

全国气象学会交流材料

次天气尺度系统暴雨落区

陕西省气象学会

次天气尺度系统和暴雨落区

陕西省气象台研究室 马鹤年

由于暴雨天气过程带有明显的假绝热、非地转性质，干斜压大气的天气动力学对我国的暴雨过程并不完全适合。例如，根据干斜压不稳定性理论得到：在西风带常见的湿度层结情况下，最不稳定的波长 $L_m \sim 4000 \text{ km}$ 。根据湿斜压不稳定性研究，还有利暴雨的常见湿度、湿度层结情况下的湿斜压大气， L_m 往往 $\leq 1000 \text{ km}$ ⁽¹⁾。近年来，也有不少人在天气个例分析中发现，波长为几百公里的扰动对暴雨形成有特殊作用。这引起了不少预报员的兴趣。可惜，截止目前，这些分析大多是用非常规工具获得的，难应用于预报业务。如果能用常规天气报告资料分析出这类系统，期望通过大尺度个例分析，更深入地了解这类系统，并为预报提供直接的依据。

由于我国的测站网（特别是地面测站网）的密度较大，原则上应该可以由此分析出这种尺度为几百公里的系统。但是，由于这种系统在温、压场上往往反映不大明显，加之地面测站海拔相差悬殊，常规地面各分析方法未能充分、合理地综合利用这些较稠密的天气报告资料，有效地分析出这类系统。本文试用地面气象站网为主要分析常规地面天气资料，揭示出这类系统，并研究这类系统的一般特征，着重讨论了它们和暴雨的关系。

目前国内关于天气系统的划分还不统一，我们采用下述标准：水平特性尺度以平均天气尺度为基准，统称天气各尺度（

或叫大尺度)，而其中尺度为几百公里的系统有必要单独划为一个付类，叫做“次天气尺度系统”，其理由是：(1)这种尺度的系统和灾害性天气的落区有明显关系。单独划出来，以引起注意和便于作专门研究；(2)只要合理地综合分析现有地面站网的天气报告资料，可以分析出这类系统。从这个意义上讲，它仍属天气尺度，但却是其中较小的一类，故冠以“次”字，以示差别。

一、主要分析工具——地面能量比

(一)、定义“邻近地面等压面”上单位质量空气的相对湿静力能差和位势能之比为“地面能量比”。

所谓“邻近地面等压面”(P_1)，指的是所分析的地区各地面测站最邻近的一个等压面(或叫“平均等压面”)

$P = \frac{1}{n} \sum p_i$ 。 P_i 为发海平面气压报的各站夏季平均本站气压，对于我们高原东北侧暴雨落区的分析范围($27.5^\circ\text{N} - 42.5^\circ\text{N}$, $104 - 117^\circ\text{E}$)， $P_1 \approx 950\text{mb}$ 。 P_1 等压面上单位质量空气的湿静力能差由各站地面湿静力能差代替(即，忽略因为 $\frac{2T_0}{2\bar{\theta}} \approx 0$ 造成的差异)，湿静力能差仍用总湿度来表征⁽²⁾。所谓“相对湿静力能差”是指以 $^\circ\text{C}$ 为单位的地面相对总湿度 $T_0 - G (^\circ\text{C})$ 来表征的湿静力能差。

$$T_0 - G (^\circ\text{C}) = T_G (^\circ\text{C}) + 2.5 \bar{\theta}_G (\text{g/kg}) + 10 \bar{\theta}_G (\text{km})$$

此处 T_G 、 $\bar{\theta}_G$ 、 $\bar{\theta}_G$ 分别为地面测站的气温、比湿、海拔高度。

P_1 等压面上单位质量空气的位势能可以用海平面气压 P_0 近似地表示：

$$\bar{\theta} P_1 = (P_0 - P_1) / \bar{\theta}$$

此处 $\bar{P}$ 为 $P_B - P$ 间的平均密度。于是地气能差比：

$$K'EG = \bar{P} \cdot C_p \cdot T_{0G} / A (P_0 - 950)$$

注意到此式中 T_{0G} 为以 $^{\circ}C$ 为单位的相对总温度值，可以证明， $\bar{P}$ 的变化对 $K'EG$ 的分布影响很小， $K'EG$ 的分布和 $T_{0G}/(P_0 - 950)$ 的分布近似。在只侧重比较分布的情况下，可以用后者分布来表征前者的分布。为了简便，在天气分析时仍把 $T_{0G}/(P_0 - 950)$ 简称为“地气能差比”，以 KEG 表示：

