

我国季风区湿度场的一些统计特征

刘永强

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

在计算我国7站(其中东部季风区5个站)10年逐日大气湿度参量的基础上,对大气湿润状况的一些基本统计性质,包括均方差、标准误差、偏度及不同等压面上湿度变化的相关性等,进行了分析。结果表明,这些统计量的地理分布、季节变化及不同高度之间的差异等均与季风气候的特征有着密切的联系。

一、引言

在气象统计分析、预报及气候理论研究,常常要用到气象要素的一些统计量,如平均值、方差、相关系数等;对这些统计量的分布特征、变化规律及精度的认识,对于有效地应用统计方法进行天气分析、预报及合理地描述大气中的物理过程,具有一定的意义。在这方面,已进行了高度场^[1]和湿度场*的统计分析。

大气湿度也是描述大气物理性质的一个基本参数;较为系统地分析湿度场的特征,是降水预报的基础,这对于我国东部季风区,显得更为重要。

鉴于上述情况,我们对我国东部季风区湿度状况的一些基本统计性质,包括均方差、标准误差、偏度及不同等压面上湿度相关等进行了计算(湿度平均值已有人分析过^[2])。本文给出一些初步的分析结果。

二、资料及水汽压的计算

在整编了广州、上海、武汉、北京、长春、成都、乌鲁木齐等站地面、900、850、800、700、600、500、400、300、200hPa

1960—1969年1月和7月的气温和露点温度资料的基础上,计算了这10年逐日的水汽压、比湿和相对湿度。为了比较,资料中除取东部季风区5站外,还包含了成都和乌鲁木齐两站。

水汽压的计算采用WMO出版的气象常用表中的Coff-Cratch公式^[3]:

(i) 水面 ($0^{\circ}\text{C} < t \leq 100^{\circ}\text{C}$)

$$\lg e_w = 10.79574(1 - T_0/T) - 5.02800 \lg(T/T_0) + 1.50475 \times 10^{-4} [1 - 10^{-8.29892(T/T_0 - 1)}] + 0.42873 \times 10^{-3} [10^{4.78955(1 - T_0/T)} - 1] + 0.78614, \quad (1)$$

(ii) 冰面 ($-100^{\circ}\text{C} < t \leq 0^{\circ}\text{C}$)

$$\lg e_i = 9.09685(1 - T_0/T) + 3.56654 \lg(T/T_0) + 0.87682(1 - T/T_0) + 0.78614, \quad (2)$$

式中, T (K) = t ($^{\circ}\text{C}$) + 273.15; $T_0 = 273.15\text{K}$ 。上式中 T 为露点 T_d 时, e 为水汽压; T 为温度时, e 为饱和水汽压。考虑到大气过冷却水的存在,将上式使用的范围修改为:

$$(T_d \geq -10^{\circ}\text{C})$$

$$(T_d \leq -40^{\circ}\text{C}) \quad (3)$$

$$(-40^{\circ}\text{C} < T_d < -10^{\circ}\text{C})$$

$$e = \begin{cases} e_w \\ e_i \end{cases} \quad \begin{cases} (T_d \geq -10^{\circ}\text{C}) \\ (T_d \leq -40^{\circ}\text{C}) \\ (-40^{\circ}\text{C} < T_d < -10^{\circ}\text{C}) \end{cases}$$

三、结果分析

1. 湿度的离散程度

大气湿度的离散程度由均方差 σ 表示。

图1给出了广州、上海和北京三站比湿和相对湿度均方差 σ_Q 、 σ_F 的垂直分布。 σ_Q 的基本倾向是随高度减小,夏季大于冬季,三站中以广州的垂直递减率最大。 σ_Q 的分布基本上反映了大气湿度随高度减小及冬干夏湿的特征。 σ_F 的分布与 σ_Q 明显不同。它

