

# 图形模式识别方法及其在中期雪灾天气预报中的应用\*

陈 静

(成都中心气象台,成都 610072)

提 要

文章介绍了一种将计算机图形识别技术与数值预报产品相结合,预报中期天气过程的图形模式识别方法和模式基元识别过程。利用 ECMWF 的产品,建立川西北高原雪灾中期预报模型。在计算机中模仿预报员的思维步骤,自动分类推理判别,滚动预报未来 3~5 日内雪灾天气发生日期。1998~1999 年雪灾中期预报效果显著。

关键词: 图形模式识别 模式基元 雪灾中期预报

## 引 言

图形模式识别是伴随计算机发展而兴起的一门新学科,基本思路是将复杂的模式分解成简单的子模式,组成多级结构来描述,主要包括对复杂模式或图形的分解、基元及关系的提取、结构分析,从而得到分类判决。已有人尝试用它来自动识别天气图。刘爱霞等<sup>[1]</sup>对冬季 1 月 500 hPa 月平均天气图作相似识别;李振海<sup>[2]</sup>利用风场研究了 500 hPa 上槽脊线识别方法,可在计算机屏幕上自动绘制槽线和标识高低压中心;蒋乐怡等<sup>[3]</sup>用计算机识别数值预报产品地面天气形势的高低中心,这些工作都是为了识别某一层上一些特定的天气图形,对预报没有指导意义。本文研究了用图形模式识别原理来分解中期天气过程预报,设计预报模式基元的方法,结合 ECMWF 500 hPa 高度场、850 hPa 温度场、1000 hPa 地面气压场格点资料,将它应用到高原雪灾中期预报中。希望能为天气预报提供一种客观科学的方法,促进数值预报产品解释应用技术的发展。

## 1 中期天气过程分解方法

利用模式识别原理,结合 ECMWF 数值预报产品,对中期天气过程做 4 层分解。首先按预报对象分解成不同的预报模型,如暴雨、寒潮、雪灾等预报模型,以  $U$  表示某一天气过程模型,则有

$$U = \{ \rho b(x) \mid \rho = 1, 2, 3, 4, \dots \} \quad (1)$$

式中  $\rho b(x)$  为形成天气过程的各种环流模型,不同的  $\rho$  值对应不同的环流型。目前不可能建成能包含所有环流模型的通用技术系统,因此第二步结合 ECMWF 数值预报产品,

\* 本文由中国气象局“高原雪灾天气研究”课题资助。

2000-01-26 收到,2000-04-21 收到修改稿。

将这些模型简化为 500 hPa 高度场的天气学环流模型、850 hPa 温度场的热力学模型、1000 hPa 的海平面气压场模型;以  $\Omega$  代表简化模式叠加而成的天气过程模型,

$$\Omega = \{ \rho f(x) | \rho = 1, 2, 3, 4, \dots \} \in U \tag{2}$$

式中  $\rho f(x)$  为简化后的环流模型。第三步将  $\rho f(x)$  分解为基本的环流模式,如雪灾组合模型之一是乌山阻高、寒潮降温、地面冷高压。第四步将环流模式分解成最基本的环流因子即模式基元,基元在不同区域的组合叠加,构成了特定环流类型,如乌山阻高型由乌拉尔山脉附近的高中心、槽线、脊线组合而成,一个环流模型是一个函数,则:

$$f(x) = \begin{cases} f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ \vdots \\ f_m(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \end{cases} \tag{3}$$

式中  $m$  代表已确定的环流模式数,对一个确定的模式  $f_i(x_j)$ ,元素  $x_j$  代表环流因子,即模式基元,如 500 hPa 的基元有脊线、槽线、高低压中心和锋区等,上述流程如图 1 所示。

