

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 地球科學科

佳作

040503

飛塵霧擾－凝結核對霧形成之影響探討

學校名稱：新北市立新北高級中學

作者： 高二 賴坤鴻 高二 李賀平 高二 王玉珍	指導老師： 林立平 陳鈞嗣
---	-----------------------------

關鍵詞：凝結核、霧

摘要

水為地球上重要的角色之一，藉由蒸發、凝結、降雨等過程，影響了能量循環及平衡。雲霧的生成似乎無跡可尋，但當飛機經過，後面常拖著一條凝結尾，有時維持有時稍縱即逝，本研究想探討雲霧的形成受到那些因素影響。已知水氣達飽和是形成雲霧的必要條件，本研究藉由實驗，利用空氣膨脹冷卻效應，使環境達到飽和，並改變其中壓力、濕度、粒子種類，藉由雷射光強度變化作為雲霧生成多寡依據，探討這些變因是否影響雲霧形成。研究發現硫酸銨為最佳之凝結核，此亦為環境中常見之懸浮微粒。亦得知，凝結核之種類與雲霧維持時間無關；且在絕熱膨脹降溫形成雲霧時，同時發生的加熱作用，為抑制雲霧產生的反饋機制，得知，雲霧形成過程較直觀現象更為複雜。

壹、 研究動機

根據國外媒體報導在2013年2月15日，一個巨大火球劃破天際向地平線墜落，相繼劃過俄羅斯、古巴、美西。根據目擊者拍攝的現場片段顯示，空中留下長長有如飛機凝結尾的白色痕跡。在台灣雖然沒有發現過如此情況，但有時候會看到飛機翱翔天際在天空留下的潔白凝結尾，雖然只是薄薄的一層雲，容易被風吹散。根據資料查詢，飛機凝結尾所停留的時間差異甚大，有的時候二、三分鐘就逐漸淡去，有的時候則是駐足好幾個小時。這時，突然一個問題出現在腦海裡：「水滴，為什麼有時會稍縱即逝，有時卻停留許久？」水為地球上重要的角色之一，藉由蒸發、凝結、降雨等過程，扮演了能量循環及平衡的角色；雖然我們無法模擬天上雲朵的形成，但想去探討什麼因素影響雲霧的形成，以及其存在時間的長短，是否因為飛機或隕石在行經途中留下了某些物質，有利於雲霧形成，本研究藉由改變環境條件，以及提拱不同種類的懸浮微粒，探討這些因素對於雲霧形成及維持時間之影響。



圖 1 2013 年 2 月 15 日於俄羅拍攝隕石飛過留下的痕跡 (由 Chelyabinsk.ru 拍攝)

貳、 研究目的

懸浮微粒的存在有利於雲霧的形成，這些粒子的來源多且廣，不同種類的粒子是否會有不同的效果，此外除了粒子存在與否及種類的影響，本研究亦探討其他物理量，如壓力變化、環境相對濕度等，是否也會對雲霧的形成也有所改變。

研究背景

一、懸浮微粒及凝結核

懸浮微粒指懸浮在空氣當中的固體顆粒或液滴，為空氣污染的一個主要來源。其中，粒子直徑小於等於 $10\ \mu\text{m}$ 的懸浮粒子稱為可吸入懸浮粒子，也稱 PM_{10} 。直徑小於等於 $2.5\ \mu\text{m}$ 的粒子稱為細懸浮微粒，也稱 $\text{PM}_{2.5}$ 。其成分很複雜，主要取決於其來源，從地表揚起的塵土，含有氧化物礦物和其他成分。海鹽是懸浮粒子的第二大來源，而其組成與海水的成分類似。懸浮粒子也會經由自然過程產生，源自火山爆發、沙塵暴、森林火災、浪花等。細懸浮微粒主要由硫和氮的氧化物轉化而成，這些污染物大多是化石燃料和垃圾的燃燒所造成，柴油汽車、機車及飛機等交通工具也是細懸浮粒子的來源。

雲凝結核 (Cloud condensation nuclei)，又稱凝結核，當水氣凝結為液滴時，作為凝結核心的粒子。在只有純水氣的環境中，水分子間的相互作用較小，一般條件的溫度下降，無法使過飽合環境下的水分子相互凝聚成為液態，需要降低至零下 40 度；若此時有恰當之固態表面可以做為媒介，使表面上聚集之水分子間產生較大之作用並且持續和氣態水分子作用凝結成液態，若此固體為微小之顆粒，則水之冷凝發生於顆粒之表面上並且快速將顆粒包裹而成為微小霧滴，若溫度夠低時將不生成霧滴，而是於凝結核上直接生成水之固態結晶，結晶持續成長後成為肉眼可見之雪花。許多懸浮微粒就具有雲凝結核的特性，它們可以增加小雲滴的數量。大氣懸浮微粒含量增加，可能造成下列的影響：雲內的雲滴數目增加，尺寸偏小不易形成降水，雲的生命期因此變長。

二、絕熱壓縮與絕熱膨脹

(一) 絕熱壓縮

在密閉的瓶內進行加壓時，因為瓶內空氣壓縮而導致內部空氣密度增加，使空氣分子之間的距離縮小，所以分子之間互相碰撞的機率變大，同時不考慮瓶內與外界有能量交換，空氣溫度上升。

(二) 絕熱膨脹

當一團空氣壓力降低時，體積膨脹，為了推開四周的空氣而耗損本身的能量，因此溫度下降。於本實驗中，藉由加壓後快速釋壓造成瓶內空氣降溫，產生雲霧。

三、飛機凝結尾

當飛機劃越天際，而且環境的條件合適，飛機所排放的廢氣就可能在飛機後方產生出凝結尾，也可以說是飛機引擎燃燒的副產品，與寒冬「呵氣成霧」的原理有異曲同工之妙。一般雲大多是因為濕空氣上升冷卻所致，凝結尾則是飛機廢氣中的熱氣與飛航高度極冷的空氣混合冷卻而成；一般飛航高度大約在八千五百至一萬二千公尺之間，該處氣溫介於攝氏零下三十度至六十度。但飛機排放的廢氣並非只含水汽，也還包含二氧化碳、氧化硫、氧化氮、碳氫化合物、一氧化碳、燃燒不完全的燃料、煤灰及金屬微粒等。

這些微粒在凝結尾的形成中扮演相當重要的角色，它們可當作凝結核，讓水汽由此開始凝結成雲低或冰晶，飛機排放的廢氣正好為「種雲」(cloud seeding)提供了必要的成分，故飛機廢氣中濕熱的氣體與這些冷空氣一混合，溫度迅速降低，結果其中一些水分形成水滴，在飛機後方約一個機身距離處立刻凍結為冰晶。

然而，飛機不一定會產生凝結尾，凝結尾的外觀與持續時間取決於飛航高度的大氣狀況，如果周圍空氣相對較為溫暖而乾燥，冰晶可能還來不及成形就蒸發掉了。相反的，如果周圍空氣相對是較濕冷的，便有利於產生凝結尾，不但很容易形成冰晶，並且可以從周圍空氣聚集更多水分，再加上風的助勢，冰晶便越長越大，但不同區域的空氣濕度及溫度可能會有明顯差異，因此飛機經過不同區域時，凝結尾便時斷時續。因此利用這點特性，可將凝結尾視為判斷對流層頂之濕度及溫度狀態的線索，作為判斷天氣變化的徵兆。



圖 2 飛機行經留下凝結尾，於學校內拍攝

四、生活中常見的凝結核

本實驗欲探討不同的凝結核對雲霧形成的影響，為了較符合現實條件，故選用一般較常見的懸浮微粒組成，針對單一成分進行比較。

(一) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

硫酸銨外觀為白色吸濕性顆粒或晶體，易溶於水，為大氣中懸浮微粒人為來源的主要組成之一，其來源為燃煤電廠燃燒高硫煤，產生大量的 SO_2 、 NO_x ，再與農產區產生之氨氣(NH_3)，在大氣環境中經化學反應而生成，往往造成空氣品質惡化。

(二) NaCl

屬白色晶體，吸水性強，倘空氣濕度逾70%，會產生潮解；為大氣懸浮微粒中，自然來源的主要成分之一，氯化鈉為海洋中的主要鹽類，當有波浪或碎浪時，海水液滴懸浮於空中，水蒸發後形成鹽類結晶，常於沿海可觀測到。

(三) 線香

香是一種木材粉末和一些添加的香料、藥劑、粘合劑做成的用於燃燒的物品。在其燃煙中分別含有親水性及疏水性的物質，疏水性較高的微粒因不易與水滴凝結，所以可以在空中懸浮較長的時間。於日常生活中易接觸，為空氣污染的來源之一。

