

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2017.02.010

滇西福贡亚五夺透闪玉矿物学特征及成因

廖程,薛传东,唐靛,杨志超

(昆明理工大学地球科学系,昆明 650093)

摘要: 在滇西福贡亚五夺地区普遍发育有规模不等的透闪石玉矿(化)体,呈不规则大脉状产于片麻岩、片岩的大理岩夹层与糜棱岩化花岗岩的接触部位。本文在系统调查矿床(体)地质的基础上,采用化学分析、粉晶X衍射及能谱分析等方法,研究了区内透闪石玉的宝石学、矿物学特征,进而对其成因进行探讨。透闪石玉矿石折射率1.60,硬度5.6,密度 $2.9\text{ g/cm}^3 \pm$,达到玉石品质的指标要求,可作为一种新类型的软玉矿床开发;其主要矿物组成(体积分数)为透闪石(45%)、透辉石(40%),并含方解石(5%)、石英(5%),以及少量的长石、石榴石、磷灰石、榍石、独居石等;透闪石的 SiO_2 、 CaO 、 MgO 含量(质量分数)分别54.54%、22.32%、18.62%,并有少量的 Fe_2O_3 、 Na_2O 、 Al_2O_3 ,其晶胞参数 a_0 、 b_0 、 c_0 及 β 分别为 $0.978 \times 10^{-10}\text{ m}$ 、 $1.785 \times 10^{-10}\text{ m}$ 、 $5.284 \times 10^{-10}\text{ m}$ 及 104.45° 。结合矿床地质特征以及矿石与围岩稀土元素示踪分析,该透闪石玉矿床仍属变质热液型矿床,但其在区域性同岩浆同变形时期的拉张阶段,变质流体混合岩浆残余热液沿裂隙充填而成的,应是一种新的矿床成因类型。其成矿时期与碧罗雪山—崇山变形带喜马拉雅中晚期大规模的走滑剪切作用相关大体时限为22~15 Ma。本区域具有同等地质背景和成矿条件的地段范围巨大,具有很大的找矿前景。

关键词: 透闪石玉;矿物学特征;粉晶X衍射;能谱分析;云南省

中图分类号: P578.955;P619.281 **文献标识码:** A

0 引言

透闪石玉属软玉的一种,是以透闪石为主的多晶体矿物组成的岩石。前人对于软玉已开展较多的研究,Leaming^[1]将软玉的成因分为变质成因的变质岩型和交代成因的蛇纹岩型。之后的学者多认为软玉矿床有与蛇纹岩有关的接触成因,以及富硅流体接触交代白云岩两种^[2-3]。而中国软玉矿床的形成均与热液作用有关,刘飞等^[4]根据成矿热液的主要来源,把软玉矿床分为岩浆热液型和变质热液型两大类。

近期在云南省福贡县架科底乡亚五夺一带开展的区域地质调查工作中,发现大量产于下石炭统片岩、片麻岩的大理岩夹层与糜棱岩化花岗岩透镜体接触部位的大脉状透辉透闪石脉体,已被当地作为玉石开发。但对比于常见的透闪石玉,其在成因上,明显不同于与中酸性岩体与碳酸盐岩交代有关(即矽卡岩型)的新疆和田玉^[2,5]、溧阳软玉^[6];和田、溧阳软玉矿石中透闪石含量在90%以上,而亚五夺软玉透闪石、透辉石含量几乎各占一半,但其在色彩、质地上都已达到作为玉石的要求。能否将其归为一种新类型的软玉,是制约该类资源开发的因素。

本次研究工作系统地对新发现的软玉矿床开展了宝石学、矿物学研究,探讨其成因,力图为该类

收稿日期: 2016-04-05; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号:40772067,编号:41373049)、中国地质调查局地质调查项目(编号:12120114064302,编号:1212011220908)及教育部基金项目(编号:20125314110006)联合资助。

作者简介: 廖程(1989—),男,硕士研究生,矿产普查与勘探专业。通信地址:云南省昆明市一二一大街文昌路68号1号楼,昆明理工大学地球科学系;邮政编码:650093;E-mail:374465519@qq.com

通信作者: 薛传东(1971—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事地质流体动力学与成矿的教学与研究。通信地址:云南省昆明市一二一大街文昌路68号1号楼,昆明理工大学地球科学系;E-mail: xuechuandong@kmust.edu.cn

型矿床的勘查和评价提供帮助。

1 矿区地质概况

亚五夺透闪石软玉矿区位于云南省怒江州福贡县城南 5 km 处的亚五夺村一带,处在碧罗雪山和怒江峡谷夹持区,地理坐标 $E98^{\circ}41' - 99^{\circ}02'$ 、 $N26^{\circ}28' - 27^{\circ}32'$ 。大地构造位置上,该区夹持于嘉黎—高黎贡变形带与澜沧江变形带之间,处在保山—掸邦陆块的北端^[7-8](图 1a),区内先后经历了特提斯洋在印支期和燕山期的两次俯冲消减和碰撞拼合^[9],以及新生代持续的陆内汇聚造山过程。该区与西侧紧邻的缅甸翡翠成矿带具有相似的构造演化背景^[10-11],因而一直被认为是寻找翡翠矿石的有利远景区之一。

矿区出露地层主要有下石炭统当珠岩组(C_1dz),下段(C_1dz^1)为角闪黑云变粒岩夹透闪金

云母白云质大理岩、白云石大理岩,上段(C_1dz^2)为黑云阳起片岩夹绿泥黑云石英千枚岩;下石炭统嘎拉博岩组(C_1g),下段为千枚岩夹变质含钙质粉砂岩透镜体,中段为角闪片麻岩、含榴角闪片麻岩、黑云母片麻岩,上段含角闪黑云斜长变粒岩,且片理化较为强烈(图 1b)。

