

关于平流层臭氧耗竭问题的科学争论

张桂宾* 译

为了估计人类活动可能对平流层中臭氧层的潜在影响,人们常用计算机模型来估算全球平均臭氧量的常态变化(Solomon, 1988)。这些模型有着固有的局限性(Brasseur and Solomon, 1986; Trenberth, 1992),而且许多早期的研究是用简单的一维模型完成的。虽然许多争论集中在这些模型是否足以准确地做出有价值的预测上,但是从根本上说,对人为引起平流层臭氧耗竭持有异议,这些意见集中在自然力量比人工力量更大这种观点上。

1 早期的问题

考虑人类影响臭氧层最初是在 1970 年,当时一篇题为《严重的环境问题》的报告(Wilson and Matthews, 1971)讨论了来自 SST(超音速运输机)的燃烧物对臭氧层的可能影响。只有水蒸汽被认为通过扩大催化破坏作用而影响臭氧层,其它的燃烧物,即一氧化碳和氮氧化物的影

所以,上升地势的演变,很可能遵循自组织原则,而下降地势的演变不符合自组织的标准,这和我们的直觉是一致的。因为向下的剥蚀作用将使地形趋于平坦,Zdenkovic 和 Scheidegger (1989)曾指出,平坦地貌的熵要比崎岖地貌的熵高。另一方面,切割作用将地貌分成了不连续的单元。

在现实地貌中,地势上升和下降的地貌发育都存在(Twidale, 1991)。地势上升或下降现象可能会出现在同一地区的不同时期内或者同时出现在不同地区的同一地貌类型中(Renwick, 1992)。因此,地貌演化是自组织的说法是不准确的,而应说地貌演化可能是自组织的。

5 结 语

自组织的现象在地表系统中普遍存在,并且自组织原理已作为一般的原理被提出并应用到地貌系统中,然而非自组织行为在地貌系统中也是存在的。如果可以为地貌系统设计一个合理的带箭头的方框图和综合定性相关矩阵,就可以确定该系统是否显示(或在什么条件下是)自组织行为。地貌系统的自组织(如单测站水力几何学)和非自组织(如土壤地貌发育)行为都可用这种分析方法来说明。

地貌演变可能是自组织的也可能是非自组织的原则已被地貌发育所证明。众所周知,地势上升和下降任何一方(或两者)可能具有长期地貌发育的特征。包括高度均匀发散的上升地势可能是自组织的。而下降地势的地貌发育总是非自组织的,其高度一般是收敛的。

地貌学中的自组织也许象稳定平稳态,它的理论价值不在于它的普遍存在或其广泛的适用性,而在于它给出了两种基本不同的地貌和景观发育方式之间的差别。地貌演化不能用时间之矢和历史之矢的特征来表示,然而地貌学家可以用历史之矢和时间之矢两者或其中之一去解释地表系统的演变。

译自《Progress in Physical Geography》, 1995, 19(3), 309—321

响可以忽略。但是约翰斯顿(1971)和克鲁森(1971)两人都认为来自 SST 的氮氧化物的影响可能是重要的。由于氮氧化物的动力稳定性和干燥性它能够在平流层下部聚集(Brasseur and Solomon, 1986), 有大约 2 年的滞留时间(Crutzen, 1972)。

研究 SST 的大多数是用联邦航空局估计的某种变化作为他们的基础, 即到 1985 年将有 500 架超音速飞机在平流层中巡航, 每天平均飞行 7 小时。其中 334 架有 4 个引擎, 其余的有 2 个。约翰斯顿(1971)用一简单的化学模型估计飞机发出的 NO 数量能减少臭氧层 1/2。但是需要考虑的问题是大气模型中动力学过程应当给予适当对待(Crutzen, 1971)。由含一个简单处理大气运动的模型导出的结果同约翰斯顿的结论(1971)没有大的差别(Crutzen, 1972, and reference therein)。

