

能量天气分析方法在我国的发展

雷雨顺 吴正华

1980年11月21—27日,中央气象局气象科学研究所湖北省武汉市召开了第二次能量天气分析学术讨论会。这次会议就能量天气分析的几个重要问题,如湿空气动力学、大气静力不稳定性分析、能量物理量分析方法、能量天气系统以及能量天气学在暴雨、冰雹和台风路径预报中的应用,进行了交流和讨论。

会议上交流的材料以及各地有关能量分析的研究报告和技术总结表明,六年来特别是1977年11月在湖南湘潭召开第一次能量分析座谈会以来,这个方法在全国二十九个省、市自治区都进行了试用和应用,有关的分析研究工作在深度和广度上也有了一定的发展。本文简述能量天气分析方法在我国的发展,并特别给出了有关文献,以供读者查阅参考。

一、发展概况

谢义炳在第一次能量天气分析会议总结中指出〔1〕,作为一种天气分析和预报方法,它是在我国由中央气象局气象科学研究所首先研究并推广的。叶笃正、陶诗言、曾庆存等在总结我国气象科学三十年进展时都指出〔2—4〕,我国用能量方法在暴雨和强对流天气的分析和预报中揭示出许多重要现象,得到广泛的应用和发展,取得了一些可喜的成果。

1974—1975年,当时的气象科学研究所的几位研究人员为了考察雹暴天气发生发展的大尺度条件,在前人工作的基础上提出与总比能相当的总温度概念,并用它进行天气学分析,初步得到了一些很有意思的结果〔5—7〕。这些结果很快受到国内许多天气学工作者的注意,并立即在著名的“75.8”特大暴雨的会战中得到了较满意的应用〔8〕,接着又应用到许多中小尺度试验、冰雹预报和暴雨研究中〔9—18〕。后来,在一些灾害性天气分析会战中,能量分析一般都是必须分析的项目〔19—30〕。

这几年,一些气象台本身或由当地气象研究所协助,在夏季短期天气预报业务中增加了能量分析图表,对强对流天气的预报起了一定作用。湖北省气象科学研究所从1975年开始〔16〕,坚持不懈地做了大量工作,并推动了全省各地区气象台的有关研究工作〔16、31〕;陕西、河南、江苏、甘肃、山西等省也都做了很多工作。气象科学研究院搞这项工作的人员,在各方面支持下连续五年夏季在中央气象台、北京市气象台和水

利部中央防汛办公室联合分析中心对这个方法实时试用〔5、32—33〕,并得到北京大学等单位的协同〔34、35〕。

有关大学还在一些班次和短训班中增加了能量天气分析内容,相当一部分省市还专门举办了这方面的学术报告。相应地也编写了能量天气学的若干基本材料〔36—39〕和常用查算表〔41—42〕,一些气象刊物还刊登了能量分析综合材料〔42—44〕。这样,各省都有一批人逐渐能程度不同地使用能量天气学分析和预报强对流天气。

在湖南湘潭召开的第一次能量分析学术会议,既肯定了这项研究的实用价值,又从湿斜压天气动力学的高度提出了问题〔1〕,促进了以后的许多研究工作。会后在学术刊物上除刊登了一些直接关于能量分析的论文〔45—48〕外,还发表了从湿斜压角度进行研究的论文〔49—51〕,近来有一些工作还试图把能量物理量和动力物理量联系起来〔55—59〕。

二、基本概念的建立

现在所说的能量天气学,本来是内含在已经发展了几十年的天气动力学中的。但是,它和常规天气学中单项地分析压、温、湿、风场确实有许多不同。它既关心分别代表位能、显热能、潜热能和动能的温压湿风场,但更关心综合了压温湿风的总比能场。它着重研究大气中的总能量尤其是不稳定能量的变化,对造成各种灾害性强天气又特别关心水相变化造成的能量变化,这就是能量天气学的基本出发点。

已取得的最主要研究结果,就是根据这个出发点建立了用天气学方法实现这个观点所需要的一整套物理量、分析原理和专用图表,使用它们又很容易地发现了以往并不熟悉的独特天气系统并建立了若干新概念〔5、32、38、45、47、48〕。

1. 基本物理量 根据总比能守恒方程提出了干静力总温度 T_0 、湿静力总温度 $T\sigma$ 和饱和湿静力总温度 $T\sigma^*$ 等常用能量温度,其中 $T\sigma$ 还可以表示气块的能级。 T_0 、 $T\sigma$ 与位温 θ 、相当位温 θ_e (即 θ_e)守恒条件类似、数值也接近,并有相辅相成的用法〔60〕;但前者能量意义明显且便于计算,故使用得越来越多,它在地面中小尺度分析中更方便〔8—31, 61—69〕。

根据能量的准守恒性,用气块法推出了各种铅直

稳定度判据,还强调在日常判别湿空气的层结稳定度时以用潜在稳定度最好〔45〕。

2. 分析图表 使用能量物理量的图表目前有单站能量廓线、时间或空间能量剖面、地面和等压面能量图以及等能面相对气流图。最值得注意的是一站能量廓线,简单的三条线就可以较全面、直观地给出局地大气柱的能级、潜热能以及各种静力稳定度,并能预兆强天气的发生〔69—71〕。

