

# 景德镇陶瓷学院科技艺术学院

## 本科生毕业论文（设计）

### 青釉的呈色研究

Coloration Research of the Green glaze

学 号： 201030451324

姓 名： 魏亚军

所 在 系： 工程系

专 业： 无机非金属材料工程

指导教师： 罗婷讲师

完成日期： 2014.5.25

# 景德镇陶瓷学院毕业设计（论文）任务书

系：工程系

2014-2-20

专    业	无机非金属材料	班    级	10 无 非 3
学生姓名	魏亚军	指导教师	罗婷
题    目	青釉的呈色研究		
<b>主要研究内容和设计技术参数：</b>  本课题以龙岩高岭、方解石、石英、钾长石传统硅酸盐原料为制釉基础原料，通过引入化工原料氧化铁调配釉中 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量，制备呈色各异的高温青釉，探讨化学组成和工艺因素对釉面呈色效果的影响。主要研究骨灰含量、Si/Al 比、施釉厚度、烧成温度对釉面呈色的影响。			
<b>基本要求（含成果要求）：</b>  1、掌握基本的制釉和上釉方法。 2、了解骨灰釉面的影响； 3、了解不同的 Si/Al 比对釉面呈色的影响； 4、探寻施釉厚度和烧成温度对釉面呈色的影响； 5、制备出釉面效果较佳的样品； 6、独立完成实验，独立完成论文的撰写； 7、阅读相关英文文献资料，并翻译出 2000 字左右中文综述。			
<b>工作进度计划：</b>  第 1-4 周  查阅相关资料、归纳和整理； 第 5-6 周  根据查阅资料设计实验方案、讨论方案的可行性； 第 7 周    准备实验，并通过实验试验该最初拟定方案，并最终确定方案； 第 8-13 周  在实验方案的基础上开始进行实验研究实验结果并进行分析总结， 改进实验方案； 第 14-15 周  补充实验，开始进行论文撰写并修改； 第 16 周    完成毕业论文和答辩			

## 摘 要

本课题以幽淡隽永的高温青釉为研究对象，以龙岩高岭、方解石、石英、钾长石传统硅酸盐原料为制釉基础原料，通过引入化工原料氧化铁调配釉中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量，制备呈色各异的高温青釉，为青釉的广泛应用打下基础。

本课题主要探讨化学组成和工艺因素对釉面呈色效果的影响。课题采用单因素实验法设计配方，以透明釉为基础，探讨骨灰的加入、 $\text{Si}/\text{Al}$  比， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的含量，施釉厚度，烧成制度等因素对青釉的呈色效果的影响，采用色度仪分析了试验中样品的色度变化。试验结果表明：骨灰能增加青釉的青绿度；合适的  $\text{Si}/\text{Al}$  比是取得好的釉面质量的关键因素，摩尔比值过高或过低，会出现流釉、吸烟变黑、缩釉等现象，硅铝比在 6.65~8.85 时能获得较好的釉面效果，釉面平整，颜色清亮；不同的釉色效果取决于  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的含量，含量在 0.43~0.93% 呈色较佳，当釉料中的铁元素含量小于 0.43% 时，青色效果差，釉面呈白色乳浊状， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量过高会有流釉现象；随着釉层厚度的增加，釉色也随之加深，当浸釉 5s 左右时，釉面呈色效果更佳。同一配方在不同烧成温度下，烧成温度低的釉面呈色比烧成温度搞得呈色效果好。

**关键词：**青釉     $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量     $\text{Si}/\text{Al}$  比    呈色    工艺因素

## **Abstract**

The topics to quiet pale green glazed meaningful for the study of high temperature to Longyan kaolinite, calcite, quartz, feldspar glaze traditional silicate raw material for the basic raw material, through the introduction of chemical raw iron oxide  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content deployment glaze, prepared by coloration varying temperature Celadon, Celadon is widely used to lay the foundation.

This paper mainly discusses the influence of chemical composition and process factors on glazed coloring effect. Subjects using single factor experiment design formula, based on a transparent glazes to explore adding ashes, factors Si / Al ratio,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content, glazing thickness, firing system and so on Celadon's coloring effect, using the chroma analyzed by the color change of the test sample. The test results showed that: Ashes to increase green Celadon's degree; suitable Si / Al ratio is the key to achieve good quality glazed factors mole ratio is too high or too low, there will be flow glaze, smoke black, shrink glaze phenomenon, alumina ratio 6.65 ~ 8.85 when can get better results glazed, glazed smooth, clear colors; different glaze effects depends on the content of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content of 1.6 to 2.7 percent in the coloring is better, when the glaze when the iron content of less than 0.75%, cyan poor, glazed white milky,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content is too high there will be streams of glaze; glaze layer thickness increases, also will deepen the glaze, the glaze when the dip around 5s when glazed coloring better. Different formulations at the same firing temperature, the firing temperature is lower than the firing temperature of the glaze made good coloring the coloring effect.

**Keywords:** Green glaze   Glazedt   Improve   Glaze   Technological factors

# 目录

摘 要 .....	I
Abstract .....	II
1 前言 .....	1
2 文献综述 .....	2
2.1 青瓷 .....	2
2.1.1 青瓷的背景 .....	2
2.1.2 青瓷的发展历程 .....	3
2.1.3 青瓷的釉色 .....	7
2.1.4 青瓷釉色的形成选择及其美学意蕴 .....	7
2.1.5 青釉的呈色机理 .....	9
3 实验内容 .....	11
3.1 原料 .....	11
3.2 实验仪器及设备 .....	11
3.3 实验方案设计 .....	11
3.3.1 工艺流程简介 .....	11
3.3.2 工艺参数 .....	12
3.4 实验内容 .....	12
3.4.1 配方探索性实验 .....	12
3.4.2 探究骨灰对釉面呈色的影响 .....	13
3.4.3 氧化铁的含量对青釉呈色的影响 .....	13
3.4.4 SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 比值的不同对青釉釉面呈色的影响 .....	13
3.4.5 浸釉时间单因素实验 .....	14
3.4.6 烧成温度对釉色的影响 .....	14
3.5 性能测试 .....	15
4 结果分析与讨论 .....	16
4.1 探索性试验结果分析 .....	16
4.2 氧化铁的含量对青釉呈色的影响 .....	18
4.3 Si/Al 的不同对青釉釉面呈色的影响 .....	19
4.4 釉层厚度对青釉呈色的影响 .....	20
4.5 烧成温度对青釉呈色的影响 .....	20
5 结论 .....	22
6 经济分析 .....	23
6.1 单位样品的原材料成本核算 .....	23
6.2 能耗、水电设备折旧 .....	23

6.3 税收与利润 .....	23
7 致谢 .....	24
8 参考文献 .....	25

## 1 前言

青瓷作为瓷器王国中的一枝艳丽的香葩。其色彩如初春的新叶吐绿，似春水类翡翠，悦目清心，令人荡气回肠，沉醉迷恋。青瓷以其清丽的釉色定名并以其醉人的色泽享尽风头。青瓷中的梅子青、粉青釉等色调的选择创造达到了陶瓷史上的顶峰，被誉为“瓷海明珠”。人们对青釉的选择，源于其自然美。青瓷一切制作材料泥土、釉彩、水、木等，均来之于自然。可以说它以泥土作胎，大地为母，自然为魂，以其朴实典雅、清新爽利的色调，还大自然以本质的真实。青瓷釉色华美、精致、贵族，情调典雅娴致，神韵巧夺天工，适于营造空灵神妙、生机盎然的气氛。瓷色生动，宛若天然，得造化之姿，可谓神变无极。青瓷釉色如诗如画，如玉如兰。温润如君子，豪迈似丈夫，风流像词客，飘逸若仙子。穷造化之精神，尽万类之美，钟集青山绿水之神秀。

青瓷之所以是最早出现的陶瓷，是和制釉原料密不可分的。天然的制釉原料中都含有或多或少的铁质，而在陶瓷的烧制过程中，这些铁质的一部分会被还原成二价铁，从而使釉面呈现不同色调。研究表明[4]在硅酸盐玻璃(釉)中铁离子的着色主要取决于它的价态及配位数，铁离子不可能均为二价或三价，往往同时存在，故呈色比较复杂，但 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  比值的大小决定了釉料呈色的不同。

