

赤道新加坡地区 铅直静力能量廓线的初步研究

周 德 莊或勳

(新加坡气象局)

提 要

为了探讨能量天气分析原理能否应用在对流活跃的赤道新加坡地区, 本文利用新加坡的高空资料, 分析了1984年和1985年的铅直能量廓线。初步结果表明:

- (1) 赤道新加坡地区的大气层结多为具有潜在不稳定能量;
- (2) 可以根据有、无潜在不稳定能量, 预报新加坡未来12小时内的天气;
- (3) 赤道新加坡地区的大气柱平均能级和潜热能随着季节变动, 极大值出现在季节转换期, 极小值分别在东北季风初期和西南季风期。

一、引言

能量天气分析法是由中国气象科学工作者在1978年正式提出来的〔1〕—〔3〕。目前中国许多气象台、站应用它来制作夏季强对流天气预报, 收到了很好的效果。

能量天气分析法的基本理论和方法是根据大气能量学建立的。它提供了计算饱和总温度、总温度和干空气总温度的方法。根据这些总温度的铅直廓线分布, 我们可以简单地分析各种大气层结的稳定度, 为预报强对流天气的发生提供有效的先兆信息。值得指出的是, 这个方法不但计算简单, 而且总温度铅直廓线比传统的温熵图更醒目, 更能直观地反映局地大气的许多特性。

为了探讨能量天气分析法能否应用在对流活跃的赤道新加坡地区, 我们根据新加坡的探空资料制作了1984年和1985年单站铅直能量廓线, 并初步探讨了能量廓线与新加坡天气的相关关系。

二、资料和计算方法

本文所用的资料是1984年和1985年的逐

日00UTC (世界协调时, 当地时间为上午8时) 新加坡气象台的探空资料: 温度、露点和位势高度。为了检验每天有无降雨, 应用了前巴耶里巴 (Paya Lebar) 国际机场的每小时雷达回波记录以及新加坡全岛各地45个雨量站的雨量资料。有必要指出的是, 新加坡地区的天气多为午后对流性雷阵雨, 因此, 在探讨赤道新加坡地区的能量廓线与降雨有无相关关系时, 我们只考虑新加坡本岛从上午9时到晚上9时之间有雨或无雨的天气实况。

我们应用了文献〔1〕—〔3〕所提供的静力能量公式, 计算1984年和1985年的逐日1000、950、900、650和600hPa和标准层上的三种总温度, 并绘制铅直廓线。由于热带赤道地区的位势高度变化小, 所以在计算位能项时, 我们引用了新加坡的10年各层平均高度, 作为常数。同时, 动能项亦忽略不计; 上升气块的初始高度, 我们是用950、900和850hPa三层的平均总温度来确定。根据资料计算显示这个起始点的高度是在900hPa处, 相当于赤道新加坡地区的对流云底高度。对于有无潜在不稳定能量, 我们规定只

要过程曲线与饱和总温度廓线有两点相交，并围成面积时，就算作有潜在不稳定能量，而不计其大小。

我们利用上述方法，计算和绘制了1984年全年和1985年1—11月，共计700张铅直能量廓线图。

三、结果分析与讨论

新加坡位于热带近赤道地区（ 1.5°N 、 103.5°E ，见图1）。受南北两半球季风非常显著的影响。一般，每年12月—次年3月为冬季东北季风期；6—9月为夏季西南季风期。季风转换期为每年4—5月和10—11月之间。根据700份资料分析结果显示，赤道新加坡地区的每天能量铅直廓线的形状变化不大。没有像温带地区（中国）那样有多种类型。因此，为了突出铅直能量廓线在受到冬夏两种性质不同的季风影响下的演变特征，我们按季风月数平均绘制两种廓线：（1）有潜在不稳定能量型，（2）无潜在不稳定能量型。本文主要是讨论这两种类型廓线的一些初步统计特征和它与当地天气的相关关系。

1. 有潜在不稳定能量型

根据700份资料分析显示，赤道新加坡地区大气能量结构主要是有潜在不稳定能量型。统计表明，其出现的频率有94.6%。图2分别给出1984年（a, b）和1985年（c, d），东北和西南季风的平均能量廓线。可以看到，东北季风的潜在不稳定能量（面积），比西南季风的小，两者的潜在不稳定层都相当深厚；自由对流高度在800—700hPa之间，对流上限都在300hPa以上。这种类型的能量廓线的分布与新加坡的天气有十分密切的相关关系。根据资料分析显示，从上午9时至晚上9时的12小时内，在东北季风期间多为移动性阵雨，偶尔也有连续降雨；而在西南季风期间，几乎都是雷阵雨，连续降雨天气极少。应当指出，降雨量资料显示，潜

