

# 氧化气氛下釉的性状与烧成温度的关系

刘千平

(龙泉市鼎青青瓷坊,1459179768@qq.com)

**摘要:**釉具有多样性,采用相同配方配制的原料混合物,在不同的温度下烧成,会形成不同的釉。本试验以长石釉为原料,对同一种长石釉,在 1 110~1 230℃ 温度下,采用氧化气氛烧成制得样品,对样品进行外观效果分析,同时应用显微镜对样品进行显微结构观察。结果表明:随着烧成温度的提高,釉的外观形状,如成熟度、玻化程度、釉面平滑度、光泽度、透明度、呈色、裂纹等,以及釉的微观结构,如釉层气泡数量、大小、分布情况、结晶情况总体等,呈现循序渐进的变化。根据釉的性状与烧成温度的关系发现,对同一釉料配方,不同温度烧成会形成不同的釉。

**关键词:**长石釉;氧化气氛;烧成温度;外观性状

中国是瓷器的故乡,瓷器始于商代,两汉魏晋南北朝正式形成,唐朝的越窑和邢窑开创了南青北白的局面,宋代五大名窑和八大民窑造就了中国瓷器的巅峰时光,元、明、清的青花、粉彩及珐琅彩使中国瓷器进入一个争奇斗艳、色彩缤纷的璀璨时期<sup>[1]</sup>。在瓷器发展的悠久历史中,之所以出现如此众多的瓷器,关键因素在于釉的不同。毋庸置疑,釉的性状首先取决于化学组成。然而,烧成温度也是一项不可或缺的因素,如玻璃釉、乳浊釉、无光釉、透明釉完全是与烧成温度对应的产物。本文以长石釉为例,采用氧化气氛在不同温度下烧成,对形成的釉从外观性状和微观结构进行深入分析和研究,探究不同烧成温度对陶瓷制品外观性状及微观结构的影响规律。

## 1 试验

### 1.1 试验设计

试验釉料采用长石釉,长石釉具有始熔温度低、烧成范围宽、高温黏度大、不易流淌的特性。具体配方:霞石 60%、岭根瓷土 20%、石灰石 10%、石英 10%、氧化铁 0.5%;试验坯料采用龙泉铁胎泥。各原料的化学组成见表 1、釉料的化学组成及釉式见表 2。

### 1.2 制备工艺

#### 1.2.1 胎体的制备流程

坯料—淘洗—过 150 μm 筛—干燥成泥—成型—素烧。本试验施釉胎体选用龙泉铁胎花口盏。

表 1 长石釉原料化学组成表

单位:%

原料	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	灼减
霞石	61.80	21.02	4.85	8.20	0.18	0.04	0.13	0.03	2.52
岭根瓷土	74.20	14.80	3.44	0.20	0.18	0.29	1.66	0.02	5.21
石灰石	3.26	0.58	0.16	0.69	50.17	1.07	0.19	0.03	43.27
石英	96.98	0.43	0.00	0.00	0.76	0.39	0.16	0.00	0.65
氧化铁	0	0	0	0	0	0	100	0	0

表 2 长石釉化学组成及釉式

单位:%

釉名	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	釉式
2-6	66.83	16.91	3.90	5.43	5.65	0.25	1.02	0.03	$\left. \begin{array}{l} 0.1757 \text{ K}_2\text{O} \\ 0.3708 \text{ Na}_2\text{O} \\ 0.4275 \text{ CaO} \\ 0.0261 \text{ MgO} \end{array} \right\} \cdot \left. \begin{array}{l} 0.7023 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 0.0270 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \end{array} \right\} \cdot \left. \begin{array}{l} 4.7189 \text{ SiO}_2 \\ 0.0014 \text{ TiO}_2 \end{array} \right\}$

1.2.2 釉料的制备流程

釉用原料—湿法球磨—过 150 μm 筛—釉浆。

1.2.3 施釉

首先采用浸釉法上底釉,然后在底釉的基础上进行喷釉,确保釉层厚度达到 2.5~3.0 mm。

1.2.4 烧成

用氧化气氛进行烧制,试验最高烧成温度为 1 110 ℃,保温 30 min,烧成曲线见图 1。

按上述烧成制度,改变最高烧成温度分为 1 130、1 150、1 170、1 190、1 210、1 230 ℃,分别进行烧制试验。

2 结果和讨论

2.1 烧成试验结果

随着烧成温度的升高,釉的外观形状,如成熟度、玻化程度、釉面平滑度、光泽度、透明度、呈色、裂纹(表 3),以及釉的微观结构,如釉层气泡数量、大小、分布情况、结晶情况(表 4),大致呈现循序渐进的变化。

