

# 大气核爆炸对平流层臭氧含量影响的模拟

苏联科学院通讯院士 Ю. А. Израль 等

**提要：**本文探讨了百万吨级大气核爆炸对臭氧天然浓度局地短期变化的影响，其中考虑到了核爆炸火球紫外线和  $\gamma$  射线辐射，核爆炸蘑菇云中的光化学反应以及在其上升过程中和稳定之后的漫射扩散等对大气中臭氧生成的影响。

本文对北半球平流层臭氧含量在核爆炸尘埃和氮氧化物注入情况下的变化进行了估算，其中考虑到了爆炸尘埃对平流层大气的加热因素和大气天然的自洁作用。

许多文献[4、9、11、12、17]都研究了核爆炸产生的氮氧化物对平流层臭氧的影响。不同作者的模式计算结果表明，在可能的  $10^4$  百万吨级的核爆炸作用下将有 30—70% 的臭氧遭到破坏，且 2—4 年以后才能恢复到原来

的状态。文献[4、11、12、9]和[4、17]分别对百万吨级的强烈大气核爆炸对天然臭氧浓度短期变化的影响和由爆炸致使氮氧化物注入而引起的平流层臭氧含量的变化进行了估算。尽管如此，臭氧问题仍需进一步研

究。

本文探讨的是在紫外线和核爆炸火球放射性辐射作用下大气中臭氧的生成及其对总的臭氧平衡的贡献、核爆炸蘑菇云上升过程中臭氧浓度的变化、在火球核辐射作用下大气水分解成的氢和羟基(H+OH)对臭氧含量的影响以及由注入平流层的尘埃对该层温度变化的影响等问题。

### 1. 在紫外线和核爆炸放射性辐射作用下大气中臭氧的生成

核弹头在空气中爆炸能释放出巨大的能量,它们以光辐射、核辐射和冲击波的形式存在。该能量中的一半左右为能导致大气臭氧发生光化学变化、扩大臭氧源和臭氧通量的

光辐射和核辐射。计算臭氧形成量的光化学模式包括 26 种反应,其中包括本文提出的 10 种成份: O<sub>3</sub>、O、O('D)、N、NO、NO<sub>2</sub>、HNO<sub>3</sub>、H、OH、OH<sub>2</sub>。表 1 给出的就是上述 26 种反应。为了使在非扰动均衡状态下的计算浓度接近于天然浓度,我们从许多众所周知的反应中选用了对上述成份的形成和通量贡献最大的那些反应。描述上述 10 种空气成份浓度随时间变化的 10 个微分方程与这些光化学反应相一致。为了证明这个问题给出臭氧方程如下:

$$\frac{d[O_3]}{dt} = -(j_{3a} + j_{3b} + k_5[O] + k_{10}[NO] + k_{13}[OH] + k_{15}[H] + k_{17}[HO_2])[O_3] + G_2 +$$

