

我国自由大气与山地水汽压垂直 递减规律的初步研究

翁笃鸣 方先金 李占青

提 要

本文应用全国103个探空站资料,拟定出水汽压垂直递减公式。计算了1、4、7、10月和年平均自由大气与山地水汽压递减系数;讨论了水汽压递减系数的影响因子;对自由大气与山地水汽压递减系数的年变化进行了分型与区划;最后,绘制出自由大气和山地水汽压递减系数的全国分布图,分析了其分布规律,并对两者进行了比较。

水汽压是一个基本的气候要素,探讨水汽压的时空分布对于了解各地湿润状况有着重要意义。近几年来,在我国各地先后进行了一些山区气候考察,对山区水汽压垂直分布状况也作过一些分析,但其深入程度远比不上对气温直减率的研究。因此,有必要从全国范围来研究水汽压的垂直分布规律。本文在前人研究的基础上,对此问题作了初步分析、讨论。

一、水汽压垂直分布经验模式的选取

大气中的水汽主要通过湍流扩散由下垫面输入,因此水汽压一般总是随高度的增加而减小。早期,韩恩(Ж.Нанн)、卡明斯基(А.А.Каминский)曾应用山区实测资料得出如下两种水汽压沿坡面随海拔高度递减的经验公式^[1]

$$e_z = e_0 10^{-\frac{z}{6300}}$$

$$e_z = \frac{e_0}{1+0.0004z}$$

这里 e_z 、 e_0 分别代表 z 高度(米)和海平面的水汽压值(百帕)。

1984年7月3日收到,10月30日收到修改稿

我们根据全国若干探空站资料绘制出水汽压随气压的分布图(图1),发现其递减规律基本相同。根据图1的特点和前人的结论,选取以下五种经验公式进行拟合试验:

$$e_z = a \exp(bZ) \quad (1)$$

$$e_z = \frac{1}{a + bZ} \quad (2)$$

$$e_z = aZ^b \quad (3)$$

$$e_z = a \left(\frac{P}{1000} \right)^b \quad (4)$$

$$e_z = a \exp\left(\frac{b}{P}\right) \quad (5)$$

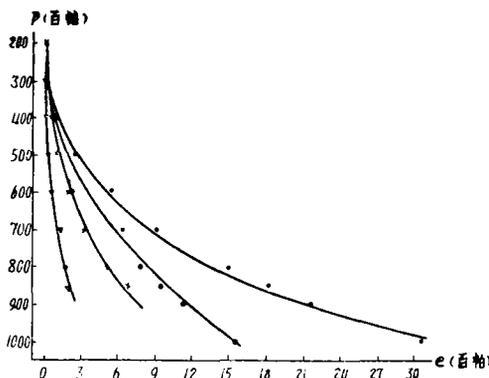


图1 河口,库车1月、7月水汽压随气压分布
1—海口7月,2—海口,1月3—库车7月,4—库车1月

式中 e_z 、 Z 的意义及单位同上, P 为气压(百帕)

我们应用1960—69年中国高空气候资料进行拟合实验,挑出精度最高的(4)式作为自由大气中水汽压垂直递减的经验公式。

公式(4)中的经验系数 a 、 b 的物理意义可理解为: a 表示海平面水汽压 e_0 , 而 $b = (\ln e_0 - \ln e_z) / (\ln 1000 - \ln P)$ 表征水汽压垂直递减快慢的指数,称为水汽压递减系数。

据验算,公式(4)也适用于描述山地水汽压的递减规律(表1)。

表1 用公式(4)拟合各山区年平均水汽压垂直分布的结果

	天山山脉	秦岭南坡	红河河谷
测点数量 N	7	10	15
相关比 R	0.991	0.975	0.978
回归误差 S_r	0.294	0.445	0.259
相对误差(%)	5.90	3.45	1.74

这种一致性对于本文分析自由大气与山地水汽压递减系数以及与此有关的问题都带来方便,由于山区气象站网稀疏,在求算公式(4)的 a 、 b 系数时,只能选择各对山麓—山顶站点进行确定。虽然这样做会带来一定的抽样误差,但从所得结果看,作为初步分析仍不失其参考价值。

