

前 言

中华人民共和国宪法规定，科学研究“必须为无产阶级政治服务，为工农兵服务，与生产劳动相结合。”当前，社会主义革命和建设的大好形势，都迫切要求不断提高天气预报的准确率。尤其是农业战线大干快上的跃进高潮，对灾害性天气（暴雨、冰雪等）预报提出了新的更高要求。气象工作者必须按理论与实践相结合的原则，探索大气运动的规律，不断改进灾害性天气预报工作，提高“两个服务”的水平。

大气在不停地运动着，运动的根本能源是太阳辐射能。但外因通过内因起作用，太阳辐射能是通过下垫面以及大气固有的热力学和动力学性质，经过一系列能量转换过程，才将大气中积累起来的能量中很小一部份有效能量供给大气日夜运动的。从能量学角度研究天气预报问题，应该是追根摸底的途径之一。但关于大气能量学，多年来都偏重于理论，用于天气预报实践的研究很少。

为此，在前人工作的基础上，我们试图探讨一种在天气预报业务中可用的能量学方法。作为第一步，我们把研究的重心放在我国东部地区夏季对流天气上，并以强雷暴为主要目标。

本文集总结了我們几篇初步研究的结果。第一篇，主要介绍能量天气学的一些常用分析方法、基本分析概念、几个简单模式以及这个方法一些可能的用途。

第二篇，从一次强雷暴个例(7/0806北京雷暴)入手，用能量天气学方法做了较详细的分析。第三篇，通过对我国东部地区32次(站)强雷暴发生条件的研究，摸索了能量天气学方法和常规天气图相结合的24—36小时雷暴预报指标。为了有助于读者进一步研究，还附有附表一和附表二，以供参考。

本文集的一些结果曾在中央气象台气象研究所一室作过汇报，到会的还有本局中央气象台、情报所的许多同志，大家提了许多宝贵意见。中央气象台一室和二室、一些省、地气象局(台)为这个工作提供了很多资料。这些，都有力地推动了这项工作开展。但由于能量天气学的研究才刚开始，我们的水平有限，本文集提出的许多问题尚有待深入研究，尤其是还有待我们在业务工作中去实践。因此，本文集中谬误之处必定很多，希望同志们批评指正。

第一篇 能量天气学分析初探

雷雨顺 吴宝俊 吴正华

一. 问题的提出

天气图方法，是我国各级气象台进行天气分析和预报的主要工具。但这种方法本身需要不断充实和革新，才能充分利用现有观测资料，提高分析和预报能力。例如，夏季的暴雨、雷暴、大风和冰雹等对流天气，是中小尺度天气系统造成的。而现有的天气图分析方法，一不易抓住这种系统本身，二不便直接地表征这种系统的对流不稳定性质，从根本上说，三是不利于揭示这种系统的热力属性和环流结构。

我们知道，各种尺度天气系统的酝酿，发生和消亡，是大气中不同尺度的不稳定能量积蓄和转换的结果。在对流天气预报中，这早已成为一个基本出发点。从能量上研究大气运动规律，在理论上是充分根据的，在实际上也是可能的，在日常天气分析和预报业务上已在不同程度地进行着。但是，目前确实业务上还没有普遍地使用能量学观点，还缺乏通用的能量学方法，还很少有人进行系统的研究。

这就促使我们在前人工作的基础上，探讨了一种简明的总能量天气学方法，以便在天气预报上使用。关于大气总能量的一些基本理论问题，在本文集附录一中说明。这一篇文章，讨

论总能量天气学的一些分析方法和概念，并且着重于我国东部地区夏季对流天气分析上的实际应用，举例说明。

二、一些分析方法

根据附录一，为了实用和直观，我们计算分析总能量相应的总温度。大气中某处，单位质量空气的总温度 $T_t(^{\circ}\text{C})$ 计算公式为

$$T_t(^{\circ}\text{C}) = T(^{\circ}\text{C}) + 9.8z(\text{公里}) + 2.58(\rho/\text{千克}) + 0.5V^2(\text{米}^2/\text{秒}^2) \times 10^{-3} \quad (1)$$

其中 $T(^{\circ}\text{C})$ 为该处实测气温， z 为所在高度， ρ 为比湿， V 为风速。附录一中说明，在大多数情况下，(1)式右边第四项（动能项）比其它三项都小二、三个量级。(1)式简化为：

$$T_t(^{\circ}\text{C}) = T(^{\circ}\text{C}) + 9.8z(\text{公里}) + 2.58(\rho/\text{克/千克}) \quad (2)$$

这样称出的就是湿静力能量的相应温度，但为了方便，我们以后仍称为总温度。

动能项在计算总温度时固然可以略去，但它直接表现了大气的运动状态，因此本文也给出了分析动能场的一种简易方法；另外，通过等能面分析还可将流场和能量场联系起来。

湿静力能量虽然综合表征了大气的压、温、湿状态，但这三项的贡献因时因地而异，并各自具有不同的物理意义。因此，本文介绍的分析方法并不能代替常规的压、温、湿

(单项能量)分析方法,只不过是常规分析的一种很有用处的辅助工具。

1. 湿静力能量分析

在地面图、等高面图、等压面图和垂直剖面图上,都可根据实测资料计算各测站的总温度 T_t ,填在图上进行分析。 T_t 是标量,可按一般标量分析方法,考虑代表性、连续性和三维空间结构,画等值线,就出现等值线波动或闭合区域。