青釉的呈色及釉面质量不仅与原料中的铁质含量有关，而且还与施釉、烧成及釉料组成等多方面因素有关。我国各时期、各地的影响青釉呈色的因素都不尽相同，这也是我国制瓷史上出现众多青瓷品种的主要原因。粉青、梅子青和豆青是我国古代青釉中的三个典型代表，一直以来广受人们青睐，从古至今不乏相关研究者，因此，对这三种典型的青釉代表进行深入的研究具有一定的理论和实际价值。

## 2 文献综述

### 2.1 青瓷

#### 2.1.1 青瓷的背景

青瓷是表面施有青色釉的瓷器，是中国著名的传统瓷器品种之一。中国历代被称为缥瓷、千峰翠色、艾青、翠青、粉青等都是指青瓷而言。

青瓷的色调是由胎釉的铁含量和釉层厚薄以及烧成气氛和窑位等工艺决定的。用复杂的工序烧造出的瓷器釉色青碧，釉层厚润，可与翠玉媲美，人们常用“千峰翠色”来形容青瓷釉色之美。这种美丽的青瓷釉，在艺术上对美化瓷器的作用，达到了一个相当高的境界。

釉面开片，即釉面有很细的裂纹。因为瓷器在高温烧烤时，胎和釉会由于热膨胀系数不同而出现裂纹。这本是一种工艺上的缺陷，宋代的窑工们巧妙地利用这种开片现象来美化瓷器，形成了美的韵律和节奏，使青瓷本身增添了光彩和生机。根据纹片的不同形态，赋以不同的名称，如冰裂纹、蟹瓜纹、牛毛纹、兔丝纹、百圾碎、鱼子纹、鳞片纹、叶脉纹、流水纹等。青瓷纹片就是这样以其纯真的人工和烧制中自然产生的艺术美赢得世人的喜爱，从而创造了青瓷纹片这一艺术特色。

青瓷另一个特点便是“紫口铁足”。青瓷胎的色泽，有的胎骨黝黑，宛如真铁。三氧化二铁含量可高达 5% 左右，在高温中它还原成黑色的低价铁，在烧造时，由于底部还原焰较强，加上有垫饼的托烧而微露胎色，胎中的三氧化二铁一经还原成氧化亚铁就是黑色，所以称为“铁足”，口沿部分还原焰虽较弱，但由于上的釉容易下垂，釉层不厚胎质容易显露，所以常常透出灰黑泛紫的颜色，这就是“紫口”。

青瓷以造型见长，以釉色取胜，以纹片著称，在造型方面品种繁多，有的形体不加任何装饰，也有作巧妙装饰的，但都起着画龙点睛的作用。造型既端庄秀丽、凝重大方，又具有刀法洗炼，器型流畅，明快简练变化多端的特点。一般是由于工艺上的要求，另一方面由于历史原因，青瓷与青铜器在造型上有着密不可分的血缘关系，在原始社会陶器业很发达的商周时代，青铜业得到发展。开始青铜造型多来源于陶器，而原始青瓷在商周、春秋时代是属于萌芽和确立时候，它的造型又借鉴于青铜造型。既继承了商周铜器的传统，又不一味泥古模仿。把继承和创新两方面很好地结合起来，在同一种风格的造型上，由于时代的不同，运用有同的材质和不同的处理手法而出现不同的艺术效果。这说明一种文化的发展不是独立存在的，它是遵循着继承和发展的道路前进的。在装饰上既采用前代刻、印花等方法，而又创造性地运用“开片”和“紫口铁足”等艺术手段，形成碎纹艺术釉，使青瓷釉得以充分发挥其艺术效果。



千百年来,青瓷在国内外有极高的评价,享有“瓷海明珠”之美誉。沿着海上“丝绸之路”传播到日本、朝鲜、东南亚、非洲和欧洲等地,这些精美的瓷器和制瓷技术传到世界各地,可以毫不犹豫地说,不论是工艺技术、造型艺术、视觉感受,青瓷艺术是我国陶瓷发展史上的一个辉煌的顶点,在世界文化交流史上闪耀着祖国优秀文化的光彩

### 2.1.2青瓷的发展历程

所谓青瓷,是因在坯体表面敷有一层透明或半透明的青色釉而得名。其呈色是由釉中所含铁分所致。铁是地球上蕴藏最丰富的元素之一,一般的岩石和土壤中都有铁的氧化物存在,在烧造瓷器时,受技术条件限制,不可能将原料中铁分子剔除,这样也就首先烧成了青瓷,而非其他釉色。因此,青瓷的产生有其必然性。

早在商、周时期,已出现了介于陶、瓷之间的原始青瓷制品,经过漫长的技术积累,约至东汉晚期,成熟的青瓷终于诞生。此时的青瓷尚未形成独特的风格,在造型和装饰等方面,还带有同时期釉陶的印记。往往底足无釉,露胎处呈灰色,留有紫色支钉痕。常见器形有碗、盘、盏、钵、盆、壶、洗、耳杯、薰炉、唾壶和五联罐等;装饰花纹主要为弦纹、水波纹、麻布纹、网纹、三角纹和贴印铺首等。目前发现的东汉时期青瓷窑址分布在浙江上虞、慈溪、宁波和永嘉等地,说明当时制瓷业已颇有规模。

青瓷生产历史悠久,源远流长,是中国瓷器最古老的品种,被誉为中国瓷器的始祖。青瓷的发展历史与中国历史的发展一脉相随,青瓷对中国文化发展影响极为深远。在博大精深的中国古代文明中,青瓷成为基奠中华文明的重要因素,可以认为,青瓷是中国文化和历史的重要象征。青瓷自商代创烧以来,历经4000余年,无数朝代,绵延至清末衰落。

青瓷又称“绿瓷”,是由于在胎体内施以2-3%的铁元素,经高温烧制后,呈色为绿或青黄色而得名。在胎体元素内,铁的含量越高呈色愈深,超过8%以上便呈黑色釉,铁含量低于0.75%则为白色釉。

据考证,青瓷的发展大至可分为三个阶段,即青瓷的原始阶段、早期阶段和成熟阶段。与此三个阶段相对应的所制烧的青瓷称为原始青瓷、早期青瓷和成熟青瓷。原始青瓷是指在原始素烧瓷基础上烧成的带釉瓷器,原始素烧瓷即是夏朝在瓷土中掺入定量长石、石英等成份而烧成的一种基本上脱离了新石器时期灰陶特征,胎质较白,质地坚硬的器物。原始青瓷又称釉瓷或青釉瓷,是中国目前发现最早的带釉瓷器品种,胎体铁的含量约为2%,人工施釉,经1300℃高温烧制而成。制作方法采用轮制法,也有少数的手捏或泥条盘筑法。制作工艺上,原料制作粗糙,陶冶不精细,含有较多杂质,往往导致胎体变形或窑裂现象。器物造型相对比较简单,多为尊、簋、壶、豆、罐、鼎、杯、孟等盛装器,也有少数礼器。此外,由于烧制技术不高,窑温控能力差,器物釉色深浅和均匀程度不同,常常出现器物之间或一件器

物之上的颜色浓淡不一,俗称窑烟现象,釉色稳定性不够。原始青瓷釉面滑润,多施于器表和口沿内。原始青瓷的胎体、造型、釉质和烧造工艺上已经具备了瓷器的基本特征。但除施釉和窑炉温度高之外,从胎体、造型和瓷土陶炼程度方面尚没有完全摆脱新石器时代灰陶的遗风,其胎体瓷化程度尚不高,胎质粗糙,器型方面也继承了陶器的某些特点。原始青瓷在山西西夏、河南郑州安阳殷墟、洛阳庞家沟、辉县琉璃阁以及河北、山东、北京、浙江、安徽、广东等地都有发现。

在青瓷逐渐发展成熟过程中,又经历了由原始青瓷向成熟青瓷发展的过渡时期,既具有原始青瓷特征又趋于成熟青瓷特点阶段,我们称之为早期青瓷阶段。早期青瓷系指商周到两汉时期的青瓷,介于原始青瓷和成熟青瓷之间的共有特征,有原始青瓷的质朴风格又具有成熟青瓷的美感。其产品胎质,烧结性能、器表施釉等各方面都比原始青瓷有较大进步,但与成熟青瓷相比,仍有一定的差距。

