

杨湘婧, 徐祥德, 陈宏尧, 等. L 波段探空高分辨率廓线中近地层信息分析及相关模型[J]. 气象, 2011, 37(12): 1504-1510.

# L 波段探空高分辨率廓线中 近地层信息分析及相关模型<sup>\*</sup>

杨湘婧<sup>1,2</sup> 徐祥德<sup>2</sup> 陈宏尧<sup>3</sup> 马舒庆<sup>4</sup> 陈渭民<sup>1</sup>

1 南京信息工程大学大气物理学院, 南京 210044

2 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

3 国家气象信息中心, 北京 100081

4 中国气象局气象探测中心, 北京 100081

**提 要:** L 波段高空气象探测系统的更新换代, 提高了大气探测精度, L 波段“秒级”数据为垂直高分辨率廓线探测信息的获取提供了气象要素再分析的基础平台。为了探讨 L 波段探空垂直高分辨数据应用的可行性, 考虑到用于对比分析的其他观测系统获取“秒级”“高时间密度”同步观测数据的设备条件, 本文重点选用了 JICA(中日气象灾害合作研究中心项目)PBL(行星边界层)通量铁塔梯度观测系统来进行对比分析, 并构造 L 波段探空再分析与通量铁塔近地层气象信息相关模型。研究表明, L 波段探空垂直高分辨率廓线近地层数据能够较好地描述大气边界层内近地层温、湿、压; 所建立的温、湿、压模型具有推算 PBL 铁塔近地层的温、湿、压的可行性。研究结论可为 L 波段高分辨率垂直廓线再分析平台及其对大气结构描述可行性提供具有应用价值的技术基础。基于 L 波段高分辨率垂直廓线再分析信息平台的构造, 将有助于开发全国 L 波段探空在数值模式应用方面的潜力, 推进探空垂直高分辨信息在数值模式同化系统中新技术的发展。

**关键词:** L 波段探空垂直高分辨率廓线, PBL 铁塔, 近地层, 误差分析, 相关模型

## The Analysis and Correlation Model of the Surface Layer Information in L-Band Radiosonde High Resolution Profile

YANG Xiangjing<sup>1,2</sup> XU Xiangde<sup>2</sup> CHEN Hongyao<sup>3</sup> MA Shuqing<sup>4</sup> CHEN Weimin<sup>1</sup>

1 School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

3 National Meteorological Information Centre, Beijing 100081

4 Meteorological Observation Centre of China Meteorological Administration, Beijing 100081

**Abstract:** The renewal of L-band upper-air meteorological sounding system increases the atmospheric sounding precision, and the L-band “seconds level” data offer the basis platform of “seconds level” meteorological element data reanalysis for the L-band vertical high resolution profile. In order to discuss the application feasibility of L-band sounding vertical high resolution data, considering the acquisition conditions of other observation system “high time density” synchronous observation data, this paper selects the JICA (Japan International Co-operation Agency) PBL (planetary boundary layer) flux tower gradient observation to compare with, and also constructs the correlation model of L-band sounding data and flux tower surface layer meteorological information. The result shows that the L-band sounding vertical high-resolution profile reanalysis surface data can preferably describe pressure, temperature, and humidity of the

\* 科技部国际合作项目(2009DFB20540), 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006009)和灾害性天气国家重点实验室自主研究项目(2009LASWZF02)共同资助

2011 年 2 月 14 日收稿; 2011 年 5 月 11 日收修定稿

第一作者: 杨湘婧, 主要从事大气遥感方面的研究. Email: jh\_yxj@163.com

surface layer; the pressure, temperature, and humidity models have the feasibilities of calculating PBL surface layer pressure, temperature, and humidity. It provides the scientific proof and technical basis for the development and application of L-band detection “seconds level” data. On the basis of constructing L-band high resolution vertical profile reanalysis platform, it will help to develop national L-band sounding application in numerical model and promote the new technical development of radiosonde vertical high resolution information in numerical model assimilation system.

