

Ch.6 Ventilation Rate

通風(風量)率

The ventilation (flow) rate can be referred to as either an **absolute ventilation flow rate**, or an **air-change rate** relative to the volume of the space. In this chapter, the ventilation rate is referred to as the absolute amount of inflow air per unit time (litre per second or l/s, cubic meter per hour/min/second or **m³/hr, m³/min, m³/s**) and the air-change rate as the relative amount of inflow air to the volume of the space per unit time, such as hour or minute (**ACH, ACM**).

方煒 Wei FANG

NTU_BME and Global ATGS

National Taiwan University

6.1 簡介

- 決定**通風率**的大小為農舍環控的第一步，在禽畜舍與溫室皆然。在禽畜舍中通風通常為唯一的調節環境的方法，溫室內則會有加熱與通風兩種方式，尤以後者對來自於太陽的過熱問題的解決更是重要。
- 適當設計的通風系統應在夏季要能提供足量的**最大通風率**且在冬季要能提供適量的**最小通風率**。在最大與**最小通風率**之間還要能提供分階段的控制。另外提供安全警報系統在系統不正常運轉或失去功能時要能發出警報以避免在農舍內發生過冷或過熱而仍不自知。

早期的溫室通常只作溫度的控制，在冬季時，大多數的溫室都是儘量維持氣密，但在冷天的午後可作短時間的通風以降低濕度。在夏季時，溫室的風量率通常需足夠以維持使室內溫度不致高出室外太多，亦可採用蒸發冷卻方法，在空氣入口至出口的溫差低於若干度（一般為 4°C ）的限制條件下提供足量的風量。

- 氣密性良好的禽畜舍通常需全年通風，其風量之決定取決於室內溫度。就算在最冷的冬季晚上也需有適量的通風來移走室內空氣中累積的水氣、臭味與粉塵。不足的通風量不會造成缺氧問題，但是高濕、高濃度臭味、二氧化碳、粉塵與夏季時的高溫等皆是動物發生緊迫/處於逆境（stress）與造成疾病的肇因。

6.2. 設計用氣象資料

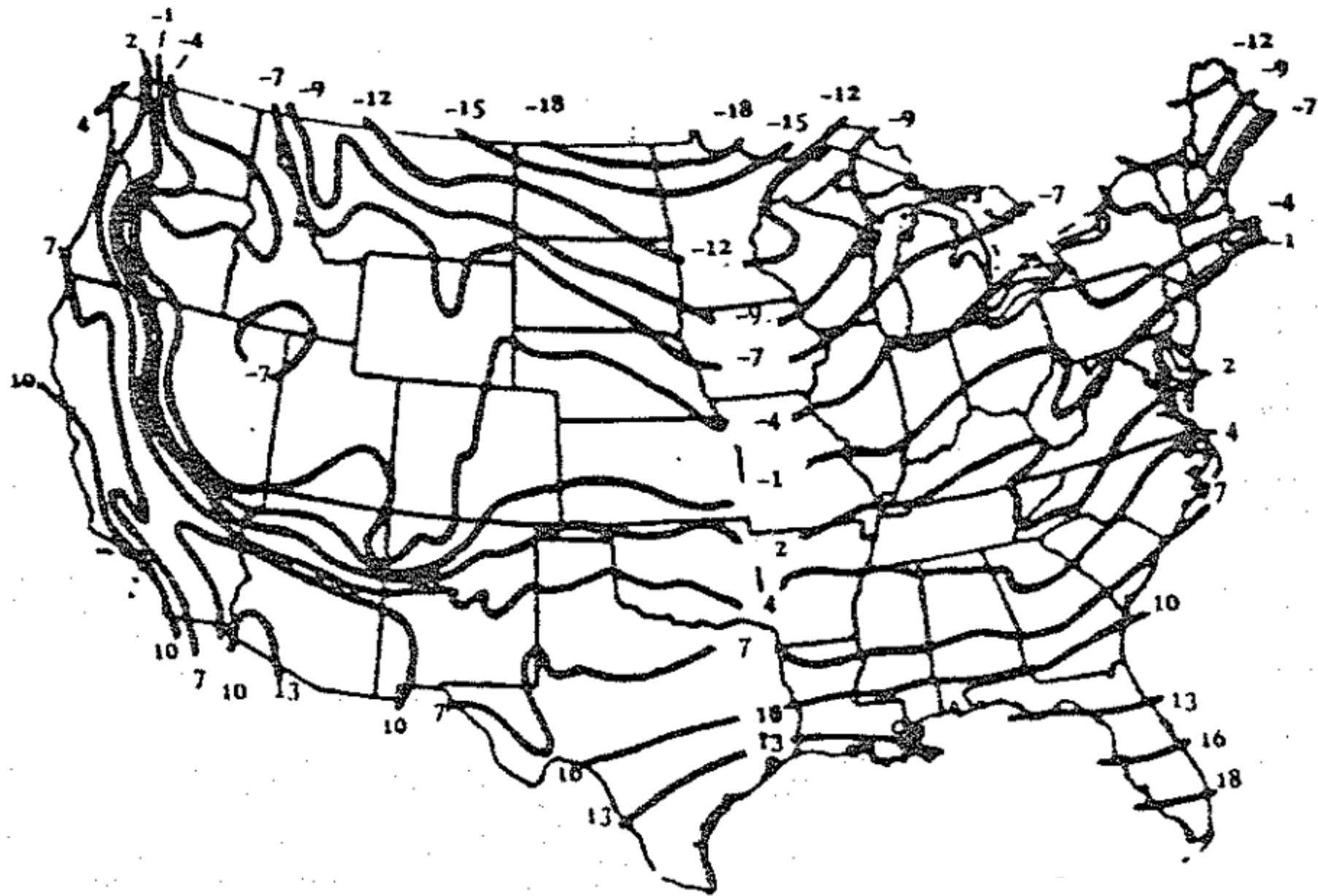
- 各地氣象站均會收集氣象資料，空氣溫度是一定有的項目，雨量、風速、風向、太陽能等資料也通常會有。
 - 就禽畜舍環控設計而言，只需空氣溫度資料
 - 溫室環控設計則需再加上太陽能資料
 - 當禽畜舍或溫室中有採用蒸發冷卻系統時，**平均共期濕球溫度** (mean coincident wet-bulb temperature, MCWB) 也是需要的氣象資料，此溫度是指在乾球溫度設計值時的預期的濕球溫度

在設計上 氣象資料 通常以兩種方式來呈現：

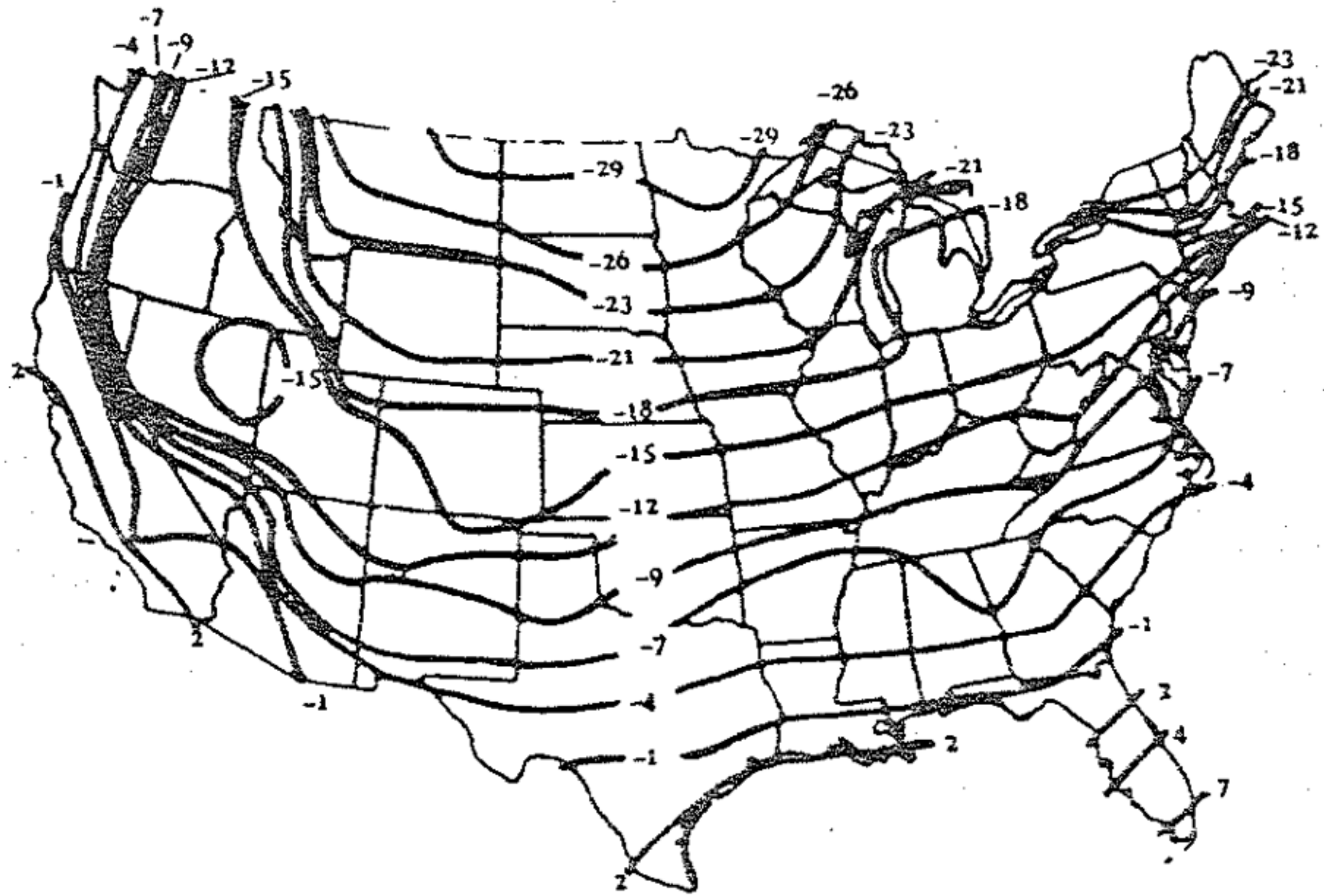
- 第一種也是最傳統的方式是以**溫度設計值(design temperatures)**來表現，此些溫度設計值係基於至少15年，有些長達40年或以上的氣象資料所發展出來的。
 - [附錄6-1](#)所見為美國各地區的冬季99, 97.5% 與夏季1, 2.5%的溫度設計值。一個地區的97.5%冬季溫度設計值代表該地區的冬季溫度有97.5%的時間是高於該溫度值。1% 夏季溫度設計值代表該地區的夏季溫度只有1%的時間是高於該溫度值。
 - 夏季設計溫度還包括Air temp., MCWB 與 DWB (Design Web Bulb temperature)
 - 圖6-1為美國各地一月份的日平均溫度與97.5%冬季溫度設計值。此些資料出自ASHRAE基礎手冊。

APPENDIX 6-1 DESIGN AIR TEMPERATURES FOR SELECTED STATIONS

<u>Station</u>	Winter Air Temp.		Air Temp.		Summer			
	<u>99%</u>	<u>97.5%</u>	<u>1%</u>	<u>2.5%</u>	MCWB		DWB	
					<u>1%</u>	<u>2.5%</u>	<u>1%</u>	<u>2.5%</u>
Alabama								
Auburn	-8	-6	36	24 ³⁴	25	24	26	26
Huntsville	-12	-9	35	34	24	23	26	25
Mobile	-4	-2	35	34	25	25	27	26
Alaska								
Anchorage	-31	-28	20	19	15	14	16	15
Fairbanks	-46	-44	28	26	17	16	18	17
Juneau	-20	-17	23	21	16	14	16	15
Arizona								
Flagstaff	-19	-16	29	28	13	13	17	16
Phoenix	-1	1	43	42	22	22	24	24
Tucson	-2	0	40	39	19	19	22	22
Arkansas								
Fayetteville	-14	-11	36	34	24	23	25	24
Hot Springs	-8	-5	38	36	25	25	27	26
Little Rock	-9	-7	37	36	26	25	27	26
California								
					21	21	23	22



