

张涛, 蓝渝, 毛冬艳, 等. 2013. 国家级中尺度天气分析业务技术进展 I: 对流天气环境场分析业务技术规范改进与产品集成系统支撑技术. 气象, 39(7): 894-900.

# 国家级中尺度天气分析业务技术进展 I: 对流天气环境场分析业务技术规范改进 与产品集成系统支撑技术<sup>\*1</sup>

张 涛 蓝 渝 毛冬艳 郑永光 唐文苑 曹 莉 张小玲  
谌 芸 方 翀 周晓霞 赵素蓉 刘鑫华 田付友

国家气象中心, 北京 100081

**提 要:** 中尺度天气分析技术已经在我国天气预报业务中发挥了重要作用。2011 年以来国家级中尺度天气分析业务技术取得了明显进展, 促进了国家级强对流预报业务的发展。《中尺度天气分析业务技术规范》已重新编写和完善, 内容分为两篇, 第一篇是中尺度对流天气环境场分析; 第二篇为中尺度对流天气过程分析, 第二篇为新增内容, 将另文介绍。短时和短期时效内中尺度对流天气环境场条件分析以配料法思路为基础, 重新编排和简化了分析内容, 兼顾分析的精细化和分析产品的可操作性, 增加了分类强对流天气分析量化指标建议供预报参考, 新增了基于局地探空的强对流天气分析规范。中尺度天气分析业务的支撑技术是推进该业务的必备基础, 因此国家气象中心改进了 MICAPS 3 中尺度天气主观分析工具箱功能; 开发了中尺度天气分析产品集成系统, 包括强对流天气监测产品、中尺度天气分析主观和客观产品、基于不同数值模式预报的强对流参数诊断产品等的数据产品和图形产品等。

**关键词:** 中尺度分析, 对流天气, 探空分析, 支撑技术

**中图分类号:** P456

**文献标志码:** A

**doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2013. 07. 010

## Advances of Mesoscale Convective Weather Analysis in NMC I : Convective Weather Environment Analysis and Supporting Techniques

ZHANG Tao LAN Yu MAO Dongyan ZHENG Yongguang TANG Wenyuan  
CAO Li ZHANG Xiaoling CHEN Yun FANG Chong ZHOU Xiaoxia  
ZHAO Surong LIU Xinhua TIAN Fuyou

National Meteorological Centre, Beijing 100081

**Abstract:** The mesoscale convective weather analysis plays an important role in operational forecasting. Progresses have been made in both the mesoscale analysis technique and its operation since 2011, which have significantly promoted the development of severe weather forecasting in the National Meteorological Centre (NMC). The updated *Mesoscale Analysis Technical Specification* consists of two parts. The mesoscale convective weather environment analysis is presented in this paper while the contents of the mesoscale nowcasting analysis are to be introduced in another paper. Based on ingredient method, the analysis content of the specification was simplified and reconstructed; meanwhile the refinements and the manipulation of analyzing products were given fully consideration. Moreover, a new part of sounding analysis and the quantitative standards for convective parameters were added into the specification. In the aspect of

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206004 和 GYHY201206003)及国家重点基础研究发展计划(973)项目(2013CB430106)共同资助  
2013 年 2 月 4 日收稿; 2013 年 6 月 3 日收修定稿  
第一作者: 张涛, 主要从事中尺度天气分析和预报方法研究. Email: zhangtao@cma.gov.cn

supporting technology, the subjective analyzing toolbox for mesoscale convective weather (in MICAPS 3) was improved, and a product integration system, including data and graphic products of severe convective weather monitoring, subjective and objective mesoscale analysis, diagnostic products of convective parameters and so on, was developed and has been being used in NMC.