**Key words:** L-band sounding high resolution profile, PBL flux tower, the surface layer, error analysis, correlation model

## 引 言

至今,全国业务探空站均已更新为 L 波段高空气象探测系统,总体性能优于 59-701 高空气象探测系统<sup>[1]</sup>,国内许多学者对其探测的准确性和稳定性均做了很多对比分析研究<sup>[2-7]</sup>。L 波段高空气象探测系统的更新换代,提高了大气探测精度,特别是可以提供密集的“秒级”数据,极大地增加了资料的可用率,“秒级”数据为垂直高分辨率廓线探测信息的获取提供了气象要素再分析的基础平台。目前对 L 波段常规探测数据的使用大多数情况仅限于以往业务上使用的标准层与特性层资料形式,而对 L 波段探测“秒级”数据的开发应用分析仍存在很大的局限性。应用 L 波段探测“秒级”数据需要解决诸多技术问题,其中包括目前 L 波段探测获取的数据是以仰角、方位、距离的方式提供风参数和位置数据的(2010 年起,给出了经过计算得到的风参数“秒级”数据),必须要经过计算后才能获得风参数<sup>[8]</sup>和位置数据;同时,L 波段探测目前获取数据是以秒数据的方式提供的,必须要将其处理成按用户需求的特定高度或气压间隔分布的分层数据后,才能方便气象分析、绘图、科学计算或模式应用;另外,L 波段气象探空“秒级”数据的动态变化范围大,尤其是测风数据变化更大,而且由于观测、计算、通信等环节还不

可避免地引入误差,因此以某一个秒数据作为某一个相应高度或气压层次的值就会造成很大误差,需要以一定的窗区时间间隔做滑动平均,才能平滑动态变化和有效降低随机误差,使获得的层次气象要素数据更具有代表性;再者,探测气象要素的感应元件对周围环境变化存在大约滞后几秒的响应时间,在 L 波段探测目前获取的数据中没有标明这种因素的影响,需要在资料处理时予以纠正。

## 1 L 波段探空垂直高分辨率廓线再分析技术

本文根据 L 波段探空垂直高分辨率廓线再分析技术方案对 L 波段探空“秒级”数据资料进行再分析,将该数据处理成每 20 m 间隔垂直高分辨率气象要素数据,并采用边界层塔观测系统顶层的 10 分钟间隔温、湿与气压要素与 L 波段探空垂直高分辨率廓线再分析 25 m 高度(第一层 20 m 加上天线的高度 5 m)数据进行对比分析,并获取两者相关模型。再进一步验证 L 波段探空垂直高分辨率廓线再分析数据对大气边界层内近地层气象要素的可描述性,探讨 L 波段“秒级”数据描述大气边界层结构、大气高分辨垂直特征的可行性。图 1 和图 2 为用 L 波段探空推算近地层要素的计算流程框图与用于相关分析的 L 波段探空与近地层气象要素观测系统示意图。

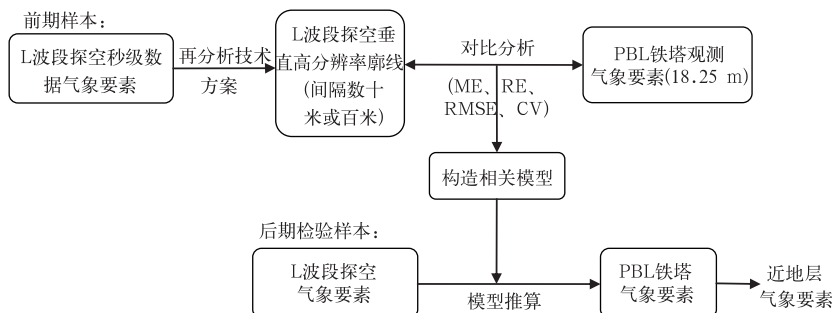


图 1 L 波段探空推算近地层气象要素计算流程框图

Fig. 1 Flow frame chart of L-band radiosonde data calculating the surface layer meteorological elements

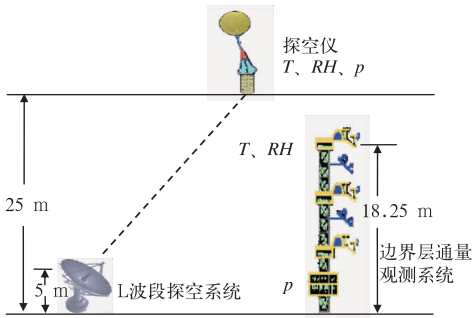


图 2 用于相关分析的 L 波段探空与近地层气象要素观测系统示意图

Fig. 2 The diagram of meteorological element observing systems from L-band sounding and surface layer flux tower

