

山东临朐红丝砚石的发墨机理探讨

李 刚, 王时麒

(北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871)

摘 要: 采用薄片观察、X射线粉晶衍射、显微硬度实验等测试手段, 对山东临朐红丝砚石的矿物学特征和砚石发墨机理进行了研究; 模仿人工研磨的特点, 设计了发墨对比实验, 并开创性地利用薄片观察法对砚石发墨优劣进行了定量评价。结果显示, 石英是红丝砚石发墨的主要功能矿物, 石英的磨圆度、粒度差异、含量是影响砚石发墨快慢的主要因素。

关键词: 山东临朐; 红丝砚石; 发墨机理

中图分类号: P578.4⁺94

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)S1-0175-07

A discussion on ink-making mechanism of Hongsi inkstones from Linqu, Shandong Province

LI Gang and WANG Shi-qi

(School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Mineralogical characteristics and ink-making mechanism of Hongsi inkstones from Linqu in Shandong Province were studied by means of petrographic observation, X-ray powder diffraction (XRD), and microhardness testing. By imitating the artificial ink-grinding, the authors designed an experiment to compare the difference between ink-makings, and quantitatively evaluated the advantages and disadvantages of the ink-making of inkstones by using slice observation creatively. The results show that quartz is the main functional mineral of the inkstones for ink-making, whereas the primary factor which influences the ink-making of the inkstones is the difference of quartz content and texture, such as roundness and grain size

Key words: Linqu in Shandong Province; Hongsi inkstone; ink-making mechanism

红丝砚石, 因其色红黄相间并带有丝状花纹而得名。以红丝砚石制砚, 不仅发墨优异, 且纹理变幻奇异, 色彩明艳, 倍受古今中外书画家、收藏家的青睐。

1 研究现状分析

长期以来, 关于砚石的研究局限于砚石的发展历史、鉴赏性和艺术性方面, 对砚石的矿物岩石学以及发墨机理研究较少。随着观赏石市场发展, 对砚

石的科学研究开始逐渐多起来, 目前关于砚石的研究主要集中于砚石现状、矿物岩石学特征、品质鉴别评价、矿床成因、发墨理论。但是, 整体看来, 砚石的矿物岩石学研究仍然较少, 对于矿物岩石学特性与发墨机理关系的研究更加不足。

郑轶(1988)通过对歙砚砚面粒度的定量研究提出, 发墨的实质是砚面切割墨体, 砚面的密度决定了发墨, 即中锋和密锋的面型刃的砚锋间距在 $1\ \mu\text{m}$ 左右, 它们切割墨体所得到的墨粒为 μm 级, 呈似胶状, 即“发墨如油”; 用高密锋型刃所得到的墨粒更

收稿日期: 2016-10-18; 修订日期: 2016-11-08

作者简介: 李 刚(1975-) 硕士, 矿物学、岩石学、矿床学专业珠宝学研究方向, E-mail: 78180074@qq.com。

细,但切割速度变慢,即“滑感”;用疏锋型刃所得到的墨粒较粗,多在 μm 以上,即“粒感”;卢友任等(2011)通过对端砚的研究认为,石英对砚石质量至关重要,优质砚石石英含量在5%左右,粒径 $<0.01\text{ mm}$ 。

2 发墨理论

2.1 发墨的含义

目前,对于发墨,尚无较为明确的定义。相关的论述,也无法考证其出处,通过采访部分书画爱好者以及制砚师傅的使用砚石经验了解到,多数书画爱好者觉得发墨就是下墨,而发墨好就是下墨快,下墨快为磨墨时得墨汁快之意。但不可避免磨得的墨汁颗粒粗,故墨多无光泽。从部分的古代文献中可以看到,发墨谓砚石磨墨易浓而显出光泽。“何以谓之发墨?曰:磨墨不滑,停墨良久,墨汁发光,如油如漆,明亮照人。此非墨能如是,乃砚石使之然也,故发墨者为上”(马愈《明》,1936)。

