

金刚石物理特性与成矿能量的关系

赵亨达

(辽宁省地质实验研究所)

摘要 本文通过热力学关系的分析,得出矿物成矿能量是成矿体系的内能这一结论,指出影响金刚石成矿能量大小的主要因素是温度和压力的差异。据对山东常马庄、西峪矿带金刚石和辽宁金刚石的晶体形态、颜色、粒度、半导体特性等物理性质与成矿能量关系的研究,探讨了成矿能量对矿物物理性质的影响,并揭示了金刚石成矿能量愈高,岩体含矿性越好的规律。

同种矿物物理性质的差异,反映了矿物成矿条件的不同;而影响矿物物理性质的最主要条件则是成矿能量,即成矿体系的内能,它与成矿时体系所具有的温度和压力密切相关。反之,通过对同种矿物物理性质差异的研究,可以推测出矿物成矿能量的大小和含量的高低。

1 成矿能量

本文把矿床形成时成矿体系所具有的能量称为成矿能量,它仅取决于成矿体系所处的状态,而与过程无关。成矿能量是成矿体系内部能量的总和,也称内能。从热力学角度来看,内能是 T 、 P 、 n 的函数,其表达式^[1]:

$$U = f(T \cdot P \cdot n). \quad (1)$$

式中: T —温度; P —压力; n —数量;

U —成矿体系内能(即成矿能量)。

由公式(1)看出,成矿能量与温度、压力密切相关。

本文还把形成矿物时各种物质相互作用的体系称作成矿体系。并把它作为热力学体系来研究。由于成矿体系的绝对内能是不易测量也不好比较的,故采用相对内能大小来衡量。这里把室温室压时的体系内能作为 U_1 ,成矿时的体系内能作为 U_2 ,则内能变化为 $\Delta U = U_2 - U_1$ 。根据 ΔU 的相对大小,可以比较矿物成矿能量的相对高低。根据热力学第一和第二定律的联合公式:

$$dU = TdS - PdV - \delta W'. \quad (2)$$

式中: S —熵; V —体积;

W' —除压力体积功以外的功;

U 、 T 、 P 见公式(1)说明。

本文 1995—03—14 收到,1996—01—18 改回。

由公式(2)看出,在其它条件不变的情况下,温度越高,成矿体系的内能增量 ΔU 越高,即成矿能量越高。因此,对相同的成矿体系而言,温度越高,成矿能量就越高。

关于压力对内能增量的影响,需视是体系对外做功(减少内能)还是环境对体系做功(增加内能)而定。若为等容变化,则 $P\Delta V=0$,因而压力对成矿能量就无影响。对金刚石而言,压力增大使成矿体系的内能增大,成矿能量增高。

2 山东常马庄与西峪矿带成矿能量的比较

2.1 形成金刚石的温度与压力关系公式

金刚石可以由石墨转变而成,因此,研究石墨与金刚石的相对稳定场有着重要意义。考虑到温度对反应热容的影响, ΔC_p 应为温度的函数。若假定 ΔV 与 T, P 无关(ΔV 恒定),据热力学关系,则对任意指定的温度与压力下的反应自由能应写作:

$$\Delta G_r^p = \Delta H_r^p - T\Delta S_r^p + P\Delta V_{r,0}^p \tag{3}$$

式中: G —自由能; H —热函。

由热力学公式(3)可推导出 600K 温度以下的 $T-P$ 关系曲线和 600K 以上的 $T-P$ 关系直线^[2](图 1)。600K 以上 $T-P$ 关系公式为:

$$P = 7891 + 22.2T. \tag{4}$$

由图 1 曲线 2 看出,金刚石形成时的温度、压力对体积变化(ΔV)的影响不大,因而公式(4)可作为金刚石形成时的温度与压力关系公式。由于石墨转变为金刚石的实际体积变小,因而压力体积功($P\Delta V$)起着增加内能的作用,即压力越大,成矿能量就越高。若将石墨—金刚石的平衡曲线与代表平均地温梯度的曲线比较,则可看出在正常条件下绝无金刚石产出。因此,金刚石是高温、高压、高能量的产物。