表 1

序 号	反 应	反 应 速 度 系 数
1	O <sub>2</sub> + hν → 2O	j <sub>2</sub>
2	{ O <sub>2</sub> + γ → 2O O <sub>2</sub> + O + M → O <sub>3</sub> + M	G <sub>2</sub> = 4MOA/100 θB
3	O <sub>2</sub> + O + M → O <sub>3</sub> + M	k <sub>3</sub> = 5.6 × 10 <sup>-54</sup> (300/T) <sup>2.36</sup>
4	{ O <sub>3</sub> + hν → O + O <sub>2</sub> → O <sub>2</sub> + O('D)	j <sub>3a</sub> j <sub>3b</sub>
5	O <sub>3</sub> + O → 2O <sub>2</sub>	k <sub>5</sub> = 2 × 10 <sup>-11</sup> exp(-2280/T)
6	N <sub>2</sub> + γ → N + N	G <sub>6</sub> = 3MOA/100θB
7	N + O <sub>2</sub> → NO + O	k <sub>7</sub> = 4.4 × 10 <sup>-12</sup> exp(-3220/T)
8	N + NO → N <sub>2</sub> + O	k <sub>8</sub> = 3.4 × 10 <sup>-11</sup>
9	NO <sub>2</sub> + hν → O + NO	j <sub>9</sub>
10	O <sub>3</sub> + NO → O <sub>2</sub> + NO <sub>2</sub>	k <sub>10</sub> = 2.3 × 10 <sup>-12</sup> exp(-1465/T)
11	O + NO <sub>2</sub> → NO + O <sub>2</sub>	k <sub>11</sub> = 9.3 × 10 <sup>-12</sup>
12	OH + NO <sub>2</sub> + M → HNO <sub>3</sub> + M	k <sub>12</sub> = 2.6 × 10 <sup>-30</sup> (300/T) <sup>2.7</sup>
13	O <sub>3</sub> + OH → HO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	k <sub>13</sub> = 1.6 × 10 <sup>-12</sup> exp(-940/T)
14	O + OH → H + O <sub>2</sub>	k <sub>14</sub> = 3.8 × 10 <sup>-11</sup>
15	O <sub>3</sub> + H → OH + O <sub>2</sub>	k <sub>15</sub> = 1.4 × 10 <sup>-10</sup> exp(-480/T)
16	O + HO <sub>2</sub> → OH + O <sub>2</sub>	k <sub>16</sub> = 3.1 × 10 <sup>-11</sup>
17	O <sub>3</sub> + HO <sub>2</sub> → OH + 2O <sub>2</sub>	k <sub>17</sub> = 1.4 × 10 <sup>-14</sup> exp(-600/T)
18	H + HO <sub>2</sub> → 2OH	k <sub>18</sub> = 3.2 × 10 <sup>-11</sup>
19	H <sub>2</sub> O + O('D) → 2OH	k <sub>19</sub> = 1.4 × 10 <sup>-10</sup>
20	OH + OH → H <sub>2</sub> O + O	k <sub>20</sub> = 1.0 × 10 <sup>-11</sup> exp(-500/T)
21	HO <sub>2</sub> + NO + M → HNO <sub>3</sub> + M	k <sub>21</sub> = 3.3 × 10 <sup>-33</sup>
22	HNO <sub>3</sub> + hν → OH + NO <sub>2</sub>	j <sub>22</sub>
23	OH + HO <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O + O <sub>2</sub>	k <sub>23</sub> = 3.5 × 10 <sup>-11</sup>
24	O('D) + O <sub>2</sub> → O + O <sub>2</sub>	k <sub>24</sub> = 3.7 × 10 <sup>-11</sup> exp(67/T)
25	O <sub>2</sub> + H + M → HO <sub>2</sub> + M	k <sub>25</sub> = 5.0 × 10 <sup>-32</sup> (300/T)
26	HO <sub>2</sub> + NO → OH + NO <sub>2</sub>	k <sub>26</sub> = 4.3 × 10 <sup>-12</sup> exp(-200/T)

$$+ k_3[\text{O}][\text{O}_2][M] \quad (1)$$

式中  $j_{3a}$ ——生成基态 O 的  $\text{O}_3$  光解速度；  
 $j_{3b}$ ——生成 O ('D) 态氧原子的  $\text{O}_3$  的光解速度；  
 $k_i$ —— $i$  化学反应的速度常数；  
 $G_2$  和  $G_6$ ——分别为描述在  $\text{O}_3$  和  $N$  生成过程中放射性辐射贡献的参数。

其它成份的方程与此相类似。

臭氧浓度随时间的变化由微分方程组积分求得。

方程组中的参数预先确定，反应速度常数  $k_i$  取自文献[1]。

光解速度  $j_i$  描述的是紫外辐射对  $i$  成份光解的贡献。参数  $G_2$  和  $G_6$  用下面的方法确定。大家知道，放射性辐射穿过空气时生成臭氧和氮原子，而臭氧和氮原子的生成率  $g_2$  和  $g_6$ ，根据文献[6]，每吸收 100 电子伏能量分别等于 4 个分子和 3 个分子（4 分子/100 电子伏和 3 分子/100 电子伏）。

