

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, [QU Qiaona, SHENG Chunyan, SUN Qing, et al. Comparison of Horizontal Wind Between Wind Profile Radar and L Band Sounding Radar[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(6): 1078 - 1086], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-06-1078

风廓线雷达与 L 波段探空雷达测风资料的对比

曲巧娜¹, 盛春岩¹, 孙青², 车军辉¹

(1. 山东省气象科学研究所, 山东 济南 250031; 2. 山东省气象局, 山东 济南 250031)

摘要:为了探讨风廓线雷达资料的可用性,对2013年9月—2015年10月青岛站和济南站的风廓线雷达与L波段探空雷达测风数据进行相关、误差及有效样本比率分析。结果表明:(1)济南站和青岛站绝大多数高度层00:00和12:00风廓线雷达与L波段探空雷达的水平风速显著正相关,通过 $\alpha=0.05$ 及以上信度检验;(2)济南站00:00和12:00,晴天1.5 km以上及雨天0.64 km以上大多高度层风廓线雷达的水平风速比L波段探空雷达偏小约 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,且当风廓线雷达与L波段探空雷达水平风向差 $\leq 20^\circ$ 时,有效样本比率基本在70%以上,资料质量很高;(3)青岛站00:00和12:00,6.48 km以下大多高度层风廓线雷达探测的水平风速比L波段探空雷达偏小 $2\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,水平风速资料可用,但当2部雷达风向差 $\leq 20^\circ$ 时,有效样本比率仅为20%,海陆风及2种仪器的布设距离是水平风向差异的主要原因。

关键词:风廓线雷达;L波段探空雷达;误差分析;有效样本比率

文章编号:1006-7639(2016)-06-1078-09 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-06-1078

中图分类号:P412.16

文献标识码:A

引言

风廓线雷达是21世纪高空探测系统的重要组成部分,已经在全球进入业务化应用阶段,其不间断实时探测站点上空大气的风向风速、大气湍流等,与气球轨迹法测风原理差别较大^[1-2]。近几年我国也相继开展了风廓线雷达资料与探空资料的对比工作。孙旭映等^[3]指出自地面至高空200 m左右的范围内,廓线仪探测的风向、风速与气球探测值有一定偏差,而200 m以上具有很好的相关性,但在风廓线雷达的最大探测高度处偏差很大;研究表明^[4-5],风廓线雷达水平风速和水平风向测量值一般都比气球轨迹法的结果偏大,分别偏大 $1.5\sim 3.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $10^\circ\sim 20^\circ$;陈添宇等^[6]指出,祁连山地区风廓线雷达探测的风速误差较大,尤其是1400 m以下误差更大;杨梅等^[7]对探空风廓线与雷达风廓线资料进行了相关分析,指出两者具有较好的相关性。董保举^[8-9]、胡明宝^[10]、邓闯^[4]等分析了不同天气条件下风廓线雷达的数据获取率,得出夏季数据获取率

明显高于冬季,且降水出现时环境风场的不均匀性造成水平风向、风速的测量误差较大。

山东省已建成的风廓线雷达有6部,分别是青岛、烟台、临沂、东营、蓬莱、济南,其中兼具探空气球观测的站点仅有青岛站和济南站。山东省WRF模式已业务运行多年,并不断致力于模式的优化,由于风廓线雷达可以提供高时间密度的垂直风探测资料,该资料在WRF模式中的同化应用是改进WRF模式预报质量的重要方面。青岛站、济南站风廓线雷达分别于2006年6月和2012年9月进入运行阶段,资料较新,资料的可靠性如何?另外,降水对风廓线雷达探测有一定的影响。为此,本文将晴空和降水天气下风廓线雷达的水平风速、风向与L波段探空资料进行对比,检验数据的可靠性,为模式同化风廓线雷达资料的质量控制方面做准备。

1 资料与方法

1.1 资料及处理

选用山东青岛站(120.33°E,36.06°N)、济南站

收稿日期:2016-01-07;改回日期:2016-04-06

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106006)及山东省气象局青年科研基金项目“风廓线雷达资料可用性分析”(2014SDQN03)共同资助

作者简介:曲巧娜(1984-),女,硕士,工程师,主要从事天气及模式检验工作。E-mail:quqiaona77@163.com

(117.55°E, 36.68°N) 2013年9月—2015年10月每日00:00(世界时,下同)和12:00的风廓线雷达与L波段探空雷达平均水平风向、风速资料。青岛站的风廓线雷达为SCRTWO-01型固定式的对流层Ⅱ型雷达,2006年6月安装在城阳区上马镇(120.22°E, 36.27°N)运行,2013年3月移至城阳区河套镇气象探测保障中心(120.13°E, 36.23°N)运行。其探测高度为地面至6~8 km,时间分辨率为5 min(5波束)和3 min(3波束),生成的实时数据为5 min一组;雷达的垂直分辨率,地面至960 m为120 m,960 m以上为240 m。济南站是CLC-11-D型固定式边界层风廓线雷达,平均每6 min一次探测距地面10 km垂直高度的大气风向、风速和低空水汽分布状况,生成的实时数据为6 min一组;垂直分辨率,地面至1 060 m为60 m,1 060~2 980 m为120 m,2 980 m以上为240 m。