区内出露多个花岗岩体,多呈岩株状、透镜体产出,边界近于直立,穿切围岩,并已糜棱岩化(图 2d)。花岗岩体边部的黑云母片岩、片麻岩中发育浅色长英质伟晶岩脉(图 2b),多呈透镜状、石香肠状。受构造变形作用的影响,深色片麻岩与浅色长英质脉互层,也多直立产出。区域资料^①显示,区内花岗岩体为印支期产物。

区内已勘查确定 5 条透闪石玉矿体,主要呈不规则大脉状、透镜状产于当珠岩组下段(C_1dz^1)大理岩夹层与花岗岩透镜体接触部位,沿裂隙定向断续产出(图 1b、图 2a)。单一矿体可见出露长 100 m 左右,走向近 NS 向,近直立产出;厚薄不均,一般厚度

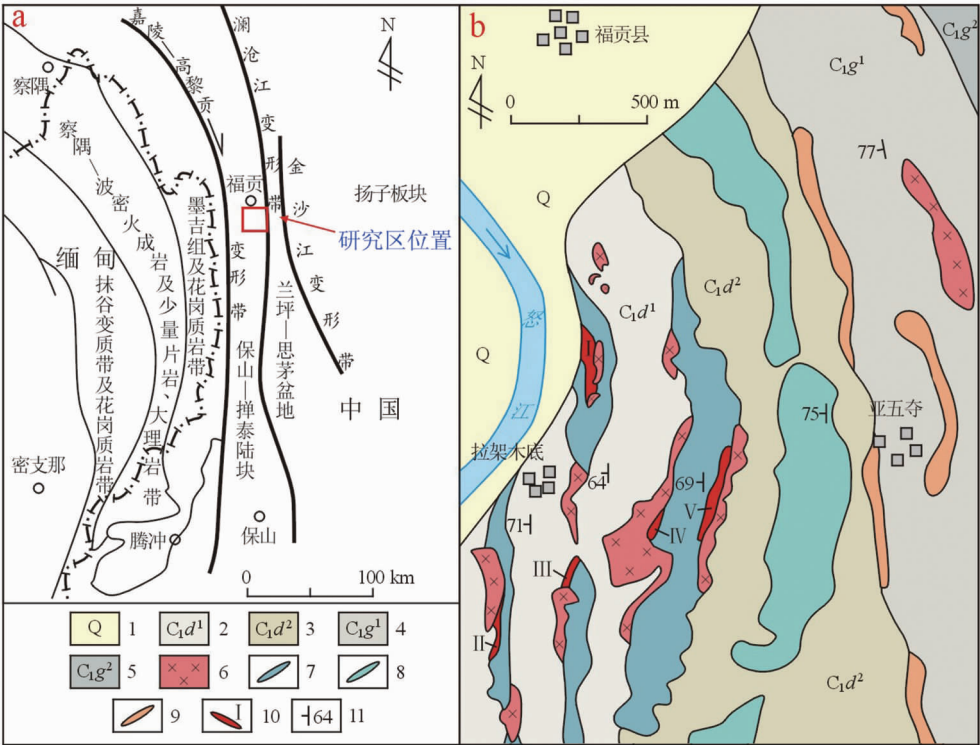


图 1 研究区区域构造位置及亚五夺透辉石玉矿床地质图

Fig. 1 Geological map of the Yawuduo nephrite deposit showing the regional position

a. 区域构造位置示意图(据文献[7]修绘); b. 亚五夺透辉石玉矿床地质图

1. 第四系; 2. 下石炭统当珠岩组下段变粒岩夹大理岩; 3. 下石炭统当珠岩组上段片岩夹石英千枚岩;
4. 下石炭统嘎拉博岩组下段千枚岩夹变质砂岩透镜体; 5. 下石炭统嘎拉博岩组上段片麻岩;
6. 糜棱岩化花岗岩; 7. 变粒岩夹大理岩; 8. 片岩夹石英千枚岩; 9. 千枚岩夹变质砂岩透镜体;
10. 透闪石玉矿体及编号; 11. 产状

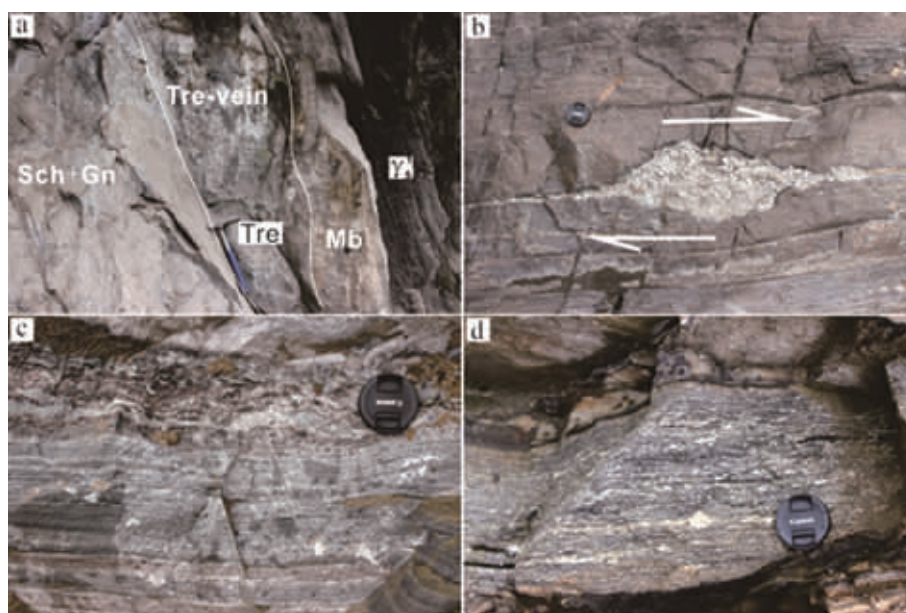


图 2 亚五夺透辉石玉矿体产出特征

Fig. 2 Occurrence characteristics of the ore bodies of the Yawuduo nephrite deposit