还提出了等能面相对气流分析,并得到了广泛的应用〔5、30、72〕。最近又进一步指出〔73〕,以等熵面相对气流分析为基础,与等能和等位涡度分析结合,并适当考虑长波辐射订正,才能较可靠地分析三维气流、追踪气块轨迹。

3. 能量系统

(1) 能量锋 这个概念提出〔5、45〕后受到了普遍的重视〔1—3〕和应用〔74—82〕。这个概念之所以重要,是由于几乎所有的强烈天气都和它有关,降水强度、性质和落区也与能量锋的强度、坡度和能级有关〔53、75、84—86〕因此人们也很有兴趣分析能量锋的结构,探讨能量锋锋生及锋上发生扰动的原因〔57、65、75、84—86〕。

能量锋概念似乎比经典锋含义全面,在实用中容易客观定量。夏半年,能量锋清楚地标志热带、副热带暖湿空气和极地干冷气团之间的交错。一次天气过程有无锋面以及锋面位置定在哪里合适,过去常会引起争论,但用能量分析方法就清楚得多〔24〕。即使在东风带里,局地风暴的发生也是和先期出现的强中尺度能量锋相联系〔86〕。

(2) 锢囚高能舌 用平面能量图发现,几乎一切强对流天气都对对流层低层大气中事先出现的 Ω 型锢囚高能舌相联系〔32、45、87—92〕;即使是雹暴这种干风暴, Ω 系统也很明显〔30〕;但雹暴和暴雨的 Ω 系统三维结构是不同的〔90〕。 Ω 系统虽然是热力学物理量的表现,但有重要的动力学意义〔88〕,它实际上是三股不同属性气流在低层交绥的结果,也是气旋或气旋波之类扰动将发生的讯号。

(3) 等能管 在时间或空间的能量铅直剖面图上,大暴雨过程的等 T_{σ} (或 θ_e)线常呈漏斗状下凹、上凸或贯通整个对流层〔16、52、84、93—96〕。对7503号登陆台风做等熵面气流分析发现〔97〕,上述现象表示在大暴雨区存在一个铅直贯通对流层的单叶双曲面式连通等能管,来自热带副热带的高能湿空气通过其管壁螺旋式上升,在绝热冷却过程中把潜热能转换为位能,再在高空输送到环境大气中去。因此它在大气环流能量平衡中起着重要作用。

(4) 其它 能量分析还可以使我们对过去熟悉

的天气系统从结构、性质、强度、演变以及和天气现象之间的关系等方面得到许多新认识〔5、16、36、38、98—106〕。还有人用近几年资料发现,副热带能量锋北移后1—3天,副高北跳〔106〕;这可能为掌握副高短期变化提供了一种新线索。

4. 天气预兆 用能量分析方法还揭示了预兆强天气即将发生的一些重要征兆。前述的能量锋、 Ω 系统在强天气发生前12—24小时已明显可辨,它们愈显著,未来天气也愈强烈。而能量激增,则是预报强天气的一个警告讯号〔32、45、56、107—111〕。能量激增与水汽的水平平流有密切关系,还和行星边界层顶以上的干暖盖及先兆过程有关〔5、45、112—115、124、132〕。这样,就可以从能量积聚过程来认识强天气的发生规律和做预报。掌握了这个规律还可充分利用站网稠密、测次频繁的地面资料,及时具体地预报强天气。

这些现象可以根据大气适应理论去进一步研究。按照适应理论〔116—117〕,低空浅薄系统的成因是热力性质的且大气运动具有多时间尺度,而强对流天气的发生过程正是大气低层有效能量缓慢变化 \rightarrow 激增 \rightarrow 突然释放同时产生强天气并形成低压或波动 \rightarrow 再较快地恢复到缓慢的平衡过程。在这个慢 \rightarrow 快 \rightarrow 突变 \rightarrow 慢的整个过程中,行星边界层顶及与其联系的低空急流变化似乎起关键作用〔118—120〕。

三、在强天气分析和预报中的应用

以上所述的基本概念、方法和工具,已被用于暴雨、强对流天气、台风和寒潮等强天气的分析和预报中。有关材料很多,参考文献中只给出了其中一部分。

1. 暴雨 用能量分析使我们对暴雨的发生条件有了进一步认识〔8—14、16、19—28、81—96、121—146〕,发现大暴雨常发生在高能级、准饱和的深厚湿层内,潜在不稳定层深厚但干静力稳定度反而大、湿理查数 R_1 小;还必须有低层辐合、中层短波槽之类启动系统,以释放不稳定能量;对大范围暴雨或持续性暴雨还必须有特定的或稳定的环流形势,以使上述条件维持。

根据这些条件注意抓具有先兆特征的能量因子,并和常规天气图方法结合,一些气象台找到了行之有效的预报指标,并在实际预报中起到了一定作用〔31、144—147〕。用这种方法做大范围的或地区范围的暴雨落区预报,也有一定效果〔33、148—153〕。

还有人计算压能场用于暴雨的分析或预报〔154—156〕。这种方法突出了低空急流在大暴雨形成中的作用,是对 T_{σ} 很好的补充。

2. 强对流天气 近年来,国内研究各种强对流天气的文章大都使用了能量方法〔29、30、61、62、64—69、

75、76、86、157—183)。这是由于强对流天气的发展必需潜在不稳定能量,而能量天气学方法容易揭示这个条件及其各种表现形式。

3. 台风 用能量方法分析台风的形成和发展过程,发现台风区附近前期位势不稳定能量(尤其潜在不稳定能量)和风场演变相结合可以为预报台风发展提供一些线索[105]。台风的等能管是其形成后一个重要的固有特征,等能管的强弱可能和是否发生特大暴雨有密切关系[97]。

