

朱立娟, 龚建东, 李泽椿, 等. 利用地面观测资料参考标定雷达 VAD 资料气压高度方法研究[J]. 气象, 2012, 38(2): 250-256

# 利用地面观测资料参考标定雷达 VAD 资料气压高度方法研究<sup>\*1</sup>

朱立娟<sup>1,2,3</sup> 龚建东<sup>3</sup> 李泽椿<sup>3</sup> 陶士伟<sup>3</sup>

1 中国气象科学研究院, 北京 100081

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

3 国家气象中心, 北京 100081

**提 要:** 针对雷达 VAD 资料因不包含气压高度信息而在使用中受到限制的问题, 设计了 VAD 资料气压高度标定方案。提出了以雷达站所在地地面气象观测要素作为参考的标定方法。具体为在压高公式中引入多元大气温度递减方案, 地面基础要素由雷达站配备的地面自动气象观测站提供。针对这个方案敏感的温度垂直递减率, 利用 2007 年全年探空资料计算得到温度垂直递减率随高度、时间、区域变化的分布, 并分别进行常数温度递减率、随高度变化、随时间变化的温度垂直递减率, 以及随两者同时变化的温度垂直递减率对标定结果误差影响的敏感性分析, 并与传统的气候标定方案误差进行对比。通过一年的实际观测资料试验, 结果表明: 相对于不引入观测的气候统计值标定方案, 可大大缩减标定误差。尤其是随高度和时间同时调整的温度垂直递减率的地面观测要素参考标定方案的误差最小, 适应 VAD 资料的特点。

**关键词:** 气压标定, 雷达 VAD, 地面观测, 温度递减率

## Preliminary Study on Pressure Estimation of Radar VAD Data Based on Surface Observations

ZHU Lijuan<sup>1,2,3</sup> GONG Jiandong<sup>3</sup> LI Zechun<sup>3</sup> TAO Shiwei<sup>3</sup>

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 National Meteorological Centre, Beijing 100081

**Abstract:** The radar VAD wind is restricted in data comprehensive operational application by without pressure information. To make up the disadvantage, this paper proposes a method to retrieve the pressure for VAD wind based on the surface meteorological information. The method introduces a polytropic atmosphere into the pressure-altitude formula, in which the surface information is obtained from the automatic surface weather observation at the radar station. The temperature lapse rate is the most important influence on the estimation accuracy. It is calculated in changing with height, month, and region by 2007 radiosonde data. Then four different temperature lapse rate sensitive experiments are undertaken respectively: (1) constant, (2) time changing, (3) height changing, and (4) both time and height changing. Meanwhile, the climate statistic experiment is also done. The results of experiments indicate that the way based on surface observation reduces the error obviously compared with the traditional climate statistic way. Especially the height-time dependent temperature lapse rate is better than other kind of temperature lapse rate. The spatial applicability of the method is evaluated too. The result reveals that the method has high

\* 公益性行业专项(GYHY200806003, GTHY201106044, GYHY201006001 和 GYHY201006016)共同资助

2011 年 3 月 1 日收稿; 2011 年 10 月 14 日收修定稿

第一作者: 朱立娟, 主要从事雷达资料同化方面的研究. Email: zhulj@ema.gov.cn

applicability in different areas over China.

**Key words:** pressure estimation, radar VAD wind, surface observation, temperature lapse rate

## 引 言

伴随着气象探测业务的发展,观测资料日渐丰富<sup>[1]</sup>。观测资料作为天气预报的基础信息来源,综合应用多种观测资料,获取有效完善信息,是观测资料在预报中发挥效益的重要步骤。然而,在综合应用观测资料过程中,遇到的一个具体问题是不同类型观测资料的垂直坐标不一致,如部分观测是以气压作为高度坐标,而雷达 VAD 等资料则是以几何高度作为垂直坐标,不同的高度坐标给多种信息的综合及资料的应用带来了不便。

