

## 你见过蓝色的烟花吗？

从元旦到春节，喜庆的节日总少不了烟花装点。回忆一下，你曾在烟花中看到过哪些色彩和效果？红色、绿色、黄色以及银白色的闪光，这大概是其中最常见的几种。那么，蓝色呢？似乎没什么印象？

在烟花中，蓝色确实是种特别的存在。至少在那些可供个人燃放的小型礼花弹中，几乎找不到它的身影。蓝色为什么没有成为烟花中的流行色？了解烟花背后的化学，我们就能从中找到答案。



图片来源：[123rf.com.cn](http://123rf.com.cn) 正版图片库

### 基本配方：氧化剂+“燃料”

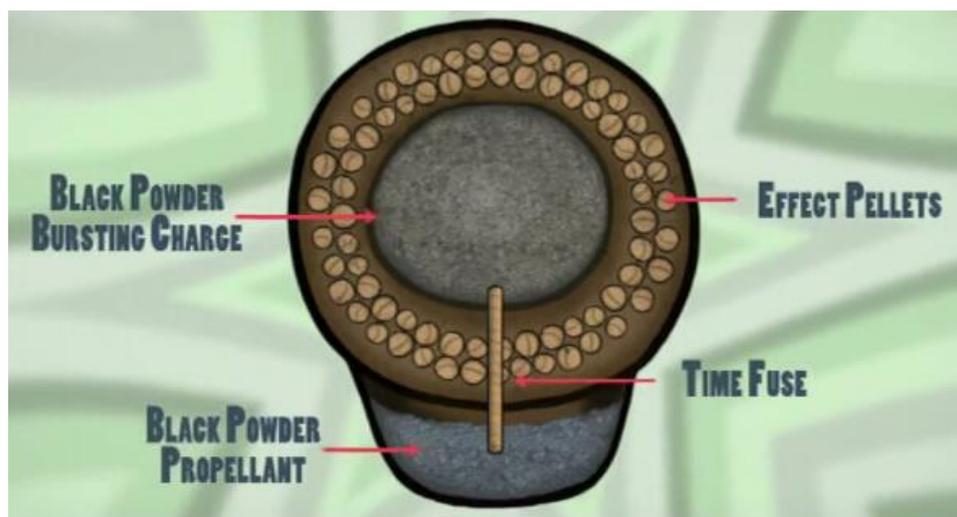
从化学的角度来看，烟花爆竹的基础是一场快速释放能量的氧化还原反应。无论是炸开的效果、声响，还是激发五彩斑斓的光芒，都要依靠化学反应释放的能量。

在这个反应中，需要两种基本角色：氧化剂，以及用来烧掉的“燃料”。在我们所熟知的传统配方黑火药中，就是硝酸钾充当了氧化剂，木炭和硫作为“燃料”。

用黑火药就足以做出传统的爆竹，而现代的彩色烟花对火药配方还有更多要求。通过改变氧化剂和“燃料”的种类，可以调整所达到的火焰温度，最终产生不同的效果。比如说，如果把燃烧的东西从虫胶之类的有机物改成金属镁，就能提高火焰温度，带来更耀眼的光。

爆竹的结构比较简单，它们只需要在小纸筒中装上火药，在点燃引信后原地爆开。而烟花的结构和功能都要复杂得多——它们要先升到空中，在合适的高度爆开，再展示出色彩斑斓的效果。

满足这些条件的东西一般被称为“高空礼花弹”，它的内部具有多层结构：下方装着一些用于推进升空的火药，并有一根延时引信通向中心。延时引信控制了礼花弹爆开的时机，当它引燃中间部分的爆炸药，就能让礼花弹整个爆开，让产生色彩、闪光的“效果颗粒”在空中绽放。



礼花弹的

结构。下方的火药用于推进升空，延时引信引燃中间部分的火药，让烟花在合适的高度炸开，散开负责产生效果的小颗粒。截图来自：[Reactions](#)

