

湿有效能量应用文集

广西人民出版社

湿有效能量应用文集

《湿有效能量应用文集》编委会 编

广西人民出版社

湿有效能量应用文集

《湿有效能量应用文集》编委会 编

☆

广西人民出版社出版

(南宁市河堤路14号)

广西新华书店发行 广西民族印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 15 印张 插页4 325 千字

1985年8月第1版 1985年8月第1次印刷

印 数 1—25600 册

书号: 13113·35 定价: 2.65 元

内 容 提 要

本文集反映了我国气象科技工作者在湿有效能量概念和将它用于日常暴雨天气预报研究和试验方面的成果。内容主要包括：介绍湿有效能量概念、日常天气预报业务中的计算及用其制作预报图表的方法；介绍湿有效能量用于暴雨分析得到的一些结果；介绍我国气象台站将其用于暴雨预报的一些方法以及在PC-1500袖珍机上实施的计算湿有效能量及参考气压的计算程序。共载论文36篇，插图194幅，可供气象、水文、水利、航空、海洋、农业、林业、牧业、渔业、盐业等部门有关科技人员、科研人员及大专院校有关专业的师生参考。

前 言

由吴宝俊同志牵头的课题组将有效位能概念扩充到湿有效能量,给出湿有效能量的近似表达式,并将湿有效能量作为一个参数,在暴雨分析和预报业务中应用。经过几年的试(使)用结果,发现这个物理量作为暴雨分析或预报中的一个指标,有较好的灵敏性。目前国内不少台站都在使用这种方法。本文集收集了近三年来国内许多台站试(使)用这种方法的报告。看来这种方法在华南前汛期暴雨、梅雨锋暴雨、华北暴雨、台风暴雨以及在青藏高原的降水分析和预报中都有实际应用的价值,值得推荐给各气象台站在暴雨分析预报业务中应用。

本文集共分四部分:第一部分是湿有效能量的原理以及在日常暴雨分析预报业务中的计算方法和一些图表的制作方法;第二部分是湿有效能量在暴雨分析中的应用;第三部分是湿有效能量在暴雨预报中的应用;第四部分是在PC-1500袖珍机上有关湿有效能量和其参考气压的计算程序。读者阅读本文集后,自己可以进行计算并直接用于暴雨分析和预报的业务。

各地气象台站应用这种方法后,一定会发现一些新的问题。在适当时候,我们召开一次湿有效能量应用的学术讨论会,总结经验,并对这个方法作必要的修改,使这种方法更提高一步。

陶诗言

1985年2月27日

目 录

前言

湿有效能量概念和方法简介	吴宝俊 (1)
一次暴雨过程的湿有效能量收支分析	刘延英 孙建 (16)
产生非局地暴雨的上游临界露点条件	章国材 段中和 (24)
湿有效能量与长沙大雨、暴雨关系的统计分析	郝一峨 吴礼庆 冯树常 (29)
低涡暴雨的湿有效能量分析	赵亚民 (33)
“83.6”桂北暴雨的湿有效能量演变特征	张爱华 蒋伯仁 黄运丰 (41)
利用均方差确定铅直方向湿-比有效能量的敏感层(区)	丁宝善 丁光美 (46)
北上台风与海滦河暴雨的关系	于恩洪 赵淑勤 (48)
皖西“82.7”暴雨的湿有效能量分析	孙建 张仲伦 (54)
湿有效能量与湘中、湘北大范围暴雨的关系	吴礼庆 冯树常 (61)
湿有效能量与卫星云图结合分析暴雨	黄长花 (64)
1980年8月大范围降水异常的湿有效能量特征	任健 吴宝俊 (70)
干、湿有效能量放大功能的对比分析	傅冠湘 朱金元 (76)
宁夏7、8月降水与700毫巴湿-比有效能量的相关分析	孙福露 陈光炳 (81)
“83620”湘中暴雨湿有效能量分析	李建新 (88)
万县地区暴雨的湿有效能量特征	廖运勋 李明清 (95)
湿-比有效能量高能轴与暴雨落区关系初探	梁志和 黄治逢 (97)
地面流能图与强对流天气落区的关系	李文彬 李新生 (103)
湿-比有效能量预报方程	冯树常 (110)
湿-比有效能量在青藏高原降水气候分析中的应用	尹道声 (113)
暴雨及其落区和量级的预报方法	王凤岐 邢江月 (118)
用湿有效能量与动力因子相结合预报江西省5—6月暴雨	段中和 章国材 (125)
A_{mk} 形势图与天气形势相结合预报吉安地区6月的大一暴雨	郭淑英 章国材 (129)
川东初夏大一暴雨预报方法	魏淑华 (133)
湿有效能量在贵州暴雨预报中的应用	李文彬 李新生 沈加惠 (139)
甘肃省河东地区盛夏暴雨预报方法	于桂华 (144)
湿有效能量在“83.7”汉中暴雨预报中的应用	宋云游 (148)
区域性大一暴雨结束前的湿有效能量特征	蒋伯仁 郭殿福 (154)
湿有效能量在河北省暴雨预报中的试用情况	
童仙娥 赵亚民 刘金才 刘莲池 杜青文 (163)	
湿有效能量与环流形势、动力因子相结合的大到暴雨预报方法	安彤 潘玉清 (171)
用流能图与点聚图结合预报暴雨的方法	于犁 (175)
A_{mk} 通量密度在大雨、暴雨预报中的应用	陈江民 纪英惠 (181)

