > Co → V > Co > Ni 的一般变化序列相吻合⁽⁵⁾, 同样反映出金伯利岩与石英碳酸岩成因的先后关系。

2、稀土元素丰度及其配分

金伯利岩和石英碳酸岩稀土元素丰度值见表 4。

金伯利岩的 ΣREE = 551.73ppm, LREE/HREE = 19.03, 以 Herrman (1971) 22 个球粒陨

金伯利岩和石英碳酸岩稀土丰度值(ppm)

表 4

Table 4. REE abundance of quartz-carbonatite and kimberlite (ppm)

元素 岩石	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
金伯利岩 (n = 14)	133.63	257.27	26.03	91.85	12.58	7.56	7.95	0.66	3.61	0.51	1.62	0.15	0.86	0.20	11.98
石英碳酸岩 (n = 2)	312.45	604.71	86.44	335.53	71.35	19.09	64.85	11.81	54.39	11.94	35.27	6.56	38.50	6.00	3.52

(分析方法:等离子光谱)

石的稀土元素平均含量进行的标准化图解(图 3),具有强烈的富集型模式。

石英碳酸岩的 $\Sigma\text{REE} = 2010.7\text{ppm}$ 。与世界标准碳酸岩曲线对比表明:石英碳酸岩具有标准碳酸岩一般规律,为轻稀土富集型,而且轻稀土元素含量与世界标准含量一致,仅重稀土元素含量略高于世界标准值。

石英碳酸岩与金伯利岩相比,两者具有相似的轻稀土元素分配模式,特别是两者具有近于一致的 La/Ce 比值。 La 和 Ce 均属高度不相容元素,在部分熔融过程中,它们率先进入熔体,而在分离结晶时,却在残余熔体中按固定比例富集。因此该比值反映着源区岩石的稀土比值特征,从而也说明了金伯利岩与石英碳酸岩具有相似的来源。从重稀土元素含量方面来看,石英碳酸岩明显比金伯利岩富集,这可能与后期地壳物质的混杂有利于 HREE 增高的结论相一致^[6];然而笔者也注意到石英碳酸岩中具有较高含量的 CaO 组分,由于碳酸岩中的碳酸盐矿物离子半径较大的 Ca^{++} (离子半径为 $0.99 \text{ \AA}$) 与 HREE 的离子半径 ($0.97 \sim 0.85 \text{ \AA}$) 较为接近,使得 HREE 进入方解石中的能力明显大于白云石,因而也可能说明石英碳酸岩富集 HREE 与 CaO 含量的多寡有关;同时,按照 Cambell 和 Gorton (1980) 的观点,大多数原始岩浆在晚期重新平衡反应中,可以使 HREE 模式变平缓^[8]。因此说明在岩浆作用晚期发生 HREE 的富集也是完全可能的,并且暗示着金伯利岩形成在前,石英碳酸岩形成在后。

3、稳定同位素地球化学的启示

金伯利岩和石英碳酸岩的稳定同位素数据见表 5。

金伯利岩和石英碳酸岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 与金刚石的 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素值相近 ($-4 \sim 10\%$, J. Hoefs, 1980)。

Самойпов (1982) 收集了全世界各个地区的岩浆型碳酸岩氧、碳的同位素数据 500 个,指出 $\delta^{18}\text{O}$ 一般在 $+6 \sim +20\%$, $\delta^{13}\text{C}$ 一般在 $-1 \sim -18\%$ ^[9]。本区石英碳酸岩、金伯利岩及金刚石的氧、碳同位素均落在上述范围之内;它们在 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 的投图中也均落在原始火成碳酸岩范围之内,说明金伯利岩和石英碳酸岩的碳均来源于上地幔。

克雷格等 (1976) 获得“初生水”的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $+4.5 \sim +7.0\%$, δD 值为 $-100 \sim -60\%$ 。本区金伯利岩中的 δD 与“初生水”相当,而 $\delta^{18}\text{O}$ 则偏高。石英碳酸岩与金伯利岩相比,具有略低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,这与残余岩浆具有较低的 $\delta^{18}\text{O}$ (G. 福尔, 1983) 相一致,也许正说明了金伯利岩为早期产物,而石英碳酸岩为晚期产物的结论。

