DOI：10.13957/j.cnki.tcxb.2016.04.013

宜兴黄龙山紫砂原料特征的对比研究

侯佳钰[1,2]，康葆强[2]，严建华[1]，苗建民[2]
(1. 北京工业大学，北京100124；2. 故宫博物院，北京 100009)

摘　要：采用X射线荧光能谱仪、X射线衍射仪、偏光显微镜，对采自于宜兴黄龙山、宜兴张渚及安徽省广德县的紫泥类原料进行分析，探究黄龙山紫泥类原料与其他地区原料的共性与特性。结果发现：三地紫泥类原料Al_2O_3和Fe_2O_3含量较高，属于SiO_2– Al_2O_3– Fe_2O_3三元系统；物相均为含有赤铁矿的石英–高岭石–云母系统，石英含量在24–36wt.%，高岭石含量为27–31wt.%，云母类矿物含量为23–37wt.%，可以不添加其他原料、而单独烧制成紫砂器；宜兴黄龙山紫泥类原料中石英颗粒尺寸适中、分布均匀，可使得黄龙山紫砂器外观有稍微突出的砂质感；黄龙山原料中可以观察到粘土团粒，且团粒的骨架结构可以保留到烧成之后的器物中，并可形成“双重气孔”结构。

关键词：紫砂原料；化学成分；物相组成；岩相分析
中图分类号：TQ174.74　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000–2278(2016)04–0394–06

Comparative Study of Yixing Huanglongshan Zisha Raw Materials

HOU Jiayu[1,2], *KANG Baoqiang*[1], *YAN Jianhua*[2], *MIAO Jianmin*[1]
(1. Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. The Palace Museum, Beijing 100009, China)

Abstract: EDXRF, XRD and PM were used to analyze Zisha raw materials from Huanglongshan and Zhangzhu in Yixing and Guangde in Anhui. The results show: these raw materials have higher Al_2O_3 and Fe_2O_3; all these raw materials have 24-36wt.% quartz, 27-31wt.% kaolin and 23-37wt.% mica, so they can be fired into Zisha wares without other additives; the quartz distributed uniformly in Huanglongshan raw materials with moderate sizes makes the appearance of Zisha ware sandy; aggregate-structure can be observed in Huanglongshan raw materials and becomes double-pore structure in Zisha ware.

Key words: Zisha raw materials; chemical composition; phase composition; petrography

0　引　言

宜兴紫砂器自明代之后开始大盛于世，直至今日均有烧制[1]。近百年来，宜兴紫砂作品在国际上屡获大奖，并且远销世界很多个国家[2]，可以说宜兴紫砂将中国的陶器之美发展到了极致[3]，在中国古陶瓷科技发展史中占有重要的位置。

紫砂壶是宜兴紫砂器的代表，其制作历经采矿、风化、粉碎、过筛、加水搅拌、陈腐、成型、烧成等步骤，而宜兴紫砂器能够从明清一直兴盛到现在，与其得天独厚的原料是分不开的。宜兴本地陶土矿品种主要可以分为白泥、甲泥和嫩泥三大类，紫砂矿料产于甲泥的矿层之中[4]。其中只有紫砂矿料被用来制作上等的紫砂壶，而其它种类的矿料只能用来制作日用陶缸、陶罐等。而紫砂矿料又根据原料或烧成之后器物的颜色可细分为紫泥类、红泥类、绿泥类。

宜兴市丁蜀镇的黄龙山是自古以来著名的优质紫砂原料出产地和采掘地[5]，该矿区现已被列为江苏省文物保护单位。而据报道“紫砂矿”在我们国家很多地方都有出产。那其它地区的紫砂原料与宜兴黄龙山原料相比有何共性与特性？关于这个问题，已有一些学者研究了当地紫砂原料、并与宜兴地区紫砂原料进行科技对比研究。邢台瓷厂的谢平杰分析了太行山东侧“很像宜兴紫砂”的陶土，认为“其化学成分接近宜兴紫砂”[6]。南京大学的方邺森等人分析了江苏高淳地区的紫砂泥料，认为其完全满足紫砂的生产要求[7]。宁夏地质矿产局的张

