

张寅,樊超,赵娜,等. 长安风廓线雷达测风资料的可靠性验证[J]. 干旱气象, 2017, 35(3): 507-515. [ZHANG Yin, FAN Chao, ZHAO Na, et al. Reliability Validation of Horizontal Wind Data Derived from Wind Profile Radar at Chang'an Station of Shaanxi[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(3): 507-515], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-03-0507

## 长安风廓线雷达测风资料的可靠性验证

张寅,樊超,赵娜,沈萍

(陕西省西安市长安区气象局, 陕西 长安 710010)

**摘要:**利用2014—2015年陕西西安泾河站L波段探空数据和ERA-Interim再分析资料,与同期长安站风廓线雷达数据进行对比分析,确定风廓线雷达数据的可靠性。结果显示风廓线雷达资料与L波段探空资料、ERA-interim再分析资料整体上相关性较好,相关系数随高度的增高而增大,在1500~2500m之间达到显著相关。不同时刻数据对比结果显示风廓线雷达白天观测结果整体上优于夜间。从平均状态来看,风廓线雷达在描述平均态过程中与探空和再分析资料基本一致,即风廓线雷达数据可用于实际应用和研究。

**关键词:**风廓线雷达;L波段雷达;西安;水平风

**文章编号:**1006-7639(2017)-03-0507-09 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-03-0507

**中图分类号:**P412

**文献标识码:**A

### 引言

风廓线雷达是利用大气湍流对电磁波的散射效应探测大气三维风场、折射率结构常数等气象要素的新型地基大气遥感探测设备,具有较高的空间和时间分辨率,被各国广泛应用于气象服务中<sup>[1-2]</sup>。Gossard等<sup>[3-5]</sup>尝试拓展风廓线雷达的用途,将获得的风场数据分别与RASS(radio acoustic sounding system)、GPS(global positioning system)等资料相结合,反演温度廓线、折射指数廓线和比湿廓线;Compton等<sup>[6]</sup>从风廓线雷达和激光雷达数据中估算高时空分辨率的边界层高度;Park等<sup>[7]</sup>利用风廓线雷达数据提高估算臭氧输送的精度,对内陆高空尤其有效。国内目前已有许多相关研究利用各地风廓线雷达的测风数据,揭示风廓线雷达测风资料的风场分布和现象<sup>[8-19]</sup>。也有研究将风廓线雷达测风资料与其他资料进行对比分析,如Seto等<sup>[20]</sup>利用NCEP再分析资料、印尼巴东的探空资料与印尼古多达帮(0.2°S、100.32°E)的VHF(very high frequency)雷达700hPa水平风观测数据进行比较,结果表明风廓线雷达数据促进了资料同化的精度,一致性提高了约10%;吴蕾等<sup>[21-22]</sup>对比8部用于测

试的不同型号对流层风廓线雷达与L波段测风雷达的水平风探测差异,对它们的数据获取率和探测精度做了综合考察;陈添宇等<sup>[23]</sup>检验了风廓线雷达和探空资料变化趋势的一致性和偏离程度;董丽萍等<sup>[24]</sup>分析了全国WPR(wind profile radar)网络与L波段探空的测风一致性,重点对比了乌鲁木齐站和南京站的情况,结果表明在700hPa以下,二者有较好的一致性。

陕西省西安市长安区长安站的大气边界层风廓线雷达于2013年7月正式投入使用,位于秦岭山下12km处。本文统计分析了2014—2015年长安站风廓线雷达的水平风场观测数据,并与同期陕西泾河站L波段雷达探空数据和ERA-Interim再分析资料分别进行对比,尝试对长安站风廓线雷达数据的可靠性进行验证。

### 1 资料

#### 1.1 风廓线雷达资料

采用长安区长安站(108.88°E、34.08°N,海拔445.8m)2014—2015年G-II型固定式边界层风廓线雷达逐6min观测资料。

长安站边界层风廓线雷达对边界层的观测虽然

收稿日期:2016-11-14;改回日期:2017-01-03

基金项目:2017年度陕西省气象局青年基金项目资助

作者简介:张寅(1986-),女,硕士,工程师,主要从事天气预报、地面观测、特种设备观测及设备维护工作. E-mail:545270984@qq.com

有较高的覆盖率,甚至可以观测到中对流层,但观测并不持续存在,春季和冬季的观测要远远少于夏季和秋季,白天少于晚上。因此,需要对边界层风廓线雷达资料的资料获取率进行统计。

### 1.2 探空资料

所用资料为距离长安区风廓线雷达站最近的 L 波段高空探测雷达站(陕西西安泾河国家基准站,以下简称泾河站)2014—2015 年每日 07:15、13:00、19:15(北京时,下同)的探空数据。泾河探空站(108.97°E,34.43°N,海拔 411 m)位于西安市区北侧,是陕西省 4 个高空观测站之一,采用 L 波段雷达进行风场观测,L 波段雷达天线高度为 1.8 m,雷达型号为 GFE(L)1 型,探空仪为 GTS1 型数字式探空仪。图 1 给出泾河 L 波段雷达站与长安风廓线雷达站位置,2 站相距约 40 km。

