

國中化學幾個疑難實驗單元的研究與改進

國中教師組化學第一名

台北市金華國民中學

作者：郭道誠 紀恭謙

壹、氯化氫的合成

一、研究動機：

據調查在國中化學中，最少做的實驗就是「氯化氫的合成」，雖然器材不易齊備是一部分因素，但最主要的原因是它有爆炸的危險，使師生們望而却步，因此刪除此實驗之議，在各地教學研習討論會中，反映得十分激烈！

歷屆科展曾有兩件作品對本實驗作了改良，其中一件是需要改變一小部分實驗裝置：將石英管改為焊接了鉑絲的「派來克斯」玻璃管，嚴格說來，此改良並無甚大意義，却徒使器材的準備（反應管需自製）更加困難，而其最大缺點是未涉及爆炸的預防。另一件作品改用「置換法」製造氯化氫，實驗手續及換算過程繁雜費時，而且置換反應成功率不高，但其最大缺點是與課本的教學目的（由「合成法」求氯化氫的化學式）不符。

爲了提高教本的信度，符應此一單元教學目標，我們乃不揣淺陋，針對以上因素和缺失，用心加以研究改良，僅將研究經過及個人淺見臚陳於后：

二、器材：

與國中課本實驗同者從略，另加橡皮管、導管夾。

三、改進：

1. 器材方面：（如裝置圖一）

- (1) 在注射管 A 右方增加一三路活栓 C，作爲填充氫氣之用，避免由三路活栓 D 充 H_2 氣後，再接上壓力計及再調整液面等高的麻煩。
- (2) 在三路活栓 F 的下方接上約 60 公分長的橡皮管 G，並於近末端處附一導管夾，使橡皮管成爲調整氣體壓力及體積的「安全室」。

2. 步驟方面：

- (1)分別收集 Cl_2 氣， H_2 氣 14ml 及 60 ml，若 Cl_2 ， H_2 的體積比太大，則容易爆炸。
- (2)以 H_2 氣體驅除三路活栓 C、F 間的空氣，因此需先收集 Cl_2 ，再收集 H_2 。
- (3)所收集的 H_2 ， Cl_2 需調整體積、壓力，方法如步驟。
- (4)先以小火加熱，而後改用大火。

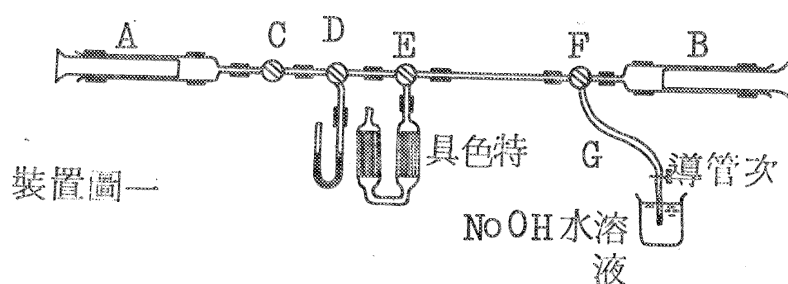
四、步驟：

1 Cl_2 的裝填：

- (1)裝置如下圖，取下三路活栓 F 左側的橡皮管接頭，由此處向注射管 B 通入 Cl_2 氣，再由橡皮管 G 排入 NaOH 水溶液中，並迅即關閉導管夾，重覆數次。此時 G 中充滿了 Cl_2 。
- (2)B 注射管收集約 20ml 的 Cl_2 調整其體積為 14ml，將 G 管取出液外，將導管夾打開並迅即關閉。（當導管夾打開時， Cl_2 氣壓力已與大氣壓力平衡）

2 H_2 的裝填：

- (1)自三路活栓 C 向注射管 A 填充 H_2 氣，調整三路活栓，使其由橡皮管 G 排出。（G 管末端仍置 NaOH 溶液中）重覆二、三次。
 - (2)調整三路活栓 C，使其成為右、下相通，通入 H_2 氣，「徹底清除」管道中的空氣，由 G 排出，此時 G 中充滿 H_2 氣。
 - (3)如調整 Cl_2 氣壓力、體積的方法，收集 H_2 氣 60ml。
3. 以濕抹布包住二注射管，使 H_2 推入注射管 B，關閉三路活栓 F
 4. 以小火加熱螺狀鉑絲，不待其紅熱，使 H_2 ， Cl_2 混合氣體通過。
 5. 以大火加熱螺狀鉑絲，待其紅熱，通過混合氣體。
 6. 觀察反應後總體積。
 7. 將氣體通入奧色特球管數次。
 8. 觀察剩餘氣體體積。



