

景德镇陶瓷学院科技艺术学院

本科生毕业论文

豆青釉的制备

The preparation of pea green glaze

学 号： 201030451305

姓 名： 胡伟华

专业班级： 无机非金属材料 3 班

指导老师： 包启富老师

完成日期： 2014

工程系

摘要

本课题主要是对豆青釉进行研究实验，采用单因素实验考察了配方组成、工艺条件的影响研制出一种适合于景德镇龙典陶瓷有限公司酒瓶色釉样，且成本较低、工艺简单及艺术效果更好的豆青釉料。

本文以钾长石、釉果、石英、硅灰石、方解石、滑石、石灰石、贵溪土和氧化铬为主要原料。采用单因数实验法考察了配方组成和工艺制度对豆青釉釉面效果的影响，分别考察钾长石的加入量、外加滑石量、硅灰石和方解石的比例及氧化铬的加入量等单因素对豆青釉釉面效果的影响。

研究表明：在烧成温度为1300℃，烧成时间为14h，施釉厚度为1.2mm的条件下，配方组成为（wt%）：钾长石35.0%，釉果20.4%，硅灰石13.6%，石英15.5%，方解石6.8%，石灰石1.9%，贵溪土4.9%，滑石1.9%，氧化铬0.12%。L值为：57.50、a值为：19.77、b值为：15.91。制备出的试片釉面光滑平整，有较高的光泽度。

关键词:豆青釉 釉果 单因素实验

Abstract

The main topic of the experiments on pea green glaze, in order to investigate the influence of formulation, process conditions by single factor experiment to develop a suitable for Jingdezhen Longdian Ceramics Co. Ltd. bottle glaze, pea green glaze material and low cost, simple process and artistic effect better.

In this paper, potassium feldspar, quartz, glaze, wollastonite, talc, calcite, limestone, Guixi soil and chromium oxide as the main raw material. Effects of formulation and process system of pea green glaze by single factor experiment, the amount of potassium feldspar, plus proportion and amount of chromium oxide talc, wollastonite and calcite in the amount of single factor effects on pea green glaze.

The experimental results show that: in the firing temperature is 1300 °C, the firing time is 14h, formula for Potassium feldspar 36%, Glazed fruit 21%, Wollastonite 14%, Calcite 7%, limestone 2%, Guixi kaolin 5%, Talc 2%, Chromium oxide 0.12%. The L value is: 57.50, a: 19.77, b value is: 15.91. Preparation of specimens prepared glazed smooth, high gloss

Keywords: Pea green glaze Glaze Single factor experiment

目录

摘要	I
ABSTRACT	II
1 前言	- 1 -
2 文献综述	2
2.1 概述	2
2.1.1 釉的基本概念	2
2.1.2 釉的作用与特点	2
2.1.3 釉的分类	2
2.1.4 釉料配方的确定	3
2.2 陶瓷釉	3
2.2.1 颜色釉	3
2.2.2 艺术釉	4
2.2.3 豆青釉	4
2.3 坯料	5
2.3.1 坯料的类型	5
2.3.2 坯料配料的依据	5
2.4 制备工艺	6
2.4.1 釉的制备工艺	6
2.4.2 日用陶瓷成形工艺流程	6
2.5 课题的意义及主要研究内容	6
3 实验内容	8
3.1 实验所用的原料	8
3.2 实验仪器及设备	9
3.3 制备工艺流程和工艺参数	10
3.3.1 施釉	11
3.4 实验内容	12
3.4.1 探索性实验	12
3.4.2 长石的加入量对釉面效果的影响	12
3.4.3 硅灰石和方解石的比例对釉面效果的影响	12
3.4.4 滑石加入量对釉面效果的影响	12
3.4.5 氧化铬加入量对豆青釉釉面效果的影响	12
3.4.6 球磨时间对豆青釉釉面效果的影响	13
3.4.7 施釉厚度对豆青釉釉面效果的影响	13
3.5 性能与表征	13

4 实验结果及分析.....	14
4.1 探索性实验.....	14
4.2 长石的加入量对豆青釉釉面效果的影响	14
4.3 硅灰石和方解石的比例对豆青釉釉面效果的影响	15
4.4 滑石加入量对豆青釉釉面效果的影响	17
4.5 氧化铬加入量对豆青釉釉面效果的影响	17
4.6 球磨时间对豆青釉釉面效果的影响	19
4.7 施釉厚度对釉面效果的影响.....	20
4.8 滑石的加入量对釉的热稳定性的影响	22
5 结论	23
6 经济分析	25
6.1 单位样品的原材料成本核算	25
6.2 能耗、水电设备折旧	25
6.3 税收与利润	25
致谢	26
参考文献.....	27

1 前言

青釉起源于宋代的龙泉窑，康熙年间发展至成熟，乾隆年间达到制备青瓷的先前技术，为历史最高峰。

我国古代的青瓷，釉面呈色丰富，著名的有粉青、梅子青、豆青、影青、白湖、草青、炒米黄、蟹壳青等^[1]。粉青釉釉色青绿淡雅，釉面光泽柔和，达到类玉的效果，为青釉中最佳色调之一。梅子青釉釉色可与高级翡翠媲美。釉层较厚，釉面光亮，玻化程度高，釉面不开纹片，质莹如玉，其色近似梅树中生长着的“梅子”。影青釉釉色介于青白之间，青中带白、白中闪青，加之瓷胎极薄，所刻划的花纹迎光照之内外皆可映见，因此被称为“影青釉”^[2]。现在豆青釉釉色烧制水平较比以前平稳，基本的色调仍以青中闪黄为主，而青色比原来显淡雅。清代豆青釉淡雅柔和，色浅者淡若湖水，色深者绿中泛黄，釉面凝厚，其主要原因是铁呈色受到很多因素影响。清代烧造豆青釉的同时，还在釉上施以各种色彩入窑二次烧造，衬托出它淡雅的釉色色彩，使釉面艳丽妩媚。清代中期以后，豆青色釉还有的在素胎上勾勒出纹饰轮廓线，施以豆青釉，然后入窑烧造成凸起的纹饰。豆青釉透明度不及白釉，故豆青釉青花的效果也不及豆青釉釉上彩。市场上的豆青釉瓷器有较多是釉层较薄或不均匀且还有流釉现象，并都有裂纹。豆青出于龙泉窑，但又不同于龙泉釉，因而很多人用龙泉本地的原料制备豆青釉。可想而知这样就提高了豆青釉料的成本，工艺手段同样也有所限制。

本课题来源于景德镇龙典陶瓷有限公司酒瓶色釉样品，通过对样品的分析与查资料，本课题以氧化铬为着色剂，以常用的矿石原料为基础，通过探索性的试验，单因素实验等实验方法，考察了硅铝比，滑石的引入量，钠长石与钾长石的量，施釉厚度和釉料细度等配方组成和工艺制度对豆青釉釉面效果的影响，着色剂氧化铬对豆青釉釉面效果的影响，最后值得与样品效果相近的豆青釉。