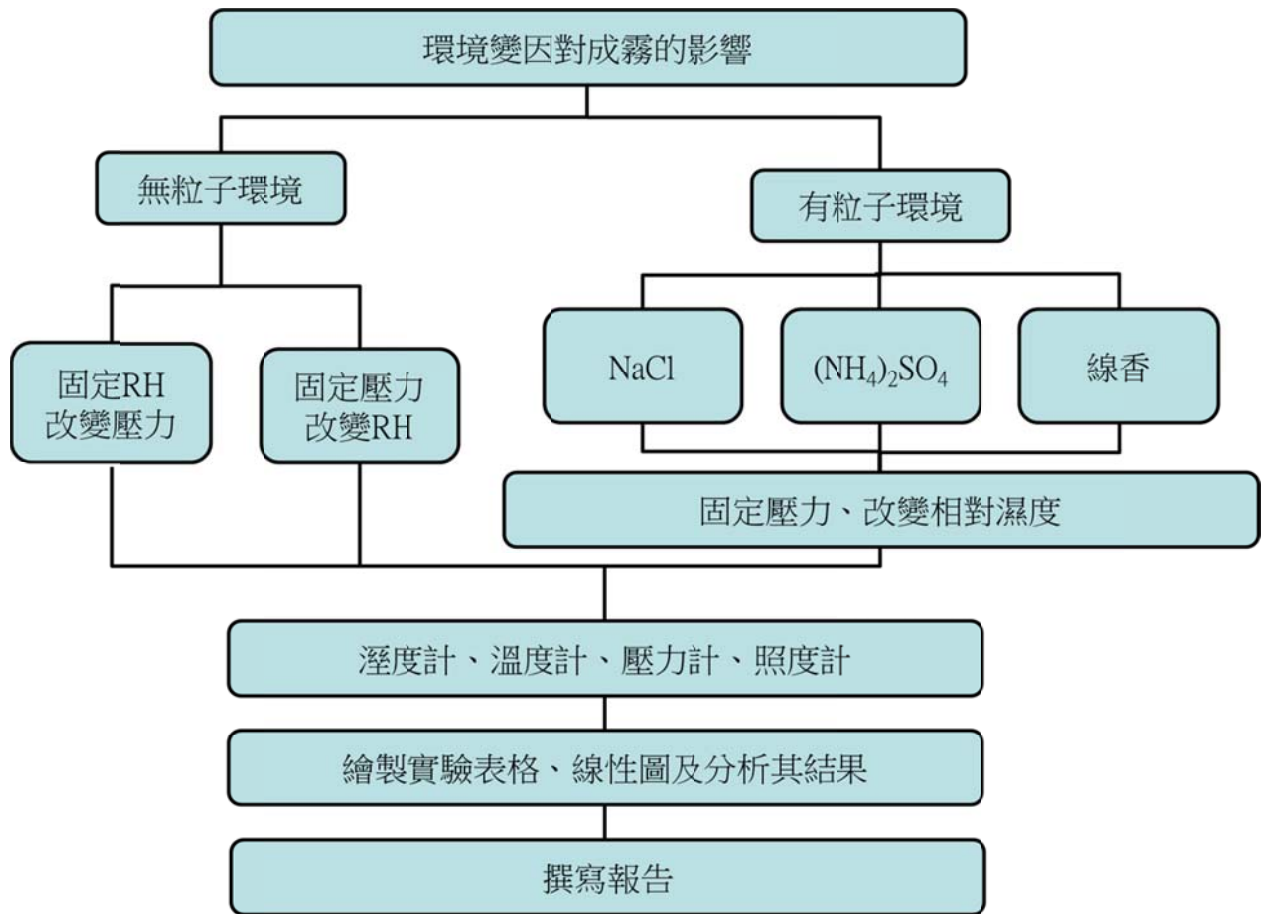
五、飽和鹽類水溶液法

在定溫環境下，將飽和鹽液放置於密閉容器，經過一段時間達平衡後，即可得到一定點的相對濕度值，這是最方便、成本低廉產生環境相對濕度的方法。

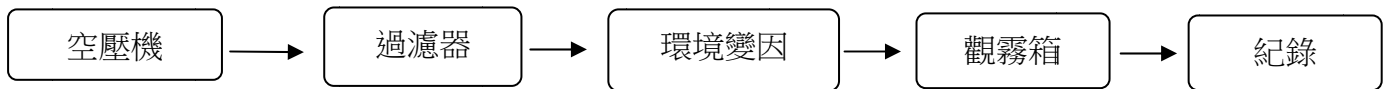
參、 研究器材

壓力計、溼度計、溫度計、照度計、寶特瓶、矽膠塞、NaCl、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、線香、氯化鋰、硝酸鎂、硝酸鉀、空壓機、幫浦、碼表、照相機、中性填縫劑、乾燥劑、強力膠、雷射筆、過濾管。

肆、 研究過程



一、實驗流程概述



利用空氣減壓膨脹冷卻之作用，達到空氣降溫，有利於雲霧形成。



(A)空壓機



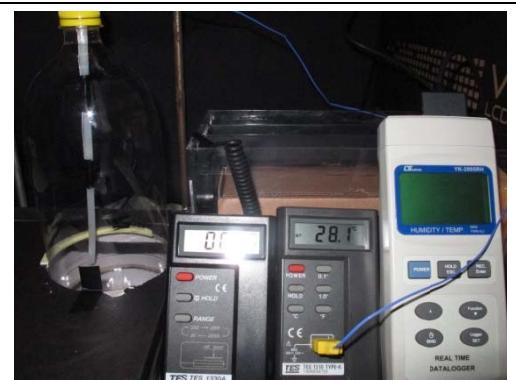
(B)過濾管



(C)利用粒子計數器過濾管
測試



(D)過濾前後數據



(E)觀霧箱

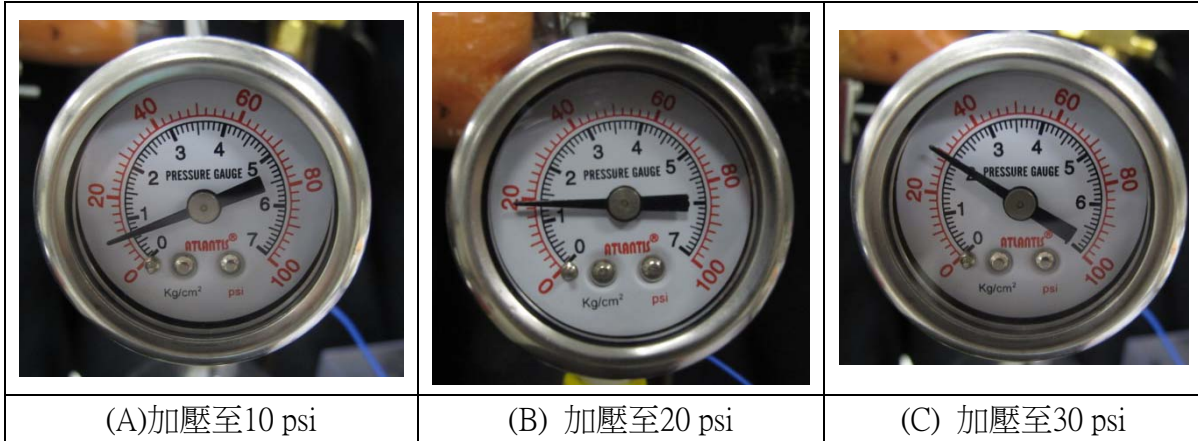
- (一) 利用空壓機打氣進入裝置，加壓至實驗所需的壓力。
- (二) 藉由過濾管使空氣清淨，使進入瓶內的空氣不含有粒子。
- (三) 觀霧箱上裝有壓力計、溼度計、溫度計，觀察各物理量之變化，。
- (四) 以乾空氣加壓：為了使相同體積下的相對濕度不變。

二、環境變因

(一) 不含有粒子的條件

1. 改變壓力

於固定相對濕度下，探討壓力變化程度對於雲霧形成之影響。



- (1) 利用不同流速的氣流分別通過乾溼瓶調整至所需要的相對濕度。
- (2) 以乾空氣加壓至不同壓力(10、20、30psi)；根據實驗測試，30psi所產生之差異較為明顯，故下列實驗皆以30psi進行加壓。
- (3) 洩壓並記錄其情形。