五、實驗結果：

如附表一。

六、注意事項：

1. 在石英管內的氣體，至少須與一注射管相通，因為如果操作不慎發生爆炸時，只是注射管「內管」被噴出，並不會有其他的危險，也正因為這樣，注射管兩端不應有旁觀者。
2. 注射管內不可塗甘油潤滑，因 Cl_2 會與其反應，如果注射管磨口配合良好，可不必塗凡士林，如此操作起來較方便，也沒有黏滯感。
3. 實驗時的 H_2 氣， Cl_2 氣及管道中都應保持乾燥，否則 Cl_2 及生成的 HCl 都可能溶解在其中，影響實驗結果。
4. 在從事 Cl_2 氣充填過程中，若不排氣時，需立即關閉導管夾，以免 NaOH 溶液溶解了， Cl_2 而沿導管上升。
5. 若奧特色球管內水量不及一半，則在壓迫氣體入內時，需避免將水全部排入鄰管而使氣體由管底通道至鄰管逸出。如果水量超過半管柱時，則需注意水自鄰管管口溢出。

七、討論：

1. 爆炸原因的探討：

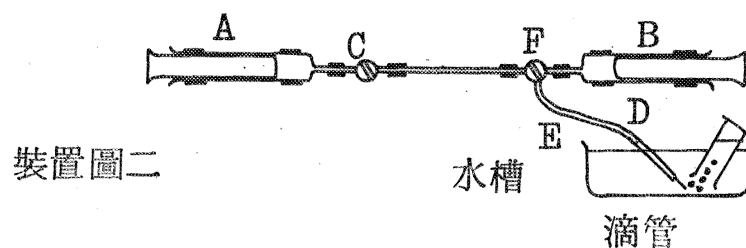
- (1) 管道中含有空氣：由於氫、氧混合，一經加熱反應劇烈，會造成爆炸的現象，因此空氣需徹底排除。
- (2) 氯、氫的體積比太大：氯和氫的連鎖反應也會造成爆炸，而此連鎖反應的帶動者為氯的自由基 (free radical) 的產

生。使用較大濃度的氯就等於增加了連鎖反應發生的機會，並增加了爆炸之威力（依氯、氫 20 ml，50 ml 的量做五次實驗，爆炸了四次），因此最好降低氯氫體積比，依 14 ml Cl_2 ，60 ml H_2 的量做實驗卅餘次，從無爆炸情形。

2. 爆炸現象都在第一次 H_2 ， Cl_2 混合氣體通過受熱的鉑絲時發生，而 H_2 ， Cl_2 在鉑絲的催化下，發生反應所需的溫度並不需太高，因此第一次加熱使用小火，不必使鉑絲紅熱（此時就有反應發生），以避免發生危險。第二、第三次的強烈，乃使其反應完全。
3. 第一次 H_2 ， Cl_2 通過鉑絲時，常有抽動現象，顯示管內已有反應發生，造成壓力的不平穩。
4. 奧色特球管內放置玻璃管的功用：一為利用毛細現象增加水面的面積，但其增加量有限，因為仍需扣除諸玻璃管的截面積。主要原因是附於玻璃管壁的小水珠增加了水的表面積，使 HCl 溶於水的速率增快。
5. 如果無法取得奧色特球管（有的地區不易買到，需另外訂製），則可改用如下裝置：省除三路活栓 D、E，於橡皮導管 G 的末端套上一除去橡皮帽的滴管，並增加一水槽及 100 ml 量筒，此裝置（如裝置圖二）代替了奧色特球管及壓力計，其操作手續如下：
 - (1) 打開導管夾，橡皮管末端的滴管垂直放入水中，調整三路活栓 F，使反應後的氣體完全排出，冒出的氣泡，由充水倒立的量筒依排水集氣法收集之。
 - (2) 自三路活栓 C 抽空氣 30 ml 入注射管 A，將它壓入注射管 B，以趕除管道中的 HCl ，再將它壓入水槽內收集之。
 - (3) 將滴管垂直慢慢取出水面，注意在取出液面時，仍會有氣體因水壓的減低而冒出，此氣泡也需加以收集。
 - (4) 調整量筒內外水面等高，讀出氣體體積，此量扣除 30 ml 即為剩餘 H_2 氣體積。
6. 根據操作經驗，發現誤差多在 10 % 左右（ H_2 應減少 14 ml 實

