

数字化卫星云图与屏幕气象图形 同化叠加显示技术及其应用

(杨元琴 汤桂生 王继志)

(中央气象台)

提要 数字化卫星云图信息与常规气象屏幕图形同化叠加显示是一项新技术。本研究工作给出了使用微机进行上述两类重要气象信息的图形叠加显示的方法。重点讨论了数字化卫星云图信息的微机反演、色谱增强、图形积分诊断及其与天气屏幕图形叠加显示的技术。指出这项技术方法的应用可为强灾害天气系统(如暴雨、台风等)的中尺度结构及强天气分布的诊断提供更为直观、定量的数据与图形。这项技术的发展与应用为现代天气分析预报技术的发展增加了新的工具。

一、引言

数字化卫星云图从出现到真正业务化已经历了10余年的努力。Pichel(1973年)^[1]最先提出了伪彩色三维卫星云图显示技术。Adler(1980年)和Hasler(1981年)^[3]使用美国地球静止卫星(GOES)资料,研究了伪彩色卫星资料的计算机处理,是第一次对业务卫星资料实现图象处理。随着微型计算机技术的高速发展,气象卫星云图信息在微机上的接收处理技术及云图信息数字化处理技术

也迅速发展起来。现在,人们可以在一台微机上同步接收处理气象卫星发送来的资料,然后以屏幕图形的方式提供给用户使用。同时,云图资料也能以数字方式存贮,这就为进一步开发处理这些资料提供了可能性。数字化卫星云图的计算机图象处理与常规、非常规气象图形信息的同化处理是近十年来引人注目的一项新技术,八十年代初,美国国家大气研究中心在处理全球卫星图象与气象图形同化显示等方面开始了第一阶段的研究,但要实现业务化仍需要做大量的工作。

我们利用北京气象中心中央气象台（与厦门气象台合作）研制的微机GMS业务卫星云图实时接收处理显示系统^[4]，同时利用中央气象台微机实时图形显示系统，将部分气象图形与数字化卫星云图图象作同化叠加图形处理，开发研制了一套数字化卫星云图资料与气象图形资料同化处理、同屏幕叠加显示技术^[5]。在卫星云图实时接收处理系统中，我们开发研制了卫星云图的反演技术、色谱增强技术、色谱积分技术、气象屏幕图形显示技术、卫星图象与气象图形叠加技术以及循环显示技术等。实现了多通道气象信息在同一屏幕上的综合显示方法，它为揭示天气系统的结构发展变化、生消演变和动向趋势等提供了一个新的工具。

二、数字化卫星云图的处理技术

20年前，在地球上的广大洋面及高原地区，由于气象观测资料的奇缺，气象学家们对这些区域中大气活动状况的了解和研究受到极大的限制。气象卫星的出现和我国气象卫星地面接收系统的建立，为气象工作者提供了探索大气秘密的“望远镜”和“显微镜”，一小时一次的卫星云图图片把包括海洋和人烟稀少的陆地在内的全球大气活动清楚地记录下来。卫星云图给天气分析和预报提供了一种新的工具，从而使天气预报水平，尤其是使热带环流中诸如台风等强灾害性天气系统的预测预报水平有了显著的提高。然而，在卫星信息投入业务使用的近20年中，主要是提供纸面上的照片资料，这类定性的云图分析手段有它一定的局限性。随着无线电遥感、通信技术的发展，卫星云图的接收和处理方式也在不断改进，从一般的卫星照片发展到数字化卫星云图就是一大进步。所谓数字化云图，通常是指以常规模拟信号接收处理的一张云图可以由一组数据来描述它。换言之，即可以将云图图象用数字方式存盘及读取，这样的云图信息为科学运算、资料处理提供了必要条件。

本节介绍三种对气象卫星数字化云图的处理方法。

1. 反演法

卫星云图反演技术是近代气象信息处理的一项新技术，它包括了对遥感信息数字化技术的研究、数字化信息向气象信息转化等技术。目前微机接收处理的是一种模拟信号，以压缩的二进制编码存贮，这种编码在反演和译码后方能为高级语言调用。云图信息反演的基本原理如下^[4]。