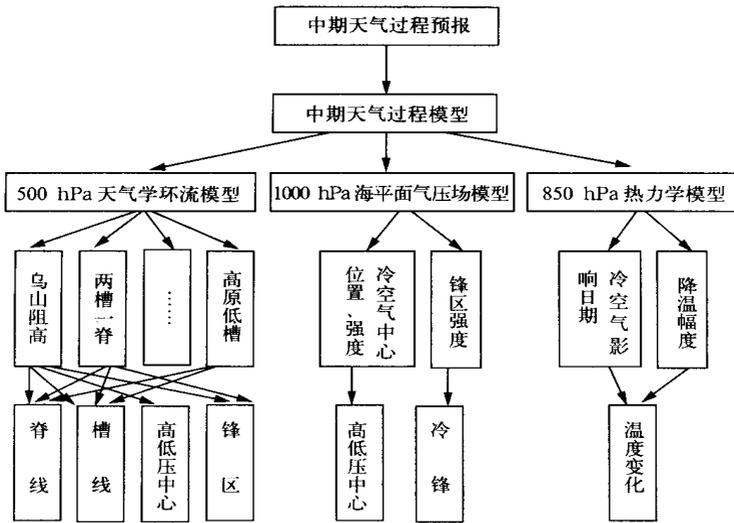


图 1 中期天气预报图形模式识别方法流程图

## 2 基元设计与识别方案

基元设计的好坏可直接影响模式识别的效果。图形模式识别的一个重要任务是设计模式基元和计算机自动识别方案。基元设计与识别方案包括基元特征参数设计、基元识别方法、基元识别过程 3 个方面。

### 2.1 500 hPa 天气学环流模型基元识别方案

环流模型可分解为低槽、高脊、高低压中心、锋区 4 种基元,高低压中心和锋区基元识别方案与 1000 hPa 的相同,下面介绍基于  $5 \times 5$  格点上的高度场低槽和高脊基元识别方案。

(1) 低槽和高脊基元的特征参数 槽线分为横槽和竖槽两种类型,每条槽(脊)线由若干个槽(脊)点组成。槽线特征参数包括槽线起始点经纬度、终止点经纬度、槽线方向、槽线强度 4 个部分。脊线特征参数包括脊线的起始点经纬度、终止点经纬度、脊线强度、脊线方向 4 部分。

(2) 槽脊点识别方法 根据槽(脊)线定义,判别某一格点是否为竖槽(脊)点可转换为高度场东西方向的极低(高)值。判别某一格点是否为横槽点判断转换为高度场南北方向的极低值。

实际操作中,这是一项非常细致和繁琐的工作,如只使用邻近的 4 个格点判别槽线可造成误判别,因此在槽脊识别子系统开发中,采用多格点差分与多因子判别方案,判别因子是一组差分集合,每个集合因子需满足判别条件,图 2 是判别网格图,判别 $(i, j)$ 点是否为槽点所用到的邻近格点资料(“\*”所示),横坐标是纬度,纵坐标是经度,图 2a 是竖槽(脊)点的判别,图 2b 是横槽点的判别,竖槽点的判别使用了 $(i, j)$ 与邻近 10 个点的高度差及组合差值,横槽点的判别使用了 $(i, j)$ 与邻近 16 个点的高度差及组合差值,判别因子是这一组差分值集合,每个集合因子需满足一定判别条件,保证 $(i, j)$ 格点是东西方向的极低(高)值。多格点差分和多因子判别方法解决了误判问题。

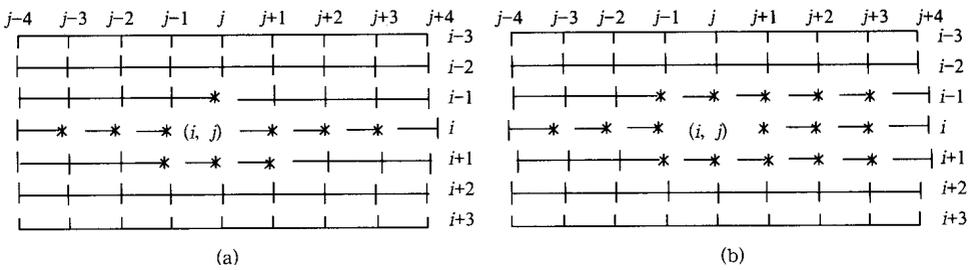


图 2 槽脊点判别方案中所选择的网格点(\*) (a)竖槽(脊)点判别网格点  
(b)横槽点判别网格点( $i$ :经向坐标, $j$ :纬向坐标)