二、水汽压递减系数的影响因子

自由大气水汽压递减系数与山地水汽压递减系数不完全相同。前者表征自由大气中随距下垫面高度增加而引起的水汽压垂直递减的快慢;而后者则表征水汽压随山区测点

海拔高度升高而减小的快慢。因此，两者的影响因子也不完全相同，后者在更大程度上受测点地面条件的制约。

大气中的水汽不仅来自下垫面的湍流输送，同时还来自平流输送。由于这两种输送的物理机制不同，因此，对水汽压递减系数的影响也不相同。前者实际上是一种梯度输

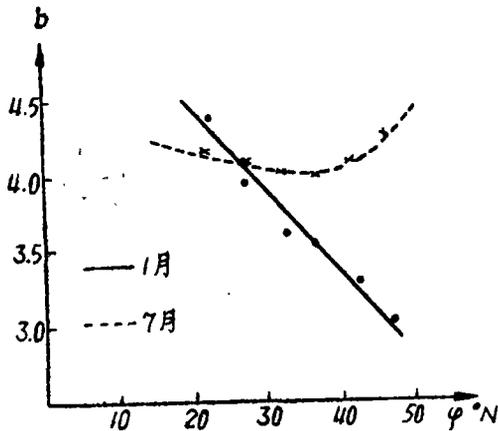


图 2 自由大气水汽压递减系数随纬度变化

1月自由大气水汽压递减系数 b 随着纬度 φ 的增加而一致地递减，其变化情况大致可用下式表示：

$$b = 5.337 - 0.048\varphi$$

上式的相关系数为 -0.974 。夏季(7月)递减系数随纬度的变化不明显，平均保持在 $4.0-4.3$ 之间。在 $30^\circ-40^\circ$ 间的相对低值显然与夏季雨带活动以及地面与大气中水汽差异变小有关。

在东部山地，全年都是高纬的水汽压递减系数大于低纬地区(表 2)。

表 2 各纬度带 1 月、7 月山地水汽压递减系数

纬度	20°~25°	25°~30°	30°~35°	35°~40°	40°~45°
1月	0.94	2.31	2.66	2.62	2.61
7月	2.21	2.41	2.66	3.00	3.52

2. 大水体的影响 大水体对我国水汽压递减系数的影响可以从正反两方面来说明。其一，由于海陆分布引起的我国年降水量、年蒸发量由沿海向内陆递减，使得水汽压递减系数也相应地由沿海向内陆递减；其二，湿平流由沿海向内陆减弱导致与前者相反的水汽压递减系数分布。后者主要取决于大气环流状况，有明显的年变化。在夏季(7月)这两方面因素有一定程度的抵销，所以水汽压递减系数由沿海向内陆变化较小。而在冬季，由于后一因素作用显著减小，水汽压递减系数出现由沿海向内陆递减的明显趋势(表 3)。

表 3 距南海不同距离各站点1月、7月自由大气水汽压递减系数

站 点	阳 江	梧 州	桂 林	芷 江
北 纬	21°52′	23°29′	25°10′	27°27′
东 经	111°58′	111°18′	110°18′	109°38′
1 月	4.14	4.25	4.31	4.21
7 月	4.48	4.42	4.30	3.83

但是，水体对于山地水汽压递减系数的影响与自由大气并不完全一样。在山区水汽压递减系数主要受下垫面湿润程度影响。所以在沿海山区的水汽压递减系数一般都比内陆山区小(图4、6、8)。

3. 山脉走向的影响 在迎风坡一方面因气流作动力抬升，引起降水量随高度增大造成地面湿度增大；同时又因迎风坡常受湿平流影响，导致水汽压递减系数减小。反之，在背风坡，由于气流下沉，反使水汽压递减系数有所增大。

我国东西走向的山脉，夏季南坡或东南坡为迎风坡，而北坡或西北坡为背风坡，故南坡和东南坡水汽压递减系数小于北坡或西北坡；冬季则相反，且绝对差值大于夏季(表4)，这主要与水汽压递减系数和气温直减率在物理意义上有相当直接的联系有关。

