

景德镇陶瓷学院科技艺术学院

本科生毕业论文（设计）

青釉的制备

Celadon glaze preparation

学 号： 201030451332

姓 名： 邵莹玥

专业班级： 无机非金属材料（3）班

指导老师： 刘阳教授

完成日期： 2014 年 5 月 25 日

摘要

青瓷是瓷器的最早形态，历代窑匠总是在青瓷釉色上孜孜以求，伴随着这种追求，青瓷釉的烧造从原料配方到施釉方法，以及烧成步骤都成就颇高。从工艺角度分析研读青瓷釉的烧制，突破传统以来对青瓷釉色、造型特点等单纯的文化审美，完善对青瓷艺术的工艺角度审美。

本课题围绕青釉的试制，讲述的主要是以长石、石英、粘土、烧滑石、烧粘土、 CaCO_3 和 BaCO_3 为主要原料。通过青釉性状图计算得出 16 组釉料配方，在 1300 摄氏度左右高温下还原气氛烧制，通过各种测试，得出较为优质的配方，再利用正交实验方法做优化实验，加入磷酸盐，产生分相，得到如玉一般的质感。采用正交试验法和单因素法，探究青釉的制备，深入了解，从中得出结论。

关键词：青釉，分相，呈色

Abstract

The celadon ware is chinaware's earliest shape. All the potters in the successive dynasties have always diligently strived for the celadon ware glaze color. With this kind of pursuit, the blue porcelain glaze's production has made a great achievement from raw material formula to the application of glazing method, as well as firing steps of the blue porcelain glaze. The author, from the craft angle, analyses the firing and breaks through the pure cultural aesthetic of blue porcelain glaze and modeling characteristics since the tradition and has renewed, and perfected the handcraft aesthetic on the celadon art.

This topic around the celadon glaze trial production, This paper describes mainly feldspar, and quartz, clay, talc burning, burnt clay, CaCO_3 and BaCO_3 as the main raw material. 16 groups calculated by Celadon glaze recipe traits chart, at 1300 degrees Celsius temperature reduction firing atmosphere through various tests, the more quality recipes, and then optimized using orthogonal experimental method to do the experiment, adding phosphate generating phase to give jade general texture. the use of orthogonal test and single factor method, Explore the celadon glaze, Understanding, which may take conclusions

Keywords: Celadon glaze, split-phase, colour generation

目录

1. 前言.....	1
2. 文献综述.....	3
2.1 青釉的艺术特征.....	3
2.2 青釉的烧制工艺.....	4
2.3 青釉的原料及化学组成.....	5
2.4 青釉的概述.....	6
2.5 青釉的历史.....	6
2.6 釉的定义.....	7
2.7 釉的分类.....	7
2.8 釉的.....	8
2.9 釉的制度.....	8
2.9.1 釉层厚度.....	8
2.9.2 烧成制度.....	8
2.10 部分釉用原料氧化物性质.....	9
2.10.1 SiO_2 的作用.....	9
2.10.2 Al_2O_3 的作用.....	9
2.10.3 PbO 的作用.....	9
2.10.4 B_2O_3 的作用.....	10
2.11 添加剂的选用及作用.....	10
2.11.1 添加剂的选择与使用原则.....	10
3. 实验内容.....	12
3.1 原材料及其化学组成.....	12
3.2 实验的主要仪器及设备.....	13
3.3 实验工艺流程与控制要求.....	14
3.3.1 实验工艺流程.....	14
3.3.2 球磨制度.....	14
3.3.3 烧成制度.....	15
3.4 青釉配方的确定.....	15
3.4.1 初始配方的确定.....	15
3.4.2 第一次优化实验.....	17
3.4.3 第二次优化实验.....	18
4. 结果分析与讨论.....	19
4.1 各原料对青釉的影响.....	19
4.2 实验样品的呈色规律.....	19
4.2.1 初始实验变化规律.....	19
4.2.2 磷酸盐的单因素调整.....	22
4.2.4 添加剂对青釉制备的影响.....	23
4.3 实验中出现的问題.....	24
4.3.1 施釉方法的影响.....	24
4.3.2 施釉厚度对釉面性能的影响.....	24
4.3.3 补水的时间长短.....	25
4.4 青釉的分相效果.....	25
5. 结论.....	27

6. 经济分析	28
6.1 单位样品的原材料成本核算	28
6.2 每吨青釉的价格	28
6.3 税收与利润	28
7. 致谢	29
8. 参考文献	30

1. 前言

用于烧制青瓷器的釉就是青瓷釉，也称青釉。青釉以铁为主要着色元素，以氧化钙为主要助熔剂，经过还原焰在1200℃以上的高温烧制而成。釉内氧化铁含量的多少，对其成色有很大影响。所谓“青釉”的颜色并不是纯粹的青，其种类包括：月白、天青、粉青、梅子青、豆青、翠青等。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》中称：“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^[1]。”青瓷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，窑炉已有很大的发展，烧成温度已高达1200℃，甚至更高。窑火温度的提高，给釉的产生和人们发现釉提供了必要的条件。因为在这样高的温度下，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”^[2]。例如其中一种情况是高温窑炉经长期使用后，在窑的燃烧口处和窑内四壁、顶部表面会产生一层玻璃态物质，俗称“窑汗”；还有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1200℃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。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。青瓷釉正是附着在烧制成的青瓷器表面，于是我们对青瓷釉的审美正是对青瓷审美的重要方面，在对其釉色纯正，釉质精美，釉层剔透和表现出的如玉的质感品味中，我们更需去研读这美丽的青瓷釉，从最初矿石原料的碾磨开始，直至烧制完成的整个工艺步骤和反应变化过程，带着一种审美的心态去关注和欣赏，更全面地体味青瓷艺术的美。

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。现代青瓷釉的发色更加丰富，有天青、粉青、梅子青、豆青、冬青、影青、蛋青、纹片青等。

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。

本课题从工艺和成分的角度,来研究青釉的外观与组成的关系。由于在制备工艺、釉料组成和形成机理等方面,都做了一些的研究,使青釉的质量日趋精美,更加稳定,为批量生产打下了良好的基础。

本课题的研究工作主要有以下几点：

- (1) 青釉的配方的组成。
- (2) 不同含量的各组成对釉料呈色的影响。
- (3) 施釉工艺对釉彩颜色效果的影响。

2. 文献综述

青瓷是我国瓷器的传统品种之一，青瓷以瓷质细腻、线条明快流畅、造型端庄浑朴、色泽纯洁而斑斓著称，被称为“瓷器之花”。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 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P / Fe 比值的大小决定了釉料呈色的不同。而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。

2.1 青釉的艺术特征

青瓷之所以为青，是釉药中氧化铁成份经过还原火之后的结果。文献中对最早的青瓷烧制做如下的描述：“青瓷器最早烧成于我国东汉时期。汉代瓷窑生产的青瓷，以越窑的质量为最好，胎质细腻坚硬，多数在烧成中已经达到正烧，胎骨坚实呈青灰色，氧化铁含量较低，上釉采用浸釉法，外壁施釉不及底，釉层均匀，青釉淡雅文静，胎釉结合紧密，极少有脱釉现象。”哪盯东汉中叶以后，随着烧造技术的进步，对窑炉气氛的控制与釉层呈色关系认识有所提高。汉代瓷场，多数用龙窑煅烧瓷器。龙窑烧成方法的成熟与青瓷釉的成功烧制有重要的关系^[3]。

发色和釉质良好的青瓷器物才算成功的青瓷，于是在欣赏青瓷的同时也就是欣赏釉的品暖，青瓷与釉同为一体而无法分割，釉的质美就体现在釉中每个分子成份的价态变化中；颗粒大小粗细不同的釉料多层次地附着于胎体表面；在窑内高温火焰中的熔融、反应和晶态转化中，终于成了呈现在人们面前的无暇的青釉瓷器，青瓷审美又怎么能忽略对这过程美的感悟。