$$KEG = T_{0G} / (P_0 - 950)$$

实际上， $KEG \times \bar{P} \cdot C_p / A$ 才是无差别地气能差比。实际求算时，只查两次表（表略）

(一) 能差比在次天气尺度系统分析中的功用

(a) 真确地显示不同层小股空气的分布状态。

$$\nabla KEG = (\nabla T_{0G} - KEG \cdot \nabla P_0) / (P_0 - 950)$$

即， KEG 量上等值线明显密集的地带（或则叫能差比场上的“锋”）相当于在 T_{0G} 场上的“能差锋”分析中再加权地加入了两侧气压差异的因素。因此，当高温、高湿空气同时又配合有低气压时，它和低湿、低湿、高压空气之间的差异在 KEG 量上比 T_{0G} 量上更明显。连续分析 KEG 量上“锋带”的动态，可以看到低层小股空气的移动情况。

(b) 显示有一定动力抬升条件配合的位势不稳定区。

$$\nabla^2 KEG = (\nabla^2 T_{0G} - KEG \cdot \nabla^2 P_0 - 2\nabla P_0 \cdot \nabla KEG) / (P_0 - 950)$$

在高、低能比中心附近， $\nabla KEG \approx 0$ ，于是：

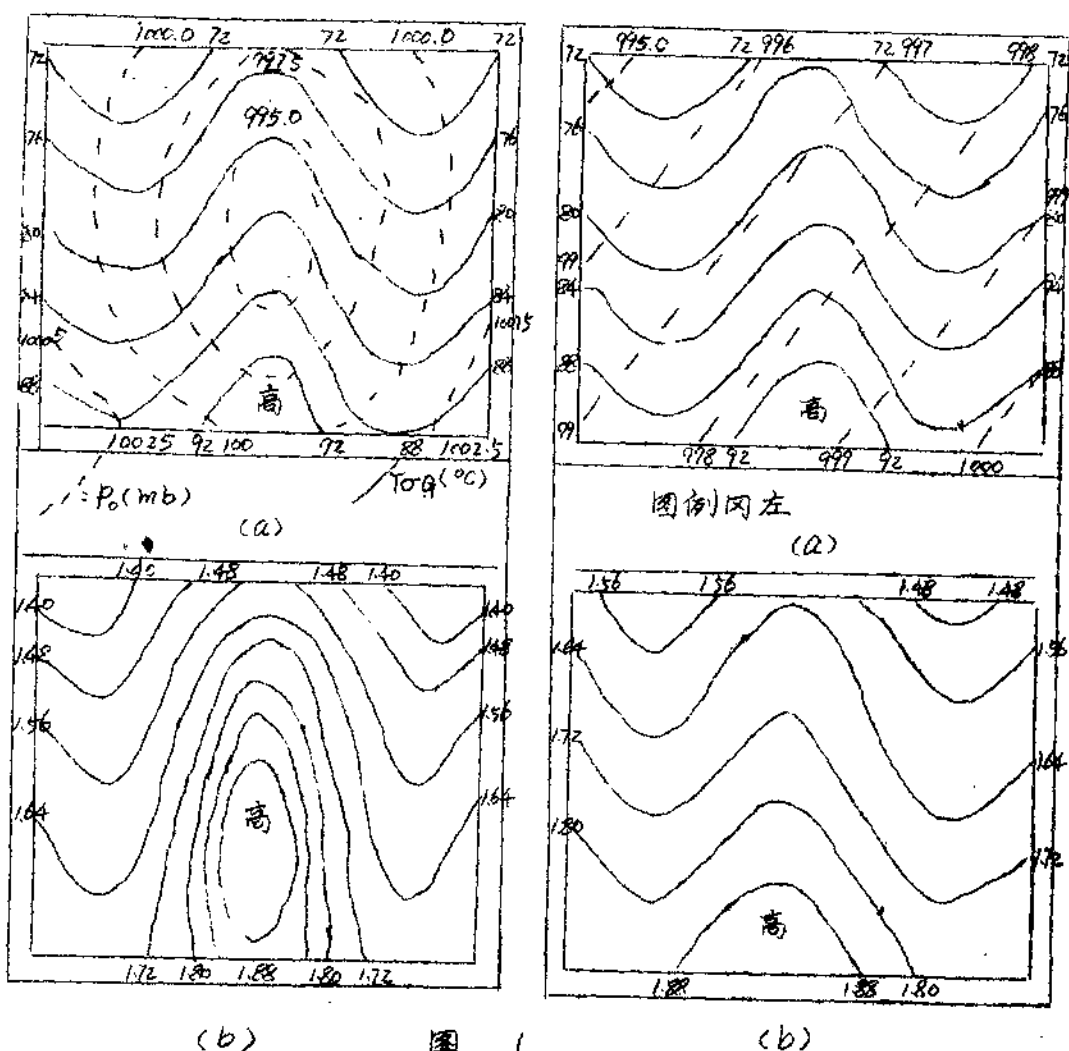
$$\nabla^2 KEG \approx (\nabla^2 T_{0G} - KEG \cdot \nabla^2 P_0) / (P_0 - 950)$$

