

# 遥感大气结构的地基 12 通道微波辐射计 测量结果分析

刘红燕, 李 炬, 曹晓彦, 熊 斌

(中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089)

**摘要:** 用地基 12 通道微波辐射计在北京地区做了为期 1 年(2005 年 8 月~ 2006 年 8 月)的测量, 测量得到的水汽总量与探空资料得到的水汽总量的相关系数在 0.97 以上。由神经网络反演得到的温度、湿度和水汽廓线与探空得到的结果, 按照春、夏、秋、冬 4 个季节做了对比分析。同时分析了在 2006 年 4 月 17 日北京发生沙尘暴期间, 微波辐射计观测的总水汽量的变化特征以及反演得到的各种廓线结构特征。发现在沙尘暴发生期间, 北京的水汽总量出现明显增长, 其最大值达到 2.25 cm, 而 2006 年 4 月份的平均总水汽量为 1.057 cm。且发生沙尘暴期间北京地面到 1 km 高度范围内温度升高, 即发生沙尘暴时, 边界层的热力结构也发生了变化。这些特征变化, 地基 12 通道微波辐射计都可以观测得到。

**关键词:** 地基 12 通道微波辐射计; 探空; 水汽总量; 廓线

**中图分类号:** TP 732.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1004-0323(2007)02-0222-08

## 1 引 言

探空是测量大气温度、气压、风和水汽等廓线的最基本方法。但是在测量精度、费用以及时间连续性等方面存在诸多局限性。地基遥感可以获得相对连续的观测数据<sup>[1,2]</sup>。地基遥感有主动遥感与被动遥感, 它们各自有其优点和缺点。主动遥感的仪器费用高而且需要看护, 被动遥感的仪器结构相对比较简单, 可以无人看守地观测。但被动遥感观测得到的廓线结构比主动的粗糙。将主动遥感与被动遥感联合来探测大气的结构特征, 被认为是非常有前途的研究方向<sup>[3]</sup>。现在这种联合观测的实验研究工作已经在全世界展开了<sup>[4-6]</sup>。其中被动遥感观测温度和湿度的技术主要有: 微波辐射计<sup>[7]</sup>和傅立叶转换红外发射谱仪器<sup>[8,9]</sup>。傅立叶转换红外发射谱仪器能够获得无云情况下的温度和水汽廓线。而无人看守的地基微波辐射计可以获取得到连续的温度、水汽等廓线。微波辐射计得到的温度、相对湿度、水汽廓线可以用于: 天气预报、监测飞机结冰、决定飞行轨迹和声传播的密度廓线、卫星定位和 GPS 测量、估计和预测无线通讯连接的衰减以及水汽密度的测量等。

目前为了提高短期预报和空气污染的控制能力, 得到连续的大气垂直结构是非常重要的。而可以获取得到连续的温度、相对湿度、水汽以及液态水等廓线的地基微波辐射计在这方面的观测被认为是非常有价值的。中国气象局北京城市气象研究所于 2005 年 8 月购置了由美国生产的地基 12 通道的微波辐射计, 从 2005 年 8 月到 2006 年 8 月, 观测了近一年的数据, 本文讨论地基 12 通道微波辐射计在北京地区的观测运行情况。将微波辐射计与探空资料做了对比分析。分析的内容包括两部分: 一部分是分析微波辐射计测量得到的水汽总量与探空测量的水汽总量的相关性; 另一部分是分析两种测量技术得到的大气廓线(温度、相对湿度和水汽密度)。最后文章还就微波辐射计在北京 2006 年 4 月 17 日发生沙尘暴期间的观测进行了分析, 从而来检验微波辐射计在特殊天气时的观测情况。

本文共 4 部分。第二部分简要介绍地基 12 通道微波辐射计和所使用的数据。第三部分通过与探空测量得到的水汽总量、3 种(温度、相对湿度、水汽密度)廓线的对比分析, 来检验微波辐射计在北京地区

收稿日期: 2006-11-27; 修订日期: 2007-04-20

基金项目: 北京市科委环境大气综合探测资料四维数据库技术研究(H 020620250230)。

作者简介: 刘红燕(1975- ), 女, 博士, 研究方向为云雾物理。



4 个季节(秋、冬、春和夏)的观测能力,最后通过分析 2006 年 4 月 17 日北京沙尘暴这一个例,来进一步检验微波辐射计的观测情况。第四部分为结语。

## 2 仪器和数据介绍

### 2.1 地基 12 通道微波辐射计

2005 年 8 月中国气象局北京城市气象研究所购买了由美国 Radiometrics 公司生产的地基 12 通道微波辐射计(见图 1)。该仪器除了 12 通道的微波辐射计仪器以外,还包含有由 V I A S A L A 公司生产的温、湿、压探头;测量云底高度和云底温度的红外仪;检测降水是否发生的仪器,以及用于吹去微波辐射计天线罩上尘土、雨水等的鼓风机。该仪器共生成 3 类数据,第一类数据为电压值,第二类数据为各个通道的亮温值,第三类数据为由神经网络反演得到的地面到 10 km 的温度、湿度、水汽和液态水廓线<sup>[10, 11]</sup>。

