

王学忠, 胡邦辉, 王举, 等. 探空气球漂移特征及对三角形法计算散度的影响. 应用气象学报, 2015, 26(3): 319-327.
doi:10.11898/1001-7313.20150307

探空气球漂移特征及对三角形法计算散度的影响

王学忠^{1)*} 胡邦辉¹⁾ 王举¹⁾ 黄泓¹⁾²⁾ 邹勋²⁾

¹⁾(解放军理工大学气象海洋学院, 南京 211101)

²⁾(南京大学大气科学学院, 南京 210093)

摘 要

利用2006—2013年南京站、安庆站和杭州站探空资料, 讨论华东地区探空气球的漂移特征。设计不考虑气球漂移、考虑全部气球漂移和考虑部分气球漂移3个试验, 比较3种情况下三角形法计算的散度差异。结果表明: 气球漂移主要受大气环流及其变化影响, 纬向上7月和8月气球随高度增加, 先向东漂移、后向西漂移, 其他月份以向东漂移为主, 冬季漂移距离大; 经向上受季风影响明显。考虑全部和部分气球漂移与不考虑气球漂移的散度对比表明, 平均绝对偏差各月在对流层顶附近均有极大值; 相对偏差季节分布明显, 前者在6—9月较大, 极大值略大于7%, 后者冬季大, 1月在200 hPa达到25%, 在50 hPa超过50%。因此, 利用三角形法计算散度所在层次较高或所使用资料中传统探空和特种探空并存时, 均需考虑气球漂移影响。

关键词: 三角形方法; 漂移订正; 散度; 非均一性

引 言

探空气球是无线电探空仪的运载工具, 一般认为探空过程中以定常速度上升, 高空气流使其产生漂移, 会离开测站垂直位置几十公里, 最大超过100 km^[1-2]。目前, 精细化预报是天气预报的重要发展方向, 气球漂移的水平尺度远大于精细化预报所要求的空间尺度, 因此, 必须重视气球漂移对天气预报的可能影响。

在气球漂移的气候统计方面, 陈哲^[3]分析2003年4月—2008年8月全国119个探空站资料, 指出探空气球的漂移距离冬季明显大于夏季; 一般漂移距离随高度增加而增大, 但在夏季南方地区由于风向随高度的反转会出现相反情况; 漂移方向冬季以向东为主, 夏季在对流层低层以向东为主, 在对流层高层和平流层, 我国北方地区漂移方向以向东为主, 而南方地区以向西为主。李伟等^[4]分析了2004年中国地区探空气球的漂移规律。Seidel等^[5]利用两

年419个站资料统计分析全球探空气球漂移距离和上升时间分布特征。

考虑气球漂移有利于改进数值模式结果, 研究表明: 气球漂移对降水预报^[2]、层状云降水过程^[6]和中尺度大风降温天气过程^[7]有重要影响。Laroche等^[8]指出气球漂移可严重影响平流层和对流层高层的数值预报效果, 相对于假设探空资料水平位置不随时间变化的情况, 考虑探测过程中观测位置四维变化导致温度的最大差别为0.6 K, 风速的最大差别为1.5 m·s⁻¹。

测站位置变化可导致资料的非均一性^[9-11], 而探空气球的漂移最大可达百公里量级, 是需要考虑的因素。另外, 观测手段的差异是非均一性的重要原因^[12-14], 除了常规探空资料外, 风廓线雷达资料和微波辐射计资料构成了特种探空资料, 可认为是瞬时实现的, 不存在观测位置的漂移问题。两种资料获取的过程和原理不同, 但有一定可比性。刘秉义等^[15]分析了2011年春季多普勒车载激光雷达与探空气球风廓线同步观测数据, 结果显示: 激光雷达与

2014-09-02 收到, 2015-01-05 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目(41375049, 41475070), 江苏省自然科学基金项目(BK20131431), 江苏省高校自然科学基金项目(12KJB170007)

* email: wxzplaut@163.com

探空气球廓线数据的风速均方根偏差为 $2.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。魏东等^[16]比较了2007年和2008年5—9月常规探空资料、特种探空资料以及模式滚动同化资料的差异,结果表明:特种探空和常规探空计算的热动力参量在强对流天气过程中表现基本一致。

计算风场空间导数是天气分析诊断的重要项目,包括两种方法:一种是将观测资料客观分析到规整网格点上,通过有限差分获得空间导数格点场,称为传统方法;另一种是采用三角形方法直接计算,取导数位于三角形重心,然后客观分析到规整网格上得到空间导数格点场,称为三角形法。Bellamy^[17]发展了直接利用观测资料计算风场空间导数(散度和涡度)模型,通过计算风场引起的三角形面积的变化率计算散度。Schaefer等^[18]采用围绕三角形线积分的方法估计三角形重心处的散度和涡度,表明三角形法优于传统方法。一些学者通过线性矢量点积函数计算涡度和散度^[19-20]。Doswell等^[20]指出三角形法在计算导数方面存在优势,主要原因是三角形法仅用3个站资料,而传统方法过多地利用了其他测站信息。上述方法均假设三角形的每个顶点的变量线性变化,因为这个共同的假设,这些方法在本质上相同^[21]。Spencer等^[22]证实了三角形法相对于传统方法计算空间导数的优势,并进一步指出,如果客观分析的目的是在较高精度上诊断风场的空间导数(如涡度、散度和变形场),除了三角形法之外别无选择。Spencer等^[23]设计了一种变分方法充分发挥传统方法和三角形法各自在标量客观分析和导数计算方面优势。

综上所述,三角形法相对于传统方法在计算空间导数方面存在优势。需要指出的是,由于大气本身运动的非均匀性和特种探空与传统探空资料的混合使用带来资料来源的差异,会使三角形法中的三角形顶点相对位置发生变化,进而产生与假定三角形顶点位置不变的散度计算偏差。这两种偏差来源前者一直存在,而后者面临的可能性越来越大。导致散度计算偏差的气球水平漂移特征及其影响是本研究要讨论的问题。

