

用静力能量铅直廓线方法 预报新加坡地区海风

周 德 莊或勳

(新加坡气象局)

提 要

本文对新加坡1984—1989年5个冬季东北季风期间(12月—次年2月)0000UTC的静力能量铅直廓线分布状态进行分析。结果表明,当新加坡大气柱无潜在不稳定能量时,可以根据饱和总温度廓线在行星边界层顶(950—900hPa)有无逆温层,来预报新加坡地区午后有无海风发生。对海风与盛行风的关系,本文也作了统计分析,并初步探讨了本地区边界层顶饱和总温度廓线逆温层的成因。

一、引言

在文献[1]中,我们指出了可以利用无潜在不稳定能量廓线作为新加坡地区未来12小时内晴天预报的判据。但是一些个例分析显示,在新加坡西南地区,午后常有海风出现;并在午后3—6时出现局部雷阵雨,这种天气尤其是在冬季东北季风期间(12月—次年2月)经常发生。这类天气影响了我们利用无潜在不稳定能量廓线作为判据,预报甚短期天气的准确性。为了寻找出弥补的方法,我们进一步分析了新加坡1984—1989年5个冬季(12月—次年2月)东北季风期间0000UTC的全部无潜在不稳定能量铅直廓线的分布特征,并提出了利用上午探空资料来预报当天下午是否有海风出现的一种简单方法。本文就是这方面的探讨结果。

二、海风判别式

新加坡位于马来半岛南端,西和西南临马六甲海峡(图1)。由于地理位置关系,新加坡受南北两半球季风的影响非常显著;每年12月—次年2月,行星边界层内吹稳定的北东北或东北风。

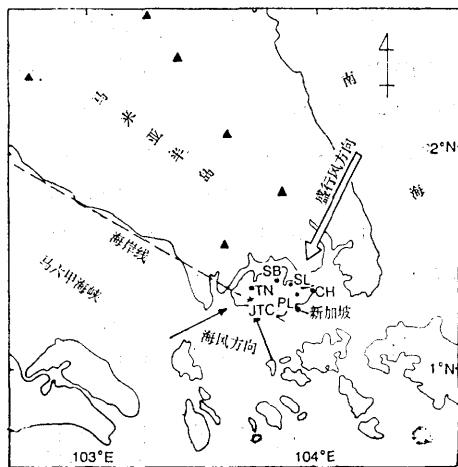


图1 新加坡的地理位置与海岸线
PL: 高空探测站 · 气象站 × 地面测风站
▲ 山峰

由图1可以看到,马来半岛南端西部地域和新加坡的海岸线走向大致是西西北—东东南向。因此,新加坡在冬季东北季风期间的海风风向一般是在南东南—西西南之间。为了对海风进行客观判断,我们提出以下新加坡地区的海风判别式。

$$|\alpha t_1 - \beta t_2| \geq 120^\circ, \quad V t_2 \geq 0 \quad (1)$$

$$|\beta t_3 - \alpha t_4| \geq 120^\circ, \quad V t_4 \leq 0 \quad (2)$$

其中 αt_1 为盛行风风向(北东北或东北),
 βt_2 为变动风风向(或海风风向), $V t_2$ 为变

动风（海风）风速在 y 轴方向上的分量。 βt_3 为变动风（或海风）风向。 αt_4 为由海风恢复为盛行风后的风向。 Vt_4 为恢复为盛行风在 y 轴方向上的风速分量（图2）。上述判别式的实践意义为：盛行风转变为海风，再由海风恢复盛行风，这一系列的风向变化，必须同时满足上述（1）和（2）两个判别式，才计为一次海风。

