

投稿類別：化學類

篇名：

蔗糖 硫酸 氯酸鉀—簡單？不簡單！

作者：

萬泓顯。國立中壢高中。高三 13 班

指導老師：

曾筱茜老師

壹●前言

一個簡單到國中甚至國小的學生都會作的實驗到底有無研究價值？我曾經認為沒有，但是在研究這個題目後我的想法改觀了。我的研究動機或許和許多人不盡相同，其實我一開始研究這個题目的目的並不是為了投稿小論文，而是為了準備社課的內容，當然也可說是被社課的壓力給逼出來的，或許就像劉墉在逼你成功一文中所提到的：「如果你問金庸：你這些武俠巨著是怎麼寫成的啊？他很可能答：報社、連載逼出來的。」（註 1）。

而當時會選這個題目當作社課的內容原因只有兩個，第一是簡單有趣，只要在調好比例的蔗糖和氯酸鉀（ KClO_3 ）上滴入硫酸後就會有一條宛如「排遺物」的黑色蓬鬆物誕生，如果氯酸鉀的量再提升則會使其從「排遺物」變成「聖誕樹」，第二是有火，而且還不小。然而知益行難，作了之後才發現它一點都不簡單。除了單純的硫酸脫水外， KClO_3 對此反應的影響真的只有讓其變得更劇烈？不加 KClO_3 反應時那股可以讓人嗆傷的臭氣是什麼？又從何而來？還有那些黏稠物又是什麼？碳柱會不會有其他的功用？

從以上幾個問題著手，本文的內容以討論硫酸脫水的原因以及加入 KClO_3 的作用為首，再由臭味的問題為出發點找到了化學反應式，並由共軛酸鹼對說明 KClO_3 對於消除臭氣的貢獻，而為了找出為何 SO_3 可以變成 SO_2 ，因此先找到 SO_3 的源頭—硫酸的製作，接著就是我高中擔任社幹期間所想過的所有可能使得 SO_3 反應成 SO_2 的方法，在經過多次的「試誤」最後找到了最有可能的反應方式，並用一次的實驗意外和隔水加熱硫酸的經驗來當作證明並從中發現了其它的問題，另外藉由梅納反應和「積碳」這個汽車常見的問題來探討濃稠物及碳柱的生成，且進一步解釋碳柱對於硫酸氣化和分解出 SO_3 的協助，最後以我從這個實驗中得到的另外兩項心得作結。

貳●正文

一、序幕

（一）為何可以脫水

要了解「濃」硫酸為何可以脫水要先從水談起，水的結構是一個氧接兩個氫，而恰好氧的電負度（搶電子的能力）在元素中排第二，導致電子會被拉的比較靠近氧原子而遠離氫原子，因此水也就成了極性分子（氫端是正極，氧端是負極），而正負相吸及成氫鍵，造就出「水分子之間能夠發一觸及斷的短暫結合，每一秒鐘的結合高達數十億次...綿延不斷，結果便是產生流動的水。」（註 2）

接著我們把話題轉回硫酸，硫酸的氫後面接的 SO_4^{2-} （光看原子就知道全是一些搶電子的能手）造成電子遠離的程度，絕不是單單一個氧原子可以媲美，因此當硫酸的頭尾與「不同」的水分子「狹路相逢」時，彼此正負極可產生強大的吸引力，而當下一瞬間連接氫與其基團的水分子「分道揚鑣」時，硫酸就像「二馬分屍」般被兩隻「水」給分開、沖散，這就是所謂的解離。

反過來講，濃硫酸中超強的正極和負極因為兩手空空，也一樣會把其它化合物裡的氧和氫原子吸出，而氫和氧組合起來不就是水了嗎？經過一番簡單的計算後我們可發現 98% 的濃硫酸中 H_2SO_4 和水的莫耳數比例大約等於 9:1，那麼就算所有的水都已經被

H₂SO₄ 拉住變成較穩定的 H₂SO₄ · nH₂O 了，依然還是有大量的 H₂SO₄ 沒有東西抓，所以濃硫酸中超强的陽極和陰極只好在經過那些有氫有氧的「富豪」時順便摸了一把，搶了他們的氫和氧原子，而在這個實驗裡蔗糖就是待宰的肥羊。

