

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

高中組

生活與應用科學科

科別：生活與應用科學科

組別：高中組

作品名稱：溫排水與海風的偶遇

關鍵詞：風寒效應、柏努利定律

編號：040807

學校名稱：

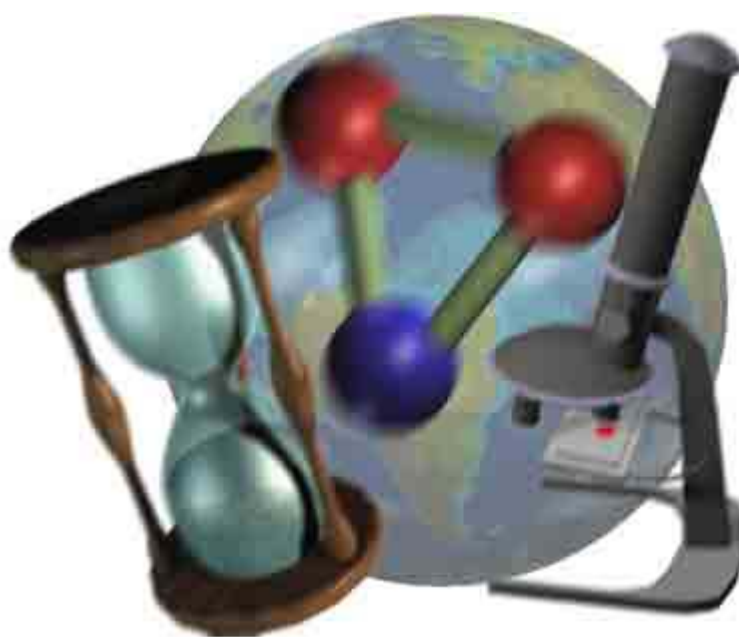
國立鳳山高級中學

作者姓名：

楊佳霖

指導老師：

劉百清

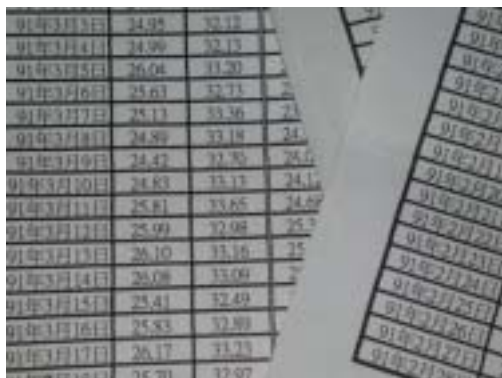


摘要

這一件「溫排水與海風的偶遇」主要是利用火力和核能電廠靠海的特性，借助海邊最常見的風造成的風寒效應（水蒸發帶走熱量），來降低電廠的溫排水，再把柏努利定律運用在渠道的設計上，然後在實驗中探討空氣流速、溫度、表面積、表面材質、壓力．．．等和蒸發速率的關係以及對於本實驗設計的影響和關係。

壹、研究動機

猶記得在國三時參加2001年的中華民國國際科展，曾以「利用熱電和風寒效應解決發電廠溫排水問題」這個研究主題得到美國的赫伯特胡佛青年工程獎。當時是想到發電廠大多設立在海邊（核電廠與火力電廠），以方便排放冷卻用溫水，而海邊最多的除了水以外就是風了，強勁的海風與陸風不分晝夜的彼此吹拂著，何不利用風呢？而今在評審教授給了指導意見和自我的討論、思考改進之後，經過了兩年，上了高中也學到了不少東西。參加這次的科展比賽，期望能利用國中和高中所學到的東西，更進一步研究討論，希望能改善火力、核能電廠所共有的，那深深影響海洋生態環境，造成諸如秘雕魚和珊瑚白化等例子的問題——溫排水問題。



91年3月13日	24.95	32.12
91年3月14日	24.96	32.13
91年3月15日	26.04	31.30
91年3月16日	25.61	32.33
91年3月17日	25.13	33.36
91年3月18日	24.89	33.18
91年3月19日	24.42	32.35
91年3月20日	24.83	33.13
91年3月21日	25.81	33.65
91年3月22日	25.99	32.98
91年3月23日	26.10	33.16
91年3月24日	26.08	33.09
91年3月25日	25.41	32.49
91年3月26日	25.83	32.89
91年3月27日	26.17	33.23
91年3月28日	25.71	32.97

