



# “饱和能差”的意义与应用

雷雨顺 吴正华\*

在天气预报中，选取有物理意义的预报因子是一个很重要的问题。其中有许多物理量是气象台和气象站的预报中都可以计算使用的。关于能量分析的某些概念和总温度的计算、使用方法，大家都已熟悉。现在再介绍一下“饱和能差”这一物理量，希望能对台站的实际工作有所裨益。

## 一、定义和物理意义

大气湿度是决定云、雾、降水等天气现象的基本物理因子之一。一般用两种物理量表示：一种是用绝对值表示的，如水汽压、绝对湿度、比湿、露点温度等；另一种是用某种相对值表示的，如饱和差、相对湿度、温度露点差等。“饱和能差”就是用相对值表示湿度的一种物理量。

按照能量的观点，空气中的水汽在凝结成云雨滴时会释放潜热能，单位质量湿空气所含有的潜热能（或叫湿焓）为：

$$E_1 = Lq \quad (1)$$

其中， $q$  为比湿（常用混合比  $m$  代替）， $L$  为凝结潜热。当此单位质量的空气在等压、等温的条件下达到饱和时所具有的潜热能，称为饱和潜热能，即：

$$E_s = Lq_s \quad (2)$$

其中， $q_s$  为饱和比湿（或饱和混合比）。

用饱和潜热能减去实有的潜热能，叫作“比饱和能差”（简称“饱和能差”），即：

$$E_d = E_s - E_1 = L(q_s - q) \quad (3)$$

由于  $q \approx m = \frac{0.622e}{P-e}$   $(4)$

故  $E_d = \frac{0.622PL(E-e)}{(P-E)(P-e)} \approx \frac{0.622L}{P}(E-e) \quad (5)$

其中， $E$ 、 $e$  分别为饱和水汽压和实际水汽压。因此，所谓饱和能差就是在定温、定湿、定压条件下，单位质量的湿空气达到饱和所需补充的潜热能量。在定压的条件下， $E_d$  的数值和饱和差成正比。

不过，使用“饱和能差”比饱和差有一些优越之处。在比较位于不同高度上气块的  $E_d$  时，由于它与  $(q_s - q)$  成正比，所以可以部分地消除海拔高度的影响。因此，可以在地面天气图上分析饱和能差的水平分布，这是饱和差所不及的。

在实际工作中，为了计算和使用方便，也可以用饱和总温度 ( $T_s$ ) 和总温度 ( $T_t$ ) 的差值 ( $T_d$ ) 来代替  $E_d$ 。大家知道， $T_s$  和  $T_t$  是分别与总比能（单位质量空气的总能量， $E_t$ ）和饱和总比能  $E_s$  相当的温度，即：

$$T_s = \frac{E_s}{C_p} = T + \frac{g}{C_p}z + \frac{L}{C_p}q_s + \frac{1}{2C_p}V^2 \quad (6)$$

$$T_s = \frac{E_s}{C_p} = T + \frac{g}{C_p}z + \frac{L}{C_p}q_s + \frac{1}{2C_p}V^2 \quad (7)$$

其中， $T$ 、 $z$ 、 $g$ 、 $V$  和  $C_p$  分别是温度、高度、重力加速度、全风速和定压比热。

用 (7) 式减去 (6) 式，可以得出饱和能差 ( $T_d$ )：

$$T_d = T_s - T_t = \frac{E_s}{C_p} - \frac{E_t}{C_p} = \frac{L}{C_p}(q_s - q) \quad (8)$$

由 (8) 式可见， $T_d$  是与饱和能差相应的温度，即空气块总温度与饱和总温度之差。为了避免引入太多的新名词，下面仍简称为“饱和能差”。

从理论和实践上都能证明，应用  $T_d$  比用温度露点差更好。特别是在分析夏季天气时，用温度露点差来判断空气距饱和的程度不合理，而用饱和能差就更好一些。

## 二、求算方法

从饱和能差 ( $T_d$ ) 的定义可知：

$$T_d = T_s - T_t$$

因此，只要求出  $T_s$  和  $T_t$  来，即可得出；对于气象台在天气图上操作，用此法甚方便。关于  $T_s$  和  $T_t$  的查算，在《气象科技资料》1977年能量天气分析资料附刊中已有详细说明。