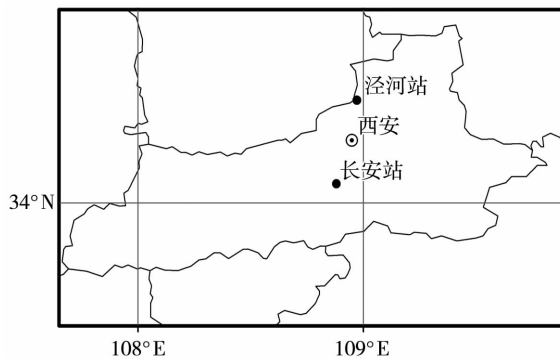


图 1 泾河 L 波段探空雷达站与长安风廓线雷达站的位置

Fig. 1 The location of the wind profile radar at Chang'an station and the L-band sounding radar at Jinghe station of Shaanxi

### 1.3 再分析资料

利用欧洲中期数值预报中心(ECM-WF)提供的 2014—2015 年每日 4 次(08:00、14:00、20:00、00:00)的 ERA-Interim 再分析资料,水平分辨率为  $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ ,垂直分层为 37 层,具体资料为纬向风、经向风和垂直风速,该数据已在中国广泛用于与探空数据的对比<sup>[25-28]</sup>。

### 1.4 资料处理

风廓线雷达产品、L 波段探空数据和 ERA-Interim 再分析资料三者和数据格式、时间和空间分辨率上都不完全相同,因此需要做相关的一致性处理才能进行相互比较。

考虑风廓线雷达站与 L 波段探空站的地理位置不同,海拔高度也有差异,因此风廓线雷达数据的处理包括:(1)根据站点的海拔高度将资料的垂直

高度进行统一;(2)剔除风廓线缺测和无效值;(3)采用风速、风向进行分析得到纬向风( $u$ ,向东为正)和经向风( $v$ ,向北为正),便于与再分析资料对比;(4)从逐 6 min 平均的原始数据中生成 30 min 的平均风场产品,提取与探空、再分析资料对应的观测时段资料。

L 波段探空数据的处理包括:(1)根据站点海拔高度将高度与风廓线进行统一;(2)剔除观测中的缺测和无效值;(3)对风速、风向进行  $u$ 、 $v$  分解;(4)将探空测风数据插值到或归并到与风廓线雷达数据相同的高度。

ERA-Interim 再分析资料的数据处理包括:使用插值法<sup>[25]</sup>获得站点位置处的经向风和纬向风廓线;将位势高度换算到海拔高度;将再分析资料插值到与风廓线雷达资料相同的高度。

以 12 月至翌年 2 月为冬季、3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季生成序列,对不同季节的 3 种资料进行对比分析,另外计算获得的相关系数  $R$  均通过  $\alpha=0.1$  显著性水平的  $t$  检验。

## 2 结果分析

### 2.1 单点分析

分别选取 2014 年 1 月 23 日 07:15、2014 年 8 月 12 日 19:15、2015 年 5 月 15 日 19:15 的 L 波段探空观测资料与对应 08:00 或 20:00 的 ERA-Interim 再分析资料,以及该时刻前后 30 min 的平均风廓线雷达数据进行比较。图 2 给出 3 种资料在不同高度上的水平风速变化,其中,细实线为风廓线雷达 1 h 的平均风速,阴影区为 1 h 内风廓线雷达的风速标准偏差,粗虚线为 L 波段探空廓线,细虚线为再分析资料风速廓线。

2014 年 1 月 23 日 07:15(图 2a、图 2b),风廓线雷达在 1 h 内观测的最大高度约 1.8 km,其中在边界层顶 1 km 高度附近因为湍流弱,只有一组实时扫描有回波信号。当风速较小时,风廓线雷达反演的水平风速在边界层内与探空数据吻合较好,随着高度上升,探空仪侧移距离变大,二者的差异也逐渐增大。再分析资料在 300 m 以下和风廓线雷达反演值比较接近,但 500 m 以上两者存在明显差异,风速差最大超过  $11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,这种差异主要是再分析资料还不能完全刻画某个地区小尺度环流所导致的,也说明再分析资料的模式在描述次网格过程时还需要进一步提高。

2014 年 8 月 12 日 19:15(图 2c、图 2d),风廓线雷达在 1 h 内观测的最大高度  $> 7 \text{ km}$ ,其中

3~5 km 之间高度附近因湍流回波信号弱没有有效数据。风廓线雷达反演的水平风速 1 km 以下与探空数据存在一定差异,但 1 km 以上两者非常接近。再分析资料与 L 波段探空测风除了经向风在 2~4 km 处有  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的差值,其余高度上都比较接近,与风廓线雷达测风在 1 km 以上高度比较一致,500 m 以下最大差值  $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。虽然存在局部的一些差异,但整体上风廓线雷达观测与 L 波段探空观测及再分析资料一致。

2015 年 5 月 15 日 19:15(图 2e、图 2f),风廓线雷达在 1 h 内观测的最大高度  $< 3 \text{ km}$ ,其中 800 m 高度附近湍流信号较弱。风廓线雷达反演的纬向风与 L 波段探空的纬向风差异明显,但 700 m 附近 2 种资料都显示出明显的低空急流特征。再分析资料与风廓线雷达反演风速在 3 km 内变化趋势都比较接近,但再分析资料没有捕捉到低空急流的信号。整体上三者之间的风廓线型是一致的。

