

混合岩化型刚玉的产出特征

——以河北阜平刚玉为例

宋 双^{1,2}, 施光海²

(1. 北大宝石鉴定中心, 北京 100871; 2. 中国地质大学 珠宝学院, 北京 100083)

摘要: 以河北阜平地区刚玉为例, 对混合岩化型刚玉的产出特征和成因进行了论述。采用矿物学、岩石学和地球化学等研究方法, 详细描述了阜平刚玉的矿物伴生组合、矿物之间的关系、结构、矿物形成的先后顺序等, 并探讨该区刚玉形成机理。该处刚玉的粒度普遍较大, 其伴生矿物主要有钾长石、斜长石、黑云母、白云母、夕线石、金红石、绿泥石、磁铁矿、钛铁矿、磷灰石等。根据岩相学特征推测该处刚玉是在片麻岩发生混合岩化过程中, 形成富铝质的熔浆结晶而成。讨论了混合岩化型刚玉的宝石学意义, 该类刚玉部分可以达到宝石级, 但很难达到精品级。若进行规模开发利用, 可能需要进行有针对性的优化处理。

关键词: 刚玉; 混合岩化; 产出特征; 形成机理; 阜平

中图分类号: P619.24⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)S1-0140-07

Occurrence characteristics of the migmatite corundum: A case study of corundum from Fuping, Hebei Province

SONG Shuang^{1,2} and SHI Guang-hai²

(1. Gems Appraisal Center of Peking University, Beijing 100871, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The corundum in Fuping area of Hebei Province was taken as the studied object to probe into the occurrence characteristics and genesis of migmatite corundum. The mineral paragenetic association, texture and paragenetic sequence of minerals of corundum were investigated by means of mineralogy, petrology and geochemistry, and the formation mechanism of corundum in this area was discussed. The size of the corundum is generally large, and the associated minerals are mainly K-feldspar, plagioclase, biotite, muscovite, sillimanite, rutile, chlorite, magnetite, ilmenite, and apatite. According to petrographic characteristics, it is inferred that the corundum was formed by crystallization of aluminum-rich magma in the process of migmatization. The gemological significance of the migmatite corundum was studied, and the result shows that the migmatite corundum can reach the gem grade, although it is difficult for this mineral to achieve the fine grade. The large-scale development and utilization of this mineral should implement targeted improvement and treatment.

Key words: corundum; migmatization; occurrence characteristics; formation mechanism; Fuping

刚玉是一种很重要的矿物, 在多种类型岩石中可见, 其温压稳定性范围较宽 (Simonet *et al.*, 2008), 在大气压条件下可在铝土矿中产出, 高压条件下, 可作为一种高压相矿物出现在钻石矿 (Watt,

1994) 或榴辉岩 (Dawson, 1968; Lasnier, 1977) 中。其成因类型有岩浆岩型 (Coenraads, 1992; Deer *et al.*, 1992; Robertson and Sutherland, 1992; Klein and Hurlbut, 1993)、大理岩型 (Kane *et al.*, 1991; Kane

收稿日期: 2016-10-20; 修订日期: 2016-11-14

作者简介: 宋 双 (1990-), 女, 宝石学专业硕士研究生, 主要从事珠宝教育和科研工作, E-mail: 761419295@qq.com。

and Kammerling, 1992; Muhongo and Errera, 1993; Peretti *et al.*, 1996; Hauzenberger *et al.*, 2003)、伟晶岩型(Peretti *et al.*, 1990)、矽卡岩型(Silva and Siriwardena, 1988; Schwarz *et al.*, 1996; Simonet, 2000)、深熔型(混合岩化型)等(Simonet *et al.*, 2008)。次生矿的类型主要为砂矿型和残坡积型(Laurs, 2000; Garnier *et al.*, 2004), 几乎所有原生矿床都有相对应的次生矿床。

