

我国各地四季感热温度的计算和分析

冯定原 邱新法*

提 要

本文主要根据美国著名生物气象学家Steadman, R.G.提出的感热温度理论, 结合我国具体情况, 计算了我国各地1、4、7、10月(分别代表冬、春、夏、秋四季)的感热温度状况, 填绘了各季节的平均感热温度分布图, 并对各地四季的天气气候条件进行了分析、对比, 得出了我国各地四季的天气气候特点及其对人体活动影响的初步结论。

国外关于人体对冷、热感觉的研究可划分为两个阶段: 前一阶段, 多采用经验公式进行定量讨论, 提出了诸如“风寒温度”、“湿热度”等概念, 并认识到以下两种客观事实: 当气温较高时, 高湿会加剧人体对热的感觉; 而当气温较低时, 大风常使人倍觉寒冷。后一阶段, 从人体热量平衡角度研究人体对冷、热的具体感受程度。其中以美国生物气象学家Steadman, R.G.^[1-3](1979, 1984)提出的感热温度理论最为完善, 曾引起巨大反响^[4], 并得到公认。另外, 在实验仪器和技术方面^[5], 也取得了相应的发展。但国内关于这方面的研究还很少, 仅文献[6—9]做过一些定性的描述。可见国内、外在人体生物气象学方面的研究尚存在较大的差距。

一、感热温度的计算方法

感热温度的理论基础是人体热量平衡方程。考虑到人体内部由新陈代谢产生的热量随年龄和劳动强度的不同而异, 且为了便于讨论, Steadman选择了身高1.70m, 体重67kg的人体作为标准人体, 并将其作了适当简化, 着重讨论单位人体表面积的热量收支状况。

对于以 1.4ms^{-1} 的速度步行的人来说, 体内新陈代谢产生的热量 $Q=1.778\text{Wm}^{-2}$, 这是人体获得热量的主要方式; 另一种方式是通过皮肤和衣服吸收太阳辐射。人体失热由三部份组成, 即肺部呼吸作用失热(Q_r)、衣着失热(Q_f)和人体裸露部份失热(Q_a)。从热量散失方式看, 又可将 Q_f 和 Q_a 进一步细分为显热失热量、潜热失热量和辐射失热量

三部份。如果以 Φ_1 表示人体衣着部份的面积系数,则在温热条件下,人体的热量平衡方程为

$$Q = Q_r + \Phi_1 Q_f + (1 - \Phi_1) Q_a \quad (1)$$

在酷热条件下,由于人体穿着的衣服量很少,可忽略不计,故其热量平衡方程为

$$Q = Q_r + Q_a \quad (2)$$

从人体内部到周围环境的失热过程中,所受的阻力有皮肤的显热传输阻力 R_s 、潜热传输阻力 Z_s ;衣服的显热传输阻力 R_f 、潜热传输阻力 Z_f ;空气的显热传输阻力 R_a 、潜热传输阻力 Z_a 等。参照物理学中的欧姆定律,有

$$Q_a = \frac{T_b - T_a}{R_s + R_a} + \frac{e_b - e_a}{Z_s + Z_a} \cdot \frac{R_a}{R_s + R_a} - Q_g \frac{R_a}{R_s + R_a} \quad (3)$$

$$Q_f = \frac{T_b - T_a}{R_s + R_f + R_a} + \frac{e_b - e_a}{Z_s + r R_f + Z_a} \cdot \frac{R_f + R_a}{R_f + R_s + R_a} - Q_g \frac{R_a}{R_s + R_f + R_a} \quad (4)$$

式中 T_b 为体温($^{\circ}\text{C}$), T_a 为气温($^{\circ}\text{C}$), e_b 为体内水汽压(hPa), e_a 为周围空气中的水汽压(hPa), Q_g 为单位面积的净辐射(Wm^{-2}), r 为系数。最后,根据太阳辐射和空气温度、湿度(水汽压)、风速等资料,在温热条件下,可由方程(1)解出 R_f ;在酷热条件下,可由方程(2)解出 R_s ;再将 R_f 或 R_s 代入原方程,在标准条件(取单位面积净辐射 $Q_g = 0$,空气相对湿度 $f = 80\%$ 或绝对湿度 $a = 12.0\text{g m}^{-3}$,10米高处风速 $V_{10} = 0$)下解出的温度即为感热温度。

