

# Study on the Correlation between Ozone Concentration and Absorbed $\gamma$ -Ray Dose-Rate in Surface Layer Atmosphere

Fengyu Han

Karamay Environmental Scientific Research and Monitoring Center Station, Karamay, Xinjiang, 834000, China

## Abstract

By analyzing daily and monthly mean values of ozone concentration and absorbed  $\gamma$ -ray dose-rate on the same monitoring site, the results are: the correlation coefficient of daily mean values of the two sets of variables is  $r=-0.737(P<0.01)$ , while linear regression gets  $y=-9.439x+780.84(R^2=0.5437)$ ; and the correlation coefficient of monthly mean values is  $r=-0.941(P=0.465)$ , while linear regression gets  $y=-14.166x+1137.3(R^2=0.8867)$ . The conclusion drawn from the results is ozone concentration and absorbed  $\gamma$ -ray dose-rate are highly negatively linearly correlated.

## Keywords

Ozone;  $\gamma$ -ray; absorbed dose-rate; correlation

# 大气近地层臭氧浓度与 $\gamma$ 射线空气吸收剂量率相关性研究

韩凤禹

克拉玛依市环境科研监测中心站, 中国·新疆 克拉玛依 834000

## 摘要

通过分析同一地点的臭氧浓度与  $\gamma$  射线空气吸收剂量率的日均值和月均值的监测数据, 得到了两组变量的日均值线性相关系数为  $r=-0.737(P<0.01)$ , 线性拟合结果为  $y=-9.439x+780.84(R^2=0.5437)$ ; 月均值均值线性相关系数为  $r=-0.941(P=0.465)$ , 线性拟合结果为  $y=-14.166x+1137.3(R^2=0.8867)$ 。结果表明环境空气中臭氧浓度和  $\gamma$  射线空气吸收剂量率两个变量线性负相关程度较高。

## 关键词

臭氧;  $\gamma$  射线; 空气吸收剂量率; 相关性

## 1 引言

### 1.1 臭氧

臭氧的化学式为  $O_3$ , 是氧气  $O_2$  的同素异形体, 常温下是一种有鱼腥味的淡蓝色气体。臭氧在光照条件下可吸收紫外线中的短波成分迅速分解为氧气, 高温和潮湿环境也会促进臭氧的分解。分子结构为 V 型, 不稳定, 有强氧化性, 氧化反应后变为稳定状态的氧气。紫外线中的短波成分包括波长范围在 280 纳米~100 纳米的短波紫外线、150 纳米~10 纳米的超紫外线和 121 纳米~10 纳米的极紫外线等。

臭氧的强氧化性是其对人类健康、动植物生长和建筑材料等造成危害的原因。国际环境空气质量标准提出, 人在一个小时内可接受臭氧的极限浓度是  $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 在  $320\mu\text{g}/\text{m}^3$  臭氧环境中活动 1h 就会引起咳嗽、呼吸困难及肺功能下降; 臭氧还能参与生物体中的不饱和脂肪酸、氨基及其他蛋白质反

应, 使长时间直接接触高浓度臭氧的人出现疲乏、咳嗽、胸闷胸痛、皮肤起皱、恶心头痛、脉搏加速、记忆力衰退、视力下降等症状; 臭氧也会使植物叶子变黄甚至枯萎, 对植物造成损害, 甚至造成农林植物的减产、经济效益下降等; 臭氧能够较快地与室内的建筑材料(如乳胶漆等表面涂层)、居家用品(如软木器具、地毯等)、丝、棉花、醋酸纤维素、尼龙和聚酯的制品中含不饱和碳键的有机化合物(包括橡胶、苯乙烯、不饱和脂肪酸及其酯类)发生反应, 从而造成染料褪色、照片图像层脱色、轮胎老化等<sup>[1]</sup>。

地球大气中的臭氧有约 90% 分布在平流层, 距地面 10km~50km 之间, 约 10% 分布在对流层, 从地面延伸至对流层底部。对流层中的臭氧来源可分为自然源和人为源, 自然源为平流层中的臭氧向下传输到对流层和特殊自然天气条件下生成的臭氧; 人为源主要指人类活动产生的臭氧, 包括排

放的挥发性有机物 (VOCs) 和氮氧化物 (NOx) 等污染物在光化学反应中生成和臭氧技术利用活动逸散。

臭氧是大气光化学烟雾的重要指示物。挥发性有机物 (VOCs) 和氮氧化物 (NOx) 被排放到大气中后, 在强烈的阳光紫外线照射下发生一系列光化学反应, 生成有害浅蓝色烟雾。大气光化学烟雾对人体健康、动植物生长、建筑材料等有严重危害, 也会降低大气能见度, 危害生活条件。

