

南极臭氧总量恢复与平流层环流的联系

李佳瑶 周顺武 杨铖

(南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京, 210044)

关键字: 南极臭氧总量, 恢复期, 损耗期, 平流层环流, EP 通量

自 20 世纪 70 年代末开始, 南极上空臭氧总量在每年 9—11 月 (即南半球春季) 都会急剧降低, 形成臭氧洞^[1]。但南极臭氧总量在 2000 年左右已经显示出逐渐恢复的迹象^[2], 且 9 月恢复的趋势最显著^[3]。对于 9 月臭氧总量恢复的原因, 有研究指出是由于平流层环流的动力影响^[4], 且平流层温度是其中的关键因素^[5]。平流层温度影响臭氧总量变化的途径主要有两个: 一个是低温条件下容易形成平流层云, 使氯气生成速率加快, 并在平流层云的表面发生异相化学反应, 破坏臭氧^[6]; 另一个是平流层温度的冷却会加强极涡并延迟极涡的破裂时间, 较强且较晚破裂的极涡将低浓度臭氧限制在极区, 为臭氧空洞发展提供物质隔离^[7]。且行星波也可通过影响平流层温度和极涡从而影响臭氧总量的变化^[8]。此外, 目前研究多采用 50 hPa 温度和 10 hPa 极涡分别代表平流层温度和极涡, 且 50 hPa 温度和 10 hPa 极涡与臭氧存在显著相关^[7, 9]。因此, 本文重点对比分析臭氧损耗期和恢复期中平流层温度、极涡以及 PSC 面积与臭氧的关联度。

本文首先基于近 41 年 (1979—2019 年) BS 填充臭氧总量数据集和同期的 ERA5 再分析数据, 给出了 21 世纪初 (2000—2019 年, 恢复期) 和 20 世纪末 (1979—1999 年, 损耗期) 9 月南极臭氧和平流层温度、极涡以及 PSC 面积的变化特征, 其次通过统计分析了两个时期平流层温度、极涡和 PSC 面积与臭氧之间的关系, 最后利用 EP 通量诊断, 探讨了影响臭氧变化的可能途径。结果表明: (1) 南极臭氧总量在 2000 年后显著增加。与臭氧总量存在显著相关的平流层云面积和平流层中下 (中上) 层温度 (位势高度) 在 2000 年后分别呈现出减小和上升 (下降) 的趋势; (2) 恢复期臭氧总量与平流层中下 (中上) 层极区温度 (极涡) 的关系更显著; (3) 与损耗期相比, 恢复期由于 500 hPa 行星 1 波强度更强, 平流层存在较强的向上 EP 通量, 伴随 EP 通量辐合和更大的负涡旋热通量, 使得平流层中下层极区温度升高, 中上层极涡减弱, 导致 PSC 面积减小, 有利于南极臭氧总量恢复。

参考文献

[1] FARMAN J C, GARDINER B G, Shanklin J D. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction[J]. Nature, 1985, 315: 207–210.

[2] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Scientific assessment of ozone depletion: 2018.

基金项目：国家自然科学基金重点项目（42030602），国家自然科学基金项目（41801017）资助

Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 588, Geneva, Switzerland, 2018.

- [3] STONE K A, SOLOMON S, KINNISON D E, et al. On recent large Antarctic ozone holes and ozone recovery metrics[J]. Geophysical Research Letters, 2021, 48: e2021GL095232.
- [4] SOLOMON S, IVY D J, KINNISON D, et al. Emergence of healing in the Antarctic ozone layer[J]. Science, 2016, 353: 269–274.
- [5] 施春华, 陈月娟, 郑彬, 等. 平流层臭氧季节变化的动力和光化学作用之比较[J]. 大气科学, 2010, 34(2): 399–406.
- [6] 胡永云. 南极臭氧洞的发现[J]. 科学通报, 2020, 65(18): 1797–1803.
- [7] ZHANG Y, LI J, ZHOU L B. The Relationship between Polar Vortex and Ozone Depletion in the Antarctic Stratosphere during the Period 1979–2016[J]. Advances in Meteorology, 2017, 2017: 3078079.
- [8] LUBIS S W, SILVERMAN V, MATTHES K, et al. How does downward planetary wave coupling affect polar stratospheric ozone in the Arctic winter stratosphere?[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2017, 17(3): 2437–2458.
- [9] BIAN L -G, LIN Z, ZHENG X -D, et al. Trend of Antarctic ozone hole and its influencing factors[J]. Advances in Climate Change Research, 2012, 3(2): 68–75.