

单从回归显著性考虑,直线、指数、对数及 S 曲线都可用于描述烦恼率—振级之间的关系,主要问题是直线、指数和对数曲线不能反映在振级较低和振级较高时烦恼率变化缓慢的现象,因此本文选用了能反映这种现象的 S 曲线。

S 曲线在主观评价中是经常用到的,如环境噪声主观评价中居民反应也符合 S 曲线<sup>[7]</sup>。但在作主观评价调查时,要求有较大的样本数,如果样本数较小,观察烦恼率偏差可能掩盖 S 形现象。

#### (二) 关于阈限振级

本文计算出的阈限振级与国外给出的结果比较相近。国际标准 ISO/DIS2631/2 把 74 dB 的振级作为居民对居住室内振动是否有可能有烦恼反应的分界线<sup>[8]</sup>。日本学者认为:公害振动的感觉阈为 70—80 dB,人较敏感的振级为 70 dB,较迟钝的振级为 80 dB,一般为 75 dB 左右。一旦人们开始感觉到振动,振动就作为公害问题而存在了<sup>[1,9]</sup>。我们用不同方法计算的阈限振级在 70—76 dB 范围,与国外结果相近。

(三) 制定我国城市区域环境振动标准的基本依据

本文结果表明,振级达 70 dB 的振动对居民日常生活开始有明显的干扰和影响,低于 70 dB 的振动几乎没有什么干扰和影响。心理物理原则给出的阈限振级为 73 dB 左右,而临界振级为 75 dB 左右,这些阈限振级为制定我国城市区域环境振动标准提供了基本意见:在对环境振动要求较严格的区域,振级应控制在 70 dB 以下,而对于一般性的居住区域可允许有振级 70—75 dB 的振动。

## 四、结 论

### 1. 居民对于工业设备引起的环境振动的烦恼评

价率是随着振级增高而升高,在振级为 60—90 dB 范围内,烦恼率平均增加量为 8%/5 dB。

2. 烦恼率随振级变化的整体趋势呈现 S 形。在较低振级和较高振级时烦恼率升高缓慢(5%/5 dB);在中等振级范围内烦恼率迅速升高(12%/5 dB)。

3. 环境振动成为干扰和影响居民日常生活因素的最小振级为 70 dB,心理物理学 50% 原则给出的阈限振级为  $(73 \pm 2)$  dB, S 曲线拐点对应的临界振级为  $(75 \pm 1)$  dB。这些阈限振级为制定我国城市区域环境振动标准提供了基本依据。

## 参 考 文 献

- [1] 守田荣著(高鹏译),振动——被忽视的环境公害,第 1 章,科学出版社,1985 年。
- [2] Yamanaka et al., *J. Sound and Vibration*, **84** (4), 575—591 (1982)。
- [3] Atherton, G. H. et al., *J. Forest Products*, **29** (7), 29—38 (1979)。
- [4] ISO/DP 8041, *Human Response Vibration Measuring Instrumentation*, 1984。
- [5] 郭祖超等,医用数理统计,第 5 章,人民卫生出版社,1965 年。
- [6] 托马斯著(旦明译),感觉世界——感觉和知觉导论,第 9 章,科学出版社,1985 年。
- [7] 庄世坚,“区域环境噪声主观评价中阈值的确定”,第三届全国噪声控制工程学术会议论文集,1986 年。
- [8] ISO/DIS 2631-2, *Evaluation of Human Exposure to Vibration and Shock in Buildings (1 to 80 Hz)*, 1985。
- [9] 陈汝龙编译,环境工程概论,第 8 章,上海科技出版社,1986 年。

(收稿日期:1989 年 6 月 26 日)

## 兰州空气污染对太阳辐射的影响

刘德祥 陈昌毓 权天平

(甘肃省气象局)

**摘要** 本文利用兰州 1960—1988 年实测太阳辐射资料,计算了太阳直接辐射减弱量、大气透明度和大气混浊度。结果表明,太阳直接辐射量减少,大气透明度降低、混浊度提高,都反映空气污染物逐渐增多。三者的上述变化趋势,冬春季在 1974 年以后,夏秋季分别在 1982 年和 1978 年以后特别显著。对比分析表明,计算结果与实测空气污染物浓度值的变化趋势基本一致。