## 2 L 波段探空再分析边界层垂直高分辨率廓线

L 波段高空气象探测系统的现状可用以下参数来描述:L 波段频率范围为  $1671 \pm 1$  MHz;其测量精度:温度在  $-80 \sim 40^\circ\text{C}$  范围内小于  $0.2^\circ\text{C}$  (RMS);湿度在  $-25^\circ\text{C}$  以上为 5% (RMS), 在  $-25^\circ\text{C}$  以下为 10% (RMS);气压在  $1050 \sim 10$  hPa 范围内 500 hPa 以下为 2 hPa (RMS), 在 500 hPa 以上为 1 hPa (RMS);每一秒钟给出一组数据,涉及的要害有:采样时间、气温、气压、相对湿度、仰角、方位、距离、经度偏差和纬度偏差。

### 2.1 窗区时间间隔滑动平均

在气象探空观测中,探空气球施放要求平均升速为  $6 \sim 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,但 L 波段实测资料显示一般平均升速在  $3 \sim 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  左右,因此按 5 秒左右的窗区时间间隔,就是以探空气球上升大约  $15 \sim 25 \text{ m}$  的距离求平均比较合适。通常,窗区时间间隔值大易于减少动态起伏和有效降低随机误差,但是间隔值过大又会丧失动态信息,因此需要注意的是按照需求合理地设计窗区时间间隔值,以保证多个秒数据平均值仍然能够反映出气象业务和科研工作所需要的气象要素的动态变化情况。

### 2.2 感应元件的响应时间与秒数据平均选取

由于探测气象要素的感应元件对周围环境变化存在大约滞后几秒的响应时间,所以在计算某一个

层次气象要素值时,需要根据不同感应元件的响应时间(temperature  $< 2 \text{ s}$ , humidity  $< 1 \text{ s}$ , pressure  $< 1 \text{ s}$ )来选取合适的秒数据进行计算<sup>[9]</sup>,以温度为例,如选取窗区间隔为 5 秒,求第  $t$  秒的温度平均值时,就选用第  $t$  秒至  $(t+4)$  秒的 5 个秒级数据求平均,这就意味着在考虑了温度感应元件的响应时间后,实际上是选择了第  $t$  秒和其前后两个秒数据求平均。随着探测技术的不断进步,感应元件对周围环境变化的响应时间也会缩短,需要根据具体情况来区别对待。

### 2.3 气象要素组的海拔高度或气压层次定位

在气象探空观测中,探空气球施放后会随风漂流而偏离探空站点的位置。若将观测要素值当成在测站点上空来定位,则可能导致探空气球“飘移”的位置偏差,尤其对于中、小尺度天气系统来说,误差影响是不可忽略的。目前 L 波段气象探空秒数据资料提供了较精确的定位信息,所以保留相关信息在其资料处理时十分重要,这为未来在业务和科研应用软件系统改进和完善中提供了需要的定位信息,2010 年新版本的 L 波段探空数据处理软件已直接给出位势高度。本文由于处理的 L 波段探空数据为 2008 年数据,根据 L 波段秒数据中的仰角、方位和斜距可计算出相应的海拔高度,根据垂直高分辨率廓线分层的需求,获取各高度层定位及其气象要素组信息。

### 2.4 高度层次划分

在大气边界层研究中,所关注的高度范围是从测站地面到 2000 m 之间,并要求提供每间隔 20 m 一层的气象要素探测数据,这些要求就是我们确定分层间隔和资料处理范围的依据。根据设定的分层值,从通过计算得到的目标物海拔几何高度的秒数据值中查找与其最接近而且小于间隔值的秒数据位置,再选取该位置前后若干个秒数据求各个探测要素的平均值,以此作为在大气边界层研究中的各要素分层值。

## 3 L 波段探空再分析垂直高分辨率廓线与边界层近地层大气结构观测对比

### 3.1 资料介绍

考虑到用于对比分析的其他观测系统获取“秒

级”“高时间密度”同步观测数据的设备条件,本文选取中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室“JICA 中日气象灾害合作研究中心”项目数据集<sup>[10]</sup>中 2008 年三个观测试验阶段中的温江站的 L 波段探空再分析垂直高分辨率廓线 25 m 高度的温、湿、气压数据(下面简称 L 波段探空再分析数据),以最靠近该时间段的 PBL 铁塔梯度观测系统的第 4 层(18.25 m)10 分钟平均温、湿数据以及涡动相关系统观测的地面气压(5 m)(下面简称 PBL 铁塔观测数据)为基准,来进行对比分析。L 波段探空为 1 天两次,球到达 20 m 高度的时间大致为 7 时 15 分(世界时,下同)左右与 19 时 15 分左右。三个试验阶段分别为 2008 年 3 月 7—16 日,2008 年 5 月 7—16 日和 2008 年 6 月 20 至 7 月 19 日。

