

大气成分和污染气体的遥感

吕 达 仁

在相当长时间内，气象工作者认为大气成分及其比例是稳定的，即使局地有些人工污染的影响，也对大尺度天气气候不起什么作用。唯一的例外是对流层内多变的水汽，由于它是天气现象的主角之一，所以一直列入常规气象要素进行观测。

然而，近年来大量观测和分析表明 首先，大气成分不是固定不变的，而是处于不断变化之中。其原因既有人类活动越来越大的影响，也有自然过程本身引起的复杂变化，人类活动也给大气加进了一些原先不存在的气体成分，如氟利昂等，更重要的是，大气中的变动成分其量虽微，几十种成分总共也未达到大气的1%，但是它们的作用却不可等闲视之，它们既可能产生局地对人类的直接影响，也可能对全球气候产生深远的影响。

因此，气象工作者面临着探测大气（微量）成分的新任务。不但要在地面的某些点作观测，还迫切需要探测全球性的从地面直到五十公里高度的平流层以上的成分分布。对于这样新的艰巨任务，只能主要靠大气遥感这个新探测手段来完成。这是当前大气遥感中的一个新的重要发展方向。本文拟对此作一简单介绍。

一、大气微量成分变化研究的重要意义

目前存在于全球大气中的微量成分（除局地性极强的某些人工污染外）主要的有二十来种，大部分是气体，少部分以气溶胶粒子形式出现。对大气物理过程而言最主要的是水汽(H_2O)、二氧化碳(CO_2)和臭氧(O_3)三种，而围绕着这三种（特别是平流层 O_3 ）成分的浓度变化，又有一系列微量气体起着不可忽视的作用，其中包括氮的氧化物（如 NO 、 NO_2 、 N_2O ）、氯化物(HCl 、氟利昂类等)、甲烷(CH_4)，一氧化碳(CO)等，此外围绕着高空气溶胶的形成，二氧化硫(SO_2)、硫化氢(H_2S)、硫酸(H_2SO_4)、硝酸(HNO_3)、碳氢化合物($CxHx$)等成分亦不容忽视。这些成分之间在大气中，特别是在上层紫外辐射丰富的高度上产生着剧烈的化学和光化学反应。图1为平流层和中层内主要微量成分的平均浓度分布。概括起来，微量成分所起重要作用可有四个方面：

1. 局地性的对人类和生物圈的直接危害。例如一些工业活动地区释放的有害气体（如二氧化硫）以及在一定气象条件下有害气体进一步反应产生光化学毒雾等。

2. 改变小区域的气象状态。例如由于人类活动集中区 CO_2 和吸热性气溶胶的大量释放，使城市成为“热岛”，并可能改变附近地区的小气候和雨量分布等。

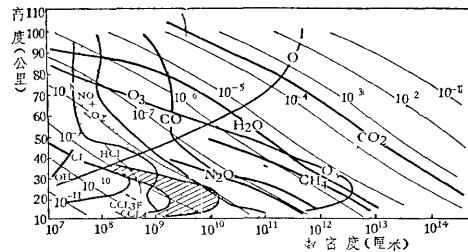


图1 平流层和中层内主要微量气体的平均浓度分布，细线为混合比等值线。

3. 由于各种微量成分变化引起全球性大气成分的新的平衡，导致对全球人类和生物活动的严重影响。这里的中心问题是平流层 O_3 含量的可能减少。近年来大量野外和实验室测量以及相应理论研究表明 O_3 含量受到自然过程（太阳辐射、宇宙射线、生态过程）的影响而有变化，而人类活动（平流层超音速飞机喷射物以及地面越来越多的污染气体释放扩散到平流层、高空核爆炸等）可能会引起 O_3 含量的明显减少。 O_3 减少最直接的作用是到达地面的紫外辐射增强，波长向更短方向移动。研究表明，这时会引起人类的皮癌，植物光合作用受抑制，整个昆虫界的视觉机能紊乱而引起严重后果。这种全球性的严重后果是不容忽视的。