即 KEG 量上的高（低）能比中心对应 T_{0G} 和 P_0 的拉氏分布的加权线性组合的正（负）区。在一些简化假定下，可以证明由

于边界层的摩擦作用，摩擦层顶的上升速度和摩擦层内地转涡度 ζ_g 成正比。在忽略柯氏参数和密度的变化时，

$$\zeta_g \propto \nabla^2 p_0$$

所以 $KeG \cdot \nabla^2 p_0$ 反映了摩擦层的辐合抬升条件。这种以 KeG 为加权係数的线性组合场，可以定性地反映前低层动力抬升条件和高能区的配置情况。有辐合带配合的高能区在 KeG 场上表现为两侧有大梯度的高能比中心。



KEG 盘和 To-G 盘的差异，还可以由盘 1 来说明：盘 1 (a) 左盘和右盘具有相同的 To-G 分布，但气压场不同。左盘例子中的高能轴和一个低压相配合，右盘是一个均匀的气压场。假如高空条件都一样，显然左盘是更有利于出现区域性暴雨的危险情形。这个结论可以用 KEG 盘较客观地表示出来：盘 1 中 (b) 盘是相应的 KEG 盘。配合有低压的显示出明显的大梯度。To-G 盘反映的是近地低层的湿热力条件，To-G 盘上大梯度的高能区往往是位势不稳定区。KEG 盘在这个基础上又加入了气压场对暴雨的作用因素，大梯度的高能比区往往是配合有一定动力抬升条件的位势不稳定区。

一些实例对比分析表明，能量比场上大梯度的高能比区对应的是一股暖湿的不稳定上升气流，低能比区对应的是一股干冷下沉气流。

二、大暴雨区附近的次天气尺度系统在能量比盘上的反映

用 KEG 盘为主要工具，分析了一批不同天气尺度背景下的暴雨例子，发现在这些大暴雨区附近，存在一种在 KEG 场上表现形式很类似的次天气尺度系统。现举例说明如下：

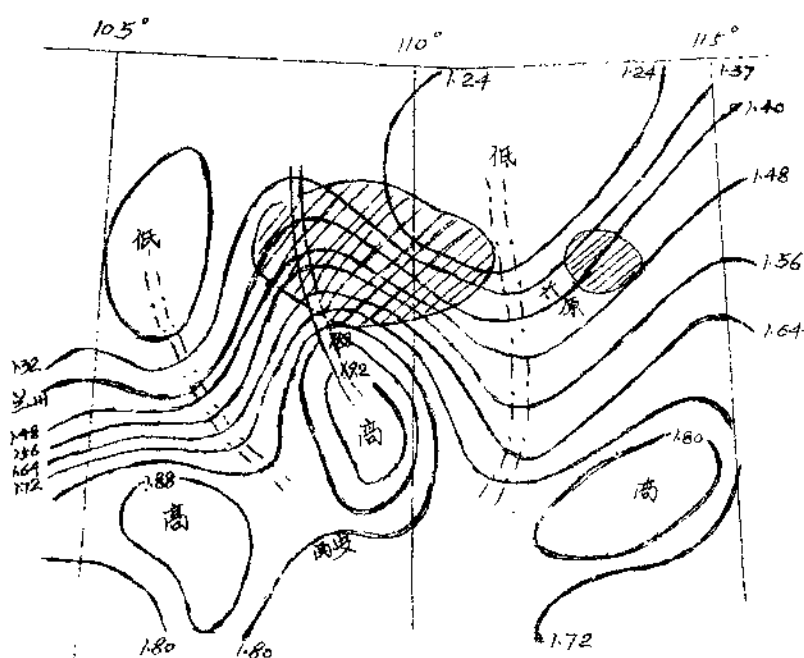
工锋上的几系统：

在一些常规天气盘上分析得很平滑的锋区系统中，实际不同属性空气的分布往往很不平衡，存在小股不同属性空气的相互交错活动。它们在 KEG 盘上表现为次天气尺度的几形分布：两边两低能比轴指向中间高能比轴，反映两小股干冷空气夹挤中间暖湿空气。每一个几，象一个“小锢囚锋”，（以下简称为“几系统”）。它们是锋区附近一种以较大范围雷暴为特征的小扰动。暴雨区位于几系统高能比轴附近。