▲核三廠水溫資料



▲製作中的模型

貳、研究目的

- (1)、再次分析核三廠詳細水溫資料，了解實際情形。
- (2)、改善風寒效應的速率，有關吸水材質的測試。

- (3)、有關風寒效應探討表面積的測試。
- (4) 有關風寒效應探討壓力的測試。
- (5) 有關風寒效應探討空氣流速的關係。
- (6)、利用柏努利定律（一譯白努利）幫助風寒效應的蒸發速率。
- (7)、利用以上結果設計模型，設法解決發電廠溫排水問題。

參、研究設備、器材

- | | | | |
|--------------------------------------|-------|----------|-------------|
| 1.工業用電扇 | 2.溫度計 | 3.溼度計 | 4.氣壓計 |
| 5.電湯匙 | 6.熱熔膠 | 7.電動排水馬達 | 8.水桶 |
| 9.壓克力板 | 10.氯仿 | 11.燒杯 | 12.滴管 |
| 13.直尺 | 14.磅秤 | 15.針筒 | 16.水盆(四種大小) |
| 17.各式吸水材質（尼龍、紗布、網布、絲襪、不織布『CD 內頁』……等） | | | |



▲沉水馬達



▲電湯匙

肆、研究過程

（一）分析核三廠溫排水資料

前年的科展是親自到核三廠排水渠道測量，但礙於種種因素無法前往墾丁，於是這次拜託在核三廠上班的社區人士幫忙取得 2002 全年度的水溫資料。由核三廠精密監控的儀器所測得的水溫，相信比前年自己所測得的資料更加詳盡準確完備。

<實驗一>：核三廠溫排水的水溫分析

實驗步驟：

- (1) 概略看過所有水溫資料，了解何時出水口與進水口的溫度相差最大。
- (2) 算出各個月份的出水口進水口平均溫，並紀錄之。
- (3) 將以上結果繪成表格。
- (4) 試圖聯帶找出核三廠(墾丁)的洋流情形(黑潮)。

(二) 風寒效應的實驗之一～表面材質測試

1 公克的水蒸發成水蒸氣時，會帶走巨大的熱量，大約需 540 卡，如果有風吹過物體表面則會加速水分的蒸發，造成溫度急速下降，稱為風寒效應 (wind-chill effect)。這個實驗利用了控制變因的方法，探討風寒效應和所覆蓋材質的關係。(當時氣壓 1018hpa、溼度 0.1% 室溫 27°C)

<實驗二>：探討風寒效應和材質間的關係

實驗步驟：為了瞭解風寒效應的影響，我利用控制變因的方法在蒸發的材質方面作了以下的實驗：

- (1) 將乾溫度計置於工業電扇前方 30 公分處，以最強檔速開動電扇，並紀錄溫度變化情形，並紀錄溫度改變量最大時所需時間。
- (2) 將濕溫度計置於工業電扇前方 30 公分處，重複步驟 (1)。
- (3) 利用電湯匙將水溫調至與當月出水口溫排水平均值溫度相同 (32.2°C 三、四月的平均)。
- (4) 將溫度計泡入步驟 (2) 之水中待其熱平衡後，重複步驟 (1)。
- (5) 將溫度計包覆紗布，重複步驟 (3) 並紀錄溫度下降情形。
- (6) 將溫度計包覆其他材質 (網布、絹布…)，再重複步驟 (3) 並紀錄之。
- (7) 將水溫調至 100°C，並重複步驟 (1) ~ (6)，但只測量 100°C 至 27°C 間所需要的時間，並紀錄之。
- (8) 測試假設極限值 (20.5°C) 重複步驟 (1) ~ (6) 並紀錄之。



▲溫度計浸泡在電湯匙燒開的水



▲各式布料



▲溫度計包覆絲襪



▲溫度計包覆牛仔布

(三) 風寒效應的實驗之二～表面積的因素

<實驗三>：探討風寒效應和表面積的關係

實驗步驟：爲了瞭解風寒效應的影響，我利用控制變因的方法在蒸發的表面積方面作了以下的實驗：

- (1) 計算出各個水盆的表面積。
- (2) 將每個水盆裝水，置於磅秤上，分別裝水到1公斤、1公斤、1公斤、與1.6公斤。
- (3) 每隔一小時紀錄不同表面積大小水盆所蒸發水的公克數，並算出一小時平均的蒸發速率。
- (4) 分析表面積與蒸發速率的關係。
- (5) 將實驗結果繪成圖表。



