

文章编号:1006-544X(2001)01-0001-05

优质翡翠与显微构造的成因关系

袁奎荣, 邓燕华

(桂林工学院, 广西桂林 541004)

摘 要: 在多年研究岩石显微结构和构造的基础上, 总结了所带4届博士和硕士研究生的研究数据, 认识到翡翠的质量与动力变质作用有密切的关系。脆性变形的碎裂结构使翡翠质量变次, 而韧性变形的糜棱结构使质量变好。在较低温度、较强剪切应力和高应变速率下的韧性变形, 通过位错滑动、亚晶粒化和动态重结晶使硬玉晶粒变细、镶嵌紧密, 即各种空隙被很好地填补, 透明度增大, 质地变得更细腻。在强大剪切应力和钠质流体的共同作用下, 铬铁矿的淡化作用是形成绿色的主要原因。剪切应力还控制翡翠绿色色相和绿色空间的分布。绿色一般分布在韧性变形区的中心部位, 高应力区有利于铬的富集。

关键词: 翡翠; 显微构造; 成因

中图分类号: P619.281; P578.954; P313

文献标识码: A

翡翠乃玉石之王, 几百年来中华民族崇尚翡翠, 有着识玉、用玉、赏玉和藏玉的传统, 不仅将之作为财富和地位的代表, 更作为华夏文化的象征。

研究翡翠的文章已发表不少, 主要集中在翡翠的鉴定、成分和商贸等方面的内容, 近年来则主要侧重在如何识别处理翡翠特别是B货上, 而对翡翠的显微构造和优质翡翠成因等重要问题研究很少或涉及不深。

显然, 动力变质作用和由它形成的翡翠显微构造特点是决定翡翠质量的重要因素。本文是笔者多年来在研究显微构造的基础上, 对所带4届博士(陈志强)和硕士研究生(童银洪、汤云辉和唐丽永)所作论文的各种研究数据进行综合分析并提高到理论上来认识, 深入研究了显微构造与优质翡翠的成因关系(各研究生的研究成果已分别在有关刊物上发表)。

1 翡翠的质量及其影响因素

翡翠质量的优劣主要取决于翡翠的颜色和质地两个主要因素。

在翡翠的众多颜色中以各种色调的绿色为主。优质翡翠的绿色应具备浓、阳、正、和的条件。据研究, 绿色主要与致色离子铬有关, 而铬则来源于铬铁矿, 铬在强的剪切应力作用和流体参与下的淡化作用是形成翡翠绿色的主要原因^[1]。

翡翠质地要求透明度好且结构细腻。关于翡翠的质地, 珠宝界有多种看法, 笔者在总结前人经验的基础上结合多年来的研究成果, 将翡翠质地定义为: 翡翠除绿色外, 其他方面的综合表现, 其中包括透明度、结构、净度以及与绿色间的协调程度等^[2]。一般来说, 粒度细、接触紧密、成分单一、裂隙少则透明度好、质地细腻而翡翠内部的晶间间隙、解理缝及包体和杂质等与硬玉折光率不同, 光线通过这些界面时将会发生复杂的折射和漫反射, 损耗光能从而使透明度变差, 当然评价透明度时还需考虑厚度, 厚度越大显然透明度越低。质地细腻常指粒度细小而言, 但如果

收稿日期: 2000-10-09

作者简介: 袁奎荣(1930-), 男, 浙江嘉善人, 博士生导师, 教授, 地质勘查专业, 主要从事岩石学、矿床学及宝石学研究。

细颗粒间接触不紧密、空隙多,质地亦会显得粗糙。空隙包括晶间空隙、解理和显微裂隙。如三者均发育则结构疏松、质地粗糙,反之则结构紧密质地细腻。净度是指翡翠中所含包体和杂质的程度。当然希望净度愈高愈好,但如果所含包体和杂质颜色或形状美丽,则反而增加翡翠的价值。质地与绿色间的协调程度是一个综合性的效果,一般说来,透明度好、质地细腻并且净度也好,就会出现“色”与“地”间交相辉映的理想效果,反之亦然。

