

具有复杂地形适应能力的INCA短临预报系统介绍

解小寒¹ 王勇² 郭倩¹

(1 苏州市气象局, 苏州 215131; 2 奥地利气象局, Vienna 1190)

摘要: INCA是由奥地利国家气象局发展的具有复杂地形适应性的短临集成分析预报系统,也是世界天气研究计划预报示范项目INCA-CE推荐的短临业务系统,已经在十几个国家和地区得到广泛应用。INCA构建高分辨系统地形、地表层指数和垂直坐标系,在分析中结合地面实况和遥感资料,一方面保证分析中实况信息得以准确保留,另外一方面利用遥感资料来提供基于实况插值的空间结构。INCA短临预报中使用了经典的相关运动矢量外推方法,并引入了地形影响方案。由于INCA系统实现了对山区地形的精细化描述,进而充分考虑了地形对要素场的影响,INCA在地形复杂的山区具有一定优势,在有着山洪地质灾害隐患的地区将能发挥较好的短临预警作用。INCA在强对流预报中发展了基于INCA分析场对流参数组合和卫星产品的决策算法来实现对流生消预报。还发展了一个雷暴大风物理参数化预报方案,主要基于雷达观测和短临预报来估算降水粒子载荷和负浮力,进而预报雷暴大风。对INCA分析和预报进行了验证检验,在短临时段对数值模式有明显提升,INCA对流算法对纯外推预报有所改进。

关键词: 短临集成分析预报系统, 复杂地形适应, 对流预报

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.03.006

Introduction to the INCA Nowcasting System with Complex Terrain Adaptability

Xie Xiaohan¹, Wang Yong², Guo Qian¹

(1 Suzhou Meteorological Bureau, Suzhou 215131 2 Central Institute for Meteorology and Geodynamics, Vienna 1190)

Abstract: This paper presents the INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) system, which has been developed with complex terrain adaptability at the Austrian National Weather Service. As the proposed nowcasting system by WWRP/WMO Forecast Demonstration Project INCA-CE, it has been widely used in more than ten countries and regions in the world. INCA sets up high resolution system terrain, surface-layer index and vertical coordinates. The analysis part of the system combines surface station data with remote sensing data in such a way that the observations at the station locations are reproduced, whereas the remote sensing data define the spatial structure of meteorological variables through interpolation. The nowcasting part employs classical correlation-based motion vectors derived from previous consecutive analyses, and in the case of precipitation the nowcast includes an intensity-dependent elevation effect. Because the INCA system implements the fine description of the mountainous terrain and takes full account of the influence of terrain on the element fields, INCA has certain advantages in the mountainous area with complex topography. It can do well as a technical nowcasting and warning system in areas at risk of mountain torrents and geological disasters. INCA improves nowcasting of convective cells by using a decision algorithm which is based on a subset of the convective analysis fields, combined with satellite products. A physical approach of parameterizing gusts related to thunderstorms was developed. Intense downdrafts and convective outflow are partially determined by the amount of negative buoyancy and precipitation load, which are assessed from radar reflectivity observations and nowcasts. Cross validation of the analysis and verification of the nowcast are performed. Analysis quality is high and significant added value of the system compared to the NWP forecast is found in the first few hours of the nowcast. It is shown that the pure translational forecast of convective cells can be improved by using a decision algorithm of some key convective diagnostics, and the improvement is particularly evident in mountain areas.

Keyword: Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) system, complex terrain adaptability, forecast of convective cells

收稿日期: 2017年11月12日; 修回日期: 2018年4月9日
第一作者: 解小寒(1981—), Email: feng5252@hotmail.com

0 引言

随着时代发展,公共安全、重大活动保障和社会日常生活对短时临近时段精细化天气预报和灾害性天

气预警的要求越来越高,对于降水、温度、风场、湿度、云量等多要素的精细化预报和强对流天气的短临预警提出了更高的要求。

我国幅员辽阔、强对流天气频发,突如其来的强天气经常导致重大人员伤亡和巨大经济损失。例如:2016年6月23日14时30分左右,江苏省盐城市阜宁县遭遇的强冰雹和龙卷双重灾害,截至6月26日09时,共造成99人死亡,846人受伤。另外,我国地形复杂,局地强天气在特定地形、地貌和地质情况下,还可能引发中小河流洪水、泥石流和滑坡等次生灾害。例如:2016年5月28日16时,广东江门台山市凤凰峡旅游区有游客在漂流过程中遇暴雨诱发山洪暴发被洪水冲走,随后确认事故造成8人死亡,10人受伤。