其中, 混合岩化型刚玉通常产于富铝质混合片麻岩中。世界上著名的该类矿床主要有马达加斯加的 Gorogoro 红宝石矿床。此外, 在美国、坦桑尼亚、斯里兰卡、印度和我国河北太行山等地亦有此类矿床(王礼胜等, 2001)。由于混合岩化型刚玉在全球的产出并不多, 有关研究资料相对匮乏。河北阜平地区刚玉矿目前还没有引起足够的重视, 现今主要受矿物晶体爱好者所关注, 其成因、用途以及应用前景等的认识目前还不十分明晰。本文尝试对刚玉及其寄主岩石进行详细岩相学分析, 讨论深熔型混合岩化作用形成的刚玉的产出特征和成因机制, 并做宝石学评价。

1 地质背景

河北阜平隆起区位于华北地台中的太行山变质

—岩浆构造带北段, 总体上是一个呈 NE 向展布的变质核杂岩构造。该构造以阜平为中心核部, 分布着太古宙阜平群变质岩系。阜平群由一套经受中至深度区域变质作用和混合岩化作用的岩石组成, 它们岩石类型如下: 片麻岩、少量浅粒岩、大理岩、斜长角闪岩和磁铁角闪石英岩等, 其中主要为副变质岩。根据《河北阜平地区 1:20 万区域地质调查报告》, 依据岩石组合和原岩沉积特征将阜平群划分为 6 个组, 由老到新依次是: 索家庄组、团泊口组、南营组、漫山组、木厂组、四道河组, 各组之间为整合接触。在阜平群的外围分布有绿片岩相—角闪岩相的五台群变质岩系和滹沱群的浅变质—未变质地层。

在阜平隆起区, 刚玉矿点数量较多, 据不完全统计已有 17 个矿点(王礼胜等, 1998)。共对桃花村、王家庄村、迈岭等 3 个刚玉矿点进行了野外实地地质考察, 采集了相应标本。以上 3 个产刚玉矿点位于太古宙阜平群的团泊口组和南营组中。本次针对代表性的桃花村刚玉及其寄主岩石进行了研究。

桃花村刚玉产于花岗质混合岩脉中(图 1a、1b)。矿脉宽 2 m, 长约 30 m, 致密, 切穿黑云斜长片麻岩。刚玉寄主岩石主要由暗色基体和肉红色脉体组成(图 1c)。暗色基体部分的岩石为粒状变晶结构、片麻状构造。浅色脉体中粗粒花岗结构、块状构造。该矿点产红刚玉, 还可见伴生矿物黑色电气石(图 1d)。

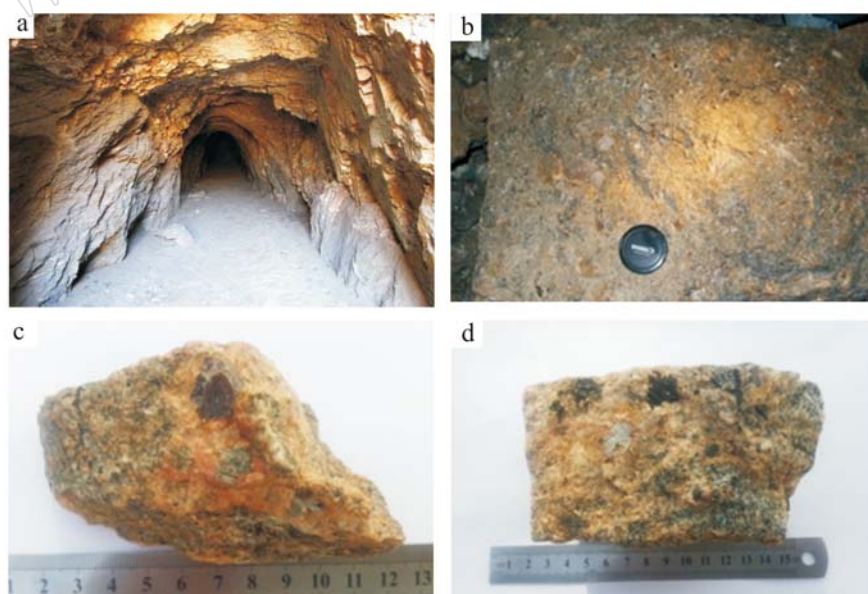


图 1 桃花村刚玉野外及手标本照片

Fig. 1 Photographs of field and samples from Taohua Village

a—桃花村红刚玉矿洞; b—刚玉寄主岩石岩脉; c—含刚玉花岗质混合岩; d—含刚玉和电气石花岗质混合岩
a—the red corundum mine in Taohua Village; b—corundum host rocks vein; c—corundum-bearing granitic migmatites; d—containing corundum and tourmaline granitic migmatites