雷达 VAD 资料,反映了大气的平均风场垂直分布情况<sup>[2]</sup>,可在天气预报和数值预报中广泛应用<sup>[3]</sup>。其要素特点是只包含几何高度,风向和风速<sup>[4]</sup>。传统的处理这种只有几何高度而无气压高度资料的方法,多采用气候统计关系参考标定算法<sup>[5]</sup>。存在的主要问题是难以反映局地的变化,给资料的应用带来误差。因此,本文考虑引入雷达所在站点局地气象特征进行标定,即可通过其他观测资料参考实现。探空观测包含气压和高度要素,且反映大气的垂直结构,是 VAD 资料气压标定的理想参考资料。然而我国探空站点与雷达站点分布并不统一,在多处有雷达的地方没有相应的探空,而且即便在有探空的雷达站点,每 12 小时采集一次的探空资料,难以满足高频次的雷达资料时效要求。因此,针对 VAD 资料要素有限的特点,利用我国雷达站布网的同时都配备自动地面气象站观测地面要素、地面气象观测时间频率高的探测特征,提出将雷达站地面观测要素信息引入作为参考标定 VAD 资料气压高度,并分析了该方法对 VAD 资料的适用性。根据我国探测实际,该方案具备业务应用的可行性。

## 1 VAD 资料地面资料参考标定气压方法

### 1.1 雷达 VAD 资料气压标定特点

雷达 VAD 资料的要素特点是只有几何高度及

风的信息,即以几何高度为坐标的垂直风廓线资料。由雷达探测原理可知,我国新一代天气雷达为测雨雷达,探测结果集中在对流层。因此,VAD 资料的垂直范围在对流层内,需要根据高度获得气压的范围也在对流层内。面对气压高度的需求,如不引入其他资料作为参考,只有依据高度与气压的气候统计关系进行标定。这不能反应随时间变化的局地因素,势必会导致较大误差。而我国大气探测的一个特点是,新一代天气雷达站点附近都配备标准自动气象站观测地面气象要素信息。自动地面气象观测站的观测频率较高,可作为雷达定标资料的有效参考,业务应用也较为方便。据此,本文提出将雷达站所在位置的地面测站观测的地面气象要素引入作为参考。也正是因为探测范围在对流层内,可将多元大气的压高公式引入应用。根据雷达 VAD 资料的特点和我国探测特点,设计其气压计算方案如下。

### 1.2 雷达 VAD 资料气压标定方法

由大气压高公式<sup>[6]</sup>可知

$$\int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = - \int_{z_1}^{z_2} \frac{g dz}{RT} \quad (1)$$

式中, $p_1$  和  $p_2$  分别代表  $z_1$  和  $z_2$  两个高度上的气压; $g$  为重力加速度; $p$  为气压; $T$  为温度; $R$  为普适气体常数,也称摩尔气体常数或通用气体常数,通常取值 8.31。

对流层的大气状况为多元大气,即垂直温度不断随高度变化的大气<sup>[6]</sup>。在这种情况下,可近似认为气温是高度的线性函数,即表达为  $T = T_1 - \gamma z$ ,式中  $T_1$  为高度  $z = z_1$  处的大气温度, $\gamma$  为温度垂直递减率,代入式(1)中,可得

$$\int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = - \int_{z_1}^{z_2} \frac{g dz}{R(T_1 - \gamma z)} \quad (2)$$

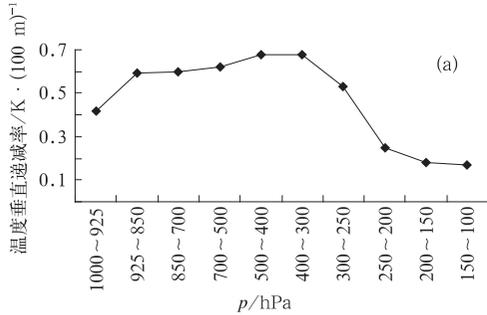
积分可得

$$p_2 = p_1 \left[ \frac{T_1 - \gamma(z_2 - z_1)}{T_1} \right]^{\frac{R}{g}} \quad (3)$$

这里, $p_1, t_1$  和  $z_1$  分别代表地面气压、温度和高度, $z_2$  为 VAD 资料的高度。由此,地面气象要素即  $p_1, t_1$  和  $z_1$  可利用雷达站所在位置的地面自动站观测气象要素提供。这样,通过该方案即可标定出雷达 VAD 资料的气压。从式(3)可看出,其中对标定结果影响最大的是温度垂直递减率。