## 1.2 $\gamma$ 射线

$\gamma$  射线为电离辐射, 波长小于 0.1 纳米, 贯穿能力强。辐射环境自动监测站空气吸收剂量率可直接、快速、连续反映环境辐射水平, 是重要环境辐射监测项目, 其监测结果包括环境地表  $\gamma$  射线空气吸收剂量率及仪表对宇宙射线所致空气吸收剂量率的响应, 单位为戈瑞 / 小时 (Gy/h)。其中环境地表  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率为地表上方一定高度周围物质中的天然和人工核素发出的  $\gamma$  射线所致空气吸收剂量率。

根据中国的《2017 全国辐射环境质量报告》, 环境地表  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率存在不可忽视的涨落, 与地下水水位、土壤中水分、降水的影响、冰雪的覆盖、放射性物质的地面沉降、射气的析出和扩散等环境因素有关。降雨引起的空气中氡子体沉降, 土壤中水分以及雪覆盖等因素的影响更为明显, 特别是空气中氡子体受雨水的冲刷和清洗, 可使环境地表  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率短时间内增加 50%~100%, 升高的程度取决于降雨时间间隔和降雨量。升高可持续几小时, 然后降至比平均低约 5% 的水平, 降低的原因是土壤中水分增加而产生屏蔽作用。如果不再降雨, 随着土壤中水分的减少, 经几小时或几天恢复至正常水平。此外, 雪覆盖可使环境地表  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率降低, 大约 1cm 厚的雪可降低约 1%。

## 1.3 研究现状

近地层臭氧浓度增加的原因是当今环境科学领域的研究热点之一<sup>[2]</sup>, 现有的研究方向主要集中在臭氧浓度与辐射照度、能见度、日照时间、气温、降水、相对湿度、云量等气象因素<sup>[2-15]</sup> 和其前体污染物<sup>[7,15]</sup> 的相关性, 而对臭氧浓度和  $\gamma$  射线空气吸收剂量率的相关性的研究较少。理论上,  $\gamma$  射线可通过电离效应将空气中的氮气和氧气电离, 形成氮氧化物和臭氧, 进而使臭氧浓度增加; 也可通过光电效应和康普顿效应

将能量传输给空气中的臭氧, 对臭氧的化学稳定性造成影响, 促进臭氧的分解和转化, 进而降低臭氧浓度。论文旨在通过在同一地点监测大气近地层臭氧浓度和  $\gamma$  射线空气吸收剂量率, 统计日平均值和月平均值, 分析两组样本数据的相关性并讨论结果指示的意义。

## 2 资料和方法

### 2.1 数据资料

臭氧浓度监测数据来自国家环境空气质量自动监测网克拉玛依市长征小区站 2017 年监测数据。长征小区站在监测网中的级别为城市站, 位于克拉玛依市环境科研监测中心站办公楼, 监测高度 12m, 采用紫外吸收法全年连续监测臭氧小时浓度。全年共有 8667 个小时均值, 论文统计 365 个日均值和 12 个月均值进行研究。

$\gamma$  射线空气吸收剂量率监测数据来自于国家辐射环境自动监测网克拉玛依市准噶尔路站 2017 年监测数据。准噶尔路站在监测网中的级别为基本站, 位于克拉玛依市环境科研监测中心站办公楼, 监测高度 11m, 采用高压电离室探测器, 每 30s 记录一个监测数据。全年共有 1051134 个数据, 论文统计全年 365 个日均值和和 12 个月均值进行研究。

### 2.2 统计分析方法

样本数据为日均值和月均值, 均采用算术平均值。

臭氧浓度和  $\gamma$  射线空气吸收剂量率的相关性分析方法<sup>[16-20]</sup> 如下。

Pearson 函数计算环境空气中臭氧浓度统计数据 ( $Y_i$ ) 和  $\gamma$  射线空气吸收剂量率统计数据 ( $X_i$ ) 的线性相关系数, 采用 t 检验法计算双样本等方差假设双尾 P 值进行线性相关系数检验; 采用曲线拟合法得到一元线性回归方程。

算数平均值计算公式:

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

Pearson 函数计算公式:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2}}$$

线性相关系数的 t 检验:

假定变量总体的线性相关系数为  $\rho$ ,  $-1 \leq \rho \leq 1$ , n 组样本的线性相关系数为  $r$ 。原假设  $H_0: \rho=0$ 。备择假设  $H_1:$

$\rho \neq 0$ 。检验统计量  $t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$ , 在原假设  $H_0$  为真时, t 服从  $T(n-2)$  分布。

