

與風相抗衡——防風牆之探討

高中組應用科學科第一名

省立台中第一高級中學

作 者：楊青峰、陳建志、謝志偉、蔡高華

指導教師：林調銘

一、研究動機

每年冬天早晨，住在海線的同學總是裹著厚重的衣物禦寒，但我們仍無法真正明白東北季風的威力，直到有一次校外的參觀活動，拜訪了台中火力發電廠，才親身體驗到。當我們越過大度台地時，咻咻的風迎面而來，挾帶著漫天風沙，刺得眼睛睜不開來。

台中火力發電廠有一大片燃煤儲運場，堆著高過兩層樓高度的燃煤。而這迎面而來的東北季風風速可高達 20m/sec 。這不禁使我們想到：如此強大的風力，豈不吹得滿天煤灰，造成煤灰逸散的環境汙染問題？幸好廠方建立了防風系統，防止類似的問題。

在我們的印象中，防風牆一定是一片又高又大的圍牆，但是，發電廠的防風裝置竟是一面網而已，其防風效果值得我們來探討。於是，興起了我們研究防風系統的動機。

二、研究目的

- (一) 設計不同的防風篩網，經由風洞觀察風速計的變化，並比較其防風效果。
- (二) 打洞形篩網各種變因的探討。

三、實驗器材與設備

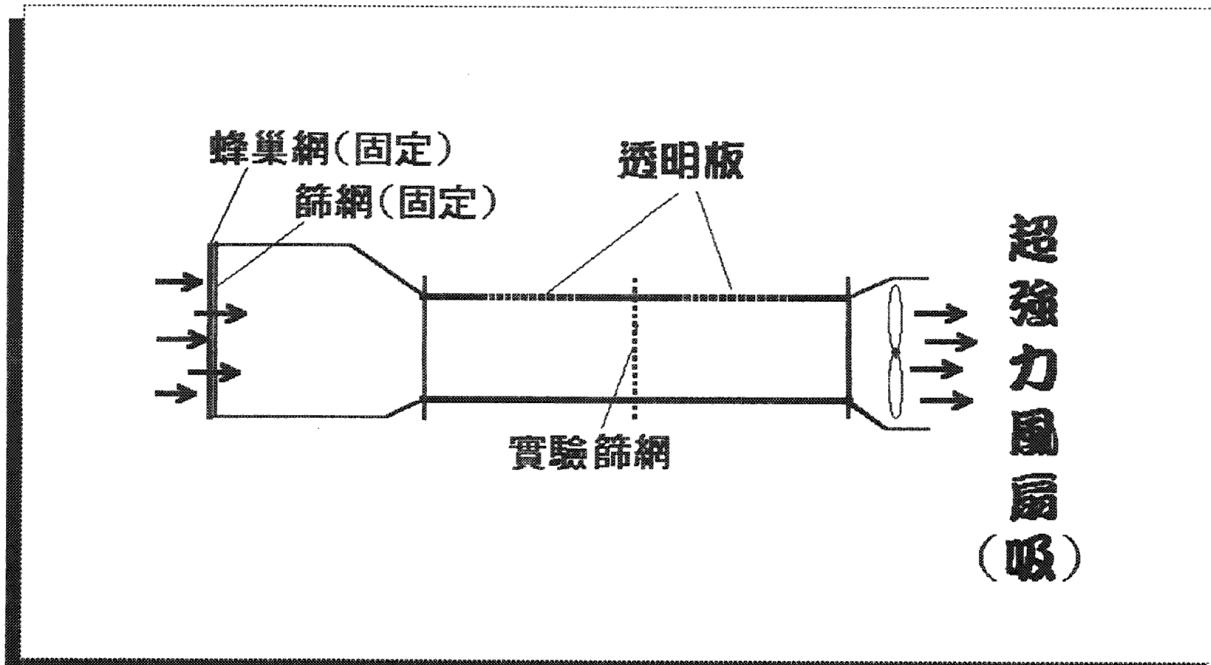
【主要器材】

1. 風 洞（超強力風扇、特製鉛板等）一個（如圖一）
2. 網 幕（平面板、圓孔形、六角形、鐵絲網等）數十個
3. 風速計一個、碼表十個
4. 游標尺、米達尺、螺旋測微器各一個