(3) 槽脊线方向 槽线方向以数字代表。横槽方向代码为 -1。竖槽(脊)方向代码如下:当在 $(i, j)$ 检索到竖槽点后,向 $i+1$ 行搜寻,槽点为 $j$ ,方向代码为 2;槽点为 $j-1$ 时,方向代码为 1;槽点为 $j-2$ ,方向代码为 4;槽点为 $j+1$ ,方向代码为 3。

(4) 槽脊线强度 设  $VLO$  是横槽起始点与终止点经度差,横槽的强度  $F$

$$F = \begin{cases} 1.0 & VLO < 20 \\ 2.0 & 20 \leq VLO \leq 30 \\ 3.0 & VLO > 30 \end{cases} \quad (4)$$

设  $VLA$  是槽点与左右两个格点高度差之和,竖槽槽点的强度  $A_i$  表示如下:

$$A_i = \begin{cases} 0.7 & VLA = 0.0 \\ 2.1 & VLA < -4.0 \\ 1.4 & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

竖槽强度  $F$  则表示如下:

$$F = N + \sum (0.7 \times A_i) / n \quad (6)$$

$N$  是槽点总和。

(5) 槽脊线识别过程 系统首先识别横槽, 搜寻路径从北向南, 从西向东开始, 如检索到第一个横槽点, 再向西搜寻, 最多只能向南北各延伸 5 个纬度, 无横槽点后, 输出横槽的特征参数。

识别竖槽, 搜寻路径从北向南, 从西向东开始, 如检索到第一个竖槽点, 再向南搜寻。无竖槽点后, 输出竖槽的特征参数。

对一些小波动, 特别是槽脊起始点与终止点, 纬度差小于 5 个纬度之内的小槽, 利用槽脊强度进行二次识别, 如强度等于 0.7, 该格点不是槽脊线。

## 2.2 高低中心识别方案

高低中心是地面气压场和高空高度场中的重要系统。主要包括高低压中心位置、中心强度、特征线覆盖范围 3 个特征参数数据库。本节介绍基于  $5 \times 5$  格点上的 500 hPa 高度值和 1000 hPa 气压值的高低中心和强度的识别方案。

(1) 高低压位置和中心强度识别方法 对全图作逐点扫描, 若某点的高度值小(大)于周围点的高度时, 则该点为低(高)中心。当一个低(高)压区域中有多个相等的最低(高)值时, 取其几何中心位置为低(高)压中心位置(图略)。

(2) 高低压特征线覆盖范围识别方法 天气分析中, 通常以最外一条闭合特征值作为高低压中心特征线。本文采用区域逐步推进法, 从高低压中心向外缘逐步作标记, 直到高低压系统特征值的边缘。规定低压(高压)标记点的高度要低于(高于)特征值, 标记点的总格点数即为高低压特征线覆盖范围。

## 2.3 锋区识别方案

锋区也是地面气压场和高空高度场中的重要天气特征。锋区特征参数包括锋区定义、锋区位置和强度 3 个特征参数。本节介绍基于  $5 \times 5$  格点上的 500 hPa 高度值和 1000 hPa 气压值的锋区识别方案。

(1) 按  $5^\circ$  间隔计算经圈上每个格点与相邻格点的高度(气压)梯度值。

(2) 高空图上, 从北半球梯度大于  $12 \text{ dagpm}$  的格点中, 选择最大点的经、纬度为锋区所在位置。最大梯度值作为锋区的强度。

(3) 地面上, 计算  $25^\circ \sim 35^\circ \text{N}$ ,  $85^\circ \sim 105^\circ \text{E}$  范围内气压梯度值, 如有大于  $20 \text{ hPa}$  的格点, 选择最大点的经、纬度为锋区所在位置。最大梯度值作为锋区的强度。否则这一区域无地面锋区。

## 2.4 热力学模型基元识别方案

冷空气影响时间及降温强度是热力学模型的两个模式特征参数。陈静等<sup>[4]</sup>用 ECMWF 850 hPa 温度对此作了一些初步研究, 以川西高原雪灾中期预报所建立的热力学模型为例来说明其识别方法。