为了应用于气象站天气预报，(8) 式可改写为

$$T_d = \frac{0.622L}{C_p P} (E - e) \approx \frac{1555}{P} (E - e) \quad (9)$$

其中  $L \approx 600$  卡/克， $C_p = 0.24$  卡/克·度。对固定站， $P$  为本站多年平均气压，事先制好一个极简单的查算表，可供一年四季使用。如果只是为了本站使用并不与它站比较，也可以用饱和差  $(E - e)$  代替饱和能差，就更为简单。这样， $(E - e)$  也就是单站用以代替量纲上不合理的  $(T_s - T_t)$  的合适量。

## 三、大气中饱和能差的变化特征

1. 自由大气中  $T_d$  的铅直变化 由于温度和水汽都是随高度减小的，所以二者的函数  $T_d$  自然也随高度而减小。图 1 是北京探空站 1960—1969 年逐月平均  $T_d$ （实线）和  $T_s$ （虚线）的铅直剖面图。由图中可见，自由大气中（900 毫巴以上高空） $T_d$  是随高度增加而减小的，且在同一高度上， $T_d$  值以夏季最大、冬季最小。

2. 干暖盖现象 行星边界层内， $T_d$  自地面向上增加，并在 900 毫巴高度达到最大，以后又减小。这是因为，行星边界层内温度随高度的递减率小于水汽

\* 张兰香、杨红梅同志参加了部分工作。

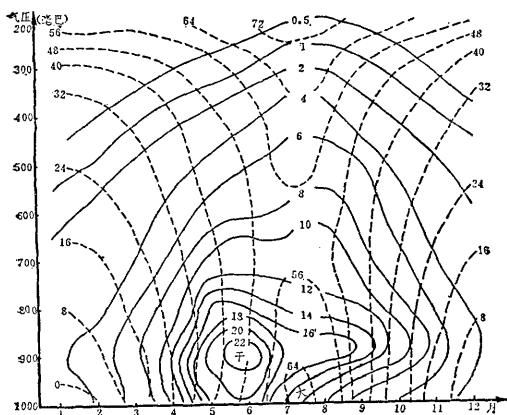


图 1 北京多年平均 (1960—1969年) 各月饱和能差 (实线) 和总温度 (虚线) 的铅直剖面图  
(单位均为°C)

随高度的递减率。这种现象在行星边界层顶有逆温时, 尤其明显。逆温(稳定)层像个盖子似地抑制了对流的发展, 故称之为干暖盖。在干暖盖下方聚积的能量, 是以后强对流突然爆发的主要能源。

3. 日较差和日际变化 由于比湿日变化小, 而近地面温度日变化大, 故下午的  $T_s^*$  最大, 子夜以后  $T_s^*$  最小 (图 2)。在夏半年, 地面日较差可达  $40-50^\circ\text{C}$  以上。特别是夜间  $T_s^*$  常只有  $1-3^\circ\text{C}$ , 这不仅有利于露水的形成, 也可能是在低层存在扰动时, 夜雷雨易发展的一个条件。

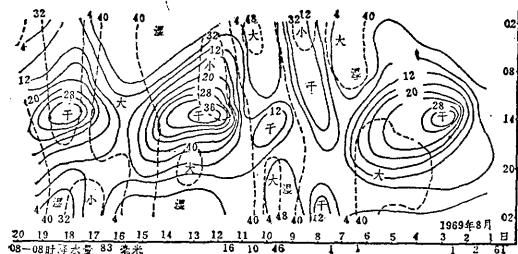


图 2 1969年8月北京西郊气象站的饱和能差 (实线) 和潜热能 (虚线) 面化图 (单位均为°C)

图 2 也说明, 地面饱和能差的日际变化很大, 高温晴朗的下午  $T_s^*$  可达  $40-50^\circ\text{C}$ , 而阴雨天时  $T_s^*$  接近  $0^\circ\text{C}$ 。

#### 四、饱和能差和降水

饱和能差物理意义明确, 随季节、纬度、海拔高度和天气过程不同而有明显差异, 在近地面的昼夜变化明显。因此, 可以用它代替饱和差、温度露点差来研究许多气象问题。这里只就降水问题举几例说明。

1.  $T_s^*$ 、潜热能和降水的月平均分布 图 3 是根据我国几百个气象站1961—1970年各月平均  $T_s^*$ 、 $\frac{L}{C_p}q$ 、 $\bar{R}$  (平均月降水量) 资料绘制的点聚图, 图中  $\bar{R}$  等值线是按众数趋势绘成的。