### 3 结果

#### 3.1 $\gamma$ 射线空气吸收剂量率

2017 年全年  $\gamma$  射线空气吸收剂量率日均值波动较大, 总体呈现出谷状变化, 最小值 6 月 21 日 70.4 nGy/h, 最大值 12 月 5 日 83.2 nGy/h。5 月到 9 月较低, 其余月份较高。

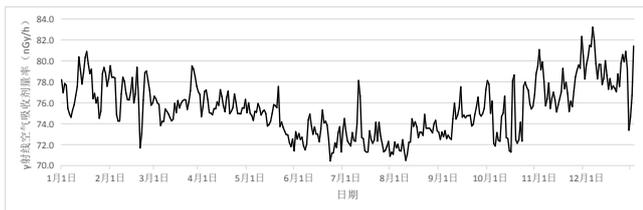


图 1 2017 年  $\gamma$  射线空气吸收剂量率日均值

$\gamma$  射线空气吸收剂量率月均值的变化呈现出明显的谷状形态。最小值 7 月 72.6 nGy/h, 最大值 12 月 79.0 nGy/h, 均值 75.4 nGy/h。

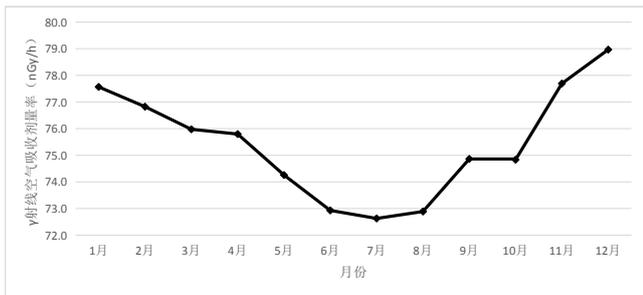


图 2 2017 年  $\gamma$  射线空气吸收剂量率月均值

#### 3.2 臭氧浓度

2017 年全年臭氧浓度日均值呈现出明显的年中高于两端的峰状, 最大值 7 月 28 日 157  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 最小值 12 月 3 日 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。



图 3 2017 年臭氧浓度日均值

臭氧浓度月均值呈现出尖峰形状, 不符合正态分布曲线, 最大值 7 月 128  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 最小值 12 月 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 均值 69  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

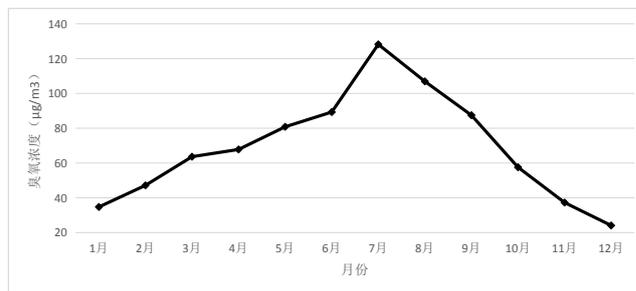


图 4 2017 年臭氧浓度月均值

#### 3.3 线性相关系数与 t 检验结果

Pearson 函数计算全年的环境空气中臭氧浓度和  $\gamma$  射线空气吸收剂量率日均值数据的线性相关系数, 得到  $r=-0.737$ , t 检验结果对应的 P 值小于 0.01。