青瓷的釉料的发色主要取决于釉内铁的氧化物，在还原气氛中烧成时 Fe^{3+} 被还原成 Fe^{2+} 的结果， Fe^{2+} 可以被认为是 Fe^{2+} 加上一个松结合的电子，它可以吸收一定波长的光谱。两种铁的氧化物以动平衡状态存在于釉中， $\text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$ 的含量比例决定于其平衡条件，若釉中 FeO 含量占优势，釉呈青色，反之，则呈黄色或黄绿色

^[4]。”早期瓷釉属于灰釉，釉中含有 16—20% 的氧化钙，靠加入草木灰得到钙，钙在釉料中是助熔剂，能在较低温度下玻化。灰釉具有光泽好、透明度高、硬度大等特点。在釉料中还含有一定量的氧化铁。铁是青釉的主要着色剂，在不同的烧成气氛中使釉呈现青黄不同的颜色。青瓷的烧成过程分氧化、还原、冷却三个阶段。胎釉中的铁在氧化气氛中处于高价状态(Fe_2O_3)，呈黄赤色，在还原气氛中，使铁处于低价状态，低价的铁则呈青色，故在还原气氛中烧成的釉呈青色。

2.2 青釉的烧制工艺

青瓷釉色的烧制釉料配制是关键，其中釉料的细度对釉层的质量有重大影响，釉料太粗，不仅釉的成熟温度要提高，而且色泽也不好，缺乏晶莹滋润感；釉料太细，容易发生脱釉和釉内隐裂的裂纹，且由于它所结合的水分子多而牢固，上釉时坯体不易吸收，较难得到厚的釉层(釉层的厚度对青瓷釉色的色调发生直接的影响)，给上釉操作带来了困难。其次，釉浆的比重和施釉方法、釉层厚度、施釉次数、制品的大小厚薄、坯体的气孔率均有关系。

另外，青瓷釉的发色和胎土也有很大的关系，由于青釉属于透明釉，对胎土没有掩盖作用，釉是一种烧结在胎体表面的玻璃态物质，胎的色调对釉的呈色有一定的衬托作用。对青瓷来说，要想获得沉静的色调，胎体最好带一些灰度。为达此目的，在龙泉青瓷烧造中，窑工便在胎土中掺入一种含铁量较高的紫金土(系由石英、长石、含铁云母及其它铁杂质的矿物组成，可作为胎、釉的着色原料)，这样烧出的瓷器，釉色柔和淡雅，方显得有味道。不同色调的釉，对胎内铁含量的要求不尽相同。“试验结果表明：胎内铁含量在2.5%左右时，釉呈粉青色，铁含量在1.5%以下时，则呈淡粉青色，铁含量在5%时，釉色灰青，并可能产生‘开片’现象。同时，色调较深的釉中(如梅子青)也需要掺入一定量的紫金土”^[3]。

然而，光靠增加胎、釉铁的成分也还是不够的，要获得莹润的质感，釉层还须具有一定的厚度。以龙泉窑为例，龙泉青瓷主要是靠“原釉”取胜的，如它的釉层厚度普遍在0.5~1毫米之间，有的甚至厚达1.5毫米以上。釉层愈厚，釉色愈深，釉的玉质感也就愈强。当厚度在0.5毫米以下时，釉面则不可能显出莹润如玉的质感与色泽。釉能不能施得厚，取决于釉的高温熔融粘度及施釉方法等。釉的粘度过小，则流动性过大，容易造成流釉、堆釉等缺陷；而粘度过大，则釉面不平滑，光泽不好，容易引起龟裂、缩釉、针孔等毛病^[3]。宋代以前，南北方烧瓷多沿用传统

的石灰釉(用石灰石与草木灰烧炼成“釉灰”，然后与瓷石配制成釉。因含有较多氧化钙，可使釉的熔融温度降低，在较低烧成温度下玻化)，这种釉粘度较小，在高温熔融时易于垂流，不便厚施(早期青瓷釉层厚度仅0.1毫米左右)；烧结后，釉面过于透亮，光泽较强，看上去较为乏趣^[5]。于是南宋晚期龙泉窑的窑工便在釉料中掺入毛竹灰，配制出石灰碱釉(氧化钙含量降低，碱金属氧化物含量提高，使之成为以氧化钙和氧化钾、氧化钠为助熔剂的釉料)，其特点是高温粘度增强，可使釉汁厚施而不易垂流，并采用器里荡釉器表浸釉的方法，通过多次施釉，达到“厚釉”的目的。在第一次施釉之前，坯体要先经素烧；未经素烧的坯体，吸水性不强，釉汁难以厚施。由于釉的粘度增强，烧造时产生的气泡被均匀地封闭在釉中(釉内含5~10%肉眼不易看到的小而均匀的气泡，并有5%左右均匀分布的石英晶体)，釉面多少呈失透状，不显出刺目的浮光，从而形成深厚滋润有如美玉的质感。

当然，要想获得理想的釉色，控制好烧成还原气氛也是一个关键。同一瓷釉配方，在不同烧成条件下可产生各种不同的釉色。如含有一定铁分(1~3%)的釉，经还原焰锻烧，可呈现出明朗的青绿色，而如果还原气氛不充分或是在氧化焰中锻烧，则釉色偏黄或呈现涩滞的褐色调。龙泉窑的粉青、梅子青等釉色品种，均需比一般青瓷釉更高的烧成温度，特别是梅子青，必须在强还原气氛中烧成。还原程度越高，制品的颜色就越青，还原浓度不够会严重影响青色的质感。

现代的青瓷工艺是在继承传统的基础上，加入现代科技手段，和现代化的生产设备，用更加科学的方法配制胎料和釉料，用化学实验室的方法对泥釉料的配比进行精确的计算，更好地实现了对胎料和釉料的物理化学性能以及呈色等方面的控制。现代青瓷工艺最重要的改进就在于窑炉的变换，基本摒弃原始的柴窑的烧成，而用现代的工程窑炉烧成，以煤气和电为燃料，能较好地控制窑炉内的温度和气氛，克服了原先柴窑在温度控制、气氛控制、升温速度控制、胎体由于前期升温速度不均而造成的开裂等一系列问题，大大提高了成品率。由于不再使用木材为燃料，也减少了对空气的污染，同时留住了更多的树木，有效地保护了生态环境。由于气氛控制得宜，也就能较好地控制青瓷釉料的发色，对追求釉色之美的青瓷而言，这样的工艺改进是拓展现代青瓷更好发展的保障。

2.3 青釉的原料及化学组成

本实验所用原料均为矿物原料，包括长石、石英、粘土、烧粘土、烧滑石、 BaCO_3 、

CaCO₃等。

2.4 青釉的概述

青釉是我国使用最早，延用时间最久，分布最广的一个釉种，它的发明是与我国瓷土矿大都含有一定量的铁矿的现象相一致的。青色也符合我国人民的传统审美情趣。青色与碧玉相若，认为稳重而高雅。浙江、江西、河南等地已出土了不少早至商周时期的原始青釉瓷。六朝至唐宋以越窑为代表的南方青釉瓷；宋到元明的龙泉窑系青瓷；耀州窑、临汝窑、钧窑等宋代北方青瓷；以及明、清以来的景德镇青釉瓷，是青釉发展的几个重要阶段，所谓的宋代“汝、定、官、哥、钧”五大名窑，除定窑外均属青釉瓷。釉的呈色主要决定于着色氧化物的含铁量与烧成气氛，青釉含铁量一般在1~3%左右，过高会变成黑釉，低了就能烧成白瓷。在还原气氛中烧成。釉色青绿；在氧化气氛中烧成，釉色泛黄。因而陶瓷界所谓的青釉是相对而言的，正如许之衡《饮流斋说瓷》中所说：“古瓷尚青，凡绿也，蓝也，皆以青括之。”

现代青釉以豆青最为常见，但是多数豆青釉烧制的釉面流动性过大，导致釉体不均匀，景德镇宝瓷林瓷业有限公司烧制的豆青釉是现代豆青釉中的精品之作。其上釉均匀并且亮度恰到好处，值得收藏。

2.5 青釉的历史

我国历代的青釉都以铁为主要着色元素，以氧化钙为主要助熔剂，加了氧化铁的色釉，在氧化焰里烧成黄色，经过还原焰才成为青色。另一方面，釉内氧化铁含量的多少，对釉的成色有很大关系。如古代的越窑、婺州窑青瓷釉料中铁的含量在釉色较深，呈豆青色或艾色；唐代瓯窑青瓷釉的氧化铁含量为釉作淡青色；德青窑用含铁量很高的紫金土来配制黑釉，使釉内含铁量高达因此色黑如漆。

