



利用雙層金屬牆熱浮力通風系統改善室內熱環境之 模型研究

劉彥廷¹ 喻新^{2*}

1. 國立宜蘭大學土木工程學系研究生

2. 國立宜蘭大學土木工程學系教授

摘要

本研究目的為利用模型實驗驗證雙層金屬牆在受熱後產生熱浮力通風改善室內環境之效果與理想設計尺寸。模型實驗是在金屬外牆外再加上一層外殼達到雙層牆的概念，由最外層的高溫金屬外牆加熱雙層牆之間之空氣層，在上方朝外的方向開孔讓加熱的空氣可以流出，底部開口可以讓低溫空氣流入雙層牆，形成類似太陽能煙囪之效果使得空氣對流，進而減少內牆接收的熱量以及室內環境溫度。實驗結果發現空氣層厚度為 0.02 m 時可以產生的最大空氣流量，最大可達 1.58 m³/hr；空氣層越厚，內牆接收的熱量越少，室內溫度上升也較少。雙層牆內牆溫度較室外氣溫增加幅度比單層金屬牆低，顯示雙層牆熱浮力通風系統具有改善室內熱環境成效。

關鍵字：太陽能煙囪、雙層牆、熱浮力通風

*通訊作者 E-mail : yuhsin@niu.edu.tw



Model Study to Improve Indoor Thermal Environment by Using Buoyancy Ventilation in Double Metal Walls

Yen-Ting Liu¹, Hsin Yu^{2*}

1. Graduate Student, Department of Civil Engineering, National Ilan University
2. Professor, Department of Civil Engineering, National Ilan University

ABSTRACT

The purpose of this study is to verify the effect of buoyancy ventilation of the double metal walls with heating to improve the indoor thermal environment and to find the ideal design scale. The model experiment is based on the idea of adding a layer of shell to the interior single wall, then the outer high-temperature outer wall heats the air between the double walls. The heated air can flow out from the opening of the double wall in the upward direction, the bottom opening then let the low-temperature air flow into the double wall and form the effect like a solar chimney. The removed heated air reduces the amount of heat received by the interior wall and the indoor temperature of the room. The experimental results show that the maximum air flow can be generated when the air layer thickness is 0.02 m with airflow rate of 1.58 m³/hr. The thicker air layer makes lower surface temperature of the interior wall, and less room temperature rise. The surface temperature of double walls beyond the exterior air temperature is less than the surface temperature of single metal wall beyond the environment, that indicate the buoyancy effect of double metal walls can improve the thermal environment of room.

Keyword: Solar Chimney, Double Wall, Buoyancy Ventilation

*Corresponding author E-mail: yuhsin@niu.edu.tw

一、前言

近年來溫室氣體的排放量逐年上升導致地球的環境溫度逐年升高，夏季高溫的環境使建築室內環境更加炎熱，尤其是以金屬牆作為壁體的建築，室內溫度通常較容易升高而使人不舒服；為了降低室內溫度，長時間使用空調雖然可以達到室內舒適環境，但使用大量的能源導致溫室氣體的排放增加，進而造成溫室效應，因此需要尋找一個可以降溫又節約能源的建築形式以改善室內熱環境。

為了改善室內炎熱高溫環境，建築物內利用節約能源之被動式設計(passive design)以改善室內熱環境也越來越被重視，被動式通風不僅可以排除室內高溫，也可以帶來新鮮的空氣並減少能源的消耗，因此如何設計理想的雙層牆熱浮力通風系統是值得探討的課題。

熱浮力通風又稱作熱壓作用通風，此為利用溫度和濕度所產生的差異引起上升浮力產生的壓力差帶動空氣流動，當密度小的熱空氣上升時較低溫的空氣就可以從建築開口中進入室內，進而降低室內環境的溫度，由於不依賴風力，因此在無風的夏季時依舊可以產生穩定的空氣流動(香港綠色建築科技網，2014)

太陽能煙囪系統為利用太陽的輻射熱作為加熱空氣的來源以產生熱浮力通風，當太陽能煙囪在傾角 45° 、空氣層厚度 0.35 m 、入風口面積為 $0.35\text{ m}\times 0.1\text{ m}$ 時，接收到的輻射量為 500 W/m^2 時煙囪內空氣流速為 0.15 m/s ，而接收輻射量為 750 W/m^2 時空氣流速為 0.18 m/s ，可見輻射量與空氣流速成正比(Jyotirmay et al, 2006)。在固定煙囪傾角、固定入風口下改變煙囪空氣層的厚度會影響空氣的流量，當入風口高度固定為 0.1 m ，空氣層厚度在 0.3 m 時最高可以產生約 110 kg/hr 的空氣流量，而厚度在 0.1 m 最高可以產生約 90 kg/hr 的空氣流量，但在相同熱輻射下厚度 0.3 m 比厚度 0.2 m 的空氣流量增加約 5 kg/hr ，而厚度 0.2 m 卻比厚度 0.1 m 的空氣流量增加約 10 kg/hr (Jyotirmay et al., 2006)，因此在設計時須加以考量太陽能煙囪尺寸對空氣流量的影響。

