

南极大气圈：一口大冷锅中的一个热门话题

M. J. Rycroft

大气圈是人类当然也是所有居住在地球表面的生物免受太阳和宇宙强有力的紫外线短波辐射影响的仅有保护。这种保护的物理机理是怎样的呢？波长短于240毫微米的太阳辐射为平流层中的氧分子所吸收。这个过程把一个氧分子分裂成两个氧原子。当其中一个氧原子与另一个氧分子结合在一起时，便形成了一个臭氧分子。这种臭氧分子由三个氧原子所构成，因而它的化学描述是 O_3 。臭氧本身也吸收波长不到300毫微米的太阳紫外辐射。

地球大气的99%左右位于相当于平流层中部的30公里高度以下。因此，大气圈厚度与地球半径（6370公里）相比，仅约为其两百分之一。按与地球大小的比例，大气圈实际上是很稀薄的，而在平流层里，一百万个分子中也只有一个臭氧分子。

臭氧问题 臭氧问题是近年来公众已逐渐普遍觉察到并记在心上的少数几个科学和环境问题之一。这一问题的中心是春天南极臭氧的耗竭，所谓臭氧空洞。在十月里，南极洲上空大气圈中臭氧数量当时只有南半球中纬地区的一半。而在十五年以前，两者的数量则是比得上的。

臭氧空洞的地理范围在一个通过两极的轨道运行的卫星图片上表现得很清楚。利用在随后的日子里获得的这些图片而制成的影片表明了整个模型环绕南极极点的向东运动。在这一运动中，臭氧经常数量的等值线改变形状或变形。其转动轴大体上是通过南极点运行的。转动周期在一星期和三星期之间，取决于纬度。所以，这种形势是一种动态的形势。

大气动力学辐射和化学过程 地球两个半球海陆分布非常不同，造成了地球表面海陆间从而大气圈中半球之间的不均匀加热的差别。大陆上的山脉，值得注意的是落基山脉和喜马拉雅山脉由于地形迫使来自下部的大气运动，这些大气运动向上传播到了平流层低层。这些所谓行星尺度波使中纬地区空气与极地空气混合。由于南北不同的地理状况，行星波在南半球比在北半球要弱，因而中纬度空气与极地空气在南半球比在北半球也混合得较少。因为南极洲是一个孤立的大陆，是一个冷而高的穹地，为南大洋所环绕，所以，用动力学的话来说，南极洲上空平流层各层都是与大气圈其余部分相隔离的，因而这些空气不能进行从中纬度到高纬度（南极纬度）的水平交换。

在平流层，来自赤道上空和来自夏极（summer pole）的上升运动及冬极（winter pole）的下降气流一起形成了一个环流。冬季，在南极洲上空黑暗的平流层中的空气分子由于辐射而冷却。因此，冬季在南极上空形成了一个孤立寒冷的平流层气团，臭氧就是输送到这个气团中去的。在这一极涡中的空气便包含在一个向东旋转的“大冷锅”中去了。所以，这一“大冷锅”是从上面填满的，而且关于空气是怎样通过大冷锅底部进入对流层而消失的，或者大冷锅边缘的空气罩（shells of air）是怎样被脱掉的，人们都知道得很少。

太阳辐射和地球大气的相互作用是很复杂的。这种情况的基本物理过程如图1（略）所示。从太阳来的辐射光谱接近于表面温度为5780度开尔文（5780°K）（约为摄氏5500度<5500℃）的黑体。辐射光谱的峰值位于0.5微米或500毫微米处，即我们眼睛对之敏感的光。氧和

臭氧吸收波长在300毫微米以下的太阳紫外辐射,因而这是在高度11公里以上被全部吸收的。其它气体特别是水蒸汽则吸收太阳入射辐射的近红外成分。地球及其大气圈再辐射在入射光谱的远红外区其波长约10—20微米。