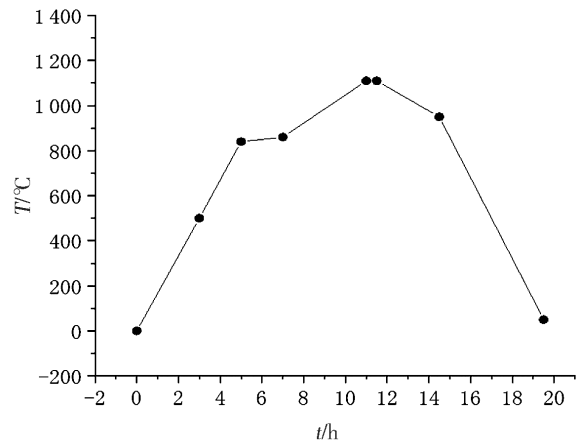



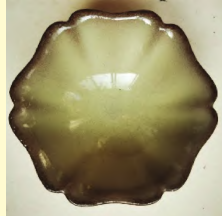



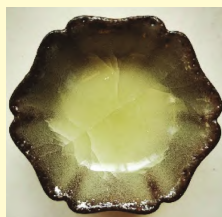

图 1 烧成曲线图

2.2 釉的外观形状与烧成温度的关系

2.2.1 釉面平滑度与烧成温度的关系

随着烧成温度的提高,釉熔体的黏度逐渐降低,在表面张力的作用下,釉熔体的表面逐渐流动至平整光滑。当温度为 1 110 ℃时,釉熔体为欠烧,黏度很大,几乎不流动,由喷釉引起的颗粒局部聚集形成凹凸不平的沟壑;当温度升至 1 130、1 150 ℃时,釉熔体黏度逐渐降低,在表面张力的作用下,釉熔体的表面的沟壑逐渐舒展平滑,形成蚯蚓纹;当温度升至 1 170、1 190、1 210、

表3 不同烧成温度下釉的外观性状

序号	烧成温度/℃	实物图	特征	序号	烧成温度/℃	实物图	特征
1	1 110		欠烧;釉层表面粗糙,凹凸不平,光泽度差,乳浊;釉呈白色	5	1 190		正烧;釉层表面平滑,光泽度好,透明;玉质感强,釉呈黄色,未见蚯蚓纹,见零星裂纹;口沿半露胎
2	1 130		欠烧;釉层表面较平滑,光泽度较差,酥油光泽,乳浊;釉色白中泛黄;蚯蚓纹明显	6	1 210		正烧;釉层表面平滑,光泽度好,透明;釉呈黄色,未见蚯蚓纹,见大片裂纹;口沿露胎
3	1 150		正烧;釉层表面较平滑,光泽度较好,酥油光泽,半透明;釉色白中泛黄;蚯蚓纹较明显;口沿略见胎色	7	1 230		正烧;釉层表面平滑,光泽度好,透明;釉呈黄色,未见蚯蚓纹,见大片冰裂纹;口沿露胎
4	1 170		正烧;釉层表面平滑,光泽度好,透明,玉质感强;釉呈浅黄色;略见蚯蚓纹;口沿胎色明显				

1 230 ℃时,釉熔体黏度较低,流动性较大,在表面张力的作用下,釉面平整光滑,蚯蚓纹消失。

#### 2.2.2 釉面光泽度与烧成温度的关系

从表3可以看出,随着烧成温度的升高,釉面逐渐从无光、酥油光变为光泽状态。当温度为1 110 ℃时,釉熔体欠烧,表面遍布结晶体,粗糙不平,光线形成漫反射,呈无光状态;当温度升至1 130、1 150 ℃时,结晶体基本熔融,但釉熔体黏度较高,在表面呈现细粒凸起,使光线形成散射和漫反射,呈酥油光泽;当温度升至1 170、1 190、1 210、1 230 ℃时,釉熔体黏度

较低,流动性较大,釉面平整光滑,形成镜面反射,呈光泽状态。



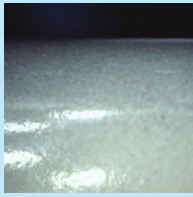
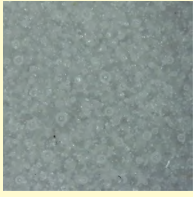