青瓷的生产在近两千多年前的东汉时期,进入了成熟阶段,浙江省各窑址生产的青瓷代表了中国青瓷烧造的最高水平。在浙江的上虞、德清、余姚、宁波等地都出土了大量烧制精美的成熟青瓷,其中上虞县小仙坛东汉时期窑址出土的器物,又代表了当时浙江最高生产水平。从出土器物研究看,胎质泥土陶炼已经成熟,达到了瓷胎质的指数和标准,质地细密,具有较好的透光性,瓷化程度很高,吸水率低,窑温已达1260℃以上。器表的施釉层较原始青瓷增厚,并通体施釉。釉色淡雅、莹润,光泽度强,透明度好,其烧制工艺已达到较高水准,具备了成熟青瓷的各种条件。

三国两晋时期,青瓷的烧制水平显著提高,胎质陶炼更加精细,釉质较汉代更加光润透明,胎釉之间结合紧密,造型较汉代更加丰富多彩,立体雕塑和堆塑的器物开始大量出现,尤其是仿生器型成为时尚,数量之多为汉代无法比拟。这时期青瓷烧造的主要窑址分布在浙江的上虞、绍兴、余姚、萧山、宁波等地区的越窑,温州的瓯窑,金华的婺州窑等。此外,江苏宜兴的均山窑,湖北、湖南、江西的部分地区也开始烧造青瓷。

在东晋以后的二百多年间,经历了南北朝、隋代,青瓷一直是南北瓷器制造业的主要品种,胎质造型、釉质等方面又有了长足的发展,最突出体现在两个方面:其一,在南方浙江等地青瓷主要烧造区域逐渐扩展到安徽、四川等地,例如安徽怀远南窑、四川邛崃窑,都烧制青瓷,当地窑址有大量青瓷出土。与此同时,北方受南方影响,也开始烧造青瓷,而且烧造技术达到了相当高的水平,可与南方越窑相媲美,重要的窑址有河南的安阳窑、巩县窑,河北磁县的贾壁村窑。其二,青瓷图案和纹饰选材更加广泛,在继承了前代基本素材的条件下,佛教文化大量传入我国,反映在青瓷上多出现莲花图案和佛像图案,具有鲜明的时代特征。纹饰图像更趋写实化,逐渐摆脱了纹饰图案化的传统特征。唐代初期,社会稳定,经济繁荣,带动了手工业水平发展,青瓷制造技术也达到了前所未有的发展程度,成为青瓷创烧以来发展高峰时代。同期,北方以邢窑为代表的白瓷生产迅速崛起,其烧制工艺技术

也达到了相当水准,甚至与南方青瓷相比美,人们对白瓷的热爱程度并不次于青瓷,对青瓷的喜爱逐渐转移到白瓷上来,青瓷在唐以前一花独秀的格局被打破,形成了南青北白的对峙局面。因此在唐代,青瓷虽创历史最佳,但无法垄断瓷器制造业,青瓷受到了北方白瓷的强大挑战。

唐代主要生产青瓷的窑址仍集中于我国南方,浙江的越窑、瓯窑、婺州窑代表着唐代青瓷的最高水平。越窑以产地位于古越州而得名,越窑的中心窑址在慈溪上林湖一带,其产品釉色青中略带黄色,后逐渐演变成湖绿色,胎质坚硬,釉色润亮,纯净如翠。在装饰手法上多采用刻、划两种,题材丰富多彩,多人物、山水、花鸟、走兽。在唐、五代青瓷的最高代表称为秘色瓷。唐代诗人陆羽称赞秘色瓷“类冰,类玉天下第一”。秘色瓷是越窑青瓷之类品,唐人陆龟蒙在《秘色越器》诗云:“九秘风露越窑开,夺得千峰翠色来,好向中宵盛沆瀣,共稽中散斗遗杯”。秘色是指唐代越窑青瓷罕见的颜色,是赞美越瓷釉色之美的专有名词。秘色瓷究竟为何颜色众说不一。陕西省扶风县法门寺塔唐代地宫出16件越窑瓷器,后经考证,为秘色瓷器,由此确认为,秘色瓷釉色为青碧色,晶莹润泽,犹如湖面碧绿澄澈。瓯窑因濒临瓯江而得名,瓯窑瓷其色泽呈淡青,釉质透明度较高,其器型品种与越窑相近,常见器物有罐、碗、钵、洗、壶、盘等,器型浑朴厚重,具有粗旷之美。晚唐时期,碗、盘常仿花果形,纹饰装饰略显单调,常见有莲花瓣纹和水波纹。婺州窑是唐代生产青瓷的又一重要窑址,被陆羽《茶经》列为青瓷第三窑。婺州窑胎质呈深紫色或深灰色,胎表面饰有化妆土,釉层滋润柔和,釉色呈青灰、青黄略闪褐色。釉面多有窑裂现象,开片处渗有奶黄、奶白色结晶体。婺州窑产品多为民用瓷,有盘口、壶、罐、盆、碟、水盂等。湖南的岳州窑、长沙窑也烧造青瓷。岳州瓷胎轻薄,胎质不如越州瓷窑致密,釉色以青绿居多,早期有米黄色,晚期有豆绿、银白色釉,釉面有不规则的细碎开片,五代后烧造工艺有改进,垫饼改为支钉。器物底足很浅,近似平面。此外,这时期,南方青瓷的窑址还有江西的洪州窑、九江的蔡家垅窑、临川白浒窑、福建安南窑,将乐窑、广安潮安窑、四川成都青羊宫窑、邛崃窑等。

宋代社会经济稳定,手工业极其繁荣,瓷器生产也达到了历史上最高阶段,无论其规模、数量或工艺水平都堪称前所未有,著名的五大名窑,汝窑、官窑、哥窑、定窑、均窑代表了宋代的制瓷业的最高水平。五大瓷窑的兴盛崛起,使传统瓷器品种发生了重大革命,原有的传统瓷器生产受到很大影响,有的甚至开始走下坡路,尤其是以浙江越窑为代表的各生产青瓷的窑场逐渐被北方几个著名瓷窑取而代之,如陕西铜川耀州就是其中之一。耀州窑自宋代开始烧造瓷器,北宋时开始烧造青瓷,北宋末期达到兴盛时期,其产品以烧造民窑瓷为主,主要造型为碗、盘、碟、罐、合、瓶等,胎质瓷化度较高,吸水率低,胎色呈灰白。施釉匀净,色如青橄榄,有的略闪黄和绿,釉面多小开片冰裂纹。纹饰以刻花、印花、划花及模印刻划为主要手段。北宋中期,刀工渐趋闲熟,并刀痕有斜度,被称为“斜刀”,立体效果明显。晚期图案布局讲究严谨,力求对称。花纹图案有莲花、缠枝花卉、波浪纹、鱼纹、

鸟纹等。

汝窑是宋代五大名窑之一，是以烧造青瓷为主要品种。虽文献有较多记载，但传世品很少，因此对该品种研究佐证较少。从极少数传世品中看，汝窑主要烧制碗、盘、碟、出戟尊、玉壶春瓶、胆式瓶、三足洗、水仙盆等器型。胎质薄而硬，器型规整。通体施釉，釉色为天青色，青中略闪兰，也有蛋青、茶青、豆青等色，釉面有时伴有极细的开片纹。烧造方法一般采用支钉或垫饼、垫圈烧法。临汝窑是以烧制民用器为主的瓷场，从已发现窑址情况研究，一类是烧制耀州窑系的青瓷，另一类是烧制均窑系的青瓷。耀州窑系烧制始于北宋，到后期达到鼎盛，金代衰落。主要烧制以碗、盘为主，器型不够规整，式样单调。釉色多青中闪绿，装饰手法多为印花，轮廓线凸起。题材多选用缠枝、折枝的菊花和牡丹花或有团菊纹。海水纹布局为圆圈形式，多为八到十圈，形成多层水纹，中心常有一朵花，此图案成为临汝窑的特殊风格。临汝窑所烧均窑系瓷，器型多洗、盘、碗之类。釉色为青绿、天蓝、月白带有玫瑰斑。一种于淡白釉中带有红色斑点的板沿洗，为临汝均窑所独具。