【輔助工具】

1. 486 電腦
2. 彩色印表機、彩色影印機

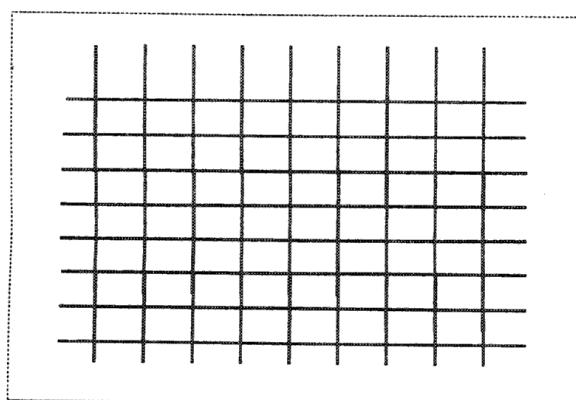
3. Lotus Ami Pro 3.0等



圖一 風洞簡圖

四、實驗原理

(一) 篩網 (screen) 基本上是矩形。如圖二所示，為鐵絲或其它材質所組成。



圖二 screen

★應用於流體力學中，其功能有1. 使流場之亂流度 (turbulence level) 降低。
2. 吸收一些小型顆粒、雜質等。

★但有下列缺點：1. 阻力增加。
2. 風速稍降。

(二) 阻力之產生最主要有摩擦 (friction) 阻力，其次為形狀 (form) 阻力。

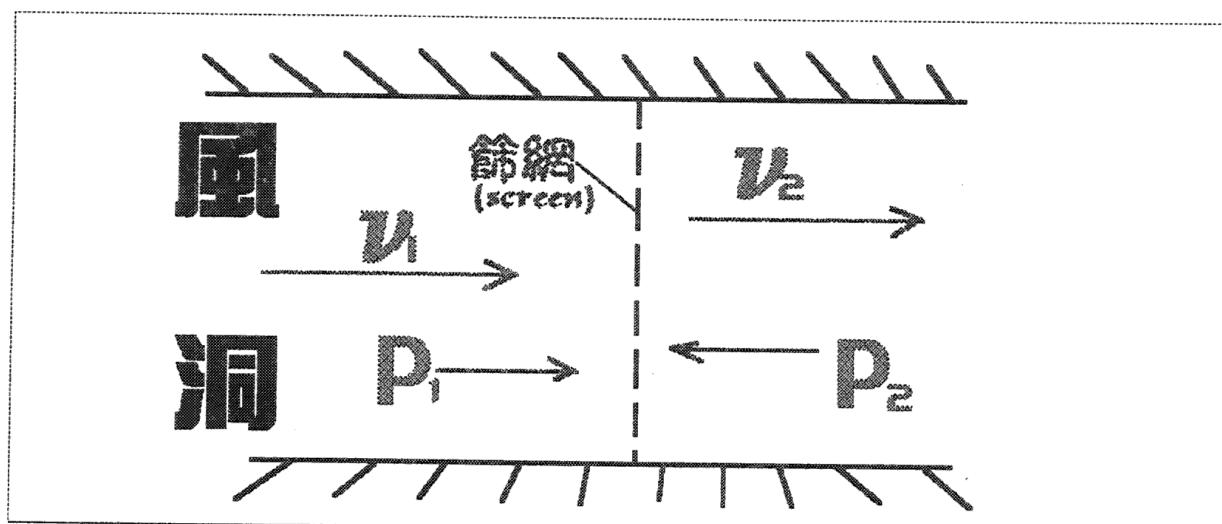
阻力 (f) = 壓力降 (δP) × 面積 (A) [公式一]

壓力降 (pressure drop or loss) $\delta P = K \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$ [公式二]

其中 K = 壓力降係數

ρ = 空氣密度 = 1.225 kg/m^3

v = 風速 (m/sec)



圖三 壓力差

$$v_2 \leq v_1$$

δP = 篩網前後之壓力差

$$= \frac{1}{2} \rho v_1^2 - \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

= 動壓差 [公式三]

(三) 一般而言，篩網之 K 為風速、孔徑大小及孔形狀之函數。即

$$K = \text{function} (v, \text{孔徑大小}, \text{孔形狀})$$

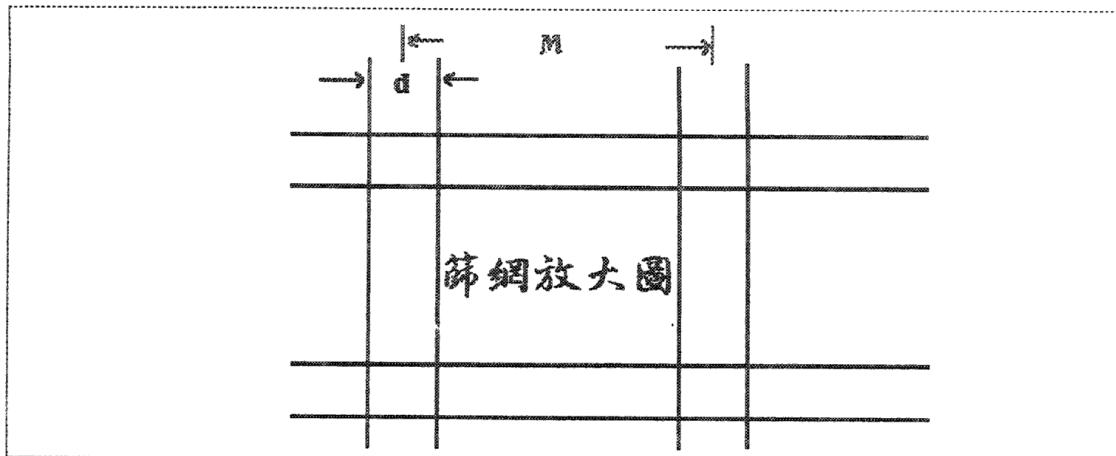
由經驗得知 $K = k_0 + \frac{55.2}{R_d}$ [公式四]