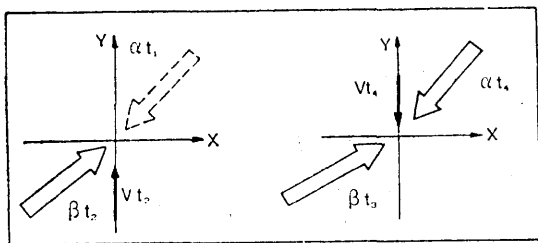


图2 海风判别式示意图

三、资料和计算方法

新加坡的5个气象站多分布在本岛的北部和东北部（图1），在南部沿海地区，唯一测风站是设在JTC大厦顶楼的电接风向风速计（electric anemograph），其海拔高度为40.2m。我们采用该站1984—1989年5个冬季（12月—次年2月）东北季风期间的每小时平均风资料来作为有无海风出现的判据。由于资料性质关系，虽然出现，但持续时间短于1小时的海风，有可能被漏判。当JTC风记录缺测时，则由位于其北部的TN气象站的数据代替。

本文的资料计算方法与文献[1]一样，但是在计算1988—1989年大气的三种总温度时，我们采用了每天测得的位势高度。规定过程曲线与饱和总温度廓线相切于一点或无交点的，计为一次无潜在不稳定能量廓线。为了判别有无降雨，我们采用具有代表性的20个雨量站和5个气象站每天01—13UTC的雨量资料。

四、结果分析和讨论

我们利用上述方法分析了1984—1989年

5个冬季（12月—次年2月）季风期间的能量铅直廓线，其中共有171天无潜在不稳定能量廓线。在这171天中又有97天，在950—900hPa层的饱和总温度廓线存在着一个逆温层或等温层。我们发现，这个低空饱和逆温层（或等温层）与新加坡午后的海风出现有极其密切的关系。为了与传统的温度逆温层区别，我们把低空饱和总温度逆温层简称为“低饱逆温层”，而没有低空饱和总温度逆温层的称为“无低饱逆温层”。

1. 低饱逆温层

1984—1989年5个冬季东北季风期间，低饱逆温层共有97天。图3给出新加坡地区，1989年1月25日00UTC（新加坡当地时间上午8时）的能量铅直廓线。由图可见，在950—900hPa层存在一个非常显著的低饱逆温层。这一天大气柱无潜在不稳定能量，饱和能差很大。根据文献[1]，我们预报当天新加坡地区未来12小时内，天气晴朗。但是当天下午5时，在新加坡西和西南部地区却发生雷阵雨。地面风资料显示，在0600UTC之前，新加坡岛吹的是北

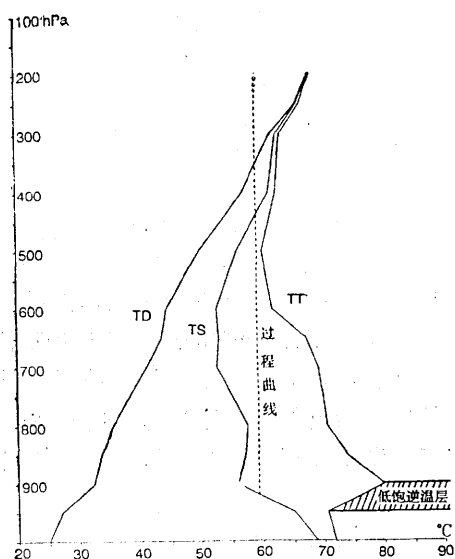


图3 1989年1月25日00UTC新加坡垂直能量廓线

TD: 干空气总温度 TS: 总温度 TT: 饱和总温度

东北的盛行风。但是到了0700UTC, JTC测风站和TN气象站便开始出现西南风向的海风;而岛上北部的SB和SL气象站以及东部的PL和CH气象站(见图1),都始终吹北东北风。另一方面,根据PL气象站的雷达观测,在0700UTC之前,在半径200km内无降水回波。因此,我们推测这场雷阵雨主要是由来自西南地区的海风,与北和东北地区的盛行风,在新加坡中部和马来亚半岛南端西部沿海地区辐合而引起的。