驗結果減少了 15 ml ~ 16 ml) 而且都是氫氣反應過量。

7. 以上改良不但符合教學目的，對實驗器材的準備並未增加任何困難，而且將爆炸的可能減到最低程度，希望能藉以激發各校師生作此實驗的興趣。



附表一

次數	氫氣體積 (ml)	氯氣體積 (ml)	剩餘氫氣體積 (ml)	參與反應氯氣體積 (ml)	氫氣反應 體積比
1	59.5	14.0	45	14.5	1.036 : 1
2	59.5	14.0	44.5	15.0	1.071 : 1
3	57.5	14.3	42	15.5	1.068 : 1
4	60.0	14.0	44.5	15.5	1.101 : 1
5	55.0	14.0	40	15.0	1.071 : 1
6	60.0	14.0	44	16.0	1.143 : 1
7	61.0	14.0	45.5	15.5	1.101 : 1
8	57.0	14.0	41.0	16.0	1.143 : 1
9	60.0	14.5	44.5	15.5	1.068 : 1
10	60.0	14.0	45.0	15.0	1.071 : 1

貳、硫化鋅的製備

一、研究動機：

課本實驗曾談及鋅粉和硫粉混合共熱，反應劇烈，有火花迸出，但實驗結果令人失望，不是二者不發生反應，就是反應並不劇烈，沒有火花，因而影響師生對課本的信任，因此決定對本實驗加以研究。

二、實驗器材與藥品：

鋅粉、硫粉、稀鹽酸、漏斗、坩堝鉗、酒精燈、本生燈、燒杯、刮勺。

三、實驗步驟：

1. 取鋅粉、硫粉各兩刮勺，均勻混合，將此混合物均分於十六張石綿紙上，此為反應物A—鋅硫體積比1：1。
2. 取鋅粉一刮勺，硫粉三刮勺，均勻混合，將其均分於十六張石綿紙上，此為反應物B—鋅硫體積比1：3。
3. 取鋅粉八刮勺，加入稀鹽酸中攪拌，浸泡約1分鐘，以傾析法分離出鋅粉，用清水洗兩次，過濾。
4. 取一半過濾的鋅於通風處陰乾。
5. 取另一半過濾後的潮濕鋅粉，加入適當的硫粉，研磨混合，製成鋅、硫體積比1：1的反應物C及鋅硫體積比1：3的反應物D，並各均分於十六張石綿紙上。
6. 將陰乾後的鋅粉仿步驟5，調配鋅硫體積比1：1的反應物E及體積比1：3的反應物F，並各均分於十六張石綿紙上。
7. 將各組反應八張以本生燈加熱，另八張以酒精燈加熱，記錄由加熱至開始反應所需的時間。

四、實驗結果：

反應物種類 加應物種類 熱情形	未處理的鋅粉		以稀鹽酸處理過的 潮濕鋅粉		以稀鹽酸處理過的 乾燥鋅粉	
	A 鋅硫 1:1	B 鋅硫 1:3	C 鋅硫 1:1	D 鋅硫 1:3	E 鋅硫 1:1	F 鋅硫 1:3
酒精燈加熱	—	—	57"	—	51"	—
	—	—	45"	40"	37"	—
	—	—	27"	31"	19"	51"
	—	—	49"	51"	—	—
	—	—	50"	48"	—	—
	—	—	52"	40"	54"	—
	—	—	27"	44"	—	49"
	—	—	42"	40"	49"	—
本生燈加熱	—	—	27"	36"	22"	14"
	37"	—	39"	30"	25"	29"
	31"	—	45"	20"	15"	30"
	35"	—	28"	45"	11"	23"
	36"	—	33"	20"	15"	35"
	—	—	23"	26"	11"	26"
	—	—	34"	37"	23"	23"
	—	—	40"	33"	10"	48"

