

# 金伯利岩型金刚石找矿准则和 找矿判别模型

张文宽 杨本锦

(四川省地矿局403地质队)

**内容提要:** 本文在深入研究金伯利岩型金刚石矿床成矿规律的基础上,总结了此类矿床的找矿准则并建立了找矿判别模型。模型共包含16个变量,其中地质因素3个,特征矿物5个,岩石化学8个。模型临界值为24.1—65.5。得分大于65.5的岩体为寻找金刚石的重要对象;得分小于24.1的岩体据目前认识水平为不含金刚石岩体;介于两者之间者为可疑岩体。此判别模型综合吸收了前人寻找此类矿床的经验,并将其抽象为定量预测。我们已将此方法用BASIC语言编成计算机程序,这将有助于在较大范围内,较迅速、较准确地寻找金刚石矿床。

**关键词:** 金伯利岩 金刚石 找矿准则 判别模型

## 一、前言

利用金伯利岩的产出地质环境、标型矿物和岩石化学特征,预测金伯利岩含金金刚石的可能性,指导金刚石的普查找矿工作,前人已做过大量工作,总结出许多行之有效的找矿规律<sup>①②</sup>。

我们在金刚石找矿工作中,在前人研究的基础上,收集了若干典型含矿金伯利岩、不含矿金伯利岩以及与金伯利岩相似岩石的有关资料,总结了对成矿有利或不利的各种地质因素;综合分析了金伯利岩与其他岩石、含矿金伯利岩与不含矿金伯利岩的区分标志;然后,应用逻辑信息分析方法对各区分标志进行检验,进而建立包括有效标志的综合预测方程。此方程不但包含了地质工作者多年来寻找金刚石的经验,而且将这些定性经验上升为定量预测,对加速金刚石找矿有一定意义。

## 二、找矿准则

在总结国内外学者对金伯利岩型金刚石矿床成矿规律和找矿经验的基础上,结合我们对部分金刚石矿区的分析研究,确认金伯利岩型金刚石矿床找矿准则主要有:

(一) **岩体形态** 金伯利岩常呈岩筒、岩脉、岩床和岩墙状产出。据统计,一般具有工业价值的金伯利岩均呈岩筒产出,如苏联“和平”岩筒、辽宁50号岩筒和南非“金伯利”岩筒等;其

① 地质科学院情报所1973年编印的“国外金刚石矿床地质及普查评价方法”

② 吴黎明, 1985, “金刚石矿床的最新找矿准则”

次为岩脉,如山东Ⅲ矿带;其他形态的金伯利岩至今发现含矿者甚少。据此认为,凡呈岩筒产出的岩体对成矿有利,以岩脉为主的岩带含矿性不定,其他形态的金伯利岩对成矿不利。

(二) **岩石构造** 金伯利岩中对含矿有利的构造是:斑状构造,如山东Ⅰ矿带;岩球状构造,如辽宁50号岩筒、42号岩筒;块状构造,如苏联“和平”岩筒等。认为凡是在金伯利岩中出现这三种构造中的一种或一种以上者对成矿有利。除上述构造外,还伴随有其他构造者含矿性不定,没有上述三类构造的岩体对成矿不利。

(三) **同源捕虏体** 几乎所有金伯利岩中都有捕虏体,根据捕虏体的来源不同,分为同源捕虏体(即与金伯利岩有成因联系的其他过渡岩类或前期侵入的金伯利岩)和异源捕虏体(即与金伯利岩无成因联系的围岩或其他岩石)。在含矿金伯利岩内,同源捕虏体含量多则含矿性好,如山东Ⅰ矿带、苏联“和平”岩筒;两种捕虏体含量都多则使金刚石变贫,如辽宁42号岩筒;捕虏体含量小于50%的角砾岩类或以异源捕虏体为主的岩体,一般不含矿或含矿极贫,如丙地、戊地<sup>[1]</sup>。

(四) **岩体分异特征** 金伯利岩形成过程中,岩浆处于高温高压的条件下,当其沿通道猛烈爆发时,温度压力突然降低,使岩浆迅速冷却,导致岩体中矿物成分均匀分布而无分异特征,这是金伯利岩与其他超基性岩的不同之处。有分异的金伯利岩体不利于成矿,如丙地;无分异者有利于成矿。