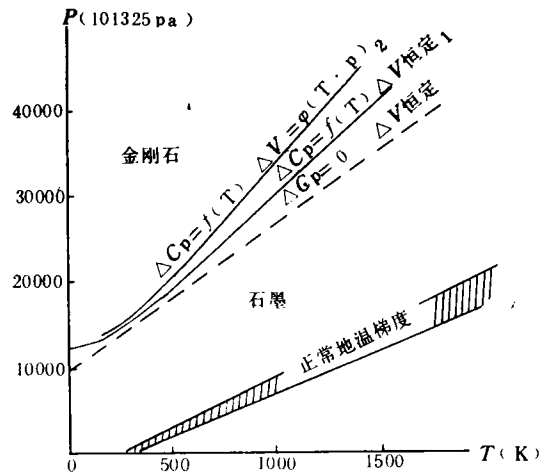


图 1 石墨—金刚石平衡图解

Fig. 1 Graphite—Diamond Equilibrium Diagram

2.2 常马庄矿带与西峪矿带的成矿温度和压力

已有的资料表明^[3](表 1),常马庄矿带金伯利岩形成时压力为 4968—9964MPa,西峪矿带金伯利岩形成时压力为 2987—7175MPa。常马庄矿带的成矿压力大于西峪矿带的成矿压力。由于金伯利岩形成时的温度和压力关系暂无数学公式表达,因而借用公式(4)大致进行推算。用公式(4)计算出常马庄矿带金伯利岩形成温度为 1882K—4133K,而西峪矿带金伯利岩形成温度为 990K—2876K,即常马庄矿带成矿温度远大于西峪矿带成矿温度。

表1 山东金刚石颜色与成矿能量的关系

Table 1 The Relationship between the Color of Diamond and Mineralization Energy of Shandong Diamond

矿带	颗粒百分含量(%) [*]				重量百分含量(%) ^{**}			成矿压力(MPa)	半导体金刚石含量(%)	金刚石相对含量
	无色	微黄色	浅棕黄色	其它	镁铝榴石 (10 ⁻³ ·%)	铬铁矿 (10 ⁻³ ·%)	铬透辉石 (10 ⁻³ ·%)			
常马庄	36.43	52.47	6.27	4.83	13.0	8.0	2.0	4968—9964	30.8	400
西峪	75.44	19.95	4.11	0.50	0.3	5.8	0.2	2987—7175	13.5	40

* 据山东地质七队资料,常马庄矿带为开采数据,西峪矿带为勘探数据。

** 据《金刚石的普查与勘探》[4]第191页。

由表1可看出,常马庄矿带所含的高温高压标型矿物,如含铬高的镁铝榴石、铬高铝低的铬铁矿及含铬高的铬透辉石,其含量都大于西峪矿带。这说明常马庄矿带的成矿温度和压力均大于西峪矿带,也证实了借用公式(4)计算的结论基本上是正确的。由此可以推论:形成常马庄矿带岩浆的温度和压力远大于形成西峪矿带岩浆的温度和压力。由于金刚石是在金伯利岩岩浆内结晶的,故常马庄矿带的成矿能量应大于西峪矿带。

3 金刚石半导体含量与成矿能量的关系

用辽宁省地质实验研究所研制的天然金刚石半导体测试仪^[5],对常马庄矿带172颗金刚石进行测试,共测出半导体金刚石53颗,占选送金刚石含量的30.8%;对西峪矿带155颗金刚石测试的结果,其中半导体金刚石仅21颗,占选送金刚石含量的13.5%(表1)。显然,常马庄矿带的半导体金刚石含量远大于西峪矿带。由于杂质进入金刚石晶格形成半导体金刚石比生成绝缘体金刚石需要更高的能量,因而进一步证明了常马庄矿带的成矿能量远大于西峪矿带。由表1还可以看出,常马庄矿带金刚石相对含量为400,而西峪矿带金刚石相对含量为40。这说明成矿能量高的矿带,金刚石的含量也高。