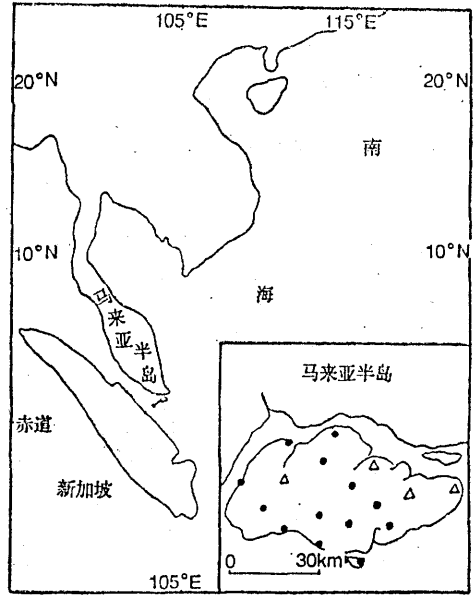


图1 新加坡的地理位置

●为雨量站，△为气象站

在不稳定能量（面积）的大小与雨量没有正相关关系。

图2可以直观看到饱和总温度廓线的垂直变化率。根据资料计算，在对流层中层（800—500hPa），东北季风的饱和总温度平均垂直递减率为 $-1^{\circ}\text{C}/100\text{hPa}$ ，小于西南季风的平均垂直递减率（ $-2^{\circ}\text{C}/100\text{hPa}$ ）；而在对流层上层（500—200hPa），两季风期间的饱和总温度平均垂直递增率几乎一样（ $+2^{\circ}\text{C}/100\text{hPa}$ ）。由图也可以看到，代表上升气块的过程曲线的总温度，除了1984年西南季风时的 66.6°C 外，其余季节的过程曲线总温度相差很小，都是在 65.0°C 左右，所以，可以认为赤道新加坡地区，对流层中上层的潜在不稳定能量（面积）的大小，主要是由于对流层中层大气条件不稳定度的差异所引起的。

