0—33 公里大气臭氧和气溶胶垂直分布的气球观测*

石广玉 许 黎 吕位秀 任丽新 游荣高
（中国科学院大气物理研究所，北京）
高木增美 岩田晃 森田恭弘 近藤丰
（日本名古屋大学空电研究所）

臭氧是大气中的一种微量气体成分．尽管它在大气中的含量很少，但它对于人类和整个生物系统却至关重要．正是由于臭氧对太阳紫外辐射的吸收，才得以使地球上包括人类在内的整个生物界免遭过量的太阳紫外辐射之害．近年来，人类活动对臭氧含量的影响已成为一个众所关注的问题．大气臭氧含量的变化不但影响到大气中大量光化学反应，而且由于臭氧是平流层的热源，所以臭氧垂直分布的变化将直接影响平流层的温度结构；臭氧总量及其垂直分布的变化还将改变太阳辐射的透过率和地球向上的红外辐射，从而影响到气候．因此，精确地测量大气臭氧含量的垂直分布及其总量是十分重要的．目前在中国，虽然在北京和云南两地设立了 Dobson 臭氧仪的常规观测站，但一直没有进行过臭氧垂直分布的直接探测．这次中国科学院大气物理研究所与日本名古屋大学空电研究所所进行的臭氧垂直分布的气球观测在中国还是第一次．

一、仪器与观测

观测大气臭氧所用的仪器系由日本明星电气株式会社生产的 RSII-KC79 型电化学臭氧探空仪改装而成．其原理是：当外部空气通过碘化钾溶液时，空气中的 O_3 与 KI 发生反应，生成气体碘：

$$2KI + O_3 + H_2O = 2KOH + I_2 + O_2, \tag{1}$$

如果在溶液中插入两个电极，并在阴极上加上不大的电压（12 V），那末，I_2 分子将向阴极移动，并在其附近变成离子：

$$I_2 + 2e = 2I^-. \tag{2}$$

然后，这些碘离子将在电场作用下奔向阳极并在其附近还原为碘分子：

$$2I^- - 2e = I_2, \tag{3}$$

这样所生成的离子电流（迁移电荷）将与在单位时间内同溶液发生反应的臭氧量成正比．因此，测量溶液中所流过的电流即可得到大气中的 O_3 含量．为了提高观测结果的精度，在计算中考虑了与气压有关的空气流量订正以及温度订正．

气溶胶浓度的观测仪器是日本名古屋大学空电研究所研制的光散射式粒子计数器，分直径 $D \geqslant 0.3\mu$ 和 $D \geqslant 0.5\mu$ 两个量程．

本文 1985 年 11 月 15 日收到．
* 参加这项工作的还有张文、刘广仁等同志．

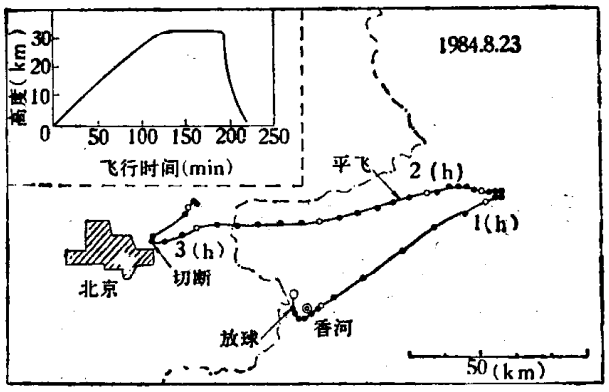

图 1　气球飞行航迹

观测于 1984 年 8 月 23 日下午 4 时 10 分在河北省香河县大气物理研究所香河观测站高空科学气球基地进行. 运载观测仪器的气球体积 30000m³,连同其他观测仪器在内吊篮重 200 kg. 图 1 给出了气球飞行的航迹. 气球平均升速为 300m/min. 飞行 70min. 到达 20.5km 高度后,进入东风层,气球由东向西返回; 飞行 127min、到达 32.8km 高度后, 进入平飞状态; 在 33km 高度上下平飞 66min 后,按照地面的切断指令,观测吊篮与气球分离, 25min 后安全降落在香河观测站西北方向大约 45km 处. 整个观测时间历时 218min. 气球飞离香河观测站的最大水平距离为 65km,位于香河县东北方向.

