

用单站探空资料分析对流层气柱水汽总量

杨红梅 葛润生 徐宝祥

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

使用北京地区 1996、1997 年 7 月中至 8 月上旬常规探空(标准层和特性层)资料,计算了各层气柱的水汽混合比,绘制了水汽垂直分布廓线,并据水汽廓线分布把大气分为四种类型;通过对各层水汽混合比积分,算出该时段每日 08、20 时的北京单站对流层气柱累积水汽量,研究气柱水汽总量与降水的关系,为预报降水量级、降水范围提供依据。这一分析结果可与辐射仪遥感水汽技术得到的结果进行比较,并为应用其它新的探测技术(如 GPS)提供一些有价值的参考数据。

关键词: 水汽廓线 对流层气柱水汽总量 降水范围 单站探空

引 言

北京的夏季风云多变。在这多变的天气中,水汽是气象工作者最关注的重要因子之一,许多预报员都注意低层大气露点值的变化,注意大气的比湿、水汽通道等,并在天气预报中积累了不少经验。对于整层大气水汽含量的研究,有人从静力能量^[1]值的大小定性判断气柱中的水汽饱和度;随着探测技术的发展,文献[2][3]用双频微波辐射计遥感北京地区 1989、1990 年夏季对流层水汽含量,研究局地总水汽量与云水含量。

为了充分了解局地大气对流层水汽总量,使通常用于预报的水汽即湿度指标客观定量化,利用现有探空资料(12 个标准层,加上 10~20 层的特性层资料),计算北京地区 1996、1997 年 7 月 10 日~8 月 10 日期间局地大气对流层水汽总量,研究其变化特征。

1 计算方法

关于局地气柱总水汽量的计算方法,文献[3]是用各气层的水汽密度计算的。本文用单站探空得到的各标准层和所有特性层的温度 T 、露点温度 T_d 、气压 p 计算各层的饱和水

汽压 e ,由已知的饱和水汽压计算水汽混合比

$$r = \frac{0.622e}{p - e} \quad (1)$$

式中的 r 为水汽混合比,单位为 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,由此计算气柱水汽总含量

$$W = \frac{1}{g} \int_{p_2}^{p_1} r dp \quad (2)$$

式中的计算结果 W 表示对流层垂直气柱($p_1 - p_2$)中的水汽总量或累积水汽量,代表气柱中的水汽凝结后积集在气柱底面上液态水的深度(单位: mm)。

2 计算结果分析

2.1 北京夏季大气柱的水汽分布特征

众所周知,水汽的垂直分布是随高度减小的。根据 118 次计算结果以及绘制各时次的水汽混合比垂直廓线图可见,水汽的垂直分布并不是按某个指数的递减率而递减的。在垂直方向水汽的分布也存在不均匀性,有时出现干湿相间的多层逆湿现象。尤其在 7~8 月期间,中小尺度系统较活跃,水汽的垂直分布大致分为以下几种:① 整层大气潮湿型,图 1a 给出了 1996 年 7 月 28 日 20 时北

京地区气柱的水汽廓线,图中的气柱水汽含量较高,水汽累积量为 71.3mm;② 整层大气干燥型,图 1b 给出了 1997 年 7 月 10 日 20 时北京地区气柱的水汽廓线,整层气柱的水汽含量小,水汽累积量为 26.0mm;③ 下垫面湿、中上层不定型,图 1c 给出了 1997 年

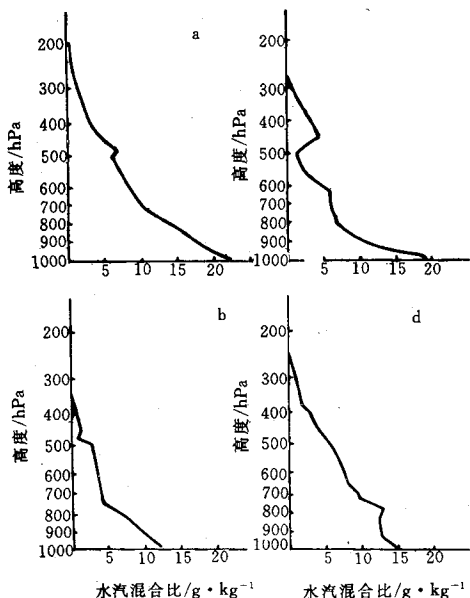


图 1 北京地区夏季气柱水汽廓线分布

a:1996 年 7 月 28 日 20 时;c:1997 年 8 月 8 日 08 时
b:1997 年 7 月 10 日 20 时;d:1996 年 7 月 31 日 08 时
8 月 8 日 08 时北京地区气柱的水汽廓线,图中的水汽分布低层湿,近地面水汽混合比为 $19.0\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,随着高度增高迅速变干,500hPa 的水汽混合比比图 1b 的值还小,随着高度增高出现强逆湿层,400hPa、300hPa 的水汽混合比值较高,已接近图 1a 的值了,但由于中层较干,二者的总水汽量相差 28.1mm;④ 地面干燥型,图 1d 给出了 1996 年 7 月 31 日 08 时北京地区气柱的水汽廓线,乍一看起来,地面湿度很小,水汽混合比值仅为 $15.0\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,但在近地面层附近,就出现了等湿、逆湿现象,而整个气柱的水汽含量依然很高,水汽累积量为 58.8mm,已达到