▲不同面積之水盆



▲不同面積之水盆二

(四) 風寒效應的實驗之三～空氣流速的因素

<實驗四>：探討風寒效應和空氣留速的關係

實驗步驟：

- (1) 將水盆裝水至 1.6 公斤，置於磅秤上，然後將整個系統置於電風扇前約 60 公分處。
- (2) 打開風扇一檔，並記錄每小時所蒸發水量。
- (3) 打開風扇二檔以及三檔，重複步驟(2)並紀錄之。
- (4) 分析不同風速對蒸發速率的不同影響，算出風速與一小時平均蒸發量的關係。
- (5) 將實驗結果繪成圖表。



▲不同風速對風寒效應之影響



▲同左

(五) 風寒效應的實驗之四～壓力的因素

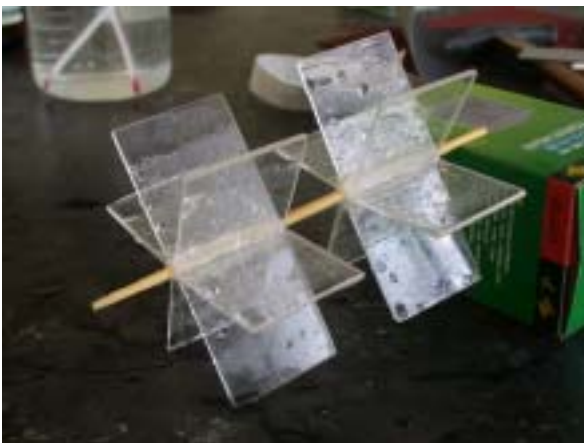
風寒效應蒸發速率與壓力的關係不太易於在一般環境中探討，但是爲了證明風寒效應確與壓力有密不可分之關係，於是利用針筒裝水，將其中用力抽成真空(但其實有水蒸氣)，探討水在壓力減少時和常溫下蒸發的差別。



▲ 將裝水的針筒抽成真空



▲ 壓力低水易蒸發沸騰



▲ 模型的轉軸



▲ 用氮仿和砂紙製作模型

(六) 柏努利方程式的相關探討

柏努利定律 (Bernoulli's Law) 的原理是來自柏努利方程式：

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \rho g y_2$$

$$\text{或者 } P + \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho g y = \text{定值}$$

又假設在同一個水平面流動，故令 y 值爲零：

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

主要的意思是：在同一平面上的流體，當流體流速增加時，壓力會降低；反之亦然。而汽車化油器所產生的文圖里效應（Venturi effect）即是根據此定律而製成的，可使汽油迅速汽化成細小的油滴。本設計即是希望利用柏努利定律和文圖里效應（或稱細腰管效應），產生增加空氣流速又降低壓力的雙重作用，來加速液體水的蒸發，以帶走大量的熱量。

（七）、製作模型

利用壓克力板和氣仿，我將初步構想製成了一個具體模型，此模型主要在於排水渠道的仿造製作，將渠道做成斜的，用以配合柏努利定律。在排水渠道上設置一排水馬達，模擬核三廠排水渠道強力的水流，利用水流力量推動散熱系統轉動，並同時藉著風寒效應和柏努利定律（Bernoulli's Law），設法讓溫排水溫度在流經冗長的排水渠道後，即有效下降至安全溫度。