2. 改變相對濕度

改變環境相對濕度，加壓至固定的壓力值，探討濕度對於雲霧形成之影響。

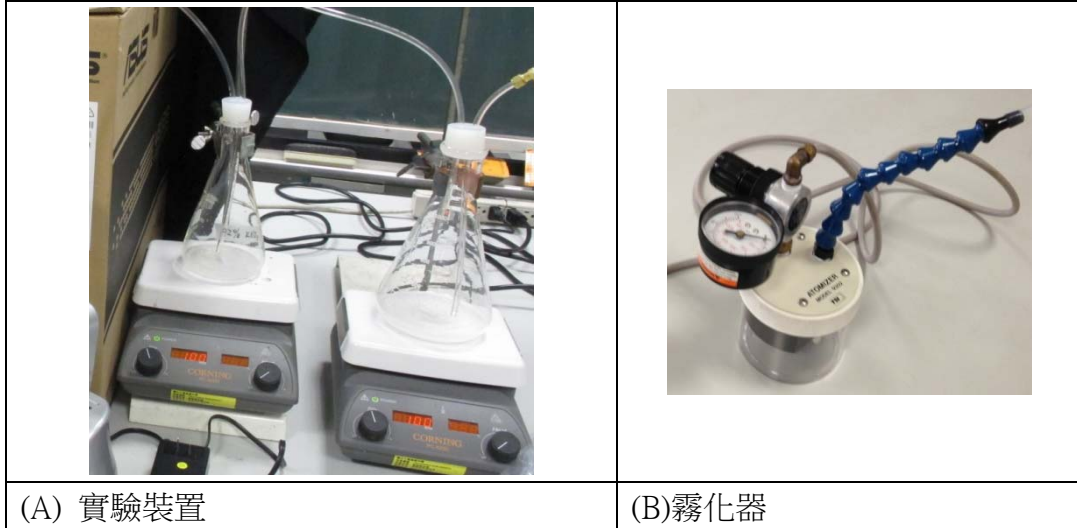


- (1) 藉由氯化鈉和不同相對濕度的飽和鹽類水溶液(11%、52%、92%)分別放入兩個密封的錐形瓶中，再利用電磁攪拌器，經一段時間後，使通入空氣達到所需之相對濕度。
- (2) 以乾空氣加壓
- (3) 洩壓並記錄其情形。

(二) 含有粒子的條件

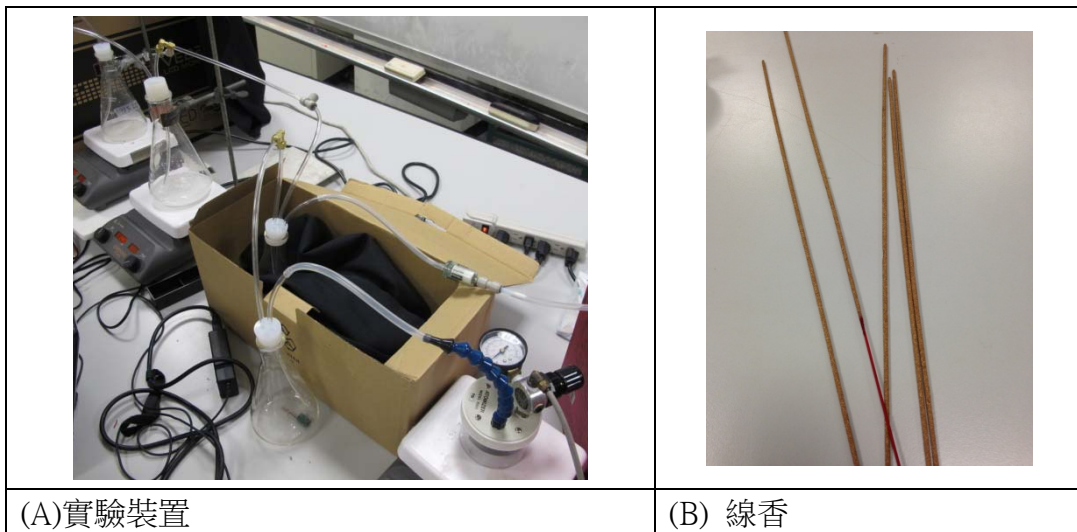
於環境中添加常見、吸濕性佳的鹽類粒子，於固定壓力變化下，改變環境相對濕度，探討在相同的濕度及壓力變化下，不同粒子對於雲霧形成的差異；以及同一種粒子，於不同相對濕度條件中，是否有所差異，藉此比較各粒子之性質

1. 鹽類粒子 NaCl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$



- (1) 將鹽類溶於水(配 10^{-3}M)放入霧化器內，利用幫浦加壓至10 psi產生霧滴。
- (2) 以飽和鹽類水溶液法控制相對濕度，粒子同時進入裝置中。
- (3) 利用粒子計數器測量粒子數量
- (4) 以乾空氣加壓
- (5) 洩壓並記錄其情形。
- (6)

2. 非鹽類粒子(線香)



1. 將線香點燃，放入錐形瓶中。
2. 通過空的錐形瓶，混入乾淨的空氣，以避免粒子數量過多。
3. 以飽和鹽類水溶液法控制相對濕度
4. 以乾燥空氣進行加壓。
5. 洩壓並記錄其情形。

伍、 研究結果

一、加壓程度及環境相對濕度對霧形成的影響

此部分探討兩個變因，一為壓力變化程度，另一為環境相對濕度，固定其中一者改變另一項因素，看兩者是否會影響成霧的結果，並藉由洩壓前後照度的變化，來做為霧產生多寡的依據。表 1 中洩壓前後溫度變化明顯，加壓至10psi的平均下降13.2度，20psi平均下降14.9度，30psi則平均下降20.3度，可以得知當壓力變化程度越大時溫度改變越大。

此外由圖 3 可得知，於固定壓力條件下，濕度愈大照度下降愈多，且在各組實驗皆發現一致的結果；而當濕度固定時，壓力變化程度越大，於低相對濕度環境之照度變化越明顯，表示形成雲霧效果較佳，但於中高相對濕環境中，壓力變化對於雲霧形成之影響的趨勢較不明顯。因此，由本實驗的結果推測，水氣含量變化所造成的影響，較壓力變化導致降溫之影響來得顯著。

表 1 於不同相對濕度環境，分別加壓至 10psi、20psi、30psi，洩壓前後之照度及溫度變化。

編號	室溫 (°C)	壓力 (psi)	RH (%)	加壓前 LUX	洩壓前 LUX	洩壓前 溫度	洩壓後 LUX	洩壓後 溫度	粒子數量 (#/L)	水滴維持 時間(s)	洩壓前後 LUX 百分比
1	30.5	10	86	650	647	42.7	578	28.7	0	9	10.66%
2	30.7	10	85.9	641	643	41.7	614	29.2	0	7	4.51%
3	30.4	10	85.3	640	636	41.2	611	28.8	4	8	3.93%
4	30.1	10	60.6	654	651	41.6	633	28	797	6	2.76%
5	30.2	10	60.6	651	655	41.9	637	27.9	34	5	2.75%
6	30.1	10	60.6	653	648	41.3	628	26.9	4	6	3.09%
7	30	10	30.2	657	648	41.4	642	28.2	20	2	0.93%
8	29.9	10	29	665	653	42.2	647	28.7	0	2	0.92%
9	29.9	10	29.6	668	642	40.4	647	28.5	2	1	-0.78%
10	30.2	20	84.8	646	646	44.7	583	27.4	4	8	9.75%
11	30.3	20	84.4	653	653	42.2	615	28.9	0	8	5.82%
12	30.2	20	84.1	647	647	40.4	604	27.3	0	7	6.65%
13	30	20	60.4	656	643	44.7	583	27.4	9	7	9.33%
14	30.1	20	60.5	659	658	42.8	615	28.9	6	6	6.53%
15	30.1	20	60.9	660	645	42	604	27.3	2	6	6.36%
16	30	20	30.1	664	650	42.9	636	28.1	0	4	2.15%
17	29.8	20	30.6	662	649	44.8	647	29.1	0	3	0.31%
18	30	20	30.6	655	651	44.4	641	27.7	2	4	1.54%
19	30.1	30	84.3	657	653	46.9	610	27.3	0	9	6.58%
20	30	30	84.5	654	657	48.2	603	27.5	11	7	8.22%
21	30.1	30	83.7	659	650	47.1	601	26.6	0	9	7.54%
22	30	30	60.8	663	653	47.8	601	27.3	0	6	7.96%
23	30.2	30	60.6	650	643	48.2	600	27.5	11	8	6.69%
24	30	30	60.9	660	638	47.7	605	26.6	0	7	5.17%
25	29.8	30	30.5	650	647	47.6	625	27.9	2	4	3.40%
26	30.4	30	30.3	652	662	48.2	620	27.7	2	4	6.34%
27	30.1	30	30.8	662	651	47.7	621	28.1	0	4	4.61%

