中国科学: 技术科学 2026 年 第 56 卷 第 2 期: 411 ~ 418
SCIENTIA SINICA Technologica techcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
论 文

甚高频雷达多普勒速度与流星雷达中性风速的对比分析

田耀宇[1,2,3], 张东和[1*], 王鉴远[2,3], 王飞飞[2,3], 丁宗华[2,4], 吴健[2,3]

1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871
2. 中国电子科技集团公司第二十二研究所, 青岛 266107
3. 电波环境特性及模化技术重点实验室, 青岛 266107
4. 云南昆明电磁波环境国家野外科学观测研究站, 曲靖 655000
* E-mail: zhangdh@pku.edu.cn

收稿日期: 2025-08-21; 接受日期: 2025-09-22; 网络版发表日期: 2026-02-02
电波环境特性及模化技术重点实验室基金项目(编号: A072401404-001, A250112580)和山东省自然科学基金项目(编号: ZR2024QD129)资助

摘要 甚高频相干散射雷达能够探测场向不规则体的视向运动速度, 该速度被认为在100 km以下主要受中性风场的影响, 因此有可能从多普勒速度反演风场. 本文通过对比曲靖站甚高频雷达与流星雷达在2023年的速度观测数据, 分析甚高频雷达测量风速的可行性. 结果显示, 除在地方时10时~17时之间甚高频雷达观测数据量过少外, 甚高频雷达与流星雷达的观测速度具有相似的周年变化和周日变化. 当时间覆盖率高于1/3时, 多普勒速度受噪声影响较小, 与中性风速具有较好的相关性. 同时, 甚高频雷达每日最大接近速度与最大远离速度的变化趋势与流星雷达的观测结果一致, 展现了甚高频雷达测量的风速有用于大气风场中长期变化研究的潜力. 甚高频雷达极高的时间分辨率和独特的高度覆盖范围可以与传统测量方法形成互补.

关键词 甚高频雷达, 中性风速, 流星雷达, 场向不规则体

1 引言

中间层与低热层(mesosphere and lower thermosphere, MLT)是中性大气向电离层过渡的重要区域, 在通过该区域后大气波动、湍流受到显著的调制作用, 该区域对能量的传输和耗散过程有重要的影响[1]. 虽然流星雷达、中间层-平流层-对流层(mesosphere-stratosphere-troposphere, MST)雷达可以观测该区域的温度、风速等信息, 但时空分辨率普遍有限, 在十几分钟到1 h之间, 缺乏高分辨率的观测设备.

此类地基探测雷达主要依赖高空示踪物的回波反演目标区域的物理信息, 因此分辨率受限于示踪物的位置、数量以及单次回波强度. 流星雷达以流星余迹作为示踪物, 因此主要探测高度80~100 km的大气风场, 常见的时间分辨率为1 h[2,3]. MST雷达主要依赖中性湍流或等离子体的电磁散射, 一般的观测高度在60~95 km, 时间分辨率为30 min, 且非常缺乏夜间的有效观测[4,5].

引用格式: 田耀宇, 张东和, 王鉴远, 等. 甚高频雷达多普勒速度与流星雷达中性风速的对比分析. 中国科学: 技术科学, 2026, 56: 411–418
Tian Y Y, Zhang D H, Wang J Y, et al. Comparative analysis of VHF radar Doppler velocity and neutral wind velocity from meteor radar (in Chinese). Sci Sin Tech, 2026, 56: 411–418, doi: 10.1360/SST-2025-0228

© 2026 《中国科学》杂志社

MLT区域E区场向不规则体(field-aligned irregularity, FAI)可作为探测的示踪物. 它由等离子体沿磁场排列形成, 该结构特征使它可以在垂直磁力线方向产生较强的后向相干散射. 甚高频(very high frequency, VHF)相干散射雷达依据此原理对其进行探测. 根据Yamamoto等人[6]的分类, E区场向不规则体产生的回波分为两种类型: 一型为连续(continuous)回波, 日出后出现在高度90~100 km; 二型为准周期性回波(quasi-periodic, QP), 通常日落后出现在100 km以上. 双流不稳定性(two stream instability)与梯度漂移不稳定性(gradient drift instability)可能是产生E区场向不规则体的原因[7,8].