L波段雷达探空资料和风廓线雷达资料的时间和高度并不严格对应。探空气球释放时间为11:15和23:15,观测时间一般约为1 h;风廓线雷达资料的时间间隔为逐5 min或逐6 min,经过处理生成逐30 min、1 h平均产品。为便于2种资料的对比分析,选取风廓线雷达逐1 h平均产品数据。风廓线雷达的探测高度是固定的,而L波段雷达探测高度随机且密度较大。其中,济南站风廓线雷达探测高度为地面至7 780 m(共47层);青岛站探测高度为地面至7 920 m(共37层)。因此,首选风廓线雷达与L波段探空雷达相同高度的探测数据,其次是当2种雷达探测高度差的绝对值 ≤ 3 m,认定为同一高度,而当绝对值 > 3 m时,则认为误差较大,这一高度上的2种资料同时记为缺测(实际上差值 > 3 m的高度较少)。

1.2 误差分析

为探讨风廓线雷达资料的可用性,利用实际业务中广泛应用的L波段探空雷达资料,采用平均绝对误差、平均误差进行风廓线雷达资料的误差分析,其公式如下:

$$\begin{cases} \text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |V_P - V_L| \\ \text{ME} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_P - V_L) \end{cases} \quad (1)$$

其中,MAE是平均绝对误差,ME是平均误差; V_P 是指风廓线雷达水平风速, V_L 是指L波段探空雷达水平风速,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;N是总样本数。

1.3 有效样本比率

另外,采用有效样本比率^[5]对水平风速和风向

的差异性进行分析。当风廓线雷达和L波段探空雷达的水平风速差 $\leq 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (风向差 $\leq 20^\circ$)时定义为有效样本(V_e),2类资料均不缺测样本为总样本(V_t),那么有效样本比率 V_r 定义为:

$$V_r = \frac{V_e}{V_t} \times 100\% \quad (2)$$

2 水平风速差异性对比

2.1 水平风速的相关性

表1给出2013年9月—2015年10月期间青岛站12:00风廓线雷达与L波段探空雷达探测的水平风速在不同高度上的相关性,考虑篇幅原因,文中仅列出了部分高度层。总体看来,青岛站12:00风廓线雷达与L波段探空雷达的水平风速在不同高度上均呈显著正相关,但不同天气条件下,相关性有较大差异。其中,晴天,480 m以下2种资料的相关系数基本在0.5左右,600 m以上相关系数大多在0.6~0.8之间,各高度层相关系数均通过 $\alpha=0.001$ 的信度检验;雨天有降水时,720 m以下及5 760 m以上高度层2种资料的相关性较低,其他高度层相关性显著,相关系数达0.6以上,通过 $\alpha=0.05$ 及以上信度检验。可见,晴天情况下低层、雨天低层和高层12:00的2种资料差异较大,且晴天的相关性较雨天大。

由青岛站00:00风廓线雷达与L波段探空雷达探测的水平风速在不同高度上的相关系数可知(表略),晴天时,2种资料在各高度层上均显著正相关(通过 $\alpha=0.001$ 的信度检验),600 m以下相关系数 < 0.7 ,720~6 240 m高度层的相关系数较高为0.7~0.9,其中1 680 m高度的相关系数最高,而6 480 m以上相关系数大多 < 0.7 ,可见中层的相关性更大;雨天有降水时,840 m以下相关系数 < 0.8 ,其中120 m和240 m高度未通过显著性检验,而960~5 280 m相关系数大多在0.8~0.9之间波动,通过了 $\alpha=0.05$ 及以上信度检验,5 280 m以上相关性较低,其中5 520 m和6 480 m未通过显著性检验。综合对比青岛站00:00和12:00的资料,发现风廓线雷达与L波段探空雷达水平风速的相关系数中层整体好于低层、高层,00:00好于12:00,晴天高于雨天。

从济南站12:00风廓线雷达与L波段探空雷达探测的水平风速在不同高度上的相关性看出(表2),晴天时,2种资料在各高度层上均显著正相关(通过 $\alpha=0.001$ 的信度检验),除了280 m和340 m高度上的相关系数(< 0.5)较低外,其他高度层上

表1 2013年9月—2015年10月12:00 青岛站风廓线雷达与L波段探空雷达水平风速在不同高度上的相关性
Tab.1 The correlations of horizontal wind speed at different heights between wind profile radar and L band sounding radar at 12:00 UTC from September 2013 to October 2015 Qingdao station of Shandong

高度/m	总样本		晴天		雨天(有降水时)	
	样本数/个	相关系数	样本数/个	相关系数	样本数/个	相关系数
120	338	0.35***	226	0.31***	12	0.63*
240	354	0.42***	242	0.42***	12	0.31
360	362	0.49***	245	0.54***	12	0.36
480	365	0.53***	247	0.58***	12	0.18
600	364	0.55***	246	0.6***	12	0.26
720	363	0.61***	245	0.66***	12	0.54
840	358	0.63***	242	0.69***	12	0.63*
960	362	0.48***	245	0.67***	12	0.8**
1 200	354	0.55***	235	0.78***	12	0.89***
1 440	341	0.58***	223	0.82***	12	0.93***
1 680	329	0.62***	212	0.78***	11	0.98***
1 920	337	0.61***	219	0.69***	13	0.93***
2 160	348	0.66***	232	0.74***	12	0.88***
2 400	337	0.74***	225	0.8***	13	0.84***
2 640	324	0.76***	222	0.79***	13	0.72**
2 880	308	0.79***	219	0.8***	13	0.68**

