

西澳阿盖尔(Argyle)矿床

——全球最大的钾镁煌斑岩型金刚石矿床*

孙朋飞^{1,2}, 江思宏^{2* *}, 白大明², 韩 宁², 康 欢²

(1 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国地质科学院矿产资源研究所
国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

澳大利亚是世界上主要的天然金刚石生产大国。目前,澳大利亚主要开采金刚石的矿山是西澳的阿盖尔(Argyle)和艾伦达尔(Ellendale)2 座矿山,但产能几乎都来自阿盖尔矿山。在 2014 年,阿盖尔矿山生产了 1000 万克拉金刚石,约占世界产能的 15.3%(U. S. Geological Survey, 2015)。

阿盖尔矿床含金刚石钾镁煌斑岩岩筒位于西澳金伯利克拉通以东,距库努纳拉以南约 100 km 处,地理坐标: 16°42'S, 128°23'E(Boxer et al., 1990)(图 1)。该矿床发现于 1979 年,已探明的矿石资源量为 61 Mt,品位为 6.8 克拉/吨,金刚石资源量 4.15 亿克拉;推测矿石资源量 14 Mt,品位 6.1 克拉/吨,金刚石资源量 8500 万克拉(Boxer et al., 1990)。

1 成矿环境

阿盖尔金刚石矿床位于澳大利亚北澳克拉通的西部,金伯利克拉通与 Sturt 地块之间的 Halls Creek 造山带的东部边缘(Boxer et al., 1990)(图 1)。该造山带走向为 NNE 向,长 400 km,宽 100 km,分布着古元古代到晚古生代的变形变质沉积岩、火山岩及大量的花岗岩和层状的基性-超基性侵入岩。

Halls Creek 造山带最初的变质变形时间发生在 1865~1805 Ma,后来又经历了多期构造变形,使得该造山带的基底在造山作用之后保留下来的较少。在 Halls Creek 造山带东部区域 1910 Ma 的火山岩之

上不整合沉积了一套砂岩,最老的碎屑锆石年龄为 2.4~3.6 Ga,表明该地区存在太古宙基底(Luguet et al., 2009)。

2 钾镁煌斑岩岩筒地质特征

阿盖尔矿区的钾镁煌斑岩岩筒岩性复杂,主要由“砂质”凝灰岩、“非砂质”凝灰岩和钾镁煌斑岩岩墙组成。“砂质”凝灰岩形成过程中交代地层中的石英颗粒,由复成分的钾镁煌斑岩、火山角砾-火山灰凝灰岩以及粗粒火山灰组成。“非砂质”凝灰岩为单一成因的火山碎屑和碎的橄榄石钾镁煌斑岩组成。钾镁煌斑岩岩墙零星分布,且厚度较小,侵入到火山碎屑岩中。岩筒中金刚石的含量变化较大,北部为 2~3 克拉/吨,而南部为 24 克拉/吨(Boxer et al., 1990)。通常来说,岩筒中“砂质”凝灰岩的金刚石品位较高(Boxer et al., 1990)。

钾镁煌斑岩原生矿物主要有橄榄石、金云母、辉石、假白榴石、长石等;副矿物有尖晶石、碳酸盐矿物、钛酸盐矿物、榍石等;并多已发生蛇纹石化、滑石化、蒙脱石化、碳酸盐化等蚀变。它的岩石化学特征是具高的 K₂O 含量以及 K₂O/Na₂O(>10)比值,强烈富集不相容元素(K、Rb、Sr、Ba、Pb、Th、Nb、Ta、Hf、Ti、P)和轻稀土元素(Jaques et al., 1986)。