因此,仅从文献上看,发墨不仅指墨粒从墨锭上研磨下来产生墨汁的现象,也有磨出的墨汁细腻、润泽的含义。而有的砚虽然磨得快,但是墨粒粗,无光泽,不能称为发墨好的砚。因此发墨含有两层含义,即砚石研磨墨锭的过程以及研磨出墨汁的好坏。

2.2 发墨的原理

根据研墨经验,发墨的过程可以分为分解、溶解、搅拌3个过程,物理化学作用在研墨的过程中是交互作用、同时发生的。分解是在墨锭与砚台表面相互摩擦力的作用下,使墨粒从固体墨锭上分离的过程,这个过程是物理作用;溶解是墨粒在水中溶解的过程,是研墨产生墨汁的过程;搅拌是在研墨过程中,通过墨锭与砚台的磨擦运动,使墨粒均匀地与水分子接触,产生墨汁的过程。在研墨过程中,砚台是分解过程的工具,也是溶解和搅拌过程的容器。砚台磨面的石质越细越紧密,分解脱离的墨粒越细小,从而增加了墨粒与水分子接触的面积和机会,有利于溶解过程的进行。在墨锭质量相同的情况下,石质细密的砚台,下墨快,这是因为下墨的过程是分解与溶解作用同时进行的,越是细小的墨粒越容易溶解。

因此,可以通过研磨出墨汁的颗粒度来对砚台的发墨进行定量评价。现有的墨汁企业标准(QB/T 2860-2007)由国家轻工业联合会提出。通过对国家

轻工业文房四宝质量监督检测中心工作人员的了解,此标准仅适用于厂家生产出的墨汁成品,并不适用于以墨锭与砚台研磨出的墨汁。依据前人所述的发墨原理,总结出:发墨快则墨粒粗,墨汁无光泽;而墨粒细则下墨过慢,有滑感。

3 发墨实验

3.1 实验设计及结果

为了验证前人的发墨理论,模仿人工研磨的特点,笔者设计了发墨比较实验,通过对相同材质的墨锭,在相同水量、相同时间内,研磨所得的墨汁进行薄片观察,所得墨汁单位面积内,颗粒多,则发墨快,颗粒小,则墨质好,以此来定量评价砚台发墨的好坏,本文暂将其命名为薄片观察法。

实验设备:发墨比较实验用砚石选取山东临朐出产的红丝砚石8方,均用600目细砂纸将砚面统一抛光,另选取普通端砚、歙砚石各1方(图1、表1);发墨机为淘宝网墨宝轩艺术坊生产105型金童电动磨墨机,电压220 V,功率5 W,转速30 r/min(图2);墨锭为安徽歙县老胡开文墨厂生产的青墨(重1两)、黄山松烟(重2两)两种品质墨锭,摩氏硬度约2左右,分解后墨粒大小约0.001~0.002 mm。实验条件:研磨时间5 min,水量1 mL,载重压力250 g。取样:对研磨而得墨汁,取少许滴于载薄片上,盖上盖薄片,制成薄片在显微镜下观察其颗粒均匀度、粒度以及颗粒多少,并将实验结果与发墨直观感觉评价进行比较。每块砚石分别用青墨、黄山松烟墨锭做发墨实验各3次,取平均值,以减小实验误差。

通过对发墨薄片的正交显微镜下观察,发墨薄片中的墨粒在失去水分后,会出现部分粘结,薄片鉴定时为避免粘结造成的影响,在墨粒视域的计算中不将粘结部分计算在内(表1)。

(1)发墨薄片以单位面积内墨粒视域百分含量作为墨粒多少的识别标准,差别基本与质地、发墨直观感觉表述一致,墨粒粒度在0.001~0.002 mm之间,极均匀,基本与墨粒的粒度一致;10个样品发墨薄片的墨粒颗粒面积有着明显的差异,而颗粒的大小则几乎无差异。因此,虽然砚台在研墨过程中,下墨快慢存在差异,即砚台面切割下的墨粒块大小会有一定差别,但是在研磨的过程中,墨粒块会逐渐分解达到墨粒自身的粒度大小。由此可以得出,就砚台而言,发墨好坏的含义仅与下墨的快慢有关,即墨