这二者组合指示了成矿温度较高。

该处刚玉寄主岩石一个显著特点是,肉红色钾长石含量高,几乎环绕了整个刚玉晶体,类似“红眼圈”。刚玉晶体的含量较高,大小不一,最大可达3~4 cm,小的肉眼几乎不可见,发育环带结构。刚玉的颜色有棕色、棕红色、棕黑色等,玻璃光泽,晶形多见短六方柱状和长柱状,几乎没有见到腰鼓状的,晶面上具有三角形生长纹。透明度为半透明-不透明。部分样品切磨成素面的宝石后,现星光效应——六射星光,推测是由于刚玉晶体内部含有丰富的金红石所致。该处是最近十几年间开采最多的矿点,开采方式为人工。现在此矿点也已经停止开采,因为完全靠人工开采已经很难继续。从经济价值和研究价值而言,本矿还有一定勘探开发前景。

2 岩相学特征

2.1 偏光显微镜观察

选取4块标本磨制探针片。用偏光显微镜观察,镜下可见与刚玉伴生的矿物主要有钾长石(部分高岭土化)、斜长石、黑云母(部分绿泥石化)、白云母、夕线石、金红石、磁铁矿等(图2)。

刚玉:大多数呈不规则柱状,肉眼观察呈棕红色,镜下呈无色,颗粒大小不一,小的2 mm×5 mm,最大的可达5 mm×15 mm。晶体为正高突起,糙面显著,干涉色不均匀。刚玉周围一般被白云母或长石包裹(图2a、2b、2c、2h)。一些小的刚玉定向性较好,常互相平行沿一个方向排列(图2f、2g)。

钾长石:主要的组成矿物,总量超过50%。常呈不规则或多边形粒状或板状。有的接触边界比较平直,表面大部分发生碎裂和强烈的高岭土化。粒径一般1~4 mm,长宽比大约为3:2,可见格子双晶和条纹结构(图2h)。

斜长石:大多呈板条状,粒径一般为0.5~1 mm,长宽比大约为2:1,聚片双晶发育。

黑云母:呈形态比较规则的片状,颜色一般为黄褐色、深褐色或褐红色。粒径一般为0.5~3 mm,长宽比大约为3:1。可见一组极完全解理,有的发生了绿泥石化。黑云母分布不均匀,常与夕线石互相平行定向排列(图2d、2e)。

白云母:通常为次生的,不规则片状,可见闪突起,常常围绕刚玉的边部分布,和钾长石一起包裹刚玉(图2c、2h)。

夕线石:一般呈长柱状,平行结合成集合体,肉眼不易见到,单偏光下无色透明,可见一组完全解理与晶体延伸方向垂直。被长石包裹,定向性很好,大都互相平行排列(图2d、2e)。

金红石:红褐色至黑色,正极高突起,大多数呈柱状,少数呈粒状,由于矿物色深,因此干涉色常被矿物的颜色所掩盖。金红石在整个岩石中不均匀分布,主要出现在刚玉晶体的边部,或者切穿刚玉晶体(图2a)。

磁铁矿:黑色,不透明,呈不规则粒状,反射光下钢灰色,金属光泽。

2.2 背散射电子图像

选取3个桃花村刚玉寄主岩石的探针片进行电子探针分析。仪器采用中国地质大学(北京)科学研究院EPMA-1720电子探针分析仪。测试条件为:电压15 kV,电流10 nA,束斑直径为1 μm。BSE图像可见与刚玉(Crn)伴生的矿物主要有钾长石(Kf)、斜长石(Pl)、黑云母(Bt)、白云母(Mus)、夕线石(Sil)、金红石(Rt)、绿泥石(Chl)、磁铁矿(Mag)、钛铁矿(Ilm)、磷灰石(Ap)等。