**Key words:** mesoscale weather analysis, convective weather, sounding analysis, supporting techniques

## 引言

中尺度天气是指水平尺度几千米至几百千米,时间尺度约1小时到十几小时的天气现象,按其性质分为中尺度对流性天气和中尺度稳定性天气(大气科学辞典编写组,1994;陆汉城,2000)。中尺度对流性天气(简称对流天气)包括雷暴、短时强降水、冰雹、雷暴大风(下击暴流)和龙卷等。中尺度天气分析指的是针对中尺度天气的天气尺度环境场分析和中尺度过程分析,目前是对流天气分析,已在对流天气的短期和短时临近预报服务业务和研究中发挥了重要作用,比如针对2012年7月21日北京特大暴雨的分析(湛芸等,2012;方翀等,2012;俞小鼎,2012)等。但当前预报业务部门对于强对流天气的预报能力还有很大不足,因此如何提高对强对流天气的分析技术水平和预报能力,是现代天气预报业务所面临的重要挑战之一。

国家气象中心自2009年以来积极研发和推进中尺度天气分析业务和技术,逐步制定和完善了《中尺度天气分析业务技术规范》(张小玲等,2010;2012;郑永光等,2010;何立富等,2011),该规范针对的是对流天气分析。但目前业务使用的《中尺度天气分析业务技术规范》还存在一些不足,比如规范要求的分析内容太多但还欠缺完整、没有物理量的量化参考指标、没有局地探空分析、缺少对雷达和卫星等非规范资料分析等,因此需要继续改进和完善中尺度分析规范,尤其是需要补充明确分类强对流天气的分析内容等。

开展中尺度天气分析业务不仅需要技术规范,其支撑技术的发展也是促进该业务发展的重要方面。中尺度天气分析支撑技术不仅包括对流天气监测技术和客观分析技术,还包括中尺度天气主观分析工具箱建设和分类强对流天气客观分析产品以及产品集成系统,以给业务强对流天气预报提供方便快捷的数据和图形产品。国家气象中心目前建立了一整套支撑中尺度天气分析的客观技术,其中郑永光等(2013)已专文介绍了国家气象中心利用多源观测资料(常规和非规范资料)建设的强对流天气综合监测业务系统。因此本文将重点介绍国家气象中心

强天气预报中心2011—2012年在以下几方面取得的进展:改进的中尺度天气分析业务技术规范中的中尺度对流天气环境场分析部分,中尺度天气主观分析工具箱和产品集成系统。

## 1 中尺度天气分析业务技术规范修订

《中尺度天气分析业务技术规范》自2009年制定后经过了多次修订,其中2011—2012年做了重大修订,新规范参考了美国强对流分析相关业务技术(Charles,1982;Crisp,1979;Miller,1972),在内容上精简了对流天气环境场条件分析,增加了局地探空分析和中尺度对流天气过程分析内容,主要的修订内容见表1。

完善后的新版《中尺度天气分析业务技术规范》分为“对流天气环境场条件分析”和“对流天气中尺度过程分析”两篇,其中第一篇主要使用探空数据和天气尺度数值模式数据,在短时或短期时效内分析中尺度对流天气环境场条件,目的在于指导短时和短期强对流潜势预报;第二篇主要的目的在于形成中尺度短临预报思路,指导短临预报的制作,本部分将另文介绍。两个章节在规范内容上相辅相成,但在预报时效、分析思路等方面又各有侧重和针对性,对不同预报时效的强对流预报业务更具指导性和可操作性。

## 2 对流天气环境场条件分析

“对流天气环境场分析”是新规范的第一篇,主要基于配料法分析思路,针对产生对流天气发生发展的必要条件(水汽、稳定度和抬升)和增强条件(垂直风切变条件)等,从等压面分析和局地探空分析两方面对大气环境场的相关气象要素进行分析,并以各种标识符号显示在天气图上,辅以必要的文字描述,最后形成反映对流性天气发生发展的大气环境场条件的综合分析产品。该部分适用于6h以外的短时和短期预报业务,主要对地面、高空常规和加密观测、自动站观测资料和数值预报资料进行分析。

