



五彩繽紛的煙火

煙火是節慶時主要的娛樂項目，
科技的進展也使煙火表演的型態脫胎換骨，
從地上的表演，
升到了幾百公尺的高空，
由單調的顏色演進到五光十色的絢爛眩目色彩。

■ 郝俠遂

火藥是中國四大發明之一，在世界化學史上占有重要地位。蒙古大軍西征時把火藥帶到阿拉伯地區，然後再傳到歐洲。1884年歐洲人發明的無煙火藥已是幾百年後的事了。本文不談火藥在征戰、開礦等方面的用途，且來說說它在娛樂上的應用。

在宋朝以前是否已有爆竹、煙火這些東西，現在還沒有充分的證據，但是在北宋晚期的確已經有了。南宋的《東京夢華錄》中敘述京城繁華的情況，就提到宮中放爆竹和煙火。《會稽志》（西元1201~1204年間撰）也說「除夕爆竹相聞，亦有以硫黃作爆藥，聲尤震厲，謂之爆仗。」南宋初年吳自牧的《夢梁錄》也有「十二月有賣爆仗、成架煙火之類」的記載。

到了今天，煙火仍然是節慶時的主要娛樂項目之一，科技的進展也使煙火表演的型態脫胎換骨，由在平地上或一兩層樓高的竹木架上的表演，升到了幾百公尺的高空，由單調的顏色演進到五光十色的絢爛眩目色彩。

煙火的化學成分

發光劑 又細分為照明劑、閃光劑及發色劑。良好的照明劑要有較長的照明時間與較高的發光強度，火燄中必須含有灼熱的固體和液體微粒。火燄的輻射能量會隨火燄溫度的提高而迅速上升，照明劑的火燄溫度可高於攝氏2,000度。照明劑的發光效率與其中含鎂粉的比率有關，現在最常用的照明劑配方是含鎂粉55%、硝酸鈉40%及合成樹脂5%。照明時間可從30秒到數分鐘不等。

閃光劑主要有兩種類型，一種只含鋁鎂合金，較為安全，另一種除了鋁鎂合金外還加了過氯酸鉀，效果更佳。當燃燒時，閃光劑要求在很短的時間（約0.1秒）內產生極大的光度。

發色劑都屬於金屬鹽類，當它與過氯酸鉀一起燃燒時，因高溫會變成氣態，然後產生各種金屬特有的焰色，形成煙火五顏六色的絢麗色彩。常用的發色劑有紅、黃、綠、藍、白等5種光



色。發色劑主要是要求其色度，其次是光度，但燃燒所放出的能量，必須足以激發或電離在火燄中的氣態分子或原子，呈現出各種接近單色的火燄輻射。紅光藥劑含有鋇鹽和氯化物，藥劑燃燒時在高溫下解離生成一氯化鋇及游離氯，而呈



明朝《金瓶梅詞話》中的放煙火圖



現出鮮明的紅光。其他各種顏色的發色劑，如銀鹽產生綠光，鈉鹽產生黃光，銅鹽產生藍光等等。

燃燒劑 燃燒劑是要在點燃煙火時產生高溫，成分是燃料及助燃的氧化劑。煙火中除了使用黑火藥當成燃料外，還有金屬燃燒劑、石油燃燒劑、石油與金屬燃料混合物燃燒劑、黃磷燃燒劑、以及金屬有機化合物燃燒劑等。常用的燃料有木炭、糖類、澱粉、各種人造樹脂等有機物，一些容易在空氣中氧化的合金或金屬粉末，例如鋁、鎂、鐵、鋅等，以及硫、磷、硒及砷等非金屬無機燃料。

煙火在急遽燃燒時，短時間內需

要大量的氧，空氣中的氧不敷所需，必須有氧化劑提供大量的氧助燃，黑火藥中的硝石（硝酸鉀）就是一例。常用的氧化劑是含氧量大的無機鹽類，如含有硝酸根、氯酸根、過氯酸根、溴酸根、碘酸根、重鉻酸根、高錳酸根等無機鹽類。有機氧化劑比較少，只有過氧化物。

花火劑 節慶施放的煙火，爲了要有絢麗的色彩及強烈的亮光和聲響，其可燃物一般採用鋁粉、鐵粉、硫和木炭粉等，並添加聲響劑和聲響閃光劑。花火劑常含有過氯酸鉀、鋁粉與硫化銻，聲響劑則含有氯酸鉀與沒食子酸或過氯酸鉀與苯甲酸鉀。