### 3.2 天气背景

2008 年 3 月 7—16 日:降水日比例为 4/10,4 天均为小雨,有低云即算一低云日,低云日比例为 4/10,低云量均小于 2.5 成;5 月 7—16 日:降水日比例为 3/10,3 天均为中雨,低云日比例为 6/10,低云量均小于 3 成;6 月 20 日至 7 月 19 日:降水日比例为 12/30,其中 7 月 14 和 15 日有大到暴雨,其他均为小雨,低云日比例为 17/30,低云量均小于 2.5 成。

### 3.3 误差对比分析

计算平均误差 *ME*、相对误差 *RE*、均方根误差 *RMSE*、离散系数 *CV*、相关系数 *CC*,分别采用如下公式:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \quad (1)$$

$$RE = \frac{|ME|}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i} \quad (2)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$CV = \frac{RMSE}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i} \quad (4)$$

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

式中,  $x_i$  为 L 波段探空再分析数据,  $y_i$  为 PBL 铁塔

观测数据。

### 3.4 误差检验

为了保证样本的数量,由第一、二阶段(2008 年 3 月 7—16 日和 2008 年 5 月 7—16 日 20 天共 40 个样本)的 L 波段探空再分析数据与准同步的 PBL 铁塔观测数据组合和第三阶段(2008 年 6 月 20 日至 7 月 19 日 30 天共 60 个样本)的 L 波段探空再分析数据与准同步的 PBL 铁塔观测数据作为两组样本(下面分别称之为第一组样本和第二组样本)分别来对比分析 L 波段探空再分析垂直高分辨率廓线近地层数据与 PBL 边界层铁塔近地层观测 10 分钟间隔数据。图 3a~3c 分别为第一组样本(3 月 7—16

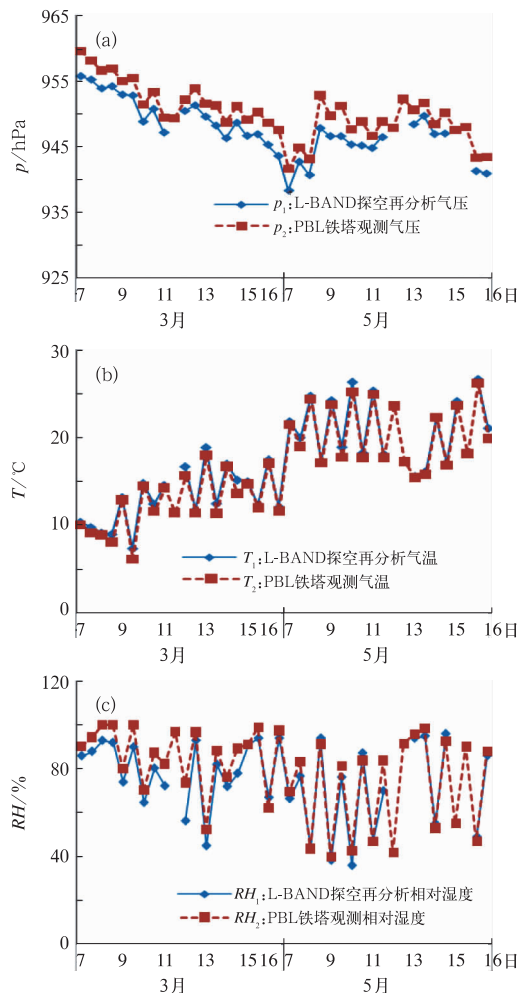


图 3 第一组样本(2008 年 3 月 7—16 日和 5 月 7—16 日) L 波段探空再分析与 PBL 铁塔观测的气压(a, 单位:hPa)、气温(b, 单位:℃)和相对湿度(c, 单位:%)对照图 Fig. 3 Comparisons of pressure (a, unit: hPa), temperature (b, unit: °C), and relative humidity (c, unit: %) between L-band sondes reanalysis data and PBL observation data in Sample 1 time interval: 7—16 March, 7—16 May 2008

