

基于梯度原理的寒潮预报系统

缪 强

(四川省自贡市气象局, 643000)

提 要

对表征冷空气强度的气象要素极值自动扫描采集,结合寒潮预报区内指标站相应的气象要素值施行梯度运算,得到了指向寒潮预报区的相应气象要素梯度值,从而实现了冷空气强度及其变化的动态监测。在此基础上,结合产生寒潮天气的温度背景,研制建成了一套 Windows 中文寒潮预报自动化系统。经 3 年多业务应用,提高了寒潮预报准确率。

关键词: 寒潮 梯度 模式 系统

引 言

冷空气强度及其位置的监测是寒潮预报成败关键所在。短期内可能造成四川盆地南部寒潮的冷空气,一般位于 33—45°N、92—115°E 的区域内,我们称此区域为寒潮预报关键区。通过对本台过去寒潮预报模式分析发现,模式中对冷空气强度的度量,一般是采用关键区内某固定测站与寒潮预报区内指标站这两定点测站上的气象要素差值来表示。这就存在两个问题:①关键区内固定站的气象要素值一般并不是关键区内表征冷空气的最强要素值,所作的要素差值并不代表指向寒潮预报区的真正要素梯度,由此构成的模式指标难以对寒潮强度作出准确预报;②如果冷空气主体已位于关键区内固定测站偏南一侧时,所作的两定点气象要素差往往不满足寒潮模式的条件,造成漏报。针对上述问题,我们采用关键区内表征冷空气强度的气象要素极值,并用这些极值与寒潮预报区内指标站相应的气象要素值,计算出指向寒潮

预报区的气象要素梯度值,据此表示冷空气强度和位置,从而实现了冷空气强度及变化的动态监测,避免了上述两个问题。

1 气象要素极值和梯度值监测冷空气原理

寒潮天气本质上就是某地一段时间内气温大幅度下降的过程。这就必须具备两个条件:①冷空气具有一定强度;②冷空气入侵寒潮预报区。根据梯度原理,计算由冷空气主体所在地指向寒潮预报区的气象要素梯度值,就能适宜地表述冷空气强度和冷空气入侵的条件。

我们以气温、气压、变压这 3 种要素表示冷空气的冷暖属性。设 $T(1, J)$ 为关键区内 08 时最低气温, $T(2, J)$ 为成都站 08 时气温, $J = 1, 2, 3, 4$ 分别代表地面、850hPa、700hPa、500hPa 层; $P(1, I)$ 、 $\Delta P(1, I)$ 分别为关键区内的最高海平面气压和最大 24 小时变压, $P(2, I)$ 、 $\Delta P(2, I)$ 分别为成都站的海平面气压和 24 小时变压, $I = 1, 2$ 分别代表 08、14 时观测时次,故依梯度原理有:

$$\text{温度梯度: } dT(J) = [T_K(1, J) - T(2, J)]/D_{KC} \quad (J = 1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

$$\text{气压梯度: } dP(I) = [P(2, I) - P_K(1, I)]/D_{KC} \quad (I = 1, 2) \quad (2)$$

$$\text{变压梯度: } d\Delta P(I) = [\Delta P(2, I) - \Delta P_K(1, I)]/D_{KC} \quad (I = 1, 2) \quad (3)$$

$$\text{距离: } D_{KC} = EP \cdot [(\lambda_K - \lambda_C)^2 \cdot \cos^2(\varphi_C) + (\varphi_K - \varphi_C)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

式中 K 代表关键区内各气象要素在各层上极值所在的测站, C 代表成都站(指标站)。 D_{KC} 为各层气温极小值所在站 K 到成都站 C 的距离;同时也代表各时次气压、变压极大值所在站 K 到成都站的距离; $EP =$

111.1375km/度,为单位赤道度的距离; λ_K , φ_K 为 K 站的经、纬度; λ_C , φ_C 为成都站的经、纬度。

由于 K 站是冷空气占据关键区内气象要素极值所在站,显然不是固定测站,对不同

时次,不同层次,不同气象要素极值,其所对应的测站 K 也不尽相同。所以用 K 站的气温、气压、变压等多层次、多时次气象要素极值客观表达冷空气强度。而式(1)~(3)又准确地描述了指向寒潮预报区的气象要素梯度值。因此,上述的要素极值和要素梯度值就从原理上完成了对冷空气位置、强度及其变化的动态监测。

2 基于极值、梯度值的寒潮预报模式

我们将产生寒潮的条件归纳为关键区内的冷空气应具有一定强度和指向寒潮预报区的一定强度的要素梯度值;同时,寒潮预报区应为具有一定势力的暖气团控制。由上述分析和式(1)~(3)中各要素变量的定义,归纳为表示关键区冷空气强度的因子有: $T_K(1, J)$ 、 $P_K(1, I)$ 、 $\Delta P_K(1, I)$;指向寒潮预报区的