注: *、**、*** 分别通过了0.05、0.01、0.001 的显著性检验,下同

表2 2013年9月—2015年10月12:00 济南站风廓线雷达与L波段探空雷达不同高度上水平风速的相关性
Tab.2 The correlations of horizontal wind speed at different heights between wind profile radar and L band sounding radar at 12:00 UTC from September 2013 to October 2015 Ji'nan station of Shandong

高度/m	总样本		晴天		雨天(有降水时)	
	样本数/个	相关系数	样本数/个	相关系数	样本数/个	相关系数
160	452	0.6***	301	0.72***	19	0.51*
220	451	0.76***	301	0.83***	19	0.71***
280	451	0.45***	300	0.42***	19	0.77***
340	436	0.27***	293	0.23***	18	0.81***
400	436	0.83***	293	0.85***	18	0.73***
460	429	0.81***	293	0.84***	18	0.44
520	423	0.84***	294	0.86***	18	0.62**
580	421	0.81***	294	0.84***	18	0.66**
640	426	0.79***	294	0.84***	18	0.71***
700	413	0.82***	293	0.84***	18	0.64**
760	412	0.76***	294	0.81***	18	0.53*
820	404	0.76***	294	0.78***	18	0.59**
940	390	0.76***	293	0.76***	18	0.7***
1 060	369	0.8***	293	0.81***	18	0.82***
1 180	435	0.7***	298	0.82***	18	0.9***
1 300	446	0.75***	298	0.82***	18	0.94***

相关系数较高,在0.8~0.9之间;雨天有降水时,460~940 m及6 340 m以上大多高度层相关系数(≤ 0.7)略低,其中460 m未通过信度检验,其他高度层的相关系数在0.9左右,均通过 $\alpha = 0.05$ 及以上信度检验。济南站00:00(表略),晴天时,各高度层上2种资料均显著正相关(通过 $\alpha = 0.001$ 信度检验),除760~1 900 m高度层相关系数在0.7左右以外,其他高度上相关系数大多在0.8以上;雨天有降水时,除340 m和1 060 m高度未通过信度检验外,700~6 100 m高度层上的相关系数在0.9左右,其他高度上相关系数 ≤ 0.8 ,通过 $\alpha = 0.05$ 及以上信度检验。可见,济南站风廓线雷达与L波段探空雷达绝大多数高度层上水平风速的相关系数12:00好于00:00,晴天高于雨天,中层整体好于低层和高层。

综上所述,济南站风廓线雷达与L波段探空雷达水平风速的相关性整体上比青岛站偏高;青岛站的相关系数12:00比00:00偏低,而济南站的相关系数12:00比00:00偏高;除雨天青岛站12:00有7

个高度层、00:00有4个高度层及济南站12:00有1个高度层、00:00有2个高度层未通过信度检验外,其他各高度层均通过 $\alpha = 0.05$ 及以上信度检验。说明青岛站和济南站的风廓线雷达与L波段探空雷达的水平风速相关性较好,风速具体相差多少,还需进一步分析。

2.2 水平风速的误差

图1给出2013年9月—2015年10月青岛站和济南站风廓线雷达相对于L波段探空雷达12:00和00:00的水平风速平均绝对误差。可以看出,总体上青岛站0.24—5.76 km高度上平均绝对误差有着随高度升高先减小后增大的特征,拐点约在3 km附近,6.48 km以下误差为 $2 \sim 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,且00:00的误差整体较12:00小;7 km以上误差及其波动明显增大(图1a)。晴天时(图1c),4.32 km以下平均绝对误差随高度升高先减小后增大,平均绝对误差主要分布在 $1.4 \sim 3.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,拐点约在2 km附近,且00:00比12:00误差略偏小,1.68 km高度上00:00