图4是1989年1月25日0930UTC(当地时间17时30分), PL气象站的雷达回波图。雷达记录显示,孤立回波是在0800UTC开始出现在新加坡上空和马来亚半岛南部西海岸内陆地区。由图可以看到,由单体雷

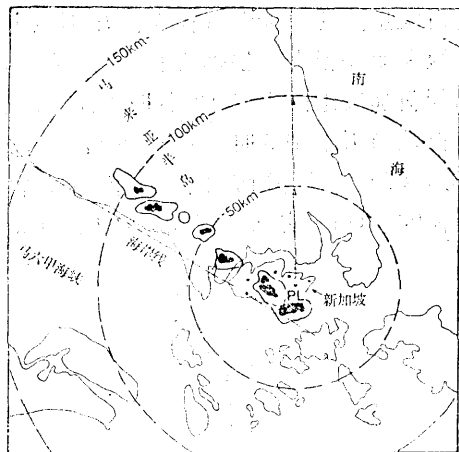


图4 1989年1月25日0930UTC(当地时间17时30分)雷达回波带图

带长约100km,宽约15—20km;单体回波高7—13km,并以极缓慢的速度向西南移去。可见它是属于中尺度 β 系统的天气现象。另外值得指出的是,这类型雷达回波带经常在海风发生2至3小时后,便开始出现。

2. 无低饱逆温层

所分析的能量铅直廓线中,无低饱逆温层的共有74天,其中只有4天有海风出现。图5给出无低饱逆温层的一个能量廓线实况;

可以看到在950—900hPa气层没有饱和总温度逆温层存在。这一天大气柱不但没有潜在不稳定能量,而且饱和能差很大,当天没有海风发生,天气晴朗。

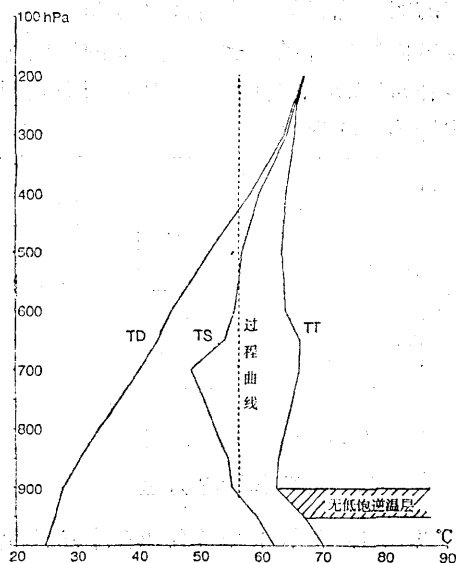


图5 1989年2月13日00UTC新加坡直能量廓线

TD: 干空气总温度 TS: 总温度 TT: 饱和总温度

以上两个实例显示了当大气柱无潜在不稳定能量时,饱和总温度廓线的不同分布特征与海风的形成有一定的联系。这意味着,在冬季东北季风期间,当大气柱无潜在不稳定能量时,可以利用上午的饱和总温度廓线的分布特征来预报午后有无海风出现。

3. 海风出现的频数

表1为1984—1989年5个冬季东北季风期间,新加坡大气柱有无低饱逆温层时,海风出现的频数统计资料。由表可以看到,当大气柱无低饱逆温层时,新加坡西与西南地区出现海风的日数只有4天,海风出现频数很小。因此,我们可以根据无潜在不稳定能量,同时又无低饱逆温层两个条件,直接预报新加坡和马来亚半岛南端西海岸地区午后无海风出现,天气晴朗。