本文使用兰州气象观测站 1960—1988 年各月 9:30、12:30、15:30 三个时次, 4530 个晴天地面实测太阳辐射资料, 通过对太阳辐射分量、大气透明度和混浊度的计算, 间接地讨论兰州城市空气污染的季节和长期变化特征。

## 一、空气污染引起太阳总辐射及其分量的变化

穿过大气层到达地表的太阳总辐射 ( $Q$ ), 由到达地面的太阳直接辐射 ( $S'$ ) 和天空散射辐射 ( $D$ ) 所组成, 即  $Q = S' + D$ 。晴天时影响太阳辐射的主要因子是大气质量、水汽含量和空气污染物等。在其它条件相同时, 直接辐射随空气污染物的增加而减少, 散射辐射则增大, 当散射辐射增加量抵偿不了直接辐射减弱量时, 空气污染物最终使总辐射减少。

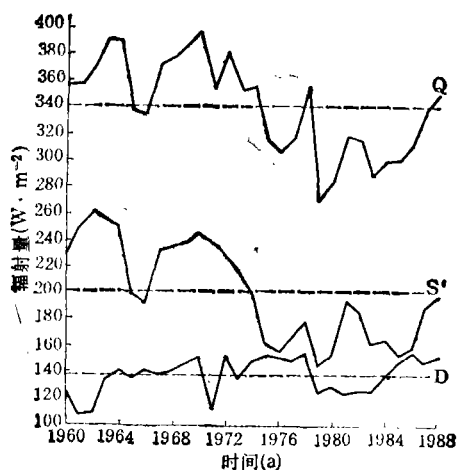


图 1 兰州冬季  $S'$ 、 $D$ 、 $Q$  的年际变化  
 $S'$ ——直接辐射,  $D$ ——散射辐射,  $Q$ ——总辐射  
由图 1 看出, 兰州冬季 (11—下年 2 月) 到达

地面的太阳直接辐射和总辐射, 自 1974 年以后明显减少, 几乎都小于平均值, 而散射辐射明显增加, 多数年份高于平均值。1974 年后直接辐射比其前期平均减少  $60.47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 散射辐射平均增加  $5.99 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 而总辐射平均减少  $54.47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。春 (3—5 月)、夏 (6—8 月)、秋 (9—10) 三季的变化情况, 大致可由表 1 说明。1980—1988 年比 1960—1969 年到达地面的太阳直接辐射量, 春、夏、秋三季分别平均减少  $50.84 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $72.68 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $67.71 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ; 散射辐射分别平均增加  $11.19 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $22.12 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $18.81 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。由于散射辐射增加量不及直接辐射减少量, 使春、夏、秋三季总辐射分别平均减少  $39.65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $50.56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $48.90 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

下面根据干洁空气分子散射对太阳直接辐射的减弱量、水汽和臭氧吸收减弱量以及空气污染物散射和吸收减弱量的计算分析, 来推断空气污染物含量的逐年变化。

### 1. 干洁空气分子对直接辐射的散射减弱

在干洁理想大气中, 太阳直接辐射只受空气分子的散射作用, 其直接辐射通量 ( $S_m$ ) 的计算式<sup>[1]</sup>

$$S_m = S_0 [1.112(1 + 0.265m)^{-0.325} - 0.112] \quad (1)$$

式中  $S_0$  为太阳常数, 其值为  $1353.732 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 计算时进行了日地距离订正;  $m$  为大气光学质量, 根据太阳高度角  $h$ , 按  $m = 1/\sin h$  式求出。干洁大气中空气分子散射所引起的直接辐射减弱量为

$$\Delta S_m = S_0 - S_m \quad (2)$$

兰州各月晴天时干洁大气分子引起直接辐射减弱量的计算结果 (表 2) 表明, 这部分减弱量季内各月平均, 以冬季最大 (16.4%), 夏季最小 (9.6%), 秋季 (12.3%) 大于春季 (10.7%)。这是由于冬季大气质量大, 夏季大气质量小的缘故。各季干洁大