(二) 加入 KClO₃ 的作用

相信對炸藥有濃厚興趣的人對 KClO₃ 一定不陌生，而眾所皆知的 KClO₃ 可作為炸藥的成分之一，如塑膠炸彈，另外有作過這個實驗的人應該都知道他會噴出很多碳渣和泥狀物（是什麼等一下會說明），也因此 KClO₃ 在此的用處就是提供他們更多的能量讓反應可以更激烈並且產生更多氣體以及更多碳渣，以產生出蓬鬆（氣體擠出）的柱狀碳渣。

二、消失的臭氣

(一) 由「臭」來探討化學反應式

記得我們國中時作硫酸脫水的實驗時最為難忘的是它的「臭」，但是奇怪的是這次只不過是加了個 KClO₃，熟悉的味道就不見了，而對於這個問題我們可以發現一個明顯的提示，因為兩個實驗只有一個差別—有無 KClO₃，顯然是某些反應後會產生臭味的東西和活潑的 KClO₃ 反應了，而究竟這「某些」是為何物？

為了探討這個問題先把不加 KClO₃ 的脫水實驗所會用到的藥品給寫出來：
蔗糖、H₂SO₄

從上面可以發現 H₂SO₄ 因為裡面有硫，而硫化物可是出了名的臭和毒，舉例來說家裡的天然氣裡添加的 H₂S 「只要有 0.0047ppm 的硫化氫，鼻子就能偵察到。濃度達到 600ppm，就會影響我們的呼吸，要是暴露在 800ppm 下五分鐘人類就會死亡。」(註 3)，因此 H₂SO₄ 是反應之後既可能有辦法產生臭味，同時也可以和 KClO₃ 反應的藥品。

而為了證明 KClO₃ 和 H₂SO₄ 真的會反應而且反應之後不會再出現一大堆奇怪的味道，於是我直接把 KClO₃ 和 H₂SO₄ 加在一起反應，最後實驗結果證明了以上的兩個論點：「會反應（要是兩個活性如此大的物質加在一起還不會反應那可真的見鬼了。）而且反應之後不會出現一大堆奇怪的味道（至少它的量低到我聞不到）」。

(二) 化學反應式

但是這一切只是我的假說，為了找到一份有力的證據，我很幸運的發現了「中學化學示範實驗」這個網站，裡面除了提到：

「 $C_{12}H_{22}O_{11(s)} \rightarrow 12C_{(s)} + 11H_2O_{(g)} + 429 \text{ kJ}$ 」(註 4) — 式一

這條連國中生都知道的反應外，還提到了有關我剛剛所猜測的 KClO₃ 和 H₂SO₄ 的反應式

「 $2KClO_{3(s)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow 2HClO_{3(aq)} + K_2SO_{4(s)}$ 」(註 4) — 式二

並且由於式二所產生的 HClO₃ 也非常的活潑，因此 HClO₃ 還會在和蔗糖反應

「 $8HClO_{3(aq)} + C_{12}H_{22}O_{11(s)} \rightarrow 11H_2O_{(g)} + 12CO_{2(g)} + 8HCl_{(aq)}$ 」(註 4) — 式三

除此之外還提到了一條蔗糖與 KClO₃ 的反應

「 $C_{12}H_{22}O_{11(s)} + 8KClO_{3(s)} \rightarrow 12CO_{2(g)} + 11H_2O_{(g)} + 8KCl_{(s)} + 2029 \text{ kJ}$ 」(註 4) — 式四

我相信看到「式四」這條反應式會愣到的絕對不只我一個，因為如果 KClO₃ 加蔗糖沒事就會快速反應了話，那等不到我們加入 H₂SO₄ 它不就爆炸啦！

而在說明發生什麼事之前我們先來看下一個實驗：

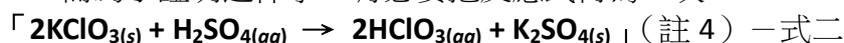
「有人在試管內加熱氯酸鉀，然後把干貝熊軟糖丟進去，立刻就引發爆炸，有興趣的讀者可至下列網址觀看：<http://tw.youtube.com/watch?v=1zWykQ8Xc6w>」(註 5)

顯然「加熱」這兩個字是重點，因為加熱意味著提高動能，也就是說它在室溫中之所以沒爆炸，主要是因為室溫沒辦法提供足夠能量讓這個反應成為連鎖反應。

(三) 反應的影響程度

雖然化學式出來了，但是我們對於「臭」這個大問題還有幾個小問題還沒解決。其一，如果我沒辦法說明「式二」的向右反應遠大於向左反應的速率，那就代表著消耗掉 H_2SO_4 的反應可能另有其人。

