

风廓线雷达资料的应用 I：质量评估

赵新宇^①，闵锦忠^{①*}，朱利剑^①，张晨^②

①南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心/气象灾害教育部重点实验室，江苏 南京 210044；

②内蒙古通辽市气象局，内蒙 通辽 028000；

*联系人, E-mail: minjz@nuist.edu.cn

国家自然科学基金重大项目资助（42192553）

摘要 风廓线雷达是一种新型的测风雷达，能够探测大气水平风的垂直分布，提供高时空分辨率的风场信息，在我国气象业务中发挥着越来越重要的作用。但是，我国风廓线雷达型号众多，资料质量差别较大，为了更好地对风廓线雷达探测资料进行应用，提高数值预报水平，本文利用FNL资料、探空资料对2019年6月~9月位于中国华北地区20个站点共5种型号（CFL-06、GLC-24、TWP8-L、CFL-03、CLC-11-D）的边界层风廓线雷达资料进行了质量评估，结果表明：各型号雷达均具有较强的探测能力，但不同雷达在水平风资料数据获取率以及有效探测高度上差异极大。不区分天气状况时，所有型号雷达均为V风质量优于U风质量。TWP8-L雷达U风测风质量相对最佳，CFL-03雷达紧随其后，GLC-24雷达U风测风质量最差，V风质量则差异不大，U风数据使用前需进行偏差订正以及质量控制。风廓线雷达观测对于降水较为敏感，降水使各型号雷达数据获取率在底层减小，中高层增加，增幅最大达到53%，但探测能力加强并不代表测风质量增加，统计结果表明降水是造成U风平均误差以及均方根误差较高的主要原因，其中，GLC-24、CLC-11-D雷达对降水最为敏感，降水状态相较于非降水状态均方根误差增幅均达到了5.5m/s以上，降水情况下的U风及V风资料需进行进一步质量控制才可使用。

关键词 风廓线雷达；水平风产品；质量特点；FNL

近年来，伴随着全球变暖愈演愈烈，极端天气越来越频繁地出现，由其引发的次生灾害时有发生，严重影响了人们的生产生活，对人民的生命财产安全构成重大威胁（余小鼎等，2012）。在气象业务体系中，只有做好气象观测工作，才能进一步去做好气象预报预警工作，因此，中国气象局《全国气象发展“十四五”规划》将发展精密气象观测定为当前的重要任务。基于此，国家目前大力布设地基遥感探测设备风廓线雷达以及地基微波辐射计，以期构建高时空分辨率的温、湿、风三维观测网。其中风廓线雷达是一种新型的测风雷达，能够对大气水平风的垂直分布进行探测，提供高时空分辨率的大气水平风速、风向等风场信息，具有24小时连续探测、无人值守工作的优点，对强对流天气监测行之有效，是对传统探空资料的有益补充（Bluestein et al, 1995; 何平, 2006; Zhang et al., 2016）。如今，我国已有多部门可以自主研发多型号风廓线雷达，全国范围内布设的风廓线雷达也以国内生产为主，目前风廓线雷达布设主要集中在长江三角洲、珠江三角洲和京津冀地区。

中国气象局预计在“十四五”结束之际，在全国范围内组建共计225部风廓线雷达的观测网（张小雯等，2017），随着风廓线雷达组网的初步组建，风廓线雷达在强对流天气的监测及预警（董保举等，2012）中开始发挥重要作用，其资料也被广泛应用，如：高空风场信息监测（王志春等，2014）、进行大气湍流运动特征有关研究（Muschinski et al, 1999; 阮征等，2008）、边界层高度研究（张哲等，2019）、各类天气系统精细化结

36 构研究（程佳等，2016；黄兴友等，2015）等。此外，风廓线雷达资料在数值预报中的应用也受到了国内外的
37 关注，世界主要的天气预报中心如欧洲中期天气预报中心以及美国国家环境预报中心都已在其业务运行系统中
38 加入风廓线雷达资料（Bouttier，2001；Benjamin，2004），经过长时间运行对比，证明其对各物理量预报有积
39 极效果。国内针对风廓线雷达资料的同化应用也在近年开展，诸多学者针对降水预报中风廓线雷达资料的同化
40 开展研究（张旭斌等，2015；余贞寿等，2018；王丹等，2019；Wang et al，2020；Wang et al，2022），结果显
41 示同化质量较好的雷达资料可以使初始场得到一定改善，降水预报技巧得到了一定提升。

42 为了更好的应用风廓线雷达探测数据，充分认识和了解风廓线雷达探测数据的准确性是十分必要的，风廓
43 线雷达资料的质量对于资料分析、同化应用等十分重要。汪学渊等（2015）统计了2012年丘陵地区边界层风廓
44 线雷达的数据获取率并分析了信噪比特征，确定了低模与高模的最佳衔接高度为600m；王栋成等（2018）针对
45 济南站固定式风廓线雷达研究了有降水以及无降水时段风向、风速的相关性差别，结果表明不同天气状态下两
46 者相关性较高，但未针对其他站点展开讨论；费松等（2020）基于南京站2018年的风廓线雷达资料，利用噪声
47 电平设计了新的数据置信度算法，为业务人员在风廓线雷达资料的应用上提供了参考；朱丽娟等（2015）以风
48 廓线雷达资料的业务同化应用为目的，基于GFS分析资料，分析了两者的资料差异，并分开探讨了LC、PA、
49 PB型号雷达的质量区别，指出PA、PB型号雷达资料质量优于LC型号雷达；王叶红等（2021）对福建12部L波段
50 风廓线雷达经向风以及纬向风资料进行了误差分析，发现，不同型号的雷达在探测高度、数据获取率以及测风
51 资料质量方面表现出不同的特点，其中CFL-06型号低对流层风廓线雷达在有效探测高度以及数据质量上均优于
52 CFL-03型号边界层风廓线雷达。

53 总体而言，我国对于区域组网风廓线雷达的质量特点研究还并不充分，尤其是对不同型号的风廓线雷达的
54 质量差别，还缺乏系统的研究。目前，我国建设的风廓线雷达主要分为三种，分别为边界层风廓线雷达（L波段）
55 以及PA型号的对流型Ⅰ型雷达、PB型号的对流型Ⅱ型雷达（P波段）。其中，边界层风廓线雷达占据主导地位，
56 鉴于此，本文对不同型号边界层风廓线雷达U风、V风资料进行详细的质量评估，为选择更优型号的雷达提供一
57 定依据，并为后续质量控制方案的研究已经业务同化应用提供参考。

58 1 所用资料

59 1.1 风廓线雷达资料

60 本文对2019年6~9月数据完整的20部风廓线雷达（海淀、延庆、霞云岭、南郊、上甸子、平谷、怀柔、静
61 海、宝坻、大厂、丰宁、张北、唐山、卢龙、保定、沈阳、济南、东营、蓬莱、潍坊）进行水平风场质量分析，
62 站点具体位置及海拔高度见图1。20部雷达共计五种型号，均为L波段的边界层风廓线雷达，时间分辨率为6min。
63 济南、东营、蓬莱站为南京瑞恩特实业有限公司生产的CLC-11-D型边界层风廓线雷达，静海、宝坻、大厂站为
64 北京无线电研究所生产的CFL-03系列边界层风廓线雷达。其余14部风廓线雷达虽也为L波段雷达，但它们的探测
65 功率相较传统的边界层风廓线雷达进行了加强，其中沈阳站为北京敏视达公司生产的TWP8-L系列风廓线雷达，
66 潍坊站为南京恩瑞特实业有限公司生产的GLC-24系列风廓线雷达，剩余则为北京无线电研究所生产的CFL-06系
67 列风廓线雷达。风廓线雷达有低模以及高模两个探测模式，高模探测功率更大，低模可进一步分为低模1以及低

模2模式，各型号雷达垂直分辨率信息见表1。

风廓线雷达资料分为瞬时资料ROBS、半小时平均资料HOBS、小时平均资料OOBS。有研究指出风廓线雷达实时资料包含大气瞬时波动（朱立娟等，2015），而数值模式需要具有一段时期代表性的数据，目前国内外针对风廓线雷达同化应用的研究也均针对小时平均资料开展，因而，本文分析的测风数据为通过厂家100%置信度检验的小时平均探测数据。