另一方面,当新加坡大气柱有低饱逆温层时,海风出现48天,而无海风出现也有49

天; 两者的频数几乎相等, 可见只以低饱逆温层这一个因子来预报海风是不够的, 还要考虑别的因素, 我们对这问题作了以下的探讨。

表 1 1984—1985年有无低饱逆温层与海风发生(于JTC站测得)的频数

月/年	无潜在不稳定能层 (日数)	有低饱逆温层		无低饱逆温层	
		有海风 (日数)	无海风 (日数)	有海风 (日数)	无海风 (日数)
12/84—2/85	15	2	5	1	7
12/85—2/86	29	10	12	0	7
12/86—2/87	45	11	18	1	15
12/87—2/88	29	7	8	1	13
12/88—2/89	53	13	6	1	28
总计	171	48	49	4	70

表 2 海风与降雨的关系

天气实况	有低饱逆温层		无低饱逆温层		合计
	有海风	无海风	有海风	无海风	
有雨	34	8	2	18	62
无雨	14	41	2	52	109
合计	48	49	4	70	171

4. 盛行风与海风的关系

众所周知, 海风是因陆地和海面受热不均引起的一种局地热力环流, 盛行风对这种环流的发生与发展有很大的影响。研究指出[2], 当离岸风(盛行风)大于 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 可阻止海风的发生。新加坡的地理位置特殊, 盛行风对海风的影响可能具有独特性, 因此, 我们进一步分析了新加坡0000UTC的低层盛行风资料。

作者之一在分析新加坡低层风时曾指出[3], 在冬季东北季风期间, 新加坡地区上空950—900hPa气层存有一风速极大值。这个极大值的高度与前面所讨论的低饱逆温层的高度一致。据此, 我们绘制了950hPa和900hPa两气层的平均风速和平均饱和总温度的点聚图, 其结果如图6所示。图中的点分布有规律性, 有海风日主要集在左上角, 无海风日主要集在右下角。我们根据二

级判别分析法[4], 求出判别方程

$$y = 0.5770TT - 0.7903V$$

和判别指标 $y_c = 33.40$

式中 TT 代表950和900hPa两气层的平均饱和总温度, V 为这两层的平均风速, 单位为 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 根据这个方程, 可将点聚图划分成两部分 $y > y_c = 33.40$ 为海风出现区域, $y < y_c = 33.40$ 为无海风区域, 由图可看到共有48天落在海风区域内, 其中有海风日为38天, 占海风出现率的79%。另一方面, 有49天落在无海风区域内, 无海风日为40天, 出现率为80%, 值得注意的是, 本例误判为无海风日的有10天, 误判为有海风日的有9天, 我们对判别方程也进行了显著性检验。

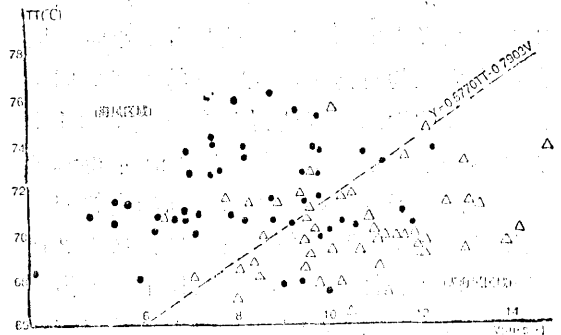


图 6 海风判别点聚图

•: 表示有海风 Δ: 表示无海风

检验是根据马哈拉诺比斯 (Mahalanobis) 统计量 F , 由下式计算:

$$F = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - m - 1)}{m (n_1 + n_2) (n_1 + n_2 - 2)} D^2$$

式中 m 为预报因子个数, n_1 、 n_2 分别为有海风和无海风的样本容量, D^2 为马哈拉诺比斯距离。本例 $D^2 = 2.6267$, 计算结果 $F = 31.51$ 。于是给定信度 $\alpha = 0.05$, 分子自由度 $f_1 = 2$, 分母自由度 $f_2 = 94$, 查表得 $F_{0.05}(2, 94) = 3.10$ 。可见 $F = 31.51 > F_{0.05}(2, 94)$ 。因此, 我们认为判别方程有意义, 判别效果显著。