郴州地区六月大—暴雨预报方法.....	周益辉 鞠桂华 (185)
以湿-比有效能量为基础的单站大—暴雨集成预报模式.....	顾 频 黄丽娟 任 健 (191)
地方 MOS 中一个值得注意应用的因子——湿有效能量.....	蒋伯仁 赵亚民 (197)
湿有效能量计算程序包 (PC—1500机, BASIC语言)	李 黄 (200)

编后语

英文目录

CONTENTS

A Brief Comment on the Concept and the Approach of Moist Available Energy	Wu Bao-jun (1)
The Budget of Moist Available Energy for a Case of Heavy Rain	Liu Yan-ying, Sun Jian (16)
Critical Dew-point Conditions in the Area of Upper Reaches of Regional Heavy Rainfall	Zhang Guo-cai, Duan Zhong-he (24)
A Statistical Analysis on the Relation between Moist Available Energy and Heavy Rains in Changsha	Hao Yi-e, Wu Li-qing, Feng Shu-chang (29)
An Analysis on the Relation between Moist Available Energy and Heavy Rainfall Caused by Vortices	Zhao Ya-min (33)
Characteristics in the Evolution of Moist Available Energy Due to Heavy Rainfalls over North Guangxi in June 1983	Zhang Ai-hua, Jiang Bo-ren, Huang Yun-feng (41)
Using Mean Square Error to Determine the Sensitive Layer of Specific Moist Available Energy in Z-Direction	Ding Bao-shan, Ding Guang-mei (46)
Relations between the Northward Typhoon and the Heavy Rainfall over Vallies of Hai and Luan	Yu En-hong, Zhao Shu-qin (48)
Using Moist Available Energy to Analyse Heavy Rains over West Anhui in July 1982	Sun Jian, Zhang Zhong-Lun (54)
Relations between Moist Available Energy and Regional Heavy Rainfall over the North and Central Part of Hunan	Wu Li-qing, Feng Shu-chang (61)
Combining Moist Available Energy with Satellite Cloud Picture in the Heavy Rain Analysis	Huang Chang-hua (64)
Characteristics in Moist Available Energy for Rainfall Anomalies over a large Area in August 1980	Ren Jian, Wu Bao-jun (70)
Contrast in Amplifying Power between Dry and Moist Available Energies	Fu Guan-xiang, Zhu Jin-Yuan (76)
A Correlation Analysis between Specific Moist Available Energy on 700 MB and Rainfall of July and August in Ningxia Autonomous Region	Sun Fu-Lu, Chen Guang-bing (81)
Using Moist Available Energy to Analyse the Heavy Rain over the Central Part of Hunan Province in June 20 1983	Li Jian-xin (88)
Characteristics in Moist Available Energy for the Heavy Rainfall over Wanxian	