2 翡翠的质地和结构、构造

翡翠的质地与翡翠的结构有着直接的、极其密切的关系。翡翠的结构是指组成翡翠的硬玉矿物的结晶颗粒大小、晶体形态及它们之间相互排列的关系。翡翠在形成过程中和形成后曾遭受过长期多次复杂的地质构造运动,其结构和构造已变得非常复杂。长期以来对此问题没有进行认真的研究,并一直沿用“翡翠为毡状结构”的说法。即认为翡翠中的硬玉矿物主要呈纤维状交织在一起,并以此说明它具有韧性的原因,实际上“毡状结构”只是翡翠众多结构中的一种(图版I-照片1)。翡翠的结构和构造是各种地质作用综合反应的结果^[3],依照笔者近几年的研究结果可知,翡翠是多成因的,其中绝大多数曾经历过高压变质作用,还见到少量岩浆成因的翡翠。翡翠的结构十分复杂且对翡翠的质地有直接的影响。

2.1 变质重结晶作用形成的结构

(1) 按颗粒大小分为:显微变晶结构(晶粒小于0.01 mm),细粒变晶结构(0.1~1 mm),中粒变晶结构(1~3 mm)和粗粒变晶结构(>3 mm)。

(2) 按变晶相对大小分为:等粒、斑状和不等粒变晶结构。

(3) 按变晶形态分为:粒状、柱状、纤维状、束状、放射状变晶结构。

2.2 交代变质作用形成的交代变晶结构

包括净边结构、镶边结构和残余结构等。交代结构的形成常伴随着矿物成分的变化,其中又以闪石类交代硬玉形成的结构较常见。因交代过程中带入铁和镁而使翡翠颜色变暗和“发邪”,哪怕只是少量亦会影响透明度。显然密度和硬度也

会相应改变。闪石类将进一步被绿泥石交代,绿泥石硬度低,从而影响翡翠的抛光性能、光泽和质地,降低其价值。研究结果证明,第一世代的钠长石较透明,所以硬玉交代钠长石后如残留少量钠长石将提高翡翠的透明度。交代作用发育的翡翠其矿物成分十分复杂,除硬玉外还含闪石类矿物、长石和绿泥石等,如淡绿半透明的芙蓉种翡翠中交代作用就十分明显,并且还叠加有应力作用的痕迹。

2.3 动力变质作用形成的变形结构

脆性变形形成碎裂结构,韧性变形形成糜棱结构(又分粗糜棱、糜棱和超糜棱结构)。前者极大地影响翡翠的质地,而后者有利于翡翠的质地。

2.4 岩浆堆积结构

唐丽永^[4]在胡承绮教授的帮助下发现此结构,堆积晶为自形程度较好的硬玉,堆积间隙矿物是硬玉和它形的高温钠长石,其中未见变质矿物(图版I-照片2)。说明有岩浆成因的翡翠,但具体情况还需作进一步研究。

研究结果证明,硬玉的粒度大小与翡翠质地有密切关系。翡翠的质地愈细腻,透明度愈好。如优质翡翠老坑种是玻璃地或冰地,它们都是显微变晶结构,其平均粒度一般在0.05~0.20 mm,成分单一,结构紧密,晶体间隙比例小,解理和显微裂隙极少,细腻滋润,常为韧性剪切带中的糜棱和超糜棱岩。细粒变晶结构常为微半透明,润感尚可,如好的白底青种、蛋青种和花青种等。如果粒度大于1 mm则在多数情况下不透明且显得“干”而不润,如豆种,结晶颗粒就是大于1 mm,其结构松散,粒间空隙大,如常见的白底青及豆底花青种等。质地很次的“砖头料”粒度常大于3 mm。有时粒度虽大,但较致密、微裂隙少亦很透明。

翡翠中硬玉的形状和排列方位亦与质地有关。一般情况下,在变质高温稳定环境下单纯变质重结晶而形成的硬玉常粒粗柱短,中温或中等稳定环境下形成的硬玉柱稍长,低温定向高压下则形成细粒和纤维状,当两种以上变质作用叠加时则形成柱粒状结构。翡翠中以细粒和柱粒状结构(图版I-照片3)常见。这种结构的硬玉颗粒间的关系可以是直线形、弯曲形或不规则形。一般来说,由粒状向柱状和纤维状变化时透明度逐渐