(五) **金云母** 在金伯利岩中,金云母的含量所占比例的多少,是影响金伯利岩含矿性的又一因素。在不同金伯利岩或同一金伯利岩中,金云母的含量超过橄榄石和其他矿物含量,或无金云母,一般不含矿或矿很贫,如山东Ⅲ矿带和戊地金云母岩;金云母的含量少于橄榄石或镁铝榴石时,含矿较好,如辽宁50号岩筒等。

(六) **镁铝榴石** 镁铝榴石是含金刚石金伯利岩的特征矿物,在国内外一些有工业意义的金伯利岩中,高铬低钙的镁铝榴石的含量与金刚石的贫富变化呈正相关。因此,岩体中以含铬镁铝榴石为主时对成矿有利,如山东Ⅰ矿带、辽宁50号岩筒;不含铬的镁铝榴石对成矿不利,如戊地金伯利角砾岩;镁铝榴石中仅部分含铬时矿贫或不含矿,如丙地和戊地似金伯利岩。

(七) **钛铁矿族** 包括类质同象的镁钛铁矿和锰钛铁矿。但在金伯利岩中,常以含锰低的镁钛铁矿和钛铁矿具找矿意义。岩体含镁钛铁矿对成矿有利,如山东Ⅰ矿带、苏联“和平”岩筒;仅有钛铁矿出现则矿贫或不含矿,如山东Ⅲ矿带、戊地;无此类矿物对成矿不利。

(八) **尖晶石族** 尖晶石族矿物有三个系列,即尖晶石系列、磁铁矿系列和铬铁矿系列。三个系列包括十余种完全和不完全类质同象矿物。鉴于金伯利岩的化学成分具镁、铬含量较高,锌、锰含量低,铝不饱和的特征,因而在金伯利岩中常出现的尖晶石族矿物为镁铬铁矿(铬尖晶石)和尖晶石。镁铬铁矿(铬尖晶石)的出现,对金伯利岩含矿有利,如辽宁50号岩筒、苏联“和平”岩筒;仅有尖晶石出现则含矿性差或不含矿;无上述矿物对成矿不利。

(九) **铬透辉石** 铬透辉石是透辉石含铬的类质同象矿物,在基性、超基性的喷出岩或浅成侵入岩中都可形成。在金伯利岩中,铬透辉石仍具有指示矿物的作用。一般情况下,富铬低铝的铬透辉石具有找矿意义。出现铬透辉石的岩体对成矿有利,如苏联“和平”岩筒、山东Ⅱ矿带;含普通透辉石岩体,含矿性差或不含矿,如丙地;无透辉石的岩体多不含矿。

(十) 磷灰石 据吴黎明摘录的资料,  $P_2O_5$  为含金伯利岩的指示元素, 磷灰石则是金伯利岩中含  $P_2O_5$  的主要矿物, 一般以出现磷灰石作为金伯利岩含矿有利因素, 反之则不利。

(十一) 岩石化学特征 根据金伯利岩岩石化学特征预测金伯利岩含矿性, 前人作了大量工作<sup>[2,3,4]</sup>, 我们在《金刚石岩石化学各预测方法的检验和综合》一文中, 对各种方法进行了比较和检验, 结果证明, 利用岩石化学准则寻找金伯利岩和金刚石是行之有效的, 只是因成岩后风化、蚀变等因素的干扰, 需要与地质找矿准则配合, 才更有成效。现将我们认为有效的岩石化学方法列于表 1。

