

臺灣體感溫度初步分析

中央氣象局104年天氣分析與預報研討會

許玉金¹ 張博雄²
氣象預報中心¹ 氣象預報中心²
中央氣象局

摘 要

在臺灣夏季平均相對濕度可達到 70%，民眾的悶熱感受明顯高於觀測的氣溫，而冬季即便是大陸冷氣團來襲，在強風環境下也可能有寒流的感覺。有鑑於民眾從事戶外活動，對於體感溫度預報的需求日益增加，各國亦有提供相關的熱指數(Heat index)、風寒指數(Wind chill)等資訊給民眾參考的趨勢，氣象局也將提供體感溫度資訊來服務民眾，因而進行台灣地區之體感溫度的初步分析與探討。

參考各國溫度指數的計算方式，整合發現澳洲之 Apparent temperature 同時考慮了氣溫、相對濕度及風速的效應，最適合作為本局發布體感溫度之依據。雖然，綜合溫度熱指數(WBGT)亦同時考慮了輻射效應，但其輻射對人體直接感受會與所處環境的遮蔽有更多的相關性，且其計算後的數值比實際氣溫要小，對於體感溫度的發布有使民眾有混淆之虞，其指數較適合特定民眾使用之。此外，利用體感溫度來取代現有官方只考慮氣溫及相對濕度關係性的舒適度，會是更適切的作法。

關鍵字：體感溫度、綜合溫度熱指數(WBGT)、熱指數(Heat index)、風寒指數(Wind chill)

一. 前言

由於極端高溫及低溫對民眾的不適感影響甚大，同時對於特定族群如勞工、老弱婦孺或心血管疾病者都可能需要更多的防護措施。本局目前只針對平地氣溫低於攝氏 10 度以下發布低溫特報，而夏季高溫則是針對短時間內觀測高溫上升達到 35 度以上或觀測氣溫高於 36 度以上時，發布即時天氣訊息來提醒民眾。而在臺灣，夏季平均相對濕度可能達到 70%，民眾的悶熱感受明顯高於觀測的氣溫，而冬季就算是大陸冷氣團來襲，在強風環境下也有溫度更低的寒流感覺。

有鑑於民眾從事戶外活動對於體感溫度預報的需求日益增加，各國亦有提供相關的熱指數、風寒指數等資訊的情況，氣象局也將提供體感溫度的資訊更民眾參考。

二. 各國參考之溫度指數

對於體感溫度的定義目前國際並無標準計算方法，概述而言是指民眾感受上的溫度，本節為各國相關指數的計算方式及比較。

中緯度內陸國家夏季常有熱浪、冬季又有酷冷的天氣，除了在氣溫資訊呈現上，相關氣象單位大多有相對應的作為，如：

1. 夏季美國提供了熱指數(Heat index)、加拿大則提供溫濕指數(Humidex)，冷季美國及加拿大則均提供風寒指數(Wind Chill)的資訊給民眾參考；
2. 澳洲則是不分季節，提供體感溫度(Apparent temperature)作為常規性氣溫以外的溫度指數給民眾參考；
3. 香港則是自訂在地居民的可容忍總有效溫度

來發布寒冷及酷熱警告；

4. 日本氣象廳與本局則是以氣溫高於 35 度發布高溫警告來警示民眾。

雖然各國作法不同，但目的都是為了提醒民眾，暴露在酷熱及寒冷的天氣下，應有相對應的防護措施。

另外，有些國家針對高溫作業環境另有建立警示指標，作為熱危害的評估標準。例如，日本勞動部及中國大陸是以綜合溫度熱指數 WBGT(黑濕球溫度)來制定高風險勞工熱危害的指標，同樣的我國勞動部在勞工安全衛生標準熱危害部分，也是使用 WBGT 做為指標。綜合以上各溫度指標，其不外乎和氣溫、相對濕度、風速及輻射有相關，其相關計算公式如下：

熱指數(Heat Index)：

$$-42.379+2.04901523*T+10.14333127*RH-0.22475541*T*RH-0.00683783*T*T-0.05481717*RH*RH+0.00122874*T*T*RH+0.00085282*T*RH*RH-0.00000199*T*T*RH*RH$$