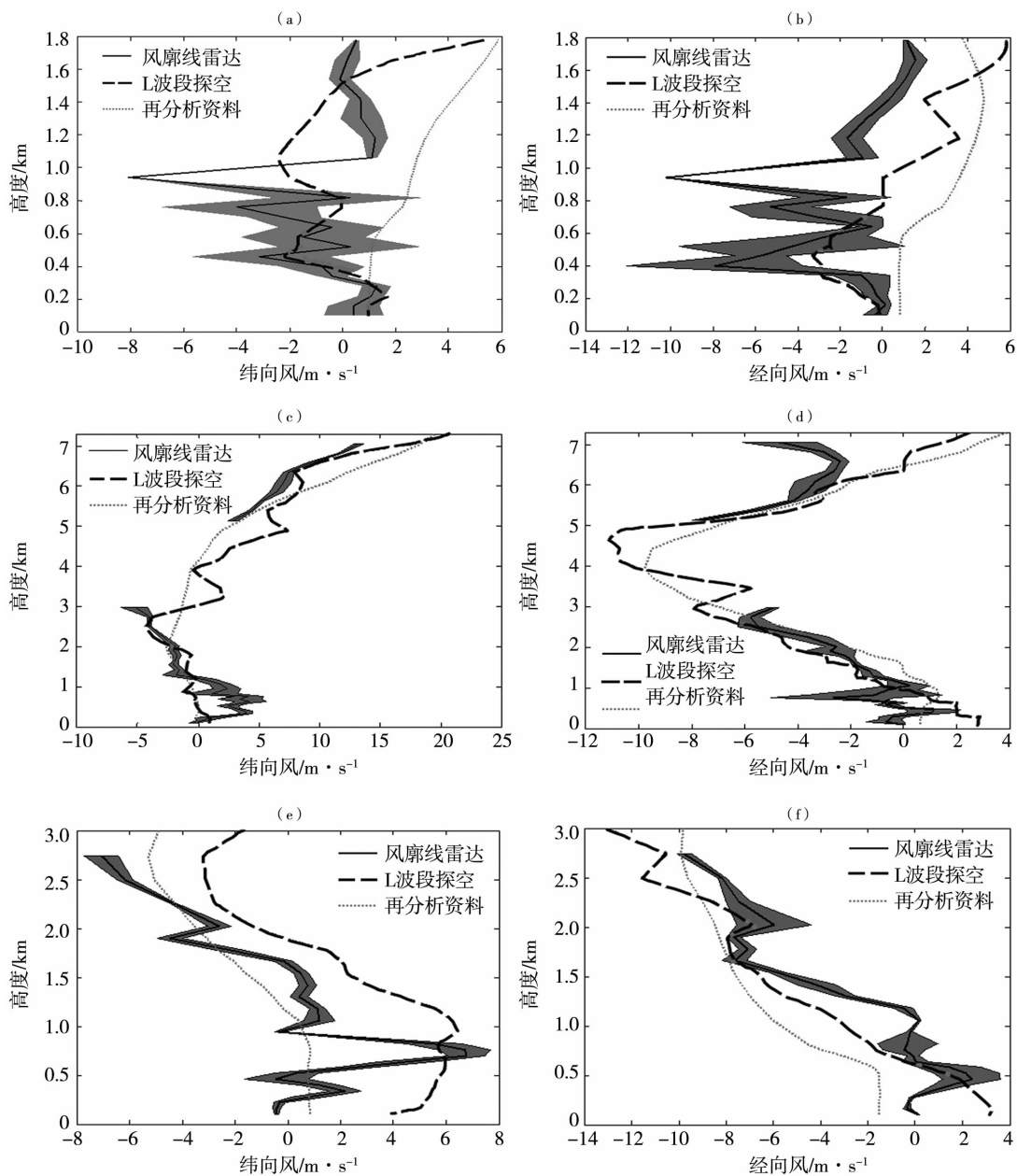


图 2 2014 年 1 月 23 日(a,b)及 8 月 12 日(c,d)与 2015 年 5 月 15 日(e,f)

风廓线雷达、L 波段探空以及 ERA - interim 再分析资料在不同高度上水平风速的变化

Fig.2 The horizontal wind speed at different heights from the wind profile radar, the L - band sounding radar and the ERA - interim reanalysis data on 23 January 2014 (a, b), 12 August 2014 (c, d) and 15 May 2015 (e, f)

2.2 不同季节对比

图3为2014—2015年不同季节L波段探空数据、ERA-interim再分析资料分别与边界层风廓线雷达的纬向风和经向风的对比。表1和表2分别为L波段探空数据、ERA-interim再分析资料与风廓线雷达数据的相关统计分析,表1中春季样本数为17747个、夏季20782个、秋季15952个、冬季15952个,表2中春季样本数为17751个、夏季20787个、秋季15966个、冬季12062个。相对标准差定义为样本点到回归直线距离的标准偏差,平均误差定义为2组样本误差绝对值的平均值。可以看出,夏季对流层的湍流活动最显著,冬

季最弱,所以夏季观测风速的样本最多,冬季最少。风廓线雷达与L波段探空数据之间的相关性春季最好,纬向风秋季最差,而经向风冬季最差,春季纬向风两者的相关系数约为0.79,经向风约为0.70;而秋季二者分别为0.63和0.64。风廓线雷达数据与再分析资料在不同季节的相关性上也存在相似特征,春季好于秋季。反映数据离散程度的标准差则表明,风廓线雷达数据与探空数据之间标准差最小出现在夏季,最大出现在秋季;风廓线雷达数据与再分析资料的标准差最小也出现在夏季,唯一不同的是经向风的最大标准差出现在春季。