潮湿型的标准了。

2.2 大气中各气层的水汽分布

图 2 是 1997 年 7 月 25 日 08 时至 7 月 31 日 08 时的水汽混合比随时间变化的演变图,图中的横坐标为时间,纵坐标为气压,图中的曲线是水汽混合比等值线。由图可见,在这段时间内,低层的高值差异不是很突出的,图中醒目的特征是 26 日 20 时 700hPa 水汽值高于其它时次,24 小时混合比增量为 $4.8\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在 500hPa 高度上,高值的特征依然明显,400hPa、300hPa 水汽值依然很高,400hPa 的值是前 24 小时的 2 倍,到 300hPa 高度,通常水汽值已很小了,而此时的值是前 24 小时的 6 倍。图中还可以看到,28 日 20 时的水汽分布与 26 日 20 时大致相似,为一高水汽含量时段,所不同的是前者 700hPa 附近水汽含量并不高,而到了 600hPa 才出现水汽值稍高的倾向,到了 500hPa 高度则出现明显高值,400hPa 与 26 日 20 时的值相接近,300hPa 值依然很高。这两个高值时刻的

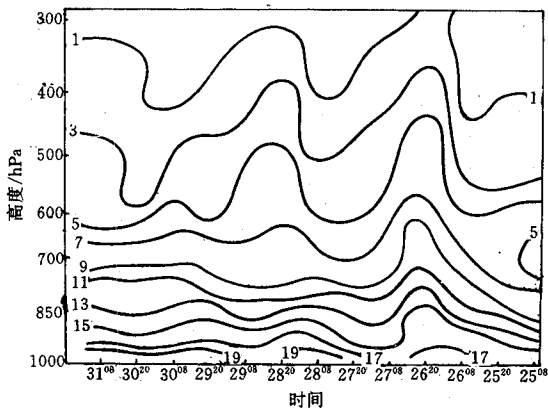


图 2 1997 年 7 月 25 日 08 时到 7 月 31 日 08 时水汽混合比 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 演变

水汽量是有差异的,26 日 20 时气柱水汽累积量为 70mm,28 日 20 时为 62.1mm,造成的降水量级均为中到大雨,但影响的范围不同,26 日是整个京津冀地区都出现中到大雨,局部地区暴雨,而 28 日仅北京、河北局部

地区出现中到大雨。

2.3 水汽总量与降水的关系

过去,人们一直关注近地面、对流层低层的水汽值的变化,随着卫星、遥感探测以及计算机技术的发展,人们对对流层中上层的水汽含量日益重视,文献[2]、[3]用双频微波辐射计测量水汽总量和云水总量,并根据资料分析得到,在北京地区7、8月份,如果水汽总量超过55mm,云水含量大于0.9mm,那么短时间内可能发生降水。

为了便于比较,我们对1996、1997年两年北京地区7、8月期间118次无线电高空探测得到的资料,计算各时次的对流层大气的水汽总量,并作了统计分类(详见附表)。

附表 北京地区夏季水汽总量分类

类别	量值/mm	出现次数	24小时降水范围、雨强
高湿	60以上	18	京津冀地区普降中雨,有局地大暴雨
湿	55~59.9	21	京津冀部分地区有阵雨,有局地暴雨
中等	45~54.9	39	1~3站有时有阵性降水或对流性降水
干燥	45以下	40	无降水

附表根据水汽总量值的大小,把观测时的大气分为高湿、湿、中等和干燥4个等级,各个等级出现的次数是不均等的。在高湿类中,水汽总量达到或超过70mm的出现3次(1996年2次,1997年1次),这三次高值均出现在20时,在12小时内京津冀地区普降中到大雨,局部地区出现暴雨、大暴雨。

由附表可以看出,水汽总量值似乎与降水范围关系更密切些,与雨强的关系不一定呈正相关。附表中被划为中等水汽含量的大气,有时在24小时内有1~3个测站出现阵性降水,雨量也可达到中等。

附表的水汽总量与降水范围的关系是显而易见的,但与降水强度的关系似乎复杂些。图3是1996年7月12日20时至8月10日

20时北京水汽连续演变曲线,图中的粗实线表示相应时刻对流层水汽累积总量,有时水汽总量未必很高,但出现了降水天气,这与24小时水汽总量的增幅有关。如7月26日20时,虽然水汽总量值仅50.5mm,但24小时水汽总量增加了7.2mm,夜间降了中雨。7月19日08时,水汽总量50.0mm,24小时增加了5.1mm,北京地区普降中雨,怀柔出现86.4mm的暴雨,可见降水前水汽量的增幅是明显的。这与暖盖型特强暴雨发生的局地条件^[4]中的急剧增能现象是同一个道理。