## 2 温度垂直递减率分析

在应用上述方法进行计算时,从上面导出的式(3)可以看出,影响气压标定的主要变量是温度垂直递减率,也称气温直减率, $\gamma = -\frac{\partial T}{\partial z}$ , $T$ 为温度, $z$



为高度。温度垂直递减率反映大气的温度随高度变化的情况,受季节、高度等诸多因素影响较为明显。因此,我们首先以北京站 2007 年全年(00 和 12 时)探空资料计算出温度垂直递减率分别随高度和随月分时间变化的规律,如图 1 所示。

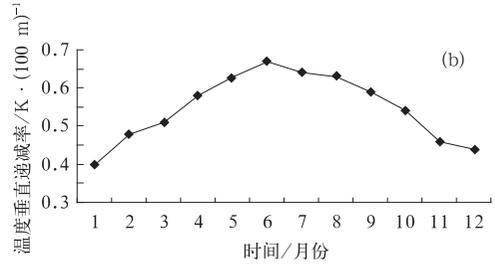


图 1 北京站温度垂直递减率

(a)随高度变化,(b)随时间变化

Fig. 1 Temperature lapse rate of Beijing Station changes with height (a), and changes with month (b)

从图 1 中可以看出,温度垂直递减率受高度和季节因素影响都较为明显。从图 1a 中可看到,在 200 hPa 左右的对流层顶,温度垂直递减率迅速下降。从图 1b 中看到,温度垂直递减率夏季最大,冬季相对较小,春秋作为过渡季节,温度垂直递减率也是处于过渡的大小。对比可看到,受季节影响更为显著。为综合分析受此两个因素共同作用下温度垂直递减率的变化规律,进一步计算出了温度垂直递减率随时间及高度共同影响的分布情况。同时,为进一步了解不同区域范围内递减率的状况。参照国家气象中心数值预报标准检验分区方式,将全国分为东北地区、华北地区、长江中下游地区、华南地区、西北东部地区、西南东部地区、新疆地区和青藏高原中南部地区几个地区。不失一般性,从各区域范围内随机选择一个站点,分别为华北区(北京)、西北东部区(榆中)、长江中下游区(南京)、华南区(厦门)、新疆区(喀什)、东北区(大连)、青藏高原中南部区(那曲)和西南东部区(贵阳),计算出温度垂直递减率同时随高度及时间分布情况(如图 2)。

在图 2 中,横坐标表示 1—12 月,纵坐标表示高度。从图 2 中可看到,对流层顶温度垂直递减率明显下降,夏季 7 和 8 月的对流层顶明显高于其他季节。以北京站为例,冬季 1 月的对流层顶在 300~250 hPa,而夏季可达 150 hPa。对流层中层温度垂直递减率相对较大。各种天气过程发生在对流层,这层也是雷达探测的对象,也正是 VAD 资料

分布的层次。

## 3 应用方案设计及试验结果

### 3.1 应用方案设计

根据上述温度垂直递减率分析的结果,设计 5 个试验应用方案。分别为传统的气候统计关系气压标定方案;同一温度垂直递减率的地面气象观测要素参考标定方案, $\gamma=0.6$ ;温度垂直递减率随高度更新的地面气象观测要素参考标定方案, $\gamma$ 的分布见图 1a;温度垂直递减率随时间更新的地面气象观测要素参考标定方案, $\gamma$ 的分布见图 1b;及温度垂直递减率随高度和时间同时更新的地面气象观测要素参考标定方案, $\gamma$ 的分布见图 2a。试验方案见表 1。

试验 1 代表的是气候值作为参考标定气压,是利用几何高度与气压高度的长期观测的统计关系,对几何高度进行气压高度标定。如在我国数值预报引进日本质量控制程序过程中,包含有气压和高度