4. 成分变化引起全球辐射平衡的变化，从而对全球气候变迁可能产生深远的影响。这里主要牵涉到全球性 CO_2 和气溶胶的逐渐增加以及平流层 O_3 的变化。

可以看出，1、2两项牵涉局地的成分遥感，而3、4两项则牵涉到全球性的成分分布探测，特别是需要平流层成分探测，同时为了确切了解各种成分的源地和输送消逸机制，我们还必须关心地表、生物过程和有关日地关系过程，要观测海陆表面、生物圈与大气之间各种成分的交换，要观测到达平流层的太阳辐射频谱和宇宙线强度等，当然也要十分关心人类活动释放物。

目前，为研究环流污染影响和研究气候变化问题建立了许多理论模式，这些模式迫切需要可靠的大气成分资料。

二、大气成分的遥感方法

直接对空气取样并在实验室内进行化学或光谱分析，这是研究大气成分的主要方法之一。但对局地成分的空间分布和全球性的成分测量来说这种方法无法满足要求。有前途的手段还是遥感。

要实现成分遥感，需要解决两方面问题，即成分

的识别和该成分浓度的定量测量。由此可以肯定所有遥感成分的方法都要利用各种微量成分各自的吸收光谱、发射光谱以及拉曼散射光谱等，而且要事先测定其强度。同时，由于所测大气环境中存在着各种成分，遥感某种成分所选的波段应该避免与其他成分的谱相混淆，因而尽可能选择孤立的特征谱。

实验研究表明，各种大气微量成分都有丰富的吸收谱线（谱带），例如 O_3 在紫外区有丰富的吸收带，在红外和微波段亦有吸收带。除可见光段吸收线较少外，这些成分在红外和微波段都有吸收带，而且可以精确的测定。在红外段，水汽有丰富的吸收带，特别是整个远红外段，由于水汽的强吸收，大气完全不透明了。因而对整层大气的成分遥感来说较有利的是中红外段。图2表示中红外段上大气微量成分各自的吸收谱。但是在平流层中层，水汽含量极少，因而远红外段亦可以利用。至于微波段，除氧气有5毫米吸收带和0.253毫米吸收线，水汽有1.348厘米和1.64毫米两条吸收线，许多其他成分在1—3毫米段有不少吸收线可以利用。只是需要发展相应的技术罢了。

大气微量成分遥感中另一个突出问题是定量问题。这是因为所要探测的成分其量极微，在空气中的混合比往往小到 10^{-5} — 10^{-10} （局地强污染情况除外），如此微量物质无论发射和吸收都是很微弱的，因此必须采用适当的遥感方法。对流层（特别是边界层）和平流层情况不同，因而采用的遥感方法也有所不同。

1. 平流层成分遥感

表1为平流层各种成分遥感的现状。这里表明了遥感地点和所用波段。可以看出对于主要微量成分 O_3 已给予最大的关注，无论地面、高空（飞机、气球、火箭）和卫星都开展了遥感。大部分成分目前已在高空观测平台（主要是高空科学气球）上开展了遥感探测。今年美国计划发射的“雨云-7”号气象研究卫星上亦安装了为探测平流层 O_3 、 H_2O 、 HNO_3 、 NO 、 NO_2 、 CH_4 含量的光谱仪，准备开展这些成分的遥感试验。

平流层实现成分遥感的主要方法是采用了临边观测，即观测仪器作近地平的低仰角观测（图3a）。这种情况下利用太阳光作吸收法，观测时由于所取光程可以几十倍于垂直气柱的光程，因而吸收效应能明显

