



关于低层大气风速廓线的讨论*

丁国安 朱瑞兆

(气象科学研究院天气气候研究所)

低层大气的风和人类的活动有着密切的关系。无论是飞行器的发射和运行,还是超高烟囱、高层建筑的设计,高压输电线路的架设,工业污染物的稀释、扩散以及风能利用等等都要求提供低层大气风的特性资料。其中风速廓线便是人们普遍关心的问题之一。

一、低层大气中风速廓线遵循的规律

在边界层,风速随高度的变化服从普朗特的理论:

$$u = \frac{u_*}{K} \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (1)$$

式中 u 为高度 Z 上的风速, K 为卡曼常数,其值为 0.4 左右。 u_* 为摩擦速度, $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ 。 ρ 为空气密度, τ_0 为地面剪切应力, Z_0 为粗糙度参数。

若换算成两个高度的风速关系,则由 (1) 式得:

$$\frac{u_n}{u_*} = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{Z_n}{Z_0} \right)$$

$$\frac{u_1}{u_*} = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{Z_1}{Z_0} \right)$$

两式相除消去 u_* , K 得:

$$u_n = u_1 \frac{\ln Z_n - \ln Z_0}{\ln Z_1 - \ln Z_0} \quad (2)$$

u_n 为高度 Z_n 的风速, u_1 为在高度 Z_1 处的风速。这是中性平衡时风速随高度变化的对数律公式。在需用速度廓线的许多数学问题中,把对数律公式引进到微分方程中去会发生困难,这时假设混合长度随高度变化为 $L = L_1 \cdot Z^p$, $p \neq 1$, 则得到风速随高度变化的幂律公式为:

$$\frac{u}{u_*} = q \left(\frac{u_* Z}{\nu} \right)^{1-p} \quad (3)$$

其中 $q = \left(\frac{\nu}{u_*} \right)^{1-p} \cdot \frac{1}{L_1(1-p)}$, ν 为粘滞率。若换成两个高度的风速关系,用以上同样方法可导出公式:

$$u_n = u_1 \left(\frac{Z_n}{Z_1} \right)^\alpha \quad (4)$$

公式 (4) 中 u_n , u_1 , Z_n , Z_1 含义同上, α 为风速随高度变化系数,此式通称为指数公式。

因为公式 (2)、(4) 只要根据下垫面或层结确定一个参数就可以由一个高度风速推算另一个高度风速,所以长期以来它们得到了比较广泛的应用。我们根据计算武汉阳逻铁塔梯度风观测资料的结果,认为^[1]指数公式较之对数公式计算误差为小,它在 146 米以下高度可广泛适用,而对数公式在 30 米以下较为适用。

应该指出的是过去的工作中^[1, 2, 3],大气低层风速廓线无论采用指数公式还是对数公式都还是一个统计规律,即这两个公式符合于在长期连续观测取平均值时的风速廓线。这种平均风速廓线在直角坐标纸上表现为一条风速随高度而增加的曲线,在对数坐标纸上近似为一条直线或接近于直线。但在各次观测中的风速廓线并非都象平均风速廓线一样,它可以呈现出各种形状。

二、实测风速廓线

(一) 资料来源及各种形状的风速廓线

我们分析了 1976—1978 年在武汉附近阳逻铁塔的梯度风连续观测资料。该塔紧靠长江江边,共有九个观测高度:5、10、15、20、30、62、86.8、119、146 米。其中 62、86.8、119、146 米四个高度的仪器装设在大塔上。考虑到大塔塔体的影响,各层分别在东南、西北方向装设了一台电接风向风速仪。5、10、15、20、30 米高度上的仪器装设在靠近大塔东东南方向的一个小塔上。为了使得所用的资料尽量少受塔体的影响,并考虑到大塔和小塔资料的衔接问题,本文选用了大塔上东南方位的风仪观测资料。将每日 02、08、14、20 时观测的九个高度风速资料点图,发现风速廓线除了与平均风速廓线具有同样形状的以外,还有若干种具有明显特征的风速廓线型。根据它们的特征,分为 (1) 正常型:各层风速随高度增加; (2) 均匀型:风速上下相差很小; (3) 递减型:风速随高度递减; (4) 弓型:风速在中间某一高度偏大,风速廓线向右突出; (5) 反弓型:风速在中间某一高度偏小,风速廓线向左突出; (6) S 型:风速廓线有两个拐点,在较高的高度上风速偏小,风速廓线向左突出,而在较低高度上则风速偏大,风速廓线向右

