

一种新的大气稳定度分类方法

孙振海

(南京大学大气科学系, 南京 210093)

摘 要 提出了一种运用灰色聚类理论对大气稳定度进行分类的新方法, 用该方法及上海江湾站 1993 年 1、4、7、10 四个月的逐时常规观测资料对当时当地的大气稳定度进行了分类, 最后与国标分类法所得结果进行了比较, 得到了更优、更合理的类分布, 说明该方法是大气稳定度分类中一种简单、实用而且效果更好的新方法。

关键词 灰色聚类 大气稳定度 白化函数 聚类系数 灰类

1 引言

在所有的大气污染物扩散模式中, 都必须进行大气稳定度分类。但稳定度分类方法很多, 同时也遇到了稳定度分类过程中的两大困难: 一是分类指标的选取; 二是各分类指标中不同类别数值标准的确定 (即自然过程的模糊性和数值界限的截断性)。

本文以灰色系统理论中的灰色聚类方法^[1,2]为基础, 参考帕斯圭尔和特纳尔^[3]稳定度分类法, 以及国标^[4]中关于大气稳定度分类的规定, 建立一种新的分类方法。由于在聚类过程中, 事先确定了分类数 (即稳定度类别) 和类中心 (各分类指标对应于各稳定度类的数值标准), 同时, 由于定量化分析方法的应用, 使得到的聚类结果是唯一的, 避免了传统分类方法中不同研究者对同一组资料可能产生不同分类结果的重大缺陷, 减少了主观因素的影响。

2 灰色聚类的数学模型及其在本文中的物理解释

灰色聚类就是区分聚类对象在一系列聚类指标下所属的类别。本文约定如下几个标记: (1) 记 $i=1, 2, \dots, n$ 为聚类对象, 即不同的观测点或同一测点的不同观测时次; (2) $j=1, 2, \dots, p$ 为聚类指标, 即划分稳定度类的各项指标或参数 (如风速, 云量等); (3) $k=1, 2, \dots, m$ 为灰类, 即各稳定度类别; (4) d_{ij} 为第 i 个聚类对象对第 j 个聚类指标所拥有的白化数 (也叫聚类白化数), 本文即为第 i 个观测时次对第 j 个聚类指标的实测值, 为简单计, 用 x 表示; (5) g_{jk} 为第 j 个聚类指标对第 k 个灰类的白化函数值。

灰色聚类的数学模型主要包括白化函数的确定、聚类权的求取、定聚类系数、构造聚类向量和聚类五个部分。以下结合本文所涉及的物理过程分别予以简述。

2.1 白化函数的确定

从理论上讲, 白化函数的确定是多种多样的, 但应注意: (1) 所要描述的聚类指标

本身的特点(如同一指标在不同条件下是否表现为一致的灰类等);(2)事先确定的聚类指标的函数特征;(3)函数形式是否简单、易于计算等。通常情况下,多采用比较简单的梯形函数或三角形函数。

本文以常规观测中的风速、总云量以及江湾站太阳高度角正弦值作为聚类指标。对于太阳高度角正弦值作如下处理:(1)先取绝对值;(2)绝对值最大值减去太阳高度角正弦值的绝对值(称此值为“灰太阳高度角正弦值”,记为 $\sin h_0$)。这样,太阳高度角在正午和午夜取得极小值,而在傍晚或清晨达最大值。将风速、云量、灰太阳高度角结合起来看,它们有个共同点,即值越大,气层越接近于中性,越小越接近于不稳定或稳定,这样便可以构造一个统一的白化函数。

我们知道,同样在晴天和微风条件下,白天气层倾向于不稳定,夜间则倾向于稳定;白天边界层气象要素一般比夜晚变化快,各时刻之间要素值模糊性较明显,也就是某时刻某要素值不能代表某一段该要素值(这种情况适合于用梯形白化函数,又考虑到在类指标中,中性层结时各指标值取得最大,因此白天采用截断梯形函数);而夜间各气象要素间模糊性较弱,因此采用三角形白化函数。下面分白天和夜间分别给出各自的白化函数及白化图(参考帕斯尔和特纳尔稳定度分类法,以及国标中关于稳定度分类的规定,将大气稳定度仍分为A~F六类,即六个灰类: $k=1, 2, \dots, 6$)。