图 1 发墨实验砚石样品照片

Fig. 1 Photographs of the inkstone samples for ink-making text



图 2 自动磨墨机照片

Fig. 2 Photograph of auto ink-making machine

粒的多少有关,可以通过观察薄片单位面积内墨粒视域百分含量获得,而墨粒大小则是墨锭自身墨粒的大小决定的,只要研磨充分就可获得墨粒自身大小的墨汁。

(2) 墨 4 样品石质较软且干涩,发墨快而渍墨(渍墨:民间指发墨后,墨粒残留在砚面的现象),墨 5 样品石质硬而发墨滑感强,属于拒墨(拒墨:民间指

不易发墨,有滑感)的砚石。

(3) 与端砚、歙砚石比较,红丝砚石的发墨快慢差距明显。

3.2 薄片观察法对发墨定量评价的探讨

本文开创性地采用薄片观察法对红丝砚石的发墨进行了定量评价,有以下几个特点:

(1) 薄片观察法操作简易、直观,减少直观感觉中人为因素的影响,通过观察薄片下,单位面积内墨粒的视域百分含量,达到估算墨粒多少的目的,基本满足了对砚台发墨的初步定量评价,可以此作为评价砚台发墨的标准。

(2) 薄片观察法对以往关于砚台发墨理论的研究进行了判定。基本可以确定砚台发墨好坏与其下墨快慢有关,即砚台作为切割工具,切割墨锭的速度;而墨粒的细腻程度,则与墨锭自身墨粒大小有关,砚台作为研磨工具,充分研磨是对其下墨功能的补充。这将有利于制砚者对砚石的开发利用,从发墨角度,科学准确地指导砚台制作。

(3) 薄片观察法是砚台发墨理论研究中,发墨好坏定量评价的探索。由于受到样品收集限制、仪器简陋、设计疏漏等因素的局限,存在一定的实验误差,如对墨粒的视域百分含量应进行更为准确的定量描述。为了能使薄片观察法对砚台发墨的定量评价达到更准确的要求,将通过进一步研究加以完善,减少实验误差,以更准确的数据使之成为标准化的操作规范。

表 1 红丝砚石发墨样品外观描述及实验结果

Table 1 External features and ink-making results of Hongsi inkstone samples

样品编号	样品外观描述	发墨直观感觉	单位面积视域墨粒百分含量/%	墨粒粒度/mm
墨 1	紫红色底黄纹、质地略硬	略滑、拒墨	2	0.001~0.002
墨 2	红底黄丝、质地略硬	略滑、拒墨	2	0.001~0.002
墨 3	红黄相间、质地略硬	略滑、拒墨	2	0.001~0.002
墨 4	灰红色灰黄丝纹、质地软	涩、易发墨、渍墨	10	0.001~0.002
墨 5	紫红色底灰红色纹、质地硬	滑、拒墨	2	0.001~0.002
墨 6	黄底红丝纹、质地适中	较易发墨	5	0.001~0.002
墨 7	黄底红丝纹、质地适中	较易发墨	5	0.001~0.002
墨 8	红底黄丝纹、质地适中	较易发墨	4	0.001~0.002
墨 9	端砚, 褐紫色, 质地略粗	易发墨	25	0.001~0.002
墨 10	歙砚, 黑色, 质地略粗	易发墨	25	0.001~0.002

4 矿物组成分析

为了确定矿物组成等因素对红丝砚石发墨的影响,对墨 1~8 号红丝砚石样品进行了岩石薄片观察、X 射线粉晶衍射分析,并对部分代表性样品做了维氏显微硬度测试。

4.1 薄片观察

通过在偏光显微镜下,放大 100 倍,对红丝砚石岩石薄片观察,发现主要矿物为碳酸盐岩矿物,微晶结构,层状构造,赤铁矿呈土状分布,与微晶碳酸盐岩无法明确区分;部分薄片可见少量石英,呈微晶结构,磨圆状,与微晶碳酸盐矿物较难区分,应为陆源石英(图 3)。