图1 风廓线雷达站点分布（其中红色代表功率加强的风廓线雷达，蓝色代表传统边界层风廓线雷达，不同图案代表不同型号的风廓线雷达.数字为各风廓线雷达站海拔高度，单位：m）

Fig.1 Distribution of wind profile radar stations (red represents the wind profile radar with enhanced power, blue represents the traditional boundary layer wind profile radar, and different patterns represent different types of wind profile radar. The number is the altitude of each wind profile radar station, unit: m)

表1 各型号风廓线雷达垂直分辨率信息

Table 1 Vertical resolution information of various types of wind profile radar

风廓线雷达 型号	低模 1(分辨率)	低模 2(分辨率)	高模(分辨率)
CFL-06	150m-4110m(120m)		4110m-10110m(240m)
GLC-24	150m-870m(120m)		870m-11910m(240m)
TWP8-L	150m-1950m(120m)		1950m-8670m(240m)

CFL-03	60m-840m(60m)	840m-7080m(240m)	
CLC-11-D	100m-820m(60m)	820m-2020m(120m)	2020-9460m(240m)

1.2 FNL再分析资料、探空资料、降水资料

分析资料为美国国家环境预报中心（NCEP）的 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ FNL 全球再分析资料（Final Operational Global Analysis, 以下简称为“FNL 资料”）。对 FNL 资料采用水平方向双线性插值，垂直方向线性插值到风廓线雷达资料各个高度层上，在进行垂直插值时，首先将 FNL 资料的位势高度转换几何高度，其后将垂直位置对应为风廓线雷达站点海拔高度与探测高度之和。绘图分析时，方便起见，所有高度均为各雷达站点的探测高度，而不是包含海拔高度的风场资料所在的实际高度。

探空资料为北京探空站 L 波段探空资料，时段与风廓线雷达资料时段一致。北京探空站每日进行 3 次探空观测。其中 7:15（北京时）与 19:15（北京时）时为两次常规观测，13:15（北京时）一次加密观测。为与 FNL 时间相匹配，上述三个时次的探空数据分别对应为 00（UTC）时、06（UTC）时、12（UTC）时的数据。因秒探空数据垂直分辨率较高，因此，选取高度与风廓线雷达探测高度最近的高度数据进行匹配及对比，高度匹配误差在 5m 以内，如风廓线雷达探测高度上下 5m 内无探空观测数据，则这一高度层视为缺测。

自动站降水资料用来对风廓线雷达资料进行降水时段资料以及非降水时段资料的区分，本文中定义的降水时段为在对比时间前后 3 小时内，如自动站观测资料显示有降水，则认为此站点雷达资料受到降水影响。

2 资料评估方法

将风廓线雷达资料、FNL 资料以及探空资料进行处理后，得到统一高度层上的资料，计算风廓线雷达资料与其他两种资料的 U 风、V 风分量的平均误差、均方根误差和相关系数，具体计算公式如下：

$$\text{平均误差: } ME = \frac{1}{N} \sum_1^N (X_{wi} - X_{ai}) \quad (1)$$

$$\text{均方根误差: } RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_1^N (X_{wi} - X_{ai})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{相关系数: } COR = \frac{\sum_1^N (X_{wi} - \overline{X_{wi}})(X_{ai} - \overline{X_{ai}})}{\sqrt{\sum_1^N (X_{wi} - \overline{X_{wi}})^2} \sqrt{\sum_1^N (X_{ai} - \overline{X_{ai}})^2}} \quad (3)$$

式中， X_{wi} 为风廓线雷达观测值， X_{ai} 为与风廓线雷达观测对应的探空观测、FNL 再分析资料值，N 为各类数据总量。

3 FNL 资料可靠性验证

探空观测对应的为气球在漂移过程所探测的数据，是在不同时间、不同地点进行的，其在垂直方向上升至 10km 约为 25min，水平方向最大也会漂移至几十公里外（吴蕾等，2014），即使为同址的探空观测，与风廓线雷达的观测时间及观测位置在严格意义上仍存在一定差异，且探空站一天仅进行 2~3 次探测，而风廓线雷达资料具有逐 6min 资料，因此，若直接使用探空观测资料与风廓线雷达资料进行对比是不妥当的。此外，空间上探空站的建设密度则更是远远低于风廓线雷达站，以本文所进行对比的 20 部风廓线雷达为例，其中仅有 2 站有同址探空观测，若风廓线雷达资料与不同址的探空观测资料进行对比，则不可避免的要受到地形、环境等因素

的影响，也仅有探空站点与风廓线雷达站点距离不远时的对比结果才可以采用，使得许多部雷达资料质量无法进行评估，无法反映风廓线雷达资料质量的具体情况。因而，为评估各型号风廓线雷达资料的结果更具代表性，本文借助 FNL 全球再分析资料，使用其格点资料，来减少因为时间、空间不匹配对资料质量评估的影响，提升风廓线雷达资料准确性。

首先需要明确 FNL 再分析资料与探空资料在进行风廓线雷达质量评估时有何差异，因而，将 FNL 插值资料与北京站探空资料分别与北京南郊站的风廓线雷达资料进行对比，为后面多型号资料的评估寻找依据。

图 2a 以及图 2b 分别为为 U 风、V 风在雷达资料与分析资料对比（此后称为 FNL 对比法）以及雷达资料与探空资料对比（此后称为探空对比法）时的平均误差以及相关系数垂直廓线分布。U 风的平均偏差在 2.5km 以上，两种对比方法呈现一致的负偏差，偏差随高度增加，FNL 对比法的偏差一直大于探空对比法，在 2.5km 以下，探空对比法除 2km 左右为弱的正偏差外，其余部分仍为负偏差，而 FNL 对比法在 0.27km 以上出现了正偏差大值区，正偏差最大值达到了 2.01m/s。两种对比方式 U 风的相关系数在 2km 以下及 6km 以上相差较大，最大为 0.4。V 风的平均偏差在两种对比方式中 6.5km 以下几乎均呈现负偏差，探空对比法的偏差更小，6.5km 以上，探空对比法仍为负偏差，偏差随高度迅速增加，FNL 对比法在 6.5km~8.5km 为弱正偏差，此后变为负偏差，偏差随高度迅速增加。V 风在 2km 以上相关系数相差不大，大值出现在 0.27km 处，为 0.32。