由于相干散射回波的强度较高且能持续一段时间, 因此甚高频雷达的时空分辨率也较高, 通常时间分辨率为2 min, 距离分辨率为0.5 km[9]. 除回波强度外, 甚高频相干散射雷达可以同时记录回波的多普勒频移, 即获取目标的视向速度. Murthy等人[10]提出在加丹基(Gadanki)地区, 受等离子体碰撞频率的影响, 97 km以下的等离子体速度主要与子午向风有关, 101 km以上的等离子体速度主要受电磁漂移的作用, 同时验证了多普勒速度的周日潮汐与模型的一致性. Chau等人[11]展示了皮乌拉(Piura)甚高频雷达2000年1月到2001年3月多普勒速度的观测结果, 给出了速度随高度、地方时和季节的变化. 宁百齐等人[12]基于三亚甚高频雷达对比了多普勒速度和流星雷达风速, 用两天的数据展示了两者的相关性.

先前的研究用理论和观测证明, 在100 km以下, 甚高频雷达所测量的多普勒速度与子午向风速具有相关性. 如果用甚高频雷达测量风速, 时间分辨率将提高到2 min, 并且甚高频雷达的观测集中在90~100 km, 处于流星雷达和MST雷达观测高度的上边界附近, 可以形成数据互补. 但甚高频雷达观测的多普勒速度尚未与风速观测进行全面对比评估. 本文使用曲靖甚高频雷达2023年的观测数据, 与同一站点流星雷达测量的风速进行比较, 对比两者周日变化与周年变化的相似性, 分析甚高频雷达测量的多普勒速度可以作为风速的时空条件, 并讨论了两者存在差异的原因.

2 设备和数据

本文使用的观测数据来自昆明野外观测站的甚高频相干散射雷达和流星雷达, 两套设备均位于云南曲靖, 东经103.7°, 北纬25.6°, 当地地磁偏角−1.87°, 地磁倾角40.19°. 甚高频雷达的工作频率为49.5 MHz, 回波记录的时间分辨率为2 min, 距离分辨率为0.5 km, 波束指向磁北方向, 接收由E区场向不规则体后向散射产生的垂直磁力线的回波, 探测距离100~260 km, 对应高度约为探测距离的0.76倍, 即76~197 km. 流星雷达的工作频率为53.1 MHz, 风场观测的时间分辨率为1 h, 高度分辨率为2 km, 接收全天空由流星余迹产生的后向散射回波, 覆盖高度范围70~110 km, 但在边缘位置有效数据较少[3]. 2023年两个设备几乎都有完整的观测记录, 甚高频雷达和流星雷达分别观测了352和359 d.

甚高频雷达可以根据回波的多普勒频移计算视向速度. 图1展示了2023年6月27日的一个观测样例, 甚高频雷达所探测的E区不规则体回波通常在距离上范围较窄, 仅几千米, 可以持续存在几个小时. 当回波较强时, 可以获取其视向速度(朝向观测者运动为正, 南向斜向下). 当回波的信噪比低于−12 dB或存在其他异常时, 无法获取可信的视向速度, 设备将误差码(error code)记为非0值, 本文仅使用误差码为0的回波做统计.

回波出现的高度和位置具有显著的周日变化特征, 图2显示了2023年全年回波的高度和地方时分布, 即每个网格记录的有E区不规则体回波的天数. 可以看出回波主要出现在两个时间段内, 一个是地方时17时~凌晨5时, 回波距离在115~150 km之间, 在探测距离125 km地方时22时附近约有60 d存在回波, 即最大

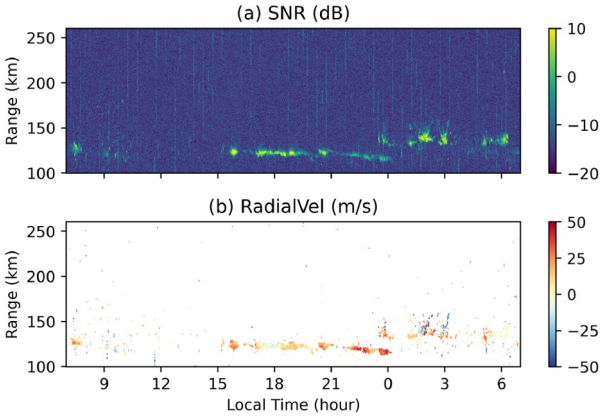


图 1 (网络版彩图)甚高频雷达2023年6月27日的(a)信噪比与(b)视向速度. 横轴为地方时, 纵轴为探测距离

Figure 1 (Color online) Range-time-intensity (RTI) plots of (a) signal to noise ratio (SNR) and (b) radial velocity from the VHF radar on 27 June 2023. Horizontal axis is local time and vertical axis is range.