太陽能煙囪的長度決定了熱浮力通風系統的好壞，Sakonidou et al. (2008)利用 CFD 模擬太陽能煙囪長達 196 天得到在太陽輻射量為 23.1 MJ/m^2 ，環境溫度為 28.9°C 時，不同垂直長度及氣流厚度下的出風口空氣溫度及空氣流速的表現；結果發現煙囪長度越長產生的空氣溫度及空氣流速越高，熱浮力通風的效果越好。太陽能煙囪的傾角對熱浮力通風產生影響，在模擬相同煙囪長度(1m) 不同煙囪傾角(30° 、 45° 、 60° 、 90°)之煙囪間隙的空氣流速及空氣溫度時，結果發現在傾角 60° 時有較好的空氣流速，在 30° 時有較高的空氣溫度(Sakonidou et al., 2008)。雖然傾角 30° 可以產生較高的空氣溫度，但是太陽能煙囪過於水平而不利於熱空氣向上流動；相反的煙囪傾角在 90° 時雖然有利於熱空氣的流動，但是卻不利於接收太陽輻射熱。

空氣層厚度會影響熱浮力通風的效果，當室內空氣經由入風口進入太陽能煙囪系統

時，由於入口面積的收縮，此時在入風口上部會產生分離或漩渦的現象，造成能量的損失，影響空氣流上升，因此被稱為 vena-contracta 效應(Bassiouny et al., 2008)。在空氣層厚度較小的狀態下此效應所造成的能量損失較小，不影響熱浮力通風；但是在空氣層厚度較大時會造成沒有足夠的空氣流進入煙囪中，因產生分離流使得空氣流量降低進而使熱浮力通風效果變差。

林懷平(2011)利用雙層牆自然通風系統做內壁體降溫之研究，可以發現在未使用雙層牆系統之內壁體溫度相較於外在氣溫最高可以相差約 15°C ，而利用雙層牆系統之內壁體溫度相較於外在氣溫最高可以相差約 10°C ，由此可知利用雙層牆自然通風系統可以降低內壁體之溫度，以減少進入室內環境之熱量。

Hirunlabh et al. (1999)利用金屬內牆材質的雙層牆(Metallic Solar Wall, MSW)系統做熱浮力通風的試驗；實驗結果顯示，當空氣層厚度為 14.5 cm、牆面高度為 2 m 的雙層牆有最理想的通風效果，此時出風口的平均溫度約為 50°C ，比起室內的平均溫度 30°C ，有足夠的溫度差異可以達成熱浮力通風的效果；而在冬季時可以反向運轉此系統，為室內帶來熱量加溫。

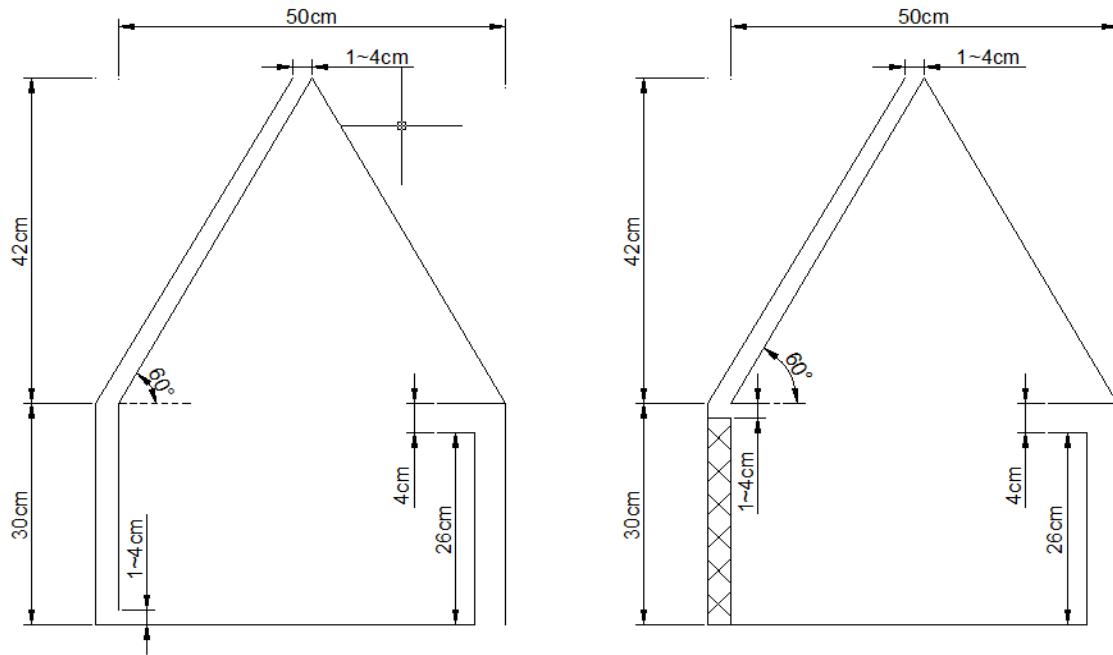
利用雙層牆熱浮力通風除了可以讓外在空氣進入室內降溫，更可以利用土壤與地熱交換系統(earth to air heat exchange, EAHE)將地底經過熱交換的較低溫空氣送入室內，達到最佳的降溫效果；Maerefat et al. (2010)利用熱浮力通風原理，將原本引進室外空氣的開口改成連接土壤與地熱交換系統的管路系統，利用熱空氣流出後帶動室內空氣流動，進而抽取經過土壤與地熱交換管的低溫空氣進入室內，達到室內降溫的效果，當外在環境溫度為 50°C 時，此系統可以讓室內處在 31°C 上下，藉此減少使用空調所消耗的能源。