景德镇在唐代开始烧造的青釉器。据陈万里著《中国青瓷史略》介绍“经过近几年来调查证明唐代烧造青釉器的地点：一是江西景德镇，离镇二十里，在湘湖与湖田间，地名白虎湾的公路上，发现唐代烧造的青釉器碎片极多，胎土灰色，胎骨一般较厚，薄的较少，盘底有釉，色泽极似长沙出土的东西，青釉带黄。青的程度已接近越窑的艾色(即橄榄色)。施薄釉，有极细纹片，浅盘外面有凹痕，一切制作显然是唐代的风格，后于湖田镇南人山约两三里，地名胜梅亭(俗称杨梅岭)的山

坡，又发现当年烧造时叠破碎的窑底货，证实了当年景德镇也是烧造青釉瓷的……”。

宋代景德镇窑生产的胎薄釉青的青瓷，以质优工巧而冠群窑。元代青瓷仍保留宋代“光致茂美”的特点，中后期产品釉层变得较乳浊。明代，景德镇制瓷业空前发达，有几处作坊仿造宋代负有盛名的青瓷，此种仿宋品传世的不少，其中永乐年烧造的翠青三系罐(现藏故宫博物院)就是一例。清代在景德镇仿制的青釉器，以雍正、乾隆两个时期为最多，官窑方面正是年希尧、唐英监厂督造时期，在宫中有的是宋代几个名窑的原器。因而根据汝窑、官窑、哥窑以及龙泉窑的种种标准色釉与造型尽力仿造。所仿造出的物品、如雍正的龙泉釉，跟永乐年内所仿制的完全相同。清末景德镇仿哥窑的作品虽还在烧，而釉色烧成油灰色；仿龙泉的作品一般称为豆青色，而釉里有很多气泡，色泽亦显得灰暗。

2.6 釉的定义

釉是附着于陶瓷坯体表面的一种连续的玻璃质层，或者是一种玻璃体与晶体的混合层。釉的产生可能是古代垒石烹食时所用含钙石头与炭灰而生成，也可能是受贝壳表面美观质感的启发，有意识地用贝壳粉作为原料制成。其实，早在三千多年前的商代，我们的祖先就已经学会了用岩石和泥巴制成釉来装饰陶瓷了。后来陶瓷艺人利用窑灰自然降落在坯体上能化合成釉的现象，进而用草木灰作为制釉的一种原料。现代日用陶瓷生产所用的釉分为石灰釉和长石釉。石灰釉是用釉果（类似瓷石的一种天然矿物原料）和二灰（主要成份氧化钙）配制而成，长石釉主要由石英、长石、大理石、高岭土等组成。在石灰釉和长石釉中加入金属氧化物，或渗进其它化学成份，就会成为各种各样的釉色。

2.7 釉的分类

1. 外观：以外观来区分是最常见的方法。有透明釉、乳浊釉、半乳浊釉、亮釉、白亮釉、无光釉、结晶釉、裂纹釉等等。

2. 用途：因制品本身之用途来分类：陶釉、瓷釉、珐琅釉、瓷砖釉、艺品釉、日用瓷釉、电瓷釉等等。

3. 组成：因釉药之组成不同而有长石釉、石灰釉、铅釉、无铅釉、铁红釉、铜红釉、铁青釉等等。

4. 制造、制备：因烧成温度区分：低温釉（ $<1000^{\circ}\text{C}$ ）中温釉（ $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ）、高温釉（ $>1200^{\circ}\text{C}$ ）。

因烧成速度或方式区分：快速烧成釉、传统釉、一次烧成釉、二次烧成釉。

因釉浆制备方式不同区分：生料釉、熔块釉、盐釉。

5. 特性：耐磨釉、低膨胀釉、装饰釉、化学瓷釉、半导体釉、导电釉等。

2.8 釉的作用

釉是施于陶瓷坯体表面的一层极薄的物质，它是根据坯体的性能要求，利用天然矿物原料及某些化工原料按比例配合，在高温作用下熔融而覆盖在坯体表面的富有光泽的玻璃质层（渗彩釉以及自释釉例外）^[1]。

釉的作用可以归纳如下：

- （1）使坯体对液体和气体具有不透过性，提高了其化学稳定性。
- （2）覆盖坯体表面给瓷器以美感。
- （3）防止玷污坯体。平整光滑的釉面，即使有玷污也容易洗涤干净。
- （4）使产品具有特定的物理化学性能。
- （5）改善陶瓷制品的性能。

2.9 釉的制度

2.9.1 釉层厚度

釉层厚度对釉面质量及烧釉过程中晶核形成和晶体成长影响很大。同一个配方，不同厚度的釉层采用相同的烧成工艺，釉的性能往往会产生很大的差异。一般地，釉层太薄，则形成的结晶稀而小，不易长大到所需的尺寸，且釉面质感差；而釉层过厚，高温下其流动性增加，易造成产品釉层厚度不均，釉面熔融不均匀。适当的釉层厚度有利于结晶发展到合适的尺寸，产生良好的外观效果。

最佳的釉层厚度要根据不同产品通过多次试验来确定。釉层厚度可通过调整釉浆浓度和施釉方法来控制。例如，在结晶釉研制实验中，为了达到厚釉的目的，可采用素坯进行施釉，如浸釉两次或喷釉三次。

2.9.2 烧成制度

烧成制度包含多个因素，如烧成气氛、烧成温度、保温温度、保温时间、升温速度、冷却速度等。制定合理的烧成制度对保证镁质釉透光度是十分重要的。否则

再好的釉料配方也难以获得满意的镁质釉面效果。

2.10 部分釉用原料氧化物性质

釉用原料包括各种矿物原料（如石英，长石，高岭土，方解石，滑石，白云石等）和化工原料、（如 ZnO ，硼砂等）。釉用原料能给釉的组成提供一种或几种氧化物，这些氧化物决定着釉的性质，进而影响最终制品的釉面质量和性能。

2.10.1 SiO_2 的作用

SiO_2 是釉料的主要成分，是主要的玻璃网络形成体，釉中 SiO_2 的含量越高，烧成温度也越高。在低温有的含量越高，烧成温度也越高。在低温釉中 SiO_2 与溶剂的比例大约是 2:1 (mol)；用于最高温度烧成的釉，这个比例升到 10:1 (mol)。但是，增加 SiO_2 的含量可以提高釉的机械强度和硬度，提高釉面白度、透光度、化学稳定性和热稳定性，降低釉的热膨胀系数。釉中 SiO_2 组分除了由长石、粘土等硅酸盐原料提供一部分外，主要由石英引入。

2.10.2 Al_2O_3 的作用

Al_2O_3 是中间体氧化物，既能与 SiO_2 结合，也能与碱性氧化物结合。在釉熔融过程中， Al_2O_3 通常能夺取游离氧形成四配位而进入硅氧网络，起加强玻璃网络结构的作用。因此， Al_2O_3 不仅能提高釉的玻璃化能力，抑制析晶，而且能显著改善釉的性能，如提高有的化学稳定性、硬度、和弹性，并能降低釉的膨胀系数，提高釉的熔融温度和高温粘度，提高抗化学侵蚀的能力，在熔块釉中适当的 Al_2O_3 含量可防止釉面龟裂。釉中 Al_2O_3 主要有长石和粘土提供，必要时可由工业氧化铝等引入。

2.10.3 PbO 的作用

PbO 由铅丹、铅白、弥陀僧引入。 PbO 是最强的助溶剂， PbO 与 SiO_2 极易反应生成低熔点的硅酸铅，由于硅酸铅折射率高，因而可形成光泽度高的釉面。与碱金属氧化物相比， PbO 作为溶剂具有以下特点，适量 PbO 降低釉的热膨胀系数：是热稳定性提高：并且可降低熔体粘度，是釉具有良好的流动性：同时可增加有的熔融温度范围：提高釉面弹性，光泽度，增加抗张强度； PbO 的加入使釉中有少量析晶失透倾向。 PbO 使用时需要注意， PbO 具有毒性，且易挥发，对于生铅釉，如果操