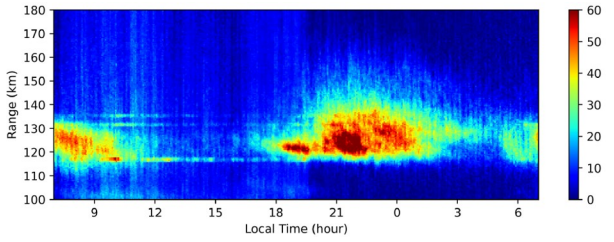


图 2　(网络版彩图)回波出现天数的高度和地方时分布. 横轴为地方时, 纵轴为探测距离

Figure 2　(Color online) Distribution of echo occurrence days as a function of range (vertical axis) and local time (horizontal axis).

发生率约为17%; 另一个是地方时5时~12时, 回波距离在115~130 km之间, 高度逐渐下降; 在地方时12时~17时之间几乎不存在回波.

本文选择探测距离118~131 km间的观测数据, 对应的高度范围为90~100 km, 包含了绝大部分回波, 宁百齐等人[12]认为100 km的等离子体速度受风速主导. 取这一高度范围内的视向速度的平均值做进一步分析. 同时取流星雷达所测90~100 km间的平均中性风速用于比较.

由于甚高频雷达所测的速度方向为垂直磁力线方向, 流星雷达所测的中性风速度方向为水平的东西方向和南北方向, 使用下式可计算流星雷达探测的风速在甚高频雷达视向速度的分量.

$$U_d=(-U_y\cos D+U_x\sin D)\sin I, \tag{1}$$

式中, U_d为风速在视线方向的分量, U_y为北向风速, U_x为东向风速, D为磁偏角−1.87°, I为磁倾角40.19°. 转换后的风速方向在视线方向, 即甚高频雷达的探测方向, 朝向观测者的速度为正值.

3　观测结果

甚高频雷达在90~100 km间的平均多普勒速度的观测结果如图3所示. 图3(a)是原始2 min分辨率每日的结果, 空白区域为没有有效观测. 可以看出, 在地方时17时~凌晨5时, 年积日60日之后许多日期都有较长的连续观测, 在年积日270日之前速度以正向为主, 270日之后以负向为主. 在其他时段, 连续观测的时间较短. 地方时12时~17时之间全年几乎都只有零星观测.

为与流星雷达数据对比, 将甚高频雷达的分辨率

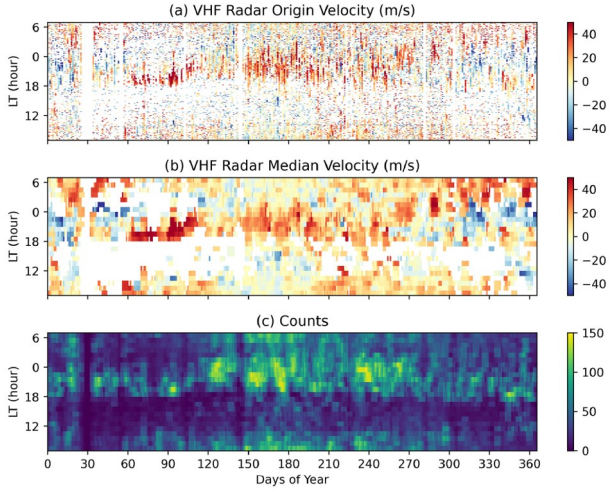


图 3　(网络版彩图)甚高频雷达观测的(a) 2 min分辨率的视向速度, (b) 1 h分辨率的5日滑动中值, 以及(c) 计算5日中值时所用的数据量. 横轴为年积日, 纵轴为地方时

Figure 3　(Color online) VHF radar observations of (a) 2-min resolution radial velocity, (b) 5-d running median with hourly resolution, and (c) the data count used for computing the 5-d median. Horizontal axis is days of year and vertical axis is local time.

降低到1 h, 并采用5日滑动中值滤波使结果连续且平滑. 图3(b)显示了所有网格内数据量大于20时的平均多普勒速度, 图3(c)显示了每个网格内的数据量, 理论上最大数据量为30 × 5 = 150个, 约有1/3的网格数据量在50以上, 1/3的网格数据量在20以下. 图3(b)显示的速度分布特征与图3(a)类似, 除了12时~17时之间用滑动中值填充了数据, 但相邻网格的速度有较大的差异. 此外年积日30~60日极大的负向速度, 60~120日极大的正向速度值得关注.

