

溧阳软玉的岩石矿物学研究

周征宇^{1,2} 陈 盈¹ 廖宗廷^{1,2} 袁 媛¹

(1. 同济大学 海洋与地球科学学院, 上海 200092; 2. 同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092)

摘 要: 对采自江苏溧阳小梅岭软玉矿区的软玉样品进行了化学成分、扫描电镜、X 射线粉晶衍射物相定性和结晶度等分析, 确定其主要为透闪石矿物集合体, 并具有显微纤维、柱状及片状 3 种特征结构。将分析结果与新疆软玉进行对比, 发现溧阳软玉普遍显示出透闪石含量稍低、透闪石纤维(片晶)定向性良好以及结晶度偏高的特点, 这与溧阳软玉矿区动力改造相对较弱密切相关。溧阳软玉显示出 ALK 含量(>0.51)高于新疆等其他产地(普遍 <0.46)的特点, 这与其成矿母岩含碱量偏高关系密切。成矿地质条件的不同是造成溧阳与新疆两地所产软玉在上述岩石矿物学特征上巨大差异的根本原因, 也是造成溧阳软玉透明度高、油润度不足、工艺加工性能不高的主要原因。

关键词: 软玉 岩石矿物学特征 透闪石 溧阳

中图分类号: P585

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)05-0490-05

A petrological and mineralogical study of Liyang nephrite

ZHOU Zheng-yu^{1,2}, CHEN Ying¹, LIAO Zong-ting^{1,2} and YUAN Yuan¹

(1. Ocean and Earth Science School, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: ICP test, SEM observation and quantitative and crystallinity analysis of mineral phases of Liyang nephrite have revealed that tremolite fiber has higher crystallinity and better orientation than Xinjiang nephrite, which might be attributed to its weaker dynamic reconstruction. Compared with geological characteristics of other nephrite deposits in China, the parent rock of the Liyang nephrite deposit has extremely abundant ALK, which is believed to be the main cause for the higher contents of ALK in Liyang nephrite. This feature is also regarded as one of the identification characteristics. Specific geological features of the Liyang deposit are responsible for petrological and mineralogical characteristics of Liyang nephrite and also account for the higher transparency and lower oil luster of Liyang nephrite.

Key words: nephrite; petrological and mineralogical characteristics; tremolite; Liyang

自古以来,和田玉(即和田所产软玉)都是人们最为钟爱的玉石品种之一(唐延龄等,2002;周征宇等,2005a),并被选为2008年奥运会奖牌金镶玉及奥运标志中国印的专用玉材。近年来,国内陆续在青海格尔木(董必谦,1996;周征宇等,2005b)、辽宁岫岩(王时麒等,2002)及江苏溧阳(钟华邦,1990)等地发现新的软玉矿床,缓解了和田软玉矿床日益枯

竭的形势,同时也出现了将其他产地的廉价软玉充当高档和田产软玉的情况,极大限制了软玉市场的健康发展。如何区分不同产地软玉就成为现代宝石学对传统地质学提出的新挑战。目前已有部分学者对溧阳软玉进行了初步研究(钟华邦,1990;崔文元等,2002),基本确定了小梅岭所产为透闪石质玉石。虽然溧阳软玉与新疆软玉均为透闪石矿物集合体,

但在表观特征上存在着不少差异,直接导致了二者的市场售价相差数十甚至上百倍。为此,笔者对溧阳软玉矿区进行了实地考察,进行了系统的岩石矿物学分析,以期从矿床成因角度探讨两地软玉差异性形成的根本原因,为最终解决软玉产地鉴定提供新的线索和理论基础。

1 物理性质

相较于和田软玉而言,溧阳软玉颜色不甚丰富,



图 1 溧阳软玉样品

Fig.1 Liyang nephrite sample

表 1 溧阳软玉折射率与密度值

Table 1 Refractive index and density measurement of Liyang nephrite

样品颜色	白	蓝绿	青白	黄绿	青	墨绿	平均值
折射率值	1.61	1.61	1.60	1.61	1.61	1.61	1.608
密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	2.96	2.98	2.96	2.95	2.99	2.99	2.972