2.1.1 白天

以A类和D类为例(参照图1a、d、e),分别写出各自的白化函数。同理,其余的白化函数可类似地根据各自的白化函数图直接写出。

A类:对于第 j 个指标和白化函数可写为(白化图见图1a)

$$g_j(x) = \begin{cases} g_j(s), & x \in [0, \lambda_j(1)] \\ \frac{\lambda_j(2) - x}{\lambda_j(2) - \lambda_j(1)} g_j(s), & x \in [\lambda_j(1), \lambda_j(2)] \\ 0, & x \in [\lambda_j(2), \infty] \end{cases} \quad (1)$$

D类:对第 j 个指标的白化函数(白化图见图1d、e)

$$g_4(x) = \begin{cases} 0, & x \in [0, \lambda_4(2)] \\ \left(1 - \frac{\lambda_4(3) - x}{\lambda_4(3) - \lambda_4(2)}\right) g_4(s), & x \in [\lambda_4(2), \lambda_4(3)] \\ g_4(s), & x \in [\lambda_4(3), \lambda_4(4)] \\ g_4(s), & x \in [\lambda_4(4), \infty] \\ \left(1 - \frac{\lambda_4(4) - x}{\lambda_4(4) - \lambda_4(5)}\right) g_4(s), & x \in [\lambda_4(5), \lambda_4(4)] \\ 0, & x \in [0, \lambda_4(5)] \end{cases} \quad (2)$$

图1a、b、c均采用的是递增梯形函数,由于在D类(中性)处采取截断,因此必须考虑截断作用的影响,故实质上图1d~h采用的并非单调递减梯形函数,所以其白化函数图可能分a、b两种情况。