目前国内已有不少台站根据能量场形势做台风路径预报,台风一般是走一条“避低能,趋高能”的路径[184—188]。根据许多人的实际经验,当台风接近探空站稠密的区域时,这个规律比较好用,有12—36小时的预报时效。用能量方法分析台风特大暴雨[8、125、133、189—190],也得到了用常规方法不易注意的结果,发现台风暴雨区的高能级能量锋和潜在不稳定区都很明显。用这种方法探讨台风暴雨的落区预报也有一定成效[23、191]。近来,在低纬天气分析和预报中也有人用了能量方法[192]。

4. 寒潮和大雪 已开始出现了用能量方法分析冬半年寒潮和大雪的文章[193—195],有的在业务中使用效果也较好[193]。这些结果显示,能量锋、 Ω 系统,潜在不稳定和突然增能在冬季也同样出现,只不过能级、强度、层次和表现形式有所不同而已。能量方法对分析冬季较大降水及冬雷暴等特别有用。由此可见,研究冬季降水和夏季一样也应首先重视暖湿空气的活动。

5. 高原天气 用能量方法研究夏季高原对流和高原出槽的关系[17]、高原单站预报[196]、昆明准静止锋[197],都得到一定结果。在一开始研究能量方法时就注意到[5—7]:地形复杂、高原庞大的我国,在地面天气图上分析总温度可能是克服分析等压线困难的一个好方法,这已由近年来分析实时的地面总温度场的实践所证实[198—200],但也要注意消除孤立山峰测站的影响[198]。

廖洞贤等用能量方程分析冷空气越山、背风坡等问题[201],使我们在把能量方程使用于广泛的动力学问题上开阔了思路。

6. 预报方法 除上述的天气图表分析和指标相结合的能量预报方法外,还有人把能量因子和统计相结合做暴雨和冰雹预报[202—204]。江西省气象台做了细致的相关分析,发现赣北五站平均的日雨量与前一日08时37个能量因子相关很好,此外再增加与暴雨密切有关的温压湿风场46个因子参加逐步回归,但都不能入选。另外,使用压、温、湿、风及散度和涡度等因子建立有无暴雨的统计预报方程,其历史检验正

确率也比能量因子预报方程低10%左右。这些结果表明,把温压湿线性组合得到的能量场比单独的温压湿场对暴雨的预兆性要好。

7. 单站预报 在近年的气象刊物上出现了许多用能量方法试做单站预报的文章[12、205—221],结果表明能量方法能较好地显示降水天气的许多前兆信息。

四、结 语

以上简述的研究结果说明,六年来能量天气学研究取得了很大进展,既建立了从物理量、稳定度,分析原理到能量系统等一整套基本概念,又在各种强天气的分析和预报上得到广泛的应用。而且,根据能量天气分析发现的新事实和得到的新认识,已经提出并开始了湿斜压大气动力学问题的研究。

但是,当前能量天气学研究还深入不够,和天气动力学其它方面的结合还很少,在预报上的应用还不够客观定量,理论工作才刚刚开始。要使这种方法成为常规天气学方法的一种有严格物理依据、客观定量、便于在业务上使用的辅助方法,还应当做大量工作。

我们相信,把这种方法和其它天气动力学方法紧密结合、深入地研究,各种灾害性天气的短期和超长期预报准确率一定会有较大的提高。

参 考 文 献 *

- [1] 谢义炳,能量天气分析、预报方法的现状和将来可能发展,气象科技资料,1978年2期,5—9页。
- [2] 叶笃正,近年我国大气科学研究的进展,大气科学,3卷3期,195—202页,1979。
- [3] 陶诗言、丁一汇、周晓平,暴雨和强对流天气的研究,同上,227—337页。
- [4] 曾庆存,我国大气动力学和数值天气预报研究工作的进展,同上,256—269页。
- [5] 中央气象局气象科学研究所一室二组,能量天气学研究,油印文集,1975年4月。
- [6] 中央气象局气象科学研究所,总能量计算方法及其应用的初步探索,南方暴雨冰雹预报经验选编,239—247页,1976年8月。
- [7] 中央气象局研究所一室二组,能量分析、预报方法及其应用,湖南省气象局科教处印,单行本,1977。
- [8] “75.8”暴雨研究会战领导小组,1975年8月河南特大暴雨研究报告,45—69页,113—117页,1977。
- [9] 佚名,能量分析与暴雨预报,气象科技资料,1977年4期,20页。
- [10] 湘中地区中小系统灾害天气预报联防协作区,湘中联防协作区年会材料汇编一,1976。
- [11] 湘潭地区气象台,利用地面总能量小图作我区暴雨落点预报的初步尝试,湖南气象科技,1977年1期,9—15页。
- [12] 醴陵县气象台,能量分析在县站预报中的应用,同上,

