

能量天气学研究

(二)

1975—1976 年工作部份总结

中央气象局研究所

1977

56.44

图书馆

在全国农业学大寨、普及大寨县的大好形势下，为更好地贯彻执行“两个服务”的方针，提高天气预报准确率，为普及大寨县做出新贡献。广大气象工作者在党的一元化领导下，开展社会主义大协作，针对灾害性天气预报问题做了大量的工作，取得了很大的成绩。在研究所党委和一室党支部的领导下，我们从一九七四年底开始，引用能量天气学方法进行对流天气分析和预报的试验研究以来，已引起了国内许多气象工作者的注意。许多气象台站、科研单位和一些院校有关专业，或对暴雨、台风、或对冰雹；或用天气图方法（包括地区地面小图），或用统计预报方法；或找中、短期预报指标，或进行气候分布，都有人做了一些探索工作。

从能量的观点研究大气的运动规律，在国内外，已有几十年了，也取得不少成果。但关于怎样直接用于日常天气预报业务中的研究却很少。所以，有些同志对能量天气学研究的渊源、理论基础、分析方法，实用价值及发展前景等提出了许多问题。对这些问题的回答，还有待于我们气象工作者在不断地实践中，进行探索和总结，以便使能量天气学方法在主攻灾害性、关键性天气的预报中，发挥一定的作用。

本文集包括了我们这两年在中央气象台和北京市气象台进行预报实验和研究的一部分工作总结。目的是为了和同志们交流和讨论。我们水平有限，文中会有许多谬误之处，希望同志们批评指正。

我们的工作曾得到中央气象台领导和预报员们的大力支持和鼓励。北京市气象台的领导和同志们给我们很大的帮助和支持，为我们顺利地完一九七六年的预报实验任务创造了许多方便条件。另外，一些省、市气象局台站、科研所和有关院校的同志们曾给我们很大的支持，

甚至还来京与我们共同讨论这方面的工作，提出了宝贵的建议和意见。
趁编印此文集之际，我们特表示衷心的感谢！

中央气象局研究所一室二组

一九七七年二月

(一) 用探空资料分析、预报夏季局地对流天气的一种方法

一、用总温度和饱和总温度表示的各种静力稳定度判据	1—1
二、总温度铅直廓线	1—4
三、几种简单的稳定度指标	1—15
四、水汽和温度	1—20
五、动力条件	1—21
六、当日局地天气的预报	1—24
七、几点讨论	1—26

(二) 北京地区八月降雹的短期预报(一)

一、雹灾日 H_{300} 的特点	2—2
二、雹灾日 $T_{\sigma 300}^*$ 的特点	2—5
三、雹灾日各种热力学不稳定指数的特点	2—6
四、雹灾日前期 ($T_{850} - T_{500}$) 的特点	2—13
五、雹灾日 ($T_{500} + T_{700}$)、 H_{500}^{300} 的特点	2—15
六、雹灾日 ΔH_{300} 的特点	2—16
七、预报雹灾日的条件小结	2—17
八、试报结果	2—18
九、存在问题	2—19

(三) 北京地区八月降雹的短期预报(二)

一、地面总能量形势图及其中尺度天气分析和预报中的应用	3—1
二、正在降雹时附近的能量场和流场特征	3—4
三、雹灾日08时($T_{\sigma 0} - T_{\sigma 500}^*$)与当天冰雹落点的关系	3—6
四、雹灾日08时地面高能轴线与冰雹落点的关系	3—8
五、雹灾日08时 I_t 分布图与冰雹落点的关系	3—12
六、小结	3—13

(四) 北京地区三次对流天气过程的分析 and 对比

一、前言	4—1
二、天气形势背景	4—2
三、先兆过程	4—7
四、不稳定能量的积累和释放	4—11
五、能量系统的演变	4—19
六、讨论	4—22

(五) 北京暴雨产生前的总能量分布特征

一、问题的起因	5—1
二、北京地区暴雨前12—36小时的能量分布特征	5—3
三、各能量系统的温、压、湿、风场特征	5—7
四、各能量系统对形成暴雨的贡献	5—10
五、结语	5—16

用探空资料分析、预报夏季局地对

流天气的一种方法

雷雨顺 吴宝俊 吴正华

内容提要：把能量学和动力学观点相结合，使用北京6—8月每日07时（北京时）探空资料，采取了绘制总温度廓线，计算各种稳定度指数等方法，分析了局地大气结构和北京地区未来24小时（08至08时）天气的关系，得到了一些有益的结果。由总温度铅直廓线，很容易确定能量平衡高度 P_e （对流上限）， $P_e \leq 480 \text{ mb}$ 时出现对流天气，概括率达85%。由总温度铅直廓线的特征，还可预先区分对流天气的性质和强度等等。另外，根据常用标准等压面资料，计算稳定度指数，找到了和 P_e 类似的指标，见(12)式；还得到了发生对流天气日早晨大气结构的统计特征：上干冷下温暖，适当的水汽，适当的风速切变，一定的干静力稳定度、条件不稳定度和潜在不稳定度，合适的启动系统等等。并找到了区分对流和非对流天气的单项和综合指标。所得结果有助于认识中纬度夏季局地对流天气的前期条件和发生机制，还可直接应用于夏季每日的天气预报，并可供建立短期统计预报方程选因子时参考。

一、用总温度和饱和总温度表示的各种静力稳定度判据

夏季，当天24小时内，局地是出现雷暴、冰雹、大雨等对流性天气呢？还是只会出现稳定性天气？这是预报员每天都要回答的一个重要问题。通过近二年的实践，我们认识到，把能量观点和流体动力学观点结合，使用总温度及有关物理量，对于研究这个问题是有帮助的。本文只限于用北京早晨07时（北京时）单站探空资料，对北京