2.1.2 夜间

以A类和C类为例,(参照图2a、c),分别写出各自的白化函数。同理,其余的

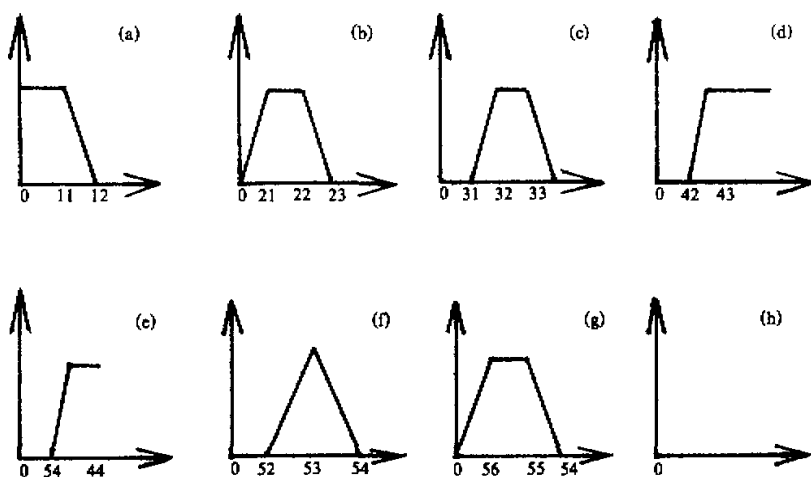


图 1 白天白化函数

(a) A 类, (b) B 类, (c) C 类, (d) D_A 类
(e) D_B 类, (f) E_A 类, (g) E_B 类, (h) F 类

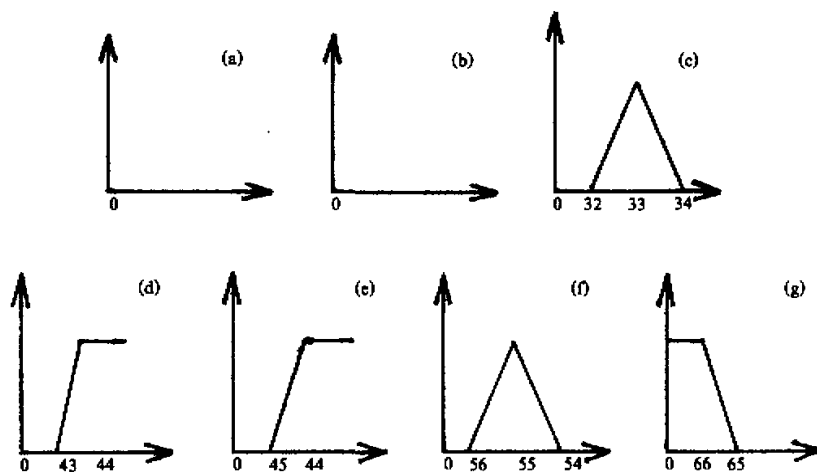


图 2 夜间白化函数

(a) A 类, (b) B 类, (c) C 类
(d) D_A 类, (e) D_B 类, (f) E 类, (g) F 类

白化函数可类似地根据各自的白化函数图直接写出。

A 类: 白化函数取为 0 (白化函数图见图 2 a)

$$g_A(x) = 0, \quad (3)$$

因为在夜间基本上不可能出现 A 或 B 类, 因此 B 类也取 0。

C 类: 白化函数 (白化函数图见图 2 c)

$$g_{\beta}(x) = \begin{cases} \frac{x - \lambda_{\beta}(2)}{\lambda_{\beta}(3) - \lambda_{\beta}(2)} g_{\beta}(s), & x \in [\lambda_{\beta}(2), \lambda_{\beta}(3)] \\ \left(1 - \frac{x - \lambda_{\beta}(3)}{\lambda_{\beta}(4) - \lambda_{\beta}(3)}\right) g_{\beta}(s), & x \in [\lambda_{\beta}(3), \lambda_{\beta}(4)] \\ 0, & x \in [\lambda_{\beta}(2), \lambda_{\beta}(3)] \cap x \in [\lambda_{\beta}(3), \lambda_{\beta}(4)] \end{cases} \quad (4)$$

以上各表达式及白化函数图中, x 为样本的样本值 (即聚类白化数 d_{ij} , 本文中即样本实测值); $\lambda_{jk}(l)$ ($l=1, 2, \dots, 6$) 表示第 j 个类指标对第 k 个灰类的第 l 个阈值 (即第 l 个类指标值), $g_{jk}(x)$ 为第 k 个灰类对第 j 个指标的白化函数值, $g_{jk}(s)$ 为其峰值。图 1、图 2 中, 11 表示 $\lambda_{1(1)}$, 12 表示 $\lambda_{1(2)}$, 21 表示 $\lambda_{2(1)}$, 以此类推。从图 1、图 2 可知, 在求取某一灰类的白化函数时, 同时考虑了与其相邻灰类的影响, 即考虑了类指标之间的模糊关系。

2.2 聚类权的求取

聚类权是各个指标对同一灰类的权重。由于各聚类指标单位与数值差别可能较大, 可用下式进行无量纲化:

$$a_{jk} = b_{jk} / b_{j0}, \quad (5)$$

其中 a_{jk} 为第 j 个聚类指标对第 k 个灰类的无量纲数, b_{jk} 为第 j 个指标对第 k 个灰类的灰数; b_{j0} 为第 j 个指标的参考标准。从而, 聚类权 η_{jk} 可写为

$$\eta_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{j=1}^p a_{jk}}. \quad (6)$$

2.3 定聚类系数

第 i 个样本关于第 k 个灰类的聚类系数 β_{ik} 反映了聚类样本对灰类的亲疏程度, 表达式为

$$\beta_{ik} = \sum_{j=1}^p g_{jk}(x) \eta_{jk}, \quad (7)$$

此处 $g_{jk}(x)$ 同时又是样本点 i 的函数。

2.4 构造聚类向量并确定灰类

聚类向量实际上是聚类系数向量, 可写为

$$\beta_i = (\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{im}), \quad (8)$$

