

室內舒適度指標

介紹

現今空調系統蓬勃發展的時代，系統的控製相當成熟。在於控制器的開發，由最典型的恆溫控制，慢慢發展至基於演算法所開發的控制器…等，除了創新的控制手法，不外乎皆是能以達成室內舒適需求，同時節省能源作為目標。

而室內舒適需求控制，是由人體本身對環境的冷、熱感受，作為控制的準則，因此，有許多學者探討並提出舒適度指標，本篇將逐一介紹。

一、PMV (1/8)

預測平均表決 (Predicted Mean Vote, PMV), 是由丹麥學者 P.O. Fanger 教授於 1972 年所發表人體熱平衡模型, 該模型用來表示人體對於環境中冷、熱的感受。

並以預測不滿意百分率 (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD), 表示在該 PMV 舒適指標中, 有多少百分比的人感到不舒適。

一、PMV (2/8)

影響PMV指標的因素，包含室內環境因素以及人體因素，如下。

- 室內環境因素：

- 乾球溫度、相對濕度、
 - 黑球溫度(平均輻射溫度)、風速。

- 人體因素：

- 衣著量、活動量。

並根據下列計算式，計算出PMV指標值與PDD指標值。

一、PMV (3/8)

- $PMV = (0.303e^{-0.0036M} + 0.028) \times \{M - 3.05 \times 10^{-3} \times (5733 - 6.99M - P_a) - 0.42 \times (M - 58.15) - 1.7 \times 10^{-5} \times M \times (5867 - P_a) - 0.0014 \times M \times (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)\}$
- $t_{cl} = 35.7 - 0.028 \times M - I_{cl} \times \{3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)\}$
- $h_c = \begin{cases} 2.38 \times (t_{cl} - t_a)^{0.25} & \text{for } 2.38 \times (t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1(v_{ar})^{0.5} \\ 12.1(v_{ar})^{0.5} \times (v_{ar}) & \text{for } 2.38 \times (t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1(v_{ar})^{0.5} \end{cases}$
- $f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.29I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0.078 m^2 k/w \\ 1.05 + 0.645I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0.078 m^2 k/w \end{cases}$
- $P_a = (RH / 100 * e^{-(18.6686 - 4030.18 / (TA + 235))}) / 0.00750062$
- $PPD = 100 - 95 \cdot \exp(0.03353) \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2$

一、PMV (4/8)

- M : 人體新陳代謝量 (W/m^2)
- W : 外部影響人體之能量 (W/m^2)
- I_{cl} : 衣著隔絕度 (m^2K/W)
- f_{cl} : 衣著面積因素
- t_a : 氣溫 ($^{\circ}C$)
- t_r : 平均輻射溫度 ($^{\circ}C$)
- v_{ar} : 相對風速 (m/s)
- P_a : 水氣分壓 (Pa)
- h_c : 對流熱傳係數 ($W/(m^2K)$)
- t_{cl} : 衣著表面溫度 ($^{\circ}C$)

一、PMV (5/8)

人體新陳代謝量：

人體活動類型	新陳代謝量	
	W/m ²	met
平躺	46	0.8
靜坐	58	1.0
坐著從事桌面活動	70	1.2
站著輕微活動	93	1.6
站著中度活動	116	2.0

其中：1 met = 58.2 W/m²

一、PMV (6/8)

人體衣著隔絕度：

日常穿著	I_{cl}	
	clo	m^2K/W
短襯衫、T-shirt、襯衫、薄襪、涼鞋	0.3	0.050
內襯褲、短袖襯衫、輕薄長褲、薄襪、鞋子	0.5	0.080
短襯褲、襯裙、褲襪、短裙、鞋子	0.7	0.105
內衣、襯衫、長褲、襪子、鞋子	0.7	0.110

其中：1 clo = 0.015 m^2K/W

一、PMV (7/8)

PMV 指標將熱舒適程度分為七個階段，如下表。

PMV 指標值	舒適度感受
3	炎熱 Hot
2	溫暖 Warm
1	微溫 Slightly warm
0	適中 Neutral
-1	微冷 Slightly cold
-2	涼爽 Cool
-3	寒冷 Cold