作为例证，我们探讨一下 5 公里高度上 1 个百万吨级的核爆炸。火球闪光时间  $\Delta t$  约 10 秒钟。火球闪光期间  $\gamma$  射线消耗掉的能量为爆炸能量的 2% ( $\alpha$  射线和  $\beta$  射线由于在空气中传输距离很短而未予考虑)。 $\gamma$  射线在空气中的传输可用幂指数律描述

$$E = E_0 \exp(-\alpha(R - R_m)),$$

式中  $R_m$ ——火球半径；

$\alpha$ ——空气中  $\gamma$  辐射的衰减系数(对 0.7 百万电子伏量子而言)；

$E$ —— $\gamma$  射线在半径为  $R$  的火球之外所携带的能量；

$E_0$ ——火球闪光期间  $\gamma$  射线辐射的全部能量。

距爆炸中心不同距离上单位体积吸收的能量

$$E_n = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{E_0 \alpha \exp[-\alpha(R - R_m)]}{4 \pi R^2} \quad (2)$$

知道了吸收能量  $E_n$ ，就可以计算出该单位体积中单位时间内臭氧和氮原子的生成数量

$$G_2 = E_n g_2 / \Delta t; (G_6 = E_n g_6 / \Delta t)$$

下面我们来确定  $\text{O}_2$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{HNO}_3$  的光解速度。

众所周知，爆炸能量的 1/3 左右为光辐射，闪光期间火球温度由 10000 K 降至 2000 K。假定火球闪光期间的平均温度等于  $T = 6000$  K，那么火球的辐射谱与绝对黑体在该温度条件下的辐射谱相一致，并可用如下公式表示：

$$e = \frac{2 \pi c^2}{\lambda^5} \frac{h}{e^{hc/KT} - 1} \quad (3)$$

式中  $c$ ——光速； $\lambda$ ——辐射波长； $h$ ——普朗克常数； $K$ ——玻尔兹曼常数； $T$ ——温度 ( $T = 6000$  K)。

然后就可以确定距火球中心  $R$  距离上的爆炸谱强度：

$$I_R = \frac{A \varepsilon \lambda}{S \Delta t h c} \quad (4)$$

式中  $S = 4 \pi R^2$ ；

$A$ ——一常数，根据整个辐射谱积分，由用于光辐射的能量应占整个爆炸能量 1/3 这个条件确定。

考虑到紫外辐射在空气中传输要受到衰减，光解速度可以描述为：

$$j_i(R) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{A \varepsilon \lambda}{S \Delta t h c} \exp(-K_\lambda (R - R_m)) \sigma_i(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

式中  $\sigma_i$ —— $i$  成份的光解截面；

系数  $K_\lambda$  用下面的式子表示：

$$K_\lambda = N_2 \sigma_2(\lambda) + N_3 \sigma_3(\lambda) + N_m \sigma_m(\lambda) \quad (6)$$

式中  $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_m$  分别为单位体积中  $\text{O}_2$ 、 $\text{O}_3$  和空气的分子含量。

$\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ 、 $\sigma_m$  分别为  $\text{O}_2$ 、 $\text{O}_3$  的光解截面和分子散射截面。

严格确定微分方程组的参数以后，即可用欧拉的反演方法进行数值积分求解<sup>[7]</sup>。上述参数值随着与爆炸中心距离的变化而变

化。在 1、1.5、……、5 公里的距离和相应参数的情况下火球行将熄灭时的臭氧浓度值通过微分方程组的解求得。

根据计算，随着距爆炸中心距离的变化(1—5 公里)，臭氧浓度也由  $6.8 \times 10^{14}$  分子/厘米<sup>3</sup> 逐步减少到爆炸高度上( $H=5$  公里)臭氧的天然浓度。在  $1 \leq R \leq 5$  公里的球面层中臭氧的生成总量  $N_{O_3} = 5 \times 10^{30}$ /1 百万吨级，比文献[9]中的相应值小，文献[9]中  $N_{O_3} = 2.3 \times 10^{32}$  分子/1 百万吨级，造成这种情况的原因可能是，我们不仅考虑了臭氧的生成过程，而且还考虑到了紫外线、核辐射和化学反应等对臭氧的破坏过程。

这样，根据我们的计算，在模拟核爆炸对臭氧影响时，由于紫外线和核辐射的影响而生成的臭氧对臭氧总体平衡的贡献并不大。

## 2. 核爆炸上升蘑菇云中臭氧浓度的变化

下面我们将探讨光化过程和扩散对上升蘑菇云中臭氧浓度的影响。为此我们利用上述模式并做了一些改进，如考虑了上升蘑菇云的扩展和由周围空间进来的因素。这样，臭氧方程就具有以下形态：

$$\begin{aligned} \frac{d[O_3]}{dt} = & -(j_{3a} + j_{3b} + k_5[O] + k_{10}[NO] \\ & + k_{13}[OH] + k_{15}[H] \\ & + k_{17}[HO_2]) \times [O_3] + G_2(t) \\ & + k_3[O][O_2][M] \\ & + \left\{ ([O_{3e}] - [O_3]) \frac{1}{V(t)} \frac{dV}{dt} \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