作不当，易被还原，使釉面呈灰黑色。而且由于其挥发性，对操作工人危害较大，一般做成熔块使用（但是在玻璃釉中， Pb_3O_4 的含量可高达 70% 左右）。含 PbO 的釉在大气中长期暴露，釉面会失去光泽，易裂，而且 PbO 使釉面硬度降低。

2.10.4 B_2O_3 的作用

B_2O_3 由硼砂，硼酸，硼钙石，硼镁石，方硼石引入， B_2O_3 是釉的重要组分，是强助溶剂。 B_2O_3 能与硅酸盐形成低熔点的混合物，降低釉的熔融温度。低温时形成高粘度玻璃；温度升高，是釉熔体黏度降低，流动性增大，易于铺展成平整的釉面， B_2O_3 的加入能增大釉的折射率，提高光泽度，用适当可降低热膨胀，用量过多，热膨胀反而增大，同时也降低釉的耐酸和抗水侵蚀能力。含 B_2O_3 量高时，釉面的硬度会随之降低，烧成温度范围变窄，且易引起颜色扩散，含 B_2O_3 多的釉不适于长周期和明焰烧成。调整 B_2O_3 的相对含量可达到最佳胚釉适应性。 B_2O_3 形成的熔体不但本身不易结晶，而且有阻止其他化合物的结晶倾向。所以加入 B_2O_3 可避免釉失透现象发生。需要注意的是， B_2O_3 在 1000°C 左右时挥发加快，故在配方设计是，需要考虑此项损失。

2.11 添加剂的选用及作用

2.11.1 添加剂的选择与使用原则

- （1）熟悉各种添加剂的性能，其相互作用与制约情况，熟练掌握其作用机理。
- （2）熟悉釉料配方中各原料的物化性能，如：塑性料与瘠性料的比例，是否含有较多细分散度料等。
- （3）配方设计者必须清楚自己所设计配方的特点，明确有哪些物理性能需借助添加剂来解决。
- （4）添加剂加入的种类与数量应按可加可不加的尽量不加；可多加或少加的尽量少加；选用添加剂的种类与数量越少越好等原则。
- （5）要保证添加剂本身的质量稳定，不对釉浆使用性能产生不稳定等负面影响。
- （6）由于有机添加剂主要用于改变坯、釉浆的物理性能，在分解完全后挥发，原则上不参与烧结反应，但有可能残存微量元素。故有机添加剂的成分不能太多，特别是炭素成分是形成釉面斑点的隐患；有机物会使釉面发暗，使釉面光泽度降低

或失去光泽，快速烧成时分解的气体不能及时排出是釉面产生起泡、针孔的原因之一。

2.11.2 添加剂对釉浆的作用

总体来说，添加剂对釉浆的作用有如下几个方面：

- (1) 调节釉浆的粘度，改善施釉后釉面的润湿度与平滑度；
- (2) 调节釉浆中固体物质的含量，使其含量高而不会发生沉淀；
- (3) 防止釉浆产生沉淀与分离，保持其均一性；
- (4) 使釉浆具有良好的悬浮性与分散型；
- (5) 改善釉浆的流动性能；
- (6) 控制施釉后的干燥时间，且让其保持较高的干燥强度；
- (7) 延长釉浆存放时间，短期内不易变质；
- (8) 保证生釉层具有一定的强度与耐磨性；
- (9) 保证生产应用上所要求的触变性；
- (10) 改善坯釉间物理及化学的结合性。

3. 实验内容

3.1 原材料及其化学组成

本实验所采用的是粉末状原料，选用的是钾长石、方解石、滑石、CaCO₃、粘土、BaCO₃、石英，如表 3.2 所示。

表 3-1-1 原料的化学组成
Table 3-1-1 chemical composition of raw materials

原料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	ZnO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Na ₂ O	IL
钾长石	64.7	18.4					16.9			0.15
方解石				56						44
粘土	46.5	39.5								14
石英	98.2	1.76								
滑石	62.3		0.36	0.39	31.8					5.4
Fe ₂ O ₃						分析纯				
Ca ₃ (PO ₄)						分析纯				
2										

表 3-1-2 实验所用药品

Table 3-1-2 Experimental medicaments

序号	药品名称	纯度	产地
1	钾长石	矿物原料	南昌
2	方解石	矿物原料	江西
3	粘土	矿物原料	苏州
5	石英	矿物原料	萍乡
6	烧滑石	矿物原料	上林
7	氧化铝	工业纯	武汉
8	BaCO ₃	化学纯	广州

3.2 实验的主要仪器及设备

表 3-2 实验的主要仪器及设备

Table 3-2experiments the main instruments and equipment

名称	型号	数量	产家
行星式球磨机	YY7411	1 台	上海尼丰机电有限公司
恒温干燥箱	101A-2	1 台	上海实验仪器厂
100ml 量筒	85-2	1 个	上海实验仪器厂
电子天平	JA2003	1 台	上海良平仪器仪表有限公司
250 目筛网	--	1 个	郑州长城科工贸有限公司
浓度计	--	1 个	上海实验仪器厂
球磨罐	--	2 个	--
白度测试仪	--	1 台	--
光泽度测试仪	--	1 台	--
烧杯	--	5 个	--
箱式硅碳棒电炉	--	1 台	--
研钵	--	1 个	--
样品封袋	--	24 个	--
玻璃棒	--	2 支	--
烧杯	--	若干	--

