

金伯利岩中铬铁矿原生表面特征成因类型及其成分特征

孙国利

(北京玻璃研究院·北京·100062)

赵·磊

(中国地质大学·北京·100083)

李友枝

对金伯利岩中铬铁矿原生表面特征的成因做出了合理解释,并提出4种成因类型;通过探讨铬铁矿原生表面特征、化学成分、含矿性之间的关系,初步建立了铬铁矿原生表面特征与金刚石含矿性之间的关系。

关键词 铬铁矿, 金伯利岩, 原生表面特征成因, 成分特征

成因类型



1 铬铁矿原生表面特征成因

金伯利岩中的铬铁矿原生表面特征可分为6大类(表1)。为什么有的铬铁矿晶形好、晶面光洁明亮,很少有各种蚀象,而有的已浑圆化且

有各种蚀象?这是因为金伯利岩岩浆从源区200 km甚至400 km~600 km^[1]的地幔向地表的运移过程中, $C-P-T-f_{O_2}$ 的变化显著。地幔捕虏晶(即粗晶)形成的物化环境与金伯利岩岩浆的物化环境差别很大,当它们从地幔捕虏体崩解进入岩浆后,必然与岩浆之间出现不平衡,这主要表现在粗晶表

表1 铬铁矿原生表面特征分类表

原 生 表 面 特 征	成 分 特 征	成 因
第1大类 完全自形、棱角尖锐,以具有亮黑色晶面无任何熔蚀及磨损痕迹为特征	完整八面体 八面体歪晶 聚形晶 原生晶(大多数为硬铬尖晶石, Cr_2O_3 含量为32 wt%~50 wt%)	金伯利岩岩浆结晶形成
第2大类 半自形,棱角已磨圆,有残留晶面,具有各种蚀象。在八面体晶面上可出现下列蚀象	粗蚀象 1. 三角形边缘熔蚀线 2. 倒三角形凹坑 3. 肠状蚀象 4. 豆状蚀象 5. 塑性滑动线 6. 正三角形生长层 7. 平行条带状生长层 8. 三角形生长丝纹 9. 不规则状生长层 细蚀象 多数为金刚石包裹体铬铁矿 主体为铬铁矿,生长层为硬铬尖晶石,生长层相对贫Cr、Mg,富 Fe^{3+} 、Ti	由熔融作用形成 由熔融→生长单一或复合过程形成
第3大类 呈浑圆状或棒状等不规则形态	细微坑状蚀象 线状凸起蚀象	多期熔融作用 熔融→再生长
第4大类 连生体(包括规则连生体和不规则连生体)	小丘状蚀象 平行肋骨状蚀象	由熔融作用形成
第5大类 擦痕(因固相间摩擦等作用而留下的痕迹)	铬铁矿或硬铬尖晶石	由机械作用形成
第6大类 由内核与反应边构成。内核致密、光亮;反应边疏松、暗淡	接触面光滑平直 接触面凹凸不平 内核与反应边成分相差巨大,例如,内核 Cr_2O_3 为42.44 wt%,反应边为61.17 wt%。 内核与反应边成分相差不大,反应边略富Ti、Cr,贫Mg	矿物与岩浆或地幔流体反应形成

面上形成各种原生表面特征。金伯利岩岩浆结晶形成的铬铁矿在其形成和运移过程中, $C-P-T-f_{O_2}$ 变化连续,且幅度小,所以很少形成各种蚀象,金伯利岩中铬铁矿原生表面特征的成因有几种类型。

1.1 由熔融作用形成

多数铬铁矿原生表面特征属于这种成因,如表1分类中第2大类细蚀象1~5亚类、第3大类1亚类以及第4大类连生体的平行肋骨状、丘状蚀象。

实际晶体中多少存在着一些晶格缺陷^[2],即指在晶体结构中的局部范围内,质点的排列偏离了呈周期性重复的格子构造规律而错乱排列的现象。据其展布范围的特点可分为点缺陷、线缺陷、面缺陷3种主要类型。熔融时,除角顶和晶棱处熔融较快外,还经常围绕晶面上缺陷处首先熔融形成一些凹坑。熔蚀坑进一步发展至相连接时,其间残留的凸起部分成为熔蚀丘。