由于几种原因这些结果的可信度是低的(Crutzen, 1972)。人们不清楚人工氮氧化物的重要程度, 因为对自然水平知之甚少。飞机的飞行高度会影响废气在平流层中的停留时间。赫斯特维德(Hesstvedt)(1974)用含有氧—氢—氮化学物的二维大气模型研究发现臭氧损耗的数量严格地取决于飞机的飞行高度。飞行越高耗损臭氧越多, 18km 为 0.3%, 25km 为 2%, 28km 为 5%。此外, 飞行走廊和飞行频繁的季节能使一些地方的氮氧化物浓度比估算的全球浓度高出 10 倍(Crutzen, 1972)。这又可以同臭氧在季节上和地理上的变化相互作用, 其结果使一些地方的臭氧层变薄了。

戈德史密斯等人(1973)把臭氧层受超音速飞机的威胁同受核武器试验的威胁进行了比较, 因核武器试验也产生氮氧化物。他们估算到, 使用的协和飞机数量需要产生的 NO 数量与从 1952 年到 1972 年间核武器试验每年产生的数量相当。他们推导出, 在核试验最多的 1961 年和 1962 年期间要匹配来自核爆炸的 NO 需要 800 架协和飞机。即使 NO 在平流层中在输送和分布上有差别, 平流层臭氧也已受到了 NO 的显著影响。可是, 戈德史密斯等人(1973)探测到能与核武器试验相联系的臭氧数量没有显著的下降趋势, 推断出氮氧化物没有使臭氧层产生大的变化。这与约翰斯顿等人(1972)报导的发现与核武器试验相联系的臭氧数量在显著下降趋势相矛盾。

2 有关氯氟烃的争论

虽然斯托拉斯基和西赛罗尼(1974)以及莫利纳和罗兰(1974)都认识到氯对臭氧起催化破坏作用, 但是在后来吸引传媒和公众注意力的文章中, 氯却是以一种广泛使用的烟雾推进剂 CFCs (氯氟烃) 来命名的(Roan, 1989)。因为 SSTs 不再大量制造成为必然, 所以科学争论大多集中在 CFCs 上。CFCs 在对流层中有长达 50—400 年的寿命, 因此 CFCs 能连续影响臭氧许多年(McFarland and Kaye, 1992), 洛夫洛克(Lovelock)(1971)指出 CFCs 的自然巢窟(Sinks)很少, 并且在平流层的温度条件下氯催化破坏臭氧的效力比氮氧化物之类的效力高得多。他们的简单一维模型表明 CFCs 释放出的氯能导致平流层臭氧遭到破坏。

对这种理论提出许多异议是以怀疑实验室模型研究是否可靠得足以应用到实际大气层中为基础的(Scorer, 1974)。以前用于计算平流层臭氧耗损的化学反应速度只是在实验室内观察到的。这些模型不能足够真实地代表平流层化学性质去作出任何有价值的预测, 并且用垂直扩散一维模型去代表输送是完全不适当的, 对此有不同意见(Scorer, 1974; 1975)。确实, 除了三维模型外, 由于天气系统的影响臭氧数量在各地的明显波动限制了对其变化作出精确的模拟(Brasseur and Solomon, 1986)。

没有将所有为耗臭氧物提供暂时性巢窟的化学反应在内的模型会过高地估计臭氧耗损的

数量(Eggleton et al. 1974)。在 1975 和 1976 年期间,拉兹若斯(Lazrus)等人(1976)测定了平流层中氯化氢(HCl)的数量,因为这是自由氯的暂时性巢窟。虽然模型计算是 HCl 浓度独立于太阳强度和季节,但观测表明它有明显的季节变化,这意味着有另外的依赖于太阳强度的氯的暂时性巢窟。罗兰等人(1976)把这个巢窟确认为是硝酸盐(ClONO₂),它使臭氧损耗估计值降低到原来的 0.7—0.85 倍之间。也考虑它对 NO 破坏循环的影响,埃格莱顿(Eggleton)等人(1976)发现对臭氧层的威胁进一步降低了,而且依硝酸氯的实际形成速度而定甚至会使臭氧增多。