a. 产出于片岩、片麻岩的大理岩夹层与花岗岩侵入体接触部位的矿体；

b. 片麻岩围岩中的浅色伟晶岩脉，显示右行剪切；

c. 含矿透闪石、透辉石大理岩；d. 糜棱岩化花岗岩围岩；

Sch. 片岩；Gn. 片麻岩；Mb. 大理岩；

γ_5^1 . 印支期花岗岩；Tre-vein. 透闪石脉；Tre. 透闪石

约 10~30 cm, 局部膨大处可达 40~60 cm。矿石以细—中粒透辉石、透闪石岩为主。

2 透闪石玉的矿物学特征

2.1 宝石学特征

对矿区透闪石玉样品进行筛选, 选出典型样品 3 块, 分别为白色、墨绿色、灰白色样品, 对样品进行常规宝石学特征测试(表 1)。该地区透闪石玉外观观赏性好, 质地较细腻, 具有蜡状光泽, 微透明—不透明, 折射率 1.60, 硬度 5.6, 密度 $2.9 \text{ g/cm}^3 \pm$ 。

表 1 亚五夺透闪石玉的宝石学特征

Table 1 Gemological characteristics of the tremolite nephrite

编号	颜色	光泽	透明度	折射率	硬度	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
FG1	白色	蜡状光泽	微透明	1.60	5.7	2.933
FG61-4	墨绿色	蜡状光泽	不透明	1.62	5.6	2.912
FG101	灰白色	蜡状光泽	不透明	1.59	5.6	2.904

2.2 矿物学特征

亚五夺透闪石玉肉眼观察主要为致密块状结构, 隐晶质构造, 具细粒状变晶结构, 交代结构(交代

筛状、环边、港湾结构等), 相对较粗的针柱状结构, 偶见花瓣状结构。偏光显微镜下, 矿物颗粒主要呈柱状、短柱状, 大小一般 0.01~0.1 mm 左右。矿石主要矿物为透辉石、透闪石, 其含量(体积分数)均为 40%~45%, 其它矿物主要为石英、方解石、长石、白云母、黑云母, 以及少量的楣石、独居石、磷灰石、金红石等(图 3)。

本次研究工作对亚五夺透闪石岩(透闪石玉)中单个矿物化学成分进行了能谱分析, 分析工作在国土资源部昆明矿产资源监督检测中心扫描电镜能谱分析室进行。分析使用仪器型号为德国 BRUKER X 射线能谱仪 QUANTAX 200 with XFlash6100, 加速电压为 25 KV, 图像分辨率为 15 nm, 室温 20℃。230 个分析测点显示, 矿石矿物组成主要为透辉石、透闪石, 次为方解石、石英、云母、长石, 副矿物为楣石、独居石、磷灰石。能谱仪分析显示透闪石化学成分含量(质量分数)变化范围不大(图 4), $w(\text{SiO}_2) = 54.54\% \pm$, $w(\text{CaO}) = 22.32\% \pm$, $w(\text{MgO}) = 18.62\% \pm$, 含少量的 Fe_2O_3 、 Na_2O 、 Al_2O_3 。

2.3 透闪石玉的晶体结构特征

在亚五夺矿区选择典型样品进行粉晶 X 射线衍射测试, 测试工作在国土资源部昆明矿产资源监

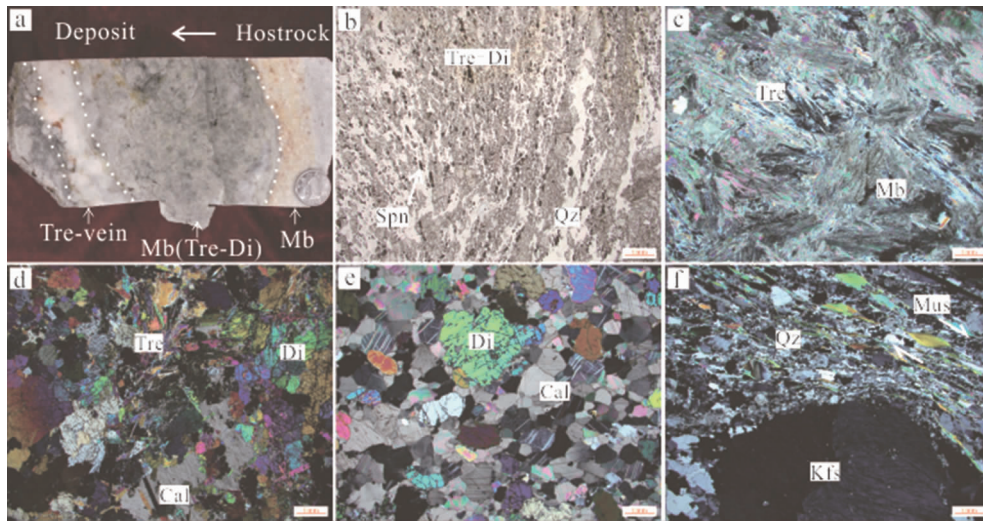


图 3 亚五夺矿区典型样品显微特征

Fig. 3 Microscopic feature of Typical samples from Yawuduo nephrite deposit

- a. 透闪石玉标本, 从矿体外围到矿体中心依次为大理岩、透辉透闪石大理岩、透闪石脉;
 b. 透辉透闪石岩, 透闪石、透辉石颗粒呈细粒变晶结构;
 c. 透闪石大理岩, 流体交代大理岩尚不彻底, 有碳酸盐岩残留, 具软玉典型的毛毡状交织结构;
 d. 透辉透闪石岩, 未见变形改造; e. 透辉石大理岩;
 f. 花岗岩围岩, 表现出强烈后期变形; 石英的矩形新晶, 钾长石发育典型的核幔构造, 其在镜下可见其裂隙中分布的钠长石发生扭褶, 白云母波状消光构造及显示其受右行剪切的云母鱼构造
 Mb. 大理岩; Mb(Tre-Di). 透辉透闪石大理岩; Tre-vein. 透闪石脉; Tre. 透闪石; Di. 透辉石;
 Cal. 方解石; Qz. 石英; Kfs. 钾长石; Spn. 榍石; Mus. 白云母。