(1) 冷空气影响时间的识别 以红原、阿坝、若尔盖、石渠、甘孜 5 站日平均温度代表川西高原牧区地面平均温度。在近地面层中温度变化主要以地面平流变温和非绝热变温为主, 如式(7)所示

$$\partial \bar{T} / \partial t = - \mathbf{V} \nabla \bar{T} + \frac{1}{C_p} d \bar{Q} / dt \quad (7)$$

某日地面气温与前 24、48、72 h 的变温值大小反应了冷空气强弱。分析 1987~1994 年 ECMWF 850 hPa 客观温度场与川西高原实况温度资料,计算结果表明川西北高原日平均气温的变化与 850 hPa 上  $95^{\circ} \sim 105^{\circ} \text{E}$ ,  $25^{\circ} \sim 35^{\circ} \text{N}$  区域内共 9 个格点的温度总和的变化相关较好,特别是春季 24、48、72 h 的相关系数分别为 0.45、0.64、0.68,因此,以这 9 个格点的总和值为预报因子,建立牧区地面平均变温预报回归方程。式(8)、(9)分别是 3~4 月和 11 月至次年 2 月牧区地面平均温度 24、48、72 h 变温回归方程。

$$\begin{aligned}\Delta T_{24}^{\text{地}} &= 0.054 + 0.083 \Delta T_{24}^{850 \text{ hPa}} \\ \Delta T_{48}^{\text{地}} &= 0.100 + 0.113 \Delta T_{48}^{850 \text{ hPa}} \\ \Delta T_{72}^{\text{地}} &= 0.018 + 0.119 \Delta T_{72}^{850 \text{ hPa}}\end{aligned}\quad (8)$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{24}^{\text{地}} &= -0.008 + 0.182 \Delta T_{24}^{850 \text{ hPa}} \\ \Delta T_{48}^{\text{地}} &= 0.052 + 0.197 \Delta T_{48}^{850 \text{ hPa}} \\ \Delta T_{72}^{\text{地}} &= 0.126 + 0.194 \Delta T_{72}^{850 \text{ hPa}}\end{aligned}\quad (9)$$

如某预报日地面 24、48、72 h 变温均为负值时,表明有明显冷空气入侵高原牧区,则可以预报该日作为冷平流入侵牧区的开始日。否则该日无冷平流影响。

(2) 冷空气影响的降温强度 冷空气入侵时,式(7)中平流变温为负值,冷平流影响的最大降温值近似取为:

$$X = \min(\Delta T_{24}^{\text{地面}}, \Delta T_{48}^{\text{地面}}, \Delta T_{72}^{\text{地面}}) \quad (10)$$

天气学经验表明,500 hPa 环流形势对局地的云量和降水起着关键作用。因此,云量、降水等非绝热因子所引起的降温可转化为对 500 hPa 环流形势的预报。毛连海等<sup>[4]</sup>对甘肃省张掖地区降温过程分析显示,当有天气过程时,云量和降水引起的降温幅度在  $1.5 \sim 3.5^{\circ} \text{C}$ 。对川西高原的分析表明,天气过程明显时,云量与降水引起的降温幅度与该降温幅度相差不大。因此,当北支和南支系统有低槽东移时,表明有天气过程,这时非绝热项的变温为  $-1.5 \sim -3.5^{\circ} \text{C}$ ,否则取为 0.0。

当冷平流降温和非绝热降温值确定后,由式(7)可得出高原牧区寒潮降温幅度。

### 3 川西北高原牧区中期雪灾预报模型及预报试验结果

上述分析表明,高原牧区雪灾主要与高原地区的寒潮降温和持续降雪过程(2~3 天以上)有密切关系。因此中期雪灾预报模型研究重点是建立持续降雪模型和寒潮降温模型两类。

#### 3.1 持续降雪环流模型

持续降雪需两个气象条件。第一是冷空气可持续影响川西高原,它既可表现在海平面气压场上,也可表现在 500 hPa 环流形势上。海平面气压场上,北半球最强冷空气中心位于亚洲中高纬度地区,青藏高原地区正好是等压线密集区;500 hPa 高度场上,北半球最强大的北支锋区正好位于亚洲地区  $40^{\circ} \sim 50^{\circ} \text{N}$  一带。第二是持续的水汽输送,表现在 500 hPa 上青藏高原长时间维持低压槽区,槽前西南气流有利于水汽输送到川西高原。

