

风 寒 指 数 研 究

J. C. Dixon M. J. Prior

提要 本文描述了在伴有低温的强风风寒效应量化处理上应用最广泛的计算公式, 风寒效应以风寒指数(因子)和风寒相当(视在)温度表示。本文还就公式的应用和英国 London/Heatflow 的风寒气候学进行了讨论。

1. 前 言

风寒通常与人类的舒适情况有关, 例如人们都有这样的体验: 刮风时要比不刮风时来得冷。然而, 更一般地它用来表示温度高于环境的物体其热量损耗有所加强。

象加拿大、美国这样经常经历严冬的国家, 很久以来, 就在公众天气预报发布中考虑了风的风寒效应。在英国, 风寒纳入中期预报中只是最近的事, 但过去也一直向农民发布影响羊羔出生的恶劣条件的风寒预报 (Starr, 1984)。1984/85 年冬季, 尤其是 1985/86 年冬季, 风寒和风寒相当温度在电视天气预报节目中得以引用。

2. Siple-Passel 风寒公式

这个风寒公式是 1941 年在南极进行的试验中建立的。

$$H = (12.12 + 11.6\sqrt{v} - 1.16v)(33 - t_a)$$

其中各项说明如下:

H = 热损耗率 (Wm^{-2}) (转换为 $\text{Kcal m}^{-2} \text{h}^{-1}$, 除以 1.16)

v = 风速 (ms^{-1})

33 = 裸露的皮肤温度 ($^{\circ}\text{C}$)

t_a = 环境气温 ($^{\circ}\text{C}$)

Siple-Passel 公式最初应用于军队训练中可能产生的冻伤预报。美国、加拿大, 然后是整个大陆, 风寒指数图成了指导着装的需求。该公式还在大量的教科书和文章中, 得到广泛使用, 且成了风寒图表的基准。注意, 这一经验公式只能适用于裸露在外的皮肤。

Siple-Passel 方程得出的结果是风速和温度每种组合的热损耗率。作为对美国生物气候分类的一部分, Terjung (1966) 采用了表 1 给出的感觉类型, 该表是由 Siple 和 Passel 根据 Gold (1935) 建议建立的。

表 1 与多数人的感受相一致的风寒范围
(Terjung, 1966) ($\text{Kcal m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 换算为
 $\text{Cal m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 除以 3.6)

风 寒		多数人的感受
Wm^{-2}	$\text{Kcal m}^{-2} \text{h}^{-1}$	
348—696	300—600	凉
679—929	601—800	很凉
930—1160	801—1000	冷
1161—1390	1001—1200	很冷
1391—1625	1201—1400	极冷
>1625	>1400	裸露皮肤冻伤

3. Steadman 风寒公式

该公式建立在热力平衡概念基础之上。Steadman 假定一个健康的成年人 (高 1.7 m, 身体表面积为 1.7m^2) 在户外以 3 英里/小时 (1.3ms^{-1}) 的速度步行, 将产生 188Wm^{-2} 的热量。它抵销了身体的热量损耗以保持在不同天气条件 (所穿衣服量是变化的) 下的热力平衡。

产生热量 = 损耗热量

= 呼吸中蒸发的热损耗 (1) + 加热的呼吸的热损耗 (2) + 裸露皮肤的热损耗 (3) + 衣着较少的手足的热损耗 (4) + 整个衣服面积上的热损耗 (5)

$$\text{公式: } 188 = 16.29 + 0.22(37 - t_a)$$

$$(1) \quad (2)$$

$$+ \frac{0.13(30 - t_a)}{R_s} + \frac{0.5(30 - t_a)}{0.5 + R_s}$$

$$(3) \quad (4)$$

$$+ \frac{3.55(33 - t_a)}{R_f + R_s}$$

$$(5)$$

其中各项说明如下:

188 = 身穿适当衣服的健康成年人在户外步行时产生的热量 (W m^{-2})

t_a = 环境气温 ($^{\circ}\text{C}$)

37 = 人体内部温度 ($^{\circ}\text{C}$)

33 = 衣着充分的皮肤温度 ($^{\circ}\text{C}$)

30 = 裸露皮肤的温度 ($^{\circ}\text{C}$)

R_f = 衣服阻力 ($\text{m}^2\text{s}^{\circ}\text{C cal}^{-1}$)