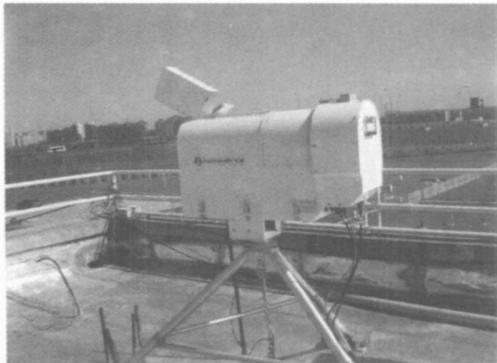


图 1 地基 12 通道微波辐射计

Fig 1 Ground-based 12-channel microwave radiometer

表 1 TP/VVP-3000 微波辐射计廓线说明表

Table 1 The specification of TP/VVP-3000 ground-based 12-channel microwave radiometer

频率(GHz)	波束宽度(°)	廓线
22.235		
23.035	5.5	水汽/云液态水廓线
23.835		
26.235		
30.000	4.5	
51.250		
52.280		温度/云液态水廓线
53.850		
54.940	2.7	
56.660		
57.290		
58.800	2.3	

微波辐射计观测水汽、云液态水和分子氧起主要作用的是微波频率范围内的 12 个通道的辐射强度。这 12 个通道分别是 22.035、22.235、23.835、26.235、30.0、51.25、52.28、53.85、54.94、56.66、57.29 和 58.8 GHz。辐射计在 22~30 GHz 内的波束宽在 5 左右;在 51~59 GHz 内的波束宽是 2~3°。

从大气微波吸收光谱分布图(见图 2)中,可以看出在 22 GHz 的水汽吸收线是压力加宽线,幅值随着高度增加而降低。水汽廓线是在这个频率范围内的 5 个通道获取的。在 60 GHz 附近,氧气吸收相对较强。通过使用在氧气吸收带附近的 7 个通道,可以获得温度廓线。低分辨率的液态水廓线是由在 22~59 GHz 范围内 12 个通道来得到的,同时还需要云底高度的测量。云底高度是通过云底温度的红外天顶观测以及反演得到的温度廓线来得到的。

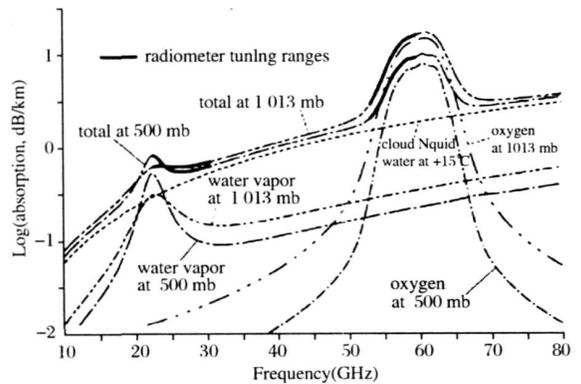


图 2 大气微波吸收光谱分布图

Fig 2 The spectral of the atmosphere absorption

神经网络根据历史探空资料可以从微波、红外以及地面的气象信息来反演得到对流层内的廓线分布。神经网络反演的方法 Solheim (1998) 做过详细的讨论。地基 12 通道微波辐射计反演的廓线高度从地面到 10 km,其中地面到 1 km 高度范围内,精度为 100 m;1 到 10 km 范围内精度为 250 m。所以在地面到 10 km 范围内的廓线共分为 47 层。

### 2.2 数据介绍

从 2005 年 8 月 18 日开始,该微波辐射计放置在北京南郊观象台(39.93°N, 116.28°E),该地每天施放两次探空(00 UTC 和 12 UTC)。2006 年 6 月由于本所仪器改装,微波辐射计仅仅观测了 6 d,后 2006 年 7 月 14 日又移到南郊继续观测,但是由于其中鼓风机进水断电,导致降水时仪器天线罩上的水不能及时被排除,从而影响到仪器观测数据的精度。2006 年 7 月北京降水多(7 月 14 日以后共有 5 d

降水),因此7月份观测数据的精度是令人怀疑的。所以在分析数据时,没有使用6和7月份的数据。同时,我们将微波辐射计近一年的观测数据按照春、夏、秋、冬4个季节分为4组数据。表2中列出了各个季度所包含的观测数据的月份。另外,在这一年的观测过程中,我们每隔3个月进行一次液氮标定,同时选择在天空晴朗无云的条件下,做了 tipping curve 的标定。通过与探空测量得到的水汽总量做对比分析以后(见文本第三部分)得到标定结果是可信的。同时为了验证反演结果的准确性与稳定性,我们将根据微波辐射计测量值所反演得到的温度、湿度和水汽密度的廓线与探空测量得到的结果进行对比分析研究。