1 资料和方法

1.1 资料

采用国家气象信息中心提供的探空资料集,选取华东地区南京(58238)、安庆(58424)和杭州(58457)3个站(图1),资料时段为2006年1月—

2013年12月。2002—2004年我国开展了探空系统的升级工作^[24],由701-59型机械式探空仪系统升级为L波段雷达-电子探空仪系统,新系统对标量探测^[24-25]和风矢量测量^[26]有显著提升。华东地区这3个站在2006年前相继完成探空系统升级工作^[27-29],可认为新探空系统在统计时段中处于稳定运行状态。因此,本研究计算结果反映了当前探空业务系统中气球漂移对三角形法计算散度的影响。3个站的位置如图1所示,以其为顶点的三角形接近正三角形。

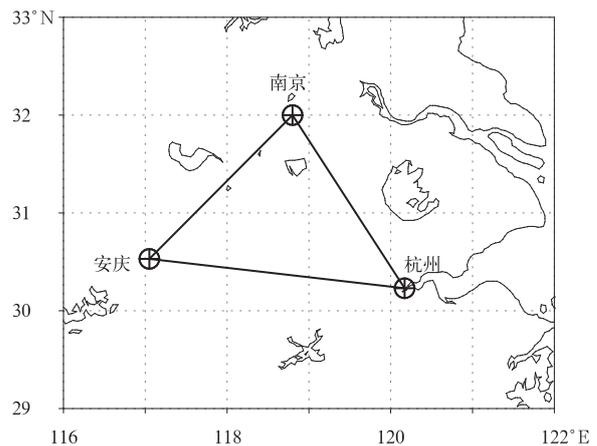


图1 南京站、安庆站和杭州站分布
Fig. 1 Location of Nanjing, Anqing and Hangzhou stations

1.2 方法

1.2.1 气球漂移和散度的计算方法

利用常规探空中标准等压面上的位势高度、风向和风速资料,取气球升速为常量($400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, 约 $6.67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),并假设气球在两层标准等压面层间以其平均速度运动,可计算气球各层相对于该站的累积漂移量,根据气球初始位置可得气球在各层上的坐标^[1-2]。

文献^[30]介绍了三角形法计算散度的基本原理。本文基于上述原理,根据3个站坐标位置和风速矢量,给出具体计算步骤。考虑到水平散度定义为三角形面积随时间的变化率,给定任意三角形 $\triangle ABC$,其顶点位置分别为 (x_A, y_A) , (x_B, y_B) 和 (x_C, y_C) 。可根据顶点位置计算其边长 a, b, c ,再计算三角形的面积

$$\sigma = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}, \quad (1)$$

其中, $p = \frac{1}{2}(a+b+c)$ 。

某个顶点风矢量对三角形的面积变化的贡献, 通过其平行于过该顶点高的风分量实现, 而垂直于高的风分量不会引起三角形面积变化。因此, 必须计算三角形的高矢量。取 $\triangle ABC$ 的 BC 边上的高矢量为 DA , 点 A 坐标已知, 需计算点 D 坐标 (x_D, y_D) 。考虑到点 D 在直线 BC 上, 且 $DA \perp BC$, 即 $DA \cdot BC = 0$, 可构建方程组

$$\begin{cases} (x_D - x_C)(y_B - y_C) - (y_D - y_C)(x_B - x_C) = 0, \\ (x_A - x_D)(x_C - x_B) + (y_A - y_D)(y_C - y_B) = 0; \end{cases} \quad (2)$$

得纵坐标

$$y_D = [y_A(y_B - y_C)^2 + y_C(x_B - x_C)^2 - (x_A - x_C)(y_B - y_C)(x_C - x_B)] / [(y_B - y_C)^2 + (x_B - x_C)^2]。 \quad (3)$$

三角形的两个顶点不重合, 所以式(3)分母不为 0, 有解。对于横坐标

$$\begin{cases} x_D = x_A, y_B = y_C; \\ x_D = \frac{(x_D - y_C)(x_B - x_C)}{(y_B - y_C)} + x_C, y_B \neq y_C。 \end{cases} \quad (4)$$

这样, 过顶点 A 的高矢量 DA 已知, 记为 H_A 。同理可计算过点 B 和点 C 的高矢量, 分别记为 H_B, H_C 。散度为

$$D = \frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dt} = \frac{V_A \cdot H_A}{|H_A|^2} + \frac{V_B \cdot H_B}{|H_B|^2} + \frac{V_C \cdot H_C}{|H_C|^2}。 \quad (5)$$

1.2.2 试验设计和主要统计量

设计 3 个试验讨论不同气球漂移对散度的影响。试验 I: 3 个站均不考虑气球漂移, 即计算散度时位置不变, 和气球释放(站点)位置相同, 与目前探

空资料使用中大多不考虑气球漂移处理方式一致。试验 II: 考虑全部气球漂移, 计算散度时使用的观测位置为气球释放位置加气球累积漂移量, 这种设定符合探空气球运动的真实物理过程。试验 III: 考虑部分气球漂移, 假设南京站气球无水平漂移, 代表特种探空, 其他两个站考虑气球漂移, 代表传统探空, 模拟资料来自不同类型探测设备的影响。

进行试验比对的统计量为常用统计量。这里, 平均绝对偏差为两个等长序列对应样本之差的绝对值的平均值, 反映了两个序列的接近程度。而求取平均绝对偏差的两个序列, 选其中一个作为参考序列, 计算参考序列样本的绝对值的平均值。平均绝对偏差除以上述平均值并以百分数表示, 称为相对偏差百分率, 简称相对偏差。