而為了證明這件事，有必要把反應式再寫一次



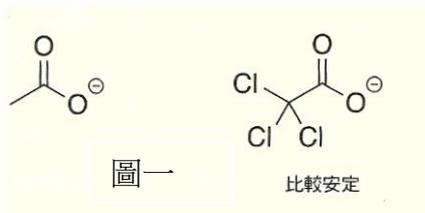
同時再配合酸的強度比較「 $\text{HF} > \text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HNO}_3 > \text{HCl} > \text{HClO}_3 > \text{CH}_3\text{COOH} > \text{H}_2\text{CO}_3$ 」(註 6) 好了，有了這兩個條件再加上共軛酸鹼這項工具要證明就不是什麼難事了。

而對於共軛酸鹼有一件比較重要的事—相對強酸會產生相對弱鹼，反之異同。對此我們把「式二」當成酸鹼反應而改寫成這樣：

相對強鹼+相對強酸 → 相對弱酸+相對弱鹼

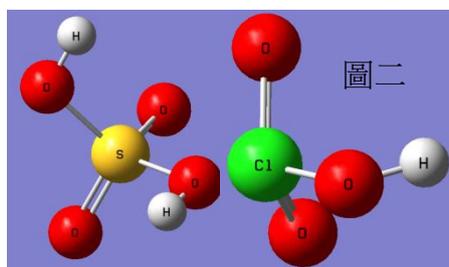
現在答案可呼之欲出了，明顯的強加強速度一定會比弱加弱快，而這也說明了：「向右反應大於向左反應的速率」，但是這酸的強度比較看過去似乎有些問題：「為何明明氯搶電子的能力比硫大， H_2SO_4 的酸性卻比 HClO_3 大。」如要解決這個問題，我們要再用一次共軛酸鹼對的觀念。試想：「一個相對強酸會產生一個相對弱鹼背後的意義是什麼。」

其實這個答案真的不難，一個酸之所以會被稱為強酸是因為它非常活潑，急著想要丟出質子（也可以說這種酸對他的 H^+ 的吸引力不強，讓他很容易解離），也就是說對 A 酸而言 A^- 才是穩定的狀態，那既然都已經穩定了，還會容易反應嗎？當然不會，此外 A^- 就是 A 酸的共軛鹼，而不容易反應的鹼當然就是弱鹼啦！



接著讓我們藉由圖一討論氧對共軛鹼的影響。

如果酸解離後要安定，那就意味著接著 H^+ 的原子對於電子的容納程度很大（或者可以說他很缺電子），看圖一的右邊分子因為其附近多了三個氯來拉電子，所以原本接氫的氧原子會比左邊分子的氧原子更缺電子，因此他容納電子的能力相較之下更好，也更安定。



從圖二可以發現基本上 H_2SO_4 及 HClO_3 的構是差不多的，但是 H_2SO_4 比 HClO_3 多了一個氧原子，所以接著氫原子的氧會更缺電子，所以 H_2SO_4 的酸性比 HClO_3 強（當然先決條件是在這裡多一個氧的影響要比氯和硫之間所造成的差異更大，但關於這個部分本報告不再贅述）。

三、探討臭味來源

儘管化學反應式出來了，但我們還是沒有解釋到那股臭氣是什麼，而這個問題可讓我傷透了腦筋，直到有一天我弟弟跑來問我：「如果把鹽酸加熱會跑出什麼東西？」這時有一個想法從我腦裡飛過：「會不會臭氣的『製程』也是因為硫酸的加熱。」

而要了解這個問題要先知道硫酸是怎麼做出來的。

(一) 硫酸的製作

於 1746 年約翰·羅巴克打造出了「鉛室法」這把鑰匙，敞開量產硫酸的大門，然而「高濃度」一直為其無法跨越的壕溝。長江後浪推前浪，前人無法完成的事將留予後人完成。時光推移至約 90 年後，1831 年 Peregrine Phillips 發明了接觸法，大量製造高濃度硫酸這個問題轉眼間已成為過去式，如今接觸法已早已成為工業上廣泛運用的製程。但儘管方法不斷改進，卻依然把持著一個最基本的原則：「 SO_3 溶在水裡面即可成為所謂的硫酸，但是最普遍的原料－硫磺，往往燃燒之後產生最多的是 SO_2 而非 SO_3 ，因此我們需要耍點手段把 SO_2 繼續把氧化成 SO_3 ，成為我們所需要的原料，但是 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ 這個反應不太容易進行，因此製造硫酸的演變之中，最主要的目的就是找出產率更高、速率更快的反應步驟。」