计算月均值 Pearson 函数得到  $r=-0.942$ , t 检验结果对应的 P 值为 0.4657。

#### 3.4 线性拟合结果

日均值线性拟合结果  $R^2=0.5437$ 。

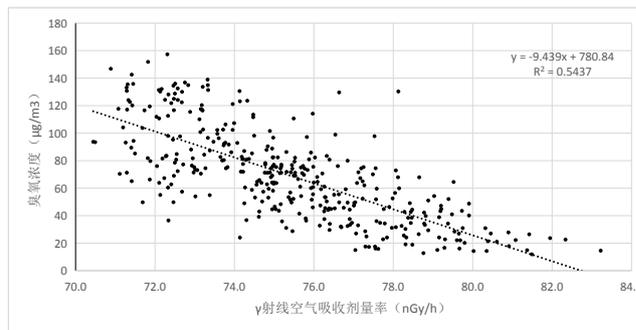


图 5 日均值线性拟合

月均值线性拟合结果  $R^2=0.8867$ 。

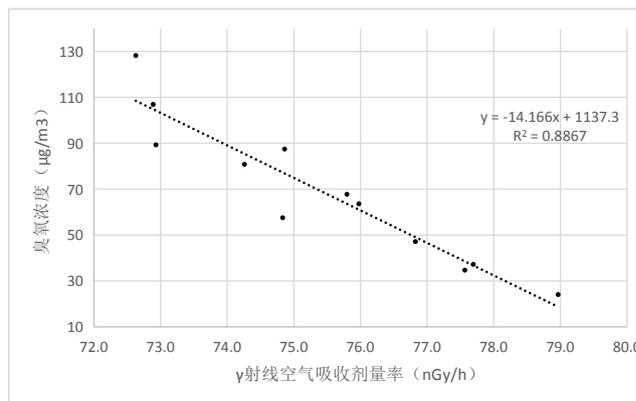


图 6 月均值线性拟合

## 4 讨论

综合日均值数据和月均值数据的线性相关系数和线性拟合结果, 可得出环境空气中臭氧浓度和 $\gamma$ 射线空气吸收剂量率两个变量线性负相关程度较高的结论。

两个变量可能存在因果关系, 也可能受到共同的外部因素, 如降水、湿度、光照等天气状况, 太阳活动状况和人为活动等的影响。

可以通过改进分析方法进一步研究环境空气中臭氧浓度和 $\gamma$ 射线空气吸收剂量率两个变量的线性相关程度。

## 参考文献

- [1] 徐怡珊, 文小明, 苗国斌, 等. 臭氧污染及防治对策 [J]. 中国环保产业, 2018(6).
- [2] 殷永泉, 李昌梅, 马桂霞, 等. 城市臭氧浓度分布特征 [J]. 环境科学, 2004(6):16-20.
- [3] 尹珩, 张珂, 孙辰, 等. 武汉城区臭氧时空分布及其与气象因子相关性研究 [J]. 环境与可持续发展, 2017(06):152-154.
- [4] 刘贤, 李月臣, 朱康文, 等. 重庆市臭氧时空分异及其影响因素研究 [J]. 环境保护与循环经济, 2017.
- [5] 楚甜, 文翔, 田成才, 等. 唐山市沿海地区臭氧浓度变化特征及与气象因子的关系 [J]. 农业开发与装备, 2019(1).
- [6] 李昌龙. 徐州市区大气臭氧变化特征及与气象要素的相关性分析研究 [J]. 环境科学与管理, 2018, v.43; No.247(06):81-85.
- [7] 韩梦鑫, 帕丽达·牙合甫, 王镜然. 乌鲁木齐市近地面 O<sub>3</sub> 与前体物及颗粒物相关性分析 [J]. 环境保护科学, 2018, v.44; No.208(04):25-30.
- [8] 李顺姬, 李红, 陈妙, 等. 气象因素对西安市西南城区大气中臭氧及其前体物的影响 [J]. 气象与环境学报, 2018(4):59-67.
- [9] 谈昌蓉, 郭晓宁, 陈奇, 等. 西宁近地面臭氧特征及其影响因素 [J]. 干旱气象, 2019(1):31-39.
- [10] 于世杰, 尹沙沙, 张瑞芹, 等. 郑州市近地面臭氧污染特征及气象因素分析 [J]. 中国环境监测, 2017(04):145-154.
- [11] 朱晓艳, 李念, 郑昭佩. 济南市气象要素对大气污染物浓度的影响 [J]. 济南大学学报 (自然科学版), 2017(5).
- [12] 马秉吉, 马玉霞, 周建丁, 等. 兰州市近地面臭氧污染特征及影响因素分析 [C]. 第 35 届中国气象学会年会.
- [13] 张硕, 潘亚群. 西昌市臭氧污染特征及影响因素分析 [J]. 四川环境, 2018(05):147-154.
- [14] 王磊, 刘端阳, 韩桂荣, 等. 南京地区近地面臭氧浓度与气象条件关系研究 [J]. 环境科学学报, 2018.
- [15] 许玉姣. 环境空气中臭氧浓度变化影响因素的相关性分析 [J]. 甘肃科技纵横, 2017(09):43-45+70.
- [16] 李秀敏, 江卫华. 相关系数与相关性度量 [J]. 数学的实践与认识, 2006(12):188-192.
- [17] 靳庭良, 张宝青. 回归分析中 t 检验与 F 检验关系的进一步探讨 [J]. 统计与决策, 2009(21):7-9.
- [18] 张敏静, 刘雅娜, 薛志群. 一元线性回归方程有关检验问题的研究 [J]. 价值工程, 2012(2):1-2.
- [19] 王天营. 一元线性回归分析中三种检验的等价性研究 [J]. 统计与决策, 2011(3).
- [20] 周玉珠, 姜奉华. 实验数据的一元线性回归分析及其显著性检验 [J]. 大学物理实验, 2001, 14(4):43-46.