地区（指北京市所属区、县）当日对流和非对流天气的予先区分进行初步探讨。所用方法，由绘制总温度廓线入手，和因子分析相结合，找出预报当日天气的综合指标。

为了后面行文方便，先把常用到的几个概念略加陈述。从能量上考虑⁽¹⁾，日常业务上查算单位质量空气的总温度甚为方便，总温度 T_t 的简化公式为：

$$T_t = T + \frac{g}{C_p} z + \frac{L}{C_p} q \quad (1)$$

其中 T 、 z 、 q 分别为该单位质量空气的温度、所在高度和比湿， g 为重力加速度， C_p 为定压比热， L 为凝结潜热。如果只考虑干空气，则与干静力能量相应的干总温度

$$T_D = T + \frac{g}{C_p} z \quad (2)$$

在能量天气学研究中还经常使用饱和总温度这个概念，定义为

$$T_s = T + \frac{g}{C_p} z + \frac{L}{C_p} q(T) \quad (3)$$

$$\text{显然, } T_s - T_t = \frac{0.622L}{C_p P} (E - e) = \frac{0.622L}{C_p P} (1 - r) \quad (4)$$

其中 e 和 E 分别为实际水汽压和同温度下的饱和水汽压， P 为气压， r 为相对湿度。从物理过程上说， T_s 是一个人为物理量，不管当时空气是否饱和而假定饱和下得到的；但是，后面可以看到，它有重要使用价值。事实上，在已知等压面上， T_t 是温、湿二者的函数，而 T_s 只是温度的测量，但 $(T_s - T_t)$ 则是空气未饱和度或相对湿度的表示。

使用能量观点探索天气预报的出发点之一，是考察大气中不稳定能量的变化情况。在经典大气热力学中，已有表征局地大气不稳定能量的几种判据⁽²⁻³⁾仿此，并根据总温度的准守恒性质⁽¹⁾，对有关稳

稳定度定义如下:

1、根据气块法,未饱和空气的静力稳定度

$$\sigma_D = - \frac{\delta \ln T_D}{\delta p} \begin{matrix} > & \text{稳 定} \\ = 0 & \text{中 性} \\ < & \text{不 稳 定} \end{matrix} \quad (5)$$

2、按气块法,饱和空气的条件稳定度

$$\sigma_S = - \frac{\delta \ln T_S}{\delta p} \begin{matrix} > & \text{稳 定} \\ = 0 & \text{中 性} \\ < & \text{不 稳 定} \end{matrix} \quad (6)$$

3、按气块法,对流层中层某高度(或相应气压 P'),气块的潜在稳定度可用 $T_s(p')$ 与其下方某高度 p (一般取对流层低层)的 $T_t(p)$ 之差表示,

$$\sigma_L = T_t(p) - T_s(p') \begin{matrix} > & \text{不 稳 定} \\ = 0 & \text{中 性} \\ < & \text{稳 定} \end{matrix} \quad (7)$$

4、为了表征冷锋、地形或辐合上升使整层空气抬升而产生的不稳定度,一般使用对流稳定度(也有叫做位势稳定度的),

$$\sigma_p = - \frac{\delta \ln T_t}{\delta p} \begin{matrix} > & \text{稳 定} \\ = 0 & \text{中 性} \\ < & \text{不 稳 定} \end{matrix} \quad (8)$$

5、对流层中下层的几种稳定度指数;对流层中层干冷而低层湿暖造成的不稳定度,和对流天气关系最密切,因此根据上述各公式,本文中常使用下面的简化稳定度指数:

$$\begin{aligned}
 (a) \quad T_{t8}^{s5} &= T_{s500} - T_{t850}, \text{ 为潜在稳定度;} \\
 (b) \quad T_{t8}^5 &= T_{t500} - T_{t850}, \text{ 为对流稳定度;} \\
 (c) \quad T_8^5 &= T_{500} - T_{850}, \text{ 为干空气的静力稳定度;} \\
 (d) \quad T_{s8}^5 &= T_{s500} - T_{s850} \text{ 为条件稳定度}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

上式中脚标 s , t 表示是饱和总温度或总温度, 850 和 500 表示在 500 mb 或 850 mb 上取值。严格说, 干空气静力稳定度与 T_8^5 之间还差高度项, 北京 6—8 月这一项的平均值为 4.3°C , 约有 $\pm 2^\circ\text{C}$ 的变化, 但这个变化在 T_8^5 的变化中能很好反映, 故可忽略。

潜在稳定度是对气块法说的, 对流稳定度是对整层空气抬升说的, 各有一定独立性, 故有相加性。干空气的静力稳定度是大气层的一个基本属性, 还和条件稳定度有密切关系, 与上二者比, 也有其独立性。从实用角度看, 可以将上二者(4)或三者简单相加, 以表示大气柱的总稳定度。因此, 定义一个对流层中下层的简化总稳定度

$$\sigma_t = T_8^5 + T_{t8}^5 + T_{t0}^{s5} \tag{10}$$

其中 T_{t0}^{s5} 与 (9a) 不同, 用地面代替 850 mb , 是为了在 σ_t 中除反映 850 mb (T_8^5 , T_{t8}^5) 外, 还反映地面的总温度。

二、总温度铅直廓线

1. 三个例子 用单站探空资料绘制总温度铅直分布廓线, 可以直观地判断局地大气的层结稳定度。图 2.1 是 1976 年 7 月三次 07 时总温度和饱和总温度廓线。根据(6)—(9)式, 从图 2.1 上就能知道条件稳定度、潜在稳定度和对流稳定度的分布。例如, 根据(8)式考察 T_t 廓线, 这三天有一个共同特点, 行星边界层顶 (大致在 900 mb 附近) 到 600 mb , T_t 随高度减小, 即大气处于对流不稳定