= 衣服厚度除以衣服的热传导率

R_s = 表面阻力 ($\text{m}^2\text{s}^{\circ}\text{C cal}^{-1}$) = $1/(h_r + h_c)$

h_r = 辐射的热传输系数 ($\text{cal m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)

$$= 0.0135 \left\{ 4.0 \left(\frac{t_a + 273}{100} \right)^3 \right.$$

$$\left. + 0.3 \left(\frac{t_a + 273}{100} \right)^2 \right\}$$

h_c = 对流热传输系数 = $0.61(S^{0.75})$

S = 有效风速 (英里/时), 即地面上方 10 米的对流高度上测得的, 经修正表示为相对于以 3 英里/时步行的人的速度。

步行者速度的影响在相对风速为微风时是重要的, 因而用两个方程来计算有效风速, 即:

$$S = (v_{10}^2 + 10)^{0.5}, \quad v_{10} \geq 6.4 \text{ 英里/时} \\ (2.9 \text{ ms}^{-1})$$

$$S = \{ v_{10}^2 + 10 + 7(6.4 - v_{10})^{0.5} \}^{0.5}, \quad v_{10} < 6.4 \text{ 英里/时}$$

其中 v_{10} 是 10 米高度上的风速。

一个附加项可插入到热平衡方程中——由日射对处于充分日照中的人的作用而得到的热量。因为获得热量, 热平衡方程的右端必须要扣除热量消耗:

$$\text{由日照获得的额外热量} = \alpha PG$$

其中

α = 皮肤(或衣服)吸收率

P = 正常入射辐射时皮肤(或衣服)有效地获得的比值

G = 日射量 ($\text{cal m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

此外, Steadman 将它的工作扩展到气温从 -40°C 至 $+50^{\circ}\text{C}$ 、风速至 20 ms^{-1} 且考虑了湿度影响的各种情况, 即考虑了风寒和热应力 (heat-stress) 两者的作用 (Steadman, 1984)。

Steadman 公式大体上考虑了人的热损耗的各种形式。但是, 他的方程的“风寒”部分(第三项)可以是独立的, 且可应用于裸露的皮肤区域, 假使仅对脸部而言。作为一个整体, 方程输出的是衣服厚度 (mm)——其必须用以保持热力平衡; “风寒”部分输出的是热损耗量 (W m^{-2})。

在 Steadman 公式中, 热损耗和风速之间的关系接近于线性变化, 且为正值 (图1)。

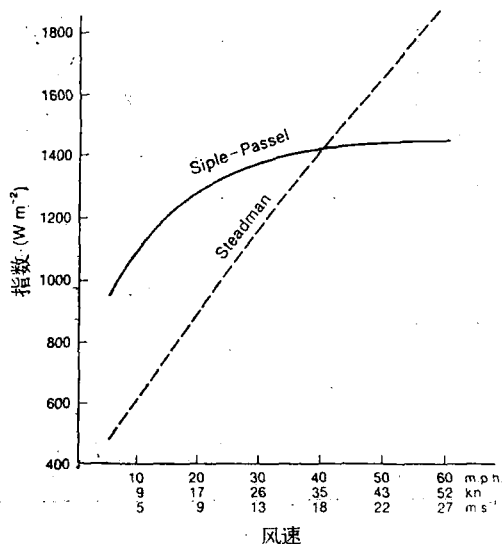


图1 在风速变化、气温固定为 -2°C 条件下的 Siple-Passel 和 Steadman 风寒指数值

4. 风寒相当温度

风寒方程给出了人体热量损耗率的值。然而, 通常更有用的是风寒相当温度。风速和温度的某一组合常与一定的热量损耗率相联系。相同的热量损耗率也可由参考速度 (如人的步行速度) 与不同温度的组合形式来

表示,称为风寒相当温度或视在温度。由此,风的致冷作用可以以无风条件下步行者产生相同感觉所需降低的温度来表示。

对于风速 v ,气温 t_a ,风寒为 H ,相当温度 t_e 是得到相同风寒所要求的气温,但是给定的风速为 v_0 。最常用的 v_0 值为5英里/小时(2.6 ms^{-1}),即人的步行速度。利用此值产生下列以 v 和 t_a 表示 t_e 的表达式:

$$t_e = 33 - \frac{(12.12 + 11.6\sqrt{v} - 1.16v)(33 - t_a)}{27.81}$$

Siple-Passel 公式算的风寒相当温度在

低风速范围要比高风速范围更敏感。
Steadman 1984 年的方程产生的相当温度不会出现算得的相当温度高于气温这类不符合实际的结果。因为它的参考风速取为零(即风的全部影响都被考虑了),由日照引起的相当温度增量也得到了计算,还加上湿度增量(尽管这在低温下微不足道)。表 2 表 3 给出了这些相当温度和日照订正值。我们准备的图表(图2),可以用以评价风和温度的另一种组合。

