

# 中国印章石矿床的成矿作用与成矿模式

袁野<sup>1,2</sup> 施光海<sup>2</sup> 楼法生<sup>1</sup> 史淼<sup>2</sup>

(1. 江西省地质调查研究院, 江西南昌 330030; 2. 中国地质大学珠宝学院, 北京 100083)

**摘要:** 印章石是我国特有的具有民族历史文化特色的艺术品, 其矿物成分一般为地开石、高岭石及叶蜡石等粘土矿物。本文对我国印章石矿床的成矿作用和特征进行了探讨和总结, 认为该类矿床一般形成的构造环境为岛弧和陆缘弧, 且矿床的分布均受一定形态类型的火山机构的严格控制。含矿围岩多以中生代中酸性陆相火山岩为主, 其中最有利于成矿的为凝灰岩类。其成矿物质主要来源于相应围岩, 成矿热液主要来自于大气降水。矿床中叶蜡石、高岭石、绢云母等矿物的形成与保存主要取决于 pH、水介质中阳离子的种类及离子浓度。在此基础上, 结合前人对类似矿床的研究成果, 提出了印章石类矿床的成矿模式。

**关键词:** 印章石; 高岭石; 叶蜡石; 成矿作用; 成矿模式

中图分类号: P619.28<sup>+3</sup>

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)50-0146-07

## Mineralization and metallogenic model of Chinese seal stone deposits

YUAN Ye<sup>1,2</sup>, SHI Guang-hai<sup>2</sup>, LOU Fa-sheng<sup>1</sup> and SHI Miao<sup>2</sup>

(1. Geological Survey of Jiangxi Province, Nanchang 330030, China; 2. School of Gemology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The seal stone is a kind of artwork with historical and cultural characteristics of China. Main mineral components of traditional Chinese seal stone are clay minerals composed of kaolin group and pyrophyllite. Based on a discussion on the mineralization of the seal stone deposits, the authors hold that the deposits were generally formed in the island arc and epicontinental arc tectonic environment and the distribution of deposits were strictly controlled by volcanic apparatus with the ore-bearing wall rocks being Mesozoic intermediate-acid continental volcanics, especially tuffs. The ore-forming material was derived from the wall rocks, and the hydrothermal solution came from the meteoric water. The stability of minerals such as pyrophyllite, kaolinite and sericite depended on the pH, the type of cations and the cation concentration of the aqueous media. A metallogenic model for seal stone deposits has been established in association with the research work of related seal stone deposits.

**Key words:** seal stone; kaolinite; pyrophyllite; mineralization; metallogenic model

印章石是一种具有民族历史文化特色的艺术品, 是指用以雕刻印章及工艺品的雕刻石, 在中国的传统石文化中有着极其重要的地位。中国著名的四大印章石分别为福建寿山石、浙江昌化石和青田石、内蒙巴林石, 又称“中国四大名石”。除此之外, 还有江西高洲石、吉林长白石等诸多品种。印章石的矿

物成分一般为地开石、高岭石及叶蜡石等粘土矿物, 有时还含有少量的绢云母、石英和伊利石等(包绍华, 2002; 李婷等, 2010; 朱选民, 2010; 袁野等, 2012)。但并非所有成因的这类粘土矿物都可以用来制印, 用来制印的这类粘土矿物一般是热液蚀变成因。此类热液蚀变型矿床一般规模不大, 高岭石

收稿日期: 2013-11-15; 修订日期: 2013-12-23

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2009CB421008); 江西省博士后科研择优资助项目(2013KY48)

作者简介: 袁野(1985-), 男, 讲师, 主要从事宝玉石矿床学及粘土矿物学等方面的研究, E-mail: yuenyeh@163.com。

矿床与叶蜡石矿床经常共生,但相对风化型和沉积型的其他类似矿床,其质量较好,可形成冻状矿石,成为印章石料的重要来源。目前大多数相关研究都局限于部分矿床或矿石的研究,而对这类矿床的成矿作用和成矿机理研究得相对较少,这些都在不同程度上影响找矿工作的深入和持续,因此对上述问题进行深入的研究对加深理解印章石类矿床的形成机制及指导类似矿床的找矿均具有重要的科学与实际意义。