本篇的规范内容主要分为四部分:(1)天气图分析,在天气图上进行基于风、压、温、湿基本要素的水汽条件、不稳定条件、抬升条件和垂直风切变条件

表 1 《中尺度天气分析规范》主要修订内容  
Table 1 Major revisions on the operational standard of mesoanalysis

	2009 年版	2011 年修订稿	2012 年修订稿
组织结构	以不同等压面分析的形式,组织分析内容;缺乏分析内容形成有效产品的规范	以各项对流条件分析(配料法)的形式,组织分析内容;明确了简化分析内容形成有效产品的方法	以各项对流条件分析(配料法)的形式,组织分析内容;明确区分分析内容和产品形成规范,兼顾分析的精细化程度和产品制作的可操作性
主要分析内容构成	地面及各等压面气象要素所反映的环境场对流条件	增加中尺度过程分析	增加局地探空分析
环境场条件分析	几乎所有要素和所有系统	大幅精简为三类条件主要系统和一类综合物理量	增加分类强对流天气分析量化指标建议
中尺度过程分析	无	分四部分描述分析频次区域、天气实况、中尺度系统、中尺度环境场	重组结构使之与环境场部分统一;强调和细化中尺度对流系统和结构分析规范,增强分析的针对性和可操作性;简化其中中尺度的环境场条件分析
局地探空分析	无	无	从动力学和热力学角度阐述利用探空图表进行对流条件探空分析

分析;(2) 诊断物理量分析,从客观分析和模式输出的各诊断物理量对上述四类对流条件进行分析;(3) 站点探空分析,选定站点分析探空资料的热力学和动力学条件;(4) 环境场分析业务产品制作,规范简明的业务分析产品制作方法。

## 2.1 天气图分析

天气图分析部分给出对常规观测资料或数值模式预报资料的风、压、温、湿等基本气象要素的分析方法,以判断环境场中与对流相关的水汽、不稳定、抬升和垂直风切变等条件。天气图的分析原则部分参考了天气学分析基本方法(寿邵文等,1993;1987)。新规范基于实时业务的可操作性简化了分析内容,兼顾全面分析和突出重点,具体内容参见表 2。分析形式为在地面或不同特征等压面天气图上的手工分析,分析内容可在综合分析图中进行显示。

中尺度对流天气环境场分析技术流程如图 1。水汽条件相关的湿度要素,重点分析对流层低层的水汽含量及饱和程度,以低层显著湿区为主,判断对流天气发生发展的基本水汽条件,同时分析与低层湿区相对应,有利于形成“下湿上干”层结的对流层中层干区,辅助判断不稳定条件及雷暴大风的发生条件。不稳定条件相关的温度要素,重点分析有利于出现“下暖上冷”结构的各种系统,包括低层暖脊、中层冷槽、垂直温差大值区以及显著降温区。对流触发的抬升条件主要分析边界层锋区、中低层短波槽、低层辐合线或切变线,边界层锋区包括各类锋面和干线(露点锋)等。垂直风切变条件相关的风场要素,主要分析大风速带、急流核等,低空急流反映 0~

1 km 和 0~3 km 垂直风切变条件,中空急流反映 0~6 km 强垂直风切变条件。

表 2 对流天气环境场天气图分析主要内容  
Table 2 Brief introduction to the mesoanalysis of environmental convective conditions

水汽条件	不稳定条件	抬升条件	垂直风切变条件
低层显著湿区	低层暖脊	边界层锋区	大风速带
中层干区	中层冷槽	中低层短波槽	急流核
	中低层温差区	低层切变线	
	中层降温区	低层辐合线	

## 2.2 诊断物理量分析

除了对基本气象要素的分析,规范给出与对流天气相关的实况客观分析和数值预报输出的各类诊断物理量的分析应用,以判断各类有利于对流发生发展和加强的环境场条件。表 3 给出了主要的参考诊断物理量。