(一) 逆几锢囚锋上的几系统

A，逆几锢囚锋上只有一个几系统的例子

64年7月4日——5日从河面有一小股冷空气向陕北移来。同时，从内蒙又有一小股冷空气向南压，它们在陕北形成逆时针锋（参略），它在KEG场上表现为一个次天气尺度几形分布（参2a），高能比轴两侧KEG梯度很大。它是由位于陕北的高湿、高湿、低压空气以及分别位于山西北部和平原的干冷空气所组成。（这三股不同属性空气堆的水平尺度均不过几百公里）。两侧干冷空气有向中间暖湿空气推进之势，致使等KEG线呈几形，雷暴大暴雨就出现在高



参2a 64年7月5日20时KEG

///: 高能比轴 - - - : 低能比轴 (下同)

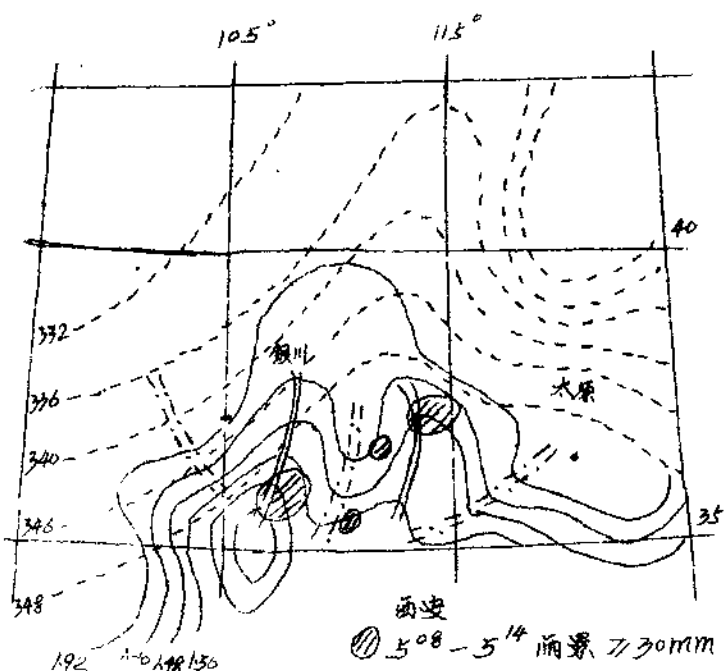


图 2b 77年7月5日08时KEG 虚线为850mb qze

能比轴附近(图 2a 中阴影区)。在这个例子中, KEG 场中反映的所谓几系统, 实际就是两股次天气尺度干冷空气相向而行形成的“小锢囚锋”系统, 这两股干冷空气虽属次天气尺度, 仍有相当强度, 在气压场上表现明显, 常规天气图可以分析出来。

1. 锢囚锋上有多几个系统的例子

77年7月5日08时陕北、陇东一带有一个天气尺度锢囚锋(图 2b 中虚线)。锋系附近有一条长弧形雨带, 雨带里部分地方为雷阵雨, 内有几个大暴雨中心(图中阴影区)。分析6小时一次的KEG图发现, 在这个锢囚锋附近, 也存在类似上例的几系统。暴雨中心都出现在几的高磁比轴附近, 这里是中尺度雨团活跃的地方, 一些主要的雨团都出现在这一带⁽⁴⁾。值得注意

