

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

风廓线雷达资料与探空资料的对比分析

万蓉¹,周志敏^{1,2,3},崔春光¹,李武阶¹,徐桂荣¹,贺文煌⁴,王芬芬⁴,王丹⁴

(1.中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074;2.中国科学院大气物理研究所,北京 100029;
3.中国气象局云雾物理环境重点开放实验室,北京 100081;4.湖北省咸宁市气象局,咸宁 437100)

摘要:对咸宁市黑山观测站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° 以内或风速偏差在 3 m/s 范围的样本为有效样本,分别用 E_v 和 E_d 表示风速有效样本比率(风速有效样本数/总样本数)和风向有效样本比率(风向有效样本数/总样本数)。结果发现:(1)比较时段内(比较开始半小时内)无降水产生时, E_v 大于 E_d ,而有降水产生时结果恰好相反。降雨量对 E_v 和 E_d 无明显影响。两种情况下, E_v 和 E_d 均不能同时达到最大值。(2)风廓线雷达资料的样本数随着高度增加而减少。1 km以下, E_d 和 E_v 均较差;1 km以上,无论降水与否, E_d 和 E_v 值在部分高度区间均能达较大值,而在其它高度区间,两者受降水和其它因素影响,变化有所差异。(3)比较时段内, E_d 值在低层较差。4 km高度以下, E_d 基本都随着风速增大而增大。而4 km高度以上,风速大于 12 m/s 时, E_d 值相对较大;而风速小于 12 m/s 时, E_d 值相对较小。

关键词:风廓线雷达;探空资料;对比分析

中图分类号:P412.25 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2011)02-0130-07

Comparing Wind Profiler Data with Radiosonde Data and Analyzing

WAN Rong¹, ZHOU Zhimin^{1,2,3}, CUI Chunguang¹, LI Wujie¹,
XU Guirong¹, HE Wenhuan⁴, WANG Fenfen⁴, WANG Dan⁴

(1.Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074; 2.Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029; 3.Key Laboratory for Cloud Physics and Weather Modification of China Meteorological Administration, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081; 4.Xianning Meteorological Office of Hubei Province, Xianning 437100)

Abstract: The wind profiler data from the Heishan observation station in Xianning, Hubei province are compared with the radiosonde data from the same station and analyzed. When the deviation of direction or velocity of wind sample is not greater than 20 degrees or 3 m/s respectively, it is defined as an effective sample. The effective sample ratio of direction and velocity is indicated by E_d (number of effective sample of direction / total number of sample) and E_v (number of effective sample of velocity / total number of sample) respectively. The results show that: 1) During the time period of comparing (half an hour from the beginning of comparing), E_v is greater than E_d when no rainfall happens, while E_v is smaller than E_d when rainfall happens. The rainfall has no obvious impact on both of E_d and E_v . E_d and E_v could not get to the maximum value simultaneously. 2) The number of sample of wind profiler radar decreases with the increase of height. E_d and E_v are small below 1 kilometer and get relatively greater value at certain height above 1 kilometer whether rainfall happened or not. However, they change differently at other heights because of rainfall and other factors. 3) During the time period of comparing, E_d is small at lower level. And it increases as the increase of velocity below 4 kilometers. However, E_d is relatively greater when velocity is smaller than 12 m/s and is relatively smaller when velocity is greater than 12 m/s above 4 kilometers.

Key words: Wind Profiler; Radiosond data; Comparing and analyzing

1 引言

风廓线雷达诞生于20世纪80年代,其利用多普

勒效应,可以连续获得测站上空高时空分辨率的水平风速,垂直风速,湍流、大气稳定度等信息。近30年来,风廓线雷达在发达国家得到了广泛应用。美国、日

收稿日期:2011-04-12;修订日期:2011-05-17

资助项目:科技部公益行业专项(GYHY200906010),中国气象局武汉暴雨研究所科研业务项目(1105)及中国气象局云雾物理环境重点开放实验室基金(2009005)

第一作者:万蓉,女,1969年生,副研究员,主要从事地基GPS/MET、雷达等探测资料在暴雨研究中的应用。E-mail: wanrong1@hotmail.com

本先后建立了数十部风廓线雷达组成的气象业务观测网,观测资料在多个领域得到广泛应用。芬兰、德国、瑞士、英国、法国都建造有自主的风廓线雷达网。从“七五”开始以来,我国一直在积极开展风廓线雷达方面的研究。目前为止,相关单位相继研制了平流层、对流层和边界层风廓线雷达,探测数据的质量和时空分辨率也有了较大提高。

