

用 L 波段探空测风雷达评估风廓线雷达测风准确性

康雪, 许晨, 李愉

(成都市气象局气象服务中心, 四川 成都 611130)

摘要:在晴空和降水两种情况下,将 L 波段探空测风雷达数据对风廓线雷达四波束和五波束水平风计算方法所得到的水平风进行对比评估,得到较优的四波束计算方法,并对风廓线雷达在一天不同时段和一年不同季节与探空雷达数据进行对比分析,一定程度上得到风廓线雷达在一天中白天的测风准确性高于夜间,在一年中夏季的测风准确性最高,春秋两季次之,冬季最低的结论。

关键词:风廓线雷达;探空测风;水平风合成方法;测风准确性

中图分类号:TN959.4

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2021.03.009

0 引言

对比风廓线雷达测风与探空测风雷达数据间的差异,是评估风廓线雷达探测准确性的常用手段,国内在探讨风廓线雷达测风准确性方面做了一定的研究。万荣等^[1]对风廓线雷达资料与加密探空资料进行了对比分析,定义两者风向偏差在 20° 以内或者风速偏差在 3 m/s 范围的样本为有效样本,分析在降水 and 无降水、不同高度情况下的有效样本率;孙旭映等^[2]分析了风廓线雷达资料与探空测风资料之间存在差异的原因;吴蕾等^[3]对风廓线雷达资料与常规高空探测资料进行对比分析,得到不同高度、不同时段、不同风速条件下的对比结果。对于五波束风廓线雷达,可使用三个波束,包括两个不共面倾斜波束和一个垂直波束测得的径向速度来计算水平风风速和风向^[4];也可使用五个波束,即将两个对称方向的倾斜波束的径向速度进行平均,再按三波束风廓线雷达水平风合成方法的计算方法来计算水平风场;还可使用四个波束,包括两对倾斜对称波束,即不使用垂直波束,测得的径向速度来计算水平风场。本文将不同的水平风合成计算方法用在晴空和降水天气情况下并与探空测风数据做了对比分析,还对风廓线雷达在一天不同时段和一年不同季节的测风准确性做了分析研究。

1 方法及数据

1.1 风廓线雷达不同水平风测量方法

传统的风廓线雷达计算水平风的方法只使用两个

不共面倾斜波束和一个垂直波束测得的径向速度来计算水平风。理论上讲,对称波束测得的径向速度为大小相同^[5],方向相反,可将对称倾斜波束测得的径向速度相减后进行平均,得到 V_{RX} 和 V_{RY} ,再按照传统计算方法来计算水平风。由于该方法用到了五个波束的测量值,因此称之为五波束计算方法。其水平风 U 、 V 分量可表示:

$$\begin{aligned} u_{5B} &= \frac{V_{RX} - w \cos \theta}{\sin \theta} \\ v_{5B} &= \frac{V_{RY} - w \cos \theta}{\sin \theta} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, u_{5B} 和 v_{5B} 是五波束方法计算的 U 、 V 分量, w 是垂直波束测得的垂直速度, θ 为倾斜波束的天顶角, V_{RX} 和 V_{RY} 是两对倾斜对称波束(东西和南北波束)测量径向速度的平均值:

$$\begin{aligned} V_{RX} &= \frac{1}{2}(V_{RW} - V_{RE}) \\ V_{RY} &= \frac{1}{2}(V_{RS} - V_{RN}) \end{aligned} \quad (2)$$

将式(2)带入式(1)后可得到五波束方法的 U 、 V 分量 u_{5B} 和 v_{5B} ,将其带入式(3)得到水平风风速和风向。

$$\begin{aligned} V_H(\varphi) &= u \sin \varphi + v \cos \varphi \\ \varphi &= \arctan \frac{u}{v} \\ \alpha_H &= \pi + \varphi \end{aligned} \quad (3)$$

其中, φ 为水平风方位角, α_H 为水平风方向。由以上分析可知,五波束计算方法使用了垂直波束测量值进行计算。而研究表明垂直波束的测量值对水平风的估计有着较大影响^[6-12],表现为:第一,晴空条件下,大气