要素梯度因子有: $dT(J)$ 、 $dP(I)$ 、 $d\Delta P(I)$ 。

显然, $T_K(1, J)$ 越小, $P_K(1, I)$ 、 $\Delta P_K(1, I)$ 越大,关键区内的冷空气就越强,反之亦然。据式(1)~(3), $dT(J)$ 、 $dP(I)$ 、 $d\Delta P(I)$ 越小,指向寒潮预报区的要素梯度越大,就越有利于关键区冷空气入侵寒潮预报区。

同样,根据式(1)~(3)的定义,我们有表示寒潮预报区内暖气团势力的因子: $T(2, J)$ 、 $P(2, I)$ 、 $\Delta P(2, I)$ 。其中, $T(2, J)$ 越大, $P(2, I)$ 、 $\Delta P(2, I)$ 越小,暖气团势力就越强,冷空气入侵时,造成的降温幅度越大;反之亦然。

根据以上分析,我们利用自贡台 1964—1992 年 10 月至次年 4 月的寒潮个例,统计求得寒潮个例对应的上述各因子值,并按下列各式求各因子判据值:

$$T_K(1, J)_m = \max[T_K(1, J)_1, T_K(1, J)_2, \dots, T_K(1, J)_L, \dots, T_K(1, J)_n] \quad (5)$$

$$P_K(1, I)_m = \min[P_K(1, I)_1, P_K(1, I)_2, \dots, P_K(1, I)_L, \dots, P_K(1, I)_n] \quad (6)$$

$$\Delta P_K(1, I)_m = \min[\Delta P_K(1, I)_1, \Delta P_K(1, I)_2, \dots, \Delta P_K(1, I)_L, \dots, \Delta P_K(1, I)_n] \quad (7)$$

$$T(2, J)_m = \min[T(2, J)_1, T(2, J)_2, \dots, T(2, J)_L, \dots, T(2, J)_n] \quad (8)$$

$$P(2, I)_m = \max[P(2, I)_1, P(2, I)_2, \dots, P(2, I)_L, \dots, P(2, I)_n] \quad (9)$$

$$\Delta P(2, I)_m = \max[\Delta P(2, I)_1, \Delta P(2, I)_2, \dots, \Delta P(2, I)_L, \dots, \Delta P(2, I)_n] \quad (10)$$

$$dT(J)_m = \max[dT(J)_1, dT(J)_2, \dots, dT(J)_L, \dots, dT(J)_n] \quad (11)$$

$$dP(I)_m = \max[dP(I)_1, dP(I)_2, \dots, dP(I)_L, \dots, dP(I)_n] \quad (12)$$

$$d\Delta P(I)_m = \max[d\Delta P(I)_1, d\Delta P(I)_2, \dots, d\Delta P(I)_L, \dots, d\Delta P(I)_n] \quad (13)$$

上列各式中, n 为寒潮个例数。式(5)~(13)表明:因子判据值为寒潮个例所对应的各因子的极值。值越小越有利产生寒潮的因子,我们取寒潮个例对应该因子的最大值为因子判据值;值越大越有利于寒潮的因子,我们取寒潮个例对应的该因子的最小值为因子判据值。显然,这些因子判据值反映了产生寒潮要求的各因子的最低条件。据此,我们构成了寒潮预报的下列判据群:

$$T_K(1, J)_0 \leq T_K(1, J)_m \quad (14)$$

$$P_K(1, I)_0 \geq P_K(1, I)_m \quad (15)$$

$$\Delta P_K(1, I)_0 \geq \Delta P_K(1, I)_m \quad (16)$$

$$T(2, J)_0 \geq T(2, J)_m \quad (17)$$

$$P(2, I)_0 \leq P(2, I)_m \quad (18)$$

$$\Delta P(2, I)_0 \leq \Delta P(2, I)_m \quad (19)$$

$$dT(J)_0 \leq dT(J)_m \quad (20)$$

$$dP(I)_0 \leq dP(I)_m \quad (21)$$

$$d\Delta P(I)_0 \leq d\Delta P(I)_m \quad (22)$$

上列各式左边各因子变量的下标“0”代表预报日因子,其余各变量意义同式(1)~(13)。式(14)~(22)从冷空气强度、要素梯度、暖气

团势力三个方面,用 24 个预报因子给出了寒潮预报判据群,这个判据群也就构成了寒潮预报模式。当式(14)~(22)同时满足时,自贡地区有寒潮;反之,无寒潮。

3 寒潮降温幅度最佳相似预报方法^[1]

将寒潮预报模式中对应的 24 个预报因子定义为 $X_{i,j}$, 其中, $i=1, 2, \dots, n$ 为寒潮个例数, $j=1, 2, \dots, 24$ 为因子序数。设第 j 个因子在 n 个个例中最小值为:

$$\min X_j = \{X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{i,j}, \dots, X_{n,j}\} \quad (23)$$