注: 样品由同济大学宝玉石测试中心实验室测试。

2 物质组成

2.1 化学组成

表 2 给出溧阳软玉的岩石化学分析结果。结果显示:

(1) 溧阳软玉中主要元素含量平均值 SiO_2 为 59.66%, MgO 为 24.37%, CaO 为 12.24%, 与透闪石的理论值接近; 次要化学成分包括 FeO (平均 0.31%)、 Al_2O_3 (平均 0.62%)、 Na_2O (平均 0.53%)、 K_2O (平均 0.30%), 另外还有少量的 MnO 及 TiO_2 等。

(2) 角闪石族矿物的标准晶体化学式为 $\text{A}_{0-1}\text{B}_2\text{C}_5\text{M}_1\text{T}_8\text{M}_2\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$, 通过计算发现, 溧阳

主要以黄绿色为主, 其次为青白色, 偶见其他产地少有的蓝绿色, 而和田玉中常见的白玉则相对较少(图 1)。样品多呈弱油脂光泽, 半透明~微透明。选取了矿区采集的各色代表性样品 6 块, 通过点测法测得各色代表性软玉样品平均折射率为 1.608(表 1), 与标准透闪石(1.599~1.640)(杨承运, 1988)基本一致。

静水称重法测得溧阳软玉平均密度为 2.95~2.99 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (表 2), 相对和田软玉的 2.66~2.92 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (许佳君, 2008)略高; 硬度 5.5~6.0, 稍小于和田软玉(6~6.8)。

软玉中 A 位置全被 K^+ 占据, B 位置上为 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 占据, C 位置上以 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Ti^{4+} 、 Ca^{2+} 为主, Fe^{2+} 较少, T 位主要为 Si 和 Ti 。

(3) 各色软玉 $\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})$ 比值介于 0.990 5~0.998 6 之间, 根据国际矿物协会关于角闪石族矿物分类的规定 [$\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}) \geq 0.90$ 为透闪石](Leake *et al.*, 1997), 溧阳软玉(包括青玉)均基本不含阳起石, 这与和田碧玉(王时麒等, 2008)明显不同。

2.2 矿物组成

选取各色代表性溧阳软玉样品 5 块, 在同济大学海洋地质国家重点实验室对样品进行 X 射线粉晶衍射实验, 实验条件为 Cu 靶($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$), 40 kV, 100 mA, 扫描范围 $5^\circ \sim 70^\circ$, 步进扫描速度为 $10^\circ(2\theta)/\text{min}$, 步长 0.020° 。测试结果见图 2。溧阳软玉主要谱峰位置和强度均与 JCPDS 13-347 对应的透闪石图谱(JCPDS, 1986)基本一致, 表明溧阳软玉主要由透闪石矿物组成, 镜下观察发现青玉、青白玉中还含有透辉石、白云母、绿帘石等杂质矿物。统计结