本文1997年5月收到,8月改回,张启芳编辑。

* 由国家科技攻关(305)项目96-915-06-06专题资助。

晶体生长时,不同晶面的生长速度是突变的;熔融时,晶体各方向上的熔融速度是连续过渡的,角顶部位熔融最快,晶棱次之,晶面中心最慢,结果使晶体的凸多面体外形向球体逐渐过渡。导致这一现象的原因是,角顶及晶棱处的质点具有相对大的自由能且与溶剂的接触机会多,故比晶面中心的质点较易脱离晶体^[2]。

粗晶的形成环境与金伯利岩岩浆的物化环境差别越大,遭受到的熔融作用越强烈。来源较深的粗晶因长时间遭到比较强烈的熔融作用,形成粗蚀象;稳定于地幔较浅部位的捕虏体中的铬铁矿和其它来源较浅的铬铁矿较晚进入金伯利岩岩浆,遭受到的熔融作用较弱,形成细蚀象。

有的蚀象是经历多期熔融作用而成,如第3大类中的细微坑状蚀象,是以早期形成的各种蚀象为基础,并使其消失代之以细微坑状。

1.2 由熔融→生长单一或复合过程形成

在晶面上,围绕晶格缺陷(如点缺陷)易首先熔融形成一些凹坑。矿物随着岩浆上升过程中, P 、 T 下降,当条件适宜时,就会沿着熔融处再生长,形成所谓的生长层—表现为晶面上一系列平行层的堆叠。表1分类中第2大类细蚀象6~8亚类就属于这种成因。生长层的结晶取向受其下基底铬铁矿结晶格架制约,如正三角形生长层的取向与八面体晶面外形一致。它们可能在岩浆过饱和度较低条件下形成,受螺旋生长理论控制。

实验表明^[3],在结晶速度较慢或过饱和度较低条件下生长的晶体形态完整性好,而在结晶速度快或过饱和度较高的条件下生长的晶体形态比较特殊,晶体的角顶和晶棱部位接受质点的机会比晶面中心多得多,生长速度特别快,从而形成晶面四周高而中间凹入的表面形态,如表1中第2大类细蚀象第9亚类。它们的形成可能受层生长理论控制,质点是以二维晶核(即单个原子或分子厚的质点层)的形式呈孤岛状沉淀到晶体表面上去的,然后液相原子沿着二维晶核侧边所形成的台阶不断连接上去,使此薄层很快扩展而盖满整个晶体表面,这时生长中段,需要新的界面上再形成二维晶核,接着又长满一层,如此反复进行。这种生长是不连续的,并且所需要的能量较大。

矿物的微裂隙也是较易熔融和再生长部位,表1中第3大类的线状凸起蚀象可能是这样形成。

1.3 由机械作用形成

表1分类中第5大类擦痕是在岩浆上升过程中

因固相间磨擦作用形成的。可根据擦痕特点恢复力的作用方向。

1.4 反应成因

有的铬铁矿具有反应边结构,形态与镁铝榴石的蚀变壳很类似。反应边脱落后,裸露的内核表面具有粗蚀象。反应边可能是铬铁矿与岩浆或地幔流体发生反应形成。

2 铬铁矿成分总体特征

表2所列铬铁矿,依据南京大学地球科学系(1978)^[4]铬铁矿分类原则而命名。

金伯利岩和钾镁煌斑岩中铬铁矿的演化趋势为双趋势型,即既有岩浆结晶铬铁矿演化趋势,又有地幔中铬铁矿演化趋势,岩浆结晶与捕虏晶铬铁矿共存。Mitchell(1976)认为最好把粗晶看作是捕虏晶与斑晶按不同比例混合的产物。Shee(1984)认为,所谓粗晶即指捕虏晶。目前,多数人都接受Shee的观点。笔者认为,可将由金伯利岩岩浆结晶的尖晶石类统称为原生晶,不必区分斑晶与基质,因为只有粗晶(即捕虏晶)才具有找矿指示意义。