Steadman在气温 $-40^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 范围内,计算了感热温度的各种数值。然后,根据这些数值,经过统计归纳得出以下3个公式:

室内条件($Q_g = 0$, $V_{10} = 0$)下,

$$T_{a,pc} = -1.30 + 0.92T_a + 0.22e_a \quad (5)$$

室外有遮蔽条件($Q_g = 0$)下,

$$T_{a,pev} = -2.70 + 1.04T_a + 0.20e_a - 0.65V_{10} \quad (6)$$

室外无遮蔽条件下

$$T_{a,pevQ} = 4.50 + 1.02T_a + 0.28e_a - 1.00V_{10} - 5.80\Phi_2 + 0.0054(Q_D + Q_d) \quad (7)$$

式中 Φ_2 为太阳直接辐射与间接辐射之比, Q_D 为直接辐射, Q_d 为散射辐射(W m^{-2})。

本文利用(5)~(7)式,比较均匀地在全国气象台站网中选取了200个站点,计算了各地1、4、7、10四个月的月平均白天感热温度,并用 $T_{a,pevQ} - T_{a,pev}$ 讨论了太阳辐射对感热温度的影响;用 $T_{a,pev} - T_{a,pc}$ 讨论了风速对感热温度的影响;用 $T_{a,pc} - T_{a,p}$ 讨论了空气湿度对感热温度的影响。

计算所用的太阳辐射和空气温度、湿度、风速等资料取自《中国太阳辐射资料》和《1950~1980年气象观测资料》,其中所缺的各站点太阳辐射资料系通过内插得到。考

虑到人们主要在白天活动，所以将上述平均资料均订正到白天的情况。具体订正公式为

$$\text{月平均白天空气温度 } \overline{T}_{sd} = (\overline{T}_{min} + 3\overline{T}_{max}) / 4$$

$$\text{月平均白天水汽压 } \overline{e}_{sd} = \overline{e}_a$$

$$\text{月平均白天风速 } \overline{V}_{10d} = 1.20 \overline{V}_{10}$$

$$\text{月平均白天太阳总辐射 } (\overline{Q}_D + \overline{Q}_d) = \overline{Q} / (t_{日落} - t_{日出})$$

二、气象要素对感热温度的影响

人体的热感觉问题是一个比较复杂的问题，除了空气温度外，至少要受到太阳辐射、空气湿度、风速和海拔等因素影响。本文主要讨论太阳辐射、空气湿度和风速对人体热感觉(即感热温度)的影响。

1. 太阳辐射的影响

太阳辐射对人体热感觉的影响既与太阳辐射强度有关，也与太阳高度角有关。当太阳高度角较高时，由于人体接受太阳辐射的面积较太阳高度角低时小，所以人体获得的太阳辐射也较少。到达人体表面的太阳辐射，一部份被反射，另一部份被吸收。值得注意的是：即使被人体表面吸收的太阳辐射也并非能全部转化为载热(load heat)的形式为人吸收，而是存在着一定的转化效率 η_g 。研究表明，随着空气温度和相对湿度的升高， η_g 将增大；随着风速增大， η_g 将减少。

太阳辐射对人体热感觉的影响以夏季(7月)为最大。从图1可以看出，全国大部份地区的感热温度都比实际空气温度高 5°C 以上，只有北疆部份地区和青藏高原西部地区的感热温度比实际空气温度高出不到 5°C ，这是由于这两个地区空气相对湿度低、风速大等原因造成的。长江中游、西南和华南的大部份地区，夏季空气相对湿度大、风速小，所以是一个高值区；南疆戈壁沙漠地区，太阳辐射强烈，所以也是一个高值区。