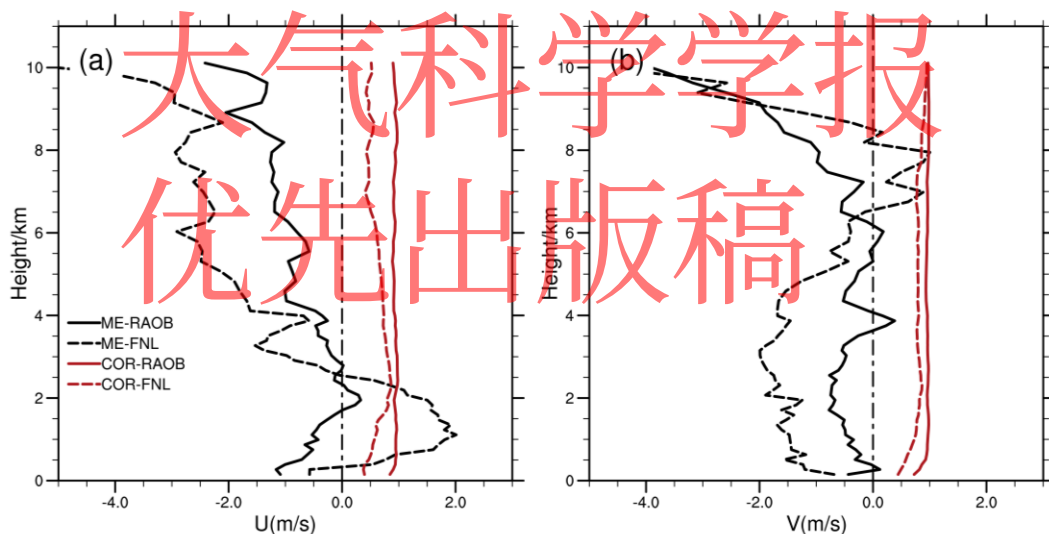


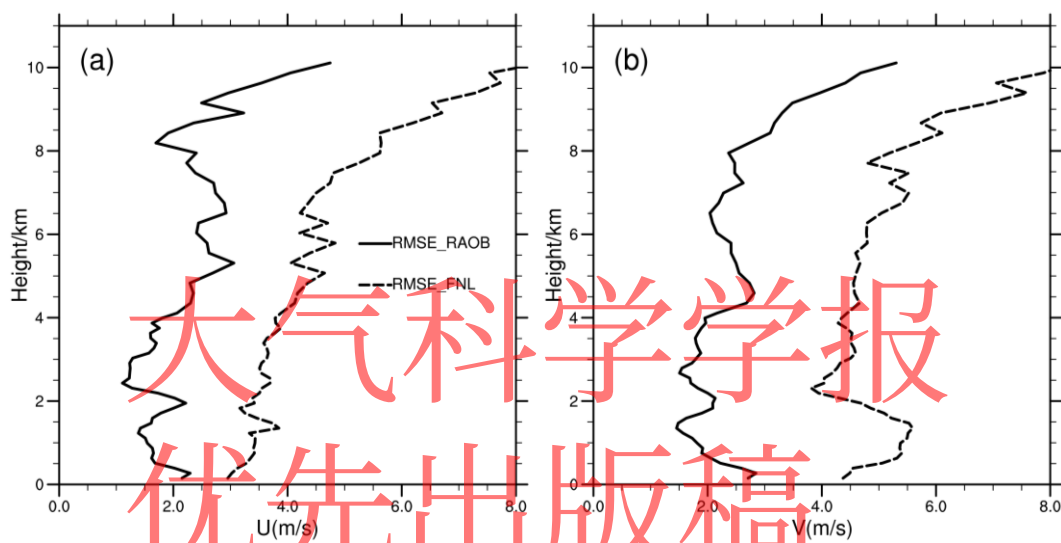
图2 北京站探空资料（RAOB）、再分析资料（FNL）与北京南郊站风廓线雷达资料(PRFL)对比统计的平均误差（单位：m/s）与相关系数随高度的分布

Fig.2 Variations of MEs (unit: m/s) and correlation coefficients with height between wind profiler radar data in Beijing and radiosonde data and FNL data.

图 3a 以及 3b 分别为 U 风、V 风在 FNL 对比法以及探空对比法中均方根误差随高度的分布。U 风均方根误差高度廓线图显示 4km 以下两廓线差距较大，最大差距超过 4m/s，在 4km~6.5km 之间两种对比方式吻合较好，两廓线几近平行，差距在 2m/s 附近摆动，6.5km 以上差异加大，廓线之间距离增加。V 风的均方根误差廓线在绝大部分高度都近乎平行，即两种对比方式的均方根误差除大小差距外，走势是比较一致的。

133 根据总的统计结果（表 2）可以看出，两种对比方法均呈现 V 风测风质量优于 U 风。U 风 FNL 对比法较探
 134 空对比法平均误差增加 0.694m/s，均方根误差增加 3.609m/s，相关系数减少 0.254，V 风 FNL 对比法较探空对比
 135 法平均误差增加 0.58m/s，均方根误差增加 3.211m/s，相关系数减少 0.165。可见 FNL 再分析资料 V 风相较 U 风
 136 更加贴近探空资料，这可能是由于，我国处于西风带中，东西向风较南北向风更大，在探测时更大的风速也带
 137 来了更大的误差。

138 总体看来，各误差相关量在两种对比法的高度廓线上整体呈现趋势较为一致，2km 以下相较其他高度差异
 139 更大一些，因此，使用 FNL 再分析资料的风场资料对风廓线雷达资料进行评估是可行的，其结果可以一定程度
 140 上反映风廓线雷达资料的真实质量，只是误差较探空资料对比所得出的更大，这是因为基于 FNL 再分析资料计
 141 算得到的误差实际包含了观测误差与 FNL 再分析资料误差。



142 图3 北京站探空（RAOB）、再分析资料（FNL）与北京南郊站风廓线雷达资料对比统计的均方根误差（单位：
 143 m/s）随高度的分布
 144

145 Fig.3 Variations of RMSEs with height between wind profiler radar data in Beijing and radiosonde data and FNL data(unit:
 146 m/s).

147 表2 北京站探空（RAOB）、再分析资料（FNL）与北京南郊站风廓线雷达资料（PRFL）对比统计值

148 Table 2 Comparative statistical values of Beijing station sounding (raob), analysis data (FNL) and Beijing southern suburb
 149 station wind profile radar data (PRFL)

	PRFL&RAOB			PRFL&FNL		
	ME (m/s)	RMSE (m/s)	COR	ME (m/s)	RMSE (m/s)	COR
U	-0.703	2.1	0.937	-1.497	5.709	0.638
V	-0.697	1.553	0.956	-1.277	4.754	0.791

150 4 不同型号风廓线雷达资料分析

151 4.1 水平风资料获取率

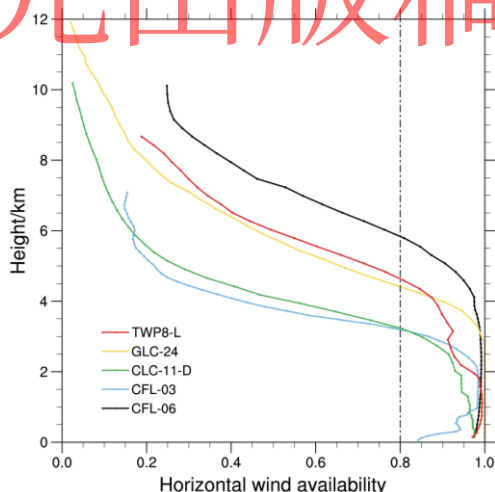
153 风廓线雷达的数据获取率可以反映其探测能力，计算方法为每部雷达在每一高度层上，所获得的通过置信
154 度检验的数据量与应获得的全部数据量的比值（王叶红等，2021）。五种型号雷达探测资料在 2019 年 6~9 月平
155 均的获取率垂直分布如图 4 所示。可见，不同型号的雷达资料获取率存在较大差异，但整体上获取率在低层为大
156 值区，获取率普遍接近 1，随着高度增加，探测能力逐渐减弱，获取率慢慢减小。

157 五种型号的风廓线雷达中，CFL-03、CLC-11-D 雷达水平资料获取率在 3km 以下保持在 0.8 以上，3km 以后
158 迅速降低，其中 CFL-03 最小减小至 0.2 左右，CLC-11-D 最小以接近 0，在低层，CFL-03 的资料获取率仅为 0.84，
159 1km 以后增长至 0.95 以上并维持一段距离，CLC-11-D 则是在最底层资料获取率最高，为 0.97，此后随高度增加
160 降低。

161 CFL-06、GLC-24、TWP8-L 雷达的资料获取率在低层至某一个高度维持在 0.95 以上，此后随高度迅速降低，
162 但不同型号风廓线雷达维持的高度存在较大差别，CFL-06 风廓线雷达，这一高度为 4.59km，GLC-24 雷达，为
163 3.51km，TWP8-L，这一高度仅为 1.95km，远小于其他两种对流层风廓线雷达。

164 有研究指出，数据获取率高于 0.8 的高度层所获得的资料相对可信（何平等，2009），因此，称数据获取率
165 在 0.8 以上的高度为有效探测高度。各型号雷达有效探测高度不尽相同，进行过探测功率加强的雷达有效探测高
166 度均在 4km 以上，其中 CFL-06 最高，为 5.790km，GLC-24 最低，为 4.23km，而传统边界层风廓线雷达有效探
167 测高度在 3km 左右。

168 《风廓线雷达功能设计规范（L 波段）》规定固定式风廓线雷达最大探测高度分别为不低于 3km（未进行功
169 率加强的雷达）或不低于 6km（进行功率加强的雷达），所有型号雷达探测高度均已达到要求，其中未进行探
170 测功率加强的传统边界层雷达有效探测高度已与规定的最大探测高度指标持平，进行功率加强的雷达有效有效
171 探测高度也接近最大探测高度指标，表明各型号风廓线雷达均具有较强的探测能力。