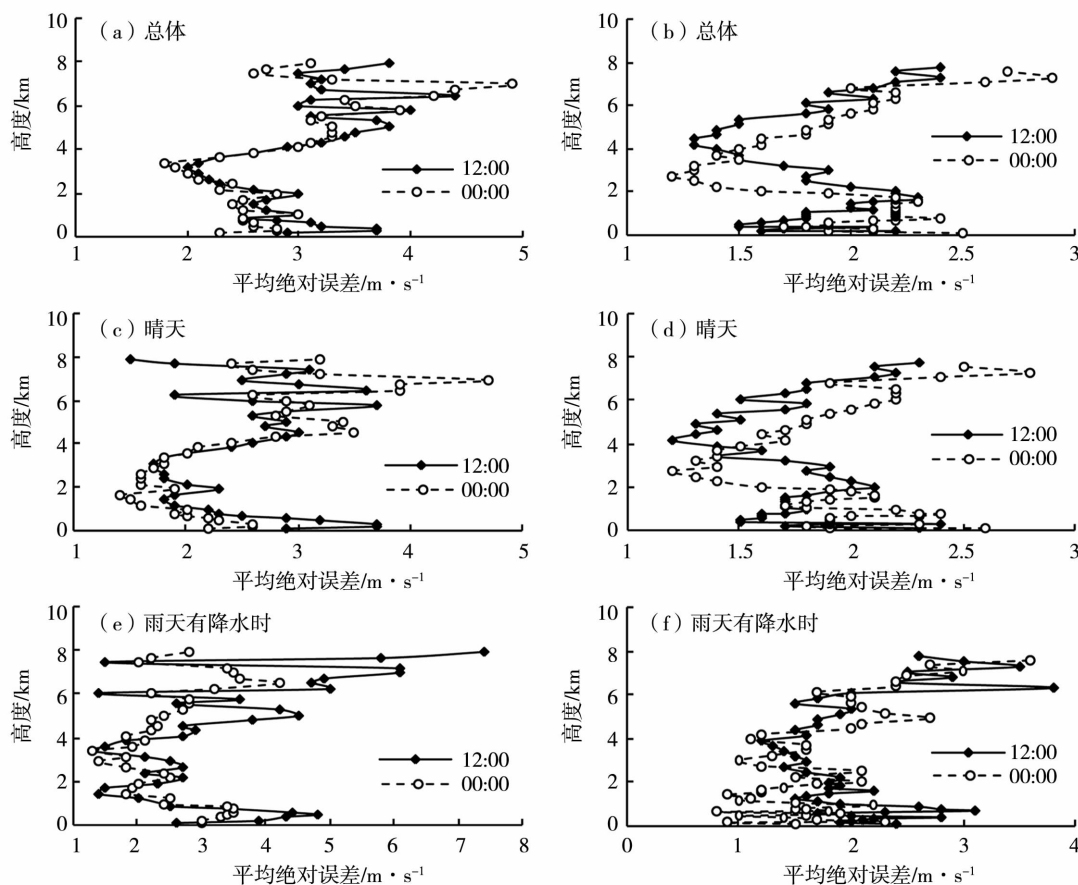


图1 2013年9月—2015年10月青岛站(a,c,e)和济南站(b,d,f)风廓线雷达与L波段探空雷达不同天气条件下12:00和00:00的水平风速平均绝对误差

Fig. 1 The mean absolute errors of horizontal wind speed with different weather conditions between wind profile radar and L band sounding radar at 12:00 UTC and 00:00 UTC from September 2013 to October 2015 Qingdao (a, c, e) and Ji'nan (b, d, f) stations of Shandong

的误差最小($1.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$);5 km 以上误差波动较大,12:00 和 00:00 的平均绝对误差在 $3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右波动,且 00:00 比 12:00 误差略偏大。雨天有降水时(图 1e),12:00 比 00:00 误差明显偏大,6 km 以下水平风速的平均绝对误差在 $1 \sim 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,6 km 以上平均绝对误差为 $1 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。可见,无论是 12:00 还是 00:00,风廓线雷达与 L 波段探空雷达的水平风速降水天气比晴天的平均绝对误差偏大,且 0.6 km 以下和 4.32 km 以上高度层误差相对较大。另外,晴天,高层 12:00 的误差比 00:00 小,低层正相反,12:00 的误差比 00:00 大;降水天气,各高度层 12:00 均比 00:00 误差明显偏大。

济南站,1 km 以上总体样本误差随着高度先增大后减小再增大,误差主要在 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右波动(图 1b)。晴天时(图 1d),12:00 水平风速的平均绝对误差从地面至 0.64 km 先减小,0.64—2 km 增大,2—4 km 再次减小,4 km 以上再次增大;00:00 平均绝对误差也表现出类似的变化特征,只是拐点高度较 12:00 偏低。另外,0—1.9 km 和 3.7 km 高

度以上 12:00 的平均绝对误差整体比 00:00 偏小,而 2—3.7 km 高度上 12:00 比 00:00 偏大。雨天有降水时(图 1f),5 km 以下误差随高度升高变化较小,5 km 以上随着高度升高增长较快,除少数高度层外,12:00 平均绝对误差均比 00:00 偏大。

从青岛站总体样本平均误差来看,7.44 km 以下大多高度层风廓线雷达测风比 L 波段探空雷达水平风速偏小,00:00 平均误差较 12:00 偏小(图 2a)。晴天时(图 2c),2 个时次的平均误差均表现出先减小后增大再减小的特征,00:00 平均误差较 12:00 整体偏小。其中 0.48—7.44 km 风廓线雷达测风均比 L 波段探空雷达水平风速偏小,平均误差为 $0 \sim 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。雨天有降水时(图 2e),6.72 km 以下,除 2—3 km 高度上 12:00 及 3.84 km 高度上 00:00 风廓线雷达探测风速比 L 波段探空雷达风速偏大外,其他时次高度上风廓线雷达测风均比 L 波段探空雷达风速偏小,平均误差为 $0 \sim 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,且表现出先减后增的变化特征,00:00 平均误差较 12:00 明显偏小,且波动也较小。