美國各地一月份的日平均溫度



美國各地 97.5% 冬季溫度設計值

在設計上 氣象資料 通常以兩種方式來呈現：

- 第二種方式稱為區間法 (bin data)，如[附錄6-2](#) 所示
 - 將某地的最低溫至最高溫之間的溫度範圍分割為13個區間 (Bin) 加上 $-\infty$ ~最低溫與最高溫 $\sim \infty$ 兩個區間，合計15個區間。
 - 計算全年中共有多少小時的溫度是落在各溫度區間內
 - 此種表示法提供了更多的資訊，譬如，可提供做全年能源使用量的計算依據。

APPENDIX 6-2

WEATHER BIN DATA FOR SELECTED STATIONS

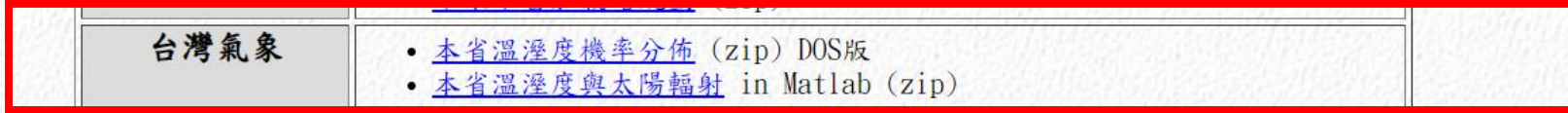
ted are hours per year during which air temperature is expected to b
d. Data are for stations with 24 hourly observations per day for at least 5

<u>Station</u>	<u>Temperature Ranges, C</u>							
Huntsville	-∞	-34.4	-28.9	-23.3	-17.8	-12.2	-6.7	-1.1
Alabama	-34.4	-28.9	-23.3	-17.8	-12.2	-6.7	-1.1	4.4
hrs:	0	0	0	2	16	79	350	871
	4.4	10.0	15.6	21.1	26.7	32.2	37.8	
	10.0	15.6	21.1	26.7	32.2	37.8	+∞	
hrs:	1182	1291	1645	1975	1076	273	0	
Anchorage,	-∞	-34.4	-28.9	-23.3	-17.8	-12.2	-6.7	-1.1
Alaska	-34.4	-28.9	-23.3	-17.8	-12.2	-6.7	-1.1	4.4
hrs:	1	9	68	271	554	921	1361	1528
	4.4	10.0	15.6	21.1	26.7	32.2	37.8	
	10.0	15.6	21.1	26.7	32.2	37.8	+∞	
hrs:	1431	1932	629	53	2	0	0	

- 方(1995)建立本省各地的溫度與濕度**累積機率公式**，這是另一種更新、更具彈性的方式來呈現氣象資料。
 - 使用過去十一年 (~1994) 台灣各地的逐時氣象資料，建立溫度與濕度的**累積機率公式**
 - 將任意兩個溫度值代入當地的溫度/濕度**累積機率公式**，所得兩值相減即為該溫度範圍內的**機率值**，再乘上一年的小時數 (8760) 即為一年中發生於該溫度/濕度範圍的**小時數**。
 - 已先後建立DOS 版 (**weaplot**) 與 Matlab 版 (**Taiweather**) 軟體允許方便查詢。

溫室工程	<p>(Ventcost.zip)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 溫室加熱系統設計 in Matlab (heating(ver1.23).zip) • 溫室防蟲網 (exe**) • 殺藻劑用量計算 (xls) • 肥料濃度計算 (xls) • 透明被覆材料之光學性質 (zip) • 通風控制與降溫效果量化指標的建立 (zip**) • 通風系統風量率的決定 (htm) • 溫室通風與加熱系統設計 (zip)DOS版 • 使用風扇與水牆的蒸發冷卻系統設計Fan&Pad in xls (zip) • 設施內環境模擬 in Matlab (htm) • 溫室資源最佳化配置與規劃 (run menu1.exe) (zip) DOS版 • 單果虫番茄栽培規劃 (zip)
台灣氣象	<ul style="list-style-type: none"> • 本省溫溼度機率分佈 (zip) DOS版 • 本省溫溼度與太陽輻射 in Matlab (zip)
相變材料	<ul style="list-style-type: none"> • Phase Change Material • 相變材料設計與在溫室之應用 (zip)DOS版
熱力學	<ul style="list-style-type: none"> • 數位化濕氣圖 Digital Psychrometric Chart <ol style="list-style-type: none"> 1. 中文簡版 (exe) 2. 英文簡版 (exe) 3. 英文完整版 (exe) • 濕空氣熱力學 (htm**) • 蒸氣表 Steam Table (zip**) • 網上連結 (web link)
冷凍空調	<ul style="list-style-type: none"> • R22 冷媒飽和性質表 (pdf**, Ph Diagram**, xls) • R134a 冷媒飽和性質表 (pdf**, Ph Diagram**, xls) • R404a 冷媒飽和性質表 (pdf**, Ph Diagram**, xls) • R407c 冷媒飽和性質表 (pdf**, Ph Diagram**, xls)

可至此處下載



M
A
T
T
L
A
B
版

Select location: Taipei

Define range of Temperature

Lower T (deg.C): 15
Upper T (deg.C): 25

Define range of Rel. Humidity

Lower RH (%): 65
Upper RH (%): 85

Probability of occurrence

[Taipei], within T range
0.000 % = 0.00 hrs

[Taipei], within RH range
0.000 % = 0.00 hrs

[Taipei], within T & RH ranges
0.000 % = 0.00 hrs

Other options

Hourly 2D plot Hourly 3D plot
Monthly T&RH Seasonal T&RH
Monthly Rad. Hottest day
Sunshine hrs Save Defaults
WBD plot Quit About

Last updated: 2003/6/1

Select location: Taipei

Define range of Temperature

Lower T (deg.C): 15
Upper T (deg.C): 25

Define range of Rel. Humidity

Lower RH (%): 65
Upper RH (%): 85

Probability of occurrence

[Taipei], Range T
56.037 % = 4908.820 hrs

[Taipei], Range RH
50.833 % = 4452.96 hrs

[Taipei], Range T&RH
27.27 % = 2389.17 hrs

Other options

Hourly 2D plot Hourly 3D plot
Monthly T&RH Seasonal T&RH
Monthly Rad. Hottest day
Sunshine hrs Save Defaults
WBD plot Quit About

Last updated: 2003/6/1

Select location: Taipei

Define range of Temperature

Lower T (deg.C): 12
Upper T (deg.C): 30

Define range of Rel. Humidity

Lower RH (%): 60
Upper RH (%): 90

Probability of occurrence

[Taipei], Range T
89.233 % = 7816.830 hrs

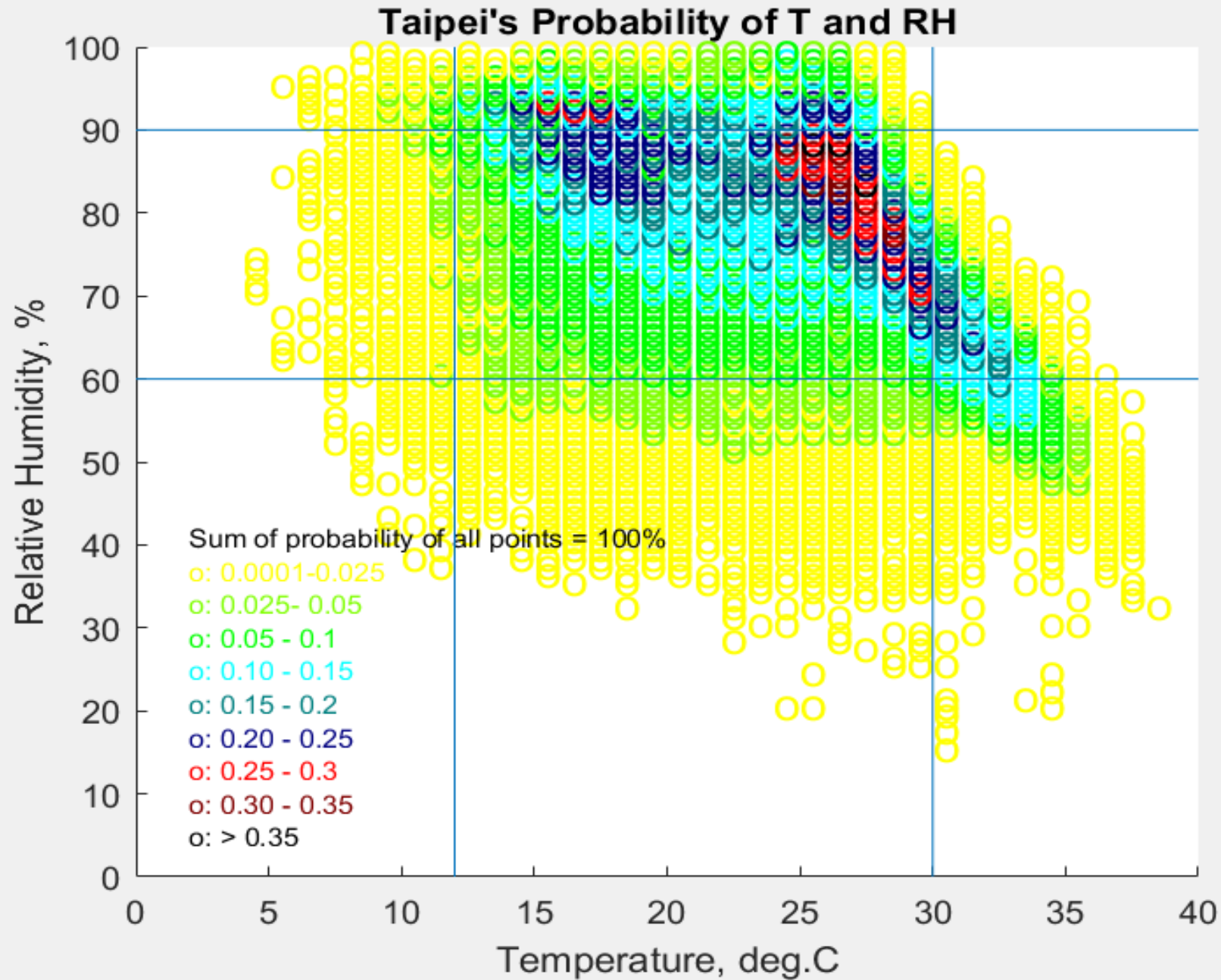
[Taipei], Range RH
74.087 % = 6490.03 hrs