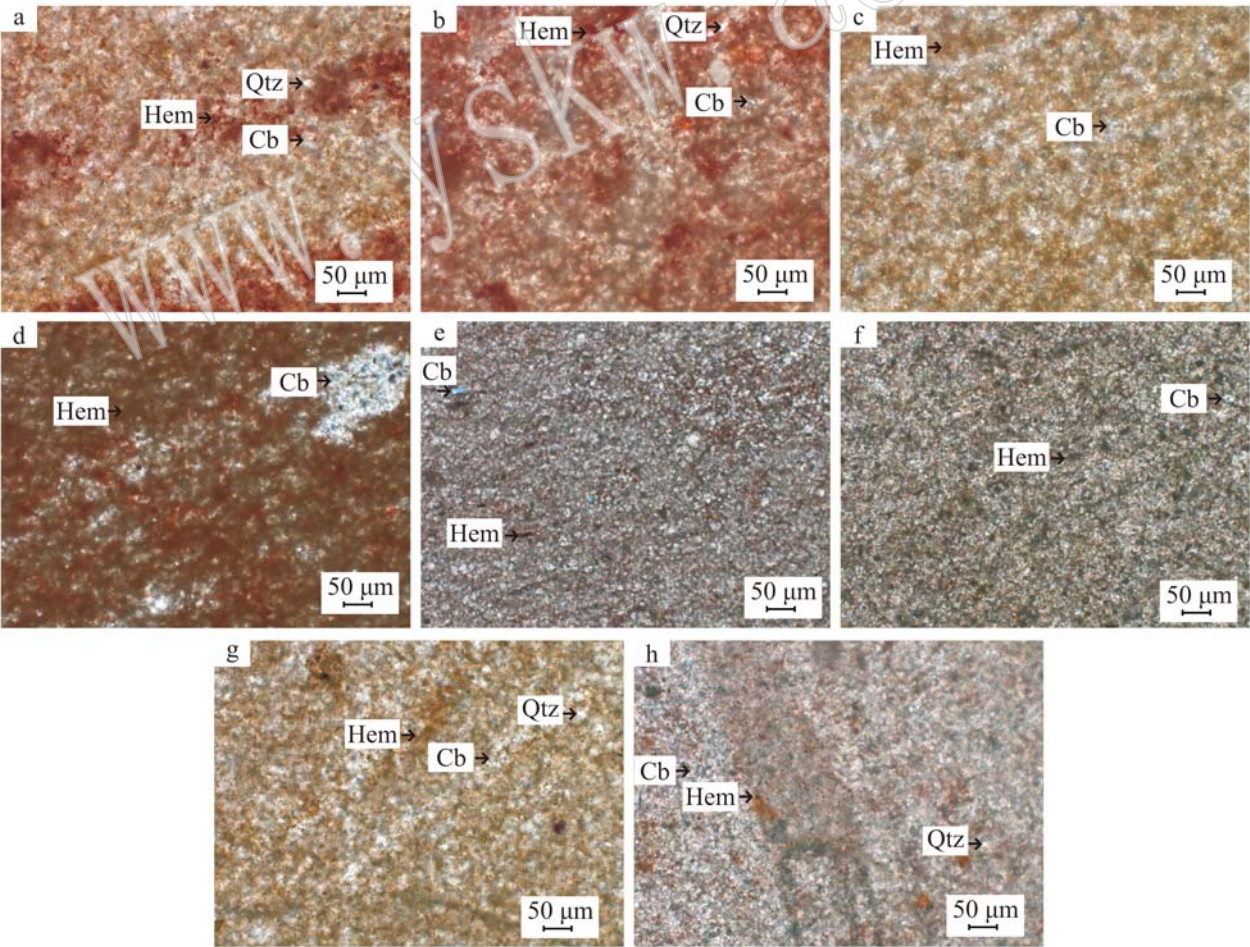


图 3 红丝砚石发墨样品岩石薄片显微镜下图片

Fig. 3 Microphotographs of Hongsi inkstone samples for ink-making test
Cb—碳酸盐矿物; Qtz—石英; Hem—赤铁矿
Cb—Carbonate mineral; Qtz—Quartz; Hem—Hematite