短临预报系统的设计和发展正是为了满足社会公众对短临精细化预报和强对流预警的需求。短临预报方法的基本思路是实时融合各种常规和非常规观测资料并结合数值模式预报,使用欧拉或者拉格朗日方法来模拟大气过程的持续性。大多数短临预报系统都聚焦于降水预报和对流天气。在强对流预报方面,很多短临系统主要利用风场(边界层辐合线理论)进行深对流的发生、发展进行预报,还有基于近地面温度的分析和临近预报来进行对流发展预报。例如世界知名的GANDOLF系统(英国)^[1]、ANC系统(美国NCAR)^[2-4]都具有预报对流演变、新生能力。GANDOLF系统将对流单体分为不同的发展阶段,基于风暴演变概念模型来预测对流活动的变化。ANC系统则基于已经存在的风暴、积云与(雷达观测、数值模式预报的风场)边界层辐合线的相互作用,预报对流单体的生消演变。Wilson等通过比对检验得到以下认识:1)如果系统能更好识别边界层辐合线并用于对流单体临近预报,将优于纯粹外推预报;2)超过1h的短临对流预报,发现有利对流的边界层特征比通过卫星探测到积云活动更有指示意义。郑永光等^[5]经过调研分析国内外主流短临预报技术,认为目前临近预报技术的预报对象主要是对流风暴、雷电和降水,针对分类强对流天气的临近预报技术还存在较多不足;冰雹、雷暴大风、龙卷和短时强降水这些强对流天气的临近预报预警主要综合对流风暴和降水临近预报、强对流天气识别和实况观测进行。

INCA系统^[6-7]是由奥地利国家气象局发展的具有复杂地形适应性的短临集成分析预报系统,也是世界天气研究计划预报示范项目推荐的短临业务系统,已经在十几个国家和地区得到广泛应用。INCA系统在多源资料融合分析、复杂地形对短临天气预报的影

响,以及强对流预报等方面均有独到之处,本文针对INCA系统的设计思路及分析预报检验情况进行了详细介绍。

1 INCA系统

INCA是一个适应复杂地形的,多要素短临实时融合分析和预报系统(图1)。基于考虑复杂地形对实况分析和短临预报的影响,INCA构建了地形坐标系和地表、地形指数。INCA温度、湿度和风场的三维分析场以数值模式输出为初始场,然后结合地面观测实况对初始场进行订正。其他分析场则主要是通过融合遥感(雷达、卫星等)资料和地面实况资料得到的。各物理量场之间保持互相协调。在短临预报方面,INCA将实况分析与模式预报融合,并利用外推法和基于运动矢量误差理论的短时预报方法,给出温、湿、风、降水等多要素的预报。在对流预报中,利用分析场衍生的CAPE、CIN、LCL等多种对流参数,发展了一个基于关键对流参数组合和卫星产品的决策算法来实现对流预报。另外实现了基于雷达观测和短临预报来估算降水粒子载荷和负浮力进而预报雷暴大风。

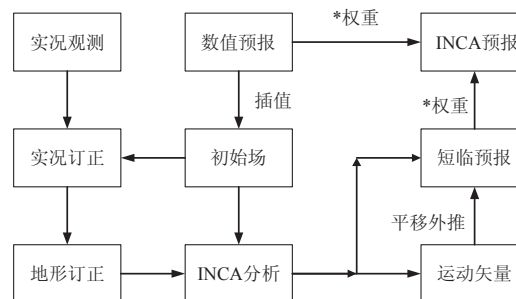


图1 INCA基本流程图

Fig. 1 The basic flow chart of INCA

1.1 INCA 地形坐标系和地形地表指数

INCA使用美国地质调查局的30"数字高程地形数据,通过双线性插值到间隔1km的网格点。在三维物理场,INCA构建了一个Z坐标系,这里Z是相对山谷底部地表(valley floor surface, VFS)的高度(图2),VFS是一种空间上变化十分平缓的参照面,相比真实地形是平滑的,通过这样将实际地形分为基础地形和相对地形。具体方法是首先设定每个格点的最小海拔高度(在10km半径范围内比对),最后的格点场通过一个滑动平均窗口来进行平滑得到。这样,如果是在平原地区,地表将和VFS保持一致。使用VFS作为参照面构建坐标系的主要目的在于方便将数值模式的三维物理量场在山谷地区向下插值到模式输出未能覆盖到的谷地低凹处,同时也为温度和降水垂直廓线的参数

