

基于中国境内地基 CDL 网的 Aeolus 风产品验证及 Aeolus 产品在气溶胶传输中的应用

孙康闻¹, 戴光耀¹, 刘晓英¹, 王筱晔¹, 吴松华¹

¹ 中国海洋大学海洋技术学院, 青岛, 中国

自 2018 年 8 月 22 日, 欧洲空间局 (European Space Agency, ESA) 研制的全球第一台测风激光雷达卫星 Aeolus 成功发射后, 在中国境内部署了 17 台地基相干多普勒测风激光雷达 (coherent Doppler wind lidar, CDL), 用于验证 Aeolus 的风速观测结果。通过分布在中国各地的 17 个地基 CDL 站点的同步观测, 将大气边界层和低对流层内 Aeolus 观测得到的 Rayleigh-clear 通道和 Mie-cloudy 通道水平径向 (horizontal-line-of-sight, HLOS) 风速与地基 CDL 观测得到的风速进行了对比。为了保证 Aeolus 和 CDL 的数据质量, 本研究采用了严格的质量控制。质量控制后, 共获取了 52 组 Mie-cloudy 数据与 CDL 数据的对比对和 387 组 Rayleigh-clear 数据与 CDL 数据的对比对。Mie-cloudy HLOS 风速和 CDL 反演的 HLOS 风速对比统计结果中, 相关系数、标准偏差、比例中位数绝对偏差和偏差分别为 0.83、3.15m/s、2.64m/s、-0.25m/s, “ $y=ax$ ” 直线回归的斜率、“ $y=ax+b$ ” 直线回归的斜率和纵截距分别为 0.93、0.92 和 -0.33m/s。Rayleigh-clear HLOS 风速和 CDL HLOS 风速对比统计结果中, 相关系数、标准偏差、比例中位数绝对偏差、偏差分别为 0.62、7.07m/s、5.77m/s、-1.15m/s, “ $y=ax$ ” 直线回归的斜率、“ $y=ax+b$ ” 直线回归的斜率和纵截距分别为 1.00、0.96 和 -1.20m/s。在按升轨、降轨分组的对比统计结果中发现, Aeolus Rayleigh-clear 通道升轨 HLOS 风速的标准偏差、比例中位数绝对偏差均小于降轨数据, 且降轨风速数据相较于 CDL 存在 -1.15m/s 的明显偏差。此外, 为了评估不同产品处理器基线 (Baseline) 下 Aeolus HLOS 风速测量的准确性, 将 Rayleigh-clear HLOS 风速按照 Baseline 07 和 08、Baseline 09 和 10、Baseline 11 进行了分组, 与 CDL HLOS 风速进行对比统计。从统计结果看, 大气边界层和低对流层 Aeolus Baseline 07 和 08 风速与 CDL HLOS 风速存在明显的不匹配。随着验证活动的开展、校正算法的实施, Aeolus 产品处理器得到不断的更新, Baseline 09 和 10、Baseline 11 的 Aeolus 风速测量性能得到了明显的改善。此外, 提出了一种垂直速度校正方法, 评估了大气垂直速度对 ALADIN/Aeolus 数据反演引入的误差。

Aeolus 能够同步测量风速廓线和气溶胶光学特性廓线, 这为气溶胶输运及平流的观测提供了可能性。利用星载激光雷达 ALADIN (Atmospheric LAsEr Doppler INstrument) 和 CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization) 的观测数据以及 ECMWF (European Centre for Medium-Range Forecasts) 和 HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model) 模式再分析数据, 对 2020 年 6 月 14 日和 6 月 27 日期间发生的大规模撒哈拉沙尘传输事件进行了观测和跟踪。评估了 ALADIN 和 CALIOP 在沙尘光学特性和风场观测方面的性能, 并探讨了结合 ALADIN 和 CALIOP 的观测数据以及 ECMWF 和 HYSPLIT 模式再分析数据在观测沙尘事件和计算沙尘水平质量传输通量方面的能力。通过 ALADIN 和 CALIOP 的准同步观测, 结合 ECMWF 提供的风场和相对湿度, 计算沙尘水平质量传输通量。应用 AIRS/Aqua Dust Score 和 CALIOP 的 VFM 产品来识别沙尘羽流。应用 AIRS/Aqua、CALIOP 和 HYSPLIT 的数据来跟踪观测了沙尘事件的排放、扩散、运输和沉积。通过 ALADIN 和 CALIOP 的准同步观测, 结合风场和相对湿度, 计算出沙尘的平流量。研究发现, 2020 年 6 月 14 日和 15 日产生于撒哈拉沙漠的沙尘气溶胶, 被抬升后在大

西洋上空向西输送，最后沉积在大西洋、加勒比海和美洲。在传输和沉积过程中，沙尘层主要位于 5° N 和 30° N 之间、0km 和 6km 之间的东北信风带中。Aeolus 提供了对撒哈拉空气层 (Saharan Air Layer, SAL) 中这一沙尘传输事件的动力学观测。从 2020 年 6 月 19 日的观测结果来看，在排放区 (西撒哈拉)、传输区 (大西洋中部) 和沉积区 (大西洋西部) 分别准同时捕捉到了沙尘羽流，这表明这一天上午大西洋上空的沙尘羽流面积相当巨大，说明此次沙尘传输事件的规模和范围很大。在整个传输过程中，ALADIN 和 CALIOP 对 6 月 15 日、16 日、19 日、24 日和 27 日的准同步观测结果与 Dust Score 数据和 HYSPLIT 轨迹显示出良好的一致性，表明 ALADIN 和 CALIOP 对同一沙尘事件的传输过程进行了跟踪，验证了沙尘传输过程从排放到沉积共持续 2 周左右，实现了对该沙尘事件排放期、发展期、传输期、下降期和沉积期的分别观测。最后，计算了 6 月 19 日不同沙尘部分的平流量以及整个传输周期中各个部分的平流量。6 月 19 日，排放区域的平均沙尘平流量约为 $1.91 \pm 1.21 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，区域的平均沙尘平流量约为 $1.38 \pm 1.28 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，区域的平均沙尘平流量为 $0.75 \pm 0.68 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。在沙尘事件的整个生命周期中，2020 年 6 月 15 日的平均沙尘平流量约为 $1.51 \pm 1.03 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，2020 年 6 月 16 日为 $2.19 \pm 1.72 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，2020 年 6 月 19 日为 $1.38 \pm 1.28 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，2020 年 6 月 24 日为 $1.60 \pm 1.08 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，2020 年 6 月 27 日为 $1.03 \pm 0.60 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。在沙尘发展阶段，平均沙尘平流量逐渐增加，随着沙尘事件的加强，在 6 月 16 日达到最大值。然后，在沙尘在大西洋、美洲和加勒比海上空传输和沉积期间，平均沙尘平流量下降。