式中，

$G_2(t)$ ——描述裂变物质放射性辐射对  $O_3$  生成贡献的参数；

$[M]$ ——1 立方厘米空气中的分子总量；

$[O_{3e}]$ ——蘑菇云中心高度上云外臭氧的天然浓度；

$V(t)$ —— $t$  时刻上升蘑菇云的体积。

方程(7)用于云中心的计算，其中大括号中的最后一项描述的是爆炸扩展云之外臭氧的贡献。文献[4]中也有同样的描述。其它成份方程式的描述与此类似。

为了求解已获得的相对于 10 个变量(所选分量浓度)的 10 个微分方程组，必须预先确定方程组中的参数。作为例子，我们将对强度为 1 个百万吨级的核爆炸进行计算。计算中所用蘑菇云的温度、体积和上升速度值由经验公式确定或利用文献[3]中给出的资料。

反应速度系数  $k_i$  随时间而变化，因为上升蘑菇云的温度在变化。 $k_i$  和温度的这种相关性取自文献[1]。 $G_2$  和  $G_3$  描述的是裂变物质放射性辐射对  $O_3$  和  $N$  形成的贡献。为了计算放射辐射在空气中传播时单位时间内有多少能量被吸收掉，我们利用了描述裂变物质放射辐射强度随时间变化的公式：

$$E(t) = E_0 t^{-1.2} \quad (8)$$

常数  $E_0$  由公式(8)随时间的积分应等于残余核辐射的能量这个条件来确定(根据文献[3]残余核辐射拥有爆炸能量的 10%)。

确定了单位体积内被吸收掉的辐射能  $E(t)/V(t)$  和臭氧辐射生成率  $g_2$ (分子/100 电子伏)以后，即可算出单位时间单位体积内在裂变物质放射性辐射作用下生成的  $O_3$  分子数  $G_2$ ，也就是说，

$$G_2 = E(t)/V(t) \cdot g_2$$

由于在大气核爆炸云中吸收了大量的对太阳辐射通量具有衰减作用的尘埃(10 吨/千吨左右)，所以  $NO_2$ 、 $O_2$ 、 $O_3$ 、 $HNO_3$  的光解速度应该相等，等于零( $j_i = 0$ )。这种推测的正确性已由云中心上空的大气光学厚度的评估得到了证实。由微分方程组的数值解获得了上升蘑菇云中  $O_3$  浓度(和其它成份)随时间变化的相关性。

对强度为 1 百万吨、高度为  $H=1$  公里的核爆炸也进行了计算。 $NO$  和  $NO_2$  的初始浓度由假定给出，即假定在核爆炸中  $NO=10^{22}$  分子  $NO_x$ /1 百万吨级。

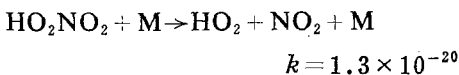
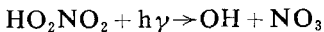
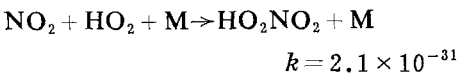
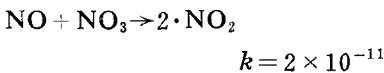
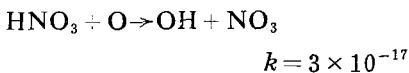
其它成份的初始浓度令其等于该高度上的天然浓度。

计算结果表明,当蘑菇云达到其稳定高度时,该云中心的臭氧浓度等于  $2.15 \times 10^{12}$  分子/厘米<sup>3</sup>,比该高度上云外臭氧的平均浓度低 30% ( $2.8 \times 10^{12}$ )。造成这种情况的原因是,蘑菇云上升期间氮的氧化物对臭氧的破坏过程强于在爆炸裂变物质辐射作用下臭氧的生成过程。