表 1 金刚石岩石化学预测方法表  
Table 1. Petrochemical prognostic methods for diamonds

代号	方 法 或 公 式	资 料 来 源
AA	$Al_2O_3 - TiO_2 - Fe_2O_3 + FeO, Na_2O + K_2O - TiO_2 - Fe_2O_3 + FeO$ (双三角图解)	山东地质七队(1976)
NA	$(Na_2O + K_2O + Al_2O_3) / (MgO + 0.9Fe_2O_3 + FeO)$	种瑞元(1981)
MG	$MgO / (0.9Fe_2O_3 + FeO)$	
FE	$Fe_2O_3 / FeO$	
K	$K_2O / Na_2O$	
$R_1$	$1.0704TiO_2 - 1.2112Al_2O_3 - 0.5781Fe_2O_3 + 0.7364FeO + 0.2867MgO - 11.9096Na_2O - 1.6325K_2O - 2.5091P_2O_5$ (含金伯利岩判别函数)	
TI	$TiO_2$	山东地质七队(1976)
AL	$Al_2O_3 + K_2O + Na_2O + TiO_2 + P_2O_5$	B. A. 米拉舍夫(1973)
KA	$(Fe/Ti) / (\lg(Fe + Ti) + 0.5 \lg(Al + K + Na))$	山东地质七队(1976)
CN	$(Cr_2O_3 + NiO) / TiO_2$	武汉地质学院(1979)
FC	$(Fe_2O_3 + FeO) / (Cr_2O_3 + NiO)$	种瑞元(1981)
AN	$Al_2O_3 + Na_2O + K_2O - MgO - 0.9Fe_2O_3 + FeO$ (三角图解)	山东地质七队(1976)
AP	$P_2O_5 - TiO_2 - Cr_2O_3$ (三角图解)	种瑞元(1981)
$R_2$	$-5.8194TiO_2 - 7.02Al_2O_3 - 0.9248Fe_2O_3 + 1.3812FeO + 0.6566MgO + 54.3954Na_2O + 3.4869K_2O + 0.6862P_2O_5$ (含金伯利岩金刚石贫富变化判别函数)	

(十二) 大地构造特征 控制金伯利岩产出的大地构造环境是稳定的刚性古老(18亿年乃至更老)地台区。在古老地台区内不同部位产出的金伯利岩, 含矿性也不同, 一般是靠近地台边缘含矿性差; 具一定工业价值的金伯利岩都产在地台中稳定的隆起区和大型隆起与拗陷衔接带。

(十三) 岩体蚀变 金伯利岩的蚀变作用广泛、强烈, 包括从高温到低温的金云母化、磷灰石化、蛇纹石化、绿泥石化、碳酸盐化和硅化等。这些蚀变并非在所有金伯利岩中都同时存在, 经常是以某种蚀变为主。而超基性岩和相似岩石的蚀变作用一般不如金伯利岩强。岩体蚀变是一种寻找金伯利岩的辅助标志。

### 三、找矿判别模型

找矿判别模型是在深入的成矿规律研究基础上, 以数学地质为手段, 计算机为工具, 通过对工作程度较高的已知含矿或不含矿岩体的对比研究, 对各个成矿规律进行筛选、赋值,

