

用太阳光谱测量空气中 NO₂ 浓度的方法研究

周 斌 刘文清 郑朝晖 张玉钧 宋炳超 王锋平

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

(2000 年 3 月 20 日收到, 2000 年 5 月 21 日收到修改稿)

根据 Noxon 方法, 利用 NO₂ 在 430—450 nm 范围内的吸收特性, 测量空气中 NO₂ 的浓度. 介绍了一种利用光学差分吸收原理, 以太阳光为光源, 二极管阵列为探测器, 黄山光明顶上的太阳光谱为参考光谱测量大气中 NO₂ 浓度的新光学方法.

关键词: 太阳光谱, NO₂ 垂直柱体密度, 定日镜, 环境空气质量监测

PACC: 8670L

1 引 言

NO₂ 在大气的光化学过程中起着重要的作用, 人们为了研究对流层以上大气中的臭氧含量和变化规律, 对平流层中的 NO₂ 含量研究得比较多, 因为在大气中 NO₂ 的含量直接影响着臭氧的含量. 但是, 由于目前大气污染非常严重, 人们已渐渐将注意力转向测量大气中的污染物浓度, 特别是城市上空边界层中污染物的浓度, 因为这些污染物直接影响着人们的健康. 这里我们介绍一种测量城市上空大气中 NO₂ 浓度的光学方法.

NO₂ 作为空气中的一种主要污染物, 不但本身对人体有害, 而且当其与 NO 一起和空气中其他物质相互作用时会形成二次污染物, 比如光化学烟雾等, 对人类健康的危害更大. 在城市中由于有许多大型企业和高密度的机动车, 使得 NO₂ 的浓度比农村地区要高出几十倍到上百倍, 所以测量大气中 NO₂ 的浓度对控制城市中的大气污染有着极其重要的作用. 光学方法测量大气中 NO₂ 浓度的方法一般有以人工光源为光源的差分光学吸收光谱(DOAS)法, 该方法以氙灯为光源, 测量高度在几十米内, 1 km 左右距离中的污染气体浓度, 不太适用于测量较高层(几十米以上, 两千米以下)大气中的污染物浓度. 另一种是以太阳为光源的差分吸收光谱法, 该方法又有直接太阳光谱法和接收天顶散射光光谱法, 后者主要被人们用来测量平流层中 NO₂ 的浓度, 我们的实验是用直接太阳光谱法, 用在安徽省黄山光明

顶上测得的太阳光谱作为参考光谱测量地面附近(2 km 以下)大气中 NO₂ 气体的浓度.

2 测量原理

当太阳光经过大气层时, 会与大气中的各种气体分子相互作用, 不同的分子在不同的波段对太阳辐射的吸收程度不同, 使得太阳辐射的强度和光谱结构有所改变, 比如 NO₂ 气体分子在 430—450 nm 范围内对太阳辐射的吸收比较强. 设太阳辐射在大气层顶时的强度是 $I_0(\lambda)$, 穿过大气层到达地面的强度是 $I(\lambda)$, 根据 Beer-Bouguer-Lambert 定律, 有

$$\ln [k(\lambda) I_0(\lambda) / I(\lambda)] = \sum_{i=1}^n \sigma_i(\lambda) m N_i + \tau_R(\lambda) + \tau_M(\lambda), \quad (1)$$

其中 $\sigma_i(\lambda)$ 是第 i 种气体的分子吸收截面, N 是该种分子在大气中的垂直柱体密度(vertical column density), $\tau_R(\lambda)$ 和 $\tau_M(\lambda)$ 分别是光路上瑞利散射和米氏散射的光学厚度, 由于我们测量的光谱范围比较小(430—450 nm 之间), 可以假设瑞利散射和米氏散射随波长做较小的线性变化, m 是大气质量, 可以表示如下^[1]:

$$m = [\cos Z + 0.15^*(93.885 - Z)^{-1.253}]^{-1},$$
$$\cos Z = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos H,$$
$$H = (t_s - 12 - t_m + E) \times 15^\circ,$$

其中 Z 是以度为单位的太阳的天顶角, Φ 是测量地点的纬度, δ 是太阳的倾角, H 是时角, t_s 是测量时的时间, t_m 是观测地和东经 120° 之间的经度差, E

为真太阳时与平太阳时之差.

