

浅论黄玉的成因与成岩-成矿模式

沈敢富, 徐金沙

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要 根据含黄玉岩石的矿物学、地质和地球化学以及黄玉中的流体包裹体特征研究, 借鉴富 F 酸性岩体系的成岩-成矿实验新成果, 推出了新的黄玉成岩-成矿模式, 力证黄玉是以富氟低熔岩浆结晶为主的多成因产物, 不否定黄玉的交代蚀变和变质成因, 认为盲目滥用和过分夸大变质(含交代)作用及其成岩、成矿的极端重要性和普适性不可取。

关键词 黄玉; 宝石矿物; 标型矿物; 多成因; 成岩-成矿模式;

中图分类号: P578.94⁺4; P581

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2006)06-0463-10

On the origin and rock- and ore-forming model of topaz

SHEN Gan-fu and XU Jin-sha

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, China)

Abstract: Recently, a theory which considers that topaz may crystallize directly and mainly from the F-rich acid magma and/or the F-rich magmatic-hydrothermal transition fluid similar to magma in overall nature has given a vigorous challenge to the traditional ideas of single alteration origin for topaz. The high-ultrahigh-pressure metamorphic topaz has been reported time and again. On the basis of geological, geochemical and mineralogical characteristics of topaz-bearing rocks as well as related petrogenetic and metallogenic experimental data, a new petrogenetic and mineral-forming model for topaz has been established. The model does not negate the alteration and metamorphic origin of topaz. The authors hold that it is inadvisable to emphasize the role of metamorphism (including alteration) indiscriminately and exaggerate its ubiquity and its importance to petrogenesis and mineralization.

Key word: topaz; gem mineral; typomorphic mineral; polygenesis; petrogenetic-metallogenic model

矿物黄玉 $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F}, \text{OH})_2$ 作为一种宝石进入大众视野, 是因其颜色异彩纷呈而不失清丽, 晶体晶莹剔透而不失柔和, 硬度大, 耐摩擦, 易保存且产量稀少, 售价相对便宜。不过, 由于东西方文化的差异, 国人并不像其他洲际的人们那样青睐黄玉。这虽影响了我国宝石黄玉资源的开发与市场的开拓, 但尚未对我国黄玉的成因研究产生负面效应。

1 黄玉的产出

黄玉的产出相当局限, 正因为这样, 黄玉才可能成为宝石矿物。大体说来, 它主要产于下述 4 类岩石中:

1.1 富 F 花岗岩类岩石及其伟晶相、超浅成相和地表相类似物

(1) 在具有 F 的克拉克值有所升高的浅色花岗岩中, 微量黄玉呈副矿物产出。

(2) 在稀有金属 Li-F 花岗岩(Kovalenko *et al.*, 1970) 中, 作为特征副矿物存在, 含量稍多, 达 0.0n% ~ n%。我国南岭 Li-F 花岗岩所产黄玉中, 熔融包裹体并不鲜见(夏卫华等, 1989)。

(3) 稀有金属花岗岩伟晶岩中, 黄玉可与绿柱石、水晶和白云母共生, 其中晶洞产出者品质较佳。

(4) 在稀有金属 Li-F 花岗岩的超浅成相类似物——翁冈岩(Kovalenko *et al.*, 1976) 和侵入状产出的黄玉流纹岩(Burt *et al.*, 1982; Perelyaev *et al.*, 1988) 中, 既作斑晶, 又呈基质矿物, 含量可达 10% 左右。值得指出, 有些斑晶黄玉中见熔融包裹体, 其初熔温度仅 520 °C(Kovalenko *et al.*, 1976)。

(5) 在稀有金属 Li-F 花岗岩地表相类似物即翁冈火山岩(Kovalenko *et al.*, 1976) 或黄玉流纹岩(熔岩、凝灰岩)(Burt *et al.*, 1982; Congdon *et al.*, 1991) 中, 黄玉既呈斑晶(甚至巨晶), 也作基质, 而且还在气孔-晶洞内与石英一起呈晶簇状产出。这类黄玉流纹岩在北美西部分布较多(Burt *et al.*, 1982; Chirstiansen *et al.*, 1986; Congdon *et al.*, 1991)。

1.2 特殊云英岩类岩石及其伟晶相、超浅成相、地表相类似物

本文所称特殊云英岩类岩石, 系指一类形成于中深成条件下且产状、矿物组成、岩石化学和含矿性等特征与传统云英岩几可完全类比, 却具有种种宏观、微观标志, 昭示其可能为岩浆成因的岩石。其成因标志有: 与外接触带围岩为突变关系, 发育冷凝边, 矿物粒径从边部向中央趋于增大, 韵律状条纹-条带构造常与围岩的接触面大致平行(可视为流动构造), 石英和云母呈梳状展布, 有时见锡石和云母呈球状产出, 分带性与传统云英岩的分带性(Beus *et al.*, 1962; Scherba, 1970) 相悖, 云母矿物中矿化元素的含量同所谓云英岩化作用的“载矿-卸矿”机制不符, 黄玉、石英中见有熔融或/和熔流包裹体, 其均一温度低者仅 400 °C(周凤英等, 1995), 等等。此外, 花岗岩-H₂O-RX(R=Li, Na, K, Rb, Cs 和 H⁺, X=F, B, P 和 OH⁻) 体系的实验岩石学资料揭示, 几乎云英岩类的所有岩石类型, 都能自富 F 酸性岩浆和/或富 F 的岩浆-热液过渡流体直接结晶形成(Kovalenko, 1979; Trufanova *et al.*, 1986; Perelyaev *et al.*, 1988; London, 1992; 熊小林等, 1996, 1999)。

笔者姑且也持云英岩是单一云英岩化产物的传统观念, 但是, 前面论及的特殊云英岩类岩石分明具有清晰的火成外貌。本来, 国际地科联火成岩分类学分会(IUGS SSIR) 定义的火成岩指的是火成外貌的岩石, 除岩浆结晶外, 甚至可以为交代、变质成因(Le Maitre *et al.*, 1989; Le Bas *et al.*, 1991)。鉴此, 视上述特殊云英岩类岩石为火成岩, 当属持之有故。再者, 在已有的火成岩中, 还无与之相当的岩性, 因此, 这些特殊的云英岩类岩石当属一类新的火成岩, 至少堪称言之有理。为力避术语的多义性、歧义性和模糊性, 参照岩石学界的惯例, 合乎逻辑的做法是引入新术语, 正如已为人所公认的火成成因的碳酸盐岩, 名碳酸岩, 而沉积产物则称碳酸盐岩一样。加拿大著名术语学家 Rondeau(1985) 认为: “某位专家的发现, 一个新的概念问世了。这时, 在专业语言中就会出现一个新术语。这个新的概念是由其创造者用他的工作语言命名。这样创造的新术语叫本源新术语”, 他还一针见血指出“科学发展的直接结果, 就是创造了大批新术语”。IUGS SSIR 现任主席 Le Bas 曾强调: “由于新的岩石类型不断被发现, 或岩石的新特征不断被了解, 因此, 对现有的分类总会有所修正, 或出现新的分类, 以适应新的情况”(Le Maitre *et al.*, 1989)。“术语标准化是手段而非目的……其首要目的是减少信息损失, 促进科技交流”(Rondeau, 1985)。试想, 如果有了新发现、新见解依然采用“规范化”旧术语, 必然带来信息传递损失。显然, 这同术语标准化的初衷背道而驰。那么, 如果在“规范化”旧术语前加修饰性定语, 犹如本文所称“特殊云英岩类岩石”或者“中深成岩浆云英岩”那样的称谓, 显然, 这又同术语具有简洁性和比概念更凝练的特征格格不入。