2. 无潜在不稳定能量型

在赤道新加坡地区，无潜在不稳定能量的出现频率极小，只有5.4%。在1984年，东北季风期间，无潜在不稳定能量只有4天，而在西南季风期间，则一天也没有。因此，

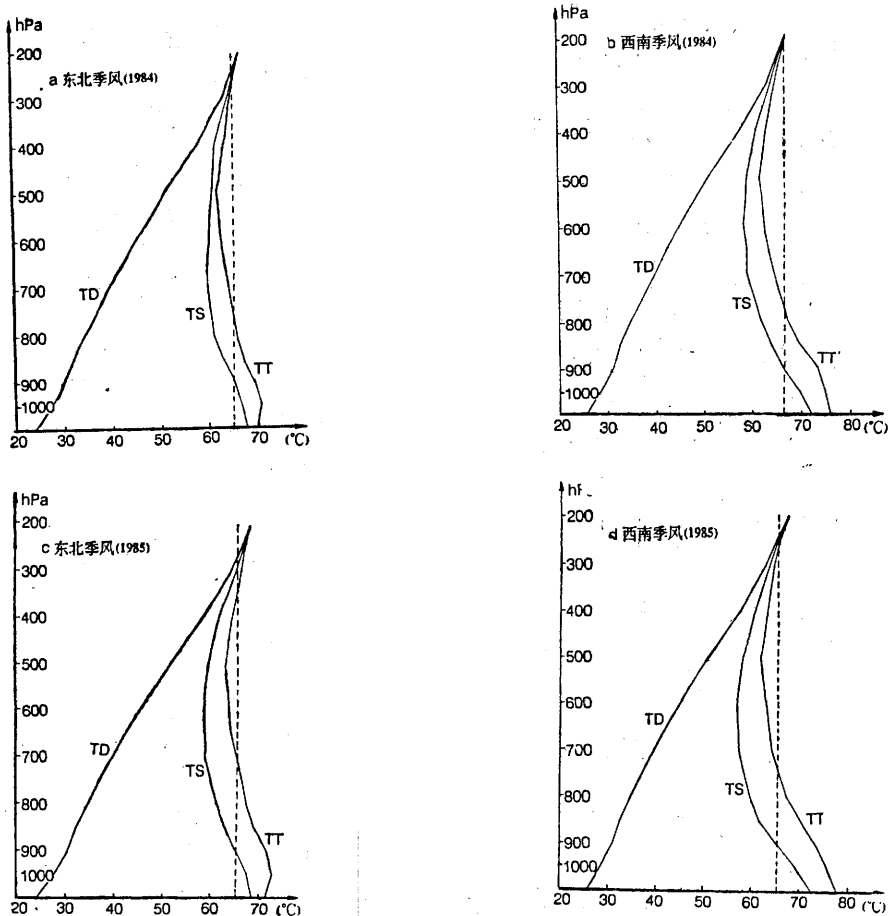


图 2 新加坡1984—1985年东北季风和西南季风期间的平均能量廓线
 TD: 干空气总温度; TS: 总温度; TT: 饱和总温度

我们略去该年的例子，而以1985年的廓线为代表来讨论无潜在不稳定能量廓线的特征。图3给出1985年东北季风(a)和西南季风(b)时的能量廓线。可以看到，在无潜在不稳定能量的情况下，两季风期间的能量廓线分布都很相似。在700hPa层以下，饱和能差大；在900hPa层以上，大气呈对流稳定，而上升气块的平均总温度(60°C)比有潜在不稳定能量型的低了5—6°C。与这类型廓线分布相联系的新加坡天气是：未来12小时内天气晴朗。但是，资料显示，有时在东北季风期间以及在季风转换期间，近地面层风速很弱，午后常有海风出现。这时大气虽

然没有潜在不稳定能量，但仍然有局部强雷阵雨发生。这一事实有待今后作进一步探讨研究。

3. 潜在不稳定能量与天气的相关关系

根据上述和其他月份(图略)的平均能量廓线的分析可以看出，潜在不稳定能量的出现与新加坡的日间天气有一定的关系。为了检验两者之间的相关程度，附表给出了1984年和1985年的有、无潜在不稳定能量和天气实况相关关系的列联表。表中括号内的数值为理论频数。

我们应用 χ^2 检验两者之间的独立性，经计算得 $\chi^2 = 169.90$ ，大大超过了自由度为1

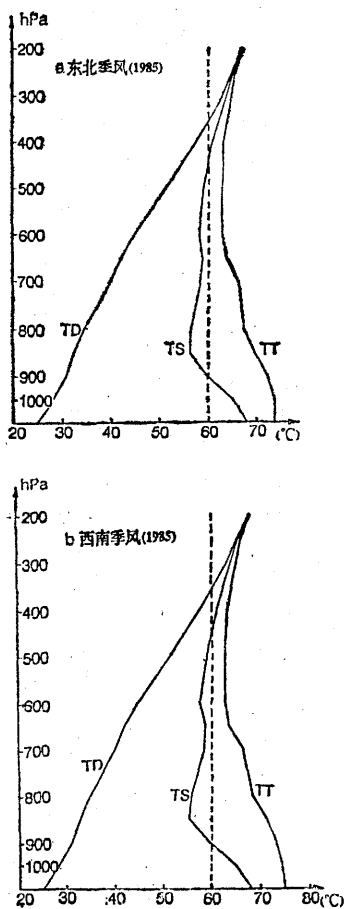


图 3 新加坡1985年东北季风和西南季风期间的平均能量廓线
 TD: 干空气总温度; TS: 总温度
 TT: 饱和总温度

附表 能量与降雨频数列联表

频数 天气实况	预告	雨 (y_1)	无雨 (y_2)	合计
		(有潜在不稳定能量)	(无潜在不稳定能量)	
雨 (x_1)		619 (594)	10 (35)	629
无雨 (x_2)		43 (68)	28 (3)	71
合计		662	38	700