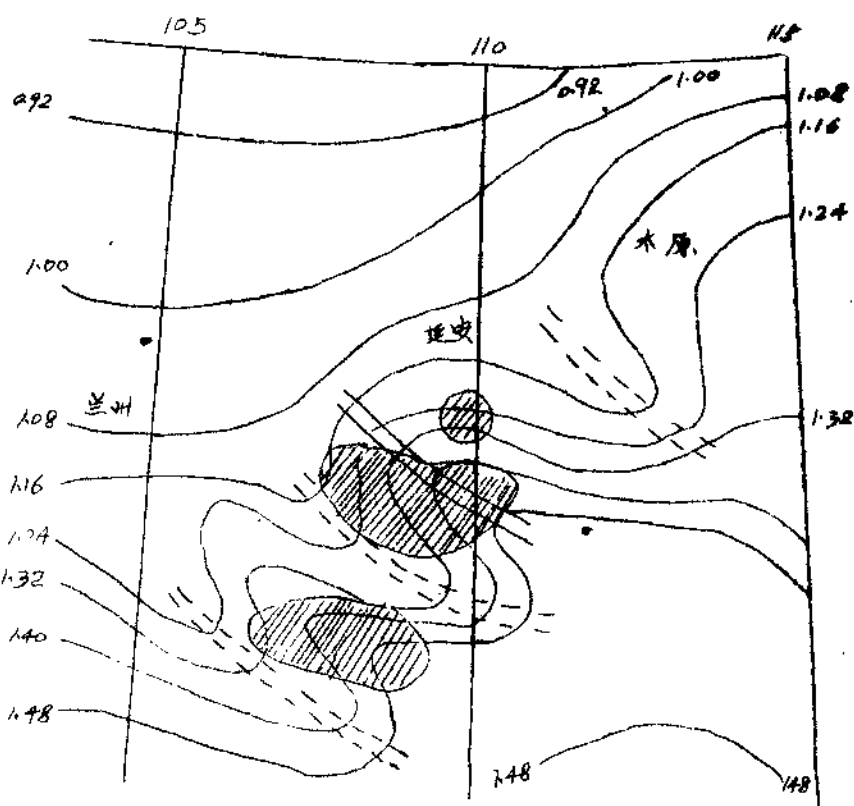


图3 75年7月8日02时KEG

● 8⁰⁸-9⁰⁸暴雨区

的是，这个锢囚锋附近有2个几系统在活动（他们的生命史约30小时左右），它们是锢囚锋附近几股不同属性空气相互交锋的反映，其表现形式象“小锢囚锋”。它们的水平尺度显然小于作为它们活动背景的天气尺度锢囚锋。由于尺度较小，在气压场上表现又不大明显，在常见天气图上分析不清。

(二) 冷锋上的几系统

75年7月8日有一条冷锋从河面东南下扫过我省，这冷锋在KEG图上也明显表现为一个大梯度（图3）。但是，从KEG图可见，这个大梯度带上，不同属性空气的交界面并不象常规天气图所勾划的那样平滑，大梯度带上有三个几系统，反映出当