图4展示了流星雷达观测的中性风速在甚高频雷达波束视线方向的分量, 图4(a)为原始1 h分辨率的每日观测, 图4(b)为5日滑动中值, 图4(c)为计算5日中值时每个网格所用的数据数量, 每个网格的数据量最大为5. 流星雷达的观测缺失主要在年积日30日附近, 其他时段观测数据连续性好, 地方时覆盖全. 周日变化显示, 每日约6 h速度向北(蓝色区域), 主要出现在凌晨0时~6时, 在年积日30日前后和270日之后出现时间偏早. 每日速度向南的时间段更长, 但变化也更复杂, 在年积日60~210日之间出现在20时左右.

对比甚高频雷达的观测和流星雷达的观测可以发现, 甚高频雷达与流星雷达的观测结果有一定的相似性. 两者在年积日60~270日之间的18时~0时, 速度均

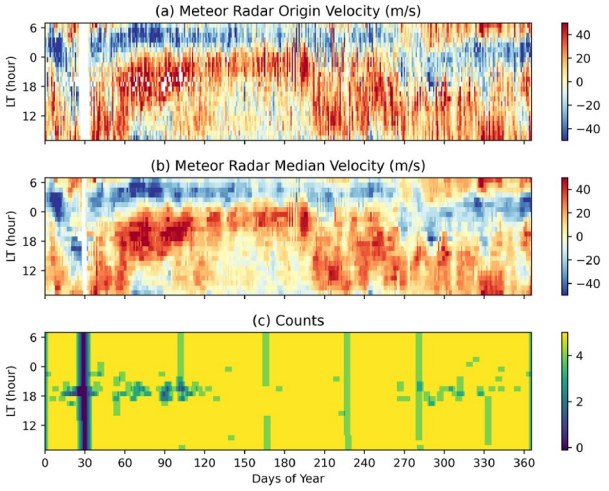


图 4 (网络版彩图)流星雷达观测的(a) 1 h分辨率的风速的视向分量, (b) 1 h分辨率的5日中值, 以及(c) 计算5日中值时所用的数据量

Figure 4 (Color online) Meteor radar observations of (a) the line-of-sight component of wind velocity at 1-h resolution, (b) the 5-d median value at 1-h resolution, and (c) the data count used for computing the 5-d median.

以正值为主, 且在60~120日间速度偏大. 10, 60和360日2时附近都有较大的远离速度. 在甚高频雷达观测数据较少的时段, 如年积日30~150日的12时~17时之间, 网格数据量基本都小于20, 从图3(a)中能看到零散观测的负向速度, 流星雷达给出的几乎全部是正向速度. 结果说明甚高频雷达的零星观测易受噪声影响, 导致与中性风速的偏差较大.

对比结果显示了数据量的重要性, 因此将观测数样本按数据量分为三类, 以20以下为低数据量, 21~50为中数据量, 50以上为高数据量, 对每一类分别作相关性分析, 结果如图5所示. 对所有样本而言, 相关系数为0.33 (图5(a)). 数据量在20个以下的样本相关系数仅为0.28 (图5(b)), 在散点图上可以看到在甚高频观测速度为0和约−30 m/s的位置有较多的样本分布(虚线框内), 代表了两类噪声的影响, 一类噪声的频率与雷达相同, 因此多普勒速度为0, 另一类则根据估算频率偏差约10 Hz (49.5 MHz × 2 × 30/299792458 = 9.9 Hz). 数据量在20~50之间的样本相关系数为0.37 (图5(c)), 略高于整体样本, 但几乎排除了−30 m/s的噪声, 0 m/s的噪声占比也有所下降. 数据量在50以上的样本相关系数为0.49 (图5(d)), 对应时间覆盖率超过1/3, 几乎不存在这两类噪声.