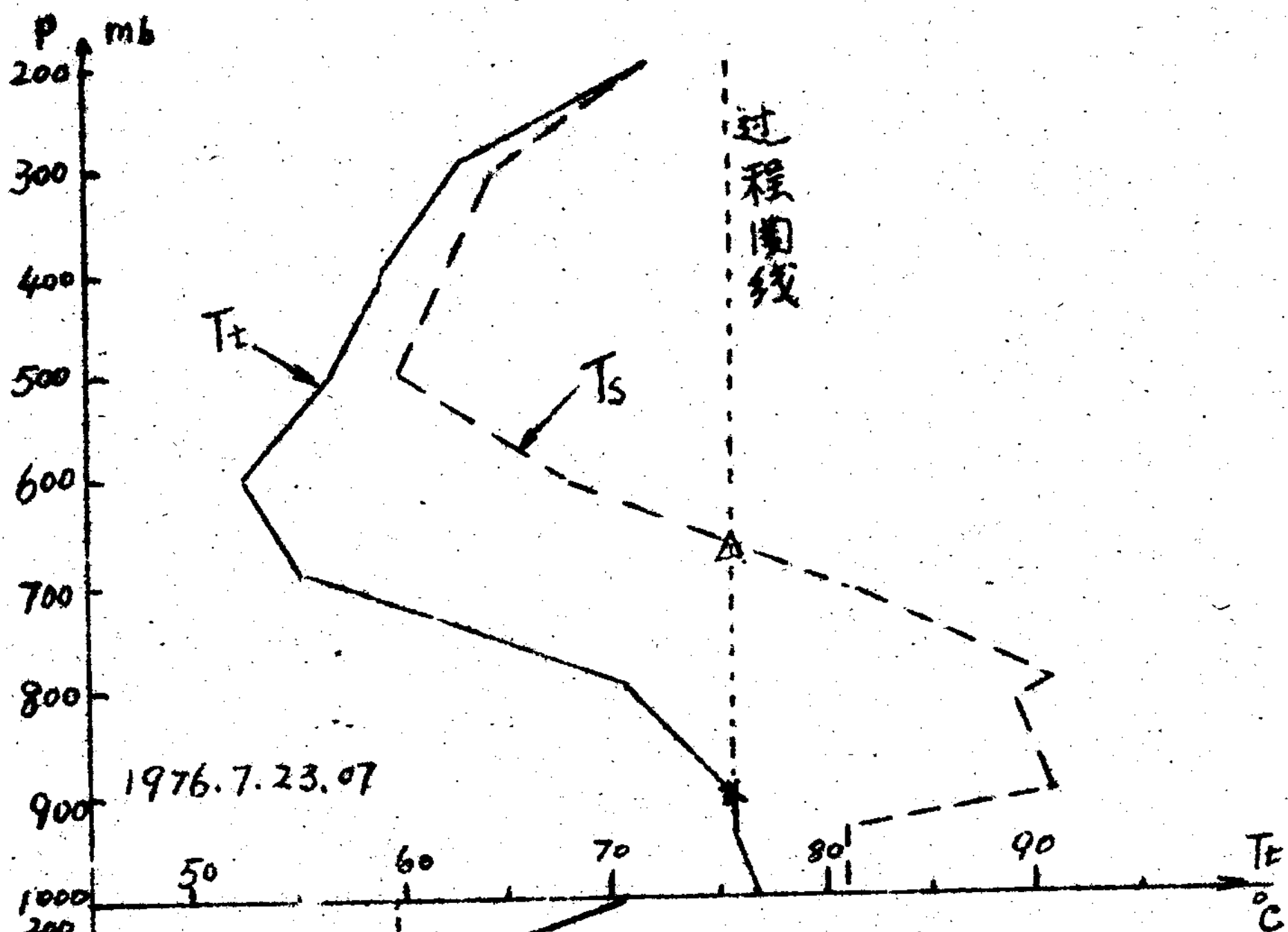
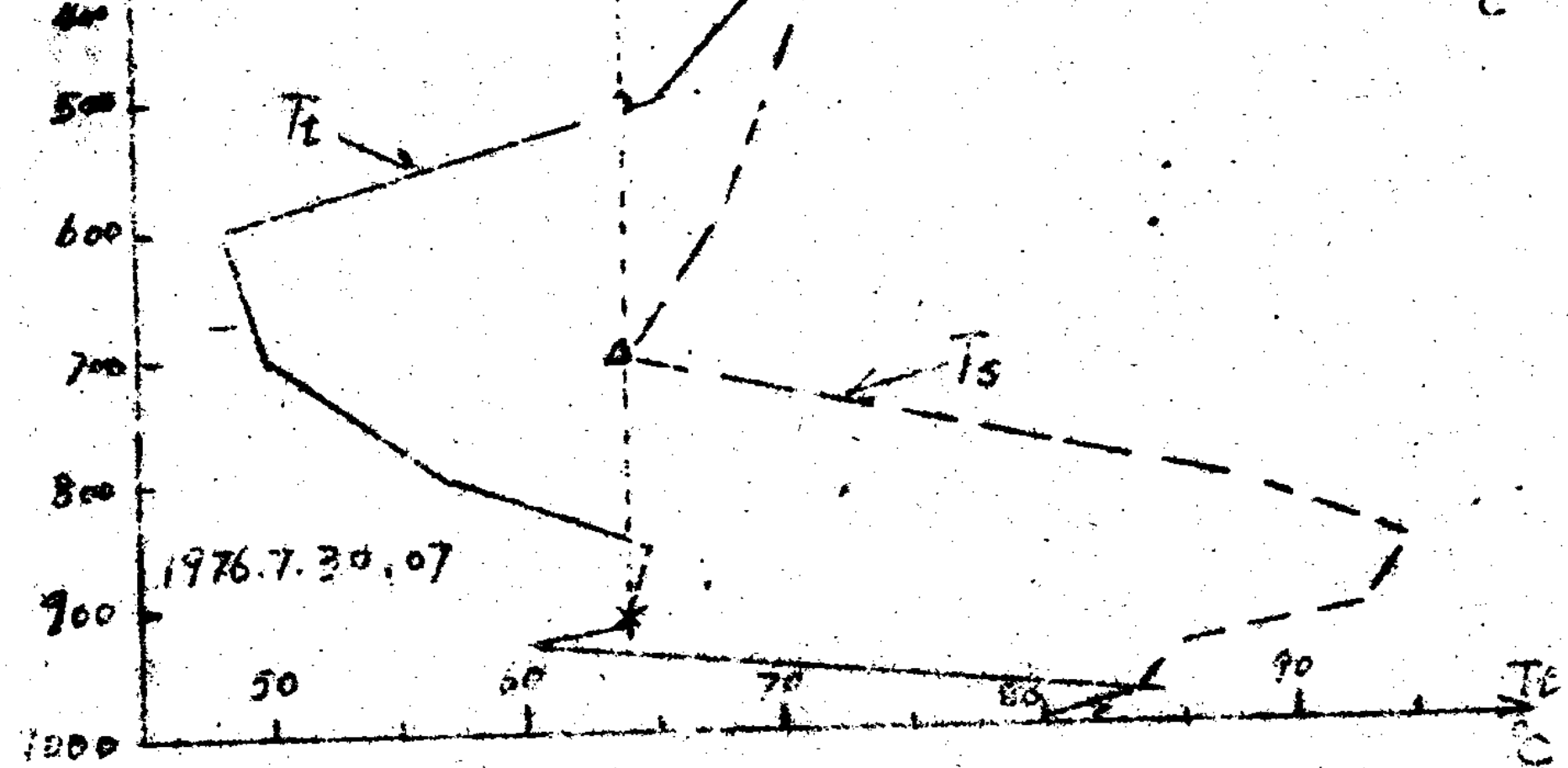