表 2 溧阳软玉化学成分数据表

 $w_B/\%$

Table 2 Chemical data of Liyang nephrite

颜色	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	FeO	H ₂ O	CO ₂
白色	0.68	24.34	0.91	59.70	0.01	0.36	12.45	0.05	0.04	0.07	0.15	0.31	0.13
青白色	0.46	24.59	0.60	59.94	<0.01	0.37	12.14	0.04	0.13	0.10	0.22	0.36	0.04
青白色	0.47	24.42	0.44	60.00	0.01	0.20	12.27	0.03	0.15	<0.01	0.32	0.36	0.04
青白色	0.38	24.98	0.77	59.81	0.01	0.65+	11.25	0.04	0.15	<0.01	0.25	0.44	0.09
青白色	0.46	24.29	0.55	59.83	0.01	0.20	12.41	0.03	0.16	0.01	0.35	0.40	0.35
蓝绿色	0.60	24.56	0.65	59.98	0.01	0.18	12.04	0.03	0.03	0.13	0.13	0.45	0.22
黄绿色	0.51	24.27	0.54	59.72	0.01	0.24	12.13	0.03	0.26	0.02	0.33	0.46	0.18
黄绿色	0.45	24.67	0.52	59.89	0.01	0.34	12.06	0.03	0.11	0.03	0.18	0.41	0.13
青色	0.62	24.41	0.53	59.69	0.01	0.26	12.19	0.03	0.22	0.09	0.25	0.45	0.13
青色	0.47	24.46	0.47	59.48	0.01	0.20	12.13	0.03	0.23	0.23	0.23	0.52	0.18
青色	0.65	23.63	0.72	58.98	0.01	0.28	13.25	0.03	0.29	<0.01	0.52	0.35	0.13
青色	0.60	23.76	0.75	58.87	0.01	0.34	12.58	0.03	0.31	0.02	0.80	0.52	0.27
平均值	0.53	24.37	0.62	59.66	0.01	0.30	12.24	0.03	0.17	0.06	0.31	0.42	0.16

注 湖北省地质实验研究所武汉综合岩矿测试中心测试。其中 SiO₂、H₂O 由重量分析法测得, MnO、MgO、CaO、Na₂O 和 K₂O 由原子吸收光谱法测得, TiO₂、P₂O₅ 通过分光光度测定法获得, Al₂O₃、FeO、Fe₂O₃ 和 CO₂ 由容量分析法测得。

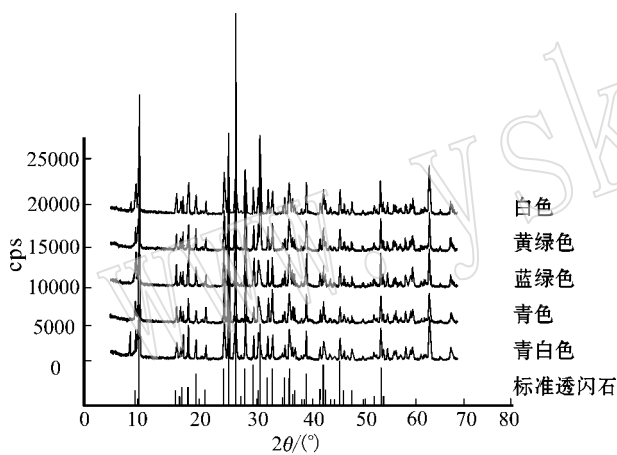


图 2 溧阳软玉 X 射线衍射图谱

Fig. 2 X-ray diagram of Liyang nephrite

果显示,溧阳软玉的透闪石含量通常在 90%~95%,普遍较和田玉(约 99%)为低。

3 显微结构特征

使用同济大学海洋地质国家重点实验室的 Philip XL-30ESEM 型环境扫描电镜(30 kV,高真空模式)对样品进行微观结构特征观察发现,溧阳软玉主要为透闪石矿物的隐晶质集合体。根据透闪石晶体的形态和相互关系,大致可将溧阳软玉的结构分为 3 种。

(1) 纤维状结构(图 3a):透闪石晶体呈显微纤维状,纤维宽度多 < 1 μm,长宽比通常在 10:1 以上。

根据纤维的相互关系,可分为显微纤维交织结构(图 3a)和显微纤维平行结构(图 3b)。其中前者透闪石纤维互相交错编织成毛毡状,该结构软玉透明度较低,韧性极好,因此加工性能和商业价值最高,但产量较少;后者透闪石纤维呈弱平行状互相嵌合,该结构软玉透明度较高,因此略显轻飘,韧度较好,相对较为常见,商业价值中等。

(2) 柱状结构(图 3c):透闪石晶体呈柱状嵌合,宽度多在 5~10 μm。该结构软玉不常见,透明度普遍较高,韧度一般,因此加工性能和商业价值均属中等。

(3) 片状结构(图 3d):在溧阳软玉中也较为常见,透闪石晶体呈叶片状交叠在一起,近于平行排列,厚度多 < 2 μm。具该结构的软玉透明度通常也较高,油性不足。稍用力敲击,软玉即呈片状剥落,因而加工难度大,商业价值较低。