* 这里主要收取铅印期刊和文集中与能量分析有关的材料,大量的有关油印材料和单行本铅印材料除少数外皆未收入,还可能遗漏了一些重要材料,特此说明。

16—20页。

- [13] 北京大学地球物理系气象专业, 1976年暴雨分析。
- [14] 北京大学地球物理系, 暴雨分析预报进修班科研成果汇编, 1978。
- [15] 徐葆真、吴达三, 昭盟林西地区短期冰雹综合预报方法, 冰雹预报文集, 153—162页, 1979。
- [16] 湖北省气象局科研所, 中山大学气象专业73级毕业生实习小组, 湖北省初夏特大暴雨能量分析, 湖北省气象局科研所气象科研成果汇编(一), 58—78页, 1977。
- [17] 陕西省气象台, 高原出槽的预报问题, 青藏高原气象论文集(1975—1976), 332—339页, 1979。
- [18] 宁夏回族自治区气象局, 对固原地区冰雹的初步认识, 单行铅印本, 1—32页。
- [19] 陕西省气象局, “77.7” 延河大暴雨两个例总结专集, 陕西气象, 1978年5期, 1—42页。
- [20] 吉林省暴雨会战小组, 暴雨单站分析的探讨, 气象科技资料, 1978年2期。
- [21] 宁夏“76.8”暴雨会战组, “76.8”宁夏暴雨过程的分析研究, 暴雨文集(1978), 135—137页, 吉林人民出版社, 1980。
- [22] 山西省暴雨会战组, 山西省夏季低涡型大一暴雨的分析与预报, 同上, 116—119页。
- [23] 华东地区台风暴雨科研协作组, 华东区台风暴雨落区预报方法的探讨, 同上, 204—207页。
- [24] 中央气象局研究所, “77.5”粤东暴雨能量特征的初步分析, 广东天气预报经验选编, 19期, 38—44页, 1978。
- [25] 黄河中下游暴雨预报科研协作小组, 黄河中游“58.7”大暴雨的分析研究, (油印本) 1977年4月。
- [26] 湘中会战组, 一次暴雨过程分析, 湖南气象, 1980年1期, 11—16页。
- [27] 77.8乌审旗特大暴雨会战组, 1977年8月乌审旗特大暴雨研究报告, 陕西气象, 1979年10期。
- [28] 河北省气象局暴雨会战组, 一次台风倒槽暴雨分析, 油印本, 1976。
- [29] 山西省冰雹预报会战组, 晋东南地区冰雹预报方法研究, 铅印本, 1—83页, 1977。
- [30] 北方雹暴科研会战组, 北方大范围雹暴的天气学研究, 1980, 气象出版社拟出版。
- [31] 湖北省气象局科研所, 能量天气学研究文集, 1—44页, 1980年3月。
- [32] 中央气象局气象科学研究所, 能量天气学研究(二), 油印文集, 1977。
- [33] 吴正华、张兰香、杨红梅、雷雨顺, 能量分析在华北暴雨落区预报中的应用, 天气气候论文集, 即将由气象出版社出版。
- [34] 陶祖钰、孟广礼、成秋影、陆光明, 暴雨预报中能量形势的天气学意义, 第二次能量分析会议材料, 1980。
- [35] 蒋尚城、张覃、周鸣盛、刘盎然, 登陆台风和台风倒槽的半热带性质及其暴雨分析, 北京大学地球物理系论文集(气象学), 63—75页, 1979。
- [36] 中央气象局气象科学研究所, 能量天气学的若干问题, 油印文集, 1977。
- [37] 中央气象局气象科学研究所, 能量天气分析基础, 北京大学、中山大学、河北省气象局和河南省气象局等在1977—1978年都先后油印过。
- [38] 雷雨顺, 能量天气学概述, 湖北省气象局气象科学研究所印, 1—152页, 1978。
- [39] 雷雨顺, 能量天气学的几个理论问题, 宁夏气象, 1979年增刊号, 1—18页。
- [40] 中央气象局气象科学研究所一室能量天气分析组, 总温度和相当位温查算表, 气象科技资料1977年能量天气分析资料附刊, 1—48页。
- [41] 中央气象局气象科学研究所天气气候三室暴雨组编, 天气分析预报用表, 湘中中小尺度暴雨综合试验基地, 1979。
- [42] 空军司令部气象局, 能量天气分析预报方法专辑, 航空气象, 1978年4期, 1—38页。
- [43] 黑龙江气象科学研究所, 能量天气分析与应用, 黑龙江气象科技, 1978年第1期, 1—20页。
- [44] 江西气象科技编辑部, 能量天气分析与应用, 江西气象科技, 1978年第5、6期。
- [45] 雷雨顺、吴宝俊、吴正华, 用不稳定能量理论分析和预报夏季强风暴的一种方法, 大气科学, 第2卷第4期, 297—306页, 1978。
- [46] 程麟生, 关于湿斜压大气中某些能量关系的分析和应用, 兰州大学学报, 1979年, 142—155页。
- [47] 雷雨顺、吴正华, 静力稳定度的能量分析, 气象学报, 38卷4期, 380—386页, 1980。
- [48] 雷雨顺、吴正华, 饱和能差的意义及应用, 气象, 1980年第5期, 9—11页。
- [49] 谢义炳, 湿斜压大气的天气动力学问题, 暴雨文集(1978) 1—15。
- [50] 王两铭、罗会邦, 暴雨天气动力学一些问题的探讨, 中山大学学报(自然科学版), 1978年1期, 20—36页。
- [51] 李麦村、姚棣荣, 热带和副热带湿大气的大尺度运动, 气象学报, 73卷1期, 28—35页, 1979。
- [52] 李麦村, 潮湿大气运动的地转适应过程的特点与天气系统演变的研究, 第二次能量分析会议材料, 1980。
- [53] 李德成、刘祝江, 关于能量天气分析的零级近似, 同上。
- [54] 王昭正, 湿斜压结构台风的移动和预报, 同上。
- [55] 程麟生, 普遍化的位涡度方程及其对湿斜压大气的的应用, 同上。
- [56] 吴宝俊、于桂花、蒋凤英、孙业福, 深厚能量激增层的成因及其与暴雨的关系, 气象, 1979年4期, 2—5页。
- [57] 张元篪, 变形场和能量锋锋生, 同[52]。
- [58] 吴正华、支德先、石林平、白玉荣, 500毫巴湿位势倾向诊断及其应用, 强对流天气文集(三), 1980。
- [59] 马树森, 湿斜压大气位势稳定度的变化, 尚未发表, 1980。
- [60] 雷雨顺、杨红梅, 论总比能温度和相当位温, 强对流天气文集(三), 1980。
- [61] 朱官忠, 鲁中的一次强对流天气分析, 气象, 1979年7期, 16—18页。
- [62] 扈忠慈、李焕安, 一次爬线雹暴过程的分析, 航空气象科技资料, 1980年3期, 1—3页。
- [63] 宋锦乾, 从天气过程看渤海对沿海天气的影响, 气象, 1980年7期, 30—31。
- [64] 湖南省湘中地区中小系统灾害性天气预报科研协作区, 中小尺度天气预报分析(第三届年会文集), 1978年。
- [65] 京津冀暴雨中尺度试验. 1979年研究报告, 1980. 1—68页。