目前,风廓线数据的验证主要以探空为主。李晨光等^[1]利用 1998 年华南暴雨和南海季风科学实验期间的风廓线资料与探空资料进行了分析,获得较好一致性。王欣等^[2]对风廓线资料与同步探空资料进行对比,分析了风廓线资料的可信度。杨梅等^[3]利用南昌新一代多普勒天气雷达获取的 2002 至 2005 年的部分风廓线资料,与同期探空风廓线进行相关分析,发现两者相关性较好。赵兴炳等^[4]就青藏高原那曲地区的风廓线雷达资料与气球探空资料进行分析发现,在高海拔地区,风廓线雷达资料仍具有较高的可靠性。王焯芳等^[5]分析、探讨了气球轨迹法测风和风廓线雷达测风之间的差异。孙旭映等^[6]分析了风廓线资料与气球测风资料存在差异的原因。董保举等^[7]利用高原地区的风廓线雷达资料与探空进行对比,发现不同天气条件下低空的数据获取率差异不大,高空阴雨天数据获取率和探测高度均优于晴天。周志敏等^[8]利用加密探空资料对咸宁市黑山观测站的风廓线数据进行了初步验证,发现其具有较好可靠性。尽管早期有国外研究者^[9]利用飞机测风来进行对比,但是该方法成本太高,并且效果未必优于气球探空。

从 2009 年开始,武汉暴雨研究所从南京恩瑞特实业有限公司采购了三台方舱式边界层风廓线雷达,分别安放于湖北省咸宁市、汉口、仙桃市进行观测。为了对其数据质量进行验证,同时也为风廓线的业务化运行奠定基础,我们选取咸宁市黑山观测站 2010 年 6 月 23 日至 7 月 14 日(并非连续时段)风廓线资料与加密探空进行对比分析。

2 资料说明及处理方法

2.1 资料说明

本次对比试验采用了芬兰 Vaisala 公司的 RS92 型 GPS 探空系统,架设地点位于黑山观测站,加密探空资料观测时间范围为 2010 年 6 月 23 日至 7 月 14 日。由于本次加密观测主要针对有降水发生的天气过程,所以对于无天气过程的日期没有施放探空。观测时间分别为 6 月 23 和 24 日,7 月 8 日,7 月 9—14 日。

本文使用的风廓线资料通过南京恩瑞特实业有限公司生产的移动方舱式边界层风廓线雷达获得。观

测地点为咸宁市黑山观测站(29.51°N、114.22°E)。数据时间间隔为 4 min 或 5 min(交替)。风廓线雷达最低探测高度为 43 m,最高探测高度为 8 142 m,高度分辨率在低层为 29 m,高层为 58 m。

本文主要针对 8 km 以下的风廓线数据和探空数据进行对比分析。比较期间,无降水产生时,探空气球飞行较为顺利,都能超过 8 km 高度。各时刻释放的探空球在到达 8 km 高度时,距架设地点的水平距离相差较大。如 6 月 24 日,05:32 释放的探空球到达 8 km 高度时,距架设地点仅 4.5 km,这主要是因为高层风向发生变化较大,探空球经历了先远离后靠近移架设地的过程。7 月 10 日 05:09 释放的探空球到达 8 km 高度时,距架设地 20.9 km,这是因为风向在高层没有发生反向偏转。有降水产生时,气球发生爆裂的情况较多。即便如此,气球仍产生了较大偏移。如 7 月 11 日 05:23,气球在 5 940 m 高度爆裂,漂移了 24.4 km;06:09 时刻,气球在 6 025 m 高度就发生爆裂,而此时已经漂移了 25.4 km,该偏移是本文所有释放探空的时刻距架设地点最远的。其它没有发生爆裂的时刻,漂移有远有近。如 6 月 23 日 17:16,由于高空风相对较小,即便高空没有发生风向反转的现象,到达 8 km 高度时,气球的漂移距离也仅为 6.7 km,而 7 月 11 日 23:26,气球的漂移距离也达到了 25.0 km。

2.2 资料处理方法

对数据进行对比分析存在两个问题:一是两类数据的观测时间不一定严格对应。比如,探空资料的观测时间为 07:15(UTC,下同),而风廓线资料的观测时间可能为 07:13 和 07:18,并没有在 07:15 时刻产生观测数据;二是两类数据的观测高度不能严格对应。风廓线雷达探测 43~8 142 m 范围固定高度上的数据,而探空气球受气流及气球本身升速影响较大,可能每次获取数据的高度都不同。