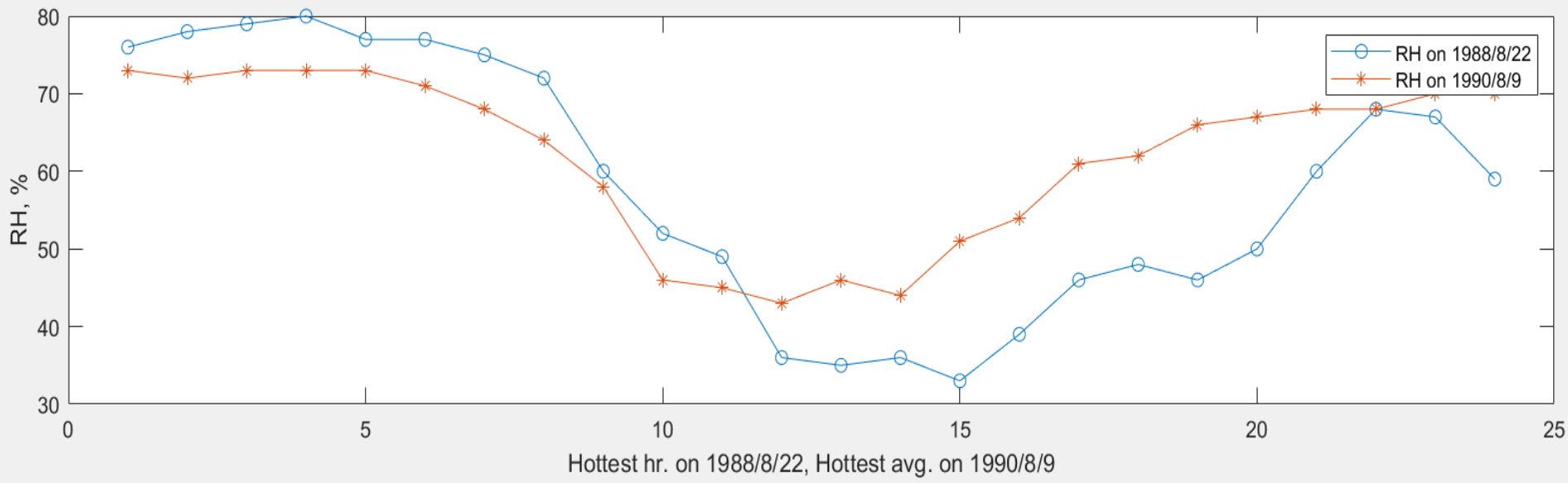
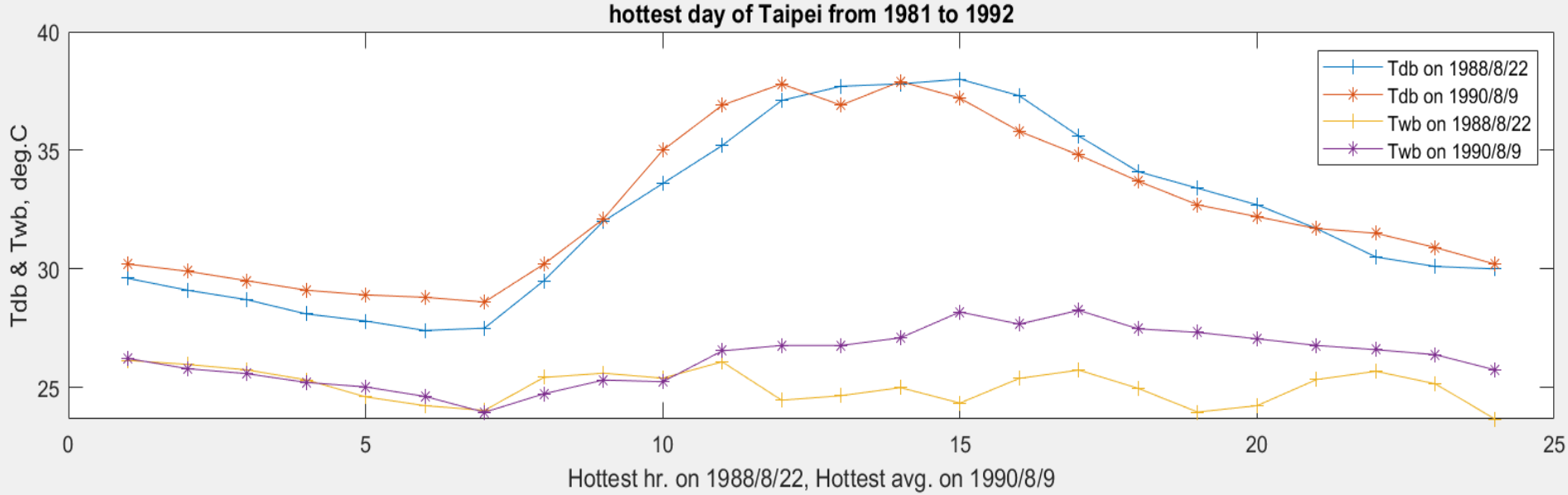
[Taipei], Range T&RH
67.90 % = 5948.03 hrs

Other options

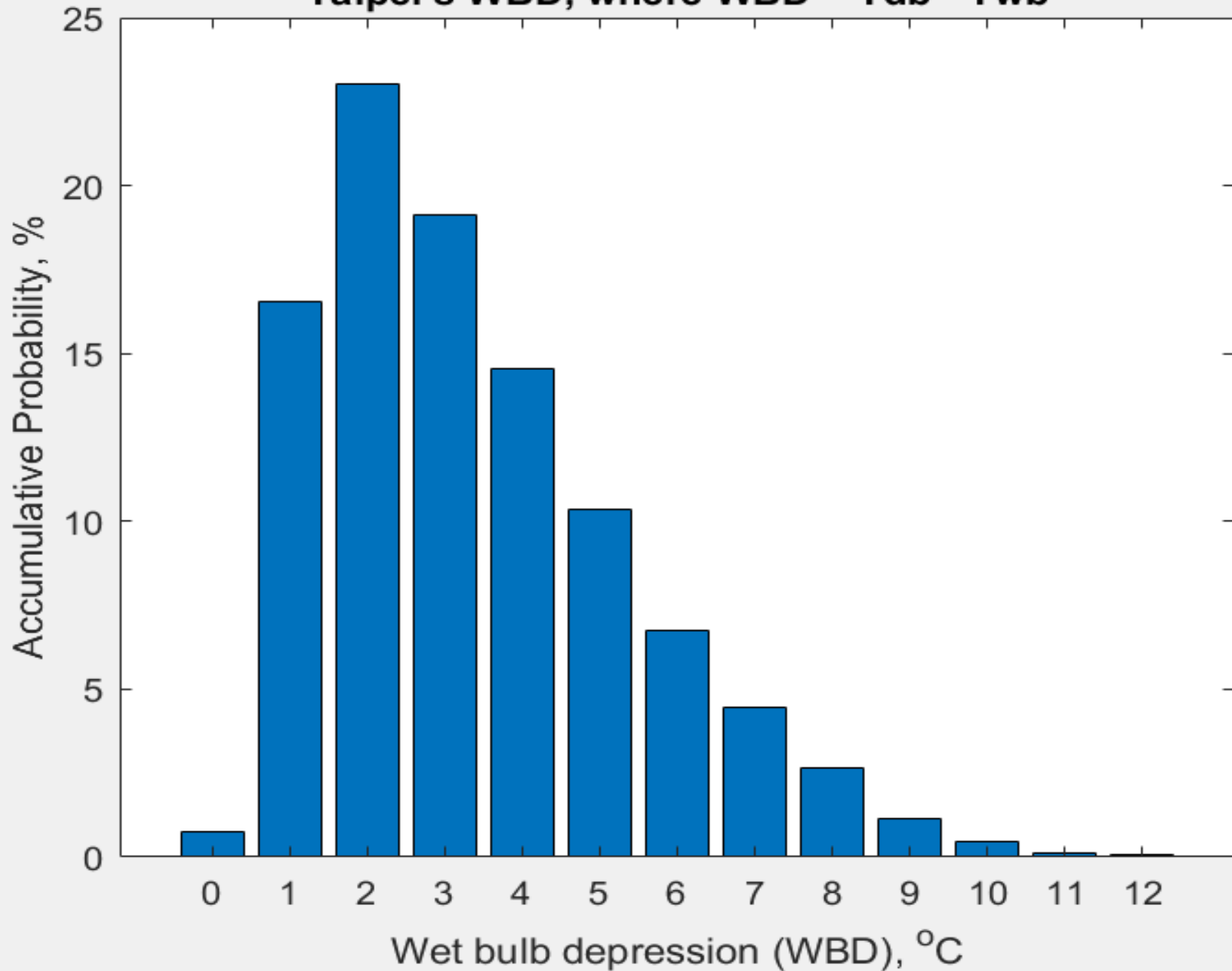
Hourly 2D plot Hourly 3D plot
Monthly T&RH Seasonal T&RH
Monthly Rad. Hottest day
Sunshine hrs Save Defaults
WBD plot Quit About

Last updated: 2003/6/1





Taipei's WBD, where $WBD = T_{db} - T_{wb}$



	乾 燥		適 宜		高 濕		濕球降(WBD)		
	0% < RH < 65%		65% < RH < 85%		85% < RH < 100%		WBD = Tdb - Twb, °C		
in °C	T < 27	T ≥ 27	T < 27	T ≥ 27	T < 27	T ≥ 27	WBD ≤ 3	WBD ≤ 4	WBD ≤ 5
阿里山	11.08%	0.16%	26.44%	0.11%	62.06%	0.15%	70.38%	78.38%	83.03%
台中*	9.10%	8.83%	35.64%	16.80%	28.60%	1.02%	66.28%	77.73%	87.43%
台北	8.05%	8.75%	34.64%	16.19%	30.21%	2.16%	68.35%	80.76%	88.84%
台南	5.93%	5.80%	32.16%	24.27%	28.11%	3.72%	69.01%	82.39%	92.25%
台東	9.72%	4.25%	46.96%	25.67%	12.29%	1.09%	58.39%	81.37%	93.29%
高雄	7.99%	3.94%	38.67%	30.51%	15.31%	3.57%	62.39%	81.83%	93.51%
嘉義	3.71%	3.65%	23.23%	18.29%	47.62%	3.47%	79.14%	88.13%	94.68%
梧棲	7.74%	2.90%	40.14%	22.49%	24.00%	2.72%	72.12%	87.12%	95.33%
花蓮	7.35%	1.78%	43.28%	20.47%	25.67%	1.45%	72.78%	89.05%	96.45%
宜蘭	3.01%	1.36%	27.63%	17.22%	47.90%	2.86%	84.82%	93.53%	97.92%

* 按照濕球降(WBD ≤ 5 °C)之機率值順序排列

6.3 禽畜舍通風

- 當禽畜舍內為滿載 (full stocking density)的成年(mature) 動物時，**動物體本身所產生的熱量**使得在冬季時亦無需額外的加熱。譬如，基於動物體本身產生的顯熱 (sensible heat production)，一頭成年乳牛在冬季時就像一台1 kW的加熱器。
- 當冬季禽畜舍施以最小通風量，其內部卻無法維持於適當溫度範圍時，**首先要改善的**應該是加強禽畜舍本體建築結構的絕熱性，**其次**要問是否蓄養的動物太少或空間太大，**最後**再考慮使用加熱系統，原因是能源成本的考量。
- **幼小動物**產生的體熱在冬季多半無法維持其本身以確保舒適與健康，通常需要有**保溫措施**。

- 夏季時禽畜舍的通風通常需確保室內空氣溫度不高於室外溫度，當**室外溫度最高**如午後一、二點時，此時的空氣**濕度通常是最底的**，配合**蒸發冷卻方法**的使用可有良好的降溫效果。
- 要減少室內與室外空氣的溫差要靠通風，**風量加倍則溫差減半**可視為一通則。
 - 風量加倍的代價是初始採購成本與耗電的操作成本亦加倍。譬如：
 - 風量率為 X 時的室內外溫差為 8°C
 - 要使溫差降為 4, 2, 1°C，則需有 2X, 4X, 8X 的風量率
 - 使溫差由 2°C 降為 1°C 無疑是最貴的。
- 一般在設計上基於成本考量，未使用蒸發冷卻方法時允許在最熱時讓室內外溫差維持於 1.5~2°C，以不超過 4°C 為原則。

最大風量率

假設未使用蒸發冷卻方法，前已由能量守恆求得 eq.5-10，如下所示：

$$q_s + q_m + q_{so} = \Sigma UA(t_i - t_o) + FP(t_i - t_o) + 1006\rho\dot{V}(t_i - t_o) + q_e$$

由於最大風量率係應用於夏季，上式中的 q_h 項已刪除， q_s 與 q_e 項 ([附錄5-1](#))可結合並以 q_s 表示。上式以風量率表示可改寫如下：

$$\dot{V} = \frac{q_s + \cancel{q_m} + \cancel{q_{so}} - (\Sigma UA + FP)(t_i - t_o)}{1006\rho(t_i - t_o)} \quad \dots(6-1)$$

在午後最熱的時後，太陽的高度角為最大，**直射進入禽畜舍的量較少**，**機械設備如燈光所產生的熱亦可忽略不計**，所以上式中 q_m 與 q_{so} 兩項可刪。