其中 $K_0 = \left(\frac{1 - 0.95\beta}{0.95\beta} \right)^2$ [公式五]

β (透風率或透孔率) = projected open area / total area

$$= \frac{\text{透空面積}(a)}{\text{總面積}(A)}$$

$$= (1 - \frac{d}{M})^2 \dots \dots \dots \text{[公式六]}$$



圖四

d : 網線直徑 (wire diameter) 如圖示

M : 篩孔長度 (mesh length) 如圖示

$$Rd = \frac{v\rho d}{\mu} \dots \dots \dots \text{[公式七]}$$

v : 風速 (m / sec)

ρ : 空氣密度 ($= 1.225 \text{ kg} / \text{m}^3$)

μ : 空氣阻力係數 ($= 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{sec}$)

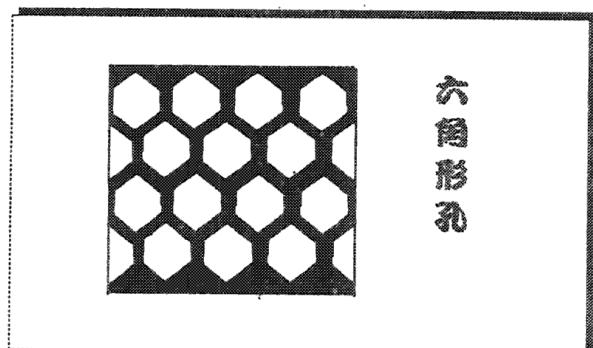
五、實驗步驟及結果

實驗(一) 透風率與動壓差之探討

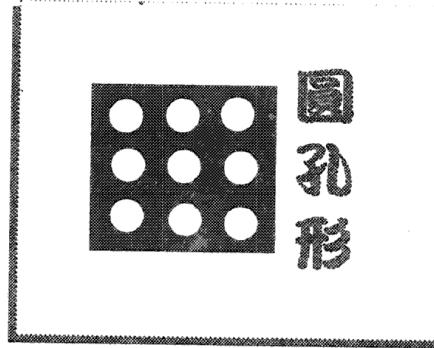
A、實驗方法

- (1) 依據 [公式六] (見第三頁) 計算各種不同透風率 β ，並在 20×20 (cm) 的塑膠布打上六角形孔和圓形孔 (圖五、圖六) 。
- (2) 在市面上購買各種鐵絲網和紗網，並用 [公式六] 計算其透風率。
- (3) 將圓孔、六角形孔和篩網放入風洞中，(見圖一) 用風速計測量其前後各 40cm 的風速。