收稿日期：2016–01–14。　　**修订日期**：2016–03–13。
基金项目：国家文物局文物保护科学和技术研究课题(20120218)；
国家自然科学基金项目(51172048)。
通信联系人：侯佳钰(1986–)，女，硕士。

Received date: 2016-01-14.　　**Revised date**: 2016-03-13.
Correspondent author: HOU Jiayu(1986-), female, Master.
E-mail: sabrinahou@yeah.net

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

寿岭分析了宁夏紫色粘土矿、并与宜兴紫砂相比，认为可以用来烧制紫砂陶[8]。华东地质学院的王平等人分析了江西“准紫砂土”，认为其与宜兴紫砂土十分相似，完全可以作为紫砂土的资源[9]。江西理工大学的王平等人测试了江西省高安市的紫砂土、并与宜兴甲泥和嫩泥相对比，认为其完全满足紫砂陶制品的生产要求[10]。景德镇陶瓷学院江夏等人分析了宜兴地区12种矿料的化学组成、矿物组成和物理性质，并将其与福建和江西的紫砂矿料相对比，认为宜兴紫砂泥料具有其独特性[11]。

然而从已发表的研究论文可以看出，缺少从化学成分、物相组成及含量、显微结构等方面综合研究宜兴与其他地区紫砂原料的差别。此外，宜兴地区原料种类较多而此前的研究对原料的具体来源缺少分析。紫砂原料主要分为紫泥类、绿泥类和红泥类[12]，各种原料性质不尽相同，因此被人们称为“五色土”，另有一类则是“甲泥”而非紫砂原料。因此，需要分别研究与区别使用。

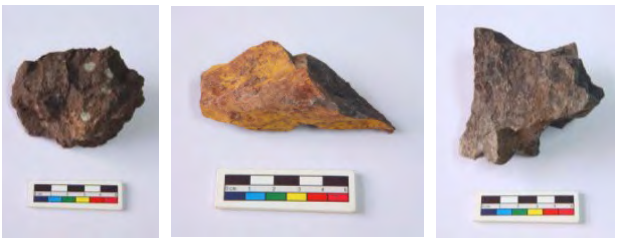
紫泥类原料是紫砂矿料中产量最大、最典型的原料，为了便于对比研究，本文选取采自于三个不同地区的紫泥类原料进行化学成分、物相组成及岩相分析，探寻宜兴黄龙山紫砂原料的本质，并且对上述三个地区紫泥原料的特点作出评价，为深入宜兴紫砂器的与原料的选择应用建立基础。

1　试验样品与测试方法

1.1　试验样品

试验用样品分别为采自于宜兴黄龙山、宜兴张渚及安徽省广德县的紫泥类原料3块，样品号分别为ZS-1、ZS-2、ZS-3，这些原料均为市面上的制壶原料。宜兴黄龙山紫泥类原料样品ZS-1呈深紫色，并有青灰色斑点；宜兴张渚原料样品ZS-2外表面为红色夹杂着黄色，内部为深紫色；安徽省广德县地区原料ZS-3呈深紫色。样品照片见图1。

1.2　测试方法



ZS-1　　ZS-2　　ZS-3

图1　紫泥类原料照片及描述

Fig.1 Zini raw materials studied and their descriptions

采用美国EDAX公司的EAGLE III XXL 微聚焦型X射线荧光能谱仪测试样品的化学成分，束斑直径为300 μm，电压25 KV，电流600 μA，测试时间300 s，采用自建的定量曲线算出样品的定量分析结果。考虑到样品成分的均匀性，将原矿样品在玛瑙研钵中磨制成200目粉末样品，之后利用压样机将粉末样品压制成饼状。

采用日本理学公司的D/max-2550PC型X射线衍射仪测试样品物相的定性及定量组成。测试条件为：管电压40 kV，管电流300 mA，扫描角度范围：3~90 °，每步计数时间1 s，步长：0.02 °，可变狭缝，R_s=0.15 mm，利用全谱拟合法进行定量分析。原料粉碎后研磨成粒径为75 μm的粉末，用铝样品槽，背压法制样。