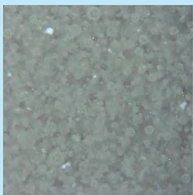
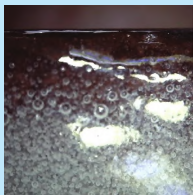
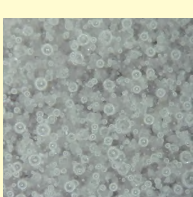
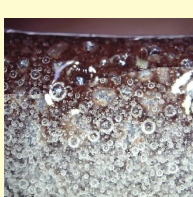
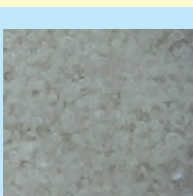
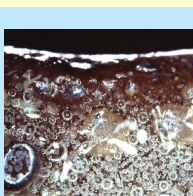
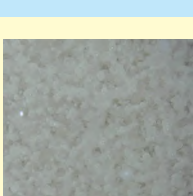
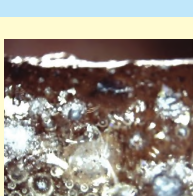
#### 2.2.3 釉的透明度与烧成温度的关系

釉的透明度主要受釉中结晶体和气泡数量、尺寸和密度的影响。从表4显微图可以看出,随着烧成温度的提高,釉中的晶体数量逐渐减少,并且釉中气泡的数量亦逐渐减少,因此釉的透明度逐渐提高。

#### 2.2.4 釉的呈色与烧成温度的关系

关于青瓷釉的呈色与烧成温度的关系,在其他生产工艺相同时,烧成温度越高,釉色越深。

表 4 不同烧成温度下釉的微观结构

序号	烧成温度/℃	显微图(放大 100 倍)		特征
		中心	口沿	
1	1 110			中心:无气泡,遍布结晶体 口沿:无气泡,遍布结晶体
2	1 130			中心:气泡数量 100~120 个/mm <sup>2</sup> ,直径 5~10 μm,间距 10~20 μm;偶见结晶体 口沿:气泡数量 80~100 个/mm <sup>2</sup> ,直径 10~15 μm,间距 20~30 μm;无结晶体
3	1 150			中心:气泡数量 80~100 个/mm <sup>2</sup> ,直径 10~15 μm,间距 20~30 μm 口沿:气泡数量 60~80 个/mm <sup>2</sup> ,直径 15~20 μm,间距 30~40 μm
4	1 170			中心:气泡数量 60~80 个/mm <sup>2</sup> ,直径 15~20 μm,间距 30~40 μm 口沿:气泡数量 40~60 个/mm <sup>2</sup> ,气泡直径 20~30 μm,间距 35~45 μm
5	1 190			中心:气泡数量 40~60 个/mm <sup>2</sup> ,直径 20~30 μm,间距 35~45 μm 口沿:气泡数量 30~40 个/mm <sup>2</sup> ,直径 30~40 μm,间距 40~50 μm
6	1 210			中心:气泡数量 30~40 个/mm <sup>2</sup> ,直径 30~40 μm,间距 40~50 μm 口沿:气泡数量 20~30 个/mm <sup>2</sup> ,直径 50~60 μm,间距 70~80 μm
7	1 230			中心:气泡数量 20~30 个/mm <sup>2</sup> ,直径 50~60 μm,间距 70~80 μm 口沿:气泡数量 10~20 个/mm <sup>2</sup> ,直径 70~80 μm,间距 80~100 μm

从表3实物图可以看出,当采用氧化气氛烧制时,随着烧成温度的提高,釉的呈色按白色、白中带黄、浅黄色、深黄色的顺序变化。如制品的烧成温度在1110℃时就进行止火,釉内尚存钙长石或石英晶体,且釉内气泡数量较多、尺寸细小、密集分布,影响釉的呈色,釉为不透明或半透明状,此时,釉中玻璃体过少,部分铁离子溶到钙长石晶体结构中,导致釉的呈色浅淡,甚至发白色。若温度升高到1130、1150℃进行止火时,釉内大部分钙长石和石英已熔融,仅剩部分微晶,且釉内气泡数量、尺寸适中,正是由于釉层中的微晶、气泡使进入釉层的光线发生强烈的散射,产生乳浊效应,得以在外观上呈现出柔和滋润、温润如玉的艺术效果,釉色白中带黄。若温度升高到1170、1190、1210、1230℃才进行止火时,釉内钙长石和石英已熔融,且釉内气泡较大,分布亦不均匀,此时釉呈透明状。一方面釉中三价铁离子全部存在于釉熔体玻璃体中,另一方面光线直接透过釉层被胎体反射回来,铁胎胎体的颜色直接影响着釉的呈色,两者共同作用造成釉的色调呈黄色<sup>[2]</sup>。