的最大值夏季出现在中高层,冬季出现在中低层。 σ_Q 与 σ_F 的这种差异与比湿和相对湿度的性质有关。根据这两者的定义:

$$Q = 0.622e/(P - 0.378e) \quad (4)$$

$$F = \frac{e}{E} \times 100\%$$

* 王炳忠等,我国湿度场的统计特征(待发表)。

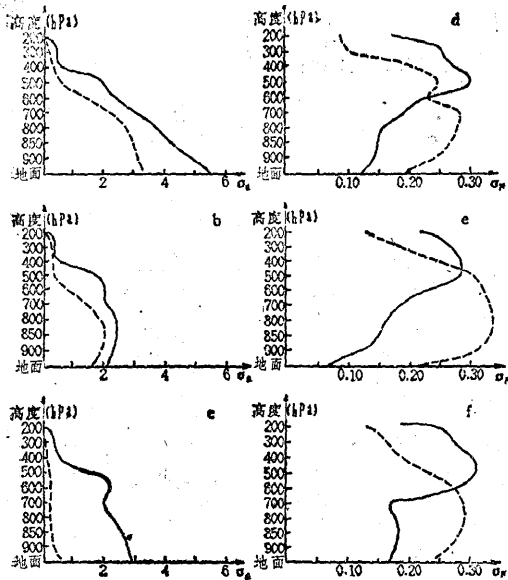


图1 均方差垂直分布

a, d 为广州, b, e 为上海, c, f 为北京,
实线为夏季, 虚线为冬季

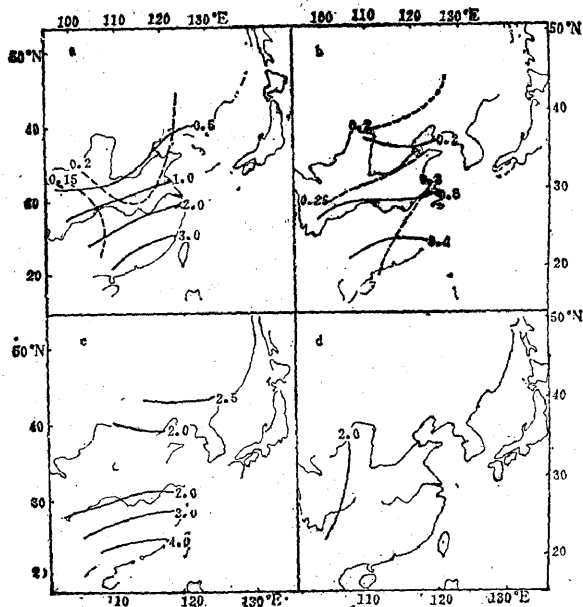


图2 均方差水平分布

a. 冬季地面, b. 冬季 500hPa, c. 夏季地面,
d. 夏季 500hPa, 实线为 σ_Q , 虚线 σ_F

式中 P 和 E 分别为气压和饱和水汽压。可见, 在给定的等压面上, Q 仅与水汽压有关, 而 F 还与气温有关。冬季, 大气温、湿状况的变化主要由冷空气活动引起, 而冷空气活动在中低层较强, 故那里的 σ_F 较大; 夏季, 这种变化可能主要与降水过程相联系, 这就决定了中高层的 σ_F 较大。

从图中可以看出, 上海和北京夏季在 600hPa 左右有一 σ_Q 的极大值 (武汉、长春也有类似现象), 这表明, 在该层附近存在影响大气湿度的天气系统或物理过程。

现在分析均方差的水平分布 (见图 2)。可见, 冬季 σ_Q 均是南大北小; 夏季地面长江流域为低值区, 而高层地理上的差异不明显。 σ_F 也只在冬季存在较明显的差异 (故

未给出夏季情况), 大值区低层在北方, 高层则移到了南方。

2. 平均湿度的标准误差

该误差由下式决定:

$$\sigma_A = \sigma_A / \sqrt{n} \quad (6)$$

它是由观测误差、系统不均一性以及序列过短等因素引起的。在 (6) 式中, A 表示 Q 或 F , n 为序列容量。上面已分析了 σ_A 的特征, 故 σ_A 的特征也就确定了。所要说明的是, 通常观测得到的资料序列容量 n 值随高度逐渐减小, 因而对同样的 σ_A , 高空 σ_A 较大一点。计算表明 (见表 1), 除个别情

表1 平均值的标准误差 (19时; $\sigma_Q: 10^{-4} g \cdot kg^{-1}$; $\sigma_F: 10^{-4}$)

高度 (hPa)		地面	900	850	800	700	600	500	400	300	200	
广 州	1月	σ_Q	1803	1720	1658	1515	1166	746	236	126	40	4
		σ_F	110	141	152	157	164	131	141	121	58	54
	7月	σ_Q	3294	2738	2466	2165	1736	1343	1109	238	264	24
		σ_F	80	88	92	97	85	95	135	117	113	80
北 京	1月	σ_Q	394	224	192	174	166	172	127	63	9	7
		σ_F	135	153	167	163	162	154	133	194	97	92
	7月	σ_Q	1691	1537	1403	1208	1068	1271	917	228	235	20
		σ_F	94	104	101	96	98	167	179	159	154	107