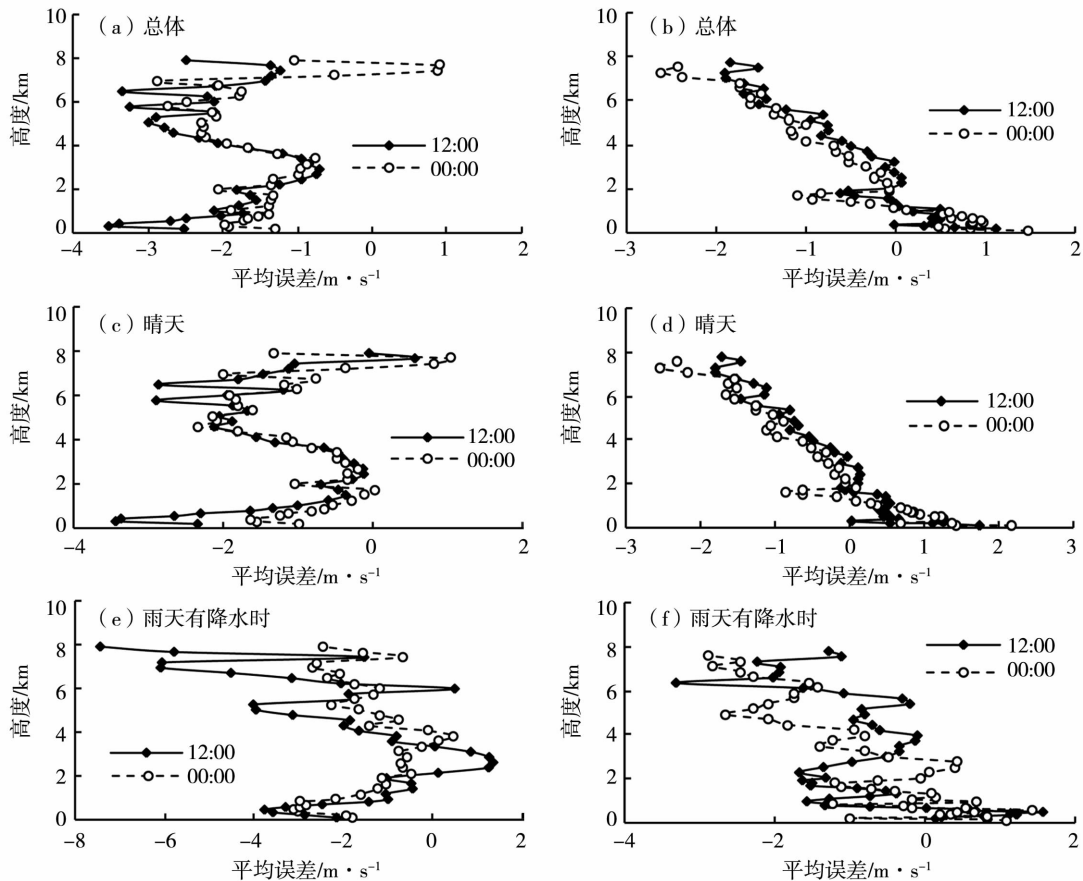


图2 2013年9月—2015年10月青岛站(a,c,e)和济南站(b,d,f)风廓线雷达与L波段探空雷达不同天气条件下12:00和00:00的水平风速平均误差
 Fig.2 The mean errors of horizontal wind speed with different weather conditions between wind profile radar and L band sounding radar at 12:00 UTC and 00:00 UTC from September 2013 to October 2015 in Qingdao (a, c, e) and Ji'nan (b, d, f) stations of Shandong

从济南站风廓线雷达与L波段探空雷达12:00和00:00的总体样本水平风速平均误差看出(图2b),平均误差随着高度升高逐渐减小,从地面至7.06 km平均误差由 $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 减小至 $-2.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,且12:00的平均误差较00:00略小。其中,1 km以下2个时刻风廓线雷达测风均比L波段探空雷达水平风速偏大,1 km以上风廓线雷达测风均比L波段探空雷达水平风速偏小。晴天时(图2d),2个时刻的水平风速平均误差变化特征与总体样本一致。其中1.42 km以下2个时刻风廓线雷达测风比L波段探空雷达水平风速偏大,平均误差为 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,1.5 km以上风廓线雷达测风比L波段探空雷达水平风速偏小。雨天有降水时(图2f),0.64 km以下2个时刻风廓线雷达比L波段探空雷达水平风速偏大,0.64 km以上,除00:00的1.3 km和2.74 km个别高度层风廓线雷达比L波段探空雷达水平风速偏大外,其他时次高度层风廓线雷达比L波段探空雷达水平风速偏小。

2.3 水平风速差的有效样本比率

对青岛站和济南站风廓线雷达与L波段探空

雷达12:00和00:00水平风速进行有效样本比率计算。从青岛站12:00和00:00总体有效样本比率随高度的变化来看,6.48 km高度以下有效样本比率随着高度升高先增大后减小,且2 km以下有效样本比率00:00高于12:00,5.5 km以上正相反,12:00明显高于00:00(图3a)。晴天时(图3c),2个时刻的有效样本比率也表现出随高度先增后减的变化特征,0.72 km以下12:00有效样本比率为50%~70%,00:00有效样本比率约为70%,00:00略高于12:00;0.72—4 km比率较高,最高达91%;6 km以上00:00有效样本比率为55%~78%,12:00有效样本比率为68%~88%,12:00明显高于00:00。雨天有降水时(图3e),有效样本比率不稳定,整层高度在40%~90%之间浮动,12:00明显较00:00波动大。

济南站2个时刻的总体水平风速有效样本比率随着高度升高先减小后增大再减小的变化特征,且2个时刻相差不大(图3b)。晴天时(图3d),2个时刻的水平风速有效样本比率也表现出随高度先减小后增大再减小的变化特征。其中,1.5 km以下

