

# 玉:产状及交代作用成因

G. E. Harlow<sup>1</sup>, S. S. Sonrenson<sup>2</sup>

(1. American Museum of Natural History, New York, NY, USA;

2. Smithsonian Institution, Washington, DC, USA)

**摘 要:**真正的玉是指二种可以作为雕刻工艺品和宝石饰品的极其坚韧的单矿物岩石。其中软玉是指具叶片状的微晶习性的透闪石-阳起石岩,硬玉(华人称之为翡翠)指的是具微晶-粗晶结构的单矿物硬玉岩。软玉更普遍一些,在加拿大的 British Columbia、中国的昆仑山(新疆和田玉)、俄罗斯的东 Sayan 山、南澳洲的 Cowell 和 新西兰南部岛中产有重要的矿床。软玉矿体形成于岩浆流体交代白云岩或蛇绿岩流体交代硅质岩的接触带。形成条件为经白云岩质而成的高绿片岩-角闪岩相( $<550^{\circ}\text{C}$ )至中-低压( $<2\text{kbar}$ )下蛇绿岩内的中-低温( $400^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ )。硬玉岩较软玉稀少,重要矿床产于缅甸北部、危地马拉的 Motagua 山谷、俄罗斯的极地乌拉尔山和 Borus 山、哈萨克斯坦的 Itmurundy 等,仅产于沿深大断裂带内的与俯冲有关的蛇纹岩体中。硬玉岩中具韵律环带的硬玉显示了含水流体的结晶作用,并且毫无疑问呈脉状产于主岩蛇纹岩中。硬玉指示高压,但是共生矿物中无石英,硬玉岩可在低温( $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ )、压力大于  $5\sim 6\text{kbar}$  的条件下形成。形成硬玉需要去气作用,主要表现为在俯冲板片至蓝闪石片岩相-榴辉岩相过渡带的沉积物去水作用及在地幔楔通过断裂的蛇纹岩底辟的流体管涌。因此,绝大多数玉石矿床记录了蛇纹岩化橄榄岩内或其周围的有流体作用参与的、在汇聚板块边缘的事件。

中图分类号:P618.01;P578.955

文献标识码:A

在地质学和宝石学中广泛应用的术语——玉,是指二种可以作为雕刻工艺品和宝石饰品的极其坚韧的单矿物岩石。角闪石玉是软玉,是一种具毯状结构的微晶习性的透闪石-阳起石岩;辉石玉是一种具微晶-粗晶结构的硬玉岩。由于这两种岩石类型十分稀少,次要的经济地位及相对复杂而隐秘的岩相学特征,故相对地受到较少的关注。此外,这两种类型岩石在野外露头较少,而且硬玉岩矿床产于政治上不稳定的国家,它的地质学解释也受到限制。然而,近来的调查表明,玉不仅表现出很多共同的地质学特性,而且参与并记录了重要的地球动力学过程。

## 1 软玉

软玉是二种玉石类型中较普通和价值较低的一种类型,重要的矿床产在加拿大的 British Columbia 的 Polar、Kutcho 和 Ogden 山(Gabrielse, 1990), 中国新疆的昆仑山(Webster, 1975), 俄罗斯西伯利亚东 Sayan 山贝加尔湖的西南(Prokhor, 1991)、Vitim 中

央高地(东贝加尔湖)的 Barguzin-Vitim 地块(Sekerin 等,1997),南澳洲的 Cowell 附近(Flint 和 Dudowski,1990),新西兰南部岛的 Westland(Arahura-Cooper,1995)和 Otago Nelson 的 Livingstone 及 South Westland 地区(Beck,1984;1991),台湾的东北部(Wand,1987),波兰的 Jordansmuhl(Visser,1964),怀俄明州的 Lander Co, Granite 山(Madson,1978)及在阿拉斯加州的沿 Noatak 和 Kobuk 河的南部范围(Loney 和 Himmelberg,1985)。许多次要产地与在全球的蛇纹岩带,如西与中阿尔卑斯山、中巴西、加州到阿拉斯加州延伸的绿岩带内的小规模超镁铁质碎块有关。