增大。柱状和纤维状翡翠愈接近平行排列者透明度愈好且质地愈佳, 而无定向或近于束状和放射状排列者, 因晶体排列不规则造成光的散射现象而使透明度和质地变差。两种形状并存时由于硬玉间光率体方位很难取向一致而产生相互抵消的光学效应, 其透明度往往也不太好。

翡翠颗粒的相对大小对质地亦有影响, 斑状结构者透明度较差; 粒度频率越接近正态分布即粒度愈均一者透明度相对要好, 反之则差。

没有经过构造变形的翡翠以变质重结晶的短粗柱粒状变晶结构为主, 晶粒边界清晰, 粒间间隙较大, 解理纹清晰可见, 显微裂隙无或较少, 质地一般, 虽不透明但亦可属中等或中下等品质, 如花青、白底青或豆青种等。

总的说来, 缅甸翡翠的结构中以受过动力变质的变形结构较发育, 其主体结构是细粒-纤维变晶结构, 还常见受过强烈剪切应力和韧性变形而形成的糜棱至超糜棱结构, 这是优质翡翠的主要结构。其次为区域变质的变晶结构和热液蚀变的交代变晶结构。个别的还见到岩浆成因的堆积结构。

3 动力变质作用与翡翠质地的关系

翡翠矿床在大地构造上主要形成于长期复杂的构造活动带。如缅甸的密支那地区位于印度板块和欧亚板块碰撞带的东南侧, 近东西向和南北向的构造带的复合部位, 此地构造活动频繁, 动力变质作用发育, 动力变质作用中的岩石构造变形是使翡翠质地多样化的直接原因。

3.1 脆性变形使翡翠质地变次

脆性变形形成于浅-近地表, 硬玉在脆性作用下形成碎裂结构, 并使翡翠的显微裂隙和硬玉解理发育, 晶间间隙增大, 有时晶粒在破裂的同时还发生轻微的位移, 因而质地粗糙且随着脆性变形程度增大质地愈来愈差。

3.2 韧性变形使翡翠质地变好

位于地下深处强烈的剪切作用使硬玉在较低温度和强应力作用下产生韧性变形。纯正浓艳的优质翡翠大多是在韧性变形过程中形成的。韧性变形使硬玉的粒度变细并趋于均匀(如常见的糜棱和超糜棱结构), 从而形成冰种甚至玻璃种, 即透明度很好且质地细腻的老坑种优质翡翠。

4 优质翡翠的成因主要与韧性变形有关

韧性变质带中韧性变形对翡翠质地的改造和颜色的优化有着直接的关系^[5]。

4.1 韧性变形对翡翠质地的优化改造

在较低温度、较高应力及高应变速率的条件下, 以位错滑动和位错蠕变机制为主导作用产生动态恢复和动态重结晶, 变形后的翡翠以粒度细小为主要特征。随着变形强度的增加可分别形成金丝种、蛋清种、冰种直至玻璃种。开始变形时部分硬玉晶粒被压扁和拉长, 形成透镜状, 晶粒内出现波状消光和变形纹等显微构造(图版I-照片4, 图版I-照片5), 进一步剪切则由透镜状发展为缎带状, 并由于位错滑动而产生亚晶粒, 形成镶嵌构造, 并在边缘部分或亚晶界上出现细粒的动态重结晶(图版I-照片6)。在此阶段变形以位错滑动和位错蠕变为主, 因而晶粒间的间隙以及解理和显微裂隙等未被完全消除, 品质改进还不是很大。随着韧性变形的继续, 动态重结晶作用由缎带状硬玉的边缘向中心发展, 剩下中心的残斑硬玉, 形成核幔构造。由于构造运动温度有所上升, 扩散蠕变开始缓慢进入, 晶间间隙、解理和显微裂隙等空隙被部分消除, 翡翠质地渐变得细腻, 形成金丝种、蛋清种和蛋青花青种等。变形继续进行, 缎带状晶粒可以全部被细小的重结晶晶粒代替, 形成超糜棱结构(图版I-照片7)。变形过程中温度不断上升, 扩散蠕变作用逐渐加强, 使细小动态重结晶晶粒之间的各种空隙被很好地填补, 透明度大大增强, 形成老坑玻璃种的优质翡翠, 如果主要矿物是绿辉石, 硬玉降为次要矿物, 则形成蓝水和油青种, 故最好的优质翡翠常常是强烈剪切带中韧性变形的糜棱岩类。由于动态重结晶晶粒表面能很高且不稳定, 常发生静态恢复生长作用, 其结果使晶粒长大, 晶粒边界拉直并呈纤维状, 柱状定向排列(图版I-照片8)相应地不同程度上破坏了原来紧密镶嵌的状态而出现一些晶粒间隙, 从而影响其透明度, 如常见的半透明和质地细腻的蛋清地和藕粉地等。故静态恢复将使原来的优质翡翠档次降低。