NO₂ 气体分子在太阳辐射的整个范围内对太阳光都有吸收 特别是在 430 - 450 nm 范围内吸收最强烈,而且变化幅度也比较大,非常适合于差分方法测量其浓度.我们使用的是 Johnston 等^[2]在实验室中的测量结果(图 1 所示),从 NO₂ 的吸收截面中可以看出,在 430—450 nm 范围内,吸收截面的最大差值大约为 $3.5 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$,如果假设大气中 NO₂ 的浓度为 $1.0 \times 10^{16} \text{ molecule/cm}^2$,那么在大气质量为 1 时,这就要求仪器的信噪比(S/N)至少大于 300,才能从信号中区分出吸收信息.所以仪器的信噪比决定着仪器测量 NO₂ 浓度的最低限度,提高仪器的信噪比在以后的数据处理中占很重要的一部分,在下面我们作这方面的介绍.

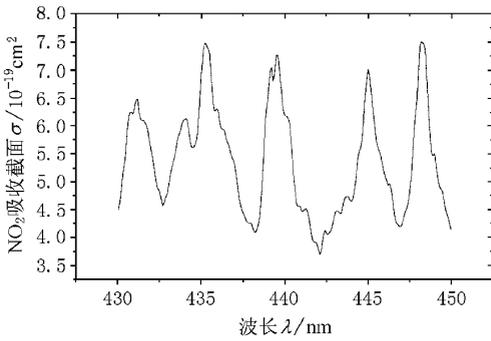


图 1 本实验中使用的 NO₂ 吸收截面

由于我们是用太阳作为光源的,所以作为参考光谱的 $I_0(\lambda)$ 的测量精度对实验结果的影响比较大.为了测量城市大气中污染物的浓度,需要城市上空(一般是 2 km 左右)的太阳光谱作为参考光谱.但在实际工作中,想获得这样的太阳光谱非常困难,一般情况下都找一些近似的方法来取代.比如可以用正午时刻的太阳光谱作为参考光谱^[3],因为这时的大气质量最小,这种方法在天顶角比较大的时候较为合适,但当天顶角比较小的时候,所带来的误差就比较大;也可以把用 Langley 方法推出来的大气层外的太阳光谱作为参考光谱^[4],但是由于城市大气中的浓度比较高,变化比较大以及大气湍流的原因,使得这种方法在测量城市大气污染时不太合适.

实验中我们所使用的参考光谱是 1999 年 12 月 8 日在安徽省黄山光明顶测量到的太阳光谱(图 2 所示).由于黄山光明顶远离城市,并且海拔高度为 1860 m,所以参考光谱中所包含的 NO₂ 吸收与在城市中测量到的太阳光谱相比较非常小,这对于我们

主要测量城市上空 2 km 以下大气中的 NO₂ 浓度而言非常合适,并且由于参考光谱和从地面测量的测量光谱是用同一台仪器得到的,这就避免了,由仪器的光学效率、光谱分辨率、探测器的光谱响应等诸多因素所带来的问题.

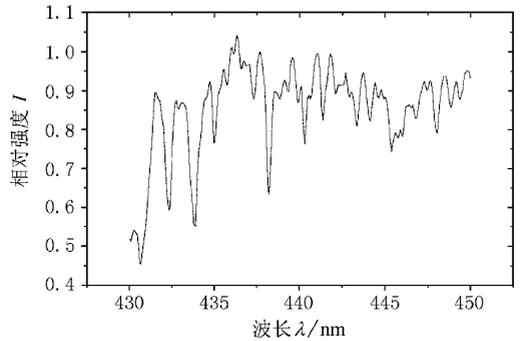


图 2 参考光谱

3 仪器装置

整套系统包括定日镜、光纤、单色仪、探测器和计算机系统,定日镜将太阳光线会聚起来,通过光纤传输到单色仪,单色仪分开以后的各种频率的光被光电二极管阵列接收,通过 A/D 转换送入计算机进行数据分析,定日镜由计算机控制自动跟踪太阳.图 3 是这套系统的光路和电路的框图.