的垂直运动很微弱,因而垂直波束测量值非常小,极易受到地波杂波或其他干扰的影响,因此较小的垂直波束测量误差,在带入式(1)以后,因 $\cot\theta = \cot15^\circ = 3.73$,也会扩大3.73倍,进而带来较大的水平风估计误差;第二,当大气不均匀如发生不均匀性降水时,垂直波束的测量值则不能很好地代表倾斜波束测量值的垂直分量,因而给 U 、 V 分量的估计带来误差,进而给水平风估计带来误差。

基于以上考虑,提出了四波束计算方法,即不使用垂直波束,仅使用两对倾斜对称波束测量值对水平风进行估计。见式(4),四波束方法计算 U 分量 u_{4B} 是将西波束和垂直波束计算得到的 u_w 和东波束和垂直波束计算得到的 u_e 进行平均,而 V 分量 v_{4B} 是将南波束与垂直波束计算得到的 v_s 和北波束与垂直波束计算所得 v_n 进行平均,其中 θ 为倾斜波束的天顶角。

$$u_{4B} = \frac{u_w + u_e}{2} = \frac{V_{RW} - V_{RE}}{2\sin\theta}$$
$$v_{4B} = \frac{v_s + v_n}{2} = \frac{V_{RS} - V_{RN}}{2\sin\theta}$$

(4)

在式(4)的平均过程中,抵消了垂直波束的计算部分,因此四波束计算方法克服了垂直波束测量误差对水平风估计带来的影响。本文将探空测风作为对照

来进一步验证这两种水平风计算方法的优劣。

1.2 风廓线雷达与探空雷达对比方法及资料来源

风廓线雷达测风与探空测风在观测时间和观测高度上都存在不能对应的问题^[1]。风廓线雷达测量的是雷达站上空高度层上的风廓线,其采样周期为6 min,为24 h不间断观测;而探空气球从施放到上升到10 km所需时间为25 min,且会飘离气球施放地点几到十几公里以外,其观测为每天两次定点观测。为得到尽可能可靠的对比结果,根据探空气球上升到10 km的时间为25 min,对风廓线雷达的实时采样数据按照半小时一致性平均处理^[9-10];并对探空数据的采样高度和每个采样高度的采样值以该风廓线雷达采样高度为标准进行插值处理^[1,11]。

研究所用功率谱数据取自南京边界层风廓线雷达,雷达型号为CLC-11,站址的经纬度为118°53′56″E,31°55′53″N,海拔高度为35.2 m。表1列出了CLC-11型风廓线雷达的典型参数。采用南京基本气象站2011年10月-2012年9月01时、13时、07时、19时(其中01时和13时为8月份为加密观测)的L波段雷达探空资料与风廓线雷达测风进行对比。风廓线雷达和探空气象施放地所在距离为3.5 km。

表1 CLC-11 型风廓线雷达典型参数

波长 /mm	发射频率 /MHz	探测 模式	脉冲重复 周期/ μ s	脉冲宽度 / μ s	发射峰值 功率/kW	天线增 益/dB	相干积分 次数	谱平 均数	谱变 换数	距离库长 /m
234	1282	低	40	0.4	2	32	64	16	512	60
		中	64	0.8	2	32	40	16	512	120
		高	102	1.6	2	32	20	16	512	240

在对二者的偏差进行统计分析时,会出现一些不能反映二者系统偏差的较大偏差,于是这里将大于“三倍标准差”的较大偏差数据进行剔除^[13-14],再进行统计分析。最后对评估得到的较优方法四波束法与探空数据进行了一年不同季节与一日不同时段的对比较分析,一定程度上得到了风廓线雷达在不同季节与一天中不同时间的测风准确性评估结果。

2 探空测风资料评估风廓线雷达两种水平风计算方法

在晴空和降水两种情况下,将风廓线雷达四波束和五波束水平风计算方法得到的水平风与探空数据进

行对比。

2.1 晴空条件下的五波束方法、四波束方法与探空对比分析

采用2012年7-9月共455时次的南京风廓线雷达晴空数据进行分析。将风廓线雷达五波束方法和四波束方法计算得到的水平风 U 、 V 分量与相应时刻的探空测得水平风分解得到的 U 、 V 分量作散点图进行分析。如图1所示,横坐标为风廓线数据,纵坐标为探空数据,散点越集中于红线,代表二者的一致性越好。由图1可知,在不考虑探空数据与风廓线雷达数据探测误差的情况下,四波束方法得到的结果与探空数据的一致性好于五波束方法。