除了动力学的和化学上的一些疑问之外,另一个对臭氧耗损理论的重要异议是臭氧层受自然氯的影响不显著,因此它很有能力对付来自 CFCs 的氯。甚至不清楚 CFCs 是否是平流层的主要氯源,象 CFS_s 引起平流层臭氧损耗的提议者们所含蓄地设想的那样(Gribben 1979)。这是由于缺少对人工的和自然的卤化碳源进行全球监测。洛夫洛克(Cited in Gribben, 1979)赞成把甲基氯当作主要氯源。甲基氯从自然氯源中释放出来进入大气层,也可由某些农业活动产生(loveclock cited in New Scientist, 1975)。争论再次出现了,如果臭氧层能对付这种来源的氯,这种氯每年能潜在地消耗 4% 的臭氧(Gribben, 1979),那么臭氧层就能对付来自 CFS_s 的氯。同詹姆斯·洛夫洛克(James Lovelock)的盖安(Gaian)原理一致,其出发点是自然生物过程会阻止人类对臭氧层的永久性改变(Angione et al, 1976)。

另外一些反对意见接受了 CFCs 能破坏臭氧层的基本前提,但是怀疑其耗损的严重性。根据模拟结果提出了自我恢复臭氧层的概念(Gribben, 1978)。因为臭氧损耗发生在平流层上部,所以更多的紫外线将进入大气层下部并刺激这部分空气产生臭氧。平流层臭氧的自然变化性进一步使这个问题复杂化了,正象它为很难估计臭氧数量定了一条基线那样(Angion et al. 1976)。还有人怀疑预测平流层臭氧耗损对陆生生物产生的影响,如皮肤癌上升,是否会发生(Jones, 1975)。自莫利纳和罗兰的文章(1974)之后,由于消费者拒绝购买 CFS_s 推进剂(Shayer, 1994)以及合成 CFCs 费用的提高(Allaby and Lovelock, 1980),CFCs 的生产量下降也被看作是消极对待 CFCs 的原因(Ken Wook, 1979)。

引起了各种官方调查者来估计对臭氧层的威胁程度(Roah, 1989)。首先,美国国家科学院(NAS)在 1976 年的报告中赞同莫利纳和罗兰关于 CFCs 能耗损臭氧的理论,但是由于该问题在规模上不确定,没有明令禁止 CFCs(Gwyune, 1976)。NAS、世界气象组织(WMO)和联合国环境规划署(UNEP)的几篇连续报告发觉这种耗损理论没有大的缺陷(WMO, 1985; Roan, 1989),但是察觉到的威胁减小了,因为随着模型的不断完善,平流层臭氧耗损程度的估计值也就下降了。在 1974 年预测的 50—100 年臭氧总量的下降值是 13%,在 1979 年此值上升到 19%,但在 1982 年已降到了 5% 以下(Solomon, 1988)。作为推进剂来使用 CFCs 在不断地减少,但是到 80 年代初,由于在其它方面的使用增多,CFCs 的生产和使用又开始再次增多(McFarland and Kaye, 1992)。

有人认为二氧化碳和甲烷日益增多的动力学和化学效应甚至可进一步降低 CFCs 的影响,到 1984 年,臭氧层受到的威胁看作是最低点(Solomon, 1988)。在一篇题为“喷水罐:从来不是威胁”的文章中(Allaby and loveclock, 1980),作者用冷嘲的语气写到,在洛夫洛克的文章中(1971),作者对 CFCs 在大气中的出现提前发生了“情感过度反应”(Allaby and loveclock, 1980: 214)。也许正是这一双关的冷嘲,这篇文章还包含有这样的陈述“如果由于 CFCs 使大气层臭氧遭破坏的话,那么这种结果在冬季纬度很高的地方最显著(Allaby and Lovelock, 1980: 213)。

3 南极臭氧洞

自从 1957 年以来,英格兰南极洲测量队在哈雷湾(76°S, 27°W)和阿根廷岛(65°S, 64°W)对臭氧层实施了连续监测。在 1985 年,法曼等人发表成果指出,在南半球春季南极圈上空的臭氧层近几年来已变得相当稀薄。他们特别提到:“哈雷湾臭氧总量的年变化经历了剧烈的变化”(Farmann et al. 1985:207)。没有一个模型预测到这种情况,卫星也没有探测到。