化提供参考高度。垂直方向上层间距为200 m，共21层，这样包括了地表到以上4000 m高度的大气层。INCA还引入了一个无量纲的地表地形指数 I_{SFC} ，该指数用来表征局地地形对地表形态特征的贡献度，变化范围为0~1，在平原或者山谷盆地底部， $I_{SFC}=1$ ，在耸立突出的山峰和山脊这个指数就为0。该指数主要用于保证温度和湿度分析场的实况偏差订正限定在邻近地形特征相似的那些格点位置上，在INCA短临预报中也需要用到这个地形指数。

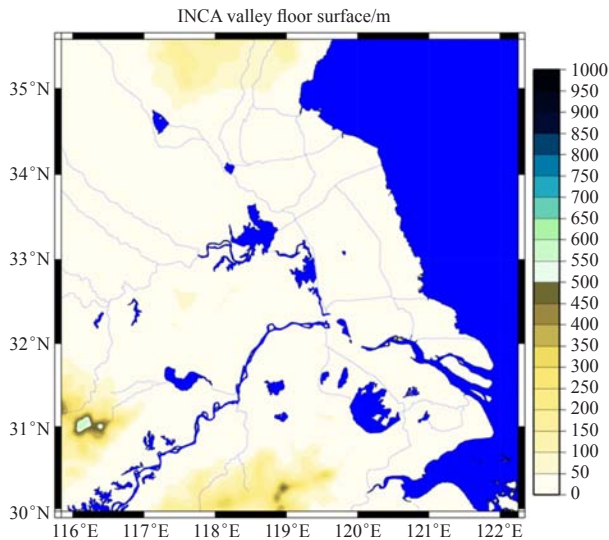


图2 江苏INCA使用的地表（以谷底为参照）

Fig. 2 Valley floor surface in the Jiangsu INCA domain

计算方法如下：对每个格点，以这个格点为中心取一个 7×7 格点的方框，计算范围内比中心点低的所有格点高度的平均值，然后跟这个格点本身的高度做比较。取这两者之差来衡量这个格点相对于周围的突出程度，这个指数被定义为一个高度差的分段线性函数，

$$I_{SFC}(i, j) = \max\{0, \min[1 - \frac{Z_H(i, j) - \overline{Z_H(i, j)}}{Z_S}, 1]\}, \quad (1)$$

式中， Z_S 代表山谷或盆地等地形冷池的标准深度（在不同地区需经过交叉验证重新赋值）。

1.2 温度、湿度和风场分析

INCA温度和湿度的分析处理类似。以温度分析为例，首先将数值预报作为初始值，然后计算地面观测和初始场的误差，并在几何物理空间使用反距离权重法进行空间插值。将数值模式的温度插值到三维INCA格点场的时候，在山地会遇到一个问题：由于数值模式的分辨率较粗，模式预报输出可能不能包含山谷底层大气。因此，这里使用了一个经过修正（考虑了逆温等情况）的最不稳定层结温度梯度，将模式输出的边界底层部分向下延伸到低凹地表处。

INCA的风场同样以三维的数值预报场作为初始

场。INCA在这部分引入了一个转换因子将模式预报的低层风转化为10 m风。该转换因子为随地形变化的经验系数，同时也取决于使用的数值模式，以奥地利的情况为例，在平原和峡谷这个值平均是0.75，在地势突出的地方，可能增加到为0.9。另外存在的问题是，经过实况订正后插值得到的风场不满足质量守恒，但是数值模式直接输出风场又不适应高分辨率的INCA地形场。因此这里使用了一种迭代松弛算法来保证质量守恒。算法中考虑了地形起伏导致空气柱的压缩拉伸，及其对散度的影响。在松弛计算过程，实况站点附近的风矢量保持为观测值。值得一提的是INCA边界层辐合的计算也采用了类似的方法，算法中还充分考虑了山区地形导致的辐合。

1.3 降水分析

INCA降水分析主要依据地面站提供的定量观测和雷达提供的降水空间分布结构，同时考虑了地形的影响。INCA通过以下步骤来得到一个接近真实情况的降水分析场：1) 站点插值，对不规则分布的站点数据用距离权重方法进行插值；2) 雷达数据的气候订正，已经初步去除地物杂波的雷达数据由于距离衰减和地形阻挡等原因还存在误差，这些误差可以利用气候统计订正因子来得到一定程度的纠正；3) 基于最新实况观测再对雷达数据进行校正，这部分主要是考虑雨量计的有限响应时间导致的滞后误差，降水受风场影响降落到地面时位置发生漂移等会导致雷达定位发生一定偏移的情况。对每个站点根据最佳匹配格点计算空间位移矢量，利用这个矢量场将雷达估测降水场进行适当位移，从而更加符合降水实况分布。4) 将站点插值降水场与雷达估测降水场进行融合，一方面保证在站点位置上的降水量同站点实况保持一致，另一方面在雷达探测受局限的地区基本不考虑雷达估测降水场，而除此之外的区域，以雷达估测降水场为主。5) 地形订正，这里考虑了地形起伏对降水分布的影响。6) 最后将前面的合成降水分析场和地形导致的降水增量合并，合并中去除了会重复计算的情况，得到最终的降水分析场。