* 薛衍同志曾参加风速廓线分型工作。

突出；（7）复杂型：各高度风速大小参差不齐，风速廓线呈不规则状（图1）。

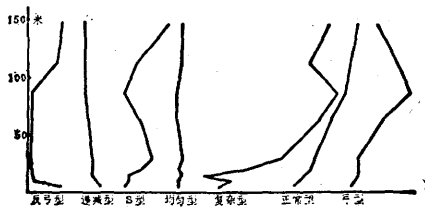


图1 风速廓线类型

各种风速廓线出现的频率如表1，该表是从1976—1978年总共4000多张图中分选出的各种风速廓线的频率。为了使资料更加符合实际，除了选用大塔东南方向的风资料外，在统计中还删去了塔体影响比较明显的一部分风速廓线，这样每年还有1000多个实例。从表1中可以看到正常型的风速廓线所占比例大约为50%左右，S型、均匀型、弓型在10—15%间。各年不同类型风速廓线的频率基本是比较稳定的。

表1 各年不同风速廓线出现的频率（%）

	正常型	S型	均匀型	递减型	弓型	反弓型	复杂型
1976年	48.5	10.5	13.0	3.1	12.4	1.8	10.7
1977年	48.9	15.3	8.2	3.6	14.4	0.8	8.8
1978年	54.6	7.7	12.1	5.5	12.7	0.9	6.5
平均	50.7	11.2	11.1	4.1	13.2	1.2	8.7

（二）大风时各类型风速廓线频率

滕中林同志曾选用广州塔架最低层30米处的风速大于10米/秒的161例风速廓线作为大风时的风速廓线加以讨论[4]。为了便于对比，我们将30米处10米/秒风速按指数公式换算成10米高度风速约为8米/秒。从1976—1978年记录中选取10米高处风速大于8米/秒的风速廓线共143例。分析结果表明，和上述不分风速大小的风速廓线一样，也是各种类型都有（见表2）。从三年平均值来看，正常型出现频率还小于表1统计结果，而S型出现频率增大为21.1%，复杂型增大为20.1%。均匀型的出现频率下降到0.8%，而递减型和反弓型则消失。

如果用西北侧的资料加以对照，可以看出，它们和东南侧风速廓线情况也是比较接近的。例如，西北侧正常型三年平均频率为51.5%，S型频率为24.3%，复杂型为18.6%。这可以说明，这些不同类型风速廓线的出现决非是一种偶然现象。

我们还选用1976—1978年146米高处风速≥20米/秒的风速廓线共42例（相当于10米高处风速≥12

表2 10米高度风速≥8/秒时各种风速廓线出现频率（%）

	正常型	S型	均匀型	递减型	弓型	复杂型	反弓型
1976年	50.5	17.5	2.5	0	7.5	22.5	0
1977年	31.3	31.3	0	0	12.5	25.0	0
1978年	65.4	14.5	0	0	7.3	12.7	0
平均	48.9	21.1	0.8	0	9.1	20.1	0

米/秒）加以分类，结果见表3。从表3中可看出，正常型的风速廓线所占百分比为54.8%，仍无明显增加，递减型和均匀型风速廓线均未出现，S型、弓型、复杂型的频率则显著增加。

表3 146米高度风速≥20米/秒各种风速廓线所占百分比（%）

	正常型	S型	弓型	复杂型
频数	23	19	5	5
百分比（%）	54.8	21.4	11.9	11.9

（三）中等以上风速的风速廓线

关于在10米高处中等以上风速（≥6米/秒）的各种廓线频率见表4。正常型所占频率基本不变，均匀型、递减型与不加区分的风速廓线比较显著减少（其中1977年、1978年已经消失），反弓型消失，S型和复杂型有所增加。