在冬季天气酷寒的北美,定期地发布相当温度预报,使对户外的感觉寒冷程度有一

表 2 利用Steadman 1984年的方程产生的风寒相当温度(°C), 准确到0.5°C

风 速			气 温									
kn	m.p.h.	ms ⁻¹	°C									
			20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
4	5	2	19.5	17.5	15.5	13.5	11.5	9.5	7.5	5.0	3.0	1.0
8	9	4	18.0	16.0	14.0	12.0	9.5	7.5	5.0	3.0	1.0	-1.5
12	13	6	17.0	14.5	12.5	10.5	8.0	5.5	3.5	1.0	-1.0	-3.5
16	18	8	16.0	13.5	11.0	9.0	6.5	3.0	2.0	-0.5	-3.0	-5.5
19	22	10	15.0	12.5	10.5	8.0	5.5	3.0	0.5	-2.0	-5.0	-7.0
23	27	12	14.5	12.0	9.5	7.0	4.5	2.0	-1.0	-3.5	-6.0	-8.5
29	33	15	13.5	11.0	8.5	6.0	3.5	0.5	-2.0	-5.0	-7.5	-10.0
39	45	20	12.5	10.0	7.0	4.5	1.5	-1.5	-4.0	-7.0	-10.0	-12.5
			0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	
4	5	2	-1.0	-6.0	-11.0	-16.0	-21.5	-26.5	-31.5	-36.5	-41.5	
8	9	4	-3.5	-9.0	-14.5	-20.0	-25.0	-30.5	-36.0	-41.5	-46.5	
12	13	6	-6.0	-11.5	-17.5	-23.0	-28.5	-34.0	-40.0	-45.5	-51.0	
16	18	8	-8.0	-14.0	-20.0	-25.5	-31.5	-37.5	-43.0	-49.0	-54.5	
19	22	10	-9.5	-16.0	-22.0	-28.0	-34.5	-40.0	-46.0	-52.0	-58.0	
23	27	12	-11.0	-17.5	-24.0	-30.5	-36.5	-42.5	-49.0	-55.0	-61.0	
29	33	15	-13.0	-19.5	-26.5	-33.0	-39.5	-45.5	-52.0	-58.5	-64.5	
39	45	20	-15.5	-22.5	-29.5	-36.5	-43.0	-50.0	-56.5	-62.5	-69.5	

表 3 由充分日照引起的相当温度(°C)增加

温 度	风 速								
°C	ms ⁻¹								
	0	2	4	6	8	10	12	15	20
-40	7.2	6.8	5.7	4.7	4.0	3.2	3.0	2.9	2.4
-20	7.4	7.0	5.9	5.0	4.3	3.6	3.4	3.1	2.7
0	7.4	7.0	6.0	5.2	4.5	3.8	3.6	3.4	3.0
20	8.5	8.3	7.4	6.5	5.5	4.6	4.3	3.8	3.3
30	8.5	8.1	7.2	6.6	6.2	5.9	5.6	5.3	4.9

个适当的标志。然而，由于人的年龄、活动量、健康状况、新陈代谢速度等的差异，相当温度下体验到的不舒适程度因人而异。尚无实验资料可使人认为，是 Steadman 还是 Siple 和 Passel 的相当温度更适用于大多数人。

1984/85年的冬季,英国的天气预报开始采用相当温度.气象局证实 Steadman(1984)用来估计风寒的方法比较接近实际，因此在天气恶劣时的天气预报中，便使用了 Steadman 相当温度。

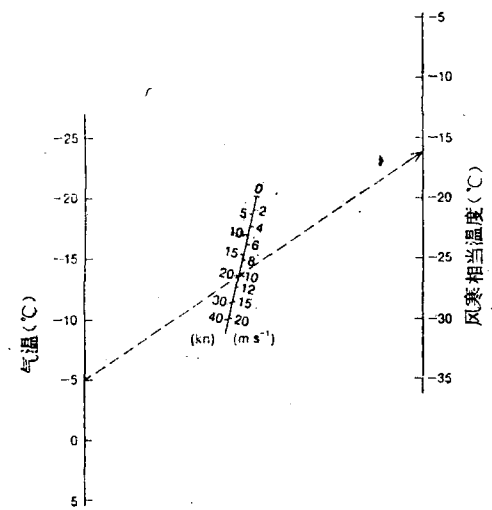


图 2 由气温和 10 米高度上的风速的不同组合得出的风寒相当温度图(Steadman, 1984)。图例表明：气温为-5℃，风速为 20 海里/小时所得的风寒相当温度为-16℃