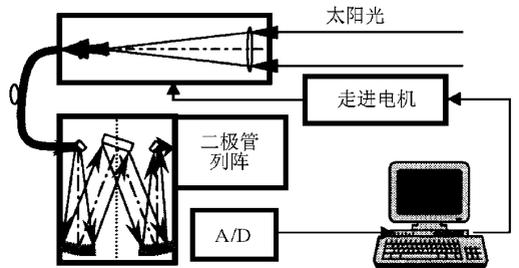


图 3 仪器的光路和电路图

定日镜是我们自己设计的自动跟踪太阳的装置,它通过计算太阳在天空中任意一时刻的位置,由方位和俯仰两个步进电机带动主动跟踪太阳,跟踪误差不大于 5',即使太阳偶尔被云等物体被挡住的话,也不影响其跟踪,其口径为 60 mm, f 数是 6,之所以选用较大的 f 数是为了限制视场角,以减少杂散的影响.分光计是中国科学院安徽光学精密机械研究所研制的 BM-025 型,入射狭缝可调, $f = 250 \text{ mm}$,光栅尺寸为 $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$,刻线为 1200

groove/mm, 闪耀波长为 380 nm, 其在 440 nm 处的理论分辨率为 48000, 可分辨的最小波长间隔是 0.0092 nm, 出射狭缝焦平面上的线色散率是 3.3 nm/mm. 我们使用的探测器是日本 HAMAMATUS 公司制造的 C-MOS 线阵图象传感器, 它共有 1024 个通道, 每个通道尺寸为 $25\mu\text{m} \times 2500\mu\text{m}$, 整个探测器的感光面积为 $26.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$, 其在 200—1000 nm 范围内的光谱响应曲线如图 4 所示. 由于探测器的每个像元的宽度是 $25\mu\text{m}$, 在分光计出射狭缝位置 $25\mu\text{m}$ 的宽度内, 有 0.0825 nm 宽的光谱, 所以整套仪器的光谱分辨本领是 0.0825 nm.

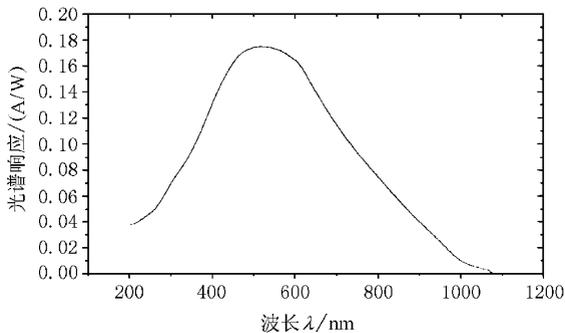


图 4 探测器光谱响应曲线

在探测器的 1024 个像元中, 每一个像元对光的量子效率并不是严格一样的, 我们用一束白光均匀地照在探测器的 1024 个像元上, 这时的输出信号并不是一条直线, 通过比较多组数据可知, 每组数据都有相似的结构, 这种结构就是由于像元对光的量子效率不同所造成的, 如图 5 所示, 这在以后的数据处理时应该加以考虑^[5].

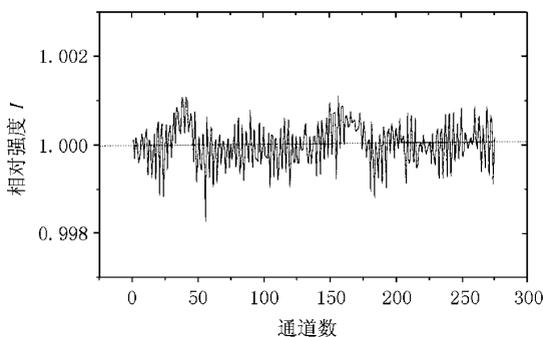


图 5 探测器像元的量子效率

4.1 光谱的处理

当我们测量到太阳光谱以后, 在反演 NO_2 浓度之前, 必须要对测量光谱作必要的处理, 这是因为: 1) 在测量光谱中噪声比较大, 必须要使噪声降低到很小, 以提高信噪比; 2) 由于实验环境温度等因素的变换, 使得不同时刻的测量光谱之间有微小的平移, 即两条测量光谱之间的夫琅和费结构并不严格重合, 在计算时必须要进行校正, 使得两条测量光谱中的每个夫琅和费峰严格重合.

降低噪声 由于在测量光谱中 NO_2 的吸收非常小, 一般情况下小于百分之一, 所以在测量过程中必须想办法降低噪声, 提高信噪比, 以增加仪器的灵敏度. 我们采用的方法是多次叠加求平均, 图 6(a) 是平均之前前后两次测量光谱之间的比值, 可以看出这时的噪声大约是 I/I_1 的 0.4%, 图 6(b) 是平均了 2527 次以后前后两次测量光谱之间的比值, 可以看出这时的噪声大约是 I/I_1 的 0.015%. 可见通过多次平均以后, 信噪比明显提高了. 通过理论计算, 当平均 2527 次后, 信噪比大约提高 50 倍, 实际中要略小于这个值.