172 图4 各型号风廓线雷达水平风数据获取率随高度的分布
173

174 Fig.4 Distribution of horizontal wind data acquisition rate with height of various types of wind profile radar

175 4.2 基于FNL资料的水平风误差特征

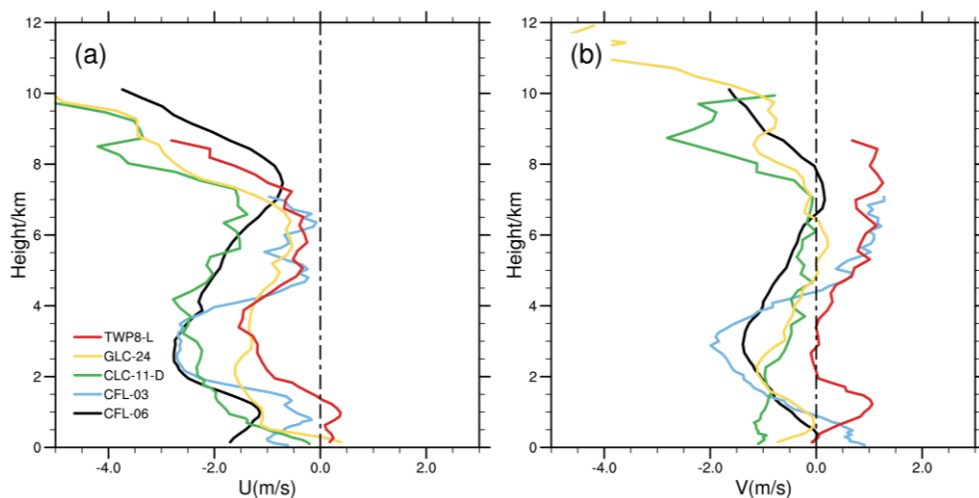
176 4.2.1 平均误差

177 首先，我们将考察在不区分有效探测高度以及不考虑不同天气状态影响的情况下，不同型号风廓线雷达
178 水平风资料的相对于FNL资料的误差分布特征。

179 图 5a 为 U 风平均偏差随高度的分布。由图可知，不同型号雷达 U 风平均误差具有较大差异，各型号雷达
180 平均偏差随高度的分布为倒“S”形态，即先随高度增加，到达一定高度后随高度增加减小，此后继续随高度
181 增加。也就是，具有两个拐点，第一个拐点位于 2.5km 附近，此高度之下，误差在-2.5m/s~0.5m/s 之间，拐
182 点处，CFL-06 雷达、CFL-03 雷达、CLC-11-D 雷达偏差为-2.5m/s 左右，偏差较大，TWP8-L 雷达、GLC-24 雷
183 达仅为-1.5m/s 左右，偏差较小；第二个拐点位于 7km 附近，在 2.5km~7km 之间，误差逐渐减小，在-2.5m/s
184 以内摆动，CLC-11-D 雷达、CFL-06 雷达 U 风偏差较大，其余三部雷达偏差相对较小，相差 1m/s 左右；7km 之
185 上，各雷达误差迅速增大，GLC-24、CLC-11-D 偏差较大，尤其 GLC-24 在最高层误差达到了-12.4m/s。进行全
186 部层次平均偏差的定量统计，U 风平均误差均为负值，位于-0.65m/s 与-2.6985m/s 之间，TWP8-L 雷达 U 风偏
187 差最小，GLC-24 雷达偏差最大。

188 图 5b 为各雷达 V 风平均偏差的垂直廓线分布特征。可见 V 风偏差具有与 U 风不同的特点，在 5km 以下，
189 TWP8-L 雷达以正偏差为主，偏差主要位于 2km 以下，最大偏差为 1.3m/s，其余雷达为负偏差，GLC-24、CLC-
190 11-D 误差较小，其余两部雷达误差较大；5km~7km 之间，TWP8-L 雷达、CFL-03 雷达为正偏差，偏差在 1m/s
191 左右，其余雷达误差较小，几乎在±0.5m/s 之间摆动；7km 以上，与 U 风一样，各雷达误差迅速增大，GLC-24
192 雷达在高层误差超过-7m/s。整体而言，TWP8-L 雷达为 0.583m/s 的正偏差，其余雷达为负偏差，CFL-03 雷达
193 偏差最小，仅为-0.126，GLC-24 雷达最大，为-0.923，整体偏差明显小于 U 风。

194 各型号风廓线雷达 U 风探测资料相对于 FNL 再分析资料存在明显的系统性负偏差，在 2.5km 附近以及 9km
195 附近为-2m/s 以上的偏差大值区。因为资料同化是基于无偏假设条件下的，U 风平均偏差的分布特征明显不满
196 足这一条件，因而，在进行资料同化应用前需要进行偏差订正，才能取得更好的预报效果。V 风则相对质量较
197 好，仅有 GLC-24、CLC-11-D 雷达在 8km 以上出现了-2m/s 以上的偏差。



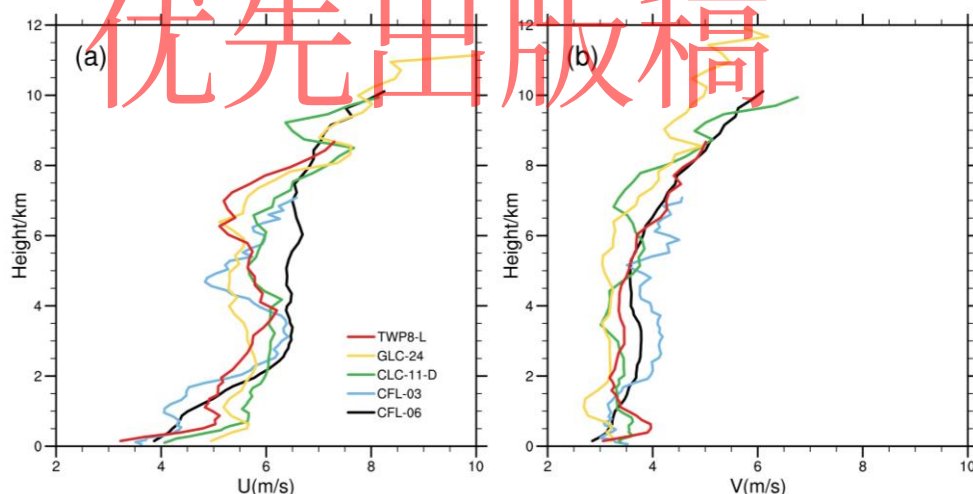
198
199 图5 各型号风廓线雷达测风资料与再分析资料对比统计的平均误差随高度的分布（单位：m/s）

200 Fig.5 Distribution of average error of each type of wind profile radar with height (unit: m/s)

201 4.2.2 均方根误差

202 均方根误差可以反映误差的离散度，对一组观测中的特大或特小误差反应非常敏感，对于不同型号雷达在
203 不同高度上的水平测风质量有很好的指示作用。图 6 给出了 5 种型号风廓线雷达相对于 FNL 再分析资料的均方
204 根误差随高度的分布。U 风均方根误差随高度的分布（图 6a）具体表现为如下特征：2.5km 以下，各雷达 U 风均
205 方根误差逐渐增加，均方根误差位于 3.22m/s~6.2m/s 之间，各雷达间差异不大；2.5km~7km 之间，CFL-06 雷
206 达均方根误差在 6.5m/s 周围摆动，其余雷达在这一区间离散值减少，位于 4.9m/s 与 6.32m/s 之间，GLC-24 雷达
207 均方根误差最小；7km 以上，U 风均方根误差增加明显，GLC-24 雷达在 11.91km 处均方根误差已经达到 12.86m/s。
208 V 风均方根误差较 U 风更小。根据各雷达 V 风均方根误差廓线（图 6b）可以看出，V 风均方根误差位于
209 2.85m/s~6.7m/s 之间，明显优于 U 风。7km 以下，GLC-24 雷达均方根误差较小，CFL-03 雷达误差较大；7km 以
210 上，GLC-24 雷达仍保持较小的均方根误差，TWP8-L、CFL-06、CLC-11-D 雷达相差不大。

211 对所有层次平均误差以及均方根误差进行定量分析，可以发现各型号雷达 U 风测风质量存在极大差异，V
212 风测风质量各型号雷达差异不大。TWP8-L 雷达 U 风测风质量相对最佳，整层均方根误差（平均误差）为
213 5.541m/s（-0.65m/s），CFL-03 雷达次之，均方根误差（平均误差）为 5.295m/s（-1.168m/s），CLC-11-D、CFL-
214 06 雷达再次之，均方根误差（平均误差）范围为 5.937m/s~6.119（-2.112m/s~-1.965m/s），GLC-24 雷达 U 风
215 测风质量最差，整层均方根误差（平均误差）为 6.574m/s（-2.298m/s）。各雷达 V 风测风均方根误差范围在
216 3.723~3.934 m/s 之间。因此，在未针对风廓线雷达探测的 U 风产品进行进一步质量控制前，除 TWP8-L、CFL-
217 03 雷达之外的 U 风资料应谨慎使用。