按照本身的物理意义,并为了称呼方便,以后称总温度线为等能线(把 $T_t(^\circ\text{C})$ 变成绝对温标,并乘以定压比热,就是相应的能量);把高(低)总温度区称为高(低)能区,把闭合高(低)总温度区中心叫高(低)能中心。又按照组成高(低)能中心空气的冷暖干湿情况,把高中心标为SN(湿暖),或SL(湿冷);把低中心标为GL(干冷),或GN(干暖),或L(冷)。

将等能面的空间几何形状投影为绝对形势图则其空间上凸处对应低压中心,下凹处对应高压中心。因此,一般不能使用“高能脊”、“低能槽”之类名称;而应用“高能舌”、“低能舌”表示等压面图上的等能线波状系统。

(1). 地面总温度图

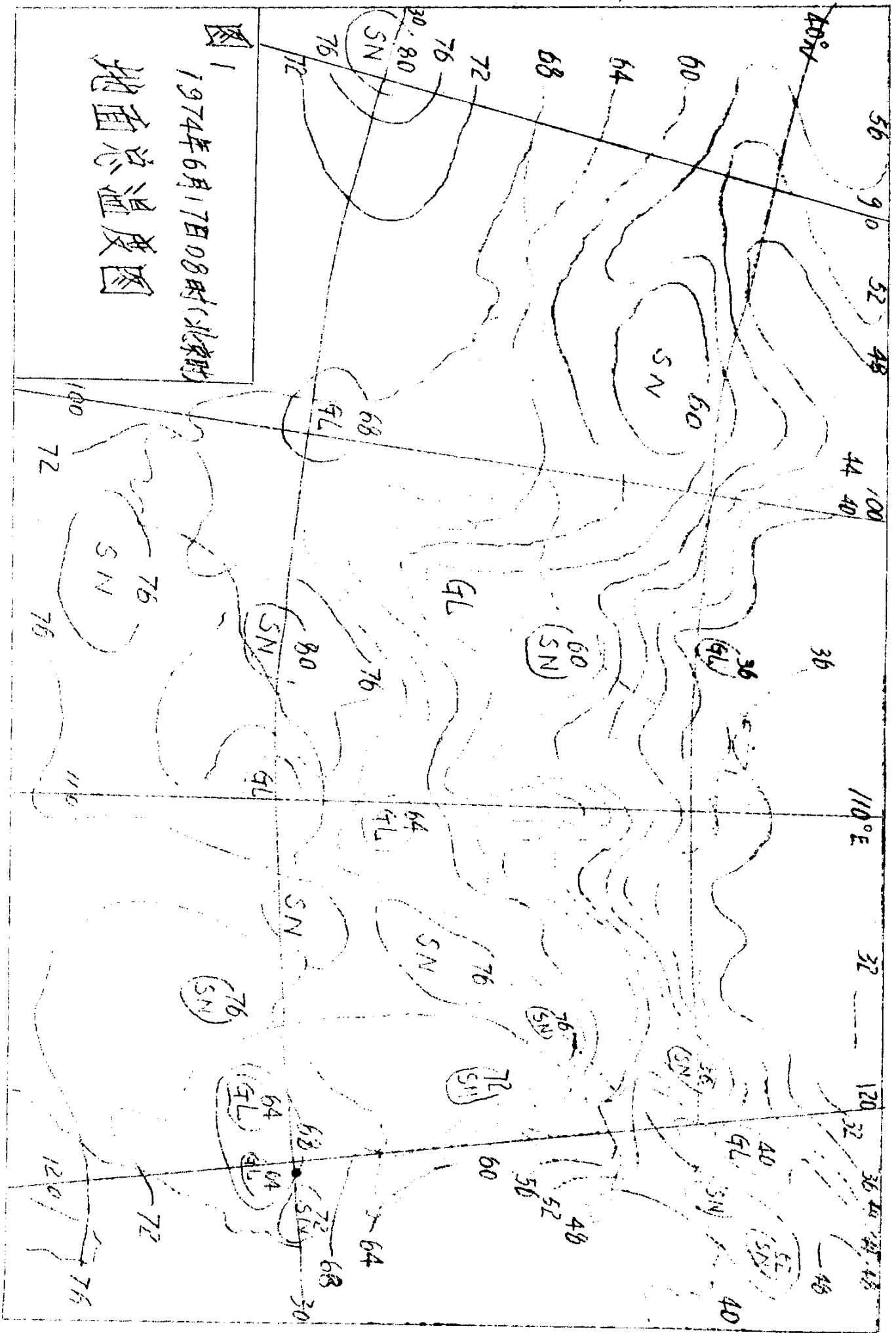


图1
1974年6月17日08时(北京时)
地面总温度图

图1是1974年6月17日08时(北京时,下同)地面总温度 T_e 图。把它和海平面等压线图比较, T_e 图有两个显著优点。

第一,高山、高原地区测站测站的 T_e 和附近海拔很低的测站的 T_e 并不存在明显的不连续,而气压分析中这种不连续性很难处理。因此,地面总温度图为处理高原分析问题提供了一个可用的工具。

第二,地面总温度等值线(每 4°C 一条)甚密,使得中小尺度的波动或闭台中心都很鲜明;而海平面气压分析不仅难以显示中小尺度系统,就是大尺度系统的线条夏季也很疏稀。这是由于,夏季地面气压场变化不过平均值的十分之五左右,而总温度的变化可达百分之三(对绝对温标来说)。因此,地面总温度场是掌握中小尺度系统的一个有力工具。