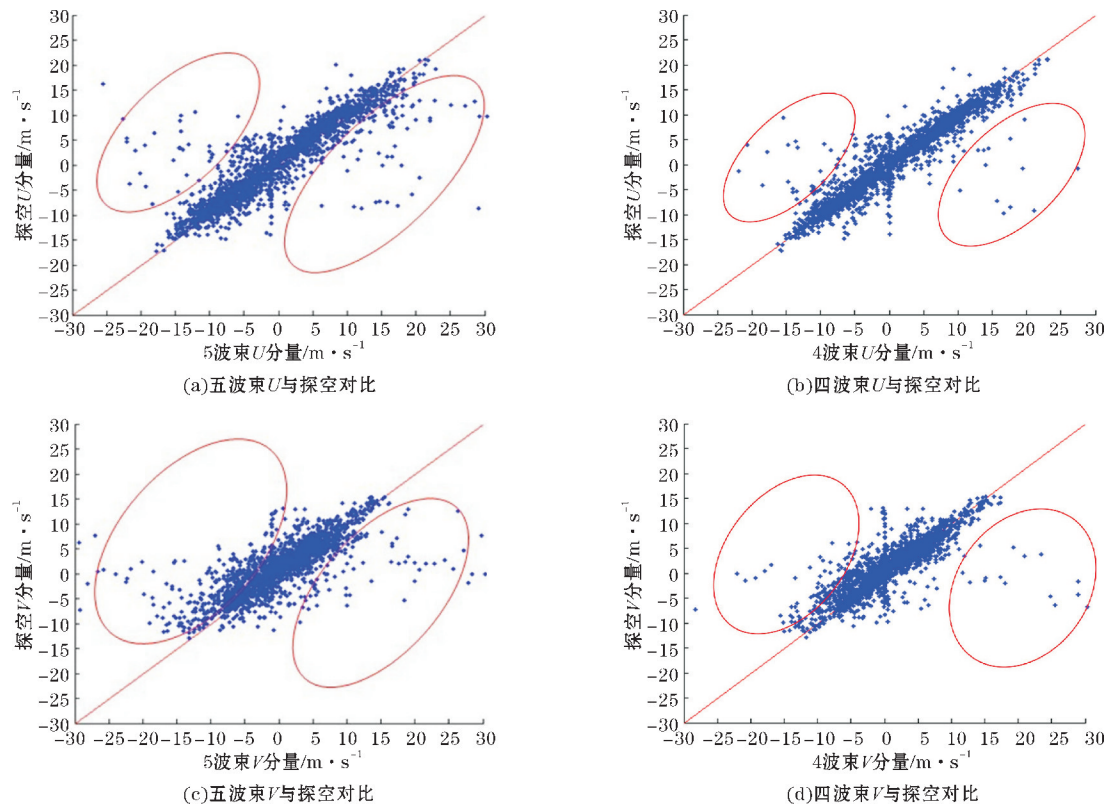


图 1 晴空时四波束方法与五波束方法分别与探空 U 、 V 分量对比图

由于风廓线雷达与 L 波段雷达探空测风原理的不同^[1],一般来讲,探测高度越高二者测量结果之间的偏差越大。在这里使用该风廓线雷达高模式的数据,将对比数据按照探测高度进行分组,分为 120 ~ 1080 m、1320 ~ 2040 m、2280 ~ 3000 m、3240 ~ 3960 m、4200 ~ 4920 m、5160 ~ 6120 m 6 组对两者的 U 分量差异和 V 分量差异进行统计分析,见表 2 和表 3。

由表 2 可知在 5 km 以下晴空条件下两种方法计算得到的 U 分量与探空的标准偏差分别为,五波束方法的

3.99 m/s, 2.80 m/s, 1.87 m/s, 1.97 m/s, 2.20 m/s, 28.4 m/s和四波束方法的3.13 m/s,1.47 m/s,1.34 m/s, 1.30 m/s,1.52 m/s,1.57 m/s。可知在 5 km 以下的二者偏差相差不大,但四波束方法仍较优于五波束方法,而在 5160 ~ 6120 m,二者标准偏差分别为五波束方法的 28.4 m/s,四波束方法的 1.57 m/s,五波束方法在此高度上与探空的标准偏差非常大,四波束方法明显低于五波束法,可知在此高度上垂直波束受到的干扰很强,且数据信噪比较低。