## 1 成矿地质条件

### 1.1 区域地层及构造环境

印章石资源是一种非金属矿产,其成因可归于酸性凝灰岩蚀变成矿系列。我国中生代晚期的酸性凝灰岩蚀变成矿带是环太平洋成矿带的重要组成部分,根据成矿地质构造及矿化分布特点大致可以分为3个成矿亚带:东南沿海成矿亚带、东北东部-鲁东成矿亚带和大兴安岭-燕山成矿亚带(陶维屏等,1994)。其中最重要的当属东南沿海成矿亚带,往北东越过东海和黄海与朝鲜半岛南部和日本的酸性凝灰岩蚀变成矿带衔接,我国的大部分印石矿床就分布在此成矿带之中。

中国四大名石中寿山石矿体主要赋存于晚侏罗世到早白垩世南园群小溪组的酸性碎屑岩和火山熔岩中(高天钧等,1997),巴林石矿体赋存于侏罗系上统玛尼吐组中酸性火山岩中(张守亮等,2002),昌化石矿体赋存于侏罗系上统劳村组的火山碎屑岩中(包绍华,2002),青田石矿体赋存于侏罗系上统的上西山头组的火山岩及火山碎屑岩中(陈涛,2004),此外其他印章石矿床如上饶高洲石矿床赋存于侏罗系上统鹅湖岭组b段的蚀变岩层中(袁野等,2012)。可见这类印石矿床的出现频率以晚侏罗世最高,其次是早白垩世,其它时代尚未发现,而这期间正是火山活动最强烈的时期,说明这类矿床的赋矿时代与东南沿海构造-岩浆活动的全盛或高潮时期相吻合。

构造上寿山石矿区位于寿山-峨嵋火山喷发盆地的西北部边缘,区内发育北东、北西和东西向的3组构造(高天钧等,1997);昌化石矿区位于江南地轴的边缘,扬子准地台与华南褶皱系的过渡带上,晚侏罗世火山盆地的西北翼,区内有北东和北西向的两组断裂构造(包绍华,2002);巴林石矿区位于白

音诺-景峰新华夏系断裂构造带与新林镇纬向断裂带交汇部位的南东侧,成矿前断裂近东西向展布,成矿期断裂为一系列近平行的扭性为主的张扭性断裂,成矿后以与矿脉平行的南北向压扭性断裂为主(邓燕华,1992);青田石矿区位于浙东南褶皱带温州-临海拗陷的中部,属缙云-青田中生代火山喷发带的一个组成部分,该火山喷发带西南部发育一东西向展布的近火山通道构造,矿区即位于该火山通道南部附近(中国建筑材料工业地质勘查中心浙江总队,1997);高洲石矿区位于武夷隆起区的北部,甘溪火山构造盆地的西部边缘,构造以断裂发育为特征,有北东走向和北西走向两个断层组,区域范围内岩浆活动较强烈(袁野等,2012)。该类印石矿床一般形成的构造环境为岛弧和陆缘弧,矿床多赋存在火山断陷盆地的边缘、破火山口等火山构造及断裂带、挤压破碎带附近,尤其是这些构造的复合部位,而且矿床的分布均受一定形态类型的火山机构的严格控制。

### 1.2 岩性条件

中国东部的环太平洋板块陆缘火山带,从东北的吉林、华北的内蒙东部,直到华南的浙闽赣诸省,广泛发育着一套由侏罗纪到白垩纪的中酸性火山岩系,岩性以安山质、英安质和流纹质的火山熔岩、次火山岩及火山碎屑岩为主,中国的印章石矿床则主要分布在这类中生代火山岩中。其中寿山石的成矿原岩主要为流纹质晶屑凝灰岩及熔结凝灰岩等(高天钧等,1997),巴林石的成矿原岩主要为紫色流纹岩(王小慧,2007),昌化石的成矿原岩主要为流纹质晶屑玻屑凝灰岩(包绍华,2002),青田石的成矿原岩主要为流纹质晶屑玻屑凝灰岩(陈涛,2001),高洲石的成矿原岩为流纹质玻屑晶屑熔结凝灰岩(袁野等,2012)。