3.3 实验工艺流程与控制要求

3.3.1 实验工艺流程

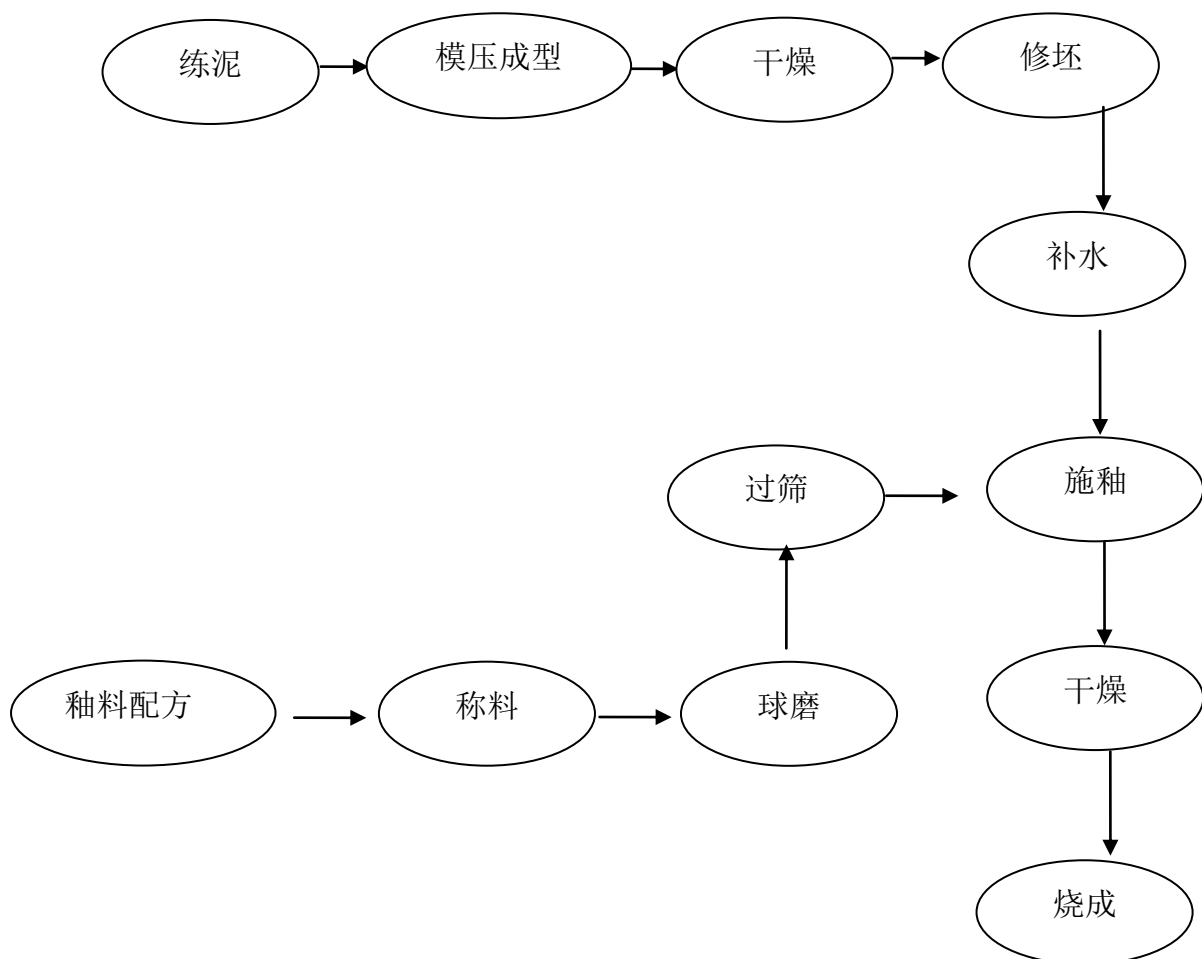


图 3-1 工艺流程

Figure 3-1 process

3.3.2 球磨制度

(1) 料：球磨子：水=1：2：0.8。

每个配方配料 100 克，球子=500 克氧化铝球子+1000 克普通球子，釉浆含水量为 3.5%，水玻璃 0.35%，CMC0.1%，PAAS 约 0.1%。

(2) 球磨机转速：400rad/min。

球磨时间：3 小时，达到 325 目。

3.3.3 烧成制度

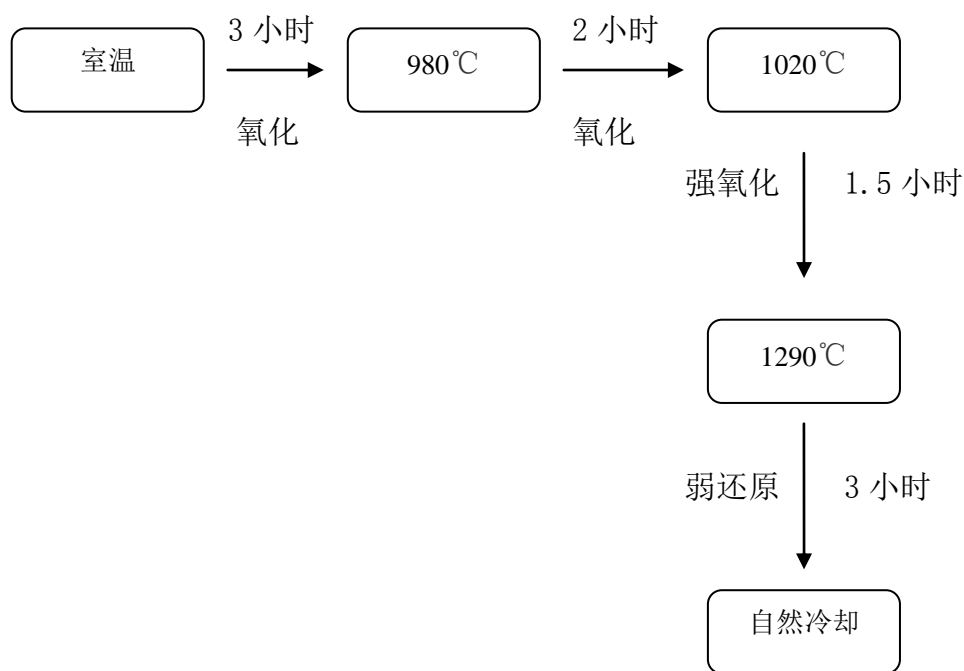


图 3-2 烧成制度

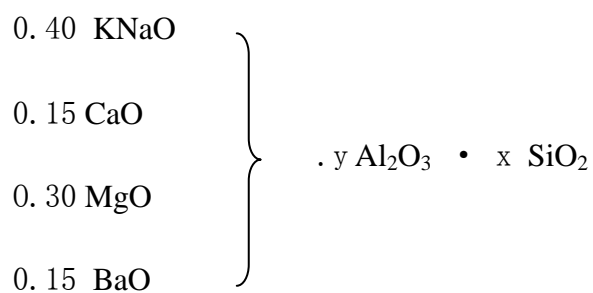
Figure 3-2 burning system

3.4 青釉配方的确定

3.4.1 初始配方的确定

因为实验初期对于青釉的概念甚少，所以在实验初期，需要借鉴前人的经验，而且原料成分有波动，我们需要再此基础上进行实验，参考了^[6]，确定青釉配方。

通过所查资料获得釉式并计算配方



其中 x 的取值范围为 $4.0 \sim 4.6 \text{mol}$, y 的取值范围为 $0.64 \sim 0.73 \text{mol}$ 。
通过 x, y 的变化, 画出釉性状图。

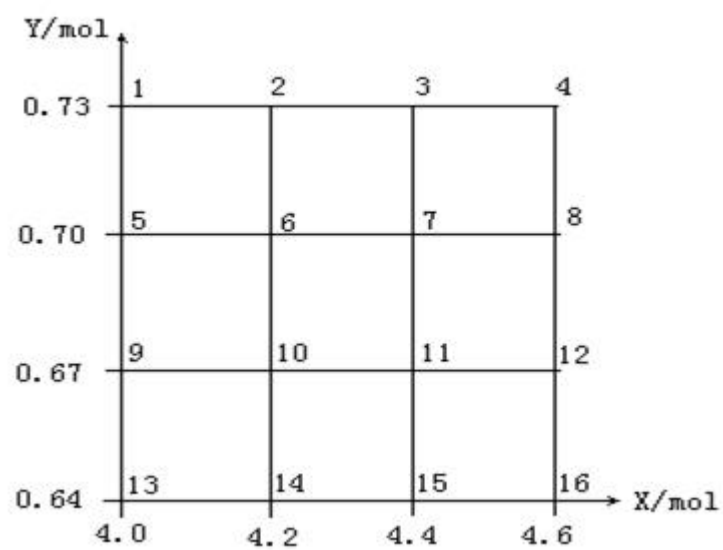


图 3-4 釉性状图

Figure 3-4 Glaze traits chart

通过 x, y 的变化计算出配方, 结果见表 3-3

表 3-3 初始配方
Table 3-3 original recipe

配方	长石	石英	粘土	烧粘土	烧滑石	CaCO ₃	BaCO ₃
1#	53.8	7.8	8.1	10.7	8.7	3.6	7.2
2#	52.3	10.4	7.9	10.4	8.5	3.6	7.0
3#	50.9	12.9	7.7	10.1	8.3	3.4	6.8
4#	49.5	15.2	7.5	9.9	8.0	3.3	6.6
5#	54.3	8.8	7.5	9.7	8.8	3.6	7.2
6#	53.0	11.4	7.3	9.4	8.5	3.6	7.0
7#	51.2	13.8	7.1	9.2	8.3	3.4	6.8
8#	49.9	16.2	6.9	9.0	8.1	3.3	6.6
9#	54.6	9.7	8.2	7.6	8.9	3.7	7.3
10#	53.1	12.3	8.0	7.4	8.6	3.6	7.1
11#	51.6	14.8	7.8	7.2	8.4	3.5	6.9
12#	50.2	17.1	7.6	7.0	8.1	3.4	6.7
13#	55.1	10.7	7.7	6.6	8.9	3.7	7.3
14#	53.5	13.3	7.4	6.4	8.7	3.6	7.1
15#	52.0	15.7	7.2	6.2	8.4	3.5	6.9
16#	50.6	18.0	7.0	6.0	8.2	3.4	6.7