## 2.3 站点探空分析

探空资料直接反映一个地区垂直方向大气的对流条件信息,新规范给出用热力学图表(温度对数压力图和物理量垂直廓线)、风矢端图、各类对流相关的诊断物理量和指数进行单点探空资料分析的建议,以分析大气层结的垂直结构判断局地当前和未来的对流相关条件。具体分析内容见表 4。分析形式为根据需求直接引用探空图表并配以主观分析文字,部分量化指标参考前人的研究成果(章国材,2011)。

## 2.4 环境场分析业务产品制作

强对流天气的分析内容比较复杂,根据实时业

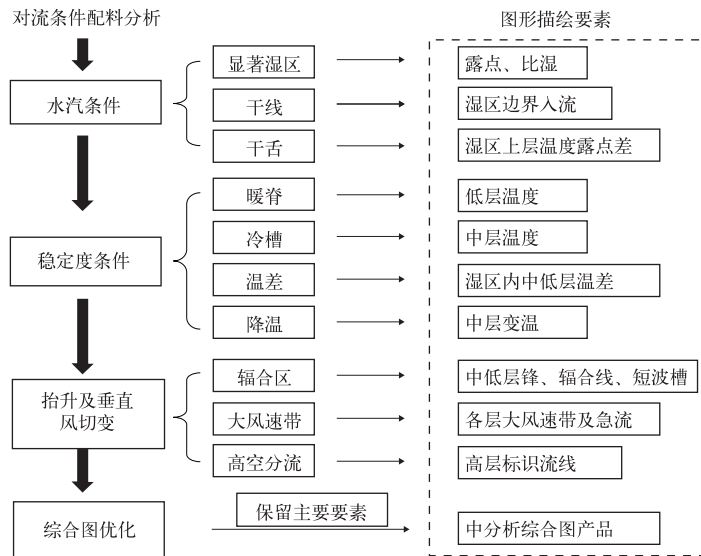


图 1 中尺度对流天气环境场分析技术示意图

Fig. 1 Schema for mesoanalysis of environmental convective conditions

表 3 部分诊断物理量分析内容

Table 3 Parts of diagnostic parameters

水汽条件	不稳定条件	抬升条件	垂直风切变条件
基本湿度参量(比湿、露点、相对湿度、温度露点差)	K 指数	地面气压	0~1 km 垂直风切变
垂直累积可降水量	对流有效位能	散度	0~3 km 垂直风切变
假相当位温	下沉对流有效位能	垂直速度	0~6 km 垂直风切变
水汽通量散度	对流抑制能量		
	抬升指数类(LI、BLI、SI)		
	垂直温差或直减率		
	垂直假相当位温差或直减率		

务快速制作分析产品的要求,新规范给出国家气象中心中尺度天气环境场分析业务产品的构成和制作的一般原则。

强对流天气分析产品由四部分内容构成:(1)主观分析的综合天气图,参照前面的对各对流条件主观分析方法和分析符号,以能全面反映环境场主要对流条件且简洁明了为原则,在每类条件中选择一至两个最体现分析预报思路的要素,绘制在一张主观分析综合图;(2)诊断物理量分析图,以能够辅助反映各对流条件为原则,选择性的引用一至两类与对流天气相关的诊断物理量客观分析资料和产品,或根据需求在主观分析综合图加入诊断物理量分析;(3)探空综合分析,当资料和分析时间允许时,引用重点关注区域对数压力图,必要时应给出探空订正后的对数压力图;将前述探空分析内容和分析思路择要进行综合性描述;(4)基于前述内容给出综合分析文字。

### 2.5 对流天气环境场分析范例

以 2011 年 4 月 17 日 08 时广州强雷暴大风过

程(张涛等,2012)的常规资料分析为例,对新规范的对流天气环境场分析内容尤其是新增探空分析内容进行说明。

#### 2.5.1 主观分析的综合天气图

以 2011 年 4 月 17 日 08 时探空资料分析为例,简化了的主观分析综合天气图(图 2a)表明,由于处在低层暖湿、锋面抬升、中层干燥且位于槽后急流区域,中层位于槽后急流区一方面有利于冷平流增加层结的不稳定,另一方面有利于形成和维持强垂直风切变的环境场,综合来看广东珠三角附近地区各要素相比其他地区都处于最有利于强风暴的情形(阴影部分为强对流天气发生区域)。