2 气球漂移特征及其对散度的影响

2.1 气球漂移特征

对 2006—2013 年资料进行统计分析。由于统计气球随高度的漂移量, 有效样本应包括高度、风向和风速, 对各个层次有效样本进行统计(图 2)。从总体上看, 样本量随高度减少。安庆站和杭州站约有 80% 的样本达到 20 hPa 高度, 3 个站在 20 hPa 高度上样本量大于 300。南京站在冬、春季和夏季 70 hPa 以上样本量少于其他两站。杭州站各层样本量最大, 安庆站次之, 南京站相对较少。

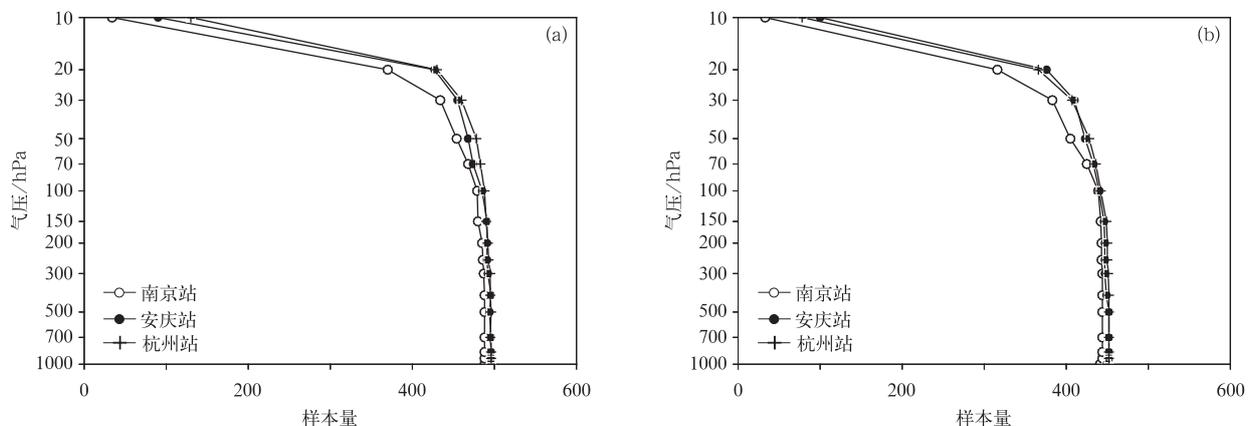
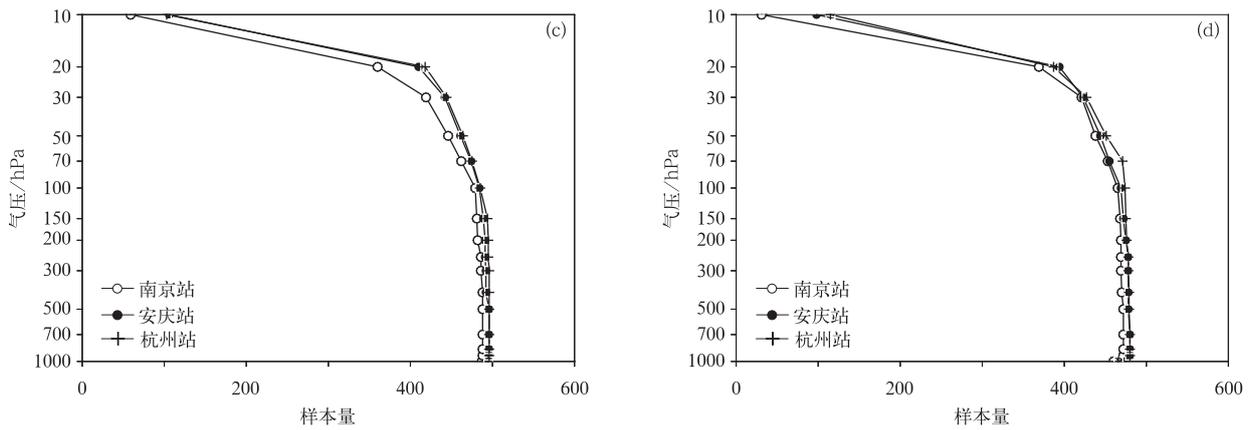


图 2 不同季节南京站、安庆站和杭州站探空资料样本量
(a)冬季, (b)春季, (c)夏季, (d)秋季

Fig. 2 The sample amount vertical distribution of Nanjing, Anqing and Hangzhou stations in four seasons
(a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn



续图 2

各站不同季节探空在各个高度上气球的最大漂移距离如图 3 所示。20 hPa 以下,各站最大漂移距离随高度的增加而增加,冬季 20 hPa 以下高层杭州站漂移距离最大,南京站次之,安庆站最小(图 3a)。

春季各站在 10 hPa 的最大漂移距离小于 20 hPa 的漂移距离(图 3b)。500 hPa 不同季节最大漂移距离约为 20 km。秋季整层最大漂移距离小于 150 km (图 3d),小于夏季的 150~170km(图 3c)、春季的