基此, 前述特殊云英岩类岩石已按最先发现地(云南腾冲小龙河锡矿) 命名为小龙岩(沈敢富等, 1987, 1991; 吕伯西等, 1993)。如同传统云英岩类岩石一样, 小龙岩也基本上由石英、云母族矿物和黄玉组成, 而且根据这 3 种矿物的不同比例, 同样可以进一步细分成若干种岩石类型(沈敢富等, 1987, 2000; 沈敢富, 1997)。其中, 黄玉参与命名的岩石就有富黄(玉)小龙岩、黄云小龙岩、云黄小龙岩、黄英小龙岩、英黄小龙岩、单矿物黄玉小龙岩等。在这些岩石中, 细、中、粗粒黄玉的模态含量(modal content), 可从 25% 至约 100% 不等, 因此亦称小龙岩类(沈敢富等, 2000), 意指形成于中深成条件下的岩浆

云英岩(狭义)。有时亦用小龙岩类泛指广义岩浆云英岩,意即中深成、超浅成、地表和伟晶相生成的岩浆云英岩类岩石。这与 IUGS SSIR 的惯例,即以深成相岩石统称其不同相产物(Le Maitre *et al.*, 1989)一致。顺便指出,广义小龙岩类岩石是一个庞大的袖珍家族(沈敢富等,2000)。下文若不加说明,所谓小龙岩类均指称狭义的小龙岩类。

(1)黄玉在小龙岩类岩石中,作重要副矿物甚至主要造岩矿物乃至几乎是唯一的造岩矿物产出,类似的实例有:马来西亚黄玉-石英脉(Scrivenor, 1928),澳大利亚新英格兰岩基的石英-黄玉脉(Eadlington, 1978),云南小龙河面形与线形小龙岩(图1a)(沈敢富等,1987,1991;吕伯西等,1993),湘南大义山黄玉岩(谭运金等,1988),江西414云英岩带(沈敢富,1988^①;王联魁等,2000),滇西来利山“锅巴”状黄铁矿型云英岩锡矿体(沈敢富,1990;沈敢富等,2000)和湘南癞子岭云英岩带(吕伯西等,1993;周凤英等,1995),等等。

(2)黄玉在云英伟晶岩中,作重要副矿物、主要造岩矿物(图1b)甚至几乎是唯一的造岩矿物产出。其实例目前仅见之于我国湘南香花铺和癞子岭(Shen Ganfu, 1987;黄蕴慧等,1988;沈敢富,1994;常海亮,1998)。

(3)黄玉在小龙岩类岩石的超浅成相类似物——江西云英斑岩(狭义,亦称鹅髓岩)(沈敢富,1983,1984;Shen Ganfu, 1987),湖南香花岭岩(黄蕴慧等,1983,1988;沈敢富,1984,1992a;常海亮,1984;杜绍华等,1984),湖南秃头山黄英岩(袁忠信等,1987),粤西银岩云英斑岩、黄英斑岩和英石斑岩(沈敢富,1992b,1993),赣东南一带黄英岩(刘昌实等,1995),浙南泰顺黄英岩(王德滋等,1994;刘昌实等,1995;郝艳丽等,1996),美国亚利桑那黄英岩墙(Kortemeier *et al.*, 1998),俄罗斯南贝加尔沿岸黄英岩墙(Perelyaev *et al.*, 1988;Dergachev, 1990;Antipin *et al.*, 1999)和卵黄玉岩(即一种脱玻化产物,卵形黄玉占80%,具石英斑晶2%及玻璃组成的单脉和近于平行的细脉。基于宏、微观地质特征并借鉴有关实验岩石学成果,1988年Perelyaev等认为它是一种新的浅成岩浆岩,称Piknitite)以及澳大利亚昆士兰黄英岩墙(Johnston *et al.*, 1992)等中,既作斑晶(图1c),又在基质中呈球粒(图1d),交织状

(图1e)和稀疏-稠密浸染状(图1f)产出,甚至常与玻璃和脱玻化物质共生。其实,Rub(1989)亦概述过若干所谓近地表产出的隐晶云英岩,而且黄玉在其中呈球粒、毡状、胶体和极细的针状产出。遗憾的是,它仍被视之为云英岩化产物。

(4)黄玉产于小龙岩类岩石地表相类似物(沈敢富,1997;沈敢富等,2000)中的实例,尚未见报道。但在上世纪30年代,美国南卡罗来纳州杰斐逊附近曾发现过几乎只由极细粒黄玉组成的岩块(长度大于50英尺,宽约25英尺)。该岩块是由围岩——具极细粒结构的石英-绢云母沉凝灰岩(可能为流纹岩)衍生而成(Pardee *et al.*, 1937)。后Etsikson(1956)曾描述过球粒状黄玉集合体赋存在角岩化凝灰熔岩内的石英-电气石云英岩巢状体中。笔者以为,在很大程度上,这些极细粒黄玉集合体似可纳入火山成因的黄玉单矿物岩(沈敢富,1997)范畴。

1.3 交代蚀变岩中产出的黄玉

前人对此著述甚丰,不再赘述。要强调的是,其中多数所谓交代蚀变岩,很有可能是富F酸性岩浆和/或富F酸性岩浆-热液过渡流体直接结晶的产物,犹如前面论述的小龙岩类岩石(广义)那样。

1.4 变质岩中产出的黄玉

见后文一并讨论。

2 黄玉的成因

传统观点认定,黄玉是岩浆期后气成热液蚀变矿物(Beus *et al.*, 1962;Rosenberg, 1972;Taylor, 1979;Rub, 1989;胡受奚等,2004)或者岩浆期后气相蚀变结晶(Christiansen *et al.*, 1986)。但是,Scrivenor(1928)曾主要依据宏观地质特征,推断马来亚一石英-黄玉-锡石矿脉为岩浆成因并提出石英-黄玉岩浆概念。

在稀有金属Li-F花岗岩中,黄玉是特征的副矿物。在云英岩类岩石中,黄玉不仅是常见的副矿物,有时还是甚至几乎是唯一的造岩矿物。国际岩石学界有把主要、甚至基本上由黄玉组成的岩石纳入云英岩类范畴的习惯(Johannsen, 1932;Beus *et al.*, 1962;Kjun *et al.*, 1970)。因此,从这个意义上讲,对黄玉成因的认识与人类对稀有金属Li-F花岗岩和云英岩类岩石的成岩、成矿机制的认知历程紧紧相连。

① 沈敢富, 1988. 论云英岩的多成因. 西南地质科技情报(4)3-12.