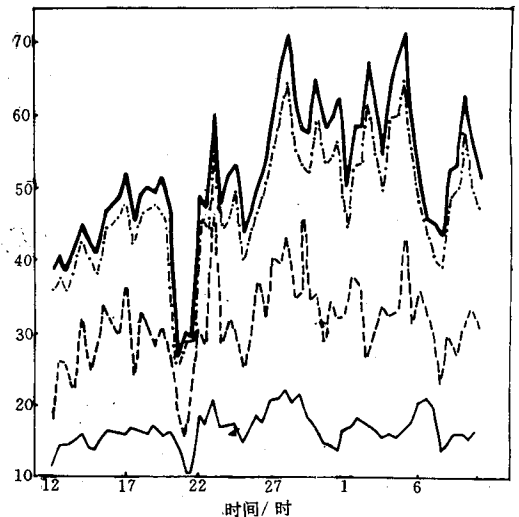


图3 1997年7月12日20时至8月10日20时北京水汽演变

粗实线:对流层水汽累积量/mm;点划线和虚线:地面到500和800hPa水汽累积量/mm;细实线为地面水汽混合比/ $g \cdot kg^{-1}$

由两年夏季的计算结果可以看出,测站附近的单站至更多测站降水量往往是测站水汽总量的2~3倍。事实说明,任何一次降水过程,其水汽来源并不仅仅来自上空这一气柱,这与大气中有利于产生降水的低值系统、水汽辐合即水汽汇有关。本文未讨论这方面的问题。

3 水汽总量与大气中各层水汽的关系

图3中还显示了不同气层的水汽量的累

积值逐日演变曲线,图中的粗实线表示对流层水汽累积总量(mm),点划线表示地面至500hPa 大气的水汽累积值,图中显示了在通常的条件下,500hPa 水汽累积量与对流层水汽总量的值相当接近,在水汽量超过 65mm 时,二者相差可达 5mm 以上,但两者增湿变干的趋向完全一致。图中的虚线为地面至800hPa 的水汽累积量,它的增湿变干趋向与前两者大致相同,但未必同步,如 16 日 08 至 20 时、28 日 08 时、8 月 4 日 20 时等,图中的连续演变曲线比起总量变化略有小的波动,这或许与低层多小系统的振动有关。图中的细实线为地面水汽混合比(单位: $g \cdot kg^{-1}$),它似乎不如 500hPa 水汽累积量敏感,造成这一现象有两个原因:一是高低空系统的配置,二是下垫面条件、绝热因子和非绝热因子起作用,比如雨后整层大气变干,而地面是潮湿的,这就出现整层大气变干而地面水汽值高的现象。由此可见不能过分看重地面湿度,应注重分析大气中的水汽含量,尤其是对流层水汽总量。

4 结语

4.1 初步分析得到如下主要结果:无论大气中的水汽分布呈哪种类型,对流层水汽总量是

对降水预报至关重要的参量。考虑对流层水汽总量可以避免使用单层湿度指标的局限性。

4.2 注意分析水汽总量的变化。在分析水汽总量高低的同时,还应分析水汽总量 24 小时的变化率,并注意高层增湿现象。

4.3 文中分析的水汽总量的量值、量级与双频微波辐射计分析的结果是一致的。在有条件的情况下应与同时刻的微波辐射计资料以及 GPS 遥感大气水汽的延迟量分析比较。

这里我们计算观测时刻的对流层大气柱水汽总量仅是局地大气的瞬时水汽值,在一定观测时段(比如,12 或 24 小时)中,中小尺度天气系统与局地大气变化的关系还有待于应用更为细致的探测资料加以研究。

参考文献

- 雷雨顺. 能量天气学. 北京:气象出版社,1986.
- Zhou Xiuji, et al. Atmospheric profiler and preliminary investigation on the monitoring of disastrous weather. ACTA Meteor. Sinica, 1991,5:265~273.
- 赵从龙等. 双频微波辐射计遥感对流层水汽及液态水的研究. 中尺度气象文集. 北京:气象出版社,1993:67~72.
- 杨红梅等. 暖盖型特强降雨发生的局地条件. 北方天气文集,北京:北京大学出版社,1982:19~26.

Analysing Troposphere Air Moisture Content with Single Radiosonde Station Data

Yang Hongmei Ge Runsheng Xu Baoxian

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 100081)

Abstract

By using of the convention radiosonde data (standard pressure level and significant pressure level) of Beijing from the mid-July to the 10th of August in 1996 and 1997, the air mixing ratio, drew moisture content vertical distribution profiles were calculated and the atmosphere was classified into four types according to the profiles. By integration of troposphere mixing ratio, the accumulated water content of troposphere (08:00 and 20:00) in Beijing was counted. It was found that the total water content of air column was related to the precipitation. It provided the basis for precipitation area. Comparing this result to the remote sensing vapor and liquid water data obtained with microwave radiometer, it has been found that some valuable results can be used for other new sounding technique (e. g. GPS sensing of atmospheric water vapor for meteorology)

Key Words: mixing ratio profile total water content of troposphere precipitation area