刚玉:该处刚玉可划分为两个世代。世代I,粒度较小(图3c),粒度为0.1 mm×0.5 mm左右,一般呈柱状、长柱状形态。被钾长石包裹,定向性比较好,常互相平行排列,发育不完整。此阶段形成的刚玉还达不到宝石学的粒度标准。世代II,颗粒比较粗大(图3a、3b、3d),粒度为5 mm×15 mm左右。晶体的自形程度比较高,常呈柱状、板状等形态,被钾长石包裹。二者之间常常有金红石、钛铁矿、磁铁矿等矿物(图3a、3b、3d)。

钾长石:作为基质广泛存在,粒度都比较大,表面大部分具有细条纹,颗粒边界不清晰,在混合岩化作用阶段包裹刚玉、夕线石、黑云母等矿物(图3a、3b、3c、3d、3e)。

斜长石:一般粒度比较小(图3a、3d),常被钾长石包裹,为区域变质作用的产物。

黑云母:片状,粒度一般为0.2~1 mm,常常被钾长石和斜长石包裹(图3d、3e)。

白云母:为钾长石蚀变而来,次生的白云母可能为水白云母。常常出现在刚玉晶体(世代II)的边部(图3b),呈不规则片状。

夕线石:长柱状,常与黑云母一起在钾长石中互相平行排列,定向性很好(图3e)。刚玉和夕线石的分布具有明显的分带性,有的是以刚玉+金红石+

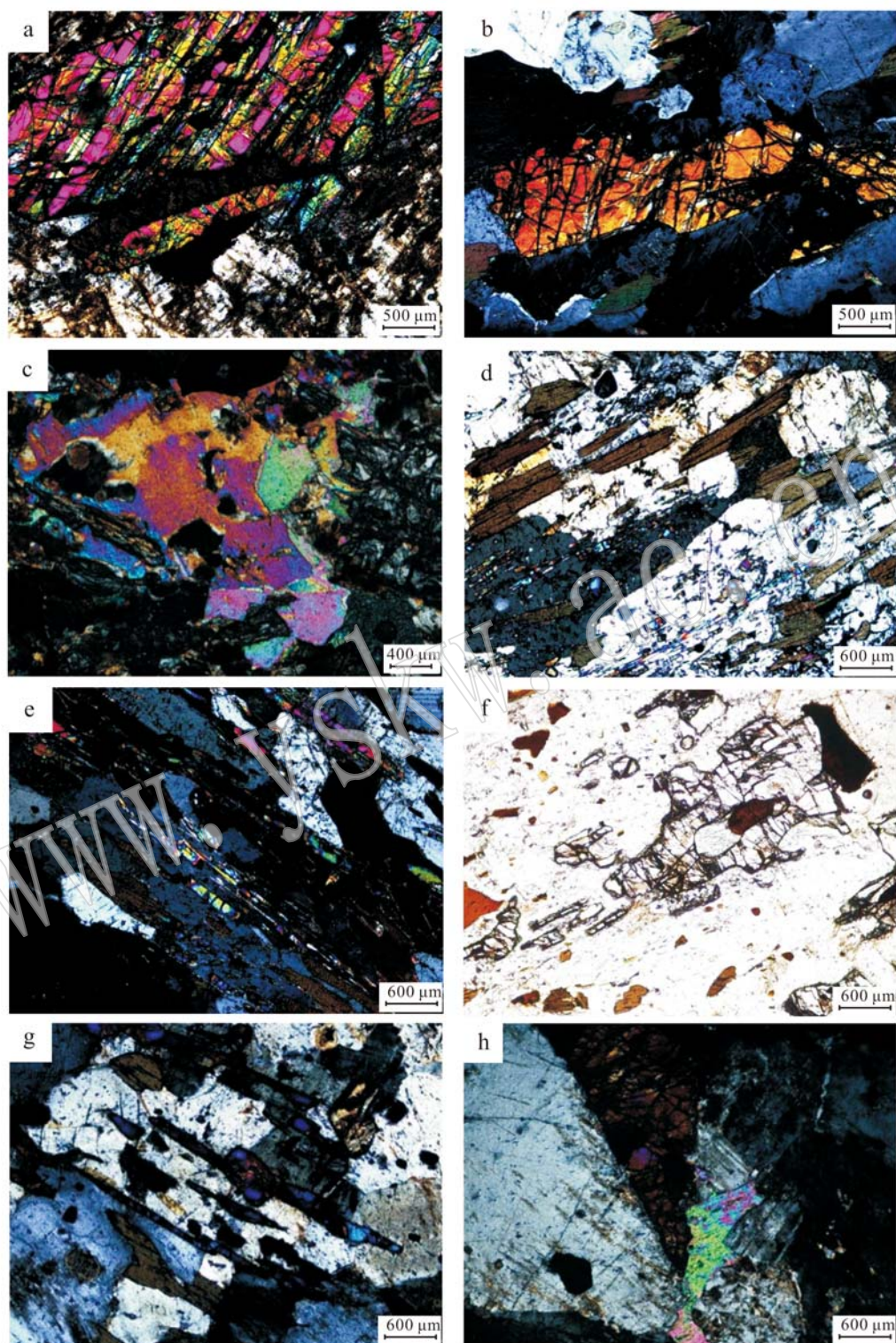


图 2 偏光显微镜下照片显示桃花村刚玉寄主岩石岩相学特征

Fig. 2 The photomicrographs show the petrographic characteristics of the corundum host rocks in Taohua Village

a—刚玉被金红石切割(+); b—刚玉被长石包裹(+); c—刚玉边部有次生白云母(+); d—互相平行呈定向排列的黑云母和夕线石(-); e—长柱状夕线石和黑云母在长石中呈定向排列(+); f—柱状刚玉在长石中呈定向排列(-); g—刚玉被长石包裹, 互相平行呈定向排列(+); h—刚玉被钾长石和白云母包裹(+)

a—corundum is cut by rutile(+); b—corundum is wrapped in feldspar(+); c—secondary muscovite at the edge of corundum(+); d—biotite and sillimanite are parallel to each other in the direction(-); e—long columnar sillimanite and biotite are oriented in feldspar(+); f—columnar corundum in the orientation of feldspar(-); g—corundums are wrapped in feldspar, arranged in parallel with each other(+); h—corundum is wrapped with K-feldspar and muscovite(+)

