

Brewer 分光光度计遥感大气臭氧 垂直廓线的研究*

张毅平

(Colorado State University, U. S. A.)

周秀骥 薛庆渝

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要

利用建立的球面分层大气散射模式,研究了 Brewer 仪器工作波长进行 Umkehr 短法反演所包含的信息量,给出 Brewer 仪器探测大气臭氧垂直廓线的方法.同时,用气溶胶光学厚度计算得到气溶胶订正系数,建立了 Umkehr 反演的程序.用此程序对 Table Mountain 资料进行气溶胶修正,得到了较好的结果.对北京测站 1991 年 1—3 月资料进行由气溶胶造成的臭氧反演廓线的误差计算,结果表明,用常规反演方法得到的各层臭氧含量的误差与平流层气溶胶光学厚度有一近似线性的关系;进行气溶胶修正后,与国外的臭氧反演廓线的误差修正工作^[1]比较,结果较一致.研究提出的气溶胶订正反演方法为更好地对平流层臭氧变化趋势进行研究提供了可能性和可靠的基础.

关键词: 臭氧垂直廓线;气溶胶修正;分光光度计;Umkehr 短法.

1 引 言

臭氧对太阳紫外辐射的强烈吸收,不仅保护地球上生物的生存活动,使之不受紫外 UVB 辐射的损害,而且为地球-大气系统提供了能源,对全球气候的形成及变化具有重要的制约作用.近年来,人类活动导致了平流层臭氧的减少,甚至在极地上空形成所谓“空洞”,这种变化引起世界各国的密切关注.

平流层和对流层臭氧的变化不仅影响人类健康和动植物的生长,也对长期气候变化起重要作用.因此,长期监测平流层和对流层臭氧的变化就显得极为重要,而 Umkehr 方法是世界气象组织(WMO)常规采用测量臭氧垂直廓线的四种方法之一.

由于忽略气溶胶的存在,使常规 Umkehr 方法所得臭氧垂直廓线存在偏差^[1,2].在 20—40km 高度范围内,Umkehr 方法所得臭氧廓线与其它探测方法所得的廓线,其偏差在 10%左右^[3].因此本文利用我国第一台 Brewer 仪器,用短 Umkehr 方法和原理,建立

1993年5月8日收到,11月25日收到修改稿.

* 国家自然科学基金资助项目.

了综合考虑气溶胶影响和多次散射影响反演臭氧廓线的程序,以使反演臭氧廓线的精度得到提高,使反演方法完善.下面给出我们所采用方法的原理和结果.

2 Umkehr 方法的原理

由分子散射和臭氧吸收所引起的 Umkehr 效应,可以得到关于臭氧垂直分布的信息. Deluisi (1979b)^[4]提出了一种短 Umkehr 方法,用多个波长对代替多个角度进行观测,从而缩短 Umkehr 观测的时间. Mateer 等^[5]发展了这种短 Umkehr 方法,取 Dobson 仪器的三组波长,用统计光滑解法反演遥感方程.

2.1 曙暮光时刻天顶辐射强度和观测角度

球面大气中,若不考虑气溶胶散射,仅讨论来自天顶方向的一次散射辐射.直射太阳辐射到达高度 z 处的强度为:

$$I^*(\lambda, \theta, z) = I_{0a} \exp\left\{-\int_z^\infty (\beta_r + \beta_{oz}) ds'\right\} \quad (1)$$

式中, I_{0a} 是大气上界太阳光谱; θ 是太阳入射天顶角; β_r 是分子体散射系数; β_{oz} 是臭氧体吸收系数.地面上接收的一次散射总光强,即不同高度散射辐射的总和,即:

$$I_1(\lambda, \theta) = I_{0a} \int_0^\infty \beta_r p_r(\theta) dz \cdot \exp\left\{-\int_0^z (\beta_r + \beta_{oz}) dz' - \int_z^\infty (\beta_r + \beta_{oz}) L(z') dz'\right\} \quad (2)$$

球面大气中,天顶方向到达地面的二次散射光强,辐射传输方程如下:

$$\frac{dI_2}{dz} = -(\beta_r + \beta_{oz}) I_2 + \beta_r \int_{-1}^1 \int_0^{2\pi} p(-1; \mu', \phi) \cdot I_1(z, \mu', \phi) d\mu' d\phi \quad (3)$$

二次散射光强的求解同一次散射类似,先求出二次散射光路上(此处为天顶方向)任一点处各个方向到这点的一次散射光,方向的选取由 4π 立体角的高斯积分决定;然后对式(3)进行数值积分,从而求出二次散射光强 I_2 .