218
219 图6 各型号风廓线雷达测风资料与再分析资料对比统计的均方根误差随高度的分布（单位：m/s）

220 Fig.6 Distribution of root mean square error of each type of wind profile radar with height (unit: m/s)

221 4.2.3 相关系数

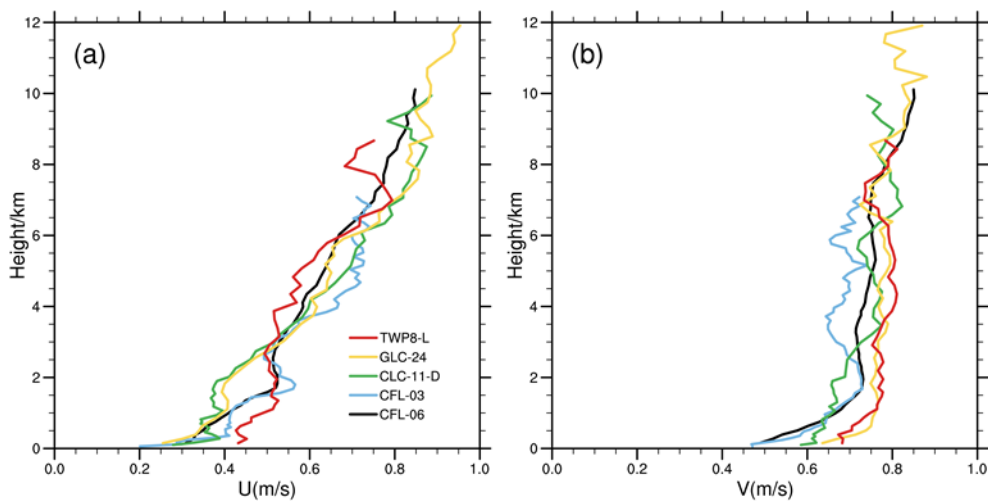
222 U 风相关系数垂直廓线（图 7a）较为陡峭，相关性随高度变化较大，主要表现为随高度升高，2.5km 以下，
223 TWP8-L 雷达相关系数较高，约为 0.5，CLC-11-D 雷达较低，为 0.35；2.5km~7km 之间，CFL-03 雷达相关系数

224 较高，TWP8-L 雷达相关系数较低；7km 以上，各雷达 U 风相关系数达到 0.7 以上，其中 GLC-24 雷达在高层相
225 关系数达到了 0.95。

226 各雷达 V 风相关系数位于 0.667（CFL-03 雷达）~0.778（GLC-24 雷达）之间。V 风相关性随高度变化（图
227 7b）较为平缓，低层较小，此后缓慢升高，2.5km 以下，相关系数在 0.45~0.78 之间；2.5km 以上，各雷达 V 风
228 相关系数整体较为稳定，仅有小的波动，所有雷达站相关系数均在 0.66 以上，其中 TWP8-L 雷达以及 GLC-24 雷
229 达相关性较高，CFL-03 雷达相关性较低。

230 需要注意的是，无论是 U 风还是 V 风，各型号雷达在边界层与 FNL 再分析资料的相关系数明显小于其他层
231 次，这是由于边界层风场变化极大，风场的不均匀性较其他层次更为显著。因而考察不同型号风廓线雷达对于
232 最底层风场的探测能力，发现最底层 U 风相关系数位于 0.2（CFL-03 雷达）~0.432（TWP8-L 雷达）之间，最底
233 层 V 风相关系数位于 0.47（CFL-03 雷达）~0.682（TWP8-L 雷达）之间，因此，TWP8-L 雷达底层测风能力最
234 强，GLC-24 雷达次之，其余三部雷达相对较弱，整体而言，进行过探测功率加强的雷达在底层的探测能力优于
235 未进行加强的雷达。

236 各型号风廓线雷达相关系数与均方根误差随高度的变化呈现相反的特征分布，误差离散度为随高度升高，
237 相关性则是低层最小，高层最大。各雷达测风质量最好的高度区间应为具有较高的相关度以及较小的均方根误
238 差的区间，考虑到 U 风、V 风在探空对比法以及 FNL 对比法中均方根误差以及相关系数出现的差异，设定相关系
239 数大于 0.5 和均方根误差小于 6.5m/s 为 U 风资料相对可靠的层次，相关系数大于 0.59 和均方根误差小于 6.1m/s 为 V 风
240 资料相对可靠的层次，则 TWP8-L、GLC-24、CLC-11-D、CFL-03、CFL-06 雷达 U 风以及 V 风同时满足可信度条
241 件的高度分别为 1.11~7.95km、2.79~7.83km、2.98~7.3km、1.56~6.96km、1.59~5.55km。TWP8-L 雷达 72.7%
242 的层次均满足条件，CLC-11-D 雷达仅 32.1% 的层次均满足条件，其余三部雷达满足可信度的层次比例位于两者
243 之间。



244
245 图7 各型号风廓线雷达测风资料与再分析资料对比统计的相关系数随高度的分布

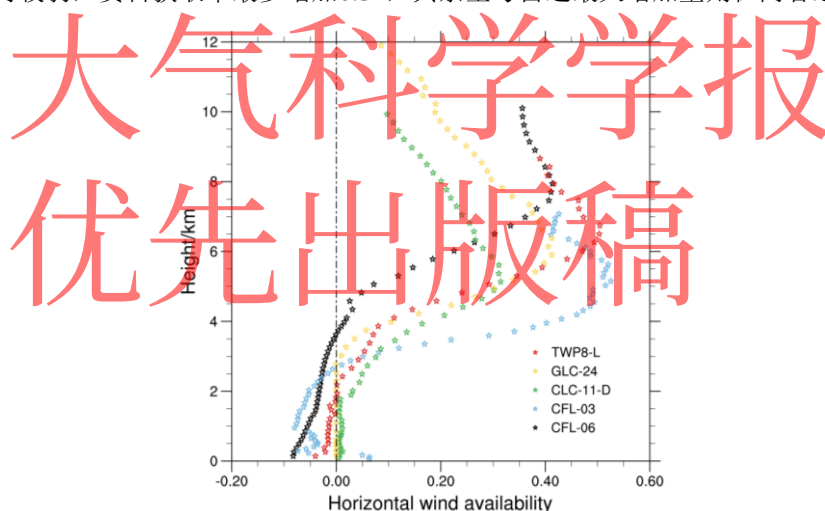
246 Fig.7 Distribution of correlation coefficient of each type of wind profile radar with height

247 4.3 降水对多型号风廓线雷达资料的影响分析

248 风廓线雷达利用大气湍流对电磁波的散射作用进行大气三维风场等物理量的探测，主要以晴空大气作为探
249 测对象，因此，除雷达硬件、气候环境之外，天气状况对风廓线雷达的探测也有着很大的影响（何平，2006）。
250 当有天气过程发生的时候，大气湍流活动加强，高层的水汽含量增加，雷达探测高度会增高（李晨光等，
251 2003）。为进一步确定不同型号风廓线雷达测风质量受天气系统的影响程度，我们将对降水条件下以及非降水
252 条件下的风廓线雷达资料进行分类后再进行统计分析。

253 4.3.1 水平风资料获取率

254 图8为降水状态以及无降水状态下各型号风廓线雷达资料获取率的差值垂直分布，可见：CFL-03（除200m
255 以下资料）、CFL-06、TWP8-L风廓线雷达均表现为在低层降水发生时的资料获取率小于天气晴好时，GLC-24、
256 CLC-11-D雷达则为低层水平资料获取率受天气影响很小，所有雷达到某一高度后均表现为有降水时的资料获取
257 率则显著大于无降水时。这个转变在不同雷达上发生的高度层不同，差异显著，CFL-06为4110m，CFL-03为
258 2760m，CLC-11-D为1900m，GLC-24为3270m，TWP8-L为2430m，降水对资料获取率的影响逐步增加，在某一
259 高度达到极大值后开始减小，由图可见，降水对CFL-03雷达的影响较为显著，资料获取率最多增加0.53，而对
260 CLC-11-D的影响相对较弱，资料获取率最多增加0.31，其余型号雷达最大增加量则在两者之间。