在较高温度、较低应力及低应变速率的情况下, 扩散蠕变将起主导作用, 变形后翡翠晶粒间

紧密镶嵌,晶内各种缺陷均被有效消除,因而随着变形强度增加可形成蛋清种、冰种和玻璃种。由于扩散蠕变是缓慢向外推进的,不同方位扩散速度不同,因而造成特征性的锯齿状边界(图版I—照片9),它的形成条件与糜棱岩不同。

韧性变形对翡翠质地的改造是渐变的,因而形成的质地类型十分复杂。变形初期扩散蠕变作用还不充分,各种裂隙没有充分被消除,透明度虽有改善但不理想;随着扩散蠕变作用的进行,原有的大晶粒被新生的小晶粒代替,彼此间以锯齿状边界紧密镶嵌并形成优质的玻璃种和冰种翡翠,但静态恢复生长作用又可使高档翡翠的质地变次。

4.2 韧性变形控制翡翠的绿色色度和空间分布

缅甸翡翠的绿色与其中的铬含量有关,翠绿色透明度好的优质翡翠中大约含有0.3%的 Cr_2O_3 ,如果铬含量太高则绿色太深,成为浓绿或墨绿,太浅则呈淡绿。铬来源于铬铁矿,铬铁矿在韧性变形和钠质流体的共同作用下产生淡化,铬的淡化作用是形成翡翠绿色的主要原因^[1],一般来说绿色的中央部分色浓,含铬高,由中央向外,绿色逐渐变淡,含铬量也逐渐降低,这种致色离子铬的含量由高至低的现象称为铬的淡化。铬淡化有几个阶段,即从铬铁矿→钠铬辉石→铬硬玉→含微量铬的硬玉(如含铬0.3%则为优质翡翠)→铬继续淡化优质翡翠被破坏。铬淡化时如相邻矿物是钠质辉石类,则淡化易于发生,如为闪石类淡化则较缓慢。剪切应力一方面在铬淡化中决定和影响着淡化空间的分布和控制翡翠的绿色色相,另一方面又促使高铬矿物和低铬矿物或无铬矿物在细粒化的同时相互充分接触,使铬的淡化能充分的进行。铬进入硬玉后降低了硬玉的强度,所以,如果铬硬玉和一般的硬玉相邻,在剪切应力作用下二者的变形会出现微细的差别。含铬硬玉常呈小碎晶环绕在较大颗粒的纯硬玉周围(图版I—照片10),或定向呈长条状排列在较大颗粒的纯硬玉间形成团块绿或淡带状绿,缅甸花青种和白底青种翡翠的绿色色形常呈条带状,部分呈团块状就是由含铬硬玉和纯硬玉的构造差异而形成的,差异应力愈大和越强烈,越有利于铬进入硬玉晶格,亦即有利于绿色的形成。铬淡化需要在一定的温度和压力下形成。流体带入了

铝组分,带出铁镁组分。温度和流体及成分对铬淡化起启动和促进作用,并控制翡翠绿色色度。剪切应力作用影响和控制绿色的空间分布,如丝状和带子状形成的金丝种和网状绿等都严格分布在韧性变形区,绿的形状与绿色变形区的形状基本一致。一般说来,韧性变形区不一定有绿,但如有绿,则绿一般分布在韧性变形区的中心部位。如翡翠呈放射状或束状时,在放射状的中心部位和束状结构的收缩端绿色变浓且更集中,这亦说明铬离子的浓度受应力控制,高应力区有利于铬的富集。