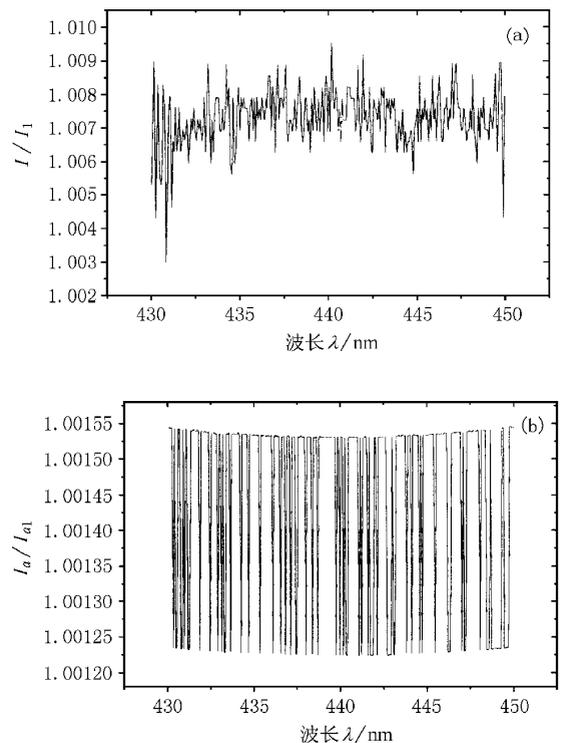


图 6 (a)为光谱平均前两光谱的比值 (b)为光谱平均后两光谱的比值

4 数据处理

光谱的平移 由于观测时环境温度的变化,以及太阳位置的不断变化,使得每次所采集到的太阳光谱之间偶尔会发生一些平移,这会严重影响测量结果,必须要对这种平移做校正,我们使用的方法是找到光谱中的一个极值,判断每条光谱中该极值点的位置是否重合,如果不重合,则前后平移该光谱使该极值的位置与其他光谱中该点重合。

4.2 NO₂ 浓度的反演

光谱处理好以后,就可以根据(1)式来反演大气中 NO₂ 的浓度,对于 NO₂ 气体(1)式可变为

$$\begin{aligned} & \ln [k(\lambda) I_0(\lambda) \gamma I(\lambda)] \\ &= \alpha(\lambda) mN + \tau_R(\lambda) + \tau_M(\lambda). \end{aligned} \quad (2)$$

仪器在测量时,由于太阳光强度的变化和数据采集时积分时间的变化,会使光谱在整体强度上有所改变,所以为了便于计算,有必要对每一条光谱都做归一化处理,至于用光谱中的哪一点来归一化,选择是任意的,这里我们用 $\lambda_0 = 438.190 \text{ nm}$ 这点,因为在这点吸收截面有极小值,对于 λ_0 这点,有

$$\begin{aligned} & \ln [k(\lambda_0) I_0(\lambda_0) \gamma I(\lambda_0)] \\ &= \alpha(\lambda_0) mN + \tau_R(\lambda_0) + \tau_M(\lambda_0). \end{aligned} \quad (3)$$

用(2)式减去(3)式,可得到

$$\begin{aligned} & \ln [k(\lambda) \gamma I(\lambda)] + \ln \left[\frac{I_0(\lambda) \gamma I(\lambda)}{I_0(\lambda_0) \gamma I(\lambda_0)} \right] \\ &= [\alpha(\lambda) - \alpha(\lambda_0)] mN, \end{aligned} \quad (4)$$

其中假设在 430—450 nm 之间 20 nm 范围内 $\tau_R(\lambda)$ 和 $\tau_M(\lambda)$ 的变化不大,即 $\tau_R(\lambda) \approx \tau_R(\lambda_0)$, $\tau_M(\lambda) \approx \tau_M(\lambda_0)$ 这种近似对测量结果的影响将在后面讨论。