NASA 自 1971 年以来一直用各种卫星设备在监测垂直方向上的臭氧量。在处理原始资料过程中,他们一直把小于 250 陶普生单位的臭氧总量设想为错误的,因为这些数据从来没有在世界任何地方观测到过,于是处理程序拒绝接受低于这一阈值的资料(Harries, 1990)。这种原始资料仍然可以得到并在阈值之外进行再处理。斯托拉斯基等人发表的这些成果(1986)证实了法曼等人(1985)的调查结果。

虽然不是严格意义上的一个洞,但南极上空臭氧层变稀薄已逐渐被广泛地通称为臭氧洞。法曼等人(1985)提出臭氧洞是发生在南极上空的特殊气象条件与人工臭氧催化破坏物增多相结合的产物。法曼等人(1985)指出,一旦春季阳光到来时存在于南极冷涡中的寒冷条件有利于氯对臭氧的催化破坏。极涡彻底破裂和陆地上空的暖空气侵入将减轻对臭氧的破坏。

4 南极洞之后

所罗门(1988)把臭氧层的变化总结为以前曾未发生过的和不可预测的。的确,没有一个模型预测到臭氧层在 50 或 100 年内会有像目前大气中出现的这种变化。很清楚,过去用模型对该问题进行模拟时,人们对大气动力学和化学性质的认识是不充分的。应这一问题的挑战,人们对平流层臭氧耗损的研究大大增多了。因此,对臭氧洞问题有多家评论。有舍尔波尔和克罗伊格(1986)、所罗门(1988)、布伦(1991)、麦克法兰和凯(1992)。

此洞发现后最初的争论是以这种洞是自然出现的现象还是大气污染物增多的结果为基础的。自然发生的现象包括由于太阳活动周期造成的气象变化和化学变化(Solomon, 1988; McFarland and kaye, 1992)。1986 年 11 月《地理研究文献期刊》发一特刊专门讨论臭氧耗损。舍尔波尔和克罗伊格(1986)的看法赞成臭氧洞是自然原因引起的,报道许多研究者已指出平流层温度有些下降。有人提出大气层上部的小气候变化,它由可能与海平面温度变化有关的大气层下部的变化所引起,是平流层温度和南极臭氧含量下降的原因。

根据卫星对奇数氮化合物的测定,卡利斯(Callis)和纳塔拉间(Natarajan)(1986)提出 1980 年太阳黑子最大值比前面二个最大值更大。因为太阳活动增强产生更多的奇数氮,所以这会导致臭氧耗损。然而,其它的太阳活动,也强烈影响平流层奇数氮的含量,却好象不影响臭氧层。再者,观测资料表明臭氧耗损最强烈是发生在 10—22 公里高度处,而不是在太阳活动理论预言的高度上(Solomon, 1988)。彤(Tung)等人(1986)提出在春季太阳光返回到南极时(辐射加热),有一荣格层上涌,上升到臭氧层,接着导致了臭氧季节性减少。认为这个荣格层上涌随最近来自火山喷发的气溶胶增多而加强了,或者随冬季平流层普遍变冷使平流层云量增多而加强了。

来自人工污染物的氯是形成臭氧洞的原因,这种观点很快被研究这一现象的大多数科学家所接受(Mackenzia, 1987; WMO, 1988)。尽管这些机制还没有完全被认识,但目前对南极发生臭氧洞的解释很大程度上应归功于法曼等人(1985)最初的假说。然而人们认识到在低空耗损如此多的臭氧,氯必须是易得的活性自由基团(Solomon, 1988)