2 文献综述

2.1 概述

2.1.1 釉的基本概念

釉是指施于陶瓷坯体表面的一层极薄的玻璃态物质，有的组成类似于硅酸盐玻璃，是种特殊的玻璃结构可以认为由微粒组成的非几何状排序的（为近程有序、远程无序的结构）^[3]。施釉厚度范围 0.1-0.9mm。从釉料的物理化学性质来讲，釉属于玻璃，有一定的硬度大约为莫氏 7-8 或者显微硬度（维氏硬度）5200-7500MPa。

2.1.2 釉的作用与特点

- （1）使坯体对液体和气体具有不透过性，提高釉的化学稳定性。
- （2）防止沾污坯体。平整光滑的釉面，有沾污也容易洗涤干净。
- （3）覆盖于坯体表面，给瓷器以美感。比如把颜色釉或者艺术釉施于坯体表面，可以增加瓷器的艺术价值和欣赏价值。
- （4）使产品具有特定的物理和化学性能。如抗菌性能、生物活性、红外辐射性能、电性能（压电、介电、绝缘等）。
- （5）改善陶瓷制品的性能。釉与坯体高温下反应，冷却后成为一个整体，正确选择釉料配方，可以使釉面产生均匀的压应力，从而改善陶瓷制品的机械性能、电性能、热性能等。

一般认为釉是玻璃体，具有玻璃类似的物理化学性质。

相同点如由固态到液态或者相反的变化是一个渐变的过程，无固定熔点；硬度大能抵抗酸和碱的侵蚀；质地致密，不透水和不透汽；各向同性等。

不同点：

- （1）釉的均匀程度与玻璃不同；
- （2）釉不是单纯的硅酸盐，同时还含有硼酸盐和其他盐类；
- （3）大多数釉中含有较多的 Al_2O_3 ， Al_2O_3 是釉的重要组成部分。而玻璃中的 Al_2O_3 含量相对较少；
- （4）釉的熔融范围比玻璃的要宽些。有些釉的熔融温度很低较比硼砂还要低（属于无长石釉一般气泡较少），有的釉又很高。

2.1.3 釉的分类

釉的种类不仅很多，而且用途很广泛。实际使用的釉料品种繁多，外观

质量和内在性能各有千秋，为研究和配制的方便可按不同的依据将釉划为许多种类^[4]。

常见的分类方法如表 2-1

表 2-1 釉的分类

Table 2-1 Glaze classification	
坯体性质	有瓷釉、陶釉、火石器釉
釉料的制备方法	生料釉、熔块釉、挥发釉
烧成方法	一次烧成釉、二次烧成釉 800-1100℃烧成的釉称为低温釉 1100-1250℃之间烧成的釉为中温釉
烧成温度	1250℃以上烧成的釉为高温釉 易熔釉 难熔釉
主要溶剂	石灰釉、铅釉、长石釉、镁釉、锌釉、铅硼釉、锡釉
主要着色剂	铁青釉、铁红釉、铜红釉
外观特征	结晶釉、透明釉、乳浊釉、无光釉、半无光釉、水晶釉
物理性质	低膨胀釉、半导体釉、耐磨釉
显微结构	玻璃态釉、析晶釉、多相釉

2.1.4 釉料配方的确定

考虑所用原料和工艺性能筛选坯体相适应的配方，以获得良好的釉面质量。

确定原料配方，首先要考虑不同制品对陶瓷釉面的影响，例如陶瓷要求高硬度、热稳定性、高耐磨性、耐酸性、化学稳定性等；其次，要求釉料组成适应坯体性能与工艺条件^[5]。

可根据以下四点进行调节：

- （1）合理的选用原料。
- （2）坯、釉化学成分相适应。
- （3）坯、釉膨胀系数、弹性模量相适应。
- （4）根据坯料烧结性能来调节釉的熔融性能。

2.2 陶瓷釉

2.2.1 颜色釉

在无色透明釉或者乳白釉料中引入适当的颜料叫做颜色釉，它简称色釉，它是陶瓷制品简便而廉价的装饰方法。在釉料中加入不同的金属氧化物为着色剂，在一定温度与气氛中烧成，会呈现不同色泽的釉，成为颜色釉。在传统颜色釉中，以铁、铜、钴为着色剂的釉一般为青釉、红釉、蓝釉。历史上，许多时代都有颜色釉的杰出代表作，如宋代的青釉和钧红，明代的霁红，清代的郎窑红、乌金釉、茶叶末等。还常把自然界的景物、动物及植物作为它的名字，比如：天青、豆青、孔雀绿、鸂鶒斑等。颜色釉与普通色釉的不同在于颜色釉的和配方特殊烧制工艺^[6]。颜色釉的釉面，必须达到1250℃以上的高温煅烧，才能显现出它色若虹霞，光若流油，纹若流云飞瀑的独特魅力。颜色釉五彩缤纷种类繁多^[7]。

2.2.2 艺术釉

在颜色釉的基础上采用专门的工艺手段，从而增加釉面艺术效果的一类釉叫做艺术釉。广泛用于日用陶瓷、建筑陶瓷和陈设陶瓷，提高其艺术感染力和产品附加值^[5]。

结晶釉：通过在氧化铝低的釉料中加入氧化锌、氧化钛、氧化锰等结晶形成剂使之达到饱和程度而获得的^[8]。结晶釉的晶花大小不一、形状百态，大的可以显而易见，小的需用显微镜分辨。而常见的结晶形体有冰花、星形、晶球、晶族、花朵、松针和纤维状等^[9]。结晶釉成熟温度窄，析晶温度范围窄，高温黏度低，极易流釉，造成成品率低。

无光釉：呈丝光或玉石状光泽而无强烈反射光的釉叫做无光釉，无光釉在中国古代最经典的范例就是哥窑，有米白、粉青、灰绿、奶酪黄等色。无光釉可以用以下三种方法来制得：(1)人工方法：成晶烧出后，用稀氢氟酸溶液轻度腐蚀表面，使其失去光泽度。(2)降低釉烧温度使之不完全熔融；或增加釉料的 Al_2O_3 含量。(3)冷却时，使透明釉析出微晶。在含石灰石的无光釉中，生成的微晶主要是钙长石或硅灰石，在加入钡时，则为钡长石。实际生产中第二、三种方法采用比较多，无光釉的酸度系数应控制在 1-1.25 之间。

2.2.3 豆青釉

豆青釉不仅是青釉中的一类，而且是青瓷中生产品种最多的之一。豆青釉，景德镇与龙泉的釉色不一致，景德镇的豆青产品是一种深浅色调适中的青绿色，与龙泉窑所称的梅子青的色调相仿，而比龙泉窑所称的豆青色调稍淡一些。景德镇豆青釉的化学分子式中氧化铁的分子数大致波动于 0.030-0.050 之间，而龙泉窑所称的豆青釉中氧化铁的分子数则波动于 0.040-0.060 以上^[10]。