(4) 依據〔公式三〕(見第二頁) 計算動壓差(δP)，以探討透風率和動壓差之關係。



圖五

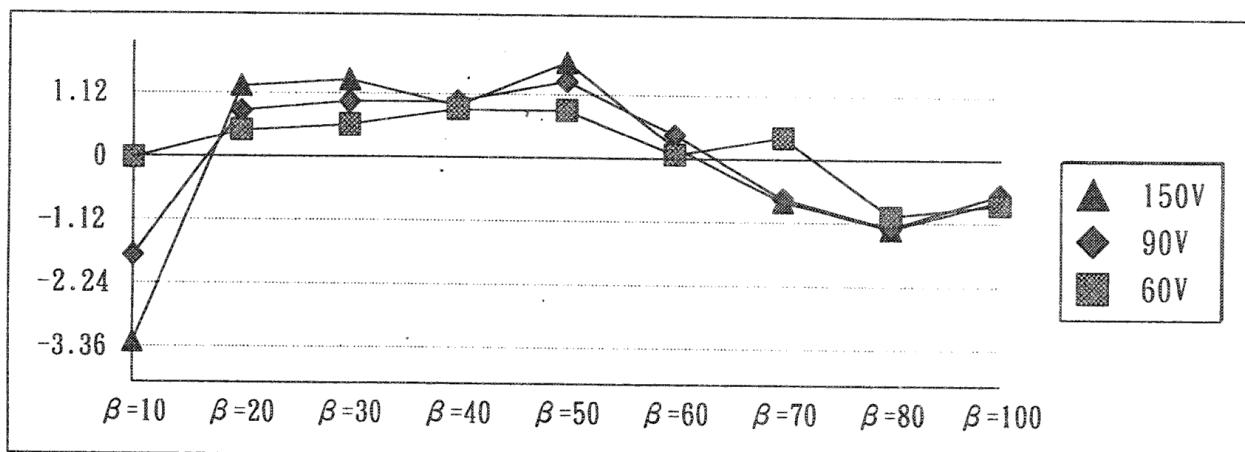


圖六

B、實驗結果

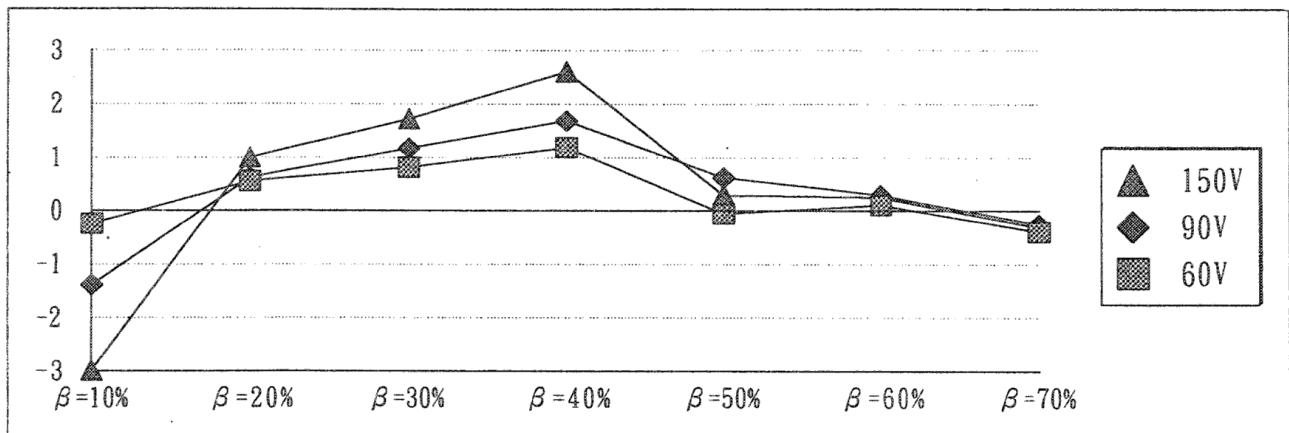
表一 六角形之動壓差

	$\beta=10\%$	$\beta=20\%$	$\beta=30\%$	$\beta=40\%$	$\beta=50\%$	$\beta=60\%$	$\beta=70\%$	$\beta=80\%$	$\beta=100\%$
150V	-3.29	1.23	1.35	0.90	1.67	0.20	-0.76	-1.24	-0.73
90V	-1.75	0.80	0.97	0.98	1.34	0.42	-0.70	-1.22	-0.61
60V	-0.02	0.46	0.57	0.85	0.84	0.07	-0.38	-1.01	-0.80



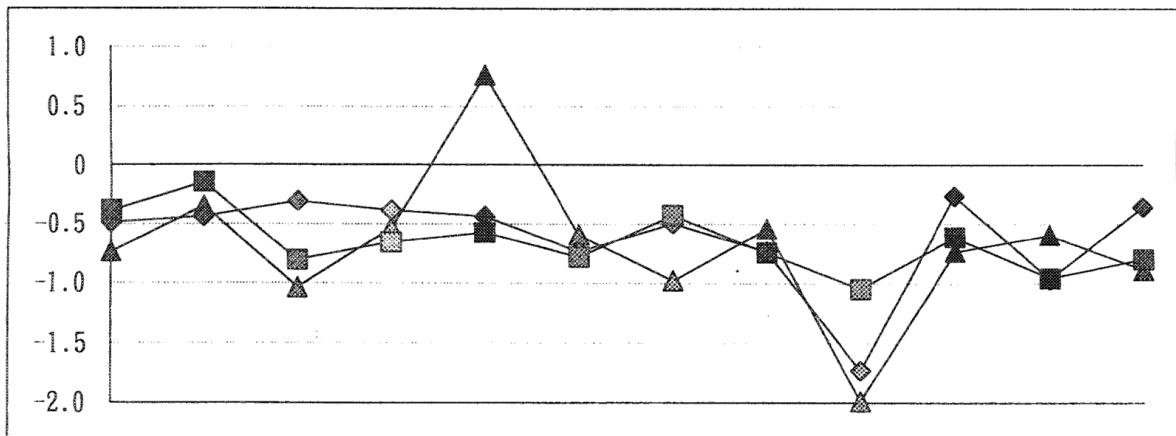
表二 圓孔動壓差

	$\beta=10\%$	$\beta=20\%$	$\beta=30\%$	$\beta=40\%$	$\beta=50\%$	$\beta=60\%$	$\beta=70\%$
150V	-2.99	0.99	1.72	2.60	0.29	0.24	-0.32
90V	-1.39	0.62	1.17	1.68	0.62	0.29	-0.26
60V	-0.25	0.55	0.81	1.18	-0.06	0.10	-0.40