由于任意一张云图的屏幕象素 M 和数字化云的色谱之间有如下关系：

$$M = f(cL)$$

其中 M 表示微机屏幕可分辨的色值， cL 表示数字化方法描述的云的特征值。

因此，

(1) 用 S_p 代表由云特征(用数值 cL 表示)转换为屏幕信号的转换关系，可以得到：

$$M_{ij} = S_p(cL)_{ij} \quad (i, j \text{ 为屏幕象素})$$

(2) 用 S_r 代表由屏幕信号 M_{ij} 反演成图象(图形)显示的亮度信号 T_{ij} ，可以得到：

$$T_{ij} = S_r(M_{ij})$$

此时，终端屏幕上任一象素 T_{ij} 所表达的物理概念和信息可以通过高级语言编程加以识别，这就把它与原来的卫星云图中的色谱联系起来。因此我们不仅可以将云图接收机上的云图信息取出来在其他计算机上或其他载体上进行处理，也可以将云图信息施以各种科学运算(如求候、旬、月平均云场分布等)，或与其他气象图形作同化叠加显示，等等。

图1是一张反演后的数字化卫星云图资料。图中给出了经色谱过滤后的台风云系的数字云图。

2. 色谱增强法

目前，各地气象台站所使用的卫星云图实时接收处理系统中，屏幕显示的云图图象通常简化为8种或16种颜色构成的伪彩色云图。高分辨彩色图形显示板可在262144种颜色中任选256种，不同色度和亮度以色谱