曙暮光时仪器的观测角度和波长范围由所包含臭氧垂直分布的有效信息量和仪器检测灵敏度决定.有效信息量依赖于不同波长和天顶角下有效散射层(即对辐射贡献最大的高度区域)的高度分布,为使问题简单,我们用单次散射近似来研究有效散射层的高度分布.

式(2)中被积函数反映了各个高度到达地面的散射光强,将其称为贡献函数,为:

$$Q(\lambda, \theta, z) = \beta_r p_r(\theta) \exp\left\{-\int_z^z (\beta_r + \beta_{oz}) dz' - \int_z^\infty (\beta_r + \beta_{oz}) L(z') dz'\right\} \quad (4)$$

取波长对(单位: nm) (306.3, 323.3); (310.0, 326.5); (316.8, 329.6),在天顶角 $75^\circ-90^\circ$ 之间,计算 Q 的值,如图 1—图 3 所示.

从图中可看出,在不同波长对和天顶角下,贡献函数的极大值间隔比较合理,且这些角度和波长对的选取对 20—40km 之间的臭氧变化比较敏感.

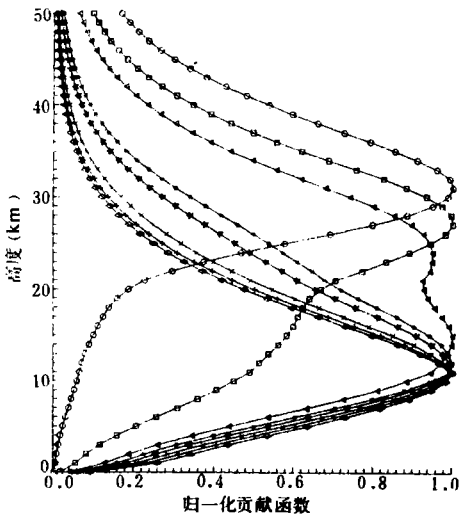


图1 (八个波长归一化一次散射贡献函数随高度变化(八个波长(nm): \circ 306.3; \square 310.0; \triangle 313.5; \star 316.8; 对应天顶角 $\theta=80^\circ$ \star 320.0; \times 323.3; $+$ 326.5; \diamond 329.6)

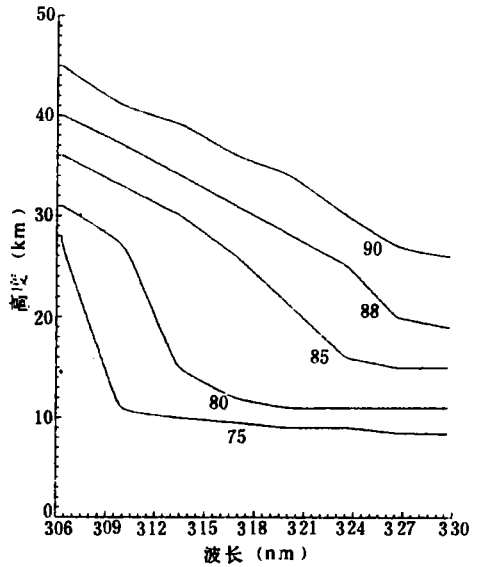


图2 不同太阳天顶角各个波长一次散射贡献函数峰值的高度分布(波长范围:306—330nm, 天顶角 $\theta=75^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 88^\circ, 90^\circ$ 对应臭氧总量 $\Omega \geq 324DU$)

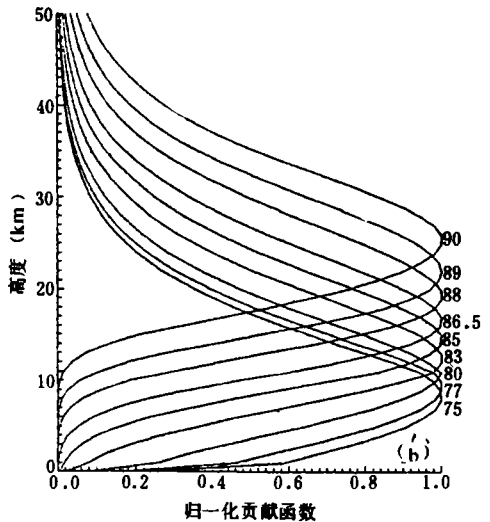
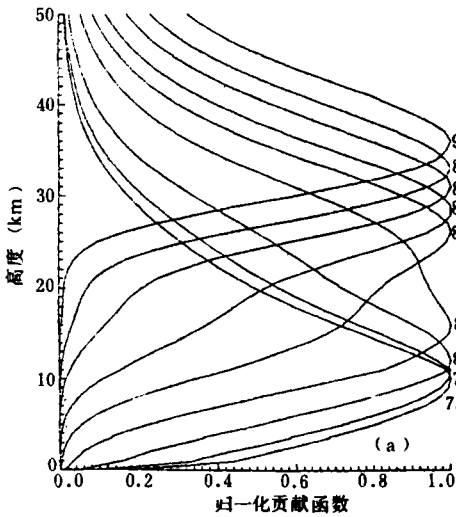


