

臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：物理學

作 品 名 稱：太陽能熱動力發電與效益的改進方法

得 獎 獎 項：佳作

學校 / 作者：國立臺南第一高級中學
國立臺南第一高級中學

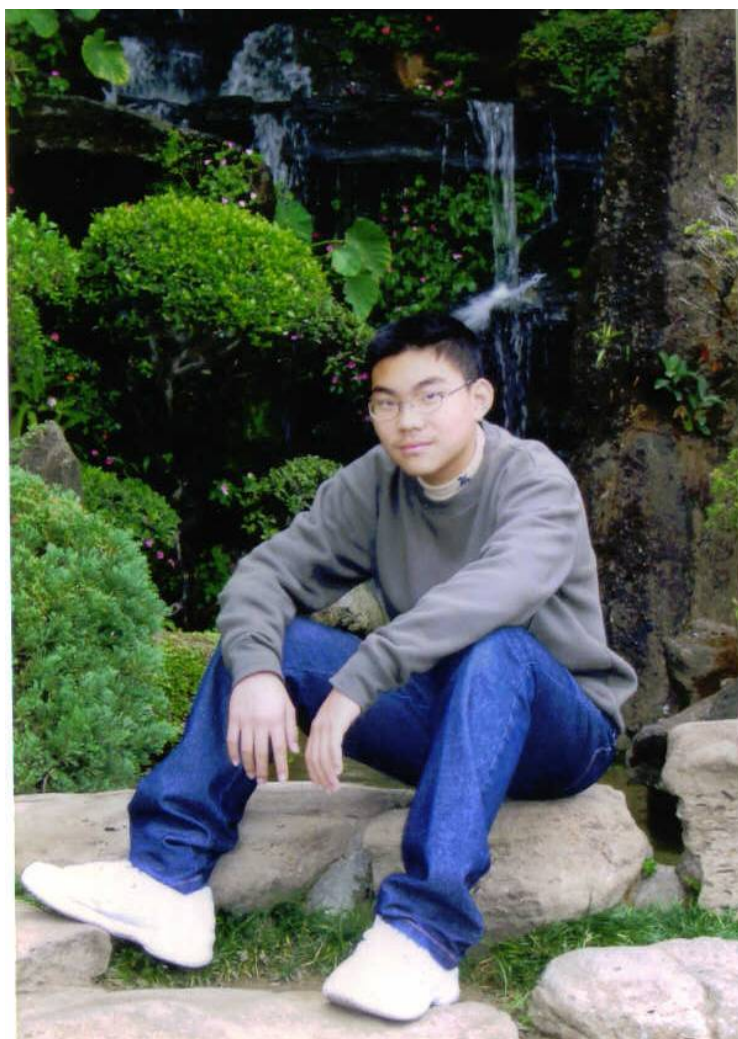
蔡宗育
康宇宏

作者簡介



我叫康宇宏，今年十七歲，目前就讀台南一中數理資優班。國中時就讀語文資優班。我的個性隨合，人緣不錯。除了在學校為了課業努力外，空閒時我對電腦資訊方面頗有興趣，另外我在文學、運動等方面都有涉獵。而我對資訊方面的興趣也讓我成為班上的資訊股長。

作者簡介



我叫蔡宗育，今年十七歲，目前就讀台南一中數理資優班。國小、國中時皆就讀美術資優班，曾被選為模範生。個性溫和，容易與人相處，平時喜歡思考問題，也喜歡閱讀多方面的書籍，增長自己的能力。閒暇之餘也喜歡運動和從事藝術創作，謹慎的做事態度，也使我成為社團的「文書幹部」和班上的「編輯股長」。

太陽能熱動力發電與效益的改進方法

The study of solar thermal energy for power generation and performance improvement

摘要：

在綠色能源中太陽能的利用充滿了無限的機會，其中利用太陽熱能發電的太陽能煙囪觀念有很大的潛力。在本研究中，我們以實驗的方法討論煙囪高度、入風口大小、管型等因素對 solar chimney 效益的影響，發現就原先的觀念設計中，有相當大的改進空間。

整體實驗而言，所改變的各項變數中，以管型之改變有最大的改進效益。就同長度直管與漸擴管而言，漸擴管在風速上有明顯改進效果，且以流速與截面積換算成效率，較原直管設計之效率高出約 20 倍，因此推測漸擴管應用在現行之 solar chimney 以改進效能是極有可行性的。研究中也發現煙囪管壁的熱傳導也會影響氣體的總體流動，使效率降低。相信此實驗之數據對日後嘗試對 solar chimney 進行改進的研究者有相當之參考價值。

Abstract:

Solar energy has a great market potential among many clean energies. The new solar chimney concept using solar thermal power in power generation may have a bright future. Experimental work was performed to study the energy conversion characteristics of a solar chimney. The air moving capability and the influences of chimney height, the shape of chimney and air entrance dimension were studied. It was found that there is a great room to improve the current solar chimney design and thus the efficiency.

Overall speaking, the chimney pipe geometry may have the most significant impact on the improvement of performance. A diverged pipe configuration can induce nearly 20 times more flow than a traditional straight pipe. Another finding is the heat transfer effect on the chimney pipe may have the effect in reducing the flow. It is believed that the present study is valuable for those people in designing a future solar chimney.