- Area..... Liao Yun-xun, Li Ming-qing (95)
- A Preliminary Study on the Relation between the Falling Area of Heavy Rain
and the Axis of Specific Moist Available Energy Liang Zhi-he,
Huang Zhi-feng (97)
- Using Surface Flow-Energy Chart to Determine the Falling Area of Severe Con-
vective Weathers..... Li Wen-bin, Li Xin-sheng (103)
- A Predictive Equations of Specific Moist Available Energy Feng Shu-chang (110)
- Applying Specific Moist Available Energy to the Rainfall Climate Analysis over
Qinghai-Xizang Plateau Yin Dao-sheng (113)
- Approaches to the Heavy Rain's Falling Area and Magnitude Forecasts
..... Wang Feng-qi, Xing Jiang-yue (118)
- Combining Moist Available Energy with Other Dynamical Factors to Predict
Heavy Rains over Jiangxi Province in May and June Duan Zhong-he,
Zhang Guo-cai (125)
- Combining Amk Chart with Weather Situation to Forecast Heavy Rains over
Ji-an Area in June Guo Shu-ying, Zhang Guo-cai (129)
- An Approach to the Heavy Rain Forecasting in East Sichuan during Early
Summer Wei Shu-hua (133)
- Some Applications of Moist Available Energy in Heavy Rain Forecasting over
Guizhou Province.....Li Wen-bin, Li Xin-sheng, Shen Jia-hui (139)
- An Approach to the Forecast of Heavy Rain over East Gansu during Midsummer
..... Yu Gui-hua (144)
- Applying Moist Available Energy to the Forecast of Heavy Rain over Hanzhong
Area in July 1983..... Song Yun-you (148)
- Characteristics in Moist Available Energy for the Ending of Regional Heavy Rain-
fall..... Jiang Bo-ren, Guo Dian-fu (154)
- Some Experiments in Heavy Rain Forecasting by Using Moist Available Energy in
Hebei Province.....Tong Xian-e, Zhao Ya-min, Liu Jin-cai,
Liu Lian-chi, Du Qing-wen (163)
- An Approach to the Heavy Rain Forecasting by Using Moist Available Energy,
Circulation Patterns and Dynamical Factors..... An Tong, Pan Yu-qing (171)
- Applying the Flow-Energy Chart and Scatter Diagram to the Heavy Rain
Forecasting..... Yu Li (175)
- Applying Density of Amk Flux to the Heavy Rain Forecasting.....
..... Chen Jiang-min, Ji Ying-hui (181)
- An Approach to the Heavy Rain Forecasting over Chengzhou Area in June
..... Zhou Yi-hui, Ju Gui-hua (185)
- A Composite Station Forecast Model for Heavy Rains Based on the Specific Moist

Available Energy..... Gu Pin, Huang Li-juan, Ren Jian (191)
Moist Available Energy—A Factor Worth Using in the Regional MOS Prediction
..... Jiang Bo-ren, Zhao Ya-min (197)
A Soft ware package of Moist Available Energy..... Li Huang (200)

湿有效能量概念和方法简介

吴 宝 俊

(国家气象局气象科学研究所)

谢义炳教授指出^{(1)、(2)},有效位能的观点应扩充到湿斜压大气,也就是湿有效位能。大面积降水尤其是暴雨,就是湿斜压大气有效位能的释放问题。几乎与谢义炳同时,洛伦兹⁽³⁾把潜热作为内能的一种形式后,发现能对大气环流的维持得到更为满意的解释。他把新得到的有效能量称为湿有效能量(MAE),以前的称为干有效能量(DAE)。

人们对有效能量的研究,虽已有几十年的历史⁽¹⁻⁷⁾,但却很少有人用于日常业务工作。本文以用于业务工作为目标,给出湿有效能量的一种近似表达式以及计算参考气压的近似方案,为广大预报员试用提供方便。

一、湿总能量与参考状态

如果把整个大气的内能、位能、潜热能之和称为湿总能量(MTE)₀,则在静力平衡及地面为海平面的假定下有:

$$(MTE)_0 = \frac{c_p}{g} \iint \int_0^{p_s} T_e dp d\Omega \quad (1)$$

其中 T_e 为相当温度, p_s 为海平面气压, Ω 为地球总面积, 其他为惯用符号。

对于全球大气,一般认为可看作力学与热力学的孤立系统,其总动能(KE)₀与湿总能量之和为常数⁽⁸⁾:

$$(KE)_0 + (MTE)_0 = \text{常数} \quad (2)$$

如果将 (MTE)₀ 分为无效能量 (UAE)₀ ——不可能转换为动能的 (MTE)₀ 与有效能量 (MAE)₀ ——有可能 (但并非一定) 转换为动能的 (MTE)₀, 则有,

$$(MTE)_0 = (MAE)_0 + (UAE)_0 \quad (3)$$

在大气能量学中,常取湿总能量最小值为无效能量,即 $(MTE)_{0,\min} = (UAE)_0$ 。这是因为在孤立系统中动能与湿总能量之和是常数,故当 (MTE)₀ 达到最小值时, (KE)₀ 就达最大,不可能再转换出动能。