时不同属性空气交锋的三个集中区。从它们的演变过程，
可以看到在地形影响下小股不同属性空气堆的移动情况（参略）。

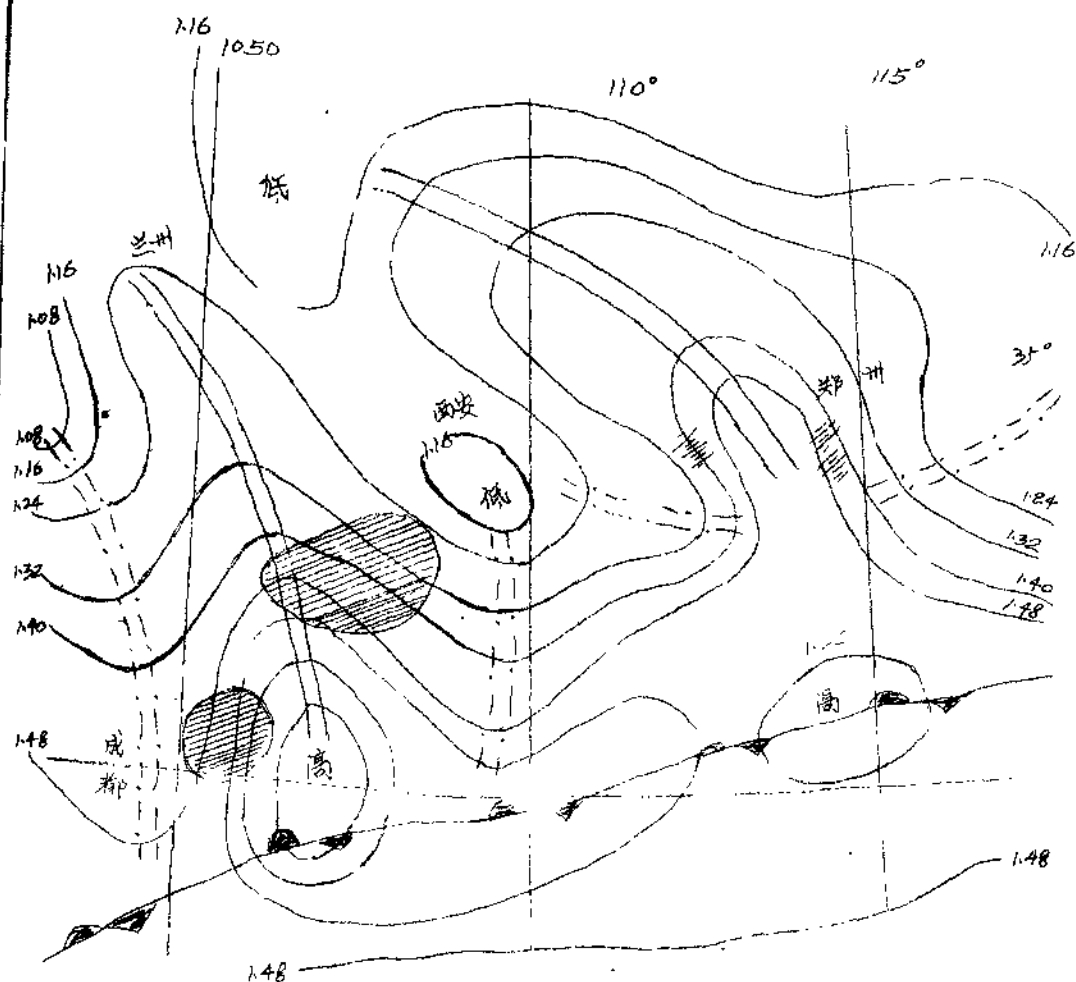


图4. 65年7月12日08时KE4 ② 12⁰⁸-13⁰⁸暴雨区

由此可见，锋区附近的降水分布，特别是暴雨区，是和几系统高能比轴紧密联系的。

(三) 静止锋上的几系统

65年7月12日，陕南西部和川北出现大暴雨，中心强度为

345.6 mm/24h。与此同时，河南也有暴雨。从常规天气图上可以看出，这是一次静止锋上的暴雨（参略），分析静止锋附近的能量场，发现这个从天气尺度看来冷暖空气双方基本势均力敌、准静止的锋区，实际上仍存在局部的不平衡。有些地方冷空气向南压得明显，有些地方暖空气北进，其中至少存在两个次天气尺度的几形分布（参4）。它们是静止锋上出现的扰动在KEG场上的反映。几两侧的最低比轴也有指向高比轴的趋势。这个特点，和前面几例中的几系统类似，象“小锢囚锋”。

II 暖区中的几系统

60年7月4日晚上关中耶田镇一带出现特大暴雨（12小时雨量298.0 mm），最大雨强出现在后半夜。暴雨发生在冷锋前低压暖区里。由5日02时KEG图（参5）可见，冷锋所对应的等KEG线密集区当时还在兰州一带，但耶田已出现该暴雨时段的最大雨强。这时在暴雨区附近存在一个次天气尺度的几系统，它并不是冷锋上的扰动。在1小时一次的KEG图上可以看到，这个系统是4~02时到08时 ~~发生~~发生发展起来的，与此同时，在低层发生发展了一个小低压（参略）。