由此可见印章石矿床的形成主要与中酸性、酸性火山杂岩有关,这类岩石往往以高硅、富铝、贫铁为特征,从而为大规模的硅质、铝质交代作用提供了重要的物质基础,其中英安质杂岩对形成明矾石矿较为有利,而流纹质杂岩则更有利于高岭石、叶蜡石矿的形成(陈鹤年等,1988)。从几大著名印石矿床的成矿原岩类型可知,其中最有利于成矿的岩性为凝灰岩类,该类岩石玻璃质丰富,有利于各种化学组分的分解、调整及重新组合;由于孔隙度较高、裂隙发育、结构利于气液渗透,长石含量较多,铁镁质含量少,比较利于成矿热液的畅通循环和蚀变形成印

章石矿床。

## 2 成矿物质来源

地球化学特征表明该类矿床的蚀变过程中从围岩到矿石,  $\text{SiO}_2$  含量逐渐减少,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量逐渐增多, 这与样品的高岭石化(叶蜡石化)程度增强相一致, 同时 K、Na、Ca、Fe、Mg 等元素被带出, 显示该类矿床的矿化过程是一种强烈的酸性淋滤过程(Kadir *et al.*, 2011), 说明该类矿床的形成主要依赖于火山热液对围岩的蚀变改造作用。就稀土元素配分曲线而言, 矿石与蚀变围岩具有相似的稀土元素配分型式, 其形成具有良好的继承性(甘怡绚, 2001; 孙旒等, 2003; 王小慧, 2007; 袁野, 2012), 可见该类矿床的成矿物质来源于相应原岩。此外, 在矿石中经常可见到交代残余结构也是一个极好的佐证。

## 3 成矿热液来源

由于成矿热液的主要组分为水, 因而水的来源对于研究各种成矿理论都是最基本的问题。粘土矿物的氢氧稳定同位素组成能提供矿物形成温度和形成环境的信息(Savin and Epstein, 1970; Yeh and Epstein, 1978), 确定热液的氢氧同位素组成的方法有两种: ① 直接测定热液矿物中气液体包裹体中的

水; ② 测定蚀变矿物或热液矿物的氢氧同位素组成, 根据已知的矿物-水的分馏方程计算热液的  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值。由于方法②在技术上相对容易一些, 因此确定成矿热液同位素组成时往往采用这种方法。

表1中列出了国内某些印章石样品的氢氧稳定同位素组成的资料和计算所得热液水的氢氧同位素组成近似值, 并在  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$  相关图上分别做出每个样品值的投影点(图1)。从图1中可看出, 我国印章石矿石的  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$  投影点都落在热液高岭石区, 除了巴林石样品的温度较高之外, 其它样品的范围比较集中, 基本都在热液区  $100\sim 150^\circ\text{C}$  之间。将计算所得的成矿热液水的氢氧同位素组成近似值在成矿热液判别图上投影(图2), 可见成矿热液氢氧同位素投点均在大气降水线附近, 呈现较好的线性关系, 说明这些印章石矿床的成矿热液中的介质水主要来自大气降水。

## 4 成矿作用的物理化学条件

### 4.1 温度和压力

由于矿物颗粒细小, 所以目前对该类矿床的流体包裹体测温实验进行的较少。笔者曾对高洲石矿床的成矿温度进行过研究, 根据氢氧同位素值投图结合 Hemley 等(1980)对  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  体系的实验结果及得出的温压曲线图, 可知高洲石矿床的形