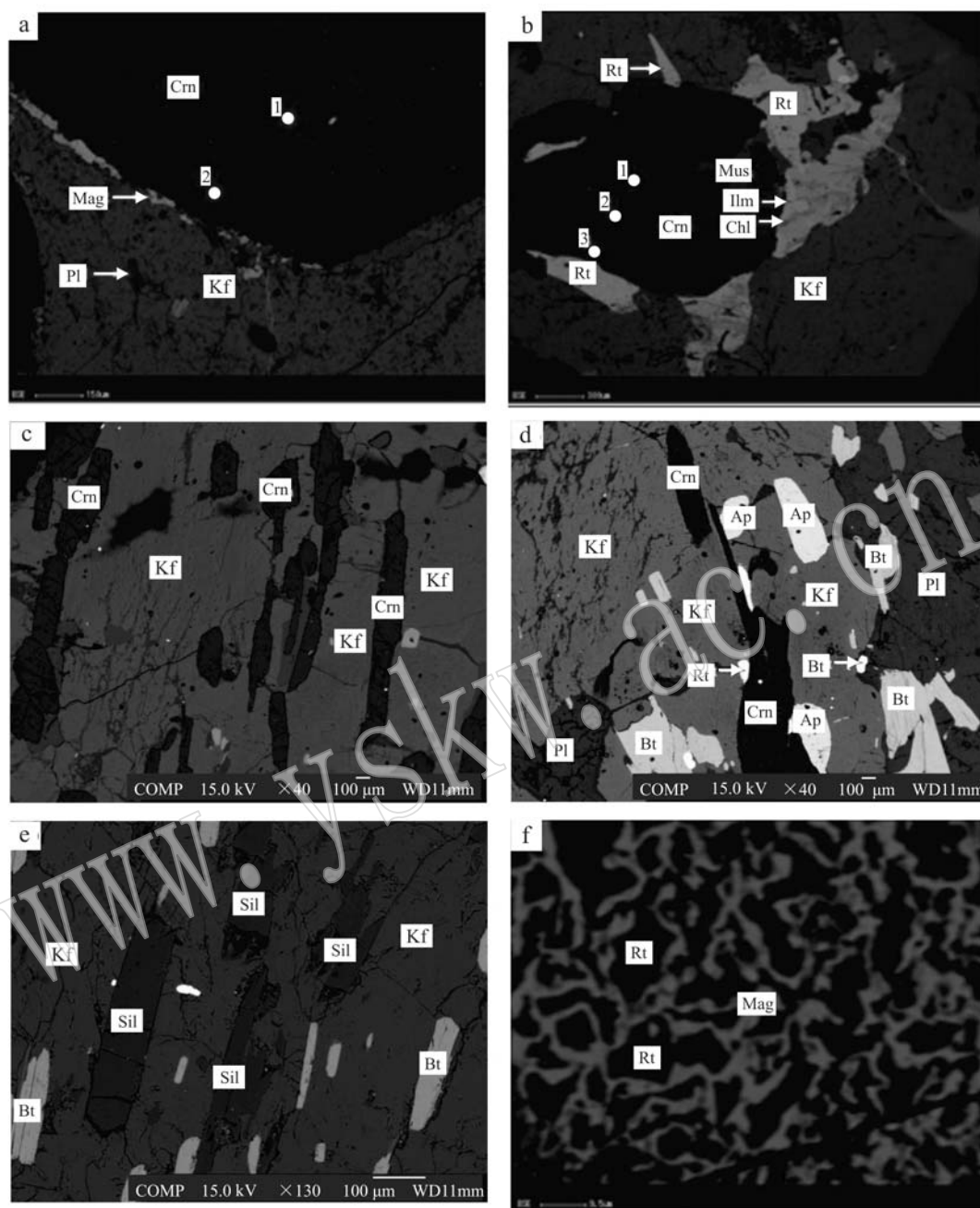


图 3 桃花村刚玉寄主岩石岩相学特征(BSE 图像)

Fig. 3 BSE image shows the petrographic characteristic of corundum host rocks in Taohua Village

a—Cm 被 Kf 包裹,二者之间为 Mag; b—Cm 被 Kf 包裹,二者之间为 Rt、Ilm 和 Chl, Mus 被 Cm 包裹,为次生形成的; c—Cm 在 Kf 中互相平行呈定向排列; d—Kf 包裹 Cm、Pl、Ap、Bt, Pl 包裹 Bt, Cm 边部为 Rt、Ap; e—Sil、Bt 在 Kf 中互相平行呈定向排列; f—Rt 和 Mag 固溶体分离

钾长石 + 次生白云母为主,有的则以夕线石 + 钾长石 + 黑云母 + 金红石为主。这可能说明刚玉主要出现在相对贫硅的层内,而矽线石主要出现在硅相对富集的层内(沈其韩等,2004)。

金红石: 主要为粒状,出现在刚玉矿物的边部或内部(图 3b)。

绿泥石: 为黑云母的蚀变矿物(图 3b),形成晚于黑云母。

磁铁矿: 含量较少, 有时出现在刚玉的边部(图 3a), 有时和金红石发生固溶体分离(图 3f)。

钛铁矿: 含量比较少, 常和金红石一起出现在刚玉的边部(图 3b)。

磷灰石: 副矿物, 含量极少, 包裹于钾长石中(图 3d)。

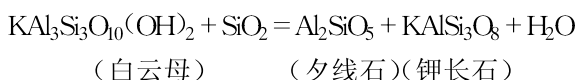
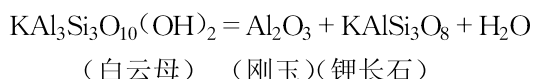
3 讨论