这时期，在众多崛起瓷窑中，最有影响当属浙江龙泉县的龙泉窑。龙泉窑始烧于北宋年间，止烧于清代时期，具有800余年的烧造历史。龙泉窑以烧造青瓷而闻名天下。器物多盆、碟、盘、碗、壶、渣斗等日用品器外，还烧制一些仿古器物，如瓶、鬲、觚、鼎、炉和文具等。龙泉窑青瓷在南宋达到鼎盛时期，具有独特的风格，器型浑厚，淳朴，器底厚重，圈足较矮且宽阔，稳定性好。胎质坚密洁白，釉润透明，釉色青中显灰色。南宋晚期，龙泉窑又演烧出粉青和梅子青两类青瓷品种，使青瓷又达到新的发展高峰。粉青属石灰碱釉的一种，釉层较厚，透明没有杂质，光泽明亮，犹如青玉，柔和淡雅，青绿粉润。梅子青的釉质比粉青更加肥厚，一般多次施釉，透明度不高，但光泽较强，釉色杳如翡翠一般，鲜艳动人。龙泉瓷在手法上多采用刻花并饰篦点、篦划纹，另外，有团花、波浪、蕉叶纹等。线条流畅简练，生动有力量。南宋时期的碗以花口碗为主，通常分为五瓣，碗内刻有云纹或划“S”形纹饰。元代龙泉窑在装饰手法上采用划、刻、印、贴、镂雕等多样手法，以划花为主，露胎现象较多，图案纹饰以云龙、飞凤、双鱼、八仙、八卦、梅菊、吉祥图案及汉文字和八思巴文字款铭。

元代青瓷纹饰绘画在总体上不如南宋末期精美，工艺手法略简单，到了明代青瓷开始走下坡路，青瓷烧制出现了衰败现象，其主要原因是江西景德镇青花瓷开始大量生产，烧造水平越来越高，深受人们欢迎。同时，彩瓷开始大量涌现，品种日益增多，对青瓷的生产造成很大的影响和冲击，青瓷的地位逐渐下降，愈来愈被社会所淘汰。烧造的数量、质量较宋代相去甚远，生产青瓷的瓷窑锐减，停烧或转烧其它品种的瓷窑很多。至清中晚期几乎绝烧，略有一此仿烧器物。青瓷中只有梅子青和粉青延烧到清早期。

在对青瓷的发展历程作了一次匆促的巡礼之后，我们要再注明一点：青瓷的盛衰与演化除去技术的、政治的、经济的推动之外，民族文化心理与时代审美好尚也

是值得关注的因素。当文人们反复用“千峰翠色”、“古镜破苔”、“嫩荷涵露”、“秋水”，“春水”等譬喻来形容越窑青瓷的时候，我们知道这并非简单的颜色比附，还包含着以上意象的诗意内涵，为青瓷的鉴赏提供了可以借鉴的模型，扩大了其美学意蕴。而对于青白瓷“假玉器”、“饶玉”等称誉，则引入了另一个参照体系。玉器在中国文化中占有特殊的位置，被看做完美道德人格和理想化世界观的象征，而青瓷可以作为替代品被相提并论时，无疑也获得了某种升华。青瓷经过长期不断地调试，最终在宋代与“郁郁乎文哉”的时代精神契合无间，并达到自身演进的顶峰，确立了典范性的审美品格：古典含蓄，温润纯净，看似简朴实则细节饱满耐人寻味。而时代风尚的转向，必然催生新的工艺品类，青瓷已不能适应新的审美期待，由繁荣转入低谷，也就不难理解了。

### 2.1.3 青瓷的釉色

釉色是瓷的外衣。所谓青瓷，简言之，青色釉的瓷就叫青瓷。但从广义上讲，凡是以氧化铁作为主要呈色剂的瓷器都应属于青瓷的范畴。

狭义上的青釉瓷，是指经还原焰烧成的高温釉，它的颜色呈青绿色，或青灰色，其中脍炙人口的除青碧如水的秘色瓷外，还有龙泉窑的梅子青，汝窑的粉青、天青釉等。由于胎釉中的含铁量不同，釉层厚薄以及烧造气氛和窑位的不同，便产生了由青至黑、由黑至褐等几十种不同色阶的釉色。中国古代瓷匠，则受此启发，摸索并逐步掌握了利用釉料成分与窑温火候，成功的烧造出黑亮如漆的黑釉（如东晋的德清窑，北宋建阳窑），艳如晚霞的铜红釉（如宋代的钧窑），灿如密腊的黄釉（如唐代的寿州窑）等。虽然釉色丰富多彩、各具特色，但其胎釉中主要的成分是氧化铁，因而，从广义上讲，仍属于青瓷范围。

### 2.1.4 青瓷釉色的形成选择及其美学意蕴

青瓷釉色的美源于自然。在老一辈中，蓝色和绿色统称的青色。古代南方青釉，是瓷器最早的颜色釉。所谓“青釉”，颜色并不是纯粹的青，有月白、天青、粉青、梅子青、豆青、豆绿、翠青等，但多少总能泛出一点青绿色。同时，古人往往将青、绿、蓝三种颜色，一统称为“青色”，例如许之衡《饮流斋说瓷》称：“古瓷尚青，凡绿也、蓝也，皆以青括之。”刘子芬《竹园陶说》中也说：“青色一种，常与蓝色相混。雨过天晴，钧窑、元窑之青，皆近蓝色。”“惟千峰翠色、梅子青、豆青、乃为纯青耳。天色本蓝，有时为青。”

青瓷作为瓷器王国中的一枝艳丽的香葩。其色彩如初春的新叶吐绿，似春水类翡翠，悦目清心，令人荡气回肠，沉醉迷恋。青瓷以其清丽的釉色定名并以其醉人的色泽享尽风头。青瓷中的梅子青、粉青釉等色调的选择创造达到了陶瓷史上的顶

峰,被誉为“瓷海明珠”。人们对青釉的选择,源于其自然美。青瓷一切制作材料泥土、釉彩、水、木等,均来之于自然。可以说它以泥土作胎,大地为母,自然为魂,以其朴实典雅、清新爽利的色调,还大自然以本质的真实。青瓷釉色华美、精致、贵族,情调典雅娴致,神韵巧夺天工,适于营造空灵神妙、生机盎然的气氛。瓷色生动,宛若天然,得造化之姿,可谓神变无极。青瓷釉色如诗如画,如玉如兰。温润如君子,豪迈似丈夫,风流像词客,飘逸若仙子。穷造化之精神,尽万类之美态,钟集青山绿水之神秀。

青釉的选择。青瓷釉色既美丽清秀,又古色古香,符合平民百姓的审美习惯,又体现文人雅士的审美情趣。有人认为,青瓷釉色的选择是人们对天的模仿,象征着人们对天的追问和崇拜。宋代龙泉青瓷以釉色取胜。南宋时龙泉窑梅子青釉三足鬲炉,从工艺学角度分析,粉青和梅子青釉是一种“石灰碱釉”。这种釉在高温中黏度较大,流动性较小,适宜挂厚釉。这种厚釉层中含有大量小气泡和未完全熔化的石英颗粒,当光线射入釉层时,釉面会使光线发生强烈散射,呈现出一种柔和淡雅如冰似玉的美感。青瓷作品中粉青、梅子青釉色饱满细腻,晶莹清脆、温润似玉,美仑美奂,寓中华审美理念于一体,堪称“绝色之釉”,创陶瓷艺术的最高境界。

从心理学意义上说,人之感觉器官,如果不受到一定程度的刺激,就不可能感知任何事物。审美活动也不例外,青瓷工艺品,之所以能成为审美的对象,被感知,那是因为这作为审美对象的工艺品,给了审美主体感觉器官上美的形象刺激,所以才能够带来不同感官、不同程度的生理上的快感和精神、情感的愉悦。青瓷的青色就首先带来这样的效果。从青瓷发展的历程中,还可以清楚地看到,历代窑匠总是在釉色上孜孜追求,俾使青瓷的釉色等同或接近山水之色和自然界其他的青绿色。因为人们懂得,真正永恒的、令人心旷神怡的美是大自然主色——青色。人们对青瓷的尚好,实际上反映了视觉器官的生理本质需求。而青瓷釉色如青山绿水的背影,正好熔铸了千古春色。所以古人赞青瓷灵动的釉色,柔和明净,“如蔚蓝落日之天,远山晚翠;湛碧平湖之水,浅草初春”,“洁经悬黎,光不浮而镜净,美同垂棘,色常润而冰清。”