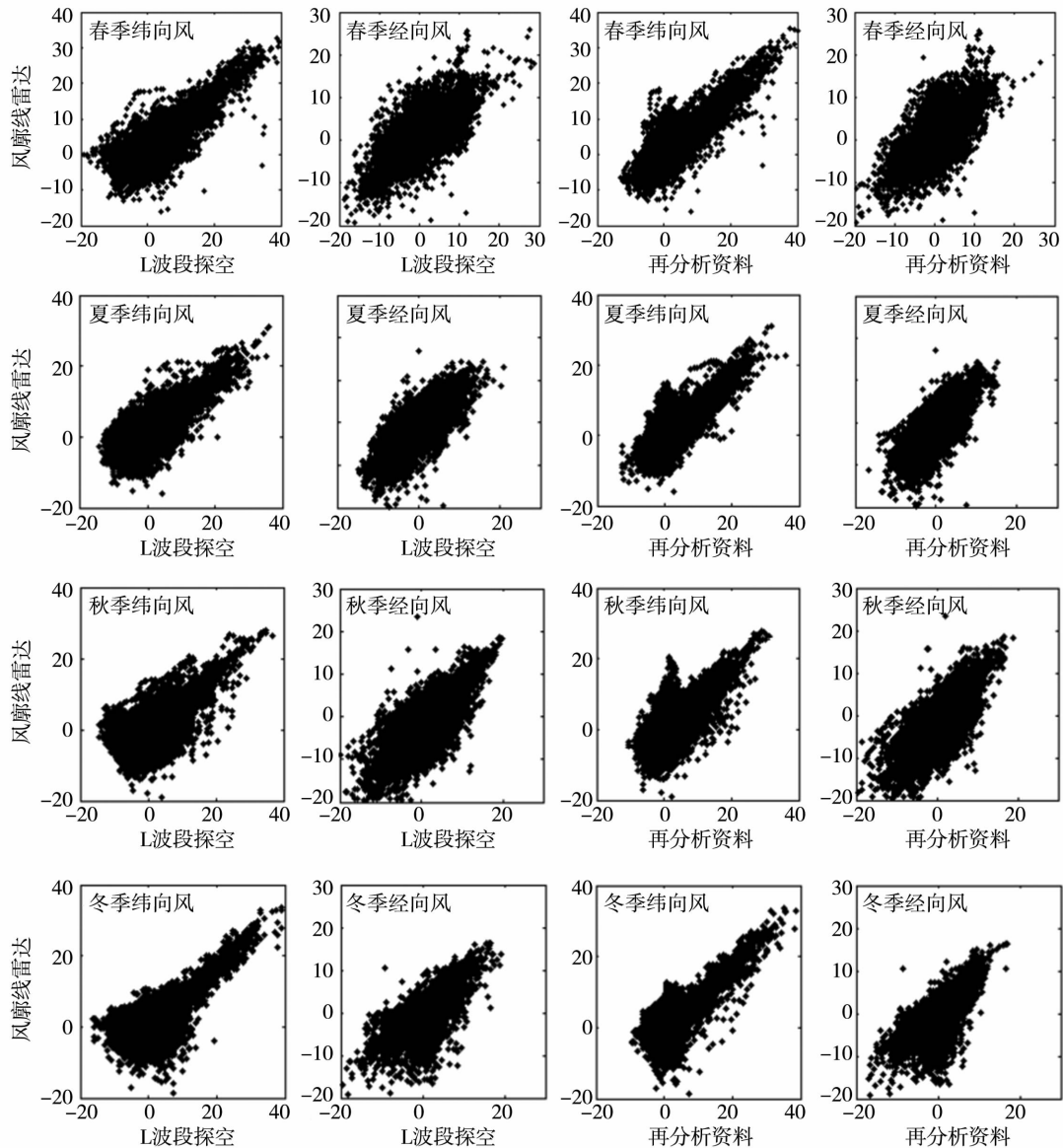


图3 2014—2015年不同季节L波段探空雷达数据、ERA-interim再分析资料与风廓线雷达的纬向风和经向风的对比(单位: $m \cdot s^{-1}$ )

Fig. 3 The comparison of the L-band sounding radar data and the ERA-interim reanalysis data with the zonal and meridional winds from the wind profile radar in four seasons during 2014-2015 (Unit:  $m \cdot s^{-1}$ )

表1 2014—2015年边界层风廓线雷达与L波段探空雷达水平风在不同季节的相关性

Tab.1 The correlations of horizontal wind speed from the wind profile radar and the L-band sounding radar in different seasons during 2014-2015

风	相关性	春季	夏季	秋季	冬季
纬向风	相关系数 $R$	0.79	0.72	0.63	0.71
	相对标准差/ $m \cdot s^{-1}$	1.79	1.73	2.14	1.97
	平均误差/ $m \cdot s^{-1}$	1.43	1.38	1.71	1.57
经向风	相关系数 $R$	0.70	0.67	0.64	0.62
	相对标准差/ $m \cdot s^{-1}$	1.73	1.36	1.74	1.64
	平均误差/ $m \cdot s^{-1}$	1.38	1.08	1.39	1.31

表2 2014—2015年风廓线雷达水平风速与ERA-interim再分析资料在不同季节的相关性

Tab.2 The correlations of horizontal wind speed from the wind profile radar and the ERA-interim reanalysis data in different seasons during 2014-2015

风	相关性	春季	夏季	秋季	冬季
纬向风	相关系数 $R$	0.83	0.76	0.66	0.79
	相对标准差/ $m \cdot s^{-1}$	1.64	1.57	1.97	1.63
	平均误差/ $m \cdot s^{-1}$	1.31	1.25	1.58	1.30
经向风	相关系数 $R$	0.69	0.65	0.64	0.64
	相对标准差/ $m \cdot s^{-1}$	1.75	1.33	1.67	1.57
	平均误差/ $m \cdot s^{-1}$	1.40	1.06	1.33	1.25