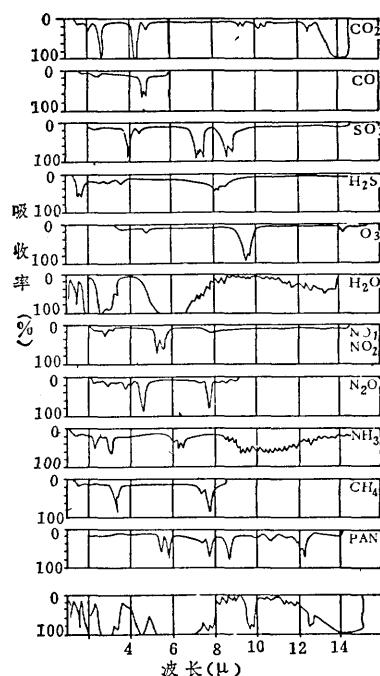


图2

测量出来，从而可求得路径上的某成分总量及平均值。采用发射法时情况也一样，由于光程大大加长，发射贡献足以测量得到并反演成分。采用几个不同的低仰角作观测，则可以反演得到成分的垂直分布。这种遥感的水平分辨率约 10^2 公里，垂直分辨率为2—3公里。这样的分辨率对平流层研究来说已经足够了。

除临边探测外，在卫星上还采用测量散射法（图3b），在地面上采用观测太阳光及其大气散射光（图3c，d）来测量 O_3 的含量。

平流层成分遥感采用的主要仪器为光谱仪和辐射计。为了提高识别特定成分排除背景干扰的功能，还在光谱仪内建立该成分的参考源，用它来与外界信号作相关比较，提高测量精度，这就是所谓相关光谱仪或相关干涉仪。

表1 平流层成分遥感现状

成 分	CO_2	H_2O	O_3	CH_4	N_2O	CO	H_2	(O)	(NO)	NO_2	HNO_3	HX	C_nX_y	(OH)
数密度范围 $\log n(cm^{-3})$	13—16	11—14	10—13	9—13	8—12	9—12	9—12	5—10	8—9	7—9	7—10	7—9	6—9	6—8
地面 紫 外			∨							∨				
卫星 紫 外			∨											
飞机 亚毫米波发射		∨	∨							∨	∨			
气球 中红外 发射	∨	∨	∨		∨				∨	∨	∨			
火箭 中红外 反收	∨	∨	∨	∨	∨	∨			∨	∨	∨	∨	∨	
地面 红外发射、吸收			∨							∨				
卫星 红外发射			∨											

注 () 表示该成分在有日照情况时存在。

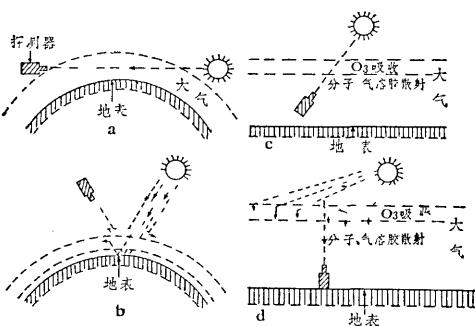


图3 四种主要的遥感方案示意图

2. 对流层的成分遥感

平流层成分遥感方法不太适用于对流层，这是因为对流层内空气分子和气溶胶粒子散射太强，特别是气溶胶粒子散射和吸收在整个波段内部很强，把微量成分的辐射作用完全淹没了。所以除水汽遥感有采用卫星和地面的被动遥感(红外和微波段)外，对流层成分遥感的研究目前都集中于主动式遥感，即利用(波长)可调谐激光来实现遥感。另外，从目前主要关心的局地污染成分扩散来说，所要求测量的量是中小尺度范围内的浓度分布，需要具有足够高的空间分辨率。而激光雷达技术正具有这方面的突出优点。

目前遥感成分的激光方法主要采用两种原理：

A. 吸收原理，或称微分吸收法。它的根据是污染气体吸收有尖锐的谱线特点，而分子和粒子的散射和吸收则不具有尖锐的谱选择性。因此，设想同时发出两个波长的激光脉冲，一个波长处吸收气体吸收峰，另一波长处于吸收峰附近的“透明”区内，这时吸收气体对两个脉冲的作用明显不同，而分子和气溶胶对它们的作用可视为基本相同，对两个脉冲的回波进行比较，就完全可以消去路程上的分子、气溶胶作用，从而反映出路程上吸收气体的吸收强度分布，很容易换算为吸收气体的浓度分布。这种方法是当前最为活跃的遥感手段。