对以上两个问题,分别通过时间平均和空间平均来解决。图 1 为观测数据的时间平均示意图。 t_A 和 t_B 为风廓线雷达的观测时刻, t_C 为探空气球的观测时刻。总有一个 t_C 时刻位于 t_A 和 t_B 之间。

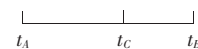


图 1 观测数据的时间平均示意图

假设 M_A 和 M_B 分别表示风廓线雷达资料在 t_A 和 t_B 时刻的值, M_C 为根据 M_A 和 M_B 所计算的 t_C 时刻风廓线雷达资料的计算平均值。 M_C 计算公式如下:

$$M_C = M_A + \frac{M_B - M_A}{t_B - t_A} \times (t_C - t_A) \quad (1)$$

将获得的值 M_C 与 t_C 时刻的探空资料进行比较。

图 2 为观测数据的空间平均示意图。 h_A 和 h_B 为探空气球观测的高度(两者差值小于 20 m, 所以先对探空数据进行高度平滑, 然后和风廓线数据比较), h_C 为风廓线雷达的观测高度。总有一个 h_C 位于 h_A 和 h_B 之间。

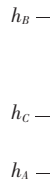


图 2 观测数据的空间平均示意图

假设 N_A 和 N_B 分别对应 h_A 和 h_B 高度上的探空数据, N_C 为根据 N_A 和 N_B 所计算的 h_C 高度上的计算平均值。则 N_C 计算公式如下:

$$N_C = N_A + \frac{N_B - N_A}{h_B - h_A} \times (h_C - h_A) \quad (2)$$

最后将 N_C 值与 h_C 高度上的探空资料进行比较。

当风廓线雷达获得数据的时间或高度与探空恰好一致时(少数情况下), 就不用进行平均处理。

需要说明的是, 以上方法分别针对水平风速的 u 、 v 分量采用标量内插, 然后合成得出风向和风速。

3 风廓线资料和探空资料的对比分析

根据风廓线雷达探测最大高度选择 8 km 以下数据进行比较。由于风廓线雷达探测的是本站上空天顶方向的数据, 对风向和风速的探测精度分别为 10° 和 1 m/s, 而探空气球在空中会发生漂移。夏文梅等^[10]利用南京 CINRAD/SA 型多普勒天气雷达风廓线产品和多组探空资料比较时发现, 风向和风速的误差分别在 20° 和 3 m/s 左右。因此, 对两者进行比较时, 将风向和风速误差在以上范围的样本定义为有效样本。

在上文已经介绍过, 本文将风廓线资料和探空资料分别进行时间、空间平滑后, 再以探空数据为标准, 与风廓线资料进行比较。用 E_d 表示风向误差在 20° 范围的样本占总样本的比例(称为风向有效样本比率), 用 E_v 表示风速误差在 3 m/s 范围的样本占总样本的比例(称为风速有效样本比率)。 E_d 和 E_v 单位均为“%”。

为了对上述比较标准进行检验, 分别用不同风向和风速有效样本比率的资料进行对比分析。图 3 给出了不同时刻、不同风向有效样本比率的探空资料和风廓线资料的廓线分布情况。