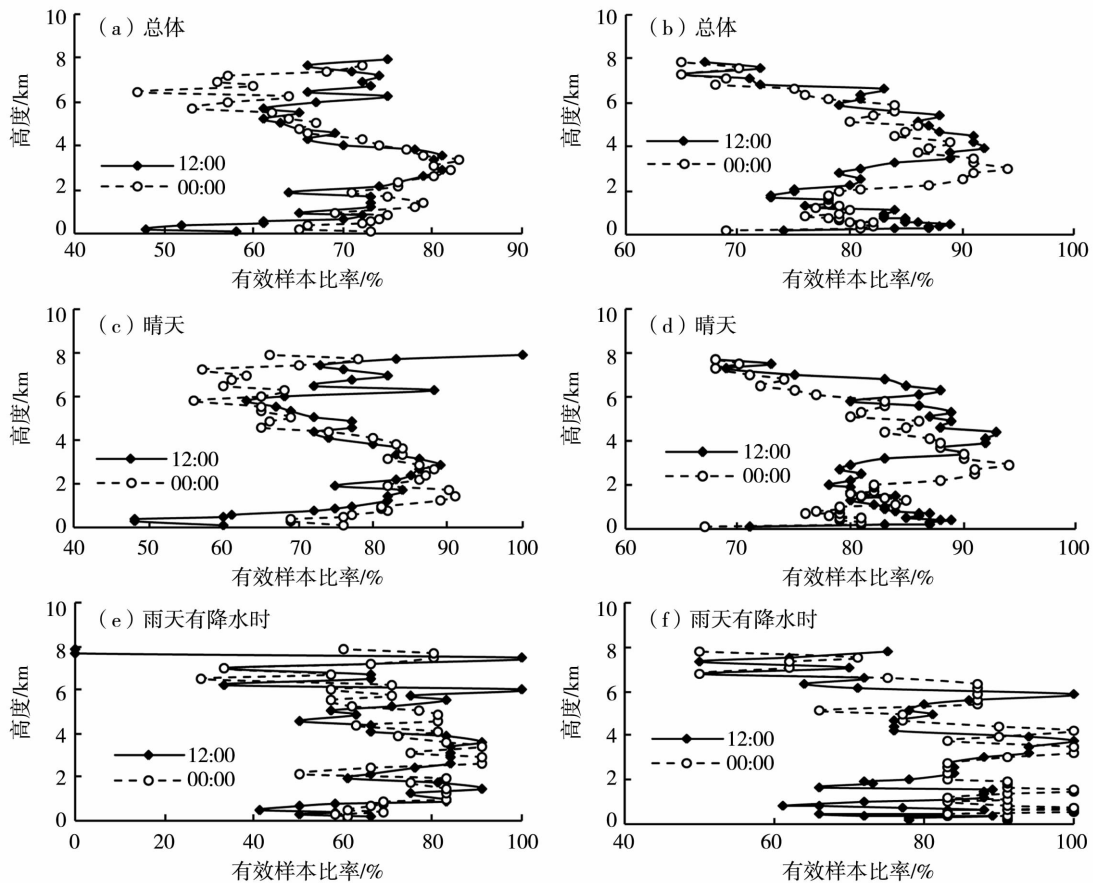


图3 2013年9月—2015年10月青岛站(a、c、e)、济南站(b、d、f)不同天气条件下12:00和00:00水平风速有效样本比率随高度的变化

Fig. 3 The effective sample ratios of horizontal wind speed with different weather conditions at 12:00 UTC and 00:00 UTC from September 2013 to October 2015 in Qingdao (a, c, e) and Ji'nan (b, d, f) stations of Shandong

12:00 (80% ~ 90%) 有效样本比率略高于 00:00 (70% ~ 80%), 1.66—4.42 km 有效样本比率增大至 90% 以上, 12:00 略低于 00:00, 4.66 km 以上有效样本比率逐渐减小到 70% 左右, 12:00 略高于 00:00。雨天有降水时(图 3f), 有效样本比率不稳定, 整层高度在 60% ~ 100% 之间浮动, 2 km 以下 00:00 普遍高于 12:00。综上所述, 当风廓线雷达与 L 波段探空雷达水平风速差 $\leq 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 济南站的有效样本比率好于青岛站。

3 水平风向差异性对比

由青岛站 12:00 和 00:00 水平风向有效样本比率随高度变化曲线可看出(图 4a), 总体水平风向有效样本比率较低, 约为 20% ~ 40%, 且 00:00 有效样本比率较 12:00 偏大。晴天时(图 4c), 12:00 有效样本比率较为稳定, 约为 10% ~ 20%; 00:00 有效样本比率略高于 12:00, 且 4.32 km 以上随着高度升高逐渐增大, 由 12% 逐渐增大至 42% 以上。雨天

有降水时(图 4e), 有效样本比率在 0% ~ 40% 范围内波动。可见, 青岛站风廓线雷达与 L 波段探空雷达水平风向相差非常大。

由济南站 12:00 和 00:00 水平风向有效样本比率随高度变化曲线看出(图 4b), 总体水平风向有效样本比率基本在 60% 以上, 且随着高度升高比率逐渐增大, 00:00 略高于 12:00。晴天时(图 4d), 3.22 km 以下, 水平风向有效样本比率约为 70%, 3.22 km 以上有效样本比率增到 80% ~ 90%, 且随着高度升高比率增大, 00:00 的有效样本比率略高于 12:00。雨天有降水时(图 4f), 有效样本比率约在 65% ~ 100% 之间浮动, 同样 00:00 的有效样本比率略高于 12:00, 且波动也大。综上所述, 当风廓线雷达与 L 波段探空雷达水平风向差 $\leq 20^\circ$ 时, 济南站有效样本比率基本在 70% 以上, 2 种雷达探测的水平风向相差较小, 资料的可用性较高; 而青岛站有效样本比率仅为 20%, 2 种雷达探测的水平风向相差非常大。