关于粗晶和原生晶区分标准问题尚无统一认识。Mitchell(1985)^[5]认为多数富Al尖晶石类可能是捕虏晶。范志杰(1992)^[6]根据统计认为金伯利岩岩浆结晶的铬铁矿以富钛为特征,捕虏晶铬铁矿则以低钛为特征,区分标准是: $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 60 \text{ wt}\%$ 区间, TiO_2 以0.2 wt%为界, $< 0.2 \text{ wt}\%$ 为捕虏晶铬铁矿; Cr_2O_3 60 wt%~40 wt%区间, TiO_2 以0.7 wt%为界; Cr_2O_3 45 wt%~40 wt%区间, TiO_2 以1 wt%为界(图1)。上述区分标准仅从化学成分考虑,由于有的原

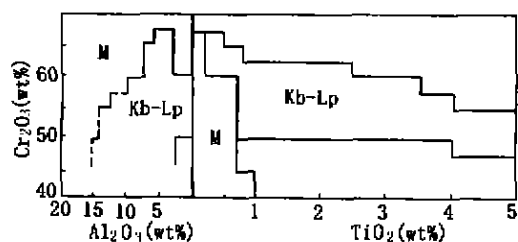


图1 金伯利岩(Kb)及钾镁煌斑岩(Lp)中铬铁矿成分区间统计图

(引自范志杰,1992)

MgO 8 wt%~16 wt%; M—地幔捕虏晶区间

生晶与捕虏晶成分相近,在化学成分上难以区分,因此,笔者认为粗晶与原生晶区分标准应考虑以下几个方面:1)粒度与晶形。粒度小于0.1 mm且晶形为八面体的铬铁矿多数为原生晶;2)多数捕虏晶具有浑圆状外形及受岩浆作用后形的各种蚀象,这些都