由图可见, 潜热能在  $10^\circ\text{C}$  以下时, 多年月平均降

水量  $\bar{R}$  一般小于 10 毫米, 只是在  $T_s^*$  很小时,  $\bar{R}$  稍大; 潜热能在  $20^\circ\text{C}$  以下,  $\bar{R}$  大多小于 100 毫米; 潜热能达  $30^\circ\text{C}$  以上时,  $\bar{R}$  随  $\frac{L}{C_p}q$  的增大而很快增加, 可达 400 毫米以上, 而且这时  $T_s^*$  值一般不超过  $14^\circ\text{C}$ 。值得注意的是, 高湿季节里 (多年月平均  $\frac{L}{C_p}q \geq 20^\circ\text{C}$  以上), 对于同样的  $\frac{L}{C_p}q$  值,  $\bar{R}$  并不是随  $T_s^*$  增大而减小的, 而是在  $T_s^*$  的某一特征值 (图 3 中虚线) 时  $\bar{R}$  最大。这说明, 就多年月平均来讲, 多连阴雨天时,  $T_s^*$  很小, 但其  $\bar{R}$  并不一定很大。而在阴晴相间的月份,  $T_s^*$  在  $4-7^\circ\text{C}$  时, 几场暴雨过程就会造成月总雨量明显增多。图 3 还说明, 水汽较少时,  $T_s^*$  的变化 (主要由温度变化决定) 不会使降水变化很大; 而高湿条件下,  $T_s^*$  很小的变化, 也可使月降水量有很大差异。

#### 2. 干暖盖和

强对流过程 已有的文献指出, 在利用逐日每次单站探空资料制作的铅直时间剖面图上, 如在 800—900 毫巴附近出现一个强干暖盖 (以出现  $T_s^* \geq 20^\circ\text{C}$  的中心为标志), 则常预示很快要发生对流性大暴雨。在北京地区初夏强雹暴的前 2—3 天, 也常在对流层低层 (850

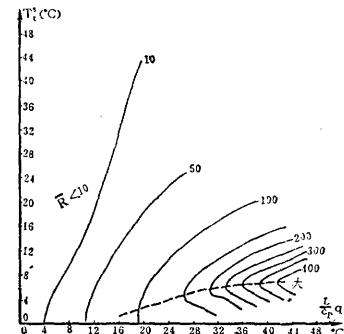


图 3 我国各地面气象站多年平均饱和能差 ( $T_s^*$ )、潜热能 ( $\frac{L}{C_p}q$ ) 和月降水量 ( $\bar{R}$ , 毫米) 关系图

毫巴附近) 存在  $T_s^* \geq 18^\circ\text{C}$  的干暖盖。如 1976 年 6 月 29 日北京强雹暴的前两天 (图 4), 850 毫巴等压面上均有  $T_s^* \geq 20^\circ\text{C}$  的干暖盖控制北京及华北平原上空。由于干暖盖抑制对流并使天气晴朗等作用, 使得这些地区近地面层湿空气的能量普遍增加、最大达  $15^\circ\text{C}$ 。雹暴当天, 中层有干冷空气侵入, 在对流层造成大量不稳定能量, 为强雹暴的发生准备了十分有利的条件。

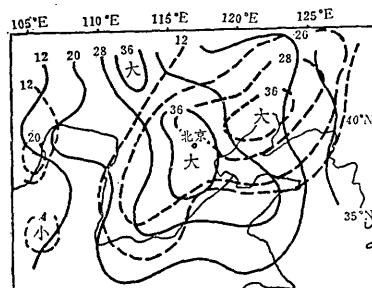


图 4 1976年6月27日 (实线) 和28日 (虚线) 08时850毫巴  $T_s^*$  分布图

图1也能说明干暖盖是强对流天气发生的气候背景。在6月份，北京上空的干暖盖最强( $T_d$ 达 $22^{\circ}\text{C}$ )，这大概是北京附近6月多雹的原因之一。在7、8月，干暖盖也较强，但由于空气块的能级较高，整个对流层的总温度平均值在 $56^{\circ}\text{C}$ 以上(见图1中虚线)，在降水过程来临之前， $T_d$ 值还常达 $65^{\circ}\text{C}$ 以上，因而强对流天气多表现为暴雨。到8月下旬和9月，能级迅速降低，但干暖盖仍有一定强度，故又出现后雹季。

3.  $T_d$ 和降水落区预报 近几年，我们在华北降水落区预报试验中发现，在其它条件有利于发生初生暴雨时，可根据14时(北京时间，下同)地面天气图上 $T_d \leq 20^{\circ}\text{C}$ 的区域大致确定未来30小时的主要雨区，且大暴雨区多位于 $T_d \leq 8^{\circ}\text{C}$ 的区域中。对于连续性降水，若存在继续发生暴雨的条件，则未来24小时的大暴雨多在14时地面图上 $\Delta_{24} T_d \leq 5^{\circ}\text{C}$ 的区域内发生。