各种分子例如水蒸汽、氧、二氧化碳、氧化亚氮及其它许多气体,其中几种是人造的包括氟氯碳化合物类(CFCs),吸收这种红外辐射,然后将其再辐射出去。随着这些红外活性的微量气体的增加,地球大气圈便逐渐变暖起来。计算机模型预告,从1980年到2020年,由于来自燃烧化石燃料和破坏森林的CO₂数量的不断增加,全球大气圈变暖将为0.7°C,其它红外活性气体数量的不断增多,则可使由于CO₂的变暖加倍(英国平流层臭氧考察小组,1987)。在高纬地区的变暖因为冰雪表面反射率高,则可望为全球平均数的两倍。这一情况会引起南极冰盖的融化增多和海平面的不断上升。一些研究表明,平均海平面以每十年1.4厘米的速度不断升高,这可能是由于上述情况及由于地球平均温度升高而造成的海洋热膨胀。Warrick (1988)曾考虑研究过大气中CO₂数量增多对农业的影响。

波长不到240毫微米的来自太阳的紫外辐射使一个氧分子分裂成为两个氧原子,其中一个与一个氧分子结合而成臭氧。臭氧吸收较长波段的太阳紫外光,而在此过程中,平流层中的臭氧也被变暖。臭氧分子最后消失了,这是由于与一个氧原子发生反应而形成了两个氧分子。

被称为氟里昂的CFCs所形成的氯可以加速臭氧的损耗。例如CFC1₃通称CFC 11或F—11的分子在太阳紫外线特别是波长在200与220毫微米之间的紫外线的作用下,就在平流层离解。这样形成的氯原子与一个臭氧分子起反应,就形成了一氧化氯,然后它又与平流层中的一个氧原子起反应,形成一个氧分子并重新组成氯原子,这个氯原子这时就可干另一次恶劣的勾当,消除另一个臭氧分子,在一个催化循环中诸如此类继续进行(图6略),CFC 11在大气圈中的寿命约为75年,因而一个氯原子可对一万以上的臭氧分子的破坏负责。不过,其它种类的气态微量元素或化合物也可干扰这种氯的催化循环,并可导致硝酸氯的形成,这一分子扮演了一个重要角色,下文我们还将对此进行讨论。

Fabian (1987)已报道过在中纬地区研究平流层中CFC 11浓度的一些气球试验的结果。在20到30公里之间的高度,CFC 11的浓度急剧地下降,表明了在所有纬度平流层中CFC1₃分子的解体和氯的形成。正如前文所说明的那样,氟里昂分子和两个氯原子两者都被输送到了冬季极地平流层。

图2(略)概述了臭氧形成再分布和破坏的一些过程。显然有许多过程在进行,这些过程彼此相互作用以确定在任一特定地点和时间存在的臭氧数量。这些过程中有些过程是通过负反馈而相互作用的。对特定的变化来说,这些都是自稳定作用过程(self-stabilizing)。使人忧虑的过程是那些带有正反馈的过程,在此,一种特定变化就会造成其效应的不稳定与加强,终于成为一种数学计算复杂的非线性格局。

对臭氧数量所作的南极观测 发表在1985年5月同行们所作的《英国南极调查》中的图3(略)引起了人们对臭氧空洞的巨大兴趣与继续的研究。它发表在哈利站(位于75°S, 27°W,在威德尔海东南陆上边缘)上空从1957年起每年10月份月平均臭氧量,附有误差条线(error bars)。直到七十年代中期初,10月份臭氧数量差不多都是恒定的,接近300多布森单位,如果把所有臭氧都带到海平面,形成不包括所有其它气体的一层的话,就相当于一个3毫米厚的臭氧层。此后,臭氧层厚度下降到1840年的200多布森单位(2毫米)以下。在图右,利用颠倒的标度与移位的零,以那些圆圈示出地表大气圈中CFCs的浓度,按体积万亿分之一。黑点代表CFC 11,其化学式为CFC1₃,空圈代表CFC 12,其化学式为CF₂Cl₂。七十年