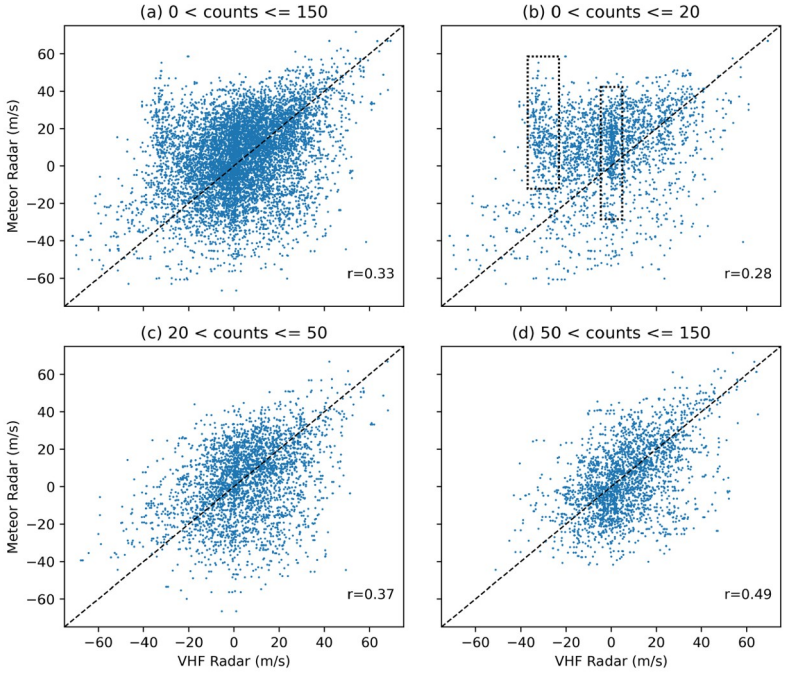


图 5 (网络版彩图)不同观测数据量下甚高频雷达(横轴)和流星雷达(纵轴)测量速度的相关性. (a) 包含全部的样本; (b)~(d) 分别对应20以下、21~50、50以上数据量的样本. *r*表示相关系数

Figure 5 (Color online) Correlation between wind velocities measured by the VHF radar (horizontal axis) and the meteor radar (vertical axis) under different data count thresholds. (a) All data samples are included; the other panels show results for subsets with data counts of (b) ⩽20, (c) 21–50, and (d) >50. The *r* is correlation coefficient.

随后对比甚高频雷达和流星雷达记录的每日最大速度在1年内的变化. 图6显示了在视线方向的最大接近速度和最大远离速度及其15日均值, 可以看出, 虽然甚高频雷达和流星雷达单日的测量存在一定差异, 两者短期变化的幅度也较大, 但15日均值体现了一致的变化趋势. 在图6(a)的最大接近速度中, 黑色和红色实线在0~90日之间存在一定偏差, 可能是由于30日附近雷达观测的缺失. 在年积日90~270日间两者数值非常接近, 在270日之后两者变化趋势一致, 但甚高频雷达的视向速度相对流星雷达偏大. 在图6(b)的最大远离速度中, 黑色和红色实线表现出了类似的变化趋势, 但数值上存在差异. 在年积日300日之后出现了与图6(a)远离速度中类似的起伏, 且同时在330日附近出现峰值. 在该时段内甚高频雷达观测的速度也大于流星雷达观测的速度. 对比结果显示, 甚高频雷达的观测的最大接近速度和最大远离速度能准确体现风速的变化趋势, 但有时记录的速度会大于流星雷达测量的风速.

为进一步对比甚高频雷达和流星雷达测量视线方向速度的差异, 本文选择2023年6月5日两台设备都有观测的时段进行对比, 结果如图7所示. 甚高频雷达和流星雷达都在地方时2时前以正向速度为主, 甚高频雷达在地方时2时后出现负向速度, 流星雷达在地方时3时后出现负向速度, 结果具有相似性. 在高度上, 甚高频雷达观测集中在90 km以上, 流星雷达观测高度集中在95 km以下, 这导致地方时2时后出现在96 km的负向速度没有出现在流星雷达的观测中. 90 km以下甚高频雷达仅有零星的观测, 而流星雷达存在连续的观测记录, 两者在高度上观测可以互补. 此外, 甚高频雷达的时间分辨率和高度分辨率都远高于流星雷达, 甚高频雷达给出的观测结果更精细.

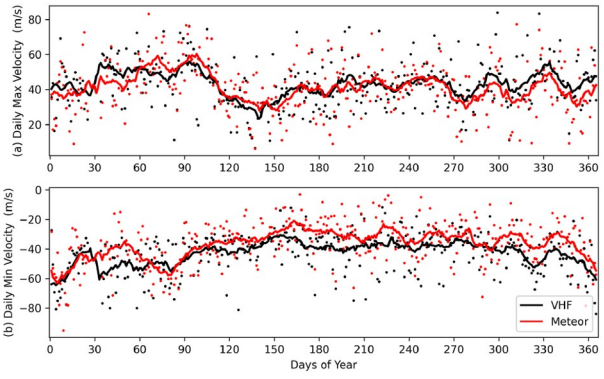


图 6　(网络版彩图)随季节变化的(a)每日速度的最大值/最大接近速度和(b)每日速度的最小值/最大远离速度. 黑色和红色圆点分别为甚高频雷达和流星雷达的单日记录, 实线是15日滑动均值

Figure 6　(Color online) Seasonal variations of (a) daily maximum velocity/maximum approaching velocity and (b) daily minimum velocity/maximum receding velocity. Black and red dots represent single-day records from VHF radar and meteor radar respectively, while solid lines indicate 15-d running means.