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。青釉色主要指青瓷器釉面的发色，其中也包括釉面的肌理形态，如裂纹、斑点等。“釉的发明是在玻璃质晶状体的发现基础上产生的。商周时期，窑炉已经有很大的发展，烧成温度可以烧到 1200℃，甚至更高。窑火温度的提高，给人们发现釉和釉的产生提供了必要的条件。因为在 1200℃ 以上，不少窑具有中、低熔融温度的物质就有可能转变为玻璃态物质”^[11]。就是古代烧窑都是以树木柴草为燃料，燃烧后的草木灰落在窑内的坯体上，在烧成温度达到 1 200℃ 左右时，这一层草木灰也会与坯体表面的硅酸盐氧化物作用，并熔成玻璃态物质而附着在坯体的表面^[12]。又当制品与火焰或气流直接接触时，气流中夹带的草木灰也有可能和红热的坯体表面相接触而生成玻璃态物质。古代陶工在长期实践过程中，观察到上述这些现象，于是得到启发而在生产实践中加以运用。正是对这些玻璃态物质的研究和配方的调配，控制好稳定的烧成温度和釉面发色，将釉施于坯胎表面烧制而成，青瓷就在此基础上产生发展和逐渐成熟。现代科技的进步和持续的研发使釉的着色剂多为藉由人工提纯的化工原料，这也使得传统青釉色得以恢复，质量也获得提升，甚至创造了若干新品种。其基础配方都相似，差别主要在于色环上的色相距离，以及由工艺上（釉的厚度，烧成气氛强弱，胎色等）的区别带来的釉面效果的不同^[13]。

2.3 坯料

2.3.1 坯料的类型

坯体主要有瓷器坯料、精陶坯料和其它陶瓷器坯料。瓷器坯料包括长石质瓷坯料、绢云母质瓷、磷酸盐质瓷及镁质瓷等。精陶坯料是一种细陶器制品，呈浅色、白色，胎体颗粒细而均匀，一般都是施熔块釉，烧结过程很差，其它陶瓷器坯料吸水率一般在 8%-20% 包括硅灰石质陶瓷、锂质陶瓷、叶腊石质陶瓷、石灰质陶瓷、透辉石质陶瓷等^[5]。

2.3.2 坯料配料的依据

之所以确定各种原料使用的数量是一项关键性的工作，因为他们直接影响到陶瓷产品的品质及其工艺制度的确定，为了保证配方尽可能获得预期的效果，在确定陶瓷配方时，应遵循下列原则：(1) 考虑坯料、釉料组成的主要依据是对产品的物理化学性质及其使用性能要求；(2) 配方必须得满足生产工艺的要求；(3) 配料的基础是了解各种原料对产品性质的影响；(4) 在拟

定配方时采用本行业前辈们的经验和数据；(5)采用原料来源丰富矿石多、性能稳定、运输方便最好是本地原料、价格低廉。

2.3.3 调整坯料性能的添加剂

如果要坯料性能适合成形及以后工艺的要求，经常向坯料加入添加剂。根据添加剂起的作用分以下几类：

- (1) 解凝剂，主要是增强泥浆的流动性，使其在低水分的情况下粘度适当便于浇注。
- (2) 结合剂，提高可塑泥团的塑性，增强生坯的强度。
- (3) 润滑剂，为了减少粉料的摩擦，提高粉料的湿润性，使密度增大，促进均匀化。

2.4 制备工艺

2.4.1 釉的制备工艺

精确称料→加水球磨→釉料→过筛→施釉→烧成。

在工艺处理上，烧成温度、冷却保温时间对釉的烧成有很大的影响，如不按要求烧成就得不到所需的青釉。成瓷后釉面透亮，可照见人影，具有玻璃一样的光泽，同时具有像自然界植物一样的颜色，阳光之下，流光异彩，美不胜收。

2.4.2 日用陶瓷成形工艺流程

流程：泥料化浆→注浆→补浆→倒浆→带模干燥→脱模→干燥→修坯→荡釉→烘干→装窑→烧成。

工艺特点：该成型工艺适用于成型各种形状复杂、不规则、薄而且尺寸要求不严的器形，如勺子、汤碗、茶壶等日用瓷，其成型后的坯体结构均匀。另外，该工艺成型的坯体含水量大且不均匀，干燥与烧成收缩较大。

2.5 课题的意义及主要研究内容

随着生活水平的提高，人们对陶瓷产品的质量和档次的要求也逐步提高，对于那些喜爱新鲜事物的人来说，原来的豆青釉已经有点不能跟上他们的步伐，他们希望豆青釉能有新的变化。本课题就是为了得到与原来不一样的豆青釉而在着色剂上发生了变化，让人们有不同的感觉。

探讨豆青釉的制备是课题的目的。主要从下面几个方向探讨：

- 1.通过探索性的实验来确定豆青釉的最佳配方；
- 2.以氧化铬为着色剂代替氧化铁；

- 3.研究球磨时间的长短对釉面效果；
- 4.通过改变硅灰石和方解石的比例，观察釉面效果；
- 5.釉面厚度对釉面效果的影响。

3 实验内容

3.1 实验所用的原料

本实验所用原料见表 3-1:

表 3-1 釉用原料

Table3-1 Raw materials of glaze

名称	化学式	性质
钾长石	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	工业纯
釉果		工业纯
硅灰石	$CaSiO_3$	工业纯
石英	SiO_2	工业纯
方解石	$CaCO_3$	工业纯
石灰石	$CaCO_3$	工业纯
滑石	$3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	工业纯
贵溪高岭	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	工业纯
氧化铬	Cr_2O_3	工业纯

各种原料在釉中的作用:

(1) 钾长石

钾长石($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$): 钾长石的熔融温度不是太高, 且其熔融温度范围宽。这与钾长石的熔融反应的有关。钾长石 1130℃ 就开始软化熔融, 至 1220℃ 分解生成 SiO_2 与白榴子石共熔体, 形成玻璃态粘稠物, 其反应如下: $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \rightarrow K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$ (白榴子石) + $2SiO_2$

若温度再升高, 逐渐全部变成液相。由于钾长石的熔融物中存在白榴子石与硅氧熔体, 故粘度大, 气泡难以排出, 熔融物呈稍带透明的乳白色, 体积膨胀 7%-8.65%。

(2) 釉果

釉果是一种制釉用的瓷石。化学成分与坯用瓷石相差无几, 但釉果是比

坯体用的瓷石要好。主要矿物成分分别为绢云母、石英和长石等，具有较瓷石稍低的熔融温度和较好的透明度。

(3) 石英

石英的主要成分是 SiO_2 ，乳白色，属于无机类矿物质，一般成分为半透明或不透明的晶体含有少量杂质如 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 等。硬度为 7，性脆，无解理，贝壳状断口。油脂光泽，密度为 2.65 克/立方厘米，其化学、热学和机械性能具有明显的异向性，不溶于酸，微溶于 KOH 溶液，熔点 1750°C 。

(4) 方解石

方解石是天然中最常见的碳酸钙矿物。方解石的晶体形状具有多样性，它们组合成一簇簇的晶体，有粒状、块状、纤维状、钟乳状、土状等等。

(5) 高岭土

高岭土是以高岭石族粘土矿物为主的粘土和粘土岩，一种非金属矿产。多无光泽，质纯时颜白细腻，如含杂质时可带有灰、黄、褐等色。外观依成因不同可呈松散的土块状及致密状态岩块状。