表 1 气压定标试验方案

Table 1 Description of pressure estimation schemes

试验	气压标定方案	温度垂直递减率 $\gamma$
1	气候统计关系标定	无
2	地面气象要素参考标定	同一温度垂直递减率 $\gamma=0.6$
3	地面气象要素参考标定	$\gamma$ 随高度更新,图 1a
4	地面气象要素参考标定	$\gamma$ 随时间逐月更新,图 1b
5	地面气象要素参考标定	$\gamma$ 随高度时间逐月更新,图 2a

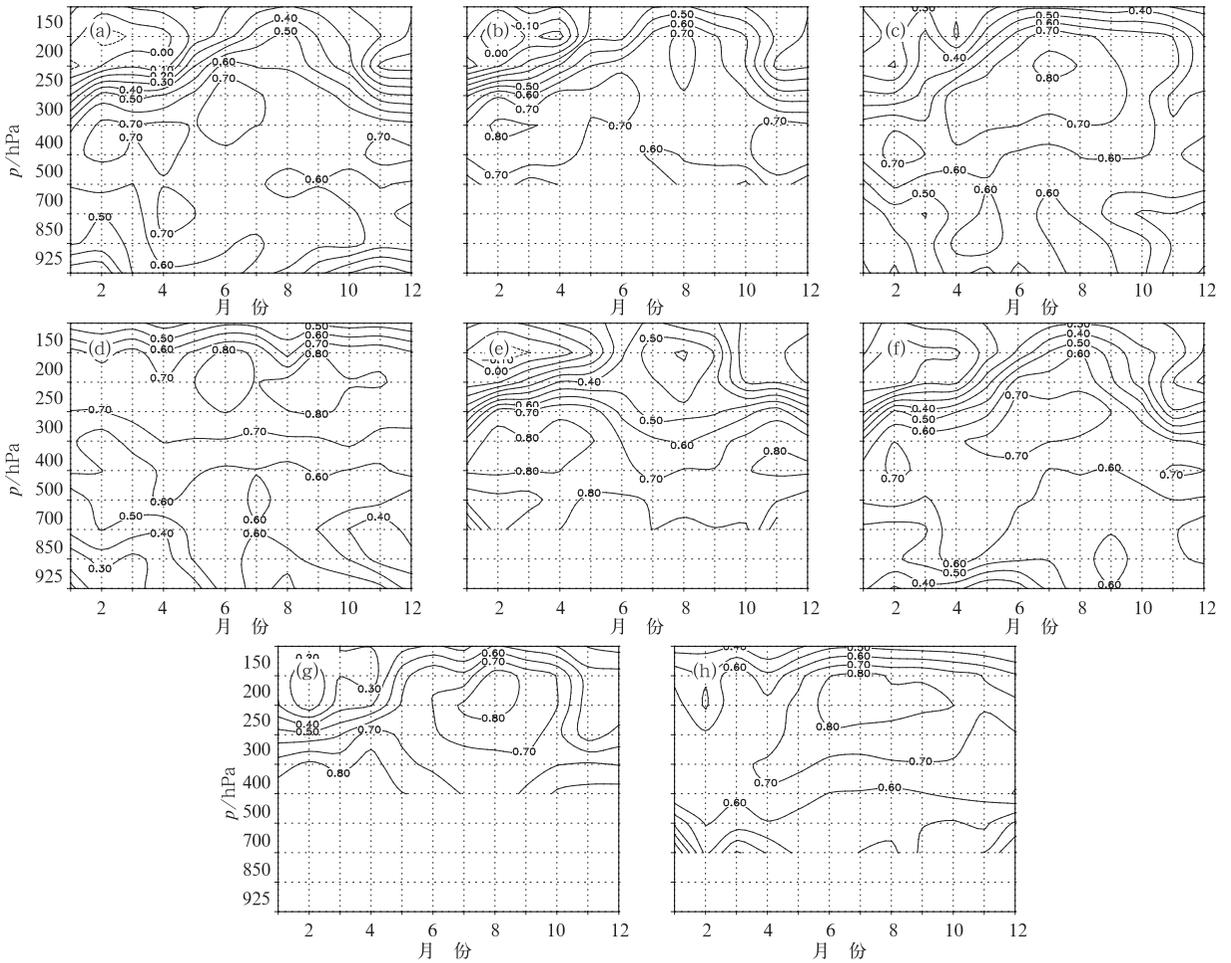


图 2 不同区域温度垂直递减率随时间和高度变化的分布[单位: $K \cdot (100 m)^{-1}$ ]