对参考光谱做同样的运算,有

$$\begin{aligned} & \ln [k(\lambda) \gamma I_{\text{Ref}}(\lambda)] + \ln \left[\frac{I_0(\lambda) \gamma I_{\text{Ref}}(\lambda)}{I_0(\lambda_0) \gamma I_{\text{Ref}}(\lambda_0)} \right] \\ &= [\alpha(\lambda) - \alpha(\lambda_0)] N_{\text{Ref}}, \end{aligned} \quad (5)$$

其中 N_{Ref} 是参考光谱中所含的 NO₂ 浓度,因为它变化较小,在我们的实验中假设其为常量。用(4)式减去(5)式,可得到

$$\begin{aligned} & \ln \left[\frac{I_{\text{Ref}}(\lambda) \gamma I_{\text{Ref}}(\lambda_0)}{I(\lambda) \gamma I(\lambda_0)} \right] \\ &= [\alpha(\lambda) - \alpha(\lambda_0)] [mN - N_{\text{Ref}}]. \end{aligned} \quad (6)$$

令上式等号左边这一项为 R , 有

$$R = [\alpha(\lambda) - \alpha(\lambda_0)] [mN - N_{\text{Ref}}]. \quad (7)$$

下面具体举例说明是如何从比率光谱 R 中反演出测量光谱中所包含的大气中 NO₂ 浓度 N 的。

图 7 中的 A 和 B 分别是 1999 年 12 月 21 日

14 26 测量的太阳光谱与参考光谱,图 8 中的 C 是它们的比率光谱 R , 这时的大气质量 $m = 3.2$, 有

$$R = [\alpha(\lambda) - \alpha(\lambda_0)] [3.2N - N_{\text{Ref}}] + \text{error}. \quad (8)$$

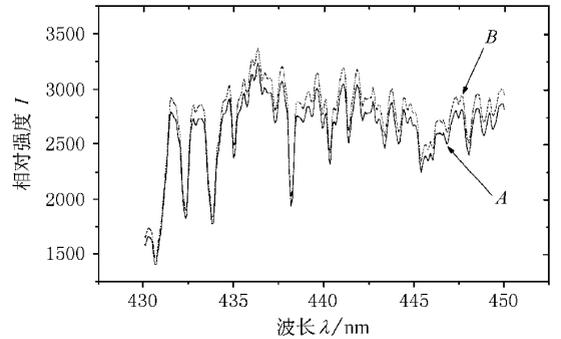


图 7 A 是光谱 12211426; B 是参考光谱阳光谱

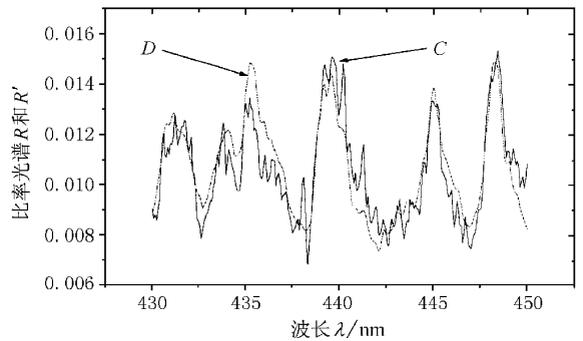


图 8 C 是 12211426 与参考光谱的比率光谱 R ; D 是 $N = 2.4 \times 10^{16} \text{ molecular/cm}^2$ 时的 R'

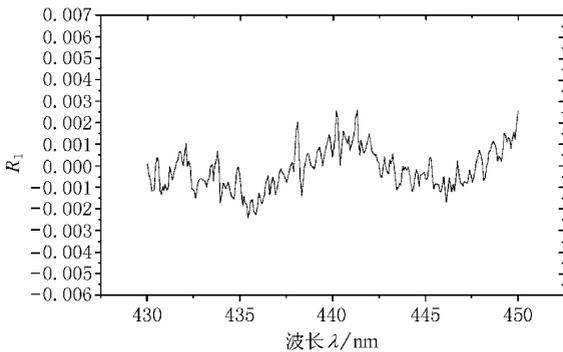
可以先估计一下这时的 N 大约为多少,找到 NO₂ 吸收截面中具有极大值的一点 $\lambda = 439.515 \text{ nm}$, 再在比率光谱中找到这一点的值 $R_{\lambda=439.515} = 0.014344$, 可以得出这时 N 大约为 $2.4 \times 10^{16} \text{ molecule/cm}^2$ 然后将 N 代入

$$R' = [\alpha(\lambda) - \alpha(\lambda_0)] [3.2N - N_{\text{Ref}}]$$

算出 R' 如图 8 中的 D 所示,令 $R_1 = R - R'$ 得出误差项,如图 9 所示。图 9 中的某些点误差特别大,可能是由于这些点的光谱没有重合好或其他因素所造成,应剔除,然后将 N 的值慢慢地变大或变小,比较每次误差项的大小,直到误差项为最小,这时的 N 就可以认为是此时刻大气中 NO₂ 的垂直柱体密度。