表三 節網之動壓差

β	58.3%	61.9%	62.7%	66.4%	68.3%	71.4%	76.5%	76.5%	76.8%	77.6%	78.5%	79.8%
150V	-0.74	-0.35	-1.04	-0.54	0.76	-0.60	-0.98	-0.55	-1.99	-0.74	-0.60	-0.89
90V	-0.49	-0.44	-0.31	-0.39	-0.44	-0.74	-0.50	-0.74	-1.73	-0.27	-0.97	-0.36
60V	-0.39	-0.15	-0.81	-0.66	-0.58	-0.79	-0.43	-0.75	-1.05	-0.62	-0.96	-0.80



實驗(二) 透風率與前後風速比之探討

A、實驗方法

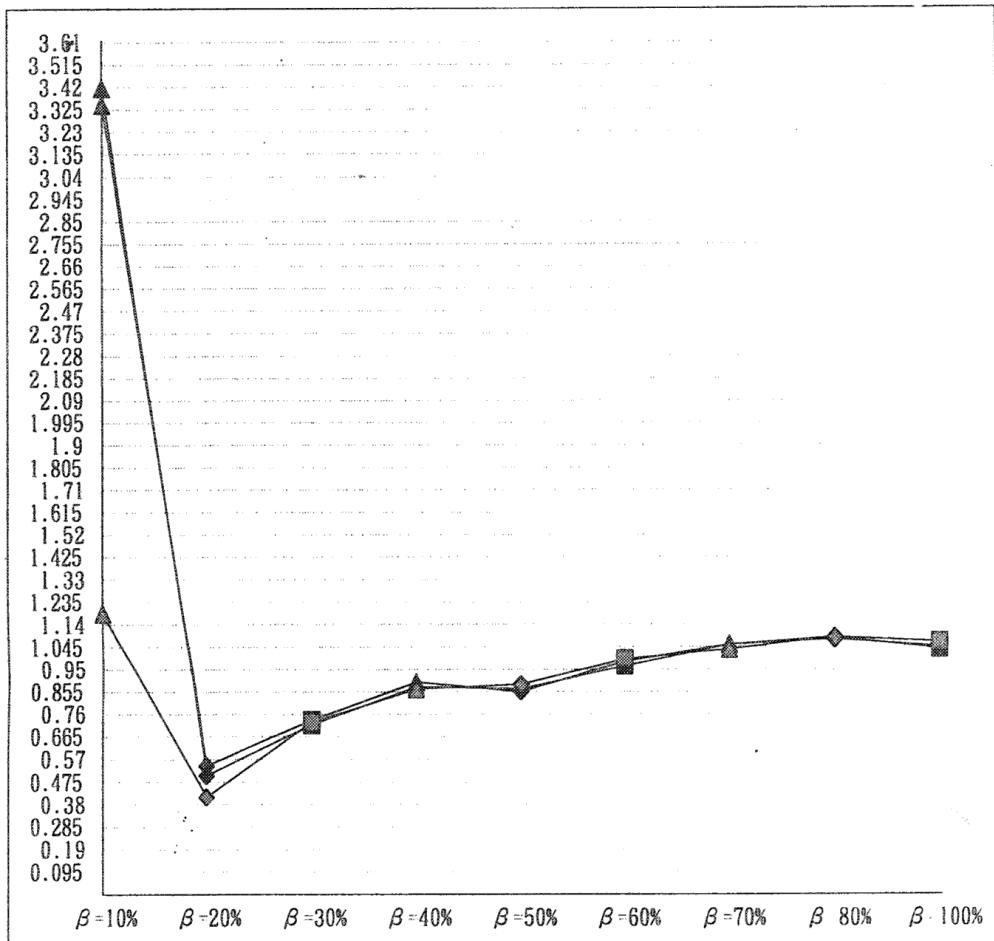
- (1) 將圓孔、六角形孔和節網放入風洞中，用風速計測量其前後各40 cm的風速。
- (2) 計算前後的風速比，並探討其和透風率的關係。

$$\text{前後風速比} (\text{v}_f / \text{v}_i) = \frac{\text{網後風速}}{\text{網前風速}} \quad \dots \quad [\text{公式八}]$$