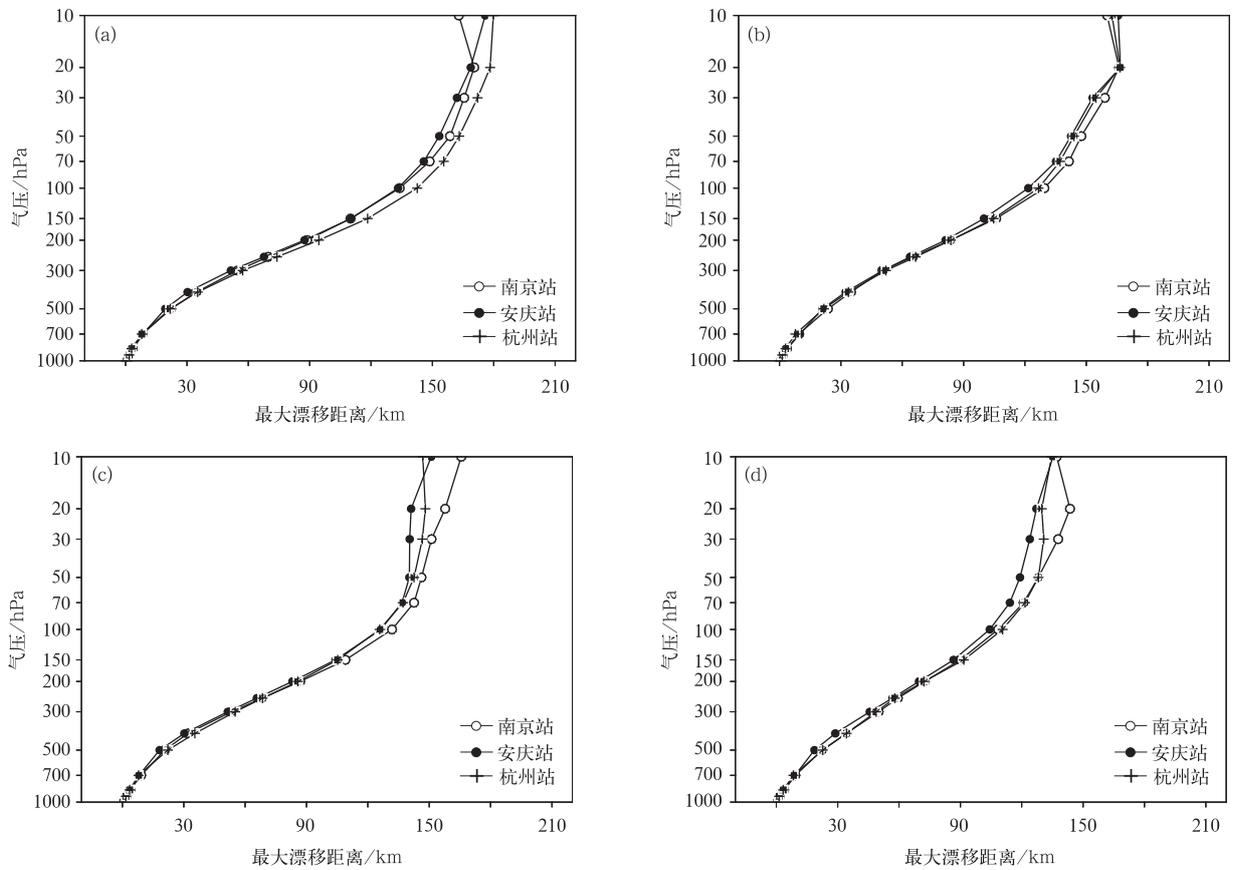


图 3 不同季节南京站、安庆站和杭州站探空气球最大累积漂移距离

(a)冬季, (b)春季, (c)夏季, (d)秋季

Fig. 3 The maximum horizontal drift distance accumulated from the balloon releasing level of Nanjing, Anqing and Hangzhou stations in four seasons

(a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn

160~170 km(图 3b)和冬季的 170~180 km(图 3a)。

图 4 给出了各站累积经向、纬向平均漂移位移和平均漂移距离。纬向上 3 个站均以向东漂移为主,在近地面层有向西漂移的薄层。3 个站 7 月、8 月在 700 hPa 以上气球漂移均随高度增加先向东漂移后向西漂移,表现出低层西风,高层东风。其他月份气球漂移距离随高度增加而增加,在冬季增加最为明显,表明高层为较强的西风所控制。经向上对

流层表现出季风影响,夏季气球向北漂移,其他月份向南漂移;100 hPa 以上的平流层气球则表现出与对流层相反的特征,夏季向南漂移,冬季向北漂移;9 月 3 个站气球整层平均向南漂移。气球平均水平漂移距离也存在明显的季节变化,7 月、8 月整层平均最大漂移距离约为 30 km,而冬季在 70 hPa 以上,漂移距离达到 100 km,甚至更大。