况外, 均有 $\sigma_Q < 0.3g \cdot kg^{-1}$, $\sigma_F < 0.02$ 。因而, 在 \bar{Q} 和 \bar{F} 不太小的情况下, 平均湿度场气候图上等 \bar{Q} 线间隔取 $1g \cdot kg$ 或等 \bar{F} 线取 0.1 间隔, 就可以较好地表示平均湿度场分布。表 1 中只列出了广州和北京两站的结果, 其它站的情况与其类似。

(6) 式仅表示了平均值的绝对误差。在衡量平均值的代表性时, 平均值的离差系

表2 平均值的离差系数 (19时; $C_{\bar{Q}}: 10^{-4}$; $C_{\bar{F}}: 10^{-4}$)

高度 (hPa)		地面	900	850	800	700	600	500	400	300	200	
广 州	1月	$C_{\bar{Q}}$	261	284	284	278	307	460	244	278	358	244
		$C_{\bar{F}}$	170	216	277	239	307	471	473	273	358	239
	7月	$C_{\bar{Q}}$	153	153	159	165	187	216	386	165	324	273
		$C_{\bar{F}}$	85	97	102	108	153	193	341	165	278	222
北 京	1月	$C_{\bar{Q}}$	460	358	324	307	341	460	478	463	454	329
		$C_{\bar{F}}$	432	409	358	312	307	369	466	346	312	301
	7月	$C_{\bar{Q}}$	102	125	131	131	165	307	460	210	204	295
		$C_{\bar{F}}$	136	159	153	148	153	290	409	222	329	250

3. 湿度分布的偏斜程度

偏度是变量分布是否对称的一种量度。从理论上讲, 只有当偏度系数 C_s 为零时方为正态分布; C_s 的绝对值愈大, 表示偏斜的程度愈大。但实际上, 当序列容量 n 有限时, 即使是从正态总体中抽样, 其 C_s 为零的情况也是罕见的。一般说来, 只有在

$$|C_s| > 2\sigma_{cs} \quad (8)$$

$$\sigma_{cs} = \left[\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)} \right]^{1/2} \quad (9)$$

时, 才认为分布是偏态的^[4]。式中 σ_{cs} 为偏度系数 C_s 的标准差, 仅为序列容量的函数。计算表明 (表略), 多数序列满足 (8) 式, 即分布是偏态的。冬季峰值多偏左 ($C_s > 0$), 夏季多偏右 ($C_s < 0$), 这与冬天干冷、夏天暖湿空气的频繁活动相对应。

4. 湿度场相关分析

(1) 地面与高空各层水汽变化之间的关系

图 3a 是北京站地面与高空各层湿度 (以比湿表示) 相关系数 r 值。可见, 不管是冬季还是夏季, r 几乎均大于零。这表明, 北京不同高度上的湿度在统计的意义上具有同时增加或同时减少的变化趋势。这种关系在低层最好, 随高度逐渐变小, 约在 500hPa (冬) 和 850hPa (夏) 降到 0.5。在 500hPa

数 (即相对误差):

$$C_A = \sigma_A / \bar{A} \quad (7)$$

是一个更为适合的参量。现以广州、北京为例, 分析 C_A 的垂直分布 (见表 2)。 C_A 最大值一般出现在中层 (600至 500hPa) 或高层 (300hPa 左右), 这表明那里平均值的代表性相对而言要小一点。一个例外情况是, 北京冬季低层的 C_A 值也较大。

(冬) 和 600hPa (夏) 高度以上, 递减率可为负值。

从图中还可以看出一个事实: 同一季节不同同时次的相关系数相差不大, 而不同季节却有着明显的不同, 除高层外, 冬季大于夏季。这种现象是由北京地区气候及比湿的性质决定的。冬季, 北京受干冷的冬季风控制, 整层大气湿润性质比较均匀。反之, 夏季受暖湿的夏季风影响, 移动较快的低涡等天气系统及降水过程使得不同高度上的水汽变化相当复杂, 因而相关性较差。这一事实说明相关性特征与季风气候有密切关系。