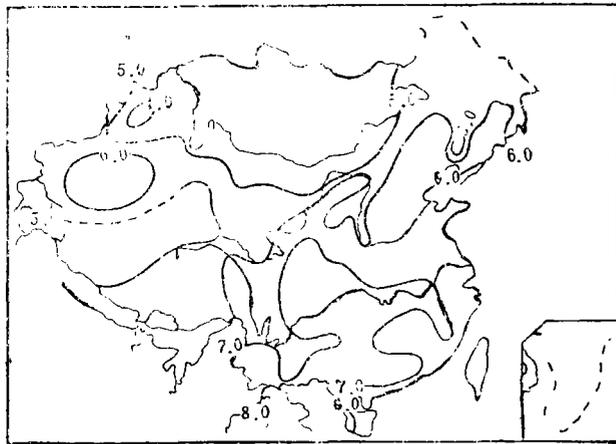


图1 7月份太阳辐射对感热温度的影响

其它季节，太阳辐射对人体热感觉的影响存在着类似的分布，只是在数值上略有差别。冬季(1月)全国大部份地区的感热温度比实际空气温度高出 $4\sim 6^\circ\text{C}$ ；春(4月)秋(10月)季节感热温度比实际空气温度高出 $4\sim 7^\circ\text{C}$ 左右。

2. 空气湿度的影响

空气湿度主要通过对水汽传输的影响而影响人体的热感觉。当空气温度较高时, 人体就会出汗, 使得皮肤表面的湿度相对增大, 若此时空气湿度低, 汗液很快蒸发, 虽然空气温度较高, 人体反而觉得比较舒适。另外, 当空气温度较高时, 湿度的变化远较空气温度较低时大。因此, 夏季空气湿度对人体热感觉的影响是非常重要的。

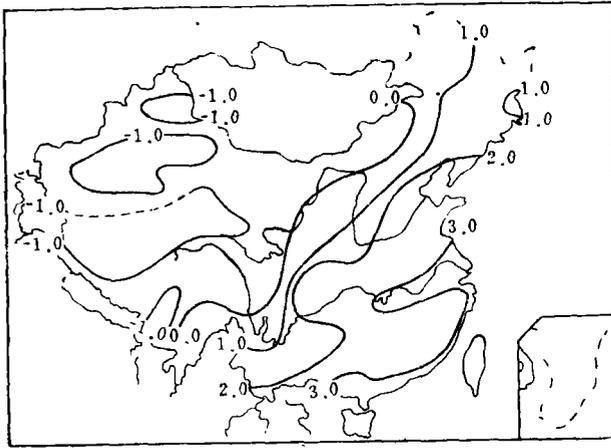


图2 7月份空气湿度对感热温度的影响

图2给出了夏季(7月)我国各地空气湿度对人体热感觉的影响情况, 从中可以看出我国各地夏季天气气候的一些特点。

由于各地的空气湿度大小不同, 使得有些地区的感热温度比实际空气温度高, 有些地区的感热温度又比实际空气温度低。其中, 感热温度比实际空气温度高出或低于 0°C 的分界线大体从内蒙的锡林浩特开始, 经呼和浩特、银川、兰州、阿坝、德钦等地, 直到西

藏的林芝。这样, 将我国分为东、西两部份, 0°C 线以东, 夏季天气气候以湿热为主; 0°C 线以西, 夏季天气气候以干热为主。在西部干热地区, 由于空气干燥, 尽管空气温度较高, 但热而不见汗。干燥炎热的天气气候使人反而感到比较舒适, 感热温度比实际空气温度降低 1°C 以上。而在东部湿热地区, 空气湿度对感热温度的影响呈现明显的经向分布特点, 越是向东, 海拔越低、河流越多则空气湿度也越大, 特别是长江下游和浙江、福建、广东、广西等沿海地区, 空气温度高、湿度大, 属典型的湿热天气气候区, 由于高湿使得感热温度普遍比实际空气温度高出 3°C 以上。