### 2.3 不同高度对比

风廓线雷达的探测精度在不同高度上存在差异<sup>[21-22]</sup>,因此有必要对不同高度层的水平风速质量进行评价。针对长安站风廓线雷达的情况,分5个高度层进行讨论:500 m以下、500~1 500 m、1 500

~2 500 m、2 500~3 000 m及3 000 m以上,统计结果见表3和表4。可以看出,所有高度层的相对标准差都不大,最大在 $2 m \cdot s^{-1}$ 左右,平均误差除500~1 500 m纬向风在 $1.6 m \cdot s^{-1}$ 左右,其他高度层的误差都在 $1.2 \sim 1.5 m \cdot s^{-1}$ 左右。

表3 2014—2015年风廓线雷达与L波段探空雷达不同高度层水平风速的相关性

Tab.3 The correlations of horizontal wind speed at different heights from the wind profile radar and the L-band sounding radar during 2014-2015

风	高度层	风速样本数/个	相关系数	相对标准差/ $m \cdot s^{-1}$	平均误差/ $m \cdot s^{-1}$
纬向风	$\leq 500 m$	15 540	0.22	1.69	1.35
	500~1 500 m	24 033	0.36	2.03	1.62
	1 500~2 500 m	13 040	0.63	1.64	1.31
	2 500~3 000 m	3 090	0.75	1.63	1.30
	$> 3 000 m$	10 833	0.90	1.68	1.34
经向风	$\leq 500 m$	15 540	0.16	1.06	0.85
	500~1 500 m	24 033	0.41	1.60	1.28
	1 500~2 500 m	13 040	0.71	1.81	1.44
	2 500~3 000 m	3 090	0.77	1.99	1.58
	$> 3 000 m$	10 833	0.81	1.87	1.49

表 4 2014—2015 年风廓线雷达与 ERA - interim 再分析资料不同高度层水平风速的相关性

Tab. 4 The correlations of horizontal wind speed at different heights from the wind profile radar and the ERA - interim reanalysis data during 2014 - 2015

风	高度	风速样本数/个	相关系数	相对标准差/ $m \cdot s^{-1}$	平均误差/ $m \cdot s^{-1}$
纬向风	$\leq 500$ m	15 554	0.15	1.65	1.32
	500 ~ 1 500 m	24 048	0.28	1.96	1.57
	1 500 ~ 2 500 m	13 040	0.58	1.63	1.30
	2 500 ~ 3 000 m	3 092	0.73	1.59	1.27
	$> 3 000$ m	10 832	0.90	1.64	1.31
经向风	$\leq 500$ m	15 554	-0.04	1.10	0.88
	500 ~ 1 500 m	24 048	0.40	1.58	1.26
	1 500 ~ 2 500 m	13 040	0.70	1.81	1.44
	2 500 ~ 3 000 m	3 092	0.75	1.93	1.54
	$> 3 000$ m	10 832	0.78	1.79	1.43

风廓线雷达数据与 L 波段探空数据相比(表 3), 500 m 以下纬向风的相关系数仅为 0.22, 经向风的相关系数为 0.16, 说明 500 m 以下风场受下垫面和小尺度扰动影响很大, 风速变化迅速, 与其他数据对比时表现不好; 500 ~ 1 500 m 之间, 纬向风和经向风的相关系数均有一定提高, 分别为 0.36 和 0.41。另外这个高度层也是风廓线雷达数据获取率较高的一层, 风速样本几乎是相邻高度层的 1.5 ~ 1.8 倍; 1 500 ~ 2 500 m 之间纬向风和经向风的相关系数迅速上升, 达到显著相关水平, 纬向风为 0.63, 经向风为 0.71; 2 500 m 以上高度, 风速样本大幅减少, 但两者相关系数较高, 其中 3 000 m 以上纬向风达 0.90, 经向风为 0.81, 说明 3 000 m 以上风廓线雷达与 L 波段探空雷达测得的风场基本一致。

风廓线雷达数据与再分析资料的对比结果(表 4)显示, 在 500 m 以下, 两者的平均相关系数纬向风仅为 0.15, 经向风则出现了负相关。这比风廓线雷达与探空数据之间的相关性差, 说明边界层低层再分析资料在反映现实大气环境方面还有差距; 500 ~ 1 500 m 之间, 纬向风和经向风的相关系数均有一定提高, 分别是 0.28 和 0.40; 1 500 ~ 2 500 m 之间纬向风和经向风的相关系数迅速增大, 达到显著相关水平, 纬向风的相关系数为 0.58, 经向风为 0.69, 但均低于风廓线雷达与探空数据之间的相关性; 2 500 m 以上高度, 风速样本大幅减少, 但相关系数较高, 其中纬向风的相关系数在 3 000 m 以上达 0.90, 经向风为 0.78, 说明 3 000 m 以上局地风场与大尺度风场非常接近。再分析资料在描述边界

层以上高度的风场比较可靠, 但边界层内风场的变化及变化因子复杂, 再分析资料很难捕捉到这些小尺度的变化。

#### 2.4 不同时刻对比

风廓线雷达在不同高度的数据获取率差异很大, 在一天中不同时刻, 湍流回波信号也存在明显不同, 所以不同时刻的风廓线雷达数据获取率也会存在较大差异, 因此有必要对不同时刻风廓线雷达的探测精度进行独立分析。

