

应用 LAPS 系统分析风、温度、云和降水

范蕙君

(国家气象中心)

摘要 美国国家海洋大气局环境研究院的预报系统实验室(NOAA/ERL/FSL)建立了一个新的中尺度分析系统,称为局地分析和预报系统(Local Analysis and Prediction System)。其目的是为了改进0—6小时的短时天气预报。这是一个实时的资料同化、处理系统,它可以将各种不同来源的气象信息,经过四维同化处理,生成每小时一次的实时产品,其水平格距为10公里,垂直分辨率为50百帕。产品包括风、温度、云和降水等,以及众多的二级产品。生成的产品一方面在计算机屏幕上显示,供预报员制作局地天气预报使用。同时,也用于中尺度数值预报。这个系统将于九十年代末在全美国推广。

关键词 局地分析和预报系统 四维同化三维气象要素场

1 引言

为了改进0—6小时的短时天气预报,美国国家海洋大气局环境研究院预报系统实验室(NOAA/ERL/FSL)建立了一个新的中尺度分析系统,称为局地分析和预报系统^[1,2](Local Analysis and Prediction System 以下简称 LAPS)。这个系统将常规天气资料、中尺度观测网的数据(FSLNET)、航空天气站观测资料(SAO)、气象卫星资料、多普勒雷达资料、无线电声探测系统(RASS,简称廓线仪资料)、飞机报告等众多的气象信息,经四维同化处理,生成水平格距为10公里,垂直分辨率为50百帕,每小时一次的分析产品。其产品主要有风、温度、湿度、气压、云和降水,以及一些二级产品。

LAPS 先从科罗拉多州的东北部及邻近地区开始,随后扩展到其它地区^[3],九十年代末期将在全美国范围应用。其范围大小主要取决于计算机资源。下面以科罗拉多州东北部及邻近地区的 LAPS 为例,给出风、温度、

云和降水的分析。

2 LAPS 系统的资料系列

在 LAPS 系统中,主要资料^[4,5]来自:

- 每5分钟间隔的地方观测站的地面资料;
- 每60分钟间隔的北美大陆航空站的地面资料;
- 每5分钟间隔的 FSL 中尺度网观测资料;
- 每6分钟间隔的多普勒雷达立体扫描资料;
- 每60分钟间隔的无线电声探测系统(Radio Acoustic Sounding System 简称 RASS)的风和温度垂直分布;
- 每5或30分钟间隔的可见光图像,每90分钟间隔的多通道云图资料及反演的探空资料;
- 不定时的飞机报告。

九十年代末期,在多数美国气象台都将有上述资料。

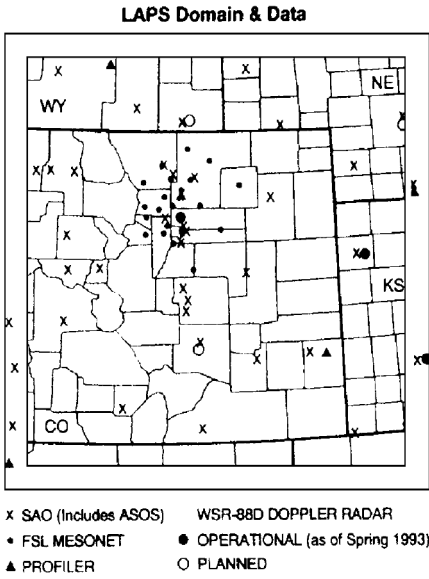


图1 科罗拉多州和邻近地区的 LAPS 范围及各种资料布点。×地面航空站和地面自动观测站，•预报系统实验室中尺度网观测点，▲廓线仪，●从1993年春开始已投入运行的 WSR-88D 多普勒雷达，○计划建立的 WSR-88D 多普勒雷达