3. 风的影响

风对人体热感觉的影响不仅与风向、风速大小有关, 而且还与人体周围的环境条件密切相关。冬季, 由于空气温度远低于皮肤温度, 故风, 特别是偏北方向的风有加强冷平流的作用, 常使人体有寒风刺骨

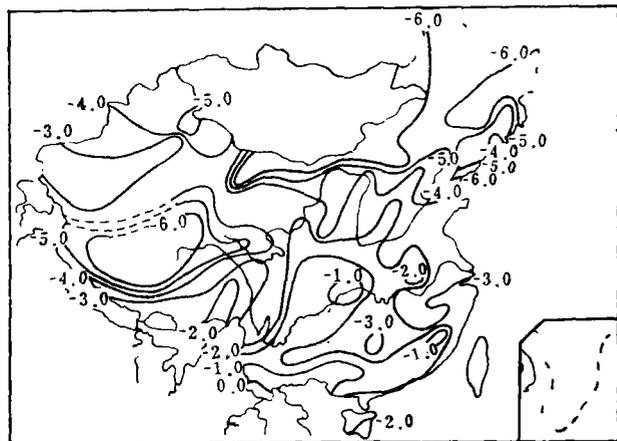


图3 1月份风对感热温度的影响

的感觉。计算结果也表明：我国冬季风对人体热感觉的影响是很大的。

图 3 给出了我国各地冬季(1月)风对人体热感觉的影响。从图中可以看出，冬季除云南西双版纳地区由于空气温度较高、风速较小，风对人体热感觉的影响较小外，其余地区风均使人体产生寒冷的感觉，影响最大的内蒙和东北北部地区由于刮风可使感热温度比实际空气温度降低 6°C 以上。从空间分布情况看，北方大于南方，沿海大于内陆。这是因为北方风速大、气温低；沿海地区气温虽比内陆略高，但风速要比内陆大得多。

三、我国各地四季感热温度计算结果和讨论

1. 我国各地四季感热温度的分布状况

图4~7是我国各地冬、春、夏、秋四季平均感热温度的计算结果。

图 4 表明：我国冬季最温暖的地区为云南的西双版纳，1 月份白天平均感热温度可高达 27.7°C ；最寒冷的地区为黑龙江的漠河，1 月份白天平均感热温度可低至 -27.4°C ，南北暖冷相差 55.1°C ，比南北实际空气温差(47.6°C)增大 7.5°C 。青藏高原西部，气温低、风速大，为一寒冷中心。南、北疆的感热温度分布差别很大，这一方面与纬度有关，另一方面也与天山对冷空气的阻挡有关。与同纬度地区相比，四川、云南和贵州东部地区是一个暖中心，而沿青藏高原东部边缘到贵州西部则明显地存在一个“冷舌”，这与实际气温和风速的分布完全一致。

图 6 表明：我国夏季感热温度的分布有两个高值中心和两个低值中心。两个高值中心分别位于长江中下游到闽江、珠江流域的江南、华南地区和新疆塔克拉玛干沙漠地区；两个低值中心分别位于青藏高原和内蒙东部到黑龙江北部地区。夏季感热温度最低的地区