灰类的确定就是在聚类向量中取最大聚类系数所对应的灰类, 即

$$\beta_i^* = \max_{1 \leq k \leq m} (\beta_{ik}), \quad (9)$$

β_i^* 所对应灰类便是样本点 i 所属灰类。

3 应用举例

3.1 灰类划分

根据本文所采取的白化函数及第 2 节中的解释, 仍将大气稳定度分为 A~F 六类

(即六个灰类), 参照国家标准, 选取风速、总云量、灰太阳高度角正弦值作为聚类指标, 并确定各类的阈值 (见表 1)。

表 1 稳定度分类标准

稳定度	A	B	C	D	E	F
风速 / (m/s)	2.0	3.0	4.5	6.5	4.0	1.5
$\sin h_0$	0.2	0.35	0.6	0.85	0.55	0.25
云量	2.0	5.0	8.0	10.0	8.0	5.0

3.2 计算白化函数及聚类权

从表 1 可知, 各指标对应于不同灰类的阈值 z_{jk} , 以 D 类标准为基准, 对各类标准值进行无量纲化, 并以此无量纲数作为对应灰类对不同聚类指标的峰值 [即 $g_{jk}(s)$], 列于表 2。

表 2 白化函数峰值表 (即各指标之无量纲数)

灰类	A	B	C	D	E	F
风速 / (m/s)	0.3077	0.4615	0.6923	1.0	0.6154	0.2308
$\sin h_0$	0.2353	0.4118	0.7059	1.0	0.6471	0.2941
云量	0.2	0.5	0.8	1.0	0.8	0.5

由表 2 及公式 (6), 可求得各聚类指标对不同灰类的权值 (见表 3), 仍以 D 类划分标准为参考。

表 3 聚类权的计算结果

灰类	A	B	C	D	E	F
风速 / (m/s)	0.4141	0.3361	0.3149	0.3333	0.2984	0.2252
$\sin h_0$	0.3167	0.2998	0.3211	0.3333	0.3137	0.2870
云量	0.2692	0.3641	0.3639	0.3333	0.3879	0.4879

本文选取 7 月 1 日 01~06 时的资料, 以 A 类和 D 类为例说明, 故白化函数采取夜间形式 (见公式 (3), (4))。现以云量为例 (即 $j=3$; $k=1$ 或 $k=4$):

$$g_{31}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [0, \infty) \\ \frac{1}{2}(x-8), & x \in [8, 10] \\ 1, & x \in (10, \infty) \end{cases}$$

$$g_{34} = \begin{cases} \frac{1}{2}(x-8), & x \in [8, 10] \\ \frac{1}{2}(x-8), & x \in [8, 10] \\ 0, & x \in (-\infty, 8) \end{cases}$$

3.3 求取聚类系数并聚类

把实测值代入各自的白化函数 $g_{jk}(x)$ 中, 得出各自对应的白化函数值, 然后参考表 3, 根据公式 (7) 求出其聚类系数。以 7 月 1 日 01 时关于 A 类聚类系数的计算为例

$$\beta_{11} = \sum_{j=1}^3 g_{j1} \eta_{j1} = 0 \times 0.4141 + 0 \times 0.3167 + 0 \times 0.2692 = 0.$$

类似可求出其他各时次对不同灰类的聚类，表 4 是 7 月 1 日 01~06 时各观测数据对不同灰类的聚类系数。

表 4 聚类系数的计算结果

观测时刻	A	B	C	D	E	F	所属类
01	0.000	0.000	0.036	0.333	0.095	0.097	D
02	0.000	0.000	0.109	0.333	0.149	0.074	D
03	0.000	0.000	0.225	0.386	0.171	0.052	D
04	0.000	0.000	0.078	0.552	0.058	0.052	D
05	0.000	0.000	0.146	0.500	0.155	0.052	D
06	0.127	0.000	0.188	0.667	0.077	0.000	D

4 与国标分类法的比较

由于本文分析采用了大量资料（每个月 720 个样本点），故对两种分类方法按统计分布来比较。

（1）逐月计算两种分类结果中各稳定度类别出现的数目及各自占总样本数的比例（见表 5、表 6）。

表 5 聚类法的分类结果

月份		类 别					
		A	B	C	D	E	F
01	数目	0	4	66	458	61	131
	比例	0.00	0.01	0.09	0.64	0.08	0.18
04	数目	6	16	76	457	59	106
	比例	0.01	0.02	0.11	0.63	0.08	0.15
07	数目	1	9	87	505	53	65
	比例	0.00	0.01	0.12	0.70	0.07	0.09
10	数目	2	17	60	395	81	165
	比例	0.00	0.02	0.08	0.55	0.11	0.23