采用德国Leica公司的DM4000型偏光显微镜进行岩相分析。样品切成块状，用环氧树脂及固化剂进行冷镶，之后粘于玻璃片上后磨制成厚度为30 μm的光薄片。

2　结果与讨论

2.1　化学成分分析

表1为原料样品化学成分结果。从表中可以看出，各地紫泥类原料Al_2O_3含量较高、在22-25wt.%左右，介于高岭土与瓷石之间；而硅铝摩尔比较低、在4.10-4.90之间，较高的Al_2O_3含量有利于提高制品的强度[13]，较低的硅铝比显示出原料较高的

表1　原料样品化学成分结果 (wt.%)

Tab.1 Chemical composition of raw materials (wt.%)

	Unit: wt%									Unit: mol%
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	SiO_2/ Al_2O_3
ZS-1	0.67	1.33	23.15	61.28	3.21	0.21	0.83	0.01	8.31	4.50
ZS-2	0.50	0.88	24.94	60.11	3.04	0.15	0.93	0.01	8.43	4.10
ZS-3	0.48	0.66	22.60	65.13	1.87	0.25	0.93	0.02	7.06	4.90

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

耐火度与热稳定性。

Fe_2O_3含量较高是紫砂原料的另一特点，达到了7–9wt.%，这也是紫砂器呈现紫色的基础。此外，Fe_2O_3也具有一定的助熔作用，根据SiO_2–Al_2O_3– Fe_2O_3三元相图，在氧化气氛中烧成时可以烧成到1400 ℃左右而不产生大量液相[14]，考虑到原料中还含有K_2O、Na_2O等助熔物，因此烧成温度低于1400 ℃。

2.2 物相分析

图2为三地紫泥类原料样品的X射线衍射图谱，从结果中可以看出三个不同地区紫泥类原料中所含物相种类基本一致，主要矿物均为石英、高岭石、云母类、以及少量的赤铁矿。这与前人研究“紫砂原料的矿物组成属于含铁的粘土–石英–云母系”[15]一致，也成为紫砂原料的矿物本质及物相组成的特点之一。

一般来说，传统陶瓷原料的组成需要包含三个物相方面的要素——能够提供瘠化作用的石英类原料、具有可塑性的粘土类原料、以及熔剂原料。石英是所有紫泥原料中主要矿物之一，主要可起到骨架作用[16]。高岭石属于粘土矿物，可赋予紫砂泥料可塑性和烧结性[17, 18]。含有较多云母类矿物是紫砂原料的主要特征之一，云母类矿物(包括白云母碎屑及鳞片状水云母)不仅可以承担与高岭石类似的粘土类原料的作用，更因其富含钾，而起到熔剂原料的作用。此外，赤铁矿的存在也是紫砂原料的重要特点之一，其不仅可以起到助熔作用，并且因含有赤铁矿，紫砂器的颜色可以随着烧成温度及气氛的少许不同，而呈现出从紫红到深紫等不同的色调[19]。总之，紫砂原料物相的定性组成包含传统陶瓷原料所需的所有物相要素，使其具备了可以单独使用、而不必添加任何其他原料即可烧制成紫砂器的基础。