青瓷釉色温润,晶莹透亮,或清淡素雅,或似翡翠冰花,或如万里星辰,或施釉肥厚若堆脂,或釉薄如纸,流光四溢半透明。釉面滋润透亮,色泽翠青,美艳奇绝。青瓷是闻名遐迩的艺术品,举凡见过、上手过,即便是不懂瓷器的人,也能领悟到一种“青翠玉色,久而弥彰”的自然美感,进而燃起一种企盼与古人与青瓷艺人穿越时空进行心灵交流的欲望。青瓷不仅在国内受到追捧。在国外亦同样受到青睐,欧洲人称之为“雪拉同”,阿拉伯人美其名“海洋绿”,青瓷如此受推崇,与人的自然审美意识有关。当我们的眼睛与这个“青”的世界接触时,当我们满怀疲惫的心灵与远古的青瓷进行交流时,我们会突然获得自我精神的沉淀与洗礼,从而摆脱“物役”、“物累”的桎梏,进入一种美好和顺的向往和自然纯真的境界,这也许就是青瓷釉色所赋予人性之美的至高魅力。正如古瓷鉴赏家高学训说:“爱瓷之人,大可不必陷

入深沉的哲学之中。青瓷之美,除了其蕴含的历史、文化、艺术内涵,给人以更多的还是朴拙自然本色,能愉情悦性以及‘养眼’之功。”青瓷釉色所表现所传达的正是这种人与自然,情绪与感受内在的心里秩序结构与外在宇宙(包括社会)秩序结构,是其在人们心灵直接相碰撞、相调节、相协奏的伟大生命之歌。

情感活动是审美心理当中极为重要的组成部分。任何审美过程,如果不能动人以情,那就不能使人产生美感,或者至少这个美感不够深刻。人对客观事物产生了态度,态度变为生理感觉,生理感觉被体验出来,这就叫情感。所以喜爱青瓷的人,往往有“见瓷洗心,赏瓷润志”之感。在漫长的发展历程中,青瓷以其独特的釉色逐渐形成了温润、沉静、典雅的审美特征,并散发出温文尔雅、超凡脱俗的气质。青是一种底色,色彩情感价值显示:绿(青)色令人联想到植物、草原、海等,给人的心理感觉是和平,理想,宁静,悠闲,健康等。青色,一种介于绿色与蓝色之间的梦幻感觉。清丽而不张扬,伶俐而不圆滑。道教崇尚青色,古人戴青黑的道巾,意即代表着头顶青天。青色的意义更代表了素雅、恬淡、纯洁、沉思、青春、希望、坚强、庄重诸多优秀的品格。青瓷釉色有去璞藏精的特点代表着儒家风格的温文尔雅、含蓄内敛。所以青瓷釉色凝聚了儒家、道家、禅宗的思想精髓,将中国传统自然观与人文精神高度地统一于一体,是典型东方文化的代表。

青瓷晶莹滴翠的釉色,赏心悦目,独具神韵。它是青山绿水的背影,是千古春色的记忆,是旺盛生命力的象征。古代青瓷的釉色还是古人生活的拷贝,是古工艺人的活化石。青瓷釉色充满着神幻斑斓的美学意蕴。青瓷釉色如诗如画,如玉如兰。温润如君子,豪迈似丈夫,风流像词客,飘逸若仙子。穷造化之精神,尽万类之美态,钟集青山绿水之神秀。青瓷釉色,成为人们心目中光明美好的象征,成为生命力旺盛的象征,也成为人们感官中最为理想和美妙的色彩。青瓷釉色的素雅、恬淡、纯洁、青春,凝聚了儒家、道家、禅宗的思想精髓,从而体现中华民族历史文化的深层积淀。青瓷釉色的温润可比仁爱,闪烁亮丽可比智慧、睿智、聪明,其锐利反射之光可比明镜与正义,内敛的光泽可比谦和。观赏青瓷可以获得自我精神的沉淀与洗礼。

### 2.1.5 青釉的呈色机理

汝瓷和所有青瓷一样呈色的主要原理是三价铁在还原过程中变成二价铁。三氧化二铁是黄色,变成亚铁硅酸盐就成了青色。在恰到好处的温度、气氛条件下,同样厚的釉层、釉色的深浅决定于铁含量的多少。但过多则变成黑色,当然其它辅助原料和其它化学成份对釉色的影响也是有的,所以要有合理的配方。

有了合理的釉料配方,如果烧成温度太低,釉料不能很好熔融,含铁矿物未能充分溶解在釉玻璃中,釉层高度失透,釉面光泽差,釉色则难以呈现出来。

汝窑的烧成温度一般控制在1150—1200℃之间较为合适。在适当的温度条件下釉料得以熔融,釉料中的含铁矿物质得以溶于玻璃体中,在合理的气氛条件下,

三氧化二铁可以充分还原,生成二价铁的发色团,这时釉层透明度也比较清晰,美丽的天青色就呈现出来了。如果过烧,釉色发紫,釉面青色不正,造成釉面玻璃质强、流釉等现象。

窑炉里的气氛是指窑炉内的一氧化碳含量。为使窑炉产生一氧化碳,煤烧窑用加厚煤层,增加添煤次数等办法,液化气或油烧窑则控制窑炉进空气量使之碳元素不能充分燃烧而产生一氧化碳,一般烧成进入还原阶段,要求窑内一氧化碳含量在1—8%之间,氧的含量控制在1%以下。

合理的烧成制度是釉料呈色的重要关键,一般汝瓷的烧成要有四个阶段:一、氧化阶段,主要作用是排除坯体水分,使坯体中的有机物和碳素充分燃烧。二、还原阶段,此阶段釉料一方面熔融,一方面进行铁还原。三、成瓷阶段,此阶段釉料基本熔化,釉子发亮,这时窑要呈弱还原气氛,如果气氛仍然很重则使釉色灰青,更重者产品烟熏发黑。如果此阶段全是氧化气氛,产品则重新氧化,二价铁又转化为三价铁,产品发黄。四、冷却阶段,汝瓷美丽的天青色和温润如玉的质感与冷却速度有密不可分的关系。产品在窑炉内成瓷后应在保温的状态下缓慢冷却,使釉料有一个很好的析晶过程,否则釉色不会变青,釉面玉石感也会受到影响。

烧窑过程中一般要做几个火照放在窑门口,烧窑工定时取出一个作为参考,当最后一个火照挑出后,急速冷却,观察火照釉面光滑了,也就是说产品烧成,就可以止火了,可是这个火照不是天青色,而是豆青色。窑炉内的产品在慢冷却后取出时才是天青色,这说明冷却速度也是非常重要的。



### 3 实验内容

#### 3.1 原料

本实验所需要的基本原料：龙岩高岭、方解石、骨灰、紫金土、石英、钾长石、化工原料氧化铁。

表3-1原料成分表

Table 3-1 The chemical of raw materials

化合物	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	I.L
龙岩高岭	0.37	0.15	38.49	45.00	0.00	0.59	0.08	0.06	0.35	14.91
方解石	1.04	2.70	1.04	4.91	0.77	0.11	47.65	0.01	0.09	41.72
紫金土	0.57	1.35	19.95	60.56	0.15	3.60	0.16	1.00	8.06	4.60
石英	0.35	0.45	1.37	97.20	0.00	0.13	0.06	0.01	0.06	0.38
骨灰	0.50	0.88	0.70	1.34	47.44	0.00	43.24	0.04	0.13	5.74
钾长石	2.19	0.00	13.34	74.47	0.00	7.99	0.63	0.07	0.11	1.20

#### 3.2 实验仪器及设备

表3-2实验仪器与设备

Table3-2 Experiment apparatus and equipment

序号	设备名称	型号	数量	生产厂家
1	电子天平		1 台	
2	烧杯		若干	
3	量筒		若干	
4	陶瓷碾钵	大号	一个	
5	球磨罐		四个	
6	电热鼓风干燥箱	101A-2	一台	上海高潮自控设备厂
7	行星球式机	QM-SB	一台	南京大学仪器厂
8	目筛	80 目	一个	

#### 3.3 实验方案设计

##### 3.3.1 工艺流程简介

1、釉料制备：将龙岩高岭土、方解石、骨灰、石英、紫金土、钾长石混合后放入球磨罐中，在行星式球磨机球磨60分钟，过200目筛。

2、坯体制备：将泥段制成均匀的泥浆之后，分别把泥浆注入已经干燥的石膏模具，放入烘箱，制成泥坯，并且标上记号。等泥坯干燥后修平泥坯，上釉前将坯体“补水”（即：将坯体用沾水毛刷刷洗，一方面可以扫除坯面灰尘，另一方面又可以消除坯表面气泡，使坯面上釉均匀）。