表 6 国标分类法的分类结果

月份		类 别					
		A	B	C	D	E	F
01	数目	2	26	48	471	92	81
	比例	0.00	0.04	0.07	0.65	0.13	0.11
04	数目	6	72	74	456	75	37
	比例	0.01	0.10	0.10	0.63	0.10	0.05
07	数目	1	43	77	511	69	19
	比例	0.00	0.06	0.11	0.71	0.10	0.03
10	数目	1	36	56	451	73	103
	比例	0.00	0.05	0.08	0.63	0.10	0.14

从表 5 和表 6 可以看到:

①同一月份,两种分类方法所得各类稳定度所占总样本的百分比非常接近,尤以 C、D、E 类为明显。

②不同月份同一稳定度类的变化趋势(如某类稳定度占总样本百分比随月份的增、减)完全一致。

这说明本方法所选的聚类指标基本反映了稳定度分类中的主要过程,并说明本方法在处理这类有模糊性的问题时,可以与经过考验的方法相比拟。

(2)将每天分为白天、夜间及过渡时期三个时段(过渡时期取太阳高度在 $\pm 10^\circ$ 之间,即清晨和傍晚前后),然后分别对这三个时段,就 A~F 六类,按月计算各类稳定度在这三个不同阶段出现的百分比分布(见表 7)。

表 7 不同月份六类稳定度在白天、夜间及过渡时期的百分比分布

月份	时段	分类法	A	B	C	D	E	F
01	白天	聚类法	0.00	1.11	19.26	77.41	2.22	0.00
		国标法	0.74	9.63	17.78	69.63	2.22	0.00
	夜间	聚类法	0.00	0.00	4.24	43.03	16.06	36.67
		国标法	0.00	0.00	0.00	59.39	19.70	20.91
	过渡期	聚类法	0.00	0.83	0.00	89.17	1.67	8.33
		国标法	0.00	0.00	0.00	72.50	17.50	10.00
04	白天	聚类法	1.82	4.55	15.76	77.27	0.61	0.00
		国标法	1.82	21.82	22.42	53.64	0.00	0.30
	夜间	聚类法	0.00	0.00	8.89	35.56	19.26	36.30
		国标法	0.00	0.00	0.00	69.63	19.63	10.74
	过渡期	聚类法	0.00	0.83	0.00	88.33	4.17	6.67
		国标法	0.00	0.00	0.00	75.83	18.33	5.83
07	白天	聚类法	0.30	2.42	16.97	77.88	2.42	0.00
		国标法	0.30	13.03	22.73	63.03	0.91	0.00
	夜间	聚类法	0.00	0.00	10.74	49.63	15.56	24.07
		国标法	0.00	0.00	0.00	76.67	17.41	5.93
	过渡期	聚类法	0.00	0.83	1.67	95.00	2.50	0.00
		国标法	0.00	0.00	1.67	80.00	15.83	2.50
10	白天	聚类法	0.74	5.93	17.04	69.26	7.04	0.00
		国标法	0.37	13.33	20.74	65.56	0.00	0.00
	夜间	聚类法	0.00	0.00	4.24	28.79	16.97	50.00
		国标法	0.00	0.00	0.00	56.06	16.36	27.58
	过渡期	聚类法	0.00	0.83	0.00	94.17	5.00	0.00
		国标法	0.00	0.00	0.00	74.17	15.83	10.00

从表 7 可以看出:

① A 类全发生在白天, B 类基本上出现在白天和过渡期,但其占相应时段总样本数的百分比都比较小,这与边界层物理要素日变化规律是一致的。

② F 类白天不出现,大多数出现在夜晚,少数在过渡期,这仍与边界层气象要素日变化相一致。

③ E 类绝大多数出现在夜间和过渡期,仅有少数出现在白天,这也反映了大气运

动过程中非线性的作用。

(3) 从表 5、表 6、表 7 均可看出, 本文所用方法的计算结果, 仍然符合大量统计样本前提下, D 类的出现是大概率事件的基本事实。

(4) 关于过渡时期稳定度的简要讨论。

①对比国标分类法所得结果, 我们可以发现: A、B、C 类在过渡期出现的概率, 基本上全是 0, 但事实上, 由于过渡期处于一种能量转换阶段, 象 B、C 类是有可能出现的, 虽然其概率不大, 但在大样本的前提下仍应有所反映; 另外, C 类在前半夜也是有可能出现的, 但国标分类法本身并不能体现上述由于大气运动的复杂性所造成的现象, 运用灰色聚类方法却可以体现出这种模糊性。因此, 从方法学上来说本文有所改进, 其物理解释更切实际, 具有一定的新意。

②两种分类方法的结果表明, E 类在过渡期的分布, 其出现的数目略有差异, 但其数目均很小, 即 E 类出现在过渡期的总比例很接近。而对于 F 类, 则两种方法所得到的结果很接近, 这说明两种方法对 E、F 类来说, 在过渡期有相似的计算结果。即两种方法是一致的。

(5) 从统计结果看, 用灰色聚类法所得结果趋向于稳定层结 (表现在 F 类较多), 这可能是由于本文采用了一个假定, 即云量很少, 且风速很小的条件下, 白天稳定度趋于 A, 夜间趋于 F, 而本文所用之资料恰好是夜间出现上述现象的情况较多。

(6) 本文的一个优点在于应用常规气象观测资料对大气稳定度进行分类, 但是, 除国标等少数几种分类方法以外, 其余分类方法要么用到温度梯度资料, 要么用到风向标准差资料, 而这些资料是常规观测所无法得到的^[3]。因此, 本文除与国标分类法比较外, 尚未与其他分类方法进行比较。但从与国标分类法的比较结果看, 两者的分类结果比较一致, 且聚类法的分类结果也符合大气科学的理论与实验规律, 因此, 可以认为该方法的引入是比较实用和可靠的, 至于与其他分类方法的比较, 还有待于更全面资料的获得, 这已超出了本文的讨论范围。

5 结论

从上述分析结果可以认为, 用灰色聚类法对大气稳定度进行分类, 获得了很好的统计分布和更优的日变化分布。

综合全文, 可以认为, 该方法在大气稳定度分类中的应用具有如下优点:

(1) 该方法的聚类结果是唯一的, 减少了分类过程中主观因素的影响。

(2) 大气作为一个“灰色系统”, 有些信息是不确定的, 在“灰数”的“白化”过程中, 这种不确定性有所弱化。

(3) 实际的自然过程中, 作用于同一事件的不同因素所起的作用是不同的, 表现在 (7) 式中的权重项。

(4) 实际的自然过程中, 不同事件在同一条件下出现的概率不同, 表现在“聚类向量”的本质是一种不同灰类的概率分布。

另外, 采用该方法具有资料来源丰富 (仅用风速、总云量两个常规观测量, 而国标还用了低云量), 物理过程清晰, 计算简单, 聚类结果良好以及数学模型合理, 表达简

练, 能充分体现物理过程的优点, 从方法上讲, 该方法应用于大气稳定度的分类, 是一种“新”的方法。

参 考 文 献

- 1 邓聚龙, 1985, 灰色系统, 北京: 国防工业出版社.
- 2 易德生, 郭萍, 1992, 灰色理论与方法: 提要, 题解, 程序, 应用, 北京: 石油工业出版社.
- 3 李宗恺, 潘云仙, 孙润桥, 1985, 空气污染气象学原理及应用, 北京: 气象出版社.
- 4 国家标准计量局, 中华人民共和国国家标准, GB 3840—91.

A New Atmospheric Stability Classification Scheme

Sun Zhenhai

(*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract In this paper, a new scheme of atmospheric stability classification is provided by the using grey-classification method. Based on this method and a large number of routine observational data, the atmospheric stability is classified for a certain sampling station at certain time intervals. Finally, the results between by using the grey-classification scheme is compared with those using the method of GB 3840-91. More reasonable distribution of stability was obtained by the new method. It is shown that the grey-classification scheme is a simple, practical and more effective method for classifying the atmospheric stability.

Key words grey-classification atmospheric stability white-function classification
coefficient grey-category