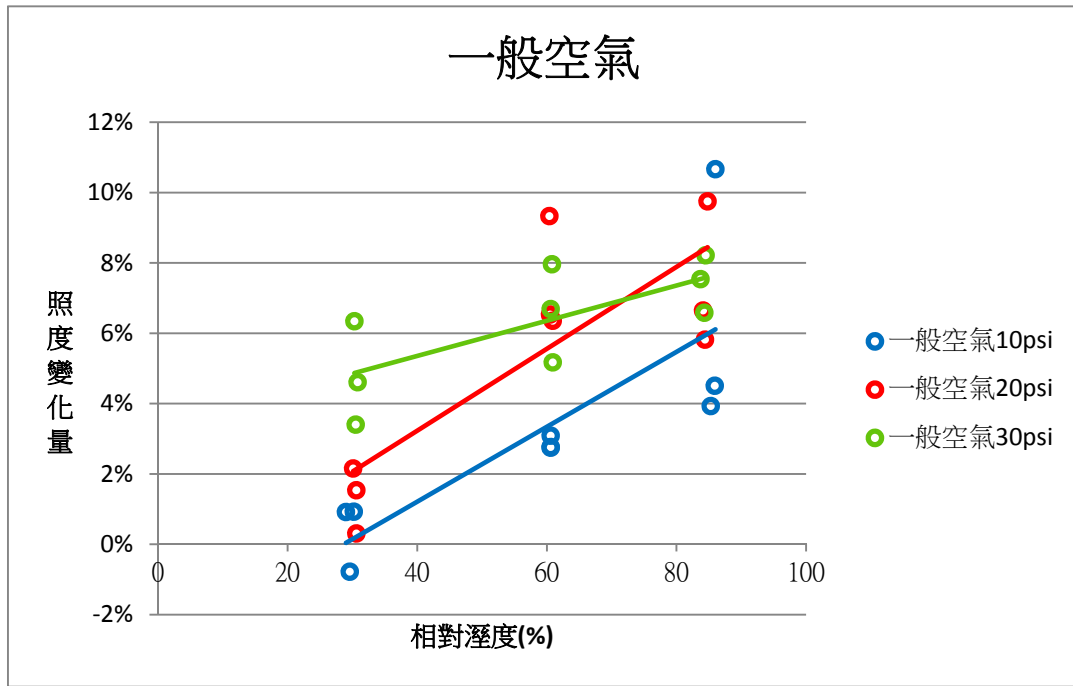


圖 3 於不同相對濕度環境，分別加壓至 10psi(藍色)、20psi(紅色)、30psi(綠色)，其照度之前後改變比例，直線為三種不同壓力條件之最適曲線。

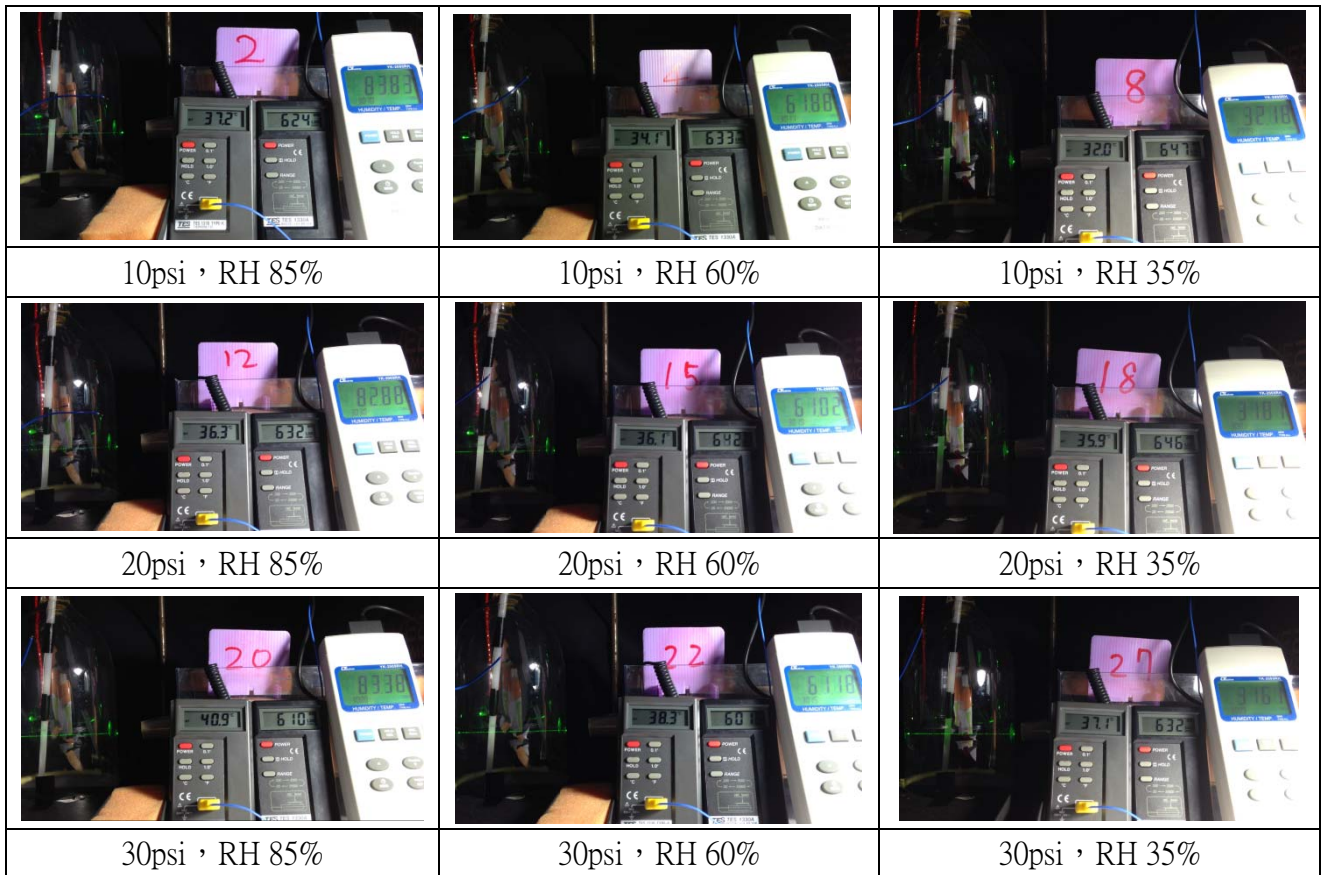


圖 4 加壓至 10、20、30psi，所產生的雷射筆路徑、照度變化、溫度變化，以及相對濕度變化。

二、乾粒無粒子環境

於表 2 中可觀察到，溫度變化約為攝氏負21度，當相對濕度越高時，霧的維持時間越長。此外如圖 5 所示，相對濕度愈高，照度的變化就愈大，下降約0%~10%。

表 2 乾淨空氣於不同相對濕度環境，加壓至 30psi，洩壓前後之照度及溫度變化及維持時間。

編號	室溫 (°C)	壓力 (psi)	RH (%)	加壓前 LUX	洩壓前 LUX	洩壓前 溫度	洩壓後 LUX	洩壓後 溫度	粒子數量 (#/L)	水滴維持 時間(s)	洩壓前後 LUX 百分比
19	30.1	84.3	657	653	46.9	610	27.3	0	9	6.58%	6.58%
20	30	84.5	654	657	48.2	603	27.5	11	7	8.22%	8.22%
21	30.1	83.7	659	650	47.1	601	26.6	0	9	7.54%	7.54%
22	30	60.8	663	653	47.8	601	27.3	0	6	7.96%	7.96%
23	30.2	60.6	650	643	48.2	600	27.5	11	8	6.69%	6.69%
24	30	60.9	660	638	47.7	605	26.6	0	7	5.17%	5.17%
25	29.8	30.5	650	647	47.6	625	27.9	2	4	3.40%	3.40%
26	30.4	30.3	652	662	48.2	620	27.7	2	4	6.34%	6.34%
27	30.1	30.8	662	651	47.7	621	28.1	0	4	4.61%	4.61%

