

风速风向的矢量平均方法

曾书儿

(气象科学研究院大气探测研究所)

一、前言

世界各国大都按照世界气象组织的要求设计出平均风速风向的仪器，测量平均风速和风向。在国内，有关科研单位近几年也开始进行这方面的研究工作，建立起平均风速风向的数学模式，并研制出相应的仪器。平均的方法不外乎是算术平均法和指数加权滑动平均法（或称EMP法）。这两种平均方法都要考虑风向的所谓过零问题，否则测量结果将会造成很大的误差。按算术方法平均得出的风速风向与矢量平均方法得出的有一定偏差，算术平均的风速比矢量平均有时可大10—20%。这里介绍一种风速风向的矢量平均方法，以求研制一种新的平均风速风向的仪器。这种仪器所测量的结果更为符合实际情况，同时不必考虑风向的过零问题。

二、矢量平均方法的表述及数学模式

风是矢量，通常只测量空气的水平运动的数值。因此只要把风的水平分量分解成x、y方向的分量，求出x、y方向分量的平均值，再进行合成，即可求得所需要的平均风速和平均风向。例如：第一次采得的风矢量的子样 \bar{x}_1 （图1）。它在x、y方向的分量为：

$$x_1 = v_1 \sin \theta_1$$

$$y_1 = v_1 \cos \theta_1$$

上式中 v_1 和 θ_1 分别为第一次采得的风速值和风向值（角度）。第*i*次采得的风矢量的子样为 \bar{x}_i ，它在x、y方向的分量为：

$$x_i = v_i \sin \theta_i$$

$$y_i = v_i \cos \theta_i$$

上式中 v_i 和 θ_i 分别是第*i*次采得的风速值和风向值（角度）。

x方向分量的代数和为：

$$\sum_{i=1}^n x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_n;$$

y方向分量的代数和为：

$$\sum_{i=1}^n y_i = y_1 + y_2 + \dots + y_n.$$

如果在平均时间内（一般为10分钟或2分钟）取样次数为n，则可求得x方向的分量的平均值和y方向分量的平均值分别为：

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

将x、y方向分量的平均值 \bar{X} 、 \bar{Y} 合成分出的矢量的模数，即是平均时间内的平均风速 \bar{v} ，而辐角即为平均时间内的平均风向 θ （图2）。其求法是： $\bar{v} = \sqrt{\bar{X}^2 + \bar{Y}^2}$ ； $\tan \theta = \bar{Y}/\bar{X}$ ，故 $\theta = \tan^{-1} \frac{\bar{Y}}{\bar{X}}$ 。按照风向顺转的规定，由以下几种情况来确定平均风向的 θ 角：

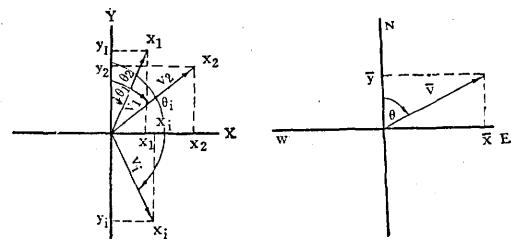


图1

图2

- (1) $\bar{X} = 0$, $\bar{Y} > 0$; $\theta = 0^\circ \dots N$
- (2) $\bar{X} = 0$, $\bar{Y} < 0$; $\theta = 180^\circ \dots S$
- (3) $\bar{X} > 0$, $\bar{Y} = 0$; $\theta = +\infty \dots E$
- (4) $\bar{X} < 0$, $\bar{Y} = 0$; $\theta = -\infty \dots W$

(5) $\bar{X} > 0$, $\bar{Y} > 0$; 按 $\theta = \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{\bar{Y}}$ 确定 θ

(6) $\bar{X} > 0$, $\bar{Y} < 0$;

$$\theta = 180^\circ - \left| \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{\bar{Y}} \right| \quad (\text{图 } 3)$$

(7) $\bar{X} < 0$, $\bar{Y} < 0$;

$$\theta = 180^\circ + \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{\bar{Y}} \quad (\text{图 } 4)$$

(8) $\bar{X} < 0$, $\bar{Y} > 0$;

$$\theta = 360^\circ - \left| \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{\bar{Y}} \right| \quad (\text{图 } 5)$$

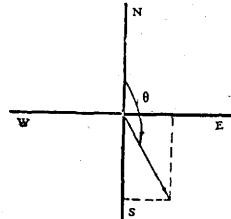


图 3

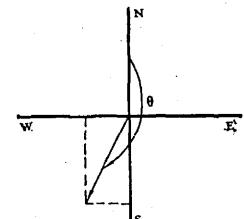


图 4

三、矢量平均方法的实例

用实验装置对风速风向同时进行采样，每隔一秒采样一次（也可选择其他时间间隔采样）。将采得的数据送入微处理机计算，即可得出平均时间间隔（如 10 分钟）内用矢量平均法的平均风速和平均风向。表 1 列出了用算术平均法和矢量平均法计算的结果，表中的最多风向是从采样中挑取的。

表 1

采 样 时 间	14时52分29秒— 15时02分29秒
采 样 次 数	600
算术平均法	平均风速（米/秒）
	平均风向（度）
矢量平均法	平均风速（米/秒）
	平均风向（度）
最 多 风 向 （度）	315

从表 1 可以看出，在取样足够密且风速较大的情况下，用算术平均法和矢量平均法

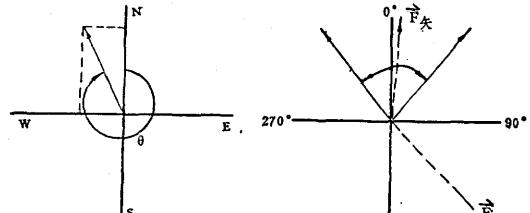


图 5

图 6

计算的结果是接近一致的。在取样次数较少、风速较小和风向多变时才有可能出现较大的偏差（如表 2 的数据和计算结果）。

表 2

取样时间 (时·分·秒)	取样数值		取样 次数	算术平均		矢量平均 风速	矢量平均 风向	最多 风向
	风速	风向		风速	风向			
9·10·06	1.1	39.4						
9·11·06	1.7	33.8						
9·12·06	1.2	0						
9·13·06	2.1	16.9						
9·14·06	1.3	331.9	10	1.56	146.8	1.45	≈ 1	331.9
9·15·06	2.8	337.5						
9·16·06	1.7	354.4						
9·17·06	1.3	22.5						
9·18·06	1.0	0						
9·19·06	1.4	331.9						

注：表中风速单位为米/秒，风向单位为度。

从表 2 可见，用算术平均法得出的平均风速比矢量平均偏高 7%，风向的差值就更大了。实际上，短时间内风向只可能在 39.4°—0°—331.9° 的范围内变化，平均的结果一定落在这一范围内，矢量平均的结果是符合实际情况的。由于在 10 次取样中出现过零现象，所以用算术平均法计算时必须加以考虑，否则就会得出与实际情况不符的结果，如图 6 所示（图 6 中两个实线箭头表示风向变化的范围， \vec{F} 表示矢量平均的结果， $\vec{F}_{\text{算}}$ 表示算术平均的结果）。

根据矢量平均的原理，在集成电路技术迅速发展和微型计算器推广使用的今天，研制一种新的平均风速风向仪器是可能的。