261 图8 各型号风廓线雷达在有、无降水条件下水平风数据获取率差值随高度的分布

262 Fig.8 Distribution of horizontal wind data acquisition rate difference with height under the condition of precipitation and
263 no precipitation for various types of wind profile radar

265 4.3.2 不同天气状态下的平均误差特征

266 图 9 给出了在有、无降水条件下风廓线雷达资料相对于分析资料平均误差随高度的分布。可以看出，U 风平
267 均偏差受降水影响严重（图 9a），无降水时，10km 以下各型号风廓线雷达偏差处在-0.7m/s~0.7m/s 之间，此后，
268 GLC-24 雷达在高层出现了偏差大于 3m/s 的大值区，其余雷达则依然位于-0.7m/s~0.7m/s 之间，降水对于平均偏
269 差的影响在 4km 以下以及 7km 以上更为显著，据统计，降水使 U 风偏差最大增加了 4.9m/s。

270 V 风平均偏差受降水的影响没有 U 风显著（图 9b），7km 以下，CFL-06、CFL-03、TWP8-L 有“对称”形

态，即无降水时以正偏差为主，在降水时以负偏差为主，CLC-11-D、GLC-24 则受降水影响不大，7km 以上，则出现了 CFL-06、CLC-11-D、GLC-24 降水时负偏差明显增大的情况，TWP8-L、CFL-03 则继续维持“对称”状态。

总体而言，各型号风廓线雷达在无降水条件下，10km 以下 U 风数据以及 V 风数据均以达到业务应用标准，无需进行后续偏差订正即可应用，与整体分析所不同的是，无降水条件下 U 风平均偏差小于 V 风，也就是由于天气系统过境所造成的风场不均匀分布是造成 U 风系统性偏差的主要原因。

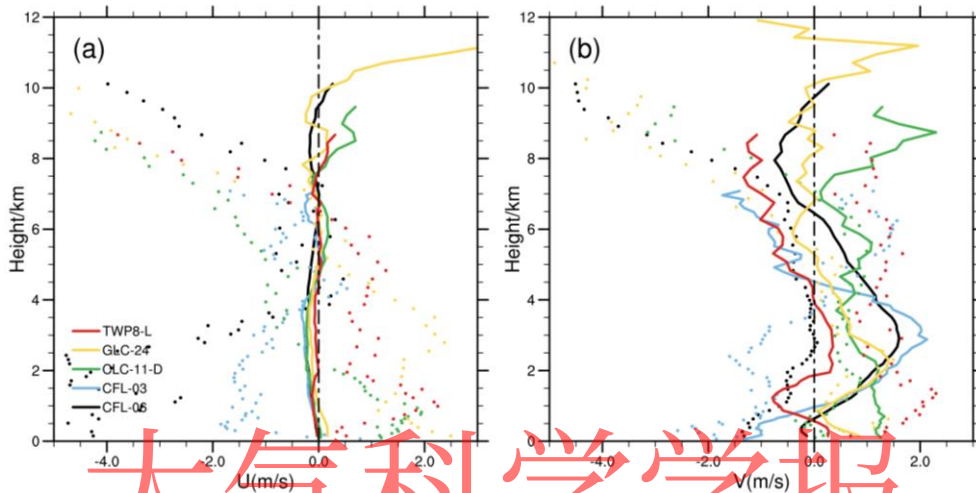


图9 各型号风廓线雷达测风资料与再分析资料对比统计的平均误差随高度的分布（实线：无降水，散点：有降水，单位：m/s）

Fig.9 Distribution of average error of various types of wind profile radar with height (solid line: no precipitation, scattered point: precipitation, unit: m/s)

4.3.3 不同天气状态下的均方根误差特征

进一步分析不同天气状态下误差离散度的差异。图10为各型号风廓线雷达测风资料与分析资料对比统计的均方根误差差值（有降水-无降水）随高度的分布，可以更加清晰明了的看到各雷达对于降水天气的敏感性，可见：降水状态下的均方根误差远大于非降水状态，降水对于U风的影响较V风更为显著。GLC-24雷达在低层由于降水，均方根误差增加达到7.5m/s，其余型号受影响虽略小，但也位于3~6.5m/s之间，影响在4km~7km较小，其他高度较大；对于V风，TWP8-L雷达在2km以及7km处出现影响大值区，最大值为2m/s，其他型号雷达则表现为低层受影响较小，到达某一高度后，影响迅速增大，其中GLC-24雷达在最高层受影响已达到4.9m/s。

根据整层数据平均，GLC-24、CLC-11-D雷达U风对降水最为敏感，均方根误差增幅达到了5.513、5.523m/s，其余三部雷达U风对降水敏感性相对较低，均方根误差增幅范围为4.361~4.561m/s。V风均方根误差增幅在0.731（CFL-03雷达）~1.226m/s（GLC-24雷达）之间，测风质量受降水影响相对较小。因此，在对降水条件下的风廓线雷达数据进行进一步处理之前，各型号雷达站在降水天气下的探测数据都不应随意使用，以U风资料更甚。

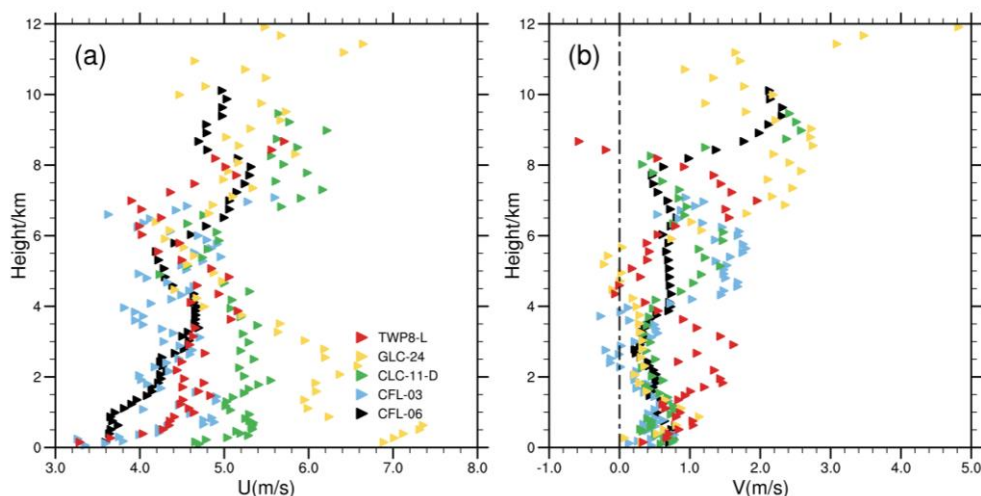


图10 各型号风廓线雷达测风资料与再分析资料对比统计的均方根误差差值（有降水-无降水）随高度的分布（单位：m/s）

Fig.10 Distribution of root mean square error difference (with precipitation - without precipitation) of various types of wind profile radar with height (unit: m/s)

4.4 昼夜对多型号风廓线雷达资料的影响分析

白天与夜间大气湍流强度有明显差异，夜间较弱，白天较强，湍流强度会影响风廓线雷达探测的信噪比，进而对雷达测风质量产生影响。为探究不同型号雷达在白天、夜间的质量差异，对非降水时段的雷达探测资料进行分类并统计误差。

图11为各型号风廓线雷达测风资料与分析资料对比统计的白天以及夜间的均方根误差高度廓线，可见，对于U风以及V风，各型号雷达均为白天优于夜间。对于U风（图11a），CFL-06、CFL-03、TWP8-L雷达白天、夜间质量差距更大，在2km~7km之间的质量差距较其他高度更为明显，在3km高度附近，3型号雷达白天、夜间均方根误差差距超过2.5m/s，CLC-11-D、GLC-24雷达U风测风质量受白天、夜间影响较小，不同时间误差特征较为一致。

V风测风质量在白天与夜间呈现出与U风不同的特点，由图11b可知，各雷达在不同时间的误差差异相对较小，其中CFL-06、CFL-03雷达在2km~4km之间差距较大，最大相差2m/s左右，TWP8-L雷达在1km以下差距较大，最大相差1m/s左右，在其他高度上无明显质量差异。