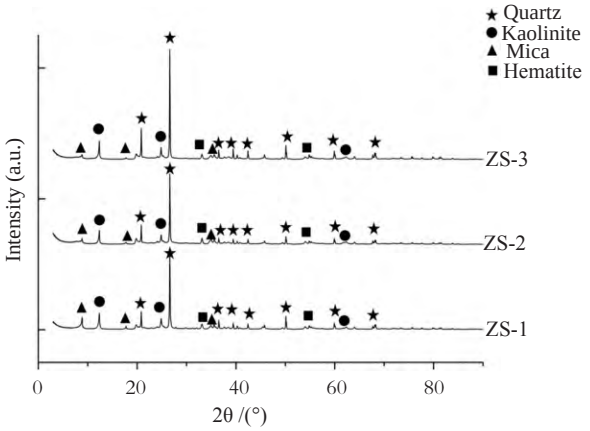


图2 紫泥原料类样品的X射线衍射图谱

Fig.2 XRD spectra of raw materials

表2为所有样品的物相定量分析结果，从结果中可以看出，三个不同地区紫泥原料中石英含量在24–36wt.%，高岭石含量为27–31wt.%，云母类矿物含量为23–37wt.%，三种矿物质量百分比的总和占原料物相组成的85wt.%以上。紫砂原料的这种矿物质量百分比组成的特点，与中国传统绢云母质陶瓷胎体较为相似。中国南方地区早期陶瓷胎体为一元配方、瓷石单独烧成；景德镇窑工自元代开始将高岭土掺入了瓷石中来制胎，使用了瓷石–高岭土二元配方，胎体的矿物系统为石英–高岭石–绢云母三元系统[20]。之前已有学者总结了中国传统绢云母质瓷胎，并将其物相组成画入石英–高岭石–绢云母三角图中，在此范围内的物相组成均可成瓷[21]。绢云母、伊利石、白云母等同属云母类矿物，三者晶体结构相似，故在X衍射图谱中无法辨别。现将该三角图中的绢云母改写为云母类，并将紫砂原料中主要矿物组分——石英、云母类、高岭石的定量成分归一、并画入图中(如图3中a、b、c所示)，便可发现三地紫泥类原料与瓷器胎体物相范围非常接近、仅石英含量略高于瓷器胎体；特别是宜兴两地的紫泥类原料基本落入了瓷器物相范围的边界。由此可见，紫泥类原料的矿物组成类似于使用了二元配方的石英–高岭石–绢云母陶瓷胎体，合适的物相质量百分比组成使其可以不添加其他原料、而单独烧制成紫砂器。

2.3 岩相分析

紫砂器之所以被称之为紫砂，而不是普通的陶

表2 各个地区紫泥原料物相种类及其含量 (wt.%)

Tab.2 Phase species and their amounts (wt.%)

	Quartz	Kaolinite	Mica	Hematite	Mixed layer mineral
ZS–1	26	31	37	4	2
ZS–2	24	27	34	4	11
ZS–3	36	30	23	3	8

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

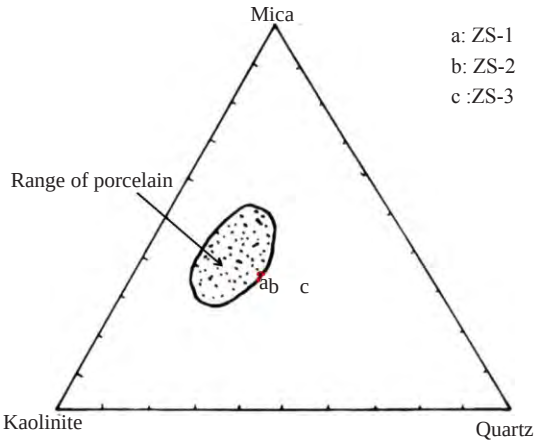


图3 紫泥类原料与传统绢云母质瓷器胎体的物相组成图

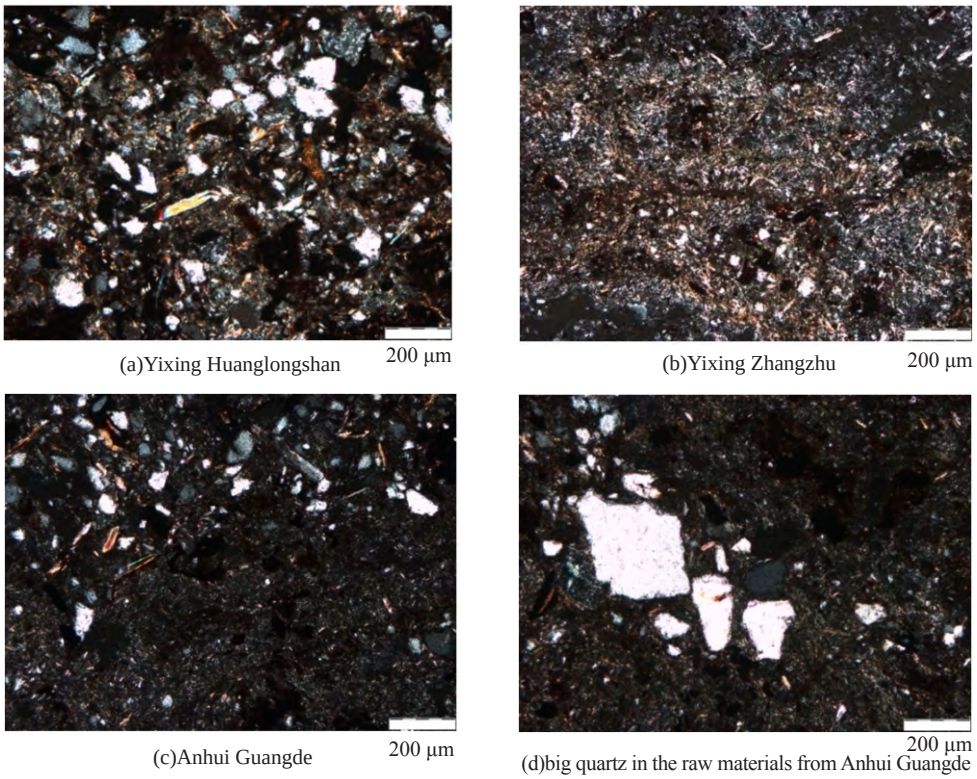
Fig.3 Phase diagram of Zini raw materials and traditional sericite-body