壹、研究動機

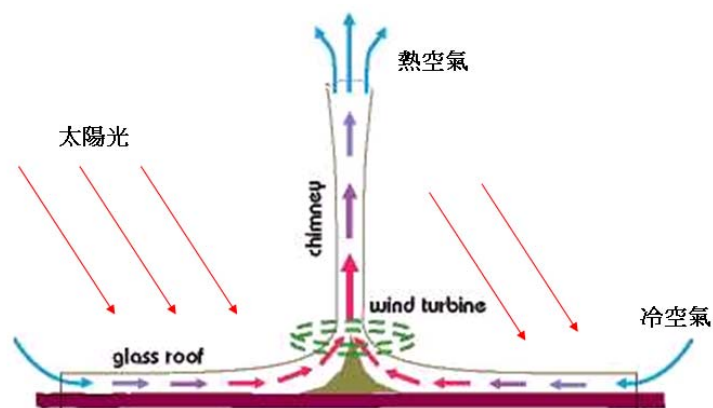
目前發電主要使用的石化能源終有竭盡之日，火力發電所使用的燃料，不論是煤、石油、天然氣均已接近枯竭。據統計，石油蘊藏量為四十年，煤為二百二十年，天然氣為六十年。而核能發電最大隱憂是核廢料的處理與核電廠事故所帶給後代子孫的危害。

全球的能源利用結構在近兩世紀以來，有彼此替代的變化：煤自從工業革命後大量使用，直到二十世紀初都是能源的主力，但由於污染嚴重，許多西方國家開始嚴格限制煤的使用。二十世紀初，天然氣像黑馬一般的崛起，到了中後期，成為能源的新寵。到了二十世紀後期，再生能源開始嶄露頭角。而 Shell 石油公司也預估，二十一世紀中期，再生能源將成為能源主流。

有鑒於未來再生能源發展的潛力，我們決定著手其中進行研究，探討是否有可能對於現在再生能源的發電方法加以改進。在眾多再生能源中，我們所選擇的是研究太陽能的利用。

太陽能具有無污染、取之不盡、易取得的特性，是未來非常具有發展潛力的再生能源之一。現今市場上之太陽能發電方法以光伏為主，但光伏發電之效能低，且效能提升不易。因此我們決定參考澳洲之 solar chimney，以太陽能熱動力作為發電動力來源的概念。

何謂 solar chimney



Solar chimney 為太陽能熱動力及煙囪效應、風力發電等技術的結合。藉由太陽光的照射加熱地表，使地表附近的空氣受熱而上升，再經過煙罩的集中到達煙囪，最後由煙囪上升，而在上升過程中由於空氣本身受熱膨脹及煙囪效應達到增速效果，最後帶動煙囪中風力發電之渦輪，以達到發電的效果。

目前 solar chimney 在西班牙及澳洲均有應用計畫。目前澳洲所建設中的 solar chimney 計畫，塔高 1000 公尺，完成時預計可提供 200MW 的電力，也相當於能減少約 900,000 噸的溫室氣體。

煙囪效應

煙囪效應是指由浮力驅動的氣體在煙囪中流動的效應，此種浮力的產生是因為煙囪內外的氣體溫度與性質差異。當性質或溫度的差異越強時，浮力越強，煙囪效應也就越強。

煙囪內與煙囪外因溫差造成壓力差，此壓力差是造成煙囪效應的動力，且可以由以下的公式計算出來。對於 solar chimney 而言， h 是煙囪的高度。

$$\Delta P = C a h \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i} \right)$$

ΔP 內外之壓力差，Pa

C 常數

a 大氣壓力，Pa

h 煙囪的高度，m

T_o 煙囪外溫度，K

T_i 煙囪內溫度，K

由公式可看出，煙囪之高度與煙囪內外溫差均會影響煙囪內外之壓差。將溫差轉換為壓差，再進一步轉換成風力用以發電，這正是 solar chimney 原理的重要一環。

為何使用漸擴管

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \rho a v^3$$

$$E \propto v^3$$

由於空氣所帶有的動能與速度之三次方成正比，所以氣流速度的提升對於 solar chimney 效率的提升有相當大的影響。而現今 solar chimney 之高度提升所增加的成本相當可觀，所以我們想從其他的方式來提升 solar chimney 之流速。

在相同溫差之下，若是管型上做變化，則有可能達成壓差或是流速的增加。在管型的變化上，有漸擴管或是漸縮管兩種變化的可能性。而我們選擇了漸擴管的方式來做實驗模擬。

漸擴管由於管身之截面積由下至上逐漸增加，導致在管內上端及下端即有一段壓力差。而此段由管型造成之壓力差可以以更大的能量驅動空氣的流動，進而達成效率增加的目的。

我們的目標是將 solar chimney 之設計實驗室內模型模擬，取得數據並加以分析。並將 solar chimney 之設計加以改進，以求得更佳的效益。

貳、研究目的

有鑒於目前 solar chimney 發電效率低落，因此我們決定用模型的方式進行模擬實驗，以提高 solar chimney 的發電效率

- 一、探討目前 solar chimney 效能低落之原因
- 二、以加熱器模擬太陽能來探討影響 solar chimney 性能的關鍵因素

參、研究設備與器材

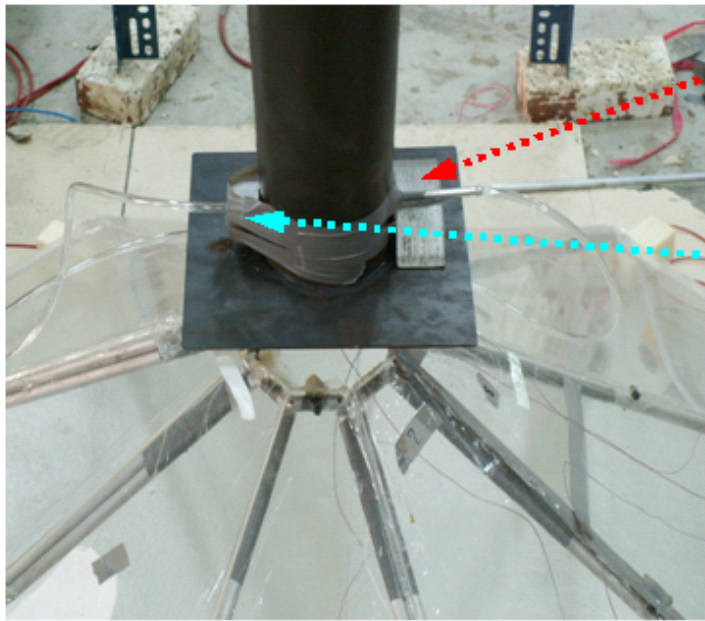
1. 煙罩(壓克力)
2. 煙囪(直管，漸擴管)
3. 加熱地基
4. 發電機
5. 電源供應器
6. 皮托管
7. 熱電偶線(Thermocouple)
8. Fluke NetDAQ 應用軟體