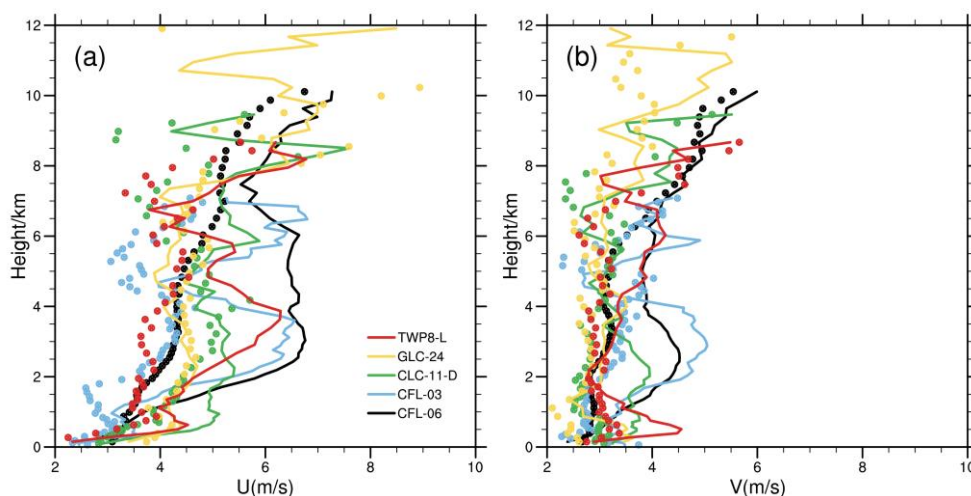


图11 各型号风廓线雷达测风资料与再分析资料对比统计的均方根误差随高度的分布（实线：夜间，散点：白天，单位：m/s）

Fig.9 Distribution of average error of various types of wind profile radar with height (solid line: daytime, scattered point: nighttime, unit: m/s)

5 结果与讨论

进行风廓线雷达在全国范围内的布设，提高强对流监测预警能力是当前的重要任务。了解不同型号的风廓线雷达测风资料质量是做好后续质量控制以及同化应用的关键。因此，本文利用 2019 年 6~9 月逐 6 小时的 FNL 再分析资料，结合探空资料以及地面降水资料，分析了我国目前已布设的 5 种不同型号（CFL-06、CFL-03、CLC-11-D、GLC-24、TWP8-L）边界层风廓线雷达 U 风产品以及 V 风产品的质量特征。结果表明：

（1）为了保证分析资料的合理性，利用研究时段内北京南郊站风廓线雷达分别与北京站探空资料以及 FNL 再分析资料进行比较。探空对比法较 FNL 对比法在各分量上整体呈现较小的平均误差、均方根误差，以及较高的相关性；不同物理量误差廓线在低层差别稍大，但整体走势相对一致，表明 FNL 资料具有一定的代表性以及准确，可作为观测真值来评估风廓线雷达测风质量。

（2）各型号雷达均具有较强的探测能力，但不同雷达在水平风资料数据获取率以及有效探测高度上差异极大，其中 CFL-06、GLC-24、TWP8-L 雷达有效探测高度在 4.23km（GLC-24 雷达）~5.79km（CFL-06 雷达）之间，较 CFL-03 雷达的 3.12km 以及 CLC-11-D 雷达的 2.98km 有明显提高。

（3）在不考虑降水等因素的影响对各型号雷达资料进行整体评估，结果显示所有型号雷达均为 V 风质量优于 U 风质量。对各型号雷达的均方根误差特征以及平均特征进行综合分析，各型号雷达 U 风质量差异极大，其中 TWP8-L 雷达 U 风测风质量相对最佳，CFL-03 雷达紧随其后，GLC-24 雷达 U 风测风质量最差，整层均方根误差（平均误差）达到了 6.574m/s（-2.298m/s）。V 风质量各型号雷达相差较小，均方根误差均在 3.7m/s 左右，平均误差在 ± 1 m/s 以内。因此除 TWP8-L、CFL-03 雷达之外的 U 风资料应进行偏差订正以及质量控制后再使用。

（4）TWP8-L 雷达底层测风能力最强，GLC-24 雷达次之，其余三部雷达相对较弱，整体而言，进行过探测功

率加强的雷达在底层的探测能力优于未进行加强的雷达。以相关系数大于 0.5 和均方根误差小于 6.5m/s 为 U 风资料相对可靠的层次, 相关系数大于 0.59 和均方根误差小于 6.1m/s 为 V 风资料相对可靠的层次进行统计, 结果显示 TWP8-L 雷达有 72.7% 的层次 U 风、V 风同时满足条件, 为最高, CLC-11-D 雷达仅 32.1% 的层次均满足条件, 为最低。

(5) 降水对于各型号雷达均有影响。在数据获取率方面, 降水使得低层获取率减小或变化不大, 随高度增加数据获取率迅速增加, 在 5km~8km 之间获取率增幅达到最大, 其中 CFL-03 雷达在 5.2km 附近数据获取率增加 0.53。在测风质量方面, U 风对于降水的敏感度高于 V 风, 降水是造成 U 风平均误差以及均方根误差较高的主要原因, 其中 GLC-24、CLC-11-D 雷达 U 风对降水最为敏感, 均方根误差增幅达到了 5.513、5.523m/s, V 风质量受降水影响较小, 均方根误差增幅在 0.731 (CFL-03 雷达)~1.226m/s (GLC-24 雷达) 之间, 因此, 如何针对降水期间的风廓线雷达数据展开质量控制, 提高资料的利用率是未来值得继续深入研究的。

不同型号的风廓线雷达测风产品质量差异极大, 针对不同型号的雷达开展详尽的水平风质量对比分析有利于后续的量控制方案研究以及业务同化应用研究, 是最大化利用好风廓线雷达探测资料的重要前提。由于资料限制, 本文仅针对边界层风廓线雷达进行评估, 且站点较少, 后续将引入更多站点, 进行更加具有普适性的质量分析。

参考文献 (References)

- Bluestein H B, Spehger D A., 1995. The dynamics of an upper-level trough in the baroclinic westerlies: Analysis based upon data from a wind profiler network[J]. *Monthly Weather Review*, 123(8):2369-2383.
- Bouttier F., 2001. The use of profiler data at ECMWF. *Meteorologische Zeitschrift*[J], 10(6):497-510.
- Benjamin S G, Dévényi D, Weygandt S S, et al., 2004. An hourly assimilation-forecast cycle: The RUC[J]. *Monthly Weather Review*, 132(2):495-518.
- 程佳, 张宁, 朱焱, 等, 2016. 苏州城区大气边界层低空急流特征分析[J]. *气象科学*, 36(6):843-848. CHENG Jia, ZHANG Ning, ZHU Yan, et al., 2012. Analysis on low-level jet in atmospheric boundary layer in Suzhou[J]. *Journal of the Meteorological Sciences*, 36(6):843-848.
- 董保举, 付志嘉, 李明, 等, 2012. 风廓线雷达资料在暴雨天气过程特征分析中的应用[J]. *气象科技*, 40(1): 74-78, 86. DONG Baoju, FU Zhijia, LI Ming, et al., 2012. Feature Analysis of a Rain Storm with Wind Profile Radar Data[J]. *Meteorological Science and Technology*, 40(1):74-78, 86.
- 费松, 阳凌, 王国强, 等, 2020. 风廓线雷达产品数据置信度研究[J]. *气象科学*, 40(4):527-533. FEI Song, YANG Ling, WANG Guo-qiang, et al., 2020. Research on data credibility of wind profiler radar product[J]. *Journal of the Meteorological Sciences*, 40(4):527-533.
- 何平, 2006. 相控阵风廓线雷达[M]. 北京: 气象出版社, 96. HE Ping, 2006. Phased-Array Wind Profile Radar(in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 96.
- 黄兴友, 何雨琴, 刘俊, 2015. 风廓线雷达资料反演雨滴谱和水汽通量的研究[J]. *气象科学*, 35(6):751-759. HUANG Xingyou, HE Yuqin, LIU Jun, 2015. Retrieval and analysis of raindrop size distribution and water vapor flux based on wind profile radar data[J]. *Journal of the Meteorological Sciences*, 35(6):751-759.
- 何平, 朱小燕, 阮征, 等, 2009. 风廓线雷达探测降水过程的初步研究[J]. *应用气象学报*, 20(4):465-470. HE Ping, ZHU Xiaoyan, RUAN Zheng, et al., 2009. Preliminary Study on Precipitation Process Detection Using Wind Profiler Radar[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 20(4):465-470.
- 李晨光, 刘淑媛, 陶祖钰, 2003. 华南暴雨试验期间香港风廓线雷达资料的评估[J]. *热带气象学报*, 19(3): 269-276. LI Chenguang, LIU Shuyuan, Taoyuzu, 2003. Review of Wind Profiler Data of HONGKONG During IOP of HUAMEX and SCSMEX[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 19(3):269-276.
- Muschinski A, Sullivan P P, Wuertz D B, et al., 1999. First synthesis of wind-profiler signals on the basis of large-eddy simulation data[J]. *Radio Science*, 34(6):1437-1459.
- 阮征, 何平, 葛润生, 2008. 风廓线雷达对大气折射率结构常数的探测研究[J]. *大气科学*, 32(1):133-140. RUAN Zheng, HE Ping, and GE Run-Sheng, 2008. Determination of Refractive Index Structure Constant with Wind Profile Radar Data[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 32(1):133-140.