### 3. 单颗核爆炸中平流层 臭氧浓度变化的模拟

描述大气臭氧浓度变化模式的基础是文献[4]中的非常定性光化学模式。该模式考虑了蘑菇云的水平扩散、臭氧和其它要素(组元)从周围空间向云内的渗入、臭氧的垂直扩散输送等,可以描述高至爆炸云顶的臭氧垂直分布廓线。

本模式补充了一些有 H、OH、HO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>、HNO<sub>3</sub>、HO<sub>2</sub>NO<sub>2</sub> 参与的光化学反应。反应统计表中的反应包括表 1 中的反应(不包括辐射化学反应,因为放射物残余部分对 O<sub>3</sub> 和 N 形成的贡献,由于在空气中的衰变和减弱而减小)和有 NO<sub>3</sub> 与 HO<sub>2</sub>NO<sub>2</sub> 参加的反应:



进入云中的 NO<sub>x</sub> 等于体积增量与云外 NO<sub>x</sub> 浓度的乘积。由大气扩散引起的云中 NO<sub>x</sub> 浓度的变化可由如下方程描述<sup>[4]</sup>

$$\frac{dC}{dt} = (C_e - C) \frac{1}{V} \frac{dV}{dt}$$

式中 C 和 C<sub>e</sub> 分别为云中和云外 NO<sub>x</sub> 的浓

度;

V(t)——云的体积。

如果只考虑水平扩散,则可描述为

$$V = V_0 + 2\pi\sigma^2 \cdot \Delta H^{[4]}$$

式中 σ<sup>2</sup>——高斯的杂质分布离散度;

ΔH——云的垂直高度;

V<sub>0</sub> = (πd<sup>2</sup>/4)ΔH, 为云的初始体积(d 为云的初始水平直径)。

用如下方程描述水平离散的变化是相当好的,

$$\sigma^2 = \alpha^2 u^2 t$$

式中 u——风速;

α——数字系数,对该高度而言,令其等于 0.03<sup>[4]</sup>。

描述其它成份进入云中的通量与此相类似。

模式中把 0—40 公里的垂直大气柱分为 18 层。每一层都有其特有的空气成份的天然浓度、光解速度、温度和相应的化学反应速度常数。为了计算化学反应速度常数,各高度上的温度平均值的选取和文献[13]中的一样。

O<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 和 NO<sub>2</sub> 的光解速度计算均考虑了它们所在层以上各层中的臭氧含量。HNO<sub>3</sub> 和 HO<sub>2</sub>NO<sub>2</sub> 的光解速度值等于它们的年平均<sup>[2,5]</sup>。

相应于所选成份浓度的 10 个微分方程组与光化反应是一致的。

方程组直接的数值积分结果不太稳定,表现为氮的氢氧化物和氮的氧化物要素总量守恒定律遭到了破坏。利用 Д.А.Северов-ый 提出的求解校准法可以避免计算的不稳定性。该校准法是把被检查总量中的每一要素的浓度乘上一个系数,以保证在每一步积分中该总量不变。

图 1 给出的是 10 个百万吨级核爆炸云中不同高度上臭氧和二氧化氮浓度随时间相对变化的计算结果。由图 1 可见,经过了 12 个昼夜之后,被破坏了的臭氧几乎完全恢复到了原来的状态。这实际上与 NO<sub>x</sub> 从云中的高浓度到云外的天然浓度的变化(稀释)是

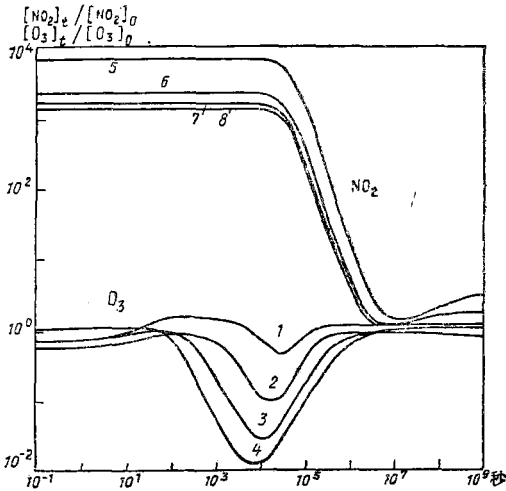


图 1 不同高度上云中  $O_3$  和  $NO_2$  浓度随时间  $t$  的相对变化

- 1) 15 公里; 2) 20 公里;
- 3) 25 公里; 4) 30 公里 ( $O_3$ );
- 5) 15 公里; 6) 20 公里;
- 7) 25 公里; 8) 30 公里 ( $NO_2$ );