(6) 氧化铬

Cr_2O_3 最重要和最有价值的用途是作颜料。呈色为浅绿至深绿色细小六方结晶。灼热时变棕色，冷后仍变为绿色，结晶体极硬。极稳定，主要用于冶炼金属铬和碳化铬。用作搪瓷、陶瓷、人造革、建筑材料的着色剂、有机化学合成的催化剂、耐晒涂料、研磨材料、绿色抛光膏和印刷纸币的专用油墨。亦用于生产高铬砖、铬刚玉砖等耐火材料。

(7) 滑石

滑石为单斜晶系。通常成致密的块状、纤维状集合体、放射状、叶片状，但很少有晶体为假六方或菱形的片状。滑石主要成分是滑石含水的矽酸镁，分子式为 $\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ 。无色透明或者白色，由于因含少量的金属氧化物杂质而出现有浅绿、浅黄、浅棕和浅红色；解理面上通常是呈珍珠光泽。硬度 1，比重 2.7~2.8。

3.2 实验仪器及设备

本实验所用的仪器及设备见表 3-2：

表 3-2 实验仪器及设备

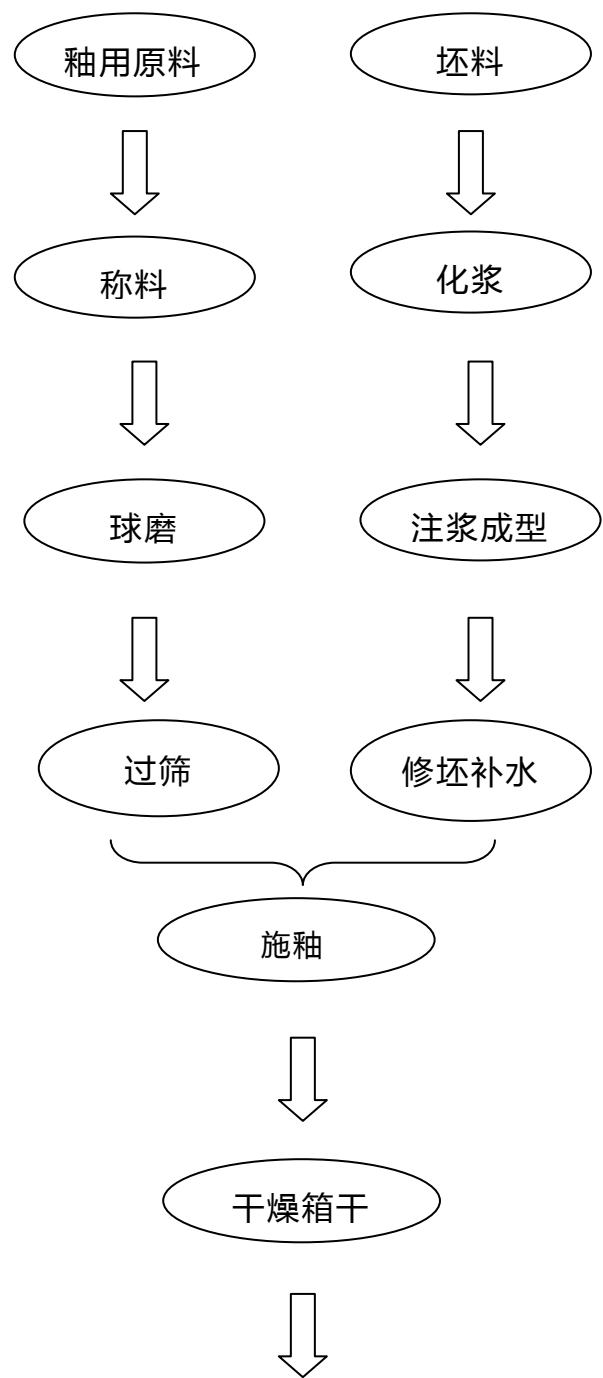
Table3-2 The equipment used in the experiment

名 称	型 号	生产厂家	用途
电子天平	JA2003	上海天平仪器厂	称量

快速球磨机	0.5Kg	景德镇梓薇机械有限公司	球磨
干燥箱	101-3	上海仪器设备厂	干燥坯体
色差仪	WSB-L	上海精密仪器厂	测量白度
窑炉	0.15m ³	景德镇科莱利有限公司	成瓷

3.3 制备工艺流程和工艺参数

本实验的制备工艺流程和工艺参数见图 3.1



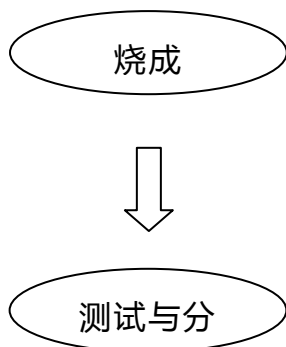


图 3.1 工艺流程

Fig3.1 The process of preparing glaze

釉料制备过程中的工艺参数：

- ①按釉的实验配方称料，料:球:水=1：2：0.7；
- ②配好坯体的浆料，注浆成型后，修坯补水备用；
- ③取修整好的坯体利用浸釉法施釉，控制釉层厚度 0.4-1.2mm；
- ④球磨时间 15 分钟；
- ⑤干燥：烘箱恒温干燥 60-70℃；
- ⑥烧成温度为 1300℃，烧成时间为 14h，本实验的烧成曲线见图 3.2。

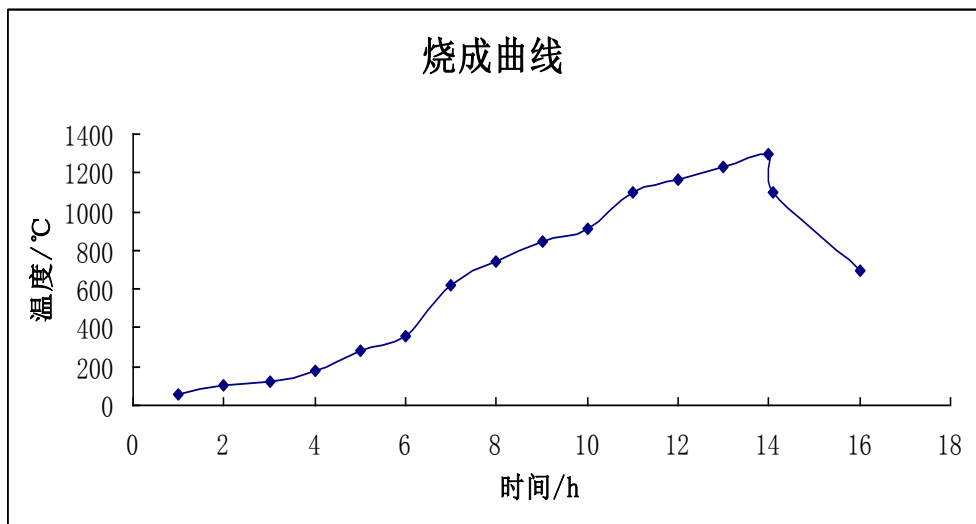


图 3.2 烧成曲线

Fig 3.2 firing curve

3.3.1 施釉

(1)施釉前将海绵用水蘸湿轻轻涂抹于泥饼施釉面，目的在于可以清除坯体表面的灰尘，同时给坯体补充一定的水分，防止坯体过多吸收釉浆中的水分，影响施釉；

(2)采用浇釉法施釉，将陈腐 4-5 个小时的釉浆倒入一个平底容器里，搅拌均匀，再通过控制浇油时间改变釉厚；

(3)经过试验，用游标卡尺量施釉的厚度，厚度范围 0.4-1.2mm；

(4)将上好釉的坯体放在抽屉，自然风干，待干燥后拿到窑炉里烧。

3.4 实验内容

3.4.1 探索性实验

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。

3.4.2 长石的加入量对釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了钾长石的加入量为（wt%）：26%、31%、36%、41%、46%。