象较早描述的那样,随着冬季的开始极涡在南极上空平流层中形成,而极涡中的低温可以

形成 PSCs。平流层中的大多数化学物是以气态存在的。PSCs 和荣格层为不能在气态下发生反应的化合物之间提供了一个反应表——称为多相反应 (McFarland and Kaye, 1992)。简言之, PSCs 和气溶胶的出现可以使氯从稳态转变成在光作用下易发生光离解的活性态。于是人们说这里的平流层为臭氧的破坏作好了准备。随着春季阳光的到来光解作用对臭氧的破坏可以开始。最后, 太阳光的温暖灭掉极涡, 较暖的富含臭氧的空气回到极地。

同臭氧一样, 其它大气成分的分布也有某些显著改变。ClO 的浓度大大升高了, 因为已知氯破坏臭氧过程中产生 ClO。但是, 许多氮化合物的浓度降低了。好像奇数氮化合物也经历多相反应转变成硝酸 (HNO_3) 成为能被保存的 PSCs 部分。随着云粒变得越来越大, 它们移动到低空而排除掉奇氮化合物。在这种情况下, 据说平流层已经历了反硝化作用。在某些条件下脱水过程也能发生。平流层的反硝化作用对臭氧破坏来说也是一种重要的先决条件, 因为它阻止了氯的某些巢窟的形式, 可以形成更多的活性氯 (Schoeberl and Hartmann, 1991)。

南极臭氧洞显现出一种两年的波动, 单数年比双数年更深 (Gribben, 1988)。人们认为这与 QBO 相联系, 当平流层温度最低并有极涡一直持续到春季时出现最深的洞 (McFarland and Kaye, 1992)。1988 年该洞特别小, 大概是动力学活动强的结果。但是在近几年这种两年的振荡消失了。它可能是氯的数量已经达到了这样的程度以至于即使在不利的气象条件下洞也能形成 (McFarland and Kaye, 1992)。1992 年的洞是到目前为止最大的洞, 而且也是从 1957 年在哈雷站开始观测以来形成最快的一个。这可能与 1991 年比那土宝山的火山喷发扩大了人为破坏平流层臭氧的作用有关。

1988 年 3 月 NASA 臭氧趋势专门小组宣布, 北半球中高纬度上的臭氧层变薄 1.7—3% (Roan, 1989)。变化虽然显著但它没有南极上空的剧烈。北极大气层以与南极大气层同样的方式为臭氧洞的形成作好了准备, 但以下面的显著差别保护了北极大气中的臭氧层 (Gribben, 1989): 北极涡旋活动时间短而且频繁地分解不像南极涡旋那样一直不受干扰 (Plumb, 1990; Proffit et al. 1990)。因为北极比南极孤立程度低, 所以形成 PSCs 所需要的低温, 即臭氧耗损极为重要的条件, 在北极不大可能出现。但是它们能在北极冬季平流层下部形成 (Plumb, 1990)。舍尔波尔和哈特曼 (1991) 提出北极涡旋中 ClO 的形成很可能与 PSCs 活动相联系而不是发生在南极涡旋中的连续过程。当小块气团被迫向上运动时出现 PSCs, 大概是在对流层的天气系统作用下以及通过绝热膨胀发生冷却而造成的。最后, 富氮空气进入北极可以使活性氯固定起来成为稳态氯 (Schoeberl and Hartmann, 1990)。

普罗菲特等人 (1990) 提出, 北极上空失去的臭氧可以像南极失去的那样多, 但是对北极臭氧总量的影响显得较小, 这是因为富臭氧空气以耗臭氧那样快的速度不断地流入北极。这种解释与极涡起一个容器作用的观点是不一致的 (Plumb, 1990)。

预期将来平流层臭氧的耗损数量严格地取决于预估的耗臭氧物数量。假设 CFCs 排泄量减少 95%, 13 个二维模型 (WMO, 1990) 的结果指出, 臭氧在热带的减少量将是微不足道的, 而在高纬达 4%。但是如果氯的数量继续上升, 那么在高纬冬末臭氧下降可达 10% (Brune, 1991)。近来有人建议要使新一代超音速运输机开业, 这还会对平流层臭氧耗损产生重大影响。据估计在高纬海拔 25km 处飞行会产生最大的损害 (Brune, 1991)。

节译自《Progress in Physical Geography》, 1995, 19, (1), 1—17 赵秉栋校