備註:人體感到舒適的範圍介於-0.5與+0.5之間

一、PMV (8/8)

下表為PMV計算表：

乾球溫度 (°C)	23	24	25	26	27	28	29
相對濕度 (%)	40	50	60	70	80	80	80
黑球溫度(°C)	22	23	24	25	26	27	28
風 速(m/s)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
P M V 值	-0.88	-0.51	-0.13	0.27	0.67	1.01	1.35
P P D 值	21%	10%	5%	6%	15%	26%	43%

假設為 夏季著裝(0.5 clo) 及 靜態活動(1.2 met)

二、有效溫度(1/3)

有效溫度 Effective Temperature (亦稱實效溫度、實感溫度)，由Houghton及Yaglou學者提出，以乾球溫度與濕球溫度及氣體流速之綜合效果來表示人體之熱舒適感受。

以相對濕度100%且無風之情況下，所感受到之溫度視為有效溫度，而此標準是由多數實驗者實驗所得之人體實際感受，在同一有效溫度下，可有多種組合。

二、有效溫度(2/3)

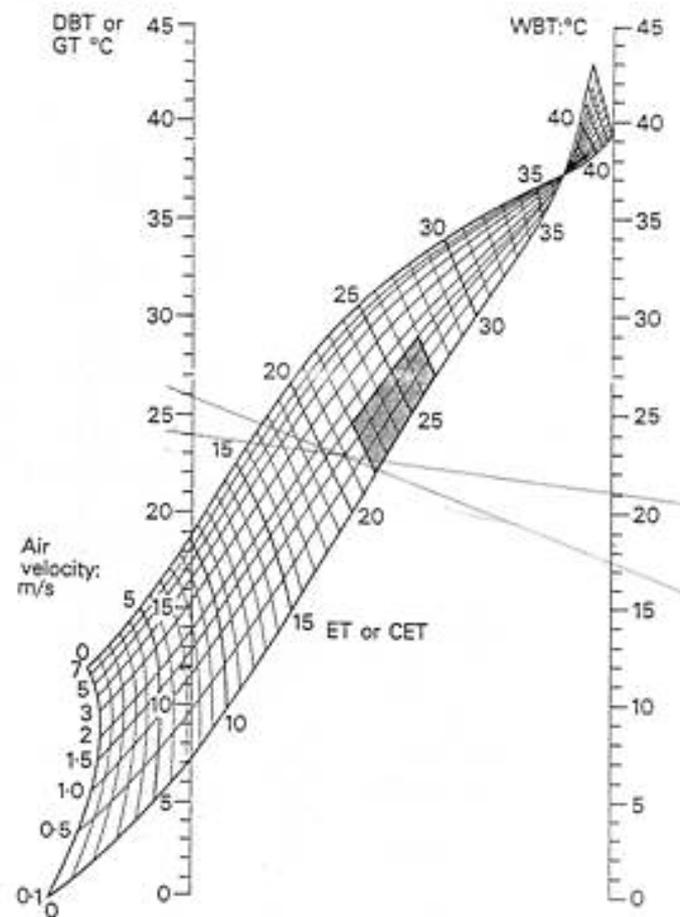
下表為有效溫度21度之各種組合。

氣溫 (°C)	21	22.2	23	24	26	27	28
風速 (m/s)	0	0	0	1	1	1	2.8
濕度 (%)	100	80	60	80	60	40	40

備註：相同的有效溫度下，對環境的舒適感受是相同的。

二、有效溫度(3/3)

若在風流動的場合下，則有效溫度需使用下表做風速修正。



三、新有效溫度(1/4)

新有效溫度 ET^* (or SET) Standard Effective Temperature，由GAGGE學者等人所提出之熱舒適指標，並由ASHRAE採用作為室內熱舒適環境之標準。

此指標考慮了人體的活動量、衣著量及空氣流速，且如同有效溫度，新有效溫度可以有各種溫度與濕度的組合。

三、新有效溫度(2/4)