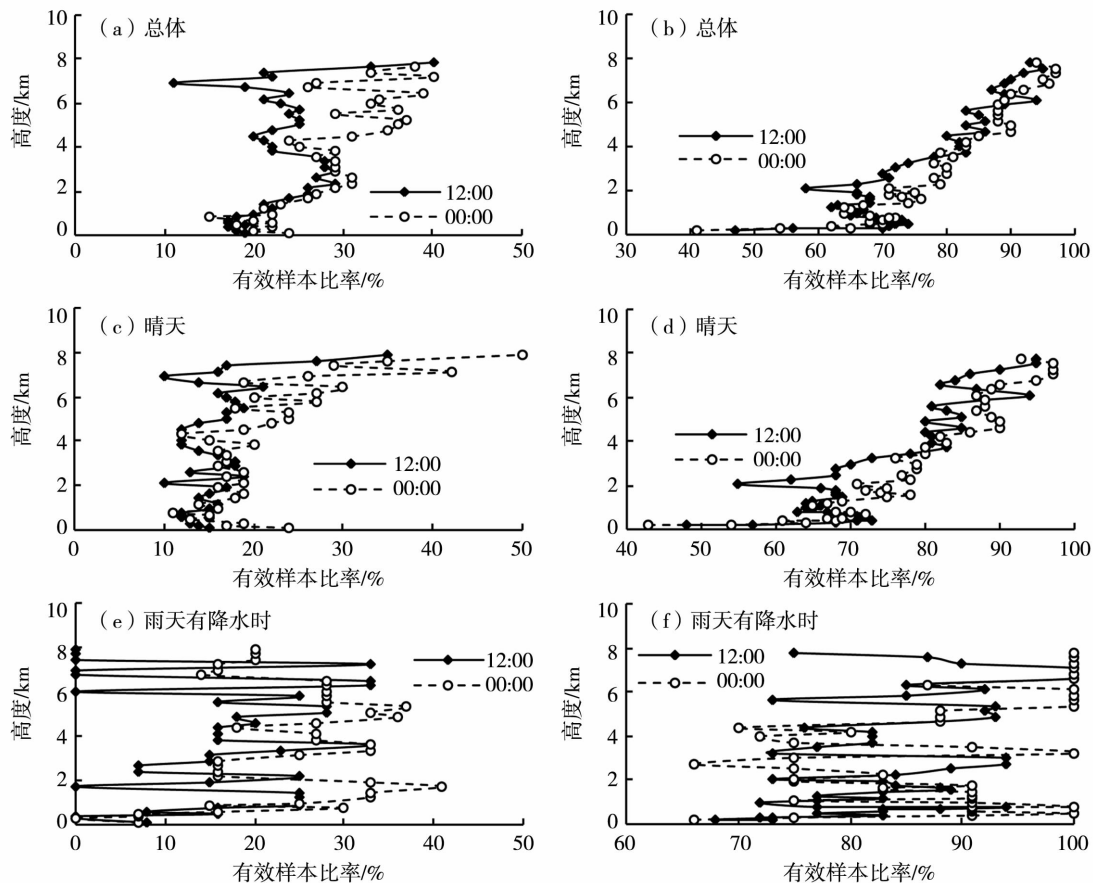


图4 2013年9月—2015年10月青岛站(a、c、e)、济南站(b、d、f)不同天气条件下12:00和00:00水平风向有效样本比率随高度的变化

Fig. 4 The effective sample ratios of horizontal wind direction with different weather conditions at 12:00 UTC and 00:00 UTC from September 2013 to October 2015 in Qingdao (a, c, e) and Ji'nan (b, d, f) stations of Shandong

4 误差原因

通过对比济南站和青岛站风廓线雷达与L波段探空雷达的水平风速、风向发现,2站的误差及有效样本比率结果明显不同。除个别高度层外,济南站00:00和12:00晴天1.5 km以上及雨天0.64 km以上风廓线雷达比L波段探空雷达的水平风速偏小 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,其原因主要是2种仪器测风原理不同^[1-2,11],探空气球在上升的过程中受到气流的影响发生漂移,而风廓线雷达则依靠探测大气中的湍流引起的大气折射指数变化来获取高空风数据。

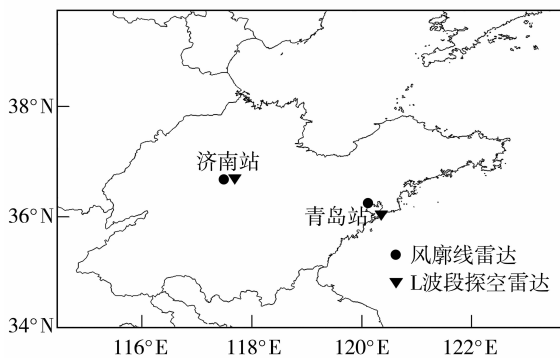


图5 济南站和青岛站风廓线雷达和L波段探空雷达的位置

Fig. 5 The location of wind profile radar and L band sounding radar in Ji'nan and Qingdao stations of Shandong

值得注意的是,当风廓线雷达与L波段探空雷达水平风向差 $\leq 20^\circ$ 时,青岛站有效样本比率仅为20%,误差较大,究其原因主要有:一是青岛站2种仪器没有布设在同一位置上,直线距离约为28 km,而济南站2种仪器是布设在同一位置(图5);二是海陆风^[12-15],海陆风是由于海陆热力差异引起的白天由海上向内陆吹、夜间由内陆向海上吹的局地小尺度热力环流。青岛风廓线雷达站位于胶州湾沿岸,而L波段探空雷达站位于黄海沿岸(图5),当有海陆风发生时,风向明显不同。

5 结论

(1)除个别高度外,2站12:00和00:00风廓线雷达与L波段探空雷达的水平风速高度相关,且济南站的相关系数整体比青岛站偏高。相关系数青岛站12:00比00:00偏低,济南站12:00比00:00偏高。