4 结晶度研究

使用 Philip-PW1710 衍射仪,实验条件同 2.2 一节,但采用慢速扫描,扫描范围(2θ)24°~43°,测试结果见图 4。

根据峰强与背景强的比值的大小,利用公式 $C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n P_i + \sum_{i=1}^n B_i}$ (Klug and Alexander, 1974) 来估算结晶度(其中 C 为结晶度, P_i 为第 i 个衍射峰的峰强, B_i 为第 i 个衍射峰的背景强)。计算结果显示,溧阳软玉结晶度平均值为 0.9549,远

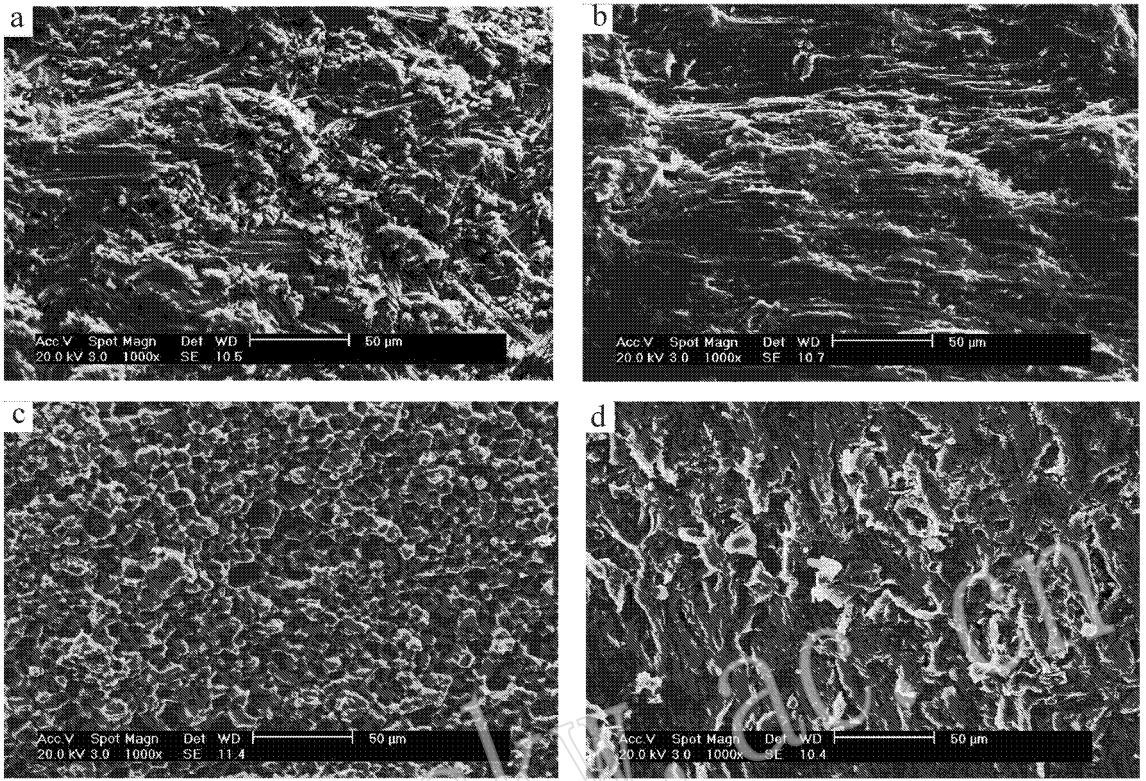


图 3 扫描电镜图像

Fig. 3 SEM photographs of Liyang nephrite

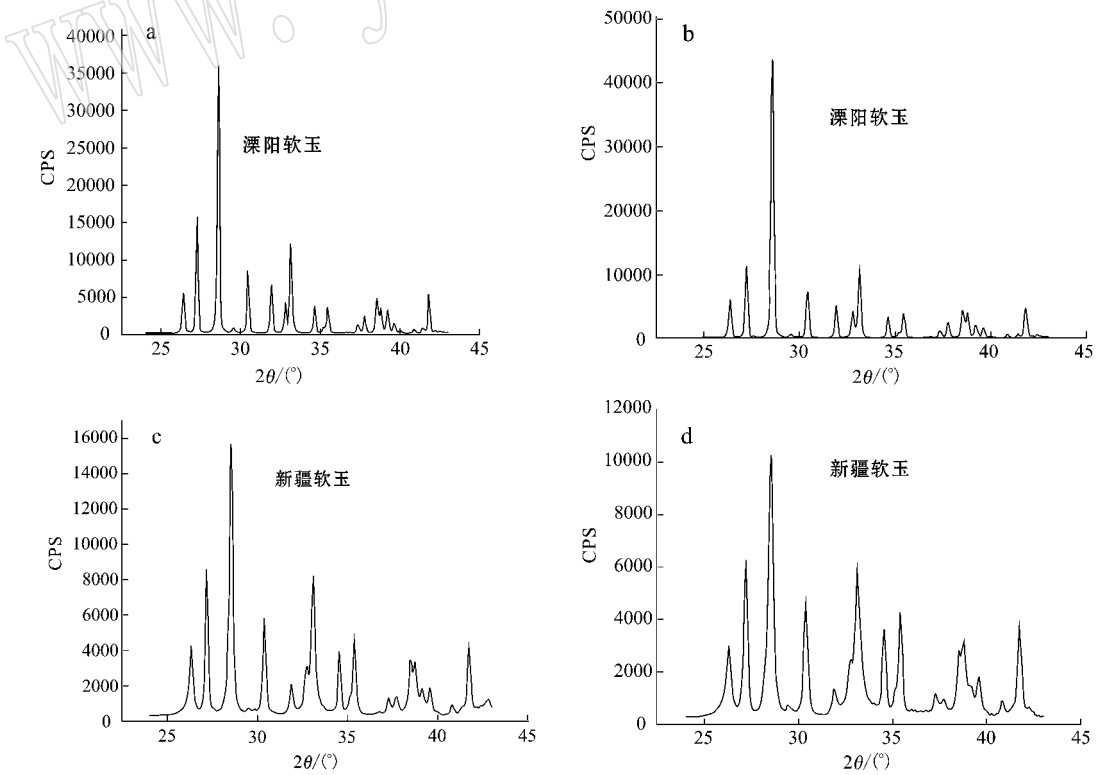


图 4 溧阳软玉与和田玉结晶度 X 射线衍射分析图谱

Fig. 4 Spectra of crystallinity degree of Liyang nephrite and Hetian nephrite samples by X-ray diffractometry

大于新疆软玉样品的平均值 0.843 5(许佳君, 2008)。

5 讨论和结论

从化学组成来看,溧阳软玉为燕山期庙西花岗岩与镁质碳酸盐岩接触交代而成(崔文元等, 2002)。前期对青海等地软玉矿床成矿母岩的研究揭示(周征宇等, 2005b; 许佳君, 2008),溧阳软玉矿区的火成岩含碱量较高, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量达 7.16% ~ 9.24% (另文发表)。