- [66] 湖南省气象台, 南气院大气探测74级毕业实践组, 1977年6月28日长江地区一次飑线过程的雷达回波分析, 南京气象学院学报, 1978年1期, 109—115页。
- [67] 渭南地区气象台, 关于开展中尺度天气分析的初步设想, 陕西气象, 1980年2期, 28页。
- [68] 甘肃省气象局, 1979年甘肃省暴雨冰雹中小尺度试验研究汇编。
- [69] 雷雨顺, 强对流天气的几个问题, 大气科学, 第4卷1期, 94—102页, 1978。
- [70] 黄德江, 武汉地区单站铅直能量的初步分析, 见[31], 23—31页。
- [71] 新乡地区气象台预报科, 利用郑州能量铅直廓线预报我区夏季短期降水, 油印本, 1979。
- [72] 方文举、杨宝忠, 等能面上相对气流的分析, 尚未发表, 1980。
- [73] 雷雨顺, 强降水系统三维运动的分析方法, 强对流天气文集(三), 油印本, 1980。
- [74] 热带天气科研协作领导小组办公室, 广东热带海洋气象研究所, 1977年华南前汛期暴雨实验研究报告选编, 1978。
- [75] 杨国祥、林兆丰、陈永胜、薛伯奇, 有关飑线活动几个问题的研究, 航空气象, 1979年2期, 1—9页。
- [76] 游景炎、赵亚民、马桂英, 副高北侧暖区强暴雨的中分析, 见[43], 1—10页。
- [77] 丁士晟, 北方暴雨预报科研近年来的进展, 北方灾害性天气研究文集, 即将出版。
- [78] 蒋尚城、谢安, 西太平洋台风和北方暴雨, 同上。
- [79] 赵景忠、孙朝库, 假相当位温的新含义及其计算方法, 冰雹预报文集, 66—71页, 三北灾害性天气协作区冰雹专题组, 1979。
- [80] 马安民、阳莹, 一次冰雹过程分析, 同上, 42—51页。
- [81] 刘世惠、郝巨生, 副高后部一次特大暴雨过程的个案分析, 辽宁气象科技情报, 1979年1期, 1—21页。
- [82] 孙寿全, 试用湿斜压大气不稳定理论对一次西南低涡迅速发展的分析和探讨, 气象, 1980年1期, 18—20页。
- [83] 雷雨顺、吴正华, 能量锋及其实用意义, 同[77]。
- [84] 雷雨顺、吴正华、张兰香, 产生暴雨的三种能量锋, 将在北方天气集刊发表。
- [85] 黄德江、梅雨期间能量锋的初步分析, 尚未发表。
- [86] 杨国祥、陈国栋、卢保祥, 在东风带里出现的强烈局地风暴, 航空气象, 1979年7期, 10—18页。
- [87] 马鹤年, 次天气尺度 Ω 系统和暴雨落区, 暴雨文集(1978)。
- [88] 马鹤年, 刘子臣等, 次天气尺度 Ω 型暴雨系统发展和消亡的诊断分析, 北方天气集刊第1期将发表。
- [89] 白肇焯, 黄河中游暴雨分析预报的若干问题, 见[77]。
- [90] 吴正华、白玉荣, 强雷暴和暴雨的 Ω 形能量系统对比分析, 强对流天气文集(三), 1980。
- [91] 郭凯, 略论下游低能层对暴雨的贡献, 陕西气象, 1980年9月。
- [92] 章淹, 我国暴雨研究和预报的进展, 气象, 1979年11期, 1—4页。
- [93] 林杏奇, 经向能量剖面在暴雨预报中的应用, 见[31], 54—65页。
- [94] 王新启, 大暴雨不稳定能量分析, 同上, 32—41页。
- [95] 开封师范学院地理系, 河南省气象台, 豫南“77.7”大暴雨过程的能量分析, 油印本, 1978。