表 2 模型岩体地质特征统计表  
Table 2. Geological characteristics of model intrusives

序号	矿产地名	含矿性	地质特征			主要特征矿物	资料来源
			岩石类型	岩体形态	岩石构造		
1	山东 I 矿带	富	岩筒为主	斑状、角砾状、块状	同源为主	橄辉石 (假象)、金云母、含铬镍铝榴石、铬铁矿、钙钛矿、铅透辉石、磷灰石	山东地质七队 (1976)
2	辽宁 50 号岩筒	富	岩筒	圆珠状、角砾状	同源为主	橄辉石、金云母、含铬镍铝榴石、铬铁矿、锐钛矿、铬尖晶石、磷灰石	辽宁第六地质队 (1982)
3	苏联“和平”岩筒	富	岩筒	角砾状、块状、圆斑状	同源为主	橄辉石、石榴石、铅透辉石、钛铁矿、铬尖晶石、金云母、磁铁矿、角闪石、磷灰石	地质部地质科学技术情报研究所 (1964)
4	南非“金伯利”岩筒	富	岩筒	斑状	同源	橄辉石、钙镁橄辉石、金云母、铬铁矿、磁铁矿、铬尖晶石、钙钛矿、磷灰石	B. C. 索波列夫 (1964)
5	辽宁 42 号岩筒	中	岩筒	角砾状、斑状、流动状	同源、异源	镁质富铁铬铁矿、含铬镍铝榴石、橄辉石、金云母、磁铁矿、铬尖晶石、锐钛矿、磷灰石	辽宁第六地质队 (1982)
6	山东 II 矿带	中	岩筒为主, 岩脉	角砾状、斑状、块状	同源、异源	橄辉石、金云母、含铬镍铝榴石、钙钛矿、铬透辉石、次为镍铝榴石、镁铬铁矿、铬尖晶石、磷灰石	山东地质七队 (1976)
7	丙地	贫	富金云母金伯利岩	斑状、块状、角砾状、块状	异源、同源	金云母、橄辉石、镍铝榴石、铬铁矿、铬尖晶石、次为金红石、锐钛矿、磷灰石	参考文献 [1]
8	山东 III 矿带	贫	富金云母金伯利岩	斑状、块状、流动状	异源为主, 同源	金云母、橄辉石、铬铁矿、钙钛矿、铬透辉石, 少量富镁黑云母、铬尖晶石、镍铝榴石	山东地质七队 (1976)
9	甲地	无	碱性岩	斑状、块状、角砾状	异源、同源	铁质金云母、辉石、橄辉石、斜长石、铬铁矿、锐钛矿、钛铁矿、石榴石、方解石、磷灰石	
10	丁地	无	苦橄玢岩	斑状、片状	同源、异源	橄辉石、含铁普通辉石、钛辉石、黑云母、镍铝榴石、斜长石	
11	戊地	无	金伯利角砾岩	岩脉、角砾状、岩珠、片状	异源、同源	橄辉石、镍铝榴石、镍钛铁矿、金云母、磷灰石、铬透辉石、钙钛矿、磷灰石	参考文献 [1]
12	戊地	无	似金伯利岩	斑状、块状	异源、同源	橄辉石、金云母、钛铁矿、铬铁矿、铬尖晶石、铁铝一镍铝榴石、斜方辉石、磷灰石	
13	戊地	无	玻基纯橄岩	碎屑状、块状、似层状	异源、同源	钙钛矿、石榴石、黑云母、铬尖晶石、锐钛矿、铁铝一镍铝榴石、金红石、磷灰石	
14	戊地	无	橄辉玄武岩	碎屑状、块状、片状	异源、同源	钛辉石、石榴石、绿泥石、滑石、蒙脱石、水云母、黑云母、磁铁矿、白钛矿、磷灰石	
15	四川兴隆	无	方辉辉岩	角砾状、块状	异源、同源	橄辉石 (线晶)、蛇纹石、硬磷铁矿、绢石、透闪石、辉石、云母、磷灰石	刘云霞 (1980)
16	四川力马河	无	橄辉岩	块状		橄辉石、辉石、硬磷铁矿	四川攀西地质大队 (1983)

进而组成综合预测方程以指导找矿。

(一) 模型岩体

模型岩体是工作程度高, 代表性较强, 已知含矿情况, 用来建立找矿判别模型的岩体。本次工作共选取16个岩体, 其中4个矿富, 二个中等, 二个较贫, 8个无矿, 各模型岩体地质情况如表2。

(二) 变量的挑选和赋值

工作之初我们选取的变量较多, 计44个。参照模型岩体地质情况筛选后还有18个。18个变量中地质因素4个, 特征矿物6个, 岩石化学8个, 各变量地质意义如前所述。18个变量经用变异序列方法<sup>[5]</sup>进一步筛选, 岩体分异和磷灰石两变量被剔除。剔除原因的地质解释为: 含金刚石金伯利岩一般无分异作用, 但不是绝对的, 如丙地亦有分异现象, 无分异亦不含金刚石的超基性岩体就更为普遍了; 磷灰石是含金刚石金伯利岩的组成矿物之一, 但在火成岩中分布普遍, 磷灰石亦不是寻找金刚石的特征矿物(如戊地无矿似金伯利岩、四川兴隆无矿方辉橄岩等均含有磷灰石)。经过层层筛选还有16个对找寻金刚石有指示意义的标志变量。以各模型岩体为样本, 上述标志变量为准绳, 对成矿有利的记为正(+), 不利的记为负(-), 既不能肯定又不好否定者(即矿贫或不含矿者)记为0, 缺失资料亦为0, 这样组成的逻辑变量如表3。