代中期初以后, CFC_s 的浓度就增高了, 而臭氧数量则降低了。这一联系表明了在这两类情况之间的一种因果关系, 在这个因果系统中, CFC_s 产生了氯, 从而破坏了平流层的臭氧。这些研究卓越地表明, 对重要的环境参数进行一系列长期量测的巨大价值。

哈利站上空臭氧数量的一些较新的数据是在1986年测得的。就1985年9月到1986年3月来说, 发现有一些以大约一星期左右为时标的变率。十月份臭氧数量可以少到1957年到1973年平均的一半。在11月底臭氧数量突然增加, 比60年代要迟1个月左右。臭氧数量的这一迅速升高, 与春季极涡解体、春季变暖正相吻合。在哈利站, 现在当地夏季的臭氧量值比早些年代稍小。

图4(略)表示1986年9月期间哈利站上空臭氧数量每天约下降1%左右(英国自然环境研究委员会南极考察1987:86)。在1986年10月, 哈利站上空臭氧数量有一次非常迅速而巨大的增加。这可以极涡位置和臭氧空洞位置都从哈利站向极移动来解释, 当时富含臭氧的中纬空气正入侵哈利站上空的平流层。

在1987年10月, 哈利站上空的臭氧数量下降到了142个多布森单位, 相当于1.4毫米厚的臭氧层(英国自然环境研究委员会南极考察1988:36)。这一情况扩展了春天南极臭氧耗竭意义重大的衰减趋向。地球臭氧保护层正在明显地变薄, 不过, 1988年10月臭氧的量值并不比1987年10月低。已发现有一种准两年振荡的迹象, 在奇数年量值最低, 在偶数年则量值不是那样的低。为何发生这样的情况, 在某种程度上还是一个谜。

其它的两极观测也表明了相似的特点。例如在日本昭和站在当地冬季期间应用月亮散射的太阳紫外辐射进行的多布森仪表观测结果, 这些平均值约近320个多布森单位。在9月, 臭氧数量下降, 达到1982年10月的最小值, 220个多布森单位。

臭氧的垂直分布 附在氢气球上的化学臭氧探空仪通过平流层直上高空。它们使得人们可以获得分辨力为一公里的一小部分的臭氧浓度垂直剖面图(图5略)。左图以毫微巴表示臭氧分压力, 从地面(其气压为1000毫巴)直到100毫巴(或百帕斯卡), 并继续上到10毫巴(高度约为28公里)或气球爆裂的地方。在1987年8月, 对流层顶部即对流层顶仅仅位于9公里左右的高度。在温度廓线上有一弯折, 随着高度的增加, 降温率有明显的减少。在对流层顶上面的平流层中臭氧数量增加, 在100毫巴高度, 臭氧分压力为100毫微巴。因此, 把二者联系起来, 即每一百万中才有一个分子是臭氧分子。臭氧混合比亦即臭氧在空气中的比率, 按体积百万分之一, 如图5左图所示。在-90℃的地方有一发育良好的臭氧层。由于空气下沉到南极大陆并从上面填充到这个极涡大冷锅, 所以这一层是由搬运来自所有纬度20—30公里高度的臭氧来维持的。当温度低到-90℃时, 就可能形成微米级粒子的冰晶。这些被称为极地平流层云(PSC)的冰晶云, 在南极上空比在北极上空要常见得多。多相的化学反应可以在冰晶表面发生, 而这又使前述化学循环复杂起来。

一个月以后, 在9月18日, 臭氧层中明确的峰值消失了。从12到14公里的高度, 臭氧分压力基本上是恒定的, 更坏的情况尚未来临。

再后一个月, 在1987年10月13日, 出现在图5上的臭氧层的中心部分已被侵蚀掉了。两个次级的峰值因而自动形成于12公里(150毫巴)和24公里(25毫巴)处。在16和17(70毫巴)处, 破坏得更甚, 那里早两月出现的臭氧的97%都消失了。在16—17公里处, 臭氧的97%耗尽了, 只有3%存留下来。那里的温度是最低值(约为-80℃)。图5右图是臭氧混合比呈现了明确的被侵蚀掉了。对这一情况的解释应该是臭氧在高度从13到20公里不等的地方被就地破坏了。现在提出的数据及其它资料与臭氧是在一个涉及氯的催化循环之中是一致的, 而