1.4 运动矢量外推方法及误差过滤

INCA的短临预报，主要是基于观测事实的外推并融合数值模式的预报。在降水方面，使用了相关技术对实况场进行连续分析，从而得到雨团的运动矢量，并订正误差。相关分析窗口的尺度为100 km。通过对比数值模式的500或700 hPa的风场从气象角度过滤掉虚假相关（意味着不可信的过高的平移速度），过滤算法如下：

$$|V_{\text{KORR}}| + |V_{\text{KORR}} - V_{\text{ALA}}| \leq |V_{\text{ALA}}| + 2\Delta, \quad (2)$$

式中, V_{KORR} 是由相关分析计算得到的运动矢量, V_{ALA} 是数值模式500或者700 hPa的风速矢量(选取最接近 V_{KORR} 的), Δ 规定了数值模式风速和运动矢量风速之间允许的偏差。

1.5 对流预报

短临预报的重点是对流预报。为了发展对流预报, 必须考虑引入对流生消机制。众所周知, 对流形成和增强主要考虑层结不稳定、水汽条件, 以及触发抬升机制这三个条件。这三个条件一般是相互独立、各自发展的, 只要这三个要素都能满足并且达到足够程度, 就会有雷暴生成。而当这些条件不再满足, 对流倾向于减弱。这也就是Doswell提出的基于构成要素的预报方法, 即“配料法”。它要求首先确定预报的基本构成要素或者“配料”, 这些构成要素一般是相对独立的基本气象要素。确定合适的构成要素后, 还要给出相应阈值, 只有所构成要素超过所给定的相应阈值才能判定对应的天气事件会发生。要注意的是, 这些阈值往往是随着区域和季节变化的。

INCA使用配料法将预报员经验转化为对流算法。INCA每小时会生成10种对流参数的分析场(抬升凝结高度(LCL)、自由对流高度(LFC)、对流有效位能(CAPE)、对流抑制能量(CIN)、沙氏指数(SI)、抬升指数(LI)、对流触发温度差(DTTRIG)、相当位温、边界层辐合(CON), 以及边界层湿度辐合(MOCON))。此外, INCA还结合了卫星资料来进行判别, 包括可见光产品和云分类产品。

INCA经过测试最后确定了一套最行之有效的方案(表1)。表1中VIS(可见光产品)用来识别还未出现降水但是已经开始出现对流积云的区域, 只有在这些地区未来才可能发生对流。CT(云分类产品)用于来排除虚假的对流区域, 因为有些情况可以明显排除有对流云存在, 例如卫星观测识别出来是陆面积雪、海冰积雪等情况。在对流增强判别条件里, 降水量也必须超过设定阈值, 避免有的情况是插值产生的微量降水被错误判别为对流加强。另外值得一提的是, 国外很多气象学家都将水汽通量散度作为强对流天气的触发因子。如法国的Ducrocq等^[8]认为水汽通量辐合提供了低层抬升和被抬升空气潮湿程度的度量, 可以用水汽通量辐合代替垂直速度确认低层抬升预报。美国Waldstreicher^[9]认为, 湿度通量辐合有助于预报员识别强雷暴可能出现地区, 有助于识别雷暴发展之前的低层强迫地区。因此INCA用水汽通量辐合

MOCON作为对流生消的一个重要判别标准。

表1 INCA对流临近预报算法的决策标准

Table 1 Decision criteria of convective nowcast algorithm in the INCA

产品	对流初生	对流增强	对流减弱
CAPE	>100 J/kg	>50 J/kg	<min(CAPE, 100 J/kg)
MOCON	>2×10 ⁻⁶ s ⁻¹	>2×10 ⁻⁶ s ⁻¹	<0.0 s ⁻¹
VIS	>0.5		
CT	≠[3, 4, 15, 16]	≠[3, 4, 15, 16]	
CIN	<200 J/kg	<200 J/kg	
DTTRIG	>-2 K	>-2 K	
RR		>0.2 mm/h	>0.0 mm/h