表2 复县50号岩管中铬铁矿化学成分

样号	1-1	1-2	2-2	2-3-1	2-4	2-6a	2-6b	2-7a	2-7b	2-9-1a	2-9-1b	2-10-1	3-1	3-2a	3-2b	4-1-1	4-1-2	6-1a	6-1b	
氧化物 wt%	原 生 晶				粗 晶		粗 晶		粗 晶		粗 晶		粗 晶		粗 晶		粗 晶		粗 晶	粗 晶
SiO ₂	0.32	0.24	0.45	0.40	0.49	0.46	0.82	0.47	0.51	0.46	0.46	6.30	0.34	0.41	1.00	0.39	0.45	8.70	0.42	
TiO ₂	7.04	2.12	2.59	1.89	0.39	1.75	4.44	2.74	5.94	0.29	0.29	2.37	0.23	0.27	0.28	0.29	0.32	0.12	0.13	
Al ₂ O ₃	3.64	4.84	3.66	4.48	8.37	3.60	3.83	3.86	4.05	9.70	9.70	6.58	5.72	14.00	14.90	6.50	3.10	4.17	7.65	
Cr ₂ O ₃	33.84	53.82	53.38	55.45	57.55	60.84	39.78	54.01	37.05	57.52	57.52	44.6	62.65	49.92	47.70	62.00	63.55	42.44	61.17	
Fe ₂ O ₃	20.51	12.82	10.42	9.34	7.82	7.14	15.71	10.60	15.98	4.68	4.68	4.43	4.04	4.39	7.50	3.77	6.56	8.15	3.70	
FeO	33.58	18.38	19.67	16.35	11.51	15.32	31.18	19.49	29.12	14.39	14.39	19.69	15.00	18.55	15.75	13.71	12.46	2.037	13.84	
MnO	0.88	0.30	0.35	0.99	0.00	0.13	1.25	0.37	1.63	0.00	0.00	0.57	0.02	0.59	0.24	0.00	0.14	0.27	0.25	
NiO	0.24	0.00	0.00	0.45	0.10	0.05	0.20	0.00	0.28	0.59	0.59	0.20	0.32	0.00	0.27	0.04	0.00	0.37	0.33	
MgO	0.38	7.28	7.52	10.88	13.25	11.42	1.85	7.92	0.97	12.84	12.84	14.88	11.74	9.92	13.00	13.10	12.98	14.9	12.59	
CaO	0.01	0.04	0.03	0.00	0.00	0.15	0.11	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.10	0.00	0.14	0.19	0.19	
Na ₂ O	1.38	1.39	0.91	0.19	0.61	0.48	0.64	0.96	1.13	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.03	
K ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.06	0.03	0.00	
Total	101.83	101.23	98.988	100.42	100.09	101.38	99.81	100.46	96.99	100.47	100.47	99.73	100.20	98.09	100.74	99.80	99.91	99.75	100.30	
Si	0.011	0.008	0.016	0.013	0.016	0.015	0.030	0.016	0.019	0.015	0.015	0.201	0.011	0.019	0.032	0.013	0.015	0.279	0.014	
Ti	0.188	0.054	0.068	0.048	0.009	0.044	0.120	0.070	0.165	0.007	0.007	0.057	0.006	0.007	0.007	0.007	0.008	0.003	0.003	
Al	0.153	0.192	0.150	0.177	0.319	0.140	0.162	0.155	0.176	0.370	0.370	0.248	0.224	0.546	0.553	0.252	0.122	0.158	0.295	
Cr	0.951	1.435	1.464	1.470	1.473	1.592	1.132	1.454	1.082	1.471	1.471	1.192	1.644	1.305	1.188	1.613	1.676	1.077	1.581	
Fe ³⁺	0.549	0.325	0.272	0.236	0.191	0.178	0.426	0.272	0.444	0.114	0.114	0.107	0.101	0.186	0.178	0.093	0.165	0.197	0.091	
Fe ²⁺	0.998	0.518	0.571	0.459	0.312	0.424	0.938	0.555	0.900	0.389	0.389	0.526	0.416	0.513	0.415	0.377	0.348	0.547	0.378	
Mn	0.026	0.009	0.010	0.028	0.000	0.004	0.038	0.011	0.051	0.000	0.000	0.015	0.001	0.017	0.006	0.000	0.004	0.007	0.007	
Ni	0.007	0.000	0.000	0.012	0.003	0.001	0.006	0.000	0.008	0.015	0.015	0.005	0.009	0.000	0.007	0.001	0.000	0.010	0.009	
Mg	0.020	0.366	0.389	0.544	0.639	0.564	0.099	0.402	0.053	0.619	0.619	0.709	0.581	0.489	0.611	0.643	0.646	0.714	0.614	
Ca	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.005	0.004	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000	0.005	0.007	0.007	
Na	0.095	0.091	0.061	0.012	0.028	0.031	0.045	0.063	0.094	0.000	0.000	0.002	0.005	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	
名 称	硬铬尖晶石	铬铁矿	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	
本文分类	第1大类				第2大类				第3大类				第4大类				第6大类			
	规则八面体	八面体	三角形凹坑	肠状蚀象豆状蚀象	正三角形生长层	平行条带状生长层	不规则生长层	粗蚀象	微细坑状蚀象	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	硬铬尖晶石	反应边	

是上地幔矿物与金伯利岩岩浆处于不平衡状态在晶体上的反映;3)化学成分特征。金伯利岩岩浆结晶的铬铁矿以富钛为特征,捕虏晶铬铁矿则以低钛为特征。据此标准,表1分类中第1大类完全自形、无任何蚀象的尖晶石类为金伯利岩岩浆结晶产物,其它各类皆为捕虏晶。

据统计^[7],金伯利岩、钾镁煌斑岩中的铬铁矿分布模式在一定范围内呈分散分布。50号岩管中铬铁矿在 Cr_2O_3 — MgO 图(图2)中主要散布在 MgO 为6 wt%~18 wt%、 Cr_2O_3 30 wt%~70 wt%的范围内。在 Cr_2O_3 — TiO_2 图上散布于如图所示的三角形内,其3顶点分别为:(0 70),(0 30),(5.545)。含P型金刚石的金伯利岩其铬铁矿集中分布于三角形右边线上部,而且直达左上角顶点。如果是来自金伯利岩或钾镁煌斑岩的铬铁矿,在 Cr_2O_3 — TiO_2 图上要有分布于此三角形内的点,如有 TiO_2 含量达4 wt%~6 wt%的点出现就是比较典型的金伯利岩或钾镁煌斑岩(胡思颐,1991)。