4 金刚石颜色与成矿能量的关系

由表1看出,成矿能量高的常马庄矿带,微黄色金刚石占52.47%,浅棕黄色占6.27%,其它颜色占4.83%,有色金刚石共占63.57%;而成矿能量低的西峪矿带,有色金刚石仅占24.56%,无色透明金刚石则占75.44%。可见有色金刚石含量愈高,金刚石成矿能量愈高,金刚石的品位也愈高;而无色金刚石含量愈高,则成矿能量愈低,金刚石的品位也愈低。

金刚石的染色属于半导体的能带机制。纯净的金刚石禁带宽度为5.7eV,大于可见光

的最大值(紫端),所以光能够全部透过金刚石而不被吸收,矿物呈无色透明。当杂质进入金刚石晶格结构中并产生小于禁带宽度的施主能级或受主能级时,假如它们处于可见光的能级范围内,金刚石便对其某些波长的光产生吸收,从而产生各种颜色。

杂质进入金刚石晶格需要能量。成矿能量愈高,各种杂质进入金刚石晶格结构的几率就愈大,产生五颜六色金刚石就愈多。所以有色金刚石含量多少就成为衡量金刚石成矿能量高低的重要标志。

5 金刚石晶形与成矿能量的关系

由表 2、表 3 看出,金刚石品位较高的金伯利岩岩管或矿带,其金刚石的晶形一般以曲面菱形十二面体为主,无论是辽宁还是山东都是如此,具有共性。

表 2 辽宁金刚石晶形统计表(%)

Table 2 Statistics of Diamond Crystal Forms in Liaoning(%)

金刚石含量 岩体	晶体特征	平面八面体	阶梯状八面体	八面体和曲面菱形十二面体聚形	曲面菱形十二面体	其它
高品位岩体		1.56	33.31	25.00	38.69	1.44
中品位岩体(1)		1.36	49.30	28.26	18.31	2.77
中品位岩体(2)		1.41	57.15	5.85	11.84	23.75
低品位岩体		90.00	3.00	5.90	1.00	0.1

注:据辽宁地矿局地质六队资料。

表 3 山东金刚石晶形统计表(%)

Table 3 Statistics of Diamond Crystal Forms in Shandong(%)

金刚石含量 矿带	晶体特征	平面八面体	阶梯状八面体	八面体和曲面菱形十二面体聚形	曲面菱形十二面体	其它
常马庄矿带 (高品位)		1.86	37.81	5.28	54.96	0.09
西峪矿带 (低品位)		3.65	64.16	4.59	27.54	0.06

注:据山东地矿局地质七队资料,常马庄矿带为开采数据,西峪矿带为勘探数据。

金刚石晶形与成矿能量的关系极为密切。山东常马庄矿带成矿能量大于西峪矿带,故前者的金刚石以曲面菱形十二面体为主,其含量远大于西峪矿带。这说明曲面菱形十

二面体为高成矿能量的产物,以该晶形为主的岩体,由于成矿能量高,因此金刚石含量也高。两地的统计结果显示各晶形间的成矿能量大小有如下规律:曲面菱形十二面体>八面体和曲面菱形十二面体聚形>阶梯状八面体>平面八面体。辽宁的低品位金伯利岩岩体,平面八面体含量占90%,与其对应的成矿能量最低。因此,含矿性与成矿能量的关系为:高品位岩体成矿能量>中品位岩体成矿能量>低品位岩体成矿能量。可见,岩体的成矿能量对矿物的晶形和品位有着很大影响。反之,矿物的晶形也能反映成矿时的相对能量大小,进而确定品位高低。

6 金刚石粒级大小与成矿能量的关系

由表4可以看出,成矿能量高的常马庄矿带,其大粒级金刚石含量比成矿能量低的西峪矿带要高,如常马庄矿带1毫米粒级以上的金刚石含量为39.92%,而西峪矿带仅22.03%。这说明只有在较高的成矿能量下,才易于形成较大粒级金刚石。辽宁粒级统计结果也证实了这一点。

表4 金刚石粒级统计表(%)

Table 4 Statistics of Diamond Size Fractions(%)