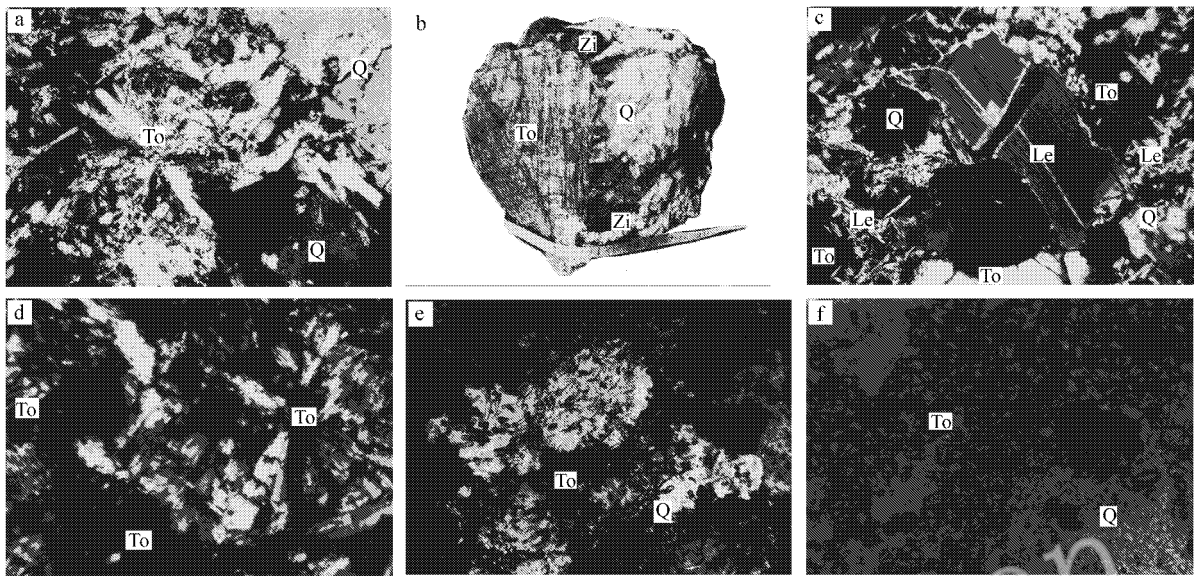


图 1 含黄玉石的野外和显微照片

Fig. 1 Field and microphotos of topaz-bearing rocks

a—小龙岩中黄玉(部分呈放射状),云南腾冲小龙河锡矿 (+)×25 b—伟晶石英-黄玉岩,湖南临武香花铺;c—云英斑岩中斑晶黄玉和熔蚀、揉皱的三锂云母斑晶及其竹叶状基质矿物,江西宜丰鹅景 (+)×125;d—球粒黄玉,广东信宜银岩锡矿 (+)×255;e—毡状基质黄玉,湖南临武香花岭 431 岩墙 (-)×200;f—一致密浸染状基质黄玉,广东信宜银岩锡矿 (-)×70;To—黄玉;Le—三锂云母;Q—石英;Zi—“铁锂云母”

a—topaz occurring partly as radial aggregate in xialongite from the Xiaolonghe tin deposit, Tengchong, Yunnan, (+)×25 b—pegmatitic quartz-topaz vein from Xianghuapu, Linwu, Hunan c—topaz phenocrysts, phenocrysts of corroded and rucked trilithonite, and their bamboo-leaf-like matrix minerals in greisen porphyry from Ejing, Yifeng, Jiangxi, (+)×125; d—topaz spherulite in greisen-porphry from Yinyan tin deposit, Xinyi, Guangdong (+)×255; e—felt-like topaz in the groundmass of No. 431 dyke, Xianghualing, Linwu, Hunan (-)×200; f—dense disseminated topaz in the groundmass from Yinyan tin deposit, Xinyi, Guangdong (-)×70; To—topaz; Le—trilithonite; Zi—“zinnwaldite”; Q—quartz

1968年,在蒙古国发现稀有金属 Li-F 花岗岩的次火山类似物,即含黄玉的角斑岩或称翁冈岩(Kovalenko *et al.*, 1976)。很有说服力的证据是,黄玉在其中既作斑晶,又呈基质矿物,而且斑晶黄玉中发育玻璃包裹体。这不但有力地支持了稀有金属 Li-F 花岗岩的岩浆成因说,而且向传统黄玉的单一蚀变论提出了强有力的挑战。Edington 等(1978)也主要基于黄玉中熔融包裹体的研究,认为东澳新英格兰岩基内的石英-黄玉岩脉为岩浆产物。1983年,笔者在香花岭及邻区发现了黄玉作为主要造岩矿物的云英伟晶岩脉群和“层”,乃至单矿物黄玉伟晶岩脉、“层”和脉中岩相带(Shen Ganfu, 1987; 沈敢富, 1994, 1997),并且伟晶黄玉中发育熔流包裹体(常海亮等, 1998),香花岭地区黄玉产出相对集中,晶体较自形(图 1b),多数粒径粗大(长可达数十厘米)(图 1b),品位高、储量大,也许称得上我国最大的黄玉矿

床。

在鹅髓岩(沈敢富, 1983)中,黄玉也是既呈斑晶(图 1c)又作基质产出,有些黄玉还呈球粒(图 1d)并组成流纹构造,而且斑晶黄玉中发育熔融包裹体,其岩浆成因不言而喻。黄玉的成分是其生成条件的灵敏指示剂(Hervig *et al.*, 1987; Rub, 1989)。例如,岩浆黄玉含 Li 达 $43 \times 10^{-6} \sim 234 \times 10^{-6}$,热液黄玉含 Li 的均值仅 1.0×10^{-6} (Hervig *et al.*, 1987)。江西鹅髓岩斑晶黄玉含 Li 达 330×10^{-6} ,基质黄玉(用重液离心法和高倍镜下挑选单矿物,下同)含 Li 高达 $2\ 230 \times 10^{-6}$ (中南冶金地质研究所湿法分析^①)。虽说这从一个侧面支持了鹅髓岩的岩浆成因,但陋见还是以为用黄玉成分作重要标型判据要慎重,宜综合判断。黄蕴慧等(1983)认为湘南香花岭“431 岩墙”是一种新的岩浆岩(称香花岭岩)。但笔者建议把香花岭岩局限在边缘带且主要由黄玉和

① 中南冶金地质研究所, 1976. 江西同安蚀变斜长细晶岩脉(即本文厘定的鹅髓岩——抄注)地质特征及铌钽等稀有元素赋存状态的研究(内部报告)。

石英(黄玉含量>石英)组成的斑状岩石,以避免歧义和误会(沈敢富,1984)。朱金初等(1992,1993)仿国外学者将其称为黄英岩和翁冈岩。此后,国内外类似的发现与研究日益增多(陈德潜,1984;常海亮,1984;沈敢富,1987,1992a,1994,1997;袁忠信等,1987;Shen Ganfu,1987;Kortemeier *et al.*,1988;Perelyaev *et al.*,1988;沈敢富等,1991,2000;吕伯西等,1993;王德滋等,1994;刘昌实等,1995;周凤英等,1995;郝艳丽等,1996;熊小林等,1996,1999等)。