表2 各个季节所包含月份

Table 2 The respective months in every season

季节	月
秋季	2005年8、9、10月
冬季	2005年11、12月和2006年1月
春季	2006年2、3、4月
夏季	2006年5月

探空每天施放两次(00UTC和12UTC),我们将探空和微波辐射计在同一个月中00UTC(或者12UTC)得到的水汽总量做了相关分析,最后将探空和微波辐射计所有能够同时获得的水汽总量做了相关分析。表3中列出了每个月中在00UTC或者

表3 微波辐射计与探空测量得到的水汽总量相关分析

Table 3 The coefficient of PWV measured by the ground-based 12-channel microwave radiometer and radiosonde

时间	探空数—微波辐射计数	两种方法得到的水汽总量 相关关系	两种方法得到的水汽总量 相关系数
200508h00	27	$Y = 1.0976x - 0.9347$	0.9251
200508h12	28	$Y = 1.1442x - 1.1886$	0.9643
200509h00	30	$Y = 0.9699x - 0.536$	0.9166
200509h12	30	$Y = 0.9397x - 0.4936$	0.9363
200510h00	20	$Y = 0.8715x - 0.1713$	0.9792
200510h12	19	$Y = 0.9084x - 0.2128$	0.9769
200511h00	24	$Y = 0.7144x + 0.0228$	0.7723
200511h12	27	$Y = 0.7825x - 0.0255$	0.6436
200512h00	24	$Y = 1.1587x - 0.2054$	0.9205
200512h12	26	$Y = 0.9806x - 0.1451$	0.9208
200601h00	20	$Y = 1.0532x - 0.1758$	0.8864
200601h12	23	$Y = 1.1475x - 0.2356$	0.9119
200602h00	25	$Y = 1.0205x - 0.1342$	0.9514
200602h12	22	$Y = 1.0705x - 0.1696$	0.9190
200603h00	26	$Y = 0.944x - 0.166$	0.8103
200603h12	24	$Y = 0.8672x - 0.1243$	0.9138
200604h00	25	$Y = 0.9105x - 0.0854$	0.9284
200604h12	28	$Y = 0.8317x - 0.0076$	0.8469
200605h00	24	$Y = 0.7532x + 0.0863$	0.8763
200605h12	23	$Y = 0.9008x - 0.1368$	0.8914

12UTC时刻两种测量技术所对比的天数。其中因为微波辐射计每分钟获得一次观测数据,我们将与探空同小时观测的60个(即一个小时)微波辐射计数数据取了平均来作为此时刻微波辐射计的观测值。

### 3 测量结果分析

#### 3.1 水汽总量的比较

对每个月(2005年8月~2006年5月)统计分析了微波辐射计和探空在同一时刻00UTC或者12UTC的水汽总量的相关性。其中有的时间探空资料缺少,有的时间微波辐射计由于观测中出现故障,所以使得在00UTC或者12UTC的水汽总量出现缺测。探空资料可以获得各个高度上的温度、气压以及相对湿度,根据测量值与水汽总量之间的关系,可以求得相应高度上的水汽密度值。将水汽密度值对高度积分,即可得到大气水汽总量。微波辐射计通过K波段的5个通道,使用神经网络的反演算法得到大气中的水汽总量。在大气探测研究中,一般认为探空观测的值更准确,因此,我们将微波辐射计测量得到的结果与探空的测量结果做了对比分析。表3中列出了微波辐射计测量得到的水汽总量与探空得到的水汽总量的相关分析结果。从相关系数上可以看出,65%的相关系数在0.9以上,其中除了2005年11月00UTC和12UTC的相关系数低于0.8以外,其它月份的值都在0.8以上,约占90%。(2005年11月5日微波辐射计测量得到水汽高得离奇。后经过我们多次标定,仪器测量结果开始趋于合理。由此可见,对仪器的继续标定仍然是以后工作重点。)

另外从微波辐射计和探空得到的水汽总量的线性相关函数关系上看,微波辐射计的测量能力与探空的测量能力是相当的。其中在2005年8月(00UTC和12UTC)、2005年12月的12UTC、2006年1月和2月(00UTC和12UTC)中,微波辐射计的测量值比探空的低,其它的则比探空的高。

将所有在时间上能够一一对应的微波辐射计、探空的水汽总量综合起来,我们得到微波辐射计测量得到的水汽总量与探空的相关系数为0.9714,线性函数关系为 $y = 0.9107x - 0.1429$ ( $x$ 表示由微波辐射计得到的水汽总量, $y$ 表示由探空得到的)(见图3)。从以上的分析中,我们得到微波辐射计测量得到的水汽总量与探空测量得到的水汽总量值是相当的。