此外,地面总温度分析还可以大大地扩大可用资料范围。从(2)式看到,如果只知某测站的温、湿值,由于测站高度固定,该站没有气压观测也同样可求地面总温度。由露点求比湿时,用该站相应的标准气压或邻近站气压即可;气压变化10毫巴,引起 T_e 的变化不超过 0.2°C 。这样,为利用我国广大气象站的观测资料,进行中小天气和气候分析提供了极大的方便。

(2) 标准等压面总温度图

900 mb、850 mb、800 mb和700 mb的总温度图,和地面总

温度图一样，空气干湿属性起的作用最大，高能区主要表征了空气潮湿，也有时干湿比重相近；低能区大多由于空气干燥，因此，有的低能区气温反比周围高，但较高纬度的低能区主要由于气温较低。

到600mb及以上，总温度中的比湿项变小，300mb以上已几乎可略去此项，只有深厚的锢囚气旋或秋雨云等除外。但高空风速大于50米/秒的地区， T_e 中应加上动能项。

高能系统往往在对流层下层强大，往上逐渐缩小消失；还有一些高能系统，只在对流层中下部明显，往上往下都减弱消失。许多干冷的低能系统，也往往有类似现象。有趣的是，700mb上（有时是850mb）短波（波长约1000公里左右）系统分明，成为能量分析中最有用的一组常规等压面。图2就是一例。

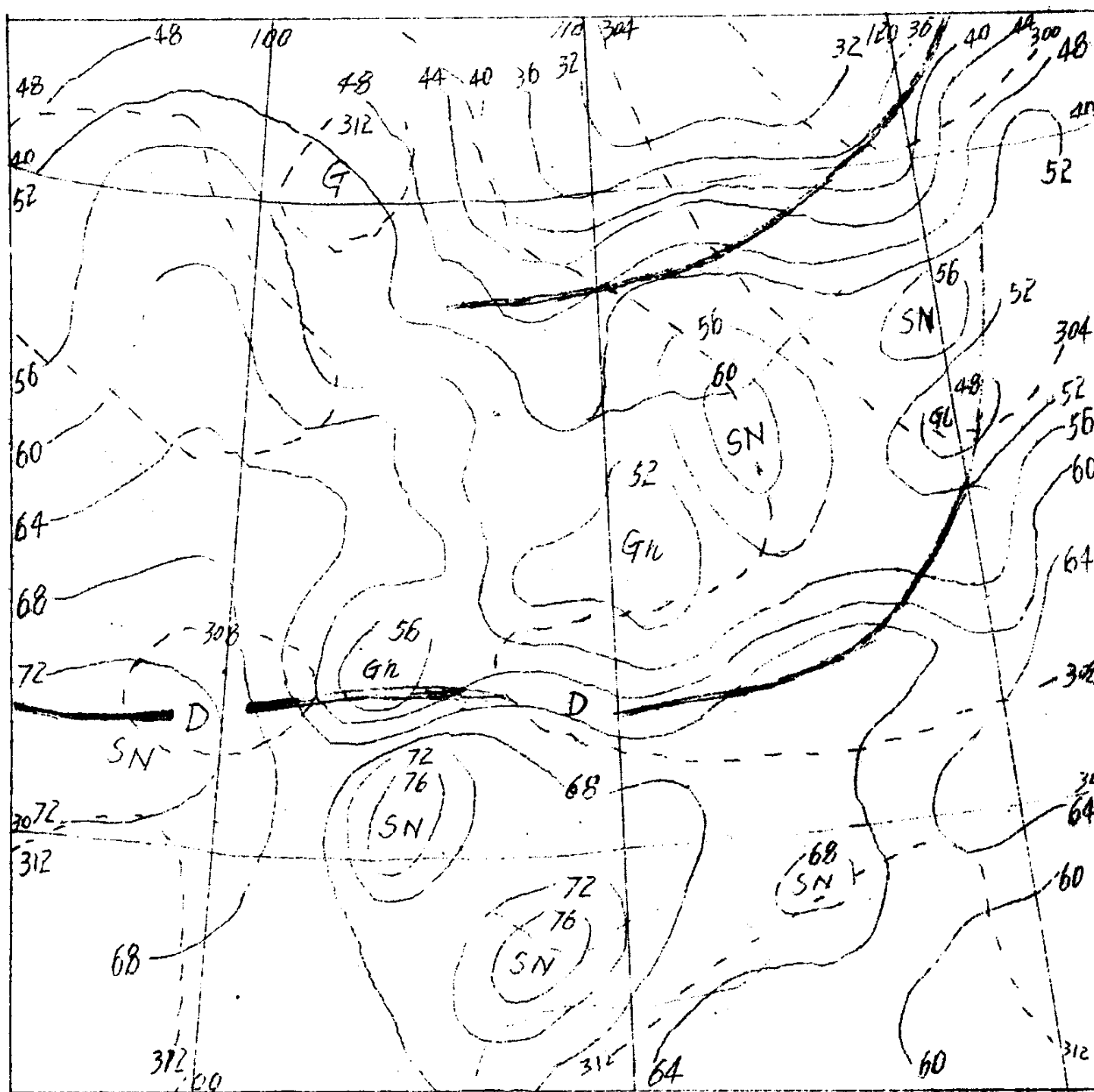
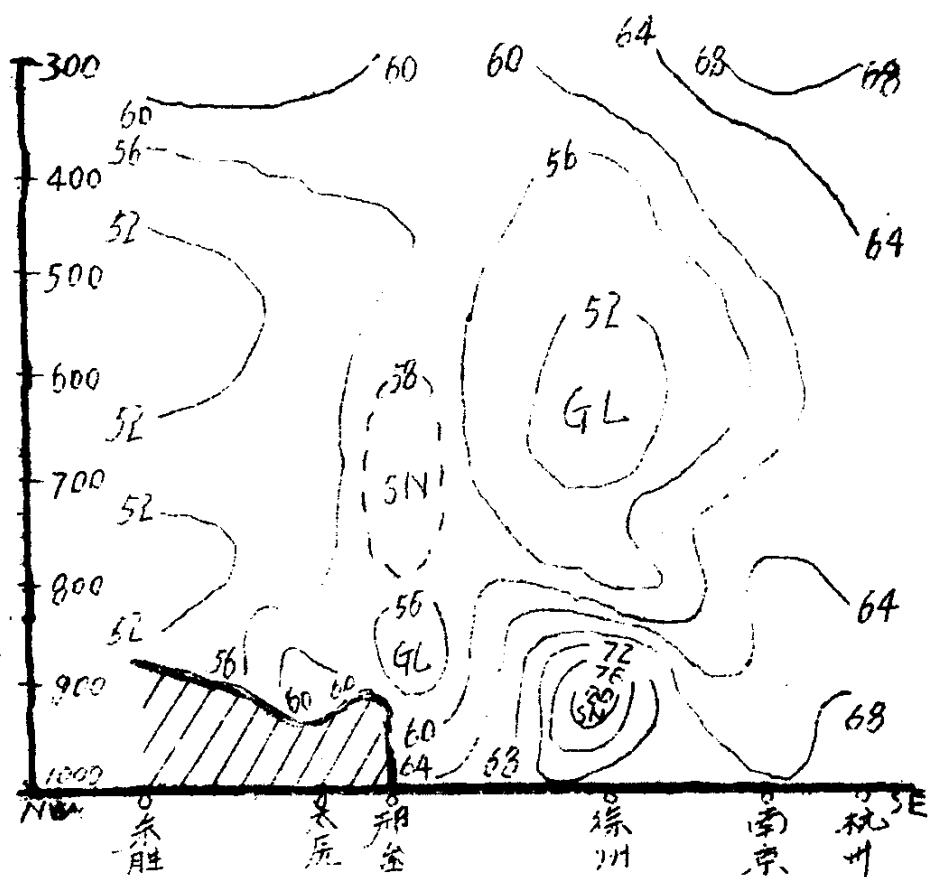