上世代80年代末,黄玉的高压-超高压变质成因说面世。先是在希腊克里特岛蓝片岩相变沉积岩中发现黄玉,后在我国的苏皖豫高压-超高压变质带内被再发现(康维国等,1992;荆延仁等,1994;Zhang *et al.*,2002)。先前研究,天然黄玉中OH置换F的极大值为33%(Zhang *et al.*,2002)。上述高压-超高压变质带产出之黄玉的电子探针分析表明,F含量均<17%。假定附加阴离子只有F和OH,计算黄玉的 H_2O^+ 含量和OH/(OH+F)值多数>33%,极个别 $\approx 55\%$,于是把F含量<15%大致相当于OH/(OH+F)>33%,甚至有时把该比值下限置于20%(Zhang *et al.*,2002;Komatsu *et al.*,2003)的黄玉视为高压-超高压变质成因(康维国等,1992;荆延仁等,1994;Zhang *et al.*,2002;Komatsu *et al.*,2003)。必须着重指出,如此简单推论大可商榷。譬如,江西鹅髓岩基质黄玉的F含量仅11.23%^①,斑晶黄玉的F含量为15.07%^①;又如,蒙古国翁冈岩斑晶黄玉的F含量低者为15.17%(Kovalenko *et al.*,1976),而香花岭岩基质黄玉的F含量有的为15.78%(黄蕴慧等,1988);再如,加拿大新斯科舍(Nova Scotia)的黄玉-白云母浅色花岗岩中黄玉的F含量低者15.09%(Kontak,1991),而美国南卡罗来纳的黄玉含F量为13.23%(Pardee *et al.*,1937)。上述11.23%~15.78%的F含量值均位于所谓高压-超高压变质黄玉的F含量变化区间内,尤其是鹅髓岩基质黄玉的低F含量,即使高压-超高压变质带所产黄玉中,也极罕见。正如前已论证的那样,鹅髓岩、翁冈岩和香花岭岩属相当典型的岩浆产物。可见,低F黄玉(即所谓“富羟黄玉”)的单一高压-超高压变质成因说,不足为训。

其次,这些变质黄玉的寄主岩大体都可以归入

黄英岩范畴,只不过多数发育片理而已。据报道,其中的黄玉或呈“变斑晶”,或呈平行于片理或拉伸方向定向展向,共生矿物是金红石、天蓝石、含柯石英包裹体的蓝晶石等高压矿物和石英。有趣的是,有的黄玉晶体明显弯曲,乃至呈“麻花状”(徐惠芬,1996)。基于上述,中外地质学家推论这些黄玉是下地壳-上地幔产物,它们的生长受碰撞动力学机制约束,是俯冲-韧性剪切变形-高温、高压变质-较快折返地壳综合作用而最终保留下来的记录(康维国等,1992;荆延仁等,1994;徐惠芬,1996;Zhang *et al.*,2002)。遗憾的是,笔者未到现场学习和考察,但是浅见认为,这些高压-超高压变质带内黄玉的成因也许有另外的诠释:其一,原岩为岩浆成因的黄英岩连同围岩一起经受过韧性剪切变形(局部有变质作用),以此可以解释有的黄玉晶体强烈变形、黄英岩片理发育和黄玉的展布与片理大致平行。显然,这类岩石的黄玉不宜视为变质成因。其二,在应力环境下,富F的铝硅质岩石(但并非一定是富铝泥质岩,还可以是与经历过高压-超高压的变质岩共、伴生富F酸性岩)在一定的温压条件(不一定为高压-超高压和高达1000℃左右)发生重熔并晶出黄英岩,其内黄玉的排列与压应力方向大致平行,宜视为流动构造。类似的流动构造,在岩浆成因的含黄玉岩石中,屡见不鲜。依此不难理解,含柯石英包裹体的蓝晶石等与黄玉共生或者有的粗晶自形黄玉中包含“定向分布”的蓝晶石细晶(Zhang *et al.*,2002),而紧邻的他形黄玉中蓝晶石等矿物细晶则无序分布。鉴此,与其视为蓝晶石定向分布,勿如看作有的蓝晶石细晶沿黄玉的生长边展布。其三,原系岩浆产物的黄英岩在减压抬升环境下发生重熔(外来流体的加入难免),由此晶出的黄玉相对富羟;或者黄玉中心富F,但从中心至边部,F含量降低;或者黄玉的氟含量具有振荡分带,即自边部向中心F含量时高时低(Zhang *et al.*,2002)等等。本文之所以要对高压-超高压变质带所产黄玉的形成提出非变质成因的解释,是为了说明同一地质现象的产生,完全可以由其他或者多种地质作用综合影响所致,何况,高压超高压岩石产于韧性剪切带强应变带之间的弱应变域中(吕古贤等,2004),但笔者并无全盘否定黄玉的变质成因之意。

① 中南冶金地质研究所,1976.江西同安蚀变斜长细晶岩脉(即本文厘定的鹅髓岩——抄注)地质特征及铌钽等稀有元素赋存状态的研究(内部报告)。

Rul(1989)提及,次生石英岩和热液脉中有黄玉产出。该看法显然与黄玉传统的高温气成热液蚀变论拉开了距离。不过,愚见以为,有些所谓次生石英岩可能是英石岩或英石斑岩。例如,粤西银岩锡矿的英石斑岩(沈敢富,1992b)曾被称次生石英岩(俞受鉴等,1988),其内见有少量黄玉。至于所谓有黄玉发育的热液脉,很可能属富F岩浆-热液过渡流体结晶而成的线型小龙岩(沈敢富等,1987)。

总之,笔者认为黄玉是多成因的产物,而传统的交代蚀变、富F岩浆和/或富F岩浆-热液过渡流体结晶甚至高压-超高压变质作用,都有可能生成黄玉。

3 黄玉的合成

早在1887年,黄玉的人工合成已获成功(Rosenberg,1972)。之后至今,合成产物中见有黄玉的报道虽罕见,但未绝于目。

上世纪70年代以后,国内外花岗岩(含翁冈岩)- H_2O-RF ($R=Li, Na, K, Rb, Cs$ 和 H^+)体系的成岩-成矿实验取得了长足进展(Kovalenko,1979; Pichavant *et al.*,1984; Trufanova *et al.*,1986; Perelyaev *et al.*,1988; London,1992;熊小林等,1996;王联魁等,2000),所获成果对于深入认识Li-F花岗岩类、云英岩类及其矿床的成因,具有振聋发聩的借鉴作用。总而言之,相关实验有力佐证了Li-F花岗岩、云英岩类及其矿床有岩浆成因的极大可能性。值得指出的是,在富F熔体直接结晶的产物中,岩浆黄玉的固相线温度在 $675\sim 500^\circ C$ 之间并不鲜见,甚至可以低于 $500^\circ C$ (Kovalenko,1979; Trufanova *et al.*,1986;熊小林等,1996)。

Wunder等(1999)在压力为 $5.5\sim 10$ GPa、温度 $>1000^\circ C$ 条件下,用 $MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 体系成功合成出黄玉的羟端员类似物,并用此来解释高压-超高压变质带富羟黄玉的变质成因(Wunder *et al.*,1999; Zhang *et al.*,2002; Komatsu *et al.*,2003)。但是,他们好像忽略了这样的一个事实:压力为 $5.5\sim 10$ GPa、温度为 $500\sim 1000^\circ C$ 、时间为 $10\sim 24$ h的条件下,实验体系大都经历过熔融状态,其产物中有熔体(?)存在就是佐证。在这种情况下,很难说黄玉的羟端员不是从熔体中结晶所成。换言之,该实验不能成为黄玉变质成因说的有力证据,更何况业已举例说明,所谓富羟黄玉并非单一变质成因的产物。