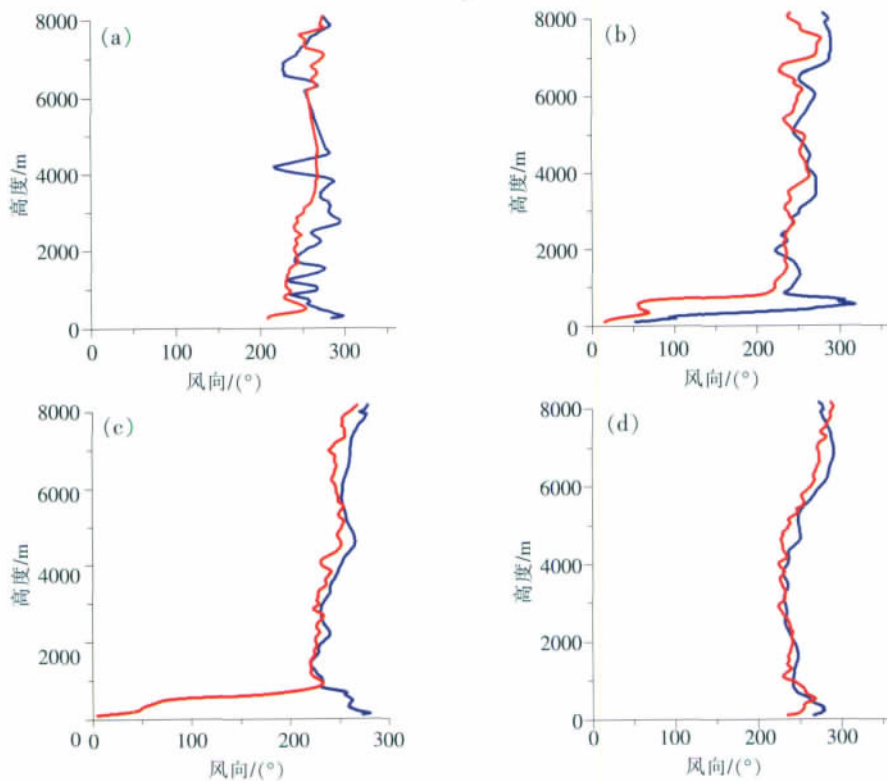


图 3 不同时刻、不同风向有效样本比率的探空资料(红色线条)和风廓线资料(蓝色线条)在不同高度上的风向分布:(a)7月9日17:19, $E_d=46.79\%$; (b)7月13日02:23, $E_d=59.33\%$; (c)7月10日20:17, $E_d=79.33\%$; (d)7月12日08:10, $E_d=91.33\%$

从图 3a 至图 3d, 风向有效样本比率值 E_d 是不断增加的。可以看出, 随着 E_d 的增加, 风廓线资料与探空资料的风向廓线相差越来越小。图 3a 中, 风廓线和探

空资料在少数高度相差较小; 图 3b 中, 两者在 1 km 以下高度相差较大; 图 3c 中, 1 km 高度以下两者相差也较大, 但是在该高度以上, 两者的差别相对

图 3b 要小;图 3d 中,两者在绝大部分高度区间都非常接近。

图 4 为不同时刻、不同风速有效样本比率的探空资料和风廓线资料的廓线分布。由图可见,从图 4a 至图 4d,随着风速有效样本比率 E_v 的不断增大,风廓线资料与探空资料的风速廓线相差也越来越小。总的来说,风廓线资料与探空资料的风速廓线形状比较相

似。图 4a 中,由于风廓线数据获取率不足,所以比较的数据高度只到 5 km 左右,在该高度以下,风廓线资料和探空资料之间的速度差比较明显;图 4b 中 1.5 km 以下及 7 km 以上高度,两类数据偏差较大,其它高度区间偏差相对较小;图 4c 中,两类数据的廓线变化更加一致;图 4d 中,两者之间相差更小,只是在极少数高度区间存在一定差值,其它区间相差较少。