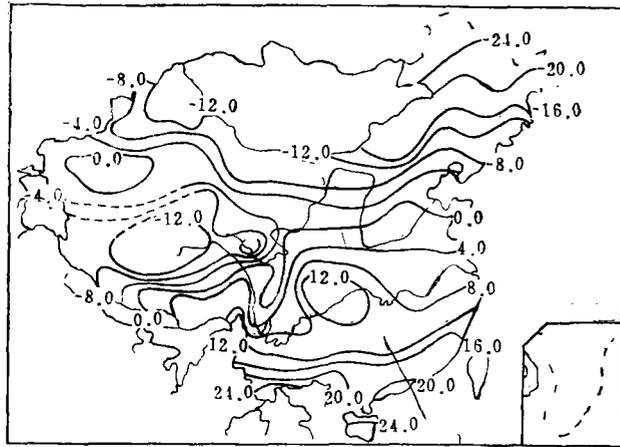


图 4 1 月份白天平均感热温度分布情况

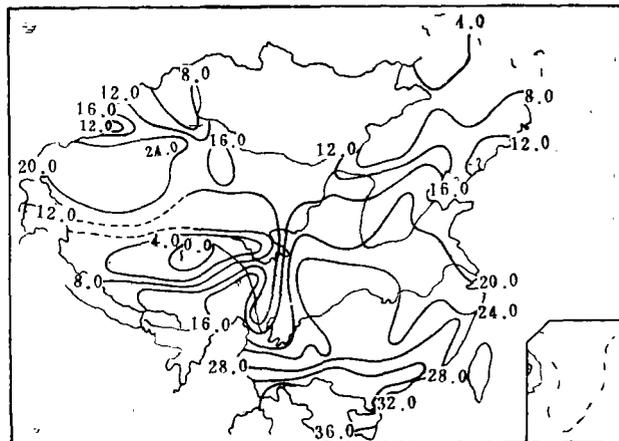


图 5 4 月份白天平均感热温度分布情况

位于青藏高原的托托河一带,数值为 12.4°C 。南北感热温度差为 15.7°C ,比实际空气温度差 10.4°C 增大 5.3°C 。同一纬度的感热温度,东部沿海地区因受海洋调节,故比西部内陆地区低 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。从图中还可以看出,凡是河流密集或沿河地区,夏季感热温度均较高,这与河流水分蒸发、空气湿度增大有一定的关系。相反,新疆戈壁沙漠地区虽然空气温度较高,但感热温度却比东南沿海的长江中下游和闽江、珠江流域低得多,即使是素有“火焰山”之称的吐鲁番盆地,虽然从空气温度看(7月份白天多年平均值为 36.2°C)为全国最高,但其感热温度只有 41.3°C ,与长江中下游地区相当。

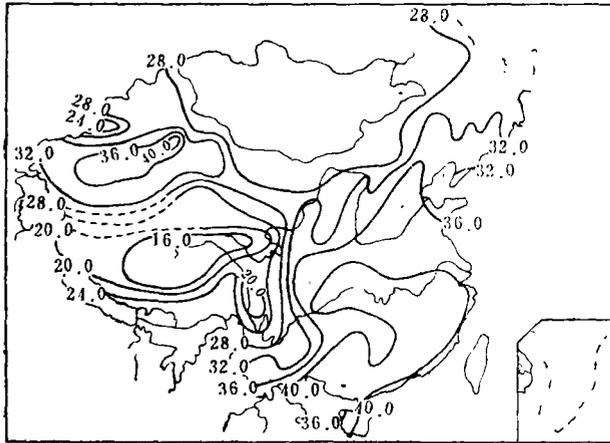


图6 7月份白天平均感热温度分布情况

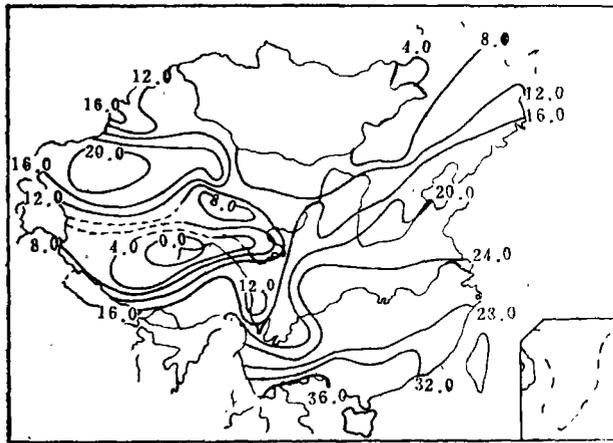


图7 10月份白天平均感热温度分布情况

图5表明我国各地春季感热温度的分布状况。除少数地区低于 10°C 和高于 30°C 外,全国绝大部分地区都在 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间。根据Steadman等研究认为:当感热温度达 25°C 时,人体即使穿少量衣服也并不觉得寒冷。按照这个标准,我国春季除海南和广东部份地区(感热温度在 30°C 以上)稍感炎热而东北北部、青藏高原西部以及新疆阿勒泰地区(感热温度在 10°C 以下)稍感冷凉以外,其余地区(感热温度都在 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间)人体感觉都相当舒适,最适宜从事工作、学习和生产劳动等活动。