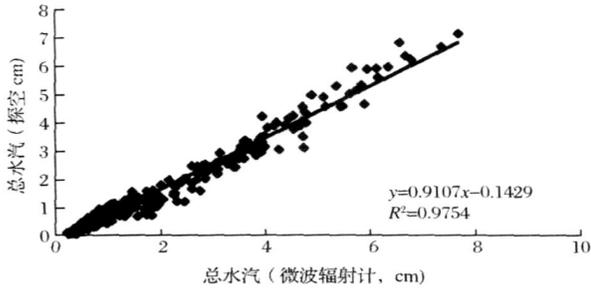


图 3 微波辐射计与探空相关图

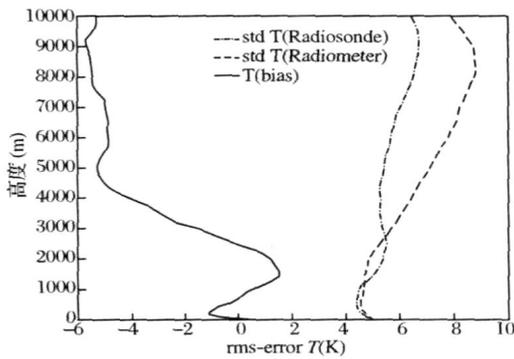
Fig 3 The correlation figure of the PWV measured by the ground-based 12-channel microwave radiometer and radiosonde

3.2 廓线比较

微波辐射计由神经网络可以反演得到温度、相对湿度和水汽廓线。按照季节(秋、冬、春、夏)分别计算了微波辐射计和探空测量得到的各种廓线在各个季节的标准方差。并且计算了同一时间上,两种测量方法获得的相同高度上温度(相对湿度、水汽)的差(微波辐射计测量值减去探空测量值)。以下内容将就我们计算得到的结果进行分析讨论。

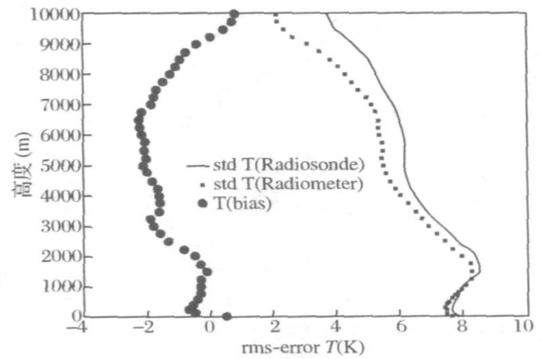
3.2.1 温度廓线

图 4 显示的分别是微波辐射计和探空 4 个季度中在各个高度上的温度标准方差以及两种测量方法的差值。图 4a 为秋季分析比较图,图中 3 km 以内两种测量方法的标准方差的值相近,但是随着高度的增加,微波辐射计的标准方差比探空的大,在 8 km 达到最大,为 8.2 K。其中实线的曲线表示的是相同时刻两种方法得到的温度廓线之间的差值(微波辐射计的温度值—探空的温度值)。在 2.5 km 范围内,二者的差值在 2 K 以内。在 2.5 km 到 5 km 之间,微波辐射计的测量值随高度的增加逐渐比探空的测量值低。在 5 km 到 10 km 这个范围内,两种测量方法的差值基本保持稳定,微波辐射计的测量值较探空的值小 5 K 左右。图 4b 显示冬季两种测量方法的比较,其中各自的标准方差,随高度的变化是相似的,而且它们的值较秋季时的更为接近。而在 7 km 范围内的两种测量结果的温度廓线的差值与秋季也是相似,在 7 km 以上,微波辐射计与探空的温度差值逐渐缩小到- 2 K。图 4c 是两种测量方法得到的温度廓线在春季的分析比较图。春季两种测



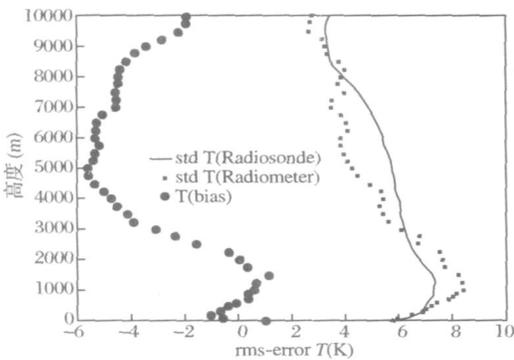
(a) 秋季温度廓线

(a) the temperature profile in autumn



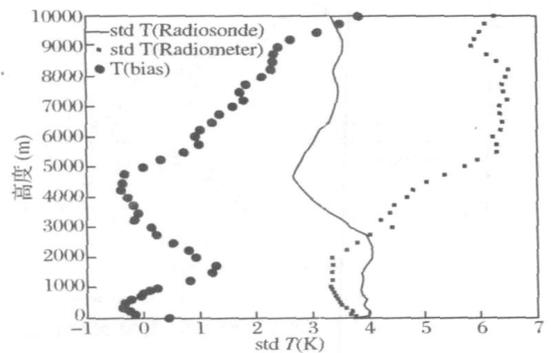
(b) 冬季温度廓线

(b) the temperature profile in winter



(c) 春季温度廓线

(c) the temperature profile in spring



(d) 夏季温度廓线

(d) the temperature profile in summer

图 4 温度廓线对比图(Radiosonde: 探空; Radiometer: 微波辐射计)