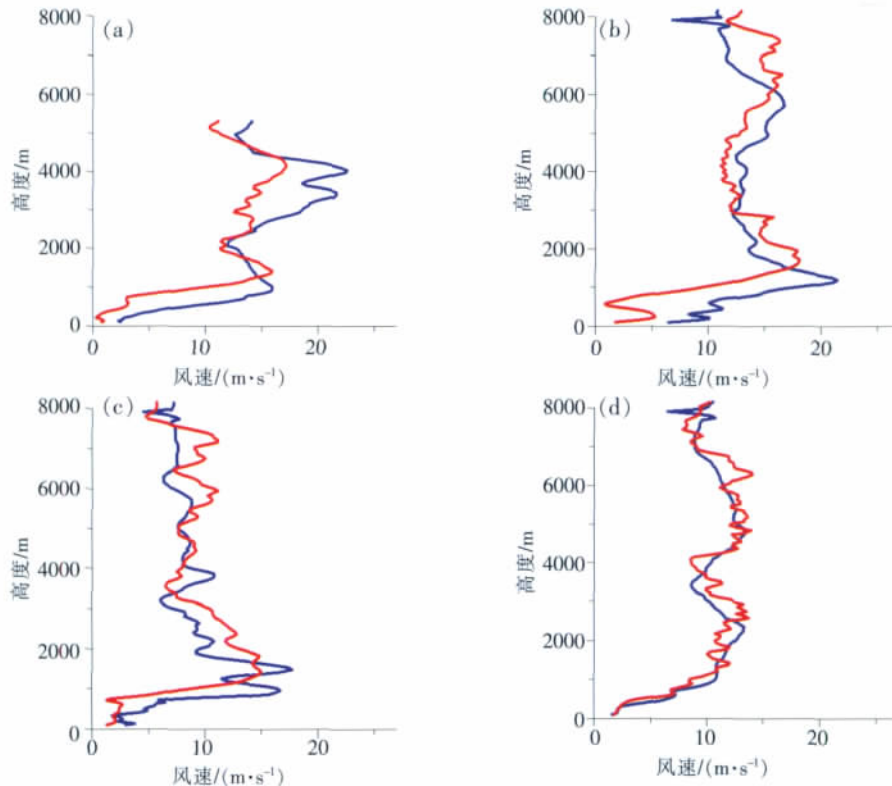


图 4 不同时刻、不同风速有效样本比率的探空资料(红色线条)和风廓线资料(蓝色线条)在不同高度上的风速分布图:(a)7月11日11:24, $E_v=43.75\%$;(b)7月10日20:17, $E_v=59.33\%$;
(c)7月13日02:23, $E_v=76.00\%$;(d)7月13日11:20, $E_v=98.67\%$

因此,用 20° 和 3 m/s 分别作为允许的风向和风速偏差来讨论风向、风速有效样本比率,能够反映风廓线资料和探空资料之间的数据偏差情况。事实上,对资料进行统计分析后发现,当风向和风速的有效样本比率大于 60% 时,风廓线和探空资料就能达到相对较好的一致性,比率越大,相差越小。

下面对风廓线和探空资料做进一步对比分析。

由于探空气球在达到 8 km 左右高度(边界层风廓线雷达探测高度极限)所需时间基本在半小时以内。如 6 月 24 日 05:32 释放的探空气球到达 8 km 高度所花时间约为 23.5 min , 7 月 10 日 05:09 释放的探空气球到达 8 km 高度所花时间约为 25.7 min , 而 7 月 13 日 11:20 释放的探空气球到达 8 km 高度所花时间约为 30 min 。因此,将开始比较后半小时称为比较时段(并不是表示严格的半小时,而是探空气球从

地面到达 8 km 的时段)。将样本分为两类进行比较:一类在比较时段内无降水产生;另一类在比较时段内有降水产生。

3.1 不同降水条件下的对比

对不同降水条件下、不同时刻的数据进行综合分析。表 1 给出了比较时段内无降水产生时不同时刻的样本数、风速和风向误差的有效样本比率。

该条件下,总的样本数为 1 446 个,总的风向有效样本比率为 66.11% , 风速有效样本比率为 70.26% 。只有六个时刻的 E_d 大于 E_v , 而其它时刻则是 E_d 小于 E_v 。7 月 9 日 09:09、7 月 10 日 08:17、7 月 12 日 17:22 及 7 月 13 日 11:20 的样本结果最好,有效样本比率最高达到 100% , 最差为 77.46% 。除了 6 月 24 日 05:32、7 月 8 日 05:23 及 7 月 12 日 23:15 三个时刻的风速和风向误差有效样本比率同时较小外,其它时刻则要么 E_d 较

表 1 比较时段内无降水时不同时刻的样本数、风向和风速有效样本比率

时间	样本数	E_d /%	E_v /%
6月24日 05:32	65	66.15	44.62
7月8日 05:23	52	44.23	57.68
7月9日 09:09	34	100.00	91.18
7月9日 11:29	33	57.58	66.67
7月9日 14:27	53	45.28	84.91
7月9日 17:19	109	46.79	66.97
7月10日 05:09	43	65.12	72.09
7月10日 08:17	45	93.33	82.22
7月10日 20:17	150	79.33	59.33
7月11日 11:24	96	70.83	43.75
7月11日 17:23	123	69.11	58.54
7月12日 17:22	71	77.46	84.51
7月12日 23:15	64	51.56	54.69
7月13日 02:23	150	59.33	76.00
7月13日 11:20	150	85.33	98.67
7月13日 14:19	150	58.00	72.67
7月13日 17:18	58	48.28	84.48

表 2 比较时段内有降水时的样本数、风向和风速有效样本比率以及降雨量

时间	样本数	E_d /%	E_v /%	30 min 降雨量/mm
6月23日 17:16	139	64.03	97.84	0.4
7月8日 12:00	134	55.22	66.42	6.1
7月9日 05:32	57	82.46	68.42	0.2
7月9日 20:38	114	77.19	71.93	1.1
7月10日 14:14	150	78.67	66.67	1.2
7月11日 03:02	110	78.18	65.45	9.0
7月11日 05:23	115	71.30	77.39	3.0
7月11日 06:09	116	85.34	55.17	0.8
7月11日 08:25	111	63.06	78.38	0.5
7月11日 14:20	136	68.38	75.00	2.2
7月11日 21:12	106	52.83	50.00	0.3
7月11日 23:26	150	84.00	66.00	1.9
7月12日 02:08	150	59.33	73.33	1.4
7月12日 05:07	130	89.23	59.23	0.5
7月12日 08:10	150	91.33	74.00	0.2
7月12日 11:08	112	79.46	57.14	0.2
7月13日 05:19	109	74.31	54.13	0.3
7月13日 08:21	107	76.64	71.03	0.9
7月13日 23:33	150	67.33	67.33	1.0
7月14日 02:08	60	67.33	67.33	1.0