溫濕指數(Humidex)：

$$T + (3.9556)\exp[19.8336 - 5417.75/(Td+273.15)] - 5.5556$$

風寒指數(Wind Chill)：

美國

$$35.74+0.6215*T-35.75*V^{0.16}+0.3965*T*V^{0.16}, V>5\text{km/h}$$
$$T+((-1.59+0.1345*T)/5)*V, 0\text{km/h}<V<5\text{km/h}$$

加拿大

$$13.12+0.6215*T-11.37*V^{0.16}+0.4275*T*V^{0.16}$$

體感溫度(Apparent temperature)：

$$T+0.33*e-0.7*V-4$$

$$e=RH/100*6.105*\exp(17.27*T/(237.7+T))$$

綜合溫度熱指數(WBGT)：

$$0.7T_w+0.2T_g+0.1T$$

$$T_w(\text{濕球溫度}) = T - (T - T_d)*(0.12 + 0.008*T)$$

$$T_g(\text{黑球溫度})=T-0.017*Q-0.208V$$

上述相關參數 T 為氣溫、RH 為相對溼度、Td 為露點溫度、V 為風速。而本局所發布的舒適度計算方式如下：

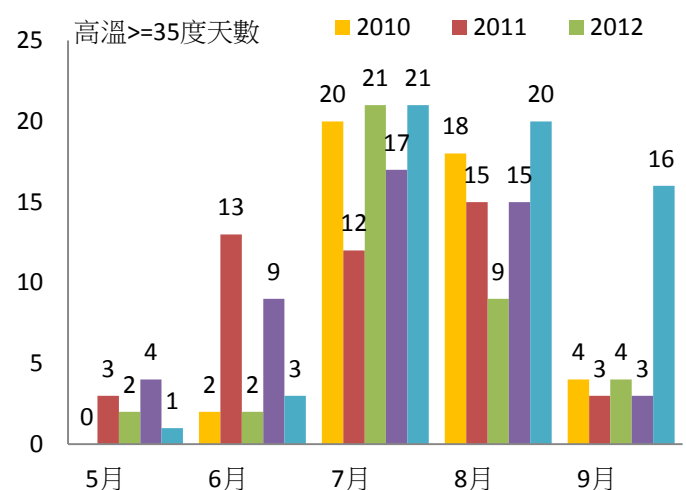
$$\text{舒適度}：T-0.55*(1-RH/100)*(T-14)$$

其只考慮了溫度與濕度的相關性，對於體感溫度的適用性仍有改善的空間。

三. 氣象站觀測分析結果

初步由 2014 年臺北氣象站的觀測結果來看，6-9 月的最高溫出現 34 度以上達 62 天，35 度以上達 34 天，36 度以上達 11 天且其中有 3 天連續發生，而同年 6-9 月台北氣象站的平均相對濕度為 70%，悶熱程度可想而知。若時間拉長至 2010-2014 年來看台北高溫特性，如圖 1 反映了台北普遍高溫可從 5 月延伸至 9 月，且 7、8 月大於 35 度的高溫大約為一半以上的日數，顯示夏季高溫已是常態，甚至在 2014 年 9 月份還有 16 天高於 35 度的高溫。因此，為因應民眾需求與各國趨勢，體感溫度資訊有提供的必要性。以下初步分析的作法是，針對 2014 年的觀測資料作不同指數的分析，透過分析結果選擇其中一種較適合全體民眾參考的指標，來做為氣象局發布體感溫度的計算法則。