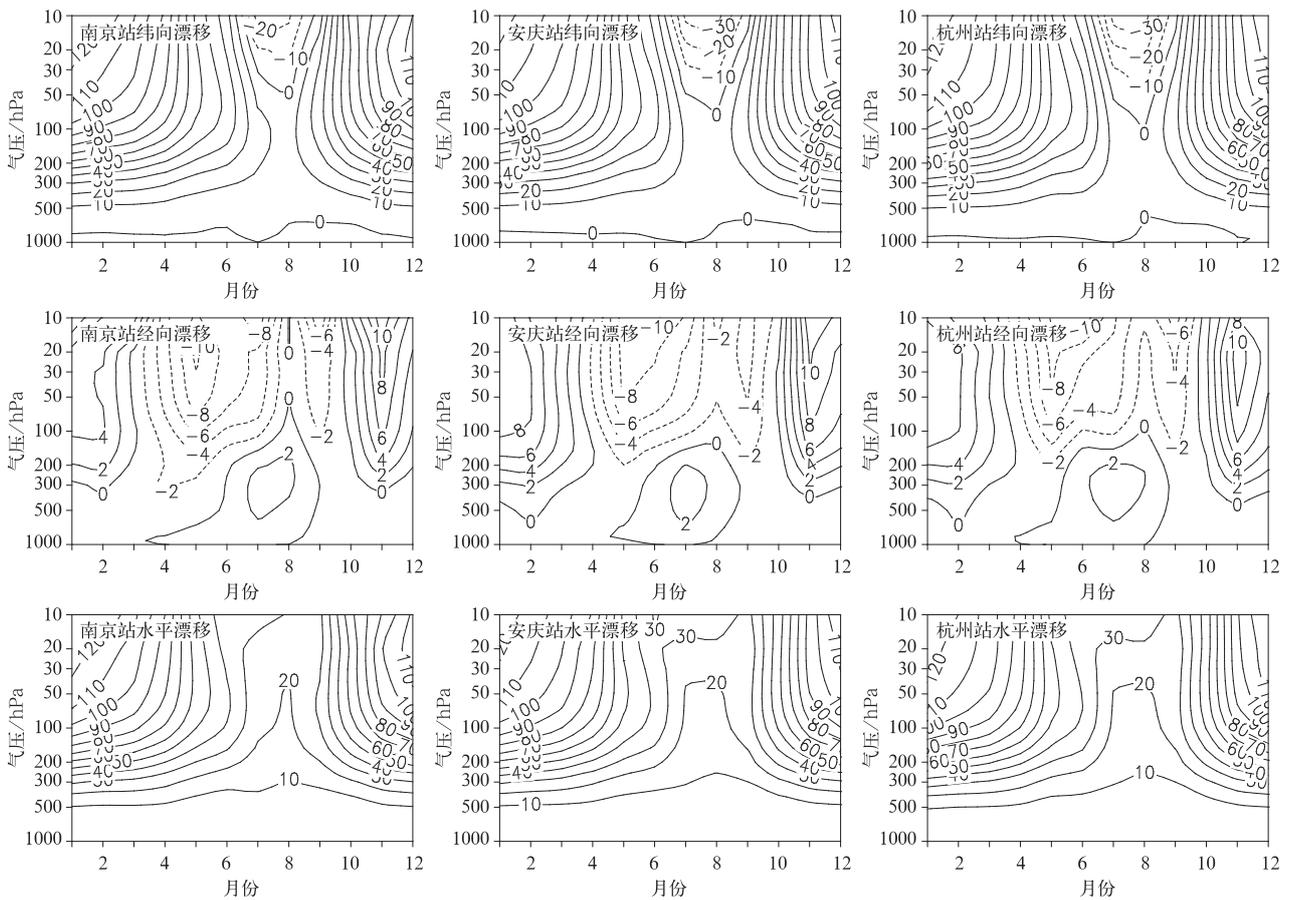


图 4 南京站、安庆站和杭州站探空气球漂移特征(单位:km)
(纬向负值表示向西漂移,经向负值表示向南漂移)

Fig. 4 Accumulated drift features from releasing level at Nanjing, Anqing and Hangzhou stations
(negative values denote westward and southward displacements corresponding to zonal and meridional directions)

2.2 气球漂移对散度计算的影响

图 5 给出了三角形法计算散度的年变化特征。图 5a 为计算的散度样本量,2 月和 9 月样本量最少。有时观测的场面气压低于 1000 hPa,这时在 1000 hPa 标准层上没有记录,导致夏季 1000 hPa 的样本量少于 925 hPa 样本量。由于各站样本量随高度减少(图 2),而三角形法计算散度要求 3 个站同时有数据,样本量随高度也有减小特征。从平均散

度看,试验 I、试验 II 和试验 III 总体形势上差别不大,近地面层散度较大,可能是边界层的摩擦作用所致。高层有 1 个个中心,位于 2 月 150 hPa 上空。夏季尤其是 7 月 3 个试验的平均散度均表现出低层辐合、高层辐散的垂直分布特征,时间上与 3 个站梅雨期有较好的对应。