为了进一步说明这一点, 下面考察处于东部季风区西缘的成都 (图 3b) 和内陆的乌鲁木齐 (图 3c) 两站的情况。成都冬夏季水汽状况相似: 夏季受西南气流控制, 是沿长

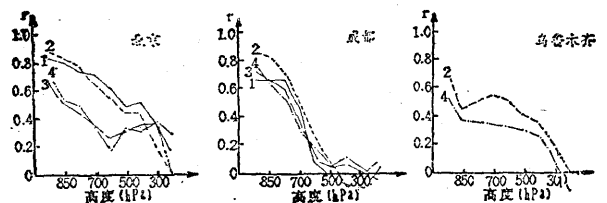


图 3 地面与高空湿度相关

1. 冬季 07 时, 2. 冬季 19 时, 3. 夏季 07 时, 4. 夏季 19 时

江为轴线的水汽丰沛区的一部分，冬季，来自南部的低层暖湿空气辐合于此，其湿润程度为全国之冠〔3〕（这与东部季风区明显不同）。而位于天山北麓的乌鲁木齐，全年几乎都处于西北气流控制之下，大气湿润状况变化也不大，故其冬夏相关程度也比较接近。

通过以上对不同气候区大气湿度相关性质的讨论，可以得出如下结论：季风是影响我国东部地区湿度场季节变化的主要因素。冬季风气候特征越明显，地面与高空湿度变化的相关性越好，而夏季风却与之相反。因此，在我国北方（尤其是冬季），根据地面水汽状况推测高空状况效果较南方（尤其是夏季）在统计的意义上来说要好。

（2）主要高度层湿度相关的地理分布

从图4可以看出，除了广州和武汉850和500hPa之间的相关外，广州、上海、武汉和北京4站（长春缺冬季资料）冬季的相关性均大于夏季。就地理分布而言，相关程度一般自南向北增大，这与前面的讨论一致。在纵坐标所列的几种情况中，高相关区的范围南北差异很大。例如，冬季 $r_{ab} > 0.6$ 的范围在广州、武汉仅限于地面与850hPa一个相关层，而北京却有4个相关层。最大相关值轴线（图中双虚线）冬季在低层（地面—850hPa），而夏季中低层（850—700hPa，700—500hPa）之间的相关性最大，且轴线由北向南逐渐抬高。

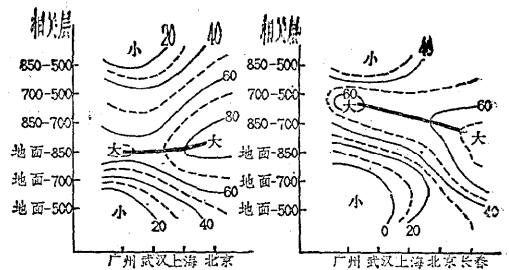


图4 主要高度层相关的水平分布

四、结论

1. 在水汽丰沛的南方及北方的夏季，平均湿度的代表性较好，且大气低层好于中、高层。
2. 一般说来，将大气湿度看作正态分布是不合理的。
3. 在统计的意义上而言，整层大气湿度变化的趋势基本上是一致的，其相关性北方大于南方、冬季大于夏季。冬天，地面与大气低层相关性较好，而夏天则大气中、低层之间的变化最为一致。

参考文献

- 〔1〕王炳忠、许协江，我国高度场的数理统计特征，气象科学技术集刊（1），气象出版社，1981。
- 〔2〕中央气象局，《中国高空气候》，科学出版社，1975。
- 〔3〕W. M. O., International Meteorological Table, WMO-No. 188, TP. 94.
- 〔4〕C. E. P. Brooks and N. Carruthers, Handbook of statistical Methods in Meteorology, London, 1953.

致谢：王炳忠同志提供了资料使用上的方便，并对整个工作给予帮助，谨致谢意！

Statistics of the atmospheric humidity in the monsoon areas

Liu Yongqiang

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

The statistics of the air humidity was carried out based on the calculation of the humid parameters. The air and dewpoint temperature records in January and July dating from 1960 to 1969 were collected from seven weather stations, five of which are located in the monsoon areas. The analysis of the features of statistical quantities, including their geographical distributions, seasonal variations and vertical differences indicates that the basic features are dependent mainly on the characteristics of the monsoon climate.