督检测中心 X 射线实验室进行。测试使用仪器型号为 Rigaku DMX III A10kw, Cu 靶, 波长 $1.5406 \times 10^{-10} \text{ m}$, 靶电压 35 kV, 靶电流 20 mA, 起始角度 3° , 终止角度为 40° , 步进宽度 0.02° 。分析结果(图 5)表明, 透闪石的主要特征谱线为 $8.4469 \times 10^{-10} \text{ m}$ (110)、 $3.3852 \times 10^{-10} \text{ m}$ (041)、 $3.2822 \times 10^{-10} \text{ m}$ (240)、 $3.1287 \times 10^{-10} \text{ m}$ (310) 及 $2.7084 \times 10^{-10} \text{ m}$ (151)、 $2.5263 \times 10^{-10} \text{ m}$ ($\bar{2}02$), 与标准透闪石的衍射谱线基本一致; 透辉石的主要特征谱线为 $3.2401 \times 10^{-10} \text{ m}$ (220)、 $2.9933 \times 10^{-10} \text{ m}$ ($\bar{2}21$)、 $2.8948 \times 10^{-10} \text{ m}$ ($\bar{3}11$)、 $2.5670 \times 10^{-10} \text{ m}$ ($\bar{1}31$)、 $2.5263 \times 10^{-10} \text{ m}$ (002), 与标准透辉石衍射谱线基本一致; 方解石的主要特征谱线为 $3.0370 \times 10^{-10} \text{ m}$ (104)、 $2.2847 \times 10^{-10} \text{ m}$ (113), 与标准方解石衍射谱线一致。还出现了石英的 $3.3429 \times 10^{-10} \text{ m}$ 和 $4.2217 \times 10^{-10} \text{ m}$ 特征谱线, 表明石英作为次要矿物出现; 同时出现了白云母的特征谱线 $10.7163 \times 10^{-10} \text{ m}$, 少量云母作为副矿物产出。经计算, 透辉石、透闪石、方解石的晶胞参数与理论值(表 2)吻合度较好。

2.4 矿石及围岩稀土元素组成特征

稀土元素能很好地示踪地质和地球化学作用过

表 2 亚五夺透闪石玉主要矿物晶胞参数

Table 2 Crystal parameters of the Yawuduo tremolite nephrite deposit

矿物	a_0/nm	b_0/nm	c_0/nm	$\beta/^\circ$
透闪石	0.978 ± 0.003	1.785 ± 0.004	5.284 ± 0.001	104.45 ± 0.05
透闪石理论参数	0.984	1.805	0.528	104.37
透辉石	0.981 ± 0.002	0.901 ± 0.003	0.524 ± 0.001	105.48 ± 0.01
透辉石理论参数	$0.975 \sim 0.985$	$0.890 \sim 0.902$	$0.524 \sim 0.525$	$105.6 \sim 104.7$

程中流体的活动性^[12]。本次选取 2 件矿石和 4 件围岩样品, 在国家地质测试中心进行稀土元素组成测试。分析结果及其球粒陨石标准化配分模式图, 如表 3 和图 6 所述。

从表 3 和图 6 可知, 稀土元素总量变化范围为 $w(\Sigma\text{REE}) = 10.59 \times 10^{-6} \sim 160.40 \times 10^{-6}$, 球粒陨石标准化配分模式为右倾型, 具有弱的 Ce 正异常 ($\delta\text{Ce} = 0.99 \sim 1.15$) 及较强的 Eu 负异常 ($\delta\text{Eu} = 0.09 \sim 0.62$)。其中, 透闪石岩矿体的稀土元素组成特征: $w(\Sigma\text{REE}) = 87.60 \times 10^{-6}$, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 2.32$, $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 3.28$; 透辉石岩的稀土元素组成特征: $w(\Sigma\text{REE}) = 10.59 \times 10^{-6}$, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 1.5$, $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 0.79$; 花岗岩围岩的稀土元素组成特征:

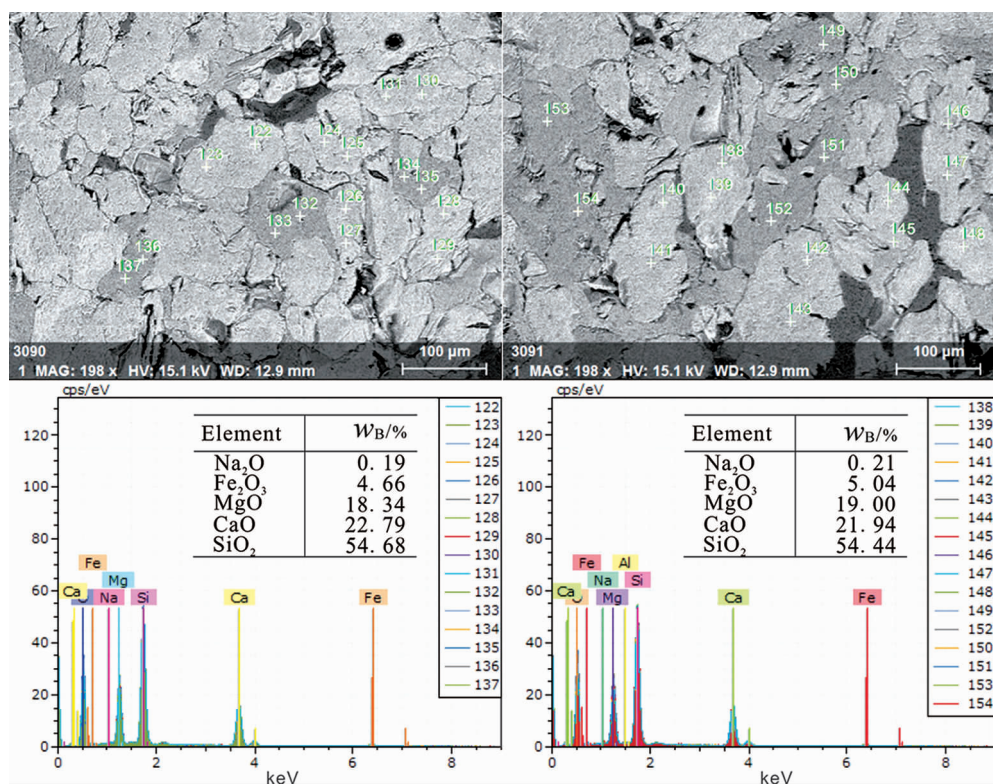


图 4 亚五夺透闪石玉能谱分析图

Fig. 4 Energy dispersion spectra diagram of Yawuduo nephrite deposit

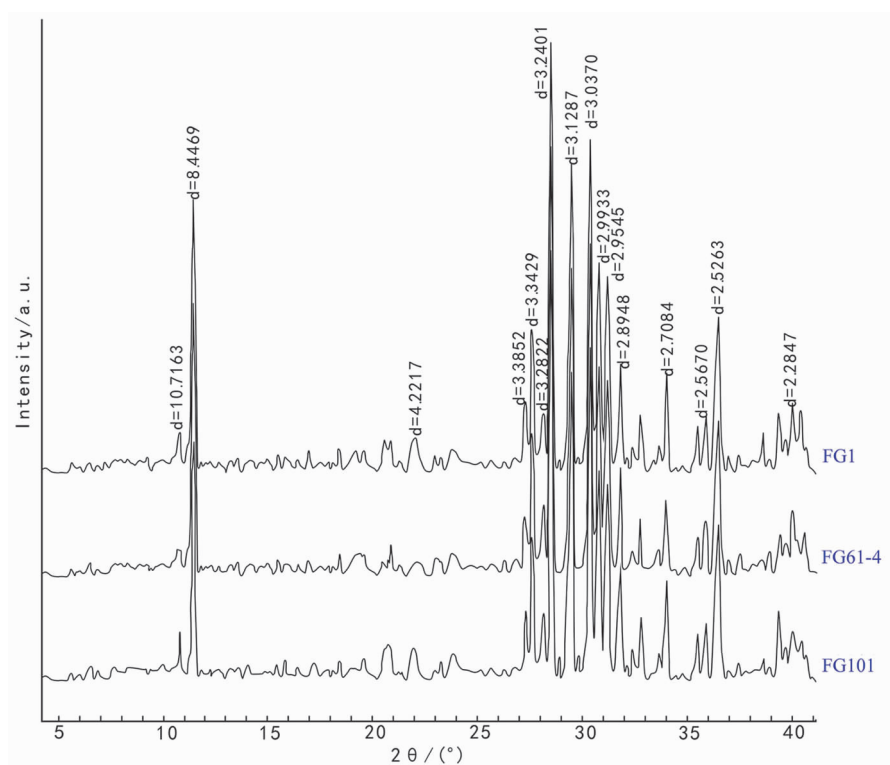


图 5 亚五夺矿区典型透闪石玉粉晶 X 射线衍射图谱

Fig. 5 X-ray diffraction spectra of the Yawuduo tremolite nephrite deposit

$w(\Sigma\text{REE}) = 32.15 \times 10^{-6} \sim 160.40 \times 10^{-6}$,
 $w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 3.33 \sim 14.69$ 、 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 4.49 \sim 25.15$;大理岩围岩的稀土元素组成特征: $w(\Sigma\text{REE}) = 101.73 \times 10^{-6}$, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 7.8$, $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 16.62$ 。不同岩矿石之间存在一定差异,但均未表现出较明显的轻、重稀土富集。

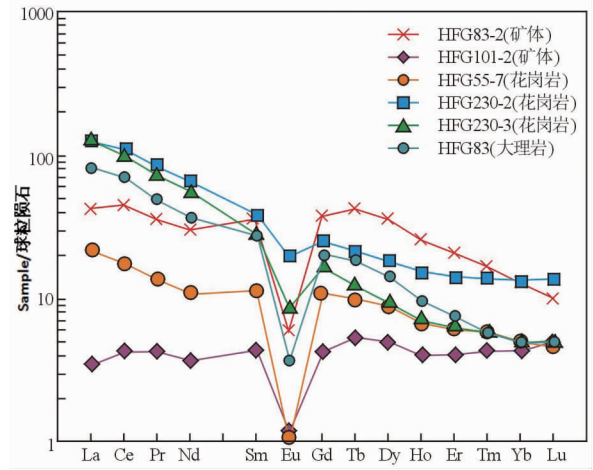


图 6 亚五夺透闪石玉稀土元素球粒陨石
标准化配分模式图

Fig. 6 Chondrite normalized REE pattern of
Yawuduo tremolite nephrite deposit

3 讨论

3.1 透闪石玉(软玉)特征的对比

国内已有软玉矿床的研究(表 4)表明,因其成因的不同,显示了各自不同的特点。其中,与超基性-基性岩或蛇纹岩有关的软玉,多呈绿色,透辉石含量(体积分数)为 90%~95%,次含铬尖晶石、蛇纹石、透辉石、绿泥石;与中酸性岩有关的软玉多为青玉、青白玉或白玉,透闪石含量(体积分数)达 98%以上,次含磁铁矿,不含碳酸盐矿物;与碳酸盐岩有关的软玉主要呈白色、黄白色,透闪石含量(体积分数)达 95%~98%,次含碳酸盐矿物、蛇纹石、绿泥石、磁铁矿、滑石和磷灰石等。在结构构造上,主要为毛毡状纤维交织变晶结构、放射状变晶结构和纤维束状变晶结构,少量显微片状变晶结构和交代残余结构,块状构造^[4]。另外,软玉多呈蜡状光泽,半透明—不透明,折射率 1.61 左右,密度在 2.92~3.00 g/cm³。