表 5 和表 6 分别给出风廓线雷达水平风速与 L 波段探空数据以及 ERA - interim 再分析资料的对比统计结果, 表 5、表 6 中 3 个时刻(08:00、14:00、20:00)样本数分别为 20 728、20 734、3 215、3 215、21 018、21 582 个。风廓线雷达数据与探空数据相比(表 5), 14:00 经向风和纬向风的相关系数均最大,

表 5 2014—2015 年风廓线雷达水平风速与 L 波段探空数据在不同观测时刻的对比统计

Tab. 5 The comparison of the horizontal wind speed from the wind profile radar and the L - band radar sounding data at different observation time during 2014 - 2015

风	相关性	08:00	14:00	20:00
纬向风	相关系数 $R$	0.72	0.81	0.73
	相对标准差/ $m \cdot s^{-1}$	1.87	1.43	1.81
	平均误差/ $m \cdot s^{-1}$	1.49	1.14	1.44
经向风	相关系数 $R$	0.71	0.75	0.70
	相对标准差/ $m \cdot s^{-1}$	1.42	1.10	1.52
	平均误差/ $m \cdot s^{-1}$	1.14	0.88	1.22

表6 2014—2015年风廓线雷达水平风速与ERA-interim再分析资料不同观测时刻的对比统计

Tab.6 The comparison of the horizontal wind speed from the wind profile radar and the ERA-interim reanalysis data at different observation time during 2014-2015

风	相关性	08:00	14:00	20:00	00:00
	相关系数 $R$	0.76	0.82	0.78	0.75
纬向风	相对标准差/ $m \cdot s^{-1}$	1.71	1.31	1.58	1.83
	平均误差/ $m \cdot s^{-1}$	1.37	1.05	1.26	1.46
	相关系数 $R$	0.70	0.66	0.68	0.58
经向风	相对标准差/ $m \cdot s^{-1}$	1.43	1.26	1.48	2.04
	平均误差/ $m \cdot s^{-1}$	1.14	1.01	1.18	1.63

且相对标准差和平均误差均最小,说明14:00左右两者在数据上的一致性最好。风廓线雷达数据与再

分析资料相比(表6),纬向风的相关系数、相对标准差和平均误差仍是14:00最好,但14:00经向风的相关系数不高(0.66),仅优于00:00(0.58),没有表现出明显的时刻差异。

### 2.5 资料的整体对比

图4为2014—2015年边界层风廓线雷达数据与L波段探空数据及ERA-interim再分析资料的散点分布图,图中灰色虚线为 $y=x$ 。可以看出,风廓线雷达数据与L波段探空数据之间有比较显著的相关性特征,其中两者之间纬向风的平均相关系数 $R$ 为0.72,经向风的 $R$ 为0.65。当纬向风分量 $>10 m \cdot s^{-1}$ 时,风廓线雷达与探空数据的差异明显减小,相关也越靠近 $y=x$ 分界线;经向风分量出现高值的情况较少,但当风速较大时( $>10 m \cdot s^{-1}$ ),其偏差的离散度有减弱趋势。另外,无论是纬向风还是经向风,风速正值(即西风 and 南风)的比例均占优势,这反映了西安地区边界层风速的地域特征。