3.4.3 硅灰石和方解石的比例对釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了硅灰石 / 方解石的比例为：2 / 1、3 / 1、6 / 1、1 / 2、1 / 3、1 / 6。

3.4.4 滑石加入量对釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了滑石的加入量（外加）为（wt%）：1、2、4。

3.4.5 氧化铬加入量对豆青釉釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解

石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了氧化铬的加入量（外加）为（wt%）：0.02，0.04，0.06，0.08，0.12，0.14，0.16，0.18。

3.4.6 球磨时间对豆青釉釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h 的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了球磨时间（min）为：5、7、9、11、13、15、17、20。

3.4.7 施釉厚度对豆青釉釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了施釉厚度（mm）为：0.7、0.8、0.9、1.0、1.1、1.2、1.3、1.4。

3.5 性能与表征

1、L、a、b 值：明度指数 L（亮度轴），表示黑白，0 为黑色，100 为白色，0-100 之间为灰色。色品指数 a（红绿轴），正值为红色，负值为绿色。色品指数 b（黄蓝轴），正值为黄色，负值为蓝色。

L、a、b 这三个数值都能够表示自然界中所有颜色，试样与标样的 L、a、b 之差，用 L_1 、 a_1 、 b_1 表示；E 表示总色差。试样比标样要浅时，L 值为正；试样比标样要深时，L 值为负。试样比标样要红时，a 值为正；试样比标样要绿时，a 值为负。试样比标样要黄时，b 值为正；试样比标样要蓝时，b 值为负。

色差仪校零：首先把黑色校零片放进去校零，显示屏上出现“请放入白板”，取出黑色校零片；然后将实验仪器中的校零白板放进去校零，显示屏上出现校零完毕时，我们将可以使用这台色差仪。

2、热稳定性：把试样加热到一定的温度，接着放入适当温度的水中，来测陶瓷热稳定性。

判定方法为：（1）根据试样出现裂纹或损坏到一定程度时，所经受的热变换次数；（2）经过一定的次数的热冷变换后机械强度降低的程度来决定热稳定性；（3）试样出现裂纹时经受的热冷最大温差来表示试样的热稳定性，温差愈大，热稳定性愈好。

本实验是通过将试片放在窑炉里加热到 200℃，然后直接取出来放进冷水中，看试片上的釉层是否有开裂。

4 实验结果及分析

4.1 探索性实验

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。

表 4-1 基础釉 L, a, b 值

Table4-1 Basic glaze L, a, b value

L	75.21
a	-5.18
b	4.25

基础釉制成的试片釉面平整、透明度及光泽度都很好，对本实验有一定帮助，通过基础釉制成的试片可以看出基础釉的配方有可行性。从表 4-1 可以看出，a 值为-5.18，b 值为 4.25，釉面呈绿色偏黄。

4.2 长石的加入量对豆青釉釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了钾长石的加入量（wt%）。测试了 L, a, b 值，结果见表 4-2，釉面效果图见图 4.1。

表 4-2 长石加入量对豆青釉 L, a, b 值的影响

Table4-2 Amount of feldspar on pea green glaze L, a, b value effect

长石含量 (%)	26	31	36	41	46
L	44.79	51.51	51.73	50.32	55.81
a	-17.81	-18.80	-19.24	-17.82	-18.51
b	17.80	15.63	18.97	15.60	16.59

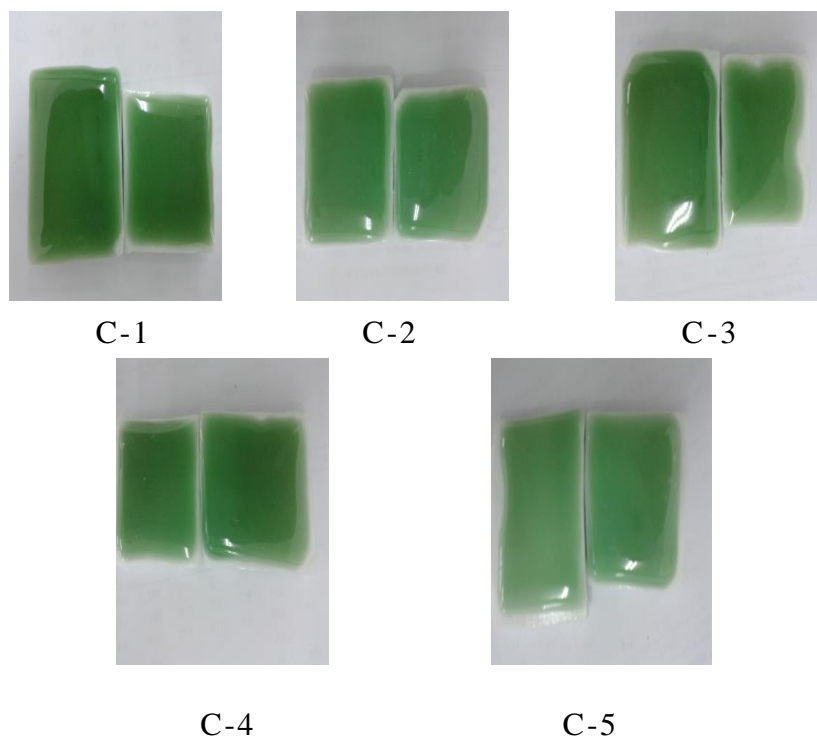


图 4.1 长石的加入量对豆青釉釉面效果图

Fig4.1 Pea green glaze figure amount of feldspar

从图 4.1 和表 4-2 可知，从釉面效果上分析，针孔在 26-46% 的范围内随着长石的加入量的增多也增大，但没有太大的气泡。其光泽度随着长石的加入量的增加而越亮，即 L 值也增大，从实验数据也可以看出 L 值也在增大。当 a 值为-19.24 的时候是最绿的，其长石的含量为 36%，故通过本次实验得出长石的加入量在配方中 36% 为最佳的配方。

4.3 硅灰石和方解石的比例对豆青釉釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了硅灰石 / 方解石的比例。测试了 L，a，b 值，结果见表 4-3，釉面效果图见图 4.2。

表 4-3 硅灰石和方解石的比例对豆青釉 L，a，b 值的影响

Table4-3 Wollastonite and calcite in proportion to the pea green glaze L, a, b value effect

