

对多种k系数名称的定名设想

邹 坚 峰

(气象出版社)

在k理论中,对微尺度湍流过程通常都进行半经验的参数化处理,例如有

$$E = -\rho \overline{w'e'} = \rho k \frac{\partial \overline{e}}{\partial z} \quad (1)$$

(1)式表达了湍流物理量 e' 的涡动通量与其宏观物理量 $\overline{e}$ 之间的关系。式中k为一个带量纲的半经验系数,它在气象学中常常用到,特别是在微气象学中尤其重要。但关于k系数系列名称的提法在以往的中外文献中却名目繁多,相互之间的名称关系也比较混乱。这种现状给气象辞书的编纂及文献阅读带来了种种困难。

在湍流半经验理论中,由于系数k占有举足轻重的地位,因此该理论又称k理论,该系数也直呼为k系数。但从其物理意义出发,较多的文献中则称之为湍流系数或涡动通量系数(coefficient of eddy flux)。(1)式中e可以取为各种物理属性量,如风速、热量及水汽等,相应的k系数名称也各不相同。又由于在一般的天气气候问题中,主要注意力在于湍流交换的垂直方向。因此,这里姑且着眼于垂直通量的输送,予以分别讨论。

1.取e为风速分量u,则(1)式成为

$$\tau = \rho k_u \frac{\partial \overline{u}}{\partial z} \quad (2)$$

左边 τ 为作用在与z轴相垂直的面内的湍流粘性应力在x方向上的量。由于此式描述了湍流粘性应力的参数化关系,因此 k_u 称之为湍流粘性系数、涡动粘滞系数、涡粘系数或涡动粘滞率。从粘性应力的物理意义出发,又称之为动量交换系数、涡动交换系数、涡动输送系数、涡动系数、湍流交换系数等。因 τ 项由雷诺方程导出,因此 k_u 也称之为雷诺粘性系数。如把(2)式与牛顿粘性定律作比较,类似于分子运动学粘性系数,在某些文献中 k_u 亦称湍流运动学粘性系数。由于应力的宏观效应表现为流体内部的动量摩擦耗散,因此在大尺度运动方程中,也简称 k_u 为摩擦系数。这些众多的名词对应的都是同一个k系数。同理,其相应的英文名称也有诸多:eddy coefficient, eddy viscosity (coefficient), (eddy)exchange coefficient, austausch coefficient, austausch

koeffizienten, mixing coefficient, turbulent exchange coefficient, interchange coefficients等等。

2. 取 e 为热量 $c_p T$, 则(1)式中 E 成为由湍流涡动所引起的感热输送

$$H = -\rho c_p \overline{w' T'} = \rho k_H \frac{\partial \overline{T}}{\partial z} \quad (3)$$

根据上式的物理含义, k_H 目前比较多用的名称有湍流热传导系数、湍流导热率、湍流导温率、湍流导温系数、热量(感热)交换系数、感热的涡动输送系数、涡动传导率、热量的湍流系数等。其英文名称有: eddy conductivity, coefficient of eddy heat conduction, eddy conduction coefficient。

3. 取 e 为表示水汽含量的某一物理量 q , 比如湿等(也可表示为其它微量化学物质守恒量), 则(1)式中 E 就成为由湍流脉动过程所产生的水汽通量 Q

$$Q = -\rho \overline{w' q'} = \rho k_q \frac{\partial \overline{q}}{\partial z} \quad (4)$$

(4)式的宏观意义表现为水汽 q 在湍流场中的扩散和输送。因此 k_q 称之为水汽(或某种化学成分)的湍流涡动输送系数、水汽交换系数、涡动(湍流)扩散系数、涡动(湍流)扩散率, 或仿照 Fick 方程, 称之非克扩散系数。相应的英文有: eddy diffusivity, eddy diffusion coefficient, turbulent diffusivity等。

4. 在(1)式中, 令 $\rho k = A$, 即

$$E = A \frac{\partial \overline{e}}{\partial z} \quad (5)$$

式中 A 类似于分子粘性系数, 在各种文献中, 分别称为湍流粘性系数、涡动交换系数、湍流交换系数、涡粘系数等。同样 A_u , A_H , A_q 也有各式繁多的名称。

有关 k 系数的名称在目前确实名目繁多, 各类文献中很不统一。如 Holton^[1]的《动力气象学引论》中, 称(1)式中的 k 为涡动粘滞系数, (5)式中的 A 为涡动交换系数, 但我国1985年出版的《气象学词典》则定名 k 为湍流交换系数, A 为湍流粘性系数^[2]。因 k 和 A 的量纲和数值均不相同, 因此对它们的定名就有理顺的必要。这种定名的矛盾现象同样也存在于国外其它的一些经典著作中, 如在 Sutton 的《微气象学》第三章中, 把(1)式和(5)式中的 k 和 A 分别称之涡粘系数(eddy viscosity)和交换系数(exchange coefficient), 但紧接着在第四章中, 却又定名 k 为交换系数(exchange coefficient)^[3], 而美国的《气象学词典》中有关这些条目的定义均是搬用了 Sutton 的叙述。因此, 有关这些湍流理论中 k 系数的定名似乎本身也发生了“湍流”。