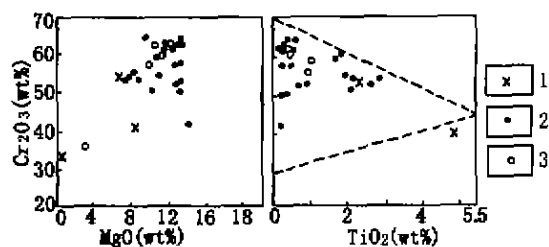


图2 辽宁复县50号岩管铬铁矿分布模式

1—原生晶;2—粗晶;3—具有包裹体的铬铁矿

Soblev 研究雅库特和平、艾哈尔、国际、成功等重要岩管的金刚石包裹体中的铬铁矿720个,其成分特征: Cr_2O_3 62 wt%~67 wt%, $\text{TiO}_2 < 0.7$ wt%, MgO 10 wt%~15.5 wt%^[8]。在 Al_2O_3 — Cr_2O_3 图(图3)中,她认为只要在砂矿中见到A区铬铁矿就可认为它是来自含金刚石金伯利岩。从50号岩管中铬铁矿的 Al_2O_3 — Cr_2O_3 关系图(图3)中可看出: Cr_2O_3 与 Al_2O_3 具有反消长关系。其中有4个是金刚石包裹体型铬铁矿,占具有各种蚀象铬铁矿总数的20%。 Cr_2O_3 含量大于60 wt%的铬铁矿有7个,占具有各种蚀象铬铁矿总数的35%。连生体和部分粗蚀象的成分点一般都落入A区。

Haggerty(1979)^[9]研究了许多岩石中的铬铁矿,发现金伯利岩中铬铁矿存在3种演化趋势:(1)由高 Cr^{3+} 向高 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 方向;(2)向高 Al^{3+} 方向(趋势2);(3)高 Al^{3+} 向高 Fe^{3+} 方向发展。表1分类中的具有生长层的铬铁矿,其生长层不是晶体连续结晶生长形成的,而是经过熔融后再生长形成的。从成

分上看(表2),生长层与其下主体铬铁矿成分差别很大,生长层为硬铬尖晶石,贫 Cr 、 Mg ,富 Fe^{3+} 、 Ti ,主体为铬铁矿。生长层与原生晶的化学成分相近,是金伯利岩岩浆结晶的产物。从主体→生长层与第1种趋势基本一致,代表岩浆氧逸度增大的过程。在50号岩管中发现有含顽火辉石和钠硅酸盐固熔体(NaPx-En)包裹体的铬铁矿,其中有的成分投影点接近于金刚石包裹体区(图3)。这些铬铁矿被认为来源于过渡层(410 km~670 km)。它们大部分呈浑圆状,表面有平行条带状生长层和由多期熔融作用形成的细微坑状等蚀象。因此,具有生长层的主体铬铁矿的形成环境与金刚石的形成环境一致,即结晶于较高温压和还原环境。