二、结果与讨论

图 2 给出了在气球上升过程中观测所得的臭氧含量和气温的高度分布. O_3 含量分别以臭氧分压 (nb) 和体积混合比 (ppmv) 两种单位表示. O_3 分压 P_3 的计算公式为[1]

$$P_3 = \frac{R}{M_3} T\rho_3, \tag{4}$$

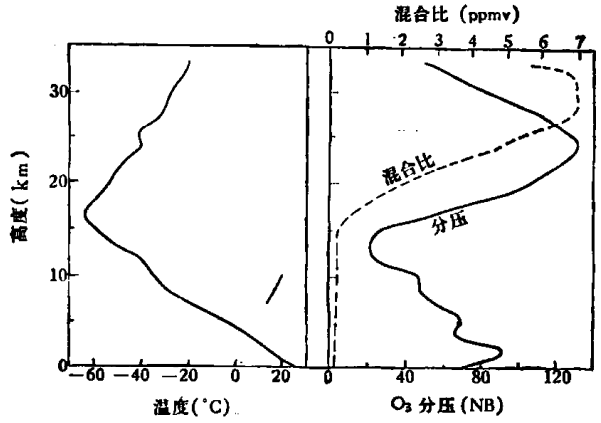

图 2　气温及臭氧含量的高度分布

式中 R 为通用气体常数, T 为大气温度, M_3 和 ρ_3 分别为 O_3 的分子量和质量密度. 借助臭氧分压 P_3 和空气压力 P 可将体积混合比 r' 表示为

$$r' = P_3/P. \tag{5}$$

由气温廓线我们可以看到，观测当日的对流层顶大致在 15km 左右. 对流层的温度直减率平均为每公里 6℃ 左右. 在整个对流层，O_3 的分压浓度较小，且总的趋势是由地面向对流层顶递减，与温度廓线一致，但起伏很大. 到达 16km 以后，O_3 分压浓度开始增大，一直增加到 24km 附近达到极大值 133nb. 另一方面，O_3 体积混合比却由地面向对流层顶递增. 不过，在整个对流层其值均小于 0.2ppmv. 从 15km 开始，O_3 体积混合比明显增大，其极大值出现在 30km 附近，比分压浓度极大值高度大约高出 6km. 由(5)式我们可以看到，这是因为在 P_3 的极大值高度之上，分母 P 较分子 P_3 减小得更快而引起的.

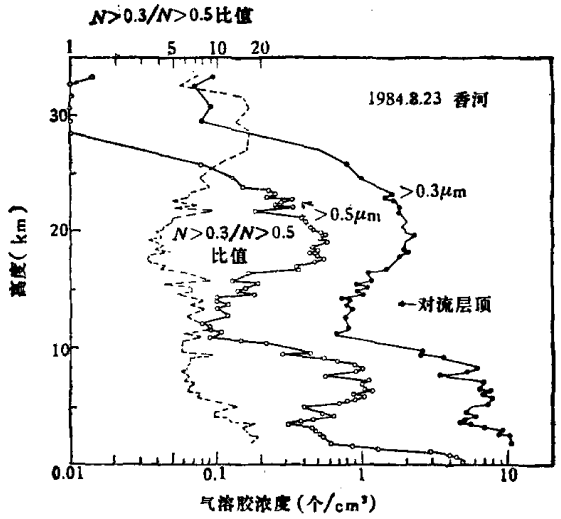

图 3　气溶胶粒子浓度的高度分布

光散射式粒子计数器观测所得的直径 $D \geqslant 0.3\mu$ 和 $D \geqslant 0.5\mu$ 的气溶胶数密度（折算为折射率 1.4 的球形粒子）以及二者的比值（虚线）随高度的分布表示在图 3 中. 由图 3 我们可以看到：气溶胶数密度随高度分布的一个突出特征是存在着三个极大值区域. 第一个出现在 20km 左右的平流层，这就是著名的 Junge 层，其数密度为 2 个/cm^3 左右. 另外两个极大值区域在 10km 以下的对流层. 地面附近的气溶胶粒子浓度最大，显然与地面扬尘及人类活动有关. 6—8km 的浓度极大值区，在 1983 年 9 月 28 日的同一地区的气球观测中也出现过[2]，但没有这次明显. 另外，1974 年 5 月，高木增美等人[3]在美国西北部的拉腊米也曾观测到这一现象. 这是否属于观测地区的气溶胶空间分布特征，或是不可见卷云的影响(因为该高度正是卷云可能存在的高度)，尚有待于进一步的观测证实. 图 3 中的虚线表示 $D \geqslant 0.3\mu$m 和 $D \geqslant 0.5\mu$m 的气溶胶粒子数之比. 可以看出，尽管存在相当大的起伏，但就总体而言，在地面附近和 30km 附近的高空，小粒子相对较多，而在 20km 附近的 Junge 层，小粒子相对较少.

致谢：在气球发放和吊篮回收过程中，得到大气物理研究所高空气球研究室、高能物理研究所空间中心和广州电子技术研究所等各有关同志的大力支持，谨致衷心的谢意.

参　考　文　献

[1] 任现淼、钱志民译，标准大气(美国，1976)，科学出版社，1982，49.
[2] 任丽新、游荣高、张育堂，科学通报，29(1984)，1121—1124.
[3] 高木增美、森田恭弘、石川晴治，大气球シンポジウム，东京大学宇宙航空研究所，1976，38.