岩筒中金云母 Rb-Sr 等时线年龄为(1178±47) Ma,岩筒的形成时代为中元古代晚期,表明岩筒是

* 本文得到中国地质大调查项目(编号:1212011120325)资助

第一作者简介 孙朋飞,男,1991 年生,硕士研究生,矿床学、矿物学、岩石学。Email: 1453940880@qq.com

* * 通讯作者 江思宏,男,1968 年生,研究员,博士生导师,主要从事金属矿床成矿规律研究。Email: jiangsihong1@163.com

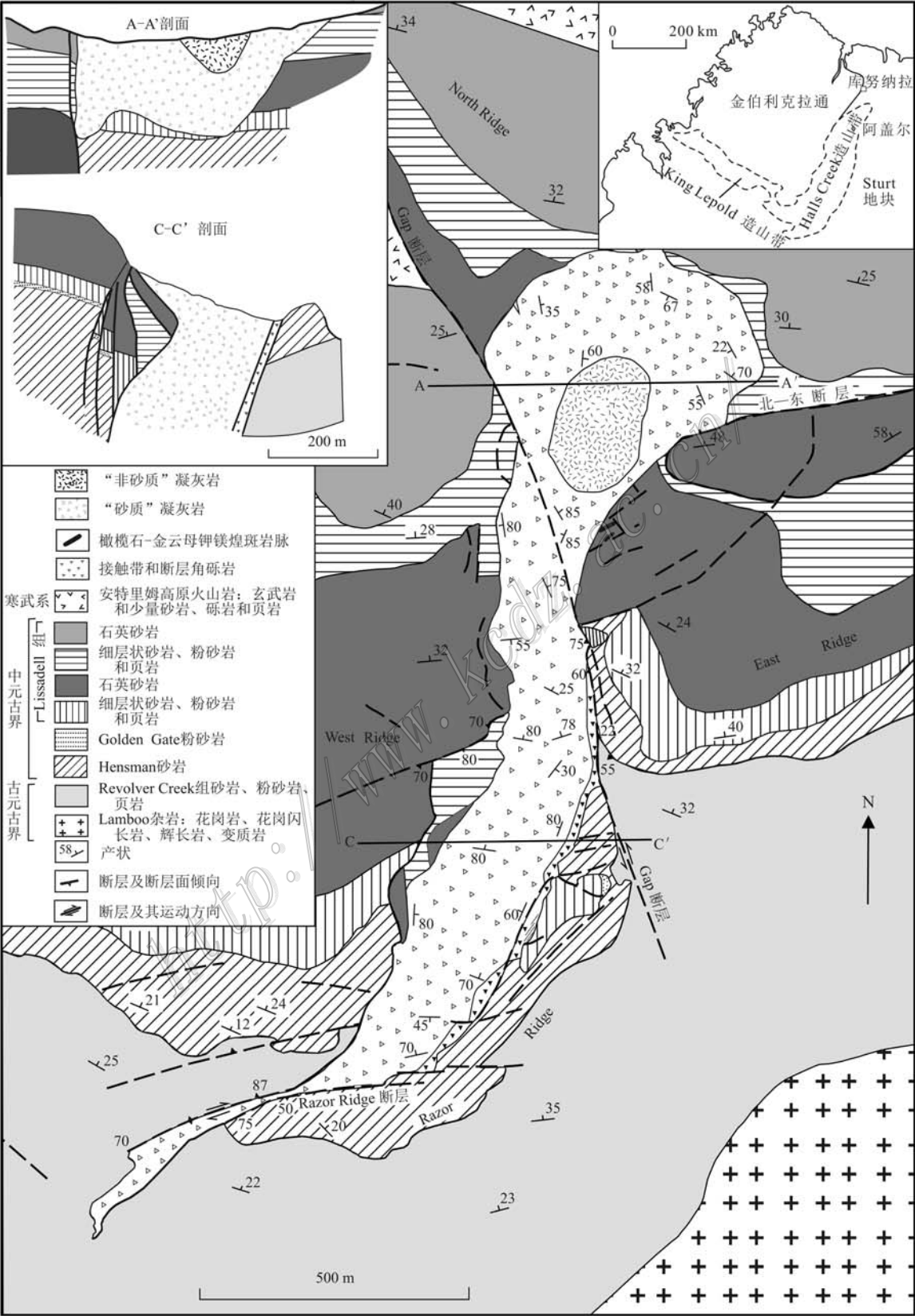


图 1 西澳阿盖尔金刚石矿床地质简图(引自 Boxer et al., 1990)

在 Halls Creek 造山带经历主要的造山运动约 700 Ma 之后沿断裂侵位形成的(Pidgeon et al., 1989)。通过火山碎屑岩的形态以及呈层状产出的凝灰岩、堆积的火山砾和逃逸水等特征判断, Argyle 岩筒是橄榄石钾镁煌斑岩岩浆遇到地下水形成的多期次蒸气岩浆喷发的火山通道(Boxer et al., 1990)。形成的钾镁煌斑岩可分为 4 个相带, 分别为熔岩相、火山口及火山通道相、半深成相和深成相, 主要含金刚石的“砂质”和“非砂质”凝灰岩分布在火山口及火山通道相中(Mitchell et al., 1991)。