4.2 X 射线粉晶衍射分析

为了确定红丝砚发墨样品的矿物组成，分别对墨 1~8 号红丝砚石样品进行 X 射线粉晶衍射实验。分析实验室为山东省科学院、山东省分析测试中心，仪器型号荷兰 PANalytical Empyrean，管压 40 kV，管流 40 mA，扫描速度 4°/min。

分析结果显示，大部分红丝砚石主要矿物为方解石，墨 4、墨 5 红丝砚石样品白云石含量高，表明红丝砚石样品的主要矿物为碳酸盐岩矿物，方解石、白云石合计含量为 93%~96%，石英含量 1%~7%（图 4、表 2）。

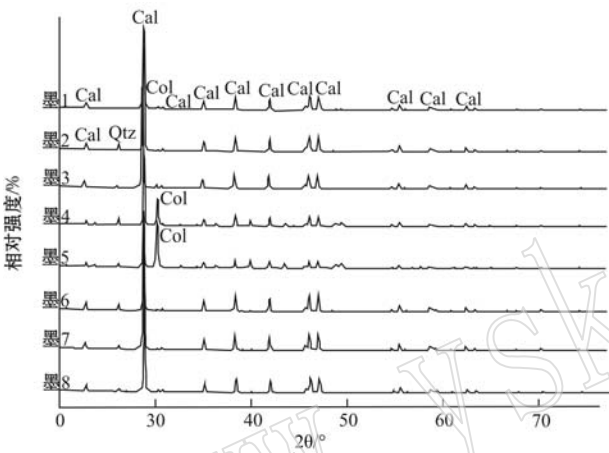


图 4 红丝砚石发墨实验样品 X 射线粉晶衍射图
Fig. 4 XRD patterns of Hongsi inkstone samples for ink-making test

表 2 红丝砚石发墨实验样品 X 射线粉晶衍射分析结果
Table 2 XRD quantitative analyses of Hongsi inkstone samples for ink-making test

样品编号	方解石	白云石	石英
墨 1	96%	3%	1%
墨 2	93%	1%	6%
墨 3	95%	3%	2%
墨 4	50%	43%	7%
墨 5	46%	50%	4%
墨 6	94%	1%	5%
墨 7	94%	2%	4%
墨 8	93%	3%	4%

4.3 硬度实验分析

选取部分代表性红丝砚石样品及墨锭进行维氏显微硬度。测试实验室为齐鲁工业大学玻璃与功能陶瓷加工与测试技术省级重点实验室，实验仪器为 HXD-2000 显微硬度仪。依据换算公式（孟祥振，2007）得出摩氏硬度近似值，结果见表 3。

表 3 红丝砚石样品维氏显微硬度实验结果

Table 3 Microhardness analyses of Hongsi inkstone samples

编号	维氏显微硬度 HV/kg·mm ⁻²	维氏显微硬 度 HV/MPa	摩氏硬度换算 Mohs
墨 3	145.74	1 428.25	3.53
墨 4	166.38	1 630.52	3.69
墨 5	132.76	1 301.05	3.42
墨 6	259.76	2 545.65	4.27
青墨墨锭	23.82	233.44	1.93
黄山松烟墨锭	24.78	242.84	1.95

（1）红丝砚石维氏显微硬度在 1 301.05~2 545.65 MPa，摩氏硬度约在 3.42~4.27 之间，墨锭摩氏硬度小于 2。

（2）拒墨的样品墨 5 发墨最差，硬度最小；较易发墨的样品墨 6 硬度值最大；易发墨的样品墨 4 硬度值居中，对比发墨情况，无明显规律，可得出硬度不是影响砚石发墨快慢的主要因素。