4 黄玉的成岩-成矿模式

基于黄玉矿床(矿化)产出的宏观、微观地质特征,藉助有关成岩-成矿实验的新认识,本文提出一种新的黄玉矿床的生成模式(图2):

晚期富挥发分(F、B、P和水等)、碱性元素(Li、Na、K、Rb、Cs)和成矿元素的酸性岩浆,在上侵途中,因射气分异和液态分异作用占主导地位,于岩浆上部先后形成偏酸、富碱(但 $Na>K$)富挥发分和矿化元素的翁冈岩浆房(Kovalenko *et al.*,1976)和酸-超酸、富碱(但 $K>Na$)富挥发分和矿化元素的鹅髓岩浆房(沈敢富,1983)(图2a)。在中深成或/和浅凝条件下,先后各自结晶出含黄玉的含Li云母钠长花岗岩带和含黄玉的面形小龙岩(沈敢富等,1991,2000)。在封闭良好环境下,翁冈岩浆如果直接接触围岩并充分结晶,有可能形成似层状的含黄玉的似伟晶岩,而鹅髓岩浆则可以生成含黄玉的顶盖云英伟晶岩,乃至伟晶黄玉岩(沈敢富,1997)(图2b)。

不难设想,相对贫挥发分和碱性元素的中部,反倒先于顶部的低熔浆液(亦称岩浆-热液过渡流体,但以岩浆属性为主)结晶固化(Tauson,1977;王联魁等,1983)。先行固结的中部,宛如一道屏障,导致邻近固化部分的下部岩浆亦因射气分异和液态分异作用可能出现类似于顶部的低熔浆液(图2b)。如果有构造与其相通,则其中的鹅髓岩浆或/和翁冈岩浆上侵,如圈闭在封闭良好的介质中,有可能缓慢而充分结晶,便生成云英伟晶岩或/和含黄玉的花岗伟晶岩;若定位于中深成条件下,富F低熔岩浆可以缓慢结晶出黄玉小龙岩(含黄英岩、黄玉岩脉等)或/和含黄玉的花岗岩体(脉);若处于浅成-超浅成环境,富F的低熔岩浆迅速冷凝,则可能形成鹅髓岩(沈敢富,1983),包括香花岭岩(黄蕴慧等,1983)即英黄斑岩(沈敢富等,2000)、黄英斑岩(沈敢富,1984)、卵黄玉岩(Perelyaev *et al.*,1988)等或/和含黄玉的翁冈岩;若定位在内压大大高于外压的条件下,富F的低熔岩浆爆发,可以生成布罗克曼岩(沈敢富,1997,2000)或/和含黄玉的翁冈喷出岩(Kovalenko *et al.*,1976);若所处环境内压稍高于外压,富F的低熔岩浆溢出地表,骤然冷却,有可能生成云英质熔岩(尚待发现)或/和黄玉流纹岩(Burt *et al.*,1982)等(图2c)。

不难推测,酸性岩浆顶部的低熔浆液在未固化

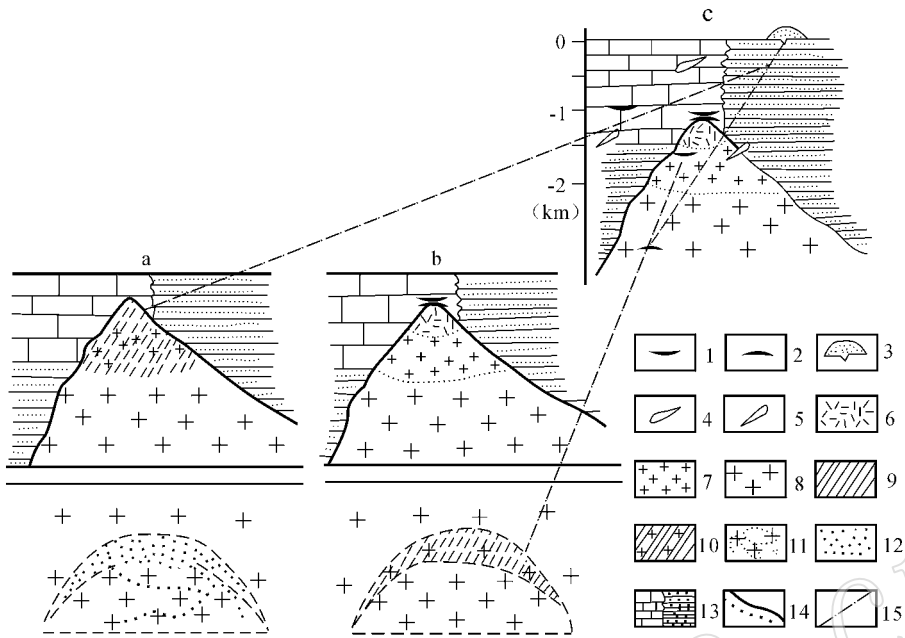


图2 黄玉的成岩-成矿模式图

Fig. 2 Petrogenetic and mineralizing model of topaz

- 1—云英伟晶岩; 2—伟晶岩或/和似伟晶岩; 3—布罗克曼岩和/或黄玉流纹岩; 4—鹅髓岩(含香花岭岩、圆柱黄玉岩等); 5—线形小龙岩; 6—面形小龙岩; 7—含黄玉的钠长花岗岩; 8—黑云母花岗岩; 9—鹅髓岩浆; 10—翁冈岩浆; 11—富挥发分的酸性岩浆; 12—挥发分; 13—围岩; 14—相界线(实线示突变, 虚线示渐变); 15—构造线
- 1—greisen pegmatite; 2—pegmatite and/or pegmatoid; 3—brockmanite and/or topaz rhyolite; 4—Esuite (including hsianghualingite, piknitite etc.); 5—linear xiaolongite; 6—planar xiaolongite; 7—topaz-bearing albite granite; 8—biotite granite; 9—Esuite magma; 10—ongonite magma; 11—volatile-rich acid magma; 12—volatile; 13—wall rock; 14—phase boundary (solid line: mutation, dot line: grading); 15—tectonic line

前,若有构造相通,也可能上侵并在上述类似的环境下分别形成相应的含黄玉岩浆岩。在漫长的地球演变进程中,类似于上述成岩-成矿模式形成的黄玉矿床(化),可能在后来发生的构造等作用影响下发生动热变形、变质,乃至重熔作用或/和遭受外力地质作用的风化剥蚀与搬运,而成其为砂矿。还要说明的是,上述成岩-成矿模式没有刻意强调黄玉化作用的重要性,但不排除黄玉化对黄玉矿床(化)可能施加有影响,甚至可以是重要影响。

窗口;

(3)本文提出的黄玉成岩-成矿模式,拥有坚实的野外宏观、室内微观基础,植根于多物源、多成因、多世代的理论沃土,得到富F酸性岩体系实验岩石学成果的有力佐证,不仅可较圆满地解释自然界黄玉产出的种种特征,而且可以对某些未知地质现象做出预测。

Reference

- Antipin V S, Saviliaev E A, Mitichkin M A, et al. 1999. Rare-metal Li-F granites, ongonites and topazites in Souther Pribaikal [J]. *Petrol.*, 7(2): 141~155 (in Russian).
- Beus A A, Severov V A, Sitnin A A, et al. 1962. Albitized and Greisenized Granites (apogranites) [M]. Moscow: Nauka Press, 1~196 (in Russian).
- Burt D M, Sheridan M F, Bikun J V, et al. 1982. Topaz rhyolites—distribution, origin, and significance for exploration [J]. *Econ. Geology*, 77: 1818~1836.
- Chang Hailiang. 1984. Studies on melt inclusions in topaz phenocrysts of xianghualingite [J]. *J. Yichang Inst. Geol. Mineral Resources*, 9: 33~42 (in Chinese with English abstract).