日和 5 月 7—16 日) L 波段探空再分析与 PBL 铁塔观测的气压、气温、相对湿度对照图, 第二组样本的(6 月 20 日至 7 月 19 日) L 波段探空再分析与 PBL 铁塔观测对照图略。

由图 3 可以看出, 第一组样本的 L 波段探空再分析近地层数据与 PBL 铁塔观测数据的温、压、湿的趋势一致, 第二阶段(5 月)比第一阶段(3 月)效果更好一些。分析说明 L 波段探空再分析数据能够较好地描述大气边界层近地层的温、压、湿气象要素信息, 但其中铁塔观测数据地面气压值与 L 波段再分析数据 25 m 高度气压值存在一定差异。

本文计算了第一、二组样本的压、温、湿的平均误差、相对误差、均方根误差、离散系数以及相关系数(见表 1 和表 2), 样本数为除去缺测后的样本数。第一组样本, L 波段探空再分析的气压与 PBL 铁塔观测数据的均方根误差为 2.81 hPa, 平均误差为 -2.7034 hPa, 相对误差为 0.3%, 离散系数为 0.003, 相关系数为 0.983; 气温的均方根误差为 0.67℃, 平均误差为 0.5492℃, 相对误差为 3.3%, 离散系数为 0.0405, 相关系数为 0.9974; 相对湿度的均方根误差为 6.53%, 平均误差为 -4.3058%, 相对误差为 5.5%, 离散系数为 0.0829, 相关系数为 0.965。第二组样本可见, L 波段探空再分析的气压与 PBL 铁塔观测数据的误差在 2.34 hPa, 平均误差为 -2.1639 hPa, 相对误差为 0.23%, 离散系数为 0.0025, 相关系数为 0.8894; 气温的均方根误差为 0.71℃, 平均误差为 0.5806℃, 相对误差为 2.4%, 离散系数为 0.029, 相关系数为 0.9927; 相对湿度的均方根误差为 5.56%, 平均误差为 -3.0559%, 相对误差为 4.0%, 离散系数为 0.0724, 相关系数为 0.9732。

表 1 第一组样本(2008 年 3 月 7—16 日和 5 月 7—16 日) L 波段探空再分析与 PBL 铁塔观测的气压、气温和相对湿度的样本数、平均误差、相对误差、均方根误差、离散系数以及相关系数

Table 1 The sample number (SN), mean error (ME), relative error (RE), root-mean-squared errors (RMSE), coefficient of variance (CV) and correlation coefficient (CC) of pressure, temperature, relative humidity between L-band radiosonde reanalysis data and PBL observation data in Sample 1 (7-16 March, and 7-16 May 2008)

变量名	气压	温度	相对湿度
样本数(SN)	35	36	35
平均误差(ME)	-2.7034 hPa	0.5492℃	-4.3058%
相对误差(RE)/%	-0.3	3.3	5.5
均方根误差(RMSE)	2.81 hPa	0.67℃	6.53%
离散系数(CV)	0.003	0.0405	0.0829
相关系数(CC)	0.983	0.9974	0.965

表 2 第二组样本(2008 年 6 月 20—7 月 19 日) L 波段探空再分析与 PBL 铁塔观测的气压、气温和相对湿度的样本数、平均误差、相对误差、均方根误差、离散系数以及相关系数

Table 2 As in Table 1, but for Sample 2 (20 June-19 July 2008)

变量名	气压	温度	相对湿度
样本数(SN)	46	47	46
平均误差(ME)	-2.1639 hPa	0.5806℃	-3.0559%
相对误差(RE)/%	0.23	2.4	4.0
均方根误差(RMSE)	2.34 hPa	0.71℃	5.56%
离散系数(CV)	0.0025	0.029	0.0724
相关系数(CC)	0.8894	0.9927	0.9732