$[O_3]_0$  和  $[NO_2]_0$  分别为该高度上  $O_3$  和  $NO_2$  的天然浓度

一致的。

根据文献[12]作者的假定,在核爆炸条件下,火球上升过程中从其周围空间卷入的部分水汽不断分解,从而生成(H+OH)。

根据化学反应(13—17,表 1),云中(H+OH)含量的增加应该导致( $O_3+O$ )通量的增加。

另一方面,(H+OH)的增加还会导致部分 NO 和  $NO_2$  转变为  $HNO_3$  和  $HO_2NO_2$  (化学反应 12、21、25 及其它),结果应导致减少由氮循环决定的臭氧的破坏。

对于  $HO_x$  在云中的各种初始浓度 ( $10^8$ 、 $10^9$ 、 $10^{10}$  分子/厘米<sup>3</sup>) 来说,爆炸云中臭氧浓度的模拟计算未表明,  $HO_x$  的注入量对  $O_3$  浓度的变化有明显的影响,这可由上述反应过程的相互补偿得到解释。

文献[12]给出的 NO 和  $O_3$  的浓度资料是中国 1976 年 11 月进行的一次 4 百万吨级的核爆炸,是爆炸 7 天后爆炸云从美国上空 18 公里高度上通过时测得的资料。我们把所获得的中国核爆炸试验数据与我们模拟计算的结果进行了比较。对当量为 4 百万吨级的

核爆炸来说,蘑菇云稳定时的水平半径值应为 30 公里左右,比文献[12]中的值小 1/3。

图 2 给出了在  $NO_x = 3 \times 10^{12}$  分子/厘米<sup>3</sup> 和  $NO_x = 10^{13}$  分子/厘米<sup>3</sup> 的初始浓度下,18 公里高度上云中 NO 和  $O_3$  浓度变化的计算值。图中的垂直柱状线表明了爆炸 7 天后 18 公里高度上云中  $NO_x$  和  $O_3$  浓度测量值的变化范围,曲线 5 和 6 分别是文献[12]中  $O_3$  和  $NO_x$  浓度的计算值。

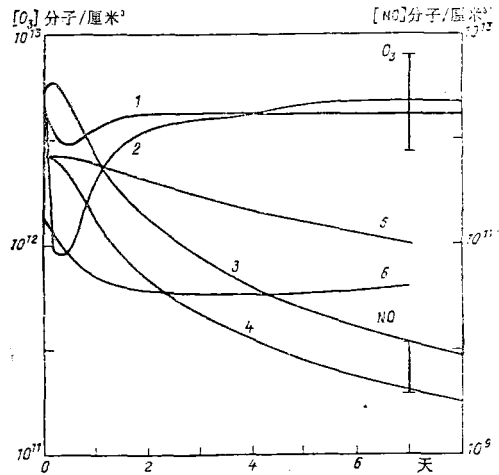


图 2 中国核爆炸云中  $O_3$  和 NO 浓度随时间变化的计算值

1 和 2 是  $NO_x$  的注入量分别为  $3 \times 10^{12}$  和  $1 \times 10^{13}$  分子/厘米<sup>3</sup> 时的  $O_3$  值; 3 和 4 是  $NO_x$  的注入量如同 1 和 2 时的 NO 值; 5 和 6 是文献[12]中的  $O_3$  和 NO 的计算值

我们计算得出的 NO 和  $O_3$  的浓度值与爆炸 7 天后 NO 和  $O_3$  的实测浓度值相一致[12]。但是根据这种吻合难以判断 NO 和  $O_3$  的计算浓度与 7 天中的实际浓度是否一致。

表 2 给出的是通过云中心的垂直大气柱

表 2

爆炸强度 (百万吨)	爆炸后的时间 (小时)			
	3.0	10	30	70
10	36	34	51	78
4	52	51	67	90
2	74	69	83	97