5 小结

综括上述,可简单小结如下:

(1)当今传统的黄玉单一蚀变成因说业已遭到富F酸性岩浆结晶说的强有力挑战,而异军突起的黄玉高压-高压变质成因说,尚待实践的检验和自身理论的完善;

(2)近30年来,黄玉的人工合成取得长足进展,为人类深入认识Li-F花岗岩类、云英岩类及其矿床的形成和高压-超高压变质带的演化,提供了重要的

- Chang Hailiang and Huang Huilan. 1988. Melt-fluid inclusions in topaz from the Jianfengling pegmatoid in Linwa county, Hunan Province [J]. *Acta Petrol. Mineral.*, 17(1):81~87 (in Chinese with English abstract).
- Chen Deqian. 1984. On the characteristics and genesis of topaz-felsite prophyry [J]. *Acta Petrol. Mineral Anal.*, (1):9~17 (in Chinese with English abstract).
- Christiansen E H, Sheridan M F and Burt D M. 1986. The Geology and Geochemistry of Cenozoic Topaz Rhyolites from the Western United States [M]. *G.S.A. Special Paper* 205:64~74
- Congdon R D and Nash W P. 1991. Eruptive pegmatite magma: rhyolite of the Honeycomb Hills, Utah [J]. *Ame. Mineral.*, 76:1261~1278.
- Dergachev V B. 1990. Topazite and ongonite dikes in the Utulik district [J]. *Dokl. Acad. Sci. USSR*, 318(2):1475~1479 (in Russian).
- Du Shaohua and Huang Yunhui. 1984. Study on Hsianghualingit [J]. *Chinese Sci. (Series B)*, 14(11):1039~1049 (in Chinese).
- Eadington P J and Nashar B. 1978. Evidence for the magmatic origin of quartz-topaz rocks from the New England Batholith, Australia [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 67:433~438.
- Etsikson G V. 1956. Hydrothermal Alteration of Wall Rocks in Tin Deposit [M]. Moscow: Gosgeoltechizdat Press (in Russian).
- Hao Yanli, Chen Peirong, Liu Changshi, *et al.* 1996. Studies of inclusions in topaz granitic porphyry from Yangbin, Zhejiang Province [J]. *Acta Petrol. Mineral.*, 15(3):333~338 (in Chinese with English abstract).
- Hervig R L, Kortemeier W T and Burt D M. 1987. Ion-microprobe analyses of Li and B in topaz from different environments [J]. *Ame. Mineral.*, 72:392~396.
- Hu Shouxi, Ye Ying and Fang Changquan. 2004. Petrology of the Metasomatically Altered Rocks and Its Significance in Prospecting [M]. Beijing: Geol. Pub. House, 38~46 (in Chinese).
- Huang Yunhui and Du Shaohua. 1983. Hsianghualingite—a new magmatic rock [J]. *Chinese Geology*, (9):31~33 (in Chinese).
- Huang Yunhui, Du Shaohua and Zhou Xiuzhong. 1988. Hsianghualing Rocks, Mineral Deposits and Minerals [M]. Beijing: Sci. Tech. Press, 6~8 (in Chinese).
- Jing Yanren, Tang Jiafu, Gao Tianshan, *et al.* 1995. Study on the ultra-high pressure metamorphic minerals, Susong, Anhui [J]. *Geology of Anhui*, 5(3):56~69 (in Chinese with English abstract).
- Johannsen A A. 1932. A Descriptive Petrography of the Igneous Rocks. Vol. II. The Quartz-bearing Rocks [M]. Chicago: The Uni. of Chicago Press, 11~22.
- Johnston C and Chappell B W. 1992. Topaz-bearing rocks from Mount Gibson, North Queensland, Australia [J]. *Ame. Mineral.*, 77:303~313.
- Kang Weiguo, Zhang Shuye, Liu Xiaochun, *et al.* 1992. The discovery of kyanite and topaz-bearing rocks of the crustal high-pressure metamorphic belt, Central China and their geological characteristics [J]. *Chinese Sci. (series B)*, (9):981~986 (in Chinese).
- Kjune R. 1970. On problems about nomenclature and classification of greisens [A]. *Problems of Metasomatism [C]*. Moscow: Nauka Press, 197~200 (in Russian).
- Komatsu K, Kuribayashi T and Kudoh Y. 2003. Effect of temperature and pressure on the crystal structure of topaz, $Al_2SiO_4(OH, F)_2$ [J]. *J. Mineral. Petrol. Sci.* 98:167~180.
- Kontak D J. 1991. The East Kemptonville topaz-muscovite leucogranite, Nova Scotia. II. Mineral chemistry [J]. *Can. Mineral.*, 29:37~60.
- Kortemeier W and Burt D M. 1988. Ongonite and topazite dikes in the Flying W ranch area, Tonto basin, Arizona [J]. *Ame. Mineral.*, 73:507~523.
- Kovalenko N I. 1979. Experimental Study of Formation of Rare-Metal Li-F Granites [M]. Novosibirsk: Nauka Press, 100~140 (in Russian).
- Kovalenko V I and Kovalenko N I. 1976. Ongonites (Topaz-Bearing Quarkertophyre-Subvolcanic Analogue of Rare-Metal Li-F Granites [M]. Moscow: Nauka Press, 5~120 (in Russian).
- Kovalenko V I, Kuzmin M I and Letnikov F A. 1970. On magmatic origin of rare-metal Li-F granites [J]. *Dokl. Acad. Sci. USSR*, 196(2):446~449 (in Russian).
- Le Bas M J and Streckeisen A L. 1991. The IUGS systematics of igneous rocks [J]. *J. Geol. Soc.* 148:825~833.
- Le Maitre R W, Bateman P, Dadek A, *et al.* 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms (Recommendations of the IUGS SSIR) [M]. Oxford: Blackwell Sci. Pub., 1~50.
- Liu Changshi, Shen Weizhou and Wang Dezi. 1995. The characteristics and genetic mechanism of igneous topazites in South China [J]. *Acta Geol. Sinica*, 63(3):221~231 (in Chinese).
- London D. 1986. Magmatic-hydrothermal transition in the Tanco rare-element pegmatite: Evidence from fluid inclusions and phase-equilibrium experiments [J]. *Am. Miner.*, 71:376~395.
- London D. 1992. The application of experimental petrology to genesis and crystallization of granitic pegmatite [J]. *Can. Mineral.*, 30(3):499~540.
- Lü Boxi, Wang Zeng, Zhang Nengde, *et al.* 1993. Granitoids in the Sanjiang Region and Their Metallogenic Specialization [M]. Beijing: Geol. Pub. House, 131~145 (in Chinese).
- Lü Guxian, Wang Fangzheng and Liu Ruixun. 2004. Additional Tectonic and Formation Depths of UHP Metamorphic Rock [M]. Beijing: Science Press, 99~101 (in Chinese).
- Pardee J T, Glass J J and Stevens R E. 1937. Massive low fluorine topaz from Brewer mine, South Carolina [J]. *Ame. Mineral.*, 22:1058~1064.
- Perelyaev V I, Novikova A N and Glyuk D S. 1988. Topaz rhyolites and pykinitite in the Southern Pribaika [J]. *Dokl. Acta Sci. USSR*, 299(4):956~960 (in Russian).
- Pichavant M and Manning D. 1984. Petrogenesis of tourmaline granites and topaz granites: the contribution of experimental data [J]. *Phys. Earth Planet Inter.*, 35:31~50.
- Rondeau G. 1985. Introduction A 'La terminologie (Chinese translation) [M]. Beijing: Sci. Press, 20~30.