3 矿床地质

在平面上, 含金刚石的岩筒近似南北走向, 呈长条状展布, 延长约 2 km, 宽为 150~500 m, 地表出露面积达 0.47 km²(图 1)。地表的轮廓类似蝌蚪形状, 北部为放大的“头部”, 南部为窄小瘦长的“尾巴”。在纵向上, 矿体较陡, 岩筒主要沿着 Gap 和 Razor Ridge 断裂侵入, 局部向北倾斜 30°, 可能是由于两个或多个火山口连接起来造成的。

岩筒北部似“碗状”的“砂质”凝灰岩, 内部为椭圆形的“非砂质”凝灰岩, 二者总宽度可达 500 m。岩筒东部与围岩接触带向西倾 75°, 岩筒西部由北向南, 从向西倾 60°过渡到近于直立。岩筒南部为 Razor Ridge 断层错断窄的矿体, 作为主矿体向南的延伸。在岩筒中心和南部深达 300 m 的钻探表明, 主矿体在其长度方向上向深部一直向下打开(Boxer et al., 1990)。

金刚石产在年轻的火山碎屑中, 主要呈颗粒状产在凝灰岩的基质中, 少部分出现在橄榄岩捕虏体中(Boxer et al., 1990; Luguët et al., 2009)。阿盖尔矿区内的金刚石被认为是岩石圈地幔的捕虏晶, 虽然只发现了橄榄岩捕虏体, 但是金刚石中大量的榴辉岩型的包裹体说明榴辉岩捕虏体可能就在下伏岩石圈地幔中。根据金刚石中同生包裹体和捕虏体种类将金刚石分为 2 种类型, 分别是榴辉岩型和橄榄岩型(Jaques et al., 1986; Mitchell et al., 1991)。阿盖尔地区的金刚石主要来自钾镁煌斑岩中的榴辉岩包体, 少量来自橄榄岩捕虏晶(Luguët et al., 2009)。对 Argyle 金刚石等级进行分类, 宝石级占 5%, 工业级占 25%, 其余为介于二者之间的近宝石级金刚石。单个金刚石颗粒质量平均 < 0.1 克拉(约 0.8 mm), 最大的金刚石晶体质量为 42.6 克拉。金刚石形状

多为不规则状(>60%), 少部分为双晶、正八面体和十二面体等(Shigley et al., 2001)。其中风化和磨蚀形成尖锐边部的金刚石多为橄榄岩型金刚石, 相反, 具磨圆、改造的十二面体为榴辉岩型金刚石(Mitchell et al., 1991)。绝大多数金刚石颜色为棕色到无色, 也有少数呈黄色、浅蓝色、粉红色和绿色等(Shigley et al., 2001)。

4 成矿作用

一般认为金刚石形成要有足够的碳源、形成和储备金刚石的热动力条件、金刚石运移到地表的通道和载体。Jaques 等(1989)通过对阿盖尔大量的金刚石研究发现, 榴辉岩型金刚石的 $\delta^{13}\text{C}$ 强烈亏损, $\delta^{13}\text{C}$ 为 -5‰ ~ -16‰ , 而橄榄岩中的包裹体则处于 -4‰ ~ -9‰ , 多数为 -5‰ ~ -6‰ , 接近地幔 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值(约 -5‰)。因此, 阿盖尔榴辉岩型金刚石中的碳同位素具壳幔混源的特征, 而橄榄岩中的碳则来源于原始地幔。惰性气体和 He、Ar 同位素特征也显示阿盖尔金刚石的源区有沉积物质循环进入到地幔中。

阿盖尔橄榄岩捕虏晶形成于地幔, 靠近岩石圈底部, 而榴辉岩的形成深度比橄榄岩更深(Richardson, 1986)。阿盖尔榴辉岩型金刚石包裹体的形成温度是 1140~1350 °C(平均 1245 °C), 压力为 6~7.2 GPa, 形成深度位于岩石圈地幔的下部(Jaques et al., 1989)。Jaques 等(1989)根据包裹体的组合和碳同位素特征, 指出阿盖尔榴辉岩型金刚石形成于元古宙岩石圈底部俯冲的洋壳。

阿盖尔矿床钾镁煌斑岩的侵位年龄为 1178 Ma(Pidgeon et al., 1989), 该年龄小于榴辉岩型金刚石中的石榴子石和单斜辉石包裹体获得的 Sm-Nd 等时线年龄((1580 ± 60) Ma; Richardson, 1986), 同时也远远小于含金刚石橄榄岩捕虏晶的年龄, 其 Re-Os 年龄为 2.2~3.1 Ga(Luguët et al., 2009)。钾镁煌斑岩原始岩浆在上升过程中捕获了早先形成的太古宙—古元古代橄榄岩捕虏晶和中元古代含金刚石的榴辉岩, 沿着一定的通道侵位到地表, 从而形成金刚石矿床。