为了突出 3 个试验方案计算散度的差别,图 6 给出了试验 II、试验 III 与试验 I 计算散度的平均绝

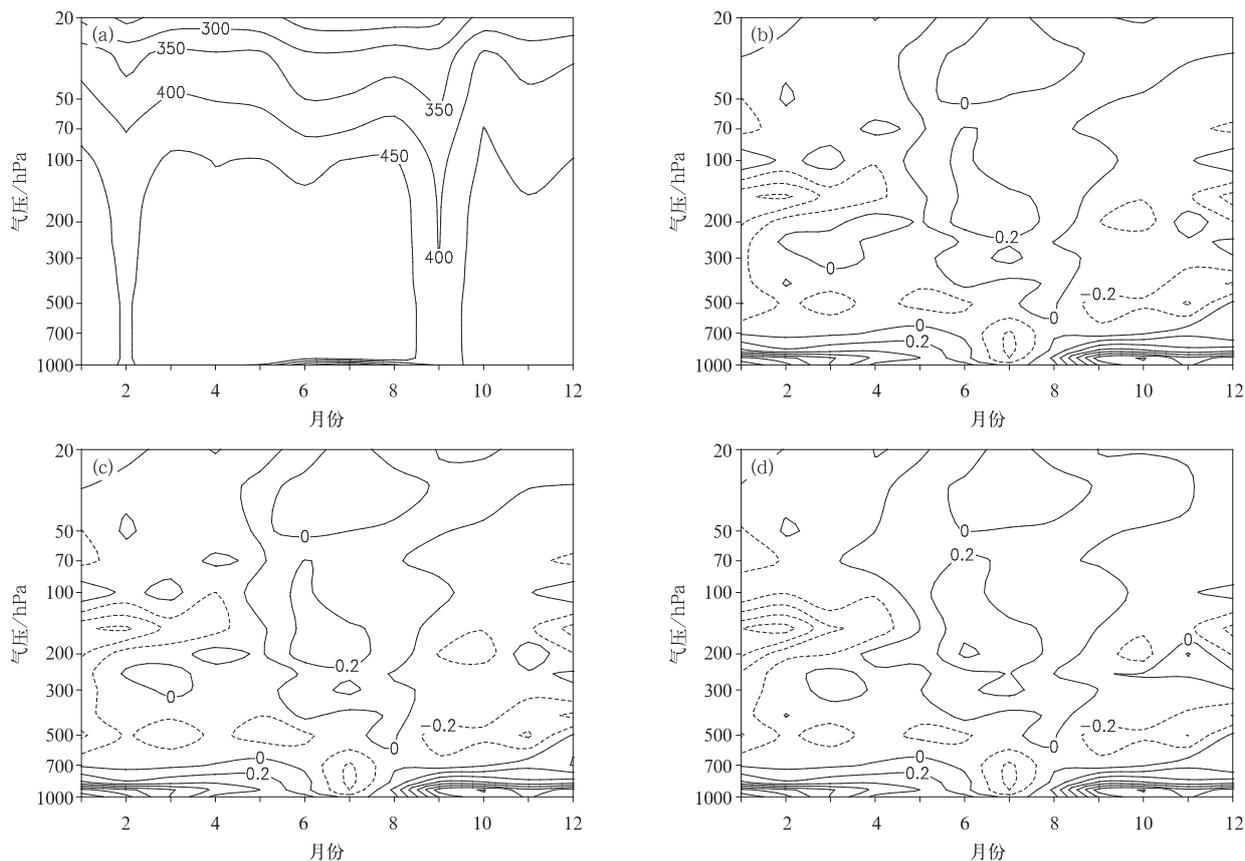


图5 三角形法计算各高度上的样本量和散度(单位: $10^{-5} s^{-1}$)年变化
 (a)样本量,(b)试验 I 计算散度,(c)试验 II 计算散度,(d) 试验 III 计算散度
 Fig. 5 The sample amount(a) and divergence(unit: $10^{-5} s^{-1}$) related to triangle method
 from experiment I (b),experiment II (c) and experiment III (d)

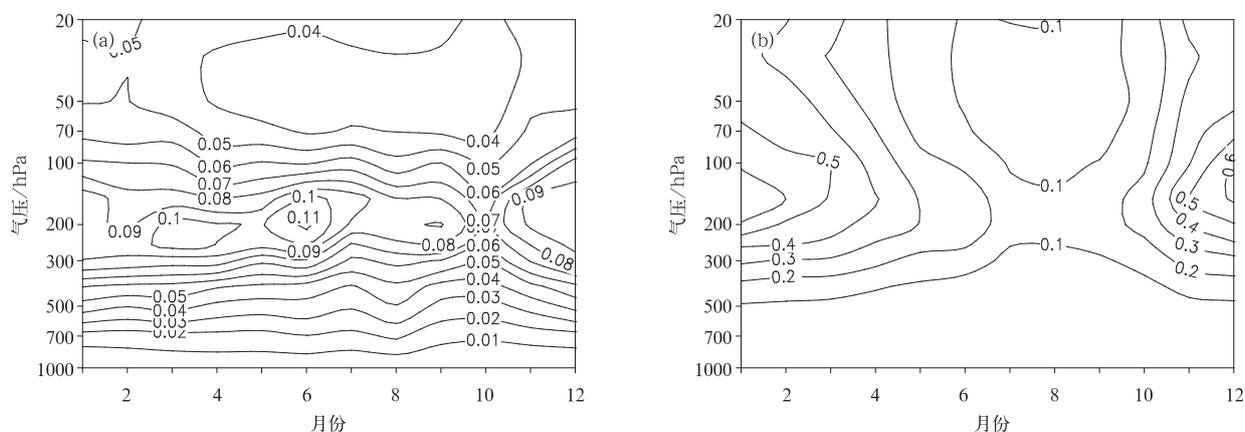
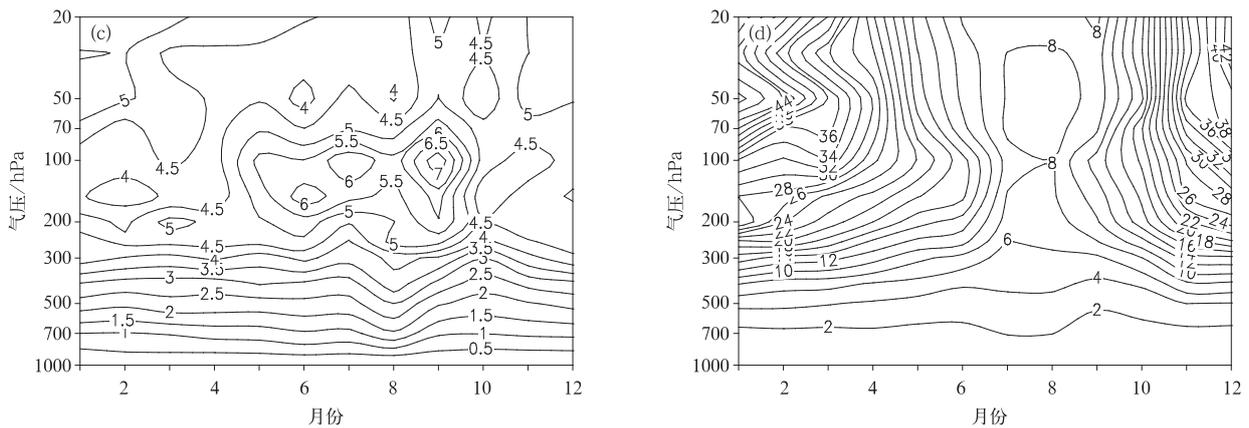


图6 三角形法计算散度的平均绝对偏差(单位: $10^{-5} s^{-1}$)和相对偏差(单位:%)
 (a)试验 II 平均绝对偏差,(b)试验 III 平均绝对偏差,(c)试验 II 相对偏差,(d)试验 III 相对偏差
 Fig. 6 Absolute differences(unit: $10^{-5} s^{-1}$) and relative differences(unit:%) of divergences
 calculated through triangle method of floating tests comparing to experiment I
 (a)absolute difference of experiment II ,(b)absolute difference of experiment III ,
 (c)relative difference of experiment II ,(d)relative difference of experiment III