Fig 4 The comparison of temperature profile

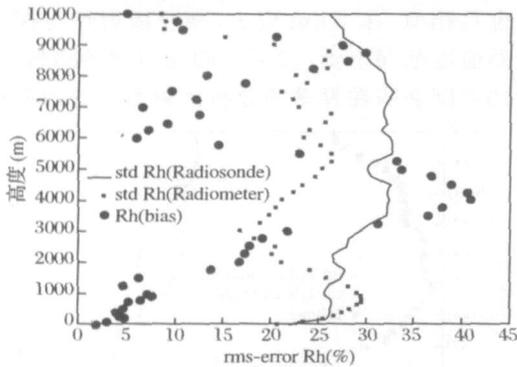
量方法得到的温度廓线的标准方差变化趋势是一致的。且两种测量方法得到的温度差值最小为- 2 K, 出现在 6 km 附近; 最大差值为 0.9 K, 出现在 10 km。与其它 3 个季节相比, 春季微波辐射计反演得到的温度廓线结果与探空的温度廓线是最接近的。在夏季(见图 4d), 微波辐射计反演得到的温度廓线的标准方差变化趋势虽然与探空的标准方差的变化趋势在 3~ 5 km 之间相反, 但在其它高度上二者的变化趋势是相似的。而两种测量方法温度廓线的差值在 6 km 以上, 微波辐射计测量的温度值比探空的高 1 K 以上, 且随着高度的增加而增加, 在 10 km 时差值达到最大, 将近 4 K。

综合这 4 个季节的分析结果, 两种测量方法得到的温度差值随高度的变化趋势是相似的。在 7 km 以上, 两种测量方法的温度廓线差别最大。这与两种测量方法所探测的空间有关。探空在 7 km 以上时, 已经偏离施放地(南郊)很远了, 而微波辐射计所反

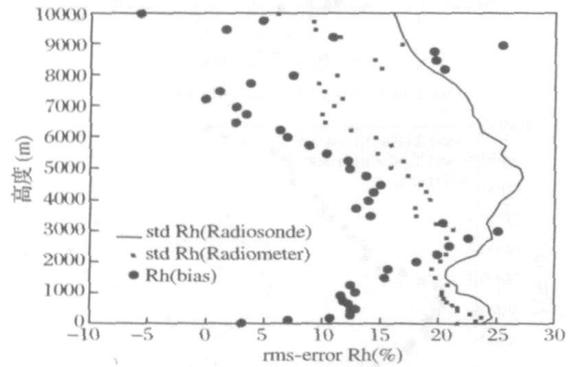
演得到的廓线是南郊上空的廓线。两种测量方法的廓线空间水平距离的差异导致它们的温度差异加大。另外, 在 5 km 以上, 秋冬两个季节微波辐射计的值较探空的低, 而夏季微波辐射计的值则较探空的高。在 5 km 以内, 这两种测量方法的差值有正有负, 但是 4 个季节的趋势是相似的, 只是变化幅度不同。

### 3.2.2 相对湿度廓线

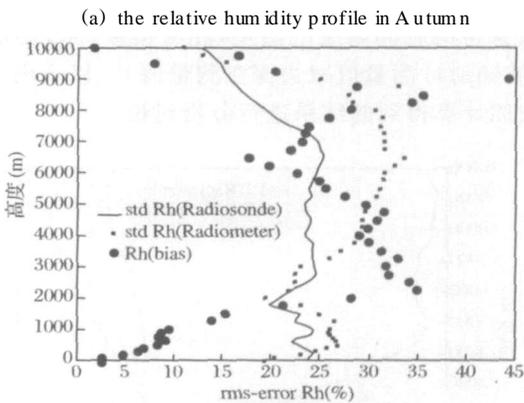
两种测量方法在 4 个季节得到的相对湿度廓线的标准方差, 在 2 km 以内, 除了春季(图 5c)微波辐射计得到湿度廓线的标准方差较探空的低以外, 其它季节都比探空的高。其中夏季(图 5d)在 1 km 以内, 两种测量方法得到的相对湿度的标准方差相似, 图像几乎完全重叠。在 2 km 到 9 km 之间, 除了冬季(图 5b)以外, 其它季节中微波辐射计测量得到的相对湿度的标准方差都比探空测量的相对湿度的标准方差小。