硅灰石 / 方解石	2 / 1	3 / 1	6 / 1
L	51.73	51.04	61.12

a	-19.24	-19.17	-18.79
b	18.97	20.30	19.54

硅灰石 / 方解石	1 / 2	1 / 3	1 / 6
L	49.15	54.39	58.86
a	-18.95	-20.60	-19.42
b	21.11	19.61	18.11



B-1



B-2



B-3



B-4



B-5



B-6

图 4.2 硅灰石和方解石的比例加入量对豆青釉釉面效果图

Fig4.2 Wollastonite and calcite proportional amount on the pea green glaze diagram

从图 4.2 和表 4-3 可知，从试片中可以看出硅灰石与方解石的比例为 2 / 1、3 / 1、6 / 1 时釉面无气泡，针孔有少部分，但分布不集中，表面光泽度较好，釉面平整，比例为 1 / 2、1 / 3、1 / 6 时针孔很少。可以看出硅灰石的量越多光泽度越好。这效果从试验数据上 L 值逐渐增大，即白度越亮。

再从 a 值上分析其越来越小，绿的效果越差。从 b 值上分析有增大的趋势，说明釉面偏黄。故选硅灰石与方解石的比例为 2 / 1 为本实验的最佳效果值。

4.4 滑石加入量对豆青釉釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了滑石的加入量（外加）。测试了 L，a，b 值，结果见表 4-4，釉面效果图见图 4.3。

表 4-4 滑石加入量对豆青釉 L，a，b 值的影响

Table4-4Talc addition on the pea green glaze L, a, b value effect

滑石加入量 (%)	0	1	2	4
L	51.73	49.49	54.89	65.48
a	-19.24	-18.39	-18.66	-17.31
b	18.97	15.51	15.29	15.13

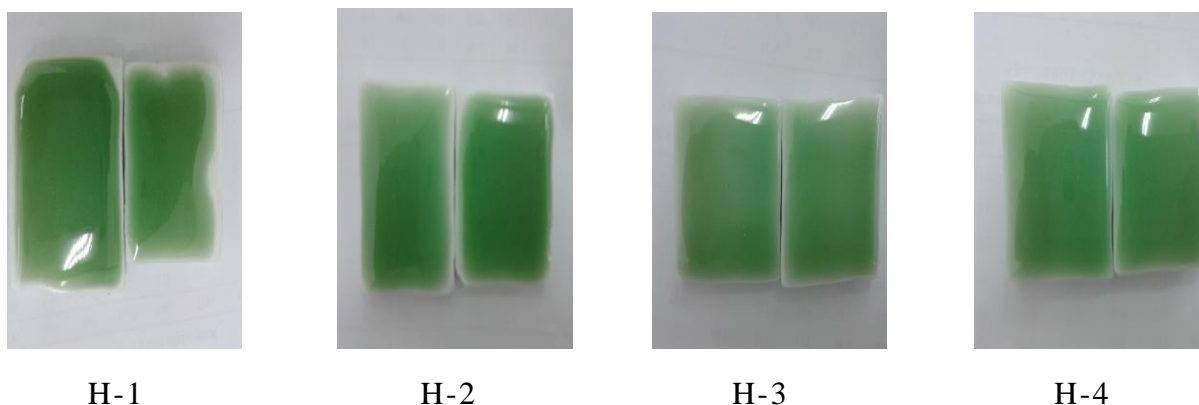


图 4.3 滑石加入量对豆青釉釉面效果图

Fig4.3 Talc addition on the pea green glaze diagram

从图 4.3 和表 4-4 可知，随着滑石的增加，颜色逐渐变浅，a 值从 -19.24 逐渐变小至 -17.31。这主要是由于滑石具有增白作用，从 L 值的变化也可以证明这一点，L 值从 51.73 增加到 65.48，值越大釉越白。同时 b 值随滑石加入量也有变化，但 b 值是随滑石加入量增多而变小，即黄色减弱。

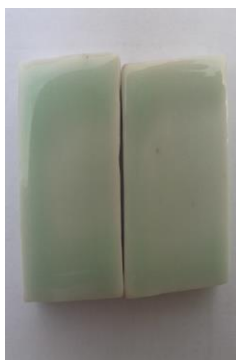
4.5 氧化铬加入量对豆青釉釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h 的条件下，基础油配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了不同氧化铬的加入量（外加），测试了 L，a，b 值，结果见表 4-5，釉面效果图见图 4.4。

表 4-5 氧化铬加入量对豆青釉 L，a，b 值的影响

Table4-5 Chromic oxide addition on the pea green glaze L, a, b value effect				
氧化铬的含量 (%)	0.02	0.04	0.06	0.08
L	82.41	78.14	64.65	68.32
a	-5.23	-4.88	-15.53	-12.23
b	1.43	1.31	11.14	11.09

氧化铬的含量 (%)	0.12	0.14	0.16	0.18
L	56.27	47.52	56.68	57.86
a	-18.91	-16.65	-16.21	-15.57
b	17.17	14.71	14.33	15.10



Cr-1



Cr-2



Cr-3



Cr-4

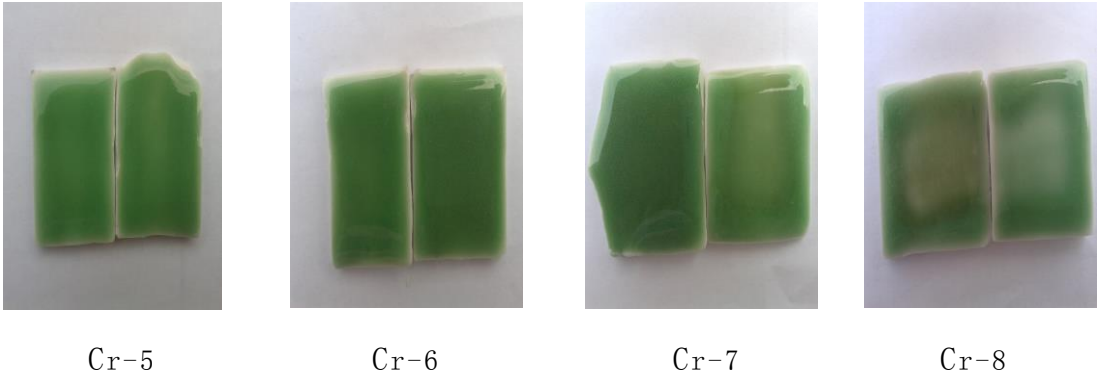


图 4.4 氧化铬加入量对豆青釉釉面效果图

Fig4.4 Chromic oxide addition on the pea green glaze diagram

从图 4.4 和表 4-5 可知，随着氧化铬的增加，颜色逐渐变深。适当的控制氧化铬的用量，可以提高釉面效果，用量过多时，由于使釉的颜色变深，从而会使与豆青釉的颜色不同。经过实验结果可知，氧化铬的用量在 0.12% 时效果较好。a 值在氧化铬 0.02 到 0.12 之间逐渐的变小，到 1.2 后又逐渐变大（可能是因为铬铝反应生成了铬铝红）。b 值和 a 值有相同的变化。故本实验最佳配方的氧化铬含量为 0.12%。