这样INCA将每个格点先判断分成可发生对流和不可能发生对流两种情况。对于每个可能发生对流的格点, 再进行判别, 是否满足对流初生、增强或者减弱的条件。这里给出INCA短临对流降水预报流程: 1) 降水分析场在一个时间步长内沿着计算出的运动矢量方向移动。2) 如果完全满足表1中的对流生消条件, 则新的格点使用模式设定的算法计算新的对流降水强度; 不满足对流生消的格点将不作改变。3) 修改后的场在接下来一个时间步长沿着运动矢量方向移动, 对流降水强度在新的格点更新计算。4) 在整个短临预报时效内重复这个过程。所有3种过程(对流初生、对流增强、对流减弱)的强度变化均采用一种随时间的高斯变化来进行模拟。

1.6 雷暴大风预报

雷暴大风预报是短临强对流预报的一个重要方面, 而绝大多数雷暴大风是由雷暴内的强烈下沉气流所致。强烈下沉气流的产生主要受到降水粒子负载、浮力和垂直扰动气压梯度力等因素的影响^[8], 其中前两项的影响较大。降水粒子负载总是导致向下的加速度, 往往是导致雷暴内下沉气流的触发原因。浮力项可正可负, 如果对流层中层或中上层存在明显干层, 则由降水负载发动的下沉气流由于雷暴周边干空气的夹卷进入使得雨滴或冰雹迅速蒸发造成下沉气流降温, 雷暴下沉气流内温度明显低于环境温度而产生向下的负浮力将导致下沉气流加速下降。INCA主要基于对雷暴大风环境条件的诊断分析, 发展了基于雷达探测资料和INCA短临预报来计算降水粒子负载、负浮力这两项所代表的潜能, 进而估算地面出流最大阵风的算法。虽然这种算法不能完全准确地模拟雷暴下沉气流和地面出流大风的整个物理动力机制, 也很难直接预报出龙卷, 但在雷暴大风预警防灾方面还是可以发挥积极作用。例如在6·23阜宁龙卷过程中, INCA系统14:06预报的在14:30盐城地区的极大风力和极

大风力中心落区虽然和实况（14：30左右阜宁县新沟镇等地出现12级大风，而阜宁龙卷经专家组判定等级为EF4级，风力超过17级）有偏差（图3），但提前二十多分钟便预警阜宁地区将受到8~11级雷暴大风的影响，另外在13：40就提前50 min预报阜宁地区将有7~9级雷雨大风，因此在雷暴大风预警防灾方面还是可以起到积极作用的。

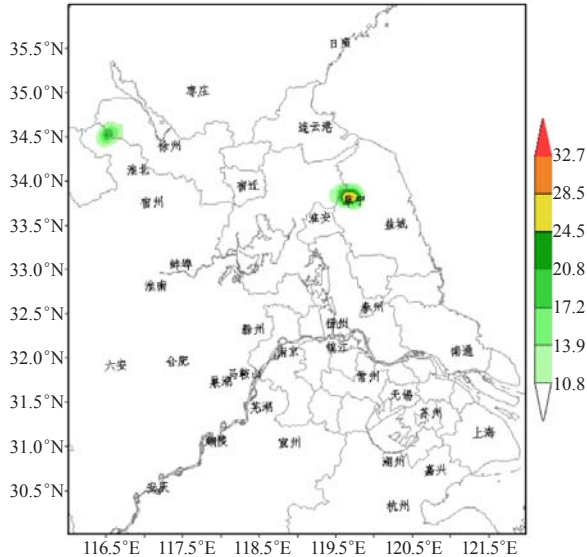


图3 2016年6月23日14：30苏州INCA对流阵风预报（起报时间14：06）

Fig. 3 The INCA forecast for Suzhou convective gusts at 14:30 BT on 23 June 2016 (Initial time was 14:06 BT 23 June 2016)

2 验证与检验

2.1 分析场检验

表2给出了INCA在江苏2016年夏季和冬季温度、风场、降水这几个要素的分析场交叉验证结果。以温度为例，平均温度偏差（Bias）接近于0，这不但是对所有站点的平均，对每个站点单独检验也是类似结果，多年平均的情况是这种偏差小于0.3℃。对于平均绝对误差（MAE）和均方误差（RMSE）来说，冬季往往比夏季高，这可能是因为在冬季经常出现大气层结稳定或者逆温的情况。

表2 江苏INCA冬、夏季单月分析交叉验证结果

Table 2 Results of Jiangsu INCA analysis cross validation for a summer and a winter month

要素	夏季			冬季		
	Bias	MAE	RMSE	Bias	MAE	RMSE
T/℃	0.0	1.0	1.5	0.0	1.2	1.9
U/(m/s)	-0.1	1.2	1.6	0.1	1.1	1.7
V/(m/s)	0.2	1.3	1.3	0.3	1.2	1.2
RR/mm	0.02	0.04	0.25	0.01	0.03	0.15