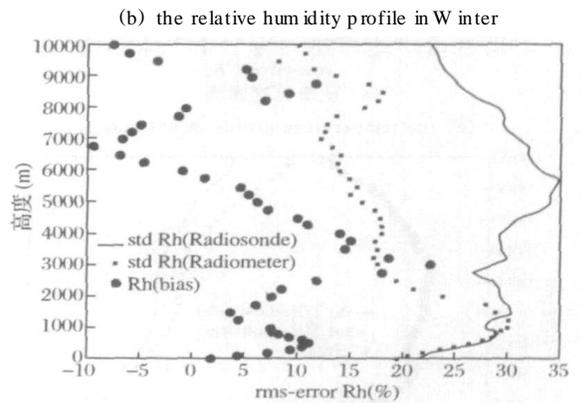
(a) 秋季相对湿度廓线



(b) 冬季相对湿度廓线



(a) the relative humidity profile in Autumn



(b) the relative humidity profile in Winter

(c) 春季相对湿度廓线

(d) 夏季相对湿度廓线

(c) the relative humidity profile in Spring

(d) the relative humidity profile in Summer

图 5 相对湿度廓线对比图(Radiosonde: 探空; Radiometer: 微波辐射计)

Fig 5 The comparison of relative humidity profile

由微波辐射计测量得到的相对湿度值与探空测量得到的相对湿度的差值的变化趋势, 在这 4 个季

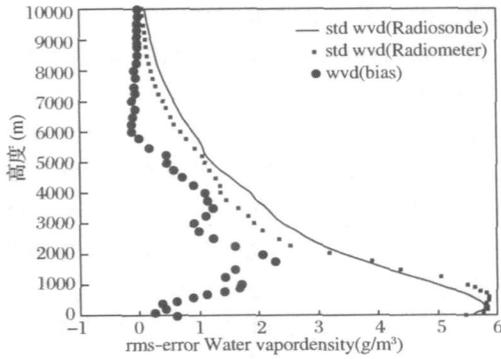
节中是相似的, 都有两个最大值。第一最大值, 在秋季(图 5a)出现在 4 km 附近; 在冬季(图 5b)出现在

2. 25 km 附近; 春季(图 5c)出现在 3 km 附近; 夏季(图 5d)出现在 3 25 km 附近。第二个最大值, 在秋季出现在 8 5 km; 冬季出现在 8 25 km; 春季出现在 9 km; 夏季出现在 8 75 km。另一方面, 除了夏季以外, 这个偏差值在其它 3 个季节都大于 0(其中, 春季在 7. 25 km 和 10 km 处这个偏差值小于 0)。

3. 2. 3 水汽廓线

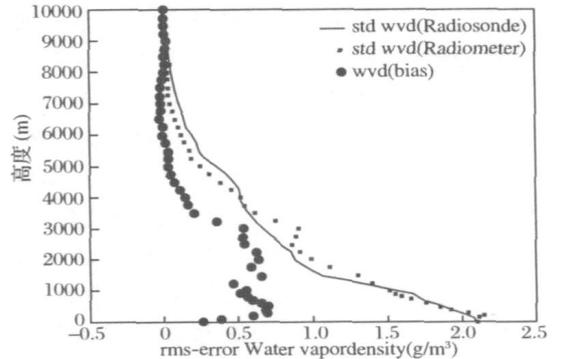
图 6 中分析比较了微波辐射计与探空测量得到的水汽廓线。两种测量方法得到的水汽廓线的标准

方差的变化趋势, 除了冬季(图 6b)以外, 其它季节中都是相似的, 而且春季(图 6c)和秋季(图 6a)两种测量方法的标准方差几乎重叠。夏季(图 6d)在 1 km 到 3 km 之间微波辐射计的标准方差较探空的大, 其余高度上, 也几乎与探空测量的水汽密度的标准方差重叠。在冬季的 11 月中, 仪器测量出现偏差较大(具体原因, 目前我们还不清楚), 后经过多次标定仪器测量恢复稳定。也许是这个原因导致冬季水汽廓线的标准方差与探空的差别较大。



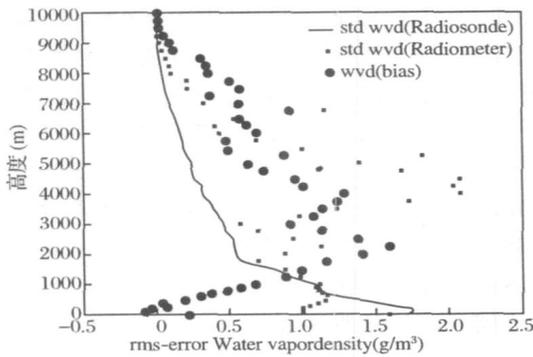
(a) 秋季水汽廓线

(a) the water vapor density profile in Autumn



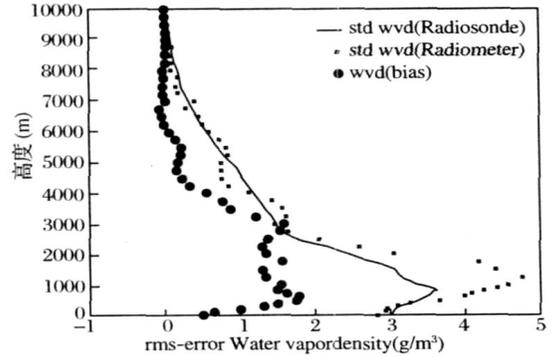
(b) 冬季水汽廓线

(b) the water vapor density profile in Winter



(c) 春季水汽廓线

(c) the water vapor density profile in Spring



(d) 夏季水汽廓线

(d) the water vapor density profile in Summer

图 6 温度廓线对比图(Radiosonde: 探空; Radiometer: 微波辐射计)