图7表明我国各地秋季感热温度的分布状况。跟春季相似,全国大部份地区都在 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间,也是最适宜人们从事各项活动的良好季节。

2. 我国各地感热温度的变化特点

为了便于从感热温度的角度分析各地天气气候特点,本文

还分析了各地1月和7月感热温度之差,详见图8。考虑到我国幅员辽阔、地形复杂,拟参照我国综合地理区划所划分的8个地区^[10]进行一些初步讨论。

(1)东北地区:冬季严寒且多寒风,感热温度低至 $-12\sim -24^{\circ}\text{C}$;夏季清凉且较湿润、感热温度为 28°C 左右;全年感热温度较差高达 $40\sim 52^{\circ}\text{C}$,是我国感热温度变化最

大的地区。对人体活动来说，冬季感到寒冷，春、秋感到冷凉，唯有夏季感到最舒适。

(2) 华北地区：冬季寒冷、干燥且多大风，天气干冷，感热温度为 $0 \sim -4^{\circ}\text{C}$ ；夏季偏热，除西部少数地区偏干外，大部份地区均较湿润，感热温度为 36°C 左右；全年感热温度较差达 $36 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，是除东北和内蒙以外我国感热温度变化的第三大地区。对人体活动来说，冬季显冷，夏季稍热，春、秋季节比较舒适。

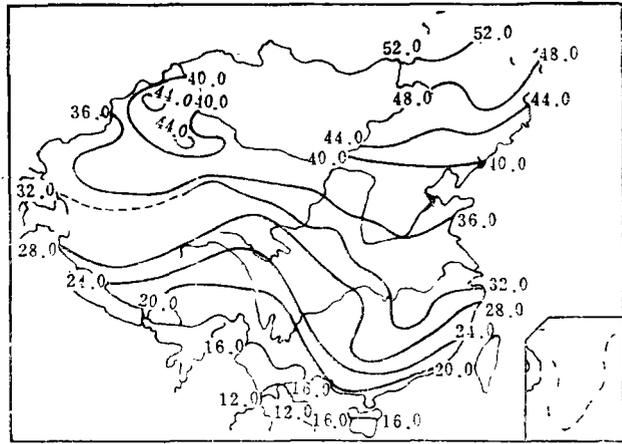


图 8 1 月和 7 月感热温度较差分布情况

(3) 华中地区：冬季感热温度 $4 \sim 8^{\circ}\text{C}$ ，稍觉寒冷；夏季感热温度 $36 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，显得炎热而又湿润，属典型的湿热型天气气候，特别是长江中下游地区，夏季闷热异常，全年感热温度较差 $32 \sim 36^{\circ}\text{C}$ 。对人体活动来说，夏季炎热，冬季稍冷，唯有春、秋季最为舒适。

(4) 西南地区：冬季感热温度 $12 \sim 16^{\circ}\text{C}$ ，比较温暖；夏季感热温度 $28 \sim 36^{\circ}\text{C}$ ，相对凉爽；全年感热较差 $16 \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，特别是云南南部最小，只有 12°C ，故有“四季如春”的美称。只有四川东部长江沿岸地区夏季闷热异常。与其它地区相比，贵州西部全年稍偏凉，比较适宜人体活动。

(5) 华南地区：冬季感热温度 $12 \sim 24^{\circ}\text{C}$ ，比较温暖；夏季感热温度 $36 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，显得炎热，特别是珠江流域，夏季闷热异常，是全国最闷热的地区，属典型的湿热型天气气候；全年感热温度较差 $16 \sim 24^{\circ}\text{C}$ ，冷暖变化较小。对人体活动来说，除夏季感到闷热不适外，其它三季均较适宜。