图3 不同波长在天顶角 $\theta=75^\circ, 77^\circ, 80^\circ, 83^\circ, 85^\circ, 86.5^\circ, 88^\circ, 89^\circ, 90^\circ$ 时归一化一次散射贡献函数随高度的变化 (a) 对应波长 $\lambda=316.8nm$ (b) 对应波长 $\lambda=329.6nm$

2.2 短 Umkehr 方法

$$\text{定义} \quad N = 100 \log_{10}(I_x/I_\lambda) + K \quad (5)$$

其中 K 值是由仪器性质和大气上界光通量比组合成的未知常数. 对 N 值进行线性截断泰勒展开, 得到方程^[5]:

$$\sum \frac{\delta U}{\delta \eta_i} \Delta \eta_i = N(\theta, \lambda, \lambda') - U(\theta, \lambda, \lambda') \quad (6)$$

其中 $N(\theta, \lambda, \lambda')$ 为太阳天顶角 θ 时, 波长 λ, λ' 组的测量值; $U(\theta, \lambda, \lambda')$ 是由初始臭氧猜测廓线计算所得对应 N 的计算值; $\Delta \eta_i = \ln(x_i/x_{i0})$, x_i 和 x_{i0} 分别是 i 层臭氧含量的解和初始猜测值. 用单次散射模式处理式(6), 同时对天顶散射光强测量值进行多次散射订正. 由式(5),

$$N = 100 \log_{10} \frac{I_x}{I_\lambda} + 100 \log_{10} \left\{ \left(1 + \frac{I_{Mx'}}{I_{1x'}} \right) / \left(1 + \frac{I_{M\lambda}}{I_{1\lambda}} \right) \right\} + K \quad (7)$$

$$\text{令} \quad \psi(\theta, \lambda, \lambda') = 100 \log_{10} \left\{ \left(1 + \frac{I_{Mx'}}{I_{1x'}} \right) / \left(1 + \frac{I_{M\lambda}}{I_{1\lambda}} \right) \right\}$$

$\psi(\theta, \lambda, \lambda')$ 即所用的多次散射订正系数. 因此式(6)可写为:

$$\sum \frac{\delta U}{\delta \eta_i} \Delta \eta_i = N'(\theta, \lambda, \lambda') - U(\theta, \lambda, \lambda') \quad (8)$$

$$N'(\theta, \lambda, \lambda') = N(\theta, \lambda, \lambda') - \psi(\theta, \lambda, \lambda')$$

式(8)是经多次散射订正反演臭氧垂直分布的线性模式. 取三对波长和一系列天顶角的 N 观测值, 将式(8)简化为解 M 个代数方程.

$$\sum \frac{\delta U_k}{\delta \eta_i} \Delta \eta_i = N_k' - U_k, \quad k = 1, 2, \dots, M; M = 3 \times \text{所取天顶角数} \quad (9)$$

计算中为消去仪器常数 K , 各个角度的测量值减去起始角度测量 N 值, 方程(9)再加入一个保持臭氧总量的强迫方程.

将测量误差和方程截断误差总和记为矢量 ϵ ; $\epsilon = (\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_M)$, 方程组(9)以矩阵形式表示如下:

$$g_\epsilon = g + \epsilon = Af + \epsilon \quad (10)$$

A 是一次变分 $\frac{\delta U_k}{\delta \eta_i}$ 的 $M \times N$ 维阵; $f = f_1, f_2, \dots, f_N, f_i = \Delta \eta_i$, N 是反演的臭氧廓线的层数; $g = g_1, g_2, \dots, g_M; g_k = N_k' - U_k$, M 是观测次数.