氯则是来自人造的氟氯碳化合物，并且是在春天阳光重照时由于极地平流层云超微粒子冰晶的作用而被释放出来的。

南极臭氧空洞的原因 那么，关于南极春天臭氧耗竭我们知道些什么呢？首先，人们预告的来自CFC_s的氯的效应在南极上空的出现是一件完全使人惊异的事。这正好表明我们对大气圈实际上是如何运转的所知太少。对此的解释无论如何是与存在于那里的特殊的辐射与化学过程和独特的动力学形势等有关的。归纳起来，人们关于臭氧空洞的形成还是有了一个比较详尽的解释了。

在春天，阳光回转，照亮了南极上空的平流层，在漫长的极夜终结以后，波长为300到400毫微米的太阳辐射由于细微的冰晶而把氯释放出来，正如后文将要作更详细的讨论那样。这一行动是在孤立的极其寒冷与稳定的极涡中出现的。在极涡中15公里左右高度的空气在整个南半球春季里仍与位于同样高度的中纬度地区空气保持隔离状态。

与南极上空的臭氧空洞类似的臭氧空洞不大可能在北极上空发展起来，这是因为北极涡旋比南极涡旋较不稳定，也没有那样寒冷。不过，那里也可能有短暂的臭氧空洞，或许延续一个星期左右。像1989年初所作过的那样，通过实验调查研究北极臭氧是很重要的。

卷入臭氧破坏的催化循环中的一些详细的化学反应在这一循环中的重要性如图6（略）所示。1987年南半球春季里在飞机上所作的关于一氧化氯的一些观测，提供了是氯破坏了臭氧的“决定性的事实”。在美国空中南极臭氧实验中，作出了许多现场的与遥感的观测。

在图7（略）左图用左边标度和较粗的线示出当高空飞行的飞机进入极涡时，在67°S 19公里高处，一氧化氯的浓度明显地升高到了按体积十亿分之一（1 ppbv）。那里的一氧化氯的浓度虽只有十亿分之一，却比其中纬地区的量值要大100倍。但是臭氧浓度（图7中较细的线）在1987年8月23日则只表明了小的变化。然而，在右边的图中，在1987年9月一氧化氯和臭氧的浓度则是彼此反相关的（anticorrelated）。就位于极涡边缘数十公里处按空间尺度只有纬度一度的一小部分的变化来说，这是很稳定的。那里一氧化氯浓度较高，那里臭氧浓度也就较低。在极涡外，在19公里高处的臭氧浓度为按体积百万分之2.5（2.5 ppmv），而在极涡之内，则臭氧浓度为1 ppmv。这些观测结果意味着通过前文概述的化学作用氯是破坏南极臭氧的罪魁祸首。

在几天之后所作的一些观测证实了这种解释。在极涡边缘现在是在64°S一氧化氯的浓度上升到了1 ppbv，而臭氧浓度则骤然跌落到了1 ppmv。在大冷锅内部，活性氮例如二氧化氮的浓度也下降了，这表明形成了硝酸。在极涡内部，水蒸汽的浓度也较小，人们已用冰晶的出现来加以说明。这些硝酸冰晶在平流层生长，又在平流层内降落。这些过程已被正式命名为脱水作用与脱硝化作用。