(二) SO_2

了解硫酸的製作後，如果沒有意外我們絕對有理由相信那股臭味是 SO_3 ，然而我在網路上看到了一大堆的資料指出是 SO_2 或者是 SO_3 和 SO_2 的混合氣體，如著名的蛇炮：「蛇炮含有硫化物，燃燒變成二氧化硫，屬於硫酸，一旦吸過多，不僅會誘發氣喘，還會腐蝕呼吸道，甚至影響神經系統！」（註 7）

但是這份資料的正確性還蠻值得懷疑的，因為有基本化學知識的人都知道 SO_2 溶到水裡是成為亞硫酸而不是硫酸，所以他明顯搞錯了。

可是他提醒了我們一件事－飄出來的東西是氣體，相信有人一定會抗議：「為何液態的懸浮顆粒不行，他們不是一樣可飄浮嗎？」，但是別忘記那些氣體是通過由碳灰堆疊而成充滿細小縫隙的孔洞蜿蜒而出，效果就像海綿一樣會把液體給留在裡面。

而 SO_3 沸點是 45°C ，對於室溫而言真的有點兒高，換句話說當 SO_3 被汽化後沒多久就會被空氣冷卻回液體，然後再被卡在那些細小的孔洞裡。

但無論如何碳灰一定會有餘溫，而且說不定還會超過 45°C （後面會談到，溫度一定會超過而且碳灰堆疊而成的碳柱反而會幫助 SO_3 被汽化），也因此這個理由雖然有道理但成效應該是有限的。

(三) 峰迴路轉

除此之外就算上面那個方法超級有效，但是單純的「過濾」只能去除雜質，絕對不會使得 SO_3 變成 SO_2 ，因此必定有什麼事發生，把其變成 SO_2 然後再讓它飄到我們的鼻子裡。

而對於 SO_3 為何會被還原成 SO_2 這個問題我在高二上時的第一堂社課因為怎麼樣都找不到適當的理由，所以只好用「 SO_3 非常不穩定，所以一經加溫後 SO_3 會分解為 SO_2 和 O_2 」這個理由來自圓其說。

然而到了高二下學到反應速率時我一廂情願的想法被徹底打破了，因為他的反應熱是：



注意那個負號和 K，眾所皆知的活化能越高反應速度越慢，而我們所希望發生的逆反應比正反應整整大了 196 千焦耳，換句話說他發生的程度更本微不足道，但是我們還少討論到溫度變化對其的影響，因為活化能較大的一方（吸熱）加熱後反應速率上升的比例會比活化能較小的一方（放熱）大上許多，於是我重找到了一篇大陸的文章：二氯化硫催化氧化制硫酸，裡面有我們所需要的數據：

$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{SO}_3$ 的平衡常數、反應速率常數。

溫度 $^{\circ}\text{C}$	Kp	溫度 $^{\circ}\text{C}$	Kp	溫度 $^{\circ}\text{C}$	Kp	溫度 $^{\circ}\text{C}$	Kp	
400	442.9	450	137.4	525	31.48	600	9.37	
410	345.5	475	81.25	550	20.49	625	6.57	
425	241.4	500	49.78	575	13.70	650	4.68	
溫度, $^{\circ}\text{C}$	$k_{\text{正}}$	溫度, $^{\circ}\text{C}$	$k_{\text{正}}$	溫度, $^{\circ}\text{C}$	$k_{\text{正}}$			
390	0.25	440	0.87	525	4.6			
400	0.34	450	1.05	550	7.0			
410	0.43	460	1.32	575	10.5			
420	0.55	475	1.75	600	15			
430	0.69	500	2.90					

（反應平衡常數 Kp，及加入 V_2O_5 的正反應速率常數 $k_{\text{正}}$ ） 表一

看上去溫度的影響是蠻大的，但是這裡還有兩個問題：

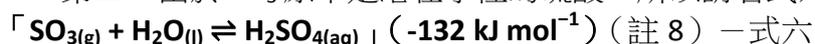
第一：經過一翻計算後我們可以發現我們要的逆反應速率常數 $k_{\text{逆}} = k_{\text{正}} / Kp$ （表一是正反應的數據，而我們要把他換算成逆反應的反應速率常數）