本研究的目的是為利用模型實驗去尋找雙層金屬牆利用熱浮力通風改善室內溫度之理想設計準則，由於金屬外牆受到太陽照射後會產生極高的溫度，再加上建築多半為單層壁體結構，因此熱量容易進入使得室內溫度升高，為此本研究在單層牆壁上再加一層外牆，達到類似太陽能煙囪的雙層牆系統，利用空氣受熱後所產生的熱浮力效應帶動空氣流動，將室內高溫的空氣藉此帶出，以降低室內環境溫度。

實驗結果可以同時達到下列目的：(1)檢驗太陽能煙囪是否足以帶動室內空氣流動 (2)尋找適當形式尺寸使得熱浮力效果最佳化 (3)檢驗內牆降溫效果。

二、材料與方法

本研究利用實驗模型屋(圖 1、圖 2)模擬金屬外牆建築在結合雙層牆系統的熱浮力通風概念對室內降溫之效益，希望藉此找到最佳的尺寸大小，達到降低能源消耗使室內溫度降低之理想狀態。





(a)



(b)

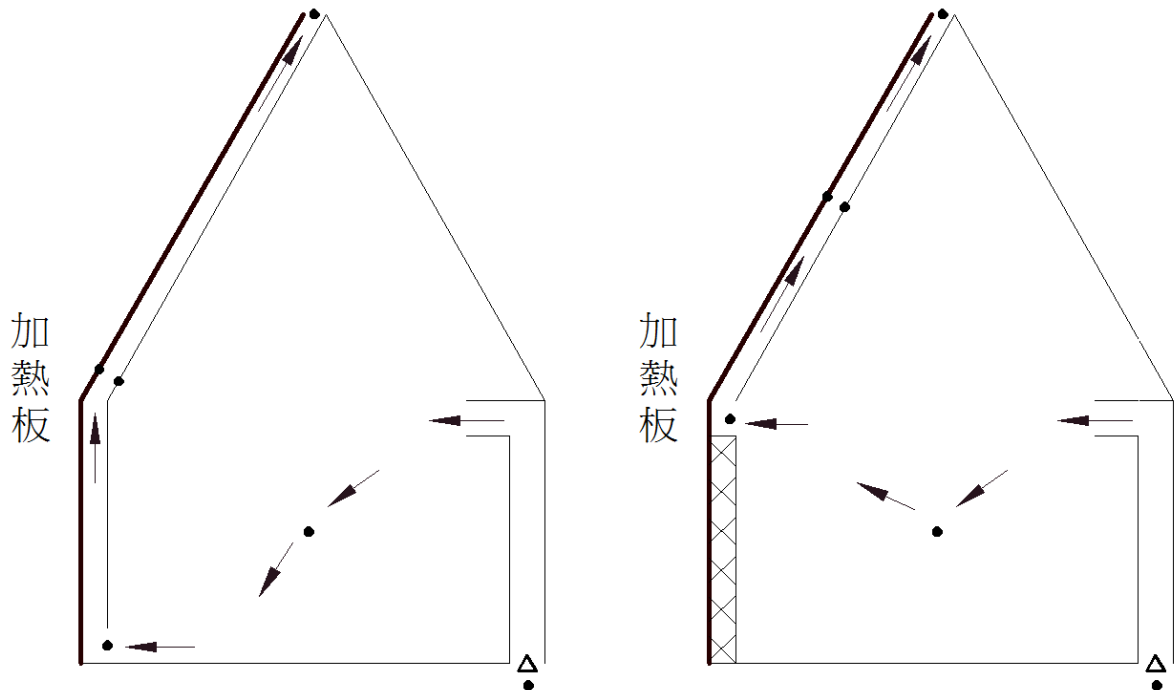


(c)

圖 2. 實驗模型屋影像圖(a)側視圖(b)正視圖(c)上視圖

本研究以俗稱白鐵的鍍鋅不鏽鋼金屬作為外牆材料，且內牆也一樣使用鍍鋅不鏽鋼材料，利用矽膠加熱板(Model SFRG 1242/2；OMEGA Engineering, Inc. USA)做為模擬太陽輻射的熱源，加熱板同時由溫度控制器(Model FY400 PID FUZZY, 台製)做恆溫控制分別為與室內入口溫度相差 10°C 、 20°C 、 30°C 、 40°C ，並在外牆、內牆、入風口、出風口、室內、室外架設熱電偶線(T-type)量測溫度(量測頻率為每 5 秒收集一筆資料，每 1 分鐘紀錄平均數據)，在入風口則由管徑 4 cm 的塑膠管將室外空氣導入室內並架設風速計(Model EE575 ELEKTRONIK；TSI, Inc. USA)量測流速(量測頻率為每 5 秒收集一筆資料，每 1 分鐘紀錄平均數據)，各感測器數據由資料收集器(Model CR1000；CAMPBELL