3 气溶胶订正的计算和反演

常规 Umkehr 反演的臭氧廓线与其它探测方法所得廓线存在偏差, 其偏差主要原因是常规反演未考虑气溶胶影响造成的. Dave 等^[6]指出气溶胶光学厚度 τ 是影响反演的重要因素, 而气溶胶谱分布、折射指数虚部和浓度垂直分布的形状等只产生二次的影响. Deluisi 等^[7]用实测气溶胶资料和气球载臭氧探测仪资料订正月平均的 Umkehr 观测资料, 从而得到经气溶胶修正的月平均的臭氧反演廓线; Reinsel 等^[8]给出以平流层气溶胶光学厚度为变量的气溶胶统计经验修正公式. 本文用 Umkehr 短法原理, 综合考虑气溶胶和多次散射影响, 对每天的 Umkehr 观测资料直接反演, 得到经过气溶胶修正的臭氧廓线.

定义气溶胶订正系数:

$$R(\theta, p, \tau) = N_H(\theta, p, \tau) - N(\theta) \quad (11)$$

N_H 是给定太阳天顶角 θ 、气溶胶廓线 p 及气溶胶光学厚度 τ 计算的 N 值。 $N(\theta)$ 是分子散射大气的计算 N 值,地面反照率设为零。

式(6)中, $N(\theta, \lambda, \lambda')$ 是实测值,包含了气溶胶的影响,因此反演模式中,实测 N 值需进行气溶胶和多次散射订正,即:

$$\sum \frac{\delta U}{\delta \eta_i} \Delta \eta_i = N''(\theta, \lambda, \lambda') - U(\theta, \lambda, \lambda') \quad (12)$$

$$N'' = N(\theta, \lambda, \lambda') - R(\theta, p, \tau) - \psi(\theta, \lambda, \lambda') \quad (13)$$

本文用最优化统计解法^[9]求解式(12),得到迭代方程组如下:

$$\hat{f}_{n+1} = (S_f^{-1} + A_n^* S_e^{-1} A_n)^{-1} A_n^* S_e^{-1} \{ (N'' - U_n) - A_n (-\hat{f}_n) \} \quad (14)$$

\hat{f} 是 f_i 的估计矢量; S_f 是关于 x_i 的先验信息的协方差矩阵, S_e 是误差协方差矩阵, n 为迭代次数.以气候平均或标准中纬度臭氧垂直廓线作为迭代的初始猜测值, $\hat{f}_0 = 0$, A_n 和 U_n 即分别以第 n 次迭代的臭氧垂直廓线计算而得到的变分项和 N 值.式(14)为经过气溶胶和多次散射订正迭代求解各层臭氧含量的矢量方程。

本文计算气溶胶光学厚度时,假定在近似情况下,有:

$$\beta_{m\lambda}(z) = \beta_{m\lambda}(0) \cdot n(z)/n(0) \quad (15)$$

$n(z)$ 和 $n(0)$ 是高度 z 处及地面气溶胶的浓度。

$$\tau_{m\lambda} = \int_0^{\infty} \beta_{m\lambda}(z) dz = \beta_{m\lambda}(0)/n(0) \cdot \int_0^{\infty} n(z) dz \quad (16)$$

北京测站用 Brewer 仪器观测时,气溶胶光学厚度 $\tau_{0.55}$ 一般在 0.1—0.3 之间变动,由能见度计算得到 τ 值.以 τ 值、当天臭氧总量、初始臭氧猜测廓线及标准大气,根据辐射传输理论可求出 $N_H(\theta, p, \tau)$ 和 $N(\theta)$ 的值,从而得出 $R(\theta, p, \tau)$ 的值,然后由式(14)迭代求出臭氧垂直廓线。

4 结果分析

利用上面计算气溶胶订正系数 $R(\theta, p, \tau)$ 的程序及考虑气溶胶订正的反演程序,对北京测站 1991 年 1—3 月由 Brewer 测得 Umkehr 观测资料及美国 Table Mountain 一天的观测资料进行了处理.考虑到 Brewer 仪器的 Umkehr 反演方法对 Umkehr 4—8 层,即 20—40km 区间较为敏感,本文主要分析 Umkehr 3—9 各层的结果。

用美国 Table Mountain 一天的观测资料对本文所建立的经气溶胶订正反演臭氧廓线的程序进行检验,气溶胶光学厚度取一般晴朗条件下的值.加入气溶胶订正的臭氧反演廓线在上层比常规反演廓线值要大,而下层要小,这同上面的分析结论是一致的.表 1 给出了 Brewer 仪器加入气溶胶订正和常规反演廓线的比较结果.表 2 引自 McElroy 等有关此次实验的平均结果.从表 2 可看出,常规反演廓线一般在上层比其他仪器探测的廓线值要低,而在下层值要高(第一层除外).表 1 中差值与表 2 中差值很接近,差值之间的偏离大大小于差值本身,误差值也很接近,说明加入气溶胶订正的反演廓线与其他仪器所得廓线更为接近和符合.这不仅改善了反演的精度,同时证明本文加入气溶胶订正的反演方法是成功的。