3、干燥和烧成：以浸釉法在自制陶瓷坯体上上釉，干燥3-4小时后放炉中烧制。

4、具体工艺流程图如下：

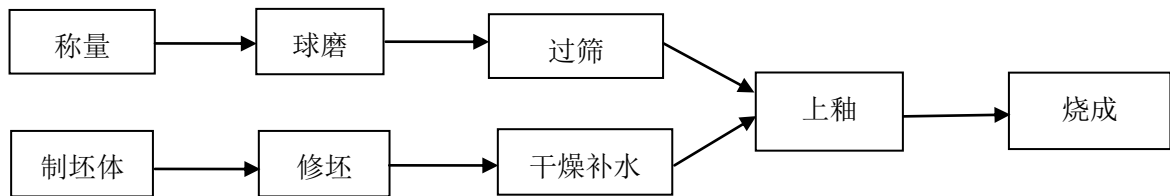


图 3.1 工艺流程图

Fig. 3.1 process chart

### 3.3.2 工艺参数

试样制备工艺：按照 料：球：水=1:2:0.75；

釉料细度：过200目筛，筛余 $\leq 0.1\%$ ；

施釉方式：浸釉；

干燥：施釉后的试样在60~90℃烘箱中干燥60min；

烧成：在气窑还原气氛下1300℃烧成，保温10min后，自然冷却。

## 3.4 实验内容

### 3.4.1 配方探索性实验

本课题在查阅相关资料的基础上，初步确定了以龙岩高岭、骨灰、石英、紫金土、钾长石、方解石、氧化铁为原料的青釉配方。其釉料配方的化学组成如表3-3：

表3-3各釉号配方

Table 3-3 The glaze formula

釉号	龙岩	方解石	骨灰	紫金土	石英	钾长石	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
A1	10	15	2		20	53	0.5
A2		15	2	10	20	53	-
A3	10	15	2	12	15	46	-
A4		15	2	10	11	53	-
A5		15	2	10	34	53	-

A1-A5配方在同一烧成曲线下烧成，同时保持最高烧成温度1300℃（保温10min）不变。

### 3.4.2 探究骨灰对釉面呈色的影响

以A1~A5为对比, 探讨釉中骨灰的加入与否对釉中气泡及釉面呈色的影响, 设计实验B1~B5.

表3-4各釉号配方

Table 3-4 The glaze formula

釉号	龙岩	方解石	紫金土	石英	钾长石
B1	10	15		20	53
B2		15	10	20	53
B3	10	15	12	15	46
B4		15	10	11	53
B5		15	10	34	53

### 3.4.3 氧化铁的含量对青釉呈色的影响

由于紫金土的化学成分波动性较大, 批次不同的紫金土所含 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的质量分数不稳定, 难以准确控制釉中铁含量。在配方B1的基础上, 固定其他配料不变的情况下, 通过增减工业纯氧化铁的用量, 从中探索氧化铁含量影响烧成效果。

表3-5氧化铁加入量不同

Table 3-5 different amount of iron oxide

釉号	龙岩	方解石	石英	钾长石	氧化铁
C1	10	15	20	53	0.3
C2	10	15	20	53	0.5
C3	10	15	20	53	0.8
C4	10	15	20	53	1.0
C5	10	15	20	53	1.2
C6	10	15	20	53	1.5

### 3.4.4 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值的不同对青釉釉面呈色的影响

在B1配方的基础上, 调整配方中龙岩高岭和石英的加入量达到改变 $\text{Si}/\text{Al}$ 摩尔比的目的, 设计相关实验如下, 如表3-5所示:

表3-5 Si/Al不同对釉面呈色的影响

Table 3-5 Si/Al different effects on the glazed coloring

釉号	龙岩	方解石	石英	钾长石	氧化铁	Si/Al
D1	20	15	10	53	0.5	6.63
D2	18	15	12	53	0.5	7.10
D3	15	15	15	53	0.5	7.76
D4	13	15	17	53	0.5	8.42
D5	10	15	20	53	0.5	9.58

3.4.5浸釉时间单因素实验

色釉的色调不仅与烧釉条件、釉组成等密切相关，还与釉层厚度有关。以配方 B1 为基础，D1~D5 为例，在其他工艺操作不变及釉浆浓度一定情况下，在不同配方制出的釉料采用 3s 和 5s 时间进行浸釉烧成后对比其效果，探索釉层厚度对釉面效果的影响。

3.4.6 烧成温度对釉色的影响

以配方 B1 为例，在其他工艺操作不便情况下，将烧成温度分别设定为 1250℃ 和 1300℃。探索不同烧成温度对釉面烧成效果的影响，具体烧成制度如图 3.3 所示。

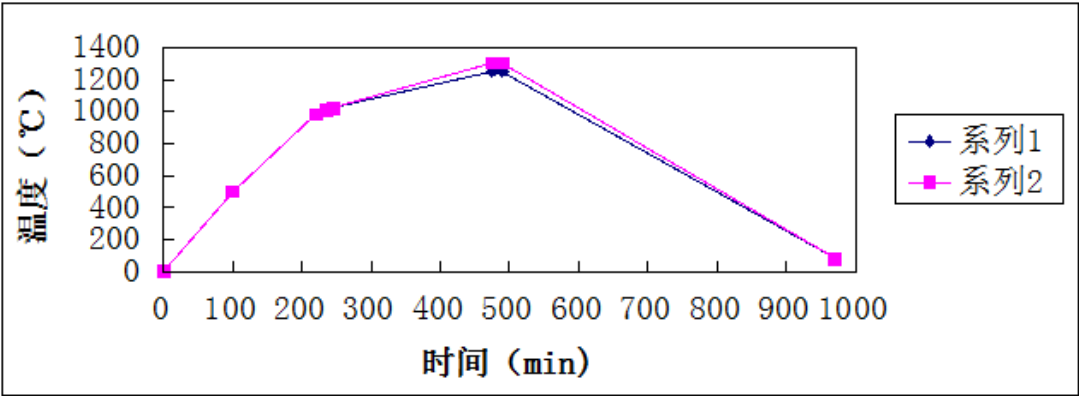


图 3.2 青釉烧成制度

Fig.3.2 Celadon firing system

### 3.5 性能测试

色度仪是一种简单的颜色偏差测试仪器，即制作一块模拟与人眼感色灵敏度相当的分光特性的滤光片，用它对样板进行测光，关键是设计这种感光器的分光灵敏度特性，并能在某种光源下通过电脑软件测定并显示出色差值。用  $L$ 、 $a$ 、 $b$  表示颜色，其中  $L$  为明度指数， $a$ 、 $b$  为色品系数。用色度仪测定样品的 CIE 颜色参数。其中各参数代表意义： $L^*$ = 白色 (100)，黑色 (0)； $a^*$ = 红度值 (+)，绿色值 (-)； $b^*$ = 黄度值 (+)，蓝度值 (-) 根据色差计测色后显示的数据结果，进行如下分析：， $L+$  表示偏白， $L-$  表示偏黑， $a+$  表示偏红， $a-$  表示偏绿， $b+$  表示偏黄， $b-$  表示偏蓝。

## 4 结果分析与讨论

### 4.1 探索性试验结果分析

1300℃下烧制的 A1—A5 配方样品照片如图 4.1 所示:



图 4.1 相同的烧成制度下的不同配方

Fig 4.1 Different formulations under the same firing system

通过实验知道配方A1: 效果良好光亮, 有明显的乳浊效果; A2: 吸烟, 针孔较多, 较光亮; A3: 流釉, 气泡较大; A4: 有针孔, 气泡较多, 出现釉裂且流釉严重; A5: 流釉, 有气泡。