表3 模型岩体岩石化学、地质因素逻辑变量表

Table 3. Logic variables of petrochemistry and geologic factors for model intrusives

产地编号	岩石化学特征								地质因素变量							
	NA	MG	R <sub>1</sub>	AL	CN	FC	AN	AP	岩体形态 FO	岩石构造 ST	同源捕虏体 XE	金云母 PH	镁铝榴石 PY	钛铁矿 IL	尖晶石 SP	铬透辉石 DI
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	0	+	0	+	+	0
5	+	-	+	-	+	0	+	+	+	+	0	+	+	+	+	-
6	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	0	+	+	+	+	+
8	-	+	-	-	+	+	-	-	0	+	+	+	+	+	+	+
9	-	-	-	-	+	-	-	-	-	0	-	-	-	-	+	-
10	-	-	-	+	0	0	-	0	+	0	0	-	+	-	-	-
11	-	-	-	-	0	0	0	-	0	0	-	+	+	-	-	+
12	-	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	+	0	+	+	-
13	-	-	-	-	0	0	-	0	-	-	-	-	0	-	+	-
14	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	+	-	-	-	-	-
15	+	+	+	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-

岩石化学特征代号意义见表1; 岩性及产地见表2

(三) 信息权、标志区分权和临界值

逻辑变量表经过逻辑信息分析方法<sup>[5]</sup>计算, 得出的各变量的信息权及标志区分权列于表

4. 信息权表示该标志的重要性程度, 标志区分权区分哪些标志起正作用, 哪些标志起负作用, 以评价各标志对研究对象所起作用的性质和大小。用表4中标志区分权得到一个预测金伯利岩含金刚石可能性的综合方程:

$$GD = 5.63NA + 4.6MG + 9.82R_1 + 2.61AL + 4.66CN + 9.41FC + 8.6AN + 6.14AP + 4.97FO + 7.37ST + 9.82XE + 3.07PH + 3PY + 9.47SP + 5.39DI + 5.32IL$$

方程中各变量标志的意义如表1和表3。各标志变量系数代数和即为该样品含金刚石有利度得分。生成金刚石较理想的样品得分为100, 完全排除生成金刚石可能性的岩体为0。

本方程含矿与无矿金伯利岩临界值的确定, 根据表3中16个模型岩体的原始逻辑变量, 用综合预测方程回代, 结果如表5。从表中清楚地看到, 含金刚石金伯利岩的最低得分为65.5 (山东Ⅲ矿带金伯利岩), 为临界值上限, 即大于此值的岩体属含矿可能性很大的岩体

表4 岩石化学和地质因素综合判别信息权、标志区分权表

Table 4. Integrated discriminant information weight and indicator distinguishing weight

方法或变量	信息权	标志区分权	方法或变量	信息权	标志区分权
NA	0.2588	0.0563	岩体形态FO	0.2000	0.0497
MG	0.3529	0.0460	岩石构造ST	0.2117	0.0737
R <sub>1</sub>	0.5647	0.0982	同源捕虏体XE	0.3294	0.0982
AL	0.2000	0.0261	金云母PH	0.1176	0.0367
CN	0.2235	0.0466	镁铝榴石PY	0.1294	0.0300
FC	0.2705	0.0941	钛铁矿IL	0.1764	0.0532
AN	0.2823	0.0860	尖晶石SP	0.4352	0.0947
AP	0.2352	0.0614	铬透辉石DI	0.2117	0.0539

表5 岩石化学地质特征综合预测方程回代结果表

Table 5. Results obtained by feeding back the training samples to the comprehensive prediction equation of petrochemical and geological characteristics

序号	产地	含矿性	岩性	判别得分
1	山东Ⅰ矿带	富	金伯利岩	100
2	辽宁50号岩筒	富	金伯利岩	95.4
3	苏联“和平”岩筒	富	金伯利岩	90.2
4	南非“金伯利”岩筒	富	金伯利岩	96.8
5	辽宁42号岩筒	中	金伯利岩	84.4
6	山东Ⅱ矿带	中	金伯利岩	85.6
7	丙地	贫	富金云母金伯利岩	78.9
8	山东Ⅲ矿带	贫	富金云母金伯利岩	65.5
9	甲地	无	碱性岩	15.3
10	丁地	无	苦橄玢岩	16.9
11	戊地	无	金伯利角砾岩	17.7
12	戊地	无	似金伯利岩	22.1
13	戊地	无	玻基纯橄岩碎屑	12.3
14	戊地	无	橄榄玄武岩碎屑	10.8
15	四川兴隆	无	方辉辉橄岩碎屑	24.1
16	四川力马河	无	橄辉岩	9.6