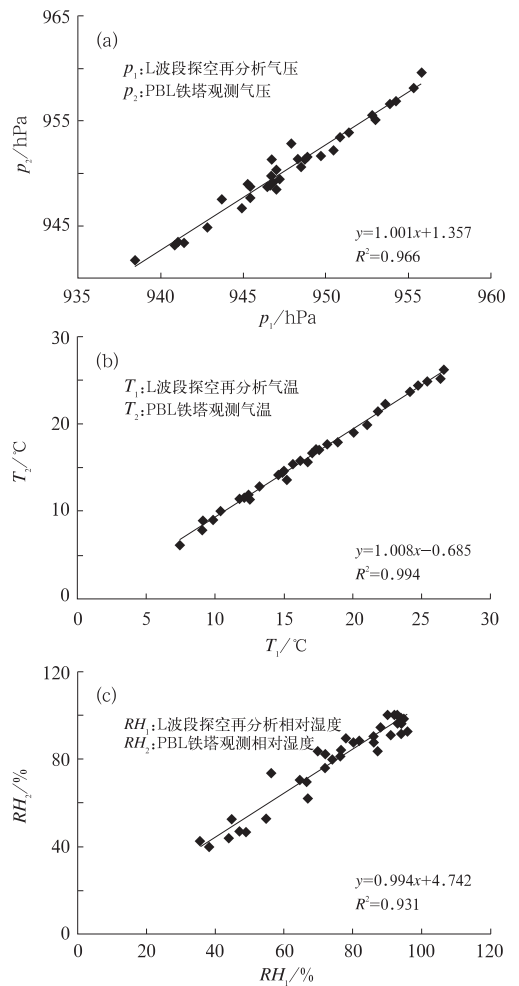


图 4 (a)~(c)为第一组样本(2008 年 3 月 7—16 日和 5 月 7—16 日) L 波段探空再分析与 PBL 铁塔观测的气压(a)、气温(b)和相对湿度(c)相关散点图  
Fig. 4 Relative scatter plots of pressure (a, unit: hPa) temperature (b, unit: °C), relative humidity (c, unit: %) between L band radiosonde reanalysis data and PBL observation data in Sample 1 (7-16 March, and 7-16 May 2008)



## 4 L 波段探空再分析数据与边界层铁塔观测数据的相关模型

相关分析:相关分析是用相关系数( $r$ )来表示 2 个变量间相互的直线关系,为了更好地确立 L 波段探空再分析数据与 PBL 铁塔观测数据的关系,由于第一组样本的相关性比第二组好,本文用第一组样本(3 月 7—16 日和 5 月 7—16 日)建立线性相关模型,用相关分析方法来对比分析。

经显著性检验,第一组样本 L 波段探空再分析 25 m 数据与铁塔观测系统第四层(18.25 m)观测数据建立的压、温、湿模型相关系数(见表 1),均超过了  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。表明,L 波段探空

再分析 25 m 数据与铁塔 18.25 m 观测的压、温、湿存在显著的正相关关系,可以建立两者的模型。

所建立的模型如下:图 4a~4c 为以第一样本 L 波段探空再分析与 PBL 铁塔观测的压、温、湿相关散点图,图中的公式为各要素的模型公式。

## 5 模型检验

为了检验模型的稳定度,把第二样本(6 月 20 日至 7 月 19 日)的 L 波段探空再分析 25 m 压、温、湿数据代入上面构造的模型,将统计模型推算的 PBL 压、温、湿数据与同时刻的 PBL 观测压、温、湿数据作对比分析。图 5a~5c 为代入模型的推算的 PBL 压、温、湿数据与同时段的 PBL 铁塔观测的