将该初始配方试烧 1290℃，待其自然冷却。

实验结果显示3#配方的釉面效果最好，但是实验仍不精准，需加大调试力度，进行第一次优化实验。

3.4.2 第一次优化实验

在Fe₂O₃ 加0.8%的情况下，加入磷酸盐[Ca₃(PO₄)₂]，调整配方见表3-4

表 3-4 第一次优化配方

Table 3-4 The first optimization formulation

	钾长石	石英	粘土	Al ₂ O ₃	烧滑石	方解石	BaCO ₃	Ca ₃ (PO ₄) ₂
1	43	24	8	5	9	4	6	1
2	43	24	8	5	9	4	5	2
3	43	24	8	5	9	4	4	3
4	43	24	8	5	9	4	3	4

将该优化配方试烧1290℃，待其自然冷却。

实验结果显示3#配方的釉面效果最好，但为了得到更好的配方，还需要在第三组上再进行一次优化。

3.4.3 第二次优化实验

第二次优化方案是在第一次优化配方3#的基础上，调整Fe₂O₃的量。调整配方见表3-5。

表 3-5 第二次优化配方

Table 3-4 The second optimization formulation

	钾长石	石英	粘土	Al ₂ O ₃	烧滑石	方解石	BaCO ₃	Ca ₃ (PO ₄) ₂	Fe ₂ O ₃
1	43	24	8	5	9	4	4	3	0.8
2	43	24	8	5	9	4	4	3	1.2
3	43	24	8	5	9	4	4	3	1.6
4	43	24	8	5	9	4	4	3	2.0

将该配方试烧1290℃，待其自然冷却。

4. 结果分析与讨论

4.1 各原料对青釉的影响

氧化铁的加入量对釉面效果有影响，氧化铁含量越高颜色越深，得出氧化铁含量不宜太高，大约在 1.2%左右青釉效果较好。

磷酸盐的加入量对分相及呈色影响较明显，一定范围内釉面光泽度都随着骨灰含量增多而递增，在 3%为宜。

石英含量能提高釉的熔融温度与黏度，并减少釉的热膨胀系数。但不宜太多，含量在 24%左右。

4.2 实验样品的呈色规律

4.2.1 初始实验变化规律

表 4-1 初始实验打分分析		
Table 4-1The grade of original recipe		
试验号	评分	材料评价
1#	2	呈色绿色，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔
2#	3	呈色青色，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔
3#	5	呈色青色，釉面颜色分布均匀，有光泽度，无气孔
4#	1	呈色偏白，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔
5#	1	呈色偏白，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔
6#	0	呈色偏白，釉面颜色分布均匀，光泽度不够，无气孔
7#	2	呈色青色，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔
8#	1	呈色偏白，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔
9#	4	呈色青色，釉面颜色分布均匀，有光泽度，无气孔
10#	3	呈色青色，釉面颜色分布均匀，有光泽度，无气孔
11#	2	呈色青色，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔
12#	2	呈色青深，釉面颜色分布均匀，有光泽度，无气孔
13#	2	呈色青色，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔
14#	1	呈色偏深，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔
15#	1	呈色偏白，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔
16#	1	呈色偏白，釉面颜色分布不均匀，有光泽度，无气孔

烧出效果图如下：



1#



2#



3#



4#



5#



6#



7#



8#



9#



10#



11#



12#



13#



14#



15#



16#

图4-2青釉初始样
Celadon initial sample diagram in Figure 4-2

经过初始实验的试烧,结果显示 3#效果最好,3#配方:长石 50.9%;石英 12.9%;粘土 7.7%;烧粘土 10.1%;烧滑石 8.3%; CaCO_3 3.4%; BaCO_3 6.8%。

但是为了让釉面更有玉的质感,查找资料得出添加磷酸盐可以使之产生分相,增加其釉面的光泽度以及提高其质感。

4.2.2 磷酸盐的单因素调整

从初始实验中看出釉面还需进行改善,加入 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 进行进一步探索,就磷酸盐做了单因素调整如图所示:

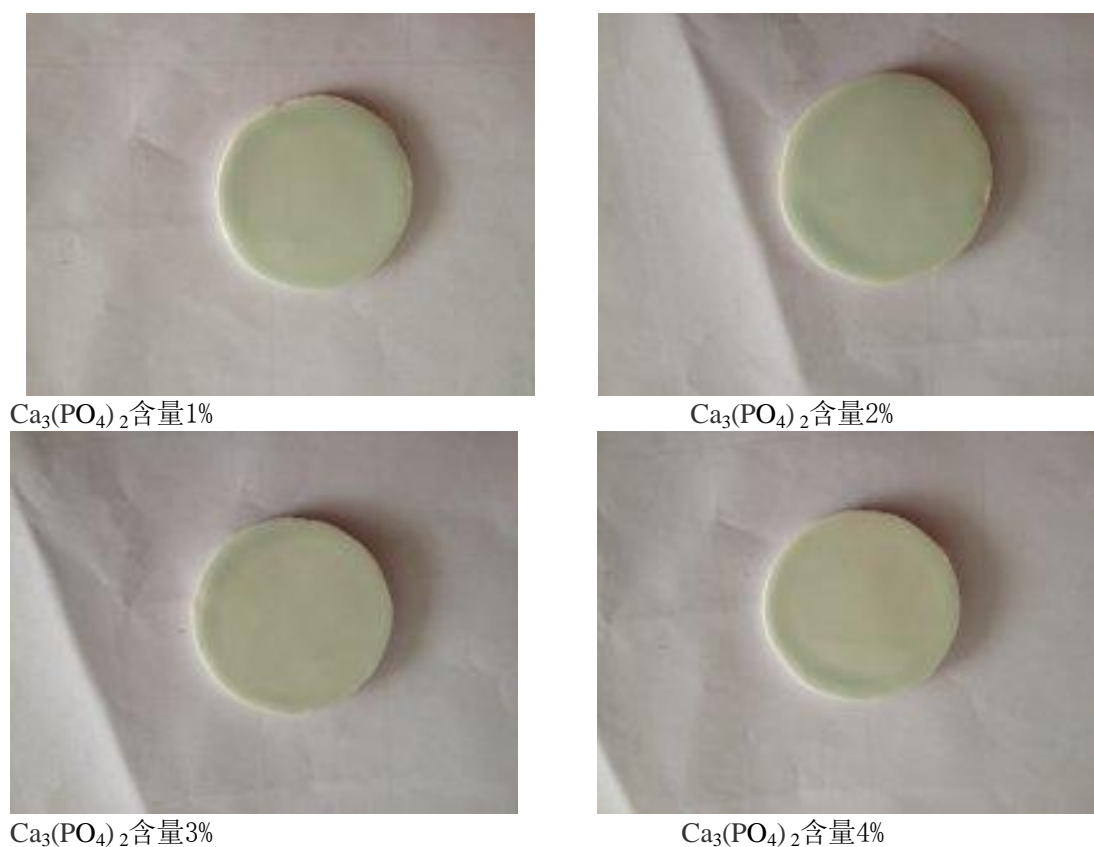


图4-3青釉第一次优化样品图

Figure 4-3 Celadon first optimized sample chart

根据 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 含量的单因素实验,含量越高乳化越明显, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 是结晶呈色剂,得出 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 含量不宜太高,可酌情适量配入釉料内,使釉形成良好的乳浊与光亮效果,大约在 3%左右。

4.2.3 氧化铁含量对青釉呈色效果的影响

考虑前文实验的结论，在第一次优化配方 3#的基础上，调整 Fe_2O_3 的量。第一次优化配方 3#的配方是：钾长石 43%；石英 24%；粘土 8%； Al_2O_3 5%；烧滑石 9%；方解石 4%； BaCO_3 4%； $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 4%； Fe_2O_3 0.8 %。进行进一步探索，就氧化铁做了单因素调整如图所示：