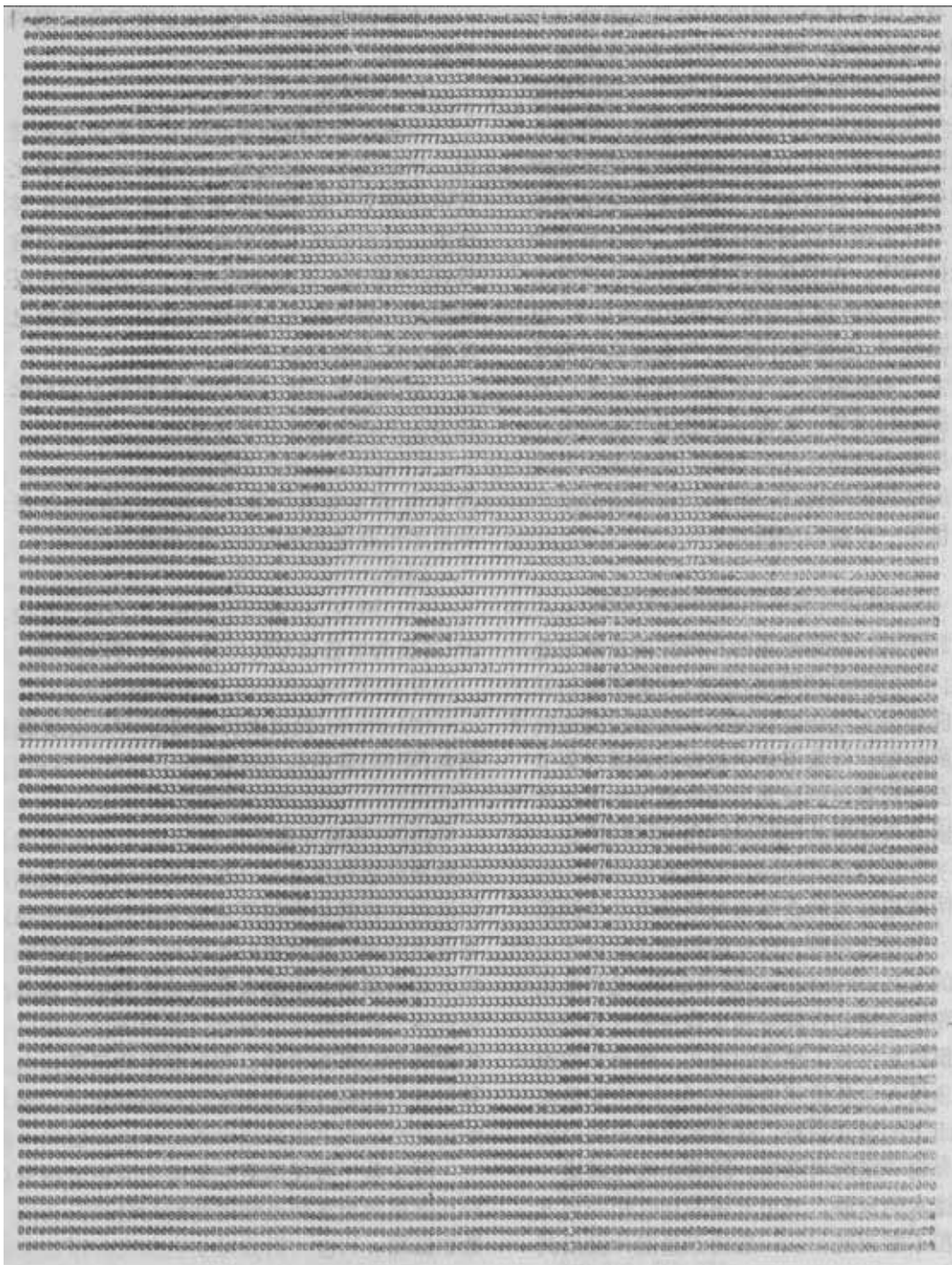


图 1 数字化卫星云图反演资料所表现的台风云系结构。(图中“7”，“3”，“0”为经过滤后的表征台风云系的数字化信号，分别代表 200hPa，500hPa 云系特征及无云区特征，注意台风中心右下方不连续数字特征组成的准正交线表示经纬线)

的形式表达云的物理和空间分布。以红外云图为例，不同的云顶温度对应着不同的云色谱。为了弄清云色谱在天气诊断分析中的作用，常常需要突出有天气意义的那些云带。

基于这种考虑，我们提出了色谱增强法：

$$E_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{若 } D_{i,j} \leq D_0 \\ 1 & \text{若 } D_{i,j} > D_0 \end{cases}$$

式中 $E_{i,j}$ 为经过滤后保留的有意义的色谱

值, D_0 为临界过滤衰减的色谱值。

过滤后得到的卫星云图, 在天气诊断分析预报中很有意义。作为一种新的工具, 通

过统计大量的个例, 可以找出云图中不同色谱与降水量之间的对应关系。表 1 给出 1987 年 8 号、9 号台风云色谱与 6 小时降水量的统

表 1 云色谱与 6 小时降水量之间的对应关系

云色谱值	0	1	2	3	4	5	6	7
6 小时降水 (mm)	无降水	无降水	T 量	T-0.2	0.5-1.0	1.0-5.0	10-20	20-30

计关系。

我们认为, 增加分析统计个例将会提高云色谱值与降水量关系的代表性和稳定性。这对天气分析和预报是十分有价值的。

3. 积分法

数字化卫星云图明显优于普通感光照片之处就是可以进行定量运算。根据这一特点, 我们采用积分方法, 定量计算台风强天气发生区域的面积、大风圈半径以及台风强度加强或减弱的指标等。

设与台风强对流天气区相对应的云色谱屏幕象素为 $\sum M_{ij}$, 由积分法可得到强天气区面积为^[5]:

$$S = \iint_{\sigma} S_T(m_{i,j}, j, s)$$

图 2 是用积分法求出的 8824 号台风强对流区面积积分廓线。从图中可以看出, 25 日 14 时至 26 日 23 时, 廓线变化的总趋势是上升的, 但其间有短时的、小的下降现象出现, 它表明在这一期间里, 台风强度在总体上是加强的, 但也有短时的减弱过程, 26 日 23 时是台风最强时刻, 尔后廓线总体是下降趋势, 其间有短时的、小的上升。这种台风强度变化中的中尺度系统影响过程若使用云图照片作定性分析是难以确定的。