表 2 2012 年 7-9 月晴空数据 U 分量按高度分组对比结果

高度	U(五波束)				U(四波束)			
	数量	相关系数	平均偏差 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	标准偏差 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	数量	相关系数	平均偏差 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	标准偏差 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
120 ~ 1080 m	385	0.744	0.59	3.99	385	0.830	-0.38	3.13
1320 ~ 2040 m	308	0.912	0.87	2.80	308	0.948	-0.09	1.47
2280 ~ 3000 m	308	0.924	0.89	1.87	308	0.965	0.02	1.34
3240 ~ 3960 m	308	0.792	0.74	1.97	308	0.937	0.02	1.30
4200 ~ 4920 m	308	0.714	0.70	2.20	308	0.858	-0.09	1.52
5160 ~ 6120 m	385	0.410	1.43	28.40	385	0.627	-0.10	1.57

由表 3 对晴空条件下两种方法计算得到的 V 分量与探空的偏差与相关系数的分析同样可得到上述类似结

论。总的来说,在晴空条件下,以探空数据作为对照标准进行验证,可得到四波束方法要优于五波束方法的结论。

表 3 2012 年 7-9 月晴空数据 V 分量按高度分组对比结果

高度	V(五波束)				V(四波束)			
	数量	相关系数	平均偏差 $/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	标准偏差 $/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	数量	相关系数	平均偏差 $/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	标准偏差 $/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
120 ~ 1080 m	385	0.690	0.02	3.39	385	0.820	-0.56	2.75
1320 ~ 2040 m	308	0.750	0.04	3.22	308	0.841	-0.81	2.59
2280 ~ 3000 m	308	0.816	0.33	1.99	308	0.896	-0.19	1.43
3240 ~ 3960 m	308	0.649	0.10	5.28	308	0.845	-0.31	1.98
4200 ~ 4920 m	308	0.654	0.35	1.94	308	0.710	-0.22	1.56
5160 ~ 6120 m	385	0.394	-1.55	32.80	385	0.550	-0.04	2.33

2.2 降水条件下的五波束方法、四波束方法与探空对比分析

使用 2012 年 7-9 月共 93 时次的降水数据进行分析。将风廓线雷达四波束方法与五波束方法计算得到的水平风 U 、 V 分量进行半小时一致性平均后,与同时

段的探空测风得到的水平风 U 、 V 分量作散点图进行对比分析,得到的结果见图 2。由图 2 可知,在降水条件下,在不考虑探空数据与风廓线雷达数据探测误差的情况下,四波束方法得到的结果与探空数据的一致性同样也好于五波束方法。