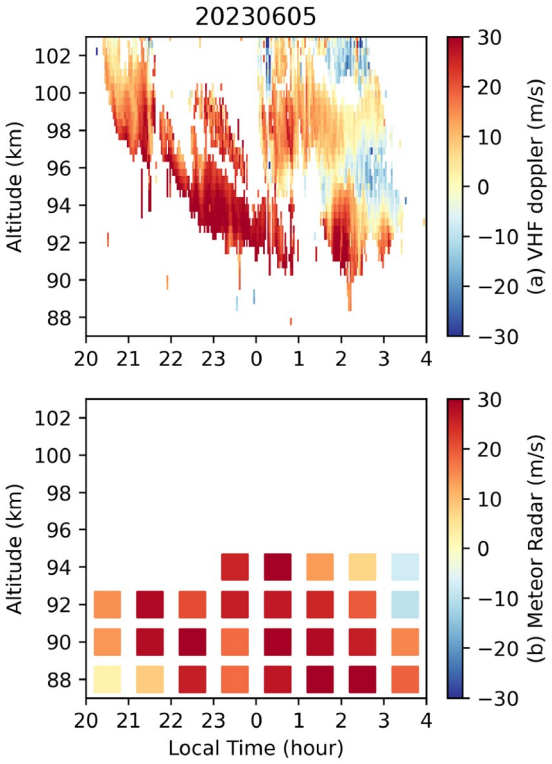


图 7　(网络版彩图) (a) 甚高频雷达和(b)流星雷达在2023年6月5日观测的视线方向速度. 横轴为地方时, 纵轴为高度

Figure 7　(Color online) Radial velocity observed by (a) the VHF radar and (b) the meteor radar on 5 June 2023. The horizontal and vertical axes represent local time and height, respectively.

4　讨论

本文对2023年曲靖甚高频相干散射雷达观测的多普勒速度数据进行分析, 统计了它的高度、地方时分布和周年变化特性, 并与流星雷达测量风速在视线方向的分量进行对比, 做相关性分析, 讨论甚高频雷达所测量风速的适用范围.

甚高频相干散射雷达测量的多普勒速度, 对应于E区场向不规则体在视线方向的速度, 因此仅在E区场

向不规则体存在时可以获取有效数据. 图2展示了曲靖地区E区不规则体出现在两个主要时段, 即日出后时段5时~12时和日落后时段17时~凌晨5时, 分别对应一型和二型不规则体出现的时间[6]. 在高度上, 日出后时段的不规则体分布距离为115~130 km, 对应高度88~100 km, 与一型不规则体出现的高度相符, 但日落后的不规则体出现在115~150 km的距离范围, 对应高度88~114 km, 同时包含了一型和二型不规则体的分布高度. 通过查看原始观测结果也发现2023年在这一时段同时存在较多的连续性回波但分布高度较低. 本文在统计时只使用了高度90~100 km之间的数据, 因而主要包含了一型连续回波.

图3和4也显示了当甚高频雷达的观测足够丰富时, 多普勒速度和中性风速在视线方向的分量具有相似的日变化和年变化. 这是由于在100 km以下, 等离子体运动的速度主要受中性风控制[11,12]. 但在E区不规则体出现较少的12时~17时, 甚高频雷达无法获取有效的多普勒速度, 数据受零星噪声的影响较大, 因此与流星雷达的观测结果差异较大. 图5(b)显示, 在单个网格内数据量小于20时, 有两类显著的噪声存在, 分别给出了0和−30 m/s的多普勒速度, 与图3中12时~17时出现的负值一致. 频移为0的噪声可能来自于发射信号的泄露, 对应−30 m/s多普勒速度的噪声的来源需要进一步确认. 虽然噪声并不只存在于地方时12时~17时, 但在其他时间, 存在足够多的有效数据, 因此偏差较小.