(a)北京, (b)榆中, (c)南京, (d)厦门, (e)喀什, (f)大连, (g)那曲, (h)贵阳

Fig. 2 Time-height cross sections of temperature lapse rate in (a)Beijing, (b)Yuzhong,

(c)Nanjing, (d)Xiamen, (e)Kashi, (f)Dalian, (g)Nagqu and (h)Guiyang [unit: $K \cdot (100 m)^{-1}$ ]

的长期统计关系结果及标定程序<sup>[5]</sup>。这里设计该方案主要是分析传统的气候标定方案对 VAD 资料标定的适用性。

试验 2~4 均为应用地面气象观测要素参考标定方案。主要差异在于温度垂直递减率的不同。其中试验 2 是应用同一温度垂直递减率,取气候平均状态的  $\gamma=0.6 K \cdot (100 m)^{-1}$ 。通过该试验分析单一温度垂直递减率可否满足要求。试验 3 中应用的是随高度变化的温度垂直递减率,这主要是因为对流层内各个高度上的气温直减率存在差异,如近地面数值大,在对流层中低层,温度垂直递减率随高度逐渐升高,在对流层高层又随高度减小<sup>[7]</sup>。试验 4 中应用的是随时间变化的温度垂直递减率。设计试验 3 和 4 是因为高度和季节都是影响温度垂直递减率的重要因素,从而进一步会影响到标定结果。试验 5 中应用的是随时间和高度同时更新的温度垂直

递减率。

### 3.2 试验结果分析

具体是以 2007 年北京探空站全年的 00 时逐日资料为例,从观测资料中取出标准等压面(1000、925、850、700、500、400、300、250、200 和 100 hPa)对应的高度值,分别利用上述 5 个试验方案得到对应的气压高度,再与探空测得的气压高度进行对比。以考察不同方法获得标定气压的情况。

结果如图 3 所示,这里只给出 850、500 和 300 hPa 的气压标定偏差结果,分别代表对流层低层、中层和高层的情况,限于篇幅,其他各层未画出。图中横坐标为 1 月 1 日到 12 月 31 日 365 天顺序标记,纵坐标为计算所得标定气压与观测气压的偏差,不同的符号代表 5 个不同试验的结果。

从图 3 中可以看出,试验 1 方案即气候值方案

在各种天气系统频发的对流层,多日偏差明显高于其他方案,尤其在 850 hPa 以下,偏差更是显著。在中层和高层,多日偏差仍异常偏大,大量日偏差在 15 hPa 以上,甚至达到 20 hPa 以上。这些异常偏差明显高于其他 4 种方案结果。究其原因,是由于在对流层,不同地区存在热力差异,在冷空气聚集的地区利于高压的形成,在暖空气聚集的地方利于低压的形成。因此,热力差异是引起气压差异的重要原因。利用统一的气候统计值难以反映出由于不同地区、不同时间热力差异引起的气压差异。VAD 风作为雷达观测的反演产品,资料的分布特点是主要集中在对流层,其有效资料分布在 15 km 以下,90% 以上资料集中在 10 km 以下,即主要分布在 200 hPa 以下。而气候赋值方法误差较多,不确定性

误差增加。因此这种方法,对于 VAD 这种资料难以满足气压定标需求。

而对于地面气象要素参考标定方案,试验 2~5 的结果显示,相对气候值方案标定中出现的大量异常偏差,明显减小。在 850 hPa 以下的低层,这四种方案标定的偏差均较小。

其中,试验 2 和 3 标定误差主要表现出随季节变化周期性增加,另一个是在不同高度上标定误差差别较大。1—3 月,呈现标定负偏差,且逐渐缩小。4—5 月,呈现标定负偏差,且逐渐增加,6—9 月,标定正负偏差互现,9—12 月,呈现标定负偏差,且逐渐增大。从全年来看,冬季的偏差偏大。试验 3 的结果相对试验 2 略有改善。但在中高层标定偏差的季节性偏差仍明显存在,冬季偏差问题未能有效解决。随时间变化的温度垂直递减率标定方案(试验 4)的结果显示,季节性偏差降低,标定偏差相对前 3 种试验方案减小。