表 1 Brewer 仪器加入气溶胶订正与常规反演所得臭氧垂直廓线的比较(一天)

Umkehr 层	高度(km)	常规 [DU]	加入气溶胶订正 [DU]	差值 [DU]	百分率 (%)
1	10.29	16.18	15.95	0.23	1.44
2	14.71	14.98	14.54	0.44	3.03
3	19.13	32.33	30.66	1.67	5.45
4	23.59	67.33	63.65	3.68	5.78
5	28.14	68.86	69.59	-0.73	-1.05
6	32.79	51.51	53.49	-1.98	-3.70
7	37.65	28.48	30.60	-2.12	-6.93
8	42.80	9.06	10.45	-1.39	-13.30
9	48.27	2.53	2.80	-0.27	-9.64
总量		292.40	292.90	-0.50	-0.17

表 2 Table Mountain Brewer 仪器和其他仪器所测平均廓线结果的比较*

Umkehr 层	高度(km)	Brewer [DU]	其它 [DU]	Npts	差值	百分率 (%)
0	2.15					
1	10.29	24.33	24.81	12	-0.47	-1.90
2	14.71	10.06	9.72	12	0.33	3.42
3	19.13	28.19	26.44	12	1.75	6.62
4	23.59	67.42	62.36	13	5.06	8.12
5	28.14	74.82	75.10	39	-0.28	-0.38
6	32.79	51.05	53.66	39	-2.61	-4.86
7	37.65	25.04	27.63	31	-2.60	-9.39
8	42.80	9.58	11.06	31	-1.49	-13.44
9	48.27	3.22	3.57	23	-0.35	-9.82
Total		293.71	294.35		-0.64	-0.22

* 引自 McElroy 等^[3]Table Mountain 实验的平均结果

表 3 常规/加入气溶胶订正的臭氧反演廓线误差(〔常规-加入〕/常规×100%)(1991 年)

气溶胶光学 厚度 $\tau_{0.55}$	观测日期 (月·日)	Umkehr 层数						
		9	8	7	6	5	4	3
0.1	1.1	-4.2	-2.8	-1.9	-2.8	-1.5	1.3	1.9
	1.7	-5.4	-4.2	-1.8	-2.8	-2.0	1.0	2.3
	2天平均	-4.8	-3.5	-1.85	-2.8	-1.75	1.15	2.1
0.16	1.2	-6.0	-4.2	-2.8	-4.3	-2.7	2.5	3.1
	1.8	-7.1	-5.1	-2.6	-4.5	-2.6	2.4	3.3
	1.12	-7.6	-5.8	-3.3	-4.0	-1.7	2.2	3.1
	2.11	-6.4	-5.9	-4.4	-4.6	-1.7	2.0	3.0
	2.19	-6.1	-5.4	-3.0	-5.4	-2.3	3.4	2.2
5天平均	-6.64	-5.28	-3.22	-4.56	-2.2	2.5	2.94	
0.2	1.3	-6.8	-4.4	-3.9	-5.7	-2.9	3.0	3.2
	1.4	-7.9	-5.1	-3.4	-5.6	-3.5	2.5	3.7
	1.25	-8.1	-6.4	-3.6	-5.0	-3.0	2.2	3.6
	2.28	-7.2	-8.5	-4.9	-5.7	-2.5	2.6	3.6
	3.13	-5.8	-4.5	-3.2	-5.8	-0.9	4.4	2.7
	3.30	-8.4	-6.0	-3.1	-4.9	-3.3	1.4	3.4
6天平均	-7.36	-5.82	-3.68	-5.45	-2.68	2.68	3.37	
0.25	1.5	-9.7	-7.2	-4.2	-5.4	-3.8	2.9	4.4
	1.26	-9.5	-6.7	-5.1	-7.37	-3.0	3.65	4.25
	3.17	-9.6	-7.7	-4.6	-5.9	-2.0	3.5	4.2
	3天平均	-9.6	-7.2	-4.63	-6.22	-2.93	3.35	4.28
0.3	1.27	-11.3	-8.0	-5.7	-8.0	-4.55	3.2	5.6
	2.12	-10.6	-8.0	-5.0	-7.7	-3.6	3.7	5.3
	2天平均	-10.95	-8.0	-5.35	-7.85	-4.08	3.45	5.45
0.2	18天平均	-7.6	-5.9	-3.7	-5.3	-2.6	2.7	3.5