B、實驗結果

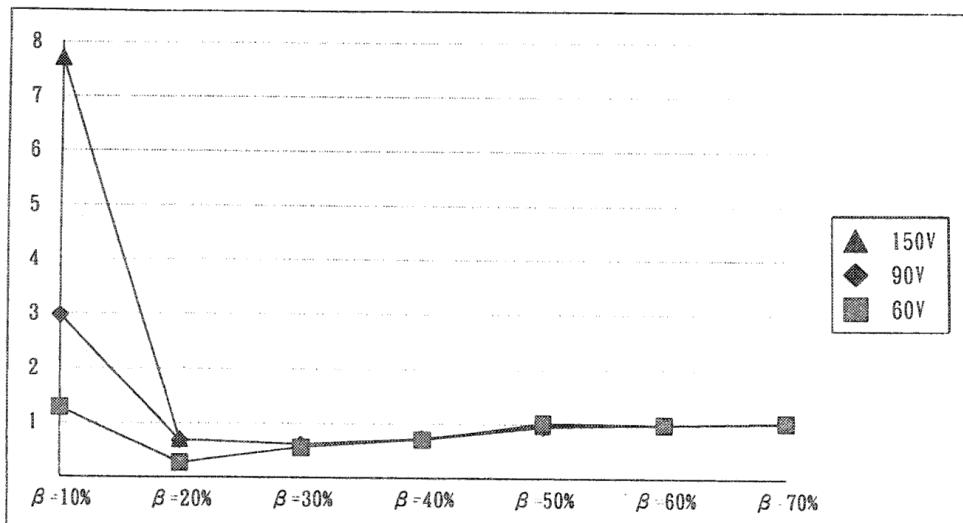
表四 六角形孔前後風速比

	$\beta=10\%$	$\beta=20\%$	$\beta=30\%$	$\beta=40\%$	$\beta=50\%$	$\beta=60\%$	$\beta=70\%$	$\beta=80\%$	$\beta=100\%$
150V	3.33	0.54	0.73	0.89	0.85	0.98	1.05	1.07	1.04
90V	3.40	0.50	0.71	0.87	0.86	0.96	1.05	1.08	1.03
10V	1.18	0.41	0.72	0.86	0.88	0.99	1.03	1.08	1.06



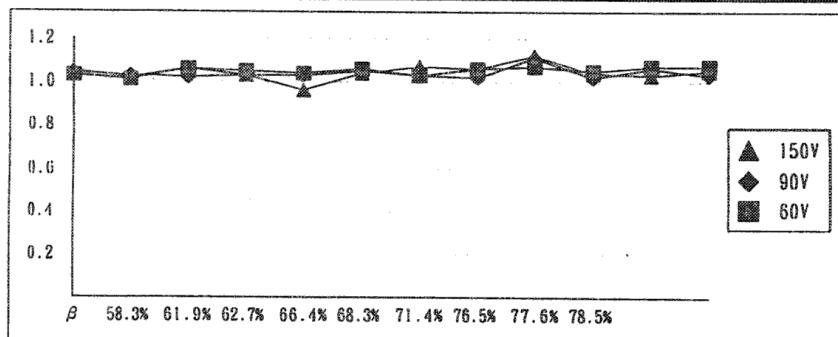
表五 圓孔形的前後風速比

	$\beta=10\%$	$\beta=20\%$	$\beta=30\%$	$\beta=40\%$	$\beta=50\%$	$\beta=60\%$	$\beta=70\%$
150V	7.69	0.69	0.61	0.72	0.97	0.98	1.02
90V	2.96	0.67	0.61	0.70	0.94	0.99	1.02
60V	1.27	0.27	0.55	0.70	1.01	0.99	1.03



表六 篩網之前後風速比

β	58.3%	61.9%	62.7%	66.4%	68.3%	71.4%	76.5%	76.5%	76.8%	77.6%	78.5%	79.8%
150V	1.05	1.02	1.06	1.03	0.96	1.04	1.07	1.06	1.12	1.04	1.03	1.05
90V	1.04	1.03	1.02	1.03	1.03	1.05	1.03	1.02	1.11	1.02	1.06	1.03
60V	1.03	1.01	1.06	1.05	1.04	1.06	1.03	1.06	1.07	1.05	1.07	1.07

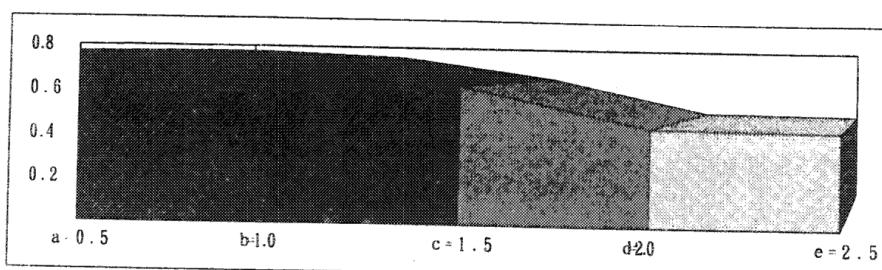


實驗(三) 防風範圍的探討

A、實驗方法

- (1) 將圓孔、六角形孔和篩網放入風洞中。
- (2) 用風速計分別測量網後10cm、20cm、30cm、40cm、50cm的風速。
- (3) 計算其和網前40cm的前後風速比。

