

基于星载激光雷达及多源数据的烟尘传输观测

孙康闻¹, 戴光耀¹, 吴松华^{1,2,3*}, 龙文睿¹, 储雯¹, 荆怡迈¹

¹ 中国海洋大学信息科学与工程学部海洋技术学院, 山东 青岛 266100;

² 崂山实验室, 山东 青岛 266200;

³ 中国海洋大学海洋高等研究院, 山东 青岛 266100;

2020年9月, 美国西部加利福尼亚地区发生了严重的森林火灾, 大量的生物质燃烧气溶胶(烟尘气溶胶, 包括有机碳和黑碳)被排放至大气中并被抬升至自由对流层。全球首颗测风激光雷达卫星 Aeolus 具备观测全球风场、气溶胶廓线的能力, 应用其数据可以实现对烟尘传输的垂直立体观测。本研究应用星载激光雷达 ALADIN/Aeolus、CALIOP/CALIPSO, 结合 MODIS 传感器、MERRA-2 再分析模型、HYSPLIT 轨迹传输模型, 捕捉并分析了2020年9月11日至21日期间从美国西部到欧洲北部的大规模烟尘气溶胶传输事件。首先, 由于在加利福尼亚地区至北欧地区的大水平空间范围内 550 nm AOD 数值明显升高(部分大于5), 因此大体确定了此次烟尘传输时间范围(2020年9月11日至21日)和水平空间范围(30°N to 70°N, 140°W to -40°E)。然后应用 CALIOP 提供的气溶胶分类数据, 验证了该时间段内该空间范围内烟尘气溶胶的主导地位。为了从 Aeolus 的观测数据中获取烟尘气溶胶廓线, 进行了质量控制、云筛除和异常值剔除, 并只保留了烟尘柱质量浓度大于 10 mg·m⁻² (由 MERRA-2 提供)的廓线。研究发现了六个分别在9月11日、15日、16日、18日、19日和21日捕捉到烟尘气溶胶的 Aeolus 观测切片(分别称作 CS11-CS21), 分别位于美国西部、大西洋以及北欧地区。经过 HYSPLIT 的空间和时间验证, 证明了六个切片可以描述整个烟尘传输过程。CS11 至 CS18 切片的平均气溶胶消光系数由 55 Mm⁻¹ 增长至 86 Mm⁻¹, 而后 CS19 和 CS18 切片的平均气溶胶消光系数降至 50 Mm⁻¹ 以下。平均激光雷达比由 CS15 的 77 sr 降至 CS18 的 65 sr, 后又增长至 CS21 的 77 sr, 传输后期的激光雷达比增长可能由于 CS21 的相对湿度较高导致。假设单个气溶胶层内烟尘气溶胶的质量浓度与消光系数成正比, 每个观测切片的烟尘质量浓度由消光系数与柱质量浓度计算得到。烟尘质量浓度的计算结果由转换系数法进行验证。最大平均质量浓度在 CS16 和 CS18 达到约 35 μg·m⁻³。在北欧地区的烟尘传输最终阶段, 观测切片的平均质量浓度仍能达到约 19 μg·m⁻³。Aeolus 提供的风矢量数据产品为烟尘传输提供了动力学观测。根据其观测数据, 发现了从美国西部经过大西洋到北欧的烟尘传输通道, 同时, 计算了每个观测切片的传输通量以定量表示其传输强度。该研究证明了 Aeolus 观测大规模烟尘传输事件的能力, 提出了一个基于星载激光雷达估算烟尘气溶胶质量浓度的新方法, 计算并分析了一次大规模烟尘传输事件的气溶胶特性及传输强度。