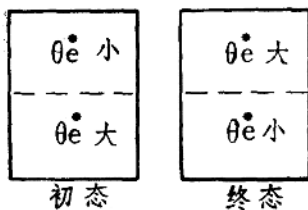


图 1

一般认为, $(MTE)_{a, min}$ 时的状态可作参考状态。为给出参考状态的条件, 让我们考察处于绝热封闭系统中的空气产生运动的情形:

(1) 层结不稳定 如图 1 所示, 初始状态时 θ_e^* 小的空气位于 θ_e^* 大的空气之上。这是对流不稳定状态, 遇到适当抬升条件, 必然要发生翻转, 产生运动, 使 θ_e^* 大的空气位于上面。其中 $\theta_e^* = Te \left(\frac{1000}{p} \right)^{R/c_p}$, 称作位相当温度。

(2) 温湿水平不均一 如图 2, 设初态冷、暖空气为一绝热的铅直隔板相隔。当抽去隔板之后, 由于下层存在冷空气指向暖空气的水平气压梯度力, 冷空气插入暖空气, 暖空气沿

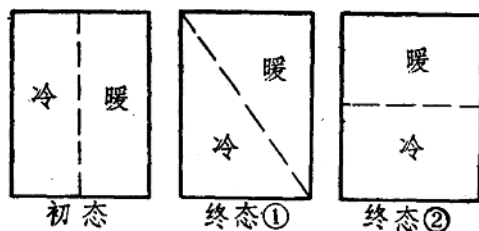


图 2

冷空气上爬, 在柯氏力的作用下, 形成了终态①的斜压状态, 有时也可达到终态②的正压状态。

(3) 非静力平衡 (即 $\partial p / \partial z = -\rho g$ 不满足) 这时也可引起空气的运动。这个效应, 我们暂不考虑。

以上讨论表明, 某状态满足以下三条件, 即可作为参考状态: (1) 层结稳定, 即位相当温度 θ_e^* 与位温 θ (未饱和时) 随高度递增; (2) θ_e^* 、 θ 以及水分含量水平均一; (3) 静力平衡。参考状态是一种假想状态, 可在绝热 (用 θ_e^* 守恒近似表示)、质量守恒制约下将大气微团进行重新排列 (调整) 得到。

二、全球湿有效能量与湿-比有效能量的近似表达式

目前, 湿有效能量还只能通过参考场的变量来表达, 而且仅能得出近似表达式。若取 $(MTE)_{a, r}$ 表示参考状态时的湿总能量, 则有:

$$(MAE)_a = (MTE)_a - (MTE)_{a, r} \quad (4)$$

上式表明, 大气中超出参考状态的那部份湿总能量即湿有效能量。将 (1) 式代入 (4) 式, 得

$$(MAE)_a = \frac{c_p}{g} \iiint_{\Omega} \int_0^{P_1} Te \left[1 - \frac{T_{er}}{T_e} \right] dp d\Omega \quad (5)$$

其中 $T_{e,r}$ 表示参考状态的相当温度。考虑到空气微团向参考状态调整时位相当温度 θ^* 守恒得

$$T_{e,r}/T_e = (p_r/p)^{R/c_p}$$

其中 p_r 表示参考状态的气压，简称参考气压。将上式代入(5)式：

$$(MAE)_a = \frac{c_p}{g} \iiint_{\Omega} \int_0^{P_s} T_e \left[1 - \left(\frac{p_r}{p} \right)^{R/c_p} \right] dp d\Omega \quad (6)$$