Ltd, USA)收集紀錄；當外牆加熱時，雙層牆內的空氣層也因此加溫，加熱後的空氣從上方開口流出，為補足雙層牆內部的空氣從下方開口處由室內空氣流入，而室內空氣則從後方開口處由室外空氣補足，如圖3所示，藉此讓模型屋處於空氣流動的情況，達到降溫的效果。



長度(0.5m、0.8m)，待決定最適空氣層厚度及長度後再固定空氣層厚度及煙囪長度改變入風口高度(1cm、2cm、3cm、4cm)，以了解太陽能煙囪模型實驗之效果。

三、結果與討論

3-1 雙層牆厚度

圖 4、圖 5 為太陽能煙囪在長度 0.8 m 及 0.5 m 下，固定入風口高度(0.02 m)改變外牆溫度(與室外氣溫差 10°C 至 40°C)及空氣層厚度所量測之空氣流量，以了解雙層牆厚度對熱浮力通風之影響。

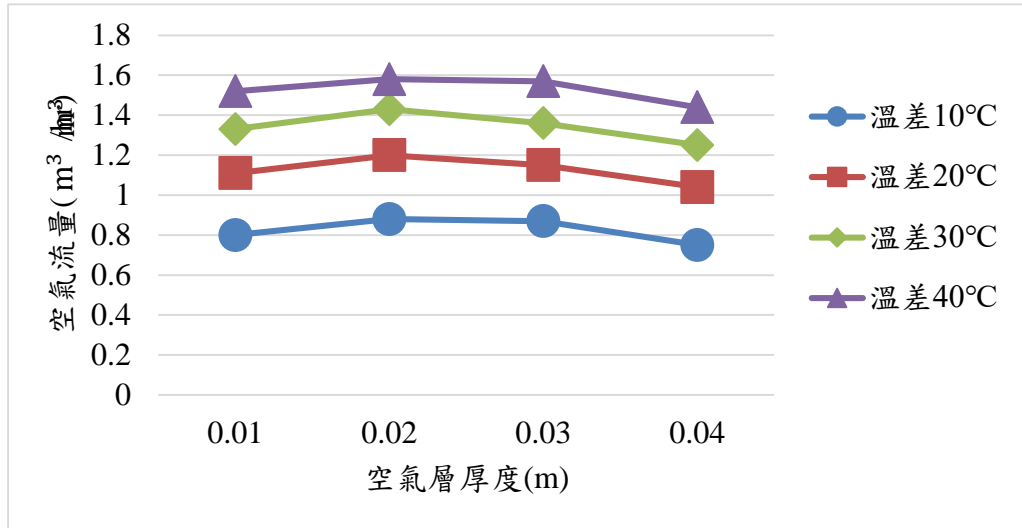


圖 4. 煙囪長度 0.8 m 下不同外牆溫差之空氣層厚度與空氣流量變化圖

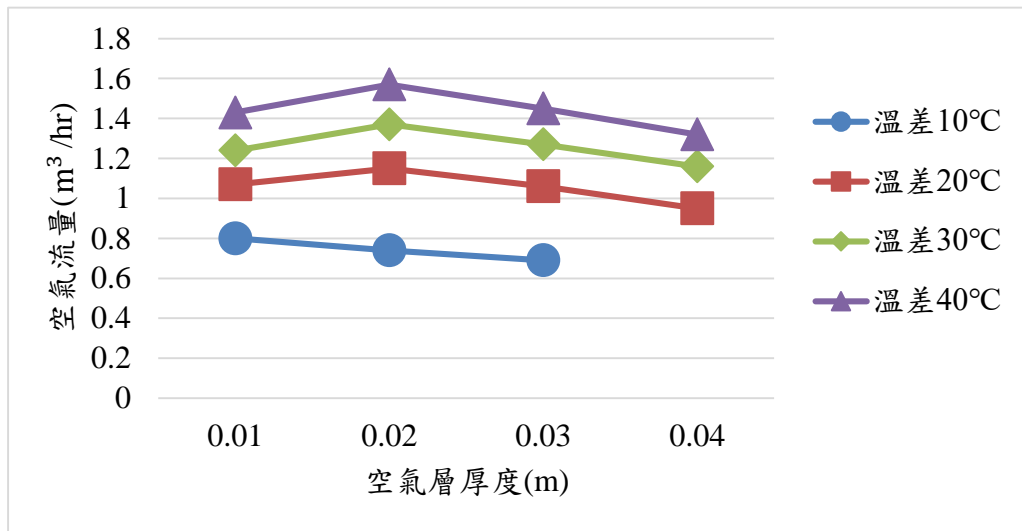


圖 5. 煙囪長度 0.5 m 下不同外牆溫差之空氣層厚度與空氣流量變化圖

由 Bansal et al. (1993)及 Andersen (1995)所建立的太陽能煙囪空氣流量公式(式 1)中，可以發現空氣流增溫程度與空氣流面積對空氣質量流率具有互相抵消之作用。

$$m = C_d \frac{\rho_{f,o} A_o}{\sqrt{1+Ar^2}} \sqrt{\frac{2gL(T_f-T_r)}{T_r}} \quad (1)$$