2.2 短临预报检验

相比数值模式预报，INCA在短临时段的预报效果有明显提升。这里给出了2017年江苏夏季INCA系统检验的结果：1）INCA在0~2 h的晴雨预报准确率平均为90.4%（图4），同期数值模式24 h晴雨预报准确率平均为75.7%。2）INCA在0~2 h的温度预报准确率平均为91.9%（图5），同期数值模式24 h的温度预报准确率平均约为82.8%。

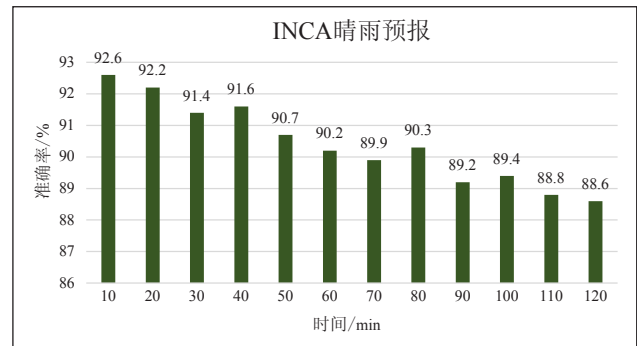


图4 江苏2017年夏季INCA（0~2 h）短临晴雨预报准确率
Fig. 4 The 0-2 hours accuracy rate of rainy and shine weather nowcasting by Jiangsu INCA for Summer 2017

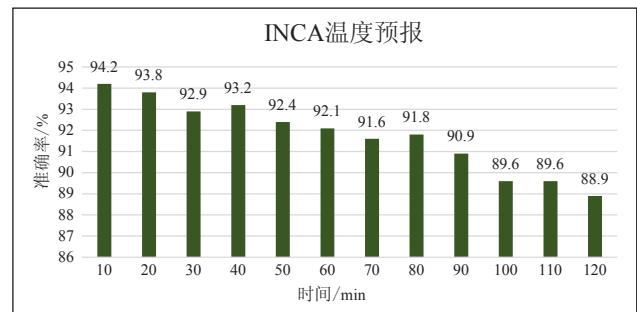


图5 江苏2017年夏季INCA（0~2 h）温度预报准确率
Fig. 5 The 0-2 hours accuracy rate of temperature nowcasting by Jiangsu INCA for Summer 2017

2.3 对流算法与纯外推短临降水预报对比检验

选取了4种短临降水预报方案来对比检验不同地形条件下对流降水算法以及几种数值模式性能，4种短临降水方案分别为：纯平移外推短临降水预报（TRANS），以及分别使用奥地利的ALADIN、AROME、ALARO等3种区域数值模式预报作为背景初始场的对流算法短临降水预报。试验区域选取东西地形差异明显的奥地利地区，奥地利东部为地形复杂的阿尔卑斯山区，西部为平原地区。共选取了奥地利地区15个雷暴个例。每个雷暴日短临降水预报的预报时效为6 h。根据地形特征将模式预报区域分为34块小区域。在模式预报时效内（6 h），计算各个区域的降水平均值，然后对4种短临预报进行比较。

图6 显示了4种短临降水预报的均方根误差对比结果。该均方根误差是各个短临预报在整个预报场的均方根误差平均值。总的来看,采用AROME背景的对流算法短临降水预报结果最差,这说明AROME模式还有待改进。而另外两种采用对流算法的短临预报(ALADIN和ALARO背景场)表现比较接近,

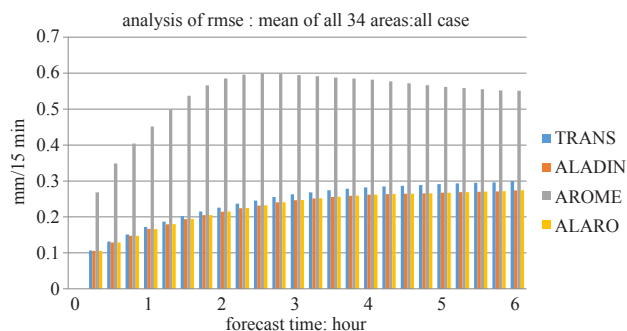


图6 4种短临预报的均方根误差(场平均)对比图

Fig. 6 RMSE of 4 precipitation nowcasts (a translational precipitation nowcasts, and 3 convective precipitation nowcasts with ALADIN background, AROME background and ALARO background respectively) for the whole forecast fields and all dates of the 15 investigated days