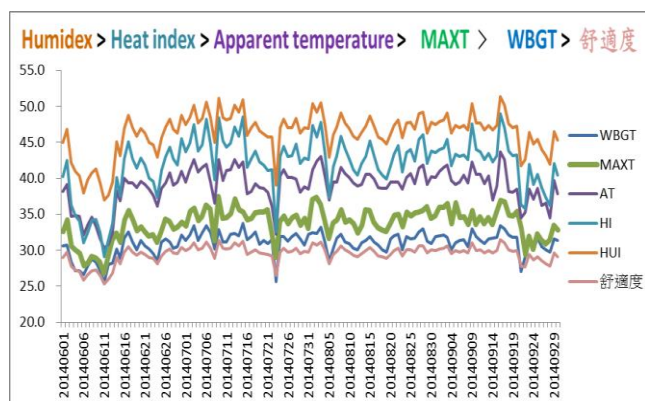
圖 1：台北氣象站 2010-2014 年高於 35 度之天數



先前說明了各國溫度指數不同，考慮的氣象條件也不同，熱指數(Heat index)、溫濕指數(Humidex)與本局的舒適度是考慮了溫度和濕度的關係性，且適用夏季、風寒指數(Wind chill)則考慮了氣溫和風速的關係性，其適用於冷季或攝氏 0 度以下的氣溫、澳洲之體感溫度(Apparent temperature)則是全年通用，考慮了溫度、濕度和風速的相關性、綜合溫度熱指數(WBGT)也是以夏季為主，考慮了氣溫、濕度、風速和輻射等參數。

本局考量體感溫度全年的通用性及多數民眾的適用性，將針對本局現有舒適度、Apparent temperature 來分析探討其變化特性，夏季佐以 WBGT、Heat index 及 Humidex 做比較，冷季則加入 Wind chill 探討。圖 3 為臺北氣象站 6-9 月各溫度指數的日最高溫變化，各指數變化趨勢雷同，溫濕指數(Humidex)、熱指數(Heat index)和澳洲之體感溫度(Apparent temperature)則有高於最高氣溫的特徵，但本局的舒適度和 WBGT 指數的結果會低於最高氣溫，此部分和民眾直觀的夏季體感溫度不符，若訂為指標易造成民眾混淆，且 WBGT 考慮的輻射效果對於民眾感受變化很大，計算參數是以晴朗無雲的條件下去評估，會有放大幅射的影響。另外，氣象局現有舒適度是依據舒適度指數來劃分，而舒適度指數有比氣溫要低的特性，反映在預報描述上經常有民眾反映與感受上的落差，若改由體感溫度來取代其描述，預期會更貼近更多民眾感受的舒適度。

圖 3：2014 年 6-9 月臺北氣象站各溫度指數計算結果



若將熱指數(Heat index)、溫濕指數(Humidex)

及澳洲之體感溫度(Apparent temperature)來比較，可發現 Apparent temperature 因為有考慮風速，有調節夏季高溫的作用，此作用在風速明顯時會更貼近人體感受上的氣溫，會比熱指數(Heat index)及溫濕指數(Humidex)更適合最為本局參考的依據。