表1 我国某些印章石矿石的氢氧稳定同位素组成

‰

Table 1 Hydrogen and oxygen isotope compositions of some seal stones in China

矿区	样品号	矿物成分	$\delta\text{D}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}_w$	$\delta^{18}\text{O}_w$
江西高洲	LM15	高岭石(含少量叶蜡石)	-98.5	6.6	-72.6	-9.4
	LM16	高岭石	-87.5	5.3	-64.0	-7.8
	LM19	高岭石-地开石过渡矿物	-71.7	4.5	-50.5	-5.7
	LM21	叶蜡石	-79.5	6.3	-87.3	-12.1
	LM22	高岭石(含少量叶蜡石)	-84.5	5.2	-61.0	-7.9
福建寿山	23-02-03 <sup>①</sup>	地开石	-68.0	6.6	-39.0	-4.5
	23-01-09 <sup>①</sup>	地开石	-68.0	6.4	-39.0	-4.7
	23-01-05 <sup>①</sup>	地开石	-64.0	5.2	-35.0	-4.2
	23-09-01 <sup>①</sup>	地开石	-65.0	5.7	-36.0	-4.5
	GS-8 <sup>②</sup>	地开石	-73.0	3.9	-44.5	-7.0
	QJ-1 <sup>②</sup>	高岭石(含少量地开石)	-56.0	6.2	-27.5	-4.8
	EM-11-2 <sup>②</sup>	叶蜡石	-71	3.3	-95.1	-13.0
	YW-3-4 <sup>②</sup>	伊利石	-68	5.7	-39.0	-6.3
	寿山-3 <sup>③</sup>	地开石	-67.3	6.7	-38.2	-4.4
	BL-05	高岭石	-131.0	-9.6	-105.0	-13.5
内蒙巴林	BL-07	高岭石-地开石过渡物	-133.0	-9.1	-107.0	-13.0
	BL-09	地开石	-112.0	-7.1	-86.0	-11.0
浙江青田	北山-23	高岭石	-63.0	8.6	-34	-4.5

注: 寿山石数据①引自甘怡绚(2001), ②引自董晋琨(2008), ③引自陈鹤年等(1988); 巴林石数据引自王小慧(2007); 青田石数据引自陈鹤年等(1988)。

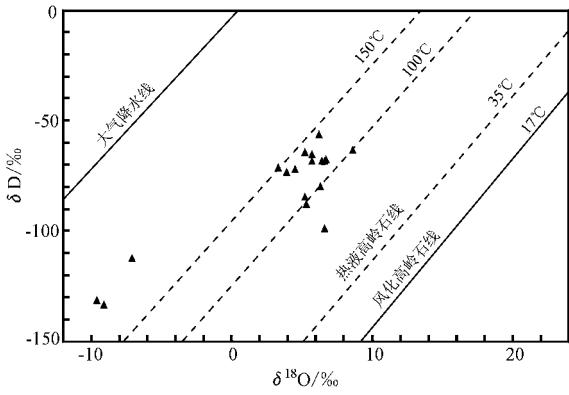


图 1 我国某些印章石矿石的  $\delta D - \delta^{18}O$  相关图  
(据徐步台等, 1986 修改)

Fig. 1  $\delta D - \delta^{18}O$  correlation diagram of some seal stones in China (after Xu Butai *et al.*, 1986)

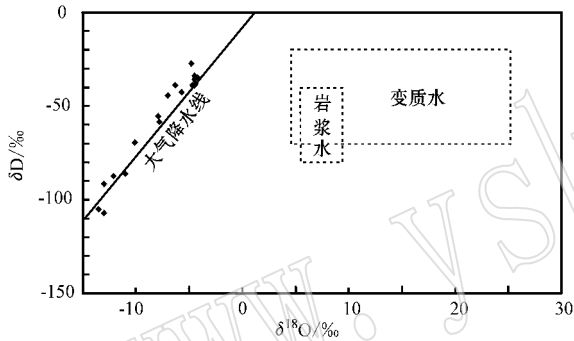


图 2 我国某些印章石矿成矿热液类型判别图  
(据 Taylor, 1974 修改)