矿带或岩体 金刚石粒级 (mm)	山 东		辽 宁	
	常马庄矿带 (高品位)	西峪矿带 (中品位)	高品位岩体	中品位岩体
-8 +4	0.21	0.12	6.29	0.47
-4 +2	5.37	1.98	23.44	6.79
-2 +1	34.34	19.93	30.46	15.13
-1 +0.5	60.08	77.97	20.08	24.80
-0.5 +0.2	—	—	19.73	52.81

注:常马庄矿带为开采数据,西峪矿带为勘探数据。

陆慕孙等^[6]对山东胜利1号岩管2520颗金刚石的研究结果表明:曲面菱形十二面体、八面体与曲面菱形十二面体聚形含量随颗粒变小而减少,八面体则随颗粒变小而增多;金刚石粒度越小,无色透明者越多,平面八面体也越多;在无色金刚石中,平面八面体占87%。这充分说明了粒度、晶形、颜色与成矿能量关系的一致性。曲面菱形十二面体和八面体与曲面菱形十二面体聚形的金刚石含量多,反映其成矿能量高,而平面八面体金刚石含量多则表明其成矿能量低。因此金刚石粒度越大,表明其成矿温度越高、压力越大。

7 结论

通过对金刚石的颜色、半导体特性、晶形及粒度等与其成矿能量关系的研究, 可以得出如下结论:

(1) 在同一地区, 金刚石成矿能量与金伯利岩岩体含金刚石品位的的关系为: 高品位岩体成矿能量 > 中品位岩体成矿能量 > 低品位岩体成矿能量。

(2) 金刚石的物理特性与成矿能量的关系见表 5。

表 5 金刚石物理特性与成矿能量的关系

Table 5 The Relationship Between Diamond's Physical Properties and Mineralization Energy

金刚石物理特性	相对含量	成矿能量	高成矿能量 金刚石	低成矿能量 金刚石
	颜色	有色		高
	无色透明		低	高
晶体形态	曲面菱形十二面体及其聚形		高	低
	平面八面体		低	高
粒度	大粒度(1mm 粒度以上)		高	低
	小粒度(1mm 粒度以下)		低	高
导电性	半导体金刚石		高	低
	绝缘体金刚石		低	高

* 有色金刚石不包括黑色、灰黑色及机械混入杂质形成的颜色。

(3) 矿物的成矿能量是成矿体系内部能量的总和, 是成矿体系的内能。对金刚石而言, 温度愈高、压力愈大则成矿能量愈高, 因而温度、压力的相对大小, 是金刚石成矿能量相对高低的一种衡量标志。

本文撰写过程中得到赵秀英等同志的大力帮助, 作者在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 南京大学物理化学教研组, 1961, 物理化学(上册)。人民教育出版社。
- [2] 饶纪龙, 1979, 地球化学中的热力学。科学出版社。
- [3] 胡思颐, 1985, 蒙阴金伯利岩的形成温度和压力。山东地质, 第 1 卷, 第 1 期。
- [4] 金刚石的普查与勘探编写组, 1977, 金刚石的普查与勘探。地质出版社。
- [5] 赵亨达, 1987, 金刚石半导体性能的测试。矿物学报, 第 2 期。
- [6] 陆慕孙等, 1986, 山东胜利一号岩管金刚石的成因。河北地质学院学报, 第 2 期。

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE DIAMOND'S PHYSICAL AND ENERGY OF MINERALIZATION

Zhao Hengda

(Liaoning Institute of Geological Experiment, Shenyang)

Abstract

In the article, through the analysis of thermodynamics, a conclusion is drawn that the energy of mineralization is the internal energy of the mineralization system. The temperature and pressure are primary factors that influence energy of mineralization of diamond. Studied the relationship between the physical properties characterization, (such as the crystal form, size, color, semiconductive character) of diamonds from the Changmazhuang and Xiyu ore zones in Shandong and in the ore zone Liaoning and the mineralization energy; and further explored the influence of the energy of mineralization on the physical properties of diamonds. It is suggested that the higher of the energy of mineralization, the better of ore—containing level of rock body.