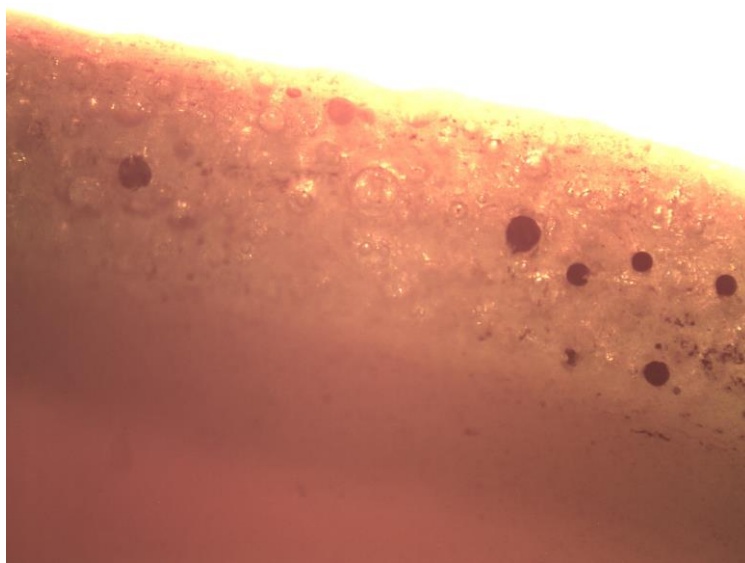


图4.2 A1釉切片反射显微结构照片

Fig 4.2 A1 Glaze layer microstructure enlarge

图4.2是A1釉切片反射显微结构照片,由图可见釉层气泡较多,釉中因为CaO 含量较高,在烧成过程中,釉开始玻化后仍存在未分解的 $\text{CaCO}_3$ ,因此 $\text{CaCO}_3$  的继续分解产生的 $\text{CO}_2$  不能从釉中完全排出,便会滞留釉中形成气泡,釉层越厚,未排出的气泡就越多,使进入釉中的入射光产生反射、折射,使釉产生乳浊质感,增强了青釉呈色效果。

根据图上所示的5个配方试样效果,确定了以龙岩高岭、方解石、石英、 钾长石、氧化铁等5种原料为主配制青釉配方,并在后续实验中,以A1配方为依据,通过单因素法,分析釉料成分及制釉工艺对青釉的呈色影响程度,为青釉的推广应用中可能遇见的问题提供参考。

#### 4.2 骨灰对釉面呈色的影响



图4.3 有无骨灰对呈色的影响

Fig.4.3 Effect of ashes on the color

由图4.3所示, A1比B1更青,两样品光泽度高; A2和B2对比, A2比B2青,釉层气泡稍大; A3试样比B3呈色效果明显, B3呈色太浅; A4流釉严重,比B4颜色深, B4稍有流釉现象, A5有轻微流釉,颜色比B5深,光泽度高。实验表明配方中有骨灰的釉呈色效果较佳。

表4-1有无骨灰试样的Lab值

Table 4-1 Lab values whether the ashes of the sample

釉号	A1	B1	A2	B2	A3	B3	A4	B4	A5	B5
L	56.14	60.49	65.06	66.21	53.80	56.86	68.71	69.20	72.20	73.00

a	-5.79	-5.54	-7.60	-6.35	-6.90	-5.36	-7.36	-7.10	-7.01	-7.00
b	3.12	1.17	-4.01	-4.23	5.42	-0.13	-5.03	-5.60	-0.25	-0.38

由数据可看出有骨灰组蓝度和绿度都加深。根据以往的研究结果分析，骨灰在釉中的作用大致有两种，其一是促进分相作用，其二是 $P_2O_5$ 通过化学反应，改变着色离子的存在价态，是使釉产生乳浊的关键化学成分。

#### 4.2 氧化铁的含量对青釉呈色的影响

青釉是一种以铁元素为主要着色剂的颜色釉，釉在还原气氛下显青色（在氧化气氛下显棕色）。从样品中可以看出，其中氧化铁含量的多少是影响釉面色泽的主要因素。随着氧化铁含量的变化，在一定的范围内显色不同。随着氧化铁含量的增



图 4.4 添加不同氧化铁含量的试样

Fig.4.4 Adding iron oxide content of the different samples

其分析结果如表 4-2 所示：

表 4-2 增减氧化铁含量样品烧成效果

Table 4-2 Increase or decrease of iron content of sample firing effect

氧化铁加入量	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5
釉面呈色	青白	淡青	粉青	青色	暗绿	灰绿

通过试样对比，我们可以得出，当氧化铁含量减少时，釉面的整体色调偏白。

表 4-3 氧化铁不同含量的 Lab 值

Table 4-3 Lab values of different amounts of iron oxide

釉号	C1	C2	C3	C4	C5	C6
L	60.34	60.49	54.49	53.69	46.91	45.03
a	-4.74	-5.54	-6.30	-6.69	-7.28	-9.11
b	0.28	1.17	2.25	1.98	2.75	3.01



由 Lab 值的数据可知:随着氧化铁的增加, L 值减小即明度随着氧化铁含量的增加而减少, a 值表明釉面随着氧化铁的增加绿色加深。

釉中 Fe 主要是由氧化铁引入, 青釉呈色的化学原理是釉中过渡金属 Fe 离子配位体对光的选择性吸收。铁是釉中最主要的着色元素。铁离子在 3d 层上未充满的 3d 电子特别容易受激发, 在各层的次亚层轨道间发生跃迁, 表现出对光的选择性吸收和反射。由表可知, 在相同的烧成制度等工艺条件下, 釉面呈色随  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量的增加而逐渐加深。

#### 4.3 Si/Al 的不同对青釉釉面呈色的影响

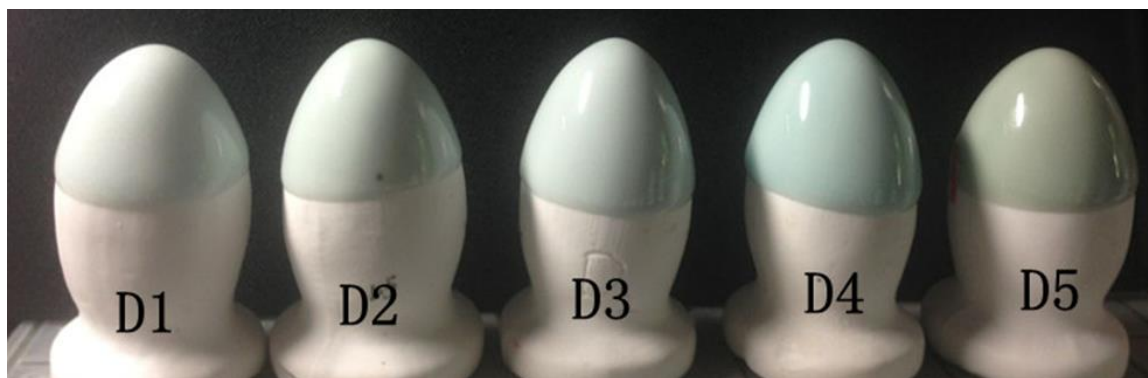


图 4.5 Si/Al 不同的釉面呈色效果

Fig. 4.5 Si / Al glazed different coloring effects

D1~D5青釉试样呈色逐渐加深, 表3-4为D1~D5对应的Lab值。

表3-4 不同Si/Al摩尔比实验结果

Fig.3-4 The experiment results of glaze with different molar ratio of Si/Al

釉号	D1	D2	D3	D4	D5
L	68.14	68.91	67.00	65.69	60.49
a	-4.50	-4.52	-4.86	-5.05	-5.54
b	0.98	0.73	0.93	0.52	1.17

D1~D5 的  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的比逐渐升高的, 而由所测数据可知 a 值小于零且依次降低, 根据  $a^*$ = 红度值 (+), 绿色值 (-), 可知以 A1 配方为基础, 烧成制度不变, 在一定的硅铝比范围内, 釉面呈色是逐渐加深的。

#### 4.4 釉层厚度对青釉呈色的影响

釉层厚度对青釉呈色具有重要影响,釉层薄时釉面微泛白无乳浊感,通过实验确定浸釉时间为5s最适宜。青釉的着色主要是由釉中的 $\text{Fe}^{2+}$ 与 $\text{Fe}^{3+}$ 的吸收引起的,釉层厚,即光在釉中传播的路程越长,吸收越强烈,颜色就越深,釉层薄,即光在釉中传播路程越短,着色离子的吸收就越少,颜色就越浅。同时,釉中 $\text{CaO}$ 含量越高,在烧成过程中,釉开始玻化后仍存在未分解的 $\text{CaCO}_3$ 的继续分解产生的 $\text{CO}_2$ 排出,便会滞留釉中形成气泡,釉层越厚,未排出的气泡就越多,使进入釉中的入射光产生反射、折射,使釉产生乳浊质感,增强呈色效果。