Fig. 2 Plot of  $\delta D$  versus  $\delta^{18}O$  for ore-forming hydrothermal solutions of some seal stones in China (after Taylor, 1974)

成温度大约在 75~300°C, 压力应小于 0.1 GPa (袁野等, 2012)。

前人对我国某些其他印章石矿床的成矿温度和压力也做了一些研究。甘怡绚(2001)对寿山高山和杜林的不同样品进行氢氧同位素分析研究得出,地开石型寿山石的成矿温度在 130~260°C,叶蜡石型寿山石的形成温度为 273~330°C,压力均小于 0.1 GPa;孙旒等(2003)对加良山寿山石进行研究,认为其成矿温度约为 285~405°C,压力小于 0.26 GPa;董晋珉(2008)对高山、旗降、峨嵋和月尾地区不同寿山石进行氢氧同位素研究,得出其形成温度在 116~128°C 左右;王小慧(2007)对不同成分巴林石样品进行氢氧同位素研究,认为巴林石的形成温度大约在 200~230°C 之间。目前研究获得的温度在 75~405°C 之间,整体上属于中低温热液蚀变矿床。这类

矿床的成矿压力一般较低,成矿深度一般不超过 3 km。

### 4.2 pH 条件

影响印章石类粘土矿床形成的因素很多,但主要的因素有温度、压力和 pH 值。成矿溶液中的  $H^+$  虽不决定体系相的数目,但它和温度、压力相同,也是平衡的因素之一。Hemley(1959)、Hemley等(1969)、Montoya 和 Hemley(1975)等前人的实验资料和结论对于解释这类印石矿床的成矿过程有重要意义,Beane(1982)在此基础上对  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  体系中钾长石、云母和粘土矿物的平衡条件做了详细的阐述(图 3)。

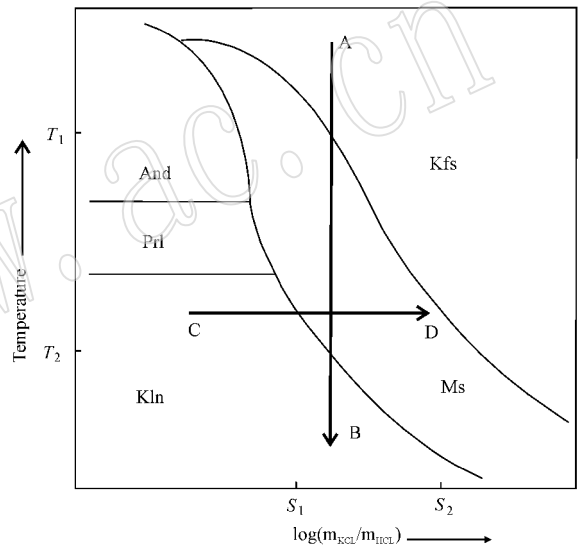


图 3  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  体系的平衡图解  
(据 Beane, 1982)

Fig. 3 Schematic representation for different reaction paths in the system  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  (after Beane, 1982)

And—红柱石; Pri—叶蜡石; Kln—高岭石; Kfs—钾长石;  
Ms—白云母  
And—andalusite; Pri—pyrophyllite; Kln—kaolinite;  
Kfs—K-feldspar; Ms—muscovite

这几种矿物稳定域的重要控制因素是温度、(压力)和  $K^+/H^+$  活度(离子的有效浓度)的比值。在  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  体系中,一定压力条件下,温度和  $K^+/H^+$  活度比影响着平衡方向的移动。在一定的  $K^+/H^+$  活度比时,降低温度,平衡和反应在图 3 中沿 A 到 B 的方向移动和进行,当温度降到  $T_1$  时,原岩中的钾长石开始向绢云母转化,当温度降到  $T_2$  以下,钾长石则直接蚀变成高岭石;在一定温度条件下,增加  $K^+/H^+$  活度比(增加钾离子或减少氢离子),平衡和反应在图 3 中沿 C 到 D 的方向移动和进