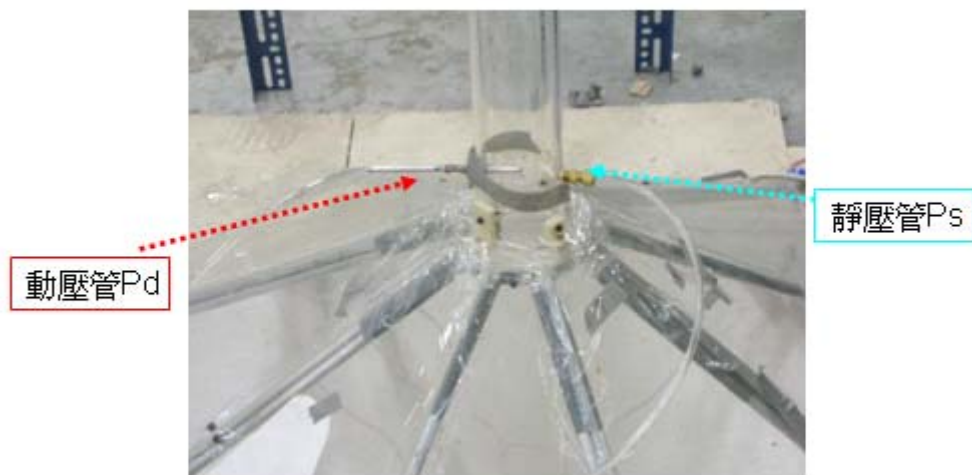
實驗設備圖-直管模型



實驗設備圖-漸擴管模型



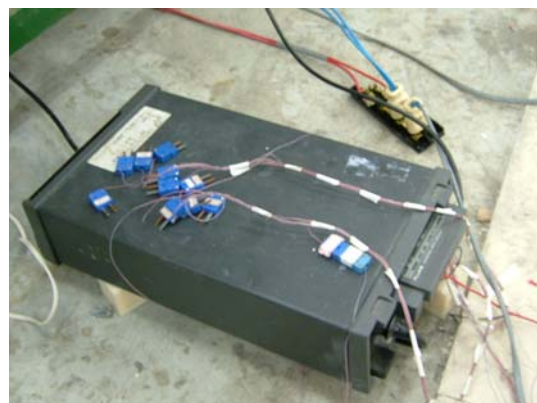
$\Delta P = P_d - P_s$ 單位: pa (N/m^2)
 速度換算公式: $\Delta P = 1/2 \rho V^2$, V單位為m/s
 漸擴管壓力量測(DPI 610)



直管壓力量測(DPI 610)



壓力量測儀器-GE Druck DPI610



溫度量測 Thermocouple 與 Data Logger

肆、研究步驟

- 一、以 solar chimney 原設計進行模擬並統計數據
- 二、改變煙囪高度
- 三、改變煙囪形狀(漸擴管)
- 四、對不同煙囪形狀改變煙罩至加熱板高度

- 改變參數
 - 直管高度(1.2m-2.4m)
 - 直管煙罩至加熱板高度(1.5cm-4cm)
 - 2.4m 直管-漸擴管
 - 漸擴管煙罩開口~煙囪距離(5cm-7cm)
 - 漸擴管煙罩至加熱板高度(1.5cm-4cm)

伍、實驗討論

一、直管煙囪高度的比較

首先，我們先比較直管煙囪不同的高度造成的效果，一般而言，由煙囪效應公式推導，較高的煙囪其上下壓差較大，進而會得到較大的風速。因此我們設計兩組不同高度的直管煙囪，一組為 1.2m，另一組為 2.4m，且兩組煙罩至加熱板高度皆為 1.5cm 的實驗架構，比較直管煙囪高度對內部的影響。

觀察此組實驗數據，發現其結果與我們的預期有一段落差(圖 A-1)，1.2m 的煙囪的風速約 2.1m/s，但 2.4m 組卻只有約 1.7m/s。後來經過與溫度分布圖的比較，發現 1.2m 組 c 點與 f 點溫差僅約 5°C，但 2.4m 組卻有 15 °C。(圖 A-2a 與圖 A-2b)我們推論應是煙囪的絕熱性不佳，導致原來應轉換為動能的熱能由煙囪壁散出，使較高的煙囪風速反而較低。由此結果我們推論，在 solar chimney 中使用的材質若無法有效絕熱，則煙囪散熱造成的熱能損失可能減少氣體膨脹降溫造成的浮力，進而導致效率降低。