- 室外溫度(t_o)的選擇應以一般的熱天情況來考量而非以最熱情況考量，因為後者的發生機率並非很多，若依最熱的室外溫度做設計，在多數情況下大部分的降溫設備將會被閒置。
- 室內溫度(t_i)與 q_s 直接相關，一般以動物開始感受到熱緊迫 (thermal stress) 而在產量或其它表現上有明顯降低時的溫度為設計依據 (t_s)，因為溫度一旦增加，動物體本身產生的顯熱量減少，即代表內在新陳代謝已經減緩以避免產生太多的熱量。
- 是否採用 t_s 值為啟動最大風量的設定值則有爭議，因為此時的緊迫已形成，一般可用稍低於 t_s 的溫度值為啟動最大風量的設定值，在動物發生緊迫之前即提供最大的風量率。

Ex. 6-1 請決定飼養 100 頭 570 kg 乳牛的零放牧牛舍所需的機械通風量，該牛舍 13 m 寬、80 m 長、3 m 高，位於海拔 1000 m 處。該牛舍使用兩個 2.5 m x 3.5 m 的上舉式片門（門厚 44 mm，片板厚 11 mm），沒有防暴（no storm sash）的雙層玻璃（6 mm 空氣層），總窗戶面積 20 m²。其天花板、外牆與使用的保溫材料種類及尺寸如下圖。

Sol: 此題給了解答者很大的自由度來解題，譬如牛舍內部溫度要維持幾度？室內外溫差是多少度？假設室內為 21°C，室內外溫差為 3°C，周長熱損因子為 1.5。

$$q_s = 100 * 500 * 1.1 * (570/500)^{0.734} = 60.6 \text{ kW}$$

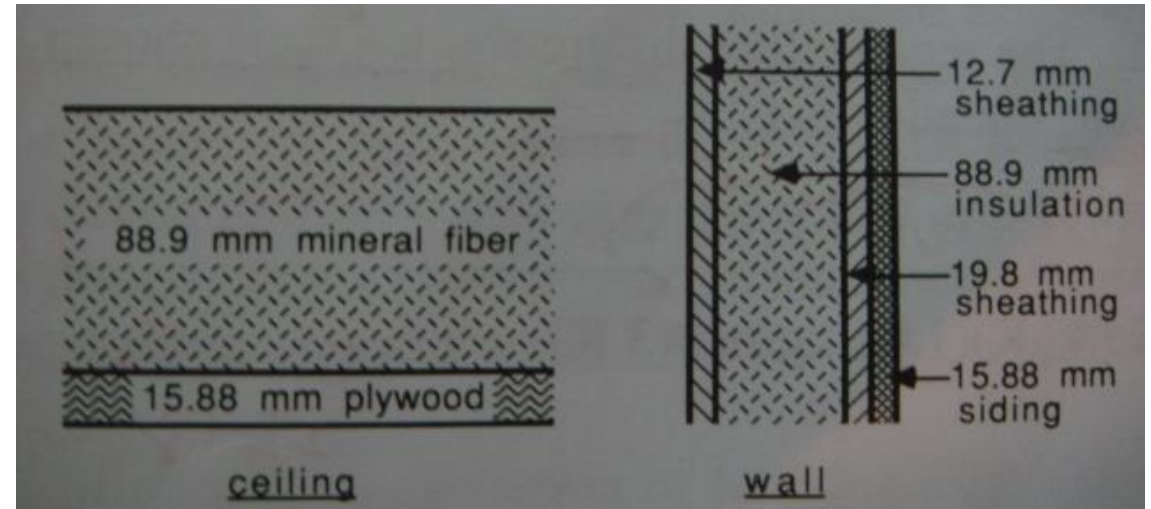
$$F * P = 1.5 * (13 + 80) * 2 = 279 \text{ W/K}$$

$$\sum U * A = 784.8 \text{ W/K}$$

$$\dot{V} = \frac{60600 - (784.8 + 279)(3)}{1006 * 1.04 * (3)} = 18.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

使用蒸發冷卻方法時，eq. 6-1 可改寫為 eq. 6-2， t_{oe} 為通過水牆後的空氣溫度。

$$\dot{V} = \frac{q_s - (\sum UA + FP)(t_i - t_o)}{1006 \rho (t_i - t_{oe})} \quad \dots(6-2)$$



Ex.6-2 續上例，假設牛舍位於夏季又熱又乾的地區，針對97.5%夏季天候下的設計高溫為36 °C，**MCWB**為 18 °C，97.5%機率的設計濕球溫度(**DWB**)則為20 °C，水簾效率為75 %。請問此牛舍該有的通風風量率才能維持牛舍內高於27 °C的範圍全年間不超過幾小時。

Sol: $WBD = T_{db} - T_{wb} = 36 - 18 = 18$, $\Delta T = 18 * 0.75 = 13.5$

$$t_{oe} = 36 - 13.5 = 22.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{V} = \frac{33000 - (1063.8)(27 - 36)}{1006 * \underline{1.03}(27 - 22.5)} = 9.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_p = 100 * 0.5 * 500 * (570/500)^{0.734} = 0.0275 \text{ kg/s} \quad \text{產生的水分}$$

$$\Delta W = m_p / m_{air} = 0.0275 / (9.1 * 1.03) = 0.002936 \text{ kg/kg}$$

通過牛舍的空氣所增加的絕對溼度

海拔 0 m

Tdb	27	degree C
RH	55	%
Twb	20.26	degree C
Tdp	17.04	degree C
AH	0.0123	kg/kg DA
H	58.477	kJ/kg DA
SV	0.8671	m3/kg DA
Hfg	2435.66	kJ/kg
DOS	54.11	%
Pws	3.567	kPa
Pw	1.962	kPa

$$\rho = 1/0.8671 = 1.153 \text{ kg/m}^3$$

海拔 1000 m

Tdb	27	degree C
RH	55	%
Twb	20.26	degree C
Tdp	17.04	degree C
AH	0.0139	kg/kg DA
H	62.556	kJ/kg DA
SV	0.9801	m3/kg DA
Hfg	2435.66	kJ/kg
DOS	54	%
Pws	3.567	kPa
Pw	1.962	kPa

$$\rho = 1/0.9801 = 1.02 \text{ kg/m}^3$$

最小風量率

在冬季時通風系統的設計一般考慮最小風量率，其包括溫度、濕度與二氧化碳含量的考量，其計算包括能量與質量守恆。溫度控制下的最小風量率的計算仍然使用Eq6-1，並忽略 q_{s0} 與 q_m 。如下式所示：

$$\dot{V}_{temp} = \frac{q_s - \left(\sum UA + FP\right)(t_i - t_o)}{1006\rho(t_i - t_o)} \quad \dots(6-3)$$

濕度控制下的最小風量率的計算如下式所示：

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{m_p}{\rho_{air}(W_i - W_o)} \quad \dots(6-4)$$

其中， m_p 為產生的水份， W 為室內(下標*i*)與室外(下標*o*)的絕對濕度(濕度比)

二氧化碳濃度控制下的最小風量率的計算如下式所示：

$$\dot{V}_{CO_2} = \frac{(CO_2)_p}{((CO_2)_i - (CO_2)_o)} \quad \dots(6-5)$$

其中， $(CO_2)_p$ 為產生的 CO_2 量， (CO_2) 為室內(下標i)與室外(下標o)的二氧化碳濃度。

V_{CO_2} 不會隨著室外溫度不同而改變， V_{temp} 與 V_{H_2O} 則都會隨室外溫度增加而增加，

將三者對室外溫度繪圖可得如圖 6-2 所示的三條曲線。

通風系統圖

Ventilation Graph

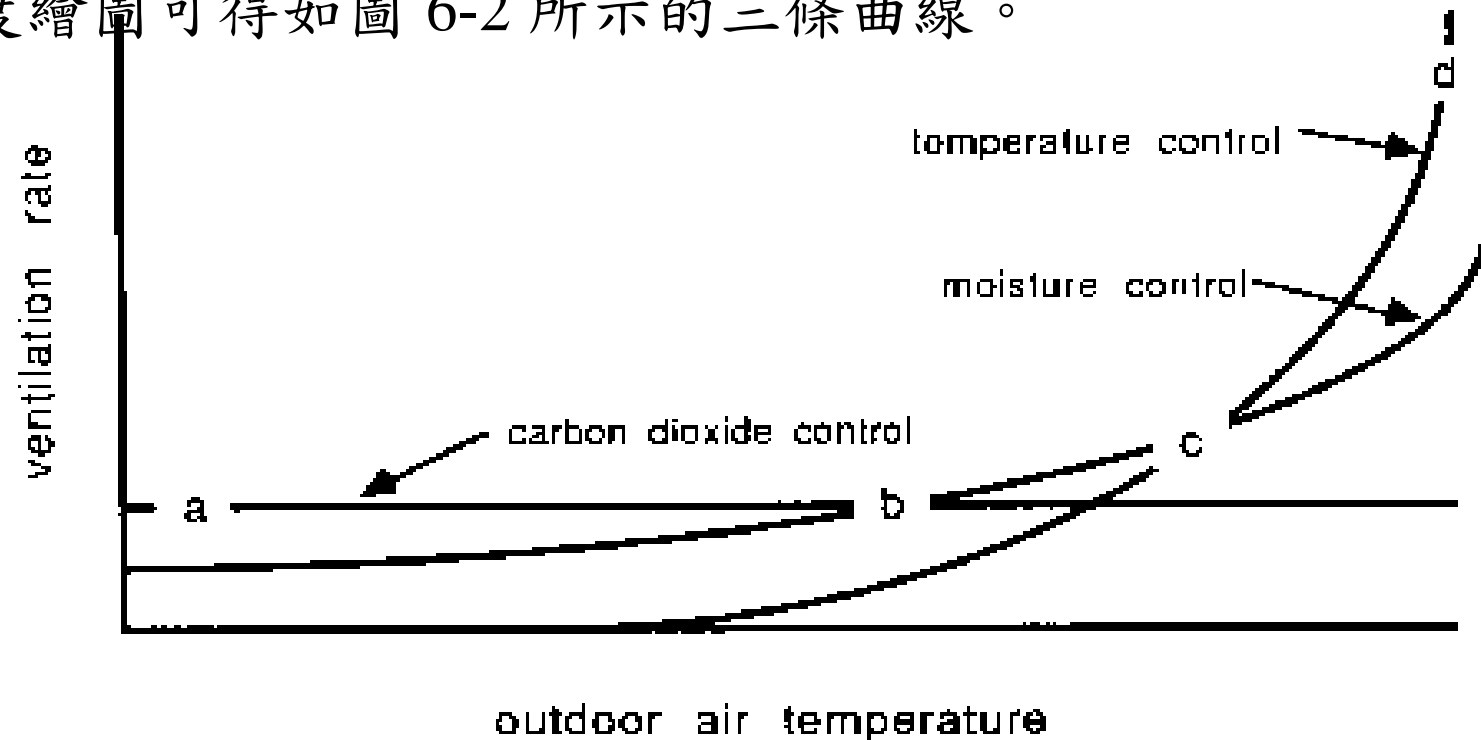


Fig. 6-2.