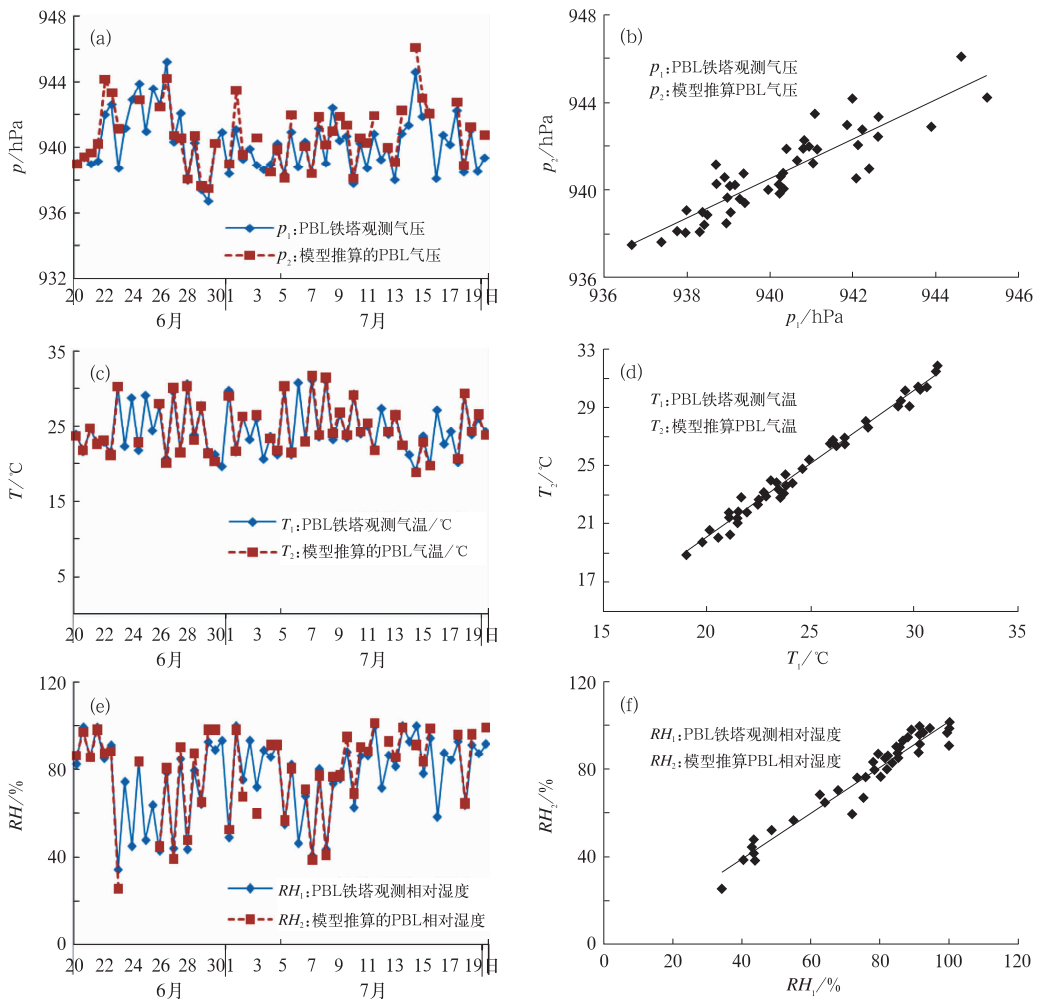


图 5 把第二样本(2008 年 6 月 20 日至 7 月 19 日)的 L 波段探空再分析数据代入模型推算的 PBL 气压(a)、气温(c)和相对湿度(e)与同时段的 PBL 铁塔观测对照图(左列)

把第二样本(2008 年 6 月 20 日至 7 月 19 日)的 L 波段探空再分析数据代入模型推算的 PBL 气压(b)、气温(d)和相对湿度(f)与同时段的 PBL 铁塔观测散点图(右列)

Fig. 5 Comparisons of pressure (a, unit: hPa), temperature (c, unit: °C) and relative humidity (e, unit: %) between PBL model calculated data and observation data (20 June—19 July 2008) (left); scatter plots of pressure (b, unit: hPa) temperature (d, unit: °C) and relative humidity (e, unit: %) between PBL model calculated data and observation data (20 June—19 July 2008) (right)

10 分钟压、温、湿数据对照图及相关图。由图 5 可以看出,模型推算的 PBL 压、温、湿与 PBL 实际观测值的趋势还是很一致的。

表 3 为把第二样本(6 月 20 日至 7 月 19 日)的 L 波段探空再分析 25 m 压、温、湿数据代入统计模型推算得到的 PBL 压、温、湿数据与同时刻的 PBL 铁塔观测压、温、湿数据的平均误差、均方根误差、除去缺测的样本数与相关系数。两者压、温、湿的平均误差分别为 0.5067 hPa、0.0968℃和 1.2537%,相对误差分别为 0.05%、3.9%和 1.63%,均方根误差分别为 1.02 hPa、0.43℃和 4.76%,离散系数分别为 0.0011、0.0173 和 0.062,相关系数分别为 0.8894、0.9927 和 0.9732,压、温、湿的相关系数均超过了  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。

表 3 把第二样本(6 月 20 日至 7 月 19 日)的 L 波段探空再分析数据代入模型推算的 PBL 压、温、湿与同时刻的 PBL 系统观测温、压、湿的样本数、平均误差、均方根误差、离散系数与相关系数

Table 3 The sample number (SN), mean error (ME), relative error (RE), root-mean-squared errors (RMSE), coefficient of variance (CV) and correlation coefficient (CC) of pressure, temperature and relative humidity between PBL model calculated and observation (20 June—19 July 2008)