3.1 混合岩化型刚玉的总体特征

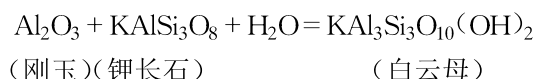
混合岩化型刚玉产在富铝质混合片麻岩中, 矿体在混合片麻岩中呈似层状、透镜状产出。与围岩产状协调, 受富铝岩石层位及混合岩化程度控制。长石含量较高, 几乎环绕了整个刚玉晶体。

根据岩相学特征得知, 阜平地区刚玉矿床属于深熔型混合岩化作用成因, 即“混合岩型”。该处刚玉矿床的形成主要经历了区域变质作用、混合岩化作用以及退化变质作用 3 个阶段, 刚玉的形成主要在前两个阶段。在区域变质作用阶段, 形成的刚玉(世代 I)粒度太小, 达不到宝石级刚玉粒度。在混合岩化作用阶段形成含刚玉晶体(世代 II)的浅色脉体, 此阶段形成的刚玉的晶体较粗大, 达到宝石级粒度的标准。

通过岩相学分析, 认为刚玉是在片麻岩发生混合岩化过程中, 形成富铝质的熔浆结晶而成。随着变质作用的增强, 原岩中的白云母可发生如下变质反应:



白云母在转换成钾长石的过程中, 若在贫硅的条件下, 则可生成刚玉(反应式 1)。若岩石中有多余的 SiO_2 存在, 则铝与硅结合生成夕线石(反应式 2)而不出现刚玉(沈其韩等, 2004)。基于本地区花岗质混合岩中残留的白云母不多, 说明分解作用进行较完全。岩石中刚玉边部出现的次生白云母是钾长石 + 刚玉 + 水的逆反应。次生的白云母可能为水白云母, 为退化变质作用的产物。发生的变质反应推测如下:



3.2 混合岩化型刚玉的宝石学意义

大理岩型刚玉通常是优质红宝石的主要来源, 通常颜色鲜艳、明亮度好而其价值较高。此类型刚玉产出稀少、粒度较小。高品质红宝石通常要求净度高, 故大于 5 ct 的刻面型红宝石则很稀少。混合岩化型刚玉宝石晶体通常呈柱状、板状等, 颜色为暗红色、紫红色、棕褐色, 颜色分布不均匀、色带明显。内部含有大量磁铁矿、金红石、钛铁矿等包裹体, 双晶及裂理发育, 因而导致其透明度不高, 净度偏低。由于刚玉晶体内部含有丰富金红石, 所以部分切磨成素面宝石后具有星光效应。阜平地区刚玉粒度有大有小, 磨制出的弧面刚玉标本最小为 3.65 ct, 最大可达 49.55 ct, 总体来说颗粒较大。美中不足的是颜色和透明度较难达到精品级宝石级要求, 影响了其经济价值。

综合颜色、净度与粒度评价, 阜平地区部分刚玉可以达到宝石级, 但较难产出精品级宝石。若进行规模开发利用, 并将一些颜色暗者、净度低者进行利用, 则需要进行有针对性的优化处理。

References

- Coenraads R. 1992. Surface features on natural rubies and sapphires derived from volcanic provinces[J]. *Journal of Gemmology*, 23: 151~160.
- Dawson J. 1968. Recent researches on kimberlite and diamond geology [J]. *Economic Geology*, 63: 504~511.
- Deer W A, Howie R A and Zussman J. 1992. An Introduction to the Rock-Forming Minerals[M]. New York: Longman Scientific and Technical, 696.
- Garnier V, Giuliani G, Ohnenstetter D, *et al.* 2004. Les gisements de corindon, classification et genèse[J]. *Le Règne Minéral*, 55: 36~44.
- Hauzenberger C A, Hager T, Hofmeister W, *et al.* 2003. Origin and formation of gem-quality corundum from Vietnam[A]. *Proceedings of the International Workshop on Geo-and Material-Science on Gem-Minerals of Vietnam, Hanoi*[C], 26~33.
- Kane R E and Kammerling R C. 1992. Status of the ruby and sapphire mining in the Mogokstone tract[J]. *Gems and Gemology*, 28: 152~174.
- Kane R E, McClure S F, Kammerling R C, *et al.* 1991. Rubies and fancy sapphires from Vietnam[J]. *Gems and Gemology*, 27: 136~155.