仔细研究硝酸盐的浓度是否较高将会是使人感兴趣的事，这些硝酸盐是由在晚春降雪时产生的硝酸而形成的。一旦破坏臭氧的催化循环结束，由盐酸而形成的氯化物的浓度也会较高。

春天南极臭氧耗竭的后果 这一重大的环境变化对人类和其它动植物群有哪些后果呢？

平流层臭氧层很重要，这是由于它减少了到达地面的、波长不到320毫微米的太阳紫外光的数量。如果臭氧层被来自CFC_s的氯所耗竭的话，更多的紫外辐射便到达了地面。臭氧减少10%，地面对生物有害的紫外线B（波长为280—320毫微米）辐射的通量也就会增加20%。这样一个变化就会增加白内障和黑瘤肿瘤与非黑瘤肿瘤两种皮肤癌的发病率，特别是在浅色皮肤的人群中。臭氧每耗竭10%，非黑瘤肿瘤预期会增加40%。

紫外辐射通量增加也会伤害在冰上取暖的海豹和帝企鹅及其幼雏的眼睛，它们在臭氧耗竭区下面一呆就是好多个星期。紫外辐射通量增加还可损害生物细胞中的脱氧核糖核酸分子，也就是说它会引起突变。

臭氧空洞下面紫外辐射强度的增加可降低在南大洋表面或在洋面附近浮游生物或硅藻所产生的速率。浮游植物利用叶绿素通过光合作用把可见光转换为碳水化合物。

由于这些生物体构成了南大洋食物网的基础，像小虾一样的磷虾就是仰给于此的，所以磷虾就会营养不足，依次，这就会减少鱼类、乌贼、海豹和鲸鱼等的食物来源，所有这些动物都是以磷虾为食的，整个南大洋的生态系统就可能会受到损害。

臭氧耗竭对大气动力学也有一些后果。臭氧数量的减少降低了平流层的加热率。有迹象表明，10月中在南极洲上空平流层的较低部分现在的温度只有 5°C ，比15年前要凉一些；而且，南极涡旋的解体也被推迟了大约一个月左右。这种推迟会不会大大加快，致使极涡从头年到下一年永不解体了呢？

在平流层中还将会有一些什么更大尺度的变化呢？春天南极臭氧耗竭对其它纬度地区会有一些什么影响呢？图8提出了一些新的卫星资料数据，它可把这些问题清楚地显示出来。图8（略）表示了1979—1980年和1986—1987年该年不同月份出现的臭氧数量的一些百分比变化。一些最大的变化是南极上空从9月到10月臭氧数量减少15%或更多的变化。在8年期间一年中大多数月份里，在 50°S 曾出现过臭氧减少15%的情况。对于居住在塔斯马尼亚、新西兰和南美洲南部的人们来说，这样“紧靠家园”是很令人不快的。在北极，臭氧数量也有减少的一些迹象，特别是在2月和3月。而在北半球热带地区，在春季里却略有增加。

如果已观测到的在八年期间每年平均值的减少（约为10%左右）遍及全球的话，这种耗竭在这八年中就会被有效地冲淡到约为0.5%左右。但从图8推知的全球平均值则表明在这八年中全球的耗竭约为2%左右，所以，就全球范围来说，其它的一迄今尚未知晓的一些过程也很重要。

需要采取的行动 人们需要作些什么呢？为了在全球环境中了解南极的臭氧耗竭，需要对大气圈作更多的研究，这种研究将需要更多的实验室研究项目、更多的理论和更多的模型制作，特别是应包括用超级计算机来进行研究，例如春天臭氧耗竭是否会改变南半球动力学或全球气候。对不同经纬度紫外辐射的光谱与强度进行更多的量测也是合乎需要的，还需要就臭氧空洞对大气和其它方面进行更多的研究。

臭氧在仅仅十年里就急剧地变得更加严重了，但氟里昂类在大气中的寿命是如此之长，典型的是75年，就CFC 12而言，则是110年，致使臭氧问题无疑将会继续恶化下去。

在西方，CFC_s的生产率就CFC 11与CFC 12而言，现在仍为每年30万吨（英国平流层臭氧考察小组1987，见图3，2：8）。全世界生产率为每年100万吨的数量级。这导致CFC 11的大气浓度仅为按体积十亿分之0.2，CFC 12的大气浓度为按体积十亿分之0.3，两者的浓度都约以每年6%的速度在增长，这应说是很愚蠢的。