表 1 各季太阳总辐射及其分量各时段平均值 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

| 分 量  | 时段<br>(年) | 春季<br>(3—5月) | 夏季<br>(6—8月) | 秋季<br>(9—10月) | 冬季<br>(11—2月) |
|------|-----------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| $S'$ | 1960—1969 | 513.70       | 631.67       | 465.17        | 234.78        |
|      | 1970—1979 | 465.68       | 654.48       | 440.80        | 195.74        |
|      | 1980—1988 | 462.86       | 558.99       | 397.46        | 173.60        |
| $D$  | 1960—1969 | 198.67       | 144.16       | 129.50        | 133.26        |
|      | 1970—1979 | 225.29       | 167.85       | 156.06        | 144.49        |
|      | 1980—1988 | 209.86       | 166.28       | 148.31        | 139.17        |
| $Q$  | 1960—1969 | 712.37       | 775.83       | 594.67        | 368.04        |
|      | 1970—1979 | 690.97       | 822.33       | 596.86        | 340.23        |
|      | 1980—1988 | 672.72       | 725.27       | 545.77        | 312.77        |

表 2 逐月干洁空气分子对太阳直接辐射的散射减弱量

| 月份                       | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 减弱量 ( $W \cdot m^{-2}$ ) | 238.71 | 199.51 | 163.15 | 139.23 | 129.10 | 123.55 | 124.78 | 132.08 | 150.32 | 182.77 | 220.95 | 251.92 |
| 减弱量占大气上界辐射的百分比 (%)       | 17.1   | 14.4   | 11.9   | 10.4   | 9.8    | 9.4    | 9.5    | 10.0   | 11.2   | 13.4   | 16.0   | 18.0   |

表 3 各季干洁大气分子对直接辐射减弱量的年际变化幅度 ( $W \cdot m^{-2}$ )

| 项目                | 季节 | 春季<br>(3—5月) | 夏季<br>(6—8月) | 秋季<br>(9—10月) | 冬季<br>(11—2月) |
|-------------------|----|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 最大值               |    | 146.92       | 128.00       | 170.80        | 939.09        |
| 最小值               |    | 137.17       | 126.00       | 155.05        | 912.30        |
| 差值                |    | 9.75         | 2.00         | 15.75         | 26.79         |
| 差值占大气上界辐射的百分比 (%) |    | 0.7          | 0.7          | 1.1           | 1.9           |

表 4 逐月水汽对太阳直接辐射的吸收减弱量

| 月份                       | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 减弱量 ( $W \cdot m^{-2}$ ) | 224.23 | 218.19 | 232.68 | 252.14 | 274.08 | 292.09 | 326.47 | 331.92 | 321.43 | 302.88 | 281.07 | 248.28 |
| 减弱量占大气上界辐射的百分比 (%)       | 16.0   | 15.7   | 17.0   | 18.8   | 20.7   | 22.3   | 24.9   | 25.2   | 24.0   | 22.3   | 20.3   | 17.8   |

气分子对太阳直接辐射减弱量的年际变化很小 (表 3), 其最大值与最小值之差占大气上界太阳辐射的比例小于 2%。这说明晴天地面实测太阳直接辐射的年际变化, 不是由干洁大气分子散射减弱所引起的。

## 2. 水汽对直接辐射的吸收减弱

大气总是含有一定数量的水汽, 它对直接辐射的吸收减弱量 ( $\Delta S_w$ ) 可按式估计<sup>[1]</sup>

$$\Delta S_w = 0.172(m \cdot W_w)^{0.301} \times 697.8 \quad (3)$$

式中  $W_w$  是指铅直方向大气柱内的水汽含量, 可由经验式  $W_w = 2.1e$  估计<sup>[1]</sup>, 式中  $e$  为地面水汽压 (mm)。

兰州各月晴天时水汽引起直接辐射吸收减弱量的计算结果 (表 4) 表明, 这部分减弱量季内各月平均, 以夏季最大 (24.1%), 冬季最小 (17.6%), 秋季 (23.2%) 大于春季 (18.8%)。这是因为夏、秋季是兰州的雨季, 空气中含水汽较多, 冬、春季是干季, 空气中含水汽较少的缘故。