4. 地面单站降水过程分析 由图2已看出，一次降水过程后 $T_d$ 逐日增大，数日后再突减，则预兆未来24—48小时有一次降水天气，如 $\frac{L}{C_p} q$ 在 $35^{\circ}\text{C}$ 以上可出现大暴雨。

我们直接用地面饱和差和 $e$ 的每6小时演变，分析一次大雪过程(见图5)。为了去掉日变化引起的 $(E - e)$ 的复杂变化，图中用每一时次和前三个时次的累加值 $\sum_{i=0}^{12} (E - e)$ 表示该时次的饱和差。由图5可见，本站饱和差逐日增大并一直维持较大值，而水汽压( $e$ )则一直缓慢增加。到21日08时依据A和a点，即可预计未来24小时有较大降水。这里要指出，21日下午 $e$ 突减而饱和差又突增表明干冷空气已从近地面进入本站，暖湿空气被抬升到空中。晚上本站降了大雪。22日上午雪停，本站温度较低( $\Delta T_{24}$ 约 $-6^{\circ}\text{C}$ )，但 $e$ 并无明显降低，预兆当夜降大雪。然而24日以后的高湿是与雪后温度明显升高，地面积雪迅速融化有关，并不预兆以后还有降水。

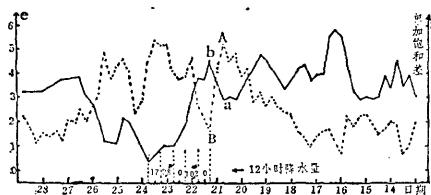


图5 1979年2月北京地面水汽压( $e$ ,虚线)和累加饱和差(实线)的6小时演变曲线

当然，降水天气的预报，还要参考其它资料方能作出正确的结论。

## 五、结语

根据能量观点提出的饱和能差 $T_d$ ，表示了单位质量湿空气达到饱和时所需补充的潜热能量。它是温度和湿度的函数，比常用的温度露点差及饱和差有优越之处。近几年来，通过夏季天气分析预报的实践，认识到它对于降水天气的分析和预报很有参考价值，值得对其普遍应用作进一步的研究。在实际工作中，使用已编好的查算表，可以迅速获得 $T_d$ 值，地面单站使用则更为简单。

## “DS—1”型机载测温仪

高空飞机人工降水科学试验及抗旱作业都须用一型仪器测示出一些实验数据。如飞行作业中选择作业云体部位，温度是一个很重要的参数。但我国飞机降水一直缺少国产专制的测温仪器，原用的苏制飞机电传气象仪、美制曲管温度表也只有个别科研单位有，而飞机温度表精度差，每格为 $5^{\circ}$ 。为解决云雾观测仪器，现已研制成功DS—1机载测温仪，并已投入使用。

DS—1机载测温仪是应用铂电阻作为测温元件，以线性化示值检测大气温度的数值，由8FC与BC7构成6伏恒压源供电子输入电桥回路，由FC54检测出温度变化的信号并放大后将每伏表示 $10^{\circ}\text{C}$ 温度数值并以表头读出温度值或输入到数字电压表由数码显示出温度数值，也可用快速电位差计上直接记录。该仪器测温范围 $+50^{\circ}\text{C}--50^{\circ}\text{C}$ ，测量精度误差小于 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。第一代产品于1979年生产九台投入使用。仪器为表头读数，体积27厘米×18厘米×12厘米，重2公斤。电源配用 $\pm 12$ 伏积层电池块。第二代产品，1980年开始生产使用，改为数码管显示读数，体积为30厘米×24厘米×10厘米，重3公斤。电源配用28伏镍镉电池。

该仪器具有体积小、轻便、易携带、自配电源、测温精度高的优点。除专用于飞机上测示云内外温度外，它还具有一机多用的特点，对感应头部外套稍作改动后，也可用于地面温度遥测，农用小气候测温、系留气球测温、防霜温度检测等用途。该仪器在1979年高空飞机上及地面防霜中使用，据反映性能良好。

(何绍钦)

## 《太阳能》杂志创刊

由中国太阳能学会主办的《太阳能》杂志，即将创刊。

《太阳能》是科普性刊物，主要登载太阳能资源、热水、干燥、水泵、采暖、空调、制冰、高温炉、热发电、育种、医疗、太阳电池及其应用方面的文章和资料。

《太阳能》为季刊，每期定价二角二分，从一九八〇年七月起在国内外公开发行，欢迎读者到当地邮局订阅。