器，最明显的区别便在于烧成之后的紫砂器的外观会有石英颗粒形成的砂质感[22]与紫红色的外观。图4为紫泥原料样品的岩相图，图中主要可以看到石英颗粒及片状白云母(因放大倍数所限，无法观察到微米级的高岭石、水云母类等粘土矿物)。

从图4a黄龙山原料的岩相图中可以看到，原料中石英颗粒数量较多、尺寸在50–100 μm左右；片状云母长度在80–200 μm；各种矿物分布较为均匀。制作紫砂器时一般将原料过筛60目(250 μm)左右，原料中的石英颗粒因此能够保留到坯泥中；1100–1200 ℃的烧成温度又使得残留石英可基本保留颗粒状外形，仅在边缘形成溶蚀边或析出方石英[23]，嵌于由粘土矿物等转化而成的基质中。相对于原料中的高岭石、水云母等粘土矿物，石英颗粒的干燥收缩及烧成收缩均较小，较大的颗粒在器物外表面稍有突出，这样可使黄龙山紫砂器具有“砂质感”。

从图4b中可以观察到宜兴张渚原料中石英颗粒及片状云母均较少，且石英颗粒尺寸均在50 μm以下。相对于黄龙山原料中尺寸为50–100 μm左右的石英颗粒，宜兴张渚紫泥原料中石英颗粒尺寸较小，而云母类助熔矿物含量却较高，这有可能使得石英颗粒在烧制过程中过多地熔融在基质中，而无法将颗粒感保留到烧成之后的陶片中，也就是缺少“砂质感”的效果、缺少紫砂器独特的外观。

安徽省广德县紫泥原料中石英颗粒、片状云母分布极不均匀，如图4c所示，上半部分颗粒矿物密度较大，下半部分几乎全为基质。此外，该原料中石英及云母尺寸差异较大，如图4d所示，石英颗粒的尺寸大多在50 μm左右，但也有少数颗粒尺寸达到了300 μm；片状云母的长度也从50 μm到600 μm



(a)Yixing Huanglongshan　(b)Yixing Zhangzhu

(c)Anhui Guangde　(d)big quartz in the raw materials from Anhui Guangde

图4 紫泥类原料样品岩相图 (正交偏光)

Fig.4 Thin-sections of raw materials (Crossed polarized light)

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

不等，差异极大。安徽省广德县原料这种矿物分布及尺寸的不均匀性，不仅有可能造成烧成之后陶片中物相的不均匀性，同时也有可能使原料在过筛60目(250 μm)的步骤中，过多的去除掉尺寸较大的石英及云母矿物，影响泥料的成分及其成品的性质。