所以，需要各国政府采取行动。1987年9月蒙特利尔议定书决定到本世纪末以前将氟氯碳化物的产量减少一半是值得欢迎的，但这种减半仍将使问题变得更加严重。人们正在号召更加急剧地减少氟氯碳化物的生产与使用。在赫尔辛基联合国环境规划会议上报道的许多国家承担禁止进一步生产CFC_s的义务是个极好的消息，消除CFC_s生产的国际法规应该立即制订。

第三，同时我还认为只应在那些必要的地方使用CFC_s，非必要的使用应予禁止。当然

河川旅游对地方经济所产生的经济效应

H. K. 科德尔, 约翰·C·伯格斯特龙, 格雷戈里·A·阿什利, 约翰·卡里士

导言: 本文的目的就是要提出关于国家园林局的三个河川旅游区对地方经济增长影响的主要研究方法和成果。研究方法将在下一节中讨论, 尔后介绍研究成果及其意义, 最后是提要与结论。

定义与方法论 每观光一个旅游区, 游客往往要花费一笔可观数量的款项。这些外来美元的流入必将刺激该地区的经济增长, 经济增长来自于旅游消费的直接、间接及派生的效应。

游客对商品和服务需求的增长, 要求进行新的投入, 旅游消费的直接效应就是对这种投入的第一轮采购。例如: 一位河川旅游者可能在当地餐馆内吃几顿饭。为了供应较多的饭菜, 这些餐馆就不得不增加对食品或其它物品的采购量。这种采购就是游客在餐馆进餐消费的直接效应。

为了满足餐馆对投入增长的需求, 餐馆供应者也不得不增加对投入的采购。例如: 可向餐馆供应新鲜蔬菜的当地农民就必须增加对农业投入的采购。农业供应商为了满足农民对投入增长的需求, 也必须增加对投入的采购。这些二次投入就是游客在餐馆就餐消费的间接效应。受游客消费刺激而产生的投入销售量和采购量的增长, 导致当地居民收入的增长。例如: 为游客而增加了的生意可能导致餐馆雇用人员收入的增加。由于收入增加, 餐馆雇员就可能提高对商品和服务的需求。这些附加消费者的消费就是游客在餐馆就餐消费而产生的派生效应。

因此, 河川旅游对地方经济总的经济效应, 可用旅游者消费的直接、间接和派生效应的

还没有由于使用CFCs作为气溶胶罐推进剂(其它推进剂已经可供应用)而把CFCs释放到大气中去的管辖权, 它们的使用可以通过清楚地把它们称之为“对臭氧无害的”(“ozone-friendly”), 亦即对臭氧不会造成损害的。必须找到生产硬塑料泡沫的替代办法。还需要为冷冻机、冷藏车、库和空调机设计与生产新的、无毒的、能安全地生物降解的致冷剂, 为工业设计与生产新的溶剂。对CFCs的这些替代产品既不导致臭氧层的破坏, 又不增进温室效应。

第四, 现在已有的CFCs, 不应容许从已经超过其使用期的冷冻机和空调机中逃逸到大气中去, 应该把CFCs液化并储藏起来, 直到化学工业可以有效地破坏它们并使之成为对环境无害的产品。

南极洲是一个独特的而又美丽的大陆。一个大气的例子就是日柱之美, 它们是由于因地心引力而排列成行的冰晶折射阳光而形成的。然而, 这一美丽景象又与臭氧的破坏紧密地联系在一起, 这是因为在平流层中的这些冰晶是带来了氯和硝酸的同一种冰晶, 而据认为, 氯和硝酸又正是通过复杂的化学过程要对南极上空的臭氧耗竭负责的。

袁大中译自《The Geographical Journal》Vol. 156, Part 1, 1990