▲接合模型



▲用電湯匙將水溫調至與溫排水溫同

伍、研究結果

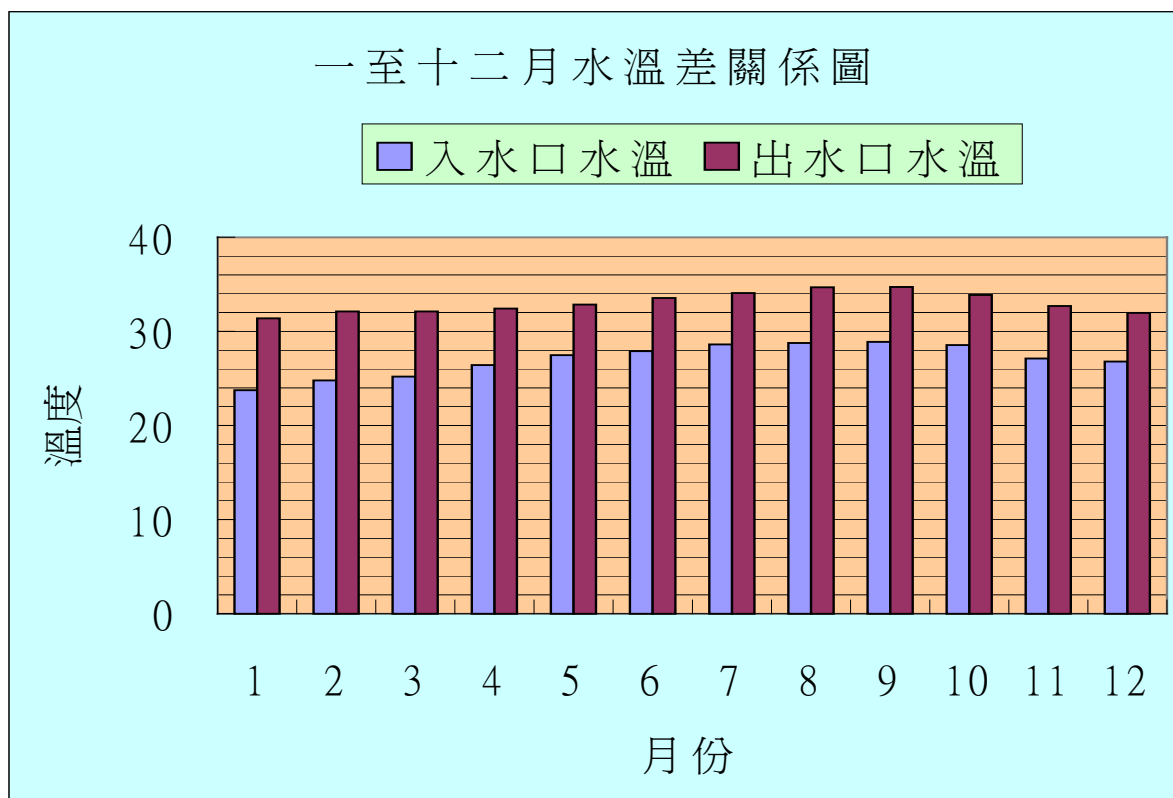
（一） 一至十二月進水口與出水口之水溫比較

實際數據：

月份↓ 溫度→	入水口溫度	出水口溫度	相差	備註
一月	23.74℃	31.41℃	7.67℃	相差最大
二月	24.8℃	32.12℃	7.32℃	
三月	25.19℃	32.13℃	6.94℃	
四月	26.43℃	32.43℃	6.00℃	
五月	27.47℃	32.85℃	5.38℃	
六月	27.91℃	33.55℃	5.64℃	

七月	28.62℃	34.07℃	5.45℃	
八月	28.78℃	34.71℃	5.93℃	
九月	28.91℃	34.72℃	5.81℃	
十月	28.56℃	33.87℃	5.31℃	
十一月	27.12℃	32.71℃	5.59℃	
十二月	26.8℃	31.98℃	5.18℃	相差最小
總平均	27.03℃	33.05℃	6.02℃	

將數據繪成長條圖比較：



(二) 風寒效應實驗結果

1. 風寒效應與材質的關係

	32.4℃~20.5℃		100℃~27℃		20.5℃		厚薄程度
乾溫度計			緩慢下降	緩慢下降	上升至 27℃	上升至 27℃	
濕溫度計			0' 49	0' 55			

絲襪	0' 39	0' 36	0' 31	0' 28	降 0.2℃	降 0.1℃	1
紗布	1' 27	1' 21	1' 10	1' 06	降 0.1℃	降 0.1℃	6
絹布	0' 58	0' 55	0' 42	0' 45	降 0.1℃	降 0.2℃	2
尼龍	1' 23	1' 15	0' 44	0' 46			3
牛仔布	2' 54	3' 04	1' 29	1' 24			7
絨布	2' 43	2' 53	1' 50	1' 44			8
不織布	1' 20	1' 26	0' 52	0' 51			4
網布	1' 06	1' 11	0' 55	0' 57	降 0.1℃	降 0.1℃	5