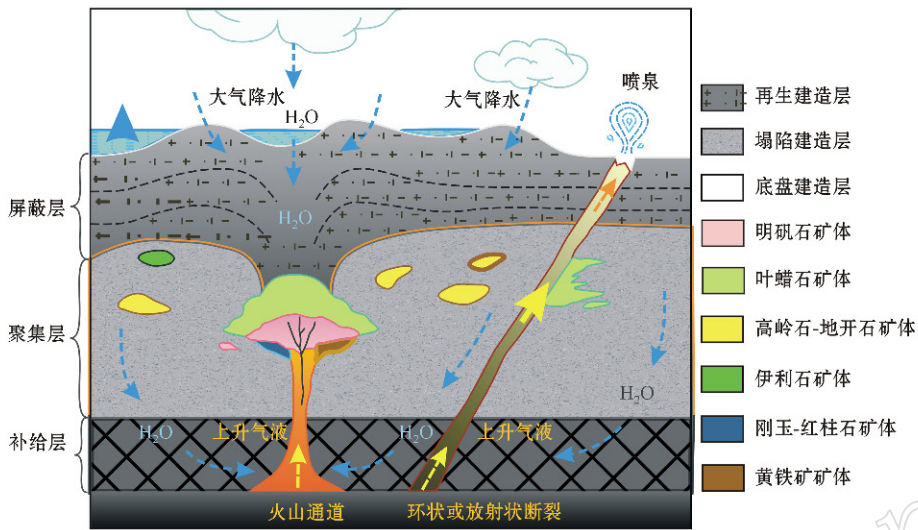


图4 印章石矿床的成矿模式图

Fig. 4 Metallogenic model of the seal stone deposits

充分的火山热液,有利于蚀变成矿。

(3) 蚀变成矿作用主要表现为火山气液对中性酸性火山岩的改造作用。

(4) 大气降水是本系列矿床成矿溶液的主要来源。

(5) 蚀变矿物相的分带主要是火山岩系的原岩组分在温度和 pH 梯度影响下迁移、调整以及碱金属和碱土金属元素被淋滤的结果。

(6) 在温度较低以及 pH 值较高的热液环境中,可有一定数量的钾滞留在粘土矿物相带内,这时将有利于形成伊利石相。

(7) 富硫矿床组合的形成,除了以上共性外,还需赋予熔体相对稳定的分异条件,以便富硫挥发分在其顶部不断达到过饱和状态,并参与到成矿热液体系之中。

## References

- Bao Shaohua. 2002. The geological origin and determinative characteristic of Changhua Chicken-blood stone[J]. *Geology of Zhejiang*, 18(1): 82~86(in Chinese).
- Beane R E. 1982. Hydrothermal alteration in silicate rocks[A]. Titlely S R. *Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America*[C]. Tucson: University of Arizona Press, 117~137.
- Chen Henian, Wu Quanhui, He Jurui, et al. 1988. Basic Characters of the Mesozoic Volcanogenic Nonmetallic Deposits in Zhejiang-Fujian-Jiangxi Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 79~98

(in Chinese).