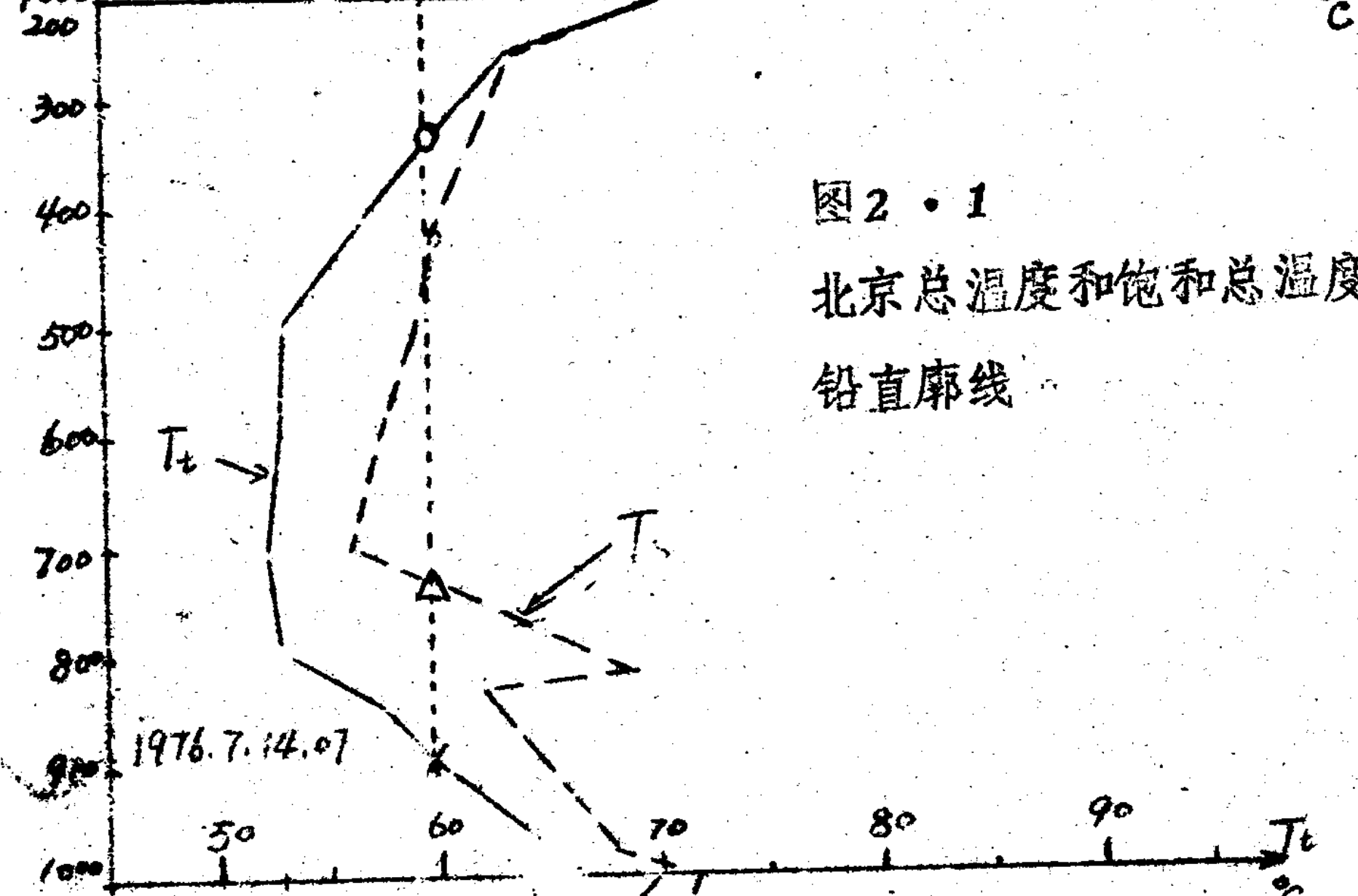