B、實驗結果



橫坐標： D / H （與網的距離 / 網高）

縱坐標： v_f / v_i （網後風速 / 網前風速）

實驗四 改變風速後，動壓差和前後風速比的變化

A、實驗方法

- (1)調整風扇的電壓，使其分別為 $60V$ 、 $90V$ 、 $150V$ 。
- (2)測量、計算如同實驗(一)、(二)、(三)。

B、實驗結果

見實驗(一)、(二)、(三)的表一~表六

六、分析與討論

討論(一) 動壓差與透風率

1. (a)蜂巢網（圓孔、六角形孔）的透風率，約介於 $20\% \sim 50\%$ 時，動壓差增大（請參閱表一、表二），此時較能有效率地把風擋下來。
(b)當透風率太大或太小時，不但不能達到擋風的效果，反而使網後風速加快，比不用篩網的情況還差，不得不注意。
2. (a)篩網的透風率集中於 $60\% \sim 80\%$ ，範圍太窄，無法有效的討論。
(b)由這小範圍來看（表三），也顯示出篩網的 β 和 δp 無明顯關係。
3. (a) β 介於 $20\% \sim 50\%$ 時，雖有減低風速的效果，但同時也會增大其阻力，根據第二頁〔公式一〕可知，動壓差愈大，阻力就愈大。
(b)前面提到，台中火力發電廠的風力可達 $20m/s$ 。那麼阻力有多大呢？參閱表四，試假設當 $\beta=30\%$ 時，前後風速比皆為 0.6 ，則網後風速= $12m/s$ 。

再由〔公式三〕， $\delta p = \frac{1}{2} \rho (20^2 - 12^2) = 156.8 (\text{kg/ms}^2)$ 。

再由〔公式一〕， $F = 156.8 \times A$

所以當 $A=1$ 平方公尺時， F 就有 156.8 牛頓之大。

(c)防風網的耐壓性也要慎重考慮。

討論(二)透風率與前後風速比

1. 蜂巢網的透風率介於 $20\% \sim 50\%$ 時，風速比最小，防風效果最佳（請參閱表四、表五）。
2. (a)篩網的透風率集中於 $60\% \sim 80\%$ ，範圍太窄，無法有效的討論。
(b)再由這小範圍來看（表六），篩網的透風率和風速比也沒有明顯的關係。

(c) 篩網幾乎沒有減風的效果，甚至還會加大亂流。

3. (a) 根據表四、表五， $\beta=20\%、30\%、40\%$ 時最佳，但 $\beta=40\%$ 時， δp 較大， $\beta=20\%$ 時，亂流較多。所以本實驗以 $\beta=30\%$ 最好。

討論(三) 防風範圍與防風效果

風速以網後除以網前為0.5以內之範圍，為容許的防風效果，測量防風範圍與防風效果之關係，發現離網的距離除以網高的值在2以後，風速比逐漸趨於定值（大約在0.44左右），效果較好。

討論(四) 改變風速

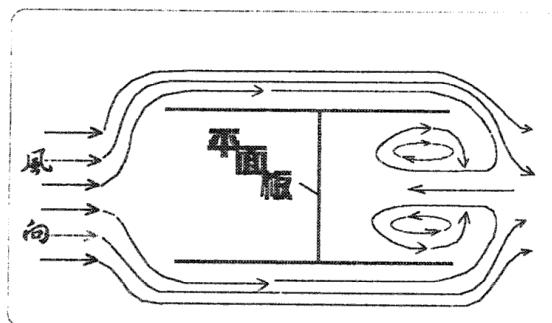
1. (a) 由表(一)(二)可知，當網格使動壓差大於零（減速）時，風力愈大，則動壓差也愈大；當網格使動壓差小於零（加速）時，風力愈大，則動壓差也愈小。
(b) 風速愈大，阻力都加大。
2. (a) 由表四、表五可知：當透風率 $\geq 30\%$ 時，風力的改變大體上不對風速比產生影響。
(b) 但是當透風率小於30%時，由於亂流太大，風速比呈現不規則狀，甚至超過7.5以上，即加速成網前7.5倍。因為網前風的流路大，而網格使流路剩下不到原來的30%時，風產生的壓縮噴射作用奇大。

七、結論

(一) 平面板：

1. 平面板雖然最有效率地把風擋下來，但卻迫使風流向平面板的周圍，風的流路突然改變，導致亂流，並且產生伯努利效應，成為低壓系統，因此平面板的後方氣壓反而不穩定，產生倒吸向平面板的迴流。
2. 因亂流的影響，雖已達成防風之效，卻造成更嚴重的公害。
3. 用平面板當防風牆，表面上是可看出很有效率地把風阻絕下來，但是風的阻力太大，材料的成本高，不符合經濟效益，而且風向周圍流竄，對於微小粒子，如煤塵等，反而造成四處流竄，形成汙染，不是良好的防風牆。