*

*

*

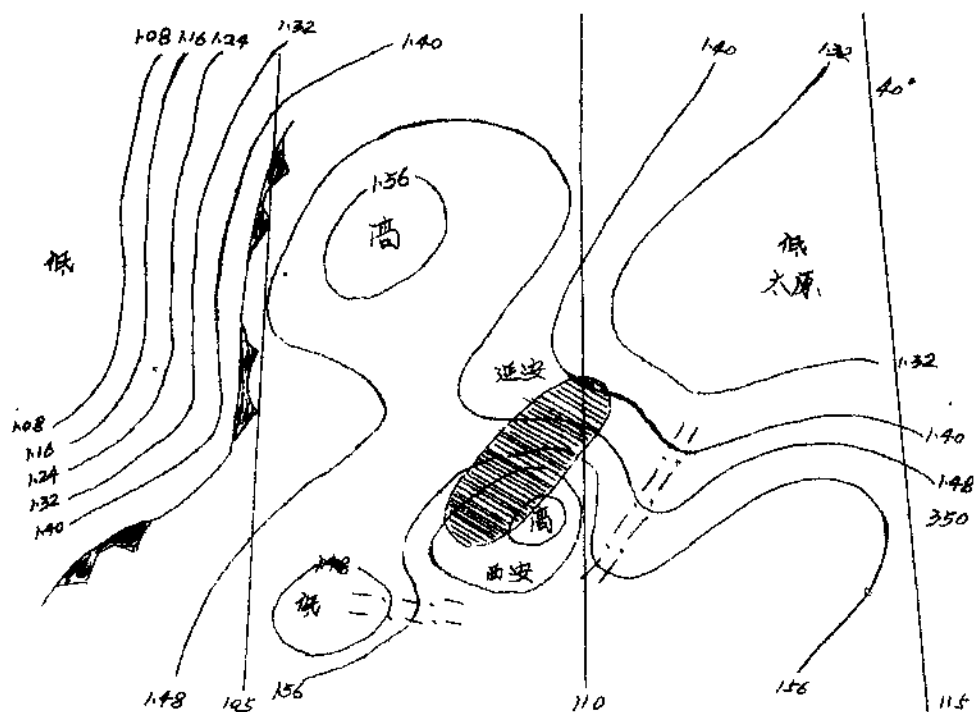


图5 60年7月5日02时KEG

②: 4⁰⁸-5⁰⁸暴雨区

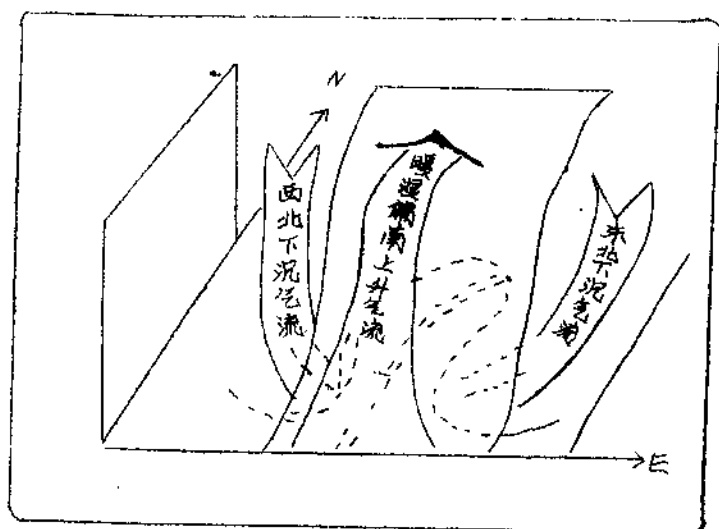


图6 几系统气流模式示意图

通过对一批不同天气尺度背景下大暴雨区附近几系统的分析，得到如下的初步认识：几分布反映了低层三股冷空气尺度的空气的相互作用，两边两股干冷空气挤向中间暖湿空气（参6），这种情形类似于天气尺度的锢囚锋，从这意义上讲，几系统“象小锢囚锋”，但它又比一般天气尺度锢囚锋的尺度小，是目前我国常规天气站网所能分析出来的最小一类系统。它在温、压场上往往反映不很明显，常规工具不易发现它，在综合要素场KEG上比较明显。几高能比轴附近性：是配合有辐合的位置不稳定的区。几系统中既有大尺度的上升运动，又有强烈的对流运动，是西风带中大尺度和中尺度发展明显相互作用的一类系统。几形高能比轴附近是天气尺度雨区中一块最可能出现暴雨的地区——暴雨落区。

三、几系统和暴雨落区的统计关系

我们用63—65、72—75年7月资料，对几系统和暴雨落区关系作了检查性的统计分析。

考虑到暴雨的发生必需有一定的大尺度条件。参照一般预报落区的方法，我们首先统计了前一天20时—高空条件和当日08时—次日08时暴雨落区的关系，从中选出关系较明显的组成综合条件，这些条件是：

1. 前三天到前一天之间出现高原正槽指数⁽⁵⁾ ≥ 0.70 ，并维持在0.32以上（即高原正槽盛期）。

2. 前一天20点 125°E 以西、 25°N 以北有带西南风的588线。在这588线的西北侧，850 mb东北—西南向切变两侧5个纬距内， $T_d \geq 16^{\circ}\text{C}$ 的地区。（即“湿切变区”）。