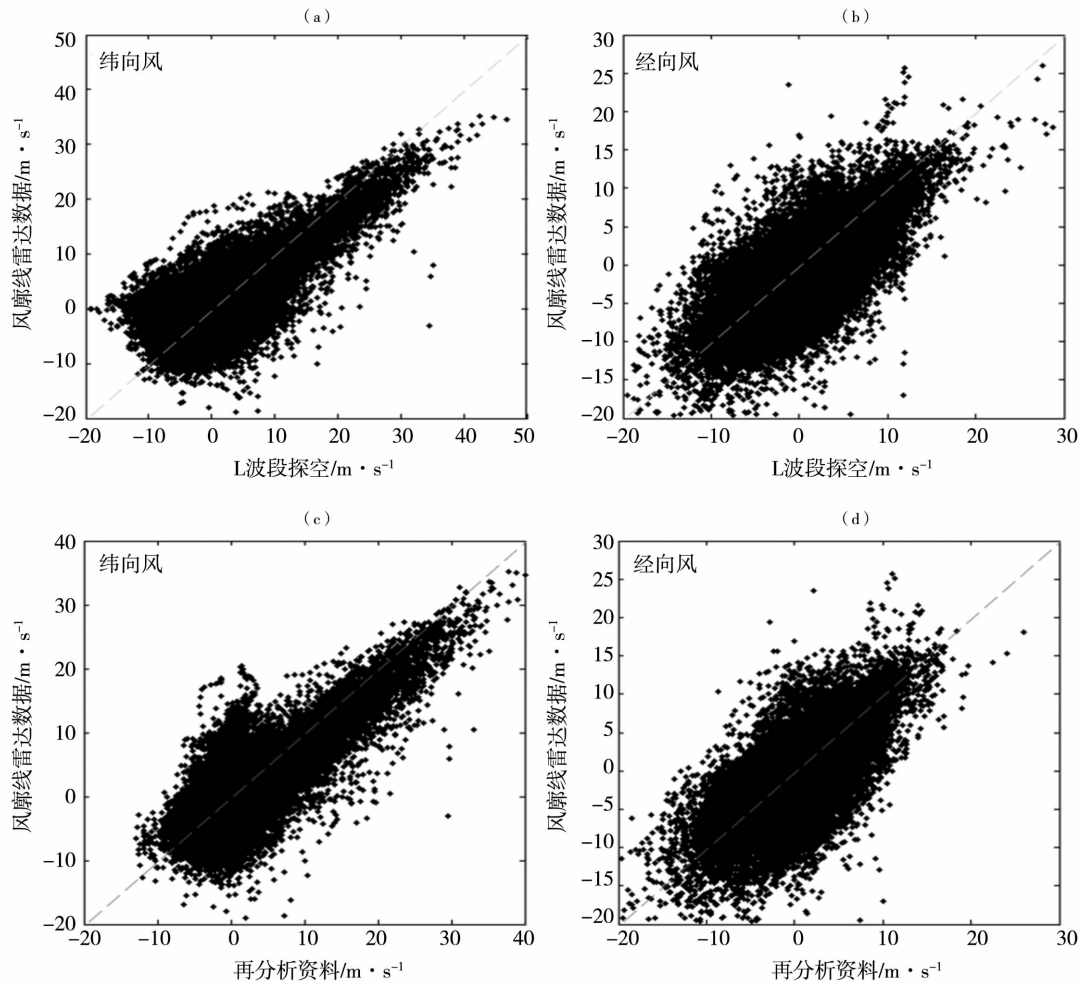


图4 2014—2015年长安站风廓线雷达数据与泾河站L波段探空数据及ERA-interim再分析资料的散点分布

Fig.4 The distribution of scatter plots between the wind profile radar data at Changan station and the L-band radar sounding data at Jinhe station as well as the ERA-interim reanalysis data during 2014-2015

风廓线雷达数据与 ERA - interim 再分析资料也具有较高相关性,两者之间纬向风的平均相关系数  $R$  为 0.76,经向风的平均相关系数为 0.64。ERA - interim 再分析资料与风廓线雷达的纬向风差异略小于 L 波段探空数据与边界层风廓线雷达之间的差异(虽然平均相关系数略大),但可以看到,再分析资料风速接近  $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时,风廓线雷达观测值有超过  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的样本。通过分析对应时次数据,发现这种显著偏差可归为 2 种情况:一是因风廓线雷达的反演算法导致,当在量程范围内存在无回波区或弱回波区时,会在该高度计算出较高的风速(如图 4c 中个例情况),这在数据处理中需要注意;二是由于再分析资料主要基于的边界层大气动力模型,大气模式一般都假设近地面风速是从 0 向上呈指数增长,由地形或人类活动引起的局地急流或者热力湍流事件没有在再分析资料中体现出来。另外,纬向风点集略偏向再分析资料一侧,表明再分析资料得出的纬向风倾向稍高于风廓线雷达观测数据。说明再分析资料中边界层的数据还有进一步改进的空间。对经向风做线性回归,其回归线的斜率约为 1.3,与  $y = x$  的交点接近原点,表明风廓线雷达反演的经向风速整体上大于 ERA - interim 再分析资料,而在 L 波段探空数据与风廓线雷达数据对比中不存在这种趋势,可能是 ERA - interim 再分析资料低估了西安周边边界层内大气经向运动的强度。

### 3 结论与讨论

(1) 长安站边界层风廓线雷达资料与 L 波段探空资料、ERA - interim 再分析资料整体上相关性较好;风廓线雷达在描述平均态过程中与其他资料一致,可用于全国性观测网络的分析。

(2) 长安站风廓线雷达夏季观测风速样本最多,冬季最少;风廓线雷达与 L 波段探空之间的相关性春季最好、秋季最差;风廓线雷达与再分析资料在不同季节的相关性上也存在相似特征,春季好于秋季。

(3) 边界层高度以上(2.5 ~ 3 km)的风廓线雷达资料更适用于资料同化和其他处理,0.5 km 以下高度风廓线雷达数据与其他数据相关性差。

(4) 风廓线雷达白天观测结果整体上要优于夜间观测结果,且 14:00 数据的一致性最好。

(5) 风廓线雷达数据在 0.5 km 以下与其他数据相关性差,不仅是由于观测原理不同造成,也与地形因素、山谷风环流和城市热岛效应有关;ERA - interim 再分析资料是模式计算结果,还不能完全刻

画某个地区小尺度环流,在描述次网格过程时还需进一步提高。边界层风场的变化复杂,与地理位置、下垫面性质等多种因素有关,某一种观测资料不能完全体现出边界层风场的特征,需要更多更全面的探测。