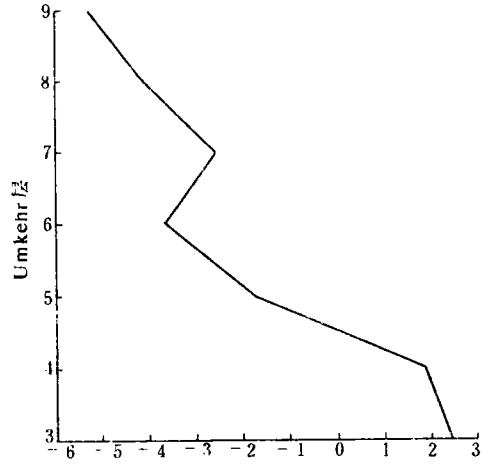
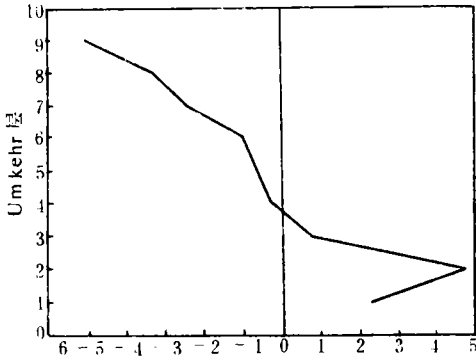


图 4a 引自 Deluisi 等^[7]. 1986 年 2 月每 0.01 平流层气溶胶光学厚度计算的每层气溶胶误差(%)

图 4b 北京测站春季 3 个月平均气溶胶造成的臭氧反演廓线误差(%) (每 0.01 平流层气溶胶光学厚度)

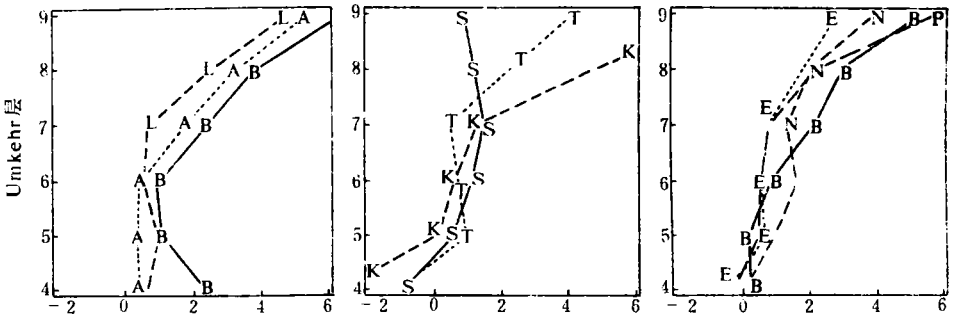


图 5a 引自 Reinsel 等^[7]. 所做气溶胶经验修正的修正因子随 Umkehr 层的变化(%) (每 0.01 平流层气溶胶光学厚度)

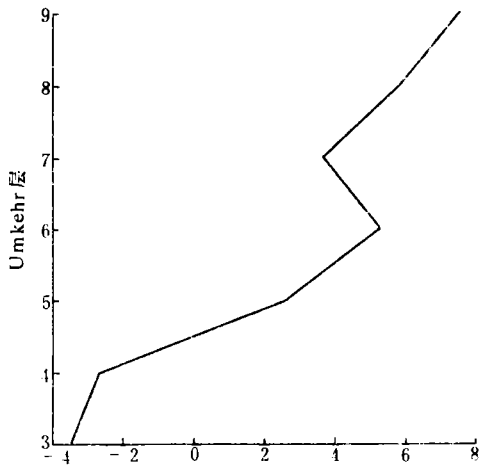


图 5b 北京测站春季 3 个月平均的臭氧反演廓线的气溶胶修正结果(%)

由于北京没有探空仪的资料做廓线比较, 将本文对常规臭氧廓线所做气溶胶修正和误差分析的结果与国外学者所做的工作相对照. 对各天的观测资料进行两次计算, 一次用常规 Umkehr 反演得到廓线, 另一次考虑气溶胶订正进行反演, 它们之间的差异即忽略气溶胶造成常规臭氧反演廓线的误差. 表 3 给出常规的与加入气溶胶订正得到的臭氧反演廓线误差, 误差的计算与 Deluisi 和 Dave 等所用方法一致.