4.4 砚石矿物组成对比

通过对资料（郑轶，1991；李刚，2014）整理，结合本文研究可知砚石的主要矿物组成（表 4）。

（1）通过矿物组成以及本文的维氏显微硬度实验得出，砚石的主要基质矿物是砚石发墨过程中的研磨工具，其硬度应大于墨锭硬度，各砚石之间的差距不大，摩氏硬度约 3~4 左右，但与发墨快慢无明显联系。

红丝砚石、端砚石、歙砚石的主要矿物分别为方解石、水云母、多硅水云母，含量较高。主要矿物作为砚石的胶结物，将石英等功能矿物胶结在一起，功能矿物如刀锋一般立于砚台面，这便使砚石像石锉一样切割墨锭。主要矿物也是墨锭研磨墨粒的主要研磨工具，像磨盘一样，把切割下来大小不一的墨粒块研磨成墨粒本身大小。因此，如果砚石中主要矿物硬度过大或功能矿物含量过高，切割效果虽好，但研磨效果会变差，比如使用普通水磨石的切割墨锭的速度快，但是研磨效果差，切割出的墨粒大小不均，并不能产生优质墨汁；而主要矿物硬度过小或功能矿物含量过低，研磨效果虽好，但切割效果却变差，会产生滑感，发墨慢。

（2）以石英（摩氏硬度为 7）等硬度较大的次要矿物是切割墨粒的主要工具，是砚石发墨的主要功能性矿物。就红丝砚石而言，墨 1~3 号样品滑感强，发墨慢，石英含量较低，为 1%~2%；墨 6~8 号

表 4 红丝砚石、端砚石、歙砚石主要矿物组成
Table 4 The main mineral compositions of Hongsi, Duan, She inkstones

名称	岩性	主要矿物组成			
		矿物	粒度/mm	含量/%	摩氏硬度
红丝砚石	微晶灰岩(碳酸盐岩)	方解石	<0.005	92~96	3.42~4.27
		石英	<0.02	1~7	
		白云石	<0.02	1~3(部分>40%)	
		赤铁矿	<0.02	<1	
端砚石	泥质板岩、水云母 泥质岩、含凝灰粉砂质泥岩	水云母	<0.01	70~80	3~4
		绿泥石	<0.05	5~10	
		石英	<0.10	2~31	
		赤铁矿	<0.10	1~21(局部达 10)	
歙砚石	板岩-千枚状板岩	多硅白云母	<0.01	60~80	
		绿泥石	<0.03	20~30	
		石英	<0.05	5~10	
		碳质	<0.01	<2	

(据郑轍, 1991 修改)

样品石英含量较高, 为 4%~5%, 较易发墨。普通端砚石、歙砚石的石英含量 10%~30% 之间(张莹等, 2008; 卢友任等, 2011), 明显高于红丝砚石, 这应是红丝砚石与端砚石、歙砚石发墨差异的原因之一。

通过本文研究, 红丝砚石样品墨 2、墨 4、墨 5 石英含量为 4%~7% 之间, 差距较小, 但发墨差异明显。因此, 砚石发墨虽然与石英含量有关, 但不是影响砚石发墨快慢的主要原因, 这一点区别于之前的相关研究。

(3) 端砚石所含石英以火山石英晶屑为主, 石英多呈棱角状, 歙砚石所含石英多呈他形晶, 多为拉长粒状(张莹等, 2008; 卢友任等, 2011), 有利于切割墨粒; 红丝砚石中所含石英多为陆源碎屑, 呈磨圆状, 因此切割墨粒的功能稍逊于端砚石、歙砚石。

组成端砚石、歙砚石的主要矿物粒度 0.01 mm 左右, 功能矿物石英的粒度可达 0.05~0.10 mm, 属于粗粉砂, 与基质矿物有明显差异; 而通过本文薄片观察, 红丝砚石中作为基质矿物的碳酸盐岩矿物(方解石、白云石)粒度均<0.005 mm, 石英与碳酸盐岩粒度差异也不明显, 无法准确区分, 属于细粉砂, 呈微晶质, 明显小于端砚石、歙砚石。