表 4 东西(东北—西南)走向山脉1月、7月山地水汽压递减系数

山 脉		秦 岭		九 仙 山		长 白 山	
月 份		1	7	1	7	1	7
坡 向	南坡(东南)	3.52	2.43	2.18	2.45	2.68	2.69
	北坡(西北)	3.04	2.53	1.58	2.09	2.37	2.75

冬季，由于受西风带影响，南北走向的高大山脉，东坡的水汽压递减系数都大于西坡，

4. 拔海高度的影响 在平均情况下，根据(4)式计算的水汽压递减系数为一常数。但在山地，由于随测点拔海高度增加，山地地面水汽压受自由大气的影晌增大，按拔海高度分段计算的山地水汽压递减系数更接近于自由大气，而自由大气水汽压递减系数一般比山地大(详见后)。因此，在山区，随着测站拔海高度增加分段计算的水汽压递减

表 5 不同海拔高度的山地水汽压递减系数*

测 站	糖 厂	四 角 田	打 牌 楼	元 阳 站
平均拔海高度(米)	604.3	889.0	1166.3	1485.7
水汽压递减系数	1.78	2.00	2.18	2.60

* 红河州气象台，红河河谷横断面气候考察基本资料，1979年

系数一般增大(表5)。表中数据为1975年8月在红河河谷北坡,根据不同高度的各组(每组三站、所列站名代表此组的中间站点)依次滑动平均计算得到。

5.地形的影响 这里主要指高原、盆地等大的地形因子。高原是一种大面积的隆起地形(如青藏高原),水汽的平流输送作用较小,因此,高原地区的水汽压递减系数一般较大。在下垫面性质相同的条件下,盆地中因受四周地形阻挡,与外界大气的水汽交换较弱,使递减系数减小。较明显的有如南疆盆地的低值区。

三、水汽压递减系数的年变化

前已指出,水汽压递减系数与地面湿润状况、加热状况、湍流扩散以及平流条件等有关。由于这些因子都有季节变化,所以水汽压递减系数也有年变化。

(一)自由大气水汽压递减系数年变化类型

1.全年少变型 I 此型分布于黄河、秦岭以南的广大地区,其北界大致与我国湿润气候区北界相当,是我国季风气候比较显著的地区(图略)。这里,一方面距海洋较近,纬度较低,地面水份与热量状况充分、少变;同时季风影响又对水汽压递减系数的年变化起抵销作用。该型也有较弱的年变化,根据相对低值出现的季节可分为两个副型:夏小少变型(I_A),冬小少变型(I_B)。I_A在黄河、秦岭以南和淮河流域以北,其夏季月份水汽压递减系数偏小是由于夏季水汽平流输送特别明显所造成的;I_B分布于长江中下游和淮河流域,其冬季递减系数偏小可能是与冬季本区比较干燥,太阳辐射相对较弱有关(表6)。

表6 自由大气水汽压递减系数的年变化

型号	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I _A	昆明	4.56	4.58	4.55	4.51	4.42	4.22	4.32	4.29	4.45	4.63	4.66	4.58
I _B	南京	3.58	3.61	3.98	4.18	4.11	4.05	4.02	4.09	4.01	4.01	4.06	3.78
II	拉萨	4.46	4.53	4.74	4.98	5.26	4.60	4.50	4.52	4.80	4.85	4.87	4.12
III	哈尔滨	3.71	3.83	4.02	4.17	4.19	4.34	4.25	4.15	4.15	3.91	4.05	4.06
IV	库车	4.51	4.65	4.64	4.35	4.20	4.11	3.96	3.99	4.07	4.62	4.62	4.67

2.春秋双峰型 II 分布于广大的华北、西北大部分地区和青藏高原。水汽压递减系数年变化规律是:春秋大、冬夏小。以上两种型式是我国水汽压递减系数年变化的主要型式,在个别地区还存在以下两种型式。