由表 3 看出气溶胶造成的臭氧廓线误差绝对值随气溶胶光学厚度增加而增大, 呈现近似线性的关系. 此结果同 Reinsel 等用统计经验公式修正常规 Umkehr 反演廓线的思想是吻合的. 将表 3 平流层气溶胶光学厚度归一到 0.01, 绘成图 4b.

从图 4b 可以看到, 臭氧反演廓线气溶胶误差在 5、6、7、8、9 层为负值, 在 3、4 层为正值, 即常规反演的各层臭氧含量值在上层(5、6、7、8、9 层)偏低; 而在下层(3、4 层)偏高. 这同 Dave 等的理论模拟结果趋势非常一致, 量级也相同. Deluisi 等对常规 Umkehr 反演廓线由气溶胶造成的误差进行分析, 图 4a 是 Deluisi 等^[7]所做的 Boulder 站的气溶胶造成的臭氧反演廓线误差图, 与北京站 3 个月平均的气溶胶造成的臭氧廓线误差图 4b 比较, 可看出本文与 Deluisi 等误差分析结果的量级是相同的, 趋势也基本一致, 其中的差别可能是由地理位置的不同引起的.

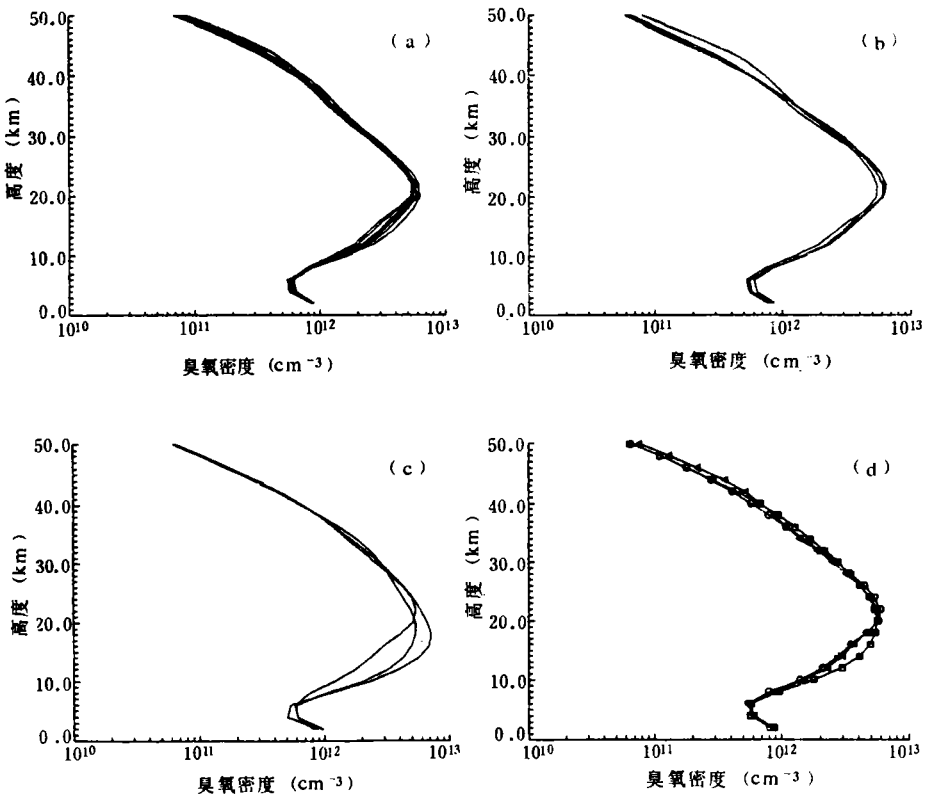


图 6 加入气溶胶影响的不同天的臭氧反演廓线和月平均廓线图

(a)1991 年 1 月廓线 (b)1991 年 2 月廓线

(c)1991 年 3 月廓线 (d)月平均廓线(1 月△; 2 月○; 3 月□)

Reinsel 等^[8]对 1977—1988 年 Dobson 仪器 10 个测站的 Umkehr 资料进行气溶胶经验修正的修正因子如图 5a 所示,图 5b 是由表 3 正负颠倒得到的气溶胶修正值.从图 5a 中可以看出,地理位置不同,则修正因子各层的正负大小各不相同.日本 Tateno 站(T)和北京测站的地理位置最为接近,图 5b 也与日本 Tateno 站的趋势非常一致.