其他助劑 爲了控制燃燒的型態和速率，煙火中常添加催化劑或抑制劑，以增加煙火的趣味。催化劑用來降低煙火燃燒所需的分解溫度，如果煙火以氯酸鹽和過氯酸鹽爲氧化劑，便配合使用過渡元素的氧化物爲催化劑。常用的催化劑中，以氧化鈷、氧化鉻、二氧化錳催化作用最強；氧化鐵、氧化鎳、氧化銅、二氧化鈦等次之；二氧化鉛、四氧化三鉛的催化作用較弱。最強的催化劑如氧化鈷，含量只要達總重量的萬分之一，就足以引起反應。

抑制劑大多是惰性物質，不直接參與燃燒過程，如硫酸鹽、磷酸鹽、碳酸鹽等無機鹽類，以及燃燒熱較小的有機物質如澱粉、人造樹脂等。

此外，爲了讓各種原料粉末能緊密地聚在一起，在煙火中要摻入膠黏劑。常用的是天然樹脂和糊精等，目前也有採用合成樹脂的。

有少數地區的慶典會從傍晚時分一直進行到深夜，在天還沒黑時就要施放煙火，這種煙火就以「煙」爲主了，當然這種煙火中要有發煙劑。發煙劑分爲遮蔽發煙劑和有色發煙劑兩種。遮蔽發煙劑是經過燃燒而形成穩定的氣溶膠，氣溶膠中含有很多固體或液體微粒，它們吸收與散射光線，有遮蔽的作用。有色發煙劑能形成各種有色煙霧，主要原料有黃磷、赤磷、六氯乙烷、鋁粉、氧化鋅、染料等。





五彩繽紛的煙火

煙火的生產製造

粉碎 針對各式藥劑分別進行研碎，使藥劑表面積增大，經研碎的藥劑易於引燃，並具有均勻的燃燒速率。粉碎設備可採用球磨機、輪碾機、高速粉碎機、以及風動粉碎機等。

篩選 用一定型號的金屬篩或絲絹篩，篩取所需顆粒大小的材料。

烘乾 藥劑中過量的水分會影響藥劑的安定性及其燃燒性能，含水量過多的材料都須烘乾。烘乾的溫度不能過高，以攝氏50~80度為宜，烘乾時間視材料及其含水量而定。

鈍化 煙火藥常用鎂、鐵、鋅等容易氧化的金屬粉末，為避免在空氣中氧化，常把這些金屬粉末鈍化。方法是把金屬粉末放入鈍化器內，注入熔融硬脂酸或石蠟等鈍化劑，在加熱下攪拌，混合均勻後，經冷卻與過篩即可貯藏。亞麻子油或聚氯乙烯等合成樹脂溶液，也是常用的鈍化劑。

混合 把藥劑各組成混勻，以獲得預期最佳的煙火效應。混合過程要十分謹慎，避免由於摩擦、碰撞發生火花而造成燃燒或爆炸事故。混合時通常先把可燃物與黏合劑混合，最後加入氧化劑，直到混合均勻為止。

造粒 煙火藥中各成分的比重不同易造成藥劑分層，影響藥劑性能，因此藥劑須進行造粒以改善藥劑的流散性。造粒是把藥劑混合成濕潤的麵團狀後，通過網目篩，得到粒度均勻的顆粒，經烘乾即成。

壓藥 煙火藥中除閃光劑採用鬆散裝藥外，一般都加壓裝填到金屬、塑膠或紙管中，小型煙火製品則可直接壓製成藥餅或藥柱。經壓製後的藥劑具有較高的機械強度，並有穩定的燃燒速率，會具有良好的煙火效果。

煙火的化學反應

煙火燃燒過程所牽涉的化學反應相當複雜，除了融化與氣化的過程外，還有晶體結構的改變。研究其化學反應最簡捷的方法，是先用化學方法分析煙火燃燒生成物的化學組成，與其原料對照後，再推斷其化學反應。

例如用氣體色層分析法分析黑火藥的氣體生成物的結果是：

二氧化碳	53%	氮	41%
一氧化碳	4%	氫	1%
二氧化硫	0.5%	氧	0.5%

而固體生成物的組成是：

硫酸鉀	56%	碳酸鉀	27
硫代硫酸鉀	8%	硫化鉀	1%
硫氰化鉀	1%	碳酸氫	1%
未分解的硝酸鉀	5%	未燃燒的碳	1%

提到燃燒，就會很自然地聯想到有機物，因為有機物中含有大量的碳、氫成分，是好的燃料。但由煙火中的成分看來，不論是燃燒劑或發光劑，它們的主要成分卻是無機物，這是為什麼呢？答案是燃燒溫度的關係。如果要在可見光範圍內得到相當強的光，必須維持攝氏2,700度以上的高溫，而有機物燃燒後的生成物大多是氣體，無法達到如此高溫。只有用燃燒後能產生高融點固體生成物（如鋁或鎂）的無機鹽類做為燃料，配合適當比例混合的氧化物做為助燃劑，才有可能達到如此高溫的要求。