中臭氧相对含量(%)随时间变化的计算值。

计算表明,在 10—40 百万吨级(及以上)核爆炸的情况下,垂直大气柱中的臭氧含量可能会大量减少。在 1 百万吨级核爆炸情况下臭氧含量的局地变化不那么明显。

#### 4. 大规模核袭击作用下大气中臭氧总含量的变化

在模拟大规模核爆炸对大气影响时,人们探讨了各种假设的核战争构想[8、14、15、16]。核武器的总储量估计有 12000 百万吨<sup>[15]</sup>。在下列计算中假定在核战争中将使用 10000 百万吨核炸弹。

核爆炸物质(尘埃、碎片和氮氧化物)经过某段时间以后将扩散到整个北半球。计算中假定北半球范围内氮的氧化物是均匀混合的。

图 3 是我们给出的在核袭击情况下注入大气中的氮的氧化物的垂直分布和臭氧的垂直廓线<sup>[13]</sup>。

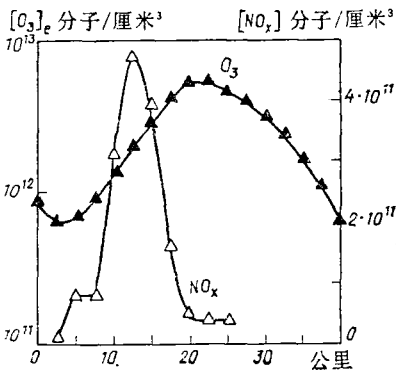


图 3 一系列核爆炸引起的臭氧浓度和  $\text{NO}_x$  浓度随高度的变化

$\text{NO}_x$  的垂直分布形态取决于所探讨的核战争构想。弹头强度越大,进入平流层的氮的氧化物越多,臭氧层所受破坏就越严重。在本研究构想中弹头最大强度假定为 2 个百万吨。

我们用上述模式估算了大气中的臭氧含量因核战争而发生的变化。不过,我们对模式作了某些修改,以便考虑在天然的自动清

除作用下从大气中消除的氮氧化物。假定的条件是,核爆炸云带入平流层和对流层的  $\text{NO}_x$  增量按半衰减周期为一年和 14 天的指数律消失。同时,来自平流层的氮氧化物经过对流层消失。

通过计算获得了垂直大气柱中臭氧相对含量随时间变化的关系。垂直大气柱中臭氧的最低含量达 93%。

文献[16]是描述核爆炸对大气影响的一部专著。它对由核爆炸尘埃对大气的加热作用(核爆炸尘埃能吸收太阳辐射)而引起的温度变化进行了估算,认为爆炸尘埃可能使大气的温度升高 10—80°C。

为了研究温度的升高对臭氧的影响,模式中引入了文献[16]中温度垂直廓线随时间变化的机制。

0、2.5、5、7.5、……40 公里高度上的温度变化可由  $y = at \exp(-bt)$  型公式计算得出,式中  $t$  为时间(秒),参数  $a$  和  $b$  的选择原则是,要使计算得出的大气温度垂直廓线随时间的变化与文献[16]中的计算结果基本一致。图 4 给出的是计算得出的考虑到核爆炸尘埃对大气的加热因素的垂直大气柱中臭氧相对含量随时间的变化曲线。如果考虑爆炸尘埃对大气的加热作用,那么垂直大气柱中臭氧的最低含量是原含量的 71%。

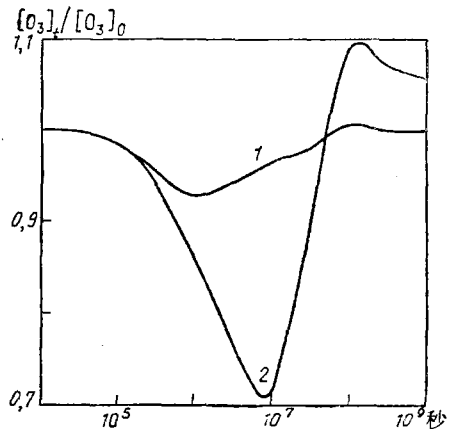


图 4 在大规模核打击环境中垂直大气柱中臭氧相对含量随时间的变化

- 1 —— 不考虑爆炸尘埃对大气的加热作用;
- 2 —— 考虑爆炸尘埃对大气的加热作用

参考文献(略)

张贵银译自《МЕТЕОРОЛОГИЯ И

ГИДРОЛОГИЯ》1990年第12期

元来福校