其中， m ：空氣質量流率(kg/s)

C_d ：空氣層流量係數(=0.57) (Andersen,1995；Akbarzadeh et al., 1982)

$\rho_{f,o}$ ：空氣密度(kg/m³)

A_o ：煙囪出風口截面積(m²)

A_r ：煙囪出風口截面積與入風口截面積之比值(A_o/A_i)

g ：重力加速度(=9.81m/s²)

L ：煙囪長度(m)

T_f ：空氣流平均溫度(°k)

T_r ：室內溫度(°k)

不同煙囪長度下兩組實驗多數實驗結果顯示在空氣層厚度為 0.02 m 時相較於其他厚度具有較高的空氣流量，在相同的熱量下可以將厚度為 0.02 m 的雙層牆內空氣充分加熱，熱浮力所產生空氣層流速與空氣層面積可產生較高的空氣流量。在厚度 0.03 m、0.04 m 時雖厚度較大可以增加空氣流面積，但是空氣層所接收之熱量為固定值，因此空氣所能增溫的幅度有限，使得熱浮力通風效果減少；而厚度 0.01 m 的空氣層因厚度較小空氣容易受熱加溫，空氣流可以快速流動，但是由於空氣層厚度小空氣流斷面積變小導致空氣流量變小；整體而言兩者在外牆溫度越大時所產生之空氣流量越大。

在煙囪長度為 0.5 m、溫差為 10°C 時，因外牆溫度偏低再加上加熱長度略短，此時空氣流量並非是在 0.02 m 有最高流量，而是跟厚度成反比關係，越厚的空氣層所產生的空氣流量越小；在厚度為 0.04 m 的空氣層雖厚度較大而增加空氣流面積，但加熱長度較短及空氣層體積增加使得空氣流加熱後的溫度與入風口溫度溫差不大，因此熱浮力通風效果不明顯，空氣流速過小而無法測得。

3-2 煙囪長度

圖 6 為固定外牆溫度(外牆溫度與室外溫度差 20°C)、固定入風口高度(0.02 m)下不同空氣層厚度、煙囪長度的空氣流量；整體而言 0.8 m 加熱長度的空氣流量大於 0.5 m 加熱長度，最大可差 0.09 m³/hr，由於煙囪長度 0.8 m 有較長的加熱空間可以讓空氣充分加熱，使得空氣流溫度上升幅度增加進而增加熱浮力通風所產生之空氣流量；兩者在空氣層厚度 0.02 m 時有最大的空氣流量。