甚高频雷达和流星雷达观测的速度差异, 除了两者本身的测量误差外, 也可能来自探测区域的不同. 甚高频雷达的探测方向指向磁北方向, 根据磁倾角可以计算, 观测点在北方约80 km远的上空. 流星雷达观测的风速是半径约300 km的圆内的风速的平均值, 不同距离贡献的数据量也不同[3], 总体而言流星雷达测量的是一定区域内的平均风场, 甚高频雷达测量的是北方80 km一小块区域内的风场. 其次研究使用了高度90~100 km的平均值, 曲靖流星雷达用于测量风场的数据量的峰值位于85 km, 在此之上高度越高数据量越小, 计算平均速度时低高度的贡献偏大[3]. 因此甚高频雷达的测量区域相对流星雷达偏北、偏高. 对于地磁纬度更低的台站, 如Murthy等人[10]的加丹基(Gadanki)台站, 波束指向天顶角为13.2°, 仅向北偏离约20 km. 然而磁倾角更小也意味着水平风速在垂直磁场方向的分量更小, 根据多普勒速度计算水平风速时误差会被放大.

本文选取最大接近速度和最大远离速度作为大气活动的代表, 但应当注意, 甚高频雷达的速度观测通常无法覆盖全天, 因此只是观测时段内的最大速度. 同时甚高频雷达观测的最大速度和流星雷达观测的最大视线方向速度出现的时间可能存在差异. 根据图3和4, 两者的周日变化类似, 因此通常最大速度出现的时间差较小, 但仍存在地方时相差较大的情况, 这也是两者存在测速偏差的原因之一.

图6中的实线显示, 最大接近速度在90日附近有一极大值, 最大远离速度在80日附近有一极大值, 这与周日潮汐在春分附近的极大值相符[13]. 通常在秋分附近也应当存在极大值, 但在2023年并未出现, 反而是270日之后产生了波动特征, 最大接近速度和最大远离速度同步增强和减弱, 并在330日附近同时出现极大值. 2023年秋分后的大气可能受到事件的影响. 虽然平流层突然增温(sudden stratospheric warming, SSW)可以增强潮汐的幅度[14]. 但SSW要到2024年1月和3月才出现[15]. 该事件应当与SSW无关. 重力波等底层大气活动可能影响MLT区域的风场[16], 但该时段是否存在重力波, 以及影响的过程需要后续的研究予以解释. 此外, 在最大接近速度和最大远离速度中, 甚高频雷达始终要大于流星雷达观测的风速的视向分量, 可能与甚高频雷达观测区域偏北有关.

5 结论

本文利用甚高频相干散射雷达测量的多普勒速度, 与流星雷达测量的视向风速进行对比, 结果显示多普勒速度的周年变化与周日变化与流星雷达观测的中性风速的视向分量类似, 但受限于E区场向不规则体的地方时分布, 在地方时12时~17时之间往往无法获得足够的有效观测数据, 容易受到噪声的干扰. 当时间覆盖率较高时, 多普勒速度和视向风速有较好的相关性. 同时, 甚高频雷达与流星雷达观测的每日最大接近速度和最大远离速度, 具有一致的变化趋势, 证实了甚高频雷达观测的风速用于研究大气中长期变化的可行性. 相对于传统测风手段, 甚高频雷达具有极高的时间分辨率(2 min)和独特的高度覆盖范围(90~100 km), 可以作为一种独特的大气风场观测手段用于科学研究.

致谢　感谢云南昆明电磁波环境国家野外科学观测研究站甚高频相干散射雷达和流星雷达的观测数据为本次研究提供支持.

参考文献

1 Kishore Kumar G, Kishore Kumar K, Singer W, et al. Mesosphere and lower thermosphere zonal wind variations over low latitudes: Relation to local stratospheric zonal winds and global circulation anomalies. JGR Atmos, 2014, 119: 5913–5927

2 Reid I M. Meteor radar for investigation of the MLT region: A review. Atmosphere, 2024, 15: 505

3 Wang X B, Chen J S, Li N, et al. A dataset from Kunming meteor radar (in Chinese). Chin J Radio Sci, 2024, 39: 1176–1182 [王晓宾, 陈金松, 李娜, 等. 昆明站流星雷达数据集. 电波科学学报. 2024, 39: 1176–1182]

4 Hocking W K. A review of Mesosphere-Stratosphere-Troposphere (MST) radar developments and studies, circa 1997–2008. J Atmos Sol-Terrestrial Phys, 2011, 73: 848–882