由此促使溧阳软玉中 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量偏高(0.51% ~ 1.04%),而新疆、岫岩、青海三地软玉的该值通常低于 0.46%,因此 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量可作为溧阳软玉产地鉴别的主要特征之一。

从微观结构构造特征来看,与新疆和田软玉相比,溧阳软玉具有透闪石纤维(或片晶)定向性较好的特点。一方面使得溧阳软玉的透明度偏高,凝重感不足而质量偏低;另一方面易使溧阳软玉沿纤维或片晶排列方向裂开,导致其工艺加工性能大为降低。这与溧阳软玉形成于较为稳定的构造动力学环境有关,而体现出与和田软玉经受强烈的压扭性改造作用的巨大差异;同时,这也是造成溧阳软玉结晶度远高于和田软玉的主要原因之一。

总之,无论是软玉物质组成、微观结构还是结晶度,都充分揭示软玉成矿条件的不同才是导致不同产地软玉外观特征产生巨大差异的根本原因。因此,也只有从软玉矿床成因研究入手,才有望深入了解软玉的岩石矿物学特征,从而从根本上解决软玉的产地鉴别问题。

References

Cui Wenyuan, Wu Weijuan and Liu Yan. 2002. Study on Liyang tremolite fad[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 21: 91~98 (in Chinese with English abstract).