三、天气图的微机屏幕图形显示技术

目前, 各地气象台站使用的常规天气图一般有三种投影底图。一种是极射赤道投影图, 如北半球各等压面底图。第二种是兰勃脱投影图, 它是以 30°N 、 60°N 为标准纬线进行

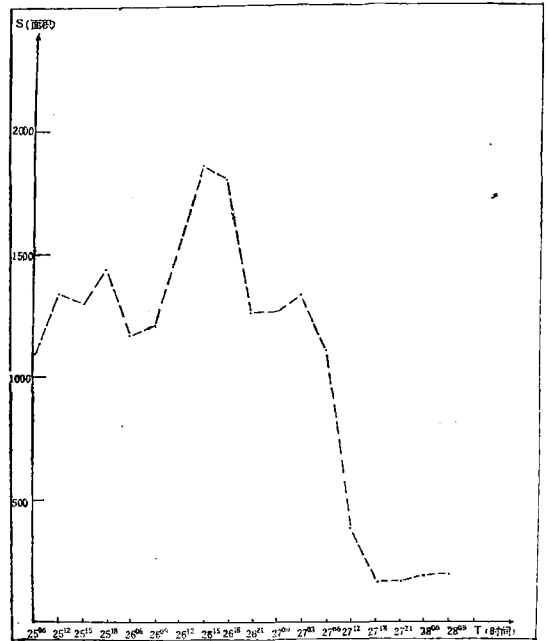


图 2 1988 年 24 号台风强对流面积积分廓线 (10 月 25 日至 28 日)

投影的, 较好地反映了中纬度地带的天气系统, 常用的欧亚范围天气底图采用这种投影。第三种是麦卡托投影, 这种投影的点光源设在地球中心, 它能较好地反映低纬度的情况。在我们研制的气象图形系统中, 设计了各种投影的天气底图模块、各种等值线分析模块、各种要素填绘模块以及多种功能性模块。有了这些基本的功能各异的模块, 实现各类天气图形的屏幕显示就可以简要地归结为如下步骤^[4](图 3 左):

- (1) 由软接口模块 (S_{int}) 与实时资料库相连接, 实现气象资料的实时调阅。
- (2) 调用天气图底图模块 (S_{map}), 生成

B模式数值预报产品——500 hPa 涡度数值预报结果。

现有的常规屏幕气象图形，通过上述四个步骤都可以实现屏幕图形显示。只不过调用的功能模块各异罢了。

四、卫星云图与常规气象图形同化叠加显示技术

1. 资料来源及范围选取

把数字化卫星云图信息与常规气象屏幕图形进行同化叠加，可以为预报员提供综合气象场图，给天气诊断提供新的工具。作为工作的第一步，我们从诊断台风天气系统及热带环流对我国夏季天气的影响出发，来选取同化叠加的资料和范围。我们选用华盛顿 5×5 经纬度格点场资料支持常规气象图形，资料内容包括 1000、700、500、300、200、50 hPa 的高度场、温度场、风场等等。叠加范围定为 $45^\circ\text{N}-0^\circ, 90^\circ\text{E}-156^\circ\text{E}$ 。底图采用麦卡托投影和极射投影两种。

卫星云图信息采用目前各地台站可以直接接收到的 GMS 每小时一次的模拟信号。微机对 GMS 卫星云图信息作实时接收处理，然后将云图坐标转换匹配到常规资料范围的底图上去。

2. 云图与常规图形同化叠加步骤

云图与常规屏幕气象图形同化叠加处理框图如图 3。图中的左半部分是常规气象图形处理步骤，右半部分是云图资料处理步骤。两者由中间的同化处理控制程序统一协调，最后实现屏幕图形、图象叠加显示。

作为一个例子，我们将 1988 年较有影响的 7 号台风云图资料与华盛顿 500 hPa 高度场格点资料同化叠加。将 7 日 02 时起到 8 日 02 时止的台风整个生命过程(以 1 小时为单位)以循环方式进行屏幕同化叠加图形的‘电影’动画显示，可使预报员在几分钟内就能清楚地了解到长达 80 余小时台风发生、发展演变的全过程。同时通过对该台风云系的螺旋结构的诊断、数字化强度诊断及对流指数诊断，