表4-3是在同一烧成制度下,改变浸釉时间来改变釉层的厚度的试样数据对比

由数据可知,浸釉 5s 的 a 值比浸釉 3s 小,且都小于零,而当  $a < 0$  时显绿色,所以根据数据分析可知同种配方釉层越厚,青釉显色效果越好。

表4-3青釉不同釉层厚度的显色

Table 4-3 Celadon different color glaze layer thickness

釉号	D1		D2		D3		D4		D5	
	3s	5s	3s	5s	3s	5s	3s	5s	3s	5s
L	68.14	66.30	68.91	62.70	67.00	64.24	65.69	61.21	60.49	57.28
a	-4.50	-5.60	-4.52	-5.73	-4.86	-5.77	-5.05	-5.79	-5.54	-6.21
b	0.98	1.07	0.73	1.16	0.93	1.16	0.52	-0.03	1.17	1.90

注:“+”代表浸釉 5s,其他为浸釉 3s。

#### 4.5 烧成温度对青釉呈色的影响

釉中的  $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{Fe}^{3+}$  之间存在一定的氧化还原平衡,平衡情况则由窑内气氛决定。而釉的化学着色由  $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{Fe}^{3+}$  的比值决定。烧成过程中前期为氧化气氛烧制,后期为还原气氛烧制,因此由氧化气氛转变为还原气氛的温度点的选择至关重要。气氛转变温度点过早,釉氧化反应未进行完全,釉易产生吸烟缺陷,而气氛转变温度点过晚,则越接近釉的玻化温度, $\text{Fe}^{3+}$  的还原反应进行不完全。本实验在证明  $1010^\circ\text{C}$  时气氛转变使釉面呈色效果最佳。

本试验中烧成温度  $1250^\circ\text{C}$  和  $1300^\circ\text{C}$  釉面呈色良好,说明釉配方的烧成温度范围广。且在  $1250^\circ\text{C}$  烧成的釉面呈色比  $1300^\circ\text{C}$  烧成的釉面呈色更深。如表 4-4 Lab 值可说明。

表 4-4 Lab 值

Table 4-4 Lab values

釉号		L	a	b
A1	1250℃	64.36	-6.21	-0.09
	1300℃	60.49	-5.54	1.17

由 4-4 可知, 1250℃的 a、b 值都小于零, 且比 1300℃的 a、b 值小, 所以绿度和蓝度更强, 即 1250℃烧成的釉面呈色更深。

## 5 结论

- (1) 青釉的呈色是过渡金属 Fe 离子配位体对光的选择性吸收、纳米级分相结构对入射可见光的散射作用及气泡、釉料团等对入射光线产生的反射和折射的综合体现。
- (2) 骨灰在青瓷釉中，不仅能促进液相分相，其中  $P_2O_5$  通过化学反应，改变着色离子的存在价态，是使釉产生乳浊的关键化学成分，增加青釉的青绿色调。
- (2) 青釉是一种铁系釉。而氧化铁含量多少直接影响青釉呈色。通过氧化铁单因素实验得知，当氧化铁加入量在 0.3~0.8% 时，能烧制出呈色各异的青釉样品。当氧化铁加入量少于 0.3%，颜色太浅，氧化铁加入超过 0.8% 时，有流釉现象。
- (3) 釉层厚度也能影响青釉的釉面效果。当釉层厚度不佳，釉在高温下所发生的复杂化学反应可能不够充分。就不能达到完美的效果。
- (4) 烧成温度
- (5) 最佳釉的配方如表 5-1 所示。

表 5-1 最佳釉的配方

Table 5-1 Best glaze recipes

龙岩	方解石	骨灰	石英	钾长石	氧化铁
10	15	2	20	53	0.3~0.8

## 6 经济分析

### 6.1 单位样品的原材料成本核算

表 6-1 原料价格表

Table 6-1 Price list of raw materials

项目	每吨价格/元	每克价格/元	数量/克	总价格/元
石英	250	0.00025	15	0.00375
钾长石	280	0.00028	53	0.01484
方解石	600	0.0006	15	0.009
龙岩高岭	1600	0.0016	20	0.032
氧化铁	8000	0.008	0.5	0.004

所以理论上每生产 103.5g 产品的原料价格为 0.06359 元;

理论上每生产 1000g 产品的原料价格为 0.6143 元;

根据陶瓷生产实际情况,原料利用率为 70%;

实际每生产 1000g 产品的原料价格为 0.8777 元;

### 6.2 能耗、水电设备折旧

根据陶瓷生产实际情况,能耗成本约占了生产成本的 60%左右,所以每生产 1000g 的产品,能耗平均为 0.92037 元。

根据陶瓷生产实际情况,每生产 1000g 的产品,水电设备折旧成本为 0.8 元。

### 6.3 税收与利润

根据陶瓷生产实际情况,每生产 1000g 的产品,平均税收为 1.6 元。

根据陶瓷生产实际情况,每生产 1000g 的产品,人力成本平均为 0.8 元。

所以,每生产 1000g 的产品,平均总成本为 4.9981

每 1000g 的产品售价平均为 10 元,每 1000g 产品的利润为 5.002 元。

从上可以看出,用该釉可以给公司带来良好的经济效益,所以该釉可以在公司进行生产。

## 7 致谢

在罗婷讲师的悉心指导下，我完成了本科时期的毕业设计课题及论文的编写。她的严谨的工作态度，严格的要求也让我值得学习，在此期间，他给了我很多好的建议和帮助，使我倍加感动。另外，从课题的选择到项目的最终完成，罗老师都始终给予我细心的指导和不懈的支持。在此谨向罗老师致以诚挚的谢意和崇高的敬意。

历时一个学期的学习与实验，本课题终于接近尾声。在做毕业设计的这段时间里，我学到了许多在课堂上无法学到的东西，各方面的能力都有较大的提高：首先是查阅资料方面，除了最基本的检索方法外，还学到了许多新的信息检索方法，并且第一次开始真正接触和学习外文文献，是我的眼界更加宽广，调研工作也更加全面；其次，通过解决实验初期遇到的疑难问题，让我分析问题与解决问题的能力有了很大的提高，并且认识到交流可以很好的促进问题的解决，这一点对于将来的工作、生活来说是十分重要且有意义的；第三，自己动手完成实验真正锻炼了实践动手能力。

即将结束本科的学习，我非常感谢那些帮助过我的人，也非常感谢那些向我提出意见的人，在此向他们表示我最诚挚的谢意！

## 8参考文献

- [1]李家驹.日用陶瓷工艺学。武汉工业大学出版社 [M],1997
- [2]李其江等.龙泉粉青釉的仿制及呈色机制研究。陶瓷学报: 2009 (12): 425 ~426
- [3]K.M.KNOWLES & F.S.H.B.FREEMAN , Microscopy and Microanalysis of crystalline glazes.Journal of Microscopy,3 September2004,pp.257~270
- [4]施建球 沈暗娣. 隧道窑烧成铁系结晶釉的研制[N]. 广东建设报, 2004
- [5] 刘秉诚著,《陶瓷工程论丛》轻工业出版社. 1987
- [6] R.帕姆营奇编著. 杨宇乾等译,《南瓷材料性能导论》 中国建筑工业出版社. 1984:16~38
- [7]朱伯谦: 《龙泉青瓷发展简史》, 浙江省轻工业厅资料, 1962
- [8]《中国青瓷史略》32页, 上海人民出版社,1956
- [9]张振海.新型青釉的开发, Hebei Ceramics, 2001 (10)
- [10]罗洁.青瓷釉色的审美象征意义。陶瓷科学与艺术: 2006 (1) :49~50
- [11]金艳 周玉所.仿宋梅子青釉的研制。山东陶瓷: 2011 (12): 16~18
- [12]郭演仪、李国桢《硅酸盐学报》, 1984
- [13]李家驹.日用陶瓷工艺学[M].武汉: 武汉工业大学出版社, 1991
- [14]张翼.还原条件对陶瓷烧成的影响[J].华南理工大学学报, 自然科学版, 2004, (3)
- [15]熊燕飞.陶瓷釉的分相[J].taociyanj .1997,12