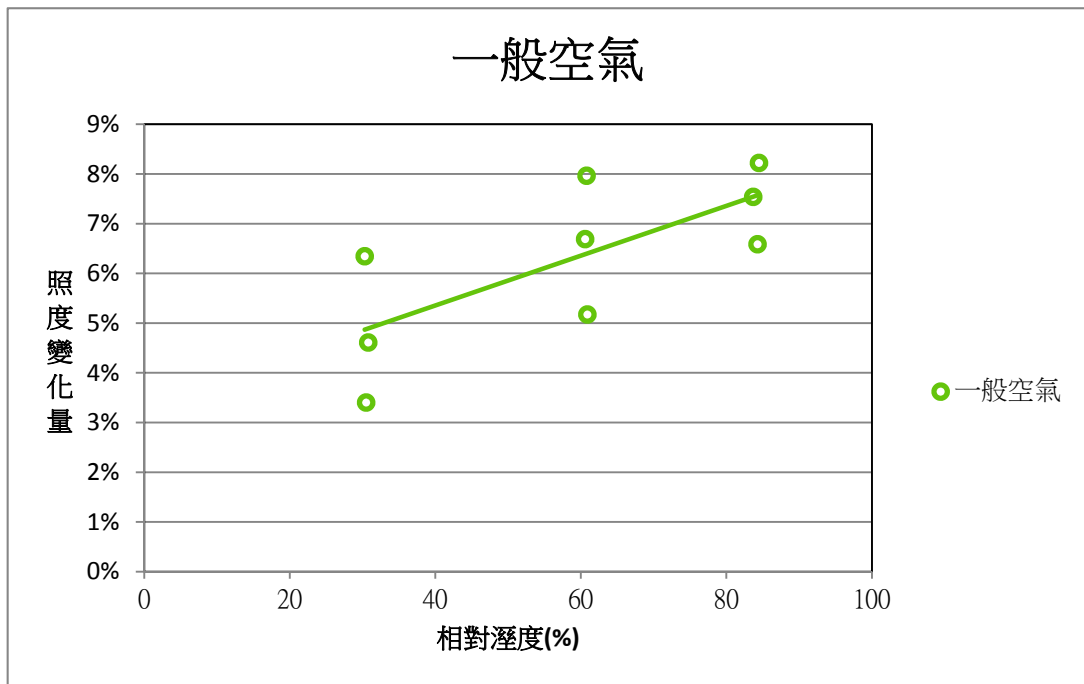


圖 5 於乾淨無添加粒子的環境，控制不同相對濕度，加壓至 30psi，洩壓前後之照度變化比例。

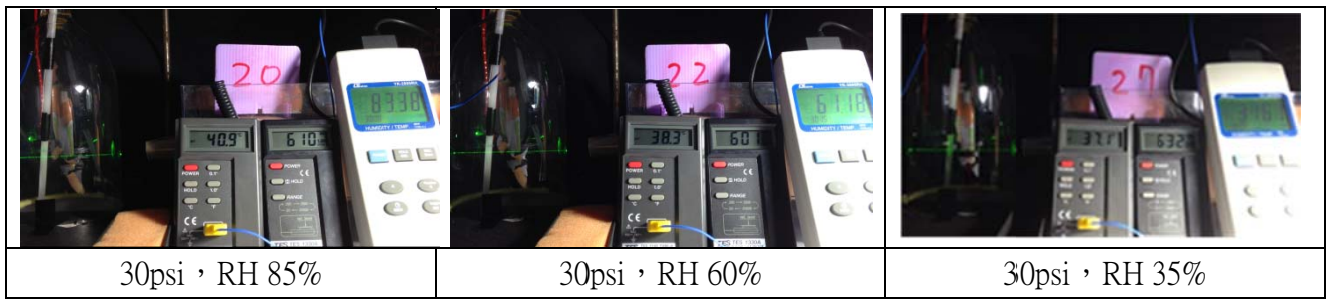


圖 6 由左至右分別為相對濕度約 85%、60%及 35%的條件，加壓至 30psi 洩壓後之結果，由雷射筆隻綠光可明顯觀察到霧的生成。

三、加入凝結核對成雲的影響

(一) NaCl

於表 3 中可觀察到，溫度變化約為攝氏 22 度，當相對濕度約高時，霧的維持時間越長。此外如圖 7 所示，相對濕度愈高，照度的變化就愈大，下降約 35%~50%。

表 3 添加氯化鈉粒子的環境，控制不同相對濕度，加壓至 30psi，洩壓前後之溫度、照度變化及維持時間。

編號	室溫 (°C)	壓力 (psi)	RH (%)	加壓前 LUX	洩壓前 LUX	洩壓前 溫度	洩壓後 LUX	洩壓後 溫度	粒子數量 (#/L)	水滴維持 時間(s)	洩壓前後 LUX 百分比
46	29	30	88.2	642	638	45.9	332	25.2	202984	10	47.96%
47	29.1	30	88	642	618	48.1	305	26.9	193097	10	50.65%
48	29.2	30	86.7	654	629	46.4	312	27.5	206672	9	50.40%
49	29.1	30	65.5	640	633	46.5	394	27.8	153587	9	37.76%
50	29.2	30	65.1	642	637	46.3	401	24.7	156958	8	37.05%
51	29	30	64.9	638	630	45.7	390	25.4	158498	7	38.10%
52	29	30	38.8	644	639	46.7	417	24.8	3019	6	34.74%
53	29.2	30	38.5	643	645	46	409	24.7	3232	5	36.59%
54	29	30	38.2	642	637	46.1	404	25.1	4109	5	36.58%

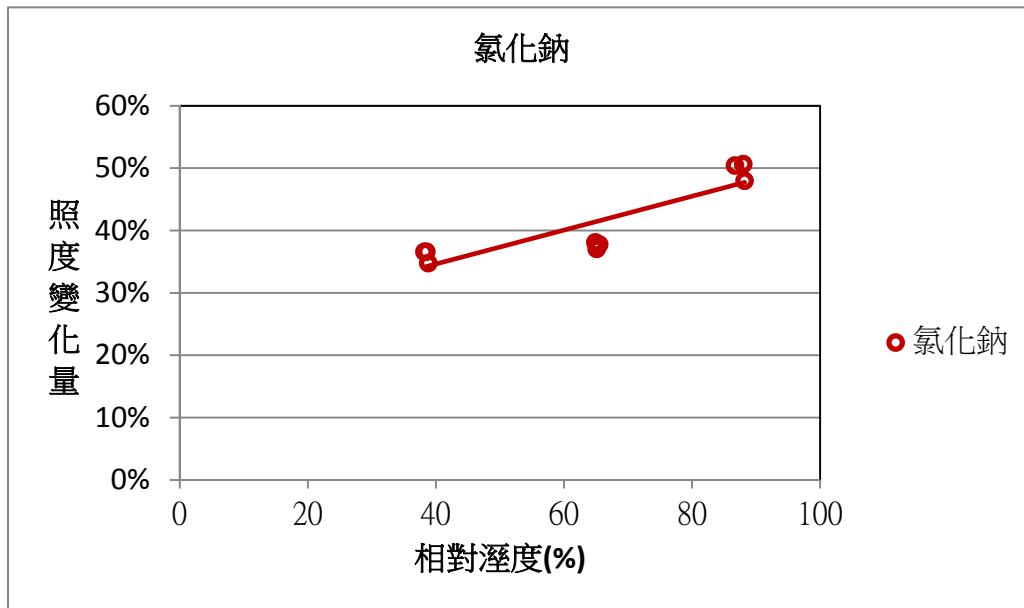


圖 7 添加氯化鈉粒子的環境，控制不同相對濕度，加壓至 30psi，洩壓前後之照度變化比例。

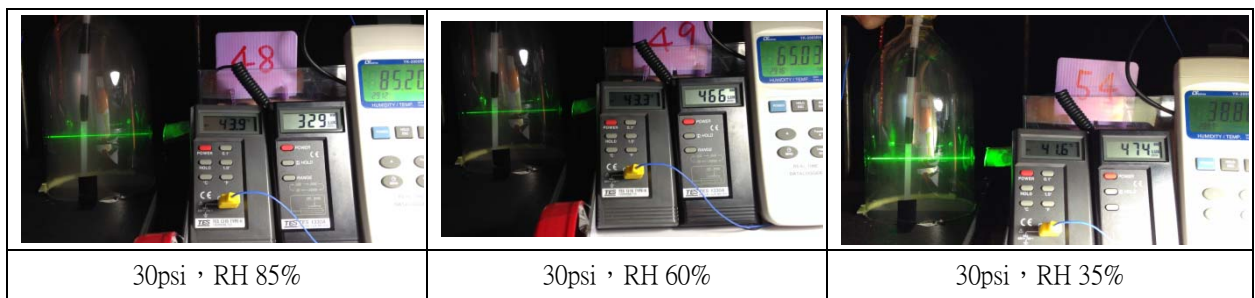


圖 8 含有氯化鈉粒子的條件，由左至右分別為相對濕度約 85%、60%及 35%的條件，加壓至 30psi 洩壓後之結果，由雷射筆隻綠光可明顯觀察到霧的生成。

(二) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

於表 4 中可觀察到，溫度變化約為攝氏 20 度，當相對濕度約高時，霧的維持時間越長。此外如圖 9 所示，相對濕度愈高，照度的變化就愈大，下降約 30%~60%。