大,要么 E_v 较大,而两者不能同时达到较高值。

总之,在比较时段内无降水产生时,总的风速有效样本比率大于风向有效样本比率,两者无法同时达到最大值。

表 2 为比较时段内有降水产生时的样本数、风速和风向有效样本比率及各时刻降雨量。

该条件下,总的样本数为 2 346 个,总的风向有效样本比率为 73.44%, 总的风速有效样本比率 68.63%。只有七个时刻的 E_d 值小于 E_v 值,而其它时刻则是 E_d 值大于 E_v 值。这与表 1 所示结果恰好相反。除了 7 月 11 日 21:12 时 E_d 和 E_v 值分别为 52.83% 和 50%,有效样本比率较低,其它时刻 E_d 或 E_v 中至少有一个量超过 64%。

和表 1 类似,表 2 中某一时刻的 E_d 和 E_v 也不能同时达到最大值。

在表 2 所示的观测时刻, E_d 在 7 月 12 日 08:10 开始观测时最大,达到 91.33%。此时的半小时内降水量为 0.2 mm。7 月 9 日 05:32 和 7 月 12 日 11:08,半小时内降水量也为 0.2 mm,但 E_d 值分别为 82.46% 和 79.46%。即半小时内的降雨量并不是影响 E_d 的主要因子。

6 月 23 日 17:16,降雨量为 0.4 mm, E_v 值为 97.84%,是所有观测时刻的最大值。7 月 9 日 20:38,半小时降雨量为 9.0 mm, E_v 仅为 65.45%,而 7 月 10 日 14:14,半小时降雨量为 1.2 mm,与前者相差 7.8 mm,而 E_v 值相差无几,为 66.67%。由此可见,半小时降雨量对 E_v 也没有明显影响。

总的来说,比较时段内无降水产生时, E_v 大于 E_d ,而有降水产生时结果恰好相反。降雨量对 E_v 和 E_d 无明显影响。两种情况下, E_v 与 E_d 均不能同时达到最大值。

3.2 不同高度范围的对比

该比较针对的是不同降水条件下,多时次数据在不同高度范围的数据对比分析。3.3 也采用同样方法进行分析。风廓线雷达的有效探测高度大于 2 km,无降水时,探测高度相对较低,有降水时能达到较高高度。如果大气湿度较高,即便没有降水,风廓线雷达也能探测到较高处数据。下面对比比较时段内有、无降水两种情况下,不同探测高度上的 E_d 和 E_v 。表 3 为比较时段内不同降水条件下的样本数随高度变化,每个高度段统计值均含等于上限值的样本数(下同)。

表 3 不同降水条件下,比较时段内样本数随高度的变化

样本条件	高度/km							
	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8
无降水样本数	485	258	180	149	102	96	95	81
有降水样本数	550	342	317	306	306	278	151	96

从上表可知,无论降水与否,样本数均随高度增加而减小,降水有助于样本数的增加。

图 5 分别表示不同降水条件下, E_d 和 E_v 在不同高度上的对比。从图中可见,1 km 以下,不论有无降水, E_d 和 E_v 值均较差。这可能是由于地波杂物反射、湍流

和局地环流等原因使得近地层风的局地变化较大,从而使得探空气球即便在离测站(风廓线雷达所在位置)较远的地方所测数据和风廓线雷达数据也有较大差异。从图 5a 可知, E_d 在 1~3 km、4~6 km 区间,无论有

无降水均能达较大值。而在其它高度区间,其变化有增有减。从图 5b 可知, E_v 在 2~3 km、4~5 km 区间及 7~8 km 区间,无论有无降水,均能达较大值。而在其它高度区间,变化也有所不同。