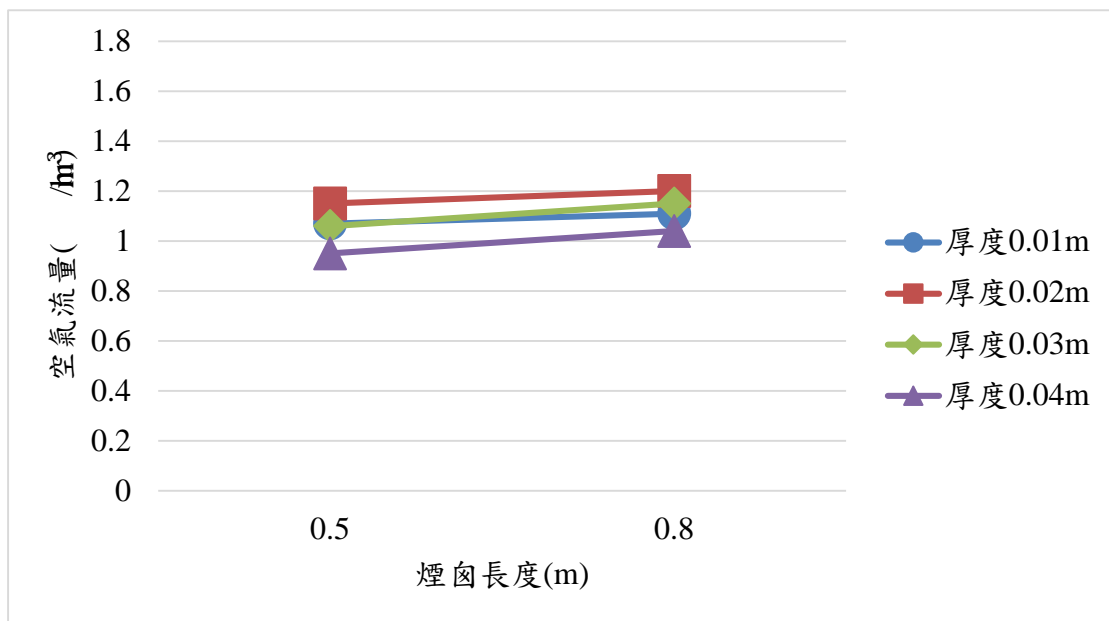


圖 6. 外牆溫差 20°C 下不同空氣層厚度之煙囪長度與空氣流量變化圖

3-3 入風口高度

圖 7 為固定煙囪長度(0.8 m)、外牆溫度(外牆溫度與室外溫度差 20°C)、固定空氣層厚度(0.02 m)下不同入風口高度的空氣流量。整體而言數據無明顯之變化。由於影響空氣流量因素包括外牆接收熱量、空氣層厚度、加熱長度等，因為影響因子固定使得空氣流量為定值，因此不同的入風口高度並不影響空氣流流量的變化。

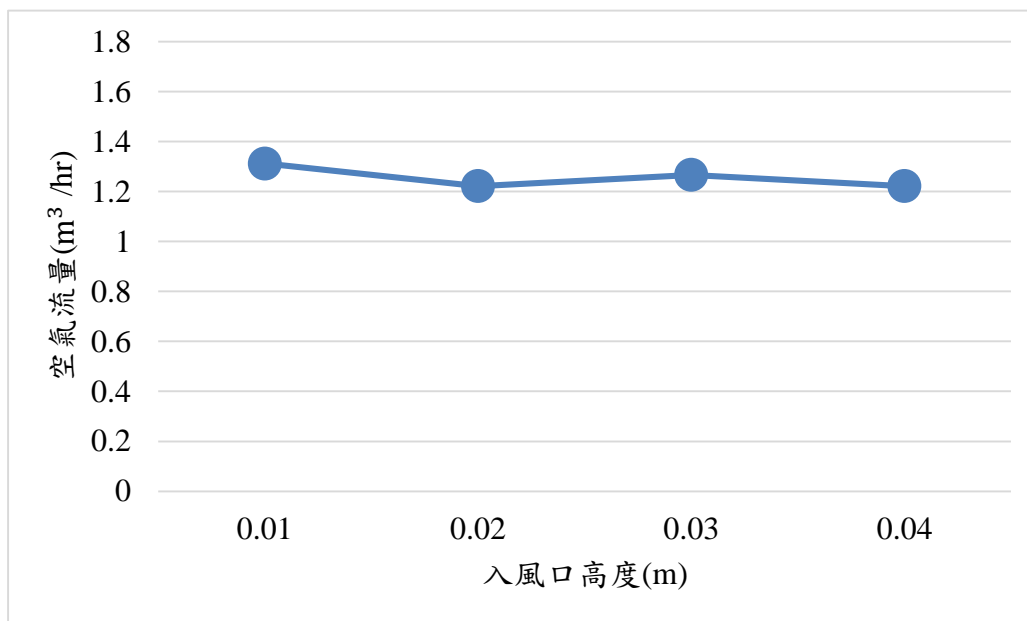


圖 7. 固定煙囪長度(0.8 m)、空氣層厚度(0.02 m)下不同入風口高度與空氣流量變化圖

3-4 空氣流量

表 1、表 2 為太陽能煙囪長度分別為 0.8 m 及 0.5 m，固定入風口高度(0.02 m)及不同外牆溫度(與室外氣溫差 10°C 至 40°C)改變空氣層厚度所量測之空氣流量。在相同空氣層厚度下，煙囪長度 0.8 m 受熱後產生之空氣流量大於煙囪長度 0.5 m 受熱後產生之空氣流量；整體而言兩者在相同外牆溫度下空氣層厚度在 0.02 m 有最大的空氣流量，其次是空氣層厚度 0.03 m、厚度 0.01 m、厚度 0.04 m；兩者雖然外牆溫度越高產生之空氣流量越多，但是空氣流量上升幅度並未加大，在相同空氣層厚度下外牆溫度從溫差 10°C 至 20°C 時，所產生空氣流量增加的幅度最大，而外牆溫度從溫差 20°C 至 30°C 空氣流量增加變少，外牆溫度從溫差 30°C 至 40°C 空氣流量增加更少。

表 2. 不同外牆溫差、不同空氣層厚度之空氣流量

煙囪長度 (m)	入風口高 度(m)	空氣層厚 度(m)	空氣流量(m ³ /hr)			
			溫差 10°C	溫差 20°C	溫差 30°C	溫差 40°C
0.8	0.02	0.01	0.8	1.11	1.33	1.52
		0.02	0.88	1.2	1.43	1.58
		0.03	0.87	1.15	1.36	1.57
		0.04	0.75	1.04	1.25	1.44

表 3. 不同外牆溫差、不同空氣層厚度之空氣流量

煙囪長度 (m)	入風口高 度(m)	空氣層厚 度(m)	空氣流量(m ³ /hr)			
			溫差 10°C	溫差 20°C	溫差 30°C	溫差 40°C
0.5	0.02	0.01	0.8	1.07	1.24	1.43
		0.02	0.74	1.15	1.37	1.57
		0.03	0.69	1.06	1.27	1.45
		0.04	N/A	0.95	1.16	1.32