P S : 單位

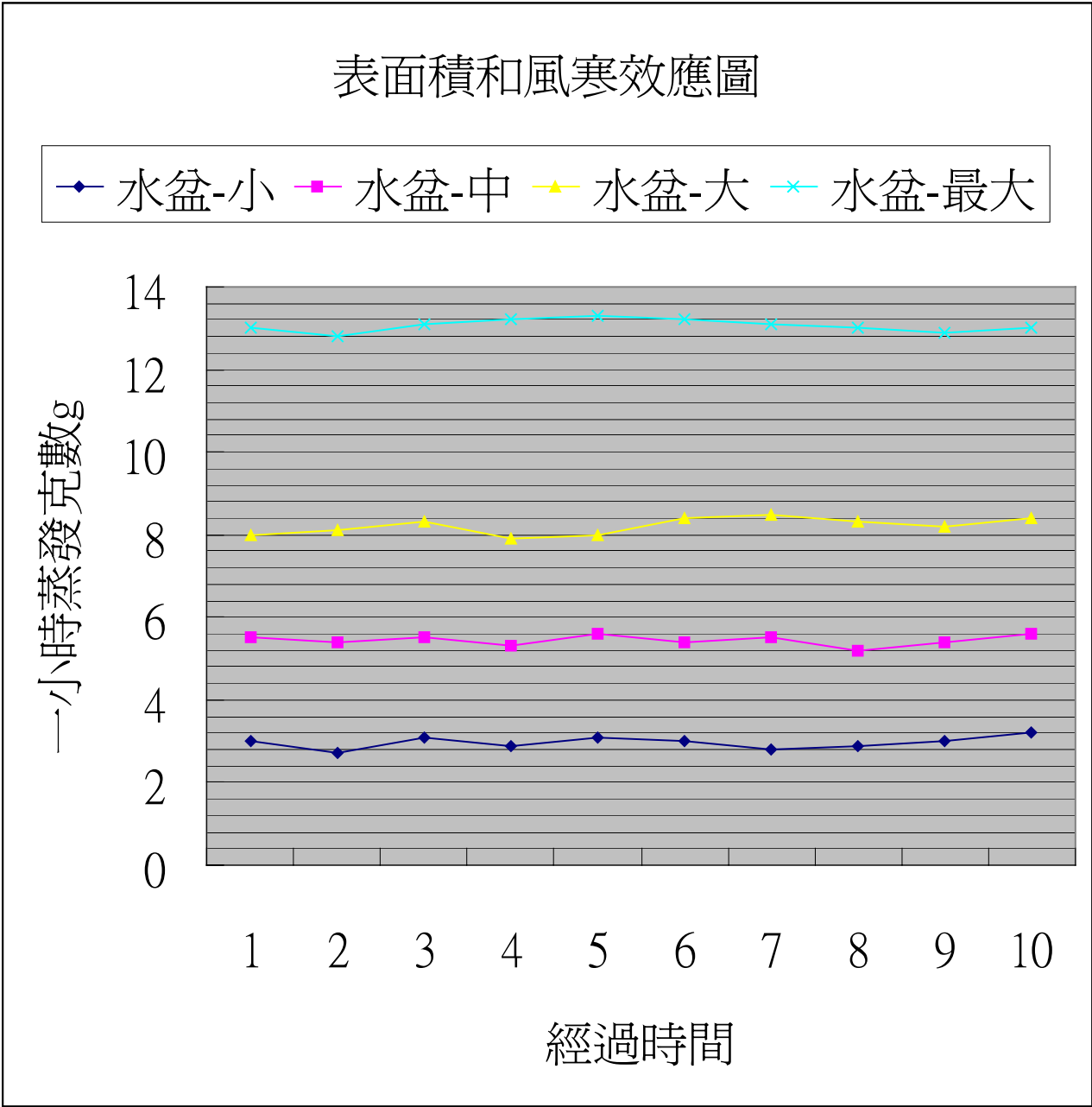
時間 → 分' 秒"