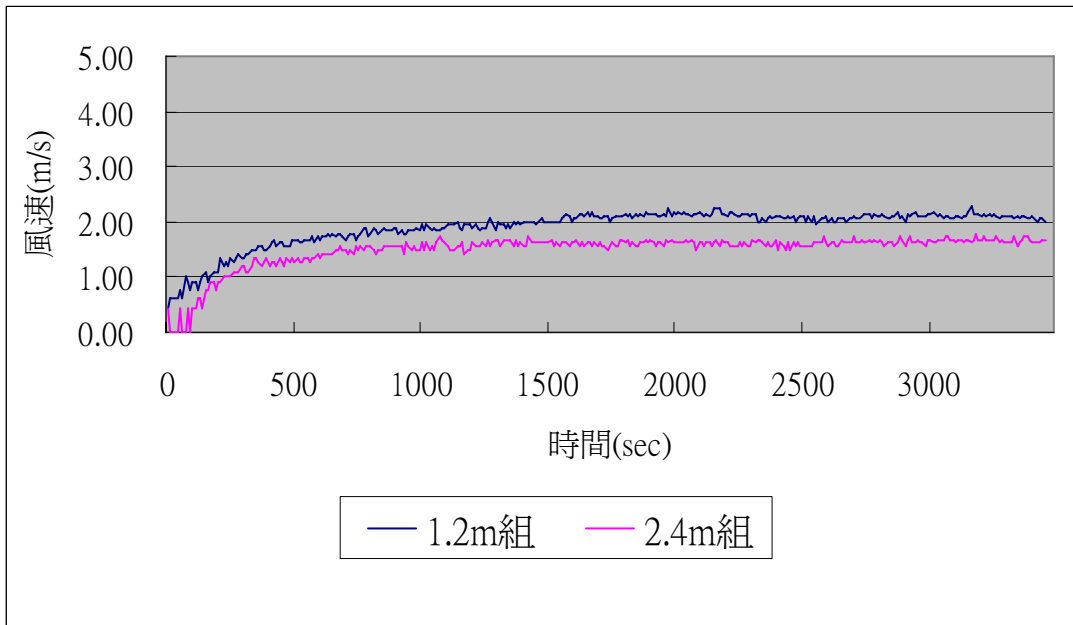


圖 A-1、直管煙囪高度風速比較

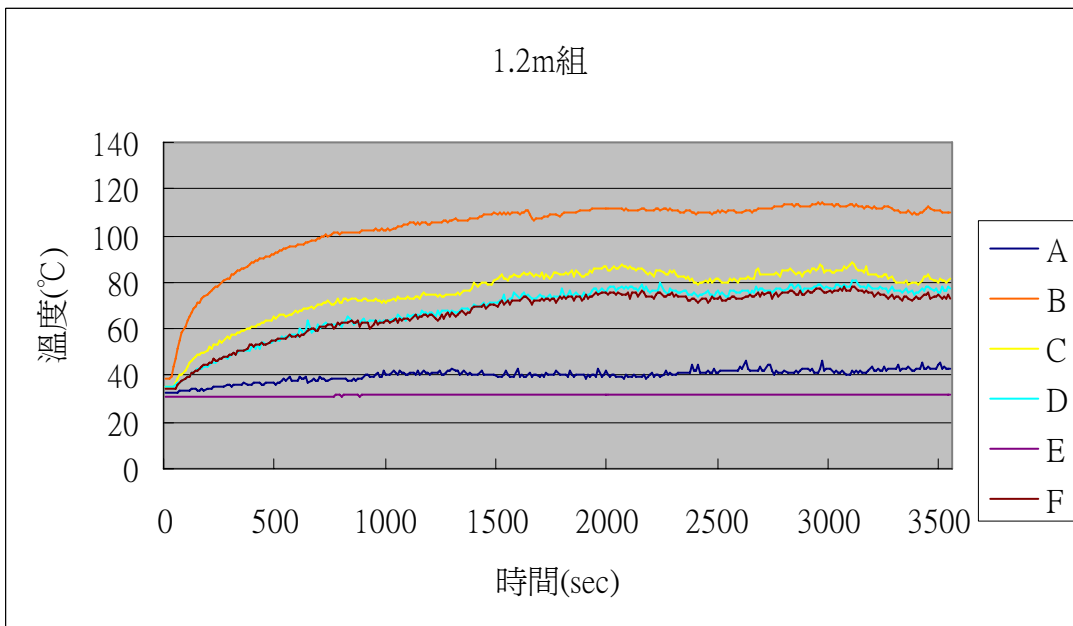


圖 A-2a、直管煙囪高度 1.2m 溫度-時間圖

註：e 點數據偏低，為 Thermocouple 短路所導致

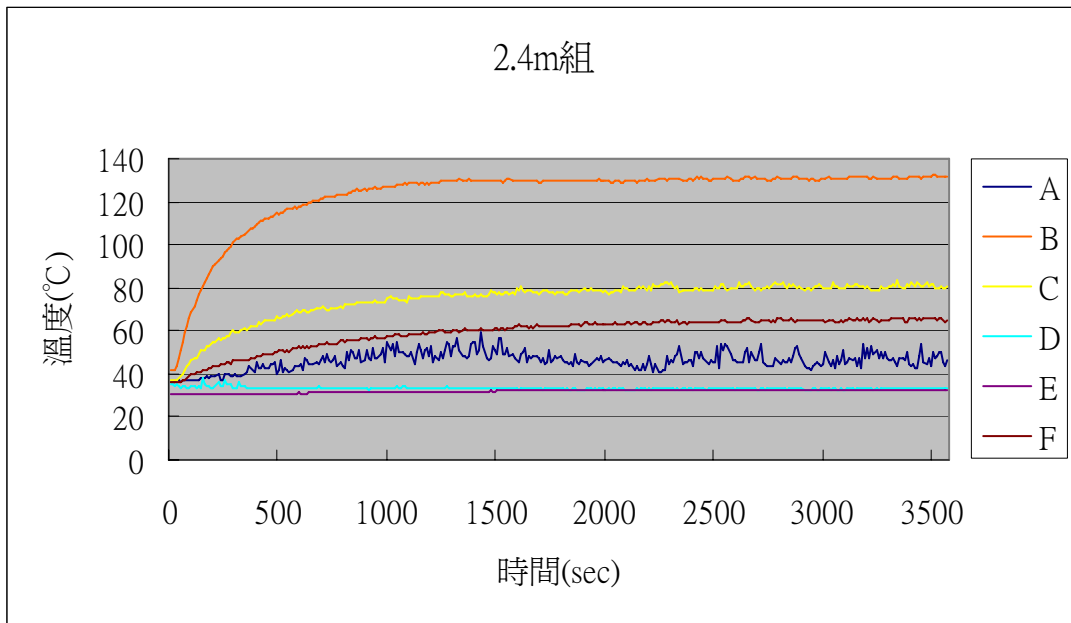
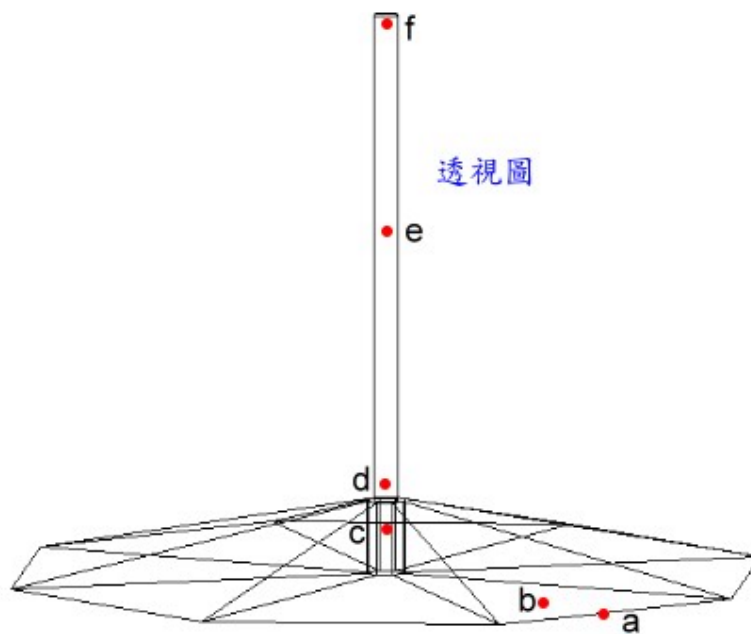
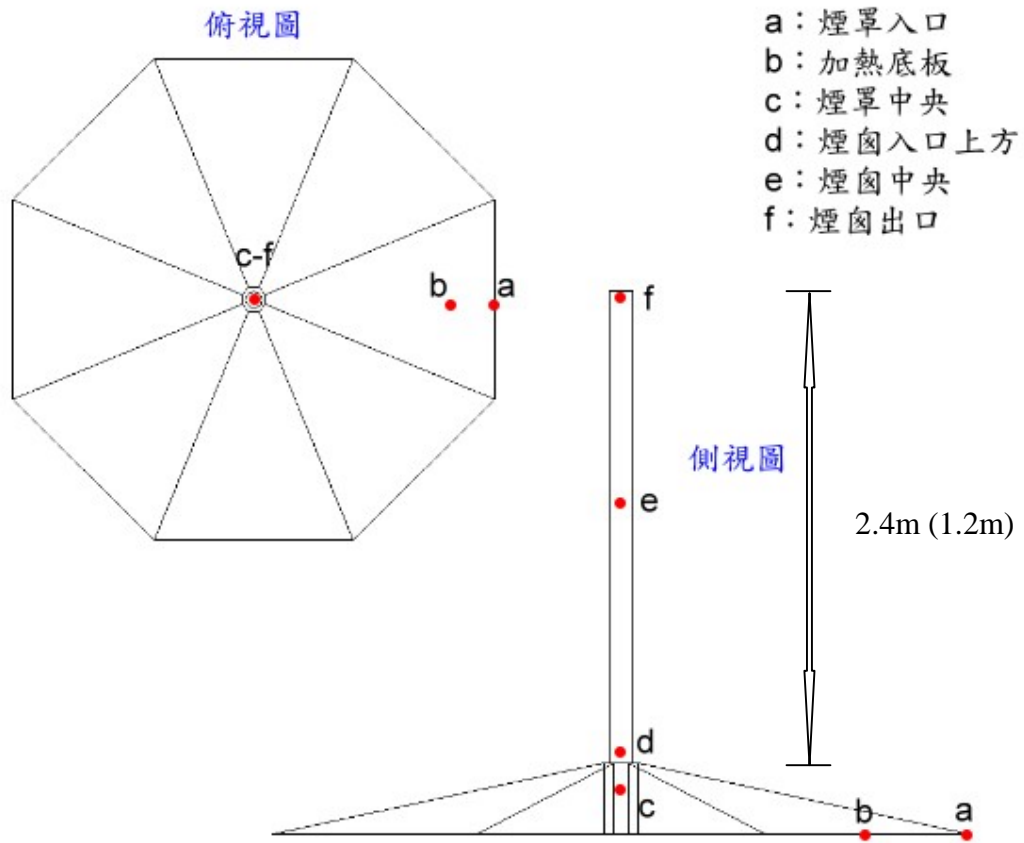


圖 A-2b、直管煙囪高度 2.4m 溫度-時間圖

註：e 點、d 點數據均偏低，為 Thermocouple 短路所導致



溫度量測點對照圖

二、直管和漸擴管的比較

在此組實驗中，我們使用同樣高度〔皆為 2.4m〕，但管型分別為直管(直徑 6cm)及漸擴管(下開口直徑 9cm，上開口直徑 24cm)之兩組模型進行實驗並比較，在預期之中，漸擴管由於管身之截面積由下至上逐漸增加，導致在管內有一壓力差。而此段由管型造成之壓力差可以造成更大的能量以驅動空氣流動。

在實驗所得之數據中，我們發現漸擴管所造成之流速可以達到近 4m/s，直管之流速卻只有約 1.75m/s。(圖 B)如實驗前之預期，使用漸擴管管型煙囪之模型之流速得到明顯的提升。而以皮托管所量得之煙囪內外壓力差亦有相當明顯之差距。(直管約 1.4pa，漸擴管約 7.5pa)可推斷出漸擴管之管型可以加快流速，預期漸擴管對氣流帶動風力渦輪發電有效率提升之機會。