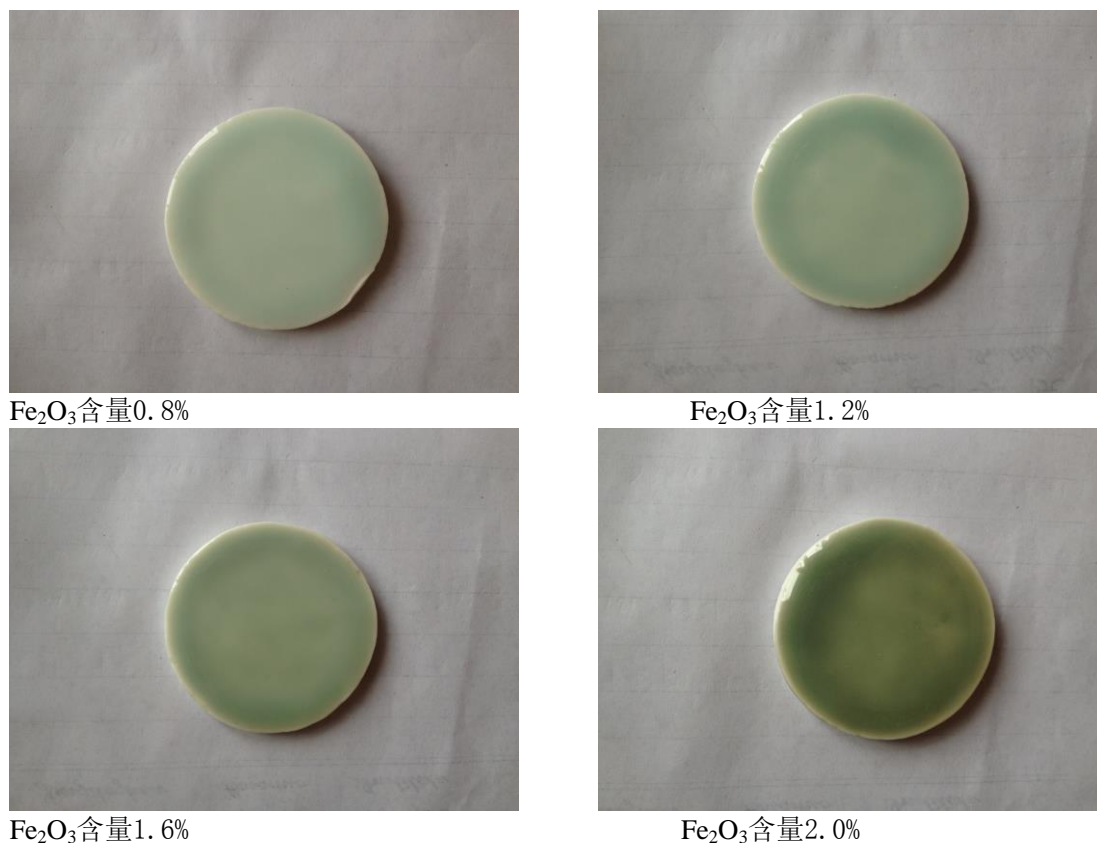


图 4-4 青釉第二次优化样品图

Figure 4-4 Optimization Celadon second sample chart

根据 Fe_2O_3 含量的单因素实验，含量越高颜色越深，可以得出 Fe_2O_3 含量需要适量，就图片效果显示 Fe_2O_3 含量1.2%的时候是最好的，当达到2.0%的时候，颜色就很深了，艺术效果也不好。

4.2.4 添加剂对青釉制备的影响

添加剂的引入，可让陶瓷釉浆性能得到显著的提高，并保持稳定。虽然其加入量很少，但能起到优化工艺、提高产品质量的作用。本课题的研究过程中主要添加了水玻璃， Fe_2O_3 ，PAAS，CMC。其用量分别是：水玻璃9滴；0.7~0.8g Fe_2O_3 ；PAAS4滴；CMC0.1g。

(1) 水玻璃：提高釉料的流动性

(2) PAAS: PAAS 无毒, 易溶于水, 可在碱性和中浓缩倍数条件下运行而不结垢。PAAS 能将碳酸钙、硫酸钙等盐类的微晶或泥沙分散于水中不沉淀, 从而达到阻垢目的; PAAS 是一种常用的分散剂, 除用于循环冷却水系统作阻垢分散剂使用外, 还广泛应用于造纸和纺织、印染、陶瓷、涂料等行业。

(3) CMC: CMC 是一种大分子化学物质, 能够吸水膨胀, 在水中溶胀时, 可以形成透明的粘稠胶液, 在酸碱度方面表现为中性。若 CMC 加入量过多, 会导致生产线上因釉浆比重低、干水速度慢, 而有利于二次烧的淋釉工艺。尤其是辊筒印花, 釉面太湿会加剧白边、白点, 以及后辊粘前辊的问题; 添加量太少又会导致釉浆悬浮性不够而出现沉淀。总之, CMC 的添加量与比例不能随意而定, 要在保证釉浆不沉淀的条件下, 具有较高的比重与较好的流动性。CMC 的添加量必须根据具体的配方结构来确定, 而不是固定不变的。另外, 针对一次烧与二次烧的不同烧成工艺, CMC 选用的种类与数量也非常关键的。

(4) Fe_2O_3 : 颜色釉的效果取决于基釉的化学组成、色料添加量、施釉厚度与均匀性、烧成时窑炉气氛。如氧化铁引入的形态通常是红色三价氧化铁, 由坯体融入釉内可产生微妙的装饰效果。铁在氧化焰气氛时在陶瓷釉中能产生淡黄色、蜂蜜色与棕色。在还原焰气氛时可以形成淡蓝灰色、绿色、蓝色或黑色。

4.3 实验中出现的问题

4.3.1 施釉方法的影响

施釉是陶瓷工艺过程中必不可少的一项工艺。施釉前, 生坯或素坯均需进行表面热处理, 以除去积存的污垢或油渍, 保证坯釉的良好结合。清洁的方法一般采用压缩空气在通风柜内进行吹扫, 或采用海绵浸水后抹湿, 然后干燥至所需含水率。常用的施釉方法如下:

(1) 浇釉施釉: 将釉浆浇在坯体上, 对于无法采用浸釉、荡釉等大型器物一般采用浇釉法。

(2) 喷釉施釉: 利用压缩空气, 将釉浆通过喷枪或喷釉机喷成雾状, 使之粘附于坯体上, 坯与喷枪的距离、喷釉压力、喷釉次数及釉浆相对密度决定的釉层厚度。这种方法适于大型、薄壁及形状复杂的坯体, 因为这种坯体如果采用浸釉法, 则可能因为坯体吸水过多而造成软塌损坏。喷釉施釉的特点是釉层厚度均匀, 易于控制, 于去它使釉法相对较, 易于实现自动化。

(3) 浸釉施釉: 将坯体浸入釉浆, 利用坯体的含水率或坯对坯釉的粘附而使釉料粘着在坯体上。釉层的厚度与坯体的吸水性、釉浆的浓度和浸釉时间有关。采用浸釉所用的釉浆浓度较大, 其次, 还要视坯体的形状、大小及吸水率而定。

但是本课题采取滑釉的方式上釉, 这样可以有效的控制釉面的厚度, 以及更好的使得釉面上的均匀。

4.3.2 施釉厚度对釉面性能的影响

不同的施釉量对釉面的性状有很大的影响: 施釉量太少, 釉层太薄, 釉面呈半透明。由于乳浊度与釉层厚度成正比, 釉层越薄, 乳浊效果越差, 遮盖力就差。但是施釉量过多, 釉层太厚, 不仅不经济, 釉面质量也不好, 易产生缩釉等缺陷。因此, 实验中, 在施釉时, 必须确保合适的施釉量。

4.3.3 补水的时间长短

实验上釉时补水是一个很重要的步骤，这个步骤既能除掉坯体表面的毛疵，同时坯体吸收了一定的水分，在上釉的时候坯体就较少的出现气泡，使得上釉效果较好。但是补水的时间长短值得考究，有时候补水过少，有时候补水太多，使得釉中的水分不能让坯体很好的吸收。如图所示：



补水时间短



补水时间适中

4.4 青釉的分相效果

青釉的分相机理从结晶化学理论来看，玻璃结构中的阳离子都有夺取氧离子特性。多成分釉玻璃熔体中存在硅酸盐网络与阳离子，由于它们夺取氧离子的能力不同，因而形成多个独立系统，使釉玻璃形成分相。

本课题在基础釉中引入不等量的 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ，以扫描电镜观察其分相，扫描图如图所示：