因此,持续降雪模型分为冷空气子模型和水汽输送子模型。冷空气子模型分为海平面冷气团型、500 hPa 北支锋区异常偏强型(称 L 型)、500 hPa 乌山阳高型、500 hPa 两槽一脊型(称 W 型)4 种类型(表略)。水汽输送子模型分为东高西低型、高原锋区型、高原低槽型 3 种类型,其槽脊特征区域如表 1。

表 1 水汽输送子模型及基元结构

子模型名称	基元特征	基元特征区域
东高西低型	高中心,脊线,槽线	110°~130°E 40°~55°N,70°~110°E 30°~50°N
高原锋区型	锋区较多年平均值偏强 15%	70°~100°E 20°~35°N
高原低槽型	槽线	70°~100°E 20°~35°N

利用 ECMWF 0~144 h 共 7 个时次的海平面气压场和 500 hPa 高度场资料,分析 1987~1994 年的 27 个雪灾个例后,建立两种持续降雪子模型。第一种类型是冷空气持续影响型,识别方案是 0~144 h 7 个时次都出现了海平面冷气团型、500 hPa 北支锋区异常偏强型、南支锋区异常偏强型 3 种子模型中的任一类,高原牧区将有 2~3 天以上降雪天气,这一类型适合于冬季和春季。第二种类型是冷空气与水汽输送共同影响型,识别方案是在 72~144 h 共 4 个时次预报资料中,计算冷空气模型中的任一类型与水汽输送模型中的任一类型出现日数之和,设为  $A$ ,11 月至次年 2 月的持续降雪条件是  $A$  等于 8,3~4 月持续降雪条件是  $A$  大于 5 天以上。如满足第一类或第二类持续降雪模型的条件,预报川西高原牧区将出现持续降雪天气。

### 3.2 高原牧区雪灾中期预报模型

不同季节,牲畜抵御疾病、饥饿等自然灾害的能力不同,雪灾的气象条件也不同。分析 1987~1994 年雪灾过程降温特点,发现寒潮降温子模型的雪灾条件是:11~12 月降温达到 6℃以上;1~2 月降温达到 3℃以上;3~4 月只要有降温过程即可。

如持续降雪模型和寒潮降温模型预报都符合上述气象条件,则预报降温开始日是雪灾天气过程开始日(图略)。

### 3.3 计算机自动分类推理判别过程

川西高原雪灾的计算机自动分类推理判别过程如表 2 所示:

表 2 高原牧区雪灾中期预报系统计算机自动推理过程

步 骤	内 容
第一步输入 NWP 资料 资料预报处理	1. 读入 ECMWF 500 hPa 高度场,850 hPa 温度场,海平面气压场 2. 海平面气压场平滑处理
第二步 基元识别 建立图形数据库	1. 识别 500 hPa 基元,输出槽脊、高低压中心、锋区的特征参数 2. 识别海平面气压场基元,输出高低压中心和锋区的特征参数 3. 识别 850 hPa 变温,输出冷空气活动特征参数
第三步 子模式识别,建立子模式数据库	1. 川西高原寒潮降温模型识别 2. 持续降雪模型识别
第四步 综合判别	1. 寒潮降温模型是否符合中期雪灾模型 2. 冷空气模型是否符合中期雪灾模型 3. 水汽输送是否符合中期雪灾模型
第五步	综合判断,做出未来 3~5 日川西高原雪冻灾害预报

### 3.4 川西高原雪灾天气预报系统预报试验结果

应用 1998 年 11 月 ~ 1999 年 4 月 ECMWF 数值预报产品,进行逐日滚动预报试验。表 3 是预报与实况比较。由表可见,中期时效内(未来 3 ~ 5 天)共预报雪灾 23 次,预报正确 16 次,基本正确 6 次,空报 1 次,无漏报。预报正确率为 70%(16/23),基本正确率 26%(6/23),正确率与基本正确率之和为 96%,空报率 4.3%,中等程度以上雪灾预报概括率 100%。