Fig 6 The comparison of water vapor profile

两种测量方法得到的各个高度上水汽密度值的差值的变化趋势, 除了冬季以外, 其它 3 个季节都是相似的。在 5 km 以上, 水汽偏差几乎接近 0。从地面到 5 km, 微波辐射计测量的水汽密度值都较探空的高。这同我们得到的微波总水汽量较探空得到的总水汽量高, 是一致的。两种测量方法的最大差值, 在秋季出现在 2 km 处, 为 2.4 g/m<sup>3</sup>; 冬季出现在 2.25 km, 为 1.6 g/m<sup>3</sup>; 春季出现在 0.5 km, 为 0.75 g/m<sup>3</sup>; 夏季在 0.7 km, 为 1.8 g/m<sup>3</sup>。

通过与探空资料一年的比较, 微波辐射计测量水汽总量的能力与探空的测量能力是相当的。而在

分析比较两种方法得到的温度、相对湿度和水汽的廓线时, 微波辐射计在 4 个季节中, 虽然与探空测量结果存在一定的偏差, 但是偏差还是有一定规律的。其中微波辐射计在春季所获得结果, 相对其它几个季节是与探空最相似的。

3. 3 2006 年 4 月 17 日北京沙尘暴发生过程中微波辐射计的观测结果

2006 年 4 月 17 日北京发生沙尘暴。从沙尘暴发生前一天(16 日)开始地面的温度开始逐渐升高, 到沙尘暴过后(18 日)地面温度开始回降。从相对湿度的演变来看, 从 16 日 00: 00(北京时间)到 17 日

21:00(北京时间),最低湿度都出现在8km高度处,地面的相对湿度在17日出现最低值,在17日20点以后相对湿度开始增加并出现最高值。从液态水最高值的变化情况来看,在16日出现液态水的时间段比较少,而在17日,北京在2km到4km处,一直有液态水出现,且在21点到24点时间段内,在地面附近到4km左右都有液态水出现。18日从早上2点开始液态水消失。

图7是此次沙尘暴过程,水汽总量的时间变化图。在沙尘暴发生前一天(16日)的水汽总量的最大值为1.64cm,出现在20:43,而在沙尘暴当天17日,水汽总量的最大值为2.25cm,出现在21:21。2006年4月份的平均总水汽量为1.057cm,而2006年4月17日的总水汽量平均值为1.349cm。沙尘暴的发生似乎与水汽的变化有某种联系。由于目前我们观测得到的沙尘暴次数有限,这种规律我们还不能确定。但是从这次观测结果来看,沙尘暴与水汽之间是有一定联系的。

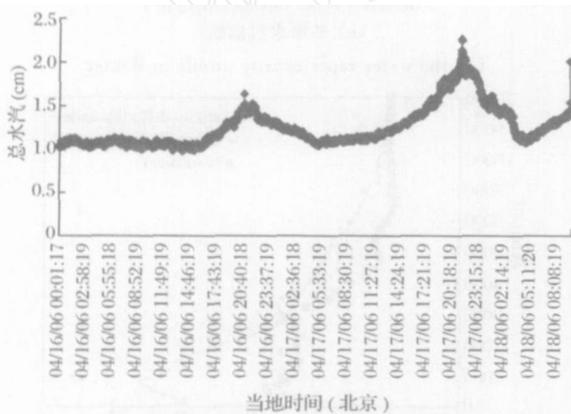


图7 2006年4月17日北京水汽总量的时间变化图

Fig 7 The time series of PWV in 17, April 2006 in Beijing

## 4 结 语

地基12通道微波辐射计在北京地区已经做了为期1年(2005年8月~2006年8月)的观测。(由于仪器改装等原因,我们使用的数据是从2005年8月~2006年5月,但是这段时间,基本涵盖了北京4个季节的特征。)该仪器共有12个通道,通过神经网络的反演方法来获取水汽、温度、湿度以及液态水的廓线分布。我们将北京南郊观象台的探空资料与微波辐射计做了对比分析。分析的第一个内容是比较两种测量方法得到的总水汽量。只有2005年11月两种测量方法的相关系数小于0.8。其中65%的相

关系系数在0.9以上,90%的相关系数在0.8以上。综合近一年的观测,我们得到了两种测量方法的总水汽的相关关系为 $y = 0.9094x - 0.145$ ( $x$ 表示由微波辐射计得到的水汽总量, $y$ 表示由探空得到的)。

在与探空资料做对比分析时,我们按照不同季节(秋、冬、春、夏),就温度、相对湿度以及水汽密度的廓线分布作了对比分析。虽然微波辐射计反演得到的廓线精度相比探空的结果还有一定的偏差,但它在观测大气垂直结构中的作用还是非常重要的,测量得到的结果也是非常有意义的。

