

的分布特征^①

王 俊 陈文选 刘 文

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

提 要

计算了山东省不同天气系统、不同时间云中和晴空中的湍流扩散系数, 主要结果为: 云中 3~4km 高度层间的扩散系数主要在 20~70m²·s⁻¹ 间, 晴空小于 30m²·s⁻¹; 云中扩散系数的平均值一般随高度增加而增大, 冬、夏半年各高度层上的 K 值相关不大。

关键词: 催化剂 扩散系数 温度递减率

引 言

现阶段人工影响天气飞机作业的基本手段是向云中播撒催化剂, 通过影响云的微物理结构来达到增雨的目的。因此, 研究催化剂在云中的扩散, 对于确定催化剂量和效果检验都有重要意义。

理论上研究湍流扩散的是半经验混合长输送理论和统计理论。在半经验混合长理论中, 湍流场中平均浓度 \bar{C} 满足方程:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} \right)$$

式中 K 为湍流扩散系数。在近地层中, 有比较成熟的 K 理论, 但应用于整个对流层中, 利用常规气象资料计算 K 的公式还不多见。申亿铭^[1]介绍了一个理论公式, 并对北方部分省份层状云中的湍流扩散系数作了初步计算。本文利用该公式计算了山东省层状云中的湍流扩散系数和晴空中的扩散系数, 并分析了两个个例中扩散系数的时空分布。

1 计算公式

里查逊数 $R_i = \frac{g}{T} \frac{\gamma_a - \gamma}{\beta^2}$ 是表征大气垂

直稳定度的量, 它综合考虑了大气热力和动力因子。利用 R_i 计算公式中的各种物理量, 可确定计算湍流扩散系数的公式为:

$$K = \frac{u^2}{\beta} \{ 1.792 - 1.157 [-2 \lg \beta + \lg (\gamma_m - \gamma) + \lg \frac{g}{T}] \} \quad (1)$$

式(1)中, u 为风速, β 为平均风速的垂直梯度, 单位 $m \cdot s^{-1} \cdot km^{-1}$, $\gamma_m = 6.5^\circ C \cdot km^{-1}$ 是湿绝热温度递减率, γ 为温度递减率, 以 $^\circ C \cdot km^{-1}$ 表示, T 为绝对温度, g 为重力加速度。

式(1)适应于有云大气, 对于无云大气, γ_m 变换为干绝热温度递减率 γ_a , $\gamma_a = 9.8^\circ C \cdot km^{-1}$ 。

2 计算结果

2.1 不同天气系统中的湍流扩散系数 K

表 1 给出了山东省飞机人工增雨主要作业系统^[2]中湍流系数平均值的垂直分布。

在对流层内, 云中 K 的平均值随高度的增大逐渐增大。2~3km 高度层间 K 的平均值比较集中, 在 30~40m²·s⁻¹ 间。3~4km

① 胡桂芳、张爱华、张苏平参加部分资料的收集工作。

高度层间 K 值在 $50\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 附近变化, 由于山东省飞机人工增雨作业的高度在 4km 左右, 在数值计算中 K 值取 $50\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 是比较合理的。4~5km 高度层, 除江淮气旋中 K 值较小外, 其余 4 类天气系统中 K 值都大于 $70\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 冷锋中最大为 $82\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表1 不同天气系统中 $K/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 的垂直分布

高度层/km	天气系统				
	黄淮气旋	冷锋	江淮气旋	中支槽	切变线
2~3	39.3	37.3	30.2	34.1	33.7
3~4	50.0	54.7	50.2	47.6	44.4
4~5	71.8	82.7	57.2	78.7	77.9
5~6	91.7	104.8	69.0	96.5	109.4
资料数	24	26	10	12	12

2.2 冬、夏半年层状云中 和晴空中的 K 值

资料按冬、夏半年进行统计, 结果如表 2。

冬、夏半年云中资料比较发现, 2~3km、3~4km 两高度层中 K 的平均值, 夏半年稍大于冬半年。4~5km 高度层间冬半年稍大于夏半年, 5~6km 高度层间冬半年明显大于夏半年的 K 值。晴空资料相比较, 高度低于 5km 的三层, 冬半年的平均 K 值小于夏半年的 K 值, 5~6km 高度层间的 K 值, 冬半