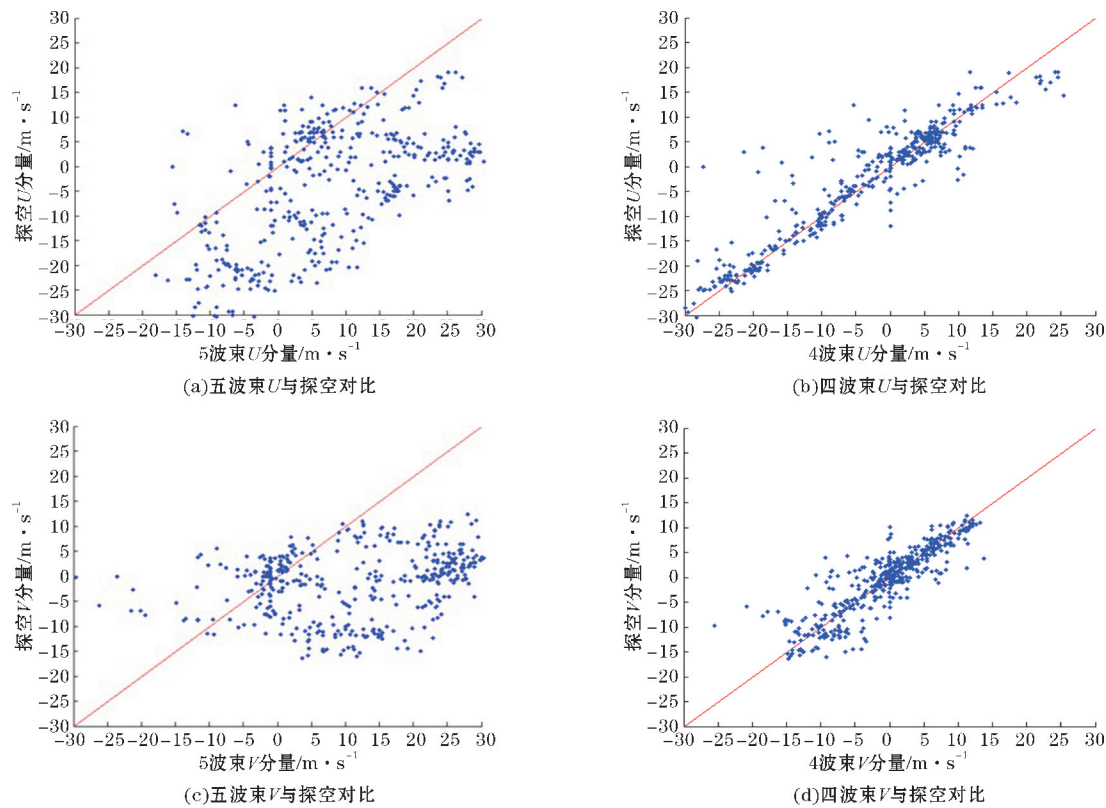


图 2 降水时四波束方法与五波束方法分别与探空 U 、 V 分量对比图

同样,将对比数据按照探测高度进行分组,对两者的 U 分量差别和 V 分量差别进行分析,统计结果见表 4、表 5。可知在各高度上四波束方法计算得到的 U 、 V 分量的标准偏差都明显低于五波束方法;且与探空数据的相关系数,四波束方法在各高度上也均高于五波

束方法。与晴空数据不同的是 5 km 以上与 5 km 以下的的数据对比偏差相差不大,可能是因为在降水条件下 120 ~ 6120 m 探测范围内的风廓线雷达数据信噪比都较高且相差不大。结果表明,在降水条件下,以探空数据作为对照标准,四波束方法也明显优于五波束方法。

表 4 2012 年 7-9 月降水数据 U 分量按高度对比结果

高度	U (五波束)				U (四波束)			
	数量	相关系数	平均偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	标准偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	数量	相关系数	平均偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	标准偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$
120 ~ 1080 m	85	0.509	-1.53	6.31	85	0.765	0.22	4.39
1320 ~ 2040 m	68	0.765	-3.81	5.91	68	0.910	-0.63	2.71
2280 ~ 3000 m	68	0.777	-3.58	5.86	68	0.936	-0.10	2.36
3240 ~ 3960 m	68	0.824	-4.84	6.53	68	0.940	-1.32	2.83
4200 ~ 4920 m	68	0.904	-5.95	7.58	68	0.956	-0.85	2.70
5160 ~ 6120 m	85	0.904	-5.88	6.36	85	0.961	0.26	2.57

表 5 2012 年 7-9 月降水数据 V 分量按高度对比结果

高度	V (五波束)				V (四波束)			
	数量	相关系数	平均偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	标准偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	数量	相关系数	平均偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	标准偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$
120 ~ 1080 m	85	0.706	0.71	3.71	85	0.764	0.76	2.69
1320 ~ 2040 m	68	0.776	0.15	2.90	68	0.907	0.45	2.34
2280 ~ 3000 m	68	0.751	0.45	4.65	68	0.833	0.46	2.72
3240 ~ 3960 m	68	0.635	2.74	6.67	68	0.698	0.08	2.67
4200 ~ 4920 m	68	0.689	0.72	4.80	68	0.802	-0.51	3.09
5160 ~ 6120 m	85	0.662	0.44	4.03	85	0.730	0.26	3.81

3 风廓线雷达日测风资料与探空对比分析

为得到风廓线雷达在一天不同时段 的测风准确性,根据一天中探空气球施放的时间,01 时、07 时、13 时、19 时,将二者数据进行分类研究。采用南京风廓线雷达和南京探空雷达于 2011 年 10 月-2012 年 9 月分别探测到 2194 时次数据和 326 次数据进行日对比分析。这里将风廓线雷达的实时采样数据按照小时一