图 2 · 1
北京总温度和饱和总温度
铅直廓线



状态；600 mb 往上，层结是对流稳定的。

在绝热条件下，单位质量空气的总温度有守恒性。令低层某处（这里用900 mb）气块绝热上升，则其过程曲线就是由该处 T_{t900} （图上*号）决定的铅直线。过程曲线和环境实际 T_t 廓线的最高空交点（图上o点），是上升气块的能量平衡高度。能量平衡高度与由温度对数压力图定的对流上限（云顶高度）相似，但略有不同，将另文讨论。过程曲线和饱和总温度 T_s 的交点（图上△点），大致就是该上升气块的自由对流高度。任一高度P，上升气块总温度与该高度 T_s 之差，即 $-[T_s(P) - T_{t900}]$ ，称做超温。超温也就是潜在不稳定度。它表示：气块上升饱和后，如比饱和环境还暖，会继续上升；否则，不能再上升。

图2·1中，7月23日的对流上限在200 mb以上高空，位于500 mb附近的最大超温达15℃，自由对流高度约在650 mb附近；一旦有适当外力使低层气块越过自由对流高度，一定会发生强对流天气。果然，当日在北京市东北部发生了一次历史罕见的局地特大暴雨，本市西部还出现了冰雹天气。14日，能量平衡高度约330 mb，位于700 mb附近的最大超温约4℃，自由对流高度为740 mb，三者都比23日的低（小），但也很有利对流天气发展。实况：当日出现了以中、大雨为主的雷雨天气。30日，从 T_t 廓线看，600 mb以下对流不稳定度也很大，但能量平衡高度低（约510 mb），不出现自由对流高度，最大超温接近零；因此，当日本市闷热，但并无雷、雨。

这三个例子在夏季是有代表性的。以后可以看到，能量平衡高度和超温（包括自由对流高度），是从局地大气结构预分对流和非对流天气以及对流天气强度的两个基本因子。

2、能量平衡高度和对流天气强度。不同类型的天气，总温度廓线有何不同呢？图2·2给了1976年6—8月几种同类型天气07时总温度平均廓线。它们最基本的差异是能量平衡高度 P_e 各不相同，天气的对流性越强， P_e 越高。

I、强对流型，本市出现强雹暴、龙卷或局地大暴雨，共10例， P_e 最高，约为280 mb。

II、中对流型，有中等雹暴或雷雨，4例， P_e 约370 mb。

III、弱对流型，有小雷雨或有雹不成灾，9例， P_e 约440 mb。

IV假对流型，对流层下层对流不稳定度很大，但对流层中部对流稳定性大（9例，平均的500 mb与700 mb T_t 之差 $T_t \frac{5}{7}$ 为 9°C ）， P_e 约520 mb，实际不出现对流天气。其出现的背景是，低层存在辐合区；中层有极干的暖舌，并常和高压或脊对应。

V、微雨型，10例， P_e 约在900 mb；VI、基本稳定且无雨型，7例， P_e 在820 mb。这两类有共同点：除了行星边界层外，整个对流层大气都处于对流稳定状态。不同者，有微雨时，800~600 mb接近中性，600~300 mb的对流稳定度也小些；无雨时，从800 mb往上，对流稳定度都比较大。

取 P_e 的临界值为480 mb，则

$$P_e \leq 480 \text{ mb} \quad \text{多雷暴天气}$$

1964—1975年6—8月此类约占总日数的60%；本市约85%的对流天气发生在这个临界值内；而且，这个临界值内出现坏天气（包括无雷但有降水）的概率接近76%。而 $P_e > 480 \text{ mb}$ ，出现坏天气的概率只有50%左右。