之前已有学者利用扫描电子显微镜发现烧成之后紫砂器中也可观察到“原始团粒”结构，团粒与团粒之间、团粒与基底之间形成了链状气孔、环绕团粒，在团粒内部的颗粒矿物也由于收缩而形成了许多椭圆形气孔；这两种气孔组合而成“双重气孔”结构，正是这种结构使得紫砂器具有良好的透气性及茶后留香的品质[15]。而在进行显微结构观察时，在宜兴黄龙山原料中发现粘土团粒结构，如图5所示。原料中粘土团粒尺寸在300–900 μm，团粒内部有较多包裹物，包括石英颗粒、片状云母等；并且这些矿物的尺寸及形状与团粒外的无明显区别。应该说紫砂器中的“原始团粒”及“双重气孔”结构正是来源于原料中的粘土团粒。

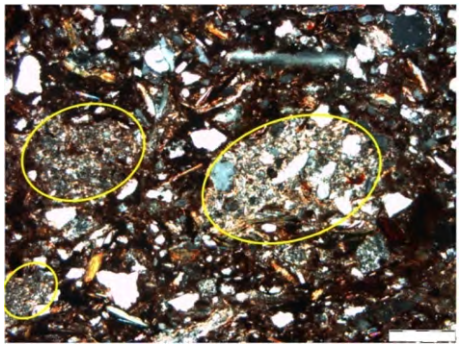


图5 黄龙山紫泥原料中的粘土团粒 (正交偏光)

Fig.5 Aggregate-structure in Huanglongshan raw materials (Crossed polarized light)

利用偏光显微镜观察时，并未在宜兴张渚及安徽省广德县紫泥类原料中发现类似于黄龙山紫泥原料中存在的粘土团粒，烧成之后的器物中也就无法形成“双重气孔”结构，因而透气性不如前者好。

从以上分析结果可以看出，即使三地的紫泥类原料中矿物定性组成及定量结果均较为相似、可以不添加任何其他原料而单独烧成，但三地原料的显微结构却差异较大。样品中只有宜兴黄龙山紫泥类原料中石英颗粒尺寸适中、分布均匀，可使得黄龙山紫砂器外观有稍微突出的砂质感。此外，也只有宜兴黄龙山紫泥类原料中可以观察到粘土团粒，烧成之后可形成 “双重气孔”结构， 使得紫砂器具有良好的透气性及茶后留香的品质。

3 结 论

(1)三地紫泥类原料Al_2O_3含量较高而硅铝摩尔比较低，且Fe_2O_3含量较高，属于SiO_2– Al_2O_3– Fe_2O_3三元系统。

(2)三地紫泥类原料所含物相种类基本一致，主要矿物均为石英、高岭石、云母类、以及少量的赤铁矿，这也是紫砂原料的矿物本质及物相组成的特点之一。这种矿物组成包含传统陶瓷原料所需的所有物相要素，使其具备了不必添加任何其他原料即可烧制成紫砂器的基础。

(3)三地紫泥类原料中石英含量在24–36wt.%，高岭石含量为27–31wt.%，云母类矿物含量为23–37wt.%。这种矿物质量百分比类似于使用了二元配方的石英–高岭石–绢云母陶瓷胎体。

(4)宜兴黄龙山紫泥类原料中石英颗粒尺寸在50–100 μm、分布均匀，可使得黄龙山紫砂器外观有稍微突出的砂质感。宜兴张渚原料中石英颗粒尺寸较小，有可能在烧制过程中过多地熔融在基质中，而无法起到“砂质感”的效果。安徽省广德县原料中矿物分布及尺寸极不均匀，这不仅有可能造成烧成之后制品中物相的不均匀性，同时也有可能使原料在筛分的步骤中，过多的去除掉尺寸较大的石英及云母矿物，影响泥料的成分及其制品的性能。

(5)在宜兴黄龙山紫泥类原料中观察到尺寸在300–900 μm的粘土团粒，且团粒的骨架结构可以保留到烧成之后的器物中，并可形成“双重气孔”结构，使得紫砂器具有独特的性能。

参考文献：

[1]徐秀棠. 紫砂工艺[M]. 浙江: 浙江人民出版社, 2012.

[2]金其桢. 紫砂陶发展史略及紫砂文化[J]. 中国文化研究, 1996, (3): 101–107.

JIN Q Z. Chinese Culture Research, 1996 (3): 101–107.

[3]故宫博物院编. 宜兴紫砂图典[M]. 北京: 故宫出版社, 2012.