图1给出科罗拉多州及其邻近地区 LAPS 的范围，各种资料的布点^[4]。

3 风分析

在 LAPS 系统中，风分析主要包括三维风场分析，以及众多的二级风产品。

3.1 三维风场

三维风场的地面风资料来自地面观测和中尺度网的观测报告，高空风资料来自飞机报告和廓线仪的风垂直资料。由上述观测资料得到风分析的观测资料场。分析初估场采

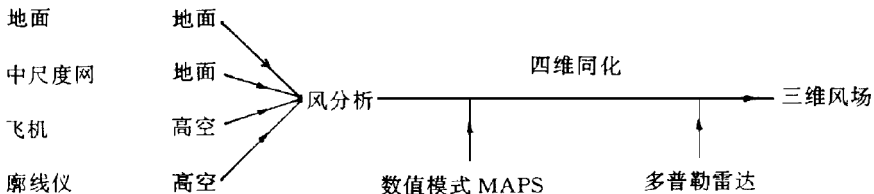


图2 风分析流程

用 MAPS (Mesoscale Analysis and Prediction System) 的6小时预报结果插值而来。再加上多普勒雷达观测的风场资料一起进行四维同化，得到三维的风场(见图2)。

3.2 风场导出的二级产品^[4]

- u, v 水平风速。

- 垂直速度 由水平风分析导出垂直速度，用散度场的垂直积分得到垂直速度，再加上地形引起的垂直速度。

- 地面—300hPa 层平均风矢量和风暴运动 地面—300hPa 层平均风矢量是采用质量加权平均计算出来的。根据计算出的整层平均风与风暴中心移动轨迹结合起来，算出风暴的运动场。对于回波达到30dBZ 以上的对流区，风暴中心移动轨迹矢量表示风暴的运动方向。否则，就用地面—300hPa 层平均风矢量表示风暴的运动方向。

- 螺旋度 用来指示强天气发生的可能性，用 $H = \vec{V} \cdot \zeta_{\text{水平}}$ 表示。其中， H 为螺旋度， \vec{V} 为相对风， $\zeta_{\text{水平}}$ 为水平涡度。当风随高度顺转，且垂直切变大的地方，螺旋度就大，有利于超级对流单体的发展。Davies-Jones 等将 $H = 150\text{m}^2\text{s}^{-2}$ 作为强对流风暴发生发展的临界值^[6]。

- 抬升指数×垂直速度 抬升指数和垂直速度通常分别用来指示对流发展的预兆。同时考虑两者，来指示对流发展。

4 三维温度分析

LAPS 的三维温度分析资料，包括三个部分。第一部分是 MAPS 模式的分析预报产品；第二部分是 RASS 的垂直温度，同时还

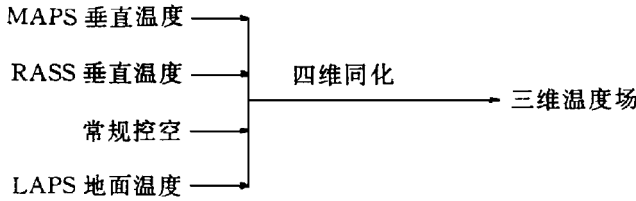


图3 三维温度分析流程

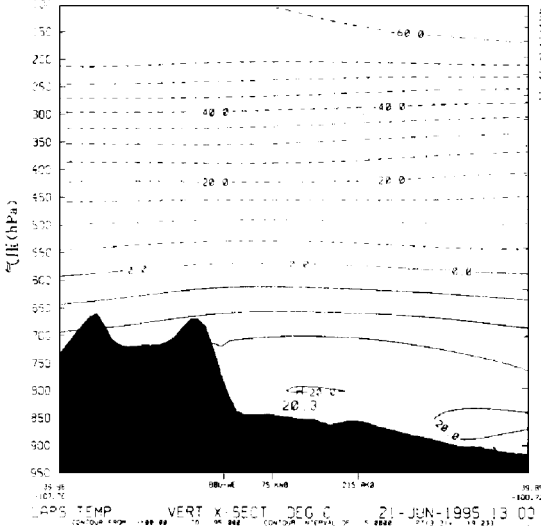


图4 LAPS 温度分析产品1995年6月21日 13UTC LAPS 温度剖面

包括无线电探空测温和落仪资料；第三部分是 LAPS 的地面温度分析。

LAPS 地面温度分析是整个 LAPS 地面分析的一部分。采用平滑、插值等一些分析方法，分析基本气象要素及一些诊断量。

高层的温度是将 MAPS 输出的温度场进行插值，作为初始场。然后，将 RASS 的垂直温度和探空的垂直温度也放进去，进行四维同化，得到三维温度场，流程见图3。作为一个例子，图4给出 LAPS 温度剖面^[5]。