4.6 球磨时间对豆青釉釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h 的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了球磨时间（min）。测试了 L，a，b 值，结果见表 4-6，釉面效果图见图 4.5。

表 4-6 球磨时间加入量对豆青釉 L，a，b 值的影响

Table4-6 The milling time amount on the pea green glaze L, a, b value effect				
球磨时间 (min)	5	7	9	11
L	49.21	54.85	59.28	63.51
a	-15.05	-16.73	-17.02	-17.49
b	13.38	14.09	14.80	15.24

球磨时间 (min)	13	15	17	20
---------------	----	----	----	----

L	64.03	54.24	59.17	64.72
a	-16.21	-16.90	-16.45	-15.61
b	14.66	14.89	15.72	15.39

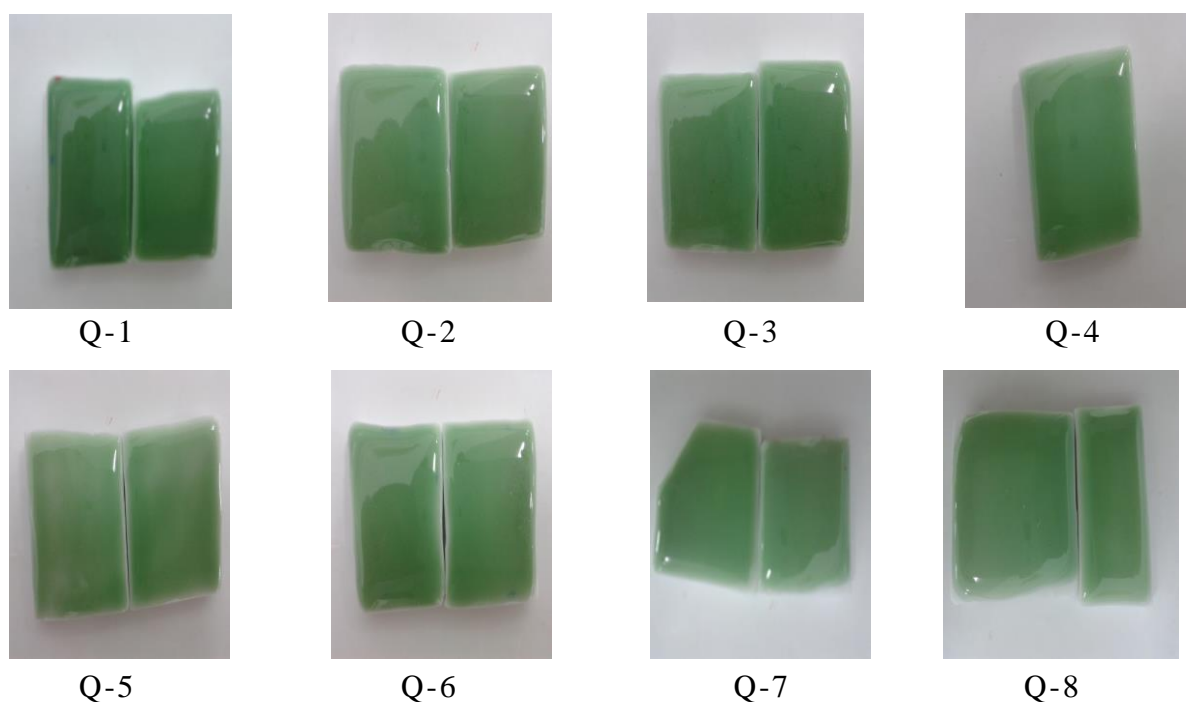


图 4.5 球磨时间加入量对豆青釉釉面效果图

Fig4.5 The milling time amount on the pea green glaze diagram

从图 4.5 和表 4-6 可知，从试片的釉面效果上分析，针孔随着球磨时间的增长而减少，气泡基本上没有；釉面平整度也随着球磨时间的增长也变好；光泽度有明显的变化都是随球磨时间的递增而变亮。通过 L、a、b 值分析光泽度有同样的变化，但球磨时间超过 13 分钟时有减小的是因为测色差的误差。a 值随球磨时间变小，在 15 分钟时是最大值，故本实验的最佳球磨时间为 15 分钟。

4.7 施釉厚度对釉面效果的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了施釉厚度（mm）。测试了 L，a，b 值，结果见表 4-7，釉面效果图见图 4.6。

表 4-7 施釉厚度加入量对豆青釉 L，a，b 值的影响

Table4-7 Glazing thickness amount on the pea green glaze L, a, b value effect

施釉厚度 (mm)	0.7	0.8	0.9	1.0
L	66.85	63.79	68.07	65.37
a	-13.83	-15.76	-15.10	-15.98
b	14.35	16.31	15.59	15.12

施釉厚度 (mm)	1.1	1.2	1.3	1.4
L	62.60	58.96	59.14	55.82
a	-16.14	-17.16	-16.21	-15.72
b	15.20	14.79	15.59	14.98



M-1



M-2



M-3



M-4



M-5



M-6



M-7



M-8

图 4.6 施釉厚度加入量对豆青釉釉面效果图

Fig4.6 Glazing thickness amount on the pea green glaze diagram

从图 4.6 和表 4-7 可知，釉层厚度对釉面效果有一定的影响，施釉太薄釉面呈淡青色；施釉过厚呈深青色又容易造成流釉现象。本实验最佳理想厚度 1.2mm。从 a 值可以看出当厚度为 0.7-1.2mm 之间 a 值呈下降趋势，超过 1.2mm 呈上升趋势。b 值和 a 值有同样的趋势。故从 L、a、b 值分析也为 1.2mm 为最佳。

4.8 滑石的加入量对釉的热稳定性的影响

在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 11.5h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。考察了滑石的加入量（外加）的影响。实验样品从室温升温至 200℃，保温 2h，然后夹出放进冷水中急冷一次，釉面效果图见图 4.7。



图 4.7 滑石的加入量对釉的热稳定性的影响效果图

Fig4.7 Effect of thermal stability of talc graph adding amount on the glaze

从图 4.7 可知，当滑石加入量为 1%时，釉面有明显的裂痕；当滑石加入量为 2%时，没有裂痕，釉面没有发生明显变化；当滑石加入量为 4%时，有少许的裂痕。这主要是由于滑石具有降低膨胀系数的作用，但是其加入量少达不到使坯釉适应性转变的效果，加入量过多反而又增加了膨胀系数，所以釉面开裂。当加入量为 2%时，效果最佳，釉面没有开裂。

5 结论

本实验通过探索：（1）在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 14h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。得出钾长石在豆青釉中的最佳含量为 36%。

（2）在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 14h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。得出硅灰石和方解石的比例为 2/1。

（3）在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 14h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。得出外加滑石的最佳含量为 2%。

（4）在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 14h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。得出最佳上釉厚度为 1.2mm。