表 4 添加硫酸銨粒子的環境，控制不同相對濕度，加壓至 30psi，洩壓前後之溫度、照度變化及維持時間。

編號	室溫 (°C)	壓力 (psi)	RH (%)	加壓前 LUX	洩壓前 LUX	洩壓前 溫度	洩壓後 LUX	洩壓後 溫度	粒子數量 (#/L)	水滴維持 時間(s)	洩壓前後 LUX 百分比
37	29.6	30	89.6	634	629	46.1	298	26.8	208088	11	52.62%
38	29.5	30	89.7	638	648	46.8	283	27.6	207838	10	56.33%
39	29.5	30	90	639	629	46.1	210	25.6	217907	10	66.61%
40	29.7	30	64.1	630	636	46.2	360	27.1	204814	7	43.40%
41	29.6	30	64.5	640	643	45.3	336	28.3	209778	7	47.74%
42	29.7	30	66	635	634	46.5	337	25.6	191671	7	46.85%
43	29.6	30	37.7	625	620	45.2	458	25.8	191800	5	26.13%
44	29.5	30	37.1	625	635	47	432	25.2	192969	5	31.97%
45	29.5	30	37.8	625	630	46.7	427	24.4	207671	5	32.22%

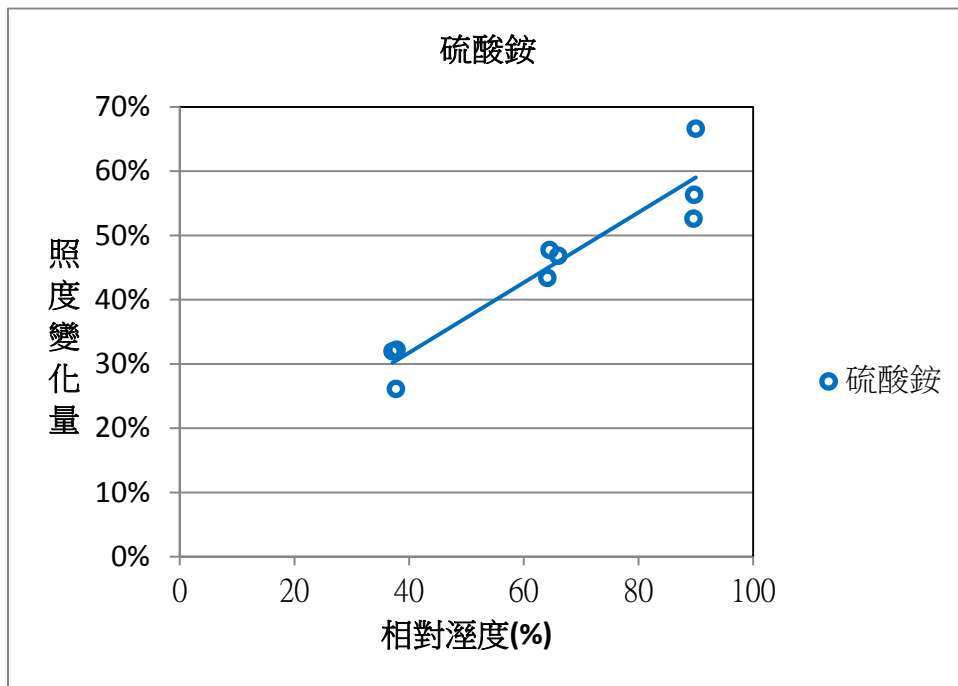


圖 9 添加硫酸銨粒子的環境，控制不同相對濕度，加壓至 30psi，洩壓前後之照度變化比例。

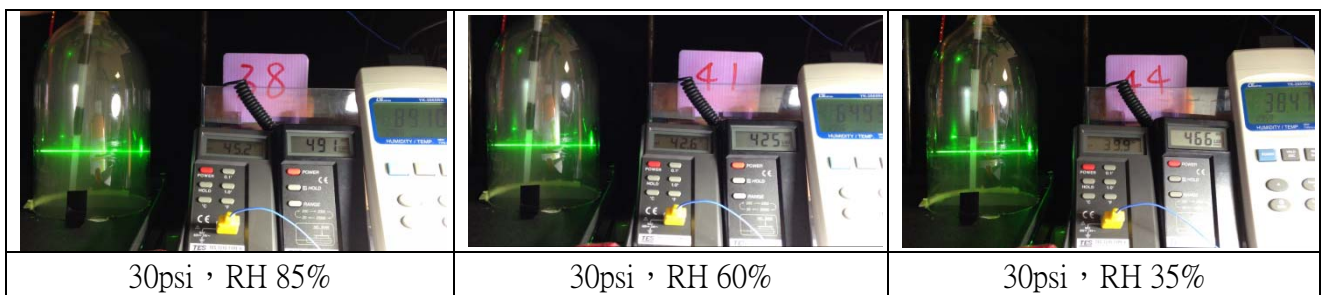


圖 10 含有硫酸銨粒子的條件，由左至右分別為相對濕度約 85%、60%及 35%的條件，加壓至 30psi 洩壓後之結果，由雷射筆隻綠光可明顯觀察到霧的生成。

(三) 線香

於表 5 中可觀察到，溫度變化約為攝氏 21 度，當相對濕度約高時，霧的維持時間越長。此外如圖 11 所示，相對濕度愈高，照度的變化就愈大，下降約 10%~30%。

表 5 添加線香燃燒粒子的環境，控制不同相對濕度，加壓至 30psi，洩壓前後之溫度、照度變化及維持時間。

編號	室溫 (°C)	壓力 (psi)	RH (%)	加壓前 LUX	洩壓前 LUX	洩壓前 溫度	洩壓後 LUX	洩壓後 溫度	粒子數量 (#/L)	水滴維持 時間(s)	洩壓前後 LUX 百分比
55	29.1	30	34	625	660	45.6	588	24.3	669790	6	10.91%
56	29.2	30	33.8	650	657	45.3	583	26.4	754148	5	11.26%
57	29	30	33.5	656	659	46.3	575	25.9	767730	5	12.75%
58	29	30	59.6	661	671	46.4	542	25.5	698460	6	19.23%
59	29.2	30	53.4	657	662	47.4	620	24.5	269403	5	6.34%
60	29	30	60.8	658	659	45.8	512	24.4	790689	7	22.31%
61	29.7	30	62.2	657	667	47.3	609	25	449348	6	8.70%
62	29.6	30	83	660	645	45.9	601	27	1296144	6	6.82%
63	29.7	30	85.2	655	659	45.8	379	25.5	782438	10	42.49%
64	29.6	30	85.4	655	662	45.8	435	26.6	864230	9	34.29%

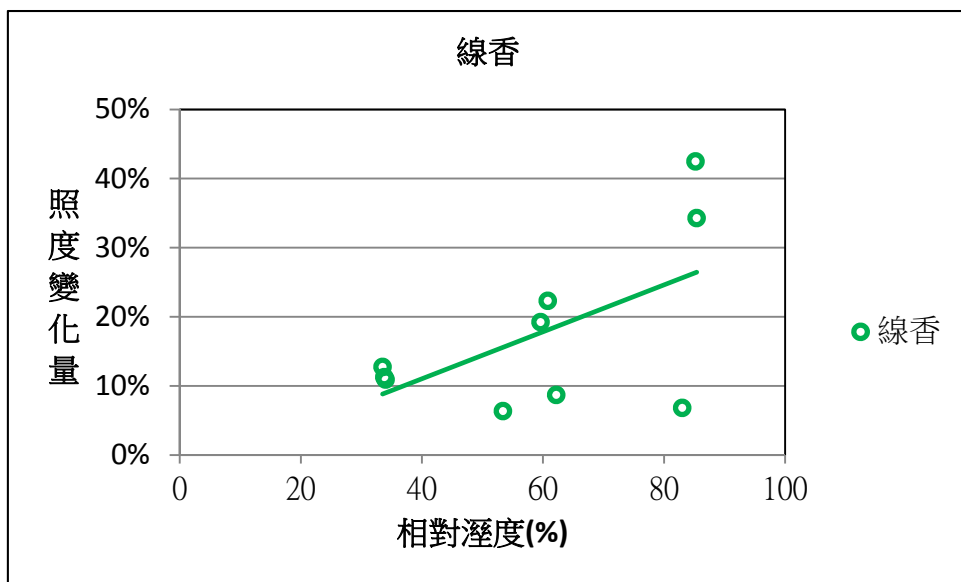


圖 11 添加線香燃燒粒子的環境，控制不同相對濕度，加壓至 30psi，洩壓前後之照度變化比例。

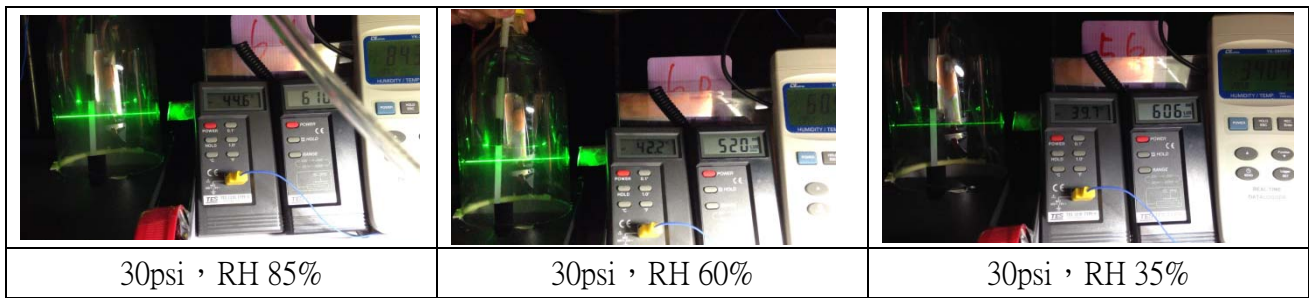


圖 12 含有線香粒子的條件，由左至右分別為相對濕度約 85%、60%及 35%的條件，加壓至 30psi 洩壓後之結果，由雷射筆的綠光可明顯觀察到霧的生成。

四、綜合比較

將乾淨空氣及添加三種不同粒子的條件進行比較，由圖 13 可發現，粒子數量上硫酸銨與氯化鈉差異不大約 20 萬，且分布相近主要分布在 0.3~0.5 μm ，而線香粒子主要分布在 0.3~20 μm ，總數量約為 80 萬。