- Rosenberg P E. 1992. Compositional variations in synthetic topaz [J]. *Ame. Mineral.*, 57(1~2):169~187.
- Rub A K. 1989. Topaz [A]. *Hand-book of Typomorphic Mineral [C]*. Moscow : Nedra Press , 444~460 (in Russian).
- Scherba G N. 1970. Greisens [J]. *Interat. Geology Rev.* , 12 :114-150 , 239~254.
- Scrivenor J B. 1928. *The Geology of Malayan Ore-Deposits [M]*. London , 103~104.
- Shen Ganfu. 1983. Esuite (greisen-porphyry) a new igneous rock [J]. *Chinese Sci. Bull.* , 28(2) :100~105 (in Chinese).
- Shen Ganfu. 1984. Review of several new igneous rocks [J]. *Acta Geologic Sichuan* , 5(2) :137~141 (in Chinese).
- Shen Ganfu. 1987. On the polygenesis of greisen [J]. *Revista Brasileira de Geociencias* , 17(4) :640~642.
- Shen Ganfu. 1990. The Lailishan tin deposit : a discussion about probability of magmatic sulfide tin ore deposit [A]. *National Symposium on Geology and Geochemistry of Ore Deposits [C]*. Lanzhou : Lanzhou Univ. Press , 244~245 (in Chinese).
- Shen Ganfu. 1992a. Some new progresses about petrogenetic and metallogenetic studies on acid igneous rocks [A]. *Scientific and Technical Progresses of Geology in the Presentage (1990 ~ 1991) [C]*. Wuhan : China Univ. Geosci. Press , 130~135 (in Chinese).
- Shen Ganfu. 1992b. On the petrogenesis and metallogenesis of the Yinyan tin deposit , Guangdong Province [J]. *Geochimica* , (4) 346~353 (in Chinese with English abstract).
- Shen Ganfu. 1993. From regenerated poikilitic texture of pearl margin to the genesis of Yinyan tin deposit [J]. *Volcanology and Mineral Resources* , 14(2) :37~51 (in Chinese with English abstract).
- Shen Ganfu. 1994. Study of greisen-pegmatite in the Xianghuapu district , Hunan [J]. *Geol. Rev.* , 40(4) :296~306 (in Chinese with English abstract).
- Shen Ganfu. 1997. On the magmatic monomineral topaz rocks [J]. *Geol. Rev.* , 43(6) :607~615 (in Chinese with English abstract).
- Shen Ganfu , Lü Boxi and Duan Jianzhong. 1987. Xiaolongite-a new type of magmatic greisen [A]. *Abstracts of Guangzhou International Symposium on Granitoid [C]* , 262~263 (in Chinese).
- Shen Ganfu , Lü Boxi , Duan Jianzhong , *et al.* 1991. The study on the lithogenetic and metallogenetic mechanism of interal greisen : An example of massive greisen in the Xiaolonghe tin deposit of west Yunnan [A]. *Tectonic Evolution and Mineralization of the Tethysin in Western China [C]*. Chengdu : Univ. Electron Sci. and Tech. Press , 177~178 (in Chinese).
- Shen Ganfu and Lü Boxi. 2000. The Petrogenesis and Mineralization of the Cenozoic Intrusive Rocks in the Nujiang-Lanchangjiang-Jinshajiang Area , Southwestern China [M]. Beijing : Geol. Pub. House , 36~52 (in Chinese with English abstract).
- Tan Yunjin , Peng Zhenan , Zheng Xianhua , *et al.* 1988. The genetic types and ore-forming features of tin deposits in South Hunan [J]. *Mineral Resources and Geology* 2(supp.) :35~62 (in Chinese).
- Tauson L V. 1977. *Geochemical Types and Ore-Potentiality of Granitoid [M]*. Moscow : Nauka Press , 25~150 (in Russian).
- Taylor R G. 1979. *Geology of Tin Deposits [M]*. Amsterdam : Elsevier Sci. Pub. Co. , 182~199.
- Trufanova L G and Glyuk D S. 1986. Conditions of the Formation of Lithium Minerals [M]. Novosibirsk : Nauka Press , 10~139 (in Russian).
- Wang Dezi , Liu Changshi and Shen Weizhou. 1994. Geochemical characteristics and genesis of topaz-bearing porphyry in Yangbin area of Taishun county , Zhejiang [J]. *Geochemica* , 23(2) :113~124 (in Chinese with English abstract).
- Wang Liankui and Huang Zhilong. 2000. Liquid Segregation and Experiments of Li-F Granites [M]. Beijing : Sci. Press , 22~32 (in Chinese).
- Wang Liankui , Zhu Weifang and Zhang Shaoli. 1983. Liquid segregation—one of the main modes of differentiation of the Nanling Granite [J]. *Geol. Rev.* , 29(2) :365~373 (in Chinese with English abstract).
- Wunder B , Rubie D C and Wirth R. 1999. High-pressure synthesis and properties of OH-rich topaz [J]. *Eur. Mineral.* , 11 :803~813.
- Xia Weihua , Zhang Jintong , Feng Zhiwen , *et al.* 1989. *Geology of Granite-Hosted Rare Metal Deposits in Nanling Area , China [M]*. Wuhan : China Uni. Geosci. Press , 97~98.
- Xiong Xiaolin , Zhu Jinchu and Rao Bing. 1996. A preliminary experimental investigation on genesis of topaz greisen [J]. *Chinese Sci Bull.* , 41(10) :1451~1454 (in Chinese).
- Xiong Xiaolin , Zhu Jinchu , Rao Bing , *et al.* 1999. Phase relations in the albite granite-H₂O-HF system and the genesis of topaz-bearing granitic rocks [J]. *Geol. Rev.* , 45(3) :313~322 (in Chinese with English abstract).
- Xu Huifen. 1996. High-pressure metamorphic origin of topaz and its forming mechanism [J]. *Mineral Deposits* , 15(supp.) :71~73 (in Chinese).
- Yu Shoujun and Chen Binghui. 1988. The study on ore-forming characters and mechanisms of Yinyan porphyry tin deposit , West Guangdong [J]. *Geology of Guangdong* , 3(2) :6~20 (in Chinese).
- Yuan Zhongxin , Bai Ge and Yang Yueqing. 1987. A discussion on petrogenesis of rare metal granites [J]. *Mineral Deposits* , (1) :88~94 (in Chinese with English abstract).
- Zhang R Y , Liou J G and Shu J F. 2002. Hydroxyl-rich topaz in high-pressure and ultrahigh-pressure kyanite quartzites , with retrograde woodhouseite , from the Shulu terrane , eastern China [J]. *Ame. Mineral.* , 87 :445~453.
- Zhou Fengying , Zhu Jinchu and Wang Rucheng. 1995. A study on fluid-melt inclusions in the topaz greisen from the Laiziling granite—Discussion on the genesis of topaz greisen [J]. *Acta Mineral. Sinica* , 15(3) :259~264 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jinchu , Liu Weixin and Zhou Fengying. 1992. Ongonite of Xi-anghualing district [A]. *Annual Report of the Laboratory of Mineralizing Processes of Ore Deposits (1991 ~ 1992) [C]*. Nanjing : Nanjing Univ. Press , 12~16 (in Chinese).
- Zhu Jinchu , Liu Weixin and Zhou Fengying. 1993. Ongonite and topazite in dyke No. 431 of Xianghualing district , and their spatial