3、雹暴和雨暴 如果按(1)式，预报会出现对流天气，还要问：是以降雹为主（雹暴）还是以降雨为主（雨暴）呢？选择了1968

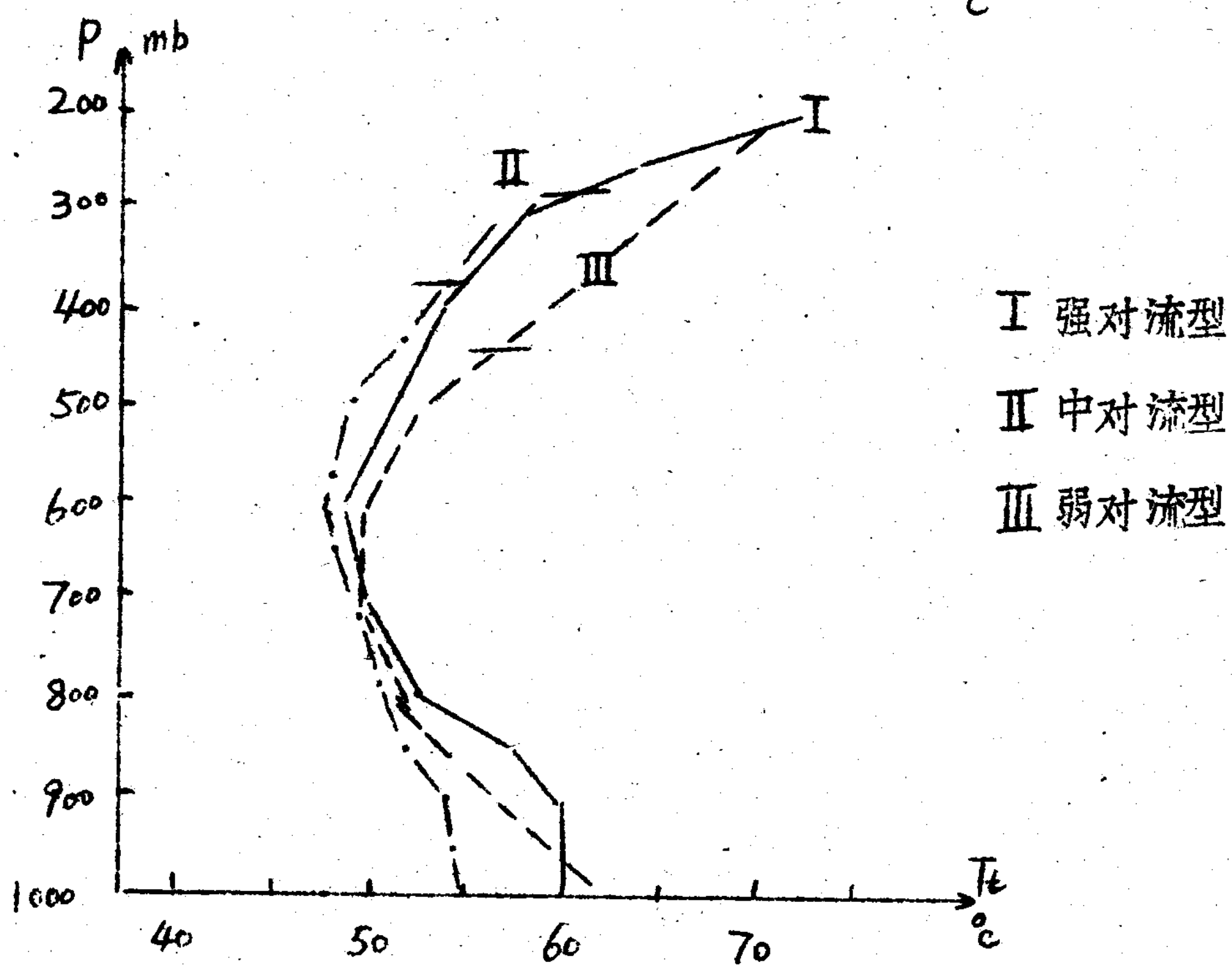
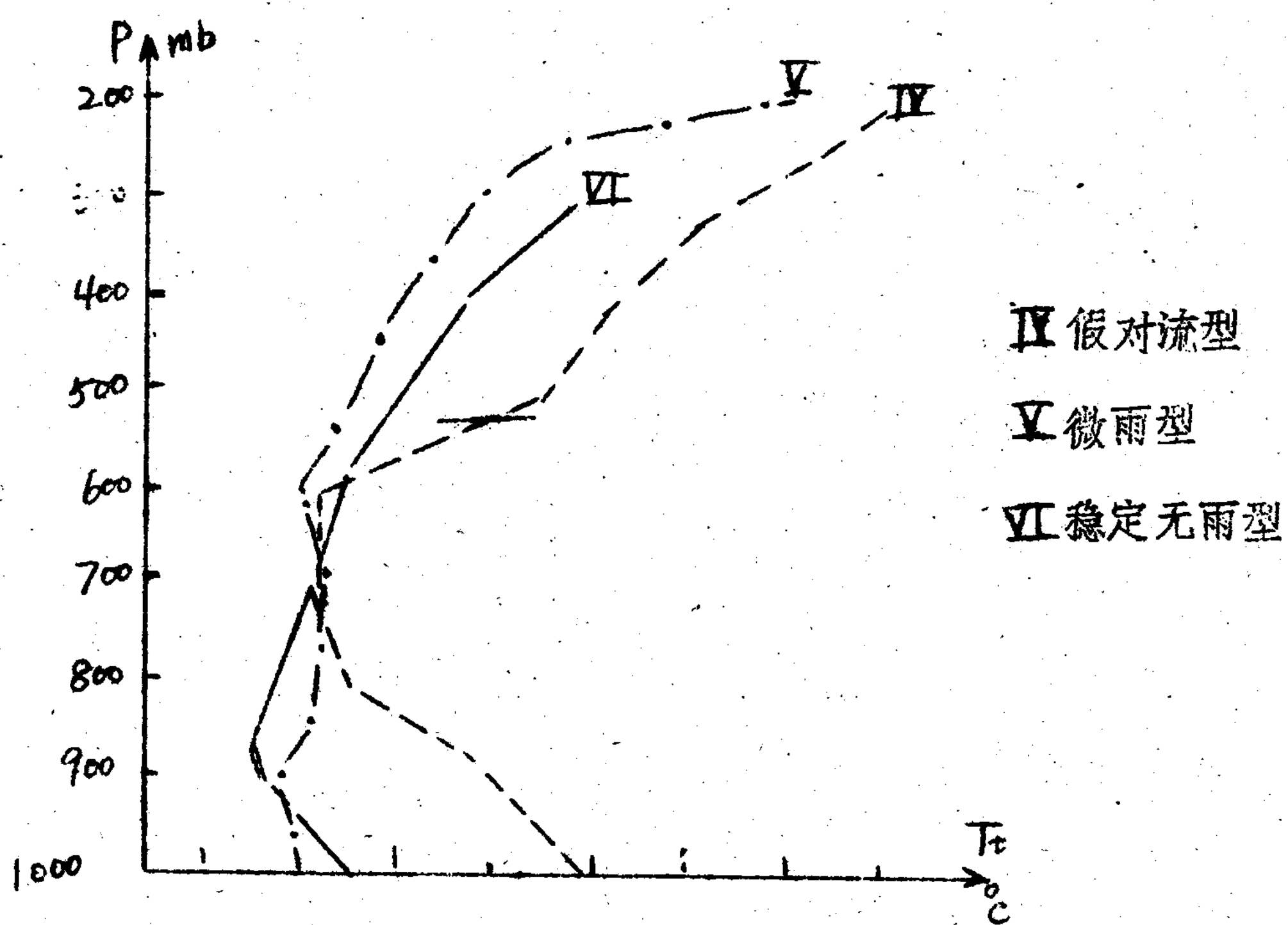


图2 2 1976年6—8月几类大气的平均总温度铅直廓线

至1975年6—8月的大暴雨（一般五站以上的日降水量都达50 mm以上，且至少一站达100 mm）、暴雨（五站以上日降水量达25 mm，且至少一站达50 mm）、大雨（类推）、普降中雨（六站以上日降水量达10 mm）、局部中雨和小雨各10日，又选了重雹灾（四个区县以上有雹灾，伴中雨）、中雹灾（二、三区县有雹灾，伴中雨）、轻雹灾（个别区县有雹灾，伴小雨）和雨雹（大——暴雨伴雹灾）各10例，做了平均总温度廓线（只在标准等压面取值），给如图2·3。