5 Tian Y F, Lü D R. Preliminary analysis of Beijing MST radar observation results in the mesosphere-lower thermosphere (in Chinese). Chin J Geophys, 2016, 59: 440–452 [田玉芳, 吕达仁. 北京MST雷达探测中间层-低热层观测结果初步分析. 地球物理学报, 2016, 59: 440–452]

6 Yamamoto M, Fukao S, Woodman R F, et al. Mid-latitude E region field-aligned irregularities observed with the MU radar. J Geophys Res, 1991, 96: 15943–15949

7 Liu Y, Zhou C, Xu T, et al. Geomagnetic and solar dependencies of midlatitude E-region irregularity occurrence rate: A climatology based on Wuhan VHF radar observations. JGR Space Phys, 2022, 127: e2021JA029597

8 Zhou C, Liu Y, Tang Q, et al. Investigation on the occurrence of mid-latitude E-region irregularity by Wuhan VHF radar and its relationship with sporadic E layer. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2018, 56: 7207–7216

9 Zhu Y, Tang Q, Deng Z, et al. Statistical study of low-latitude E-region irregularity occurrence rate based on Qujing VHF radar observations. J Atmos Sol-Terrestrial Phys, 2025, 269: 106479

10 Murthy B V K, Ravindran S, Viswanathan K S, et al. Small-scale (~3 m) E region irregularities at and off the magnetic equator. J Geophys Res, 1998, 103: 20761–20773

11 Chau J L, Woodman R F, Flores L A. Statistical characteristics of low-latitude ionospheric field-aligned irregularities obtained with the Piura VHF radar. Ann Geophys, 2002, 20: 1203–1212

12 Ning B Q, Li G Z, Hu L H, et al. Observations on the field-aligned irregularities using Sanya VHF radar: 1. Ionospheric E-region continuous echoes (in Chinese). Chin J Geophys, 2013, 56: 719–730 [宁百齐, 李国主, 胡连欢, 等. 基于三亚VHF雷达的场向不规则体观测研究: 1. 电离层E区连续性回波. 地球物理学报, 2013, 56: 719–730]

13 Zhou B Z, Xue X H, Yi W, et al. A comparison of MLT wind between meteor radar chain and SD-WACCM results. Earth Planet Phys, 2022, 6: 0

14 Baldwin M P, Ayarzagüena B, Birner T, et al. Sudden stratospheric warmings. Rev Geophys, 2021, 59: e2020RG000708

15 Lee S H, Butler A H, Manney G L. Two major sudden stratospheric warmings during winter 2023/2024. Weather, 2025, 80: 45–53

16 Liu T, Wang Z, Shi M X, et al. An investigation on the wind profiles and gravity wave dynamics in MLT region based on the meteor radars from the Meridian Project. Earth Planet Phys, 2025, 9: 29–38

Comparative analysis of VHF radar Doppler velocity and neutral wind velocity from meteor radar

TIAN YaoYu[1,2,3], ZHANG DongHe[1*], WANG JianYuan[2,3], WANG FeiFei[2,3], DING ZongHua[2,4] & WU Jian[2,3]

[1] *School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China*
[2] *China Research Institute of Radiowave Propagation, Qingdao 266107, China*
[3] *National Key Laboratory of Electromagnetic Environment, Qingdao 266107, China*
[4] *Kunming Electro-magnetic Environment Observations and Research Station, Qujing 655000, China*

The very high frequency coherent scatter radar can obtain the radial velocity of field-aligned irregularities. Below altitude of 100 km, this velocity is thought to be dominated by the neutral wind, so it is possible to infer the wind velocity from the radial velocity. By comparing velocity data from the very high frequency radar and the meteor radar at the Qujing station in 2023, this paper analyzes the feasibility of measuring wind velocity by using the very high frequency radar. The results show that, except for the insufficient observations of the very high frequency radar from 10 LT to 17 LT, the velocities from very high frequency radar and the meteor radar have similar annual variations and diurnal variations. When the time coverage is higher than 1/3, the radial velocity observations are less affected by noise and have a good correlation with the neutral wind velocities. At the same time, the daily maximum southward and northward velocities of the very high frequency radar have a similar trend with the observation results of the meteor radar, demonstrating the potential of the velocity from very high frequency for the study of atmospheric winds. The extremely high time resolution and unique height coverage range of the very high frequency radar can form a complement to traditional measurement methods.

very high frequency radar, neutral wind velocity, meteor radar, field-aligned irregularities

doi: 10.1360/SST-2025-0228