為什麼要求這麼高的溫度呢？這是因為煙火在燃燒過程中所釋放出來的化學能，絕大部分必須轉化成光

能，才可顯現出絢麗眩目的光彩，而化學能轉化成光能的過程與溫度有關。經過計算，溫度要達攝氏2,700度才能有光彩奪目的顏色，這就是煙火原料中含有大量無機鹽類的原因。

中外的煙火

我國的煙火

我國煙火的花樣繁多，大半是火中夾炮，有火光，更兼有熱鬧的聲響，如「大金錢」、「小金錢」、「五鬼鬧判」、「炮打襄陽城」、「九蓮燈」等名目都是。

「洋花」是用粗銅絲沾上銀色火藥拿在手裡燃燒的。「地老鼠」是一種灰白色小螺旋型的，有一頭是翹起來的，點燃後，在地上畫圈，到處亂竄。最好看的是「花盒子」，它是一



個直徑有四、五尺的多層盒子，各層有不同燈彩。點燃後在黑煙中現出飛禽走獸、花鳥蟲魚、樓台樓閣等圖樣，甚至有整齣曲目的，一層接一層，最多可達13層之多。到了最後一層最為精彩，五彩繽紛，絢爛眩目，令人歎為觀止。

還有一種煙火叫「太平花」，它沒有炸音響聲，也比較安全，所以稱為太平花。太平花有大有小，特大號的太平花，噴出的火花有四、五丈高，一筒「太平花」能把方圓十丈的庭院都鋪滿。

台灣地區的煙火源自閩粵，以台南鹽水的「犁大轎」煙火最有代表性。《福建志書》有：「漳、泉二府人民向來好看鬥煙火，而有爆仗、火馬、飛鼠等煙火巧思」句。本省的煙火和大陸的差不多，只是在樣式上有些不同，花樣相當繁多，有水蓮花、蜂炮、空中美人、火箭炮、飛鼠、花煙等招式。

台南鹽水的犁大轎煙火，是由壯丁們抬著神轎在「蜂炮」所形成的火





元宵節蜂炮的熱鬧場面

網中衝鋒陷陣，驚險刺激。蜂炮是先以木條釘成架子，形狀有方型或馬蹄型，大小不一，四周張起鐵絲，再把成千上萬的沖天炮插在鐵絲網上，火源置於木架當中。蜂炮點燃後，如沖天炮似地四處流竄，並有如口哨的聲音，宛如蜜蜂傾巢而出，射程可達約百公尺之遠。

在每年元宵節晚上，多處蜂炮一起燃放，此起彼落極為熱鬧，可達七、八個小時。鹽水還有一種叫「水蓮花」的煙火，屬「太平花」類的煙火，是用亞硝、木炭粉、鋅、硫磺、棉紙裝在竹筒內製成的。

西洋的煙火 高空煙火是把各種能燃放色彩的藥物摻在火藥粉中，再裝在圓形硬紙筒中成為火藥包，在硬紙筒上端裝兩條引信，分別接上定時火藥與點火裝置。先用白炮把火藥包打到約500公尺高空，發射時同時點燃定時火藥，到了最高點，定時火藥剛好燃盡而點燃火藥包，產生爆炸，彩色藥粉也隨之引燃起火，向四面八方爆裂，形成一個立體彩色火球，光耀四射。

如果火藥包中又還有小火藥包，則在第一次爆裂後，緊接另一次爆裂，造成同心球形狀煙火，有極佳的視覺效果。當然火藥包可以分更多層，造成更複雜精彩的圖案，這要看設計者對引

爆時間的掌控是否精準了。

羅馬花是一種在地面放的煙火，形狀有如一粒粒噴出的小星星。它是由引信藥粉、彩色藥粉、火藥粉，分層且重複許多次裝在一硬紙筒中製成，點燃時會一層層地往下燒，於是一個個彩色星星就會噴了出來，而且可以控制間隔時間。如果把數個羅馬花一起燃放，可以產生此起彼落的效果。

西洋花盒子與我國的「花盒子」差不多，事先把要表現的圖案架好，可分多層，並分層裝塗上各種能發出不同顏色光芒的煙火劑，點燃後，火光耀目，十分美觀。

噴泉煙火是在地面施放的煙火，和我國的「太平花」相當類似，噴出的煙火可達二十多公尺，煞是好看。如果把噴火的方向倒過來，把它放在架好的高臺上，噴口朝下，就形成了「瀑布煙火」，高度可達20公尺，十分壯觀。最精彩的是把幾個噴泉煙火一起綁在輪形支架上，點燃後就形成「旋轉噴泉煙火」，更是如火樹銀花般的絢麗奪目了。 □

郝俠遂

淡江大學化學系

五彩繽紛的煙火