这就是全球湿有效能量的一种近似表达式。

若把全球分为很多个区域，并设第 j 个有限区域的面积为 σ_j ，则 $\Omega = \sum_j \sigma_j$ ， $(MAE)_a = \sum_j (MAE)_j$ 有限区域湿有效能量的近似式为：

$$(MAE)_j = \frac{c_p}{g} \iiint_{\sigma_j} \int_0^{P_s} T_e \left[1 - \left(\frac{p_r}{p} \right)^{R/c_p} \right] dp d\sigma \quad (7)$$

湿有效能量 $(MAE)_a$ 是对整个气柱说的，在计算时常需变为求和形式。设把大气分为 S_k 层，则(6)式化为

$$(MAE)_a = \sum_j \sum_{k=1}^{S_k} \overline{A_{mk}}_k \Delta p_k \sigma_j \quad (8)$$

其中

$$A_{mk} = \frac{c_p}{g} \left[1 - \left(\frac{p_r}{p} \right)^{R/c_p} \right] T_e \quad (9)$$

(8)、(9)式表明， A_{mk} 表示单位截面（1米²）、单位厚度（1毫巴）气块（下称单位重量气块）对 $(MAE)_a$ 的贡献，一般称为湿-比有效能量⁽⁹⁾。

若令 $C_p T_e/g$ 与 $C_p T_{e,r}/g$ 分别表示单位重量气块原有的及调整到参考状态后的湿焔⁽⁸⁾，则可以看出 A_{mk} 为单位重量气块调整到参考状态后湿焔的减少量。如图3，对于气压为 p_0 与温湿特征量为 θ^*_{s1} 的一团空气，在 θ^* 守恒下欲达到参考状态，只有沿图中箭头向上，由 A 移到 A' 。这样，气块将绝热膨胀对外界（整个大气）做功，使整个大气增加能量，该气块对 $(MAE)_a$ 有正的贡献。反之， θ^*_{s2} 的气块有负的贡献。

(9)式中的 $\left[1 - \left(\frac{p_r}{p} \right)^{R/c_p} \right]$ 称为气块的效率因子，用 N 表示。它代表单位重量气块湿焔中

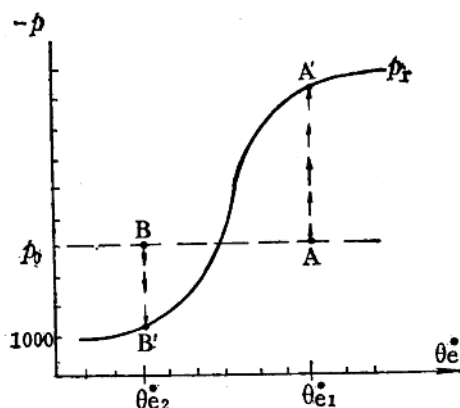


图3 说明 A_{mk} 意义用图

包含湿-比有效能量的百分率。湿焓恒为正, A_{mk} 可正可负, 所以效率因子 N 可正可负, 且永远与 A_{mk} 同号。 N 为无量纲数, 量级平均约为 10^{-2} 。

三、有限区域湿有效能量收支方程式

以前得出的干有效能量收支方程(7.10—14), 基本上有两种类型。与其相应, $(MAE)_i$ 收支方程也有两类⁽¹⁵⁾。

第一类:

$$\frac{\partial}{\partial t}(MAE)_i = \frac{1}{g} \iint N \dot{Q} dp d\sigma + \frac{1}{g} \iint \omega a dp d\sigma$$

(a)
(b)

$$- \frac{c_p}{g} \iint \nabla_p \cdot (NTe \vec{V}) dp d\sigma$$

(c)

$$- \frac{c_p}{g} \iint \frac{\partial}{\partial p} (NT_e \omega) dp d\sigma$$

(d)

$$- \frac{c_p}{g} \iint \frac{T_e}{p^k} \frac{\partial p^k}{\partial t} dp d\sigma$$

(e)

$$- \frac{c_p}{g} \iint \frac{T_e}{p^k} \vec{V} \cdot \nabla_p P_r dp d\sigma$$

(f)

(g)

(h)

(i)