随高度和时间同时更新的温度垂直递减率方案(试验 5)的结果显示,全年不同天气系统适应性增加,正负偏差分布均匀,偏差主要集中在 10 hPa 之内。偏差相对其他方案较小。

综上所述,从逐日偏差结果看,随高度和时间同时更新的温度递减率方案相对优于其他方案。

上述反映的是不同高度层次上全年逐日偏差结果,为进一步评价此结果,分别逐个层次计算均方根误差(见表 2)、绝对误差平均(见表 3)和误差极值(见表 4)。

表 2 所示结果为不同层次上均方根误差结果,表 3 所示结果为在不同层次上绝对误差平均结果,表 4 的结果是各个层次上偏差的极值结果。试验 1 的结果在中低层各个评价结果中均为最差。中低层的大偏差进一步反映了传统的方法不适用于 VAD 资料标定。试验 2 的结果相对试验 1 明显降低了误差,初步说明地面气象要素参考标定方案是可以降低标定误差的。进一步优化该算法的试验 3 中,因为采用了随高度更新的大气层结递减率,其结果较试验 2 略有改善。随时间更新温度递减率的试验 4 中,误差进一步降低,标定结果对季节变化较为敏感,随月份更新的递减率方案相对前几种方案明显改善。

而试验 5 因为应用了随高度和时间共同影响的温度垂直递减率,显示在均值误差、均方根误差等均降低,标定方案更为有效。误差均值结果的降低,反

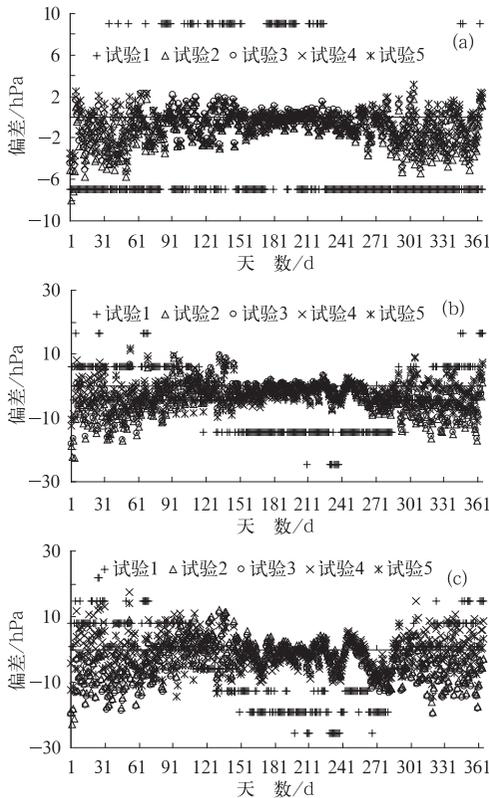


图 3 5 种气压标定方案标定

结果逐日偏差(单位: hPa)

(a) 850 hPa 偏差逐日分布图,

(b) 500 hPa 偏差逐日分布图,

(c) 300 hPa 偏差逐日分布图

Fig. 3 Pressure estimation daily deviations of the five experiments (unit: hPa):

(a) 850 hPa daily deviation, (b) 500 hPa

daily deviation, and (c) 300 hPa daily deviation

映了整体误差的减小。均方根误差的降低,说明了标定偏差的离散程度降低,极值的减小,进一步说明了该算法适应范围的扩大。

总之,通过上面试验分析显示,传统的气候统计值标定方案不适应雷达 VAD 资料的标定。通过地面气象要素参考标定方案可引入日变化的影响,通过标定偏差的一年逐日分布显示,随高度和时间逐

月同时更新的温度垂直递减率方案(试验 5)对全年不同的天气系统、天气条件具有较好的适应性。通过不同层次上多种方案的偏差逐日分布对比及均方根误差结果,随高度和时间逐月更新的温度垂直递减率的地面气象观测要素参考标定方案相比其他方案,有效控制了标定偏差。