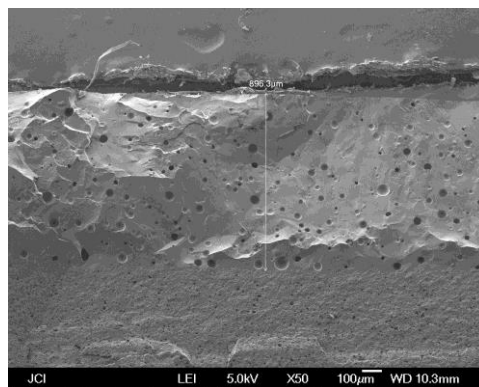
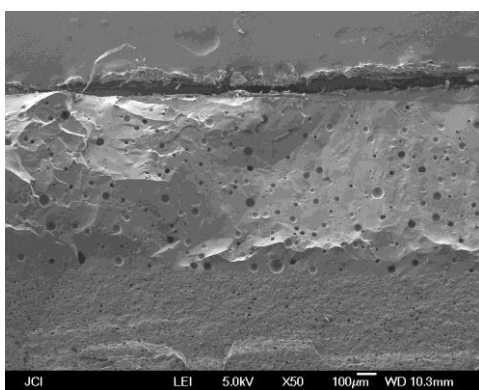


图 4-6 釉层 SEM 图

Figure 4-6 SEM images of glaze

实验结果显示，加入磷酸盐，看不见是否存在分相，必须得做进一步的定性实验才能得出结果。

通过扫描电镜还可以观察釉料中晶粒的大小以及分布情况，扫描结果如图所示：

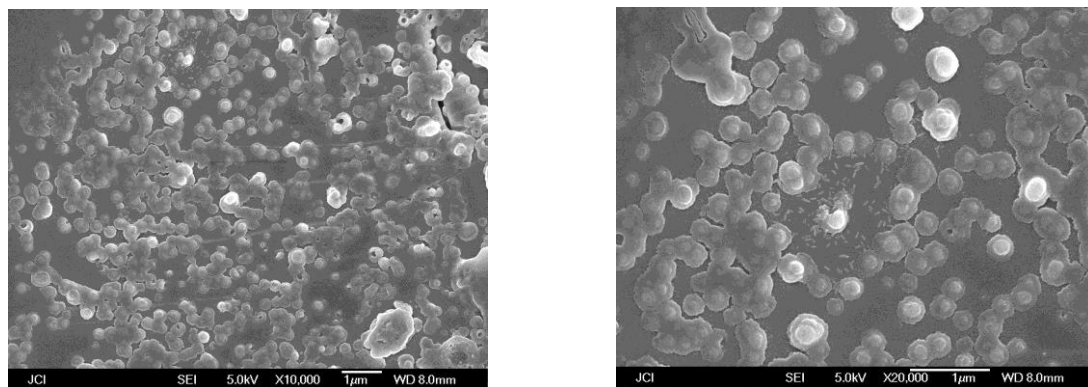


图 4-7 加入磷酸盐后的 SEM 图

Figure 4-7 SEM image of the sample added phosphate

实验结果显示，该釉料中晶粒大小均等，且分布均匀。

5. 结论

1) 最佳配方：钾长石 43%; 石英 24%; 粘土 8%; Al_2O_3 5%; 烧滑石 9%; 方解石 4%; BaCO_3 4%; $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 4%; Fe_2O_3 1.2%。在实验中使用磷酸盐作为主要分相作用的来源，实验发现，加入 3% 的磷酸盐效果最好。

2) 试验结果表明，氧化铁的加入量对釉面效果有影响，氧化铁含量越高颜色越深，得出氧化铁含量不宜太高，大约在 1.2% 左右青色效果较好。

3) 施釉厚度也对呈色有影响。太薄不利于显色。且釉面呆滞，不光洁不鲜艳。太厚颜色分布不均匀，艺术效果较差，且易流釉，还容易使釉层开裂。釉层厚度控制在 1~1.2mm 为佳。

4) 烧成条件的控制对青釉非常关键。最佳配方只有按以下条件烧成，才能得到良好的效果。

室温~980 上升 180min, 980~1020 上升 120min, 1020~1290 上升 90min, 1290~室温还原气氛，自然降温 180 分钟。

5) 滑石含量适当增加有助于釉面的光泽度及平整度的提升。经过初始配方的研究显示，大约在 9% 左右。

6) 存在问题与改进建议：

该配方在烧制出的效果上还不是很稳定，出现过颜色偏白，呈色不均，艺术效果差的情况。窑炉温差大、温度显示不准确是一方面的原因，但是在烧成温度也应该进一步改善。

由于时间仓促及本人的水平有限，对于青釉只作了浅显的研究。要得到效果更好的青釉应该在此基础上继续实验，适当调整配方，对氧化铁、磷酸盐等的百分含量做单因素实验，以验证其含量对该釉的影响，并对烧成制度中保温温度做一个单因素实验，以找到更合适的烧成温度。

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

Table 6-1 the raw material price

原料名称	原料价格（元/吨）
石英	300
钾长石	400
滑石	700
氧化铁	5000
碳酸钡	4000
磷酸盐	5000
方解石	400
粘土	1000

6.2 每吨青釉的价格

表 6-2 青釉原料的价格明细

原料	石英	钾长石	滑石	氧化铁	磷酸钙	粘土	碳酸钡
单价（元/吨）	300	400	700	5000	50000	1000	4000
用量	0.24	0.43	0.09	0.0008	0.04	0.06	0.06
总计（元）	45	164	77	1800	2000	60	120

每吨青釉的成本费=45+164+77+1800+2000+60+120= 4266 (元/吨)

6.3 税收与利润

通过了解，市场上一般销售的青釉釉料价格大概为 12000 元/吨，假设税收为营业额的 6%

对于一吨青釉来说，成本费近似为 4300 元，假设水电费、人工费、损耗等共占总费用的 30%，则对一吨青釉来说：

总成本费=4300+12000×0.06+4300×0.3=4380 (元/吨)

利润率=(8000-4380)/8000×100%=45%

从上可以看出，用青釉可以带给公司良好的经济效果。

7. 致谢

本课题的警醒及论文的撰写是在课题老师刘阳教授的悉心指导与严格要求下完成的，从论文的选题、实验方案的确定都倾注了导师大量的心血，在此谨向导师表示我最诚挚的感谢。导师渊博的学识，敏锐的思维，正直的人品，给我留下了深刻的印象尤其是他一丝不苟的治学态度，值得我不断的学习。

历时将近四个月的时间终于将这篇论文写完，在论文的写作过程中遇到了无数的困难和障碍，都在同学和老师的帮助下度过了。尤其要强烈感谢我的论文指导老师—刘阳老师，他对我进行了无私的指导和帮助，不厌其烦的帮助进行论文的修改和改进。另外，在校图书馆查找资料的时候，图书馆的老师也给我提供了很多方面的支持与帮助。在此向帮助和指导过我的各位老师表示最中心的感谢！

课题组里和谐融洽的人际氛围、浓厚的学术气息以及彼此间的团结友爱、互帮互助使我终生难忘。这段时间的学习和生活中，课题组各位同学都给了我很多帮助和启发，在此一并表示感谢。非常荣幸能与他们相识相知，他们的真诚、热情、处事方式让我深受感染，非常感谢这段时间给我的帮助和鼓励。

感谢这篇论文所涉及到的各位学者。本文引用了数位学者的研究文献，如果没有各位学者的研究成果的帮助和启发，我将很难完成本篇论文的写作。

最后，论文完成之际，我谨向我的导师以及所有给予我关怀与帮助的老师、同学和家人表示我最诚实的感谢。

8. 参考文献

- 【1】李家治.中国科技艺术史-陶瓷卷.北京：科学出版社，1998
- 【2】周思敏，丁新更，叶宏明.青瓷工艺的历史发展.陶瓷学报，2010
- 【3】叶宏明，曹鹤鸣，沈世耕.中国瓷器起源的研究.硅酸盐通报.1995
- 【4】李国祯，关培英.耀州青瓷的研究.硅酸盐学报，1979
- 【5】陈全庆，周宇松，周少华.宋官窑青瓷釉呈色机理研究.陶瓷学报，1996
- 【6】马铁成，缪松兰，郑乃章，朱小平，王艳香.陶瓷工艺学：中国轻工业出版社，2011