註：1「—」表示硫燃燼了，仍無反應發生。

2 表上所列時間指加熱至鋅粉開始燃燒的時間。

3 在全部的加熱過程中，酒精燈及本生燈的火焰保持固定不調整。

五、討論：

1 由實驗結果，我們很明顯的可以看出：用稀鹽酸處理過的鋅粉很容易和硫起反應。由此可見，未用稀鹽酸處理前，鋅的表面

一定有氧化鋅或其他鋅化物覆蓋著，因而減低了鋅的活性；而處理過且陰乾了一夜的鋅粉，在低溫時比潮濕的鋅粉活性小，更證實了鋅久置於空氣中會減低其活性。

2. 以稀鹽酸處理過的陰乾鋅粉和潮濕鋅粉，在高溫下對硫的活性相當，但潮濕鋅粉含有水份，因此需加熱較久時間才會和硫反應。
3. 以處理過的乾燥鋅粉加熱所需時間看；硫的用量多的，需加熱較長時間，這是因為硫受熱熔化而直接燃燒，被硫液體浸漬部分的鋅並不和硫反應，因此硫的用量多，加熱所需時間也較長。
4. 以處理過的潮濕鋅粉加熱所需時間看，硫用量多的所需時間反而略少，可能是因為它鋅量少，所以含的水分較少所致。
5. 在高溫下，鋅硫較易發生反應。
6. 以處理過的鋅粉和硫粉反應時（C、D、E、F）都發生了火花迸裂的現象，尤以C最烈，E次之，產物猶如爆米花一般是蓬鬆而黃白參半的固體，但D、F產物無蓬鬆的現象，却是表面凹凸多孔，這些都表示：反應是自混合物內部發生。
7. 反應物A以本生燈加熱時，也有反應發生，但與C、D、E、F的反應不同，它僅有燃燒現象，沒有火花迸出，加熱過程中，有白色棉花狀產物隨氣流上升，而石棉紙上產物為黃色，冷卻後為純白色，表面平滑似有絲膜包裹著，以刀切開產物，發現內層仍有灰色鋅粉未反應，經取處理過的鋅粉和未處理的鋅粉，分別直接在空氣中加熱，其燃燒現象都與A的情形相同，因此我們可以斷定，A反應物加熱的產物，一定是氧化鋅。
8. 根據以上結論，鋅粉硫粉的反應，一定要先將鋅粉以稀鹽酸處理，但可不必乾燥，至於用量，鋅硫以1：1，混合非常理想。

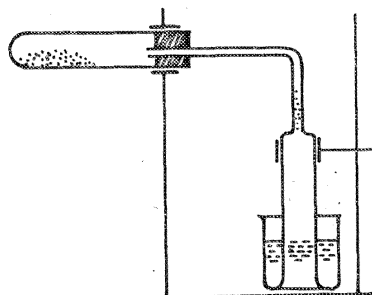
叁、加熱銅絲定量空氣中氧的體積組成

一、研究動機：

教到國中化學第一冊第三章「空氣」時，在本校自然科教師辦公室裏，常聽到其他老師說：「以銅絲加熱來定量空氣中氧所佔的體積百分比，這個實驗做不出來。」追問其究竟所回答的：有些是銅絲加熱後注射筒內水面根本不上升，有的甚至於水面反而下降；有的銅絲（或銅片）加熱後根本不變黑，有的甚至於反而變黑白。衆說紛云，莫衷一是。偶與他校化學科教師聚聊，談到這個實驗，在定性和定量上，也一樣令他們困擾不已。爲了解決問題，以便加強學生信心，達到教學效果，遂引起我們深入研究並改良本實驗的興趣。