- [96] 雷雨顺, 经向型持续性特大暴雨合成分析, 气象学报即将发表。
- [97] 雷雨顺, 一个登陆台风的等能管结构, 强对流天气文集(三), 1980。
- [98] 蔡立金, 初夏低涡暖切变特大暴雨场特征, 见[31], 42—45页。
- [99] 孙国伟, 青岛市切变型大一暴雨能量预报方法, 青岛气象, 1980年1期, 1—10页。
- [100] 杨林春、刘培基、徐淑英, 暖切变大一暴雨预报及其初步探讨, 河北气象科技, 1980年2期9—18页。
- [101] 林杏奇, 一次连续暴雨分析, 见[31], 13—22页。
- [102] 天津市气象局气象台, 涡旋性暴雨初步分析, 油印本, 1—30页, 1978。
- [103] 赵景忠、米季德, 中尺度低能辐合线, 第二次能量分析会议材料, 1980。
- [104] 王新启, 江淮切变线平面能量场的特征, 同上。
- [105] 张婉佩, 发展台风与不发展台风的对比分析, 1978年, 全国台风会议文集, 即将出版。
- [106] 河南省气象局气象研究所, 副热带能量锋区与副热带高压的季节性北跳, 第二次能量分析会议报告, 1980。
- [107] 洪汛, 能量突增与六月份暴雨, 气象, 1979年6期, 40页。
- [108] 王佩理, 相当位温 θ_e 及 $\Delta z_e \theta_e$ 铅直时间剖面图在暴雨预报中的试用报告, 湖南气象科技情报, 1979年4期, 16—22页。
- [109] 广西暴雨实验会战组, 1978年5月26—28日桂东北大暴雨过程的初步分析, 见华南前汛期暴雨文集(二), 21—26页, 1979。
- [110] 徐龙武, 当地的能量演变与暴雨的关系, 见[31], 109—116页。
- [111] 薛德媛, 试用地区地面 $\Delta z_e T_e$ 。做全区性暴雨预报体会, 见[31], 117—119。
- [112] 雷雨顺、吴宝俊、吴正华, 冰雹概论, 科学出版社, 1978。
- [113] 吴正华、雷雨顺, 干暖盖与北京地区初夏强雹暴, 冰雹预报文集, 1—11页, 1979。
- [114] 刘惠民, 用暖盖和总温度作太原七、八月盛夏大于10毫米降水预报, 山西气象科技, 1979年2期, 53—55页。
- [115] 吴正华, 先兆过程对强对流天气过程的作用, 见[77]。
- [116] 叶笃生、李麦村, 大气运动中的适应问题, 科学出版社, 1965。
- [117] 曾庆存, 数值预报的数学物理基础, 第一卷, 1980。
- [118] 雷雨顺, 关于行星边界层顶的几个现象, 气象科技, 1981年1期, 10—14页。
- [119] 雷雨顺, 略论行星边界层和暴雨, 宁夏气象, 1979年增刊, 19—27页。
- [120] 雷雨顺, 特大暴雨的夜间多发性, 自然杂志, 3(1980), 10期, 774—777页。
- [121] 王群、石海元、刘惠民, 北京地区盛夏大一暴雨的局地能量动力因子分析, 见[14]。
- [122] 王群, 唐山地区盛夏期产生暴雨的特征, 河北气象科技, 1980年3期, 24—28页。
- [123] 刘家珍、刘佩芝、赵德华, 1977年7月下旬锦州暴雨能量分析, 锦州气象科技, 1978年2期, 1—12页。
- [124] 杨红梅、雷雨顺, 暖盖型特强暴雨发生的局地条件, 强对流天气文集(1978—1979), 1979。
- [125] 张廷治, 77年4号台风与北方特大暴雨, 辽宁气象科