5. 应用

1986年 2 月的寒冷期当时和此后，气象局收到许多关于风寒的信息咨询，缘由百出。引起笔者注意的内容包括：

- (a) 对动物受寒的推断；
 - (b) 办公大楼供热不足；
 - (c) 对户外建筑的影响（对材料和作业人员的影响）；
 - (d) 对露天训练的士兵的影响；
 - (e) 对汽车发动机的危害；
 - (f) 对农作物的危害。
- (a) 至(d) 的内容说明了风寒指数在各

类应用中起了作用。Daines(1985)描述了在道路建筑的沥清材料压制上，风可使待用时间缩短，利用风速与温度相联系的表格，可对这种影响作出估价。强烈的寒风还增加了为使建筑物内保持适当温度所需要的能源消耗，尤其是那些隔热性很差或非常暴露的建筑物。按风向作出的风寒指数频率分析，可用于指导建筑设计和建筑规划的制定，以便采取相应的防护措施，如防护林带的位置选定 (Dodd, 1985)。笔者曾对风寒计算在建筑业中的这类应用作过描述(Dixon和Prior, 1986)。幼羊热量消耗的增加(Starr) 就是风

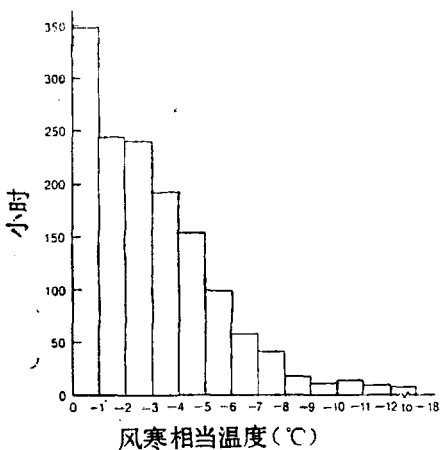


图 3 10—4月份London/Heathrow(风速表有效高度10m)不同范围内的 Steadman(1984) 风寒相当温度平均小时数。风寒相当温度小于或等于 0℃的时间比数占28%

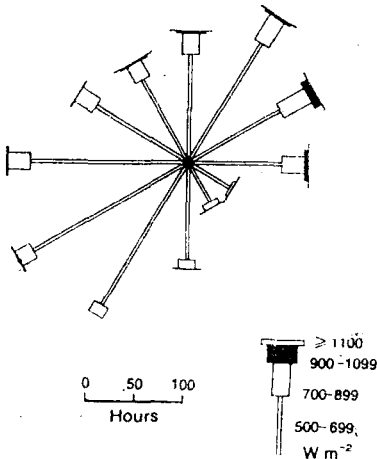


图 4 10—4 月 London/Heathrow 方向间隔为 30°、不同范围的 Steadman (1971) 风寒指数的平均时间分布图

寒可能给动物(尤其是潮湿时)带来威胁的一个例子。

因为提供给公众天气预报的风寒信息与较低的相当温度值相联系,所以,它们在英国不同地区的频率表示将是富有意义的。图 3 表示 1965—85 年“冬季”(10 月—4 月) London/Heathrow 频率分布的时数资料,它是根据 Steadman (1984) 的相当温度分析得出的。仅考虑小于或等于 0°C 的情况。需要指出的是,几乎所有风速是在标准暴露条件下(有效高度 10 米)由风速表测得的。因此,在有较多遮蔽物的相邻地区(如城区)这个量值过高估计了风寒效应;而在暴露较多的地方,

如山丘或沿海地区,过低估计了风寒效应。Steadman 相当温度计算加进了修正到地面层上方 2 米的风速。

更详细的风向资料表示在图 4 中。其表示高风寒指数倾向基本上是与英国东南部寒冷的大陆气流相联系的,而在英国其它地区还伴有更强、不冷的海风。

寒风的频率和风向型式随位置而变化。从这点上看,应当记住局地影响是重要的,尤其是风速、地形粗糙度、高度和地形结构。

周毅译自 Met. Mag. 1987.1 期

温新校