#### 2.5.2 探空综合分析

选取清远探空站温度对数压力图表(图 2b)及部分参数进行分析。

探空热力学分析包括:稳定度参数,SI 为 0.39℃,地面抬升指数约为 -2℃,K 为 34℃,表明地面层不稳定而 850 层中性偏稳定,  $T_{850} - T_{500}$  为 22℃显示中层大气温度直减率较小,850 hPa 露点为 15℃,700 hPa 温度露点差为 3℃显示低层湿度

表 4 探空分析主要内容  
Table 4 Brief introduction to sounding analysis

分析内容	分析建议
稳定度参数(LI\SI\BLI\KI)	湿层低于 850 hPa 时 SI 可能失去代表性;处于地面冷区、存在逆温层或高架雷暴的情况 LI 可能失去代表性;海拔高于 700 hPa 地区 BLI 可能失去代表性;参考 KI 时,关注所分析区域垂直温差和低层湿度贡献度的差异影响。
湿层分析	上下干湿型且湿层厚度超过 100 hPa 有利于强对流;中低层湿层深厚时,需要关注上游地区中高层干平流,存在干平流时有利于风雹类强对流,不存在干平流时有利于强降水类强对流;上湿下干型通常不利于强对流。
探空热力学 $\theta_{se}$ 廓线	$\theta_{se}$ 在对流层低层出现极大值同时中层出现极小值时,表明层结不稳定;关注 $\theta_{se}$ 廓线变化,当 $\theta_{se}$ 极小值增大且极小值高度增加时,反映低层湿层增厚且有抬升运动,预示强对流即将发生。
对流抑制与抬升条件关系	关注对流抑制能量 CIN 因地面温湿改变而发生的变化;关注能够克服 CIN,触发对流天气的抬升条件。
对流有效位能(CAPE)与上升速度关系	参考 CAPE 估计对流的上升运动峰值速度;关注 CAPE(尤其在 -20~0℃ 层之间的部分)对估计冰雹大小的参考意义;关注对数压力图上 CAPE 对应正面积的高宽比形态,宽矮型比窄高型更有利于强对流。
下沉对流有效位能(DCAPE)与下沉运动关系	关注满足强对流条件时 DCAPE 的大小,DCAPE 越大越可能出现强的雷暴大风。
探空动力学 强垂直风切变的有利情况	在不稳定层结和水汽条件满足的情况下,强的垂直风切变(包括 0~1 km、0~3 km、0~6 km)是强风雹类对流系统发展的必要条件;0~3 km 强垂直风切变利于超级单体风暴的产生;0~1 km 强垂直风切变利于在强风暴系统中出现龙卷。
强垂直风切变的不利情况	对流不稳定条件较弱的情况下,强垂直风切变是强对流天气发生发展的不利条件;强垂直切变对产生非风雹类的强降水型对流系统不利;低空切变较弱,但高空切变较强的环境,不利于强对流天气的发生和维持。
水平风向垂直变化	根据热成风原理,水平风向随高度顺时针旋转表明有暖平流,风向随高度逆时针旋转则表明有冷平流。须关注低层风向顺转而高层风向逆转的情况,对应于低层暖平流高层冷平流,有利于强对流天气发生。

大,分析表明层结总体处于弱不稳定。湿层分析,从地面以上超过 370 hPa 的气层都非常湿,600 hPa 以上到 350 hPa 的中高层非常干,湿层是典型的下湿上干且湿层足够厚的有利于强对流型。对流抑制情况,CIN 只有  $13.6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,对流抑制很容易被克服,对流启动只需要较弱的抬升条件。CAPE 与上升运动,CAPE 为  $665.5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,并非很显著。DCAPE 与下沉气流,中层干燥 DCAPE 较大利于雷暴大风发生。