时0.05的信度要求3.84。这说明有、无潜在不稳定能量与新加坡的天气并不相互独立，而确实有一定的相关联系。我们也作了回顾

性检验，用新加坡当天早上的高空资料计算大气有潜在不稳定能量来预报未来12小时内有无降水，其拟合率达92%。

4. 平均信息量

为了估计潜在不稳定能量预告方法能提供多少有关天气的信息量，我们应用熵(仙农信息量公式)计算其平均信息量。计算公式^[4]如下:

$$H(x) = -3.3219 \left(\sum_{i=1}^n p_{x_i} \lg p_{x_i} \right)$$

$$H(x | Y) = 3.3219 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i, y_j) \lg \frac{p(x_i, y_j)}{p(y_j)} \right)$$

$$IY(x) = H(x) - H(x | Y)$$

其中 p_{x_i} 为天气概率, $H(x)$ 为天气(实况)的熵。 $p(y_j, x_i)$ 为天气联合概率, $H(x | Y)$ 为条件熵, $IY(x)$ 为 Y (能量)提供的关于 x (天气)的信息。根据上述公式计算得:

$$H(x) = 0.48 \text{ bit}, H(x | Y) = 0.38 \text{ bit}$$

因此,能量预告方法对天气所提供的信息量为: $I(x) = 0.10 \text{ bit}$

或者,我们用信息比 $R = \frac{IY(x)}{H(x)}$ 表示。计算得 $R = 21\%$, 即由于有了能量的信息,使天气的不肯定性减少了21%。再次证实潜在不稳定能量的有、无,确实可以作为赤道新加坡地区短期天气预报的一个指标。

5. 新加坡大气柱的平均能级、潜热能和饱和能差

文献[5]指出,中国的夏季暴雨是在对流层平均能级高(62—64°C)、潜热能大和饱和能差小(<5°C)的条件下发生的。而“雨暴”[6]是在对流层平均高能级(66°C),高潜热能和准饱和的条件下发生的。由于降雨时间和强度的规定不同,我们不能直接比较其结果。因此,本文只就新加坡发生的大阵雨(Heavy Showers)和强降雨(Vio-

lent Showers), 对当地大气柱 (13层) 的平均能级、潜热能和饱和能差进行分析, 并作出类似于上述的探讨。

众所周知, 热带地方的降雨形式, 主要是移动性的阵雨。为了探讨降雨强度与上述3种能量的相关关系, 我们从新加坡45个雨量站中, 选出具有代表性的17个站的资料, 其中4个为气象站 (参见图1的小黑点和小三

角), 作为降雨强度的估计资料。同时, 规定只要其中有一站的降雨强度为每小时在10—50mm以内者, 就算一次大雨; 降雨强度每小时50mm以上者, 就算为一次强降雨。资料统计显示, 1984年和1985年中, 大雨雨共有394次, 而强降雨只有36次。