溫度, $^{\circ}\text{C}$	$k_{\text{逆}}$	溫度, $^{\circ}\text{C}$	$k_{\text{逆}}$	溫度, $^{\circ}\text{C}$	$k_{\text{逆}}$
400	0.00056	450	0.0076	600	1.6
410	0.0012	550	0.341		

（逆反應速率常數 $k_{\text{逆}}$ ） 表二

我們可以發現實驗的溫度頂多也才 500 度，除此之外上面的數據是還有加入催化劑的結果，如果沒加入催化劑 V_2O_5 （也就是我們的實驗）那速度肯定更慢。

第二：由於 SO_3 原本是溶在水裡的硫酸，所以請看式六



讓我們把式五和式六結合在一起 $2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g}) + 2\text{SO}_2(\text{g})$ ，然後我們可以發現一件事—要從 H_2SO_4 直接變成 SO_2 —莫耳需要 328 kJ，這個能量太大了，除此之外非金屬物質和氣體是熱的不良導體，因此我們上面所提到的逆反應速率常數很好看沒錯，但是前提是你得要先到那個溫度才行，偏偏要讓硫酸到達上面那些溫度幾乎是不可能的，所以我們應該是少考慮了什麼東西。

(四) 柳暗花明

最近我弟弟的基測考完了，因此我們開始「丟書」，而就在我隨意翻著那些即將要被送到回收場的書時，看到了一張高爐煉鐵的圖，當下彷彿當頭棒喝：「高爐煉鐵是用碳來當還原劑，那我不是也有充滿空隙的柱狀碳渣？」

也就是說我猜測 H_2SO_4 和從 H_2SO_4 裡跑出的 SO_3 接觸到碳灰時被還原成 SO_2 ，而剛好充滿空隙的碳可以留住 SO_3 足夠的時間使其反應，而且也提供了龐大的接觸面積增加反應速率（但是基本上溫度的影響是一定會有的，除此之外 SO_3 應該也不會完全轉變成 SO_2 ，因為就連用 CO 的高爐煉鐵都要耗費許多的時間，更何況用 C 還原 SO_3 ），其實這跟活性碳的原理一樣，只是效果相較之下應該會差了一些，但理論上是可行的。

好玩的是我恰巧有一個親身經歷的實驗意外，而它剛好可以為我們證明一些東西。

(五) 意外的實驗證明

在一次準備社課時我們的社長提議了一個奇怪的實驗，而裡面要用到糠醛，可是偏偏實驗室沒有，所以我們只好不帶任何希望的去網路上隨便找找看有什麼替代方案，哪知隔天「文書」竟然不知道從哪裡弄來一本有關醣類的書，而裡面恰巧有關於糠醛的作法—葡萄糖加硫酸（有趣的是後來我們實驗完畢後我完全沒有在其它來源找到這種作法，反而只有看到「多醣半纖維素」或「木糖」加入硫酸）。

於剛開始我們把葡萄糖放入培養皿再加入硫酸時這兩對難兄難弟倒還相安無事，除了蔗糖的外表開始焦化外還沒有發生什麼瘋狂的狀況，很快的，反應「看似」中止了，於是我決定把它倒入燒杯好進行下一步動作（徒手摸時很燙，因此手上墊著幾張衛生紙，然後再移動培養皿）。

哪知就在我們完全把它倒入燒杯後不到一秒，重要的一刻發生了。原本相安無事的兩兄弟突然瘋狂的暴走，瞬時有一座「黑山」從燒杯裡快速冒出，並伴隨著大量的「臭煙」。

但是因為我們這次的實驗用到的硫酸量非常得多（至少有 150ml）因此跑出來「煙」的量也不是只用不到半根試管的濃硫酸的實驗「濃硫酸脫水」可以比擬的（甚至社長還因為吸太多所以嗆傷），而理所當然，遇到這種情況時人的第一反應當然是丟一些東西把它蓋住，於是我趕緊從別的實驗桌抄了一塊乾抹布（因為一時之間找不到「濕」抹布）往上燒杯上罩了下去，哪知蓋住後看得到煙的確不見了，但是臭味依舊，於是我嘗試隔著幾張衛生紙把它拿出去，試拿時雖然感覺很燙但是還能勉強忍住，然而移動大約 40cm 的距離後我宣布放棄，而那塊沾滿黏著物的抹布我基本上是能不碰就不碰，除此之外有些黏著物還順著杯口流下來，直到後來社長當機立斷把她的實驗衣丟在上面，而我也狠下心用我的運動服抱著那杯「發煙體」往外跑，最後丟在外面讓它自生自滅，才中止了這場鬧劇。