绝热过程对单位质量气块产生的加热率, $\kappa = R/c_p$ 。除最后一项外, 其余各项都与干有效位能时相对应^[15]。(a)项代表湿有效能量产生率, 简称产生项, 用 G_A 表示; (b)项表示由于铅直运动使大气质点重新排列导致的湿有效能量释放率, 简称释放项, 用 W_A 表示; (c)、(d)项分别表示湿有效能量水平与铅直通量导致 $(MAE)_j$ 在区域 σ_j 中的积聚, 简称水平积聚项与铅直积聚项, 用 HF_A 与 VF_A 表示; (e)、(f)、(g)项分别表示参考气压局地变化、平流变化、铅直输送对 $\frac{\partial(MAE)_j}{\partial t}$ 的贡献, 可分别简称 p_j 局地变化项、平流项与铅直输送项, 分别用 DPR , $HAPR$, $VAPR$ 表示; (h)项表示地面气压变化对 $\partial(MAE)_j/\partial t$ 的贡献, 简称地面变压项, 用 PS_A 表示; 最后一项, 在干有效位能收支方程中无对应项, 暂称附加项, 用 AD_A 表示。

(10)式与同形式的干有效位能收支方程一样,可能存在各项量级相差较大的缺点。因此,再导出一个各项量级相近的收支方程:

(11)

5

排列导致的湿有效能量释放率; $DADN$ 表示由于效率因子局地变化对 $a(MAE)_{ij}/at$ 的贡献; $HADV$ 与 $VADV$ 分别表示热力平流与铅直输送对 $a(MAE)_{ij}/at$ 的贡献, 分别称为平流项与铅直输送项; PS_A 与 G_A 项的意义同第一类收支方程。

有效能量收支方程有助于揭示能量制造、积聚和释放条件, 在理论与实际工作中都占重要地位。

四、参考状态的确定

(6)、(7)、(9) 式表明, 只有先计算出参考气压 p_r , 才能计算出 $(MAE)_a$ 、 $(MAE)_i$ 与 A_{mh} 。但确定参考状态的办法比较复杂, 而且目前尚不统一。本文认为在位相当温度守恒与质量守恒的制约下, 将大气微团按以下顺序调整可近似得到: (1) 第一次调整, 使本气柱中 θ_e^* 呈递增排列; (2) 第二次调整, 使 θ_e^* 、 θ 、水分含量呈水平均一。

若取 θ_{e*} 表示 θ_e^* 的某一特定数值, p_{r1} 表示第一次调整后的气压, 依据第一次调整的含义知道, 对于某地 (x, y) 某时刻 (t) 而言, $p_{r1}(x, y, t, \theta_{e*})$ 表示 $\theta_e^* \geq \theta_{e*}$ 的空气都在 p_{r1} 等压面之上, $\theta_e^* < \theta_{e*}$ 者都在 p_{r1} 之下。

点绘出 θ_{e*} 廓线 (图 4) 后易发现, $\theta_e^* \geq \theta_{e*}$ 的空气往往有几层。若令 $\Delta P_k(\dots)$ 表示第 k