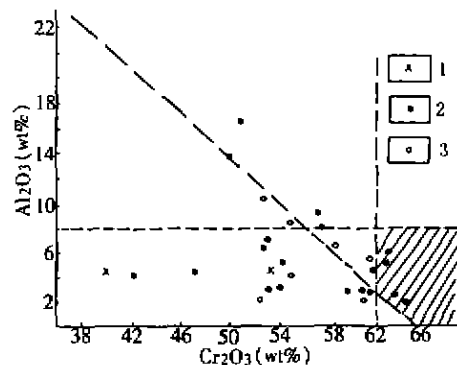


图3 辽宁复县50号岩管铬铁矿 Al_2O_3 — Cr_2O_3 关系图

1—原生晶;2—粗晶;3—具有包裹体的铬铁矿

3 结论

(1)金伯利岩中铬铁矿原生表面特征分为6大类,其成因有4种类型。

(2)区分粗晶与原生晶的重要标志是矿物是否具有原生表面特征。

(3)不规则连生体、具有生长层的主体铬铁矿及具有粗蚀象的铬铁矿,其形成环境可能与金刚石的形成环境一致,具有指示意义。

参考文献

- 1 Rinwood A E, Kesson S E. Origin of kimberlite and related magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, 1992, 113: 521~538
- 2 罗谷风. 结晶学导论. 北京:地质出版社, 1989: 25~42, 108~109
- 3 王濮, 潘兆椿, 翁玲宝, 等. 系统矿物学(上册). 北京:地质出版社, 1982: 65~91, 478~493
- 4 南京大学地质系岩矿教研室. 结晶学与矿物学. 北京:地质出版社, 1978: 347~350
- 5 Mitchell R H. 金伯利岩. 喻学惠, 胡海燕译. 武汉:中国地质大学出版社, 1991: 155~174
- 6 范志杰. 应用统计法作金刚石找矿中铬铁矿的属性判别. *四川地质学报*, 1992(2): 141~145

(下转第29页)

- analysis of De Long Mountain, Alaska, chert: an exploration tool for submarine exhalative deposits. Econ Geol, 1982, 77(2): 1761 - 1766
- 13 Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics - the model. Tectonophysics, 1981, 75: 135 - 162
- 14 徐晓春, 岳书仓, 刘因, 周涛发. 甘肃走廊南山朱龙关群的时代及其火山岩的岩石化学特征. 安徽地质, 1996, 6(4): 1 - 6
- 15 毛景文, 张招崇, 杨建民, 等. 北祁连山西段前寒武纪地层单颗粒锆石测年及其地质意义. 科学通报, 1997, 42(3): 1414 - 1417
- 16 孙海田. 古大陆边缘弧 - 槽 - 盆成矿系统之探讨. 矿床地质, 1996, 15(2): 192

GEOCHEMISTRY AND METALLOGENESIS OF THE HUASHUGOU COPPER (IRON) DEPOSIT IN THE NORTHERN QILIAN MOUNTAIN

Zhou Taofa, Yue Shucang

The studies on REE, trace elements, stable isotopes, fluid inclusions and geochronology indicate that the Huashugou copper (iron) deposit was formed in a submarine rift near continental margin. The ore-forming material came from the Proterozoic basic volcanic rocks, and S, C from sea water. The ore-forming material in the volcanic-sedimentary rocks was extracted and mobilized by deep circulating fluid, deposited on the submarine depression in the submarine exhalation process, and then enriched in the metamorphic process. It is originally a sedimentary-exhalation-metamorphic reformed copper (iron) deposit.

Key words geochemistry of ore deposit, sedimentary-exhalation metamorphic reforming process, copper (iron) deposit, Huashugou

第一作者简介:

周涛发 男, 1964年生。1986年毕业于长春地质学院, 1989年和1993年毕业于合肥工业大学资源与环境科学系分别获硕士和博士学位。现为合肥工业大学教授, 主要从事矿床学、岩石学、地球化学及资源环境评价方面的教学和科研工作。

通讯地址: 安徽省合肥市屯溪路193号 合肥工业大学资源与环境科学系 邮政编码: 230009



(上接第20页)

- 7 胡思颐. 当代金刚石找矿工作中的重砂法. 地质科技情报, 1991, (41): 125 - 133
- 8 张安棣, 谢锡林, 等. 金刚石找矿指示矿物研究及数据库. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 9 Haggerty S E. Spinels in high pressure regimes, the mantle sample: inclusions in kimberlites and other volcanics. America Geophysical Union, Washington D C, 1979

GENESIS OF REMNANT OF ORIGINAL SURFACE AND GENEAL CHEMICAL COMPOSITIONAL FEATURE OF CHROMITE FROM KIMBERLITE

Sun Guoli, Zhao Lei, Li Youzhi

Remnant of original surface (ROS) of chromite from kimberlite are divided into six groups. The paper gives reasonable explanation to its genesis and puts forward four genetic types. Moreover, the authors discuss and establish a preliminary relationship among ROS, chemical composition and diamond-bearing characteristics.

Key words chromite, kimberlite, genesis of remnant of original surface, general chemical, compositional feature

第一作者简介:

孙国利 男, 1970年生。1992年毕业于成都地质学院岩矿鉴定专业, 大专毕业。1997年毕业于中国地质大学岩石学专业, 获硕士学位。主要从事晶体生长及性能研究。

通讯地址: 北京市朝阳区西大望路21号 北京玻璃研究院 邮政编码: 100022