這個實驗意外告訴了我們什麼？是以後做實驗時記得帶口罩？還是實驗時一定要準備一條「濕」抹布？亦或是要有隨時犧牲實驗衣的心裡準備？

答案應該是「以上皆對」，但是明顯的也告訴我們一些訊息：

- 1、原本已經不會反應，但一倒到另一個燒杯時反應突然變的非常劇烈
- 2、丟了抹布後煙消失了，可是臭味卻持續飄出
- 3、溫度不會高到無法忍受

關於第一點我們最後再討論；而關於第二點則可以發現既然煙和一些沸點較高的物質被抹布攔住了，所以可以得知跑出來的是氣體，而又因為它有臭味，再加上之前的推論可以推知該氣體是 SO_2 ；另外關於第三點則可以證明「我們可以發現實驗的溫度頂多也才 500 度」這段話。

最後關於第一點，當下我也不知道發生了何事，然而後來我在洗燒杯時瞬間瞭然，當我們在洗燒杯時可以發現靠杯口越近的東西會越先掉下來，這句話雖然看起來很像廢話，但是讓我想到那時我們把那些東西從培養皿倒入燒杯這個過程：一開始時我們因為認為糠醛是液體，因此我們只有想要留下液體，而那些焦化後的蔗糖原本是打算全數丟掉，但是就在把液體通通撈過去燒杯後，隨後又想到：「或許那些固體上面還會在殘留一些糠醛，丟掉可惜」於是我們最後還是把培養皿上殘餘的固體全數倒入燒杯。」

檢查反應的時候有幾件非常重要的事，其中有一樣是觀察他會多了什麼東西，如果仔細想了一下就會發現，的確我們沒「刻意」加入任何東西，但是我們的確「不經意」的讓它碰到了些東西，想想看燒金紙時，如果悶燒了話要怎麼處理？通常來講應該都是拿一根又粗又長的棒子在爐子裡面胡亂給它攪個幾圈好讓它與外面的空氣接觸、燃燒吧？而原本那些固體也一樣是與空氣隔絕（上面淹著液體），如今我很好心的把液體移走，他也就開始與氧氣跳起了「火焰之舞」（當然不一定要有火，只要有熱就夠了），到這裡腦袋跑得快的人可能已經想到一個問題，但我先賣個關子，最後再說明。

但是為了再多增加一組對照組，好說明如果沒有「碳」那麼 SO_3 轉換成 SO_2 的效果將會大打折扣，因此我將硫酸直接放到試管裡隔水加熱，但奇怪的是，這一次非但沒有臭味，甚至就連煙都沒看到，這是什麼原因呢？

經過推理後我發現其實隆起的「碳山」對硫酸的氣化和分解出 SO_3 這個反應有著非常重大的協助，詳細的情形到了說明完「碳山」的生成後再細說。

四、濃稠物

作完實驗後，如果 KClO_3 的量加的不多，不難聞到一道燒焦但甜甜的香氣（前提是臭味不夠濃），甚至我在社團講課時還有一位反應很快的社員馬上猜測這是焦糖，因而向我開玩笑道：「這些東西可以吃嗎？」沒錯實驗完後上面黏稠的固狀物就是焦糖，但若要談為何有焦糖，就一定要談「梅納反應 Maillard reaction」（又稱非酵素性褐變）。

（一）梅納反應

基本上「梅納反應」和我們「吃得香」有很大的關係，除了我們常見的焦糖外，咖啡的烘培：「高溫下，醣類與胺基酸、胜肽及蛋白質產生結合，進行焦糖化，也就是著名的「梅納反應」。」（註 9）其最終產物也就是平常咖啡中除了焦糖外的主要味道來源—黃褐色、苦中帶甜的醣胺及類黑色素；甚至到裝威士忌的桶子也都和「梅納反應」扯得上邊。

而眼尖的人勢必會發現上面寫的材料有些眼熟「胺基酸、胜肽及蛋白質」，這些東西不就擺明的提示我們煮過的肉之所以會有著讓人垂涎的香味也和「梅納反應」有所關連嗎！「反應過程中還會產生.....，包括還原酮、醛和雜環化合物，這些物質為食品提供了宜人可口的風味和誘人的色澤。」（註 10）