探空动力学分析:近地层风速较小同时中层存在急流,说明 0~3 km 和 0~6 km 垂直风切变很强,在具备较强的不稳定能量的情况下十分有利于风雹类强对流天气产生,且出现超级单体对流系统的可能性较大。

综合分析:从早晨 08 时的探空分析,清远地区下湿上干,湿层较厚,在温度直减率较小的情况下层结不稳定,考虑午后近地面温度上升,且高空槽后冷平流明显,温度直减率将会增大,在低层高湿情况下有利于不稳定能量迅速增加,同时 0~3 km 和 0~6 km 垂直风切变较大,环境条件有利于出现强风雹类强对流天气。

### 3 MICAPS 3 中尺度天气主观分析工具箱改进

MICAPS 3 的中尺度天气主观分析工具箱是进行对流天气主观分析的必备工具。国家气象中心对 MICAPS 3 的中尺度天气主观分析工具箱改进主要包括三个部分(见图 3):调整了中尺度分析标注符号,可动态生成中尺度分析图例,可增加标题和 LOGO。

新版 MICAPS 3 的分析工具箱以最新修订的中尺度分析业务技术规范为标准,调整了部分分析标注符号,进行了增删和美化。

对编辑图层中所绘制的中分析标注符号进行自动识别,并在产品界面“左下角”添加相应的图例说明,见图 3。在“属性配置”菜单中增加“符号图例设置”相关选项,可随时生成并更新图例内容,图例位置及图例的列数等默认设置可根据需求调整。

工具箱新增功能可在分析产品界面左上角增加分析单位 LOGO,以及中央上方位置增加主标题和副标题内容,在“属性配置”菜单中增加“标题和 LOGO 设置”相关选项(蓝色方框区域),可根据用户

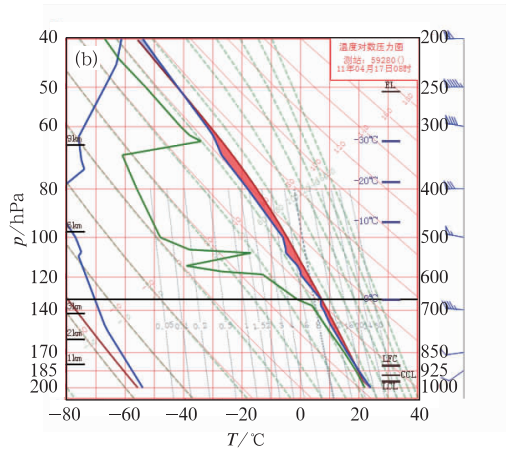
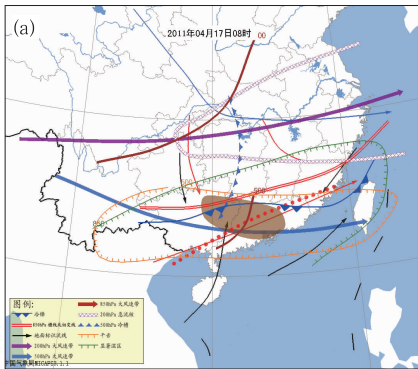


图 2 2011 年 4 月 17 日 08 时主观综合分析图(a),2011 年 4 月 17 日 08 时清远探空 T-logp 图(b)  
 Fig. 2 Comprehensive map of subjective mesoanalysis (a), and sounding analysis of Qingyuan Station (b) at 08:00 BT 17 April 2011



图 3 MICAPS 中尺度天气主观分析工具箱  
 Fig. 3 MICAPS toolkit for subjective mesoanalysis

需求设置标题显示属性,并修改其中文字内容。

### 4 中尺度天气分析产品集成系统

中尺度天气分析业务的不断发展与完善,必须有高度集成的中尺度天气分析工具以及便利的主观、客观分析产品显示和共享平台系统作为技术支撑,因此对中尺度天气综合分析及产品集成系统的开发,也是开展中尺度分析业务技术建设的重要一环。