**表 2 5 种试验方案均方根误差(单位:hPa)**  
**Table 2 The root-mean-square errors for the five experiments (unit: hPa)**

试验	1000	925	850	700	500	400	300	250	200	150	100
试验 1	7.06	8.62	6.52	6.13	10.03	11.23	11.81	11.76	10.06	7.48	4.38
试验 2	0.31	0.86	1.65	3.28	5.26	5.91	6.22	6.24	6.35	6.58	6.67
试验 3	0.30	0.80	1.56	3.10	5.03	5.70	6.03	6.04	6.08	6.21	6.23
试验 4	0.30	0.77	1.46	2.70	3.92	4.61	5.34	5.46	5.06	4.14	3.19
试验 5	0.30	0.72	1.38	2.57	3.70	4.19	4.47	4.22	4.03	3.26	2.40

**表 3 5 种试验方案绝对误差均值(单位:hPa)**  
**Table 3 The average absolute errors for the five experiments (unit: hPa)**

试验	1000	925	850	700	500	400	300	250	200	150	100
试验 1	8.38	4.96	7.46	5.36	9.54	10.19	10.54	10.43	9.01	6.78	3.77
试验 2	0.25	0.72	1.51	3.25	5.08	5.55	5.58	5.54	5.72	6.29	7.38
试验 3	0.25	0.65	1.31	2.78	4.87	5.80	6.00	5.70	5.41	5.43	5.55
试验 4	0.25	0.65	1.32	2.59	3.55	3.91	4.37	4.61	4.33	3.39	3.10
试验 5	0.25	0.59	1.16	2.32	3.46	3.94	4.16	3.89	3.56	3.02	2.46

**表 4 5 种试验方案误差极值(单位:hPa)**  
**Table 4 The extreme errors for the five experiments (unit: hPa)**

试验	1000	925	850	700	500	400	300	250	200	150	100
试验 1	22.75	17.10	22.58	16.58	24.52	24.03	25.52	28.11	25.51	19.23	8.82
试验 2	1.07	4.51	7.91	15.57	22.15	23.01	22.69	22.57	22.80	24.04	24.78
试验 3	1.05	4.37	7.65	15.18	22.54	24.31	24.58	24.04	22.75	21.27	18.11
试验 4	0.74	2.55	5.18	9.12	12.14	13.33	17.44	18.62	18.41	14.83	10.99
试验 5	0.71	2.20	4.31	8.34	12.44	13.28	14.40	14.15	12.32	10.47	7.12

#### 4 方案空间适应性试验分析

地面气象要素参考标定气压(温度垂直递减率随高度和时间更新)的方案,在上述试验中我们看到

了全年在不同高度层次上的结果。然而,这毕竟只是一个单站的结果,为检验这种方法在全国不同地区的普适性,分别以图 2 所示各站点,通过 2007 年逐日计算偏差来测试此种方法的适应性。年平均均方根误差见表 5,年平均相对均方根误差见表 6。

**表 5 全国分区站点标定结果均方根误差(单位:hPa)**  
**Table 5 Root-mean-square errors for representative sites over China (unit: hPa)**

气压/hPa	北京	榆中	南京	厦门	喀什	大连	那曲	贵阳
1000	0.25		0.29	0.30		0.37		
925	0.59		0.69	0.47		0.47		
850	1.16		1.15	0.78		1.03		0.00
700	2.32	1.28	1.99	1.19	1.85	2.35		0.69
500	3.46	3.37	2.98	2.11	3.96	4.00	1.48	2.35
400	3.94	4.04	3.48	2.64	4.52	4.67	3.25	3.31
300	4.16	4.59	3.95	2.95	4.85	4.97	4.51	3.97
250	3.89	4.53	4.11	2.87	4.80	5.19	4.93	4.05
200	3.56	4.30	3.99	2.79	4.17	4.98	5.07	3.88
150	3.02	3.88	3.55	2.59	3.72	4.17	4.87	3.48
100	2.46	3.31	3.06	1.94	3.06	3.12	3.72	2.92

表 6 全国分区站点标定结果相对均方根误差 (单位: %)