对流算法短临预报(ALADIN背景场)基本都表现较好,而6 h短临预报检验对比结果基本与之类似。

随后排除AROME方案,从34片区域中选取了2块区域,分布代表典型的阿尔卑斯地区(山区)和非阿尔卑斯地区(平原)来进行对比检验剩下的3个方案。检验结果表明,无论山区或平原地区,对流算法均优于平移算法的短临降水预报,特别是在山区表现更好一些,原因可能是INCA考虑了地形的影响,能够分析出山区地形导致的风场辐合。

3 结论

做为一套技术成熟并广泛应用的短临预报业务系统,INCA系统在实况分析技术、外推预报技术、融合数值预报技术以及对流概念模型预报技术等^[1-18]方面均有其独到之处。

INCA认为要做好短临预报,首先需要得到一个高分辨率高质量的实况分析场,而且必须考虑复杂地形(山脉峡谷)起伏对短临预报的影响。INCA因而构建了高分辨系统地形,地表层指数和垂直坐标系。通过综合地面自动站资料、遥感探测资料(雷达、卫星)、数值预报模式预报和高分辨率地形资料,一方面保证分析中实况信息得以准确保留,另外一方面利用遥感资料来提供基于实况插值的空间结构,进而实时提供高分辨率多要素互相协调的三维实况分析场。

并且几乎在各个时刻都优于采用平移算法的短临预报(TRANS)。图7给出了0~1 h对流算法短临预报(ALADIN背景场)与平移算法短临预报的相对均方根误差分布。低于100(%)的数值表示对流算法短临预报(ALADIN背景场)表现更佳,反之平移算法短临预报表现更好。由图7可见,0~1 h绝大多数地区

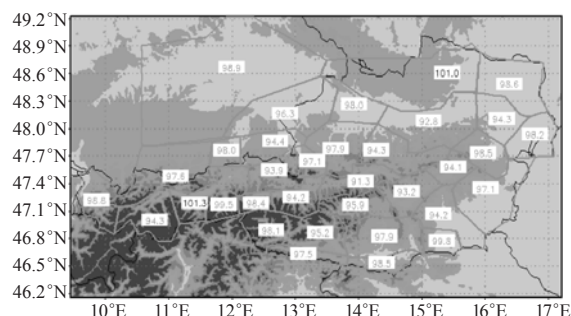


图7 0~1 h对流算法短临预报(基于ALADIN背景场)与平移算法短临预报的相对均方根误差分布,数值低于100(%)的地区表明对流算法预报效果更好,反之则平移算法更好

Fig. 7 Relative RMSE of the first hour convective precipitation nowcasts with ALADIN background compared to the translational precipitation nowcasts for all dates of the 15 investigated days. Those < 100 (%) denote that the convective nowcasts were better than that by the translational method on average, and vice versa

而在短临要素预报中INCA使用了外推方法融合数值模式预报,并引入了地形影响方案。经过验证和检验,INCA实况场分析质量良好,短临时段的预报对数值模式有明显提升,例如能够分析出山区地形导致的风场辐合,进而综合其他判定依据预报出地面辐合导致的对流触发和增强。总的来看,INCA系统设计适应地形复杂的山区,在山洪地质灾害隐患地区的短临预警上具有一定优势。

在短临对流预报方面,INCA首先基于精细化的温度、湿度、风场等实况分析场,提取生成了一系列的对流参数分析场。发现对于对流短临预报来说,最重要的几项对流参数是CAPE、CIN、水汽辐合和对流温度差等,同时还需要卫星产品来辅助判别对流单体的生消。在此基础上提出了一种基于高分辨的几项关键对流诊断量分析来进行短临对流预报的方法(类似配料法)。通过短临降水预报检验,使用这种基于关键对流参数组合和卫星产品的决策算法可以改进纯外推预报。此外INCA还基于对雷暴大风环境条件的诊断分析,发展了基于雷达探测资料和INCA短临预报来计算降水粒子负载、负浮力这两项所代表的潜能进而估算地面出流最大阵风的算法。虽然这种算法不能完全准确模拟雷暴下沉气流和地面出流大风的整个物