## 高难度的蓝色

烟花的色彩来自不同类型的金属化合物，它们在高温中被激发，并释放出特定波长的光——对，简单理解就是焰色反应。锶盐可以为焰火染上红色，钙盐可以提供橘色，钡盐是亮绿色，而铜则是蓝色……等等，蓝色？铜的焰色反应不是蓝绿色吗？

我想大家可能也会产生这样的疑问。我们在中学课本上学到的焰色反应很简单，只要拿来某种金属盐类在火上烧一烧，就会产生一种固定的颜色。但事实上，这是个更复杂的问题，火焰温度和阴离子（主要是氯）同样会产生影响。

# THE CHEMISTRY OF FIREWORK COLOURS



烟花色彩对应的“配料”，点击图片可查看大图。图片来自：[Compound Interest](#)

当金属盐类遇到高温火焰时，它们首先会发生一些化学变化，产生游离的“发光体”（emitters），这些发光体在高温下被激发，然后其中的电子再跃迁回到基态，这时候就会发出特定波长的光。钠的标志性黄光来自原子光谱，而其他很多“发光体”却是一些在火焰中形成的简单分子。烟花的蓝色就是来自  $\text{CuCl}$  这种“发光体”的光谱。要想形成这种蓝光效果，需要有铜化合物和富含氯的烟花火焰（氯可以来自高氯酸盐之类的物质）。同时，火焰温度也必须恰到好处，才能让分子“发光体”形成并且保持稳定。对于蓝色的“发光体”，这一要求尤其严格，过高的火焰温度很容易将其破坏。因此，蓝色可以说是烟花中最难呈现的一种色彩。

那么紫色呢？你或许会想到钾，但烟花生产者可不会用它制造紫色，而是会把发出蓝光与红光的素材混合。回想一下焰色反应实验，我们就能找到这样做的原因：钾盐的焰色反应实在不够明显，还很容易被掩盖，我们总不能在烟火表演的时候也一人发块蓝色钴玻璃吧.....

镁、铝、钛之类的金属并不提供彩色的火焰，不过它们可以制造银白色的闪光效果。如果用上铁或者铁合金，还能得到橙黄色的火花。



这样的火花就是通过燃烧金属得到的。图片来源：[123rf.com.cn](http://123rf.com.cn) 正版图片库

## 污染：烟花的阴暗面

烟花的璀璨转瞬即逝，仿佛一眨眼就消失在风中——但是，它们不可能真的完全消失。繁华过后，烟花留下了数以亿计的微小颗粒，和一团复杂的化学混合物，这些遗留物也造成了不可忽视的污染问题。

细颗粒物就是烟花燃放影响空气的一个重要方面。美国有研究发现，[独立日焰火可以让附近监测站的PM2.5浓度上升370%之多](#)。而在中国，春节时的烟花爆竹燃放更是会导致大气污染物浓度急剧上升，[甚至影响到几十千米以外的地区](#)。二氧化硫、氮氧化物等气体污染物同样会随着燃放而产生。尤其在本身就雾霾频发的地方，再去集中燃放烟花就更加糟糕了。

那些为烟花增加效果的金属盐类也一样会成为污染物，有害的金属化合物颗粒会随着烟花的爆炸而扩散。在一些烟花中充当氧化剂的高氯酸盐也是环境科学家们担忧的对象，[它们可能会污染附近的水体](#)。

现在，也有研究者在研制对环境影响较小的烟花，例如[用更安全的物质替换掉配方中的高氯酸盐](#)。不过，这距离消除烟花的“阴暗面”还相差很远。

正因为如此，我总对烟花怀有一种复杂的情绪。小区里此起彼伏的鞭炮声或许惹人厌，但盛大的焰火表演却总是难免触动心弦。灿烂的节日焰火能否变得更加安全无害？这个问题就要交给化学家们来解答了。（编辑：Mo）

温馨提示：除了空气污染，人身安全也是燃放烟花爆竹格外需要注意的问题。请不要燃放超标烟花爆竹，保持安全距离，并戴好护目镜。更多阅读：[眼科医生忠告：春节放炮，别让眼睛受伤](#)。

【转载自 <http://www.guokr.com/article/441988/>】