各季水汽对直接辐射吸收减弱量的年际变化也较小 (表 5), 其最大值与最小值之差占大气上界太阳辐射的比例小于 7%。

## 3. 空气污染物对直接辐射散射和吸收减弱

空气污染物 (包括臭氧) 对直接辐射散射和吸收引起的减弱量 ( $\Delta S_d$ ), 可通过下面余项法估计<sup>[1]</sup>

$$\Delta S_d = S_0 - \Delta S_m - \Delta S_w - S \quad (4)$$

式中  $S$  为到达地面垂直于太阳光线的实测直接辐射量。

兰州各月晴天时空气污染物引起直接辐射减弱的计算结果 (表 6) 表明, 这部分减弱量季内各月平均, 以冬季最大 (52.2%), 夏季最小 (18.0%), 春季 (32.9%) 和秋季 (32.1%) 相当。由于兰州冬季为取暖期, 空气中废气和尘埃等污染物剧增, 加上大气存在明显的逆温层, 且降水稀少, 污染物不易扩散或凝结降落而悬浮在空中, 引起直接辐射大减, 其减弱量占大气上界辐射的比例比上海 (10.8%)<sup>[3]</sup> 和南京 (15.8%)<sup>[4]</sup> 近乎大 4 倍, 比冬季干洁空气分子散射和水汽吸收引起的减弱量大 3 倍以上。可见兰州冬季空气污染物对直接辐射的减弱起着主要作用。

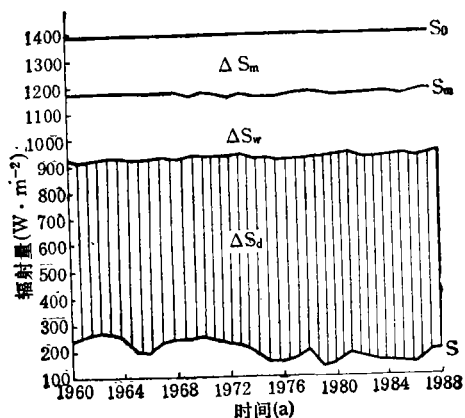
冬季空气污染物引起的直接辐射减弱量有逐年增大的趋势, 1974 年前大多小于平均值, 1974 年后均大于平均值 (图 2), 后 14 年减弱量比前 15 年平均增加 9.1%。春季减弱量的年际变化趋势与冬季相似, 1974 年后比其前期平均增加 20.7%。夏、秋季减弱量的年际变化情况与冬、春季不同, 夏季从 1982 年开始明显增大, 后 7 年比前 7 年平均增加 28.8%; 秋季从 1978 年开始增大, 后 11 年比前 11 年平均增加 19.3%。由上可见, 空气污染物对直接辐射减弱量增加的幅度以夏季最大, 说明自 1982 年

表 5 各季水汽对直接辐射吸收减弱量的年际变化幅度 ( $W \cdot m^{-2}$ )

| 项目 \ 季节           | 春季<br>(3—5月) | 夏季<br>(6—8月) | 秋季<br>(9—10月) | 冬季<br>(11—2月) |
|-------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 最大值               | 298.33       | 395.73       | 340.87        | 255.57        |
| 最小值               | 228.04       | 305.00       | 286.14        | 224.64        |
| 差值                | 70.29        | 90.73        | 54.73         | 30.93         |
| 差值占大气上界辐射的百分比 (%) | 5.2          | 6.9          | 4.1           | 2.2           |

表 6 逐月混合污染物对太阳直接辐射的吸收和散射减弱量

| 月 份                      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 减弱量 ( $W \cdot m^{-2}$ ) | 781.32 | 702.79 | 569.35 | 443.60 | 319.30 | 238.36 | 218.24 | 253.32 | 256.50 | 508.60 | 657.02 | 765.46 |
| 减弱量占大气上界辐射的百分比 (%)       | 55.8   | 50.6   | 41.6   | 33.0   | 24.1   | 18.2   | 16.6   | 19.2   | 26.7   | 37.4   | 47.5   | 54.8   |

图 2 兰州冬季大气中各种成分减弱直接辐射的年际变化  
以来夏季空气污染在迅速加重。

考虑到用“余项法”估算  $\Delta S_a$  的复杂性以及混浊因子  $T$  和  $D/S'$  与  $\Delta S_a$  的一致性(见后文),我们直接利用这些混浊因子来估算  $\Delta S_a$ 。兰州冬季的经验式为:

$$\Delta \hat{S}_a = 565.921 + 222.042 D/S' \quad (5)$$

$$\Delta \hat{S}_a = 483.118 + 39.216 T \quad (6)$$

(5) 和 (6) 式的相关系数分别为 0.854 和 0.970, 取信度 0.01 进行  $F$  检验, 回归效果良好; 进行误差分析, (5) 和 (6) 式的距重合率分别为 83% 和 90%, 剩余方差分别为 2.41 和 0.55。可见用  $T$  估算  $\Delta S_a$  的精度要比  $D/S'$  高。用这两种方法估算  $\Delta S_a$  比“余项法”简单。