4.3 测量误差的讨论

上面等式中的误差项的大小大约为 4%, 这里误差主要是由大气因素和仪器本身因素引起的,为

图9 $R_1 = R - R'$

了进一步比较详细地讨论误差的来源,我们对(2)式进行微分,可得到

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{1}{N[\alpha(\lambda) - \alpha(\lambda_0)]} \left[\frac{\Delta I_{\text{Ref}}(\lambda)}{m I_{\text{Ref}}(\lambda)} + \frac{\Delta I(\lambda)}{m I(\lambda)} + \frac{\Delta \alpha(\lambda)}{m} (mN - N_{\text{Ref}}) \right] + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta N_{\text{Ref}}}{mN} \quad (9)$$

从(9)式中可以看出,大气质量的变化、光谱强度的测量误差以及吸收截面的测量误差都会引起测量结果的误差。

我们采集每一条光谱的时间大约是 0.2 s,在这么短的时间内,大气质量 m 的变化非常小,所以 $\Delta m/m$ 可以忽略不计。 $\Delta I(\lambda)/I(\lambda)$ 和 $\Delta I_{\text{Ref}}(\lambda)/I_{\text{Ref}}(\lambda)$ 的大小主要由仪器的性能所决定,另外,积分时间的变化也会引起上述两项变化,根据前面的讨论,平均两千多次以后其误差大约为 0.015%。 $\tau_{\text{R}}(\lambda)$ 和 $\tau_{\text{M}}(\lambda)$ 在 439 nm 附近也有微小的变化,而我们在推导(7)式时假定这两项都是不变的,所以这样的近似也会引起一定的误差。但是,由于 $\tau_{\text{R}}(\lambda)$ 与波长的四次方成反比, $\tau_{\text{M}}(\lambda)$ 与波长的一、二次方成反比(依赖于气溶胶分子的特性),所以 $\tau_{\text{R}}(\lambda)$ 和 $\tau_{\text{M}}(\lambda)$ 呈现的是慢变化,在 439 nm 附近 20 nm 范围内的变化很小,忽略这种变化时所引起的误差也非常小。

从(9)式可以看出,测量误差在一定程度上还取决于 NO₂ 吸收截面的测量精度。我们利用的是 Johnston 等^[2]在实验室测量的没有公开发表的结果,据 Harwood 和 Jones^[6]的总结分析,在 440 nm 附近,室温下其误差在 5% 以内,在平流层由于温度变化较大,NO₂ 的吸收截面变化也较大,但我们测量的是地面附近 NO₂ 的含量,所以温度变化对测量结果影响不大。

我们这个实验是以太阳光作光源的,所以,太阳本身辐射通量的变化也是引起误差的原因之一,Wilson^[7]的测量结果表明,太阳辐射通量在长期内有大约 0.09% 的变化,短期内的变化可达 0.3%。

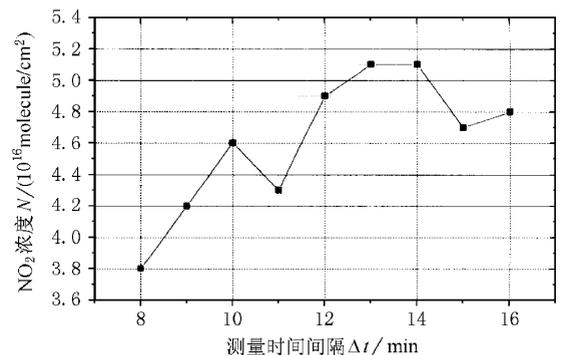
此外,大气中 O₃ 的吸收对测量有一些影响。但是 O₃ 在紫外部分(220—320 nm)对太阳的辐射吸收较强烈,在 440—750 nm 之间是 O₃ 的 Huggins 吸收带,对太阳辐射有一些吸收,但非常小,在其峰值 600 nm 处,当大气质量为 2 时,对太阳辐射的吸收才 7%。340—450 nm 是 O₃ 光谱中比较透明的区域^[8]。所以在 430—450 nm 范围内忽略 O₃ 的吸收,对测量几乎没有什么影响。