亚五夺透闪石玉呈蜡状光泽,微透明—不透明,折射率 1.60,密度 2.904~2.933 g/cm³,主要颜色有墨绿色、浅绿色和灰白色,次要矿物有方解石等,这与国内正在开发利用的与碳酸盐岩有关的软玉较

表 3 稀土元素含量分析结果

Table 3 REE Analysis

类型	矿 体			围 岩		
岩石名称	透闪石岩	透辉石岩	花岗岩	花岗岩	花岗岩	大理岩
样品编号	HFG83-2	HFG101-1	HFG55-7	HFG230-2	HFG230-3	HFG83
La	10.10	0.81	5.32	30.20	31.20	19.70
Ce	27.60	2.65	11.10	67.10	62.70	43.80
Pr	3.42	0.41	1.31	8.01	7.10	4.76
Nd	14.20	1.75	5.15	30.80	26.40	17.40
Sm	5.52	0.67	1.79	6.03	4.42	4.29
Eu	0.34	0.07	0.06	1.17	0.50	0.22
Gd	7.78	0.88	2.24	5.24	3.47	4.26
Tb	1.60	0.20	0.39	0.81	0.47	0.70
Dy	9.18	1.27	2.25	4.73	2.43	3.67
Ho	1.46	0.23	0.39	0.88	0.41	0.55
Er	3.50	0.67	1.03	2.40	1.06	1.25
Tm	0.43	0.11	0.15	0.36	0.15	0.15
Yb	2.21	0.74	0.85	2.32	0.89	0.85
Lu	0.26	0.13	0.12	0.35	0.13	0.13
$w(\Sigma\text{REE})$	87.60	10.59	32.15	160.40	141.33	101.73
$w(\text{LREE})$	61.18	6.36	24.73	143.31	132.32	90.17
$w(\text{HREE})$	26.42	4.23	7.42	17.09	9.01	11.56
$w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$	2.32	1.50	3.33	8.39	14.69	7.80
$w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$	3.28	0.79	4.49	9.34	25.15	16.62
δEu	0.16	0.28	0.09	0.62	0.38	0.16
δCe	1.15	1.12	1.00	1.04	0.99	1.07

量单位: $w_{\text{B}}/10^{-6}$

表4 中国不同产地软玉的特征对比

Table 4 Character of nephrites from different producing areas in China

产地	光泽	透明度	折射率	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	主要颜色	主要矿物	次要矿物	主要结构	主要构造	资料来源
新疆和田	油脂光泽	半透明-不透明	1.62	2.926~3.001	青玉、青白玉为主	透闪石(>98%)	楣石、磷灰石、斜黝帘石、磁铁矿、石墨、镁铁尖晶石等	毛毡状纤维结构、显微纤维-隐晶质、显微纤维等	块状构造,偶见片状构造	文献[5,18-19]
江苏溧阳	玻璃光泽	半透明-不透明	1.61	2.980~3.000	白玉、青白玉	透闪石或钠透闪石	透辉石、硅灰石、绿帘石、磁铁矿和黏土矿物等	纤维交织变晶结构	块状构造	文献[6,20]
新疆玛纳斯					碧绿色、灰绿色	透闪石(75%~95%)	透辉石、叶绿泥石、阳起石、蛇纹石、钙铝榴石、铬尖晶石等	毛毡状显微交织结构	块状构造	文献[21]
辽宁岫岩	蜡状光泽	半透明-微透明	1.60	2.918~2.992	白玉、黄白玉、碧玉	透闪石(>95%)	方解石、白云石、磷灰石、绿泥石、蛇纹石、滑石等	镶嵌变晶结构(毛毡状、放射状等)、交代结构、次生充填结构	块状构造,偶见片状构造	文献[18]
河南栾川	蜡状光泽	不透明	1.60	2.950	灰白色、青白色、褐色	透闪石(>95%)	方解石、白云石、蛇纹石、镁铁尖晶石等	放射状变晶结构、纤维束状变晶结构	块状构造	文献[22]
福建南平	玻璃光泽-油脂光泽	半透明	1.61	2.979~2.989	墨绿色、翠绿色、黄绿色	透闪石(>99%)	透辉石、磷灰石等	纤维状结构、毛毡状交织结构	块状构造	文献[23]
云南福贡	蜡状光泽	微透明-不透明	1.60	2.904~2.933	墨绿色、浅绿色、灰白色	透闪石(45%),透辉石(40%)	方解石、石英、长石、白云母、黑云母、长石、楣石、独居石、磷灰石、金红石等	细粒状变晶结构,交代结构(交代筛状、环边、港湾结构等),相对较粗的针柱状结构	块状构造	本文

为相似,达到玉石开发加工的品质要求。但其主要矿物为透闪石、透辉石,且二者的比例各占一半,与目前主流软玉中透闪石含量(90%以上)有着较大差异。在结构特点上,本矿石具有细粒状变晶结构,尚未发现其它软玉典型的毛毡状纤维交织变晶结构。这些差异的出现,一是由于该区大规模勘查工作尚未开始,更多的矿石类型还有待发现;同时不可避免的是,该矿石是否可以作为一种新型的软玉资源,扩展软玉的传统定义,尚值得进一步探讨。