- 技情报, 1979年1期, 32—46页。
- [126] 丹东气象台, 1977年7月31日到8月3日丹东地区大暴雨天气形势分析, 丹东地区预报技术经验选编, 112—124页, 1977。
- [127] 张兰香, 北京单站测风垂直时间剖面图在夏季降水预报中的应用, 强对流天气文集(二), 1980。
- [128] 雷雨顺, 关于特大暴雨的几个问题, 同上, 北京气象学会也油印过单行本。
- [129] 卢至、陈哲彰、张桂荣, 1979年8月10至12日华北东部暴雨的中尺度分析, 见[65], 19—30页。
- [130] 韩海珍、裴青莲、李桂敏, “8.27”暴雨个例分析, 河北气象科技, 1980年3期, 29—40页。
- [131] 魏绍远, 1978年6月初广东、福建的暴雨分析, 华南前汛期暴雨实验文集(二), 72—86页, 1979。
- [132] 雷雨顺、吴正华, 能量天气学方法在暴雨分析和预报中的应用, 暴雨文集(1978), 162—171页。
- [133] 吴正华, “75.8”河南特大暴雨的不稳定条件分析, 天气气候文集, 即将出版。
- [134] 雷雨顺, 特大暴雨的静力能量分析, 气象科技, 1980年附刊(二), 1—5页。
- [135] 田盛培, 1977年8月5—6日平遥特大暴雨的分析, 气象, 1980年11期, 10—12页。
- [136] 阮水根, 我区暴雨的不稳定能量分析, 见[31], 46—48页。
- [137] 沈恒华, 今年盛夏不稳定能量浅析, 同上, 49—50页。
- [138] 田森烈, 荆州地区57—73年全区性大暴雨初步分析, 同上, 51—53页。
- [139] 林杏奇, 不稳定能量计算暴雨方程, 同上, 4—12页。
- [140] 阮水根等, 鄂西能量预报暴雨总结, 同上, 66—83页。
- [141] 沈恒华等, 鄂东地区梅雨期预报暴雨总结, 同上, 84—95页。
- [142] 陈淑华、冼正华, 79年初夏能量预报暴雨试验, 同上, 96—100页。
- [143] 王大全、张祥玉, 暴雨预报中能量方法的试验, 同上, 101—105页。
- [144] 张其芳、王世芳, 用能量动力因子结合的方法预报盛夏暴雨, 暴雨文集(1978), 177—181。气象, 1979年1期, 10—12页。
- [145] 郭凯, 从能量和动力学结合观点对陕西七月份暴雨的探讨和预报, 陕西气象, 1980年5期, 13—16页。
- [146] 南阳气象局预报科, 南阳地区汛期阶段一暴雨分析与预报, 河南气象, 1980年2期, 7—15页。
- [147] 江苏省气象台, T_{10} 、 P_c 和南京大一暴雨预报, 同[52]。
- [148] 吴正华、雷雨顺、吴宝俊、蒋凤英, 对中尺度能量场与暴雨落点关系的几种看法, 航空气象, 1978年第4期。
- [149] 上海气象台, 能量、不稳定、散度场和暴雨的落点预报, 同上, 23—27页。
- [150] 江西九江地区气象台, 应用地区总能量图试做6月份暴雨中心的落点预报, 气象科技资料, 1978年4期, 27页。
- [151] 吴正华, 华北区域性暴雨落区预报的探讨, 见[65] 53—59页。
- [152] 浙江省暴雨科研协作组, 浙江省大暴雨落区预报初步总结, 浙江气象科技, 1980年创刊号, 18—25页。
- [153] 朱正义、于桂花, 青藏高原东北部地区暴雨围区预报法, 同[52]。
- [154] 包澄湖, 一种低纬分析方法——用压能场分析降水, 大气科学, 1977年2期。
- [155] 朱乾根、段永明、王庆云, 压能场在暴雨分析和预报中的初步应用, 华南前汛期暴雨实验文集(二) 149—154页, 1979。
- [156] 朱乾根、包澄湖, 压能场用于暴雨分析, (江苏)气象科学, 1980年1—2期。
- [157] 丹东市气象台, 一次强飊线过程的分析, 丹东地区预报技术经验选编, 96—111页, 1977。
- [158] 宋锦乾、王立生, 一次强对流天气的中尺度分析, 气象, 1979年8期, 20—22页。
- [159] 孔维君等, 岳阳7—8月雷暴大风前的特征, 气象, 1979年8期, 23—26页。
- [160] 谢世俊, 影响丹东的冷锋飊, 丹东气象科技, 1980年1期, 1—4页。
- [161] 湖南常德地区气象台, 一次飊线过程的分析, 气象, 1978年5期, 3—5页。
- [162] 刘佐治, 刘鑫然, 一次强对流天气过程分析, 冰雹预报文集, 32—41页, 1979。
- [163] 张之钧, 强对流天气的能量特征和预报, 同[52]。
- [164] 杨桂庆、刘长源等, 用能量方法做雷暴落点预报, 航空气象科技资料, 1979年5期, 9—18页。
- [165] 杨桂庆、刘长源等, 用能量方法做雷暴落区预报, 同[52]。
- [166] 吴宝俊、雷雨顺、吴正华, 北京地区八月降雹的短期预报, 同[162], 129—137页。
- [167] 刘绍昕, 能量和动力结合的冰雹预报方法, 气象, 1979年7期, 23页。
- [168] 徐葆真, 能量分析在冰雹预报中的应用, 辽宁气象科技情报, 1979年1期, 47—54页。
- [169] 徐葆真、邱锦莉, 用能量时间剖面图和廓线模式预报冰雹, 同[52]。
- [170] 汤锁坤, 一次冰雹天气的分析, 贵州气象, 1980年2期, 3—16页。
- [171] 曹希孝、常锡振、金培信、舒其洪, 大别山区诱发飊线的中分析, 教学研究(空军气象学院), 31—38页, 1980。
- [172] 河南省气象局气象台, 一次降雹过程的初步分析, 冰雹预报文集, 52—57页, 1979。
- [173] 江苏省气象台, 江苏大范围冰雹的能量场分析, 同[52]。
- [174] 山东省气象科学研究所, 利用探空资料分析出现冰雹的某些特征, 同[172], 92—96页。
- [175] 山西省气象台短期预报组, 太行山区初夏冰雹的短期预报, 同上, 97—103页。
- [176] 罗孝逞, 以高低层流场适当配置为主的一种冰雹预报方法, 同上, 163—167页。
- [177] 吉林省长春市气象台, 冰雹预报初步探讨, 同上, 156—174页。
- [178] 纪英惠, 一次降雹过程的个例分析, 湖南气象科技情报, 1980年8期, 26—31页。
- [179] 黄德江, 一次强雹暴的个例分析, 湖北能量天气学研究文集, 120—131页, 1980。
- [180] 苏耀来, 一次冰雹天气过程能量分析, 同上, 132—136页。
- [181] 刘璇、恩施地区一次冰雹过程分析, 同上, 137—144页。
- [182] 吴哲明, 1979年赣榆冰雹的分析和预报, 气象, 1980