（5）在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 14h，球磨时间相同的条件下，基础釉配方组成为钾长石 36%，釉果 21%，硅灰石 14%，石英 16%，方解石 6%，石灰石 2%，贵溪土 5%。得出最佳球磨时间为 15min。

本课题通过我所运用的实验方法做出了釉面效果亮泽、颜色鲜艳的豆青色釉。其效果见图 5.1

图 5.1 最佳实验配方的豆青釉釉面效果图

Fig5.1 Figure pea green glaze optimum formulation



$$\left. \begin{array}{l} \text{最佳釉式: } 0.10\text{MgO} \\ 0.66\text{CaO} \\ 0.22\text{K}_2\text{O} \\ 0.03\text{Na}_2\text{O} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} 0.35\text{Al}_2\text{O}_3 \\ 0.002\text{Fe}_2\text{O}_3 \end{array} \right\} 3.33\text{SiO}_2 \quad \text{外加 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 为 } 0.12\%$$

在实验过程中从基础配方着手，结合陶瓷工艺学原理，进行探索性的实验，确定基础釉配方，然后考察各配方的化学组成变化、外加入滑石含量和其他的工艺参数的变化对豆青釉釉面效果产生的影响。研究表明：在烧成温度为 1300℃，烧成时间为 14h，球磨时间为 15min 施釉厚度为 1.2mm 的条件下，配方组成为（wt%）钾长石 35.0%，釉果 20.4%，硅灰石 13.6%，石英 15.5%，方解石 6.8%，石灰石 1.9%，贵溪土 4.9%，滑石 1.9%，氧化铬 0.12%。L 值为：57.50、a 值为：-19.77、b 值为：15.91。

6 经济分析

根据公司给出的各种原料价格以及对市场价格的了解，可以对豆青釉成本价格、销售价格及利润作一个大概的估算。

6.1 单位样品的原材料成本核算

按配方的计量关系，估计成本可以得出以下数据，见表6-1。

表6-1 原料价格表

Table 6-1 The price list of raw materials

原料	钾长石	釉果	硅灰石	石英	方解石	石灰石	滑石	贵溪土	氧化铬
单位	1500	3000	600	1000	600	500	2000	600	36000
(元/吨)									
用量	35.0	20.4	13.6	15.5	6.8	1.9	1.9	4.9	0.12
(%)									
总价	525.0	612.0	81.6	155.0	40.8	9.5	38.0	29.4	41.0
(元)									

每吨豆青釉的成本费

$$=525.0+612.0+81.6+155.0+40.8+9.5+38.0+29.4+41.0=1532.3 \text{ (元/吨)}$$

6.2 能耗、水电设备折旧

假设釉料的水电费、人工费、折旧费、企业管理费等共占总费用的20%，则对于一吨豆青釉料来说： $1532.3 \times 0.2 = 306.5$ 元

6.3 税收与利润

通过了解，市场上一般销售的价格大概为元6000.0元/吨，假设税收为营业额的6%，则：豆青釉料的总成本费

$$=1532.3+306.5+6000.0 \times 6\% = 2198.8 \text{ (元/吨)}$$

$$\text{利润率} = (6000 - 2198.8) / 2198.8 \times 100\% = 173\%$$

从上可以看出，若使用豆青釉可以为公司带来良好的经济效益，所以该釉料可以在公司进行小试、中试及大规模生产。

致谢

在实验室做实验的时间感觉过得相当快，一晃就过去的三个多月的时间，在这三个月的时间里我在实验室花了大部分，认识了很多学长、老师，并且得到了他们很多帮助。

本论文是在包启富老师悉心指导下完成的。从选题到实验方案的确定以及实验结果的讨论分析，耽误了老师很多的宝贵时间与精力。在此论文完成之际，在此向包老师表示最真诚地感谢，包老师严格谨慎的治学态度，开拓进取的精神与高度的责任心都将使学生受益终生。

在实验期间得到了包老师、赵田贵学长的指导和帮助，包老师、赵田贵学长介绍了许多做豆青釉料的实验要领，在实验过程中，包老师非常关心我的实验进度，不断鼓励我对实验进一步探索。特别在改进实验阶段，每次做完一组配方，包老师都会一一的观察实验效果，也会给我一些方向性的意见，这些让我的实验思路豁然开朗。赵学长帮我烧豆青釉的瓷片，教我如何使用色度仪和球磨仪的等仪器。

在实验分析和论文修改方面同样得到了包老师和赵学长的帮助，同时对我严格要求，他们严谨的处事态度让我感触良多。

此外，非常感谢景德镇陶瓷学院工程系领导和老师们给予我的大力支持和帮助；感谢国家日用及建筑陶瓷工程技术研究中心的老师在实验测试上的帮助与指导；感谢实验室的学长们对我实验的关心与帮助，感谢包老师帮我不厌其烦一遍又一遍地给我修改论文，让我的论文能够顺利通过，再次感谢包老师们及学长！

参考文献

- [1]周仁, 张福康, 郑永圃.龙泉历代青瓷烧制工艺的科学总结【R】.浙江省轻工业厅, 1963.
- [2]罗星云,支俊凯.影青斗彩瓷的自然之美.景德镇陶瓷, 2012.
- [3]孙代好.无铅低温熔块的制备及其在珠光釉中的应用.华南理工大学博硕论文, 2006.
- [4]郑洁如.低温快烧结晶釉的研制.华南理工大学博硕论文, 2006.
- [5] 马铁成, 缪松兰, 林绍贤, 朱振峰.陶瓷工艺学,中国轻工业出版社, 2013.1.2.4
- [6] 罗小聪,张若峰.颜色釉的装饰特点及其运用,景德镇陶瓷,2007.
- [7] 谢克锋.浅论颜色釉与青花山水结合的艺术特色,景德镇陶瓷,2011.
- [8] 颜汉军.试论陶瓷结晶釉的应用,陶瓷科学与艺术,2002.
- [9] 康明山.结晶晶花釉的研制,福建建材,1993.
- [10]李申盛.景德镇颜色釉大集合-建国瓷厂技术部内参,景德镇, 2005-07-23.
- [11]杨吴伟.青瓷釉的烧制工艺研读,丽水学院学报,2009.
- [12]赵世学.古瓷釉的形成和发展,安阳师专学报,1999.
- [13]顾幸勇, 曹春娥编著.无机材料测试技术.武汉工业大学出版社, 2000.10.
- [14]Guo-zhong Cao, Hendrik W. Brinkman, Joan Meijerink,Karel J. de Vries, and Anthonie J. Burggraaf Pore Narrowing and Formation of Ultrathin Yttria-Stabilized ZirconiaLayers in Ceramic Membranes by Chemical Vapor Deposition/Electrochemical Vapor Deposition. J.Am.ceram.soc.76[9]2201-208(1993).
- [15] Ming ZHOU,Ke Li,Da SHU.A new ceramic substrate glaze with high resistance to molten aluminum,shanghai200030 china.
- [16] J.M. Benito, A. Conesa, F. Rubio, M.A. Rodr' iguez . Preparation and characterization of tubular ceramic membranes for treatment of oil emulsions Journal of the European Ceramic Society 25 (2005) 1895–1903