3. 湿切变区内850 mb 高能比轴上有如参7型式的分布。

统计说明可以把参7中阴影区作为暴雨并成区：在上述7年资料中共有73个高原正槽盛期的湿切变区，其中30个则没有

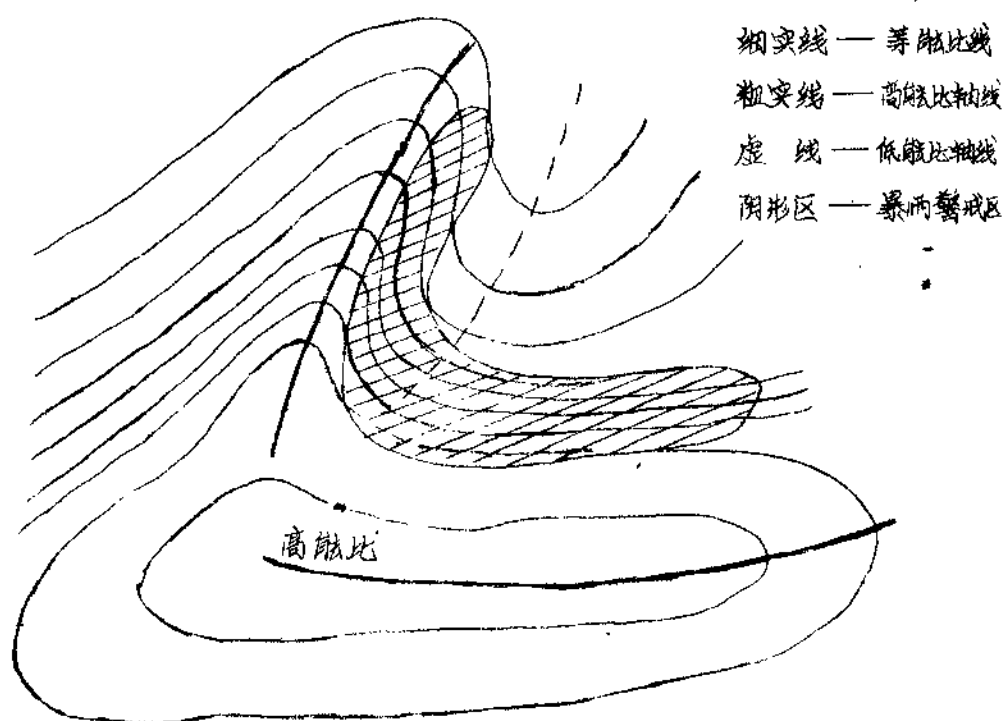
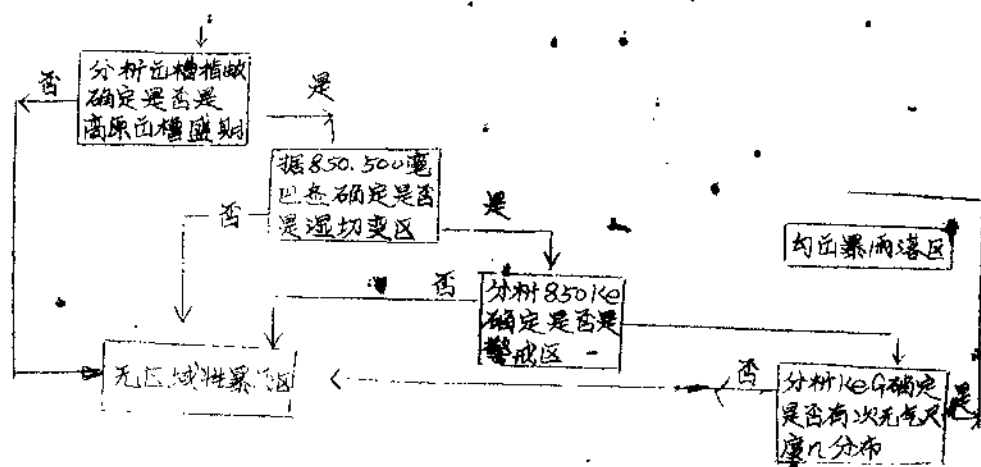


图7 20点 KEG50暴雨警戒区示意图

如图7型式的警戒区，29/30没有区域性暴雨。43天有警戒区，40/43警戒区内有暴雨，其中34/43 (76%) 有区域性暴雨。警戒区中的区域性暴雨概括了这7年出槽盛期高原东北侧区域性暴雨的91%。但是，警戒区面积仍比实际暴雨面积大得多（平均为14倍）。可见，如果仅用警戒区来作为暴雨潜区，预报精度仍很差。

为了进一步提高潜区精度，分析了警戒区附近当日02时 KEG站，结果共发现47个几系统，41/47 (0.87) 几系统高比轴附近当日08时——次日08时有区域性暴雨，警戒区中没有几系统的则均没有区域性暴雨。如果把由几系统的位置勾画的暴雨潜区作为预报潜区，实际暴雨区面积平均为预报区的1/7。

由此我们认为，可以借助KEG场分析几系统，提高暴雨潜区预报精度，并据此设计了相应的预报程序，（如下图），77年7月在省台预报业务上试用验证。期间根据井城区中的几系统位置共预报过5个暴雨潜区。实况：有两次预报区内出现了区域性的大暴雨，其他三次在预报区内也都有暴雨。预报没有区域性暴雨26次，25/26正确。



高原东北侧暴雨潜区预报程序图

四、结语

本文只用常规资料对一种有关暴雨潜区的次天气尺度系统做了初步的天气学和统计学分析。由于分析的个例还不很多，且多为初生暴雨类型的，由此概括出的关于几系统的认识可能是片面的，有待进一步研究。

本文主要结论是：在有利于出现暴雨的高空条件下，低层大气中往往发生一种和暴雨落区紧密相关的次天气尺度系统，这种系统在常规天气图上往往反映不明显。但是，用常规天气报告资料分析地面能量收支，可以分析出该系统，为暴雨落区预报提供新的依据。

参 考 文 献

(1) 谢义炳：“湿斜压大气的天气动力学”78年大连暴雨学术讨论会论文

(2) 雷雨顺等：“能量天气学研究”

(3) 霍尔顿编著：“动力气象学引论”第6章

(4) “777”会战组：“777”延河特大暴雨的次天气尺度系统分析”
陕西气象 78.5.

(5) 陕西省气象台：“高原面槽的预报问题”