溫度 → T℃

2.風寒效應與蒸發表面積的關係

	小 260cm ²	中 384cm ²	普通 850cm ²	大 1131cm ²
零到一小時間	3.0g	5.5g	8.0g	12.9g
一到二小時間	2.7g	5.4g	8.1g	12.8g
二到三小時間	3.1g	5.5g	8.3g	13.1g
三到四小時間	2.9g	5.3g	7.9g	13.2g
四到五小時間	3.1g	5.6g	8.0g	13.3g
五到六小時間	3.0g	5.4g	8.4g	13.2g
六到七小時間	2.8g	5.5g	8.5g	13.1g
七到八小時間	2.9g	5.2g	8.3g	13.0g
八到九小時間	3.0g	5.4g	8.2g	12.9g
九到十小時間	3.2g	5.6g	8.4g	13.0g
總計蒸發量	29.7g	54.4g	82.1g	131.5g
每小時平均	2.97g	5.44g	8.21g	13.15g

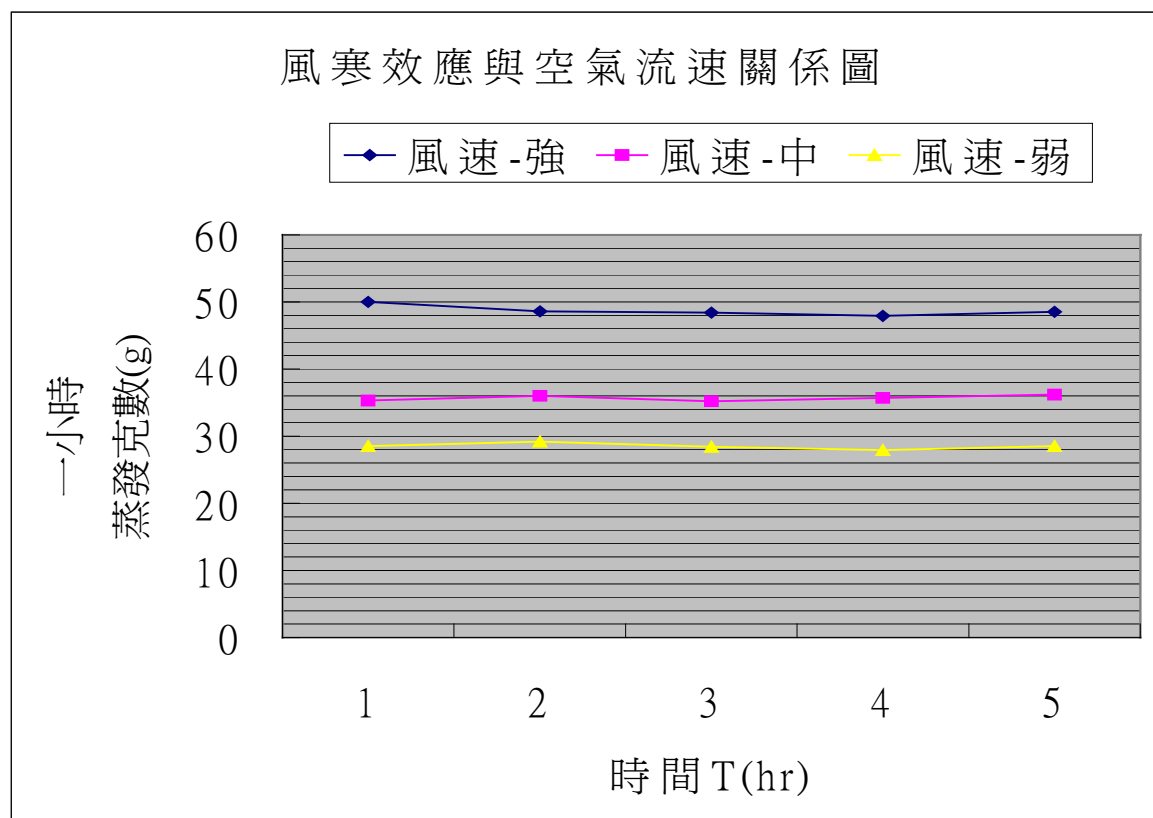
將上表繪制成圖：



3.風寒效應與空氣流速的關係

	一檔（強）	二檔（中）	三檔（弱）
零到一小時間	50.0g	35.3g	28.5g
一到二小時間	48.6g	36.0g	29.2g
二到三小時間	48.4g	35.2g	28.4g
三到四小時間	47.9g	35.7g	27.9g
四到五小時間	48.5g	36.2g	28.5g
總計	243.4g	178.4g	142.5g
一小時平均	48.68g	35.68g	28.5g