变量名	气压	温度	相对湿度
样本数(SN)	46	47	46
平均误差(ME)	0.5067 hPa	0.0968℃	1.2537%
相对误差(RE)/%	0.05	0.39	1.63
均方根误差(RMSE)	1.02 hPa	0.43℃	4.76%
离散系数(CV)	0.0011	0.0173	0.062
相关系数(CC)	0.8894	0.9927	0.9732

## 6 结 论

本文采用 JICA 项目中 3 个观测试验阶段(分别为 2008 年 3 月 7—16 日,2008 年 5 月 7—16 日和 2008 年 6 月 20 日至 7 月 19 日)温江站的 L 波段探空垂直高分辨率廓线再分析 25 m 高度压、温、湿要素与准同步的边界层铁塔观测系统顶层的压、温、湿要素进行对比分析,获取了两者压、温、湿的相关模型,并进行了模型检验,得到了以下结论。

(1)L 波段探空再分析垂直高分辨率廓线近地层数据与 PBL 边界层铁塔近地层数据对比分析结果表明,第一组样本(2008 年 3 月 7—16 日和 5 月 7—16 日)与第二组样本(2008 年 6 月 20 日至 7 月 19 日)的气压、温度、相对湿度,两者相关系数均超过了

$\alpha=0.05$  的显著性水平检验。整体看来,L 波段探空再分析近地层的气压相对误差小于 0.5%,温度相对误差小于 3.5%,而相对湿度的相对误差小于 6%,由此可见,L 波段探空再分析近地层的压、温、湿已经能够较好地描述大气边界层的压、温、湿。

(2)本文用前期样本(2008 年 3 月 7—16 日和 5 月 7—16 日)建立了 L 波段探空再分析近地层数据与 PBL 边界层铁塔近地层 10 分钟数据的相关模型,并采用模型对后期 L 波段探空资料(2008 年 6 月 20 日至 7 月 19 日)推算获取 PBL 气象要素数据,推算值与 PBL 观测实测值的相关系数均超过了  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验,其气压、气温、相对湿度的相对误差均低于 2%。说明模型具有推算 PBL 近地层塔顶高度的压、温、湿要素的可行性。

(3)通过本文上述相关模型的检验,为边界层通量塔观测与 L 波段垂直高分辨率廓线建立相关模型提供了重要科学依据。

研究结论可为 L 波段高分辨率垂直廓线再分析平台及其对大气结构描述可行性提出了具有应用价值的技术基础。本文研究表明,基于 L 波段高分辨率垂直廓线再分析信息平台的构造,将有助于开发全国 L 波段探空在数值模式应用的潜力,推进探空垂直高分辨信息在数值模式同化系统中新技术的发展。

## 参 考 文 献

- [1] 李伟,李书严,陶士伟,等. L 波段高空气象探测系统性能评估[J]. 仪器仪表学报,2008,29(4):732-735.
- [2] 黄炳勋,郭亚田,陶士伟,等. L 波段雷达-电子探空仪系统探测资料质量分析[R]. 北京:中国气象学会,2003.
- [3] 陶士伟,陈晓红,龚建东. L 波段探空仪温度资料误差分析[J]. 气象,2006,32(10):46-51.
- [4] 姚雯,马颖. 用 GPS 定位数据研究 L 波段雷达-数字探空仪系统的测高误差[J]. 气象,2009,35(2):88-93.
- [5] 李伟,邢毅. 国产 GTS1 探空仪与 VAISALA 公司 RS92 探空仪对比分析[J]. 气象,2009,35(10):97-102.
- [6] 王荣基,李君. L 波段高空气象探测系统气压、高度观测数据分析[J]. 气象科技,2009,37(1):106-109.
- [7] 孟昭林,李雁,陈挺,等. 综合气象观测系统业务运行综合评估技术研究[J]. 气象,2011,37(2):219-225.
- [8] 王緬,李伟,陈永清,等. L 波段探空系统高空风计算方法探讨[J]. 气象,2011,37(1):85-91.
- [9] 李伟,李峰,赵志强. L 波段气象探测系统建设技术评估报告[M]. 北京:气象出版社,2009:88.
- [10] Xu Xiangde, Zhang Renhe, Toshio K, et al. A new integrated observational system over the Tibetan Plateau[J]. Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS), 2008, October:1492-1496. doi:10.1175/2008BAMS2557.1.