#### 参考文献

- [1] 何平. 相控阵风廓线雷达[M]. 北京:气象出版社,2006.
- [2] 胡明宝. 风廓线雷达探测与应用[M]. 北京:气象出版社,2015.
- [3] Gossard E E, Wolfe D E, Moran K P, et al. Measurement of clear - air gradients and turbulence properties with radar wind profilers [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1998, 5(2): 321 - 342.
- [4] Gossard E E, Gutman S, Stankov B B, et al. Profiles of radio refractive index and humidity derived from radar wind profilers and the global positioning system[J]. *Radio Science*, 1999, 34(2): 371 - 383.
- [5] Gossard E E, Wolfe D E, Stankov B B. Measurement of humidity profiles in the atmosphere by the global positioning system and radar wind profilers[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2010, 16(1): 156 - 164.
- [6] Compton J C, Delgado R, Berkoff T A, et al. Determination of Planetary Boundary Layer Height on Short Spatial and Temporal Scales: A Demonstration of the Covariance Wavelet Transform in Ground - Based Wind Profiler and Lidar Measurements[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2013, 30(7): 1566 - 1575.
- [7] Park S Y, Lee S H, Lee H W. Assimilation of wind profiler observations and its impact on three - dimensional transport of ozone over the Southeast Korean Peninsula [J]. *Atmospheric Environment*, 2014, 99(1): 660 - 672.
- [8] 罗秋红,杨武,蒋汝庚. 应用风廓线资料分析强降水过程[J]. *广东气象*, 1998(3): 18 - 20.
- [9] 张胜军,徐祥德,孟智勇,等. 风廓线仪资料在四维同化中的初步应用[A]. 推进气象科技创新加快气象事业发展——中国气象学会 2004 年年会论文集(下册)[C]. 北京:中国气象学会, 2004.
- [10] 辛跳儿,贺千山,魏海茹,等. 上海世博园上空边界层风垂直变化观测研究[J]. *高原气象*, 2009, 28(1): 127 - 135.
- [11] 叶鑫欣,张宏升,霍庆,等. 丘陵地区大气边界层风廓线雷达适用性分析[J]. *气象科学*, 2011, 31(4): 534 - 541.
- [12] 王柯. 基于风廓线雷达的塔克拉玛干沙漠腹地边界层风场研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2011.
- [13] 王志春,植石群,丁凌云,等. 华南沿海地区车载风廓线雷达资料的分析和应用[J]. *气候与环境研究*, 2013(2): 195 - 202.
- [14] 李雪. 边界层风廓线雷达资料分析[J]. *科技展望*, 2015(5): 215 - 218.
- [15] 林晓萌,何平,黄兴友. 一种抑制降水对风廓线雷达水平风干扰的方法[J]. *应用气象学报*, 2015, 26(1): 66 - 75.
- [16] 单楠,何平,吴蕾. 风廓线雷达反演温度平流的应用[J]. *应用气象学报*, 2016, 27(3): 323 - 333.
- [17] 刘瑞婷,阮征,魏鸣,等. 风的空间不均匀分布对风廓线雷达数据质量影响研究[J]. *热带气象学报*, 2016, 32(2): 229 - 236.



- [18] 曲巧娜, 盛春岩, 孙青, 等. 风廓线雷达与L波段探空雷达测风资料的对比[J]. 干旱气象, 2016, 34(6): 1078 - 1086.
- [19] 董保举, 张成稳, 付志嘉, 等. 云南大理边界层风垂直变化观测研究[J]. 干旱气象, 2011, 29(3): 189 - 194.
- [20] Seto T H, Tabata Y, Yamamoto M K, et al. Comparison study of lower - tropospheric horizontal wind over Sumatra, Indonesia using NCEP/NCAR reanalysis, operational radiosonde, and the equatorial atmosphere radar[J]. Scientific Online Letters on the Atmosphere, 2009, 5(1): 21 - 24.
- [21] 吴蕾, 陈洪滨, 高玉春, 等. 国产风廓线雷达对比试验初步分析[J]. 现代雷达, 2013(6): 24 - 28.
- [22] 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 - 230.
- [23] 陈添宇, 陈跃, 陈乾. 风廓线雷达资料的误差及对祁连山地形云风场监测的初步分析[J]. 干旱气象, 2011, 29(3): 416 - 422.
- [24] 董丽萍, 吴蕾, 王令, 等. 风廓线雷达组网资料初步对比分析[J]. 气象, 2014, 40(9): 1145 - 1151.
- [25] 朱彦良, 凌超, 陈洪滨, 等. 两种再分析资料与RS92探空资料的比较分析[J]. 气候与环境研究, 2012, 17(3): 381 - 391.
- [26] 秦育婧, 卢楚翰. 利用高分辨率ERA - Interim再分析资料对2011年夏季江淮区域水汽汇的诊断分析[J]. 大气科学, 2013, 37(6): 1210 - 1218.
- [27] 高路, 郝璐. ERA - Interim气温数据在中国区域的适用性评估[J]. 亚热带资源与环境学报, 2014, 9(2): 75 - 81.
- [28] Gao L, Hao L, Chen X. Evaluation of ERA - interim monthly temperature data over the Tibetan Plateau[J]. Journal of Mountain Science, 2014, 11(5): 1154 - 1168.

## Reliability Validation of Horizontal Wind Data Derived from Wind Profile Radar at Chang'an Station of Shaanxi

ZHANG Yin, FAN Chao, ZHAO Na, SHEN Ping

(Chang'an Meteorological Station of Shaanxi Province, Chang'an 710010, China)

**Abstract:** The reliability of the wind profile radar data at Chang'an station was tested through the comparison between the wind profile radar products and the corresponding datasets of horizontal wind observation from the L - band sounding radar at Jinghe station of Shaanxi as well as the zonal and meridional winds from the ERA - interim reanalysis data during 2014 - 2015. The results show that the correlation coefficients between the wind profile radar data and the L - band sounding radar observations as well as the ERA - interim reanalysis data increased with the increase of height, when the height ranged from 1 500 to 2 500 m, the relation of the above three reached a significant correlation. The wind profiler radar observation results in daytime were better than those of the nighttime. The horizontal wind derived from wind profile radar was totally consistent with the L - band radar sounding radar observations and the ERA - interim reanalysis data in describing the mean processes. So the horizontal wind datasets derived from wind profile radar could be used in study and meteorological service.

**Key words:** wind profile radar; L - band sounding radar; Chang'an; horizontal wind