年大于夏半年。

冬、夏两半年云中与晴空中的 K 值比较, 云中 K 值明显大于晴空中的 K 值。表明云中湍流比云外活跃。

表2 冬夏半年层状云和晴空中平均 $K/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 的垂直分布

高度层/km	夏半年		冬半年	
	云中	晴空	云中	晴空
2~3	36.3	23.5	33.7	17.8
3~4	48.7	19.7	47.8	15.2
4~5	75.8	20.7	77.9	19.4
5~6	89.5	34.0	105.3	37.1
资料数	49	22	36	25

注: 夏半年云中资料取自 4、5、6、9 月, 晴空为 8 月; 冬半年云中为 3、10 月, 晴空为 3 月。

由于作业高度在 4km 左右, 我们统计了 3~4km 高度层间湍流系数的分布特征, 结果见表 3。对于云中 K 值, 其分布范围比较宽。冬半年 K 最大为 $98.7\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 夏半年 K 值最大为 $125.3\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。两个半年中 20~70 $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 的 K 值出现的频率都比较大。总的平均值比较接近。

表3 湍流扩散系数 $K/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 的分级分布频率

分级/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	云中冬半年		云中夏半年		晴空冬半年		晴空夏半年	
	资料数	百分比/%	资料数	百分比/%	资料数	百分比/%	资料数	百分比/%
0~10	1	2.9	4	8.2	10	40	7	33.3
10~20	3	8.8	3	6.1	7	28	5	23.8
20~30	4	11.8	5	10.2	4	16	5	23.8
30~40	5	14.7	9	18.4	2	8	3	14.3
40~50	5	14.7	5	10.2	1	4	1	4.8
50~60	4	11.8	7	14.3	1	4		
60~70	4	11.8	6	12.2				
70~80	3	8.8	2	4.1				
80~90	2	5.9	5	10.2				
90~100	3	8.8	1	2.0				
>100			2	4.1				
总计	34		49		25		21	

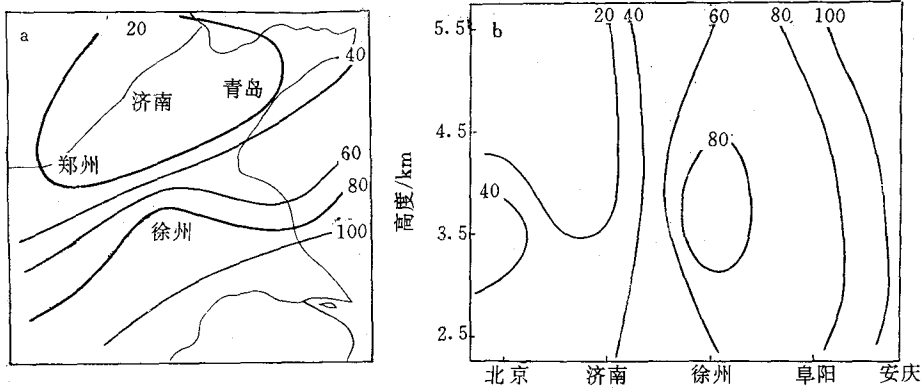


图1 1996年4月28日20时湍流扩散系数 $K/m^2 \cdot s^{-1}$ 的空间分布
a. 3~4km 高度层间 K 的水平分布; b. 北京-济南-徐州-阜阳-安庆一线扩散系数的垂直剖面图

晴空中的 K 值分布范围窄, 小于 $30m^2 \cdot s^{-1}$ 的 K 值占优势, 平均值冬半年的稍小, 但差别不大。

3 个例分析

3.1 1996年4月28~29日山东受黄淮气旋影响, 全省普降中到大雨。我们利用28日20时的探空资料, 分析了扩散系数的水平分布(3~4km)和北京~济南~徐州一线垂直分布。

水平等值线分布特征为(如图1a): 青岛、郑州一线以北为 K 的低值区, K 小于 $20m^2 \cdot s^{-1}$ 。20时气旋中心在徐州附近, 青岛、济南、郑州处在气旋的外围, 云中湍流活动相对较弱, K 值较小。沿东南方向 K 值逐渐增大, 徐州附近 K 值较大, 以南地区 K 值大于 $100m^2 \cdot s^{-1}$ 。