为寻找金刚石的重要靶区；无矿金伯利岩最高得分为 24.1（四川兴隆 方辉辉橄岩），此为临界值下限，低于临界值下限的岩体，据目前的认识水平没有进一步工作的必要；介于两者之间的岩体属可疑岩体，在金刚石普查找矿工作中有必要对此类岩体进行一定的地质工作。

综合预测方程对16个模型岩体的回代结果，其正确判别率为100%，证明该预测方法可靠。

## 四、结 论

金伯利岩型金刚石找矿判别模型概括了前人寻找此类金刚石矿床的找矿经验，并将其数学抽象，总结为一个综合性方程。此方程包括地质环境、标型矿物和岩石化学等方面资料，避免了单一角度、单一方法的片面性，我们已将此方法用BASIC语言编成计算机程序，能较迅速、较准确地在大范围内寻找金刚石成矿靶区。此模型经在会理及邻区应用，找到两个可能含金刚石的岩体，正在进一步工作。此模型对金刚石普查找矿具有一定的指导作用。

本找矿判别模型的作用不但可对含矿金伯利岩与不含矿金伯利岩进行区分，而且对含金伯利岩的贫富变化亦可根据综合方程判别得分的高低粗略估计，进而划分出可能富含金刚石金伯利岩、中含金刚石金伯利岩、贫含金金刚石金伯利岩。但我们认为，首先需要解决的是研究对象含矿还是不含矿的问题，故对含矿贫富问题没有提出区分临界值和进行更多的研究。

## 参 考 文 献

- (1) 金刚石的普查与勘探 1977 地质出版社
- (2) 种瑞元 1981 金伯利岩的岩石化学特征与含金刚石程度的判别 地球化学 第4期
- (3) 武汉地质学院 1979 岩浆岩岩石学 地质出版社
- (4) 地质部地质科学技术情报研究所 1964 国外金刚石矿床的地质特征及普查方法（专辑） 中国工业出版社
- (5) 赵鹏大等 1983 矿床统计预测 地质出版社

## ORE-PROSPECTING CRITERIA AND DISCRIMINANT MODEL FOR KIMBERLITE TYPE DIAMONDS

Zhang Wenkuan and Yan Benjin

(No.403 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan  
Province, Xichang, Sichuan)

### Abstract

Based on extensive investigation into the geologic settings, typomorphic minerals and petrochemical characters of kimberlites containing or not containing diamonds as well as similar rocks both from China and abroad, the present paper summarizes ore-prospecting criteria for kimberlite-type diamond deposits and, by utilizing the computer on the principle of mathematical geology, sets up an ore-prospecting discriminant model for this type of deposits. The model includes 16 variables, which are composed of 3 geologic

factors, 5 characteristic minerals and 8 petrochemical variables.

The results obtained by applying the model back to the training samples show that the lowest score of the diamond-bearing kimberlites is 65.5 and, in the prognostic area, the rock bodies having values larger than 65.5 are important targets in search for diamonds; the highest score of kimberlites containing no diamonds is 24.1; Rock bodies having scores in the range of 24.1—65.5 are regarded as suspicious ones, for which some more geologic work should be done. The correctness of this performance reaches 100 percent.

This discriminant model has absorbed integratedly experience gained by previous workers prospecting for kimberlites, and, through abstracting the data mathematically, raised the level to the quantitative prognosis, thus avoiding one-sidedness which arises from looking at the problem from one angle and using one method. The authors have prepared a computer program for this method by using Basic Language, which makes it possible to find the diamond target rapidly and correctly in a fairly large area, and therefore speeds up the diamond-prospecting work.

<http://www.kcdz.ac.cn/>