由于韧性变形使硬玉晶粒显著减小而成糜棱—超糜棱结构,绿色又是在较低温度、较高压力和高应变速率的条件下,以位错滑动和位错蠕变为主要机制的韧性变形并有钠质流体参予下铬的淡化作用形成的,故真正的优质翡翠都形成在地壳深部,曾遭受强烈和复杂的构造运动并已发生高度韧性变形的韧性剪切带中,属动力变质的糜棱岩和超糜棱岩类的岩石。

关于翡翠绿色的成因还有其他原因,如在成岩过程中 Cr^{3+} 和 Fe^{3+} 等致色离子局部富集并进入硬玉晶格中,“绿”和“地”同时形成,从而使绿色在“地”中分布较均匀并呈粒状和柱状变晶结构,这种翡翠一般档次不高;如在变质分异作用所特有的温度、压力和流体条件下,微量致色离子活化转移取代 Al^{3+} 而成色,则绿色呈大小不等、互不相连的点状、块状和不规则状散布于地中,没有明显遭受过构造变形的痕迹,只是变质分异作用将原地色素离子不均匀聚集的结果,这种翡翠质量一般。以上成因的翡翠主要有花青、白底青和豆青种等。其中如含 Fe^{3+} 高则绿色偏蓝,颜色变暗,质量降低。

当然优质翡翠的成因除与动力变质的韧性变形所形成的显微结构和构造有关外,还与矿物成分、致色元素种类和含量及热液交代作用等复杂的地质作用有关,将另文叙述。

参考文献:

- [1] 施光海. 铬淡化与缅甸翡翠绿色起源 [D]. 北京: 北京大学, 1999.
- [2] 童银洪, 袁奎荣. 翡翠质地的综合评价 [J]. 桂林工学院学报, 1997, 17 (1): 55—61.
- [3] 陈志强, 袁奎荣. 翡翠岩性论 [J]. 桂林工学院学报,

- 1996, 16 (1): 14~18. 1997.
- [4] 唐丽水. 我国玉石市场翡翠及其新玉种的成分、结构、 [5] 刘卫东. 缅甸优质翡翠的成因与赌石预测方法研究
岩性特征及质量影响因素 [D]. 桂林: 桂林工学院, [D]. 长沙: 中南工业大学, 1999.

The genetic relation between good – quality jadeite and microstructure

YUAN Kui-rong, DENG Yan-hua

(Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Jadeite is the queen of jade. In the past, the study about this topic is concentrated in identification, composition and its trade. especially in studing the 'B goods' until recently, there are only few study in the generation and mechanism of jadeite which is a very important topic. The authors have attempted to shed light on reliving above the problem by microtexture and microstructure methods and summarize the research data made by our four doctor and master students. The results have demonstrated that the dynamic metamorphism has close relationship with jadeite quality. Cataclastic texture which came from brittle deformation made the jadeite quality bed, but the mylonitic texture which resulted from ductile deformation made the jadeite quality good. Under the condition of the low temperature, strong shear stress and high strain velocity, through the dislocation glide, sub grain and dynamic recrystallization, the ductile deformation made the jadeite grain fined, the crystal close mosaic, the different pores fill and the transparency good. The green jadeite was formed mainly as a result of the desalination of chromite. In general, the green color is distributed in the center place of ductile deformation area, the high stress is of great advantage to the concentration of chrome.