## 二、空气污染对大气透明度的影响

大气透明度是表征大气混浊程度的特征量, 它愈大, 表示大气愈透明, 空气污染程度愈轻。计算大

气透明度通常利用布格公式<sup>[1]</sup>

$$P_m = \sqrt[m]{\frac{S}{S_0}} \quad (7)$$

式中  $P_m$  为大气光学质量为  $m$  时的大气透明系数。

由于太阳辐射在大气中的选择性减弱, 使得不同  $m$  值确定的  $P_m$  值有虚拟变化, 即福尔布斯效应, 而使  $P_m$  值缺乏比较性。根据阿维尔基耶夫公式<sup>[1]</sup>, 可将不同  $m$  时的大气透明系数统一订正到  $m = 2$ , 以利比较, 其公式

$$P_2 = 0.964 \left( \frac{S}{1.84} \right)^{\frac{\sin h + 0.15}{1.3}} \quad (8)$$

晴天时的大气透明度, 主要取决于大气中水汽和污染物的含量, 为了鉴别水汽和污染物对透明度的影响程度, 以  $P_2 = P_i P_w P_a$  表示总透明度与干洁空气透明系数 ( $P_i$ )、湿洁大气透明系数 ( $P_w$ )、混合污染物透明系数 ( $P_a$ ) 的关系。当  $m = 2$  时, 到达地面垂直于太阳光线的直接辐射通量可由  $S_1 = S_0 P_i$  计算; 经过干洁大气的直接辐射通量

$$S_{1d} = S_1 + \Delta S_w$$

于是, 湿洁和混合污染物的透明系数按以下两式计算<sup>[1]</sup>

$$P_w = \sqrt{\frac{S_1}{S_{1d}}} \quad (9)$$

$$P_a = \sqrt{\frac{S_{1d}}{S}} \quad (10)$$

式中  $S_1$  是经过干洁大气的直接辐射通量, 取值  $1130.5 W \cdot m^{-2}$ 。

表 7 是根据 (8)、(9)、(10) 式计算的结果。该表说明, 总透明度和混合污染物透明度均以冬季最小, 夏季最大; 水汽透明度全年变化不大。冬季混合污染物透明度小于水汽透明度, 说明冬季混合污染

表 7 各月大气的  $P_1$ 、 $P_d$  和  $P_w$  值

| 项目 \ 月份 | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $P_1$   | 0.397 | 0.441 | 0.479 | 0.506 | 0.550 | 0.557 | 0.569 | 0.558 | 0.533 | 0.493 | 0.440 | 0.390 |
| $P_d$   | 0.627 | 0.657 | 0.695 | 0.726 | 0.772 | 0.803 | 0.815 | 0.810 | 0.788 | 0.752 | 0.697 | 0.638 |
| $P_w$   | 0.704 | 0.744 | 0.758 | 0.760 | 0.770 | 0.774 | 0.752 | 0.744 | 0.736 | 0.735 | 0.698 | 0.679 |

表 8 逐年冬季大气的  $P_1$ 、 $P_d$  和  $P_w$  值

| 项目 \ 年份 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $P_1$   | 0.45 | 0.46 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.43 | 0.43 | 0.45 | 0.46 | 0.47 | 0.45 | 0.46 | 0.35 | 0.44 | 0.43 |
| $P_d$   | 0.68 | 0.70 | 0.71 | 0.70 | 0.70 | 0.67 | 0.66 | 0.68 | 0.69 | 0.69 | 0.69 | 0.69 | 0.60 | 0.66 | 0.67 |
| $P_w$   | 0.73 | 0.74 | 0.75 | 0.74 | 0.74 | 0.72 | 0.71 | 0.74 | 0.73 | 0.75 | 0.74 | 0.74 | 0.64 | 0.73 | 0.71 |

| 项目 \ 年份 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 平均   |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $P_1$   | 0.39 | 0.39 | 0.37 | 0.43 | 0.34 | 0.39 | 0.42 | 0.42 | 0.34 | 0.36 | 0.38 | 0.38 | 0.41 | 0.41 | 0.42 |
| $P_d$   | 0.64 | 0.64 | 0.62 | 0.67 | 0.60 | 0.63 | 0.65 | 0.68 | 0.60 | 0.61 | 0.62 | 0.63 | 0.65 | 0.65 | 0.66 |
| $P_w$   | 0.68 | 0.68 | 0.66 | 0.71 | 0.63 | 0.68 | 0.73 | 0.69 | 0.63 | 0.65 | 0.68 | 0.67 | 0.70 | 0.70 | 0.71 |