图2 1974年6月17日08时(北京时)700mb
能量形势和气压形势图

——粗实线为700mb槽线,
——细实线为气压线,
---为等高线

(3) 垂直剖面图

垂直剖面图上的总温度分布特点, 和我国天气学工作者熟悉的假相当位温 θ_{se} 图基本相似, 故不赘述。图 3 a 揭示了垂直方向上高低能系统相叠的现象, 有重大预报意义, 图 3 b 是一次冷锋南下时, 锋前雨区深厚高能空气和锋后较深厚的低能空气的垂直结构情况。这二者都将在第四节说明。



(a)

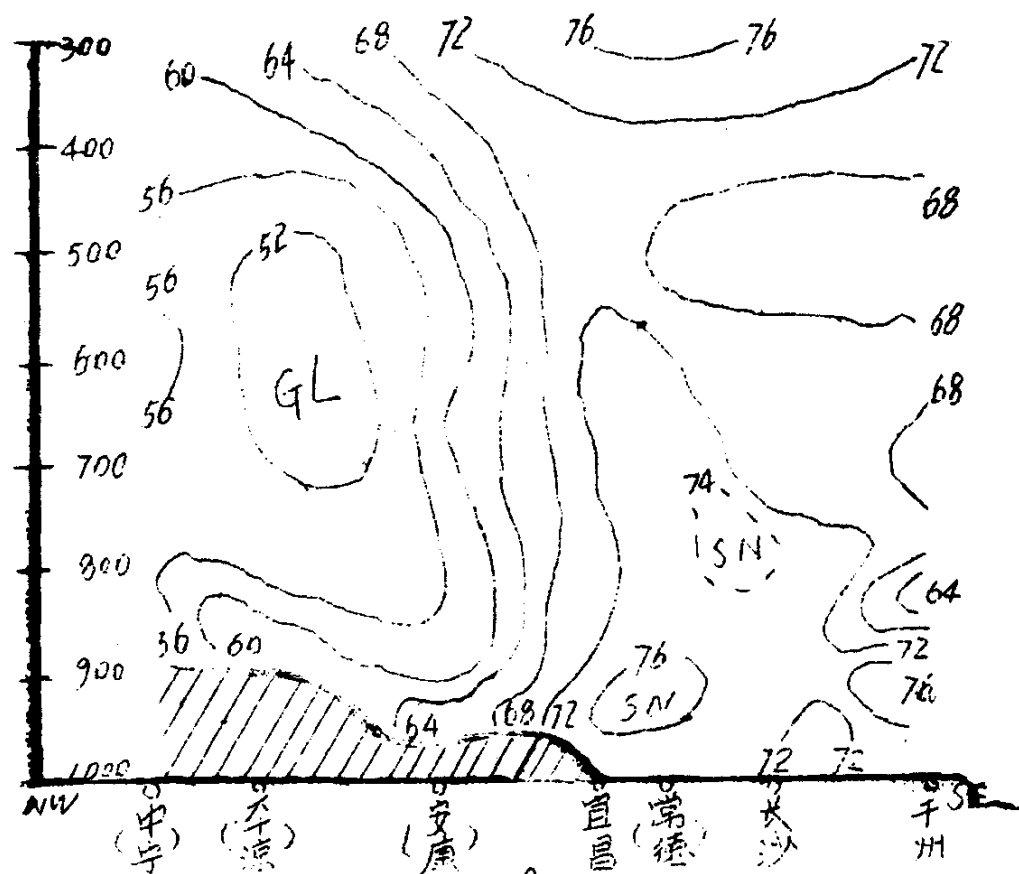


图 3 总温度垂直剖面图

(a) 1974年6月16日20时 (北京时间)

(b) 1959年6月9日08时 (" ")

(c) 站是由气压面图上读数的

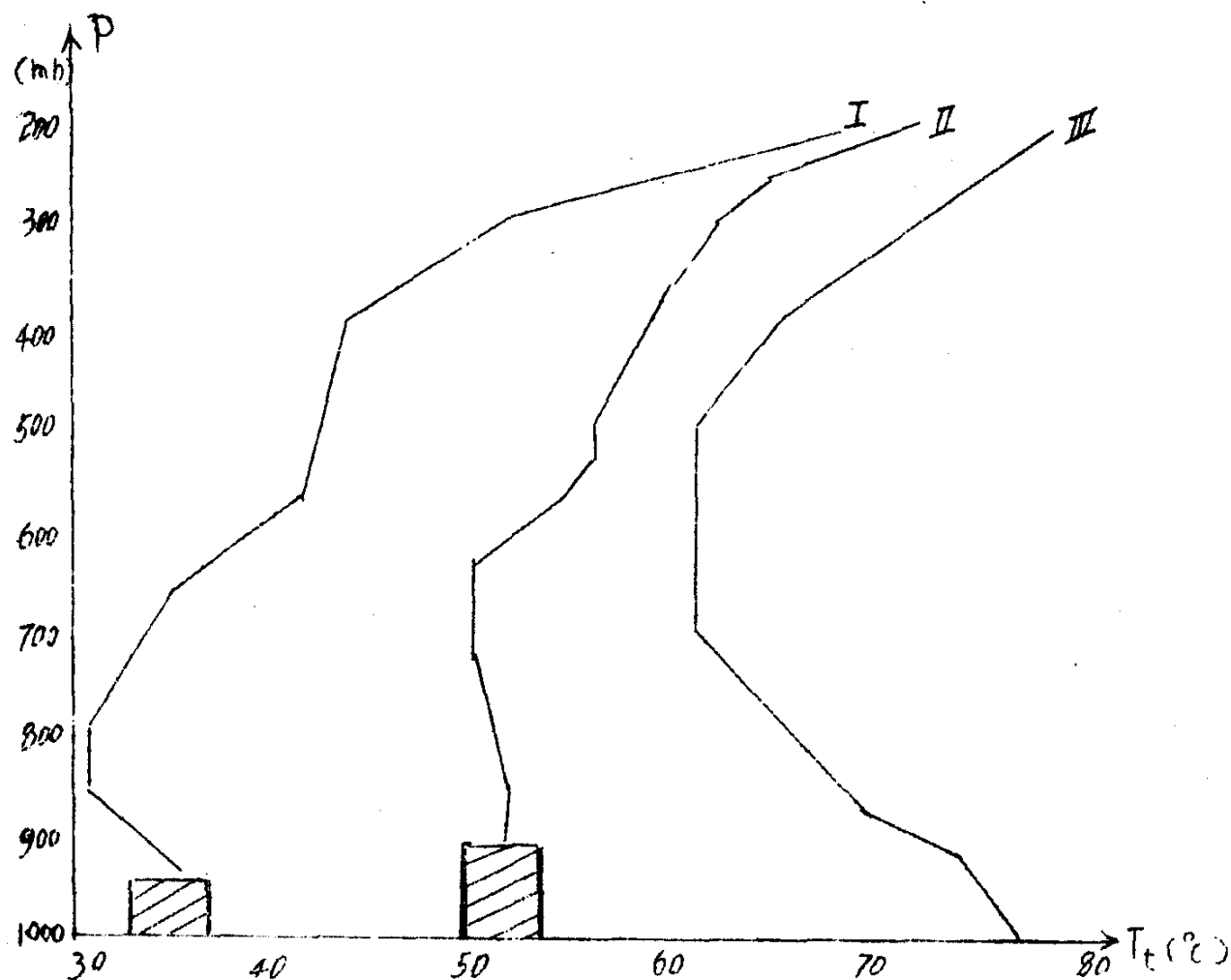
2. 不稳定能量分析

根据附录一，湿静力能量的相应温度和相当位温 θ_e 近似相等，故有

$$\frac{\partial T_e}{\partial z} \begin{cases} \geq 0 & \text{大气为对流} \\ & \text{稳定} \\ & \text{中性} \\ & \text{不稳定} \end{cases} \quad (3)$$