3.夏季型 III 该型仅限于东北地区。其年变化特点是夏大、冬小。

4.冬季型 IV 该型仅限于南疆盆地。水汽压递减系数冬大、夏小。

(二)山地水汽压递减系数的年变化类型

1.冬季型 I 该型主要分布于西南、青藏高原、北疆和东北地区,其年变特点是冬大、夏小。

2. 春秋双峰型Ⅱ 该型以春秋季节较大、冬夏季较小为特点，主要分布华东、华北、西北和南疆地区。是山地水汽压递减系数年变化的主要型式(表7)。

表7 山地各类水汽压递减系数的年变化

型号	月	份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	站	峨嵋山—峨嵋	3.13	2.99	2.78	2.65	2.60	2.76	2.62	2.60	2.50	2.60	2.85	3.10
Ⅱ	点	五台山—原平	1.59	2.24	2.88	2.61	2.60	2.76	2.71	2.78	3.02	3.13	2.71	2.61

四、水汽压递减系数的全国分布

为分析全国水汽压递减系数的空间变化规律，我们根据103个探空站和70对山麓—山顶资料，分别计算了自由大气和山地的水汽压递减系数，并绘制了各自的1、4、7、10月和年平均水汽压递减系数分布图。下面择其1、7月和年平均的情况进行分析、对比。(图3—8)。

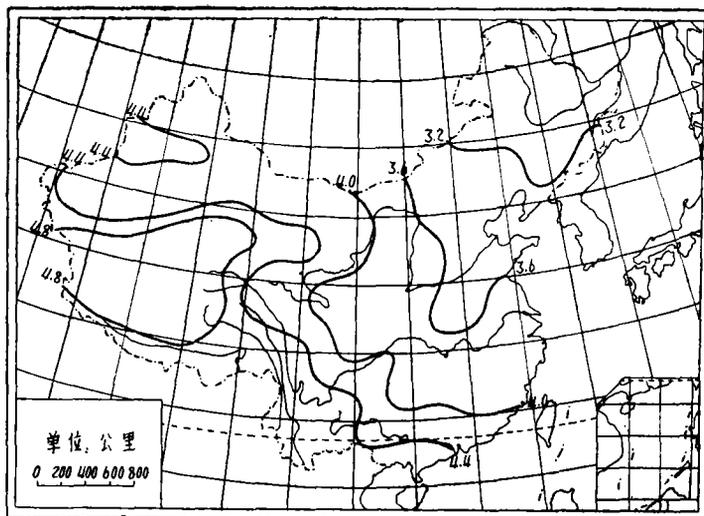


图3 1月自由大气水汽压递减系数分布

1月自由大气水汽压递减系数分布的总趋势是：低纬大于高纬、高原大于平原、沿海略大于内陆。在我国东部地区，水汽压递减系数的分布形势为一深槽，槽线大体沿海岸线自东北指向两湖盆地，与500百帕上的东亚大槽基本配合一致。青藏高原为高值中心(图3)。1月山地水汽压递减系数分布的总趋势与自由大气相似，但其平均数值有较大差异，自由大气为4.01，而山地仅2.87。由此可见，山区降水对水汽压垂直布分影响很大。在青藏高原两者差别不大(图4)。

夏季(7月)，自由大气水汽压递减系数的分布与1月相比有较大差异。7月的基本特点是：水汽压递减系数在全国围范内变化很小，变幅仅1.12，远比1月(2.44)为小；水汽压