- 二氧化碳濃度控制的最小風量率曲線是一水平線
- 濕度控制下的最小風量率曲線應反應出濕氣圖上的飽和蒸汽線
- 理想的風量率應是圖上 a, b, c, d 四個點所代表的曲線，但是非變頻的風扇很難有如此彈性的風量，一般以 c 點的風量率為最小風量率的設計值。
- 當外界溫度小於 c 點的溫度值時，室內的濕度與二氧化碳濃度可被抑制在設定值以下(風量較大)，但溫度則會在設定值之下(風量過大)。
- 當室內溫度僅比最適溫度低幾度時，動物可透過多吃飼料來維持體溫，不致對已長成的禽畜本身的健康、繁殖或生產力造成太大的影響。此部份通常亦可透過加強隔熱、增加空間內的動物隻數或透過加熱等方法來改善。

$$\dot{V}_{temp} = \frac{q_s - (\sum UA + FP)(t_i - t_o)}{1006\rho(t_i - t_o)} \quad \dots(6-3)$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{m_p}{\rho_{air}(W_i - W_o)} \quad \dots(6-4)$$

$$\dot{V}_{CO_2} = \frac{(CO_2)_p}{((CO_2)_i - (CO_2)_o)} \quad \dots(6-5)$$

- 式6-3中，當顯熱產生量低於傳出的熱量時，計算值為小於0，此不代表應施以反向的通風，而應看做是代表需加強隔熱效果或增添加熱設備。
- 在式6-3, 4, 5 三式中的分母中相減的兩項若非常接近，計算值將極大，但此不表示應使用那麼高的風量，而應看做是代表室內的設計值(包括溫度或濕度或二氧化碳濃度)應允許提高。

Ex. 6-3 續上例，請求出冬季所需的最小通風率，假設室外冷至 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 時室內仍要維持不低於 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，不高於 70% 相對濕度，不高於 5000 ppm CO_2 。

APPENDIX 5-1
ANIMAL HEAT AND MOISTURE PRODUCTION

<u>Animal</u>	<u>Air Temperature</u>	<u>MP</u> <u>mg/kg s</u>	<u>LHP</u> <u>W/kg</u>	<u>SHP</u> <u>W/kg</u>	<u>THP</u> <u>W/kg</u>
Dairy cow, 500 kg	-1 C	0.21	0.5	1.9	2.4
	10	0.28	0.7	1.5	2.2
	15	0.36	0.9	1.2	2.1
	21	0.36	0.9	1.1	2.0
	27	0.50	1.3	0.6	1.9

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{total}} &= (100 \text{ cows})(2.2 \text{ W/kg})(500 \text{ kg/cow})(570 \text{ kg} / 500 \text{ kg})^{0.734} \\
 &= 121 \text{ kW},
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{CO}_2)_p &= (121,000 \text{ J/s}) / (24,600 \text{ J/L}) = 4.92 \text{ L/s} \\
 &= 0.00492 \text{ m}^3/\text{s}.
 \end{aligned}$$

The change permitted in the carbon dioxide concentration is

$$\begin{aligned}
 (C_{\text{CO}_2})_{\text{in}} - (C_{\text{CO}_2})_{\text{out}} &= 0.005 \text{ m}^3/\text{m}^3 - 0.000345 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\
 &= 0.004655 \text{ m}^3/\text{m}^3.
 \end{aligned}$$

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = (0.00492 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.004655 \text{ m}^3/\text{m}^3) = 1.06 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Ex. 6-3 續上例，請求出冬季所需的最小通風率，假設室外冷至 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 時室內仍要維持不低於 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，不高於 70% 相對濕度，不高於 5000 ppm CO_2 。

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = (100\text{ cows})(0.28\text{ mg/kg-s})(500\text{ kg/cow})(570 / 500)^{0.734}$$

$$= 0.0154\text{ kg/s.}$$

$$\dot{V}_{\text{H}_2\text{O}} = (0.0154\text{ kg/s}) / \left\{ \rho_{\text{air}}(0.006076 - W_o) \right\}$$

where W_o is the humidity ratio of the outdoor air. At $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 70% relative humidity, air density (ρ_{air}) is 1.10 kg/m^3 . The following table contains humidity ratio and ventilation rate data for the outdoor temperature range from $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

APPENDIX 5-1
ANIMAL HEAT AND MOISTURE PRODUCTION

Animal	Air Temperature	MP mg/kg s	LHP W/kg	SHP W/kg	THP W/kg
Dairy cow, 500 kg	-1 C	0.21	0.5	1.9	2.4
	10	0.28	0.7	1.5	2.2
	15	0.36	0.9	1.2	2.1
	21	0.36	0.9	1.1	2.0
	27	0.50	1.3	0.6	1.9

Outdoor Temperature	Humidity ^a Ratio, kg/kg	Ventilation Rate, m^3/s
-25 C	0.000353	2.45
-20	0.000577	2.55
-15	0.000925	2.71
-10	0.001457	3.03
-5	0.002256	3.66
0	0.003441	5.31
5	0.004924	12.15

^a at 80% relative humidity, 1000 m elevation

$$Q_{\text{sensible}} = (100 \text{ cows})(1.5 \text{ W/kg})(500 \text{ kg/cow})(570 \text{ kg} / 500 \text{ kg})^{0.734}$$

$$= 83 \text{ kW, and}$$

The ventilation rate for temperature control is determined by the sensible energy balance for the barn, as used in Example 6-2, changed to reflect conditions for this example.

$$\dot{V}_{\text{temp}} = \frac{83,000 \text{ W} - (1063.8 \text{ W/K})(10 \text{ C} - t_o)}{(1006 \text{ J/kgK})(1.10 \text{ kg/m}^3)(10 \text{ C} - t_o)}$$

The following table contains data for the ventilation rate as a function of outdoor air temperature.

APPENDIX 5-1
ANIMAL HEAT AND MOISTURE PRODUCTION

<u>Animal</u>	<u>Air Temperature</u>	<u>MP</u> <u>mg/kg s</u>	<u>LHP</u> <u>W/kg</u>	<u>SHP</u> <u>W/kg</u>	<u>THP</u> <u>W/kg</u>
Dairy cow, 500 kg	-1 C	0.21	0.5	1.9	2.4
	10	0.28	0.7	1.5	2.2
	15	0.36	0.9	1.2	2.1
	21	0.36	0.9	1.1	2.0
	27	0.50	1.3	0.6	1.9

<u>Outdoor Temperature</u>	<u>Ventilation Rate, m³/s</u>
-25 C	1.18
-20	1.54
-15	2.04
-10	2.79
-5	4.04
0	6.54
5	14.04

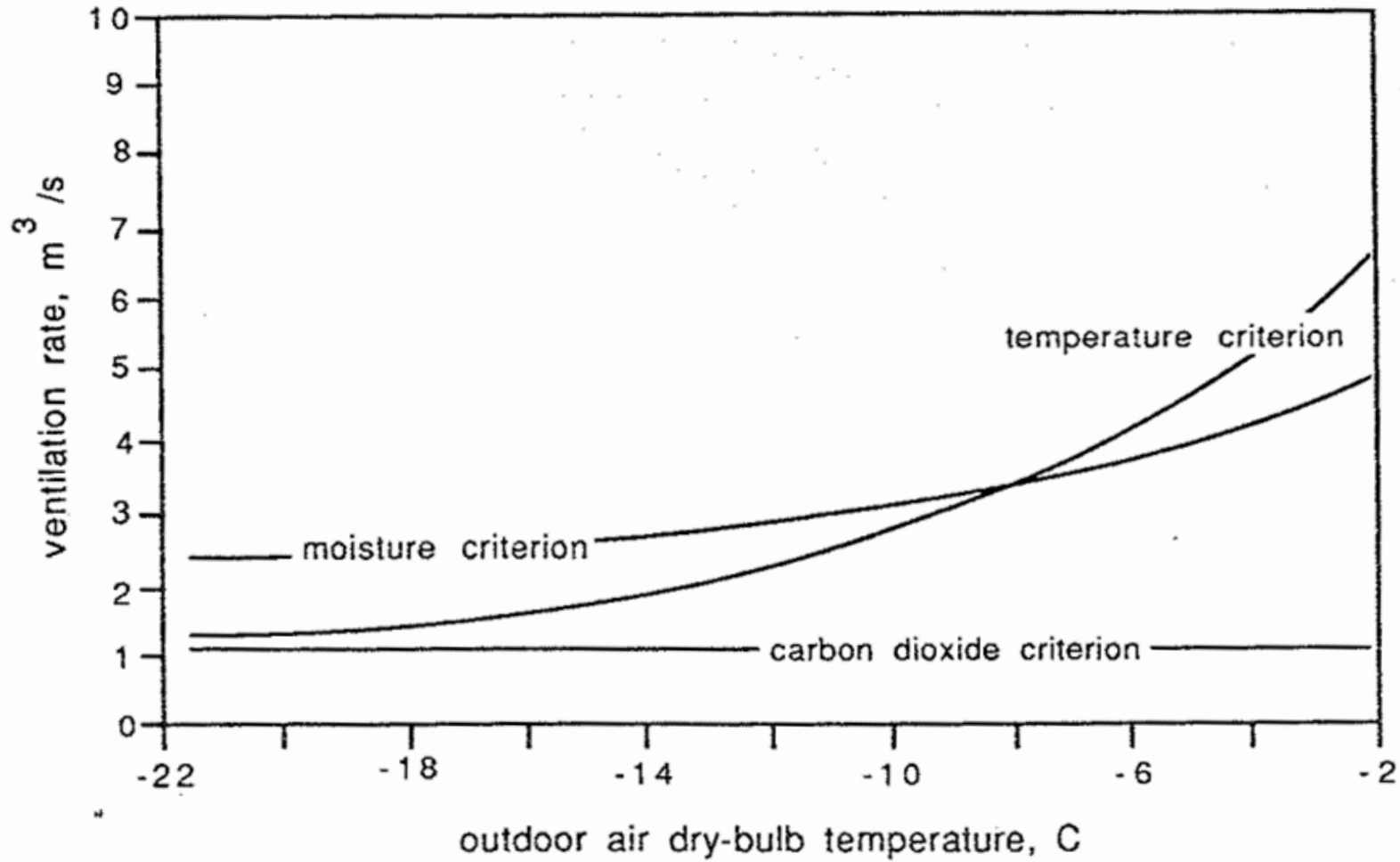


Figure 6-3. Ventilation graph for Example 6-3. Moisture and temperature criteria curves intersect at a ventilation rate of $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ and an outdoor air temperature of $-8 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

6.4 計算通風風量率的相關電腦程式

Program POLYNOM is provided to calculate the coefficients in a polynomial regression equation for Y as a function of X,

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + \dots \quad (6-6)$$

Ex.6-4

請建立可以表示乳牛在不同溫度範圍的顯熱(SHP)的一次至四次的多項式。

數據點共有五組，如下：
(-1 °C, 1.9 W/kg)

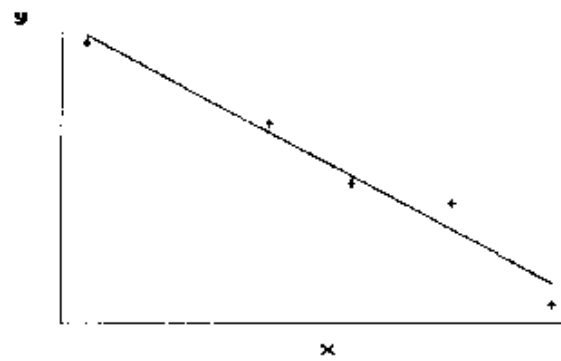
(10, 1.5)

(15, 1.2)

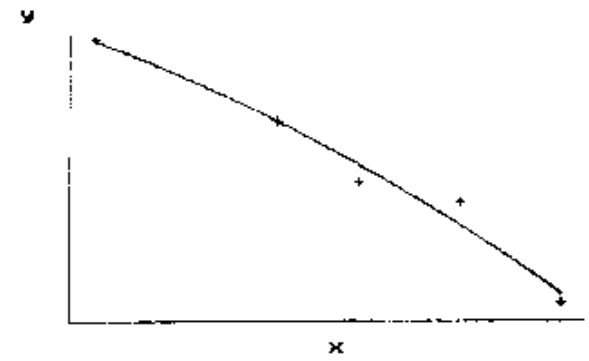
(21, 1.1)

(27, 0.6)