5 测量结果与结论

5.1 合肥地区的观测结果

仪器调整好以后,我们进行了一系列的实验室性观测,每次测量的时间间隔为 10 min,这样每小时就有六组数据供分析使用,这对于测量大气中 NO₂ 的浓度及其变化已经足够。下面就不同时期的观测结果进行一个总结。

图 10 是 1999 年 1 月 26 日 8:00 到 16:00 这个时间内 NO₂ 浓度及变化情况,在这一天中观测到的 NO₂ 浓度比较大,最大值达到 $5.1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$,平均值为 $4.6 \times 10^{16}/\text{cm}^2$,变化范围大约是 $1.3 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 。

图10 1999年1月26日8:00—16:00 NO₂的浓度及变化情况

NO₂ 在空气中的浓度及变化情况不但与人类向大气中排放的量有关,而且还与天气条件有着密切的关系,当天气条件比较稳定,无风或弱风时,不利于污染物的扩散,这时污染物的浓度就会上升,如果连续几天是这种情况,污染物浓度就会达到很高。

图 11 是 1999 年 11 月 15 日到 21 日这一个星期之内 NO₂ 的浓度及变化情况.在这期间,北方没有明显的天气系统过来,天气条件一直比较稳定,大气污染情况比较严重.其中最大一天达到 $6.2 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$.

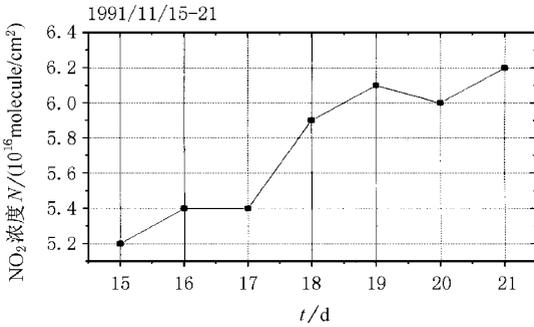


图 11 1999 年 11 月 15 日到 21 日 NO₂ 浓度及变化情况

5.2 北京地区的观测结果

我们利用 1999 年 6 月 12 日至 6 月 30 日在北京参加“蓝天工程”的机会有幸与北京环境科学研究院和中国科学院大气物理研究所一起合作对北京地区大气污染状况进行了二十天左右的观测,拿到了一些很有价值的数

据.图 12 所示是我们在北京测得的 6 月 12 至 27 日 NO₂ 日平均浓度的变化情况.从图 12 中可以看出 12 日和 13 日大气中 NO₂ 的含量比较高,这几天北京一直晴天、微风;15 日和 16 日 NO₂ 的含量则相对较低,这是因为 14 日这天北京地区下了小到中雨,并且 15 日、16 日这两天风力较大的缘故;17 日、18 日晴天、微风、天空灰朦,能见度很低,气候条件不利于污染物的扩散(由于其他原因实验暂停),19

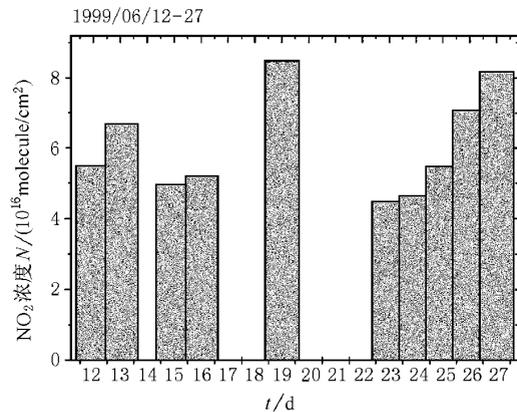


图 12 北京地区 1999 年 6 月 12 日至 27 日 NO₂ 浓度的观测结果

日测得的 NO₂ 的含量则非常高,与这几天气候条件不利于污染物的扩散有直接的关系;20 日、21 日、22 日这三天北京一直下雨;23 日至 27 日气候条件与 15 日至 19 日相似,大气中 NO₂ 的含量呈上升趋势,26 日、27 日两天 NO₂ 含量已经相当高.