最后我们根据微波辐射计观测得到的廓线分布以及总的水汽量分析了2006年4月17日北京发生沙尘暴时期的热力特征和水汽特征。从温度廓线上可以看出,沙尘暴发生期间,地面到1km高度范围内温度上升,沙尘暴结束后地面到1km高度范围内温度开始回落。这也说明在沙尘暴发生期间在边界层范围内热力特征的变化是显著的。同时在沙尘暴发生期间测量得到的水汽总量最大值为2.25cm,而2006年4月份的平均总水汽量为1.057cm。从这里可以看出水汽总量的明显升高与沙尘暴的发生之间似乎存在某种联系。这点是微波辐射计观测给予我们的又一个非常有意义的启发。

总之,通过一年的观测,地基微波辐射计的观测运行是良好的,测量得到的水汽总量通过与探空的测量结果对比分析,说明测量值是准确的。而廓线分布虽然与探空的有差别,但其总体趋势是相近似的。而且考虑到其时间的连续性、无人看管以及价格等因素,地基微波辐射计的优点是不言而喻的。这一点通过分析2006年4月17日北京发生沙尘暴期间的观测结果,得到了进一步的证明和肯定。

## 参考文献

- [1] Clifford S F, Kaimal J C, Lataitis R J, *et al* Ground-based Remote Profiling in Atmospheric Studies: An overview [J]. Proc IEEE, 1994, 82: 313-315
- [2] Wilczak J M, Gossard E E, Neff W D, *et al* Ground-based Remote Sensing of the Atmospheric Boundary Layer: 25 Years of Progress [J]. Bound-layer Meteor, 1996, 78: 321-349
- [3] Stankov B B. Multisensor Retrieval of Atmospheric Properties [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1998, 79: 1835-1854
- [4] Smith W L, Coauthors GAPEX: A Ground-based Atmospheric Profiling Experiment [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1990, 71: 310-318
- [5] Stokes G M, Schwartz S E. The Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Program: Programmatic Background

- and Design of the Cloud and Radiation Testbed [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1994, 75: 1201-1221.
- [6] Westwater E R, Coauthors: Ground-based Remote Sensor Observations During PROBE in the Tropical Western Pacific [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1990a, 80: 257-270.
- [7] Westwater E R, Han Y, Irisov V G, *et al*. Remote Sensing of Boundary Layer Temperature Profiles by A Scanning 5-mm Microwave Radiometer and RASS: Comparison Experiments [J]. J Atmos Oceanic Technol, 1999b, 16: 805-818.
- [8] Feltz W F, Smith W L, Knuteson R O, *et al*. Meteorological Applications of Temperature and Water Vapor Retrievals from the Ground-based Atmospheric Emitted Radiance Interferometer (AERID) [J]. J Appl Meteor, 1998, 37: 857-875.
- [9] Smith W F, Feltz R O, Knuteson H E, *et al*. The Retrieval of Planetary Boundary Measurements [J]. J Atmos Oceanic Technology, 1999, 16: 323-333.
- [10] Solheim F J, Godwin E, Westwater Y, *et al*. Radiometric Profiling of Temperature, Water Vapor, and Liquid Water Using Various Inversion Methods [J]. Radio Sci, 1998, 33: 393-404.
- [11] Guldner J, Spankuch D. Remote Sensing of the Thermodynamic State of the Atmospheric Boundary Layer by Ground-based Microwave Radiometry [J]. J Atmos Oceanic Technology, 2001, 18: 925-933.

## Characteristics of the Atmosphere Remote Sensed by the Ground-Based 12-Channel Radiometer

LIU Hong-yan, LI Ju, CAO Xiao-yan, XIONG Bin

(Institute of Urban Meteorology, Chinese Meteorology Administration, Beijing 100089, China)

**Abstract:** The ground-based 12-channel radiometer has been observing for about one year (from August, 2005 to August, 2006). The coefficient of the integrated water vapor between the radiometer and the radiosonde is above 0.97. The Temperature profile, the relative humidity profile and the water vapor profile can be obtained by the neural network algorithm. The three kinds of profiles are compared between the radiometer and the radiosonde. Although there are some difference between the radiometer and the radiosonde for the three kinds of profile, the profiles of the radiometer are valuable for its time continuity, un-attended and less cost, and so on. There is a strong sand storm on April 17, 2006 in Beijing. The maximum integrated water vapor on that day is 2.25 cm, much larger than other day's in April. The mean integrated water vapor is 1.057 cm in April. On the other hand, during that time, the temperature of the boundary layer, from the surface to the 1 km, went up. It means that the thermodynamic structure of the boundary layer will have some change, during the sand storm. All these atmospheric characteristics can be observed by the ground-based 12-channel radiometer.

**Key words:** The ground-based 12-channel radiometer, Radiosonde, The integrated water vapor, Profile