5 云分析

LAPS 的云分析主要有三维云覆盖和云类型。

5.1 三维云覆盖分析

图5给出各种云观测资料的特征^[5]。首

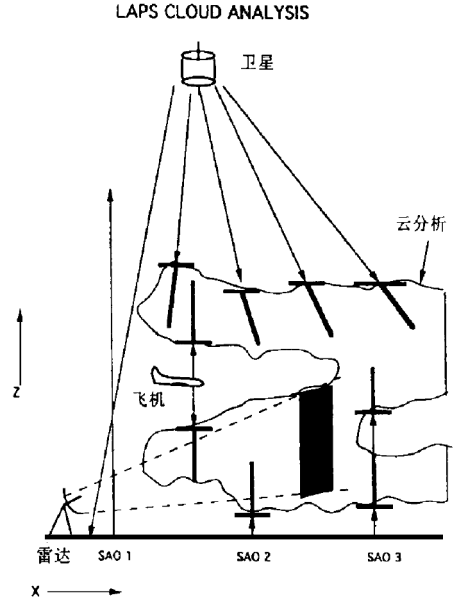


图5 LAPS 云分析各种资料观测示意图

先，地面观测到云的底部特征，其中 SAO1 是无云情况，SAO2 是中低云较厚，只能观测到低云底部，对于 SAO3 由于低云较薄，可观测到低云和中高云两层云的云底。第二，卫星从空间观测云和地表，观测到云顶的状况。第三，飞机报告给出上层云底和下层云顶。第四，多普勒雷达观测云的空间分布。把这些资料综合起来，得到三维云覆盖。

三维云覆盖分析的资料来源有：

- GOES 卫星的红外、可见光、多光谱图像
- 三维温度场
- 地面航空气象观测
- 三维雷达反射率资料
- 温度廓线

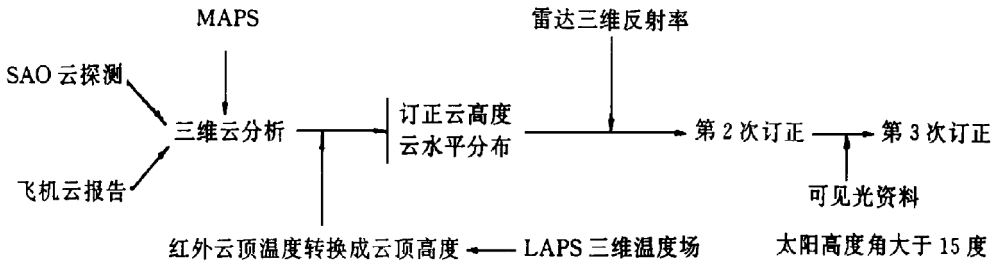


图6 三维云分析流程

表1 云类型与环境温度、相当位温垂直梯度

环境温度(°C) > -10	$\frac{\partial \theta_e}{\partial z} > 0.001$ ST	$-0.001 < \frac{\partial \theta_e}{\partial z} < 0.001$ SC	$-0.005 < \frac{\partial \theta_e}{\partial z} < -0.001$ CU	$\frac{\partial \theta_e}{\partial z} < -0.005$ CU/CB
-10—-20	$\frac{\partial \theta_e}{\partial z} > 0$ AS	$\frac{\partial \theta_e}{\partial z} < 0$ Ac		
< -20	$\frac{\partial \theta_e}{\partial z} > 0.0005$ CS	$-0.0005 < \frac{\partial \theta_e}{\partial z} < 0.0005$ CI	$\frac{\partial \theta_e}{\partial z} > -0.0005$ CC	

• 飞机报告

图6给出三维云分析的流程。第一步,由地面观测,飞机云报告得到云层的水平分布和垂直位置。在观测资料稀少的地区,用MAPS的温度和比湿来算相对湿度,用相对湿度导出云覆盖,得到初估值。第二步,把GOES红外图像得到的云顶温度场,用LAPS三维温度场将云顶温度转换成云顶高度,用以订正第一步得到的云顶高度和云水平分布。第三步用雷达三维反射率作第二次订正。第四步,当太阳高度角大于15°时,用GOES可见光资料调整云的厚度,得到三维云覆盖。