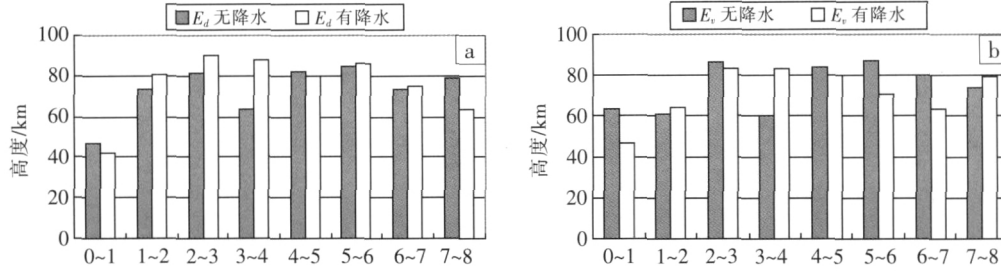


图 5 不同降水条件下 E_d (a,单位:%)和 E_v 值(b,单位:%)在不同高度上的对比图

上述情况说明,在降水条件下, E_d 和 E_v 在不同高度区间有着不同变化。但是导致这种变化的原因应该包含了气流波动的因素。气流波动平缓时,探空数据与风廓线雷达资料吻合较好,而气流波动较大时,两者相差较大。两种原因的综合导致 E_d 和 E_v 在不同高度区间有着不同变化。

综上所述,风廓线雷达资料的样本数随着高度增加而减少。1 km 以下, E_d 和 E_v 均较差;而在 1 km 以上,无论降水与否, E_d 和 E_v 值在部分高度区间均能达

较大值,而在其它高度区间,两者受降水和其它因素影响,变化有所差异。

3.3 不同风场条件下的对比

下面以探空数据作为标准,选择不同高度区间及不同风速范围的风向与风廓线雷达所获风向进行比较。 E_d 值大于 75% 时的数据用粗体表示,表示质优(人为设定)。表格中的斜线(“/”,下表同)表示无相应数据。表 4 为比较时段内无降水时,不同高度、不同风速范围的 E_d 值。

表 4 比较时段内无降水时不同高度、不同速度(V)的 E_d 值(单位:%)

$V/(m \cdot s^{-1})$	高度/km							
	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8
$0 < V \leq 3$	17.83	/	/	/	/	/	/	/
$3 < V \leq 6$	47.90	100.00	/	/	100.00	/	100.00	46.15
$6 < V \leq 9$	75.26	67.57	72.73	40.00	81.82	90.00	44.44	84.62
$9 < V \leq 12$	78.57	64.04	74.58	58.00	87.50	75.56	76.32	83.33
$12 < V \leq 15$	84.21	86.42	85.00	84.62	100.00	96.88	93.75	71.43
$15 < V \leq 18$	50.00	65.63	92.31	40.00	50.00	75.00	100.00	100.00
$18 < V \leq 21$	/	87.50	/	100.00	100.00	100.00	/	/

从表 4 可以看出,比较时段内无降水时, E_d 在 4 km 以下相对较小,尽管也存在优质数据,但是质量较差的数据也较多。随着速度的增加, E_d 大体上呈增加趋势;4 km 以上, E_d 相对较大,在存在数据的区间,只有 4 组数据较差,其它均为优质数据。在所有的高度层,当风速在 12 至 15 m/s 及 18 至 21 m/s 范围时, E_d 相对较大。表 5 给出了比较时段内有降水时,不同高度、不同风速范围的 E_d 值。

从表 5 可以看出,比较时段内有降水时,4 km 高度以下,当风速小于 12 m/s,数据质量相对较差,并且, E_d 值基本上随风速增大而增大;4 km 高度以上,风速大于 12 m/s 时, E_d 值基本上比较优质,同时, E_d 值基本上随着风速增大而增大。而风速小于 12 m/s 时, E_d 值相对较差。

综合表 4 和表 5 可知,比较时段内, E_d 值在低层相对较差,4 km 高度以下基本都随着风速增大而增大。而 4 km 高度以上,风速大于 12 m/s 时, E_d 值相对较大;而风速小于 12 m/s 时, E_d 值相对较小。

4 结论

对咸宁市黑山观测站的风廓线雷达资料与加密探空进行对比分析,定义两者风向偏差在 20° 以内或风速偏差在 3 m/s 范围的样本为有效样本,分别用 E_v 和 E_d 表示风速有效样本比率和风向有效样本比率,得到如下结论:

- (1) 比较时段内(比较开始半小时内)无降水产生时, E_v 大于 E_d ,而有降水产生时结果恰好相反。降雨量对 E_v 和 E_d 无明显影响。两种情况下, E_v 与 E_d 均不能

表 5 比较时段内有降水时,风廓线资料在不同高度、不同速度(V)的风向有效样本所占比例(E_d ,单位:%)