为了尽早结束这组系数在定名上的繁复和混乱, 使 k 系数系列有一组统一的、关系清晰的命名, 笔者结合目前的工作材料, 根据 k 系数系列名词的相对常用习惯, 考虑到湍流运动与分子运动的类比以及各个不同湍流过程的微物理意义等因素, 给出如下的初步定名方案:

k , 涡动通量系数

k_u , 涡动粘性系数

k_H , 涡动热传导系数

k_q , 涡动水汽扩散系数

A , 涡动交换系数

由 A 所衍生的系数 A_u , A_H , A_q 可分别称为动量、热量、水汽的涡动交换系数。如果考虑湍流通量输送的各向异性, 可在上述系列名称前加“水平”, “垂直”以示区别。

参 考 文 献

- [1] Holton, J.R., 动力气象学引论(中译本), 86—87, 科学出版社, 1986.
- [2] 朱炳海等, 气象学词典, 897—899, 上海辞书出版社, 1985.
- [3] Sutton, O.G., Micrometeorology, 69—143, McGrawhill publishing company LTD., 1953.
- [4] Huschke, R. E., Glossary of meteorology, 1980.

表1 模拟试验结果

地 点	参(系)数	模 型 编 号												树龄* (年)	拔海 高度 (米)		
		(1)**	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)				
(I)	A	332.8	706.5	2394.2	1096.7	2957.8	7277	-603.9	0	2×10^{-4}	13.5	10.59	0.0464	13	37		
	B	602.7	0.96	0.54	0.18	0.10	-2.71	2972.1	1.5×10^{-3}	3.6×10^{-3}	0.43	-0.402	0.790				
	R	0.992	0.992	0.992	0.924	0.961	0.865	0.961	0.989	0.739							
	K										7904.8	7893.6	8784.9				
(II)	A	403.9	601.8	2281.3	973.0	2843.1	5389.9	-505.7	1×10^{-4}	3×10^{-4}	10.8	8.22	0.0658	15	150		
	B	405.4	0.88	0.46	0.14	0.08	2.55	2232.7	1.6×10^{-3}	3.8×10^{-3}	0.37	-0.306	0.836				
	R	0.996	0.998	0.990	0.938	0.973	0.820	0.959	0.968	0.649							
	K										6090.2	6525.8	7338.9				
(III)	A	-575.2	244.3	1484.3	781.2	2565.7	6519.1	-3343.4	0	3×10^{-4}	26.5	17.78	0.0234	28	450		
	B	379.9	1.11	0.59	0.10	0.06	4.07	3445.5	3.3×10^{-3}	8.5×10^{-3}	0.20	-0.179	0.915				
	R	0.996	0.995	0.956	0.924	0.974	0.595	0.899	0.919	0.534							
	K										11149.1	10956.9	13566.4				
(IV)	A	-661.1	150.5	660.5	646.2	2426.7	5609.9	-3800.6	0	4×10^{-4}	31.9	19.84	0.0191	38	650		
	B	276.5	1.14	0.73	0.08	0.05	4.64	3148.5	5.2×10^{-3}	0.0138	0.17	-0.141	0.923				
	R	0.996	0.994	0.960	0.919	0.976	0.548	0.887	0.952	0.537							
	K										9957.9	10281.1	12707.0				
(V)	A	-82.1	397.6	1842.7	910.5	2748.1	6650.1	-1990.8	0	3×10^{-4}	18.4	12.24	0.0387	21	1000		
	B	442.5	1.03	0.56	0.13	0.07	3.37	3135.8	2.1×10^{-3}	5.3×10^{-3}	0.30	-0.234	0.884				
	R	0.998	0.998	0.982	0.927	0.972	0.705	0.933	0.905	0.561							
	K										8615.5	9480.6	11144.7				
	c_0	-2 000	(3)、(5)坐标平移														

*：大别山区天柱峰附近杉木树龄一般都较短，无法采集到长年代的树木

**：(1) 一元线性函数 $y = a + bt$ (2) 幂函数 $y = at^b$ (3) 坐标平移幂函数 $y = at^b + c_0$ (4) 指数函数 $y = ce^{bt}$ (5) 坐标平移指数函数 $y = ce^{bt} + c_0$ (6) 复合指数函数 $y = ce^{b/t}$ (7) 对数函数 $y = a + b \log t$ (8) 双曲线函数 $\frac{1}{y} = a + \frac{b}{t}$ (9) S型曲线函数 $y = \frac{1}{a + be^{-t}}$ (10) 若吉史蒂克曲线函数 $y = \frac{K}{1 + Ae^{-bt}}$ (对数化处理)(11) 若吉史蒂克曲线函数 $y = \frac{K}{1 + Ae^{-bt}}$ (牛顿-高斯处理和三点式处理)(12) 戈配兹曲线函数 $y = KA^{b^t}$ (牛顿-高斯处理和三点式处理)