將上表繪制成圖：



陸、討論及應用

<討論一>：水溫資料為何如此分析？

< 分析 >：由於溫排水的資料十分詳盡，無法一一列表，共分爲進水口及出水口最高溫、進水口及出水口最低溫、進水口與出水口當日平均溫等共六種，每一日的水溫均有詳細資料，於是我採當日的總平均溫來加以分析溫度的變化，再配合一個月的平均，採取季節月份性比較，如此的誤差會較小。

<討論二>：溫排水溫度與季節的變化為何？

< 分析 >：由圖中可以隱約看出夏天時出水口與進水口的溫度差沒有冬天大（一月後），翻閱地理課本得知夏天時太平洋暖流（黑潮）較爲旺盛，故原本之水溫便較高，且夏日之海水受日照較旺盛溫度亦較冬季高，而雖然冬天時黑潮支流亦經過墾丁，但又受到親潮影響，故冬季出水口與進水口之溫差較夏季大。

但相差溫度最小的月份是 12 月，推測當時雖然氣溫隨冬季降臨而變低，海水中的黑潮卻因爲處於較南端，尚未受冷氣團影響，水溫仍較高，這情形一直到一月十日前後，進水口之溫度才由 25℃ 附近突然急劇降爲大約 22℃ 的溫度。

<討論三>：為什麼此實驗不採固定吹風的時間而測量其最低溫？

< 分析 >：此實驗原本在測試階段時，是以吹風一分鐘後紀錄其溫度變化量，但後來發現一分鐘後仍有多種材質溫度持續下降，才發現可能是和材質的厚薄有關，如此和溫度計熱平衡速率便不一樣，也測不出最大之溫度變化量，於是改採不設時限，讓其自由降溫，捕捉溫度降至最低時所耗費時間。但是缺點是後期的溫度變化量不明顯，必須仔細觀看，紀錄誤差的相對可能性也提高了。

<討論四>：極限值 20.5℃??

< 分析 >：在做實驗時，發現如此的實驗方法會使所有的材質降溫降到 22℃ 時速率即明顯變緩，20.5℃ 後即不再下降。於是設計了第三個實驗，將溫度調至 20.5℃，但即使是原本速率最快的絲襪，也毫無反應，只約略下降 0.1℃，所下降的溫度微乎其微。可能的原因是風寒效應帶走的熱量與空氣中補給的熱量達成熱平衡，故造成風寒效應所降的溫度最低到 20.5℃。

<討論五>：只沾水的溫度計測不準之原因

< 分析 >：在對照組一只沾水但不包覆任何材質的溫度計測不出實驗結果，由於風力十分強大，蒸發速率十分快速，儘管溫度下降的很快，但是在 25℃時水便完全蒸發，此時溫度計上的數字反而不減反增，應為水份已經蒸發完畢，風寒效應不再進行，立即從空氣中捕捉熱量，以達到室溫的 27℃。

<討論六>：表面積與蒸發速率的關係。

< 分析 >：由實驗結果可以看出風寒效應的蒸發速率和表面積有十分密切的關係，但是並非成正比。隨著表面積的增大，蒸發速率也增大。不過由於實驗結果動輒數小時，在溫度與溼度方面已難控制，實驗穿越白天到夜晚，室溫有時上升有時下降，儘管誤差僅差 1、2℃，還是會對結果造成誤差。同時，在密閉實驗室裡作蒸發速率的實驗，隔開了空氣氣流的影響等，但是相對的，空氣中的溼度也漸漸上升，亦會對實驗結果造成誤差。

<討論七>：水蒸發速率與哪些因素有關？

< 分析 >：影響液態水蒸發速率的變因有很多種，例如：

- (1) 溫度：溫度愈高，蒸發愈快。
- (2) 溼度：空氣愈乾燥，水愈容易蒸發。
- (3) 風速：風速愈強，蒸發愈快。
- (4) 氣壓：氣壓愈低，蒸發愈快。
- (5) 表面積：表面積愈大，蒸發愈快。