[4]贺盘发. 宜兴紫砂泥综述[J]. 江苏陶瓷, 1988, (10): 30–38.

HE P F. Jiangsu Ceramics, 1988 (10): 30–38.

[5]贺云翱. 非物质文化遗产视野下的宜兴紫砂陶工艺[A]. 陶都文化探胜[C]. 北京: 文物出版社, 2009: 105–122.

[6]谢平杰. 邢台紫砂原料的应用[J]. 河北陶瓷, 1983, (2): 10–11.

XIE P J. Hebei Ceramics, 1983 (2): 10–11.

[7]方邺森, 方金满, 林敖金. 高淳紫砂泥的初步研究[J]. 江苏陶

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

瓷, 1984, (1): 2–13.
FANG Y S, FANG J M, LIN A J. Jiangsu Ceramics, 1984 (1): 2–13.
[8]张寿岭. 宁夏紫砂资源及其利用[J]. 西北地质, 1987, (2): 25–26.
ZHANG S L. Northwestern Geology, 1987 (2): 25–26.
[9]王平, 彭人勇. 江西淮紫砂土的特性及应用[J]. 江苏陶瓷, 2001, (1): 18–22.
WANG P, PENG R Y. Jiangsu Ceramics, 2001 (1): 18–22.
[10]王平, 王俊, 简觉非, 等. 高安紫砂制陶工艺性能的初步研究[J]. 佛山陶瓷, 2012, (2): 29–33.
WANG P, WANG J, JIAN J F, et al. Foshan Ceramics, 2012 (2): 29–33.
[11]江夏, 吴隽, 张茂林, 等. 宜兴紫砂泥料性能研究[J]. 江苏陶瓷, 2011, (3): 20–25.
JIANG X, WU J, ZHANG M L, et al. Jiangsu Ceramics, 2011 (3): 20–25.
[12]朱泽伟, 沈亚琴. 宜兴紫砂矿料[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 37–198.
[13]徐 晶, 严义云, 严 群, 等. 焙烧温度和铝硅比对稀土尾矿陶粒性能的影响[J]. 陶瓷学报, 2014, (6): 598–602.
XU J, YAN Y Y, YAN Q, et al. Journal of Ceramics, 2014 (6): 598–602.
[14]韩人杰, 叶龙耕, 贺盘发, 等. 宜兴紫砂陶的生产工艺特点和显微结构[J]. 硅酸盐学报, 1981, (4): 26–35.
HAN R J, YE L G, HE P F, et al. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 1981 (4): 26–35.
[15]孙荆, 阮美玲. 宜兴紫砂陶的显微结构和紫砂器的透气性[J]. 中国陶瓷, 1993, (4): 21–25.
SUN J, RUAN M L. China Ceramics, 1993 (4): 21–25.
[16]方邺森, 方金满. 陶瓷矿物原料——石英[J]. 中国陶瓷, 1984, (4): 18–22.
FANG Y S, FANG J M. China Ceramics, 1984 (4): 18–22.
[17]刘属兴, 刘维良, 夏光华. 陶瓷矿物原料与坯釉配方应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 244–246.
[18]苗立峰, 包振红, 江伟辉. 几种常用高岭土的烧结性能比较[J]. 陶瓷学报, 2014, (2): 188–192.
MIAO L F, BAO Z H, JIANG W H. Journal of Ceramics, 2014 (2): 188–192.
[19]RICE P M. Pottery Analysis [M]. The University of Chicago Press, 1987: 335–336.
[20]郭演仪. 南北方古代的制瓷原料和瓷器的特征[J]. 景德镇陶瓷学院学报, 1984, (1): 55–68.
GUO Y Y. Journal of Ceramics, 1984 (1): 55–68.
[21]李家驹. 陶瓷工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 95.
[22]王丽花. 宜兴紫砂泥之我见[J]. 陶瓷科学与艺术, 2014, (7): 98.
WANG L H. Ceramics Science and Art, 2014 (7): 98.
[23]诸培南, 翁臻培, 等. 无机非金属材料显微结构图册[M]. 武汉工业大学出版社, 1994: 54.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net