致性平均处理,对探空数据的采样高度和每个采样高度的采样值以该风廓线雷达采样高度为标准进行插值处理,将二者相应时间及高度上的数据进行对比分析。这里采用的是上文中证实较优的四波束方法进行水平风 UV 分量的计算。对比结果见表 6,可见,01 时和 19 时的标准偏差大于 07 时和 13 时,可能是由于夜间的大气湍流比白天的微弱,造成风廓线雷达探测的信噪比较低而使得夜间数据的可靠信较低。结果表明,以探空数据作为对照标准,风廓线雷达在白天的探测准确性高于夜间。

表 6 2011 年 10 月-2012 年 9 月对比数据按小时分组统计结果

时刻	U				V			
	数量	相关系数	平均偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	标准偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	数量	相关系数	平均偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	标准偏差 $\text{/(m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$
01 时	120	0.794	0.29	1.97	120	0.835	0.55	2.09
07 时	3432	0.766	-0.33	1.70	3432	0.774	0.03	1.92
13 时	144	0.846	0.11	1.77	144	0.937	0.63	1.98
19 时	4176	0.725	-0.34	2.60	4176	0.753	-0.15	2.34

4 风廓线雷达季节测风资料与探空对比分析

按照季节即春(3、4、5 月),夏(6、7、8 月),秋(9、10、11 月),冬(12、1、2 月)对 2012 年的对比数据进行

分类统计(其中缺失 2012 年 1 月数据),探空数据的采集时间仍然是 01 时、07 时、13 时、19 时,其中 01 时和 13 时为 8 月份加密观测。图 3 为春夏秋冬风廓线雷达得到的水平风 U 、 V 分量和探空得到的水平风 U 、 V 分量的偏差 U_p-U_r 和 V_p-V_r 对比散点图,散点越集中于中心零点,代表二者得到的 U 、 V 分量偏差越小。

由表 7 可知,二者标准偏差最小的季节月份为夏季月份(6、7、8 月),分别为 U 分量的 2.00 m/s、1.80 m/s、1.73 m/s 和 V 分量的 1.63 m/s、1.90 m/s、2.13 m/s。春秋两季的二者偏差较大于夏季,冬季的二者标准偏差为最大。也就是说,在以探空雷达为标准的条件下,风廓线雷达在夏季的测风准确性最高,春

秋两季次之,而冬季为最低。研究表明,夏季由于温度较高、湿度较大, C_n^2 最大^[15],春秋两季次之,冬季的 C_n^2 为最低^[13], C_n^2 与湍流散射回波信号的强弱成正比,同时也与风廓线雷达数据的信噪比成正比,较高的数据信噪比导致较高的数据可信度,因此这里得到的结论是可解释的。

