

卫星红外高光谱云区资料在 PCA 空间的同化应用

余意^{1,2}, 张卫民¹, 赵延来¹, 罗雨¹, 叶敏华², 白祖义²

(1, 国防科技大学, 长沙, 410073)

(2, 中国人民解放军空军 94936 部队, 杭州, 310016)

红外光谱相对微波光谱而言穿透云层的能力较弱, 受云污染的云区卫星红外高光谱资料定量应用难度很大。目前国际上大多数数值预报中心对卫星红外高光谱资料的业务应用主要是对晴空辐射率资料进行同化。通过在辐射率空间同化完全晴空的视场或经过云检测后识别出来的晴空通道来达到利用有云红外辐射率资料的目的。对于星下点观测分辨率大致为 10-17km 的卫星观测仪器, 研究表明完全为晴空的视场不到 10%, 即使云检测以后能增加红外高光谱视场约 20%的晴空通道, 大部分有云视场和大量包含云区大气运动结构特征的信息都被丢弃了, 因此开发有云视场信息, 可大大提高卫星红外高光谱资料的利用率。

红外高光谱仪器具有较高光谱分辨率, 增加了大气探测的垂直分层, 即使在受云影响的区域, 也可以获得精度较高的云顶温度、云顶气压、云量比等信息。本文采用主成分方法, 在主成分分析 (PCA) 空间充分开发卫星红外高光谱云区的有效信息, 实现全天空 (all-sky) 即包含晴空视场区、部分有云区和覆盖完全不透明云区红外高光谱资料的同化。对于晴空视场通道、部分有云区和完全不透明区内通道峰值高于云、不受云影响的通道, 统一用晴空 PC 辐射传输模式模拟出相应大气状态的主成分, 然后与投影到晴空 PC 向量上的观测资料的主成分计算残差, 进一步同化。对于部分云和完全不透明云区的云信息, 需要使用有云 PC 辐射传输模式, 模拟出相应的云 PC 主成分。在实际开发过程中, 构建模拟的有云多色辐射率光谱资料集, 对该资料集求解误差协方差矩阵的特征值和特征向量, 理论上对应特征值大即高阶特征向量携带的主要是云信息, 而对应特征值较小即低阶特征向量携带的为温度和湿度信息, 以及噪声。这样, 有云 PC 辐射传输模式模拟了部分有云的 PC 主成分和完全不透明云区的 PC 主成分, 再与投影到有云 PC 向量上的观测资料的主成分计算残差, 进一步同化, 实现在同化系统框架中包含红外高光谱云区观测信息的定量应用。通过 PCA 方法, 成功地实现了对红外高光谱成千上万通道资料的压缩, 减小了问题空间的维度。实验结果表明可 20 个 PC 表示 165 个红外大气探测干涉仪 IASI 通道的信息, 在不损失同化技巧基础上还能明显相比同化 165 个通道辐射率而言提高约 20%计算速度。此外, PCA 方法固有的去噪声能力, 能将云 PC 主成分提取出来, 精确表示云信息, 很大程度提高了云区资料的使用率。初步研究表明, 在 PCA 空间同化全天空的 PC 主成分相比在辐射率空间同化红外高光谱通道辐射率能够改进预报技巧, 尤其在热带以及南半球区域较明显。由于云区大气状态 Jacobian 矩阵难以计算、有云 PC 辐射传输模式的误差等因素的限制, 未来研究卫星红外高光谱云区资料的同化应用将成为一个热点课题。

关键字: 红外高光谱, 云区资料, 主成分, 有云 PC 辐射传输模式, 同化¹

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41375113) 和 (41228007); 公益性行业科研专项 (GYHY201006015); 国防科技大学优秀研究生创新资助。