(6) 内蒙地区：冬季严寒，感热温度东、西部相差较大，东部为 $-16 \sim -20^{\circ}\text{C}$ ，西部为 $-8 \sim -12^{\circ}\text{C}$ ；夏季温暖，感热温度东、西部几无差异，都在 28°C 左右；全年感热温度较差 $40 \sim 48^{\circ}\text{C}$ ，是我国感热温度变化第二大地区。对人体活动来说，冬季寒冷，春秋冷凉，唯有夏季最为舒适。

(7) 西北地区：冬季感热温度 $-4 \sim -12^{\circ}\text{C}$ ，显得干冷，唯有南疆塔里木盆地比较温暖，感热温度为 0°C 左右；夏季感热温度 $28 \sim 36^{\circ}\text{C}$ ，和西南地区相当，并不炎热；全年感热温度较差除北疆局部地区高达 44°C 以外，其余均为 $36 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，和华北地区相当。对人体活动来说，冬季寒冷，春秋冷凉，唯有夏季较为舒适。

(8) 青藏高原地区：因海拔较高而呈现出独特的高原型天气气候。冬季感热温度 $-4 \sim -8^{\circ}\text{C}$ ，稍显干冷；夏季感热温度 $20 \sim 24^{\circ}\text{C}$ ，暖而不热；全年冷暖变化不大，感热温度较差 $20 \sim 32^{\circ}\text{C}$ ，仅次于西南和华南地区。对人体活动来说，与西北地区类似，冬季寒冷，春秋冷凉，夏季比较舒适。

3. 高山地区的感热温度特征

高山地区由于海拔高，地理环境条件与平原地区不同，所以高山地区的感热温度分

布和变化也具有与平原地区不同的特征。表1列出了我国5处高山及其山麓平原地区春、夏、秋、冬四季感热温度和影响因素的数值。从中可以看出：

(1)高山地区四季的感热温度均比山麓平原地区低，说明高山地区具有夏季比较凉快、冬季更加寒冷的天气气候特点。

(2)太阳辐射的增热作用，不论哪个季节，高山地区均比山麓平原地区弱。

(3)空气湿度对感热温度的影响，春、秋、冬三季，高山地区和山麓平原地区差异不明显，唯有夏季高山地区普遍比山麓平原地区小，因此，夏季高山地区不会出现湿热的感觉。

表1 高山和山麓平原地区四季感热温度及其影响因素比较

类别	地名	地									
		五台山	原平	天目山	杭州	黄山	安庆	庐山	景德镇	峨眉山	成都
1月	感热温度	-29.8	-4.5	-4.5	8.0	-5.3	5.9	0.9	10.6	-4.2	12.7
	辐射影响	0.0	4.2	3.1	4.8	3.1	4.3	4.2	5.2	3.9	6.6
	湿度影响	0.2	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.3
	风的影响	-13.5	-4.0	-6.8	-2.6	-6.7	-3.6	-4.9	-2.1	-4.7	-1.4
4月	感热温度	-8.6	16.4	10.2	23.0	7.5	22.4	13.5	25.6	7.5	26.4
	辐射影响	2.6	5.1	4.0	5.9	3.3	5.5	4.4	6.0	5.0	6.6
	湿度影响	-0.6	-1.2	-0.1	0.4	-0.1	0.4	0.1	0.6	-0.3	0.4
	风的影响	-9.2	-2.1	-5.3	-1.3	-5.4	-2.1	-4.7	-1.0	-3.4	-0.3
7月	感热温度	10.5	33.3	24.6	41.0	19.3	41.0	27.3	41.7	17.1	39.0
	辐射影响	3.9	6.1	4.6	6.7	3.3	7.0	4.8	7.0	5.1	7.8
	湿度影响	0.0	0.7	1.5	3.0	1.2	3.0	1.7	2.9	0.3	2.6
	风的影响	-4.8	0.1	-3.9	0.0	-4.6	-0.1	-3.7	0.2	-2.2	0.6
10月	感热温度	-7.1	15.6	11.0	25.6	9.8	24.4	14.6	27.3	14.7	27.0
	辐射影响	2.5	4.7	3.6	5.5	3.6	5.2	4.2	5.7	5.6	7.4
	湿度影响	-0.5	-0.8	-0.2	0.7	-4.2	-1.6	-0.1	0.4	-0.7	0.8
	风的影响	-8.4	-1.5	-4.7	-0.9	-0.3	0.1	-4.1	-0.7	-2.2	-0.2
1、7月感热温度差		40.3	37.8	29.1	33.0	24.6	35.0	26.4	31.1	21.3	26.3