N/A 為無法測得此數據

3-5 空氣流溫度

表 3、表 4 為太陽能煙囪長度分別為 0.8 m 及 0.5 m，固定入風口高度(0.02 m)及不同外牆溫度(與室外氣溫差 10°C 至 40°C)改變空氣層厚度所量測之空氣流平均溫度(入風口與出風口溫度之平均)。在煙囪長度 0.8 m 時空氣層厚度 0.03 m、0.04 m 之空氣流均溫大於煙囪長度 0.5 m，而在空氣層厚度 0.01 m、0.02 m 則為相反；進行煙囪長度改變實驗係以保麗龍板填充 0.3 m 垂直壁體，在空氣層厚度較小時可能是有空隙使得垂直壁體加熱之空氣溫度偏高，並進入煙囪管路而影響空氣流的溫度，而空氣層厚度越大時影響

較少；整體而言，由於熱量固定時，加溫的空氣越多會使空氣流溫度下降，因此空氣層厚度越大空氣流均溫越低；當外牆溫度越高代表有越多的熱量可以讓空氣流接收，因此空氣流的溫度越高。

表 3. 不同外牆溫差、不同空氣層厚度之空氣流平均溫度

煙囪 長度 (m)	入風 口高 度(m)	室外 溫度 (°C)	空氣 層厚 度(m)	空氣流平均溫度(°C)			
				溫差 10°C	溫差 20°C	溫差 30°C	溫差 40°C
0.8	0.02	20.3	0.01	24.7	28.5	33.1	37.4
		20.1	0.02	23.4	26.9	32.4	36.6
		19.9	0.03	22.7	25.1	27.6	31.2
		19.8	0.04	22.2	24.4	27.1	29.4

表 4. 不同外牆溫差、不同空氣層厚度之空氣流平均溫度

煙囪 長度 (m)	入風 口高 度(m)	室外 溫度 (°C)	空氣 層厚 度(m)	空氣流平均溫度(°C)			
				溫差 10°C	溫差 20°C	溫差 30°C	溫差 40°C
0.5	0.02	19.3	0.01	25.1	29.2	34	39.2
		19.4	0.02	23.7	28.3	31.6	36.2
		17.1	0.03	20.6	23.5	26.6	30.2
		18.8	0.04	20.8	23	25.7	28.4

3-6 內牆溫度

表 5、表 6 為實驗在煙囪長度分別為 0.8 m 及 0.5 m 下，固定入風口高度(0.02 m)及不同外牆溫度(與室外溫度差 10°C 至 40°C)改變空氣層厚度所量測之內牆溫度與室外溫度差。整體而言煙囪長度 0.5 m 的內牆溫度較煙囪長度 0.8 m 高，由於煙囪長度 0.5 m 之空氣流均溫大於煙囪長度 0.8 m，因此煙囪長度 0.5 m 的內牆接收之熱量較多溫度進而上升；兩者在空氣層厚度 0.04 m 時內牆溫度上升較少，由於空氣層厚度較厚，有較多的空氣可以吸收熱量，因此內牆吸收的熱量較少，內牆溫度較為低溫；空氣層厚度越大增溫愈小，但在空氣層厚度為 0.02 m 時由於有較高的空氣流量，熱量較容易因空氣流動而帶走，因此內牆接收的熱量較少，內牆溫度上升幅度較空氣層厚度 0.01 m 及 0.03 m 少；當外牆溫度越高代表有越多的熱量可以讓內牆接收，因此內牆的溫度越高。

表 5. 不同外牆溫差、不同空氣層厚度之內牆溫度與室外溫度差

煙囪 長度 (m)	入風 口高 度(m)	室外 溫度 (°C)	空氣 層厚 度(m)	內牆溫度與室外溫度差(°C)			
				溫差 10°C	溫差 20°C	溫差 30°C	溫差 40°C
0.8	0.02	20.3	0.01	+2.0	+5.1	+7.3	+9.3
		20.1	0.02	+2.7	+4.6	+6.5	+8.2
		19.9	0.03	+2.7	+4.8	+7.2	+9.6
		19.8	0.04	+2.3	+4.0	+5.6	+7.4

表 6. 不同外牆溫差、不同空氣層厚度之內牆溫度與室外溫度差

煙囪 長度 (m)	入風 口高 度(m)	室外 溫度 (°C)	空氣 層厚 度(m)	內牆溫度與室外溫度差(°C)			
				溫差 10°C	溫差 20°C	溫差 30°C	溫差 40°C
0.5	0.02	19.3	0.01	+4.3	+7.5	+10.5	+14.1
		19.4	0.02	+2.9	+5.4	+7.5	+10.2
		17.1	0.03	+3.2	+5.7	+8.0	+10.2
		18.8	0.04	+1.7	+3.0	+4.3	+5.7