圖七 平面板實驗風的流向



(二)篩網：經由數千次實驗的結果發現，矩形篩網幾乎沒有防風的效用，不是良好的擋風器材，不值得採用。

(三)蜂巢網：

1. 六角形孔：

由實驗得知：透風率介於20%~60%之間時，防風效果好，特別是在30%左右時最佳。

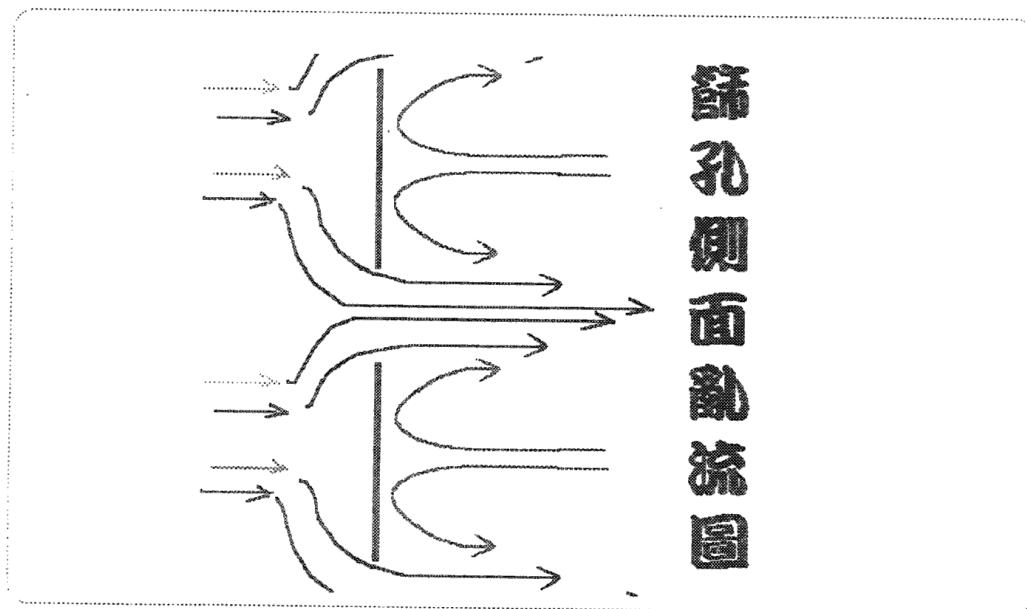
2. 圓形孔：

由實驗得知：透風率介於20%~60%之間時，防風效果好，特別是在40%左右時最佳。

3. 六角形孔和圓形孔的效果基本上差別不大，但是使用六角形孔的話，透風率範圍較廣，防風效率也較穩定。

4. 當透風率在某一範圍內，防風範圍都差不多時，又要如何取捨呢？我們知道，透風率越大時，越節省材料；透風率越小時，則網愈堅固。

5. 但是當透風率越小時，則亂流度也會增大，如圖八所示。



圖八

(四)防風範圍與防風效果

防風範圍與防風效果的關係實驗中，所得的數據只達網高的2.5倍，但是東京帝大研究報告顯示可達網高的12~14倍，此乃風洞製作不易，無法達成理想所致。應該以12~14倍為準，建議欲採用防風牆的單位參考。

八、建議

- (一)與風相抗衡，最好的方法當然還是蓋「巨蛋」，例如：室內燃煤儲運場，但由於所費驚人，因此做有系統的研究，以善用防風牆。
- (二)防風牆以蜂巢網最好，其中六角孔的結構更堅固，建議有意使用防風牆的單位參考使用。
- (三)目前有些國家正面臨沙漠化的危機。最普遍的防治方法是廣植防風林，但往往而是，林木尚未茁壯，即被沙漠吞沒。若能使用防風系統與防風林交互排列使用，應有相乘的效果。

九、參考資料

1. 大學物理學第二冊，李怡嚴著，p.695—710，1973
2. Low-Speed Wind Tunnel Testing，William H. Rae and Alan Pope著，p74—78，1984，John Wiley and Sons，N.Y.出版
3. The Flow of Air Through Wire Screens，Hydraulics and Fluid Mechanics，D.G.DeVahl著，Pergamon，N.Y.1964，p 191—212
4. Comparison of Experimental and Theoretical Turbulence Reduction Form Screens，and Honeycomb，and Honeycomb—screen Combinations，J.Scheiman and J.D.Brooks著，Journal of Aeronautical Science 18集，p.638—643，August1981(論文)
5. 台灣電力公司研究發展細部計畫書——防風防塵棚網效能現場實驗研究
6. 台灣火力發電廠燃煤儲運場防風塵棚之技術說明
7. 台灣火力發電廠煤場防風棚往網介紹

評語

1. 本作品係由自行製作實驗設備進行風洞實驗，並配合相關經驗計算公式，以探討各種孔狀及篩網之透風率與動壓差，前後風速比及其防風效果等。
2. 實驗設備製作良好，實驗方法正確，數據相當完整，數據整理及分析歸納能力亦強。
3. 所涉及之問題為一並不簡單的空氣動力學問題，本作品能以一簡單實驗而瞭解空氣流經各種不同形狀之動壓差及流動情形，並提出各種孔狀之防風效果，做為設計之參考。該案成果對高中生而言，誠屬難能可貴。