北京~济南~徐州~阜阳~安庆一线 K 值的垂直剖面图(图1b)表明: 济南以北, K 值基本小于 $40m^2 \cdot s^{-1}$, 除北京3~4km 高层 K 值大于 $40m^2 \cdot s^{-1}$ 外, 4km 以上高度, 两地 K 值小于 $20m^2 \cdot s^{-1}$, 低层则在 $20 \sim 40m^2 \cdot s^{-1}$ 间。徐州上空3~4km 和4~5km 高层是 K 的高值区, 与气旋中心相联系。

上述资料表明, K 值的分布与纬度和天气系统有关。低纬地区, 云中温度较高, 热力不稳定性高, 湍流扩散比较强; 气旋主要活动区, 云中上升气流强, 因此 K 值大。

3.2 1997年11月11~13日, 济南受南支槽影响, 过程降雨超过20mm。利用加密探空资料, 分析了 K 的时空演变(图2)。

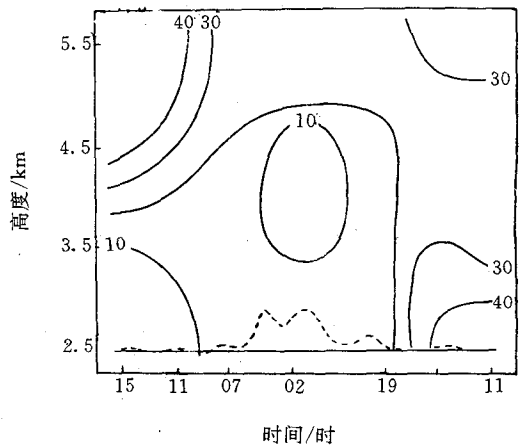


图2 1997年11月12日11~15时湍流扩散系数 $/m^2 \cdot s^{-1}$ 的时空演变特征
虚线为逐时雨量变化曲线

降水初期, K 值较大, 4km 以下 K 值大于 $30\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。11 日 19 时至 12 日 07 时是降雨比较集中稳定的时段, K 值较小, 5km 以下小于 $20\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 02 时 3~5km 高度层是小于 $10\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 的低值区。后两个时次, 4km 以下 K 值小, 高层 K 值比较大。仅从 K 的分布来判断, 降水初期, 人工播入云中的催化剂易在云中扩散, 催化效果较好; 稳定降水阶段, K 值较小, 催化剂不易扩散, 此时人工催化要适当减少催化剂量。

逐时雨量与 K 的分布比较发现, 降雨量大时, K 值较小; 降水初期, K 值较大, 中低层更明显, 雨量与 K 的这种配置关系, 需要更多的资料证明。

4 结论

综合上述资料, 用公式计算的 K 值具有以下分布特征。

4.1 平均 K 值一般是随高度增加逐渐增大。不同天气系统云中 K 的平均值在各个高度层上相差不大(江淮气旋除外)。冬、夏半年

云中的 K 值也相差不大, 主要原因是冬半年资料取自 3、10 月, 夏半年资料取自 4、5、6、9 月, 云系宏观特征差别不大, 因此 K 值接近。

4.2 3~4km 高度层间的湍流扩散系数, 云中 60% 以上的 K 值分布在 $20 \sim 70\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 间, 云外 80% 以上的 K 值小于 $30\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 云内 K 值从分布范围和平均值都明显大于云外。

4.3 个例分析表明, K 值的分布与纬度和云系有关。低纬地区和云系主要活动区, K 值比较大。

4.4 降水初期, 云中 K 值较大; 稳定降水时段 K 值比较小; 降水后期, 低层 K 值小, 高层较大。

参考文献

- 1 申亿铭, 周林, 银燕. 层状云中的湍流扩散系数. 北京气象学院学报, 1996, 2.
- 2 王俊. 山东省飞机人工增雨催化剂的选择. 山东气象, 1997, 2.

Distribution Features of Turbulent Diffusion Coefficient in Stratiform Clouds over Shandong Province

Wang Jun Chen Wenxuan Liu Wen

(Shandong Research Institute of Meteorological Science, Jinan 250031)

Abstract

The turbulent diffusion coefficient is calculated with and without clouds in different weather systems at different time. The main results show that the turbulent coefficient of 3~4km height level distributes mainly between 20 and $70\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ in clouds, and less than $30\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ in cloud-free areas. The turbulent coefficients in clouds generally increase with height, and little differences exist in every layer between winter and summer half years.

Key Words: seeding agent turbulent diffusion coefficient vertical temperature gradient