(4)风速对感热温度的影响，一年四季高山地区均比山麓平原地区强，使得高山地区的感热温度比实际空气温度降低较多。因此，夏季当山麓平原地区空气温度升高使人

感到炎热难熬时，只要一登上高山就会觉得凉爽。

(5)全年感热温度较差变化，南方和北方不同。南方高山地区小于山麓平原地区，北方高山地区大于山麓平原地区。

综上所述，不论南方或北方，高山地区均为夏季避暑胜地，是人们消暑度夏的好去处。

四、结 束 语

本文主要从人体热量平衡观点出发，计算和分析了我国各地春、夏、秋、冬四季感热温度的分布、变化及其对人们工作、学习和生产劳动等活动的影响，结果与人们的实践经验基本相符，说明本文所采用的计算和分析方法是可行、可信的。但在具体计算时，特别是在资料处理方面，尚存在以下几个问题，有待进一步改进：

1.白天的平均太阳辐射用太阳总辐射除以当时的可照时数来计算，可能与实际情况稍有出入。另外，对白天的空气温度、湿度和风速资料处理方式也不尽完善。

2.在分析、比较各地感热温度变化差异时，对各地本身的天气气候特点考虑得不够，例如全国各地最热的月份并不一定均出现在7月，象海南岛最热的月份常出现在5月。因此，如果能作更加精细的计算，可能会得出更加满意的结果。

3.为了今后更进一步深入研究，在对人体热量平衡方程各参数的订正方面需做一些更加细致的工作。

参 考 文 献

- [1] Steadman, R.G., The assessment of sultriness, Part I. A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science, *J. Appl. Meteor.*, Vol.18(a), 861-873, 1979.
- [2] Steadman, R.G., The assessment of sultriness, Part II, Effect of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature, *J. Appl. Meteor.*, Vol.18 (b), 874-884, 1979.
- [3] Steadman, R.G., A universal scale of apparent temperature, *J. Climate Meteor.*, Vol.23, 1674-1687, 1984.
- [4] Kalkstein, L.S. and Valimont, K.M., An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological index, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol.67, 842-848, 1986.
- [5] 巴赫基, L. 著, 傅志诚等译, 房间热量微气象, 145-205, 中国建筑工业出版社, 1985.
- [6] 林之光, 气候风光集, 41-45, 气象出版社, 1984.
- [7] 姚启润, 旅游与气候, 5-20, 气象出版社, 1983.
- [8] 谭冠日等, 应用气候, 289-291, 气象出版社, 1985.
- [9] 夏廉博, 人类生物气象学, 82-105, 气象出版社, 1986.
- [10] 上海师大等, 中国自然地理, 136-148, 上海教育出版社, 1980.

CALCULATION AND ANALYSIS OF THE APPARENT TEMPERATURE IN THE FOUR SEASONS OVER CHINA

Feng Dingyuan Qiu Xinfu

ABSTRACT

Mainly based on the theory on apparent temperature initiated by the famous American biometeorologist R.G.Steadman, the monthly mean apparent temperatures in the four seasons (Jan., April, Jul.and Oct.) have been calculated and their distributions plotted herein.Preliminary conclusions are thus reached by analysis on the synoptic and climatic features in different climatic regions over China and their effects on human activities.