最大值为:

$$\max X_j = \{X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{i,j}, \dots, X_{n,j}\} \quad (24)$$

对值小有利寒潮(如式(14)、(18)~(22)对应)的因子采用下式计算 $X_{i,j}$ 的无量纲归一化序列:

$$X'_{i,j} = (\max X_j - X_{i,j}) / (\max X_j - \min X_j) \quad (25a)$$

当因子 $X_{i,j}$ 取寒潮个例中的最大值时,即满足产生寒潮的最低条件, (25a) 中的

$X'_{i,j}=0$;当因子 $X_{i,j}$ 为寒潮个例中的最小值时,即达到产生寒潮的最高条件,(25a)中的 $X'_{i,j}=1$ 。

同理,对值大有利寒潮(如式(15)~(17)对应)的因子 $X_{i,j}$ 采用下式计算无量纲归一化序列:

$$X'_{i,j} = (X_{i,j} - \min X_j) / (\max X_j - \min X_j) \quad (25b)$$

因此,在这类因子中,当 $X_{i,j}$ 为最小值,即满足产生寒潮的最低条件时, $X'_{i,j}=0$;当 $X_{i,j}$ 为最大值,即达到产生寒潮的最高条件时, $X'_{i,j}=1$ 。

显然由(25a)、(25b)算得 $X'_{i,j}$ 越大,越有利于产生寒潮; $X'_{i,j}$ 越小,因子对产生寒潮的贡献就越小,当 $X'_{i,j}<0$ 时,因子不满足产生寒潮的最低条件,即无寒潮。

将预报日的因子 $X_{0,j}$ 代入式(25a)、(25b),可求得预报日的因子无量纲归一化序列 $X'_{0,j}$,将此序列与每个历史个例 i 对应的序列 $X'_{i,j}$ 求相关系数有:

$$R_{0,i} = \frac{\sum_{j=1}^{24} (X'_{0,j} - \bar{X}'_0)(X'_{i,j} - \bar{X}'_i)}{[\sum_{j=1}^{24} (X'_{0,j} - \bar{X}'_0)^2 \cdot \sum_{j=1}^{24} (X'_{i,j} - \bar{X}'_i)^2]^{-\frac{1}{2}}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (26)$$

其中

$$\bar{X}'_0 = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} (X'_{0,j}) \quad (27)$$

$$\bar{X}'_i = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} (X'_{i,j}) \quad (28)$$

在式(26)求得 n 个相关系数 $R_{0,i}$ 中选出最大值,其对应的寒潮个例降温值即可作为预报日的寒潮降温预报值。

4 VB 编程的寒潮预报系统

4.1 系统结构

寒潮预报系统设计由 3 个模块和因子库、个例库、判据库 3 个数据库构成(系统结构图略)。

资料预处理模块完成自动读入气象电码、译码和自动扫描采集并计算出寒潮预报模式所需的各因子值。套模式模块完成式(14)~(22)的推理判断,给出有无寒潮的定性预报结论,相似计算模块作出降温幅度预报。

4.2 系统功能

系统在中文 Windows 平台上实现了自动化运行,并以菜单形式给出预报结论。不管正确的寒潮预报还是寒潮的空漏报,系统均将相应的因子值和对象值加入因子库和个例库,在运行中,系统不断给这两个库添加预报成败的信息,在积累一定的添加个例后,系统将按评分最优的原则重新计算产生判据库。表明本系统具有一定的自我总结、完善能力。

5 业务应用

本系统从 1993 年开始投入业务运行后,过程预报准确率不断稳定提高。在 1996 年冬春季预报中,成功地报出了 3 次寒潮过程而无空漏报,其中两次强寒潮的降温预报按评定均为满分(见附表)。

附表 1996 年 1—4 月寒潮系统预报统计

预报日	预报降温值/℃	实况降温/℃	评分/%
1996.2.16	7.5	9.4	80
1996.3.6*	11.0	12.8	100
1996.3.7*	11.9	12.8	100
1996.4.18	10.0	11.8	100

注: * 表示 3 月 6—7 日为一次过程,系统报两次。

参考文献

- 1 缪强等. 自贡地区暴雨短期预报系统研究. 四川气象, 1995. 1: 25—26.

Cold Wave Prediction System Based upon Gradient Principle

Miao Qiang

(Zigong Meteorological Office, Sichuan Province 643000)

Abstract

The extreme value of the meteorological element representing cold air intensity is scanned and collected automatically by computer. The gradient calculation is conducted with the relatant meteorological element value at the index stations in prediction area. The gradient values are obtained in the target area, and therefore, the cold wave intensity and variation can be monitored dynamically. According to the temperature background that cause cold wave, the automatic system of the Chinese windows worktable predicting cold wave is developed. The prediction accuracy of cold wave have been increased abviously in the operational application for three years.

Key Words: cold wave gradient principle prediction system