物对太阳直接辐射的减弱比水汽大,而夏季混合污染物透明度大于水汽透明度,说明夏季水汽对太阳直接辐射的减弱是主要的。

从表 8 看出,兰州冬季总透明度、混合污染物透明度和水汽透明度有逐年减小的趋势,1974 年以后比其以前分别平均减少 13.3%、6.5% 和 6.9%;春季与冬季相似, $P_1$ 、 $P_d$  和  $P_w$  1974 年后比 1974 年前分别平均减少 9.0%、6.6% 和 2.4%;夏季,以 1982 年为界,后 7 年比前 7 年分别平均减少 8.0%、4.0% 和 3.8%;秋季,以 1978 年为界,后 11 年比前 11 年分别平均减少 9.4%、5.5% 和 3.7%。

### 三、空气污染与大气混浊的关系

大气透明系数随大气光学质量变化。为了进一步分析空气污染物引起大气混浊状况的变化,我们分别计算了表征大气混浊度的特征量林克因子及  $D/S'$  值。林克因子是实际大气消光系数与干洁大气消光系数之比,其计算式为<sup>[2]</sup>

$$T = \frac{\ln S_c - \ln S}{\ln S_0 - \ln S_m} \quad (11)$$

$T$  与  $D/S'$  愈大,表示大气愈混浊。

如果太阳辐射的减弱只是由于干洁大气分子散射而引起的,则  $T = 1$ 。实际消光系数可看作水汽消

光系数 ( $T_w$ )、混合污染物消光系数 ( $T_d$ ) 和干洁大气消光系数之和。按照林克因子的定义,(11) 式可变为<sup>[2]</sup>

$$T = 1 + T_w + T_d \quad (12)$$

因而

$$T_w = \frac{\ln(S + \Delta S_w) - \ln S}{\ln S_0 - \ln S_m} \quad (13)$$

根据 (12) 和 (13) 两式可以把空气混浊度中的两个基本因子  $T_w$  和  $T_d$  分解出来。 $T$  值,全球年平均为 2.25,北京 3.80,沈阳 3.95,南京 4.47<sup>[4]</sup>,而兰州年平均为 5.75,说明兰州空气污染很严重。从表 9 中看出,兰州  $T$  和  $T_d$  以冬季最大,夏季和秋季最小; $T_w$  以夏季最大,冬季最小,秋季大于春季。这说明影响兰州大气混浊度的因子中,冬季以空气混合污染物为主,夏季以水汽为主。此外还可以看出,林克因子表征大气混浊度比大气透明度灵敏。

图 3 是兰州冬季大气混浊度的年际变化。从图中可见, $T$ 、 $T_d$ 、 $D/S'$  和  $\Delta S_d$  的年际变化基本一致,在 29 年中曾出现过几次波动,但每次波动的峰值或谷值均比前次有提高,尤其是 1975 年前出现猛增的趋势, $T$  和  $T_d$  分别比 1975 年后平均增大 33.2% 和 53.9%。其余各季大气混浊度的年际变化情况大致与冬季相似,只是开始猛增的时间有所不同,春季的  $T$  和  $T_d$  1975 年后比之前分别平均增

表 9 林克因子及其各项的月平均值

| 项目 \ 月份 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $T$     | 6.79 | 6.13 | 6.05 | 6.31 | 5.66 | 5.29 | 5.32 | 5.16 | 4.90 | 4.89 | 5.66 | 6.82 |
| $T_d$   | 3.38 | 2.93 | 2.59 | 2.40 | 1.59 | 1.06 | 0.78 | 0.74 | 0.89 | 1.32 | 2.16 | 3.18 |
| $T_w$   | 2.41 | 2.20 | 2.46 | 2.91 | 3.07 | 3.23 | 3.54 | 3.42 | 3.01 | 2.58 | 2.50 | 2.64 |