综合上述结果, 我们认为新加坡地区的海风不但与低饱逆温层有关, 而且与低层盛行风也有联系。因此, 如果上午的探空资料显示大气是无潜在不稳定, 而又有低饱逆温

层存在时，我们便可以根据判别方程预报下午有无海风出现，再以它作为预报因子，进一步做出新加坡地区的甚短期天气预报。

五、海风与降雨的关系

为了揭示海风与降雨的关系，我们初步分析了新加坡地区的降雨资料（表2）。我们规定在25个雨量站中，只要有一个站的降雨量等于或大于0.2mm·h⁻¹，便算作是有雨量。由表2可看到，在低饱逆温层条件下，海风引起降雨日有34天，占有海风日数（48天）的71%。可见，海风对当地的天气有一定的影响。有海风而无降雨日数有14天。应当指出，根据分析发现，这14天当中，有很多天的海风生命期只有1小时。因此，我们认为有海风而无降雨的主要原因是海风形成的积云，未能得到充分的时间生长便消失了。这可由云的观测记录得到证实。当海风退却后，许多未降雨的高耸积云云体迅速蜕化为晴天积云或消失。从表2还可见到，在有低饱逆温层条件下，无海风时，一般天气都是晴朗，降雨日数只有8天。

表2也列出无低饱逆温层时的降雨资料，可以看出，无低饱逆温层时，海风发生频率很低。无海风时，无雨日数有52天，占无海风日（70天）的74%，但仍然有18天降雨，与上述8天合计，共有26天为有雨日，占无潜在不稳定能量日数（171天）的15.2%。根据气象卫星资料显示，这类降雨主要是由于位于新加坡和加里曼丹岛之间的巨大云团缓缓向西移入本区而引起的。

六、低饱逆温层的成因

由上述分析，我们知道低饱逆温层的存在和新加坡地区海风出现有一定的相关。以下我们分析低饱逆温层的一些特点。

根据能量天气学，在风速小于30m·s⁻¹的情况下，饱和总温度（TT）是显热项（T），

潜热能项（Lq_s/c_p）和位能项（gZ/c_p）三项之和，即：

TT = T + (L/c_p) q_s + (g/c_p) Z (3)

式中各符号的意义与惯用的相同。由（3）式可得出950和900hPa两层间的饱和总温度差，即：

ΔTT = TT_900 - TT_950
= ΔT + (L/c_p) Δq_s + (g/c_p) ΔZ

其中ΔTT≥0时，表示有低饱逆温层存在，ΔTT<0时，表示无低饱逆温层存在。ΔT为两气层的显热能差，Δq_s为两气层的饱和比湿差，ΔZ为两气层的位势差。

我们利用1988年12月到1989年2月的资料进行统计分析。表3列出新加坡低层大气柱有无低饱逆温层时，各能量项的平均值。由表3可以看到，新加坡低层大气各层的平均温度（即表中显热项行的值）是随高度增加而降低，在950—900hPa气层间没有逆温层存在。根据资料显示，有低饱逆温层存在的97天中，逆温层出现在950—900hPa气层间的

表3 1988年12月—1989年2月新加坡低层大气各静力能量项的平均

有低饱逆温层	hPa	1000	950	900	850
	能量项 (°C)				
	显热项 (T)	24.0	21.8	20.8	17.7
	潜热项 (L/c_p · q_s)	46.3	42.8	42.3	36.9
	位能项 (g/c_p · Z)	0.9	5.3	10.1	15.0
	饱和总温度 (TT)	71.2	69.9	73.2	69.6
无低饱逆温层	显热项 (T)	23.7	21.5	18.9	16.2
	潜热项 (L/c_p · q_s)	46.0	42.1	37.8	34.8
	位能项 (g/c_p · Z)	1.0	5.5	10.1	15.1
	饱和总温度	70.7	69.1	66.8	66.1