年10期, 14—16页。

- [183]北京市气象研究所, 雹暴的能量分析, 同 [52]。
- [184]齐向华, 试用能量场分析台风路径, 气象, 1977年3期, 14—15页。
- [185]卢保祥, 根据500毫巴等压面图上的能量分布预报台风移动, 军事气象, 1977年1期, 36—48页。
- [186]卢保祥、张学敏, 7708号台风路径的能量分析, 航空气象, 1978年4期, 28—33页。
- [187]廖明治, 应用500毫巴总温场做台风路径短期预报的初步尝试, 军事气象, 1980年5期, 20—24页。
- [188]张学敏, 7115号台风路径和暴雨分析, 同[171], 18—24页。
- [189]王佳生, 利用500毫巴能量场预报影响九江地区的台风暴雨, 江西气象科技, 1980年4期, 9—12页。
- [190]安徽省气象局气象科学研究所, 来安县气象站, 7504号台风皖东特大暴雨分析, 大气科学, 1977年1期, 73—74页。
- [191]张学敏, 台风暴雨落区和暴雨强度的定性分析, 同 [52]。
- [192]仲荣根、梁必骐, 能量场在低纬天气分析预报中应用的研究, 同 [52]。
- [193]符长锋、陈世银, 单站能量在寒潮预告中的应用, 河南气象, 1979年4期, 1—6页, 气象, 1980年2期, 1—2页。
- [194]穆晓涛、丁勇新, 春季寒潮的单站分析和短期预报, 河南气象, 1980年1期, 1—4页。
- [195]银川气象台短期预报组, 宁夏早春一次局地大雪天气初步分析, 宁夏气象, 1979年5期, 21—30页。
- [196]杜中梁, 大气能量分析在高原天气预报中的初步应用, 西藏高原气象论文选编 (1962—1979), 11—115页, 西藏气象学会, 1980年。
- [197]马天龙, 西藏高原地面总温度的气候分析, 尚未发表, 1980。
- [198]邵云飞、俞晓妹, 高原边坡地区总温度的分析, 同 [52]。
- [199]吴俊明等, 地面能量场在宁夏暴雨预报中的应用, 同上。
- [200]周帮利, 能量锋与昆明静止锋, 同上。
- [201]廖洞贤、王超, 关于西北三省区地形对天气作用的调查, 气象科技资料, 1977年天气分析, 预报附刊, 35—48页。
- [202]安徽省气象局研究所, 安徽大学数学系应用数学专业, 冰雹的统计预报和人工消雹, 数学实践与认识, 1978年2期, 7—15页。
- [203]江西省气象台, 利用能量因子试做赣北短期暴雨预报, 江西气象科技, 1980年3期, 1—3页。
- [204]江西省气象台, 能量与赣北暴雨的相关分析, 江西气象科技, 1980年5期, 9—15页。
- [205]彭晓修, 天气分析和统计结合作气象站暴雨预报, 气象, 1980年7期, 18页。
- [206]泽普气象台、喀什气象局, 单站地面总能量的分析和应用, 新疆气象, 1979年6期, 55—59页。
- [207]区永年 (连平), 总温度在单站预报中的初步应用, 广东气象, 1979年4期, 29—33页。
- [208]扶风县气象站, 总能量概念在我站预报中的运用, 陕西气象, 1979年1期, 12页。
- [209]桂阳气象站, 用空气能量变化时间曲线图做降水预报, 湖南郴州气象科技资料, 1977年3期, 33—39页。
- [210]丁德刚, 总能量的简化计算及其在单站暴雨预报中的应用, 气象科技资料, 1978年1期, 16页。
- [211]程平顺, 总温度在单站暴雨分析中的应用, 贵州气象, 1979年2期, 30—31页。
- [212]廖荣俊, 总温度在单站大一暴雨预报中的运用, 贵州气象, 1979年2期, 30—31页。
- [213]齐树芬、孔佑坤, 用能量天气分析方法对五塔寺单站72—76年7月大一暴雨资料的分析概要, 1977, 第一次能量分析会议材料。
- [214]徐贤德, 用局地不稳定能量预报盛夏24小时暴雨的一些体会, 同 [52]。
- [215]李继光 (凤庆)、赵乐崇 (临沧), 用总温度预报五月大暴雨, 云南气象通讯, 增刊4, 32—35页。
- [216]朝阳气象站, 用能压指数, ΔT° 预报大一暴雨, 辽宁锦州气象科技, 1971年6期, 5—8页。
- [217]郟城县气象局, 总温度、700毫巴变高配合本站指标预报7月份1—3天的大暴雨, 气象, 1979年6期4—5页。
- [218]黄金康, 单站能量在雹暴预报中的应用, 同 [52]。
- [219]周继英, 能量和各天气系统配置作4—6月降水落区预报, 广西气象, 1980年2期, 10—16页。
- [220]万全县气象台等, 单站冰雹短期预报方法, 河北气象科技, 1980年3期, 54—58页。
- [221]陈甘全, 直展云结合能量分析做中短期暴雨预报, 气象, 1979年8期, 29—30页。