软玉颜色范围从纯白色(羊脂玉)到绿色(阳起石),偶而有因含 Fe 的阳起石或氧化物/石墨的黑色软玉。很少见因钠质透闪石-阳起石中含有  $Cr^{3+}$  而出现的祖母绿色。在砾石的风化晕内由于离子的氧化而常常出现染色——赭土色。次要共生矿物包括透辉石、钙质石榴石、磁铁矿、铬铁矿、石墨、磷灰石、黄铁矿、硅硼钙石、符山石、葡萄石、滑石、蛇纹石和金红石。软玉矿体形成于岩浆流体交代白云岩或蛇纹岩流体交代硅质岩的接触带。白色软玉形成于“花岗岩质”岩石与白云岩的砂卡交代作用或气成-水热岩枝(Yurung-kash,或在中国的昆仑山中的白玉河)。然而,如果有铁,白云岩的交代作用可以产生绿色到黑色玉,如镁铁质岩或铁矿石(澳洲南部的 Cowell 和推测的 Karakash)。其他的软玉或是富 Ca 和 Mg 的流体与蛇纹岩中(蛇纹岩混合)硅质岩交代而成的,或是蛇纹岩的流体与硅质岩的边界反应/渗透交代而成(Suturin,1986;Karpov *et al.*,1988),两者实质属岩浆期后作用产物(近蛇纹岩的地方,如分布于全球的蛇绿杂岩间的软玉矿床,或板块构造闭合大洋盆地的缝合线上部分)。峰期蛇纹石化期间因单斜辉石消失很有可能出现钙饱和。然而,也可能是部分流体在压力减退和温度逐渐升高的条件下上升通过(或一起)蛇纹混杂岩的结果(下述)。形成条件可以从白云岩衍生类型中的绿片岩-角闪岩相( $<550^{\circ}C$ )的高温限到台湾丰田软玉的中温( $400^{\circ}C$ )(Yui *et al.*,1988),到产于蛇纹岩的低温( $100^{\circ}C$ )。所有的软玉都是在中压到低压条件下生成的( $<2kbar$ )。相互作用流体的过饱和,或流体和固体在低温下显示软玉具有纤维簇族重结晶特征。一些作者或者将软玉结构归因于交代成因角闪石的后期剪切变形作用过程中的重结晶作用(Cooper,1995),或者归因于蛇纹岩的交代作用(O'Hanley,1996)。北加利福尼亚 Botryoidal 软玉的出现则是由于蛇纹岩脉状流体对可浸透性的硬砂岩块体进行渗透,与可浸透性的块体发生反应,并产生少量的“堆积云状”结构(Harlow,未出版的数据)。

## 2 硬玉岩

硬玉岩(硬玉质岩石)比软玉更加稀少,而且当它透明时,是珠宝首饰中一种贵重的玉。最大的和最重要的硬玉矿床产于 Myanmar(缅甸)北部克钦邦(Kachin)的帕敢一道茂(Hpakan-Tawmaw)一带,其中有其风化而产生的砾石和冲积物(Chhibber,1994;Bennder,1983;Hughes *et al.*,2000)。“新世界”玉的重要产地位于危地马拉的 Motagua 谷地的中央(Hargett,1990;Harlow,1994)。另一种没有利用价值的重要来源,但韩国 magatamas 有一定考古学意义,是靠近日本的 Itoigawa Niigata 地区的 Ohmi-gawa, Kotaki-gawq 和 Hime-kawa(河流)流域的冲积矿床(Chinara,1971;Komatsu,1987)。俄罗斯 Borus 山和 Sayan

西部(Dobretsov, 1963), 哈萨克斯坦靠近巴尔喀什湖 Itmurunby 山(Dobretsov 和 Ponomareva, 1965)有研究程度相对低的硬玉岩。在加利福尼亚州的 San Benito 镇的 New Idria 蛇纹岩中, 有沿着新的 Clear Creek 发育的、数量少但是研究程度高的硬玉岩(Coleman, 1961)。除了或许为二叠纪的极地 Urals 产状外, 硬玉矿床与白垩纪后的地质过程有关。

硬玉岩是一种非常不同寻常的岩石类型, 仅产于沿深大断裂、与俯冲带有关的蛇纹岩体内。纯净的硬玉质玉是白色的, “帝王绿”颜色与  $\text{Cr}^{3+}$  有关, 浅绿色是由于含有  $\text{Fe}^{2+}$ , 蓝绿色是由于  $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{Fe}^{3+}$  共同致色, 紫红色是由于  $\text{Mn}^{2+}$  致色。来自 Itoigawa 地区的一种的蓝色硬玉/绿辉石是由  $\text{Ti}^{4+}$  致色的( $\text{TiO}_2 \leq 6\%$ , Matsubara, 个人交流, 颜色可能同蓝宝石一样是由于与 Fe 间的电价转移的结果), 来自危地马拉的一种蓝色硬玉目前尚未研究, 硬玉质玉中所含辉石成分在  $\text{Jd}^{100}$  (100% 硬玉) 到 绿辉石  $\text{Ac}_{5-10}$  (5%~10% 霓石) 之间。硬玉产于脉体(缅甸, 加利福尼亚) 或构造块体(危地马拉, 极地乌拉尔) 中, 通常它的周围有钠长石、阳起石片岩和沿蛇纹岩的黑墙外壳。与原生硬玉共生的矿物有钠角闪石, 如产于缅甸和日本的 eckermannite(镁铝钠闪石)、pargasite(韭闪石)–蓝闪石、云母(在危地马拉的多硅白云母或/与钠云母) ± 钠长石、楣石、金红石、锆石、磷灰石、铬铁矿、黄铁矿和石墨。没有石英, 除了 Smith 和 Gendron (1997) 报告中的非宝石样品之外。硬玉岩中硬玉的晶体从隐晶到具韵律环带, 指示它是从含水流体中结晶的。因此, 多数硬玉岩开始可能为脉状结晶, 虽然一部分交代作用的原因很难界定。围岩蛇纹岩不是受高程度的断裂作用, 就是混合岩化作用, 而且总是与主断层有关, 这种断层通常是在聚敛(大陆)边缘增生楔一侧的横向断裂。因此, 断裂带内的蛇纹岩流体流动、俯冲作用和碰撞(陆–陆或残片–陆)时沿着断裂活动的蛇纹岩侵位是形成硬玉岩的重要特征。