因此，由 T_e 可以迅速分析大气不稳定能量的空间分布。例如，对雷暴天气，我们发现当 08 时 ($T_e 500 \text{ mb} - T_e 700 \text{ mb}$) 的不稳定区和次日下午的强雷暴的发生有密切关系 (1)。

分析单站探空 T_e 曲线，可以一目了然地判定局部大气的对流稳定状态。图 4 是我国东部地区夏半年有代表性的几类单站总湿度廓线。



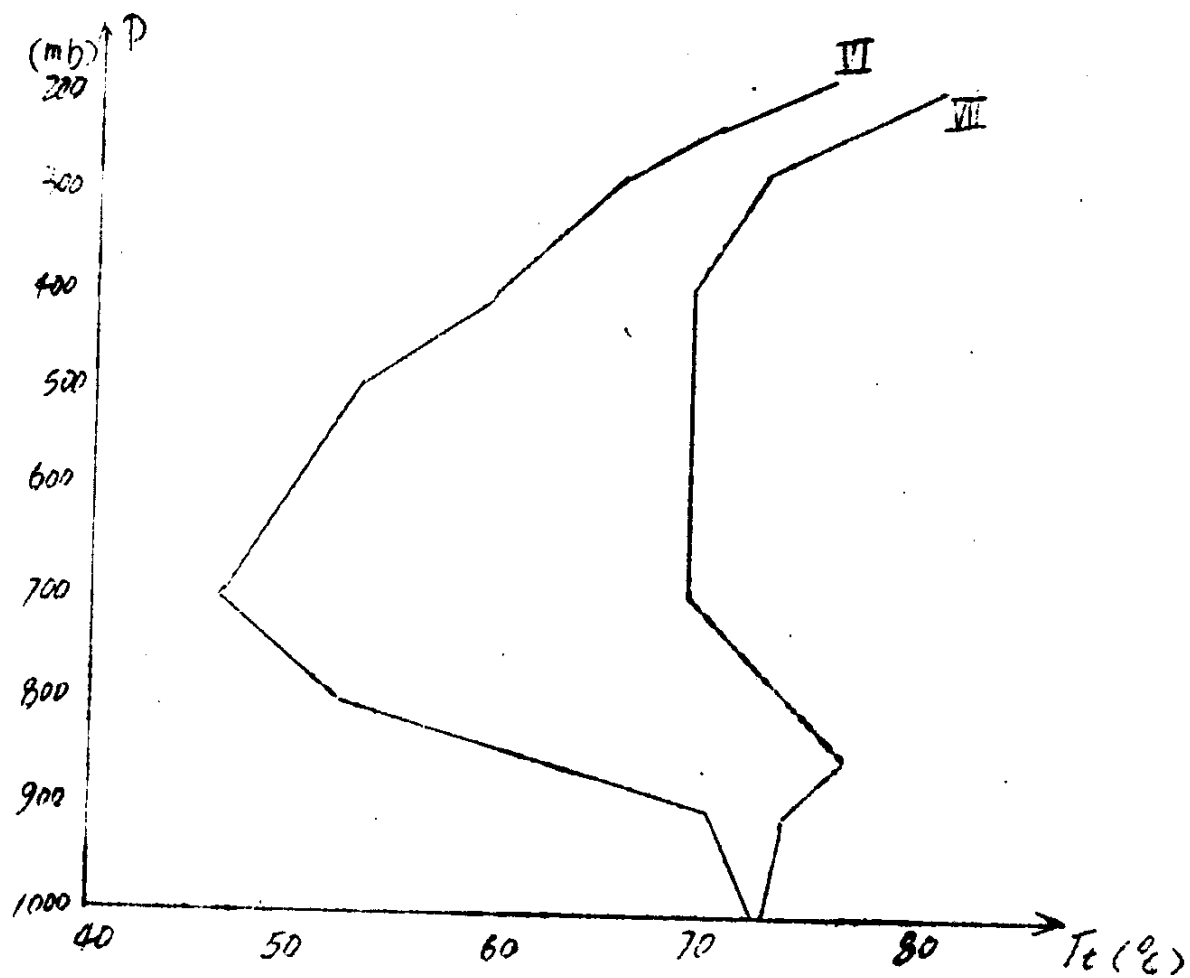
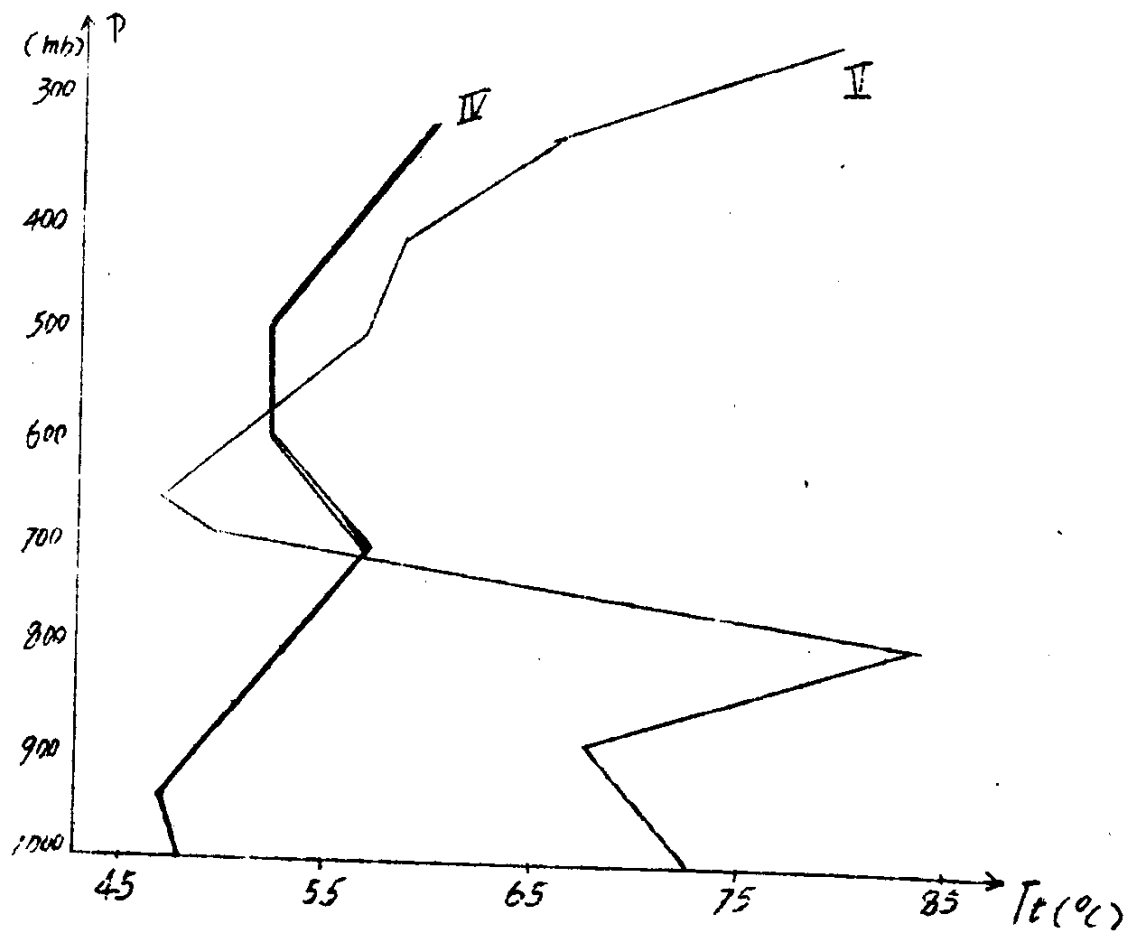