图4给出1984年 (左) 和1985年 (右) 大雨雨 (实线) 和强降雨 (虚线) 时, 新加

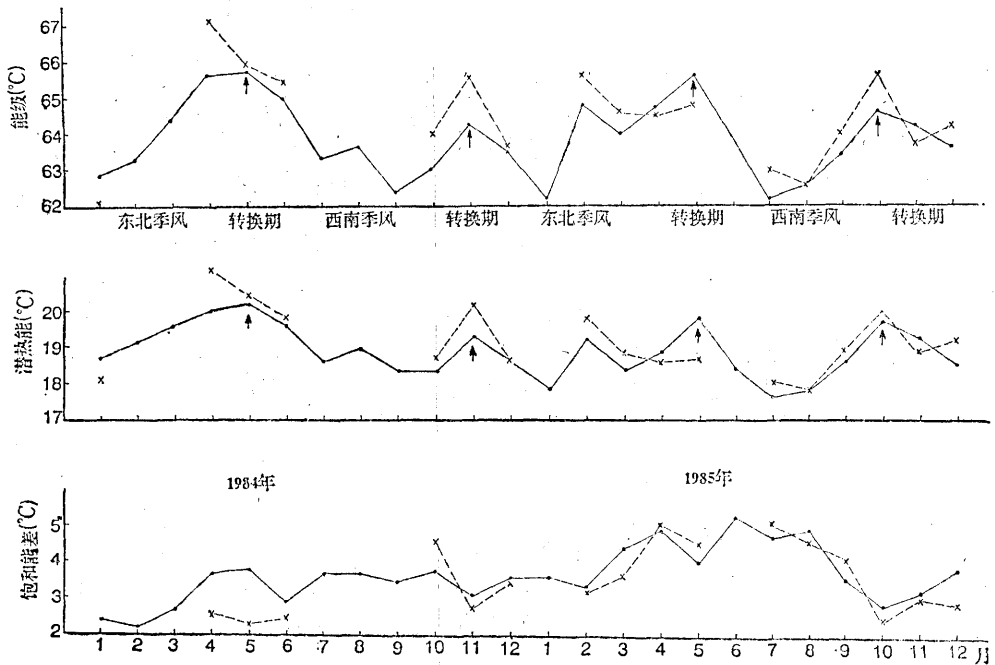


图4 1984年、1985年大雨雨 (实线) 和强降雨 (虚线) 时, 新加坡大气柱的月平均能级、潜热能和饱和能差
黑箭头表示极大值所在季节

坡大气柱的月平均能级、潜热能和饱和能差的分析结果。为了使资料完整, 1985年12月能量也绘在图内。从图可以看到, 在大降雨时, 能级和潜热能曲线的波动有规律性。两个极大值分别在每年季风的两个转换期; 而两个极小值, 一个在东北季风初期, 另一个在西南季风期间。在强降雨时, 虽然资料很少, 但仍然可以看到其波动的基本形式与大雨雨的类似。

饱和能差虽然没有明显的波动规律, 但仍然可以隐约看出, 饱和能差是从1984年的2°C平稳地升到1985年的5°C。这些结果充分表明, 在赤道新加坡地区, 大雨雨和强降雨发生时的能级和潜热能都没有明显的临界值, 而是随着季节变动。能级变动范围在62—67°C之间; 潜热能在17—21°C之间; 饱和能差在2—5°C之间。换言之, 也可以认为, 大雨雨和强降雨也可能在相对低的能级、小潜

热能和饱和能差变化不大的条件下发生；尤其是在东北季风期间和西南季风期间。

从图4中也可以看到，强阵雨的能级和潜热能都略高于大阵雨的，饱和能差也较低，尤其是1984年，这些差别更明显。由于实例不多，这个结果有待进一步深入研究。

值得指出，在大阵雨时，月平均能级和潜热能曲线有规律的波动，基本上跟ITCZ与新加坡地区的相对位置的波动一致〔7〕。每年在季风转换期间的4—5月和10—11月，ITCZ位于新加坡地区上空，此时，新加坡地区的能级和潜热能达到极大值。在东北季风期间，ITCZ位于赤道南部的印度尼西亚地区，而在西南季风期间，ITCZ位于中国南海中部。这时期赤道新加坡地区的能级和潜热能都降低到极小值。从这一事实，可以推测，赤道新加坡地区月平均能级和潜热能的波动与ITCZ的位置有十分密切的相关。

四、初步结语

根据上述分析，我们可以认为：

1. 赤道新加坡地区的大气层结多为具

有潜在不稳定能量型，而无潜在不稳定能量型出现的几率很小。

2. 可以根据有、无潜在不稳定能量型，预报新加坡未来12小时之内的天气；其拟合率为92%。

3. 赤道新加坡地区的大气柱平均能级和潜热能是随着季节变动的。能级的极大值在季节转换期，而其极小值则分别在东北季风早期和西南季风期间。

参考文献

- (1)雷雨顺、吴宝骏、吴正华，大气科学，Vol. 2, No. 4, pp. 297-306, 1978.
- (2)雷雨顺编，能量天气学，气象出版社，1986.
- (3)雷雨顺，吴正华，气象学报，Vol. 38, No. 4, pp. 367-373, 1980.
- (4)张学文，气象预报问题的信息分析，科学出版社，1981.
- (5)雷雨顺，静力能量的天气学分析原理及应用，北方天气文集(3)，1982.
- (6)雷雨顺、吴正华，能量天气学方法在暴雨分析和预报中的应用，暴雨文集(1978)，1980.
- (7)蒋尚城，全球ITCZ的气候特征研究，气象学报，Vol. 46, No. 2, pp. 241-244, 1988.

A preliminary study of the vertical static energy profiles over the equatorial Singapore region

Chiyu Tik Chng Lak-Seng
(Meteorological Service, Singapore)

Abstract

This paper examines the usefulness of static energy analysis in the deep-convective equatorial Singapore region. Singapore upper air data have been used to study the vertical profiles of energy for 1984 and 1985. Some preliminary results are:

(1) Most of the atmospheric stratification over the equatorial Singapore region is found to be associated with the latent instability energy.

(2) The 12 hours' weather forecasting over Singapore can be issued according to the extent of latent instability energy.

(3) The average energy level and latent energy over Singapore vary with seasons. The maxima occurred during transitional periods and minima during SW and early NE monsoon.