3.2 矿床成因分析

软玉矿床的形成多与不同来源的热液作用有关。根据成矿热液的主要来源,软玉矿床可分为岩浆热液型和变质热液型两大类^[4]。变质热液型矿床以碳酸盐岩型为主,矿体大多呈不规则状、透镜状产出,矿体产出主要受构造的控制明显,母岩以镁质碳酸盐岩为主,成矿热液为变质热液;而岩浆热液型矿床多受到岩浆岩、围岩岩性及接触带的共同控制,矿体赋存于碳酸盐岩与侵入体接触部位或靠近碳酸盐岩一侧,热液来自岩浆岩体,围岩常以镁质碳酸盐岩为主,成矿热液源于岩浆分异熔浆或期后气水热液。从本区已知矿体的产出特点看,矿体多产于大理岩

夹层与浅色花岗岩透镜体接触部位的矽卡岩内(见图1),透闪石、透辉石多被方解石胶结,矽卡岩与围岩界线过渡,且未见明显的后期变形(见图2、图3);而呈近直立不规则状、透镜状岩株、岩枝产出的浅色花岗岩,已发生强烈的糜棱岩化,并伴随透镜状的浅色熔体(见图2),镜下多见云母鱼构造及石英、长石的不均匀波状消光现象(见图3f)。可见,亚五夺透闪石玉矿床是早期花岗质岩浆侵位有关流体形成的矽卡岩及大理岩,继而在稍晚的区域性糜棱岩化过程中活化富集的变质流体充填而成的。

矿区矿石与围岩的稀土元素组成特征(见表3、图6)表明,二者具有近似的稀土元素配分型式,但又存在一定的差异性。Hopf^[13]认为,热液蚀变过程中蚀变强度低和次生矿物种类较少(即水/岩比较低)时,产生围岩与新生岩石近于平行的稀土配分模式。据图6可知,本区矿化前后的稀土配分模式近于平行,指示矿化作用不强,与实际观察较为一致。而矿石的稀土总量变化范围大,与围岩或蚀变岩相比,总体表现出 ΣREE 略有减少,且轻重稀土分馏和Eu负异常增强,由围岩到矿体 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 值具有明显下降的特点(见表3)。这说明热液流体

是成矿的重要控制因素,围岩中稀土元素的参与改变了流体的稀土元素组成。也进一步明确,本矿床主要成矿期变质流体演化的结果,也存在明显的早期岩浆分异流体的贡献。

根据矿体的宏观、微观产出、变形以及稀土元素组成等特征,亚五夺透闪石玉矿床仍属于变质热液型软玉矿床,但成矿稍早时期的岩浆活动对成矿有一定的贡献。也就是说,它是早期花岗质岩浆侵位有关流体形成的矽卡岩及大理岩,继而在稍晚的区域性糜棱岩化过程中活化富集的变质流体充填的产物,成矿与花岗岩侵位作用形成的岩浆流体有关,但主要是区域性糜棱岩化过程后期变质流体充填作用的产物。显然,该矿床应是在同岩浆同变形时期的强挤压后期的松弛阶段,变质流体混合岩浆残余热液沿张性裂隙充填而成的,应是一种新的矿床成因类型。

亚五夺透闪石玉虽在矿物成分和成因上与传统意义的透闪石玉(软玉)不同,仍可作为一种新类型的软玉原料开发利用。因其成因机制较为特殊,可为区域地质认识和该类型矿床的勘查评价提供新的线索。

3.3 成矿时代

1:20万贡山幅、福贡幅区调资料^①,将该区花岗岩体确定为印支期,但本研究并不支持这一说法。本项目组利用白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar法测定了区内矿体围岩糜棱岩化作用的变形年龄,获得了18~15 Ma的年龄数据(尚未发表),说明亚五夺矿区已知矿床的成矿时期大体为18~15 Ma。近来有学者在碧罗雪山—崇山及澜沧江变形带获取的大量变形年龄数据也反映,其剪切走滑时限为34~14 Ma^[14-17],时间跨度较大,但多集中于22~15 Ma。这些均说明,区内透闪石玉矿床成矿与该时期碧罗雪山—崇山变形带的大规模走滑剪切作用密切相关。同时也暗示,具有同等构造背景和成矿条件的区域,均有类似矿床的找矿前景。

4 结语

(1)亚五夺透闪石玉的矿物组合与已开发的传统软玉品种存在差异,也可作为一种新类型的软玉资源进行勘查开发。

(2)亚五夺透闪石玉矿床属变质热液型矿床,但其在同岩浆同变形时期的拉张阶段,变质流体混

合岩浆热液沿张性裂隙充填而形成的,应是一种新的矿床成因类型。

(3)亚五夺透闪石玉矿床的形成与大规模走滑剪切作用紧密相伴,成矿时期大体为22~15 Ma,在区域上具有较大的找矿空间。

致谢:论文成文过程中得到了中国地质科学院地质研究所杨天南研究员的指导,硕士生王建荣、樊江锋参加野外调查工作,承蒙审稿人的认真审阅并对本文提出宝贵的修改意见,在此一并深表感谢!

