

- [ 5 ] E. Weimer and J-P Martin , Electron Microscopy , Vol. 1 (IECM 13-Paris , 17 —22 July 1994) , 67.
- [ 6 ] H. Kazumori , T. Miyokawa , Y. Ono et al. , ibid , 61.
- [ 7 ] K. Ogura , Y. Ono , H. Kazumori et al. , ibid , 63.
- [ 8 ] R. Atrata and P. Schauer , ibid , 71.
- [ 9 ] L. Reimer , and M. Kassens , ibid , 73.
- [ 10 ] 刘贤德主编 , CCD 及其应用原理 , 华中理工大学出版社 , (1990) .
- [ 11 ] Y. Tomashpolsky and N. Sadovskaya , Electron Microscopy , Vol. 1 (ICEM 13-Paris , 17 —22 July 1994) , 119.

## 紫外光解臭氧及其应用\*

南 引 明

(山西省运城高等专科学校物理系 , 山西运城 044000)

近年来越来越多地应用臭氧进行消毒、杀菌以及净化空气和水源,但是臭氧作为新的污染源也相伴产生.当臭氧浓度为 100ppb 时,人的呼吸道就易受到刺激而发炎;浓度达 50000ppb 时,就会有生命危险<sup>[1]</sup>.我国环保总局规定的安全标准为 50ppb.为消除臭氧,化学工作者常采用化学吸收法,但吸收工作物质往往由于吸收饱和而会很快失去作用.本文运用紫外光光解臭氧法,变臭氧为有益的氧分子,可较好地解决上述问题.

### 1 原理

臭氧分子是类似于水分子结构的弯曲分子,其键角为 116.8°,键能仅为 1.05 ± 0.02eV,具有强氧化性和热不稳定性.臭氧的吸收带位于 200—320nm (Hartley 带), 300—360nm (Husgins 带) 和 440—850nm (Chappals 带).其中 Hartley 带中心处的吸收系数高达 120—150 cm<sup>-1</sup>,相当于单分子吸收截面( $\sigma_o$ )为 1.08 × 10<sup>-17</sup>(cm)<sup>2</sup>[2-5].为此我们在实验中选用汞灯 253.7nm 紫外光来光解臭氧分子.显然,这样的选择对提高效率 and 节省开支都是合适的.

注意到空气中 H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 和 NO 的光解波长高限分别为 84.47nm, 138.9nm 和 230nm,因而我们所用的光解波长 253.7nm 不会对上述三种分

子起光解作用.现考察光解高限波长 241.4nm 的 O<sub>2</sub> 的光解情况.由文献[3]可知, O<sub>2</sub> 分子和 O<sub>3</sub> 分子在 250nm 处的吸收截面分别为 1.40 × 10<sup>-24</sup>(cm)<sup>2</sup> 和 1.08 × 10<sup>-17</sup>(cm)<sup>2</sup>,二者相差 7 个数量级.由于氧(O<sub>2</sub>)和臭氧(O<sub>3</sub>) 在空气中的浓度分别为 70% 和 1000ppb,在常温常压下, 1 cm<sup>3</sup> 空气中 O<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 的分子数分别为 4.192 × 10<sup>18</sup>和 2.46 × 10<sup>13</sup>个,则氧和臭氧的总吸收截面分别为

$$\begin{aligned} S_{O_2} &= 1.40 \times 10^{-24} \times 4.92 \times 10^{18} \\ &= 6.89 \times 10^{-6} \text{ cm}^2, \\ S_{O_3} &= 1.08 \times 10^{-17} \times 2.46 \times 10^{13} \\ &= 2.66 \times 10^{-4} \text{ cm}^2, \end{aligned}$$

即相差两个数量级.因而当用 253.7nm 紫外光光解臭氧时,其光解极限为 10ppb 数量级.

### 2 光解实验

实验装置如图 1 的所示.臭氧发生器和光解臭氧的紫外杀菌灯管放置在内贴反光铝薄膜的圆筒内,以提高光能利用率.当 3400V 的高电压加在套在臭氧发生器的玻璃管外的金属网和

\* 1995 年 7 月 6 日收到初稿,1995 年 10 月 13 日收到修改稿.