也就是說我們作完實驗後看到和聞到的那些黏稠物就是梅納反應之下的產物，焦黑色的東西是類黑色素，香味則是一些產出後的有機分子無憂無慮的飄在空中，然後進入你的鼻孔。

最後回答一下那位學妹的問題：「如果你不怕有硫酸和氯酸鉀（有毒，超出一定量還會致命）的殘留，那就吃吧。」

（二）積碳

接著我們再回去討論上一部份賣著關子還沒講的問題：「為何蔗糖可以燒掉但是卻會剩下許多的碳渣和一些梅納反應之下的產物。」

基本上對於這個問題可以用一個汽車常見的問題「積碳」來類比。

「遇上引擎的高溫，汽油中無法燃燒完全的碳氫化合物、石蠟、膠質便會被燒成膠碳物」（註 11），除此之外文章裡面還有提到膠碳還會吸附石油，如此使的雪球越滾越大。

接著我們再回頭看到我們的實驗，就可以發現彼與此有異曲同工之妙，一些蔗糖無法接觸到足夠的氧氣可是偏偏上面的火爐又燒得正旺，於是經由梅納反應變成了焦糖，而焦糖又黏上蔗糖於是產生更多的焦糖，另一方面那些被成功分解的蔗糖所剩下的碳又一樣遇到相同的窘境—搶不到氧（此外要成功達到碳的「閃點」本就不是件容易的事，有烤過肉的人就知道有時要把碳火給點燃就可以耗上大半的時間），偏偏被熱氣往上一帶之後又遇到了其他的碳顆粒和一些「膠水」，於是顆粒越來越大，到最後顆粒太大，熱氣脫不動時他就沉積了下來，於是就形成我們所看到的「碳山」，當然如果火力不夠可能看到的就是一大塊焦糖（我們有次因為藥品嚴重受潮，所以做了許多次結果看到的都是焦糖塊）。

接著回頭看看「碳山」協助硫酸氣化和分解出 SO_3 這個問題。

（三）總結

有兩個關於硫酸的數據「沸點/沸點範圍：274°C 分解溫度：340°C」（註 12）顯然光是把硫酸蒸發就是一項挑戰，而要把它分解又是一道令人望之卻步的高牆。

相信噴酒精是一個大家共有的經驗，灑在桌面上的酒精會比裝在杯子裡的酒精揮發的來的快，而用噴霧器噴出的酒精又比灑在桌面上的揮發得更快。

他山之石，同樣的在反應一開始時，硫酸先被蔗糖的「水」稀釋並放熱。由於大部分的蔗糖都緊貼著硫酸，因此可以很迅速的被加熱、氧化、放熱，再把熱送回硫酸。除此之外硫酸容易被蔗糖和碳灰吸收，因此當碳柱上升時硫酸也會隨之抬升。又因硫酸是吸附在那些「膠碳物」上，而當那些焦碳物的彼此間距擴大時，附於上面的硫酸彼此之間也會逐漸分開，變成許多微粒（就像是拉橡皮筋，想像橡皮筋上面每隔一定距離就畫

一個點，如果這時用力一拉，點與點的距離將會隨著橡皮筋的擴張而擴張），此時由於顆粒變小，熱要從顆粒邊緣傳至中央的時間也為之減少，並且總表面積更大幅增加，因此硫酸可以很迅速的被氣化、分解，當然還會因為與碳的大面積接觸再變成 SO_2 。

嗯，精彩，硫酸竟然自己被自己製造出來的東西分屍。

五、實驗注意事項

實驗一定會有意外，雖然這個實驗不是真的很危險，但是我還是從中得到了一些「心得」。

（一）注意滅火警報器

在實驗室作這個實驗的時後如果不能關閉滅火警報器，一定要用布把感應器包起來，因為警報器偵測的是粉塵，而這個實驗什麼沒有粉塵最多，不處理的話實驗室肯定會警鈴大作（親身經歷）。

（二）可以帶手套

我在做這個實驗前曾有人叫我不帶橡膠手套，並言之：「如果滴到硫酸橡膠會黏在皮膚上」，但是我對這個論點抱持著懷疑的態度，因為：「如果滴硫酸就不能帶橡膠手套的話，那我們要橡膠手套幹嘛？」，於是我在一隻橡膠手套上滴了硫酸，發現黑點（被碳化）無法滲透手套，隨後我把手套套在手上，並再滴上幾滴硫酸，結果滴了兩滴之後還是沒什麼感覺，雖然我不能保證再多滴幾次會不會發生什麼意外，但是我可以確定戴手套的確有一定的防護效果。