圖 4：2014 年 6-9 月梧棲氣象站之最高溫與 Apparent temperature 趨勢圖

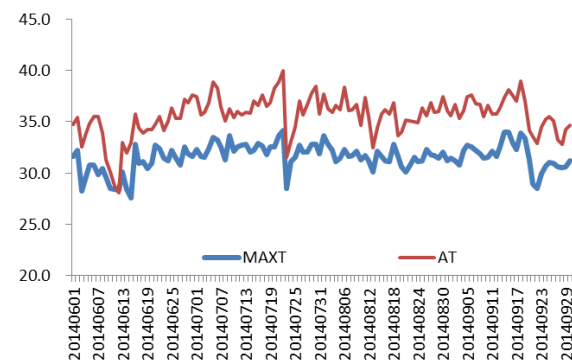


圖 5：2014 年 6-9 月恆春氣象站之最高溫與 Apparent temperature 趨勢圖

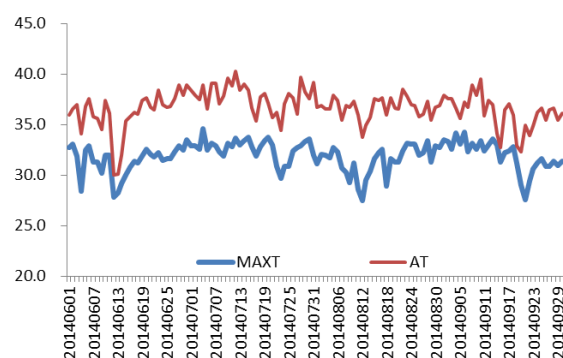


圖 6：2014 年 6-9 月花蓮氣象站之最高溫與 Apparent temperature 趨勢圖

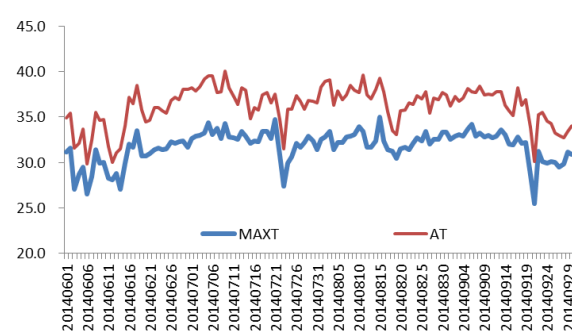


圖 7：2014 年 6-9 月澎湖氣象站之最高溫與 Apparent temperature 趨勢圖

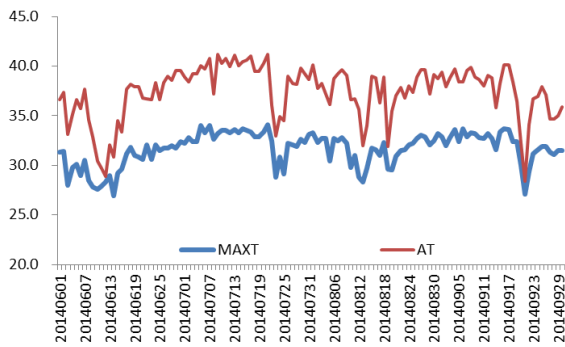


圖 4 至圖 7 則為梧棲、恆春、花蓮及澎湖氣象站的 Apparent temperature 分析結果，皆可發現普遍夏季的 Apparent temperature 各氣象站皆會有明顯高於氣溫的特徵，由圖 8 梧棲站的溫度差值與風速的相關性可看出，風速越大，Apparent temperature 和日高溫的差值越小，顯示沿海一代的強風區會有調節溫度的特性，相對之體感溫度也會小一些。若進一步來看冷季低溫的特徵，圖 9 是以梧棲站跟臺北站 2014 年在 1-3 月以及 12 月的最低溫和 Apparent temperature 分布，整體來看氣溫差異不大，但梧棲站在 Apparent temperature 上與臺北站是有明顯落差，透過圖 10 來看台北站、梧棲站 Apparent temperature 和風速的關係性，正好反映在冬季冷氣團南下時，強風下感受更為偏冷感受的特性。