(2)济南站风廓线雷达与L波段探空雷达的水平风速平均绝对误差比青岛站偏小。青岛站6.48 km以下大多高度层风廓线雷达比L波段探空

雷达水平风速偏小 $2\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,且雨天比晴天的平均绝对误差偏大。济南站晴天1.5 km以上及雨天0.64 km以上大多高度层风廓线雷达的水平风速比L波段探空雷达偏小 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。

(3)当风廓线雷达与L波段探空雷达水平风速差 $\leq 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,济南站的有效样本比率高于青岛站。晴天时,青岛站水平风速有效样本比率随高度升高先增大后减小,大多高度层比率值为65%~90%;济南站有效样本比率随高度升高先减小后增大再减小,大多高度层比率值为70%~90%。雨天有降水时,2站有效样本比率均不稳定,青岛站在40%~90%之间摆动,济南站在60%~100%之间浮动。

(4)当风廓线雷达与L波段探空雷达水平风向差 $\leq 20^\circ$ 时,济南站有效样本比率基本在70%以上,2种仪器探测的水平风向相差较小,资料可用性较高;青岛站有效样本比率仅为20%,2种仪器探测的水平风向相差非常大,除了2种仪器的地理位置有一定的距离外,海陆风也是引起水平风向差异性较大的主要原因。

参考文献

- [1] 杨馨蕊,马舒庆,吴蕾. UHF风廓线雷达降水数据判别方法的比较与评价[J]. 大气科学学报,2010,33(5):576-581.
- [2] 王焯芳,薛云朝,李清. 气球轨迹法测风和风廓线雷达测风的对比分析[J]. 气象水文海洋仪器,2007,(3):30-34.
- [3] 孙旭映,韩晖,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,2008,26(3):48-52.
- [4] 邓闯,阮征,魏鸣,等. 风廓线雷达测风精度评估[J]. 应用气象学报,2012,23(5):523-533.
- [5] 万蓉,周志敏,崔春光,等. 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):130-136.
- [6] 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检测的初步分析[J]. 干旱气象,2011,29(4):416-422.
- [7] 杨梅,李玉林,单九生,等. 探空风廓线与雷达风廓线资料相关分析[J]. 气象,2006,32(6):20-24.
- [8] 董保举,张晔,徐安伦. 高原地区风廓线雷达资料评估[J]. 气象科技,2009,37(5):580-583.
- [9] 董保举,付志嘉,李明,等. 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,2012,40(1):74-86.
- [10] 胡明宝,郑国光,肖文建. 风廓线雷达数据获取率的统计分析[J]. 现代雷达,2008,30(10):14-16.
- [11] 宋呈文,张晨飞,刘书友,等. 风廓线雷达探测资料分析[J]. 气象水文海洋仪器,2011,(1):1-10.
- [12] 吴增茂,龙宝森. 青岛局地风特征的分析[J]. 海洋湖沼通报,1993,(1):16-22.
- [13] 盛春岩,王建林,刁秀广. 2006年8月青岛国际帆船赛期间海陆风特征及三维结构分析[J]. 中国海洋大学学报,2007,37(4):609-614.

[14] 薛德强,郑全岭,钱喜镇,等. 山东半岛的海陆风环流及其影响[J]. 南京气象学院学报,1995,18(2):293-299.

[15] 邱晓暖,范绍佳. 海陆风研究进展与我国沿海三地海陆风主要特征[J]. 气象,2013,39(2):186-193.

Comparison of Horizontal Wind Between Wind Profile Radar and L Band Sounding Radar

QU Qiaona¹, SHENG Chunyan¹, SUN Qing², CHE Junhui¹

(1. *Shandong Provincial Meteorological Science Institute, Ji'nan 250031, China;*
2. *Shandong Provincial Meteorological Bureau, Ji'nan 250031, China*)

Abstract: In order to explore the data availability of wind profile radar, the correlation, error and effective sample ratio of horizontal wind speed and direction between wind profile radar and L band sounding radar Ji'nan and Qingdao stations of Shandong Province from September 2013 to October 2015 were analyzed. The results are as follows: (1) The positive correlations of horizontal wind speed at most altitudes between wind profile radar and L band sounding radar Qingdao and Ji'nan stations at 00:00 UTC and 12:00 UTC from September 2013 to October 2015 were highly significant at the 0.05 and above significance level. (2) The horizontal wind speeds of wind profile radar at most heights above 1.5 km on sunny weather and 0.64 km on rainy weather were about $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ less than that of L band sounding radar at 00:00 UTC and 12:00 UTC from September 2013 to October 2015 Ji'nan station, and when the differences of horizontal wind direction between wind profile radar and L band sounding radar were less than or equal to 20° , the effective sample ratios were above 70%, which indicated that the data quality of wind profile radar Ji'nan station was very well. (3) The horizontal wind speeds of wind profile radar were $2-4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ smaller than that of L band sounding radar at most altitudes below 6.48 km Qingdao station at 00:00 UTC and 12:00 UTC from September 2013 to October 2015, the data of wind profile radar were useful. However when the differences of horizontal wind direction between wind profile radar and L band sounding radar were less than or equal to 20° , the effective sample ratios were only 20% due to the sea-land breeze and the longer distance between wind profile radar and L band sounding radar Qingdao, the availability of wind direction from wind profile radar was worse.

Key words: wind profile radar; L band sounding radar; error analysis; effective sample ratio