參●結論

由研究可知，加入 KClO_3 不單只會使得反應更加劇烈，還會因為酸鹼中和而減少 H_2SO_4 導致 SO_3 的產量減少，此外由於反應更加劇烈，更可使得原本會成為焦糖的物質有機會繼續充分燃燒，製造出來的熱量又會使得反應加速，而又放出更多的熱量，形成一種熱量的正回饋。但由於氧氣供給量的不足，造成大量蔗糖不完全的燃燒，形成長條狀的碳柱，另由於部分蔗糖受溫不足，而無法完全分解，經由梅納反應最終形成黏稠狀的焦糖。

反之，若反應未加入 KClO_3 ，將會導致難以達到連續反應所需的溫度，因此要不增加反應物濃度或接觸面積，要嘛就需加溫供給熱量，此外由於無 KClO_3 消耗 H_2SO_4 與其分解後產生之 SO_3 ，導致有大量的原料可反應生成 SO_2 ，但由於直接由 SO_3 分解生成 SO_2 需大量的能量，且反應速率非常緩慢，因此必有別的橋樑可使得反應在蔗糖脫水過程之中可發生此反應。而根據本報告的實驗及猜測可得知蔗糖反應後生成的積碳可協助 H_2SO_4 及 SO_3 還原為 SO_2 。

關於碳是否可還原 H_2SO_4 這個問題雖然本實驗只有間接證據而無直接證據，然而在最近高三的課程裡有提到濃硫酸遇到強還原劑時會還原成硫，而遇到弱還原劑時（包括本實驗裡的碳）會還原成相較於硫氧化數較高的二氧化硫，換句話說我的推論是正確的。而此刻回首，雖然走了不少冤枉路了，但若沒有失敗，就算成功也難得精彩。

肆●引註資料

- 1.註 1：劉墉。(2000)。面對人生的美麗與哀愁。台北市：水雲齋。
- 2.註 2：Frank Schatzing (2008)。海，另一個未知的宇宙。新北市：野人文化股份有限公司。
- 3.註 3：Rui Wang (2010)。救命毒氣硫化氫。科學人，99，54-64。
- 4.註 4：黃有道、楊水平(2011)。黑色異形在蔗糖脫水中誕生。中學化學示範實驗。2012年7月4日。取自 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=19857>
- 5.註 5：陳偉民(2008)。氯酸鉀愛爆炸。遠哲科學教育基金會發現月刊，147。2012年7月9日。取自 <http://www.ytlee.org.tw/publish/find/vshow.asp?qry=147#1>
- 6.註 6：阿柔(2005)。各類酸的活性。奇摩知識+。2012年7月9日。取自 <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1405111804488>
- 7.註 7：詹季燁、恩銘(2010)。蛇炮爆硫酸 誘發氣喘傷神經。華視。2012年7月11日。取自 <http://news.cts.com.tw/cts/general/201008/201008110537771.html>
- 8.註 8：(2012)。接觸法。維基百科。2012年7月11日。取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8E%A5%E8%A7%B8%E6%B3%95>
- 9.註 9：Ernesco Illy (2002)。咖啡香大有來頭。科學人 6，69-74。
- 10.註 10：(2012)。美拉德反應。維基百科。2012年7月11日。取自 <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%BE%8E%E6%8B%89%E5%BE%B7%E5%8F%8D%E5%BA%94>
- 11.註 11：程冠華。積碳的來龍去脈。2012年7月12日。取自 <http://www.valueparts.com.tw/articles/deposits.htm>
- 12.註 12：硫酸。物質安全資料表。2012年7月8日。取自 <http://www.iosh.gov.tw/Msds.aspx?D=112>
- 13.圖一：克萊因(2007)。有機化學天堂祕笈 I。台北市：天下文化。
- 14.圖二：本報告使用 GaussView 自製
- 15.表一：二氧化硫催化氧化制硫酸。2012年7月1日。取自 <http://jpkc.gust.edu.cn/index/qiuruchen/pages/file/multimedia/HANDSOME/CH3/ZCH3/Z3-1-2.HTM>
- 16.表二：本實驗運用表一數據計算得知