图 6 是加入气溶胶订正的 1—3 月不同天的廓线.由图可见,不同天的廓线之间比较接近,这就有足够的信息能获得相当好的月平均反演廓线(图 6d),也说明反演程序是可靠的.

5 结 论

本文对 Brewer 仪器工作波长的一次散射贡献函数高度分布进行了分析,其峰值贡献函数的高度之间间隔比较合理.同时建立了球面大气包含气溶胶和不含气溶胶的一次和二次散射模式,用来计算 Umkehr 的气溶胶订正系数;并提出一种气溶胶订正 Umkehr 反演的方法,建立了综合考虑气溶胶影响和多次散射影响的反演模式.

取美国 Table Mountain 一天的观测资料对本文所建立的模式进行检验.结果表明,经气溶胶订正的臭氧反演廓线比常规廓线更符合其他仪器直接探测的结果,在各层的差异都明显减少,大大改善了 Umkehr 反演的精度.

利用反演模式对北京测站资料进行处理,不同天的反演廓线之间比较接近,而且稳定;经过气溶胶订正的反演廓线改善了常规廓线在上层值偏低而下层值偏高的现象,使之更符合臭氧变化趋势.从本文工作也可看出,气溶胶造成的臭氧反演廓线误差与平流层气溶胶光学厚度之间存在一近似线性的关系.将北京测站春季 3 个月平均的气溶胶造成的廓线误差值和对常规廓线所做气溶胶修正的结果与国外学者用其他方法得到的结果比较,趋势和量级都相当一致.

因此,用本文给出的模式对 Umkehr 观测资料进行反演的结果,为研究臭氧时空变化规律和长期臭氧变化趋势提供了可靠的数据和基础.

参 考 文 献

- 1 Deluisi J. J., Herman B. M., Browning S. R., Sato R. K. Theoretically determined multiple-scattering effects of dust on Umkehr observations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1975, **101**: p. 325.
- 2 Deluisi J. J. Umkehr vertical ozone profile errors caused by the presence of stratospheric aerosols. *J. G. R.*, 1979a, **84**: p. 1766.
- 3 McElroy C. T., Kerr J. B. Table mountain ozone intercomparison: Brewer ozone spectrophotometer Umkehr observations. Private communication, 1990.
- 4 Deluisi J. J. Shortened version of the Umkehr method for observing the vertical distribution of ozone. *Appl. Opt.*, 1979b, **18**: p. 3190.
- 5 Mateer C. L., Deluisi J. J. The estimation of the vertical distribution of ozone by the short Umkehr method. Proc. Quad. Ozone Symp., part I, 1980, p. 64.
- 6 Dave J. V., Mateer C. L., Deluisi J. J. An examination of the effect of haze on the short Umkehr method for deducing the vertical distribution of ozone. Proc. Quad. Ozone Symp. part I, 1980, p. 222.

- 7 Deluisi J. J. , Longenecker D. U. , Mateer C. L. , Wuebbles D. J. An analysis of northern middle-latitude Umkehr measurements corrected for stratospheric aerosols for 1979—1986. *J. G. R.* , 1989, **94**: p. 1837.
- 8 Reinsel G. C. , Tiao G. C. , Deluisi J. J. , Basu S. , Carriere K. Trends analysis of aerosol-corrected Umkehr ozone profile data through 1987. *J. G. R.* , 1989, **94**: p. 16373.
- 9 Rodgers C. D. Characterization and error analysis of profiles retrieved from remote sounding measurements. *J. G. R.* , 1990, **95**: p. 5587.

A STUDY OF REMOTE SENSING OZONE VERTICAL PROFILE IN THE ATMOSPHERE USING BREWER OZONE SPECTROPHOTOMETER

Zhang Yiping

(*Dept. of Atmos. Sci. , Colorado State University, U. S. A.)*

Zhou Xiuji Xue Qingyu

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

A spherical shell model has been carried out to analyze the information content of Umkehr measurement of Brewer work wavelengths, and a new method considering the aerosol effects on ozone profile retrieval is given by using Brewer spectrophotometer. The new method which put the aerosol correction directly into Umkehr inversion algorithm is described in detail, and the aerosol optical thickness is used to calculate the aerosol correction coefficient. The Table Mountain data has been analyzed using this method. The results are in better agreement with other measurement results. Beijing data from January to March, 1991 are also processed. There exists an approximately linear relationship between stratospheric aerosol optical thickness and aerosol errors of each Umkehr layer produced by normal method without aerosol correction. The results with aerosol correction are well compared with other work.

Key words: Ozone vertical profile; Aerosol correction; Brewer Spectrophotometer; Umkehr short method.