2012 年强天气预报中心结合目前的中尺度天气分析业务现状和需求,着重开发了包括强对流天气监测、中尺度分析主观和客观产品、针对不同模式的强对流参数诊断产品、基于数值预报产品的强对流客观预报等在内的中尺度天气分析产品集成系统,方便预报员快速调阅使用。强对流天气监测数据产品基于多源观测资料(常规和非常规资料)由强对流天气综合监测业务系统(郑永光等,2013)生成;

中尺度天气客观分析数据产品主要以郑永光等(2011)建设的客观分析诊断技术为基础以 Cressman 逐步订正法对常规地面观测资料和探空资料进行诊断分析生成,主要包括基本物理量、平流物理量、假相当位温和稳定度等。

中尺度天气综合分析图形系统是在配料法分析思路的基础上,针对不同的中强对流天气类型,开发了包括实况观测资料、模式分析产品以及主观分析等多种产品叠加显示的对流条件综合图分析产品。

产生不同类型强对流天气的环境场条件各不相同。为在中尺度天气分析业务中进一步明确分类强对流的分析方法,指导预报员快速形成分类强对流的分析思路,将表征不同类型强对流条件的实况观测资料以及模式分析产品进行叠加显示,自动生成一系列的对流条件的单要素图和综合图产品,供预报员在业务中进行快速调用和预报分析。

单要素图如表征不稳定条件的最优抬升指数 BLI 和最不稳定层对流有效位能 BCAPE 等。综合分析图实例如图 4,用整层可降水量、最优抬升指数和 925 hPa 风场叠加作为分析短时强降水的综合图(图 4a),用最不稳定层对流有效位能 BCAPE、零度层高度和 500 hPa 风场叠加作为分析冰雹的综合图(图 4b),用下沉对流有效位能 DCAPE、最不稳定层对流有效位能 BCAPE 和 500 hPa 风场叠加作为分析雷暴大风的综合图(图 4c)等。

### 5 结论和讨论

2011—2012 年国家气象中心强天气预报中心在中尺度分析业务技术方面取得了重要进展,主要

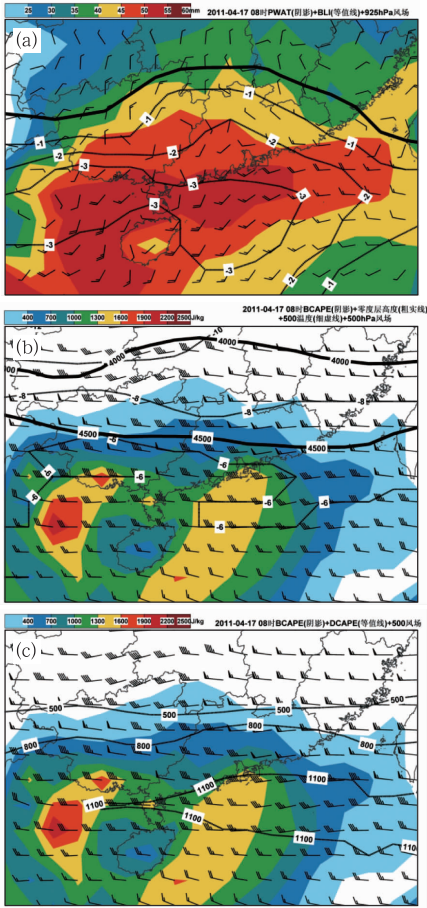


图 4 基于数值预报产品的分类强对流天气中尺度分析客观产品  
(a) 短时强降水综合图(填色 PWAT, 等值线 BLI, 925 hPa 风场), (b) 冰雹综合图(填色 BCAPE, 粗实线零度层高度, 细实线 500 hPa 温度, 500 hPa 风场), (c) 雷雨天大风综合图(填色 BCAPE, 等值线 DCAPE, 500 hPa 风场)