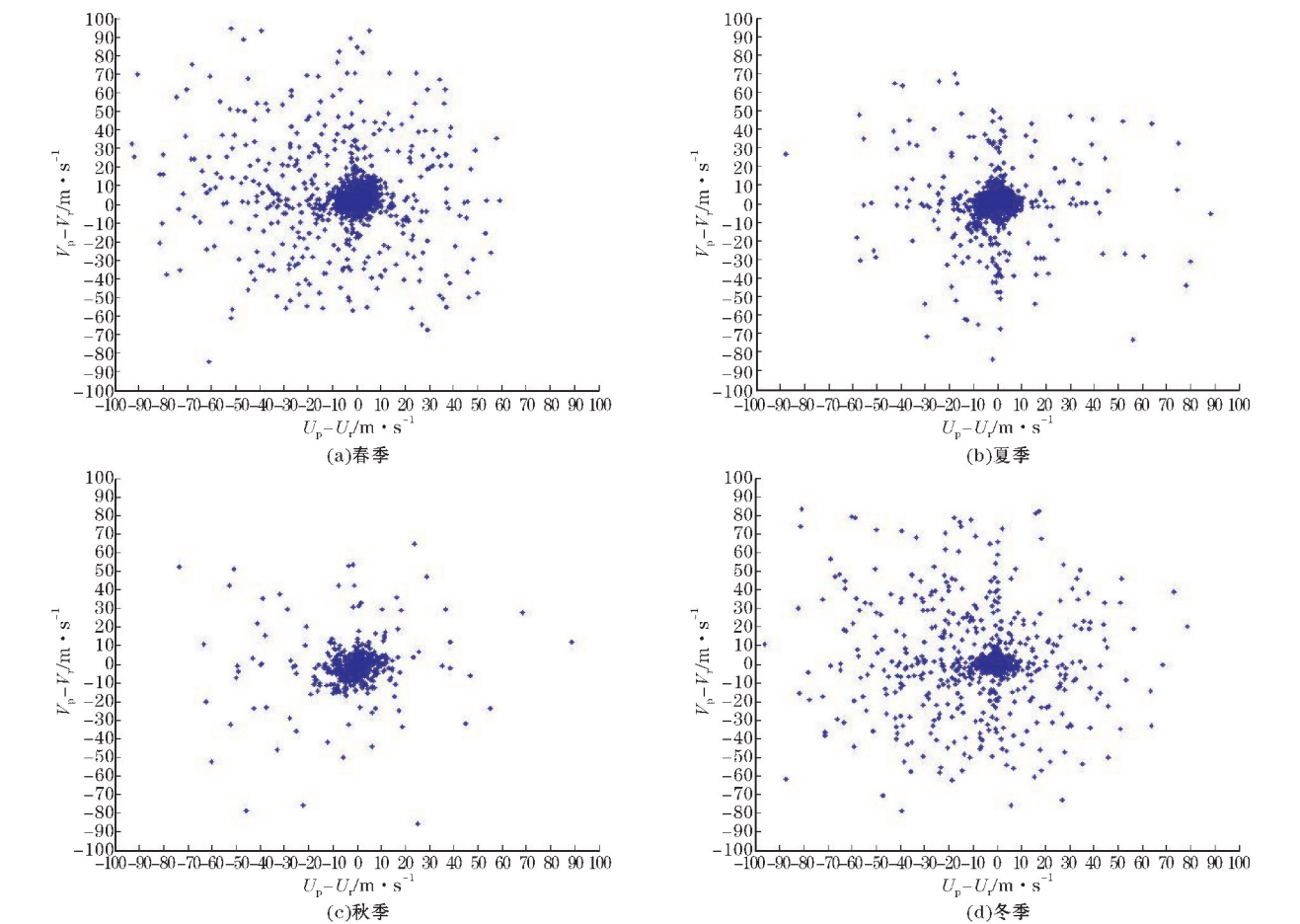


图 3 U_p-U_r 与 V_p-V_r 在四季的散点对比图

表 7 2011 年 10 月-2012 年 9 月对比数据按季节分组统计结果

季节	月份	U				V			
		数量	相关系数	平均偏差 /(m·s ⁻¹)	标准偏差 /(m·s ⁻¹)	数量	相关系数	平均偏差 /(m·s ⁻¹)	标准偏差 /(m·s ⁻¹)
春季	3	696	0.696	-1.27	2.83	696	0.608	0.19	3.32
	4	816	0.661	0.06	3.10	816	0.531	1.29	5.28
	5	552	0.808	-0.41	2.17	552	0.756	0.32	1.83
夏季	6	1152	0.637	-0.24	2.00	1152	0.489	0.07	1.63
	7	864	0.909	0.03	1.80	864	0.660	-0.52	1.90
	8	1080	0.831	0.07	1.73	1080	0.814	0.29	2.13
秋季	9	552	0.630	-0.52	2.49	552	0.404	-1.10	2.98
	10	219	0.608	2.03	5.85	219	0.684	-1.35	4.39
	11	72	0.979	-0.76	2.26	72	0.747	-0.44	3.22
冬季	2	936	0.665	-0.67	3.81	936	0.610	-0.41	3.80
	12	336	0.210	-4.92	21.80	336	0.233	0.13	21.17

5 结论

(1)在晴空条件下,在以探空数据为标准的条件下,四波束法优于五波束法。将两种方法与探空比较的结论在各高度层综合来看,近地层两者与探空的偏差较大,而1~5 km二者与探空偏差相对较小,5 km以上偏大,由此可知,在近地层风廓线雷达易受地物或其他干扰的影响导致探测可靠性较低,而在中层大气的探测准确性较高,到了5 km以上的高度随着信噪比的减低,探测准确性也进一步降低。