Key words: jadeite; microstructure; genesis

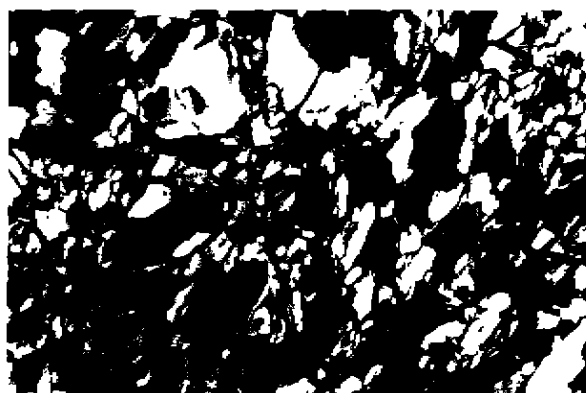
图版 I 袁奎荣.等: 优质翡翠与显微构造的成因关系

Plate I Yuan Kuirong *et al.* : The genetic relation between good-quality jadeite and microstructure



照片 1 花青种翡翠的毡状结构
(纤维状硬玉交错排列) × 25(-)

Photo 1 Felted texture of jadeite



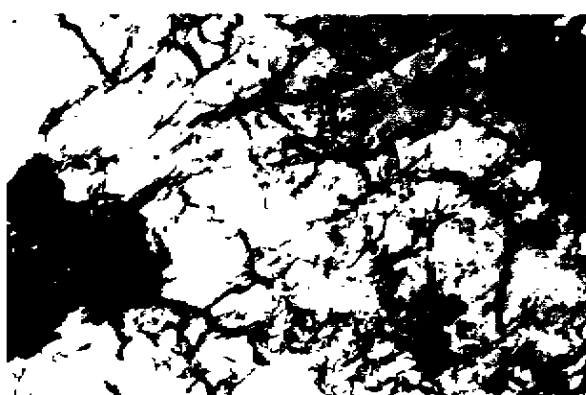
照片 2 花青种翡翠岩浆成因的“正堆积结构”
绿色呈暗绿条带状态 × 40(+)

Photo 2 "Orthopyroclastic" texture of jadeite



照片 3 白底青种翡翠的柱-粒状变晶结构 × 40(+)

Photo 3 Columnar-granular crystalline texture of jadeite



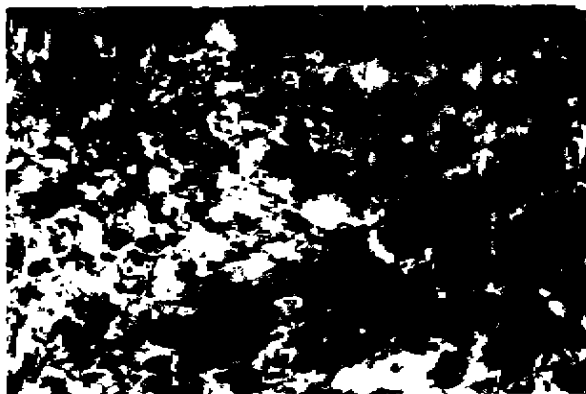
照片 4 粗豆种翡翠由脆性变形形成的碎裂结构 × 30(-)

Photo 4 Cataclastic texture of jadeite formed as a result of brittle deformation



照片 5 花青种翡翠中硬玉开始塑性变形并产生波状消光、其束状收缩端绿色变浓 × 25(+)

Photo 5 Undulatory extinction of jadeite as a result of plastic deformation



照片 6 蛋清种翡翠硬玉边缘亚晶出现动态重结晶小晶粒 × 40(+)

Photo 6 Dynamic recrystallized small grains in the periphery of jadeite



照片 7 老坑种翡翠所具超糜棱结构, 其中小硬玉晶粒紧密镶嵌, 绿色均匀 $\times 25(-)$

Photo7 Ultramylonitic texture of jadeite in old workings where small crystal are closely mosaic



照片 8 蛋清种翡翠硬玉晶粒静态恢复生长呈细粒状定向排列 $\times 40(+)$

Photo8 Fine granular orientated arrangement of jadeite on the condition of static state recovery growth



照片 9 玻璃种翡翠中硬玉在强塑性扩散蠕变下形成的锯齿状边界 $\times 25(+)$

Photo9 Serrated boundary of jadeite formed as a result of highly plastic diffusive creep



照片 10 白底青种翡翠中含铬硬玉小碎晶环绕在较大纯硬玉周围 $\times 20(+)$

Photo10 Greater pure jadeite is surrounded by some small brittle crystals of Cr-bearing jadeite