圖 8：2014 年 6-9 月梧棲氣象站之最高溫與 Apparent temperature 差值和風速的關係趨勢圖

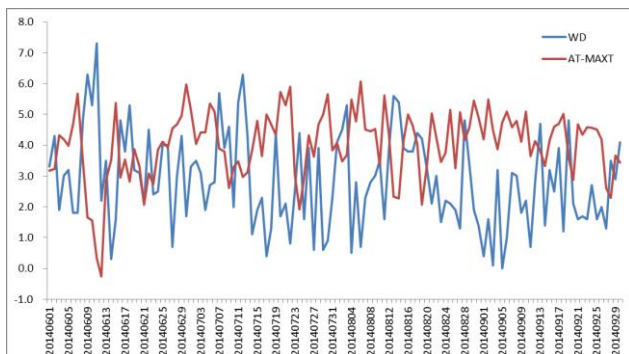


圖 9：2014 年 1-3 月及 12 月臺北、梧棲氣象站之日最低氣溫及 Apparent temperature 趨勢圖

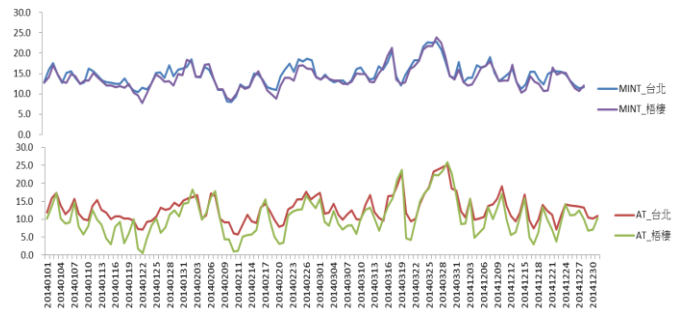
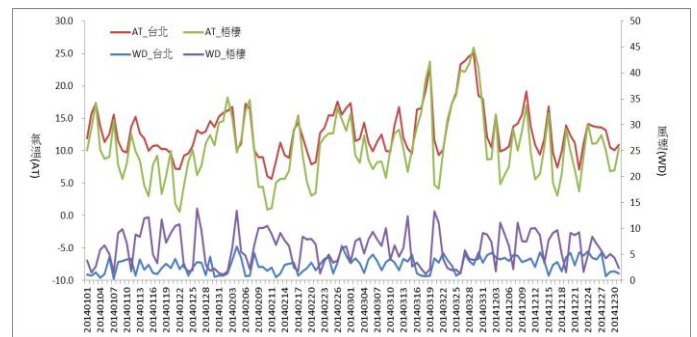
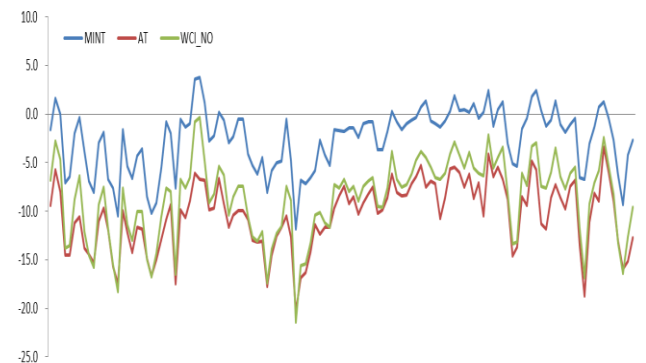


圖 10：2014 年 1-3 月及 12 月台北、梧棲之 Apparent temperature 及風速趨勢圖



另外，我們希望能看出極端低溫時的特徵，因此以玉山站來做分析，圖 7 是 2014 年 1-3 月及 12 月玉山氣象站之日最低氣、及和 Wind chill 趨勢圖，很明顯的冷季氣溫攝氏 0 度以下，氣溫越低 Wind chill 和 Apparent temperature 結果越相近，顯示 Apparent Temperature 在山區可能出現相對的極端低溫的情況也是適用的。

圖 11：2014 年 1-3 月及 12 月玉山氣象站日最低氣及 Apparent Temperature 和 Wind chill 趨勢圖



綜合上述分析，本局若使用澳洲之 **Apparent Temperature** 計算方式，來發布體感溫度之相關預報資訊應是可行的。接下來將探討取代舒適度描述的可行性。舒適度為考慮溫度和濕度的相關性；而 **Apparent Temperature** 則多考慮了風速影響的效應，若單純看 **Apparent Temperature** 不考慮風速的效果和舒適度的相關性，如圖 12 可看出台北氣象站之兩者相關性極高，表 2 也指出各氣象站的兩者相關係數高達 0.9 以上。更增加我們用 **Apparent Temperature** 來計算體感溫度並取代舒適度描述的信心度。

圖 12：台北氣象站 2014 年舒適度及 **Apparent Temperature** 不考慮風速之比較趨勢



表 2：2014 年各氣象站每日之最高舒適度指數和 **Apparent Temperature** 不考慮風速的相關性

氣象站	AT(no wind)和舒適度相關係數
臺北站	0.9981
梧棲站	0.9985
恆春站	0.9992
花蓮站	0.9980
澎湖站	0.9989
玉山站	0.89