但這次實驗在表面積，材質，水溫，壓力均有所探討，實驗結果確實證明這些變因都與風寒效應的蒸發速率有關。

<討論八>：哪種材質的風寒效應較好？

< 分析 >：由溫度計包覆材質從 100℃降至室溫 27℃的實驗結果可看出，當溫度差很大時，包覆材質的厚薄程度佔了很大的因素，但當從 32.4℃下降至 20.5℃時，材質毛細孔的大小也深深的影響著，因此風寒效應的快慢在溫差大時僅需考慮厚薄程度，但低於室溫時必須考慮其透氣性和毛孔大小。

<討論九>：壓力與風寒效應的關係。

< 分析 >：想控制壓力和蒸發速率的關係在一般室內是不太容易的。但是模型中根據柏努利定律，流速變快壓力即變小，在渠道細窄處可以提高風寒效應的蒸發速率，在針筒實驗中可以看見在壓力降低時蒸發速率的上升（有沸騰狀氣泡），此點在加入高溫水時反應更加明顯，會有強烈的氣泡產生，亦即壓力降低時，沸點亦會下降。

而發電廠的溫排水水溫較一般水溫高，在壓力方面也會有效提升風寒效應的蒸發速率。

柒、結論

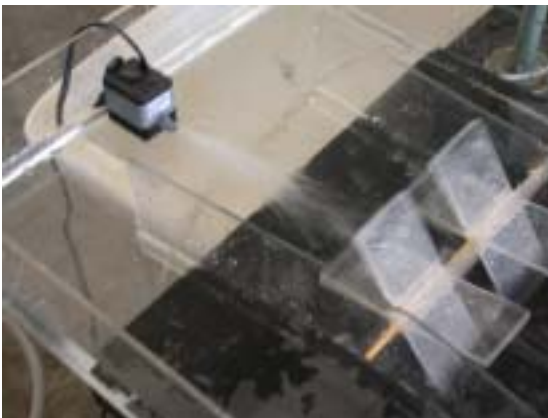
<結論一>：核三廠冬季(一月後)溫排水的出水口和海水進水口的溫差較夏季大，推測與黑潮流向以及海水原本的日照程度有關，解決溫排水問題在冬末初春時尤須重要。

<結論二>：風寒效應在常溫常壓下溫度下降的極限值為 20.5°C ，這個溫度遠比發電廠的溫排水以及空氣中的溫度要低的多，故在一年四季風寒效應都可有效率的進行。

<結論三>：表面積和風寒效應有加成效果，表面積越大時，風寒效應的效果越好，在設計模型時儘可能把蒸發的表面積加大，如此可更有效降低溫排水的溫度。

<結論四>：風寒效應所包覆的材質當溫度差很大時，材質的厚薄程度佔了很大的因素，但當從 32.4°C 下降至 20.5°C 時，材質的透氣性也是很重要的，因此造成一個結果－風寒效應的快慢在溫差大時僅需考慮厚薄程度，但低於室溫時必須考慮其透氣性，但不論如何，類似於絲襪具有優良透氣性與明顯毛細孔又輕薄具彈性的材質是一個能輔助風寒效應進行的好材質。

<結論五>：伯努利定律對於溫水的蒸發的確能進一步加以幫助，當流速變快壓力變小時可看出蒸發速率的提升。



▲ 測試可行性

捌、參考資料及其他

- (1) 台電月刊
- (2) 能源應用－東華書局
- (3) 國中理化
- (4) 高中物質科學物理篇
- (5) 流體機械－徐氏基金會
- (6) 電源開發與核能發電

(7) 國中地理（認識台灣篇）

(8) <http://adp.pccu.edu.tw/wenkc/classes/gisstudio/gisclasslecture/gis4-1-remotesensing/sld011.htm>

(9) <http://www2.ccs.kh.edu.tw/club/science/%AC%EC%BE%C7%AEa/%A5%D5%A7V%A7Q.htm>

評語

- 1 選取核能電廠溫排水問題為研究題材，極富鄉土性和適切性。
- 2 資金收集不完整或數量太少將影響實驗結果的說服力。
- 3 實驗理論尚稱恰當，但實驗模型在現場操作會有實質的困難—若能和核三排水實際狀況配合，將更具研究價值。