由图可见，雨暴的总能量比雹暴的显著偏大：各种雨暴的最小总温度 T_{tmin} （约在600 mb附近）都在54℃以上，对流层（地面到300 mb）平均总温度为60~64℃，而各种雹暴的 T_{tmin} 在52℃以下，平均总温度为51—57℃。

雹暴中，重灾、中灾和雨雹暴三者的廓线都位于轻雹灾和无雹少雨的弱对流型廓线（20例平均）之间，而不是其外。这说明，总能量太高和太低，都不利发生强雹暴。后面还可看到，雹暴的发生，在各方面都要求适中的条件。弱对流型的低层不稳定性很大，故 P_e 也很高；但中上层太稳定，如300与700 mb的总温度差 $T_{t\frac{3}{7}}$ 为13℃，比雹暴和雨暴的都大，故仍不利对流发展。

雨暴中，除局部中雨类总能量稍偏低外，其它几种雨暴的总能量都很接近。需要指出，由于我们只是按当日有无雷暴而定雨暴的，这样必然区分不开强对流性降雨和混合型降水，可能把仅在降水始、末闻雷的例子包括进来，有待今后改进。

· 4、两种稳定性降水 稳定性降水（不伴雷暴，或个别站在降水开始或快终了时有雷电）有两种不同类型：一类是起始稳定性降水，即前一日没有小雨及小雨以上降水；另一类是连阴雨，前一日有小雨