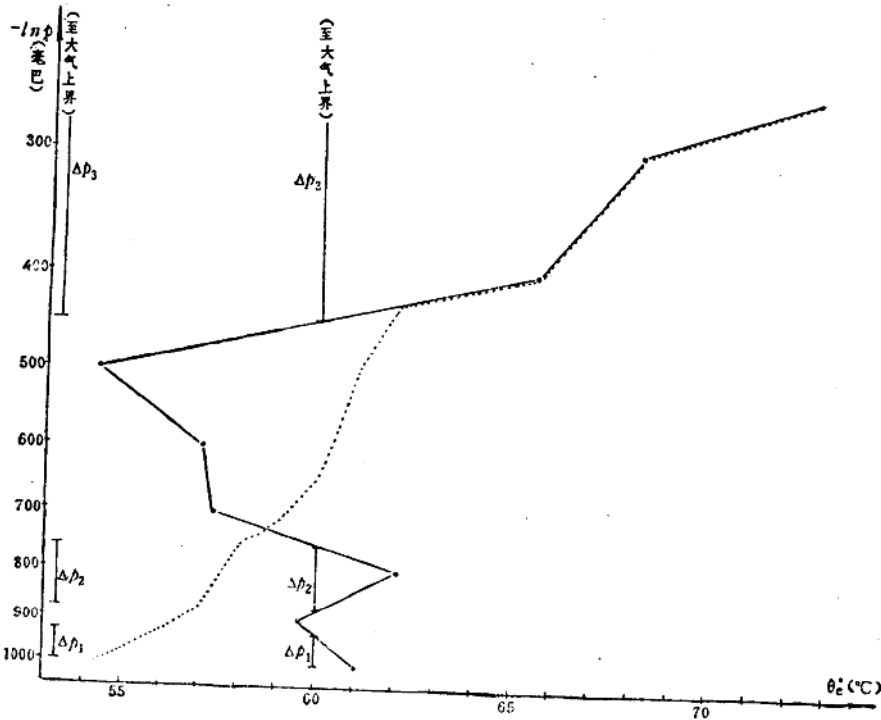


图 4 用表 1 资料绘出的 θ_{e*} 廓线 (实线) 与第一次调整后的 θ_{e*} 分布 (虚线)

表1 某站某日 θ_e^* 铅直分布资料

层 次 (毫巴)	1000	900	800	700	600	500	400	300	200
θ_e^* ($^{\circ}\text{C}$)	61.0	59.5	62.0	57.3	57.0	54.3	65.5	68.1	82.4

个 $\theta_e^* \geq \theta_{e,n}^*$ 层的厚度, 则 $\theta_e^* \geq \theta_{e,n}^*$ 空气的总厚度(以气压差表示)为:

$$\sum_{k=1}^{S_k} \Delta P_k(x, y, t, \theta_{e,n}^*)$$

其中 S_k 表示 $\theta_e^* \geq \theta_{e,n}^*$ 的总层数。考虑到 θ_e^* 守恒与质量守恒, 调整前后 $\theta_e^* \geq \theta_{e,n}^*$ 的空气重量应不改变, 故有

$$p_{r,1}(x, y, t, \theta_{e,n}^*) = \sum_{k=1}^{S_k} \Delta P_k(x, y, t, \theta_{e,n}^*) \quad (12)$$

这是第一次调整的数学表达式。由图4可见, 若 $\theta_{e,n}^* = 60^{\circ}\text{C}$, 则 $\theta_e^* \geq 60^{\circ}\text{C}$ 的空气共有三层($S_k = 3$), 其厚度 Δp_1 、 Δp_2 、 Δp_3 分别为66、122、451毫巴, 故与 $\theta_{e,n}^* = 60^{\circ}\text{C}$ 对应的 $p_{r,1} = 639$ 毫巴。类似地可求出 $\theta_{e,n}^* = 54$ 、56、58、62对应的 $p_{r,1} = 1000$ 、923、752、431毫巴。从图4不难看出第一次调整后 θ_e^* 是随高度递增的。

下面给出一个铅直剖面的实例(图5)。调整之前(图5a), 高纬地区为稳定层结, 低

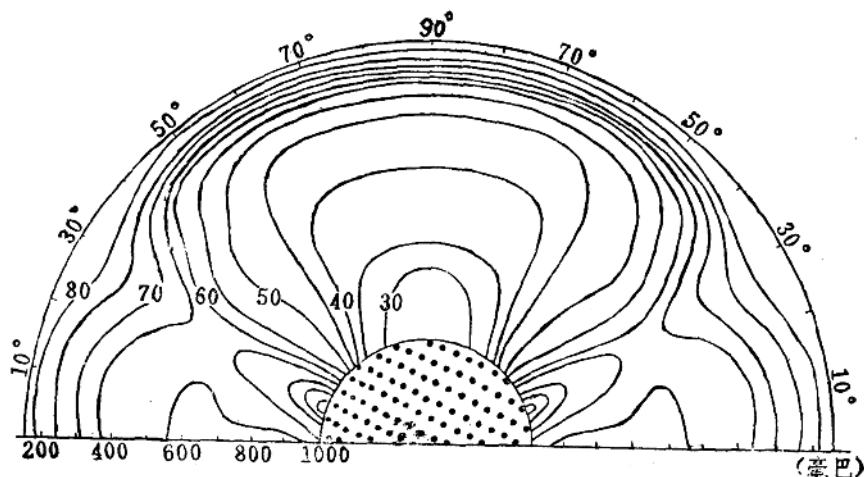


图5a 在纬向均一假定下利用1980年8月115°E资料绘出的位相当温度 θ_e^* 分布图