由實驗過程觀察與表 6 中得知，在有粒子(以氯化鈉為例)的環境中，相同壓力下，相對濕度越低，洩壓後其溫度降低越多；雲霧產生量越少。結果如下：

$\text{RH } 30\% \sim 40\% (-21.4^\circ\text{C}) > \text{RH } 55\% \sim 65\% (-20.2^\circ\text{C}) > \text{RH } 80\% \sim 90\% (-20.3^\circ\text{C})$

$\text{RH } 30\% \sim 40\% (\text{霧量少}) < \text{RH } 55\% \sim 65\% (\text{霧量中}) < \text{RH } 80\% \sim 90\% (\text{霧量多})$

在相同壓力下，洩壓產生的絕熱降溫本應相同，然由上比較結果得知，高相對濕度降溫少，產生雲霧量多，乃因較多水氣凝結，放熱過程提供較多熱量，而導致洩壓後溫度下降少，反之，於低相對濕度的情況下，較少水氣凝結，放熱過程提供較少熱量，而溫度下降較多，由此一現象可發現，在絕熱膨脹降溫形成雲霧時，同時發生的加熱作用，為抑制雲霧產生的反饋機制，得知，雲霧形成過程較直觀現象更為複雜。

由圖 14 乾淨空氣與添加粒子之實驗結果，當環境中無粒子時，洩壓前後之照度變化量約為 0%~10%，而當有粒子存在時，照度變化程度較大，食鹽 35%~50%、硫酸銨 30%~60%、線香 10%~30%，得知，於本實驗中硫酸銨為最佳之凝結核，此亦為環境中常見之懸浮微粒。

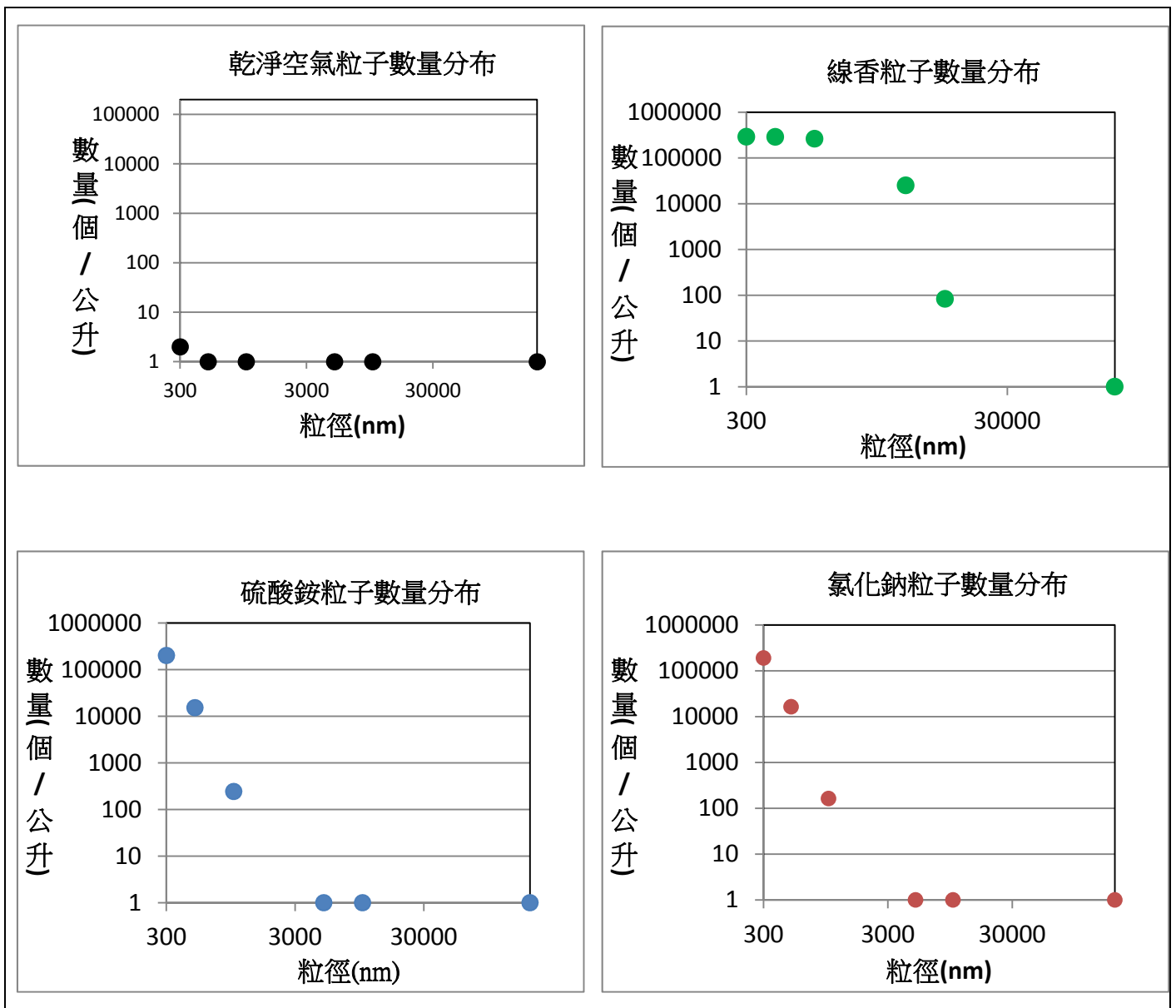


圖 13 乾淨空氣、氯化鈉、硫酸銨、線香粒子之粒徑分布

表 6 乾淨空氣與添加粒子之實驗結果，將相近之相對濕度條件進行平均

乾淨空氣(粒徑 0.3~20 μ m 數量<10 個/公升)				硫酸銨(平均粒子數量 206675 個/公升)			
RH	30%~40%	55%~65%	80%~90%	RH	30%~40%	55%~65%	80%~90%
照度變化量	4.78%	6.61%	7.45%	照度變化量	30.11%	46.00%	58.52%
溫度變化(攝氏)	-19.93	-20.77	-20.27	溫度變化(攝氏)	-21.17	-19	-19.67
維持時間(秒)	4	7	8.3	維持時間(秒)	5	7	10.3
氯化鈉(平均粒子數量 217910 個/公升)				線香(平均粒子數量 864231 個/公升)			
RH	30%~40%	55%~65%	80%~90%	RH	30%~40%	55%~65%	80%~90%
照度變化量	35.67%	37.63%	49.67%	照度變化量	11.64%	14.14%	27.87%
溫度變化(攝氏)	-21.4	-20.2	-20.3	溫度變化(攝氏)	-20.2	-21.9	-19.5
維持時間(秒)	5.3	8	9.7	維持時間(秒)	5.3	6	8.3