在压力  $p_{\text{H}_2\text{O}} = p_{\text{总}}$  且不含石英时, 硬玉是高压矿物。根据矿物组合在低温的条件下(200 到 400°C), 形成硬玉的低压仅仅大于 5~6 kbar(边界反应  $\text{Jd} + \text{H}_2\text{O} = \text{Anl}_{\text{方沸石}}$ ), 而不是大于 8~11 kbar(相应的边界反应  $\text{Jd} + \text{Q} = \text{Ab}$ , 即硬玉 + 石英 = 钠长石)。尽管如此, 这代表了沿上升的增生楔边界通过的、或沿着与俯冲作用有关的断层后部的蛇纹岩(蛇纹石化橄榄岩)中形成硬玉的流体的深度(>16~20 km)。对流体包裹体和 O–H 同位素系统的研究表明, 流体是在俯冲作用期间捕获的类似海水的流体, 而不是深处变质矿物脱水的产物, 这种情况至少在危地马拉硬玉中是这样的(Johnson & Harlow, 1999)。对硬玉岩中的硬玉所含微量元素的研究显示出相当多的非均匀性, 提示同一矿体中不同种类的硬玉岩的多种流体轨迹。虽然总趋势提示一些矿体可能起源于最初的沉积物(也许在危地马拉), 而其他的可能明显地含有长英质火成岩的成分(也许在缅甸)(Sorensen & Harlow, 1998, 1999)。硬玉岩的高压成因使它们伴生于全球的蓝片岩和榴辉岩带。

硬玉岩的形成需要去挥发分的地质作用, 主要是在深处俯冲板块下降到蓝片岩相–榴辉岩相过渡区沉积物发生的脱水作用。这样的流体可以富集成几乎使硬玉饱和的组分(Manning, 1998)。这些流体呈管状通过上部, 沿着弧前转换/横移断层底辟抬升, 可能与大陆的聚敛(缅甸)或与岛弧地区的(危地马拉)蛇纹石化橄榄岩(未知起源)有关。硬玉的结晶作用为蛇纹岩底辟或断裂期间发生的脆性裂隙、流体流动、硬玉进一步结晶提供一个重要认识。流体随着压力下降或温度上升而移动, 为认识所有硬玉岩产地出现的钠长石提供了重要线索。硬玉的结晶分异作用、降压时在上升的流体中富集了透辉石成分, 都使得辉石晶体的边缘偏向绿辉石组分。在很窄的深度范围内,  $\text{SiO}_2$  活度的增加导致了钠长石 + 绿辉石

或透辉石的共同结晶作用的发生。流体与构造断块交互作用,并伴有母岩——蛇纹岩,导致了硬玉岩成岩作用;或者伴有玄武质块体,形成富铁绿辉石或富绿辉石的角闪岩(?)。在这个体系的顶端,透闪石可能饱和而形成软玉。蛇纹岩的底辟上升,并可能因碰撞而加强,使得硬玉岩出露于地表。然而,快速上升也会使出露的时间变短,解释了大多数硬玉岩矿量少而且时代新这一现象。

大多数的软玉和硬玉岩矿的形成记录了在汇聚边缘的、近地表深度 50 km 以下、在蛇纹石化橄榄岩内部和周围的流体交互作用事件。玉的保存可能需要特殊的构造环境和成分有限的硬玉母岩及软玉的可能母岩——橄榄岩域。玉是探索汇聚边缘、俯冲带去气作用的流体起源等问题的关键,它们不仅具地质意义,而且在材料学和考古学领域都深深地引起人们的广泛兴趣。

参考文献(略)

北京大学宝石鉴定中心 于海侠 编译 崔文元 校对  
(本文原载 *The Australian Gemmologist*, 2001, 21: 7~11)