- Chen Tao. 2001. Gemological study on Qingtian stone from Zhejiang province[J]. *Journal of Gems & Gemmology*, 3(3): 26~30(in Chinese).
- Chen Tao. 2004. A preliminary study of mineralogical and spectroscopic characteristics of Qingtian stone[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 23(2): 186~192(in Chinese with English abstract).
- Deng Yanhua. 1992. *Gemstone Deposits*[M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 134~142(in Chinese).
- Dong Jinkun. 2008. Mineralogical Study and Original Analysis of the Agalmatolite Deposits in Fujian, East China[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese).
- Gan Yixuan. 2001. The Mineralogy, Geochemistry and Genesis of Shoushan Stone[D]. Beijing: Peking University(in Chinese).
- Gao Tianjun, Zhang Zhiliang and Liu Zhixun. 1997. The minerogenic conditions and prospects of mineral exploration of the Shoushan stone(agalmatolite) in Fujian province[J]. *Fujian Geology*, 16(3): 110~131(in Chinese).
- Hemley J J. 1959. Some mineralogical equilibria in the system  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ [J]. *American Journal of Science*, 257(4): 241~270.
- Hemley J J, Hostetler P B, Gude A J, et al. 1969. Some stability relations of alunite[J]. *Economic Geology*, 64(6): 599~612.
- Hemley J J, Montoya J W, Marinenko J W, et al. 1980. Equilibria in the system  $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  and some general implications for alteration/mineralization processes[J]. *Economic Geology*, 75(2): 210~228.
- Hu Shouxi, Ye Ying and Fang Changquan. 2004. Petrology of the Metasomatically Altered Rocks and Its Significance in Prospecting [M]. Beijing: Geological Publishing House, 76~78(in Chinese).
- Inoue A. 1995. Formation of clay minerals in hydrothermal environments[A]. Velde B. *Clays and the Environment: Origin and Mineralogy of Clays*[C]. Berlin: Springer, 268~329.

- Kadir S, Erman H and Erkoyun H. 2011. Mineralogical and geochemical characteristics and genesis of hydrothermal kaolinite deposits within Neogene volcanites, kütahya ( western Anatolia ), Turkey [ J ]. *Clays and Clay Minerals*, 59 : 250~276.
- Li Ting and Chen Tao. 2010. Mineralogical characteristics of Gaoshan stones and Kengtou stones from Shoushan, Fujian Province [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29( 4 ): 414~420( in Chinese with English abstract ).
- Lu Zhigang, Tao Kuiyuan, Xie Jiaying, et al. 1997. Volcanic Geology and Mineral Resources of Southeast China Continent [ M ]. Beijing : Geological Publishing House, 309~329( in Chinese ).
- Meunier A. 2005. Clay [ M ]. Berlin : Springer.
- Montoya J W and Hemley J J. 1975. Activity relations and stabilities in alkali feldspar and mica alteration reactions [ J ]. *Economic Geology*, 70( 3 ): 577~583.
- Savin S M and Epstein S. 1970. The oxygen and hydrogen isotope geochemistry of clay minerals [ J ]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 34( 1 ): 25~42.
- Sun Ni, Cui Wenyuan and Xu Xiang. 2003. Mineralogical characteristics and genesis of Shoushan stone in Jiangliangshan, Fujian province [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22( 3 ): 273~278( in Chinese with English abstract ).
- Tao Weiping, Gao Xifen, Sun Qi, et al. 1994. Mineralogical Series of Nonmetallic Mineral Deposits of China [ M ]. Beijing : Geological Publishing House, 166~179( in Chinese ).
- Taylor H P. 1974. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition [ J ]. *Economic Geology*, 69( 6 ): 843~883.
- Utada M. 1980. Hydrothermal alteration related to igneous acidity in Cretaceous and Neogene formations of Japan [ J ]. *Mining Geology of Japan, Special Issue*, 12 : 79~92.
- Velde B. 1992. Introduction to Clay Minerals-Chemistry, Origin, Uses and Environmental Significance [ M ]. London : Chapman & Hall.
- Wang Xiaohui 2007. Study on Gemology and Mineralogy of Balin Stone [ D ]. Beijing : China University of Geosciences( in Chinese ).
- Xu Butai and Shao Yisheng. 1986. The study on hydrogen and oxygen isotopes of kaolin deposits in Zhejiang province [ J ]. *Scientia Geologica Sinica*, ( 1 ): 90~96( in Chinese ).
- Yeh H W and Epstein S. 1978. Hydrogen isotope exchange between clay minerals and sea water [ J ]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42( 1 ): 140~143.
- Yuan Ye. 2012. Study on Genesis of the Seal Stones : Case Study of the Gaozhou Stone from Shangrao, Jiangxi Province [ D ]. Beijing : China University of Geosciences( in Chinese ).
- Yuan Y, Shi G H and He M Y. 2012. Distribution, features and prospect of China's seal stone resources [ J ]. *Resources & Industries*, 14( 2 ): 143~147.
- Zhang Shouliang and Cui Wenyuan. 2002. Study on mineralogy of Balin chicken-blood stone [ J ]. *Journal of Gems & Gemology*, 4( 3 ): 26~30( in Chinese ).
- Zhu Xuanmin. 2009. Analysis on the characters of origin and the effective factors of quality grading of Qingtian stones [ J ]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 5 : 21~24( in Chinese ).