四. 結論及展望

綜合上述分析 **Apparent temperature** 的計算方式考慮了氣溫、濕度及風速的綜合結果，不論是山區或平地，暖季或冷季都能適用，且其溫度特性

在暖季偏高、冷季偏低的特性較能反應多數民眾體感溫度上的感受，其適用性較佳。且其不考慮風速影響下的結果和舒適度的相關性極高，未來在本局發布體感溫度資訊時並考慮取代現有舒適度描述，將會改善現有舒適度與民眾預期不符的缺失。

表 3、表 4 為不同條件下的體感溫度結果，顯示夏季體感溫度義達 35 度以上，冷季在大陸冷氣團來襲時，東北風的影響下也有機會達 10 度以下的體感溫度。

表 2：體感溫度之氣溫、濕度對照表(風速固定在 2.5m/s)

		氣溫																				
		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
相對 溼度 (%)	30	17	18	19	20	21	22	24	25	26	27	28	30	31	32	33	35	36	37	39	40	42
	35	17	18	19	20	22	23	24	25	27	28	29	30	32	33	34	36	37	38	40	41	43
	40	17	19	20	21	22	23	25	26	27	29	30	31	33	34	35	37	38	40	41	42	44
	45	18	19	20	21	23	24	25	27	28	29	31	32	33	35	36	38	39	41	42	44	45
	50	18	19	21	22	23	24	26	27	28	30	31	33	34	36	37	38	40	42	43	45	46
	55	18	20	21	22	24	25	26	28	29	30	32	33	35	36	38	39	41	43	44	46	48
	60	19	20	21	23	24	26	27	28	30	31	33	34	36	37	39	40	42	44	45	47	49
	65	19	21	22	23	25	26	27	29	30	32	33	35	36	38	40	41	43	45	46	48	50
	70	20	21	22	24	25	27	28	29	31	32	34	36	37	39	40	42	44	46	47	49	51
	75	20	21	23	24	26	27	29	30	32	33	35	36	38	40	41	43	45	47	49	50	52
80	20	22	23	25	26	28	29	31	32	34	35	37	39	40	42	44	46	48	50	52	54	
85	21	22	24	25	27	28	30	31	33	34	36	38	40	41	43	45	47	49	51	53	55	
90	21	23	24	26	27	29	30	32	33	35	37	39	40	42	44	46	48	50	52	54	56	
95	22	23	25	26	28	29	31	32	34	36	38	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	
100	22	23	25	26	28	30	31	33	35	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	

表 3：體感溫度之氣溫、風速對照表(相對濕度固定在 70%)

		氣溫																									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
風速 (m/s)	0	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	19	20	21		
	4	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	15	16	17	19	20				
	6	-7	-6	-5	-3	-2	-1	0	1	2	3	5	6	7	8	9	11	12	13	15	16	17	19				
	8	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-1	0	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	16					
	10	-10	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	7	8	9	10	12	13	14					
	12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-3	-2	-1	0	2	3	4	5	7	8	9	10	13						
	14	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-1	0	1	2	3	4	5	6	8	10	13					
	16	-14	-13	-12	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-2	-1	0	1	2	4	5	6	8	9	10					
	18	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-1	0	1	2	4	5	6	7	9					
	20	-17	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-6	-5	-4	-3	-2	0	1	2	3	5	6	7					
22	-18	-17	-16	-15	-14	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-5	-4	-3	-2	0	1	2	3	5	6						
24	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-4	-3	-2	-1	1	2	3	5						
26	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	1	2	3						
28	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-8	-7	-6	-5	-3	-2	-1	0	2						
30	-24	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-13	-12	-11	-10	-9	-7	-6	-5	-4	-2	-1	0						
32	-25	-24	-23	-22	-21	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-12	-11	-10	-9	-7	-6	-5	-4	-2	-1						
34	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-11	-10	-9	-8	-6	-5	-4	-2						
36	-28	-27	-26	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-16	-15	-14	-13	-12	-10	-9	-8	-6	-5	-4						
38	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-15	-14	-13	-12	-10	-9	-8	-7	-5						
40	-31	-30	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11						

執行面上，氣象局計畫今年夏季推動鄉鎮預報之體感溫度，將提供每 3 小時的體感溫度預報資訊給民眾參考，並以體感溫度來取代現有舒適度的描述。