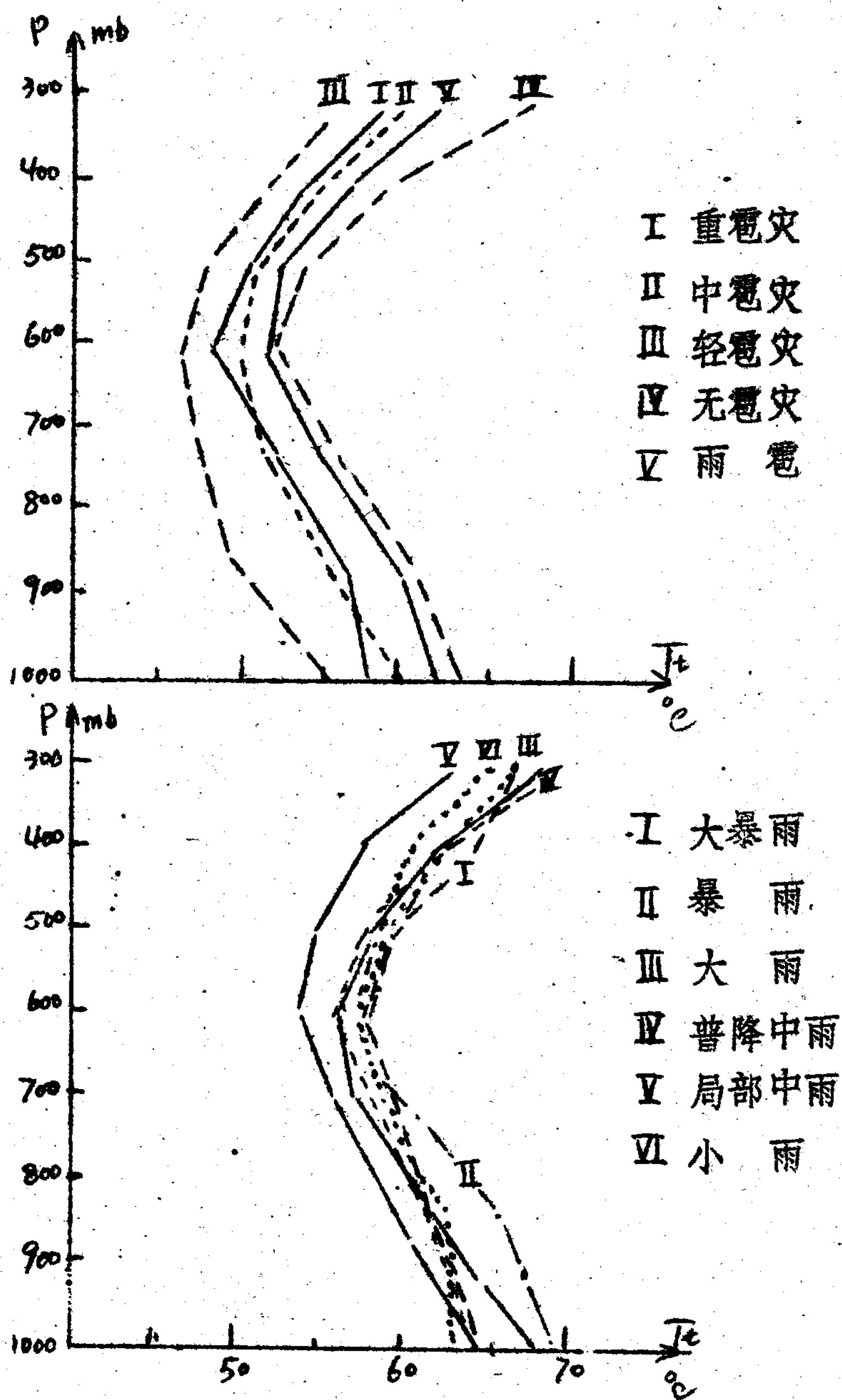


图 2.3 几种雹暴和雨暴的平均总温度廓线

或更大的降水。这两类又分别暴、大、中、小雨，各取10例，（起始稳定性暴雨和大雨各有7和5例），做了平均总温度廓线（图2·4）。

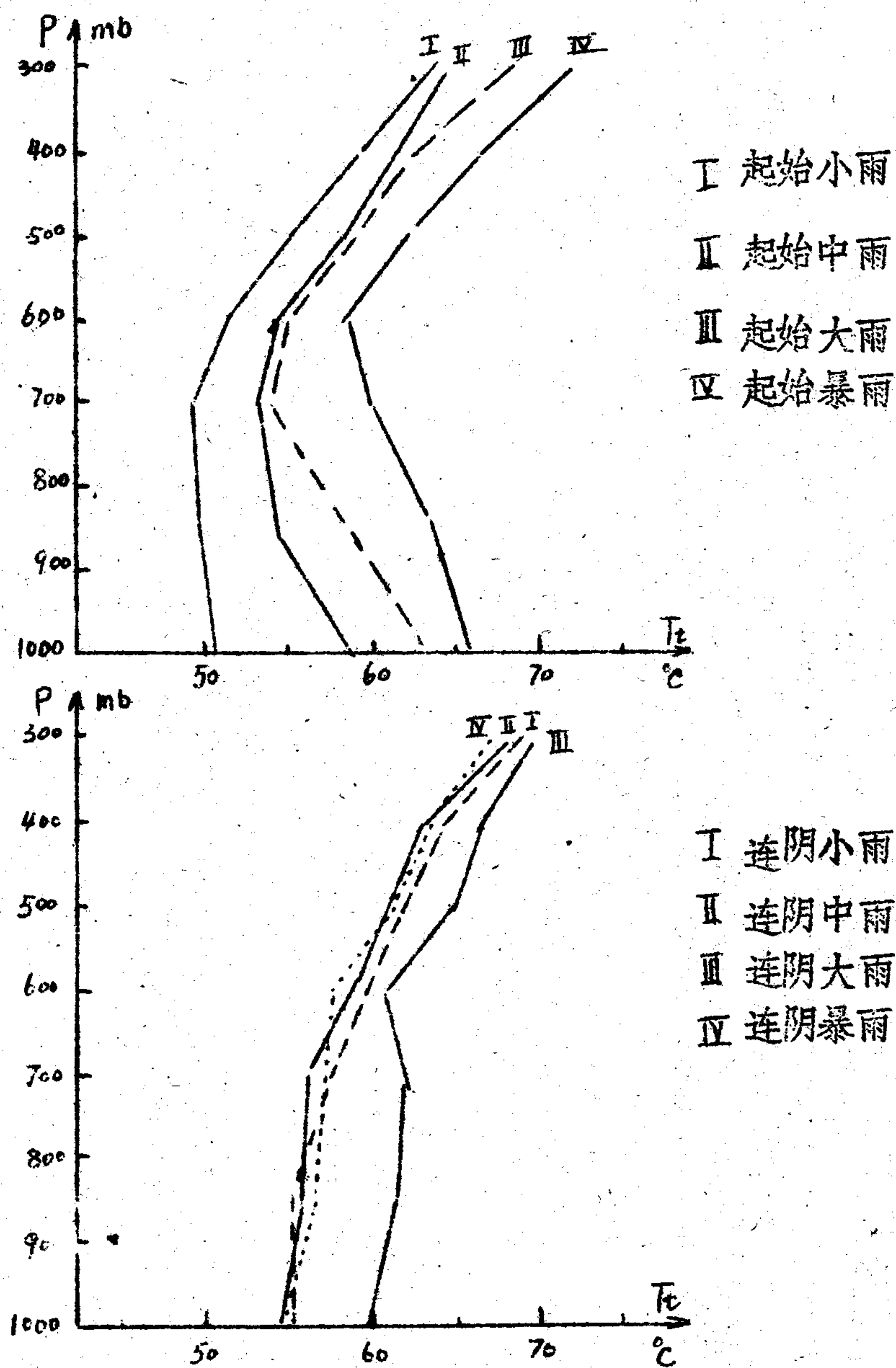


图 2.4 各种强度起始稳定性降水(上)和连阴雨(下)的平均总温度廓线

平均而言，起始稳定性降水之日早晨的对流层中下层仍然是对流性不稳定的；小雨时，对流不稳定性最小，中雨较大，大和暴雨最大；对流层的平均总能量，也以小、中、大暴雨的顺序增大。可是，连阴雨时从下向上，大气都是对流稳定的，其平均总能量也比同样强度的起始稳定性降水的要大。另外，起始稳定性降水日中上层对流稳定度（ T_t 斜率）不仅比雨暴日（图2·3）的大，而且比连阴雨日的也大，其300 mb和700 mb总温度之差 $T_t \frac{3}{7}$ 在10℃以上。

大概正由于起始稳定性降水日大气结构的两重性，中低层属对流不稳定性，而中上层对流稳定度又较大，故降水多带阵性，有时有雷电而又以稳定性连续降水为主。至于连阴雨，或由于连日降水，或由于正在降水，干冷空气已控制低空，自然不会再是对流不稳定性结构了。然而，连日雷雨，一般早、午晴朗，傍晚发生雷雨，则另当别论。

5、强迫性对流天气 分析历史资料还发现，也有少数对流性天气，其能量平衡高度低于临界值。它们有什么特点呢？选了这种雨暴（中大雨伴雷暴）和雹暴（中、小雨伴雹）各10例。发现它们07时的 T_{t8}^{s5} 都大于2℃，平均为7.0℃和8.7℃；可见当时没有潜在不稳定性，一般也不存在自由对流高度，故可称为强迫对流天气。

做了二者07时的平均总温度廓线，给如图2·5；图上还给了其它几支有关曲线，以做比较。由图可见，强迫性雹暴日，中低层大气仍是对流性不稳定的；强迫性雨暴日对流不稳定性很小，且总能量比前者大。二者的共同点是，比类似性质和强度的它种降水的能量偏低；另外，较高层的对流稳定度也有比它种降水偏小的趋势这都可能是发生对流天气的原因。

6、降水强度 又把前述的种种平均总温度廓线按降水强度分类绘制，给如图2·6。由图可见，当日降雨强度有随07时对流层

1—12