$V/(m \cdot s^{-1})$	高度/km							
	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8
$0 < V \leq 3$	15.54	/	/	/	0.00	/	/	/
$3 < V \leq 6$	35.43	33.33	50.00	100.00	38.71	87.50	63.64	75.00
$6 < V \leq 9$	54.10	55.56	61.90	64.86	78.26	89.74	60.00	22.86
$9 < V \leq 12$	75.41	66.67	76.47	92.86	69.81	87.04	50.00	100.00
$12 < V \leq 15$	86.96	79.49	100.00	83.33	96.10	81.01	83.33	69.57
$15 < V \leq 18$	85.71	85.71	95.05	87.30	85.71	90.14	95.24	100.00
$18 < V \leq 21$	/	78.79	88.33	100.00	84.78	93.33	100.00	100.00
$21 < V \leq 24$	/	100.00	100.00	/	/	/	/	/
$24 < V \leq 27$	/	/	100.00	/	/	/	/	/

同时达到最大值。

(2) 风廓线雷达资料的样本数随着高度增加而减少。1 km 以下, E_d 和 E_v 均较差; 1 km 以上, 无论降水与否, E_d 和 E_v 值在部分高度区间均能达较大值, 而在其它高度区间, 两者受降水和其它因素影响, 变化有所差异。

(3) 比较时段内, E_d 值在低层较差。4 km 高度以下, E_d 基本都随着风速增大而增大。而 4 km 高度以上, 风速大于 12 m/s 时, E_d 值相对较大; 而风速小于 12 m/s 时, E_d 值相对较小。

5 讨论

(1) 由于风廓线雷达只能探测单站上空天顶方向数据, 而探空气球存在漂移, 所以无法严格对两者的数据进行比较, 只能设定一个误差范围, 当两者差值在此范围, 即认为数据比较可靠。地物杂波是影响低层风廓线数据的重要因子, 该杂波是由周围树木、建筑物等地物造成的干扰, 这种干扰使得雷达基数据受到污染, 进而影响到基本产品以及导出产品。在地物杂波影响及由低层局部环流和湍流等因子的共同作用下, 1 km 高度以下, 两者数据相差普遍较大, 但是当系统性气流控制低层, 两者相差相对较小(如图 3d 和图 4d)。事实上, 在系统性气流控制的高度, 风廓线数据与探空气球的数据吻合相对较好。因为当系统性气流变化较为平缓的时候, 风廓线雷达所测本站上空风场与探空气球所测风场相差较小。因此, 1 km 高度以下, 风廓线雷达数据和探空数据差别较大, 说明地物杂波和大气环境对探空气球影响大。鉴于对比样本有限, 分析结果还需不断验证。

(2) 本次对比试验主要针对的是 2010 年 7 月 8 日至 14 日的一次系统性天气过程, 测站上空水汽比

较充足, 探测高度较高, 所以比较时考虑的天气条件(半小时内有无降水)并不能等同于晴空条件下的情况。在晴空时, 风廓线的探测高度较低, 有时 2 km 不到, 加上地物杂波、湍流和局部环流等的影响, 风廓线数据和探空数据的偏差可能会比较大。

(3) 目前对风廓线数据与探空数据的对比, 通常采用一次对比观测作为一组样本, 对同一高度多次观测结果进行统计, 了解误差。为了解风廓线数据与探空数据在不同降水条件下、不同高度上的偏差情况, 本文采用了多时次、多高度的对比方法, 其比较结果是否具有代表性, 还有待进一步采用更多数据进行对比分析。

参考文献:

- [1] 李晨光, 刘淑媛, 陶祖钰. 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, 2003, 19(3): 269-276.
- [2] 王欣, 卞林根, 彭浩, 等. 风廓线雷达系统探测试验与应用[J]. 应用气象学报, 2005, 16(5): 693-698.
- [3] 杨梅, 李玉林, 单九生, 等. 新一代雷达风廓线与探空风廓线资料相关分析[J]. 气象, 2006, 32(6): 20-24.
- [4] 赵兴炳, 李跃清. 风廓线雷达原理及其在高原地区探测结果初析[J]. 四川气象, 2006, 26(2): 24-26.
- [5] 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.
- [6] 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, 2008, 26(3): 48-52.
- [7] 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.
- [8] 周志敏, 万蓉, 崔春光, 等. 风廓线雷达资料在一次冰雹过程分析中的应用[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(3): 251-256.
- [9] Bob L Weber, David B Wuertz. Comparison of Rawinsonde and Wind Profiler Radar Measurements [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1990, 7: 157-174.
- [10] 夏文梅, 陈楠, 程婷, 等. 降水过程中多普勒天气雷达风廓线产品特征[J]. 气象, 2008, 34(10): 20-26.