在加卫星资料时,每个格点都加进去。根据现有资料分析表明,卫星、雷达、地面、飞机报告的一致性很好。可以得到每一个高度层上的云覆盖(图略)、云覆盖的垂直剖面(图略)。当各种资料不一致时,按下列原则处理:(1)红外云图的云顶低于飞机、地面观测的云顶时,云顶调整到地面观测和飞机报告。(2)无地面、飞机报告时,云层温度必须比地面温度低21K。(3)雷达回波在地面、飞机报告的

云底以上,就有效。

5.2 三维云类型

根据云型是环境温度 and 相当位温垂直梯度的函数,由表1得到云类型^[5]。其中,相当位温 θ_e 用LAPS的三维温度场算出,假定云内处于饱和状态。

另外,从云的位置和类型导出云中垂直速度。云中垂直速度是云类型和云厚的函数。对层状云取常值 0.05ms^{-1} ;而积状云的垂直速度的垂直廓线呈抛物线,根据经验,抛物线的振幅与云厚成比例,从云底部向上到云厚的1/3处达峰值,向下伸展到云底下约云厚的1/3处。

6 降水类型的诊断

根据各种类型降水生成的物理特性,用雷达反射率和温度场诊断降水类型:

无降水:无回波。

降雨:雷达反射率必须超过0dBZ,温度高于0°C。

降雪:雷达反射率必须超过0dBZ,温度低于0°C。

冻雨:云中的可降水降低到低于 0°C 的层次。

霰:冻雨再次冻结(条件是有另一个冻结层)。

雹:雷达反射率超过45dBZ(雷达分析:将原始雷达资料加到 LAPS 10公里网格点上,小尺度对流风暴的强反射率被平滑掉,在 LAPS 上一旦出现45dBZ,表示回波很强)。

用三维的云场、温度场、风场等可得到地面降水类型分布图(图略)。

7 数值预报模式——LAPS 交互

•用 MAPS 作 LAPS 的初估场 例如,云分析中,在观测资料稀少地区,就用 MAPS 的相对湿度来表示云量。

•CSU-RAMS(Colorado State University-Regional Atmospheric Modeling System)模式初始化 在一天两次的预报中,用10公里分辨率实时 LAPS 水汽场做 RAMS 的初始化。模式使用 LAPS 比湿、云水(云冰)含量等资料输入,云的垂直速度场也在初始化中应用。这些场已证明可以定量地改善模式预报的水汽场。

8 展望

下一步工作改进,主要有:

•用 CO_2 薄层法改进云顶、云高、云亮度,用 GOES 的探空资料来求解云顶气压、温度和云量。

•用 $3.9\mu\text{m}$ 图像诊断云顶水相信息,以帮助确定云中液态水、冰的垂直廓线。

参考文献

- 1 McGinley J A. The local analysis and prediction system. 12th conf. on Weather Analysis and Forecasting, 10, 2-6, Monterey, CA, Amer Meteor Soc, 1989, 15-20
- 2 McGinley J A, S C Albers and P A Stamus. Local data assimilation and analysis for nowcasting. Adv Space Res, 1992, 12(7): 179-188
- 3 Steven E Nelson, Philip A McDonald, Paul R Janish and Travis M Smith. Visualization and utilization of modern 3-D meteorological data sets using the application visualization system (AVS). 14th conf. on Weather Analysis and Forecasting, Dallas, TX, Amer Meteor Soc, 253-258
- 4 Albers S C. The LAPS wind analysis. Weather and Forecasting, 1995, 10(2): 342-352
- 5 Albers S C, McGinley J A, Birkenheuer D L and Smart J R. The local analysis and prediction system(LAPS): Analyses of clouds, precipitation, and temperature. Weather and Forecasting, 1996, 11(3)
- 6 Davies-Jones R, et al. Test of helicity as a forecast parameter. Preprints, 16th conf. on Severe Local Storms, AMS, 1990