注释:

- ① 云南省地矿局区域地质调查大队. 中甸幅、贡山幅1:25万区域地质调查报告,2000:67-72

参考文献:

- [1] Leaming S F. Jade in British Columbia and Yukon territory [J]. Geological Survey of Canada, 1984, 29: 270-273.
- [2] 蒋壬华. 和田玉[J]. 上海地质, 1998(2): 49-58.
- [3] Harlow G E, Sorenesen S S. Jade (nephrite and jadeitite) and serpentinite: Metasomatic connections [J]. International Geology Review, 2005, 47(2): 1-16.
- [4] 刘飞, 余晓艳. 中国软玉矿床类型及其矿物学特征[J]. 矿产与地质, 2009, 23(4): 375-380.
- [5] 吴瑞华, 李雯雯, 白峰. 新疆和田玉岩石学特征及其扫描电镜研究[J]. 岩石学报, 1999, 15(4): 638-644.
- [6] 钟华邦, 张洪石. 江苏梅岭玉的基本特征[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(Suppl.): 105-109.
- [7] 王宏, 林方成, 李兴振, 等. 缅甸中北部及邻区构造单元划分及新特提斯构造演化[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 912-923.
- [8] 杨启军, 徐义刚. 滇西怒江-高黎贡构造带内花岗岩的侵位过程及其对特提斯演化过程的响应[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(5): 1353-1361.
- [9] Yang T N, Ding Y, Zhang H R, et al. Two-phase subduction and subsequent collision defines the Paleotethyan tectonics of the southeastern Tibetan Plateau: Evidence from zircon U-Pb dating, geochemistry, and structural geology of the Sanjiang orogenic belt, southwest China [J]. GSA Bulletin, 2014, 126(11/12): 1654-1682.
- [10] 谭继宽, 杨周奇. 滇缅双变质带及宝玉石成矿[J]. 云南地质, 2002, 21(2): 152-158.
- [11] 陈炳蔚, 陈廷恩. 横贯亚洲巨型构造带的基本特征和成矿作用[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 865-876.
- [12] Hendenon P. Rare Earth element Geochemistry[M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1984: 1-32.
- [13] Hopf S. Behaviour of rare earth elements in geothermal systems of New Zealand [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1993, 47: 333-357.

- [14] Wang Y J, Fan W M, Zhang Y H, et al. Kinematics and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Gaoligong and Chongshan shear systems, western Yunnan, China: Implications for early Oligocene tectonic extrusion of SE Asia [J]. *Tectonophysics*, 2006, 418: 235–254.
- [15] Akciz S, Burchfiel B C, Crowley J L, et al. Geometry, kinematics, and regional significance of the Chongshan shear zone, eastern Himalayan syntaxis, Yunnan, China [J]. *Geosphere*, 2008, 4(1): 292–314.
- [16] Zhang B, Zhang J J, Zhong D L. Structure, kinematics and ages of transpression during strain-partitioning in the Chongshan shear zone, western Yunnan, China [J]. *Journal of Structural Geology*. 2010, 32: 445–463.
- [17] Zhang B, Zhang J J, Chang Z F, et al. The Biluoxueshan transpressive deformation zone monitored by synkinematic plutons, around the eastern Himalayan syntaxis [J]. *Tectonophysics*. 2012, 574/575: 158–180.
- [18] 周振华, 冯佳睿. 新疆软玉、岫岩软玉的岩石矿物学对比研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 2010, 29(3): 331–340.
- [19] 崔文元, 杨富绪. 和田玉(透闪石玉)的研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 2002, 21(Suppl.): 26–33.
- [20] 何明跃, 朱友楠, 李宏博. 江苏省溧阳梅岭玉(软玉)的宝石学研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 2002, 21(Suppl.): 99–104.
- [22] 凌潇潇, 吴瑞华, 白峰, 等. 河南栾川透闪石玉的化学组成特征研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 2008, 27(2): 157–163.
- [23] 汤德平, 林国新, 江爱耕, 等. 福建首次发现软玉[J]. *高校地质学报*, 1997, 3(4): 396–399.
- [21] 唐延龄, 刘德权, 周汝洪, 等. 新疆玛纳斯碧玉的成矿地质特征[J]. *岩石矿物学杂志*, 2002, 21(Suppl.): 22–25.

The gemological characteristics and genesis of the Yawuduo tremolite nephrite deposits in Fugong county, western Yunnan province, China

LIAO Cheng, XUE Chuandong, TANG Jing, YANG Zhichao

(Department of Earth Sciences, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: In Yawuduo area, Fugong county, western Yunnan province occur widely different sized irregular nephrite dykes at, contact zone between mylonitized granite and marble intercalations of gneiss and schist. The results of microscopic observation, X-ray diffraction spectra and energy dispersion spectra and chemical analysis of the nephrite samples show that the refractive index is 1.60, hardness 5.6, and density about 2.9 g/cm^3 . The data meet requirements of jade and they can be served as one new type of the jade to exploit. The mineral volumetric measurement of the Yawuduo nephrite is tremolite (45%), diopside (40%), and calcite (5%), quartz (5%), and minor feldspar, garnet, apatite, sphene, monazite, etc. Percentage (mass fraction) of SiO_2 , CaO and MgO in tremolite is 54.54%, 22.32% and 18.62% respectively. Fe_2O_3 , Na_2O and Al_2O_3 are in minor amount. Crystal cell parameters, a_0 , b_0 , c_0 and β of tremolite are $0.978 \times 10^{-10} \text{ m}$, $1.785 \times 10^{-10} \text{ m}$, $5.284 \times 10^{-10} \text{ m}$ 及 104.45° respectively. The geological characteristics of the deposit and tracing analysis of REE of the wall rock reveal that the nephrite deposit is still a metamorphic hydrothermal deposit. However, it is formed by fissure filling of mixture of metamorphic fluid and residual magmatic fluid during regional synmagma, syndeformation-tensile extension thus should be a new genetic type of nephrite deposit. The mineralization is related to large-scale strike-slip shearing of Biluoxueshan-Chongshan shear zone and timely limited by Late Himalayan orogeny, about 22~15 Ma. The same geological setting and mineralization condition as the deposit is in huge area and is of great potential for prospecting.

Key Words: tremolite nephrite; mineralogic characteristic; x-ray diffraction spectra; energy dispersion spectra; Yunnan province