Fig. 4 Objective analysis products for different kinds of convective weather based on NWP  
(a) comprehensive map for short-time severe rainfall (PWAT-color shaded, BLI-isoline, 925 hPa wind-vector), (b) comprehensive map for hail (BCAPE-color shaded, height of 0°C-thick line, 500 hPa temperature-thin isoline, 500 hPa wind-vector), (c) comprehensive map for convective gust (BCAPE-color shaded, DCAPE-isoline, 500 hPa wind-vector)

包括:修订和完善了中尺度天气分析业务技术规范;改进了 MICAPS 3 中尺度分析工具箱;中尺度客观天气分析产品集成系统开发取得了初步成果。

新规范以配料法思路为基础精简了对流天气环境场条件分析,增加了分类强对流天气分析量化指

标建议,新增了基于局地探空的强对流天气分析规范。在对流天气环境场条件分析规范的基础上,对于不同类型的强对流天气,开发了包括实况观测资料、模式分析产品等多种产品叠加显示的综合图产品和显示系统。

目前修订的《中尺度天气分析业务技术规范》是在国家级对流天气分析业务制作的基础上发展的,虽然也考虑了地方气象台站的应用需求,但主要适用于国家气象中心开展的对流天气分析和短期落区预报业务,各地方台站在开展相关业务时可以参考使用。

## 参考文献

- 湛芸,孙军,徐珺,等. 2012. 北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考. 气象, 38(10):1255-1266.
- 大气科学辞典编写组. 1994. 大气科学辞典. 北京:气象出版社.
- 方翀,毛冬艳,张小雯,等. 2012. 2012 年 7 月 21 日北京地区特大暴雨中尺度对流条件和特征初步分析. 气象, 38(10):1278-1287.
- 何立富,周庆亮,湛芸,等. 2011. 国家级强对流潜势预报业务进展与检验评估. 气象, 37(7):777-784.
- 陆汉城. 2000. 中尺度天气原理和预报. 北京:气象出版社.
- 寿绍文,励申申,徐建军,等. 1997. 中国主要天气过程的分析. 北京:气象出版社.
- 寿绍文,刘兴中,王善华,等. 1993. 天气学分析基本方法. 北京:气象出版社.
- 俞小鼎. 2012. 2012 年 7 月 21 日北京特大暴雨成因分析. 气象, 38(10):1313-1329.
- 俞小鼎,姚秀萍,熊延南,等. 2005. 多普勒天气雷达原理与业务应用. 北京:气象出版社.
- 章国材. 2011. 强对流天气分析与预报. 北京:气象出版社.
- 张涛,方翀,朱文剑,等. 2012. 2011 年 4 月 17 日广东强对流天气过程分析. 气象, 38(7):814-818.
- 张小玲,湛芸,张涛,等. 2012. 对流天气预报中的环境场条件分析. 气象学报, 70(4):642-654.
- 张小玲,张涛,刘鑫华,等. 2010. 中尺度天气的高空地面综合分析. 气象, 36(7):143-150.
- 郑永光,陈炯,沃伟峰,等. 2011. 改进的客观分析诊断图形软件. 气象, 37(6):735-741.
- 郑永光,林隐静,朱文剑,等. 2013. 强对流天气综合监测业务系统建设. 气象, 39(2):234-240.
- 郑永光,张小玲,周庆亮,等. 2010. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战. 气象, 36(7):33-42.
- Charles A. Doswell III. 1982. The Operational Meteorology of Convective Weather Volume I: Operational Mesoanalysis, National Severe Storms Forecast Center.
- Crisp Msgt Charlie A. 1979. Training guide for severe weather forecasters. AFGWCTN-79/002. United States Air Force, Air Weather Service (MAC), Air Force Global Weather Central.
- Miller Robert C. 1972. Notes on an analysis and severe-storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central, Technical Report 200 (Rev). Air Weather Service (MAC) United States Air Force.