续图 6

对偏差和相对偏差。平均绝对偏差分布总体上较为相似(图 6a 和图 6b), 200 hPa 附近有极大值, 其下层偏差随高度增加, 高层偏差随高度减小; 试验 II 的平均绝对偏差在 10 月存在极小值, 6 月存在极大值(图 6a); 试验 III 的平均绝对偏差在 8 月存在极小值(图 6b), 冬季平均绝对偏差最大。试验 II 的平均绝对偏差最大值为 $0.11 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 试验 III 的平均绝对偏差最大值为 $0.6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 相差近 5 倍。相对偏差也随高度增加, 试验 II 的最大值出现在 6—9 月 100~200 hPa 高度上, 极大值约为 7%(图 6c); 试验 III 的极大值出现在冬季, 1 月 50 hPa 以下相对偏差随高度增加而增大, 50 hPa 相对偏差超过 50%(图 6d), 7 月和 8 月的相对偏差较小, 整层最大不足 9%。这可能与气球累积漂移距离冬季大、夏季小有关, 冬季高层气球漂移距离大。试验 III 将南京站定为瞬时探空, 无气球漂移。其他两站的水平漂移大, 因此引起的面积变化率大, 导致相对偏差较大。500 hPa 试验 II 相对偏差平均值为 2%~2.5%, 试验 III 的平均值为 4%~5%, 相差 1 倍。

3 结 论

利用 2006—2013 年南京、安庆和杭州 3 个站的探空资料, 讨论了气球的漂移特征。设计了 3 个试验, 讨论气球漂移对三角形法计算散度的影响, 结果表明:

1) 气球漂移在纬向上, 7 月、8 月随高度增加, 先向东漂移、后向西漂移, 其他月份以向东漂移为主, 冬季漂移距离大; 经向上受季风影响, 在对流层夏季向北漂移, 冬季向南漂移; 100 hPa 以上的平流层低层相反, 夏季向南漂移, 冬季向北漂移; 最大平

均漂移距离在 7 月、8 月约为 30 km, 而冬季 100 hPa 以上, 漂移距离大于 100 km。

2) 考虑全部和部分气球漂移相对于不考虑气球漂移的平均绝对偏差随高度增加, 各月在 100~200 hPa 存在极大值。考虑全部气球漂移的相对偏差在 6—9 月达到最大, 极值为 7%; 考虑部分气球漂移, 即模拟资料非均一性与不考虑气球漂移的相对偏差较大, 在 7 月整层最大不超过 9%; 冬季最大, 1 月 200 hPa 达到 25%, 50 hPa 大于 50%。

3) 考虑全部气球漂移的影响时, 计算散度的 500 hPa 相对偏差为 2%~2.5%; 而考虑部分气球漂移对散度影响时相对偏差在 500 hPa 约为 4%~5%。两种试验方案的相对偏差在对流层随高度增加, 说明当三角形法计算较高层次的散度时, 需要考虑气球漂移的影响; 如果资料存在传统探空和瞬时探空两种来源, 由于计算的散度偏差更大, 必须考虑气球漂移的影响。

气球的空问漂移实际上是水平风场的垂直积分的总效应, 本研究以计算散度为例讨论了气球漂移的影响。另外, 也计算了气球漂移对涡度的影响, 两者特征较为相似, 即气球漂移对计算风场导数的影响具有一定的普遍性。需要指出的是, 假设南京站气球随高度不变进行瞬时探空模拟, 相当于假设瞬时探空与气球探空具有相同的误差分布特征。尽管有研究表明, 特种探空和传统探空资料具有一定的可比性^[15-16], 为这一假设提供了部分的依据, 但仍为理想化结果, 只具有定性的参考意义。