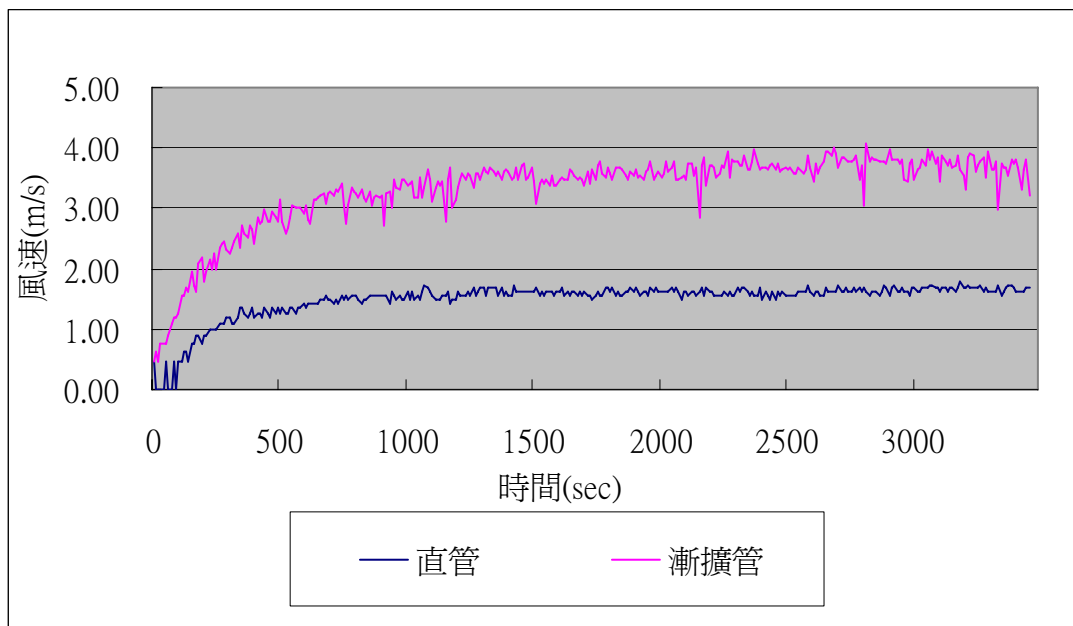


圖 B、直管-漸擴管風速比較

三、煙罩底部與加熱板距離的比較

煙罩底部與加熱板距離的大小也是 solar chimney 效率影響因素的一環。此距離如太小，會限制流量而導致風速降低；但若是距離過大，則可能導致熱空氣自底部外流。因此我們將煙罩底部與加熱板距離調整為 1.5 cm 和 4.0 cm 兩組做比較，觀察煙罩底部與加熱板距離對 solar chimney 內部風速的影響

觀察直管的實驗數據，發現此段距離的大小對風速的影響並不大(圖 C-1)，但仍可發現底部開口 1.5 cm 組的風速較底部開口 4.0 cm 大(差異約 0.2 m/s)，且由溫度-時間圖可看出 4 cm 組之 b 點溫度較低，推測為開口過大導致熱氣外流。(圖 C-1a 與圖 C-1b)

而在漸擴管的實驗數據中，兩組的風速差距亦不大。但仍可看出 4 cm 組較 1.5 cm 組稍低(4 cm 組約 3.2 m/s，1.5 cm 組約 3.7 m/s)。(圖 C-2)

我們推測此結果是因為 4 cm 組因煙罩底部與加熱板距離過大使部分熱空氣自底部外流，進而導致流量減少。因此我們推知 solar chimney 煙罩底部與加熱板距離不能過大，否則會造成內部流量的減少，進而影響到 solar chimney 的發電效率。