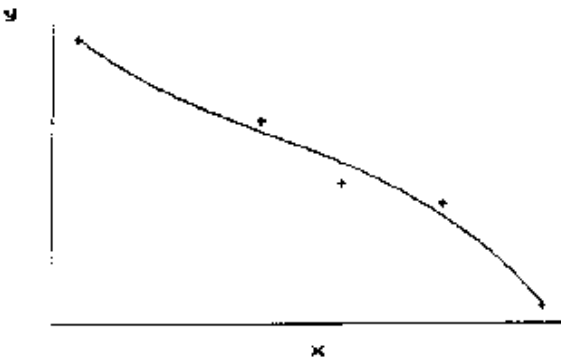
A



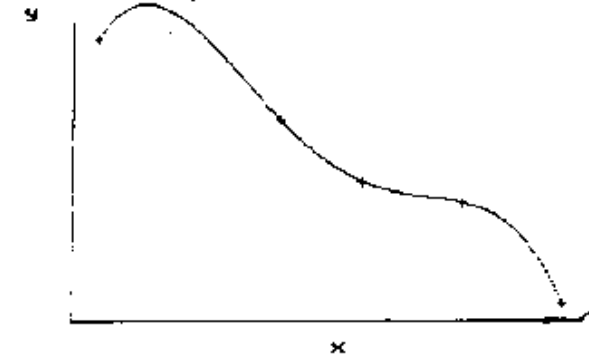
C



B



D



下載 > chap5matlab

名稱	類型
cea0	MATLAB Code
ntu	MATLAB Code
Plancks	MATLAB Code
polynom	MATLAB Code
polynom	Microsoft Excel 97-2003 工...
snell_low	MATLAB Code

下載 > chap6matlab

名稱	類型
work	檔案資料夾
cea0	MATLAB Code
MINVent_CO2	MATLAB Code
MINVent_E	MATLAB Code
MINVent_T	MATLAB Code
psy	MATLAB Code
ventgraph	MATLAB Code
VENTGRPH	應用程式

← → ↻ ⚠ 不安全 | 140.112.183.23/class-cea/chap6-sw.htm

Chap 6 相關電腦軟體

此處含 DOS 版的 VENTGRPH.exe
與 MATLAB 版的 VENTGRAPH.m

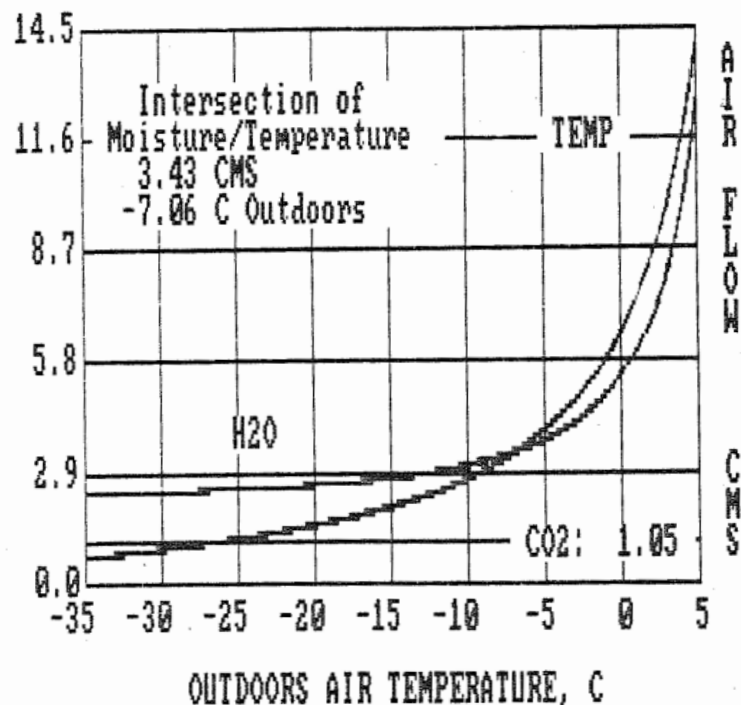
下載執行程式：

1. [download 1 zip file](#)
containing 1 exe file & 4 ".m" matlab files: cea0, psy, ventgraph, polynom and more.

[\[上一章\]](#)

VENTGRPH 程式 A DOS program

Ex.6-5 使用 VENTGRPH 程式重解 Ex.6-3。假設建物 U 值介於 0.1 ~ 1.0 W/m²K



BUILDING DATA
a) UA value: 785
b) perimeter: 186
c) per. factor: 1.5

ENVIRONMENT SETPOINTS
d) T inside: 10.0
e) RH inside: 70
f) CO₂ inside: 5000

OUTSIDE CONDITIONS
g) RH outside: 80
h) CO₂ outside: 340
i) Air Pr.: 89.874

ANIMAL DATA
j) Type animal: Dairy
k) No. animals: 100
l) Ave. wt., kg: 570

HEAT(kW) & MOIST(kg/s)
m) Sensible: 82.6
n) Latent: 38.2
o) Total: 120.8
p) Moisture: 0.01554

Building U value W/m ² K	Building ΣUA value, W/K	Minimum Ventilation Rate, m ³ /s	Outdoor Air Temperature at Crossing
0.1	159.8	2.9	-13 C
0.2	319.6	3.1	-11
0.3	479.4	3.2	-9
0.4	639.2	3.4	-8
0.5	799.0	3.6	-6
0.6	958.8	3.8	-5
0.7	1118.6	3.9	-4
0.8	1278.4	4.2	-3
0.9	1438.2	4.4	-2
1.0	1598.0	4.6	-2

Use <PrtSc> to Obtain a Printed Copy
Do You Wish to Change Conditions <y/n>? _

Figure 6-5. Results screen of program VENTGRPH with data and results of Example 6-5, and actual barn design (proposed).

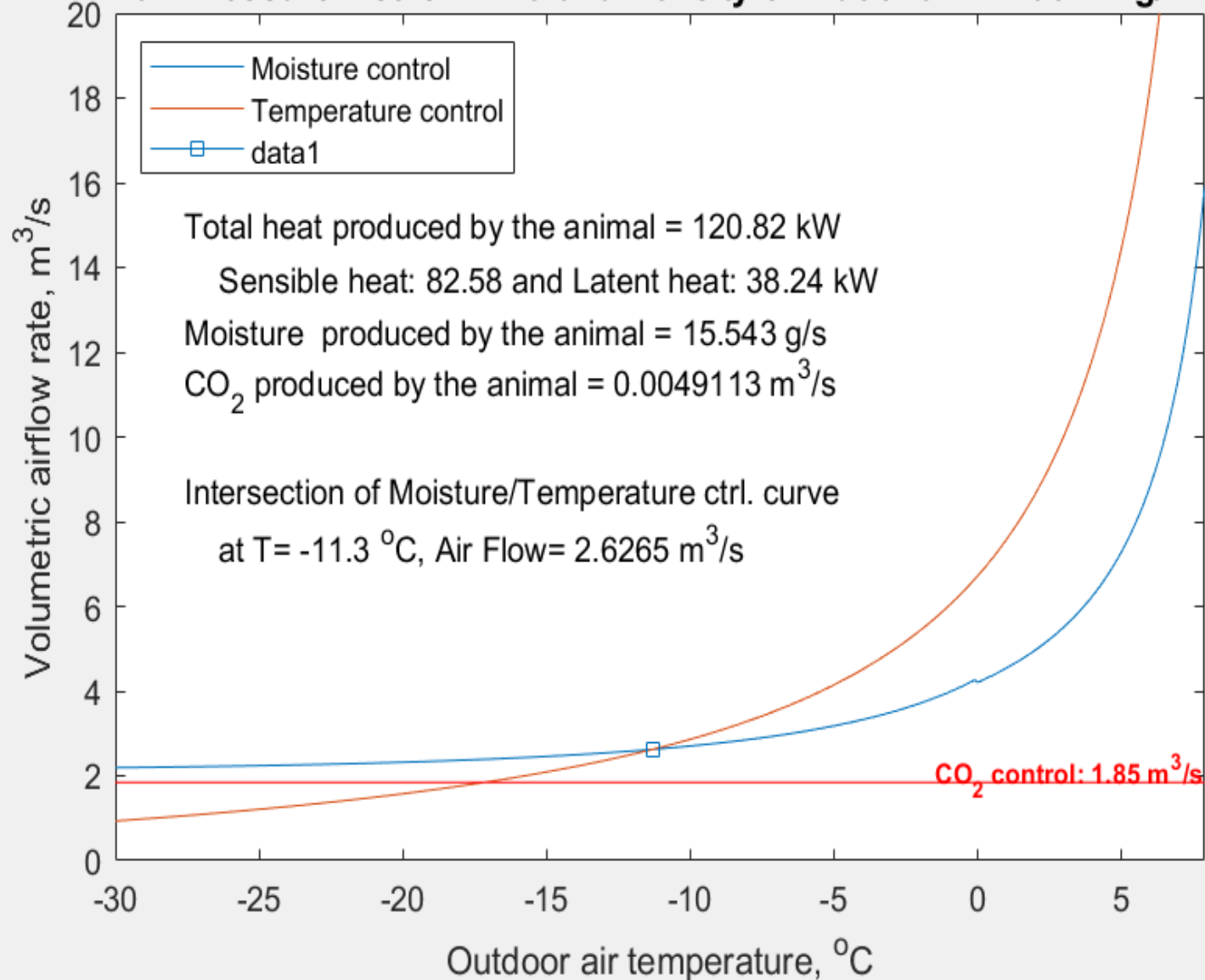
- min venting rate for CO2 control
- min venting rate for humidity control
- min venting rate for temperature control

- min vent ver.2 for CO2 control
- min vent ver.2 for humidity control
- min vent ver.2 for temperature control

- VentGraph for Greenhouse
- VentGraph for animal housing

Minumum Ventilation Rate @ Design Winter Condition

Atm. Pressure = 89.874 kPa and Density of indoor air = 1.0647 kg/m³



Dairy Cow

No. of animal : 100

Avg. Wt.(kg): 570

use default

Lowest Outdoor

T (deg.C): -30

RH (%): 80

CO2 (ppm): 340

Allowable Indoor

T (deg.C): 10

RH (%): 80

CO2 (ppm): 3000

Building Data

U*A (W/K): 785

F (W/m/K): 1.5

P (m): 186

Altitude (m): 1000

Supplemental Heat

(in kW): 0

Quit



Dairy Cow

Dairy Cow

Laying han

Pig/hog/swine

Close

6.5 最大及最小風量率間的分階段控制

- 溫度設定點(setpoints)的選擇應基於動物體的生理需要，不同動物各有其最適的溫度適中區(thermoneutral zone)，各溫度值與範圍亦均不同。
- 生產力、飼料消耗量對環境溫度的變化曲線圖對溫度設定點的決定有極高的參考價值。
- 乳牛(荷蘭牛，holstein cow)的溫度適中區在10~15°C，其生產力在此溫度範圍之外的頗大範圍卻沒多大差別(圖6-6)
- 蛋雞的溫度適中區與最佳飼料消耗量則均在24°C，且僅侷限於一頗小的溫度範圍。

- 圖6-6 所示為荷蘭乳牛、豬與蛋雞生產力對環境溫度的變化曲線
- 最小與最大風量率的設定點通常依此圖中最佳生產力範圍的左右兩端點而決定。
 - 以荷蘭乳牛為例， 8°C 與 24°C 分別為此二設定點溫度。
 - 亦可將最大風量率的設定點訂在比 24°C 小幾度，此舉雖可增加乳牛舒適的時間可提高產量，但風扇的操作時間與操作成本也相對的提高。
 - 收益與成本之間何者為高則多半因地置宜需進一步評估。