综上所述，10米高处不论是大风的、中等程度风速或不区分风速的风速廓线，正常型出现的频率都比较稳定，大约为50%左右。随着风速的加大，均匀型、递减型以及反弓型的风速廓线频率迅速减小以至完全

表4 10米高处风速≥6米/秒时各种风速廓线出现频率（1976—1978年）

	正常型	S型	均匀型	递减型	弓型	复杂型	反弓型
1976年	55.1	17.0	1.4	0.7	8.2	17.7	0
1977年	34.2	28.5	0	0	19.0	18.4	0
1978年	64.7	13.7	0	0	7.9	13.7	0
平均	51.3	19.7	0.4	0.2	11.7	16.6	0

消失，但与此同时其它各种类型的风速廓线则相应增加。

（四）关于国内外对低层大气风速廓线的研究

以上所论的低层大气风速廓线的各种形状，不同于萨顿的叙述。据他的叙述，中性层结条件下近地层风速廓线在单对数座标纸上呈直线，超绝热层结时向

右突出, 逆温层结时向左突出。只要把正常型以外的其它风速廓线点在单对数座标纸上, 就可以明显地发现它们的区别。

关于低层大气瞬时风速廓线出现多种形状, 南京大学气象系在分析南京过江铁塔资料时也曾有过报导。王润鹿、徐大海在分析广州塔架风速廓线时指出: “计算两相邻高度之间各层次的指数 α 时, 往往有负的指数 α 值出现”。**他所说的在某些层次出现负指数的现象, 指的就是有风速递减的现象。如果它们出现在不同高度上, 便会产生不同形状的风速廓线。这些与我们的上述结论是完全一致的。国外学者关于大风的研究也有同样结果[5]。图2引自 H. Arakawa 和 K. Tsutsumi[6] 在高度为 253 米东京电视塔上观测到的九次台风风速廓线, 从图中也可以看出其风速廓线绝大部分是不遵循指数律分布的。

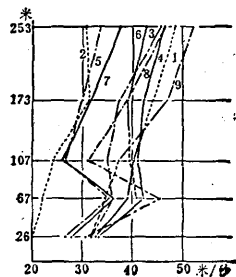


图2 台风期的风剖面, 图中
1—1959年9月26—27日, 2—1960年8月20—21日, 3—1961年9月16日, 4—1961年10月10日, 5—1962年8月4日, 6—1964年9月25日, 7—1965年9月10日, 8—1965年9月17—18日, 9—1966年9月25日

三、结语

本文主要是就低层大气风速廓线的形状特性加以讨论。分析结果表明, 低层大气风速廓线符合指数律的仅占一半左右。其原因在于各层风速受各种不同天气过程影响并因而会偏离指数律。尽管如此, 目前在使用上仍是以乘幂律为主要依据, 是因为平均风速情况下 (不论小风或大风) 仍都符合乘幂律的缘故。

参 考 文 献

- [1] 丁国安、薛桁、朱瑞兆: 武汉地区低空风的特性, 大气湍流、扩散和边界层气象论文集, 即将由气象出版社出版。
- [2] O. G. 萨顿: 微气象学, 徐尔灏、吴和庚译, 260—309页, 高等教育出版社, 1959年。
- [3] A. G. Davenport: The relationship of wind structure to wind loading, Wind effects on building and structure, Her Majesty's Stationery Office, 1965.
- [4] 藤中林: 沿海地区不同高度风压计算中的问题, 气象, 2期, 20—21页, 1981年。
- [5] 盐谷正雄: 都市における强風の性质, 气象研究, No. 119, 1974.
- [6] H. Arakawa and K. Tsutsumi: Strong gusts in the lowest 250m layer Over the City of Tokyo, J. A. M., Vol. 6, No. 5, P848—851, 1967.