二、器材及裝置：

如附圖：



三、改進：

裝置方面和教本所示相同，不必另行設計，但在選用材料及操作技巧上略加改善，即可得到良好的效果。

1. 選擇實驗材料：最好是銅絲或銅箔，銅粉稍差，不要銅片或銅釘，純度要高，切忌去買到「合金的銅片」「寫春聯金字用的銅粉」以及「其他金屬導線或合金導線」。

2. 操作技巧：

- (1) 若使用銅絲或銅箔，需先經用稀鹽酸處理過表面，再用蒸餾水沖洗淨。
- (2) 若使用銅粉，加熱後硬試管內會冒白煙，必須拆開裝置，讓煙排掉後，再接上導管，連通注射筒。注射筒之後端，需再

敞開於大氣後，才浸入水中，重新調整水位。

- (3)加熱時，火勢若能適當調整，便可不必如教本中所示的「冷卻後再加熱，再冷卻，再加熱……再……」繁複手續，此所謂「適當調整」，因裝置器材之規格及注射筒起始液面之刻度而異，大體上若能調到加熱過程中，火勢儘量大，而液面於下降到接近注射筒底即不再下降，即謂之「最適當之調整」，維持此火勢約每隔10分鐘，才冷卻一次，即可得到良好的效果。

四、實驗步驟：

1. 分別選取高純度之銅粉、細銅絲、銅箔、銅片各約20 g，分成三組，一組不用鹽酸，處理表面；另一組用鹽酸處理表面後，用蒸餾水洗淨；一組用鹽酸處理表面後，不再用蒸餾水沖洗。陰乾後，三組各依附圖裝置裝妥後，加熱，實驗結果載於附表第1 2 3各欄。
2. 取不純之銅材包括寫春聯（或油漆用）之銅粉、合金導線及黃銅片各約5 g置50 ml 硬試管中，依附圖裝置妥後，加熱實驗，結果載於附表第4欄。

五、結果：

參閱附表。

六、注意事項：

1. 實驗時，導管與橡皮塞部份之接頭，務必十分緊密，千萬不能有漏氣現象，否則本實驗即失去意義。
2. 實驗後，充水入硬試管（內銅材加熱後之剩餘物仍在）及導管至滿，再倒入量筒測量體積，以置換硬試管及導管內原有空氣之體積，此數值再加上注射管內加熱前空氣原有體積之讀數，才是真正原來空氣的體積，教本內只以原來注射管內空氣之讀數，為空氣原有之體積，顯與事實有所出入。

七、討論：

1. 實驗結果顯示，在50分鐘實驗教學時間內，欲獲致較明顯之定量效果，以處理過表面的銅箔為最佳之實驗材料，以鹽酸處理

過表面的銅絲，其效果雖較銅箔為略差，但取材自電線，却比銅箔來得普遍易得，故應為最理想之材料。

2. 表面未處理的銅絲和銅箔，因表面之阻碍，使氧氣無法充分與銅接觸，實驗效果略差，但用鹽酸處理表面而未用蒸餾水，沖洗乾淨的銅絲與銅箔，則亦會有冒煙現象，效果比未處理表面的更糟。
3. 銅絲與銅箔加熱時不管表面處理或未處理或表面處理後沖乾淨與否，只要封閉在裝置中加熱，其顏色之變化均為：小火加熱，變紫紅，中火加熱，變青黃轉銀白，大火加熱變黑（見附件）冷卻後，除原先因強熱熔化而附著管壁的部份仍然保持黑色，其餘又變為紫紅色，再加熱又變黑，再冷卻，又變為紫紅，此時注射管內液面之上升開始變慢，但若係敞開於大氣中加熱，則變黑後，冷卻並不能再變為紫紅色，而繼續變黑。
4. 銅材加熱，視反應之環境，而可與氧氣化合成氧化銅（黑色）及氧化亞銅（紅色）二類化合物，大抵而言在熱水或熱水蒸氣的存在下，及氧氣供應較不足的情況下，較有利於氧化亞銅的生成，故封閉在硬試管中加熱的銅絲或銅箔，以形成氧化亞銅的形態較穩定，故加熱、冷卻後，大致不能見到有「太黑」的現象，但卻不會影響定量的效果，故不用因「不夠黑」而有所驚惶！
5. 銅粉之加熱，一定會冒白煙，此陣煙不先除去，即封閉在試管中加熱，則發現加熱銅粉無法變黑，且注射筒內水位不但未見上升，反呈下降情事，若能在封閉加熱之前，將「煙」驅逐，則銅粉亦可變黑，且水位亦見上升，但時效頗差，約需銅箔、銅絲加熱雙倍時間，才略見定量效果，且純銅粉試藥，亦不甚容易購得，故使用「銅粉」為實驗材料頗不切合實際。
6. 「冒完煙」之銅粉，封閉於試管中加熱，冷卻後水位上升至看似已不再上升，再經約一小時之觀察，仍未見有上升迹象，但久置12小時之後却可看到又有相當程度的上升，故使用銅粉時，非有充裕的時間觀察，無法竟其功，但若選到不純銅材加熱