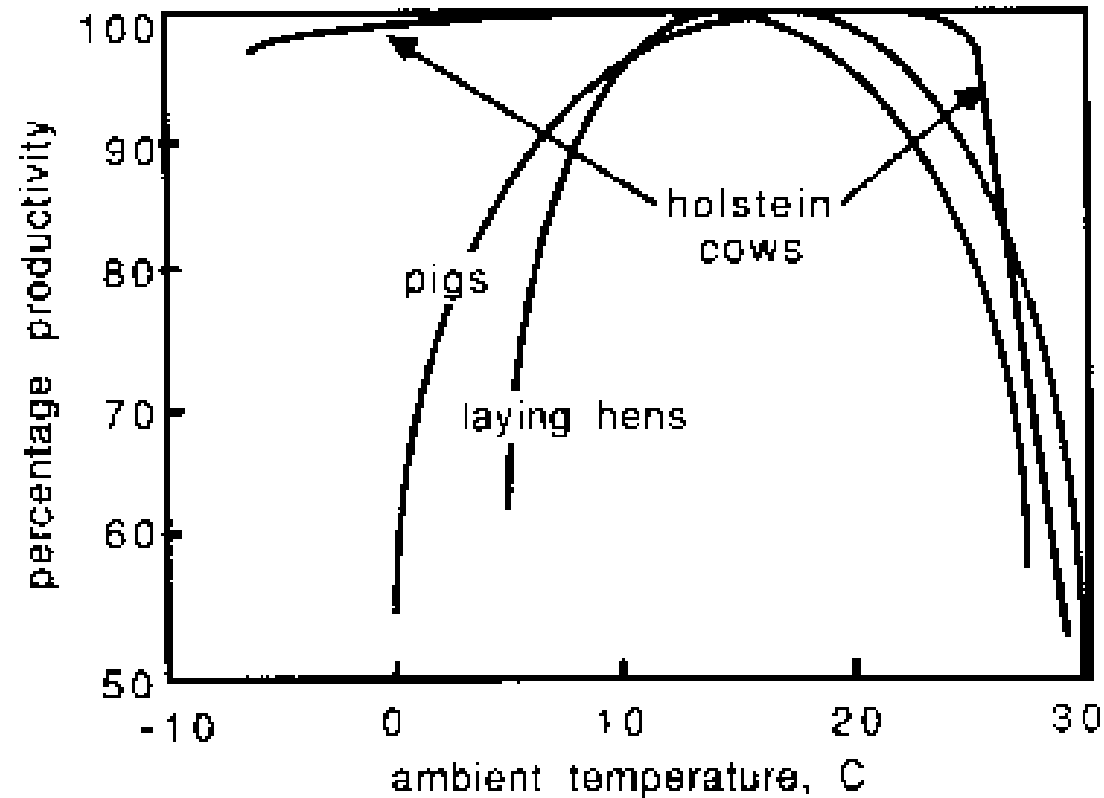


圖6-6

- 最大及最小風量率間分成多少階段一般由設計者決定，只有最小與最大的兩段將造成氣流的不穩定且對動物體而言亦可能產生**突來的風冷** (sudden chilling) 反而不好，至少4段為一般建議，原則是希望在各階段的逐段切換時將不致造成室內環境的太大變化。
- 分成4段、5段或6段 取決於最大風量的大小及可用的風扇尺寸，**避免使用太多小風扇**，小風扇的效率多半比大風扇低，且安裝一個風扇的**工資成本**不分大小均差不多，總風量一樣的情況下使用多數個小風扇的安裝工資將高於使用少數個大風扇。
- 如圖6-7 所示，分階段風量控制可依最大及最小**風量率**之差做**等間隔**的分段，或依**室外溫度**做**等間隔**劃分，各有利弊，應適情況而定。若採用後者，如表6-1 所示各階段所相對應的風量率之間可有一近似的比例原則。

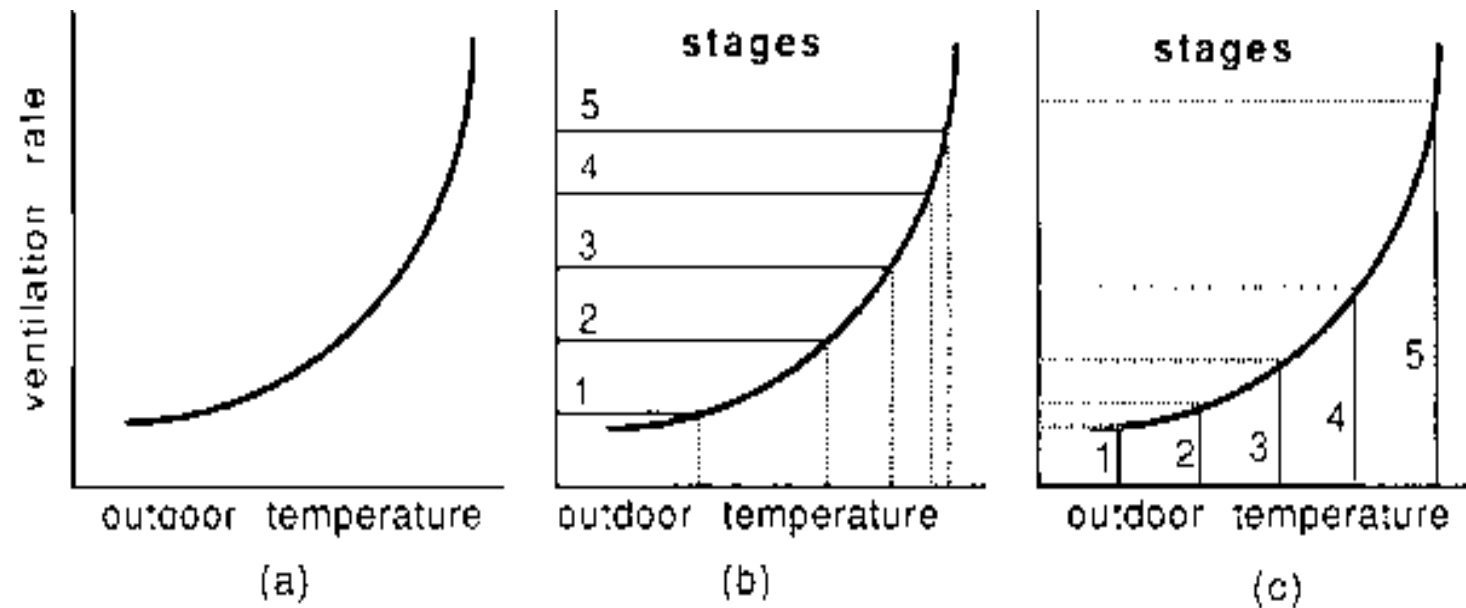


圖6-7

- 表6-1中最小風量率為最大風量率的1/10，但亦可能高至1/5。
- 本表中應留意的是各段變化的精神而非實際的值，
 - 以5段為例，第2段為前段多40%，第3段為第2段多40%，第4段為第3段的近乎兩倍，第5段當然為100%。
 - 依此精神，如最小風量率是最大的15%，五段分別為 15, 20, 30, 60, 100%。

表6-1

分段數目	4	5	6
最小風量率	10 %	10 %	10 %
	15 %	14 %	13 %
	28 %	19 %	17 %
	100 %	35 %	25 %
		100 %	44 %
			100 %

Ex. 6-6 回顧 Ex. 6-1，假設最小與最大通風率分別為 3.3 與 18.3 m^3/s ，請設計一個五段控制的風量與溫度設定點。

Sol:

Stage 1	$3.3/18.3 = 18 \%$	Freeze protection: 4 °C
2	25 % = 4.6 (stage 1 + 40 %)	Stage1 to 2: 8 °C
3	35 % = 6.4 (stage 2 + 40 %)	Stage2 to 3: 12 °C
4	60 % = 11	Stage3 to 4: 17 °C
5	100 % = 18.3 m^3/s	Stage4 to 5: 21 °C

6.6 加熱

- 能量守恆計算式可用來求得當室外溫度 (t_o) 降至若干時，室內溫度 (t_i) 會降至哪個溫度，如低於 5°C 可提早警戒。
- 氣象區間資料或累積機率公式可依據 t_o 來求出一年中有多少小時 t_i 是低於某設定溫度，設計者可據此決定**是否需安裝加熱系統**，需加裝**多大的加熱系統 (q_h)** 亦可求出。

$$\dot{V} = \frac{q_s + q_m + q_{so} - \left(\sum UA + FP \right) (t_i - t_o)}{1006 \rho (t_i - t_o)} \quad \dots(6-1)$$

$$t_i = \dots \quad t_o = \dots \quad q_m = \dots \quad q_s = \dots$$

Ex.6-7 假設例 1 的牛舍位於美國丹佛市，科羅拉多州 (Denver, Colorado)，請問 (a). 一年中有多少小時，牛舍內將處於冷凍保護溫度 (4 °C) 的範圍？(b). 要維持牛舍內部不低於 10 °C，需要的加熱量是多少？如果風扇都不關，牛舍內是否可能低於 4 °C？

$$q_{\text{sensible}} = (100)(570/500)^{0.734}(500)(1.8603 - 0.03074(4) - 0.0005268(4)^2),$$

$$= 95,200 \text{ W},$$

based on the polynomial for sensible heat production obtained in Example 6-4. The polynomial to express latent heat production is

$$(q_{\text{latent}})/\text{kg} = 0.521481 + 0.011559t + 0.000575092t^2,$$

which is the default data in VENTGRPH. Note that although in Example 6-4 the linear equation for sensible heat production was best, the second order polynomial is used as it is in VENTGRPH. From the herd,

$$q_{\text{latent}} = (100)(570 / 500)^{0.734} (500) (0.521481 + 0.011559 (4)$$

$$+ 0.000575092(4)^2)$$

$$= 31,800 \text{ W}.$$

The heat of vaporization of water is 2460 kJ/kg at body temperature, thus, moisture production is

$$m_p = 31,800/2.46E + 6 = 0.01293 \text{ kg/s}.$$

The sensible energy balance is a tool to determine outdoor air temperature when the barn is at 4 C and ventilation is 3.3 m³/s,

$$t_o = 4 \text{ C} - \frac{95,200 \text{ W}}{(1006 \text{ J/kgK})(1.10 \text{ kg/m}^3)(3.3 \text{ m}^3/\text{s}) + 1063.8 \text{ W/K}} = -16.2 \text{ C.}$$

P.178
ΣUAT FP

At -16 C and 80% relative humidity, the humidity ratio is 0.000843 kg/kg. If the ventilation rate is 3.3 m³/s at an air density of 1.10 kg/m³, the mass flow rate is 3.63 kg/s and the humidity ratio change is (0.01293 kg/s)/(3.63 kg/s) = 0.003562 kg/kg. The indoor humidity ratio will, thus, be 0.000577 kg/kg + 0.003562 kg/kg = 0.004139 kg/kg.

At 4 C and a humidity ratio of 0.004139 kg/kg, the relative humidity is 72% and air density is 1.13 kg/m³. The initial assumption of air density is in error by a few percent. To be accurate, results to this point will be recalculated.

$$t_o = 4 \text{ C} - \frac{95,200 \text{ W}}{(1006 \text{ J/kgK})(1.13 \text{ kg/m}^3)(3.3 \text{ m}^3/\text{s}) + 1063.8 \text{ W/K}} = 15.8 \text{ C.}$$

... another iteration is not needed:

Appendix 6-2 US Weather Bin Data

Denver,	-∞	-34.4	-28.9	-23.3	-17.8	-12.2	-6.7	-1.1
Colorado	-34.4	-28.9	-23.3	-17.8	-12.2	-6.7	-1.1	4.4
hrs:	0	1	8	35	137	380	948	1427
	4.4	10.0	15.6	21.1	26.7	32.2	37.8	
	10.0	15.6	21.1	26.7	32.2	37.8	+∞	
hrs:	1481	1513	1411	876	465	78	0	

Weather bin data for Denver (Appendix 6-2) show outdoor air temperature can be expected to be below -16 C for

$$\begin{aligned}
 & 1 \text{ hr} + 8 \text{ hrs} + 35 \text{ hrs} + (137 \text{ hrs}) \left(\frac{-16 \text{ C} - (-17.8 \text{ C})}{-12.2 \text{ C} - (-17.8 \text{ C})} \right) \\
 & = 88 \text{ hrs/yr.}
 \end{aligned}$$

4% 的冬季時間 (3 個月 x 30 x 24 = 2160 小時)

Coincidentally, this number of hours per year is at approximately 4% of a winter, and -16 C is only slightly warmer than the 97.5% winter design temperature for Denver (which is -17 C). Differences among sets of weather data will arise frequently.