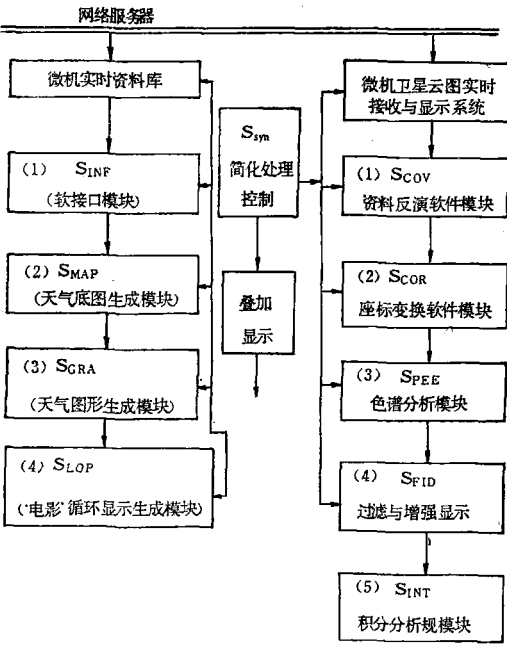


图 3 数字化卫星云图与常规气象屏幕图形同化叠加处理流程框图

屏幕天气图底图。

为了与云图范围相匹配，我们调用麦卡托投影的天气底图。

(3) 调用天气图形模块(S_{gra})，屏幕上生成某时刻、某层次、某要素的等值线分析图。

(4) 调用循环显示模块(S_{lop})，实现多时段图形循环显示。

在叠加处理中，第四步在图形和图象叠加完成后再调用。

图 4 是根据上述步骤运行得到的北半球

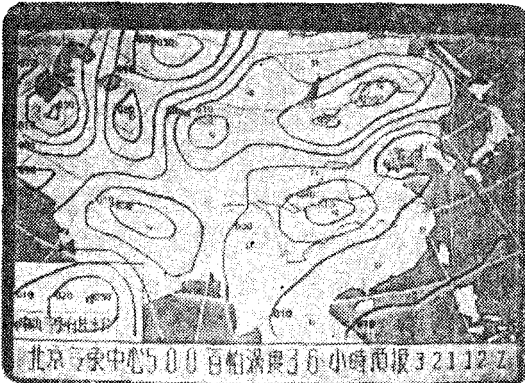


图 4 北京气象中心 500 hPa 涡度预报的屏幕图形显示

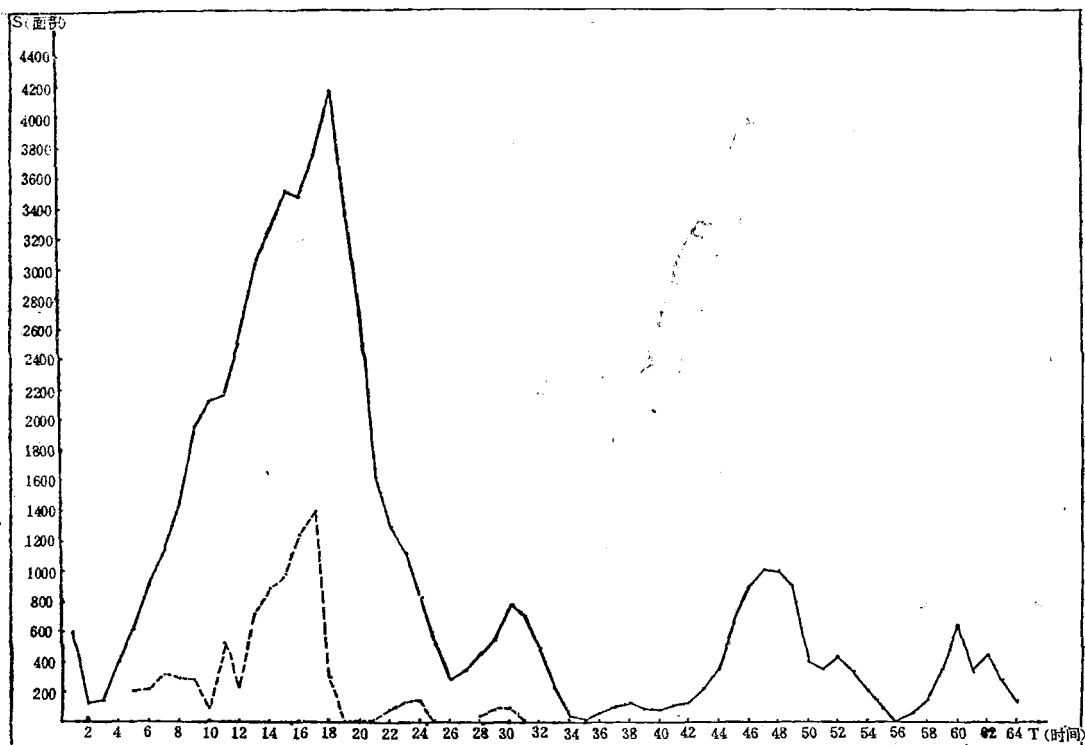


图 5 1988 年 7 号台风积云对流强度面积积分廓线(8 月 6 日—9 日)。实线为强对流区, 虚线为台风眼壁内区

可以得出 7 号台风结构演变的定量分析数据^[2](图 5)。图 5 中纵坐标为台风强对流区的积分面积(实线为强对流面积, 虚线为台风积云云墙内面积)。由图可见, 1988 年 7 号台风积云对流具有明显中尺度特征。从 6 日至 9 日, 积云对流有 4 个高峰期, 分别出现在 7 日 00 时, 7 日 19 时, 8 日 16 时和 9 日 10 时。时间间隔为 18 小时左右。其中最高的峰值在 7 日 00 时, 数值达 4161 (相当于 29000 平方公里)。由数字化卫星云图信息计算得到的台风中心附近强天气区的分布为这类灾害天气的诊断分析、预报提供了有意义的客观数据。

综上所述, 数字化卫星云图诊断方法为诊断这类强对流系统(台风、暴雨等)的中尺度结构及其动态演变提供了新的工具。

五、小结

通过我们的研究工作, 可以归纳出以下

几点有意义的结论:

1. 反演法使遥感卫星信息变成高级语言可识别的数字化信息, 可为台风、暴雨等强对流云团的识别量化、客观化提供依据。

2. 色谱增强法将卫星云图信息看作一种色谱, 使用过滤手段, 可以对天气系统进行色谱分析和色谱增强(减弱)分析。这对天气系统的细节结构诊断具有重要意义。

3. 积分法可定量识别云系的影响范围、面积大小或影响半径, 它可为诊断系统的发展变化提供定量的依据。

4. 数字化卫星云图与常规气象屏幕图形同化叠加及“电影”动画屏幕显示, 为预报员分析诊断天气系统的发生、发展演变的中尺度结构提供了十分方便直观的工具。

参 考 文 献

[1] A. F. Hasler and others, Artificial Stereo Presentation of Meteorological Data Fields, B. A. M. S., Vol. 62, No. 7, 1981.

- [2] E. Andersson and Hollingsworth, Typhoon bogus observations in the ECMWF data assimilation system, T. M. Report, No. 148, 1988.
- [3] A. F. Hasler, Stereographic Observations from Geosynchronous Satellites, B. A. M. S, Vol. 62, No. 2, 1981.
- [4] 杨元琴、汤桂生、王继志,微机数字化卫星云图与气象

屏幕图形同化叠加技术及其应用,微机气象图形显示原理与应用(二),1988年厦门微机海洋科技业务系统会议文集。

- [5] 王继志、汤桂生、杨元琴,微机数字化卫星云图显示系统在天气分析预报中的应用,微机气象图形显示原理与应用(二),1988年厦门微机海洋科技业务系统会议文集。