，則不但「變黑」程度不顯，像「合金導線」加熱，且反呈銀白現象，水位亦不見上升。寫春聯用之銅粉亦一如前述純銅粉，加熱會冒白煙，封閉於試管中加熱，冷卻後水位不但不上升，反而下降。

7. 本實驗為求速效，加熱都唯恐不大不快，但加熱太大太快，則注射筒內液面急遽下降，若低於注射筒底，冒出氣泡，則實驗便不準了。故如何控制火勢，使管內氣體因受熱的「膨脹率」及銅材耗氧的「反應率」共同達成一平衡均勢，使持續加熱，液面保持在注射筒底附近不變，一陣子，再行冷卻，重覆加熱，是為最理想的操作方式，但若持續加熱，完全不冷卻，則恐注射筒底端之氧氣，因對流效應不佳，而無法上升至試管內反應，亦不妥當。實驗結果顯示，如火勢調到「最佳狀況」，每隔10分鐘冷卻一次即可得到理想的效果。

評語：從國中化學中找出較難做的三種實驗，以自己實際經驗中找出改進的方法，並可避免實驗危險。

主題正確，瞭解學理，並有適當的假設方法可行，對實際教學有幫助。

附表：

項 目	處理情況					以鹽酸處理表面 但未用蒸餾水沖洗乾淨					以鹽酸處理表面 並用蒸餾水沖洗乾淨					不 純 銅		
	銅 粉		銅	銅	銅	銅 粉		銅	銅	銅	銅 粉		銅	銅	銅	寫字用之銅粉 春聯之金	合導 金線	黃銅片
品 名	已排煙	未排煙	絲	箔	片	已排煙	未排煙	絲	箔	片	已排煙	未排煙	絲	箔	片			
裝置(試管+導管) 之體積	56 ml	58 ml	61 ml	63 ml	57 ml	67 ml	65 ml	62 ml	63 ml	60 ml	64 ml	66 ml	64 ml	65 ml	68 ml	56 ml	63 ml	67 ml
加熱前注射筒內空氣 體積之讀數	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
加熱前空氣總體積	101	103	106	108	102	112	110	107	108	105	109	111	109	110	103	101	108	112
加熱10分鐘後注射筒 (已調整水位)讀數	43		40	39	44			42	41	44			38	37	43		45	45
此時耗氧體積	2		5	6	1			3	4	1			7	8	2		0	0
再加熱10分鐘後讀數	42		36	34	43			39	38	43			33	31	42		45	45
此時耗氧體積	3		9	11	2			6	7	2			12	14	3		0	0
再加熱10分鐘後讀數	41		33	30	42			37	36	43			30	26	41		45	45
此時耗氧體積	4		12	15	3			8	9	2			15	19	4		0	0
加熱30分耗氧百分比	3.96		11.32	13.89	2.94			7.47	8.33	1.90			13.76	17.27	3.88		0	0
加熱時觀察	經久置 水位又 上升12 小時36	水位下 降	小火變 黑，冷 却後恢 復紫紅 、大	變黑紅 銅絲	同左	水位下 降	水位下 降	同左	同左	同左	水位下 降	水位下 降	同左	同左	同左	強冒煙 水位下 降	加熱不 變銀白	水位不 變黑