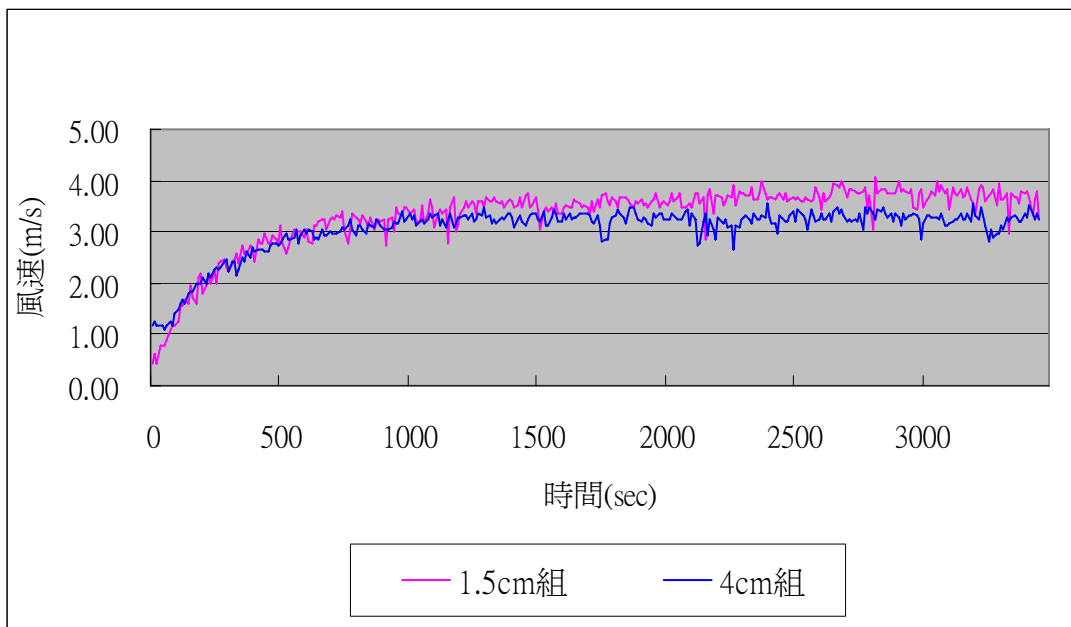


圖 C-1、直管底部入風口高度風速比較

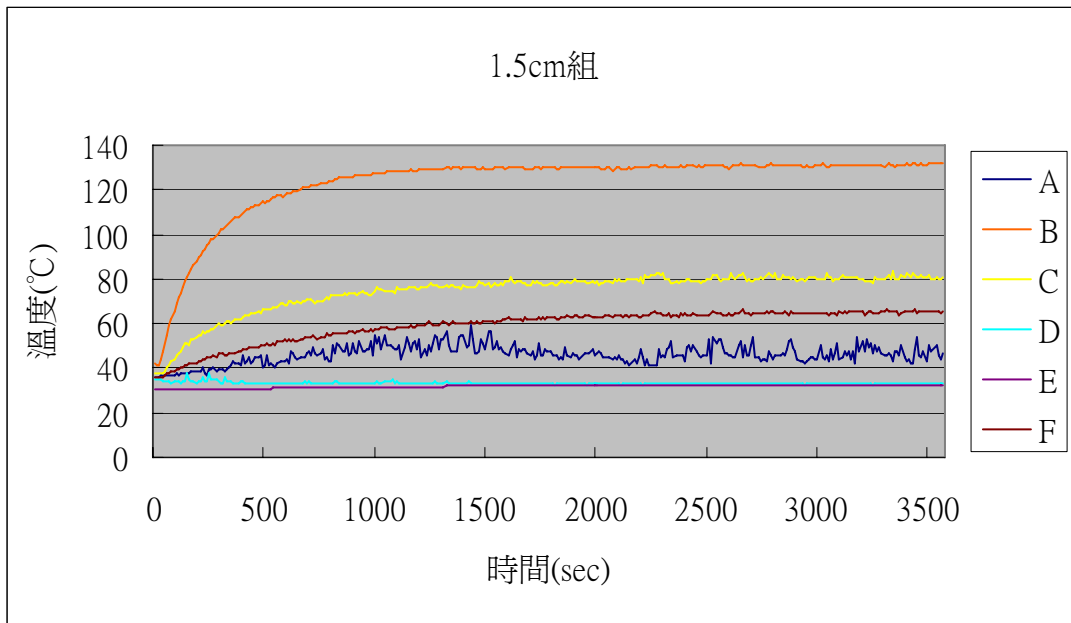


圖 C-1a、直管底部入風口高度 1.5cm 溫度-時間圖

註：e 點、d 點數據均偏低，為 Thermocouple 短路所導致

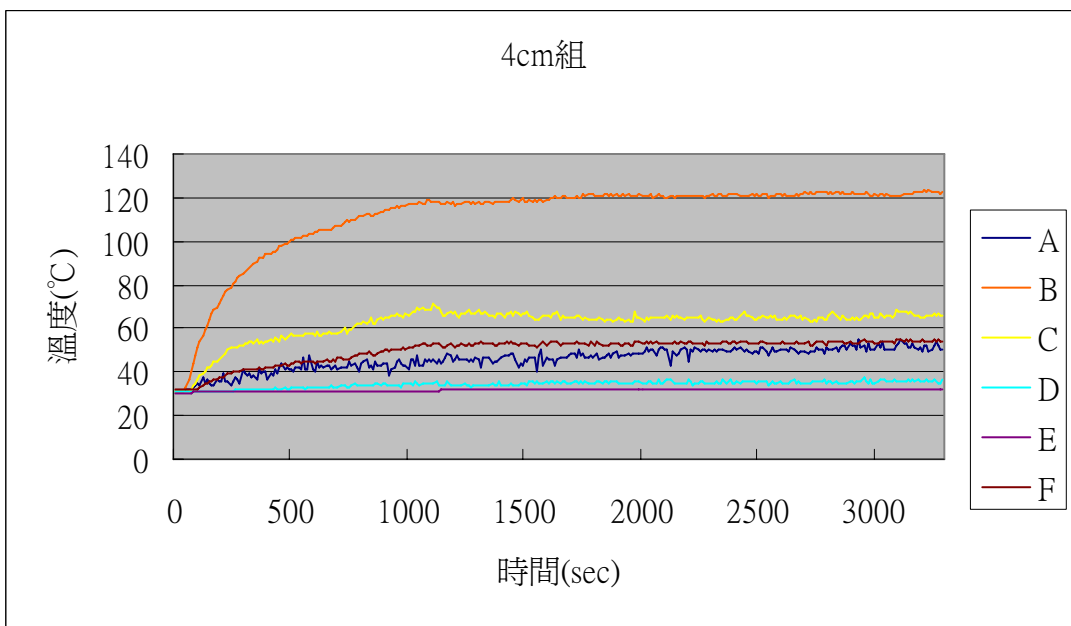


圖 C-1b、直管底部入風口高度 4cm 溫度-時間圖

註：e 點、d 點數據均偏低，為 Thermocouple 短路所導致

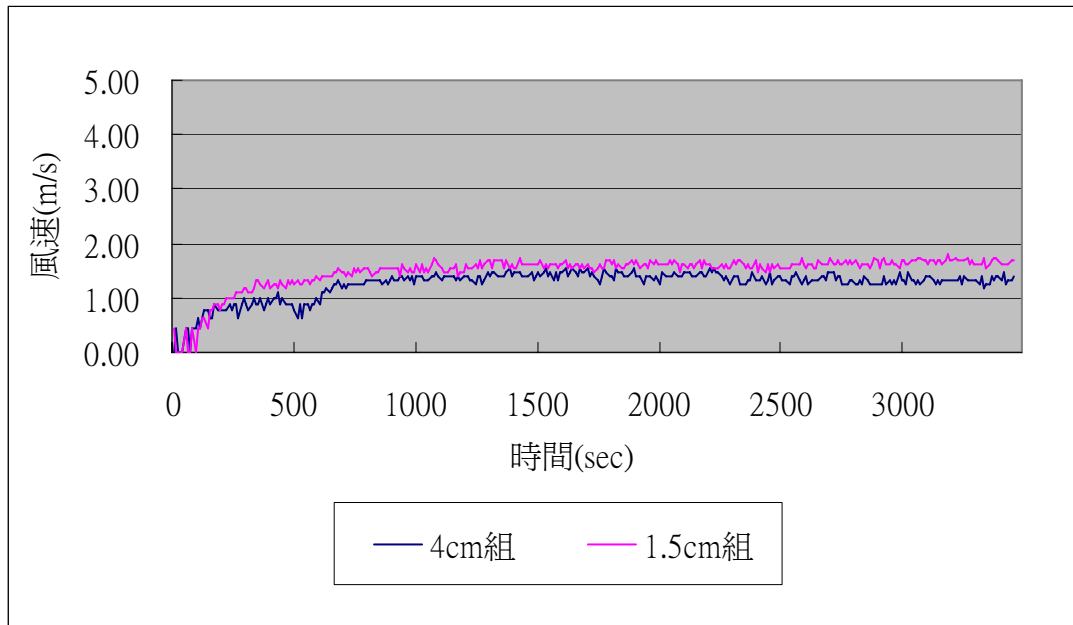


圖 C-2、漸擴管底部入風口高度風速比較

四、漸擴管煙罩到煙囪距離比較

由於漸擴管和煙罩間的一段距離，管內空氣由於被加熱的緣故，壓力較外界低，使得周圍的壓力比此段壓力較大，周圍的空氣因為壓力差距而被吸進漸擴管內，進而增加管內的流量。因此我們設計了一組實驗，來探討漸擴管到煙罩的距離對 solar chimney 發電效率的影響