管内芯柱所构成的两个放电电极时,流经金属网周围空气中的部分氧分子分解成氧原子,而氧原子与其他氧分子碰撞产生了臭氧分子.所产生的臭氧浓度与高压电源的功率和通过金属网的空气流速( $v$ )有关.紫外光源采用8W紫外杀菌灯管.在圆筒的一侧吹风,另一侧放置臭氧浓度测量仪以测定臭氧浓度.

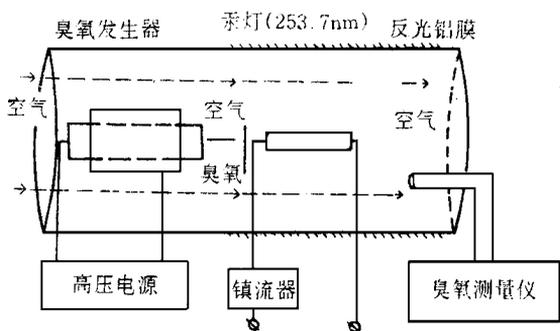


图1 实验装置

实验时在圆筒的一侧用电风扇吹风,所产生的臭氧浓度经紫外灯辐射而减少.由臭氧测量仪分别测出开灯和关灯时的臭氧浓度.实验结果由表1给出.表中给出了三种臭氧分子初始浓度 $N_{3_0}$ ,可见在灯管功率和风速固定时,臭氧浓度( $N_{O_3}$ )越大,臭氧的分解量( $\partial N_3 / \partial t$ )越大.

表1 不同灯管功率下的臭氧浓度

初始浓度 (无灯)	1500ppb	1000ppb	500ppb
8W 杀菌灯 1支 (253.7nm)	1320ppb	870ppb	470ppb
8W 保健灯 6支 (320.0nm)	1370ppb	910ppb	470ppb

### 3 讨论

设光源的有效功率为4W,由此算出对应的单位时间内的光子数,除以灯管的表面积,得出单位面积的光子密度,再乘以沿半径的衰减系数,即可得出半径 $r = 20\text{cm}$ 处的光子密度( $I_0$ ).

$$I_0 = W_{\text{有用}} / h 2 \pi r l \times 10^{-kr} \\ = 0.78 \times 10^{15} \quad (\text{个} / \text{cm}^2),$$

式中取半径 $r = 20\text{cm}$ ,灯管长度 $l = 30\text{cm}$ ,常数 $k = 1.2 \times 10^{-2}$ .

由文献[2]和[6]所给出的公式,可计算出经光照后 $O_3$ 的变化<sup>[2]</sup>:

$$dN_3 = (-I_0 N_3 \sigma_3 \\ + k_2 N_1 N_2 N_4 - k_3 N_1 N_3) dt,$$

式中 $N_1, N_2, N_3$ 和 $N_4$ 分别为 $O, O_2, O_3$ 和空气分子的密度,常数 $k_2 = 4.6 \times 10^{-34}$ , $k_3 = 8 \times 10^{-12}$ <sup>[2]</sup>, $\sigma_3$ 为 $O_3$ 的分子吸收截面. $I_0$ 为光强.由于 $k_2$ 和 $k_3$ 的值很小,相应项可以略去,因而

$$dN_3 = -I_0 N_3 \sigma_3 dt \\ = -I_0 N_3 \sigma_3 \frac{1}{v} dx,$$

式中 $v$ 为空气流速, $x$ 为轴向坐标.这个方程的解为

$$N_3 = N_{3_0} \exp(-0.125x) \\ = 0.883 N_{3_0},$$

即当 $N_{3_0}$ 为1000ppb时, $N_3 = 883\text{ppb}$ ,而实验测得为870ppb,二者非常接近.

由计算可以推断,如果选用8W灯管15支或40W灯管3支,可以把1000ppb的臭氧浓度下降到100ppb以下.

通常紫外灯管的有效寿命为5000h,按每天工作8h计算,则可用两年.此外光解法无污染,可同时杀死多种传染病菌和病毒,因此该方法有广泛的应用前景.

### 参 考 文 献

- [1] 李锡川,环境化学,中国环境出版社,(1990),33.
- [2] 王贵勤,大气臭氧研究,科学出版社,(1985),13.
- [3] 冈田秀雄(美),小分子光化学,吉林人民出版社,(1982),281.
- [4] 唐孝炎,大气环境化学,高等教育出版社,(1990),81.
- [5] 唐永奎,刘育民,环境学导论,高等教育出版社,(1987),40.
- [6] 马兴孝,孔繁敖,激光化学,中国科技大学出版社,(1990),239.