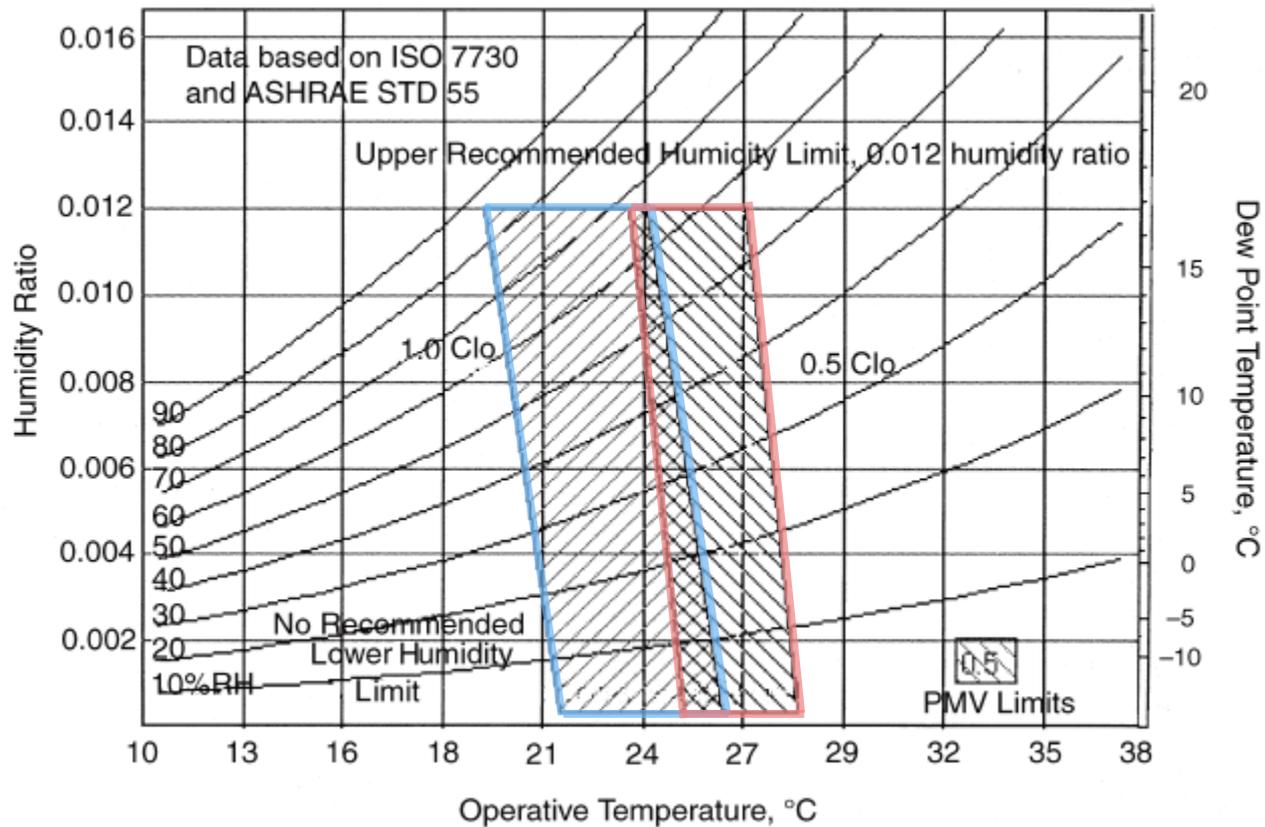
夏季新有效溫度定義：

- 普通坐姿或低活動量行為(1.2 met)
- 輕衣著量(0.5 clo)
- 空氣流速不高於0.25 m/s

於空氣線圖中，在相對濕度50%線上所對應之乾球溫度，即為新有效溫度。

三、新有效溫度 (3/4)

下圖為冬季與夏季舒適度範圍：



三、新有效溫度(4/4)

下表為新有效溫度24.5度組合:

氣 溫 (°C)	24.225	24.5	25.085
濕 度 (%)	60%	50%	30%

參考資料

- 建築物裡環境 (六合出版)
- ASHRAE Standard 55 - 2004
- ISO 7730-2005
- 室內舒適環境