在此組實驗中，我們使用同樣高度的漸擴管〔2.4m〕，煙罩底部與加熱板距離維持〔1.5cm〕，但漸擴管煙罩到煙囪距離分別為 5cm 和 7cm 之兩組模型進行實驗並比較。觀察實驗的數據，我們發現兩者之風速數據與溫度數據均相近，推測煙囪與煙罩出口距離影響不大。(如圖 D)

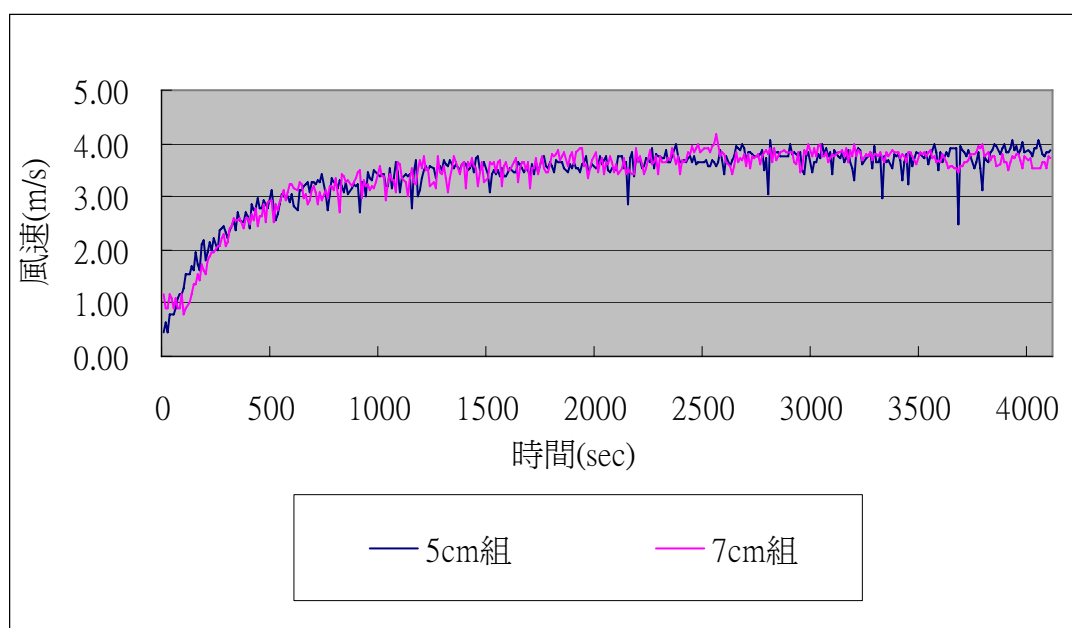


圖 D、漸擴管煙囪與煙罩出口距離風速比較

陸、總結

在本次實驗之中，我們綜合各項對 solar chimney 的影響，發現就原先的設計，有相當大的改進及討論之可能性。

首先，在討論直管高度變化時，由於實驗的趨勢並未如原先預期，我們推論可能與管壁之絕熱未完全有關。原先預期是管長越長時，由於路徑的增長，氣體由於體積膨脹所造成之浮力效應應較管長較短時明顯，且由煙囪效應之公式推出高度較高時應會獲得較高的壓差，但實驗數據所顯示的結果卻是 2.4m 組之風速較 1.2m 組低。我們推測應為管內氣體之能量經由管壁以熱能之形式散出，進而導致風速降低。因此，在 solar chimney 設計時應要考慮到管壁之絕熱能力，若是高度增加但管壁材質無法良好絕熱，則在效率上可能不會有正面效益。

在煙罩底部與加熱板距離的討論方面，雖然直管與漸擴管組的風速差距皆不大，但仍可推測出若煙罩底部與加熱板距離過大，則可能導致煙罩內之熱空氣自入風口處流失，進而導致效率的降低。因此在實際應用上，solar chimney 應就其面積與高度去考量煙罩底部與加熱板距離之大小，方可達到最高的效益。

我們嘗試了在 solar chimney 模型中針對煙囪形狀改變。就同長度直管與漸擴管而言，漸擴管在風速上有明顯的改進效果，從直管之 1.75m/s 增加至 4m/s。由此數據，我們推測漸擴管應用在現行之 solar chimney 以改進效率是極有可行性的，而對於其他管型(漸縮管、漸縮-漸擴管)也具有嘗試的價值。

在煙囪與煙罩之間距方面，雖然實驗數據中並沒有明顯的差距，但這項變數在日後改進的討論中，仍具有進一步討論的空間。

整體實驗而言，我們所改變之各項變數中，以管型之改變有最大的的改進效益。雖然此次實驗未實際將模型所產生之動力用以發電，但實驗之數據對日後嘗試對 solar chimney 進行改進的研究者仍有相當之參考價值，而我們也希望就此次實驗所探討之變數，能將 solar chimney 的發電效率提高至 3%、4%，或是更高。

柒、參考資料

1. ***The solar chimney***
http://www.math.purdue.edu/~lucier/The_Solar_Chimney.pdf
Schlaich Bergermann
2. **源 第55期**(2006 1-2 月)
台灣電力公司
3. ***Solar chimney cycle analysis with system loss and solar collector performance***
Anthony J. Gannon and Theodor W. von Backström
Department of Mechanical Engineering, University of Stellenbosch
4. ***Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model***
N. Pasumarthi and S. A. Sherif
Oracle Coperation, One Davis Drive, Belmont
5. ***Design of commercial updraft systems utilization of solar induced convective flows for power generation***
Jörg Schlaich, Rudolf Bergermann, Wolfgang Schiel, Gerhard Weinrebe
Schlaich Bergermann and partner, Gohenzollernstr.

評語

作者利用煙囪開口粗細來探討熱傳導的情形，期盼能增進太陽能發電的效益，立意甚佳。如能真的有一套太陽能發電的簡易器具，證實自己的結果，更能呈現自己的成果。