表 3 1998 年 11 月 ~ 1999 年 4 月川西高原雪灾过程中期预报及实况比较

EC 资料释用日期	预 报 雪灾日期	实 况 雪灾过程时段 (类型)	评 定
2月22日	2月27日~3月1日	2月26日~3月2日(甘孜州、	正确
2月23日	2月27日~3月1日	阿坝州发生中等程度雪灾)	正确
2月24日	2月27日~3月1日		正确
3月3日	3月8日~3月10日		空报
3月4日	3月9日~3月11日	3月11~14日甘孜州	正确
3月5日	3月9日~3月11日	阿坝州发生中等程度雪灾	正确
3月6日	3月9日~3月11日		正确
3月7日	3月10日~3月12日		正确
3月9日	3月13日~3月15日		正确
3月10日	3月13日~3月15日		正确
3月15日	3月20日~3月22日	3月20~22日川西高原北部降温	基本正确*
3月16日	3月21日~3月23日	6~8℃,部分地区有降雪没有产生雪灾	基本正确*
3月17日	3月21日~3月23日		基本正确*
3月18日	3月21日~3月23日		基本正确*
3月21日	3月26日~3月28日	3月26~28日,甘孜州	正确
3月22日	3月26日~3月28日	阿坝州发生中等程度雪灾	正确
3月28日	4月2日~4月4日	4月2~4日,有冷空气	基本正确*
3月29日	4月2日~4月4日	影响,甘孜州,阿坝州降雪明显	基本正确*
4月19日	4月25日~4月27日	4月25日~5月5日,甘孜州持续降雪	正确
4月20日	4月25日~4月27日	阿坝州发生严重雪灾	正确
4月21日	4月24日~4月26日		正确
4月22日	4月25日~4月27日		正确
4月28日	5月3日~5月5日		正确

\* 基本正确(寒潮降雪,但没有造成雪灾)。

## 4 小结与讨论

(1) 从模式识别原理出发,研究了一种适用于中期天气过程预报的模式识别方案,这套方案包括中期天气过程的分解,基元特征参数设计,基元识别方案,基元识别过程。

(2) 利用 ECMWF 产品,分别设计了 500 hPa 环流模型,海平面气压场环流模型,850 hPa 热力学模型基元的特征参数,建立了一套识别方案,介绍了如何在计算机上实现各种模型及基元的识别过程。

(3) 本文具体研究了这一方法在川西北高原雪灾中期天气预报中的应用。建立了川西北高原雪灾中期预报模型,利用 ECMWF 预报产品,滚动预报未来 3 ~ 5 日内川西北高原有无雪灾天气,雪灾过程开始日期。

(4) 1998年11月~1999年4月预报结果表明,图形模式识别方法在川西高原雪灾中期预报中效果显著,雪灾开始日期的预报准确率较高。

### 参考文献

- 1 梁平德,刘爱霞,周廷泽,等.模式识别及其在气象中的应用.北京:气象出版社,1992.
- 2 李振海.计算机天气图图形识别.气象,1994,20(6):20~23.
- 3 蒋乐贻,黄炎,姚祖庆.地面形势识别在上海强对流预报中的应用.气象,2000,26(3):28~32.
- 4 陈静,桑志勤.数值预报产品动力-统计方法与寒潮预报.气象,1998,24(2):34~37.
- 5 毛连海.大风和寒潮物理成因及短期预报方法的一些探索.气象,1992,18(3):41~44.

## PATTERN RECOGNITION METHOD AND APPLICATION IN MEDIUM RANGE FORECAST OF SNOW DISASTER

Chen Jing

(Chengdu Meteorological Center, Chengdu 610072)

### Abstract

Combined the computer pattern recognition and the numerical weather model products, the method of pattern recognition to predict the medium-range weather processes and the process of the pattern primitive element recognition are introduced. With the NWP products of ECMWF, the concept model of medium-range forecast of snow disasters in the northwestern plateau in Sichuan Province is established. The computer imitates the thinking process of forecasters, automatically classifies and judges the different categories to determine whether a snow disaster will occur in the future 3 - 5 days and which day it will occur. The results of the medium-range forecast of snow disasters are rather good.

**Key words:** Pattern recognition    Model primitive element    Medium-range forecast of snow disaster