(2)在降水条件下,在以探空数据为标准的条件下,四波束方法优于五波束方法。而将两种方法与探空比较的结论在各高度层综合来看,在不同高度上,得到的偏差与相关系数相差不大,可能是因为在降水时,整个探测高度范围内的数据信噪比特征不同于晴空条件时随高度递减的特征,而是大多处于较高的10~25 dB,使得在降水时雷达探测准确性在不同高度变化不大。

(3)将四波束方法计算所得水平风与探空数据分一天内不同时段进行对比后可知,风廓线雷达在白天的测风准确性高于夜间,可能是因为大气湍流在夜间较为微弱,而导致夜间的数据信噪比低于白天。

(4)将四波束方法计算所得水平风与探空测风在一年不同季节月份进行对比后可知,风廓线雷达在夏季的测风准确性最高,春秋两季次之,冬季最低。但因为探空资料数量有限,一天中大多只有两次观测,在今后的研究中还需进一步增加探空资料对得到的风廓线雷达探测准确性结论进行验证。

致谢:感谢成都市气象局业务科技研究课题(2019-5)对本文的资助。

参考文献:

- [1] 万蓉,周志敏,崔春光. 风廓线雷达资料与探空资料的对比分析[J]. 暴雨灾害,2011,30(2): 131-135.
- [2] 孙旭映,韩辉,段海霞,等. 风廓线仪与气球测风资料的对比分析[J]. 干旱气象,2009,26(3):48-52.
- [3] 吴蕾,陈洪滨,康雪. 风廓线雷达与L波段雷达探空测风对比分析[J]. 气象科技,2014,42(2):

225-229.

- [4] 何平. 相控阵风廓线雷达[M]. 北京:气象出版社,2006:42-62.
- [5] 何建新,姚振东,李飞,等. 现代天气雷达[M]. 成都:电子科技大学出版社,2004:105-117.
- [6] Ahoro Adachi, Takahisa Kobayashi, Kenneth S Gage, et al. Evaluation of Three-Beam and Four-Beam Profiler Wind Measurement Techniques Using a Five-Beam Wind Profiler and Collocated Meteorological Tower[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology,1998,22:1167-1178.
- [7] Mercedes M Huaman, Ben B Balsley. Long-term Average Vertical Motions Observed by VHF Wind Profilers:The Effect of Slight Antenna Pointing Inaccuracies[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology,1996,13:560-569.
- [8] 胡明报,贺宏兵,李妙英,等. 风廓线雷达5波束校验计算风的方法[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版),2013,14(3):292-295.
- [9] Martin A, Fischler, Robert C, et al. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Commun. Assoc. Comput. Mach.,1981,24:381-395.
- [10] R G Strauch, D A Merritt, K P Moran, et al. The Colorado wind profiling network[J]. Atmos. Ocean. Technol.,1984,1:37-49.
- [11] 朱斌,高仲辉. 风廓线雷达探测系统中的谱数据处理[J]. 现代雷达,2003,11:21-23.
- [12] 胡明宝. 风廓线雷达数据处理与应用研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2012:86-98.
- [13] 吴蕾. 风廓线雷达探测性能分析及谱矩参数应用研究[D]. 北京:中国科学院,2011:57-68.
- [14] Larsen, M F, J Rotteger. Can a VHF Doppler radar provide synoptic wind data? A comparison of 30 days of radar and radiosonde data[J]. Mon. Wea. Rev. 1983,111:2047-2057.
- [15] 阮征,何平,葛润生. 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,2008,32(1):134-139.

Accuracy Estimation of Wind Profile Radar by L-band Radar

KANG Xue, XU Chen, LI Yu

(Chengdu Meteorological Bureau, Chengdu 611130, China)

Abstract: The horizontal wind speed data calculated from wind profile sounding by 4 beams and 5 beams method was compared with L-band radar sounding results under clear sky and precipitation conditions, respectively, an optimized 4 beams method was obtained. The wind profile radar sounding data of a year in different hours and seasons was compared and analyzed, results showed that the accuracy of wind profile radar was higher in daytime than that in nighttime, and the accuracy was higher in summer, followed by spring and autumn, the lowest in winter.

Keywords: wind profile radar; sounding wind; horizontal wind synthesis method; accuracy of wind measurement