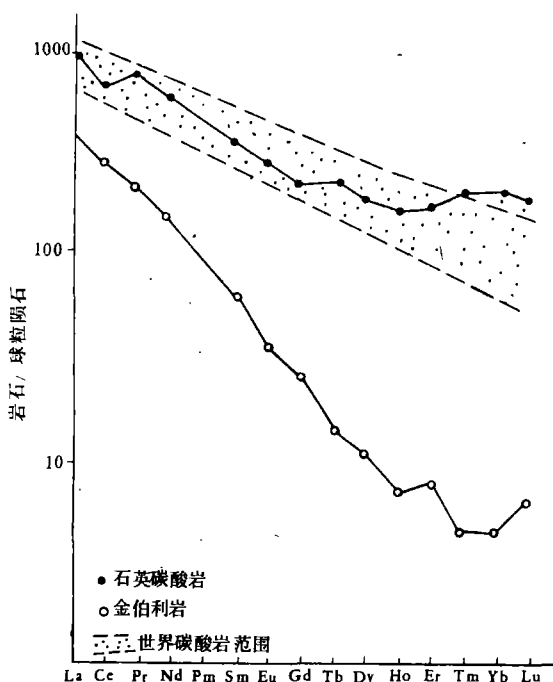


图3 金伯利岩和石英碳酸岩稀土配分曲线

Fig. 3. The pattern of REE distribution of quartz-carbonatite and kimberlite

五、石英碳酸岩成因分析

根据世界火成岩的平均化学成分(据 R. W. Lemaitre, 1976)^[3]可知,“正常”岩浆岩、金伯利岩和碳酸岩的 CO_2 、 H_2O 对 SiO_2 存在有意义的变异特征,即从“正常”岩浆岩→金伯利岩→碳酸岩, CO_2 随 SiO_2 含量减少而增加, H_2O 随 SiO_2 含量减少而减少(在“正常”的酸性岩→“正常”的超基性岩中也存在这样的规律),当 SiO_2 达到一定的含量时, H_2O 含量趋于回升,在金伯利岩的 SiO_2 含量范围内时, H_2O 可达最高值,而到碳酸岩的 SiO_2 含量范围时, H_2O 又减少到低值;高温高压实验证明 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比值既控制着岩浆的成分^[10],又控制着结晶分离作用的途径^[11],同时根据熔体结构理论(聚合作用模式)^{[12][13]}: H_2O 在熔体中起着破坏桥氧(bridging oxygen, 即 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 键)的作用,扩大了石英的首晶区,使熔体朝向富硅方向演化,而 CO_2 熔体结构作用正相反,在熔体中起着破坏非

金伯利岩和石英碳酸岩稳定同位素组成(‰)

表5

Table 5. Stable isotopes of quartz-carbonatite and kimberlite (‰)

方 法	岩石 数 值	石英碳酸岩		金伯利岩	金刚石
		碳酸盐矿物	全 岩	全 岩	全 岩
$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$		+7.061	+7.342	+9.69	—
$\delta\text{D}_{(\text{SMOW})}$		—	—	-99.7	—
$\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$		-6.78	-6.79	-6.42	-4~-10

桥氧(non-bridging oxygen, 即 $\text{M}-\text{O}-\text{Si}$ 键, M 为金属离子)的作用,缩小石英的首晶区,使熔体朝向贫硅方向演化。金伯利岩岩浆富含挥发组分 CO_2 和 H_2O , 它们各自起着截然相反的作用,致使金伯利岩成分既富含相容元素(如 Ni 、 Cr 、 V)又富含不相容元素(如 Ti 、 Nb 、 REE)的矛盾统一体,这可以从这些元素各自对 CO_2 和 H_2O 的亲和性上获得解释。

随着岩浆的演化,挥发组份在熔体中高度富集, CO_2 和 H_2O 在熔体中各自所起的结构作用

越趋明显,且各自发挥着作用,使熔体向富石英(高度富 SiO_2)和碳酸盐矿物(高度贫 SiO_2)的方向演化,加之金伯利岩是目前所知来源最深的岩石类型,由地幔向地壳的岩浆运移过程中,特别是岩浆上升速度较慢的情况(如 REE 强烈分馏的脉状金伯利岩),具备了足够的演化条件,最终使石英和碳酸盐矿物结晶形成石英碳酸岩脉体。因此,可以说石英碳酸岩是金伯利岩内生演化阶段的最终产物。