APPENDIX 6-1
DESIGN AIR TEMPERATURES FOR SELECTED STATIONS

Station	Winter		Air Temp.		Summer		MCWB		DWB	
	99%	97.5%	1%	2.5%	1%	2.5%	1%	2.5%	1%	2.5%
Alabama										
Auburn	-8	-6	36	34	25	24	26	26		
Huntsville	-12	-9	35	34	24	23	26	25		
Mobile	-4	-2	35	34	25	25	27	26		
Alaska										
Anchorage	-31	-28	20	19	15	14	16	15		
Fairbanks	-46	-44	28	26	17	16	18	17		
Juneau	-20	-17	23	21	16	14	16	15		
Arizona										
Flagstaff	-19	-16	29	28	13	13	17	16		
Phoenix	-1	1	43	42	22	22	24	24		
Tucson	-2	0	40	39	19	19	22	22		
Arkansas										
Fayetteville	-14	-11	36	34	24	23	25	24		
Hot Springs	-8	-5	38	36	25	25	27	26		
Little Rock	-9	-7	37	36	26	25	27	26		
California										
Bakersfield	-1	0	40	38	21	21	23	22		
Riverside	-2	0	38	37	20	19	22	22		
Ukiah	-3	-2	37	35	21	20	21	20		
Colorado										
Boulder	-17	-13	34	33	15	15	18	17		
Denver	-21	-17	34	33	15	15	18	17		
Fort Collins	-23	-20	34	33	15	15	18	17		
Connecticut										
Bridgeport	-14	-13	30	29	23	22	24	23		
New Haven	-16	-14	31	29	24	23	24	24		
Waterbury	-20	-17	31	29	22	21	24	23		
Delaware										
Dover	-12	-9	33	32	24	24	26	25		
Wilmington	-12	-10	33	32	23	23	25	24		
Florida										
Gainesville	-2	-1	35	34	25	25	27	26		
Orlando	2	3	34	34	24	24	26	26		

Conservative design practice would lead to choosing a typical minimum outdoor air temperature for Denver to be - 34.4 C – the low end of the range which occurs 1 hr/yr. A sensible energy balance can be used to calculate supplemental heat required to maintain the barn at 10 C when it is this cold and the ventilation rate is 3.3 m³/s.

$$\begin{aligned} Q_{\text{suppl.}} &= (1006 \text{ J/kg K})(1.10 \text{ kg/m}^3)(3.3 \text{ m}^3/\text{s})(10 \text{ C} + 34.4 \text{ C}) \\ &\quad + (1063.8 \text{ W/K})(10 \text{ C} + 34.4 \text{ C}) - 83,000 \text{ W}, \\ &= 162,100 \text{ W} + 47,200 \text{ W} - 83,000 \text{ W} \equiv 126,000 \text{ W}. \end{aligned}$$

The installed heating capacity must be 126 kW if the barn is never to go below 10 C, the minimum ventilation rate is to be continuous, and the lowest outdoor air temperature is - 34.4 C.

Note: Even at - 34.4 C the structural cover heat loss is only slightly more than half the sensible animal heat production. This would still permit fans to cycle to produce an average ventilation rate slightly less than a quarter of 3.3 m³/s. Supplemental heat would not absolutely be required, but if it were not used, relative humidity would be above the design value for many hours per year (the hours outdoor air temperature is between - 34.4 C and - 8 C).

If restrictions were relaxed to permit **barn temperature to fall to 4 C**, sensible animal heat production would rise to 95.2 kW and supplemental heat needs would be lowered to

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{suppl.}} &= (1006 \text{ J/kg K}) (1.13 \text{ kg/m}^3) (3.3 \text{ m}^3/\text{s}) (4 \text{ C} + 34.4 \text{ C}) \\
 &\quad + (1063.8 \text{ W/K})(4 \text{ C} + 34.4 \text{ C}) - 95,200 \text{ W} \\
 &= 144,500 \text{ W} + 40,800 \text{ W} - 95,200 \text{ W} \equiv 90,000 \text{ W}.
 \end{aligned}$$

Permitting barn temperature to be as low as 4 C has reduced the required **heating capacity from 126 kW to 90 kW**. But, of course, common practice would permit fans to cycle and humidity to rise during those hours of the winter

when outdoor air temperature would be below - 16 C.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sensible}} &= (100)(570/500)^{0.734}(500)(1.8603 - 0.03074(4) - 0.0005268(4)^2), \\
 &= 95,200 \text{ W},
 \end{aligned}$$

室內溫度允許降至4度C，加熱系統的設置，可由126 千瓦降至90 千瓦

6-7 溫室通風

$$\dot{V}_{temp} = \frac{q_s - (\sum UA + FP)(t_i - t_o)}{1006 \rho (t_i - t_o)} \dots(6-3)$$

- 一般以 **每分鐘 3/4~1 個** 同溫室體積的通風量 (air change, AC) 為 **最大風量率**，如此可使溫室內維持比室外最多高 5°C，1.5~2 個 ACM 可使溫室內維持比室外最多高 2.5°C，在海拔高於 600 m 或日照強的地區，此 ACM 值可再提高。
- 地平面上大晴天時一般多只有 700 W/m²。溫室透過屋頂與四壁向外(UA)與通風的散熱甚高於 **透過週邊 (FP) 的散熱**，後者一般 **省略不計**。通風風量率的計算使用下式：

$$\dot{V}_{temp} = \frac{q_{sensible} - (\sum UA)(t_i - t_o)}{\rho_{air} C_p (t_i - t_o)}$$

其中， C_p 為 1006 J/kgK， ρ_{air} 為 1.05 kg/m³

海拔 500 m

Ex.6-8. 某連棟山型溫室為 200 m 寬、250 m 長，海拔 500 m，總 UA 為 220000 W/K。氣象資料顯示地表水平面上最大太陽輻射為 700 W/m²，假設在溫室內有 1/3 轉換為顯熱，請計算所需通風率以維持室內溫度最多高於室外 10, 5, 2.5 °C。

Sol:

$$q_{sensible} = \frac{1}{3} \cdot (700W / m^2) \cdot (200 \cdot 250m^2) = 11700000W$$

$$\dot{V}_{temp} = \frac{11700000 - (220000)(10)}{1006 \cdot 1.05 \cdot (10)} = 899m^3 / s$$

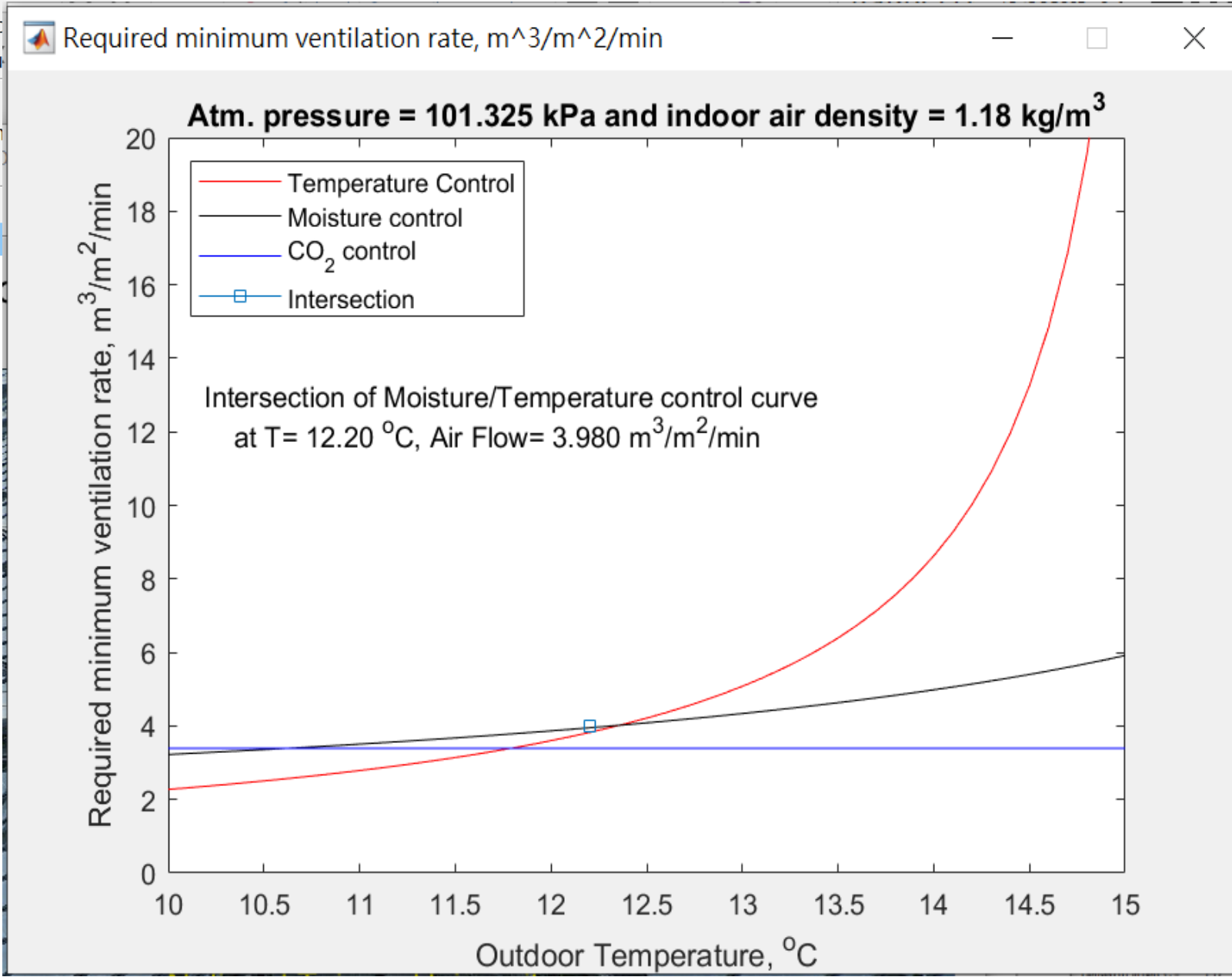
屋簷高 2.4 m、200 m 寬、250 m 長的溫室
1個 ACM = 200 x 250 x 2.4 = 120000 m³/min

$$\dot{V}_{temp} = \frac{11700000 - (220000)(5)}{1006 \cdot 1.05 \cdot (5)} = 2000m^3 / s = 2000 \times 60 = 120000 m^3/min$$

$$\dot{V}_{temp} = \frac{11700000 - (220000)(2.5)}{1006 \cdot 1.05 \cdot (2.5)} = 4222m^3 / s$$

一個AC的通則，僅適用於屋簷高 2.4 m (8 ft) 的溫室，
溫室越高，此通則建議的換氣量可往下修正。

- min venting rate for CO2 control
- min venting rate for humidity control
- min venting rate for temperature control
- min vent ver.2 for CO2 control
- min vent ver.2 for humidity control
- min vent ver.2 for temperature control
- VentGraph for Greenhouse**
- VentGraph for animal housing



VentGraph (Greenhouse)

Basic information

Altitude of greenhouse (m)	0
Height of greenhouse (m)	5
U of glazing (W/m ² /K)	6
A _{floor} / A _{wall&floor}	0.7
Solar Radiation (W/m ²)	700
Ratio of sensible heat	0.35

Required condition

CO ₂ absorb.rate (g/m ² /h)	20
Evapotransi. rate (g/m ² /h)	15
Max vent.rate (m ³ /m ² /min)	20
equals no. of ACM	4

Given in/outdoor condition

outdoor T (deg.C): min X	10
outdoor RH (%)	60
outdoor CO ₂ (ppm)	350
indoor T (deg.C): max X	15
indoor RH (%)	80
indoor CO ₂ (ppm)	300

Quit

More details on

溫室通風

- 自然通風、強制通風、風扇+水簾

溫室供暖

- 熱水管、熱空氣、電熱
- 地底加熱系統設計：Matlab 版軟體
- 熱值 [pdf](#) (USDA)
- 熱值計算 [xls](#) (fuel value calculator)

Homework

Check VETH program → 通風成本

軟體中有五個預設情境

已知 Outdoor T、RH、室內蒸散量 E 與通風量 V

可求解 Indoor T and RH

請由此些情境的計算結果來推導 V,E,T,H 四者之間的關係式