图 13 所示是本次实验合作单位北京环境科学研究院用美国热电子公司的空气 NO₂ 浓度自动监测仪(化学发光法)测得的这段时间内在中国科学院大气物理研究所附近空气中 NO₂ 浓度变化情况,比较图 12 与图 13,可以看出,在 15 日至 27 日这段时间内,这两种仪器所得结果在变化趋势方面是相关的,但并不是完全一样,这是因为在天气条件比较稳定的情况下,空气 NO₂ 自动监测仪的结果反映的是高度在几十米以下小范围内的大气中 NO₂ 浓度变化情况,而我们仪器测量的结果反映的是在一个很大范围内整层大气中(主要是 2 km 以下的边界层中)NO₂ 含量的变化情况,所以两种仪器的测量结果会有所不同,但变化趋势大致应该一样.

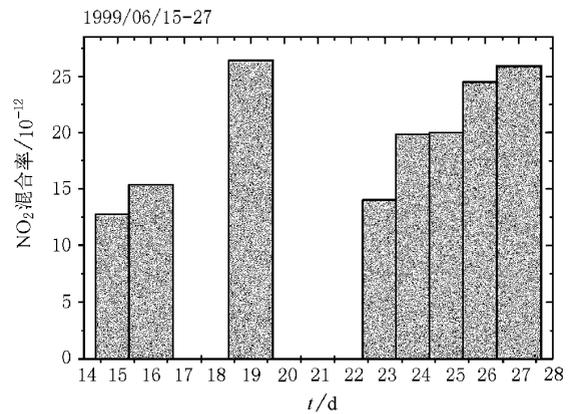


图 13 其他仪器的测量结果

5.3 结论

作为结论,利用太阳作为光源,以黄山光明顶上的太阳光谱为参考光谱,采用自行研制的被动差分光学吸收光谱测量装置,对城市上空大气中的 NO₂ 浓度及其变化进行了研究.通过对合肥市西郊地区和北京地区上空大气中 NO₂ 浓度的测量,以及与有关部门的测量数据相比较,证实了该方法非常适合于监测城市上空大气中 NO₂ 浓度,并且具有简单、快速等优点.如果转动光栅或使用不同的光栅,测量不同波段的光谱运用类似的方法,就可以测出大气中多种污染气体(SO₂, O₃ 等)的浓度,这是我们下一步将要开展的工作.

- [1] J. G. Niu *et al.* , *Opt. Rev.* , **4**(1997) 240.
- [2] H. Johnston , unpublished data (1978).
- [3] P. V. Johnston , R. L. Mckenzie , *J. Geophys. Res.* , **94**(1989) , 3473.
- [4] S. Solomon , A. L. Schmeltekopf , R. W. Sanders , *J. Geophys. Res.* , **92**(1987) 8311.
- [5] John M. C. Plane , C. F. Nien , *Rev. Sci. Instrum.* , **63**(1992) , 1867.
- [6] M. H. Harwood , R. L. Jones , *J. Geophys. Res.* , **99**(1994) , 22 ; 955.
- [7] R. C. Wilson , *Space Sci. Rev.* , **38**(1984) 203.
- [8] Atmospheric Radiation Introduction , Editor : Kuo-Nan Liou , Translator S. J. Zhou , Z. J. Ruan (Meteorological Press , Beijing , 1993) [Kuo-Nan Liou 著 , 周诗健 阮忠家等译 , 大气辐射导论 (气象出版社 , 北京 , 1993)] .

MEASUREMENT OF NO₂ CONCENTRATION IN THE ATMOSPHERE BY SUN SPECTROSCOPY METHOD

ZHOU BIN LIU WEN-QING ZHENG CHAO-HUI ZHANG YU-JUN SONG BING-CHAO WANG FENG-PING

(*Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics , Chinese Academy of Sciences , Hefei 230031 , China*)

(Received 20 March 2000 ; revised manuscript received 21 May 2000)

ABSTRACT

According to the Noxon method , the absorption characteristic of NO₂ in the wavelength region 430 – 450 nm is used to measure the NO₂ Vertical Column Density (VCD) in the urban area . A new optical method using the differential optical absorption spectroscopy is developed to measure the NO₂ VCD in the urban areas by using the solar light as the source , C-MOS linear image sensor as the detector and the sun spectrum taken at the summit of Yellow Mountain as the reference spectrum.

Keywords : sun spectrum , NO₂ vertical column density , sun tracer , environmental air quality monitoring

PACC : 8670L