B. 拉曼散射原理。这是物质的一种量子散射，当一束波长为 λ_0 的激光射入某种气体分子，这种气体除了产生分子散射以外，还产生一种波长为 λ_1 ($>\lambda_0$)的散射光， λ_1 的精确位置由 λ_0 和该气体的固有性质而定。当然，波长为 λ_1 的散射(称为拉曼散射)比分子散射要弱得多。接收这样波长的回波就排除了整个空气分子和气溶胶散射(波长 λ_0)的背景干扰，而完全代表了路径上某种污染气体的浓度分布。拉曼散射原理是很吸引人的，近年来已有不少试验，它的主要困难是散射信号太弱，容易受天光背景的干扰，因而需要高强度的激光源和高分辨率(抑制背景光)接收。

C. 积分吸收法。上述两种方法在目前的激光技术条件下可测距离都不远，仅在1公里左右。如果我们要求的空间分辨率并不高，而关心区域内的平均含量(总量)，则可以在离光源外的一定距离上设一反射

合作目标，只要目标反射特性已知，我们就可以根据反射波强度来定出区域内某吸收气体的总量和平均浓度。

此外还有一些其他原理也在探索之中。不论那种方法都需要有高功率的可调谐激光技术。目前，从紫外到中红外已经出现了几类波长连续可调的激光器，主要有有机染料激光、参量振荡器、半导体激光等，差不多的主要微量气体在这个波段范围内都有吸收线，因而完全可以利用。当然目前这类激光的强度还不够作远距离遥感的要求。

从发展方向看，利用气体量子吸收和散射等效应的激光雷达技术遥感大气成分分布是一个重要方向，一旦条件成熟，卫星上会装备激光雷达从事大气成分遥感。但在目前，无论被动和主动式的成分遥感都还处于发展阶段，需要化大力气来从事试验研究工作。

求算绝对湿度的又一种方法

江西省景德镇市气象台测报组的同志们，针对有时常用表上查不出绝对湿度的情况，提出了一种比较简易的求算方法，即

$$e_1 = E_1' - AP(t_1 - t_1')$$

$$e_2 = E_2' - AP(t_2 - t_2')$$

又设 $t_1 - t_1' = t_2 - t_2'$ 则 $e_1 = E_1' - E_2' + e_2 \dots (1)$

选择 t_2 及 t_2' 的条件是： $t_1 - t_1' = t_2 - t_2'$ ，并为查算方便，使 t_2 尽量接近 t_1 。

例： $t_1 = 25.5$ ， $t_1' = 24.0$ ，求 $e_1 = ?$

解：设 $t_2 = 25.9$ ，则 $t_2' = 24.4$ ，

查得 $e_2 = 29.4$ ，代入(1)式，得

$$e_1 = 29.9 - 30.6 + 29.4 = 28.7$$

如果常用表缺附录，查不到 E' ，可用 $t = t'$ 的 e 代；若又因缺角查不到 $t = t'$ 的 e ，可用其对应的 e 与 d 之和代替。

另外，吉林省镇赉县气象站于树瀛、林国义同志等一些读者来信指出，按本刊1978年第4期上《无露点查算表怎样办》答案方法查算，在编报时由于查算中的四舍五入关系，可能会有1°C之差。因此，此种方法只能一时应急使用。

为避免差错，景德镇市气象台测报组制作了一个查算露点的简表如下：

-	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	-0
-20	0.54	0.6	0.7	—	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
-10	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
-00	3.0	3.3	3.5	3.8	4.1	4.4	4.8	5.1	5.5	5.9
+	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	6.2	6.4	6.8	7.4	7.9	8.5	9.1	9.7	10.4	11.2
10	11.9	12.8	13.6	14.6	15.5	16.6	17.7	18.8	20.1	21.4
20	22.7	24.2	25.7	27.3	29.0	30.8	32.7	34.7	36.8	39.0

注 当 e 位于两数间时， e 靠小值查取露点。