- Klein C and Hurlbut C S. 1993. *Manual of Mineralogy* [M]. New York: John Wiley and Sons, 681.
- Lasnier B. 1977. *Persistence d'une Série Granulitique au Coeur du Massif Central Français (Haut Allier)-Les Termes Basiques, Ultrabasiques et Carbonatés* [D]. Unpublished Ph.D. Thesis, France: University of Nantes, 345.
- Laurs B. 2000. Visiting Madagascar, one of the world's foremost suppliers of gemrough [J]. *The Loupe-GIA World News*, 9: 14~15.
- Muhongo S and Errera M. 1993. Gemmological characteristics of rubies in eastern Uluguru Mountains, Tanzania, a reconnaissance study [J]. *Musée Royal de l'Afrique Centrale à Tervuren, Département de Géologie et Minéralogie, Rapport Annuel*, 1991~1992.
- Peretti A, Mullis J and Kundig R. 1990. Die Kashmir Saphire und ihr geologisches Erinnerungs vermögen [J]. *Neuer Zürcher Zeitung*, 187: 59.
- Peretti A, Mullis J and Mouawad F. 1996. The role of fluoride in the formation of color zoning in rubies from Mong Hsu (Myanmar, Burma) [J]. *Journal of Gemmology*, 25: 3~19.
- Robertson A D C and Sutherland F L. 1992. Possible origins and ages for sapphire and diamond from the central Queensland gem fields [J]. *Records of the Australian Museum Supplement*, 15: 45~54.
- Shen Qihan, Geng Yuansheng, Wang Xinshe, *et al.* 2004. Petrology, mineralogy and formation environment of a corundum-sillimanite-K-feldspar gneiss [J]. *Geological Bulletin of China*, 23(2): 99~106 (in Chinese).
- Simonet C. 2000. *Géologie des Gisements de Saphir et de Rubis—L'exemple de la John Saul Ruby Mine, Mangare, Kenya* [D]. Unpublished Ph. D. Thesis, France: University of Nantes, 349.
- Simonet C, Fritsch E and Lasnier B. 2008. A classification of gem corundum deposits aimed towards gem exploration [J]. *Ore Geology Reviews*, 34: 127~133.
- Silva K and Siriwardena C. 1988. Geology and the origin of the corundum bearing skarn at Bakamuna, Sri Lanka [J]. *Mineralium Deposita*, 23: 186~190.
- Schwarz D, Petsch E J and Kanis J. 1996. Sapphires from the Andranondambo region, Madagascar [J]. *Gems and Gemology*, 32: 80~99.
- Wang Lisheng, Li Yujing, He Mingyue, *et al.* 1998. Study on corundum gem-bearing deposits in Fuping uplift area [J]. *Mineral Deposit*, 17: 429~432 (in Chinese).
- Wang Lisheng and Wang Pu. 2001. Genetic types and distribution of corundum gem-bearing deposits in China [J]. *Journal of Gems and Gemmology*, 3(3): 8~12 (in Chinese).
- Watt G. 1994. A high-chromium corundum (ruby) inclusion in diamond from the Sao Luiz alluvial mine, Brazil [J]. *Mineralogical Magazine*, 58: 490~493.

附中文参考文献

- 沈其韩, 耿元生, 王新社, 等. 2004. 一种刚玉夕线钾长片麻岩的岩石学矿物学特征及形成环境 [J]. *地质通报*, 23(2): 99~106.
- 王礼胜, 李玉静, 何明跃, 等. 1998. 河北阜平隆起区刚玉宝石矿床研究 [J]. *矿床地质*, 17: 429~432.
- 王礼胜, 王 濮. 2001. 中国刚玉宝石矿床的成因类型及其分布规律 [J]. *宝石和宝石学杂志*, 3(3): 8~12.