只有3天。这一事实说明了能量铅直廓线比传统的温度铅直廓线更能直观反映局地大气的许多特性的优点。因此,利用饱和总温度逆温层来预报新加坡地区海风确是有实际意义的。

根据表3的资料和饱和总温度差公式,我们计算了有无低饱逆温层时,950和900hPa两层间各能量项差,其结果如表4所示。为了比较,我们也计算了1986年12月至1987年2月各能量项差(括号内的数值)。由表4可以得出下列结果:(1)有低饱逆温层时,两气层的显热项差值和潜热项差值都很小,而位能项差值却相对较大,结果 ΔTT 为正值。(2)在无低饱逆温层的情况下,两气层的显热能差值和潜热能差值都是较大的负值,两者绝对值之和大于位能项差,所以 ΔTT 为负值。(3)有无低饱逆温

由上述分析可见:(1)有无低饱逆温层,与位能项关系不大,无论有无低饱逆温层,位能项差值几乎不变(4.7—4.8℃);

(2)有无低饱逆温层,主要取决于温度分布,当有低饱逆温层时,温度直减率小,两气层的显热项差和潜热项差值都很小,而位能项差值相对较大,致使 ΔTT 为正值,在无低饱逆温层时情况相反,两气层的显热能差值和潜热能差值都是绝对值较大的负值, ΔTT 为负值。

七、结论

综合上述的实际资料分析,我们可以对用静力能量铅直廓线预报海风的结果总结如下:

1. 当新加坡大气柱无潜在不稳定能量时,可以根据无低饱逆温层预报午后无海风出现。

2. 新加坡地区海风的发生与盛行风有密切的关系。当有低饱逆温层时,可以根据由950和900hPa气层的平均饱和总温度和风速组成的判别方程预报有无海风。

3. 低饱逆温层主要是由于位能项差值大于显、潜能项差值所引起的。

参 考 文 献

- [1] Chiyu Tik, Chung Lak Seng, 赤道新加坡地区铅直静力能量廓线的初步分析, 气象, Vol. 15, No. 5, 1989.
- [2] Air Ministry(1943), Sea breezes and land breezes., Synoptic Division Technical Memorandum No. 53, meteorological office, London.
- [3] Chiyu, T., A preliminary study of low-level wind over Peninsular Malaysia during the 1976—1977 Northeast Winter Monsoon, J. Meteor. Soc. Japan, 57, 354—357.
- [4] 刘均枢主编, 气象站天气预报, 气象出版社, 1985.

表4 1988年12月—1989年2月, 950—900hPa气层的各能量项差
(括号内数值为1986年12月—1987年2月)

能量项差 (℃)	有低饱逆温层	无低饱逆温层
ΔT	-1.0 (-0.4)	-2.5 (-2.4)
$\frac{L}{c_p} \Delta q_s$	-0.5 (+0.1)	-4.30 (-3.7)
$\frac{g}{c_p} \Delta Z$	+4.8 (+4.7)	+4.7 (+4.7)
ΔTT	+3.3 (+4.4)	-2.1 (-1.4)

$$\Delta T: T_{900} - T_{950}, \quad \Delta q: q_{s900} - q_{s950}$$

$$\Delta Z: Z_{900} - Z_{950}, \quad \Delta TT: TT_{900} - TT_{950}$$

层的位能项差值都几乎相等,并且都是正值。

(4) 1986年12月—1987年2月的计算也有类似的结果。

A method for forecasting sea-breeze in Singapore using the vertical static energy profile

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

Abstract

The vertical distribution of static energy profile was studied using data collected in Singapore during five NE (northern winter) monsoon seasons (Dec-Feb) from 1984 to 1989. The analysis shows that when there was no latent instability energy in the atmospheric column, the saturated total temperature inversion near the top of the boundary layer (950—900 hPa) can be used to predict the occurrence of afternoon sea-breeze in Singapore. A statistical analysis was also carried out to study the relationship between sea-breeze and the prevailing wind. The possible cause of the saturated total temperature inversion layer was also discussed.