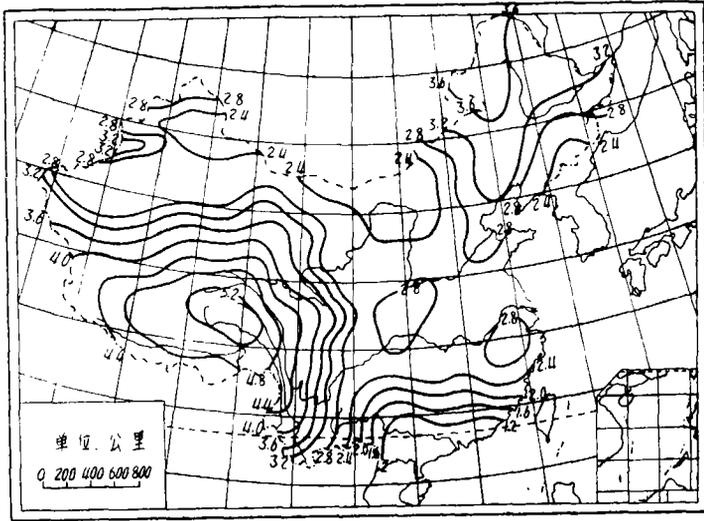


图 4 1月山地水汽压递减系数分布

递减系数南北差异也不明显；内陆略大于沿海；高原略大于平原；由南疆盆地，柴达木盆地直至河套地区为一低值带(图5)。7月山地水汽压递减系数分布与1月相比要简单些；

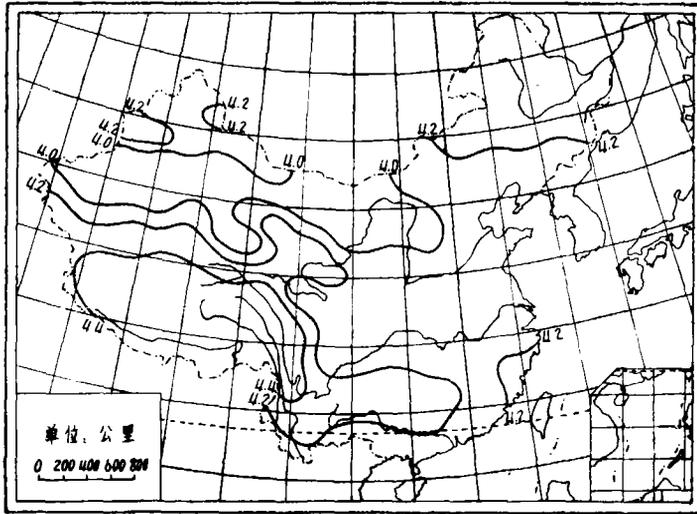


图 5 7月自由大气水汽压递减系数分布

在东部地区水汽压递减系数由北向南递减；高原的水汽压递减系数略大于平原，黄土高原有一高值中心；在新疆有一较明显的低中心。与7月自由大气水汽压递减系数分布相比，形势和数值均有较大差异(图6)。