zonation and genetic relationship [J]. Acta Petrol. Sinica, 9(2): 158~165 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 常海亮. 1984. 香花岭岩黄玉斑晶中熔融包裹体的研究[J]. 宜昌地质矿产研究所所刊, 9: 33~42.
- 常海亮, 黄惠兰. 1998. 尖峰岭似伟晶岩内黄玉中的熔流包裹体[J]. 岩石矿物学杂志, 17(1): 81~86.
- 陈德潜. 1984. 试论黄玉霏细斑岩特征与成因[J]. 岩石矿物测试, (1): 9~17.
- 杜绍华, 黄蕴慧. 1984. 香花岭岩的研究[J]. 中国科学(B辑), 14(11): 1039~1049.
- 郝艳丽, 陈培荣, 刘昌实, 等. 1996. 浙江洋滨黄玉花岗岩斑岩的包裹体研究[J]. 岩石矿物学杂志, 15(3): 333~338.
- 胡受奚, 叶瑛, 方长泉. 2004. 交代蚀变岩岩石学及其找矿意义[M]. 北京: 地质出版社, 38~46.
- 黄蕴慧, 杜绍华. 1983. 香花岭岩——一种新的岩浆岩[J]. 中国地质(9): 31~33.
- 黄蕴慧, 杜绍华, 周秀仲. 1988. 香花岭岩石矿床与矿物[M]. 北京: 科学技术出版社, 6~8.
- 荆延仁, 汤加富, 高天山, 等. 1995. 安徽宿松超高压变质矿物的研究[J]. 安徽地质, 5(3): 66~69.
- 康维国, 张树业, 刘晓春, 等. 1992. 华中陆壳高压变质带上蓝晶石黄玉岩类的发现及其地质特征[J]. 中国科学(B辑), (9): 981~986.
- 刘昌实, 沈渭洲, 王德滋. 1995. 华南火成黄英岩的特征和成因机理[J]. 地质学报, 69(3): 221~231.
- 吕伯西, 王增, 张能德, 等. 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京: 地质出版社, 131~145.
- 吕古贤, 王方正, 刘瑞珣. 2004. 超高压变质岩的构造附加压力与形成深度[M]. 北京: 科学出版社, 99~101.
- 隆多(Rondeau) G. 1985. 术语学概论(中译本)[M]. 北京: 科学出版社, 2~30.
- 沈敢富. 1983. 鹅髓岩(云英斑岩)——一种新的火成岩[J]. 科学通报, (2): 100~105.
- 沈敢富. 1984. 几种新火成岩述评[J]. 四川地质学报, 5(2): 137~141.
- 沈敢富. 1990. 来利山锡矿岩浆硫化物矿床可能性探讨[A]. 矿床地质与矿床地质化学研究新进展[C]. 兰州: 兰州大学出版社, 244~245.
- 沈敢富. 1992a. 酸性岩成岩、成矿研究的若干新进展[A]. 当代地质科学进展(1990~1991)[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 130~135.

- 沈敢富. 1992b. 银岩锡矿成岩、成矿机理新探[J]. 地球化学, (4): 346~353.
- 沈敢富. 1993. 从再生球边结构论银岩锡矿的成因[J]. 火山地质与矿产, 14(2): 37~51.
- 沈敢富. 1994. 湖南香花铺云英伟晶岩研探[J]. 地质论评, 40(4): 296~306.
- 沈敢富. 1997. 论岩浆成因的黄玉单矿物岩[J]. 地质论评, 43(6): 607~615.
- 沈敢富, 吕伯西, 段建忠. 1987. 小龙岩——一类新的岩浆云英岩[A]. 广州国际花岗岩学术讨论会论文摘要[C]. 262~263.
- 沈敢富, 吕伯西, 段建忠, 等. 1991. 内云英岩成岩、成矿机理新探——以滇西小龙河锡矿面形云英岩为例[A]. 中国西部特提斯构造演化及成矿作用[C]. 成都: 电子科技大学出版社, 177~178.
- 沈敢富, 吕伯西. 2000. 西南三江地区新生代侵入岩的成岩与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 36~52.
- 谭运金, 彭振安, 郑献华, 等. 1988. 湘南地区锡矿床类型及成矿特征[J]. 矿产与地质, 2(增刊): 55~62.
- 王德滋, 刘昌实, 沈渭洲. 1994. 浙江泰顺洋滨黄玉斑岩地球化学特征和成因[J]. 地球化学, 23(2): 113~124.
- 王联魁, 朱为方, 张绍立. 1983. 液态分离——南岭花岗岩分异方式之一[J]. 地质论评, 29(2): 365~373.
- 王联魁, 黄智龙. 2000. Li-F花岗岩液态分离与实验[M]. 北京: 科学出版社, 22~32.
- 夏卫华, 章锦统, 冯志文, 等. 1989. 南岭花岗岩型稀有金属矿床地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 97~98.
- 熊小林, 朱金初, 饶冰. 1996. 黄玉云英岩的初步实验研究[J]. 科学通报, 41(10): 917~919.
- 熊小林, 朱金初, 饶冰. 1999. 钠长花岗岩-H₂O-HF体系相关性及黄玉花岗岩岩石的成因[J]. 地质论评, 45(3): 313~322.
- 徐惠芬. 1996. 黄玉的高压变质成因及其形成机制[J]. 矿床地质, 15(增刊): 71~73.
- 俞受鉴, 陈炳辉. 1988. 粤西银岩斑岩锡矿成矿特征和成矿机理的研究[J]. 广东地质, 3(2): 6~20.
- 袁忠信, 白鸽, 杨岳清. 1987. 稀有金属花岗岩型矿床成因探讨[J]. 矿床地质, 6(1): 88~96.
- 周凤英, 朱金初, 王汝成. 1995. 癞子岭黄玉云英岩中流体-熔融包裹体研究——黄玉云英岩成因的探讨[J]. 矿物学报, 15(3): 259. 264.
- 朱金初, 刘伟新, 周凤英. 1992. 香花岭翁岗岩[A]. 南京大学金属矿床成矿作用国家重点实验室研究年报(1991~1992)[C]. 南京: 南京大学出版社, 12~16.
- 朱金初, 刘伟新, 周凤英. 1993. 香花岭431岩脉中翁岗岩和黄英岩及空间分带和成因关系[J]. 岩石学报, 9(2): 158~165.