虽然国外金伯利岩区尚无石英碳酸岩方面资料的专门报道,但是金伯利岩与碳酸岩的两种伴生类型(一是典型的中心型碳酸岩杂岩体,外缘为金伯利岩岩墙;一是典型的金伯利岩岩筒,外缘是碳酸岩质的岩墙“A·J·A·Janse, 1975”)是尽人皆知的。辽东半岛金伯利岩区的石英碳酸岩,山东金伯利岩区碳酸岩含石英^①以及河南金伯利碎屑岩中的石英碳酸岩团块及脉石英与金伯利岩的关系^[15],以及从全世界范围的金伯利岩区金伯利岩与碳酸岩的密切相联(如西伯利亚地台和非州地台)^[17]等事实,均表明石英碳酸岩可以作为寻找金伯利岩的地质标志。因此,在某一地区特别是在稳定克拉通地区如发现岩浆型的石英碳酸岩,可望在其附近或深部找到隐伏的金伯利岩。

本文是在导师路凤香教授、叶德隆副教授及莫宣学副教授指导下完成的硕士论文的一部分。论文的完成还得到陈紫英副教授、王方正副教授、朱中一副教授及严春杰、张宏福、胡子兴等同志和辽宁省第六地质大队韩柱国总工程师、张世献、王振德工程师的帮助,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 邱家骥、邵道乾编著,《油浸法》,地质出版社,1981
- [2] 武汉地质学院矿物教研室,《结晶学及矿物学》,地质出版社,1979
- [3] 邱家骥主编,《岩浆岩岩石学》,地质出版社,1980
- [4] A·P·W·Hodder, 由 Ti/V 比值推断玄武岩起源深度及其与岛弧火山岩 K₂O 推断的深度的对比,地质地球化学,(6) 1986
- [5] 石川秀雄,火成岩中 V·Ni·Co 比值的地球化学特征,地质地球化学(7) 1986
- [6] Mitchell, R. H., Kimberlite, 《Mineralogy Geochemistry and petrology》plenum publication Corp, Inc New York, 1986
- [7] J. L. Crat, 密苏里州东南部维伯纳姆特伦德密西西比河谷型矿化作用对碳酸盐岩和碳酸盐矿物的稀土元素模式的影响,地质地球化学,(6) 1986
- [8] K. Hanson, 西格陵兰中生代不饱和和碱性岩类的稀土元素丰度,地质地球化学,(7) 1986
- [9] 刘铁虎,从白云鄂博“白云岩”的氧、碳同位素特征看其物质来原,地质地球化学,(7) 1986
- [10] Wyllie, P. J., Magmas and volatile components, Am. Mineral, 64, 1979, 469—500
- [11] L. L. Perchuk, V. I. Voganov, 金伯利岩成因的岩石化学和热力学证据,地质地球化学,(6) 1981
- [12] 莫宣学,岩浆熔体结构,地质科技情报,(2), 1985
- [13] Burnha, C. W., 《The importance of volatile constituents》, in Yoder, Hs. Jr. (ED), The evolution of the igneous rock, Princeton Univ. Press, 1979, 439—482
- [14] 林景任主编,《岩浆岩成因导论》,地质出版社,1987

①万国栋 山东金伯利岩与偏碱性超基性岩、碳酸岩及暗色岩的关系,山东省第七地质大队,1983。

[15] 钟华邦, 豫西首次发现金伯利集块岩, 矿物岩石, (1), 1985

[16] 池际尚主编, 《中国东部新生代玄武岩及上地幔研究》(附金伯利岩研究), 中国地质大学出版社, 1987

[17] A. B. Jamini, (于金华译): 碳酸岩和金伯利岩的相互关系及深部岩浆形成的某些问题, 地质科学译丛, (2), 1988

QUARTZ-CARBONATITE——THE GEOLOGICAL MARK OF PROSPECTING PRIMARY DIAMOND

Zhen Jianping

China University of Geoscience

Abstract

On field geology, petrography, mineralogy, fluid inclusion, the bulk composition and geochemistry including REE, trace elements and stable isotopes, the author expounds that quartz-carbonatite, the result of the highly evolved magma, is genetically related to kimberlite. Kimberlite contains much volatiles, CO_2 and H_2O . According to the theory of melt structure (polymerization model), the roles of CO_2 and H_2O in kimberlite are analysed in this paper. With the melt evolution, the high concentration of volatiles and more and more obvious structure roles of CO_2 and H_2O , quartz-carbonatite appears, which represents the end of kimberlite magmatism. So the quartz-carbonatite can be used as a guidance to hidden kimberlite.