气压/hPa	北京	榆中	南京	厦门	喀什	大连	那曲	贵阳
1000	0.00		0.00	0.00		0.00		
925	0.00		0.00	0.00		0.00		
850	0.00		0.00	0.00		0.00		0.00
700	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00		0.01
500	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
400	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
300	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02
250	0.02	0.03	0.02	0.01	0.04	0.02	0.03	0.02
200	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02
150	0.03	0.04	0.03	0.02	0.05	0.03	0.06	0.02
100	0.03	0.05	0.03	0.04	0.07	0.02	0.09	0.03

表 5 和 6 所选取的 8 个站点,代表了我国不同的区域。从表中可以看出,这种方法在空间上的标定均方根误差和相对均方根误差在全国各地分布较均匀,偏差分布情况基本与北京站结果相当甚至更小。尤其在 VAD 资料较为集中的低层,偏差的均方根误差更小。相对均方根误差进一步表明,标定误差引起的影响很小。因此,该方案在我国各地具有较好的适用性,可作为 VAD 资料气压标定的方案应用。

## 5 结论与讨论

本文从业务应用实际出发,利用我国气象观测在雷达站附近配备地面观测这一特点,发展了以地面气象观测要素参考标定雷达 VAD 资料气压高度的方案,具体为在压高公式中引入多元大气温度递减方案,地面基础要素由雷达站点的地面自动气象观测站提供。温度垂直递减率根据雷达所在区域探空资料计算应用。解决了 VAD 资料只有几何高度而无气压高度的问题,拓宽了 VAD 资料的可用性。并通过试验分析,得到以下结论。

(1)利用我国雷达站附近配备地面自动观测站这一观测特点,提出将地面气象观测要素引入参考标定雷达 VAD 资料气压高度,因引入局地天气变化影响,相对传统气候统计标定方案,有效缩减标定误差。

(2)对于该标定方案中,核心问题就是温度垂直递减率的估算。以雷达站所在范围内的探空资料可计算出温度垂直递减率随高度和随时间的分布。对温度垂直递减率分布的规律进行了统计和分析应用。

(3)地面气象要素参考标定方案中,温度垂直递

减率的选择显著影响标定结果。分别通过常数温度递减率、随高度更新温度递减率、随时间更新温度递减率,以及随高度和时间同时更新的温度垂直递减率方案进行为期一年的适用性分析,结果显示:随高度和时间同时更新的温度垂直递减率的引入,标定误差相对最小。该方案在全国各地站点的试验表明,其标定的均方根误差在全国各地分布较为均匀,表明方案本身在我国各地具有较好的适用性。该方案可作为 VAD 标定方案使用。

(4)因为 VAD 资料气压标定的核心是气压标定是否准确,因此本文重点是验证 VAD 资料所在高度范围内不同高度对应气压标定的准确度,而未以实际 VAD 资料进行气压计算。

本文所述方案中与雷达探测时间分辨率较为匹配的地面气象要素可实时获取,历史探空资料可获得雷达局地的温度垂直递减率规律,因此该标定方案适应我国气象探测实际情况,易于实现,便于业务应用。另外,针对气压标定这一问题,如果推广应用到其他观测的气压标定上,也具有较好的参考意义。

## 参考文献

- [1] 张文建. 世界气象组织综合观测系统(WIGOS)[J]. 气象, 2010, 36(3): 2-8.
- [2] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊延南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 216-217.
- [3] 盛春岩, 刁秀广. 一次对流系统引起奥帆赛风速突然减小的多普勒雷达特征[J]. 气象, 2008, 34(5): 89-93.
- [4] 刘淑媛, 孙建, 郭卫东, 等. 多普勒雷达数据处理显示系统[J]. 气象, 2004, 30(7): 44-46.
- [5] 裘国庆, 陶士伟, 张耀堂, 等. 中期数值预报业务系统, 第一部分: 科学原理[G]. 北京: 国家气象中心, 1993: 1-17.
- [6] 许绍祖. 大气物理学基础[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 59-67.
- [7] 刁学贤. 青岛对流层气温的基本特征[J]. 山东气象, 1996, 16(1): 39-41.