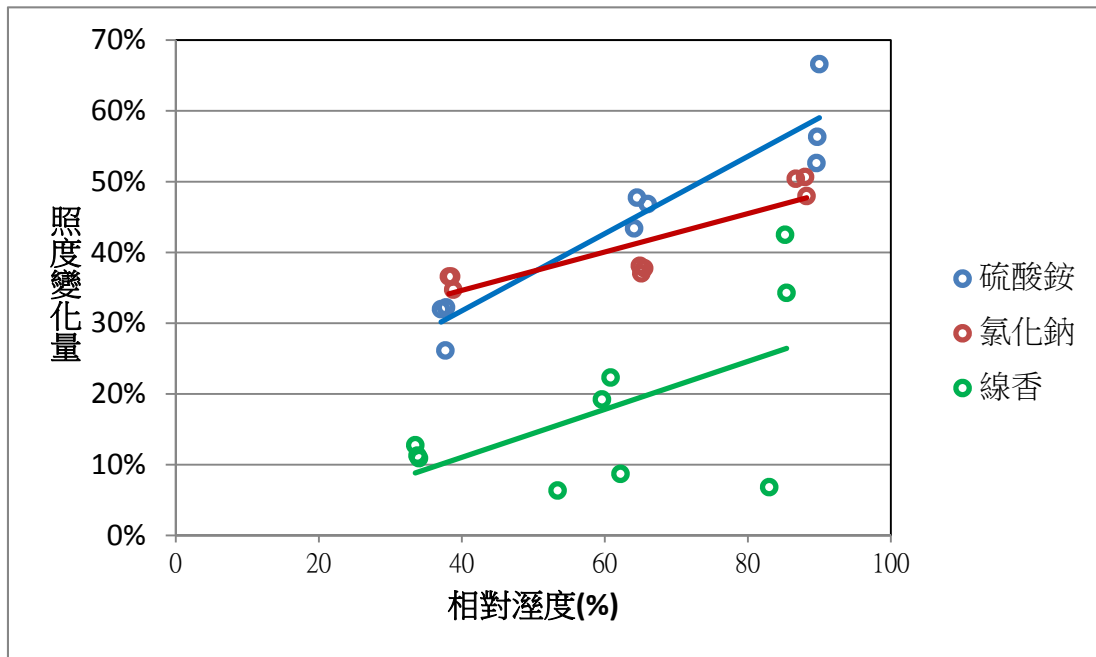


圖 14 添加硫酸銨、氯化鈉、線香燃燒粒子的環境，控制不同相對濕度，加壓至 30psi，洩壓前後之照度變化比例。

陸、 討論

一、 粒子存在與否對小水滴形成之影響

由表6 乾淨空氣與添加粒子之實驗結果，當環境中無粒子時，洩壓前後之照度變化量約為0%~10%，而當有粒子存在時，照度變化程度較大，食鹽35%~50%、硫酸銨30%~60%、線香10%~30%，推測粒子在實驗中扮演了重要的角色，有助於水滴之形成。許多研究中也指出，大氣中的懸浮微粒對成雲十分重要，扮演了凝結核的角色，當水蒸氣凝結時，以粒子做為核心，提供一表面使其上面聚集之水分子間產生較大的作用，並且持續和氣態水分子作用而造成冷凝，若此固體為微小之顆粒，則水之冷凝發生於顆粒之表面上並且快速將顆粒包裹而成為微小霧滴；而在乾淨環境中水氣欲自行凝結需降溫至攝氏負40度以下，由此可知，在有粒子存在的空氣裡較容易形成小水滴。

二、 不同粒子的影響

由許多研究中顯示，鹽類粒子的吸濕性佳，為好的凝結核材料，而線香中燃燒後的成分複雜，含有親水性有機成分，亦可作為凝結核實驗中也看出，三者確實有助於霧的形成，而將三者進行比較，以硫酸銨的效果最好，食鹽次之線香第三。由粒子計數器之結果顯示，硫酸銨以及食鹽的粒子數量及分布相近，主要為 0.3~0.5 μm 的粒子，數量約 20 萬，而線香粒子在相同粒徑之數量約為 26 萬，較鹽類粒子來的多，但成霧效果較差，推測應為線香燃燒後產生之粒子組成複雜，部分為吸水性差的物質，並非一好的凝結核材料，故形成雲霧量較少。

三、 線香粒徑大小對雲霧形成的影響

編號62的實驗中發現，在高相對濕度環境，照度變化較其餘實驗低，進一步分析發現該實驗中，粒徑分布主要集中在0.3~0.5 μm ，數量約70萬，同時在編號59及編號61的實驗中，其照變化亦較小，且其粒徑分布在0.5~20 μm 的粒子數量，較同相對濕度條件少，因此推測在線香的條件中，粒徑大的粒子較有利於雲霧的形成。

四、 鹽類粒徑大小對雲霧形成的影響

於鹽類低相對濕度的實驗中發現，氯化鈉的成霧效果較硫酸銨佳，與中高相對濕度結果不一致，進一步分析發現，在編號52~54的實驗中，量測到的氯化鈉粒子數量遠低於其餘實驗，推測應是在低相對濕度環境中，氯化鈉脫水成結晶，因此顆粒較小且低於儀器可量測之下限(0.3 μm)，但由結果發現，實驗環境中應仍有大量的粒子存在提供雲霧形成，進而觀察到顯著的照度變化。因此推論，鹽類粒子較小時，有利於雲霧之形成，且根據他人研究(Twomey,1974)指出，粒子越多於相同的相對濕度環境中，單一顆粒子凝結之水較少，而使得形成的粒子較少，其造成光之散射效果越強。

五、 維持時間與形成數量之關聯

本研究假設當形成較多霧時，其維持時間亦較長，但於多次實驗中發現，無論在有無添加粒子的條件中，期形成並維持之時間差異不大，甚至於無添加的條件中時間較長，

推測霧的維持須考慮其他因素，如環境相對濕度、空氣對流、溫度等，所以霧的維持時間與形成數量多寡無直接的關係。

柒、 未來研究與應用

- 一、與天氣觀測連結，統計觀測懸浮微粒資料，進一步討論粒子數量與雲霧形成之關聯。
- 二、本研究已發現微粒有助於雲霧形成且對光照有所影響，根據氣候變化研究指出，懸浮微粒在形成雲霧，進一步影響陽光收支平衡過程扮演重要角色，可進一步分析對能量影響。
- 三、凝結核為形成雲霧的重要物質，可以作為人造雨的材料；藉由實驗了解變因的影響，於不同環境中選用適合的粒子，達到最佳的成雲效果。
- 四、藉由此研究可進一步了解飛機凝結尾的形成機制，有助於全球黯化之研究。

捌、 結論

- 一、由實驗發現，小粒徑的鹽類(氯化鈉)較有利於雲霧之形成；成分複雜的線香，反而呈現出粒徑大的較有利於雲霧形成，藉此得知，影響雲霧形成的主因為粒子的親水性，而粒徑的影響次之。
- 二、由實驗得知，在低、中、高不同相對濕度下，氯化鈉、硫酸銨、線香等三種凝結核，其雲霧維持時間並無明顯差異，故凝結核之種類與雲霧維持時間無關。
- 三、於本實驗選用的粒子中得知，硫酸銨為最佳之凝結核，此亦為環境中常見之懸浮微粒。
- 四、由本實驗得知，高相對濕度降溫少，產生雲霧量多，乃因較多水氣凝結，放熱過程提供較多熱量，而導致洩壓後溫度下降少，反之，於低相對濕度的情況下，較少水氣凝結，放熱過程提供較少熱量，而溫度下降較多，由此一現象可發現，在絕熱膨脹降溫形成雲霧時，同時發生的加熱作用，為抑制雲霧產生的反饋機制，得知，雲霧形成過程較直觀現象更為複雜。

玖、 參考資料及其他

- Rose D. (2011). Cloud condensation nuclei in polluted air and biomass burning smoke near the mega-city Guangzhou, China – Part 2: Size-resolved aerosol chemical composition, diurnal cycles, and externally mixed weakly CCN-active soot particles. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 2817-2836
- Twomey, S. (1977). The Influence of Pollution on the shortwave albedo of clouds. *Atmospheric Environment* -34(- 7): - 1152
- 蔡合量 (2010)。利用雲凝結核計數器在不同地域雲凝核微物理特性之探討。國立中央大學大氣物理所碩士論文，未出版，中壢市。
- Wallace, J. M. (2008)。大氣科學(二版)。
- 共同作者。雲凝結核。維基百科。2013年3月12號取自<http://zh.wikipedia.org/wiki/雲凝結核>。
- 陳正平(2009年9月24日)。氣旋粒子。台灣大百科。2013年3月10號取自<Http://zh.wikipedia.org/wiki/絕熱膨脹>

【評語】 040503

研究使用了不同的材料做凝結核的初始元素，是很好的設計，也是這次高中組裡實驗器材最複雜的作品，團隊的合作良好。但是設想的條件及實驗的方法，與實際大氣層的條件有相當大的差距，實驗的數據偏少，數據的解釋也太偏線性，與自然的大氣環境變化不吻合。

1. 實驗設計可觀，針對不同測量標的設計不同實驗裝置，可見投入相當心力進行實驗設計及操作。若再加強基本概念，如雲霧形成的膨脹降溫原理等，對於研究探討會更為深入。照度測量的範圍標準及粒子的定量方式可再多加考量。
2. 實驗的設計良好、有效，目標明確，但因實驗方法的限制，能夠模擬的環境情境並不完全吻合地球大氣層內的數值，以致結論並不能直接應用到地球科學。