3-7 室內溫度

表 7、表 8 為實驗在煙囪長度分別為 0.8 m 及 0.5 m 下，固定入風口高度(0.02 m) 及不同外牆氣溫(與室外溫度差 10°C 至 40°C)改變空氣層厚度所量測之室內溫度與室外溫度差。整體而言煙囪長度 0.5 m 的內牆溫度較煙囪長度 0.8 m 高；在空氣層厚度 0.04 m 相較於空氣層厚度 0.01 m 的室內溫度可以低約 2°C，因空氣層厚度較大使得內牆所接收之熱量較少，因此進入室內的熱量也相度較少，室內溫度相對低溫；當外牆溫度越高代表有越多的熱量可以進入室內，因此室內溫度越高；總體而言，室內溫度上升幅度較不明顯。

表 7. 不同外牆溫差、不同空氣層厚度之室內溫度與室外溫度差

煙囪 長度 (m)	入風 口高 度(m)	室外 溫度 (°C)	空氣 層厚 度(m)	室內溫度與室外溫度差(°C)			
				溫差 10°C	溫差 20°C	溫差 30°C	溫差 40°C
0.8	0.02	20.3	0.01	+0.2	+0.7	+1.4	+2.0
		20.1	0.02	+0.3	+0.7	+1.4	+2.1
		19.9	0.03	+0.5	+0.8	+1.4	+2.0
		19.8	0.04	+0.3	+0.7	+1.1	+1.6

表 8. 不同外牆溫差、不同空氣層厚度之室內溫度與室外溫度差

煙囪 長度 (m)	入風 口高 度(m)	室外 溫度 (°C)	空氣 層厚 度(m)	室內溫度與室外溫度差(°C)			
				溫差 10°C	溫差 20°C	溫差 30°C	溫差 40°C
0.5	0.02	19.3	0.01	+0.7	+1.3	+1.8	+2.4
		19.4	0.02	+0.7	+1.1	+1.6	+2.1
		17.1	0.03	+0.9	+1.2	+1.6	+2.0
		18.8	0.04	+0.7	+1.1	+1.5	+1.9

四、結論

本研究利用實驗模型模擬雙層金屬牆熱浮力通風之效果，實驗結果顯示熱浮力通風可以帶動室內空氣流動；依據前人研究之理論發現空氣流增溫程度與空氣流面積對空氣流量有相互抵消之作用，所以在外牆與室外溫度差固定時，空氣層厚度變厚可以增加空氣流面積，但是空氣流增溫程度較少，依本研究實驗結果在空氣層厚度 0.02 m 時有最大的空氣流量；煙囪長度越長空氣可以受熱時間越長因此熱浮力通風之效果越好，本實驗為煙囪長度 0.8 m 具有較高的空氣流量；影響熱浮力通風之因素為外牆接收熱量、空氣層厚度、加熱長度等，但在相同環境因素下所產生之空氣流量為定值，因此改變入風口高度對本研究之空氣流量較無影響；實驗結果發現空氣層厚度越厚內牆溫度有越低之趨勢，空氣流溫度及室內溫度也有會降低。利用雙層金屬牆熱浮力通風之效果以降低進入室內環境之熱量是一個有效的方法，本研究之雙層牆內牆溫度較外牆溫度低，顯示雙層牆熱浮力通風系統可降低內牆溫度，有效減少熱量進入室內，使室內環境溫度上升較緩，以減少對空調之依賴性，達到節能減碳之目標。

參考文獻

林淮平，2011，“利用雙層牆自然通風系降低內壁材熱量之研究”，碩士論文，土木工程研究所，國立宜蘭大學，宜蘭，台灣。

香港綠色建築科技網，自然通風，2014年3月28日取自 http://gotech.emsd.gov.hk/tc_chi/utilizee/natural.html

Andersen, K.T., 1995, “Theoretical considerations on natural ventilation by thermal buoyancy,” *ASHRAE Transactions*, No.101(part2), Pages1-15.

Bansal, N.K., Mathur, R., Bhandari, M.S., 1993, “Solar chimney for enhanced stack ventilation,” *Building and Environment*, Vol. 28, Issue 3, Pages 373-377.

Hirunlabh, J., Kongduang, W., Namprakai, P., Khedair, J., 1999, “Study of natural ventilation of house by a metallic solar wall under tropical climate,” *Renewable Energy*, [Vol. 18, Issue 1](#), Pages 109-119.

Mathur, J., Mathur, S., Anupma, 2006, “Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation,” *Energy and Buildings*, [Volume 38, Issue 10](#), October 2006, Pages 1156-1163.

Maerefat, M., Haghighi, A.P., 2010, “Passive cooling of bulidings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney,” *Renewable Energy*, [Vol. 35, Issue 10](#), Pages 2316-2324.

Bassiouny, R., Nader S.A. Koura, 2008, “An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation,” *Energy and Buildings*, [Vol. 40, Issue 5](#), Pages 865-873.

Sakonidou, E.P., Karapantsios, T.D., Balouktsis, A.I., Chassapis, D, 2008, “Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow,” *Solar Energy*, [Vol. 82, Issue 1](#), Pages 80-94.