### 2.2.5 釉面裂纹与烧成温度的关系

当釉的热膨胀系数大于胎的热膨胀系数时,在胎釉冷却过程中,釉层的收缩大于胎体的收缩,胎体受到压应力,而釉层受到张应力,当张应力超过了釉层的抗张强度时,就出现导致釉层断裂的裂纹。热膨胀系数相差越大,龟裂程度就越大。而当热膨胀系数相差不大,或釉的热膨胀系数小于胎体的热膨胀系数时,釉面不开裂。烧成温度既影响釉的热膨胀系数又影响胎的热膨胀系数,对于釉料而言,烧成温度提高,釉中晶体逐渐熔融,由于熔体的热膨胀系数大于晶体的热膨胀系数,所以釉的热膨胀系数随烧成温度的提高

而增大。对于胎体而言,随着烧成温度的增加,胎体中的石英和方石英逐渐熔融,占比减少,由于石英和方石英的热膨胀系数很大,对于胎体热膨胀系数的影响较大,故胎体的热膨胀系数由于石英和方石英含量的减少而减小<sup>[3]</sup>。

综上所述,随着烧成温度的增加,釉的热膨胀系数逐渐提高,而胎体的热膨胀系数逐渐降低,因此,导致釉的裂纹逐渐增多。当烧成温度为1110、1130、1150、1170℃时,釉面不开片;当烧成温度升至1190℃时,产生零星裂纹;当烧成温度升至1210℃时,产生大片裂纹;当烧成温度升至1230℃时,产生冰裂纹。这与应用长石调配的釉料烧制结果一致<sup>[4]</sup>。

### 2.2.6 口沿露胎程度与烧成温度的关系

当釉的高温黏度降低时,在重力的作用下,釉便从制品的口沿往底足方向流动。随着烧成温度的提高,釉的黏度逐渐降低,因此器物的口沿逐渐变薄。

另外,在氧化气氛下,铁胎中的 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 在1150~1250℃发生分解反应放出大量的氧气,冲破釉层,导致露胎。当烧成温度为1110、1130℃时,制品口沿较厚, $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 尚未发生分解反应,基本不见胎色。当烧成温度升至1150、1170℃时,制品口沿变薄,可见胎色。当烧成温度升至1190、1210、1230℃时,铁胎中的 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 发生分解反应,放出大量的氧气,冲破釉层,导致口沿露胎。这与龙泉窑铁胎青瓷烧制的结果一致<sup>[5]</sup>。

### 2.3 釉的显微结构与烧成温度的关系

釉层显微结构是指在显微镜下观察到的釉层的组织结构,主要包含玻璃相、晶相、气泡。从表4显微图可以看出,随着烧成温度的提高,釉层晶相逐渐减少、玻璃相逐渐增多。当烧成温度

为 1 110 ℃ 时,釉层表面遍布晶体;当烧成温度为 1 130 ℃ 时,釉层表面仅局部可见晶体;当烧成温度超过 1 150 ℃ 时,釉层完全玻化,无晶体。随着烧成温度的提高,釉中气泡数量逐渐减少、尺寸逐渐增大、气泡间距逐渐增大。对比制品的中心部位,制品口沿部位的气泡数量少,尺寸大、气泡间距大。

### 3 结论

1)随着烧成温度的逐渐增加,釉料外观性状按以下规律逐渐变化:成熟度从欠烧到正烧,平滑度从粗糙到平滑,光泽度从无光、酥油光到光泽,透明度从不透明、乳浊、半透明到透明,呈色从白色、白中带黄到黄色,裂纹从无裂纹、零星裂纹、大片裂纹到冰裂纹。口沿从不现胎、半露胎、露胎。

2)随着烧成温度的逐渐增加,釉料显微结构按以下规律逐渐变化:晶相逐渐减少,玻璃相逐渐增加;釉中气泡数量逐渐减少、尺寸逐渐增大、气泡间距逐渐增大。

### 参考文献

- [1]谢端琚,马文宽.陶瓷史话[M].北京:社会科学文献出版社,2012:1-6.
- [2]刘干平,金奇学,李锋,等.龙泉青瓷呈色的影响因素[J].陶瓷,2024(2):90-96.
- [3]马铁成.陶瓷工艺学[M].第二版.北京:中国轻工业出版社,2011:196-198.
- [4]刘干平,李刘旒.长石与石灰石釉料调配的热膨胀系数研究[J].佛山陶瓷,2023,33(10):14-17.
- [5]刘干平,谈梅英,李刘旒.龙泉窑铁胎青瓷产品的烧制技艺[J].中国陶瓷工业,2023,30(5):74-79.

(责任编辑:王军辉)