图4 总温度垂直分布的几种类型

I. 1974. 6. 17. 08, 赤峰

II. 1974. 6. 17. 20, 延安

III. 1960. 6. 26. 08 福州

IV. 1959. 6. 6. 08 郑州

V. 1974. 6. 16. 20 阜阳

VI. 1959. 6. 7. 20 汉口

VII. 1959. 6. 8. 20 汉口 (凡)

其中 I 至 VI 是较稳定的天气形势下的类型, I 表征了极地新鲜干冷空气的热力结构, II 则是这种干冷空气在低层潮湿升温而变性后的大气结构, III 表征了热带大气特性。I 和 II 的共同特点是, 行星边界层顶(离地面约 1000—1500 米)以上,

$\frac{\partial T}{\partial z} > 0$, 大气处于对流稳定状态; 只是在行星边界层内, II 出现微弱的对流不稳定 ($\frac{\partial T}{\partial z} < 0$), 故一般短期内不会有强对流天气发生。III 的特点是, 低层对流不稳定度较大, 但中层以上却很稳定, 并且由于这个稳定层就是稳定的付高的干暖空气, 在没有强大冷空气下来之前, 也不会有强对流天气。

IV 至 VII 是强对流天气发生前 12—36 小时的大气结构。IV 的特点是 700mb 左右的空气比上、下都温暖, 因此中空对流不稳定度大, 而以上和以下却比较稳定, 它予兆着下游地区未来可

能发生强雷暴之类天气。Ⅱ的特点是700mb左右的空气特别干冷（与Ⅲ不同），往下直到近地面的空气却越来越温暖，比Ⅲ的不稳定度要大得多，常予兆着以暴雨为主的雷暴天气。Ⅲ在2000米高度左右潮湿空气极为发达，而往上在3500米高度左右却又变为干冷空气（在1000米厚度内总温度递减了约 40°C ！），近地面层空气也比2000米高度处的比较暖。Ⅱ这种极不稳定性质，予兆着比大风为主的险恶天气，还可有冰雹大雨。这三类有一共同特点：中低空有属性不同的几种空气叠加，有时，如1974年6月16日08时南京、阜阳等地，总温度廓线上出现四五个极值点，不稳定层和稳定层几次交替出现。

图4中的Ⅲ表示了正在发生对流天气时上升气流区中的总温度垂直分布情况。其特点是，在相当大的厚度内（本项为700—300mb），空气属性都比较均匀，表示这时空气近似湿绝热上升。