Dong Biqian. 1996. Geological and gemological characteristics of Gulmud nephrite occurred in Qinghai province[J]. Building Material Geology, 8(5): 23~28 (in Chinese).

Leake B E, Woolley A R, Arps C E S, et al. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Name[J]. American Mineralogist, 82: 1 019~1 037.

JCPDS. 1986. Mineral Powder Diffraction File, Data Book[M].

Klug H P and Alexander L E. 1974. X-ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials, 2nd ed[M]. New York: John Wiley & Sons, 532.

Tang Yanling, Liu Dequan and Zhou Ruhong. 2002. Study on name, culture, quality and mineral deposit of Hetian jad[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 21: 13~21 (in Chinese with English abstract).

Wang Shiqi, Duan Tiyu and Zheng Zizi. 2002. Mineralogical and petrological characteristics of Xiuyan nephrite and its minerogenetic model [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 21: 79~90 (in Chinese with English abstract).

Wang Shiqi and Yuan Xuemei. 2008. Characteristics of material compositions and geological origin of Green Hetian Nephrit[J]. Journal of Gems and Gemmology, 10(3): 4~7, 38 (in Chinese).

Xu Jiajun. 2008. Spectroscopic Studies on Xinjiang Nephrite[M]. Shanghai: Tongji University (in Chinese).

Yang Chengyun. 1988. Optical Mineralogy[M]. Beijing: Geological Publishing House, 58 (in Chinese).

Zhong Huabang. 1990. Study on the tremolite in Liyang county, Jiangsu[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 9(2): 131~135 (in Chinese).

Zhou Zhengyu and Liao Zongting. 2005. Review and prospect on research of Nephrit[J]. Shanghai Geology, 95: 63~66 (in Chinese).

Zhou Zhengyu, Liao Zongting, Ma Tingting, et al. 2005. Study on ore-forming type and genetic mechanism of Sanchakou nephrite deposit in Qinghai province[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 33(9): 1 186~1 190 (in Chinese).

附中文参考文献

崔文元, 吴伟娟, 刘岩. 2002. 江苏溧阳透闪石玉的研究[J]. 岩石矿物学杂志, 21: 91~98.

董必谦. 1996. 青海省格尔木玉地质简况及玉石特征[J]. 建材地质, 8(5): 23~28.

唐延龄, 刘德权, 周汝洪. 2002. 和田玉的名称、文化、玉质和矿床类型之探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 21(增刊): 13~21.

王时麒, 段体玉, 郑姿姿. 2002. 岫岩软玉(透闪石玉)的矿物岩石学特征及成矿模式[J]. 岩石矿物学杂志, 21(增刊): 79~90.

王时麒, 员雪梅. 2008. 和田碧玉的物质组成特征及其地质成因[J]. 宝石和宝石学杂志, 10(3): 4~7, 38.

许佳君. 2008. 新疆软玉的谱学研究[D]. 上海: 同济大学.

杨承运. 1988. 光性矿物学教程[M]. 北京: 地质出版社, 58.

钟华邦. 1990. 江苏省溧阳县透闪石岩研究[J]. 岩石矿物学杂志, 9(2): 131~135.

周征宇, 廖宗廷. 2005a. 软玉研究的回顾与展望[J]. 上海地质, 95: 63~66.

周征宇, 廖宗廷, 马婷婷, 等. 2005b. 青海三岔口软玉成矿类型及成矿机制探讨[J]. 同济大学学报(自然科学版), 33(9): 1 186~1 190.