## 附中文参考文献

- 包绍华. 2002. 浙江昌化鸡血石的地质成因及鉴定特征 [ J ]. *浙江地质*, 18( 1 ): 82~86.
- 陈鹤年, 巫全准, 贺菊瑞, 等. 1988. 浙闽赣地区中生代火山成因非金属矿床基本特征 [ M ]. 北京 : 地质出版社, 79~98.
- 陈涛. 2001. 浙江青田石的宝石学研究 [ J ]. *宝石和宝石学杂志*, 3( 3 ): 26~30.
- 陈涛. 2004. 浙江青田石几个新品种的矿物学特征初步研究 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 23( 2 ): 186~192.
- 邓燕华. 1992. 宝(玉)石矿床 [ M ]. 北京 : 北京工业大学出版社, 134~142.
- 董晋琨. 2008. 福建寿山石矿床的矿物学研究和成因分析 [ D ]. 北京 : 中国地质大学.
- 甘怡绚. 2001. 寿山石矿床矿物学、地球化学及成因 [ D ]. 北京 : 北京大学.
- 高天钧, 张智亮, 刘志迪. 1997. 寿山石成矿地质条件及找矿前景 [ J ]. *福建地质*, 16( 3 ): 110~131.
- 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, 76~78.
- 李婷, 陈涛. 2010. 福建寿山高山石与坑头石的矿物学特征 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 29( 4 ): 414~420.
- 陆志刚, 陶奎元, 谢家莹, 等. 1997. 中国东南大陆火山地质及矿产 [ M ]. 北京 : 地质出版社.
- 孙旋, 崔文元, 徐湘. 2003. 福建加良山寿山石的矿物学特征及成因 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 22( 3 ): 273~278.
- 陶维屏, 高锡芬, 孙祁, 等. 1994. 中国非金属矿床成矿系列—矿床含矿建造成矿系列形成模式 [ M ]. 北京 : 地质出版社, 166~179.
- 王小慧. 2007. 巴林石的矿物学与宝石学研究 [ D ]. 北京 : 中国地质大学.
- 徐步台, 邵益生. 1986. 浙江高岭土矿床中氢氧同位素的研究 [ J ]. *地质科学*, ( 1 ): 90~96.
- 杨文宗, 彭秀文, 杨双喜, 等. 1992. 浙东南主要非金属矿床的地质特征、控矿条件和成矿机理 [ A ]. *中国东南沿海火山地质及矿产论文集·第2辑* [ C ]. 北京 : 地质出版社.
- 袁野. 2012. 印章石的成因分析——以江西上饶高洲石为例 [ D ]. 北京 : 中国地质大学.
- 袁野, 施光海, 何明跃. 2012. 中国印章石资源的分布与特点及其展望 [ J ]. *资源与产业*, 14( 2 ): 143~147.
- 张守亮, 崔文元. 2002. 巴林鸡血石的宝石矿物学研究 [ J ]. *宝石和宝石学杂志*, 4( 3 ): 26~30.
- 中国建筑材料工业地质勘查中心浙江总队. 1997. 浙江省青田县北山高岭石-叶蜡石矿区上沿水矿段详查地质报告 [ R ].
- 朱选民. 2010. 青田石的产地特征及其质量影响因素分析 [ J ]. *矿产保护与利用*, ( 5 ): 21~24.