3. 动能场分析

为了实用方便，用一种简易运动学方法——风速和主要流线图——来代替动能图分析。

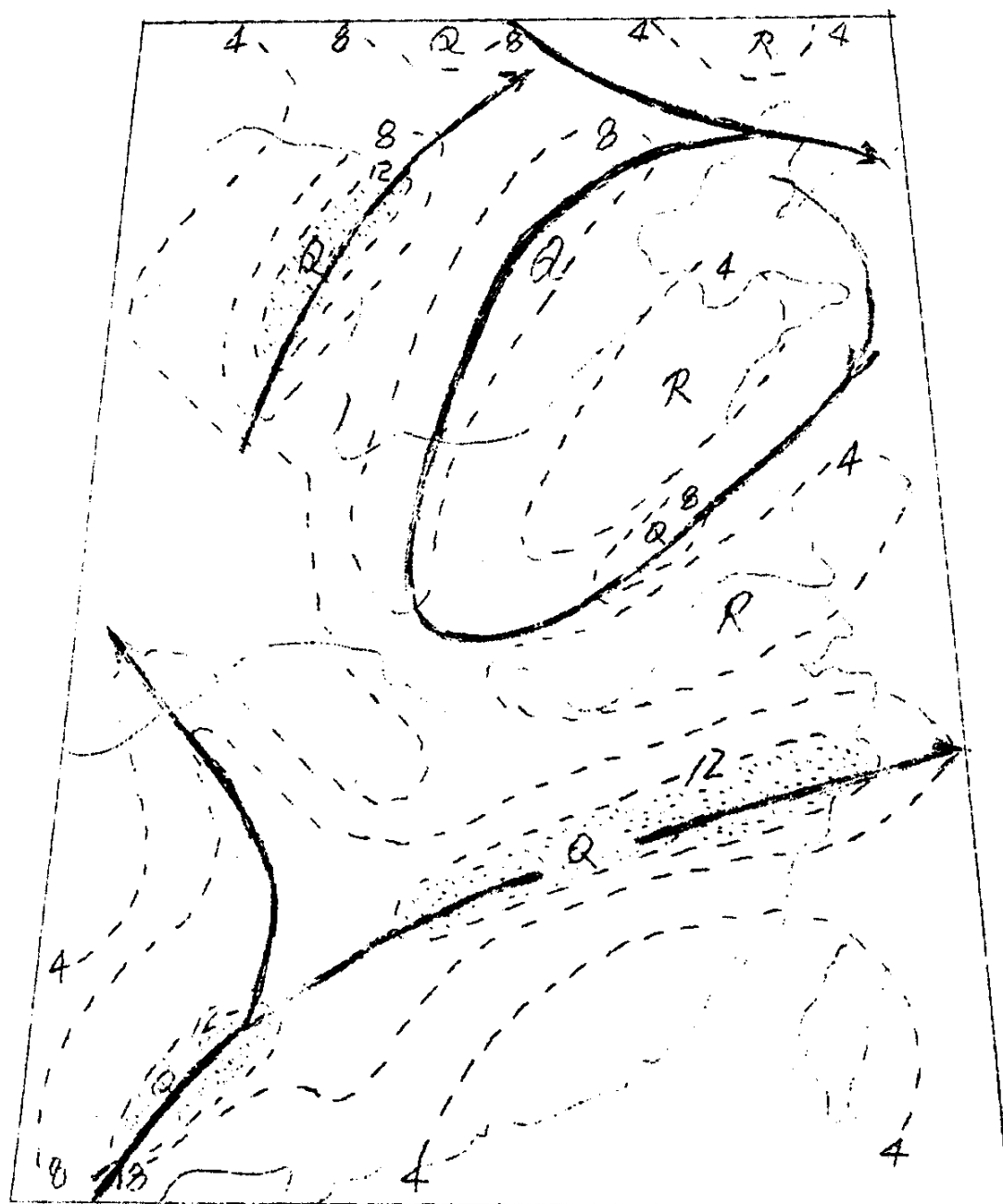


图5. 1969年8月28日08时850mb

简易流线—风速图

图中 — — — — — 等风速线 (米/秒)

—————> 主要流线

⬤ 风速 > 12 米/秒

图5是一幅850mb的这种图，等风速线间隔为4米/秒，动能($\frac{1}{2}V^2$)应按风速的平方增大。闭合的强(弱)风区中心，分别用Q、R标示。图中还分析了与强风中心轴线一致的流线，称为主要流线。经验说明，如⁽²⁾，最大风速轴线与流线近乎平行，这轴线附近的流线曲率较小，等风速线闭合呈扁豆形；风速小处，流线曲率大，并往往存在流线的奇異点，如涡旋、中性点和尖点等。

850mb和500mb的简易流线——风速图，资料较多，用处也大。850mb的这种图，表现了低层急流活动情况。这种急流在行星边界层顶附近最强，在我国东部地区多表现为西南风，风速极大值为10—20米/秒左右，位于槽前或移动性高压后侧，更经常在付高西北侧出现，和低层高能区及强对流天气关系密切。500mb的简易流线——风速图可以表现主要风带的位置和强度，与极锋急流和付热带急流联系的强风带都很明显。高空急流出口区，气流辐散，容易启动对流系统发生。

4. 等能面分析

绘制出各等压面上的等压线后，就可以确定某个等压面(即等能面)的几何形状。附录一中证明，空气绝热运动时是在等能面上进行的，因此等能面分析对深入了解天气过程很有

帮助。

单站上空总温度随高度常忽增忽减，出现几个极值，表示等能面形状蜿蜒曲折，结构十分复杂。所以，要在平面图上表示等能面形状，必须根据当时大气的热力结构特征，在水平和垂直方向分成几部分处理。

为了说明我国东部地区夏季强对流天气前常见的大气热力层次结构和相应的等能面形状，给出1959年6月7日23时52℃等总温度面的例子（图6）。该等能面在华北地区自然地分成四层：