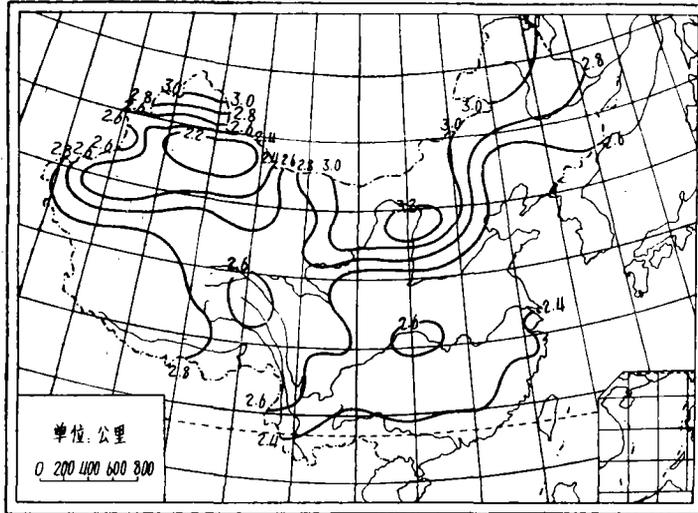


图 6 7月山地水汽压递减系数分布

年平均自由大气水汽压递减系数分布形势与1月比较相似，仍有低纬大于高纬，西部大于东部，高原大于平原的特点。青藏高原为高中心；东北平原为低值带。全国范围

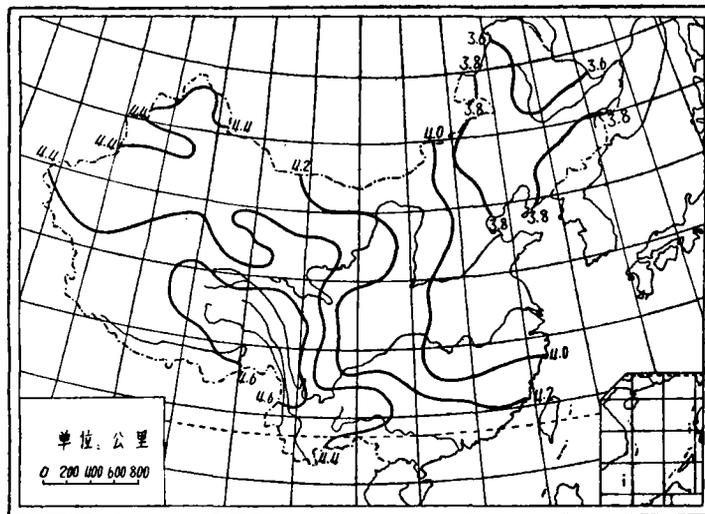


图 7 年平均自由大气水汽压递减系数分布

水汽压递减系数分布比较均匀，尤其在黄河、长江下游间的广大平原和丘陵地区接近于均值区(图7)。年平均山地水汽压递减系数分布也与1月相似(图8)。

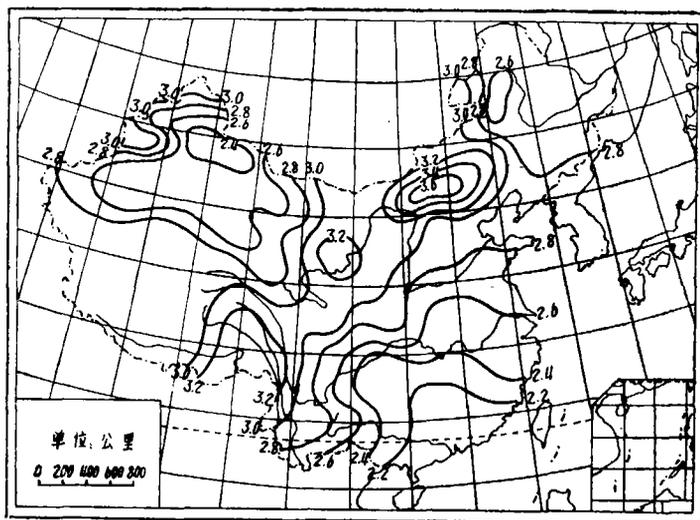


图 8 年平均山地水汽压递减系数分布

五、结 语

1. 无论自由大气或山地，水汽压都以相当高的精度服从 $e = a(P/1000)^b$ 规律垂直向上递减。递减的快慢取决于水汽压递减系数 b ， b 越大，递减越快。自由大气中 b 平均为 4.0，山地则为 2.5。

2. 水汽压递减系数与测点纬度、离大水体距离、山脉走向、海拔高度等地理条件以及和环流状况、下垫面状况等有关。对于自由大气，以离大水体远近和环流状况影响最为显著；而山地则以山脉走向和下垫面状况影响为主。

3. 水汽压递减系数存在着季节变化。在我国自由大气水汽压递减系数年变化可以分为四种型式：全年少变型、春秋双峰型、夏季型、冬季型。且以前两种型式最为普遍；山地的递减系数年变化可分为两种：春秋双峰型、冬季型。

4. 自由大气和山地水汽压递减系数的分布规律，既有共同点又有不同点。其共同点为：高原大于平原，平原大于盆地，干燥地区大于湿润地区，夏季分布比冬季均匀。不同在于：山地水汽压递减系数分布较自由大气复杂，水平梯度比自由大气大，尤以山脉的迎风坡和背风坡的水平梯度最大。另外，水体对自由大气水汽压递减系数的影响有明显的季节变化，而对山地则不然。

参 考 文 献

- [1] 么枕生, 气候学原理, 科学出版社, 1959.

A PRELIMINARY STUDY ON THE VERTICAL DECREASE OF WATER VAPOR PRESSURE IN THE FREE ATMOSPHERE AND OVER MOUNTAINOUS AREAS OF CHINA

Weng Duming Fang Xianjin Li Zhanqing

ABSTRACT

A formula is presented for the vertical decrease of water vapor pressure based on data from 103 radiosonde stations throughout the country. Annual mean value and monthly means for January, April, July and October of coefficients of vertical decrease in vapor pressure are calculated for the free atmosphere and along the mountain slopes. Factors affecting these coefficients are discussed. Classification and delineation of annual variations are made. On this basis a chart showing the distributions of the decrease coefficients in both cases over the country is constructed. Finally analysis and comparison are made of the distribution patterns.