- 王志春, 植石群, 2014. 登陆台风启德近地层强风特性观测研究[J]. 气象科技, 42(4):678-681. WANG Zhichun, ZHI Shiqun, 2014. Observational Study of Strong Wind Characteristics of Typhoon Kaitak with Automotive Wind Profiler Rada[J]. Meteorological Science and Technology, 42(4):678-681.
- 王丹, 阮征, 王改利, 等, 2019. 风廓线雷达资料在 GRAPES-MESO 模式中的同化应用研究[J]. 大气科学, 43(3): 634-654. WANG Dan, RUAN Zheng, WANG Gaili, et al., 2019. A study on assimilation of wind profiling radar data in GRAPES-Meso model[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 43(3):634-654.
- Wang C, Chen Y, Chen M, et al., 2020. Data assimilation of a dense wind profiler network and its impact on convective forecasting[J]. Atmospheric Research, 238:104880.
- Wang, C, Chen, M, & Chen, Y., 2022. Impact of Combined Assimilation of Wind Profiler and Doppler Radar Data on a Convective-Scale Cycling Forecasting System[J]. Monthly Weather Review, 150(2), 431-450.
- 汪学渊, 汪波, 文明章, 等, 2015. 丘陵地区边界层风廓线雷达数据统计特性分析[J]. 气象科学, 35(3):328-333. WANG Xueyuan, WANG Bo, WEN Mingzhang, et al., 2015. Statistical characteristic Analysis of the Boundary wind profile radar in Fujian hilly areas[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 35(3):328-333.
- 王栋成, 邱粲, 曹洁, 等, 2018. 济南边界层风廓线雷达与 L 波段雷达探空测风资料对比研究[J]. 气象科学, 38(3):416-422. WANG Dongcheng, QIU Can, CAO Jie, et al., 2018. Comparison of wind profiler radar and L-band radar sounding data in Jinan boundary layer[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 38(3):416-422.
- 王叶红, 张伟, 赵玉春, 2021. 面向资料同化的风廓线雷达风场特征分析及其质控方法[J]. 大气科学, 45(1):123-147. WANG Yehong, ZHANG Wei, ZHAO Yuchun, 2021. Analysis of Wind Characteristics of Wind-Profiler Radars and Their Quality Control Methods for Data Assimilation[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 45(1):123-147.
- 吴蕾, 陈洪滨, 康雪, 2014. 风廓线雷达与 L 波段雷达探空测风对比分析[J]. 气象科技, 42(02):225-230. WU Lei, CHEN Hongbin, KANG Xue, 2014. Comparison between Wind Profiler and L Band Upper-Air Meteorological Sounding System[J]. Meteorological Science and Technology, 42(02):225-230.
- 俞小鼎, 周小刚, 王秀明, 2012. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J]. 气象学报, 70(3):311-337. YU Xiaoding, ZHOU Xiaogang, WANG Xiuming, 2012. The advances in the nowcasting techniques on thunderstorms and severe convection[J]. Acta Meteorologica Sinica, 70(3):311-33.
- 余贞寿, 冀春晓, 杨程, 等, 2018. 同化风廓线雷达资料对浙江降水预报改进评估[J]. 应用气象学报, 29(1): 97-110. YU Shouzheng, JI Chunxiao, YANG Chen, et al., 2018. Impacts of Assimilating Wind Profiler Radar Observations on Precipitation Prediction in Zhejiang Province[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 29(1):97-110.
- ZHAG X B, LUO Y L, WAN Q L, et al., 2016. Impact of assimilating wind profiling radar observations on convection-permitting quantitative precipitation forecasts during SCMREX[J]. Weather Forecasting, 31(4): 1271-1292.
- 张小雯, 郑永光, 吴蕾, 等, 2017. 风廓线雷达资料在天气业务中的应用现状与展望[J]. 气象科技, 45(2):285-297. ZHANG Xiaowen, ZHENG Yongguang, WU Lei, et al., 2017. Review on application of wind profiler radar in weather monitoring and forecasting[J]. Meteorological Science and Technology, 45(2): 285-297.
- 张哲, 师宇, 王咏薇, 等, 2019. 基于风廓线雷达的对流边界层高度的确定[J]. 气象科学, 39(3):359-367. ZHANG Zhe, SHI Yu, WANG Yongwei, et al., 2019. Determination of convective boundary layer height based on wind profile radar[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 39(3):359-367.
- 张旭斌, 万齐林, 薛纪善, 丁伟钰, 李昊睿, 2019. 风廓线雷达资料质量控制及其同化应用[J]. 气象学报, 73(1): 159-176. ZHANG Xubin, WAN Qilin, XUE Jishan, DING Weiyu, LI Haorui, 2019. Quality control of wind profile radar data and its application to assimilation[J]. Acta Meteorologica Sinica, 73(1):159-176.
- 朱立娟, 2015. 面向资料同化风廓线雷达水平风产品质量初步分析[J]. 气象, 41(12):1494-1502. ZHU Lijuan, 2015. Preliminary analysis on wind product of wind profiler for data assimilation[J]. Meteor. Mon., 41(12):1494-1502.

Application of Wind Profiler Radar Data I : Quality Assessment

ZHAO X Y¹, MIN J Z^{1*}, ZHU L J¹, ZHANG C²

¹Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters/Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

²Inner Mongolia Tongliao Meteorological Service, Tongliao 028000, China;

Abstract: A wind profiler radar is a new type of Doppler wind radar designed to measure the horizontal wind vectors, and are able to provide wind profiles at various elevations with high temporal and spatial resolution. It plays an increasingly important role in China's Meteorological business. However, the quality of wind profiler radar data varies widely considering the different types of radars deployed in China. To better utilize these data in numerical weather prediction (NWP), this study assesses the data quality from five different types of wind profiler radars (i.e., CFL-06, GLC-24, TWP8-L, CFL-03 and CLC-11-D) at 20 stations in North China from June to September 2019.

Results show that each type of profiler has strong detection ability, but different profilers have great differences in data acquisition rate and effective detection height. Without considering the influence of precipitation, the data quality of v-wind is better than that of u-wind for all types of profilers. In all air conditions, the quality of u-wind data from TWP8-L profiler is relatively the best, followed by CFL-03 radar, the quality of u-wind data from GLC-24 radar is the worst. The differences in v-wind data is not noticeable, while bias correction and quality control are necessary for u-wind data. The data quality of wind profile radar is quite sensitive to precipitation, which reduces the data acquisition rates at low levels and increases the data acquisition rates at the middle and high levels, with the maximum increase of 53%. The statistical results indicate precipitation is responsible for the large mean errors and root mean square errors (RMSEs) of u wind data. GLC-24 and CLC-11-D profilers are the most sensitive to precipitation. The RMSEs are increased by 5.5 m/s in precipitation regions as compared to non-precipitation regions. The u-wind and v-wind data in precipitation regions requires further quality control procedure.

Key words: Wind profile radar; Horizontal wind products; Quality characteristics; FNL

大气科学学报
优先出版稿