5 结论

通过红丝砚石和部分端砚石、歙砚石的发墨实验结果的对比, 对砚石的矿物学特征与砚石发墨之间的关系进行了研究。目前所有可作为砚石的岩石中均含有石英, 石英的磨圆度、粒级等粒度差异以及

石英的含量是影响砚石发墨快慢的最重要因素。

(1) 影响砚石发墨的首要因素是所含石英的类型。端砚石、歙砚石的棱角状、拉长状的火山石英最有利于发墨, 而红丝砚石磨圆状的陆源碎屑类石英则次之。

(2) 所含石英的粒级。红丝砚石所含石英为细粉砂, 呈微晶质, 与基质粒级差异小, 端砚石、歙砚石所含石英为粗粉砂, 明显高于基质粒级, 更适于发墨。

(3) 所含石英的数量。红丝砚石所含石英数量一般不高于 5%, 明显低于端砚石、歙砚石石英含量。如果将砚台面比作石锉, 那么石英则是锉面上的锉峰, 较锋利的锉峰越多, 切割的速度就越快。

仅就红丝砚石的发墨而言, 所含石英粒度差异小, 发墨差异较小, 石英含量就是决定红丝砚石发墨较为重要的因素。

本文首次利用薄片观察法对砚石发墨优劣进行了定量评价, 基本可以确定砚台发墨好坏与其下墨快慢有关, 即砚台作为切割工具切割墨锭的速度。各品种红丝砚石之间, 以及红丝砚石与端砚石、歙砚石之间, 发墨快慢差距明显。薄片观察法通过观察薄片下, 单位面积内墨粒的视域百分含量, 达到估算墨粒多少的目的, 基本满足了对砚台发墨的初步定量评价, 简易、直观, 减少直观感觉中人为因素的影响。

目前关于砚石发墨理论的研究较少, 研究的角度、方法也存在较大差异。本文不足之处在于未能对红丝砚石进行粒度分析和孔隙度等方面的综合研

究,将通过今后进一步的相关研究予以完善。

References

- Li Gang and Wang Shiqi. 2014. Mineralogical characteristics of Hongsi Inkstone from Linqu, Shandong Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(S2): 41~49(in Chinese with English abstract).
- A brief discussion of ink-making [EB/OL]. Baidu Library (in Chinese).
- Lu Youren, Chen Zhiqiang, Yu Hengxiang, *et al.* 2011. Gemmological characteristics and identification of Duanxi Inkstone[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 31(2): 198~201 (in Chinese with English abstract).
- Meng Xiangzhen and Zhao Meifang. 2007. Legal unit of measurement of Vickers hardness and conversion[J]. *Journal of Gems and Gemmology*, 9(2): 53(in Chinese with English abstract).
- Zhang Ying and Chen Tao. 2008. Study on gemmological and mineralogical characteristics of She Inkstone[J]. *Journal of Gems and Gemmology*, 10(3): 12~16(in Chinese with English abstract).
- Zheng Zhe. 1988. Theory on autogenous grind blade and ink-making of China's She inkstone[J]. *Chinese Science Bulletin*, (17): 1330~1332(in Chinese with English abstract).
- Zheng Zhe. 1991. Research status of inkstones[J]. *Jewelry*, 5(2): 1~5(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 李 刚, 王时麒. 2014. 山东临朐红丝砚石矿物学特征研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 33(S2): 41~49.
- 卢友任, 陈志强, 喻享祥, 等. 2011. 端砚的宝石学特征及其仿制品鉴别[J]. *桂林理工大学学报*, 31(2): 198~201.
- 孟祥振, 赵梅芳. 2007. 维氏硬度的法定计量单位及其换算[J]. *宝石和宝石学杂志*, 9(2): 53.
- 张 莹, 陈 涛. 2008. 歙砚的宝石矿物学特征研究[J]. *宝石和宝石学杂志*, 10(3): 12~16.
- 郑 辙. 1988. 中国歙砚的自磨刃发墨理论[J]. *科学通报*, (17): 1330~1332.
- 郑 辙. 1991. 砚和砚的研究现状[J]. *珠宝*, 5(2): 1~5.