致 谢: 感谢国家气象中心和气象信息中心提供了中国气象观测网探空系统换代后的探空资料, 增加了本文对实际工作的参考意义。

参考文献

- [1] 李伟,王志文,谢庄,等. 高空探测资料气球漂移的计算方法. 应用气象学报, 2005, 16(6): 835-840.
- [2] 刘红亚,薛纪善,沈桐立,等. 探空气球漂移及其对数值预报影响的研究. 应用气象学报, 2005, 16(4): 518-526.
- [3] 陈哲. 中国探空气球水平漂移总体特征分析. 气象, 2010, 36(2): 22-27.
- [4] 李伟,李书严,王建凯,等. 中国地区高空气象探测气球空间漂移分析. 气象学报, 2010, 68(3): 421-427.
- [5] Seidel D J, Sun B, Petty M, et al. Global radiosonde balloon drift statistics. *J Geophys Res*, 2011, 116(D7), D07102, doi: 10.1029/2010JD014891.
- [6] 嵇磊,李伟,雷恒池,等. 探空气球漂移位置订正在 MM5 模式中的应用研究. 高原气象, 2008, 27(3): 668-676.
- [7] 嵇磊,黄梦宇,李书严,等. 探空气球漂移位置订正对一次大风降温过程的模拟研究. 气候与环境研究, 2012, 17(6): 848-854.
- [8] Laroche S, Sarrazin R. Impact of radiosonde balloon drift on numerical weather prediction and verification. *Wea Forecasting*, 2013, 28(3): 772-782.
- [9] 徐琼芳,高庆九,胡进甫,等. 潜江站迁站前后气候资料的均一性检验. 高原气象, 2011, 30(6): 1709-1715.
- [10] 魏娜,孙娴,姜创业,等. 台站迁移对陕西省气温资料均一性的影响及其偏差订正. 气象, 2012, 38(12): 1532-1537.
- [11] 周建平,孙照渤,倪东鸿,等. 中国气象台站迁移对年平均气温均一性的影响. 大气科学学报, 2013, 36(2): 139-146.
- [12] 王颖,刘小宁. 自动站与人工站观测气温的对比分析. 应用气象学报, 2002, 13(6): 741-748.
- [13] 胡玉峰. 自动与人工观测数据的差异. 应用气象学报, 2004, 15(6): 719-726.
- [14] 李小宁,任芝花,王颖. 自动观测与人工观测地面温度的差异及其分析. 应用气象学报, 2008, 19(5): 554-563.
- [15] 刘秉义,冯长中,陈玉宝,等. 车载测风激光雷达风廓线同步观测实验. 量子电子学报, 2013, 30(1): 52-56.
- [16] 魏东,孙继松,雷蕾,等. 三种探空资料在各类强对流天气中的应用对比分析. 气象, 2011, 37(4): 412-422.
- [17] Bellamy J C. Objective calculations of divergence, vertical velocity and vorticity. *Bull Amer Meteor Soc*, 1949, 30: 45-49.
- [18] Schaefer J T, Doswell III C A. On the interpolation of a vector field. *Mon Wea Rev*, 1979, 107(4): 458-476.
- [19] Zamora R J, Shapiro M A, Doswell III C A. The diagnosis of upper tropospheric divergence and ageostrophic wind using profiler wind observations. *Mon Wea Rev*, 1987, 115(4): 871-884.
- [20] Doswell III C A, Caracena F. Derivative estimation from marginally sampled vector point functions. *J Atmos Sci*, 1988, 45(2): 242-253.
- [21] Davies-Jones R. Useful formulas for computing divergence, vorticity, and their errors from three or more stations. *Mon Wea Rev*, 1993, 121(3): 713-725.
- [22] Spencer P L, Doswell III C A. A quantitative comparison between traditional and line integral methods of derivative estimation. *Mon Wea Rev*, 2001, 129(10): 2538-2554.
- [23] Spencer P L, Stensrud D J, Fritsch J M. A method for improved analyses of scalars and their derivatives. *Mon Wea Rev*, 2003, 131(11): 2555-2576.
- [24] 姚文,马颖,徐文静. L 波段电子探空仪相对湿度误差研究及其应用. 应用气象学报, 2008, 19(3): 356-361.
- [25] 马颖,姚雯,黄炳勋. 59 型与 L 波段探空仪温度和位势高度记录对比. 应用气象学报, 2010, 21(2): 214-220.
- [26] 姚雯,马颖,黄炳勋,等. 利用 GPS 定位资料分析 L 波段雷达测风性能. 应用气象学报, 2009, 20(2): 195-202.
- [27] 黄文杰,赵美,翟伶俐,等. 南京新旧探空系统资料差异分析. 科技通报, 2013, 29(2): 19-21.
- [28] 华行祥,朱兰娟,赵向荣. 新一代高空探测系统使用技巧和故障处理方法. 气象科技, 2006, 34(2): 197-198.
- [29] 崔世锋,吴月友,郑皖生. L 波段雷达气压高度与球坐标高度误差分析//第 28 届中国气象学会年会——S1 第四届气象综合探测技术研讨会. 2011.
- [30] 乔全明,阮旭春. 天气分析. 北京:气象出版社, 1988.

Features of Radiosonde Balloon Drifting with Impacts on Divergence Calculated by Triangle Method

Wang Xuezhong¹⁾ Hu Banghui¹⁾ Wang Ju¹⁾ Huang Hong¹⁾²⁾ Zou Xun²⁾

¹⁾ (*Institute of Meteorology and Oceanography, PLAUST, Nanjing 211101*)

²⁾ (*School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract

Traditional radiosonde balloon can float a long distance from its releasing place especially when reaching a high level above ground, while special radiosondes consisting of wind profiler and satellite remote sensing information are snapshots of atmospheric status and have no spatial drifts of particular location. The spatial derivatives (such as divergence) calculated through triangle method are closely related to the triangle's three-culminations position. The balloon floating and inhomogeneity introduced by the mixed use of data from traditional and special radiosondes can dramatically change the relative position of those culminations. The balloon floating feature and its impact on the divergence calculated through triangle method is a subject of potential application. Based on traditional radiosonde data of three stations in Eastern China, namely Nanjing, Anqing and Hangzhou with time coverage from 2006 to 2013, statistical features of balloon drift are investigated. And three experiments are designed to investigate how the balloon drifting impact the divergence computed through triangle method. The first experiment does not take the balloon drift into account, representing the traditional case which regards the radiosonde is right above the releasing point. The second experiment regards three balloons floating freely controlled by the atmospheric circumstance, which reflects the true physical processes of balloon motion. The third experiment is to simulate the inhomogeneity of traditional and special radiosondes: The balloon from Nanjing is assumed to have no horizontal motion as an analogue of special radiosonde and balloons from other two stations are freely floating as representatives of traditional radiosondes.

Result shows that the balloon floats eastward all year round except in July and August. The float distance is larger in winter contrast with other seasons, with its maximum of about 120 km. In July and August, the balloon floats eastward within the low level and change its direction to westward at higher level. In meridional direction, the balloon floats in the manner of monsoon. In tropospheres, it floats northward in summer and southward in winter. Above 100 hPa in stratosphere it floats oppositely, southward in summer and northward in winter. The whole layer maximum mean drift distance is about 30 km in July and August, and the distance is larger than 100 km in winter above 100 hPa. Divergence differences between the second and third experiments to the first experiment are researched. The absolute difference increases with the height and reaches its maximum between 200—100 hPa in each month. The second experiment's relative differences are larger from June to September, with the extreme value about 7%. Relative differences of the third experiment are larger than those of the second experiment. In July and August, the relative difference of the whole layer is slightly less than 9%. In winter months, they are larger contrast to other months, when the relative difference of the third experiment is 25% at 200 hPa and greater than 50% at 50 hPa in January. It indicates that when the divergence of high level is calculated through triangle method, the balloon drift should be taken into account. When both traditional and special radiosonde data are used, for the inhomogeneity of measurement causes large differences, the balloon drift must be considered.

Key words: triangle method; radiosonde balloon drift; divergence; inhomogeneity