理动力机制，但经过试用在雷暴大风预警防灾方面可以发挥积极作用。

参考文献

- [1] Pierce C E, Collier C G, Hardaker P J, et al. GANDOLF: a system for generating automated nowcasts of convective precipitation. *Meteorological Applications*, 2000, 8: 341-360.
- [2] Wilson J W, Crook N A, Mueller, et al. Nowcasting thunderstorms: a status report. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1998, 79: 2079-2099.
- [3] Cai H, Wilson J, Pinto J, et al. Developing NIWOT: a regional 1-6 hr short-term thunderstorm forecast system. *The Fifth International Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon*, Boulder, USA, Oct 31st-Nov 3rd, 2006.
- [4] Dixon M, Wiener G. TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis, and nowcasting-A Radar-based Methodology. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1993, 10: 785-797.
- [5] 郑永光, 周康辉, 盛杰, 等. 强对流天气监测预报预警技术进展. *应用气象学报*, 2015, 26(6): 641-657.
- [6] Haiden T, Kann A, Wittmann C, et al. The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) system and its validation over the eastern Alpine Region. *Weather and Forecasting*, 2011, 26: 166-183.
- [7] Steinheimer M, Haiden T. Improved nowcasting of precipitation based on convective analysis fields. *Advances in Geosciences*, 2007, 10: 125-131.
- [8] Ducrocq V, Tzanos D, Senesi S. Diagnostic tools using a mesoscale NWP model for the early warning of convection. *Meteorological Applications*, 1998, 5: 329-349.
- [9] Waldstreicher J S. Guide to utilizing moisture flux convergence as a predictor of convection. *National Weather Digest*, 1989, 14: 20-35.
- [10] 俞小鼎, 周小刚, 王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展. *气象学报*, 2012, 70(3): 311-337.
- [11] Sun J, Crook N A. Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. Part I: Model development and simulated data experiments. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1997, 54: 1642-1661.
- [12] Sun J, Crook N A. Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. Part II: Retrieval experiments of an observed Florida convective storm. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1998, 55: 835-852.
- [13] Wolfson M M, Dupree W J, Rasmussen R, et al. Consolidated Storm Prediction for Aviation (CoSPA), AMS 13th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, New Orleans, LA, 2008.
- [14] 陈明轩, 俞小鼎, 谭晓光, 等. 对流天气临近预报技术的发展与研究进展. *应用气象学报*, 2004, 15(6): 754-766.
- [15] 韩雷, 王洪庆, 谭晓光, 等. 基于雷达数据的风暴体识别、追踪及预警的研究进展. *气象*, 2007, 33(1): 3-10.
- [16] 曾小团, 梁巧倩, 农孟松, 等. 交叉相关算法在强对流天气临近预报中的应用. *气象*, 2010, 36(1): 31-40.
- [17] 郑永光, 张小玲, 周庆亮, 等. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战. *气象*, 2010, 36(7): 33-42.
- [18] Li P W, Wong W K, Cheung P, et al. An overview of nowcasting development, applications, and services in the Hong Kong Observatory. *Journal of Meteorological Research*, 2014, 28(5): 859-876.

气象出版社生态环境类图书出版情况

■ 陈凤贵 徐秋彤 张莹莹

气象出版社坚持以气象图书服务国家建设、服务大众需求的理念，在出版社成立后的几十年里组织出版了若干种生态环境相关主题的图书，为推动生态环境建设发挥了积极作用。

20世纪90年代以来，气象出版社共出版气象生态环境主题图书147种，各年度出版的气象生态环境主题图书种数分布情况见图1。可以看出，从1997年起，此类图书的出版种数明显增加，表明生态环境领域受到越来越多专家、学者的关注，并开展了相关的技术研究。

根据图书用途、性质及表现形式等标准，可以把这147种图书划分为专著、科普、教材、文集、译文、图集和其他7类。其中专著类图书占绝大多数，达到105种，占比达到71%，侧面反映了生态环境研究项目多、成果多；占比次之的是教材类图书，为17%，说明大中专院校使用的教材种类多，生态环境教学用书选择余地较大；科普类、文集类、译文类、图集类与其他都属于小众类，占比均不超过

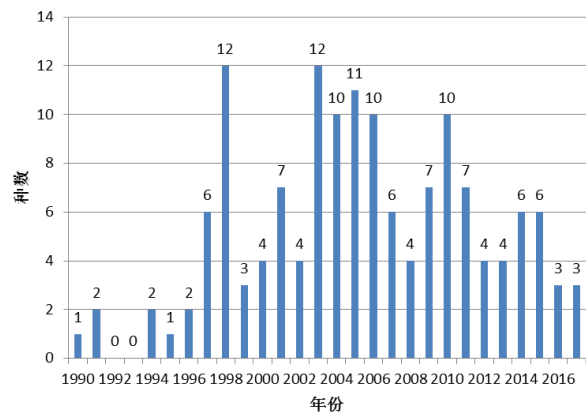


图1 1990—2017年出版气象生态环境主题图书的种数

5%。建议生态环境方面的科普等小众类图书加大创作力度、加快出版进度，提高质量、增加数量，为宣传、普及生态环境知识提供支持。

(作者单位：气象出版社)