在成矿模式上, Jaques 等(1986)认为金伯利岩的岩浆是在地幔深部形成的碳酸盐金云母橄榄岩的小体积部分熔融体, 金伯利岩的源区可能有这些元素的矿物相, 或者存在一种富含不相容元素的熔体

或流体,钾镁煌斑岩应该类似于金伯利岩的地幔源,富集不相容元素。Mitchell 等(1991)认为钾镁煌斑岩源区是由方辉橄榄岩部分熔融形成的,而非二辉橄榄岩。但是,通过对西澳金伯利地区捕虏岩的更多详细的研究,也有不少学者认为该区的钾镁煌斑岩主要是由地幔深部的二辉橄榄岩部分熔融产生,并含有少量的方辉橄榄岩(Jaques et al., 1986; Luguët et al., 2009; Smit et al., 2010)。

5 找矿标志

以阿盖尔含金刚石的钾镁煌斑岩的特征为找矿标志,总结出如下一些特点:

(1) 产出环境上,金刚石矿床不局限于克拉通内及其边缘,也可以形成于造山带;

(2) 产出形态上,阿盖尔钾镁煌斑岩岩筒的产状垂向上为岩筒状,平面上为沿断裂产出的长条状,与南非典型的金伯利岩岩筒的模式有明显差别;

(3) 矿物学方面,含矿的钾镁煌斑岩除含有石榴石外,还含有其他一些金伯利岩中非典型的矿物相,特别是钾碱镁闪石、红柱石等;

(4) 地球化学方面,含矿的钾镁煌斑岩属超钾质($K_2O/Na_2O > 3$)和过碱性($(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 > 1$)岩类,强烈富集不相容元素和轻稀土元素,具有高 Mg、Cr、Ni 等来源于地幔超基性岩浆, Rb 相对 Sr、Nd 相对 Sm 富集,指示源岩具有 Rb/Sr 和 Nd/Sm 富集作用的幔源特征。

6 初步结论

阿盖尔钾镁煌斑岩金刚石矿床分布面积小、矿石品位高、资源量大,是全球最大的钾镁煌斑岩型金刚石矿床。该矿床产于造山带内,与典型的金伯利型金刚石矿床位于克拉通内形成了鲜明对比,对于

中国这样一个造山带比较发育的国家寻找钾镁煌斑岩型金刚石矿床具有一定的借鉴意义。

References

- Boxer G L and Jaques A L. 1990. Argyle (AK1) diamond deposit[A]. In: Hughes F E, ed. Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea[C]. 697-706.
- Jaques A L, Lewis J D and Smith C B. 1986. The kimberlites and lamproites of Western Australia[M].
- Jaques A L, Hall A E, Sheraton J W, Smith C B, Sun S S, Drew R M and Ellingsen K. 1989. Composition of crystalline inclusions and C-isotopic composition of Argyle and Ellendale diamonds[J]. Kimberlites and Related Rocks, 2: 966-989.
- Luguët A, Jaques A L, Pearson D G, Smith C B, Bulanova G P, Roffey S L, Rayner M J and Lorand J P. 2009. An integrated petrological, geochemical and Re-Os isotope study of peridotite xenoliths from the Argyle lamproite, Western Australia and implications for cratonic diamond occurrences[J]. Lithos, 112: 1096-1108.
- Mitchell R H and Bergman S C. 1991. Petrology of lamproites[M]. Springer Science & Business Media.
- Pidgeon R T, Smith C B and Fanning C M. 1989. Kimberlite and lamproite emplacement ages in Western Australia[J]. Kimberlites and Related Rocks, 1: 382-391.
- Richardson S H. 1986. Latter-day origin of diamonds of eclogitic-paragenesis[J]. Nature, 623-626.
- Shigley J E, Chapman J and Ellison R K. 2001. Discovery and mining of the Argyle diamond deposit, Australia[J]. Gems & Gemology, 37 (1): 26-41.
- Smit K V, Shirey S B, Richardson S H, Roex A P and Gurney J J. 2010. Re-Os isotopic composition of peridotite-sulphide inclusions in diamonds from Ellendale, Australia: Age constraints on kimberley cratonic lithosphere[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 74 (11): 3292-3306.
- U.S. Geological Survey. 2015. Mineral commodity summaries[M]. U. S. Geological Survey, 51.