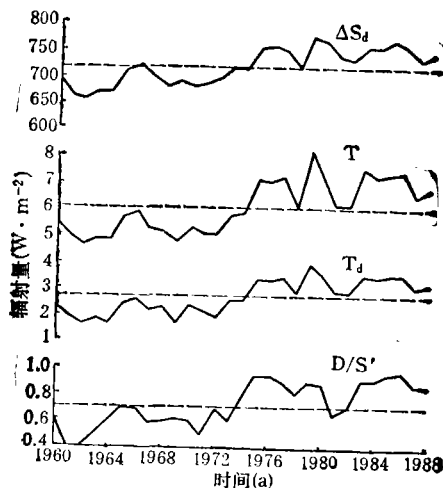
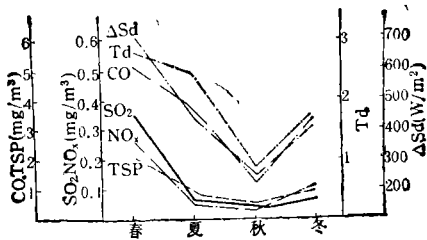


图 3 兰州冬季大气混浊度的年际变化

图 4 兰州(城关区)空气污染物浓度值与  $\Delta S_d$ 、 $T_d$  的关系

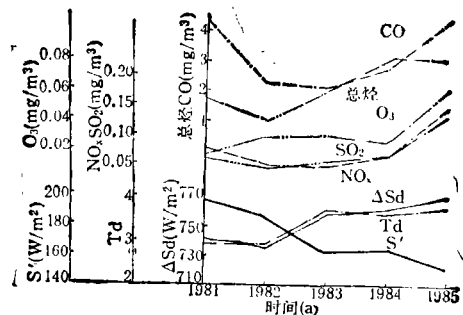
大 19.9% 和 21.9%；夏季，1982 年后比之前分别平均增大 21.9% 和 1.1 倍；秋季，1978 年后比之前分别平均增大 22.8% 和 84.3%。

#### 四、计算结果与实测空气污染物浓度对比分析

图 4 是兰州 4 种空气污染物浓度\*、太阳直接辐射减弱量 ( $\Delta S_d$ ) 和混合污染物消光系数 ( $T_d$ ) 的季节变化。从该图看出，兰州空气中的  $SO_2$ 、 $NO_x$ 、TSP 和 CO 等污染物的浓度，均以冬季最大，春、秋季次之，夏季最小，季节变化曲线大致呈“槽型”。 $\Delta S_d$  和  $T_d$  与空气污染物浓度的季节变化趋势是一

致的。

从兰州 1981—1985 年冬季空气污染物浓度和  $S'$ 、 $\Delta S_d$ 、 $T_d$  的年际变化看出(图 5)，空气中的  $SO_2$ 、 $NO_x$ 、CO 和总烃等污染物的浓度，1981 年至 1982 年呈下降趋势，1983 年至 1985 年呈逐渐增高趋势，1985 年的浓度比 1982 年增高 1 倍左右。这表明近年来空气污染有逐渐加重的趋势。计算的  $\Delta S_d$  和  $T_d$  的年际变化趋势与空气污染物浓度基本一致，而  $S'$  的年际变化趋势则与空气污染物浓度相反。

图 5 兰州(城关区)空气污染物浓度与  $S'$ 、 $\Delta S_d$ 、 $T_d$  的年际变化

上述计算结果与实测污染物浓度对比分析的一致性，说明利用兰州较长年代的太阳辐射观测资料可以间接地推断兰州大气污染发展情况。

#### 参 考 文 献

- [1] K. Я. 康德拉捷夫(李怀瑾等译)，太阳辐射能，第 157、184、196 页，科学出版社，1962 年。
- [2] 蔡学湛，气象，(1)，12 (1988)。
- [3] 邵德民，大气湍流扩散及污染气象论文集，第 104 页，气象出版社，1982 年。
- [4] 沈觉成，城市气候与城市规划，第 111 页，科学出版社，1985 年。
- [5] 黄伟峰等，城市气候与城市规划，第 122 页，科学出版社，1985 年。

(收稿日期：1989 年 8 月 28 日)

\* 兰州市计划委员会，兰州市国土资源，第 655 页，1988 年(铅印本)。